(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6334416号
(P6334416)

(45)発行日　平成30年5月30日(2018.5.30)　(24)登録日　平成30年5月11日(2018.5.11)

(51)Int.Cl.　F I
F03D 13/25 (2016.01)　F03D 13/25
F03D 9/30 (2016.01)　F03D 9/30

請求項の数 9　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願2014-561458 (P2014-561458)
(86)(22)出願日　平成25年3月14日 (2013.3.14)
(65)公表番号　特表2015-510086 (P2015-510086A)
(43)公表日　平成27年4月2日 (2015.4.2)
(86)国際出願番号　PCT/EP2013/055296
(87)国際公開番号　WO2013/135845
(87)国際公開日　平成25年9月19日 (2013.9.19)
審査請求日　平成28年3月10日 (2016.3.10)
(31)優先権主張番号　12382095.3
(32)優先日　平成24年3月15日 (2012.3.15)
(33)優先権主張国　欧州特許庁 (EP)
(31)優先権主張番号　61/647,314
(32)優先日　平成24年5月15日 (2012.5.15)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(73)特許権者　517254905
ジーイー・リニューワブル・テクノロジーズ
GE RENEWABLE TECHNOLGIES
フランス、グレノーブル、３８１００、アベニュ・レオン・ブラム、８２
(74)代理人　100137545
弁理士　荒川　聡志
(72)発明者　メネンデス　アルバレス，　エレナ
スペイン国　エ－０８００５　バルセロナ，　カレール　リュイ　１８８，　アティック　３

審査官　新井　浩士

最終頁に続く

(54)【発明の名称】洋上風力タービン

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
風力タービンを支持する浮力をもたらすための浮揚構造体（２）を備える洋上風力タービンであって、前記浮揚構造体は少なくとも１つの浮揚タンク（３，７）を備え、前記浮揚タンクは、水によって前記浮揚タンクの壁に加わる静水圧を少なくとも部分的に均衡させるために加圧ガスを含み、前記浮揚タンク（３，７）は、実質的に水平なパーティション（３０）によって互いに上下に分離して配置されている少なくとも２つの別個のコンパートメント（３１，３２，３３）を備えており、浮揚構造体（２）は、海底（ＳＢ）の上及び基準界面（ＭＳＬ）の下の位置に沈められていて、海水によって各々のコンパートメントの側壁に静水圧が加わり、上方のコンパートメントの加圧ガスの圧力は下方のコンパートメントの加圧ガスの圧力よりも小さく、加圧ガスの圧力は、各々のコンパートメント内の圧力がその特定のコンパートメントの壁に加わる静水圧に適合するように、コンパートメント（３１，３２，３３）毎に異なる値に設定され、各々のコンパートメント内の加圧ガスの圧力は、海水によって各々のコンパートメントの側壁に加わる最大静水圧に等しいか又はそれ以上であり、前記浮揚タンク（３，７）内の加圧ガスが、浮揚タンク（３，７）周囲の海水から分離されるように浮揚タンク（３，７）が密閉される、洋上風力タービン。
【請求項２】
前記浮揚タンク（３，７）が中心軸を有しており、前記中心軸が前記風力タービンの塔の軸と実質的に整列するように配置される、請求項１に記載の風力タービン。

【請求項３】
前記浮揚タンク（３，７）が実質的に円筒形状を有する、請求項１又は請求項２に記載の風力タービン。
【請求項４】
前記浮揚タンク（３，７）の直径が前記浮揚タンクの長さよりも小さい、請求項３に記載の風力タービン。
【請求項５】
前記浮揚タンク（３，７）が、中央中空ハブ部分（９）から半径方向外側に延在する中空スポーク部分（８）を備える、請求項１又は請求項２に記載の風力タービン。
【請求項６】
前記浮揚タンク（３，７）が、前記中空スポーク部分（８）を、互いに約１２０度の間隔をおいた３つの中空スポーク部分（８）として備える、請求項５に記載の風力タービン。
【請求項７】
一端が海底に取り付けられ、他端が前記浮揚構造体（２）に取り付けられた係留索（６）をさらに備える、請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の風力タービン。
【請求項８】
前記浮揚構造体（２）とは別々に設置されるが前記浮揚構造体に接続される風力タービン支持構造体（５）と、一端が海底に取り付けられ、他端が前記風力タービン支持構造体（５）に取り付けられる係留索（６）とをさらに備える、請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の風力タービン。
【請求項９】
基準海面よりも高い位置で前記風力タービン支持構造体（５）から半径方向外側に延在する少なくとも３つのブレース（４）をさらに備え、前記ブレース（４）の各々に１本以上の係留索（６）が結合される、請求項８に記載の風力タービン。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本出願は、２０１２年３月１５日に出願されたヨーロッパ特許出願番号ＥＰ１２３８２０９５．３及び２０１２年５月１５日に出願された米国仮特許出願番号６１／６４７３１４の利益を主張する。
【０００２】
本発明は、風力タービンを支持するための浮力をもたらすための浮揚構造体を備える洋上風力タービンに関する。
【背景技術】
【０００３】
底部が固定された支持構造体の上に基礎を置く代わりに、浮体式支持構造体を有する洋上風力タービンが開発されている。
【０００４】
浮体式又は浮揚式構造体に対していくつかの構成が提案されており、その多くで、使用に際して、実質的に基準海面下に配置され風力タービンを支持する浮力を与える中空浮揚タンクの形態の浮揚エレメントが採用されている。安定性を達成するため、バラスト及び／又は海底に固定される係留索が設けられる。
【０００５】
これらの浮体式風力タービンのいくつかでは、浮揚構造体は、余剰の浮力を与えるように設計され、余剰の浮力によって張力が与えられる緊張した係留索によって、基準海面下で浮遊状態が維持される。

【０００６】
例えば、「タウトレッグブイ」（ＴＬＢ）の浮体式風力タービンのように、細長い円筒形ブイ及び２組の緊張した係留索であって海底に対して傾斜しかつ重力アンカー及びブイに接続された係留索を有するもの、或いは「テンションレッグプラットフォーム」（ＴＬＰ）の浮体式風力タービンのように、緊張した係留索を実質的に垂直に海底の重力アンカーと風力タービンの垂直軸に関して半径方向外側に延在するアーム若しくはブレースとの間に接続したものなど様々なコンセプトのものが開発されている。ＴＬＰアームは、浮揚構造体の一部であり、例えば、中空中央ハブから半径方向外側に延在する中空スポークの形態であってもよいし、或いは海水面の上に配置してもよく、その場合にブイはＴＬＢの概念におけるように細長い円筒形タンクである。
【０００７】
浮体式風力タービンの浮揚構造体は、例えば、風力タービン自体の重量、波による衝撃、力、流れ、及び潮流、そして風力タービンの構成に応じてまた、風、動翼の回転などに関連する空気力学的な力などのいくつかの荷重に晒される。さらに、水中に沈められたあらゆる物体と同様に、それらは海水と接触する外壁に加わる静水圧及びその結果として座屈に晒される。
【０００８】
浮揚構造体及び浮揚タンクは、特に、もちろんそのような荷重に耐えるように寸法を決められる。静水圧及び座屈の場合、これは外壁を厚くすること（或いはある種の構造補強材を用いること）によって外壁を強固にすることを含むが、これは他の荷重に対しては不要であることがあり、厚肉の壁又は補強材は多量の材料を要するので、重量が増し、その追加の重量を補償するために浮揚体の容積を大きくする必要がある。
【０００９】
浮揚構造体に関して考慮されるべき別の課題は、浮揚タンクが破損又は亀裂を生じた場合の安全性であり、それらはタンク内への水の浸入又は浮力の喪失、さらには風力タービンの倒壊の危険性をもたらす。このリスクを最小限にするために、浮揚タンクはいくつかの別個のコンパートメントの形態及び／又は２重船体構造で作られるが、これは再び構造体に対して不都合な重量及びサイズを追加する。
【００１０】
上述の欠点が比較的単純かつ費用がかからない浮揚構造体を用いて少なくとも部分的に解決される、洋上風力タービンを提供することが望ましい。
【発明の概要】
【００１１】
一態様では、本発明は、風力タービンを支持する浮力をもたらすための浮揚構造体を備える洋上風力タービンであって、前記浮揚構造体が、使用に際して、加圧ガスを含む少なくとも１つの浮揚タンクを備える洋上風力タービンを提供する。
【００１２】
浮揚タンク内の加圧ガスの存在は、水によってタンクの壁に加わる静水圧と少なくとも部分的に均衡させることができ、そのため壁の材料及びタンクの重量を低減することができ、さらに、場合によっては、亀裂若しくは他の類似の破損がタンクの壁に生ずる場合に、タンク内への水の浸入を防ぐことができる。
【００１３】
本解決策は、単純でありかつ低コストで実施することができる。
【００１４】
浮揚タンクは、少なくとも２つの別個のコンパートメントを備え、その２つのコンパートメントは、使用に際して、実質的に水平なパーティションによって上下に分離されるように配置される。
【００１５】
異なるコンパートメントの存在は、異なるコンパートメントでガスが異なる圧力を有するようにできので、浮揚タンク内のガス圧力とタンクの壁に加わる静水圧とをより近く均

衡させることができる。
【００１６】
各々のコンパートメントにおける加圧ガスの圧力は、海水によってコンパートメントの側壁に加わる最大静水圧に等しいかそれ以上であり、亀裂その他の破損の場合に、最初にガスがコンパートメントから漏れ出て水の浸入を防ぐ。
【００１７】
風力タービンはさらに、浮揚構造体とは別々に設置されるが浮揚構造体に接続される支持構造体、及び一端が海底に取り付けられ、他端が支持構造体に取り付けられた係留索を備えていてもよく、風力タービンはさらに、基準海面より高い位置で風力タービン支持構造体から半径方向外側に延在する少なくとも３つのブレースを備えていてもよく、１本以上の係留索がブレースの各々に対して結合される。
【００１８】
この構成によって、風及び他の荷重は、タービンから支持構造体、ブレース及び係留索に伝達される一方で、浮揚構造体の壁は主として静水圧に関して寸法が決定されるので、静水圧との均衡によって可能となる材料及び重量の低減は特に顕著である。
【００１９】
本発明の実施形態の付加的な目的、利点、及び特徴は、この説明を見れば当業者にとって明らかであり、又は本発明を実施することによって理解可能である。
【００２０】
本発明の特定の実施形態は、添付した図面を参照しながら、非限定的な実施例によって以下に説明される。
【図面の簡単な説明】
【００２１】
【図１】図１は、本発明の実施形態が適用される洋上風力タービンの側面図を概略的に示している。
【図２】図２は、図１の風力タービンの拡大された詳細を斜視図において概略的に示している。
【図３】図３は、浮揚タンクの上の静水圧を示す略図である。
【図４】図４は、本発明の実施形態が適用される別の洋上風力タービンの詳細を斜視図において概略的に示している。
【発明を実施するための形態】
【００２２】
図１及び図２は、洋上風力タービン、より具体的にはＴＬＰ（テンションレッグプラットフォーム）タイプの浮体式風力タービンを示している。
【００２３】
風力タービン１は、少なくとも１つの浮揚タンク３を有する浮揚構造体２を備える。浮揚構造体２は、海底ＳＢの上及び基準海面ＭＳＬの下の位置に沈められたままとなるように設計され、風力タービンの重量及び他の荷重を支持するための上方向のスラストを与える。
【００２４】
そのような浮揚構造体を有する浮体式風力タービンを安定化させるために、すなわち、６つの自由度（サージ、スウェイ、ヒーブ、ピッチ、ロール、及びヨー）を妥当な限度の範囲内に抑え込むために、いくつかの解決策が可能であり、例えば、浮揚タンクの底にバラストを採用すること、若しくは浮揚タンクに対して余剰の浮力を与えることによって係留索を引張状態に置くこと、又はそれらの両者の組み合わせなどである。本発明の実施形態は、任意のこれらの概念、又は少なくとも１つの浮揚タンクを備える浮揚構造体に依拠する他の浮体式風力タービンに適用し得る。
【００２５】
浮揚タンク３は、図１及び図２に示すように、実質的に円筒形状を有し、かつその長さよりも小さい直径を有する。例えば、浮揚タンク３は、約２０ｍの長さであり、かつ６ｍ

～１２ｍの直径を有する。この種類の浮揚構造体は時々「スパーブイ」と呼ばれる。
【００２６】
浮揚タンク３は、中心軸（ここでは、円筒の垂直軸）を有し、かつ浮揚タンクはこの軸が実質的に又は概して風力タービンの塔の軸と整列するように配置され、すなわち、円筒形浮揚タンク３は、図に示す通り、実質的に風力タービンの下に配置される。
【００２７】
風力タービンには、基準海面より上の高さにおいて風力タービン支持構造体５から半径方向外側に延在する３つのブレース４を設けてもよく、係留索６は、一端がブレース４の各々に取り付けられ、他端が海底に取り付けられる。支持構造体５は、浮揚構造体と風力タービンの塔との間に配置され、いくつかの構成においては、そのような支持構造体は、「トランジションピース」として知られている。
【００２８】
追加の係留索（図示せず）を、浮揚タンクの下側の端部と海底との間に配置してもよく、及び／又は係留索４を、垂直ではなく傾斜するような位置で海底に取り付けてもよい。
【００２９】
本発明の実施形態では、浮揚タンク３は、使用に際して、加圧ガスを含む。
【００３０】
タンクは、水中に沈める前に、例えば風力タービンを準備して洋上設置現場に移送する前に少なくとも部分的に組み立てる陸上の現場で、加圧ガスを充填してもよいが、空のまま或いは水を含んだ状態で移送して、所定の洋上位置に設置した後、水をデバラストした後に又はその作業中に加圧ガスを充填してもよく、さらに、望ましい深さに沈められた状態で加圧ガスを充填することもできる。
【００３１】
結論として、浮揚タンク３を含んでいる浮揚構造体２が使用される場合、タンク内部のガス圧力は、水によってタンクの外壁に加わる静水圧と少なくとも部分的に均衡して、その結果、タンクの壁に加わる力は格段に小さくなる。こうして、タンクの壁は、静水圧に耐えるのに必要な厚さよりも薄くすることができる。
【００３２】
図１及び図２に示す構造体を有する風力タービンでは、このように浮揚タンクの材料及び重量を低減することができることは特に有用である。この場合、浮揚構造体の設計は風力タービンで生じる全ての荷重を考慮に入れる必要はないからである。すなわち、例えば、風による荷重は、塔から支持構造体５のブレース４へ伝達され、そこから係留索６へと伝達される。波による荷重は浮揚構造体を通じてブレース及び係留索へと伝達されるが、浮揚体の深いセクションについては、静水圧は最大となるが、波による荷重は小さくなるので、主に静水圧に耐えるように寸法が決められる。
【００３３】
これは、浮揚構造体の寸法を、支持すべき重量及び浮揚構造体が付される静水圧に関して決定する必要があることを意味し、そのため静水圧との均衡によって可能となる浮揚構造体の材料及び重量の低減は顕著であり、構造体の費用削減をもたらす。
【００３４】
タンク内部のガスの圧力は、水によってタンク壁のセクションに加わる静水圧と少なくとも等しくしてもよいし、水によってタンク壁に加わる最大静水圧と少なくとも等しくしてもよい。圧力は水の深さに伴って増加するので、タンク内部のガス圧力は、タンク壁の最も下又は最も深いセクションに加わる静水圧と少なくとも等しくなるようにしてもよい。
【００３５】
図３は、水によって円筒形浮揚タンク３の壁に加わる静水圧の分布を示す。
【００３６】
図３に示すように、タンク３は、任意の数の別個のコンパートメント３１、３２、３３、例えば使用に際して実質的に水平の壁又はパーティション３０によって互いに分離され

るように上下に配置されるコンパートメントに分割される。

【００３７】

ガス圧力は、異なるコンパートメント３１、３２、３３で異なる値に設定することができ、各々のコンパートメントにおいて、圧力がその特定のコンパートメントの壁に加わる静水圧に適合するようにしてもよい。すなわち、図３に示す実施例において、コンパートメント３１内のガス圧力を圧力P_1に設定し、コンパートメント３２内のガス圧力を圧力P_2に設定し、コンパートメント３３内のガス圧力を圧力P_3に設定してもよく、P_1、P_2及びP_3は、水によって各々のコンパートメント３１、３２、３３に加わる最大静水圧にそれぞれ対応する。

【００３８】

こうすると圧力勾配を小さくすることができ、例えば、最も深いコンパートメント３３では、壁上での最大の圧力差は以下の通りとなる。

$$\Delta P = P_{gas} - P_2 = P_3 - P_2$$

【００３９】

これはコンパートメント３３の内壁の最も高い部分に作用する圧力差であり、コンパートメント３２及び３３の間のパーティション壁３０でも同様である。一方、コンパートメント３３のより下側のセクションでは、タンク壁での圧力差が事実上ゼロとなる。

【００４０】

なお、コンパートメントの数を増やせば圧力勾配及び最大圧力はより小さくなるが、パーティションを追加するための費用を要する。いずれの場合も、当業者であれば、浮揚タンクの構成、形状及び所期の深さに応じて、最適なコンパートメントの構造を決定することができる。

【００４１】

加圧ガスは浮揚タンクに水が浸入するのを防ぐので、浮揚タンク及び／又は浮揚タンクのコンパートメントの内側の加圧ガスの存在は、衝撃その他に起因して浮揚タンクの壁に亀裂その他の損傷が生じた場合にも役立つ。

【００４２】

これに関して、浮揚タンク及び／又は浮揚タンクのコンパートメントの内側のガス圧力は、タンク又はコンパートメントの壁に加わる最大静水圧よりも高いことが予見され、それによって、タンクの壁に亀裂が生じる場合に、ガス圧力が少なくとも最初はタンクへの水の浸入を防ぐ。

【００４３】

風力タービンの浮揚構造体の別の実施形態が、図４に示してあり、この例では、浮揚タンク７は、中央中空ハブ部分９から互いに約１２０度で半径方向外側へ延在する３つの中空スポーク部分８を備える。この場合、係留索６は、各々のスポーク部分８と海底ＳＢの間に取り付けることができる。

【００４４】

この場合、風力タービンの使用に際して、中央ハブ部分９と同様にスポーク部分８に全て加圧ガスを充填してもよく、タンク壁上の静水圧をそれによって均衡させてもよい。

【００４５】

比較的浅い、つまり垂直方向寸法を縮めた図４の浮揚タンクにおいて、あるセクションと別のセクションとの間の静水圧の差はそれほど大きくないので、静水圧を均衡させるには分離コンパートメントはさほど有効ではなく、この場合、単一の容積を有する浮揚タンクの方が適していることもある。

【００４６】

従来から、この種の浮揚タンクは、亀裂又は類似の壁の破損が生じた場合に水がタンク全体を満たないようにいくつかのコンパートメント（垂直なパーティションにより分割）が設けられており、この場合も、タンク内に加圧ガスを提供することは、材料、重量、及び費用の節約をもたらす。

【００４７】

またこの場合、浮揚タンク内部のガスの圧力は、タンクの壁に亀裂が生じた場合にタンクへの水の浸入を防ぐために、最大静水圧よりも高い。

【００４８】

風力タービンの浮揚構造体の浮揚タンクのための適切な加圧ガスは空気である。

【００４９】

いずれの実施形態においても、圧力損失を検出し、かつ亀裂又はその他の圧力損失の原因が除去されるまで、必要に応じて追加の加圧ガスを浮揚タンク又はコンパートメントに供給するために、適切な圧力監視装置（図示せず）を設けてもよい。

【００５０】

加圧ガスは、コンプレッサ（図示せず）によって供給される。適切なコンプレッサは、少なくとも洋上風力タービンの移送及び設置作業の際に既に一般に利用されている。例えば、移送及び設置の目的のために水が満たされた浮揚体をデバラストするため利用されている。

【００５１】

なお、浮揚タンク及び／又は浮揚タンクの各々の別個のコンパートメントに、コンプレッサ又は類似の手段を用いてそれらに加圧ガスを充填し、所望に応じて監視できるように、適切なバルブ、接続部及びセンサ装置を設けてもよい。

【００５２】

加圧ガスを含む浮揚タンクを有する風力タービンは、浮揚タンクにガスを供給するための適切なコンプレッサ、及び／又は浮揚タンク内のガス圧力を監視するための手段、並びに浮揚タンク内のガス圧力が所定の閾値未満に下まで下がったときに追加のガスを供給し及び／又はアラームを発生する手段を備えていてもよい。

【００５３】

風力タービンの浮揚構造体は、いくつかの浮揚タンクを備えていてもよく、その少なくともいくつかが加圧ガスを含んでいてもよい。また、浮揚タンクが異なるコンパートメントをもち、そのうちのいくつかだけが加圧ガスで充填されるように設計することも可能である。

【００５４】

上述の洋上風力タービンを支持及び作動させるための方法は、風力タービンを支持するために浮力をもたらすための、少なくとも１つの浮揚タンクを備える浮揚構造体を用意すること、浮揚タンクの少なくとも一部を加圧ガスで満たすこと、及び浮揚タンクを基準海面下の位置に設置することを含む。浮揚タンクの少なくとも一部を加圧ガスで満たすことは、浮揚タンクを基準海面下の位置に設置する作業の前後途中のいずれかに実施することができる。

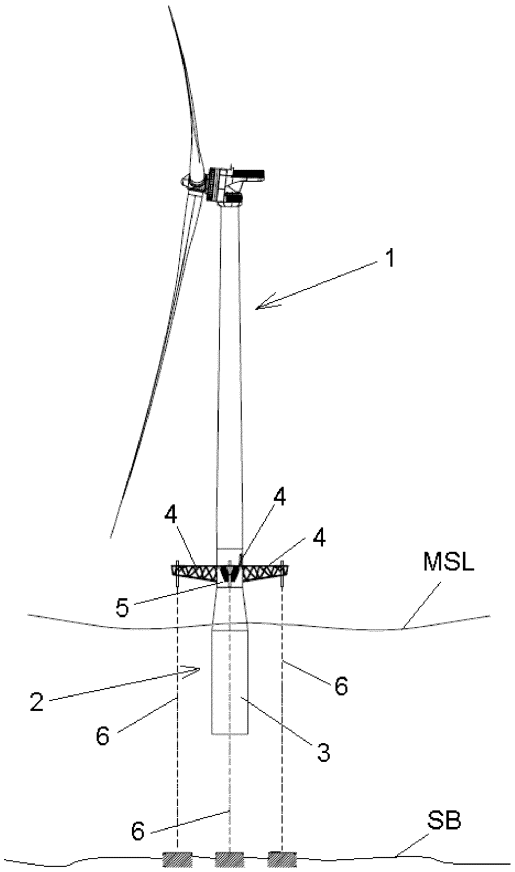
【００５５】

それ故、密閉浮揚タンク又はコンパートメントは、入口バルブを通して、例えばコンプレッサなどの手段によって好適な圧力まで加圧ガスを充填し、次いで、入口バルブを閉じる。浮揚タンクを満たしている間及び風力タービンの作動の間の両方において、加圧ガスは海水から分離された状態に維持される。

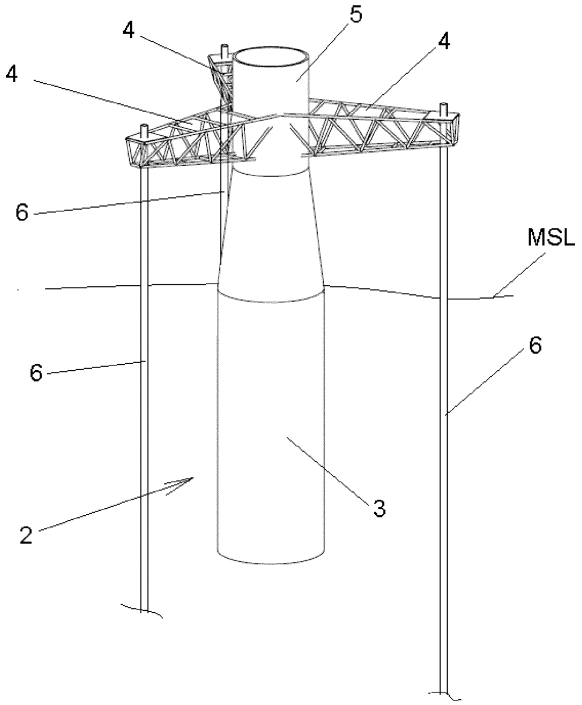
【００５６】

任意の数だけの本発明の特定の実施形態及び実施例が本明細書の中において説明されてきたが、本発明の他の代替的な実施形態及び／又は使用、並びにそれらの明らかな変形例及び等価物が可能であることは、当業者によって理解されるだろう。さらに、本発明は、説明された特定の実施形態の全ての可能な組み合わせをカバーする。それ故、本発明の範囲は、特定の実施形態によって限定されるべきものではなく、以下の特許請求の範囲を公平に読むことによって決定されるべきである。

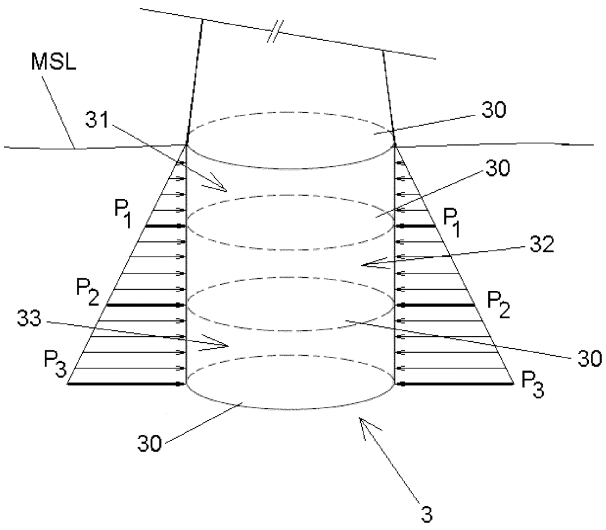
【図１】


1
4
4
4
MSL
5
2
6
6
3
6
SB

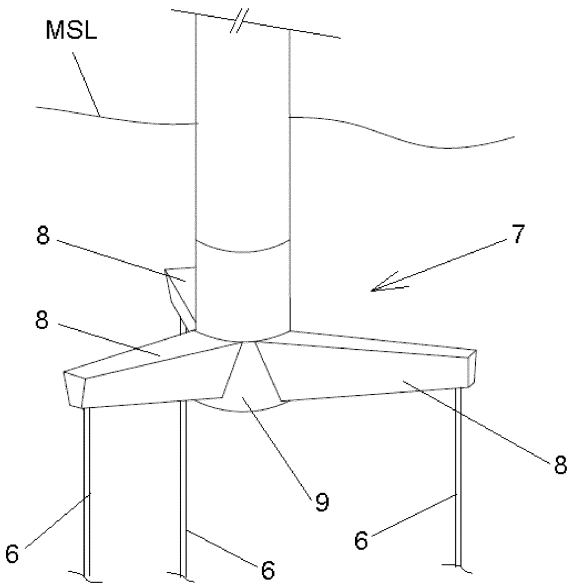
【図２】


4
5
4
4
6
MSL
6
6
3
2

【図３】


MSL
31
30
30
P1
P1
32
P2
P2
33
30
P3
P3
30
3

【図４】


MSL
8
7
8
8
9
6
6
6
6

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第２０１０／０９３２５９（WO，Ａ２）
特開昭５３－０２２２９９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３１９４８２（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１１／１３７９０３（WO，Ａ２）
国際公開第２０１０／０２９７６６（WO，Ａ１）
特表２０１１－５２１８２０（ＪＰ，Ａ）
国際公開第０２／０１０５８９（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０３Ｄ　１３／２５
Ｆ０３Ｄ　９／３０