

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-516696
(P2025-516696A)

(43)公表日 令和7年5月30日(2025.5.30)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
B 6 3 B 21/00 (2006.01)	B 6 3 B 21/00	B 3 H 1 7 8
F 0 3 D 13/25 (2016.01)	F 0 3 D 13/25	
B 6 3 B 35/00 (2020.01)	B 6 3 B 35/00	T

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全25頁)

(21)出願番号	特願2024-566872(P2024-566872)	(71)出願人	515339653 エクイノール・エナジー・アーエス EQUINOR ENERGY AS ノルウェー国、4 0 3 5 スタヴァンゲ ル、フォルスベーン 5 0 Torusbeen 50, 4 0 3 5 S tavanger, Norway
(86)(22)出願日	令和5年5月12日(2023.5.12)	(74)代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(85)翻訳文提出日	令和6年12月12日(2024.12.12)	(74)代理人	100111648 弁理士 梶並 順
(86)国際出願番号	PCT/NO2023/050111	(74)代理人	100221729 弁理士 中尾 圭介
(87)国際公開番号	WO2023/219518	(72)発明者	スカーレ、ビョルン ノルウェー国、7 0 2 3 トロンハイム
(87)国際公開日	令和5年11月16日(2023.11.16)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	2207053.6		
(32)優先日	令和4年5月13日(2022.5.13)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	英国(GB)		
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW), EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES, FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV 最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 非対称の浮体式風力タービン設備

(57)【要約】

浮体式風力タービン設備は、係留システムによって水域の水底に繋がれた非対称浮体式風力タービン構造体を含む。浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、また浮体式風力タービン構造体は、浮体式風力タービン設備の場所で風が卓越風の方

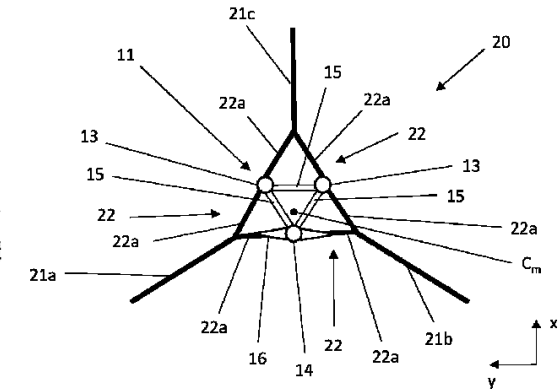


Fig. 3

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

浮体式風力タービン設備であって、係留システムによって水域の水底に繋がれた非対称浮体式風力タービン構造体を含み、

前記浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、

前記浮体式風力タービン構造体は、前記風力タービンが、前記風力タービン設備の場所における卓越風の方角において前記浮体式風力タービン構造体の質量中心の風上側に位置決めされるように、前記係留システムによって所定の位置に保持される、
浮体式風力タービン設備。

10

【請求項 2】

前記卓越風向と、前記風力タービンの位置及び前記浮体式風力タービン設備の質量中心を通る直線との間の角度が 60° 以下である、請求項 1 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 3】

前記風力タービンが、前記卓越風の方角において前記浮体式風力タービン構造体の質量中心の実質的にちょうど風上に位置決めされる、請求項 1 又は 2 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 4】

前記半潜水型浮体式プラットフォームが、リング状の構成で接続部材によって接続された 3 本の柱を含む、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備。

20

【請求項 5】

前記風力タービンが前記半潜水型浮体式プラットフォームの前記柱のうちの 1 本に支持されている、請求項 4 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 6】

前記係留システムが、前記浮体式風力タービン構造体に接続された 4 本の係留索を含み、
前記 4 本の係留索のうちの 2 本の係留索が、前記風力タービンを支持する柱に接続され、
前記 4 本の係留索のうちの他の 2 本の係留索が、前記 3 本の柱のうちの他の 2 本のうちの異なる 1 本にそれぞれ接続されている、
請求項 5 に記載の浮体式風力タービン設備。

30

【請求項 7】

前記係留索が前記浮体式風力タービン構造体に直接接続されている、請求項 6 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 8】

前記係留システムが、前記浮体式風力タービン構造体に接続された 3 本の係留索を含み、
前記 3 本の係留索の各係留索が、2 本の添えロープ索を含むそれぞれの添えロープによって前記浮体式風力タービン構造体に接続され、前記 2 本の添えロープ索のそれぞれは、それぞれの係留索が前記半潜水型プラットフォームの 2 本の柱に接続されるように、前記半潜水型プラットフォームの柱のうちの異なる 1 本に接続されている、
請求項 4 又は 5 に記載の浮体式風力タービン設備。

40

【請求項 9】

前記 3 本の柱の各柱が、前記 3 本の係留索のうちの 2 本に接続されている、請求項 8 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 10】

前記係留システムが、前記浮体式風力タービン構造体に接続された 3 本の係留索を含み、
前記 3 本の係留索のうちの 2 本の係留索が前記風力タービンを支持する柱に接続され、

50

前記 3 本の係留索のうちの他の係留索が添えロープを介して前記 3 本の柱のうちの他の 2 本に接続されている、

請求項 5 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 1】

前記風力タービンを支持する柱に接続された前記 2 本の係留索が、前記柱に直接接続されている、請求項 1 0 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 2】

前記係留システムが、前記浮体式風力タービン構造体に直接又は間接的に接続された複数の、好ましくは 3 本の係留索を含む、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備。

10

【請求項 1 3】

少なくとも 1 本の係留索が添えロープによって前記浮体式風力タービン構造体に接続されている、請求項 1 2 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 4】

前記係留索がカテナリー係留索である、請求項 6 ～ 1 3 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 5】

前記係留システムが非対称係留システムである、請求項 1 ～ 1 4 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 6】

20

前記係留システムが、第 1 の長さを有するそれぞれの添えロープによって前記浮体式風力タービン構造体に接続された 2 本の係留索と、前記第 1 の長さよりも短い第 2 の長さを有する添えロープによって前記浮体式風力タービン構造体に接続された第 3 の係留索とを含む、請求項 1 5 に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 7】

前記風力タービンが、タワーと、前記タワーの上端に取り付けられたロータとを含み、前記ロータが、ロータハブと、前記ハブに取り付けられた複数の、好ましくは 3 つのブレードとを含む、請求項 1 ～ 1 6 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備。

【請求項 1 8】

非対称浮体式風力タービン構造体を水域内に係留する方法であって、前記浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、前記方法は、前記浮体式風力タービン構造体が係留システムによって所定の位置に保持されるように前記係留システムを用いて前記浮体式風力タービン構造体を前記水域の水底に繋ぐことを含み、ここで前記風力タービンは前記浮体式風力タービン構造体の位置における卓越風の方角において前記浮体式風力タービン構造体の質量中心の風上側に位置決めされている方法。

30

【請求項 1 9】

前記浮体式風力タービン構造体及び前記係留システムが、請求項 1 ～ 1 7 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービン設備を形成する、請求項 1 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は浮体式風力タービンの分野に関する。特に、本発明は、非対称の浮体式風力タービン設備用の係留構成に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

図 1 は、周知の構成で海底に係留された回転に関して非対称の半潜水型浮体式風力タービン設備 1 の概略平面図である。風力タービン設備 1 は、3 本の柱、すなわち、2 本の空の柱 2 と、風力タービン自体を支持する第 3 の柱 3 とを備えた半潜水型浮体式プラットフォームを含む。3 本の柱 2、3 は、3 つの接続部材 4 によって三角形リング構成において

50

連結され、プラットフォームを形成している。風力タービン設備は、3本の係留索5を用いて海底に係留されており、1本の係留索5が各柱2、3に直接接続されている。

【0003】

風力タービン設備1の位置において、卓越風は図1に示されるx軸に沿って正方向に伝播する。これは、風力タービンの位置における風が最も一般的に伝播する方向である。図1の風力タービン設備1は、柱3（すなわち、風力タービンを支持する柱）が、卓越風の方

10

【0004】

他の向きと比較すると、図1に示される構成は、浮体式風力タービン設備1に好ましい運動特性をもたらす。図1に示されるような非対称の浮体式風力タービン設備の場合、風力タービン設備に作用する風の力は、風力タービン設備を支持する柱が風力タービン設備の風下側に位置決めされる向きに風力タービン設備を向かわせる傾向のあるヨーモーメントを生じさせる。これは「風見」として知られている。図1の設備1は、風が卓越風向（すなわち、正のx方向）に沿って設備に接近するときにその平衡位置にあるように向けられていることが理解されるであろう。この場合、ヨーモーメントは発生しない。風は卓越風の方

20

【0005】

図1に示された係留索5の配置も好ましい。この係留索の配置の復元ヨー剛性（すなわち、偏揺れに対して係留索5によって提供される抵抗）は、風が2本の隣接する係留索の間で直接設備1に接近する場合に最大となり、風が1本の係留索の上に直接接近する場合に最小となる。したがって、図1に示されている係留索の配置は、設備の場所で最も一般的な風の状況、すなわち卓越風向に沿って、又はそれに近接して風が接近する状況に関して、最適な復元ヨー剛性を提供する。

【0006】

したがって、図1に示されている設備1は、設備の場所で観測される最も一般的な風況において、比較的安定したヨー特性を示すことが理解されよう。

30

【0007】

しかしながら、この向きは発電に最適な条件を提供しない。その理由は以下のとおりである、すなわち、動作中、風力タービン設備1に作用する卓越風の推力により構造体が縦方向に揺らされ（すなわち、横方向軸を中心に回転させられ）、この際、風力タービン設備1の風上側（すなわち、柱2）が水中でより高い位置に浮くように強制され、風下側（すなわち、柱3）が水中により低い位置に沈むように強制されるからである。これにより、水面より上の風力タービンの高さが低くなり、風力タービンはより低い高度で風と相互作用させられ、より低い高度の風は通常、より高い高度の風よりも平均速度が低くなる。その結果、風力タービンのパワー出力が減少する。

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1の態様によれば、浮体式風力タービン設備であって、係留システムによって水域の水底に繋がれた非対称浮体式風力タービン構造体を含み、浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、浮体式風力タービン構造体は、風力タービンが、風力タービン設備の場所における卓越風の方

【0009】

50

別の見方をすれば、本発明は、浮体式風力タービン設備であって、係留システムによって水域の水底に繋がれた非対称浮体式風力タービン構造体を含み、浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、浮体式風力タービン構造体は、風力タービン設備の場所における卓越風の方角において風が風力タービン構造体に接近するときに、風力タービンが浮体式風力タービン構造体の質量中心の風上側に位置決めされるように向けられる、浮体式風力タービン設備を提供するものと見なすことができる。

【0010】

風力タービン設備の場所における卓越風の方角とは、風力タービン設備の場所において風が主に伝播する方向である。風の方角は時間の経過とともに変化する可能性が高く、したがって常に同じ卓越方向に風が吹くわけではないことが理解されよう。しかしながら、卓越風向は、風力タービン設備の場所で風が吹く最も一般的な方向である。風はマクロスケールでは卓越方向に伝播する傾向があるが、例えば障害物及び／又は局所的な地形によって、局所的に卓越方向から逸脱することがある。

【0011】

浮体式風力タービン構造体が非対称であるという言及は、浮体式風力タービン構造体が垂直軸、例えば浮体式風力タービン構造体の中心点（すなわち、水平面、例えば上方から見たときの浮体式風力タービン構造体の中心点）を通る垂直軸の周りで回転非対称であることを意味する。これは、水平面を見たときに、浮体式プラットフォームの中心点から離れた位置（すなわち、浮体式プラットフォームの中心点でない位置）に風力タービンを位置決めすることによって達成することができる。

【0012】

係留システムは、浮体式風力タービン構造体をその設置場所に維持するために設けられ、特に、浮体式風力タービン構造体の偏揺れに抵抗することによって、浮体式風力タービン構造体の意図された向き、例えば、卓越風の方角に対する向きを維持するように作用する。しかしながら、係留システムは、卓越風の方角における浮体式風力タービン構造体の風上側に風力タービンを維持しながら、風、潮流及び／又は波によって引き起こされ得るものなど、浮体式風力タービン構造体のいくつかの（比較的小さな）動きを許容し得る。例えば、浮体式風力タービン構造体は、例えば風によって浮体式風力タービン構造体に作用する推力により、その横方向軸を中心に縦揺れ（ピッチ）することができる。

【0013】

動作中、浮体式風力タービン設備に作用する風力により、浮体式風力タービン構造体は、その質量中心を通る横方向軸（すなわち、横から横への軸）を中心に縦揺れ（すなわち、回転）する。浮体式風力タービン構造体が縦揺れすると、浮体式構造体の一部は水中により深く沈む一方、別の部分は水面から浮上する。風が卓越方向に吹くと、風によって浮体式風力タービン構造体に与えられる推力によって、浮体式風力タービン構造体の風上側が喫水線より上にさらに上昇し、浮体式風力タービン構造体の風下側が喫水線より下方にさらに沈む。風力タービンは浮体式風力タービン構造体の質量中心より風上に位置するため、浮体式風力タービン構造体のこのピッチ運動は風力タービンを上昇させ、風力タービンの水面より上の高さを効果的に増加させる。その結果、風力タービンは水面より上のより高い高度で風と相互作用することになり、この風は通常、より低い高度の風よりも高い平均風速を有する。これにより風力タービンの発電量が増加し得る。風力タービンを浮体式風力タービン構造体の風上側に位置決めすることで、風力タービンを風下側に配置した従来の浮体式風力タービン構造体（例えば図1に示される）と比較して、風力タービンの年間発電量が最大2%（例えば1%～1.5%）増加する可能性があることが分かっている。これにより、例えば利益率が20%も向上する可能性がある。

【0014】

浮体式風力タービン構造体のピッチ角は、例えば浮体式構造体に対する波及び／又は潮流の影響に起因する動的な動きの結果、時間の経過とともに平均値付近で変動する傾向がある。一般に、浮体式風力タービン構造体に風力が作用しているときは、風力タービンに

風が作用していないときと比較して、平均ピッチ角は大きくなる。定格風速の場合、浮体式風力タービン構造体の平均ピッチ角は、（鉛直方向に対して） $6^{\circ} \sim 14^{\circ}$ の間であり得る。

【0015】

好ましくは、風力タービンは、卓越風の方角において浮体式風力タービン構造体の質量中心の（実質的に）ちょうど風上に位置決めされ得る。すなわち、卓越風向と、風力タービンの位置及び浮体式風力タービン設備の質量中心を通る直線との間に形成される角度は、 0° 、又は実質的に（ $\pm 5^{\circ}$ ） 0° であり得る。所与の推力に対して、この向きは、平均ピッチ角で達成される風力タービンの高さの増加を最大化する。これにより、通常、風力タービンのパワー出力が最大に増加する。しかしながら、卓越風向と、風力タービンの位置及び浮体式風力タービン設備の質量中心を通る直線との間に最大 60° の角度が形成される場合にも、パワー出力の増加が達成される可能性がある。したがって、卓越風向と、風力タービンの位置及び浮体式風力タービン設備の質量中心を通る直線との間に形成される角度は、最大 60° 、好ましくは最大 45° 、より好ましくは最大 30° であり得る。

10

【0016】

半潜水型プラットフォームは、（例えば三角形リング構成において）接続部材により接続された複数（例えば3本）の柱を含み得る。接続部材は全て同じ長さであってもよい。したがって、半潜水型プラットフォームが3本の柱を含む場合、柱は正三角形状に接続され得る。

20

【0017】

風力タービンは好ましくは柱のうちの1本によって支持され、例えば柱のうちの1本に取り付けられる。複数の柱のうちの他の柱は空であってもよく、すなわち、柱のうちの1本だけが風力タービンを支持し得る。

【0018】

隣接する柱間の分離は、 $50\text{ m} \sim 100\text{ m}$ の間、好ましくは $70 \sim 80\text{ m}$ の間であり得る。したがって、接続部材の長さは $50\text{ m} \sim 100\text{ m}$ の間、好ましくは $70\text{ m} \sim 80\text{ m}$ の間であり得る。

【0019】

縦揺れは横方向軸を中心とする回転運動であるため、（縦揺れによって引き起こされる）風力タービンの高さの達成可能な増加は、浮体式風力タービン構造体の横方向軸と風力タービンの位置との間の距離に比例することが理解されよう。したがって、この距離が大きいほど、達成可能な高さの増加は大きくなる。浮体式風力タービン構造体の重心と風力タービンの位置との間の距離は、柱の間隔、ひいては接続部材の長さによって影響を受ける可能性がある。したがって、接続部材を長くすれば、風力タービンの達成可能な高さの増加をより大きくすることができ、したがって発電量をより大きく増加させることができる。

30

【0020】

各柱は円形断面を有してもよく、すなわち円柱として形成されてもよいし、多角形断面を有していてもよい。すなわち、各柱は、多辺形（例えば、三角形、正方形、台形、五角形、その他）の柱として形成されてもよい。

40

【0021】

柱は $10\text{ m} \sim 20\text{ m}$ の間、好ましくは $14\text{ m} \sim 16\text{ m}$ の間の直径を有し得る。

【0022】

柱の1つ又は複数或いはそれぞれが、空気及び／又はバラストを貯蔵するためのバラストタンクを含む又は画定することができる。水などのバラストは、バラストタンクの1つ又は複数の内に保持することができる。例えば、バラストは、浮体式風力タービン構造体が、風力タービンに風が作用していないときに（すなわち、無風状態において）、 0° 又は実質的に 0° （すなわち、 $\pm 5^{\circ}$ 以内）の横傾斜角を維持するように、バラストタンクの間で分散させることができる。これを達成するために、風力タービンが支持されている

50

バラストタンク内のバラストの質量は、他の柱のバラストタンク内のバラストの質量よりも少なくすることができる。

【0023】

半潜水型プラットフォームは、複数の柱のうちの2本の柱、例えば隣接する2本の柱の間に延びる1つ又は複数のポンツーンを含み得る。各柱は、ポンツーンを介して隣接する柱に接続されてもよい。ポンツーンは中空であってもよく、空気及び／又はバラストを保持するためのバラストタンクを画定してもよい。浮体式風力タービン設備の動作中、ポンツーンは喫水線より下に位置することがある。ポンツーンは、使用中の浮体式風力タービン構造体の動きを減衰させる働きをすることができ、また浮体式風力タービン構造体の設置中に必要な浮力を提供するために使用することもできる。

10

【0024】

半潜水型プラットフォームは、受動的バラストを採用することができる、すなわち、各柱及び／又はポンツーン内のバラストは、動作中一定に保たれ得る。代替的に、半潜水型プラットフォームは、使用中に、（例えば柱及び／又はポンツーンの）バラストタンクの1つ又は複数内に保持されるバラストの量及び質量を変更するための能動的バラストシステムを含み得る。能動的バラストシステムは、液体バラスト（例えば、水）を（例えば、柱及び／又はポンツーンの）バラストタンク内及び／又はバラストタンク外にポンピングするための1つ又は複数のポンプを含み得る。

【0025】

バラストは、風力タービンが定格風速で動作しているときに、浮体式風力タービン構造体の平均ピッチ角が 6° ～ 14° になるように、柱のバラストタンク及び／又はポンツーンのバラストタンク間で分配されることができる。

20

【0026】

風力タービンが半潜水型プラットフォームに取り付けられている場合（及び任意選択的にプラットフォームにバラストが搭載されている場合）、柱は喫水線から最大20m延びることがある。

【0027】

風力タービンは、タワーと、タワーの上端に取り付けられた、好ましくは水平軸を中心に回転するロータとを含み得る。タワーは、少なくとも75m、好ましくは100m超、より好ましくは130m超の長さ（すなわち高さ）を有し得る。タワーは、半潜水型浮体式プラットフォームの柱のうちの1本に取り付けることができる。

30

【0028】

ロータは、ハブと、ハブに取り付けられた複数の、好ましくは3つのブレードとを含み得る。

【0029】

風力タービンは、好ましくは水平軸風力タービンであり、すなわち、ロータは、使用時に、実質的に水平な軸を中心に回転するように配置される。

【0030】

浮体式風力タービン構造体が、卓越風によって浮体式構造体に付与される信頼力の結果として縦揺れするとき、風力タービンのロータは、水面上のより高い位置に位置決めされ、したがって、より低い高度の風よりも高い平均風速を典型的に有する風と相互作用することが理解されよう。その結果、風力タービンのパワー出力が増加し得る。

40

【0031】

ブレードの長さは、少なくとも75m、好ましくは100m以上、より好ましくは130m以上であり得る。

【0032】

タービンは、タワーの上端に取り付けられたナセルを含み得る。ロータは、例えばハブを介してナセルに取り付けられ、ナセルに対して回転するように配置され得る。

【0033】

ナセルは、タワーの長手方向軸を中心としたタワーに対するナセルの回転を可能にする

50

ように、タワーに対して回転可能に取り付けられていることが好ましい。このようにすることで、ロータを対向風に向かって偏揺れさせることができる。

【0034】

タービンは、ロータの回転によって電力を発生させるために、ロータに結合された発電機を含み得る。発電機はナセル内に搭載することができる。

【0035】

風力タービンの定格パワー出力は、10 MW超、好ましくは15 MW超、最も好ましくは20 MW超であり得る。風力タービンの定格パワー出力は15 MW～23 MWの間であり得る。

【0036】

係留システムは、浮体式風力タービン構造体に直接的又は間接的に接続された複数（例えば3本以上）の係留索を含み得る。浮体式風力タービン設備を水域の水底に繋ぐために、各係留索は、一端（すなわちアンカー端）で水域の水底に固定され、他端（すなわち接続端）で浮体式風力タービン構造体に接続され得る。

【0037】

係留索の長さは、浮体式風力タービン設備の場所と水深に依存する。しかしながら、典型的には、係留索は800 m～900 mの間の長さを有し得る。

【0038】

係留索の1本又は複数或いはそれぞれは、アンカーチェーンによって水域の水底に固定されてもよい。アンカーチェーンの一端は係留索のアンカー端に接続され、アンカーチェーンの他端は水域の水底に固定されてもよい。アンカーチェーンの長さは、20 m～40 mの間であってもよい。

【0039】

係留索の1本又は複数或いはそれぞれは、添えロープを介して、又は添えロープを用いて、浮体式風力タービン構造体に接続されてもよい。添えロープは、係留索の端部を浮体式風力タービン設備に接続するための2本以上の添えロープ索を含み得る。各添えロープは、その第1の端部で係留索の一端（すなわち接続端）に接続され、その第2の端部で浮体式風力タービン設備に（例えば半潜水型プラットフォームに）接続されてもよい。

【0040】

添えロープの2本以上の添えロープ索は、75 m～125 mの間の長さを有し得る。

【0041】

添えロープの2本以上の添えロープ索は、2つ以上の異なる（離間した）位置又は接続点で浮体式風力タービン設備に接続されてもよい。例えば、添えロープは、単一の係留索を半潜水型プラットフォームの1本より多い（例えば2本以上の）柱に接続してもよい。いくつかの配置では、2本以上の添えロープ索がそれぞれ柱の異なる1本に接続されてもよい。

【0042】

異なる添えロープの2本以上の添えロープ索を、同じ共通の接続点で浮体式風力タービン設備に接続してもよい。

【0043】

係留索は、浮体式風力タービン構造体（例えば半潜水型プラットフォーム）に、喫水線の上方で、又は喫水線の下方、例えば半潜水型プラットフォームの下端で接続されてもよい。

【0044】

浮体式風力タービン構造体に係留索を取り付けるために1つ又は複数の添えロープを使用することは、浮体式構造体のロール及びヨーを安定させるのに一役買う可能性がある。添えロープを設けると、係留索が浮体式プラットフォームに直接接続されている構成（例えば、図1及び2に示されているような構成）と比較して、プレテンションが同じ場合、係留システムのヨー復元剛性が大幅に向上する。これは、ヨー運動の低減に繋がり、また、ヨー運動が低減されるとピッチ運動からの結合が少なくなるため、ロール運動の低減に

10

20

30

40

50

も繋がる可能性がある。係留索が浮体構造体に直接接続されている係留システムでも、係留索のプレテンションを増加させることで、復元ヨー剛性を同様に向上させることができる。しかしながら、これは係留索の荷重を増加させる可能性があり、これが係留索の疲労を増加させ、係留索の寿命を縮める可能性がある。

【0045】

1つの配置において、半潜水型プラットフォームは（例えば三角形リング構成で配置された）3本の柱を含み、係留システムは3本の係留索を含む。3本の係留索の各係留索は、2本の添えロープ索を含むそれぞれの添えロープによって浮体式風力タービン構造体に接続されてもよく、ここで各添えロープ索は、半潜水型プラットフォームの柱のうちの異なる1本に接続される。このようにして、それぞれの係留索は、添えロープを介して2本の柱に接続することができる。半潜水型プラットフォームの柱のそれぞれは、（それぞれの）添えロープ索を介して係留索の2本に（間接的に）接続されてもよい。

10

【0046】

代替的な配置において、半潜水型プラットフォームは（例えば、三角形リング構成で配置された）3本の柱を含み得、ここで風力タービンは柱のうちの1本に取り付けられ、係留システムは4本の係留索を含み得る。各係留索は、浮体式風力タービン構造体に直接接続することができる。4本の係留索のうち2本の係留索は、風力タービンを支持する柱に、例えば同じ接続点で接続することができる。これら2本の係留索はそれぞれ、最大30°卓越風向からオフセットされてもよく、最大60°互いに離されてもよい。すなわち、この一对の係留索は卓越風向を跨いでいてもよく、ここで係留索の一方は時計回り方向に卓越風向から最大30°で配置され、係留索の他方は反時計回り方向に卓越風向から最大30°で配置される。他の2本の係留索は、それぞれ他の柱の異なる1本に接続することができる。したがって、風力タービンを支持する柱は2本の係留索に接続されることができ、3本の柱のうち他の2本の柱がそれぞれの単一の係留索にそれぞれ接続され得る。この配置により、図1に示した配置と比較して、上述した添えロープを使用した場合と同様に、係留システムから向上したヨー復元剛性が得られる可能性がある。しかしながら、添えロープを使用する場合と比較して、この配置はより複雑であり、コストが高くなる可能性が高い。

20

【0047】

上記の配置において、係留システムは、柱に接続された1本又は複数本の追加の係留索を含み得る。他の2本の柱（すなわち、風力タービンを支持していない柱）のうちの1本又は複数本が、追加の係留索のうちの1本又は複数本に（例えば、直接）接続されてもよい。他の2つの柱の両方が、それぞれの追加の係留索（又は複数の追加の係留索）に接続されてもよい。したがって、他の柱の一方又は両方は、2本以上の係留索に接続されてもよい。

30

【0048】

さらに別の配置において、半潜水型プラットフォームは（例えば、三角形リング構成で配置された）3本の柱を含み得、ここで風力タービンは柱のうちの1本に取り付けられ、係留システムは3本の係留索を含み得る。3本の係留索のうち2本は、風力タービンを支持する柱に、例えば同じ接続点で（例えば直接）接続することができる。これら2本の係留索はそれぞれ、最大30°卓越風向からオフセットされてもよく、最大60°互いに離されてもよい。すなわち、この一对の係留索は、卓越風向を跨いでいてもよく、ここで係留索の一方は、時計回り方向に卓越風向から最大30°で配置され、係留索の他方は反時計回り方向に卓越風向から最大30°で配置される。3本の係留索のうちの他の係留索は、3本の柱のうちの他の2本の柱の両方に添えロープを介して又は添えロープを用いて接続することができる。3本の係留索のうちの他の係留索は、2本の添えロープ索を含む添えロープによって浮体式風力タービン構造体に接続することができる。各添えロープ索は、半潜水型プラットフォームの他の2本の柱（すなわち、風力タービンを支持していない柱）のうちの異なる1本に接続することができる。このようにして、3本の係留索のうちの他の係留索を、添えロープを介して他の2本の柱に接続することができる。この配置は

40

50

、上述した配置と同様に、図 1 に示した配置と比較して、係留システムから向上したヨー復元剛性を提供することが判明している。

【0049】

係留索は、浮体式風力タービン構造体の周囲に等間隔に配置することができる。例えば、それら係留索は、浮体式風力タービン構造体の周りに 120° の角度で離間して配置することができる。

【0050】

係留システムは非対称であってもよい。これは、係留システムが、水平面で見たとときに垂直軸（例えば、係留システムの中心点を通る）の周りで回転非対称であることを意味する。これは、異なる長さの添えロープを用いて浮体式風力タービン設備に接続される係留索を有することによって達成することができる。例えば、係留システムは、第 1 の長さを有する添えロープによって浮体式風力タービン設備に接続される 2 本の係留索と、第 1 の長さよりも短い第 2 の長さを有する添えロープによって浮体式風力タービン設備に接続される第 3 の係留索とを含み得る。2 本の係留索は、風力タービンが支持されている半潜水型プラットフォームの柱に（それぞれの添えロープの少なくとも 1 本の添えロープ索によって）接続されてもよい。第 3 の係留索は、風力タービンが取り付けられている柱に接続されていなくてもよい。

【0051】

対称係留システムと比較して、非対称係留システムは、風が卓越方向に吹いているときに浮体式風力タービン構造体の支持を改善することによって、より安定したシステムを提供することができる。これは、浮体式風力タービン設備の望ましくない動きを防止し、また浮体式風力タービン設備と係留システムに望ましくない大きな荷重がかかるのを防ぐのに役立つことができる。

【0052】

係留索（及び添えロープがある場合は添えロープ）の 1 本又は複数本或いは全部をカタナリーとして配置してもよい。したがって、係留索はカタナリー係留索であってもよい。

【0053】

添えロープ索及び係留索は、チェーン、ワイヤ（例えば、鋼線）又は繊維ロープ（例えば、ポリエステルロープ）或いはそれらの組み合わせなど、任意の適切な材料で作られてもよい。添えロープ索及び係留索は、同じ材料で作られてもよいし、異なる材料で作られてもよい。

【0054】

添えロープ索は、真空爆発溶接されたトランジションジョイントなどのジョイントで係留索に接続することができる。

【0055】

係留索及び／又は添えロープ索は、フェアリードなどのコネクタを用いて浮体式風力タービン設備に接続することができる。

【0056】

係留索の 1 本又は複数本或いは全部を、クランプウェイト（*clump weight*）及び／又はブイに接続してもよい。クランプウェイト及び／又はブイは、係留索にそのアンカー端とその接続端との間で接続することができる。これにより、係留索にさらなる張力が与えられる。

【0057】

浮体式風力タービン設備は、好ましくは沖合、すなわち海上に設置される。したがって、浮体式風力タービン設備は、係留システムによって海底に繋がれる可能性がある。しかしながら、浮体式風力タービン設備は、他の適切な水域、例えば湖、川等に設置されてもよい。

【0058】

本発明の別の態様によれば、非対称浮体式風力タービン構造体を水域内に係留する方法であって、浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けら

10

20

30

40

50

れた風力タービンを含み、方法は、浮体式風力タービン構造体が係留システムによって所定の位置に保持されるように係留システムを用いて浮体式風力タービン構造体を水域の水底に繋ぐことを含み、ここで風力タービンは浮体式風力タービン構造体の位置における卓越風の方角において浮体式風力タービン構造体の質量中心の風上側に位置決めされている方法が提供される。

【0059】

別の見方をすれば、本発明は、非対称浮体式風力タービン構造体を水域内に係留する方法であって、浮体式風力タービン構造体は、半潜水型浮体式プラットフォームに取り付けられた風力タービンを含み、方法は、浮体式風力タービン構造体の位置において風が卓越風の方角において風力タービン構造体に接近するときに、風力タービンが浮体式風力タービン構造体の質量中心の風上側に位置決めされるように、係留システムを用いて浮体式風力タービン構造体を水域の水底に繋ぐことを含む方法を提供するものとして考えることができる。

【0060】

このような方法において、浮体式風力タービン構造体及び／又は係留システムは、上に記載したようなものであってよく、それらの好ましい特徴又は任意選択の特徴のうちの1つ又は複数或いは全てを包含してもよい。したがって、浮体式風力タービン構造体及び係留システムは、その任意選択の特徴のいずれかを備えた上に記載したような浮体式風力タービン設備を形成し得る。

【0061】

次に、本発明の特定の好ましい実施形態を、単に例として、添付図面を参照しながらより詳細に記載する。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】 既知の向きの浮体式風力タービン設備の概略平面図である。

【図2】 代替の浮体式風力タービン設備の概略平面図である。

【図3】 別の浮体式風力タービン設備の概略平面図である。

【図4】 別の浮体式風力タービン設備の概略平面図である。

【図5】 さらに別の浮体式風力タービン設備の概略平面図である。

【図6】 卓越風の方角に対して角度を付けて配置された図3の風力タービン設備の概略平面図である。

【図7】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のナセルの水面からの平均高さを風速の関数として示すグラフである。

【図8】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のナセルの実際の高さにおける平均風速を、無風状態におけるナセルの高さにおける平均風速の関数として示すグラフである。

【図9】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のナセルの実際の高さにおける利用可能な風エネルギーを、無風状態におけるナセルの高さにおける平均風速の関数として示すグラフである。

【図10A】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備の発電を平均風速の関数として示すグラフである。

【図10B】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備の発電を平均風速の関数として示すグラフである。

【図10C】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備の発電を平均風速の関数として示すグラフである。

【図11A】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のロール運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図11B】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のロール運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図11C】 異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のロール運動応答を

10

20

30

40

50

平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 2 A】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のヨー運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 2 B】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のヨー運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 2 C】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のヨー運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 3 A】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のピッチ運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 3 B】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のピッチ運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 3 C】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のピッチ運動応答を平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 4 A】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のタワー底部曲げモーメントを平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 4 B】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のタワー底部曲げモーメントを平均風速の関数として示すグラフである。

【図 1 4 C】異なる方向から接近する風について、風力タービン設備のタワー底部曲げモーメントを平均風速の関数として示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0063】

図 1 の既知の風力タービン設備については前述した。図 2 は、海底に固定された 3 本の係留索 1 2 a、1 2 b、1 2 c によって定位置に保持される非対称浮体式風力タービン構造体 1 1 を含む提案された浮体式風力タービン設備 1 0 の概略平面図である。浮体式風力タービン構造体 1 1 は、3 本の接続部材 1 5 によって三角形リング構成に連結された 3 本の柱 1 3、1 4 で形成された半潜水型浮体式プラットフォームを包含する。柱 1 3 のうち 2 本は空であり（すなわち風力タービンを支持しない）、一方第 3 の柱 1 4 は風力タービン 1 6 を支持する。風力タービン 1 6 は従来の水平軸風力タービンであり、ナセルを支持するタワーを包含する。ナセルは発電機を収容し、複数の、例えば 3 枚のロータブレードを含むロータを支持する。タワーは、半潜水型プラットフォームによって実質的に直立した向きで支持される。

【0064】

各係留索 1 2 a、1 2 b、1 2 c は、浮体式風力タービン構造体 1 1（具体的には浮体式風力タービン構造体 1 1 の柱 1 3、1 4）に直接接続されている。

【0065】

柱 1 3、1 4 は、空気及び水などのバラストを収容するためのバラストタンクを含む。バラストは、無風状態においてほぼ 0° のヒール角を達成するために、柱 1 3、1 4 に追加及び／又は柱 1 3、1 4 から除去することができる。これを達成するために、風力タービン 1 6 を支持する柱 1 4 は、主に空気で満たされることがある。浮体式風力タービン構造体 1 1 は、バラストタンクへの液体バラスト（例えば海水）の追加及び／又はバラストタンクからの液体バラストの除去を行うための 1 つ又は複数のポンプを包含することがある。

【0066】

図 1 と同様に、浮体式風力タービン設備 1 0 の位置における卓越風は、図 2 に示すように正の x 軸に沿って伝播する。浮体式風力タービン構造体 1 1 は、風力タービン 1 6 が取り付けられた柱 1 4 が卓越風の方角において浮体式風力タービン構造体 1 1 の風上側にあるように向けられる。具体的には、風力タービン 1 6 を支持する柱 1 4 は、風が卓越風の方角（すなわち、図 2 に示す正の x 軸に沿った方向）において風力タービン設備 1 0 に接近するときに、浮体式風力タービン構造体 1 1 の質量中心 C_m の風上側にあるように位置決めされる。係留索 1 2 a、1 2 b、1 2 c は、浮体式風力タービン構造体 1 1 の偏揺れ

に対する抵抗を提供し、それにより風力タービン16を卓越風の方角において風力タービン構造体11の風上側に維持する。浮体式風力タービン構造体11が（例えば、風力、潮流及び／又は波が風力タービン構造体11に及ぼす影響による）（比較的小さな）ヨー運動を経験する可能性がある一方で、係留索12a、12b、12cは、風力タービン構造体11を（実質的に）所望の向きに維持するように作用する。

【0067】

上述したように、浮体式風力タービン構造体11に作用する風の推力は、浮体式風力タービン構造体11を、その質量中心 C_m を通る横方向軸（すなわち、横から横への軸）を中心に縦方向に揺らす。図2に示す向きでは、卓越風の方角に作用する風の推力による浮体式風力タービン構造体11のピッチ運動によって、質量中心 C_m の風下側に位置する柱13が水中に低く沈み、質量中心 C_m の風上側に位置する柱14（風力タービン16を支持する）が水中で高く浮くことになる。その結果、水面より上の風力タービン16（及び風力タービン16のロータ）の平均高さが上昇し、風力タービン16のロータがより高い高度で風と相互作用するようになる。この平均高さの上昇は、風力タービン16によるパワー出力の増加に繋がる可能性がある。これは、風の速度（及びその運動エネルギー）は典型的に高度が高いほど大きくなり、つまり風力タービン16によって風からより多くのエネルギーを抽出して電力に変換できるからである。

【0068】

図2に示す浮体式風力タービン設備10は、発電量の増加の点で利点がある一方で、望ましくない運動特性と、係留索12a～c及び浮体式風力タービン設備10の他の構成要素への負荷の増加に悩まされる可能性がある。

【0069】

風が卓越風向（すなわち図2の正のx軸）に沿って浮体式風力タービン構造体11に接近するとき、構造体11に作用する風力によってヨー運動が発生することはない。したがって、図2に示す配置は、風が卓越風向に沿って接近するときに平衡位置に向けられる。しかしながら、これは不安定な平衡位置である。上述した風見効果により、風が卓越風の方角から離れて浮体式風力タービン構造体11に接近するとき、ヨーモーメントが発生し、風力タービン16を支持する柱14が設備の風下側に位置決めされる向きに向かって構造体11を強制的に偏揺れにさせる。風の推力と浮体構造体11の質量中心 C_m との間のモーメントアームが大きいと、卓越風向から離れた風向の小さな変化でさえ、比較的大きなヨーモーメントをもたらす（例えば、図1に示す浮体式風力タービン設備において発生する典型的なヨーモーメントと比較して）。

【0070】

さらに、風は、卓越風向に沿って、又は卓越風向に近接して接近するのが最も一般的であるため、風は、通常、単一の係留索12cの上方で浮体式風力タービン構造体11に接近する。この場合、係留システムの復元ヨー剛性は最低となり、係留システムは風見ヨー運動に対する対抗が弱まる。

【0071】

また、風が単一の係留索（例えば、係留索12c）を介して風力タービン構造体11に接近する場合、荷重のかなりの部分はその係留索にかかるが、風が隣接する2本の係留索の間で接近する場合、荷重は2本の係留索の間に分散される。したがって、隣接する2本の係留索の間で風が接近した場合、各係留索にかかる荷重は小さくなる。その結果、風が単一の係留索を介して接近する場合、その係留索はより大きな荷重を受け、疲労が増加する。これにより、係留索の寿命が短くなる可能性がある。

【0072】

これらの問題を少なくとも部分的に軽減するように設計された代替の風力タービン設備20を図3に示す。

【0073】

図3の浮体式風力タービン設備20は、図2に関して上述したものと主に同じである浮体式風力タービン構造体11を包含している。これは、3本の接続部材15によって三角

10

20

30

40

50

形リング構成において連結された3本の柱13、14で形成された半潜水型浮体式プラットフォームを包含し、風力タービン16は柱の1つ14によって支持されている。図2の浮体式風力タービン設備10と同様に、浮体式風力タービン設備20は、風が卓越風の方
向（すなわち、図3に示す正のx軸に沿った方向）において風力タービン設備20に接近
するときに、風力タービン16を支持する柱14が浮体式風力タービン構造体11の質量
中心 C_m の風上側に位置決めされるように向けられる。

【0074】

図3において、浮体式風力タービン構造体11は、3本の係留索21a、21b、21cと3つの添えロープ22を含む係留システムによって所定の位置に保持されている。係留索21a、21b、21cのそれぞれは、それぞれの添えロープ22を介して浮体式
風力タービン構造体11（具体的には、浮体式風力タービン構造体11の柱13、14）
に接続されている。したがって、係留システムは、それぞれの添えロープ22を介して浮
体式風力タービン構造体にそれぞれ接続される3本の係留索21a～cを含む。

【0075】

上述した配置と同様に、係留索21a、21b、21cは、風力タービン16を卓越風
の方向において風力タービン構造体11の風上側に維持するように、浮体式風力タービン
構造体11の偏揺れに対する抵抗を提供する。

【0076】

各添えロープ22は、2本の添えロープ索22aを含む。各添えロープ22において、
一方の添えロープ索22aは、柱13、14のうちの1つに接続されており、他方の添え
ロープ索22aは、柱13、14のうちの別の1つ（すなわち、異なる柱13、14）に
接続されている。したがって、各係留索21a～cは、添えロープ22を介して2つの異
なる柱13、14に接続されている。

【0077】

係留索21aは、1つの添えロープ索22aを介して風力タービン16を支持する柱1
4に接続され、別の添えロープ索22aを介して空の柱13に接続される。係留索21b
は、1本の添えロープ索22aを介して風力タービン16を支持する柱14に接続され、
別の添えロープ索22aを介して（異なる）空の柱13に接続されている。係留索21c
は、1本の添えロープ索22aを介して空の柱13に接続され、別の添えロープ索22a
を介して（異なる）空の柱13に接続されている。したがって、各柱13、14は、それ
ぞれの添えロープ索22aを介して2本の係留索21a～cに接続されている。

【0078】

添えロープの存在は、図2に示した係留システムと比較してより好ましい運動特性を風
力タービン設備20に付与する。

【0079】

添えロープ22を介して係留索21a～cを浮体式風力タービン構造体11に接続する
ことにより、所与のプレテンションに対して、係留システムのヨー復元剛性は、図1及び
2に示す係留システムと比較して大幅に向上する。さらに、係留索21a～cの向きによ
り、係留システムのヨー復元剛性は、風が卓越風向に沿って（すなわち正のx軸に沿って
）浮体式風力タービン構造体11に接近するときに最大となる。上述したように、係留シ
ステムの復元ヨー剛性は、風が2つの隣接する係留索の間で接近するときに最大となり、
これは、図3に示される設備20では、風が卓越風向に沿って接近するときに発生する。

【0080】

図3に示す浮体式風力タービン設備20は、風力タービン16を支持する柱14が浮体
式プラットフォームの風上側にある状態で向けられているため、浮体式風力タービン設備
20は、図2に示す風力タービン設備10と同様に、発電量の増加の恩恵を受ける。卓越
風向に（すなわち、図3に示す正のx軸方向に沿って）吹く風によって浮体式風力ター
ビン構造体11に及ぼされる推力は、浮体式風力タービン構造体11を、その質量中心 C_m
を通る横方向軸を中心として縦揺れにかけると。これにより、設備20の風下側に位置する
柱13は水中により深く沈み、風力タービン16を支持する柱14は水中でより高く上昇

する。その結果、風力タービン 16 のロータは、一般的により高い平均速度を有するより高い高度で風と相互作用するようになり、これにより風力タービン 16 によるパワー出力が増加する。

【0081】

図 4 に別の風力タービン設備 30 を示す。図 4 の浮体式風力タービン設備 30 は、浮体式風力タービン構造体 11 を包含するが、この浮体式風力タービン構造体 11 は、図 2 及び 3 に関して上述したものと主に同じであるため、繰り返しを避けるためにここでは詳述しない。浮体式風力タービン設備 30 は、風力タービン 16 を支持する柱 14 が、卓越風の方

10

【0082】

向において（すなわち、図 4 に示す正の x 軸に沿って）浮体式風力タービン構造体 11 の質量中心 C_m の風上側に位置決めされるように向けられる。

【0083】

係留索 31 a、31 b、31 c、31 d のそれぞれは、浮体式風力タービン構造体 11（具体的には浮体式風力タービン構造体 11 の柱 13、14）に直接、すなわち添えロープなしで接続されている。

20

【0084】

2 本の係留索 31 a、31 b は、風力タービン 16 を支持する柱 14 に直接接続されている。したがって、柱 14 は 2 本の係留索 31 a、31 b に直接接続されている。

【0085】

他の 2 本の係留索 31 c、31 d はそれぞれ空の柱 13 に直接接続されているので、各空の柱 13 は係留索 31 c、31 d のうちの一方に直接接続されている。すなわち、一方の係留索 31 c が空の柱 13 に接続され、別の係留索 31 d が異なる空の柱 13 に接続される。

【0086】

図 4 に示される配置は、図 1 に示される配置と比較して、係留システムから増大したヨ一復元剛性を提供し得る。

30

【0087】

さらに別の風力タービン設備 40 を図 5 に示す。図 5 の浮体式風力タービン設備 40 は、浮体式風力タービン構造体 11 を含むが、この浮体式風力タービン構造体 11 は、図 2 ~ 4 に関して上述したものと主に同じであるため、繰り返しを避けるためにここでは詳述しない。浮体式風力タービン設備 40 は、風力タービン 16 を支持する柱 14 が、卓越風の方

【0088】

向において（すなわち、図 5 に示す正の x 軸に沿って）浮体式風力タービン構造体 11 の質量中心 C_m の風上側に位置決めされるように向けられている。

40

【0089】

係留索 41 a は、添えロープ 42 を介して風力タービン構造体 11 に接続されている。添えロープは、2 本の添えロープ索 42 a を含む。添えロープ索 42 a のそれぞれは、1 本の添えロープ索 42 a が各空の柱 13 に接続されるように、2 つの空の柱 13 のうちの一方に接続される。

【0090】

50

2本のさらなる係留索41b、41cは、風力タービン16を支持する柱14に直接接続されており、その結果、柱14は2本の係留索41b、41cに接続されている。

【0091】

図5の係留システムは、図1に示す配置と比較してヨー剛性を向上させる。

【0092】

図2～5に示す風力タービン設備10、20は、風力タービン16を支持する柱14が、卓越風（すなわち、図に示す正のx軸）の方向において浮体式風力タービン構造体11の質量中心 C_m のちょうど風上にあるように向けられている。すなわち、卓越風向と、風力タービン16の中心及び質量中心 C_m を通る直線との間には 0° の角度 θ が存在する。しかしながら、風力タービン設備20が卓越風の方向から最大 $\pm 60^\circ$ の角度 θ で向けられている場合、すなわち、卓越風向と、風力タービン16の中心及び質量中心 C_m を通る直線との間に最大 $\pm 60^\circ$ の角度 θ が存在する場合、風力タービン16のパワー出力は、より小さいとはいえ有意に増加することが見出されている。図6は、図に示す正のx軸に沿って伝搬する卓越風向から角度 θ で向けられた図3の風力タービン設備20を示している。

10

【0093】

図6に示す向きでは、風力タービンによるパワー出力の増加は、風力タービン16を支持する柱14が浮体式風力タービン構造体11の質量中心 C_m のちょうど風上にある場合（例えば図3に示すような場合）に比べて減少する可能性があるが、最大 $\pm 60^\circ$ の角度 θ で浮体式風力タービン設備10に接近する風は、風力タービン16を支持する柱14をピッチ運動の結果として水中でより高く上昇させるのに十分な推力を依然として提供する可能性がある。これは、上述したように、風力タービンによるパワー出力の増加に繋がる可能性がある。典型的には、風力タービン16の高さがより大きく増加し、したがってパワー出力がより大きく増加するのは、角度 θ がより小さい場合、例えば 45° 又は 30° の場合に達成される。

20

【0094】

上述した添えロープ索22a、42a及び係留索12a～c、21a～c、31a～d、41a～cは、係留チェーン、ワイヤロープ、ポリエステルロープ、その他を包含する様々な材料で作ることができる。添えロープ索22a、42a及び係留索12a～c、21a～c、31a～d、41a～cは、同じ材料で作られてもよいし、異なる材料で作られてもよい。いくつかの浮体式風力タービン設備10、20、30、40では、係留索12a～c、21a～c、31a～d、41a～cは複数のセグメントで形成されていてもよく、これらは異なる材料を含んでいてもよい。

30

【0095】

添えロープ索22a、42a及び係留索12a～c、21a～c、31a～d、41a～cは、同じ又は異なる厚さを有していてもよい。

【0096】

添えロープ索22a、42aは、真空爆発溶接されたトランジションジョイント、例えばTriplate（登録商標）などのジョイントで係留索21a～c、41aに接続することができる。

40

【0097】

添えロープ索22a、42a及び／又は係留索12a～c、21a～c、31a～d、41a～cは、フェアリードなどのコネクタを用いて浮体式風力タービン構造体11（例えば、浮体式風力タービン構造体11の柱13、14）に接続されてもよい。

【0098】

風が 0° の角度 θ で接近するときの図3の浮体式風力タービン設備20の応答と、風が 180° の角度 θ で接近するときの浮体式風力タービン設備20の応答とを比較するためにシミュレーションを実施した。これにより、風力タービン16を支持する柱14が浮体式風力タービン構造体11の風上側に位置決めされる場合（例えば図3に示すような場合）の浮体式風力タービン設備20の応答と、風力タービン16を支持する柱14が浮体式

50

風力タービン構造体 11 の風下側に位置決めされる場合（図 1 に示す既知の向きと同様）の浮体式風力タービン設備 20 の応答との比較が得られることが理解されよう。

【0099】

シミュレーションデータは、喫水線から 18 m 上に延びる 3 本の柱 13、14 と、高さ 138 m のタワー、及びタワーの頂部に位置し、長さ 136 m の 3 枚のブレードを含むロータを有する 23 MW の風力タービン 16 とを有する浮体式風力タービン設備 20 の運動特性をモデル化することによって得られた。この例では、柱 13、14 を接続する接続部材 15 の長さはそれぞれ 77.45 m である。モデル化されたシステムは、それぞれ長さ 100 m の鋼線製の添えロープ索 22a と、それぞれ長さ 855 m のポリエステルロープ製の係留索 21a～c とを有する。長さ 30 m のアンカーチェーンが各係留索の端を海底に接続している。

10

【0100】

シミュレーションでは、波が風と同じ方向から浮体式風力タービン設備 20 に接近すると仮定した。

【0101】

IEC 規格 61400-1:2019 で推奨されている 0.14 の風せん断プロファイル指数 α を用いてベースケースシミュレーション調査を行った。調査により、風が風力タービン設備 20 に 0° の角度 θ で接近する場合には、風が風力タービン設備 20 に 180° の角度 θ で接近する場合に比べて、風力タービン 16 の年間発電量が 1.5% 増加することが分かった。

20

【0102】

0.10 の風せん断プロファイル指数 α を用いて別のシミュレーション調査を実施した。この調査もまた、風が 0° の角度 θ で風力タービン設備 20 に接近する場合、風が 180° の角度 θ で風力タービン設備 20 に接近する場合と比較して、風力タービン 16 の年間発電量が増加することを示した。この場合、年間発電量の増加は 1.1% であった。

【0103】

次に、図 7～14 を参照して、シミュレーション調査からの選択された結果について記載する。

【0104】

図 7 は、無風状態におけるナセルの高さにおける風速と比較した、水面からの風力タービン 16 のナセルのシミュレートされた平均高さを示す。グラフは、 $\theta = 0^\circ$ の場合と $\theta = 180^\circ$ の場合について、風速の増加とともにナセルの平均高さがどのように変化するかを示している。風が 0° の角度 θ で浮体式風力タービン設備 20 に接近する場合、風速が増加するにつれてナセルの平均高さが増加する傾向にあることが分かる。一方、風が 180° の角度 θ で浮体式風力タービンに接近する場合、ナセルの高さは風速が増加するにつれて減少する傾向がある。図 7 は、北海に設置された風力タービンの典型的な定格風速である約 11 m s^{-1} ($\pm 1 \text{ m s}^{-1}$) の風速で、16 m 超の高さの違いが見られることを示している。

30

【0105】

風は異なる高度において異なる速度で伝播する傾向があり、一般的に高度が高いほど速くなる。したがって、ナセルと風力タービン 16 のロータは、水面からの高さに応じて異なる速度の風と相互作用することが理解されよう。図 8 は、無風状態におけるナセルの（公称）高さにおける平均風速と比較した、ナセルの（実際の）高さ（すなわち、風のラスト効果による浮体式風力タービン構造体 11 の平均ピッチ角でナセルが位置する高さ）におけるシミュレートされた平均風速を示す。分かるように、風が 0° の角度 θ で浮体式風力タービン設備 20 に接近するときの実際のナセルの高さにおける平均風速は、風が 180° の角度 θ で浮体式風力タービン設備 20 に接近するときの実際のナセルの高さにおける平均風速よりも一般的に速い。

40

【0106】

風力タービンによって風から抽出できるエネルギー量は、風速の 3 乗に比例する。図 9

50

は、実際のナセル高さにおけるシミュレートされた平均風速の3乗（これは利用可能な風エネルギーに比例する）が、公称ナセル高さにおける平均風速に対してどのように変化するかを示している。分かるように、実際のナセル高さにおける平均風速の3乗、ひいては利用可能な風エネルギーは、風が 0° の角度 θ で浮体式風力タービン設備20に接近する場合、風が 180° の角度 θ で浮体式風力タービン設備20に接近する場合と比較して高くなる。例えば、公称ナセル高さでの平均風速が 10.5 m s^{-1} の場合、利用可能な風エネルギーは、風が 0° の角度 θ で浮体式風力タービン設備20に接近するとき、風が 180° の角度 θ で浮体式風力タービン設備20に接近するときに比べて約6%高いことが分かった。

【0107】

10

風の方向が定格風速 11 m s^{-1} の風力タービンの発電量に及ぼすシミュレートされた影響を図10A～Cに示す。シミュレートされた最大発電量を図10Aに、シミュレートされた平均発電量を図10Bに、シミュレートされた最小発電量を図10Cに示す。図10Bから、浮体式風力タービン設備20に 0° の角度 θ で風が接近する場合の平均発電量は、 180° の角度 θ で接近する場合と比較して、定格風速付近で一貫して大きいことが分かる。

【0108】

図3に示すような係留システムを有する浮体式風力タービン構造体11のシミュレートされたロール運動を図11A～Cに示す。図11Aは、シミュレートされた最大ロール運動を示し、図11Bは、シミュレートされた平均ロール運動を示し、図11Cは、シミュレートされた最小ロール運動を示す。

20

【0109】

同じ浮体式風力タービン構造体11のシミュレートされたヨー運動を図12A～Cに示す。図12Aは、シミュレートされた最大ヨー運動を示し、図12Bは、シミュレートされた平均ヨー運動を示し、図12Cは、シミュレートされた最小ヨー運動を示す。

【0110】

同じ浮体式風力タービン構造体11のシミュレートされたピッチ運動を図13A～Cに示す。図13Aはシミュレーションされた最大ピッチ運動を示し、図13Bはシミュレーションされた平均ピッチ運動を示し、図13Cはシミュレーションされた最小ピッチ運動を示す。

30

【0111】

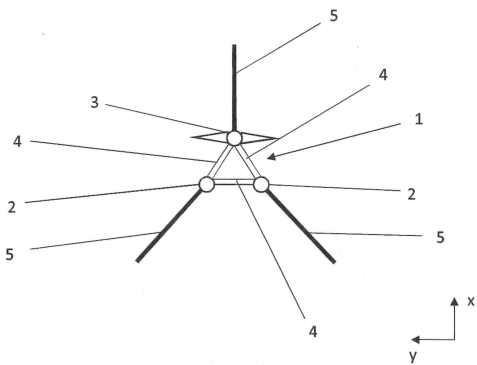
シミュレートされた浮体式風力タービン設備20のタワー底部曲げモーメントを図14A～14Cに示す。図14Aは最大底部曲げモーメント、図14Bは平均底部曲げモーメント、図14Cは最小底部曲げモーメントを示す。

【0112】

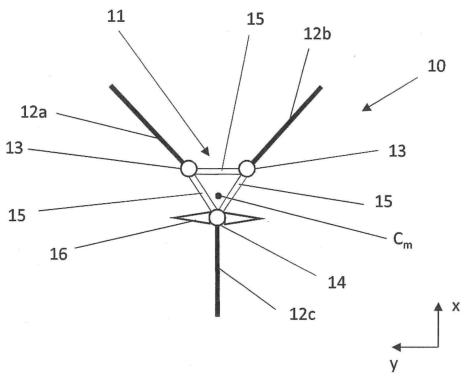
図11～14は、浮体式風力タービン設備20に 0° の角度 θ から風が接近する場合と 180° の角度 θ から風が接近する場合とで、浮体式風力タービン構造体11のロール運動、ヨー運動及びピッチ運動並びに浮体式風力タービン構造体11にかかる荷重が同じオーダーであることを示している。

40

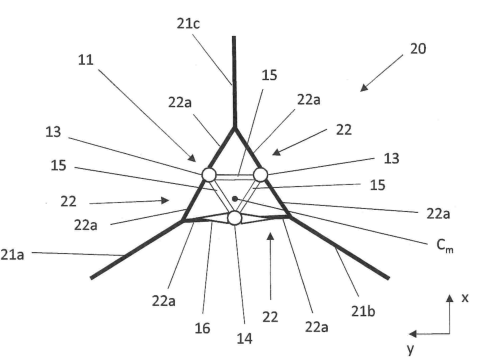
【図面】
【図 1】



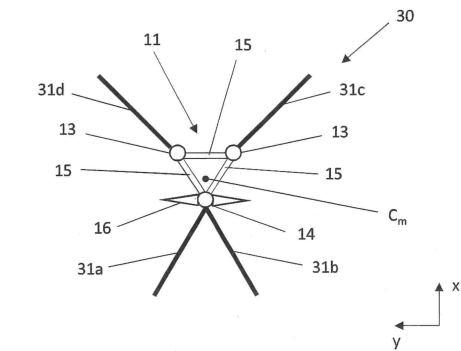
【図 2】



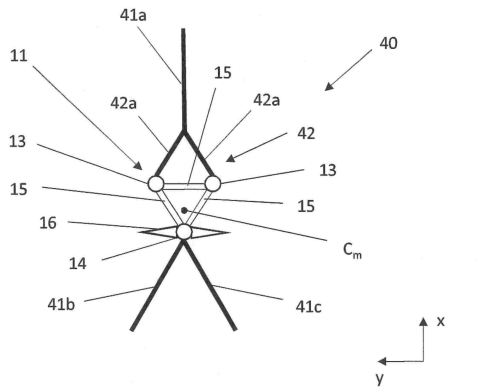
【図 3】



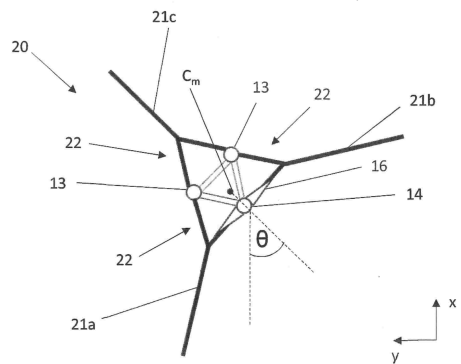
【図 4】



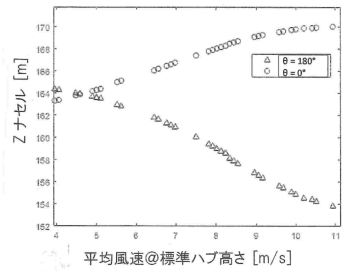
【図 5】



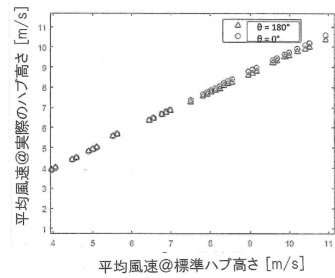
【図 6】



【図 7】

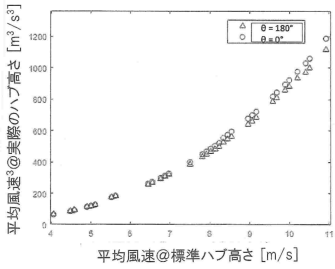


【図 8】

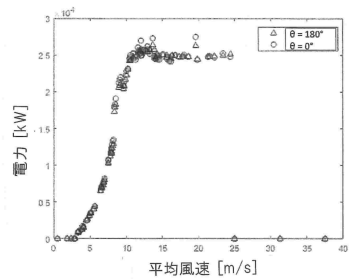


10

【図 9】

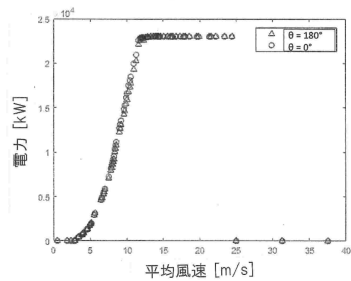


【図 10 A】

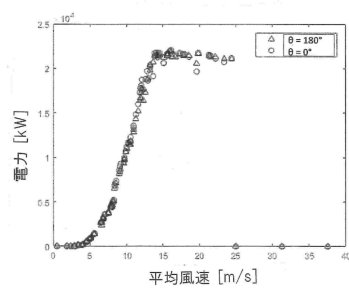


20

【図 10 B】



【図 10 C】

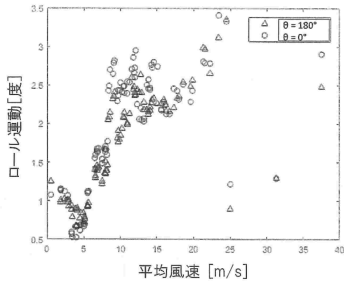


30

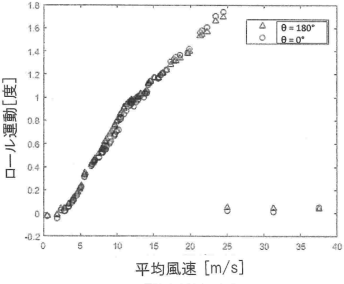
40

50

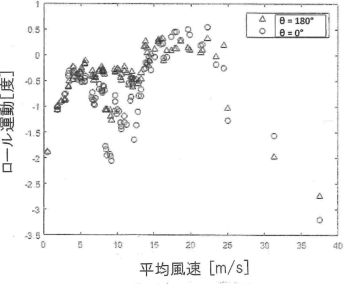
【図 1 1 A】



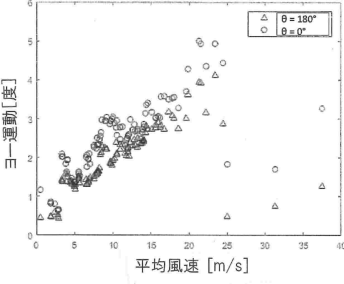
【図 1 1 B】



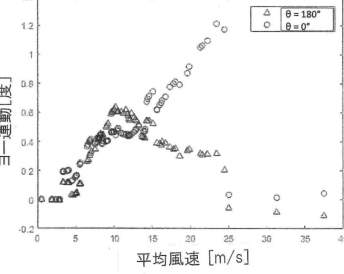
【図 1 1 C】



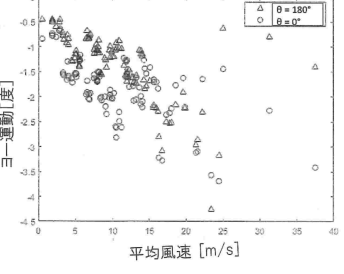
【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



【図 1 2 C】



10

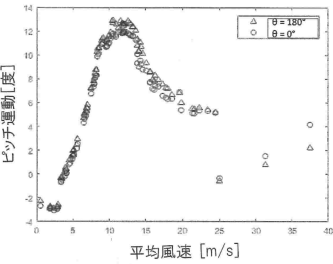
20

30

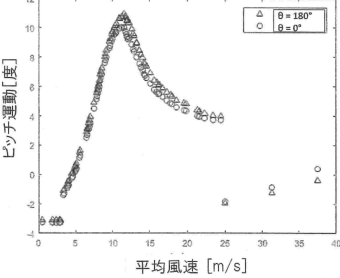
40

50

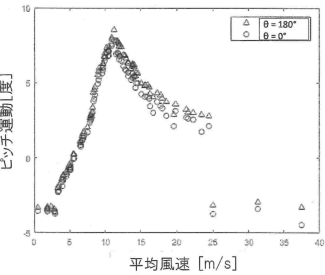
【図 1 3 A】



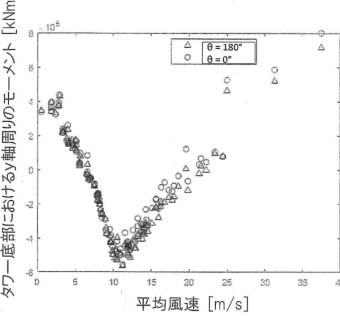
【図 1 3 B】



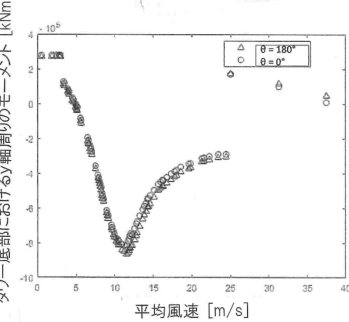
【図 1 3 C】



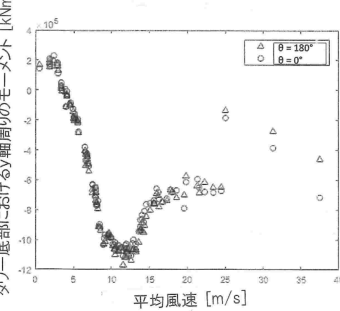
【図 1 4 A】



【図 1 4 B】



【図 1 4 C】



10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/NO2023/050111
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F03D 13/25 (2016.01)i; B63B 21/50 (2006.01)i; B63B 21/20 (2006.01); B63B 35/44 (2006.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F03D; B63B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched DK, FI, NO, SE classes as above Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) epodoc, WPI, full text (GB)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2789847 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 15 October 2014 (2014-10-15) Whole document	1-7, 12, 14, 15, 17-19
X	GB 2597761 A (EQUINOR ENERGY AS) 09 February 2022 (2022-02-09) Whole document	1-5, 8-19
X	CN 113428307 A (CHINA NAT OFFSHORE OIL CORP et al.) 24 September 2021 (2021-09-24) Whole document	1-5, 12, 14, 15, 17-19
X	CN 108715214 A (UNIV CHONGQING) 30 October 2018 (2018-10-30) Whole document	1-5, 12, 14, 15, 17-19
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 June 2023		Date of mailing of the international search report 23 June 2023
Name and mailing address of the ISA/XN Nordic Patent Institute Helgeshoj Allé 81, 2630 Taastrup Denmark Telephone No. +45 43 50 85 00 Facsimile No. +4543508008		Authorized officer Olav Alfred AASEN Telephone No. +47 22 38 73 00

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/NO2023/050111

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
EP	2789847	A1	15 October 2014	WO 2012JP78432	02 November 2012
				CN 20128068094	02 November 2012
				EP 20120855101	02 November 2012
				WO 2012JP78432	02 November 2012
				KR 20147018376	02 November 2012
				KR 20147018376	02 July 2014
GB	2597761	A	09 February 2022	WO 2021NO50172	22 July 2021
				GB 20200012075	04 August 2020
				AU 20210321330	22 July 2021
				WO 2021NO50172	22 July 2021
				BR 20231101976	22 July 2021
				KR 20237007729	22 July 2021
				BR 20231101976	02 February 2023
				KR 20237007729	03 March 2023
CN	113428307	A	24 September 2021	CN 20211794112	14 July 2021
CN	108715214	A	30 October 2018	CN 20181456653	14 May 2018

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2022)

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW
,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL
,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

、セルスパクヴェイエ 5 E

F ターム (参考) 3H178 AA03 AA26 AA43 BB77 CC22 DD61Z DD68Z