

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-505006  
(P2015-505006A)

(43) 公表日 平成27年2月16日(2015.2.16)

(51) Int.Cl.

FO3D 7/04 (2006.01)

F 1

FO3D 7/04

テーマコード(参考)

Z 3H178

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2014-553618 (P2014-553618)  
 (86) (22) 出願日 平成25年1月9日 (2013.1.9)  
 (85) 翻訳文提出日 平成26年9月9日 (2014.9.9)  
 (86) 國際出願番号 PCT/DK2013/050004  
 (87) 國際公開番号 WO2013/110276  
 (87) 國際公開日 平成25年8月1日 (2013.8.1)  
 (31) 優先権主張番号 PA201270038  
 (32) 優先日 平成24年1月23日 (2012.1.23)  
 (33) 優先権主張国 デンマーク(DK)  
 (31) 優先権主張番号 61/651,015  
 (32) 優先日 平成24年7月4日 (2012.7.4)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 314008563  
 エムエイチアイ ヴェスタス オフショア  
 ウィンド エー／エス  
 デンマーク、DK-8200 オーフス  
 エヌ、ドゥーセイガー 4  
 (74) 代理人 100094112  
 弁理士 岡部 譲  
 (74) 代理人 100101498  
 弁理士 越智 隆夫  
 (74) 代理人 100107401  
 弁理士 高橋 誠一郎  
 (74) 代理人 100120064  
 弁理士 松井 孝夫  
 (74) 代理人 100154162  
 弁理士 内田 浩輔

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】浮体式風力タービンの協調制御

## (57) 【要約】

本発明は、風力タービンコントローラー111とプラットフォームコントローラー110との間で浮体式風力タービン101の制御を協調する方法、装置、及びコンピュータープログラム製品に関する。上記浮体式風力タービン101の上記協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び/又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更してもよい。

## 【選択図】図1

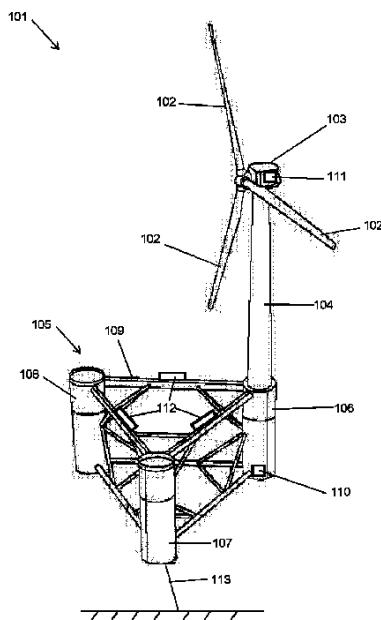


Figure 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記浮体式風力タービンの前記協調制御に基づき、1つ又は複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ又は複数のプラットフォーム制御システムを変更するステップと、を含む方法。

**【請求項 2】**

請求項1に記載の方法であって、前記制御を協調するステップは、

風力タービン及び／又は前記浮体式風力タービンのプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータを前記風力タービンコントローラーと前記プラットフォームコントローラーとの間で受信及び／又は送信するステップを含む方法。 10

**【請求項 3】**

請求項2に記載の方法であって、前記協調制御に基づき風力タービン制御システム及び／又はプラットフォーム制御システムを変更するステップは、

少なくとも前記プラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、前記風力タービン制御システムに対する前記変更を決定するステップ、及び／又は、

少なくとも前記風力タービンに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、前記プラットフォーム制御システムに対する前記変更を決定するステップ、  
を更に含む方法。 20

**【請求項 4】**

請求項1から3のいずれか一項に記載の方法であって、

風速と風向との測定値に対応するデータを前記風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、

前記風速と前記風向とに対応する前記データを前記プラットフォームコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記風速と前記風向とに対応する前記受信したデータに基づき、前記プラットフォームコントローラーによって前記プラットフォームのバラストシステムを変更するステップと、  
を更に含む方法。 30

**【請求項 5】**

請求項4に記載の方法であって、

前記風力タービンコントローラーによって、前記風力タービンが始動予定であることを特定するステップと、

前記風力タービンコントローラーによって、前記風速と前記風向との測定値に対応する前記データを要求するステップと、  
を更に含む方法。

**【請求項 6】**

請求項4又は5に記載の方法であって、前記浮体式風力タービンに作用する前記風速と前記風向とによって生じる前記浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、前記プラットフォームコントローラーによってバラスト配分を決定するステップを更に含む方法。 40

**【請求項 7】**

請求項4から6のいずれか一項に記載の方法であって、

前記バラストシステムの前記変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、前記プラットフォームコントローラーから前記風力タービンコントローラーに知らせるステップを更に含む方法。

**【請求項 8】**

請求項1から7のいずれか1項に記載の方法であって、

ヨー誤差値に対応するデータを前記風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、 50

前記ヨー誤差値に対応する前記データを前記プラットフォームコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記ヨー誤差値に対応する前記受信したデータに基づき、前記プラットフォームコントローラーによって前記プラットフォームのバラストシステムを変更するステップと、  
を更に含む方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、

前記ヨー誤差値に基づき、前記風力タービンが自身のヨー位置を変更するところであることを特定するステップを含む方法。

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 に記載の方法であって、

前記風力タービンが自身のヨー位置を変更することによって生じる前記浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、前記プラットフォームコントローラーによってバラスト配分を決定するステップを更に含む方法。

【請求項 11】

請求項 8 から 10 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記バラストシステムの前記変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、前記プラットフォームコントローラーから前記風力タービンコントローラーに知らせるステップを更に含む方法。

【請求項 12】

請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータを前記プラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、

前記海象状態に対応する前記データを前記風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

少なくとも前記海象状態に対応する前記受信したデータに基づき、前記風力タービンコントローラーによって推力下限を設定するステップと、  
を更に含む方法。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータを前記プラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、

前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記データを前記風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

少なくとも前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記受信したデータに基づき、前記風力タービンコントローラーによって推力下限を設定するステップと、  
を更に含む方法。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の方法であって、前記タービンコントローラーと前記プラットフォームコントローラーとは同じコントローラーである方法。

【請求項 15】

風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーであって、前記風力タービンコントローラーと前記プラットフォームコントローラーとの間で制御が協調される風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーと、

前記協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更するように構成される手段と、  
を備える浮体式風力タービン。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の浮体式風力タービンであって、

前記風力タービンコントローラーと前記プラットフォームコントローラーとは、前記風

10

20

30

40

50

力タービンコントローラーと前記プラットフォームコントローラーとの間でデータを受信及び／又は送信するように構成され、前記データは、風力タービン及び／又は前記浮体式風力タービンのプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示す浮体式風力タービン。

【請求項17】

請求項16に記載の浮体式風力タービンであって、前記協調制御に基づき、前記風力タービン制御システム及び／又は前記プラットフォーム制御システムを変更するように構成される前記手段は、

少なくとも前記プラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、前記風力タービン制御システムに対する前記変更を決定する、及び／又は、

少なくとも前記風力タービンに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、前記プラットフォーム制御システムに対する前記変更を決定する、  
ように更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項18】

請求項15から17のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記風力タービンコントローラーは、風速と風向との測定値に対応するデータを受信するように構成され、

前記風力タービンコントローラーは、前記風速と前記風向とに対応する前記データを前記プラットフォームコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するように更に構成され、

前記プラットフォームコントローラーは、前記風速と前記風向とに対応する前記受信したデータに基づき、前記プラットフォームのバラストシステムを変更するように構成される浮体式風力タービン。

【請求項19】

請求項18に記載の浮体式風力タービンであって、

前記風力タービンコントローラーは、前記風力タービンが始動予定であることを特定するように更に構成され、

前記風力タービンコントローラーは、風速と風向との測定値に対応する前記データを要求するように更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項20】

請求項18又は19に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記浮体式風力タービンに作用する前記風速と前記風向とによって生じる前記浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、バラスト配分を決定するよう更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項21】

請求項18から20のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記バラストシステムの前記変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、前記風力タービンコントローラーに知らせるように更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項22】

請求項15から21のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記風力タービンコントローラーは、ヨー誤差値に対応するデータを受信するように更に構成され、

前記風力タービンコントローラーは、前記ヨー誤差値に対応する前記データを前記プラットフォームコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するよう更に構成され、

前記プラットフォームコントローラーは、前記ヨー誤差値に対応する前記受信したデータに基づき、前記プラットフォームのバラストシステムを変更するように更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項23】

10

20

30

40

50

請求項 2 2 に記載の浮体式風力タービンであって、

前記風力タービンコントローラーは、前記風力タービンが、前記ヨー誤差値に基づき、自身のヨー位置を変更するところであることを特定するように更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項 2 4】

請求項 2 2 又は 2 3 に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記風力タービンが自身のヨー位置を変更することによって生じる前記浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、バラスト配分を決定するよう更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項 2 5】

10

請求項 2 2 から 2 4 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記バラストシステムの前記変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、前記風力タービンコントローラーに知らせるよう更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項 2 6】

20

請求項 1 5 から 2 5 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータを受信するよう更に構成され、

前記プラットフォームコントローラーは、前記海象状態に対応する前記データを前記風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するよう更に構成され、

前記風力タービンコントローラーは、少なくとも前記海象状態に対応する前記受信したデータに基づき、推力下限を設定するよう更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項 2 7】

30

請求項 1 5 から 2 6 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、

前記プラットフォームコントローラーは、前記浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータを受信するよう更に構成され、

前記プラットフォームコントローラーは、前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記データを前記風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するよう更に構成され、

前記風力タービンコントローラーは、少なくとも前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記受信したデータに基づき、推力下限を設定するよう更に構成される浮体式風力タービン。

【請求項 2 8】

請求項 1 5 から 2 7 のいずれか一項に記載の浮体式風力タービンであって、前記タービンコントローラー及び前記プラットフォームコントローラーは同じコントローラーである浮体式風力タービン。

【請求項 2 9】

40

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で浮体式風力タービンの制御を協調し、

前記浮体式風力タービンの前記協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び/又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更する、ためのコンピューター可読実行可能コードを含むコンピュータープログラム製品。

【請求項 3 0】

風速と風向との測定値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、

前記風速と前記風向とに対応する前記データをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記プラットフォームコントローラーによって、前記風速と前記風向とに対応する前記受信したデータに基づき、前記浮体式風力タービンのプラットフォームのバラストシステ

50

ムを変更するステップと、  
を含む方法。

【請求項 3 1】

ヨー誤差値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、

前記ヨー誤差値に対応する前記データをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記プラットフォームコントローラーによって、前記ヨー誤差値に対応する前記受信したデータに基づき、前記浮体式風力タービンのプラットフォームのバластシステムを変更するステップと、

を含む方法。

【請求項 3 2】

浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、

前記海象状態に対応する前記データを風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記風力タービンコントローラーによって、少なくとも前記海象状態に対応する前記受信したデータに基づき、推力下限を設定するステップと、  
を含む方法。

【請求項 3 3】

浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、

前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記データを風力タービンコントローラーに送信することによって、前記浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、

前記風力タービンコントローラーによって、少なくとも前記チルト角と前記ロール角とに対応する前記受信したデータに基づき、推力下限を設定するステップと、  
を含む方法。

【請求項 3 4】

プラットフォームコントローラーとともに浮体式風力タービンの制御を協調するように構成される入出力と、

前記浮体式風力タービンの前記協調制御に基づき、1つ又は複数の風力タービン制御システムを変更するように構成されるプロセッサと、  
を備える風力タービンコントローラー。

【請求項 3 5】

風力タービンコントローラーとともに浮体式風力タービンの制御を協調するように構成される入出力と、

前記浮体式風力タービンの前記協調制御に基づき、1つ又は複数のプラットフォーム制御システムを変更するように構成されるプロセッサと、  
を備えるプラットフォームコントローラー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は浮体式風力タービンの協調制御に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

風力エネルギーを効果的に利用して電力を生成する風力タービンは、従来の電力を生成する方法に対する代替的なエネルギー源としてますます一般的になりつつある。好適な量の電力を生成するために、ウインドファームと呼ばれる大規模な群にしてまとめて風力タービンは併設されることが多い。数十の風力タービンから数百の風力タービンまで、ウインドファームは規模を様々にすることもできる。

10

20

30

40

50

## 【0003】

従来、利用可能な風力エネルギーが一貫した電力生成に用いられるのに好適である陸上の区域にウインドファームは設置されてきた。しかし、更なるウインドファームが建設されるにつれ、一定の電力生成レベルを可能にするのに好適な風の流れがもたらされる（例えば、風の流れが丘陵、森林、建造物等によって影響されない）陸上の好適な利用可能場所は少なくなる。さらに、ウインドファームが数百の風力タービンを備えてもよいが、そのようなウインドファームは、景観において美的好感を与える景色ではない場合があるとともに、動作の際に或るレベルの騒音を生じる場合がある。

## 【0004】

したがって、現在、例えば、海、湖等の洋上にウインドファームを設置する動向がある。このことは、風の流れが通常は遮られることなく、ウインドファームが居住区域から離れている点でいくつかの利点を有する。

10

## 【0005】

現行では、風力タービンは非常に大型かつ重量の大きい構造体であり、したがって安定した基礎を必要とする。このことは、陸上に設置される風力タービンにとっては通常は問題ではないが、洋上に設置される風力タービンにとっては課題を与える。

## 【0006】

浅い水域において、各風力タービンは海底に載置されるか又は海底において基礎を有することもある。しかし、実際的には、タービンを海底に載置することは、例えば、30メートルの水深までの比較的浅い水域においてでしか可能でない。

20

## 【0007】

しかし、30メートルまでの水深は通常は岸に近く、したがって、現行の風力タービンの大きさ及び高さに起因して、風力タービンが威圧的であるとともに水際線の近くで目立つて見える。さらに、大都市の近くに位置する洋上の場所の大半では、海底が100mよりも深い深度に極めて急激に落ち込む。例えば、米国東海岸。

## 【0008】

したがって、はるかにより遠くの洋上で、より深い水域にウインドファームを設置する動向がある。この場合、海底に基礎を実現するのは非実用的かつ高価である。よってこの場合、海底に係留してもよい浮体式プラットフォーム上に風力タービンを設置することが想定される。

30

## 【0009】

いくつかの浮体式プラットフォームの設計及び構想が存在する。そのうちの1つは、1つ又は複数のバラストタンクを備えるプラットフォームであり、バラストタンクは浮体式風力タービンの傾きを制限及び/又は制御することを意図する。風力エネルギーから最適な電力を得るとともに、安全のためにも、風力タービンの転倒、又は浮体式風力タービンの傾斜角に起因する緊急停止の実行を効果的に防止するために、風力タービンタワーを略垂直の位置で垂直線から所定の傾斜角限度内に維持することが可能であることが重要である。

## 【0010】

種々の力が風力タービンに作用しているとき、既存の浮体式風力タービンは浮体式風力タービンの傾斜に逆らうのが遅い。特に、アクティブバラストシステム（バラストが、1つ若しくは複数のバラストタンク間で又はそのバラストタンク内で配分される）を備える浮体式風力タービンは、浮体式風力タービンの傾斜を制御するのに、浮体式風力タービンに作用する力に逆らうようにバラストを再配分するのが遅い。

40

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0011】

本発明は、上述した不都合点及び欠点のうちのいくつか又は全てに、少なくとも部分的に対処することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

50

## 【0012】

本発明の第1の態様によると、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ又は複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ又は複数のプラットフォーム制御システムを変更するステップとを含む方法が提供される。

## 【0013】

したがって、本発明の実施形態は、風力タービンと浮体式風力タービンのプラットフォームとの間での浮体式風力タービンの協調制御を有利に可能とする。浮体式風力タービンの制御を協調することは、浮体式風力タービンの効率性、安全性、及び負荷を有利に改善する。風力タービン制御システムは、例えば、タービンブレードピッチ制御、ヨーシステム制御、可変推力リミッター（VTL：Variable Thrust Limiter）制御等を含んでもよい。プラットフォーム制御システムは、アクティブバラストシステムを含んでもよい。

10

## 【0014】

制御を協調するステップは、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間でデータを受信及び／又は送信するステップを含んでもよい。データは風力タービン及び／又は浮体式風力タービンのプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示す。したがって、浮体式風力タービンの協調制御は、風力タービン及び／又はプラットフォームに影響する因子に関するデータを共有又は通信することを含んでもよい。例えば、風力タービンに影響する場合がある因子は、風速、風向、ヨー位置又はヨー角、タービンブレードのピッチ角等を含んでもよい。プラットフォームに影響する場合がある因子は、例えば、プラットフォームのチルト及びロール、海象状態、バラスト配分、風力タービンの傾斜等を含む。

20

## 【0015】

協調制御に基づき風力タービン制御システム及び／又はプラットフォーム制御システムを変更するステップは、少なくともプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、風力タービン制御システムに対する変更を決定するステップ、及び／又は、少なくとも風力タービンに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、プラットフォーム制御システムに対する変更を決定するステップを更に含んでもよい。したがって、風力タービン制御システムはプラットフォームに関する因子に基づき変更してもよく、その逆も同様である。

30

## 【0016】

本方法は、風速と風向との測定値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、風速と風向とに対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、風速と風向とに対応する受信したデータに基づき、プラットフォームコントローラーによってプラットフォームのバラストシステムを変更するステップとを更に含んでもよい。そのため、風力タービンに作用する風速及び風向に基づき、プラットフォームコントローラーはプラットフォームのバラストシステムを変更してもよい。バラストシステムの変更は、風力タービンが始動する前に、すなわち風力タービンが始動する前に予防的に実行してもよい。それにより、プラットフォームは、始動時に風力タービンに作用する力がプラットフォームのアライメントに逆らうようにバラストシステムを介して位置調整されてもよい。バラストシステムの変更はバラスト配分を計算することにより決定してもよい。

40

## 【0017】

本方法は、風力タービンコントローラーによって、風力タービンが始動予定であることを特定するステップと、風力タービンコントローラーによって、風速と風向との測定値に対応するデータを要求するステップとを更に含んでもよい。

## 【0018】

本方法は、浮体式風力タービンに作用する風速及び風向によって生じる浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、プラットフォームコントローラーによってバラスト配分を決定するステップを更に含んでもよい。

50

## 【0019】

本方法は、バラストシステムの変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、プラットフォームコントローラーから風力タービンコントローラーに知らせるステップを更に含んでもよい。したがって、協調制御は、プラットフォームが風力タービンの始動に對して準備完了状態であることを風力タービンは知らされることを含んでもよい。

## 【0020】

本方法は、ヨー誤差値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、ヨー誤差値に対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、ヨー誤差値に対応する受信したデータに基づき、プラットフォームコントローラーによってプラットフォームのバラストシステムを変更するステップとを更に含んでもよい。

10

## 【0021】

本方法は、ヨー誤差値に基づき、風力タービンが自身のヨー位置を変更するところであることを特定するステップを更に含んでもよい。したがって、バラストシステムの変更は、風力タービンが自身のヨー位置を変更する前に、すなわち風力タービンが自身のヨー位置を変更する前に予防的に実行してもよい。

## 【0022】

本方法は、風力タービンが自身のヨー位置を変更することによって生じる浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、プラットフォームコントローラーによってバラスト配分を決定するステップを更に含んでもよい。実施形態のうちの任意のものにおけるバラスト配分は、ルックアップテーブル、数学的計算、又は任意の他の手法若しくは技法から決定してもよい。

20

## 【0023】

本方法は、バラストシステムの変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、プラットフォームコントローラーから風力タービンコントローラーに知らせるステップを更に含んでもよい。

## 【0024】

本方法は、浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、海象状態に対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、少なくとも海象状態に対応する受信したデータに基づき、風力タービンコントローラーによって推力下限を設定するステップとを更に含んでもよい。そのため、風力タービンは、例えば、波の動き等のプラットフォームに影響する因子に基づき風力タービンの推力限度を変えてよい。

30

## 【0025】

本方法は、浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、チルト角とロール角とに対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、少なくともチルト角とロール角とに対応する受信したデータに基づき、風力タービンコントローラーによって推力下限を設定するステップとを更に含んでもよい。

40

## 【0026】

タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーは同じコントローラーであってもよい。現在、浮体式風力タービンにおいて、風力タービンは風力タービンコントローラーによって独立して制御され、プラットフォームはプラットフォームコントローラーによって独立して制御される。しかし、将来には、単一のコントローラー（又は単一のコントローラー群）が風力タービン全体を制御してもよい。したがって、風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーの機能は単一のコントローラーによって実行してもよく、協調制御の実施形態は単一のコントローラーによって実行してもよい。

50

## 【0027】

実施形態の特徴及び機能は、風力タービンコントローラー、プラットフォームコントローラー、又はそれらの任意の組合せによって実行してもよい。例えば、バラスト配分の決定は、プラットフォームコントローラー若しくは風力タービンコントローラー又は任意の他のコントローラーによって実行してもよい。特徴及び機能が実行される順序は限定的でなく、浮体式風力タービンの協調制御を達成するように任意の順序で実行してもよい。

## 【0028】

本発明の第2の態様によると、風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーであって、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で制御が協調される風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーと、協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更するように構成される手段とを備える浮体式風力タービンが提供される。

10

## 【0029】

本発明の第3の態様によると、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で浮体式風力タービンの制御を協調し、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更するように構成される装置が提供される。装置は浮体式風力タービンとしてもよい。

20

## 【0030】

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとは、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間でデータを受信及び／又は送信するように構成されてもよく、データは、風力タービン及び／又は浮体式風力タービンのプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示す。

## 【0031】

協調制御に基づき、風力タービン制御システム及び／又はプラットフォーム制御システムを変更するように構成される手段は、少なくともプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、風力タービン制御システムに対する変更を決定する、及び／又は、少なくとも風力タービンに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、プラットフォーム制御システムに対する変更を決定するように更に構成されてもよい。当該手段は風力タービンコントローラー及び／又はプラットフォームコントローラーとしてもよい。

30

## 【0032】

風力タービンコントローラーは、風速と風向との測定値に対応するデータを受信するように構成されてもよく、風力タービンコントローラーは、風速と風向とに対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するように更に構成されてもよく、プラットフォームコントローラーは、風速と風向とに対応する受信したデータに基づき、プラットフォームのバラストシステムを変更するように構成されてもよい。

40

## 【0033】

風力タービンコントローラーは、風力タービンが始動予定であることを特定するように更に構成されてもよく、風力タービンコントローラーは、風速と風向との測定値に対応するデータを要求するように更に構成されてもよい。

## 【0034】

プラットフォームコントローラーは、浮体式風力タービンに作用する風速と風向とによって生じる浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、バラスト配分を決定するよう更に構成されてもよい。

## 【0035】

プラットフォームコントローラーは、バラストシステムの変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、風力タービンコントローラーに知らせるように更に構成されて

50

もよい。

【0036】

風力タービンコントローラーは、ヨー誤差値に対応するデータを受信するように更に構成されてもよく、

風力タービンコントローラーは、ヨー誤差値に対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するように更に構成されてもよく、

プラットフォームコントローラーは、ヨー誤差値に対応する受信したデータに基づき、プラットフォームのバラストシステムを変更するように更に構成されてもよい。

【0037】

風力タービンコントローラーは、風力タービンが、ヨー誤差値に基づき、自身のヨー位置を変更するところであることを特定するように更に構成されてもよい。

【0038】

プラットフォームコントローラーは、風力タービンが自身のヨー位置を変更することによって生じる浮体式風力タービンの傾斜に逆らうように、バラスト配分を決定するよう更に構成されてもよい。

【0039】

プラットフォームコントローラーは、バラストシステムの変更が完了したか又は所定の完了閾値内であることを、風力タービンコントローラーに知らせるように更に構成されてもよい。

【0040】

プラットフォームコントローラーは、浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータを受信するように更に構成されてもよく、プラットフォームコントローラーは、海象状態に対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するように更に構成されてもよく、風力タービンコントローラーは、少なくとも海象状態に対応する受信したデータに基づき、推力下限を設定するよう更に構成されてもよい。

【0041】

プラットフォームコントローラーは、浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータを受信するように更に構成されてもよく、プラットフォームコントローラーは、チルト角とロール角とに対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するように更に構成されてもよく、風力タービンコントローラーは、少なくともチルト角とロール角とに対応する受信したデータに基づき、推力下限を設定するよう更に構成されてもよい。

【0042】

タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーは同じコントローラーであってもよい。

【0043】

上記装置、コントローラー、及び／又は浮体式風力タービンは、ソフトウェア、ハードウェア、又はそれらの任意の組合せによって、上記の特徴及び機能のうちの任意のもの又は全てを実施するように構成されてもよい。実施形態の特徴及び機能は、風力タービンコントローラー、プラットフォームコントローラー、又はそれらの任意の組合せによって実行してもよい。例えば、バラスト配分の決定は、プラットフォームコントローラー若しくは風力タービンコントローラー又は任意の他のコントローラーによって実行してもよい。特徴及び機能が実行される順序は限定的でなく、浮体式風力タービンの協調制御を達成するように任意の順序で実行してもよい。

【0044】

本発明の第4の態様によると、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間で浮体式風力タービンの制御を協調し、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び／又は1つ若しくは複数のプ

10

20

30

40

50

ラットフォーム制御システムを変更するためのコンピューター可読実行可能コードを含むコンピュータープログラム製品が提供される。

【0045】

コンピュータープログラム製品は、本発明の態様の特徴及び機能のうちの任意のもの若しくは全てを実施又は実行するコンピューター可読実行可能コードを更に含んでもよい。

【0046】

本発明の第5の態様によると、風速と風向との測定値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、風速と風向とに対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、プラットフォームコントローラーによって、風速と風向とに対応する受信したデータに基づき、浮体式風力タービンのプラットフォームのバластシステムを変更するステップとを含む方法が提供される。

10

【0047】

本発明の第5の態様を実施する装置及びコンピュータープログラム製品が提供されてもよい。

【0048】

本発明の第6の態様によると、ヨー誤差値に対応するデータを風力タービンコントローラーにおいて受信するステップと、ヨー誤差値に対応するデータをプラットフォームコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、プラットフォームコントローラーによって、ヨー誤差値に対応する受信したデータに基づき、浮体式風力タービンのプラットフォームのバластシステムを変更するステップとを含む方法が提供される。

20

【0049】

本発明の第6の態様を実施する装置及びコンピュータープログラム製品が提供されてもよい。

【0050】

本発明の第7の態様によると、浮体式風力タービンに影響する海象状態に関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、海象状態に対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、風力タービンコントローラーによって、少なくとも海象状態に対応する受信したデータに基づき、推力下限を設定するステップとを含む方法が提供される。

30

【0051】

本発明の第7の態様を実施する装置及びコンピュータープログラム製品が提供されてもよい。

【0052】

本発明の第8の態様によると、浮体式風力タービンのチルト角とロール角とに関するデータをプラットフォームコントローラーにおいて受信するステップと、チルト角とロール角とに対応するデータを風力タービンコントローラーに送信することによって、浮体式風力タービンの制御を協調するステップと、風力タービンコントローラーによって、少なくともチルト角とロール角とに対応する受信したデータに基づき、推力下限を設定するステップとを含む方法が提供される。

40

【0053】

本発明の第8の態様を実施する装置及びコンピュータープログラム製品が提供されてもよい。

【0054】

本発明の第9の態様によると、プラットフォームコントローラーとともに浮体式風力タービンの制御を協調するように構成される入出力と、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ又は複数の風力タービン制御システムを変更するように構成されるプロセッサとを備える風力タービンコントローラーが提供される。

50

## 【0055】

本発明の第10の態様によると、風力タービンコントローラーとともに浮体式風力タービンの制御を協調するように構成される入出力と、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ又は複数のプラットフォーム制御システムを変更するように構成されるプロセッサとを備えるプラットフォームコントローラーが提供される。

## 【0056】

これより、単に例として、添付図面を参照しながら、実施形態を記載する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0057】

【図1】本発明の実施形態による浮体式風力タービンのブロック図である。

10

【図2】本発明の実施形態によるフローチャートである。

【図3】本発明の実施形態によるフローチャートである。

【図4】本発明の実施形態によるフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0058】

浮体式風力タービン101が図1に示されている。浮体式風力タービン101は、ナセル103に連結されるタービンブレード102を備える。図1では3つのタービンブレード102が示されているが、タービンブレード102の数は風力タービンの設計によって決まり、1つ又は複数のタービンブレード102を備えてよいことが理解される。また、図1は水平軸型タービンブレード構成を示しているが、代替的に又は加えて、風力タービンは垂直軸型タービンブレード構成を有してもよいことが理解される。さらに、代替的に又は加えて、いわゆるアップウインド型風力タービン設計及び/又はダウンウインド型風力タービン設計を風力タービンの設計が含んでいてもよい。

20

## 【0059】

ナセル103はタワー104に取り付けられる。風の運動エネルギーから電力を生成するために、通常、ナセル103は、浮体式風力タービン101の発電機、ギアボックス、ドライブシャフト、及び他の電気的・機械的装置(図1では非図示)を収容する。代替的に、対応する浮体式プラットフォーム105上にあるタワー104に又は別の場所に必要な電気的・機械的装置を配置してもよいし、又は、必要な電気的・機械的装置の一部を追加的に上記場所に配置してもよいことが理解される。

30

## 【0060】

ナセル103を風上の方向へ正確に位置調整することは最大電力生成につながる。そのため、ナセル103は、1つ又は複数の風力タービンコントローラー111によって制御されることできるピッチ制御システム及びヨー制御システムを収容してもよい。

## 【0061】

タービンブレード102の回転速度を変更するためにタービンブレードのピッチを制御する機構と、ナセル103を風上の方向へ向けるようにヨーシステムを制御する機構とは、当該技術分野において既知であり、詳細には説明しない。

## 【0062】

ナセル103を最適な地点に位置決めすることを可能にするように風速及び風向を求めるために、風力タービンコントローラー111は、例えば、超音波センサ、光検知測距(LiDAR)装置等の風向風速センサから測定値を受信してもよい。風向風速センサは、ナセル103上、ハブ内、タービンブレード上/タービンブレード内、別個のタワー上等に配置され、風力タービンコントローラー111に操作可能に接続される。浮体式風力タービン101の適切なピッチ及びヨーを決定するのに風力タービンコントローラー111は上記測定値を利用してもよい。風力タービンの風速及び風向の検出技法は、当該技術分野において十分に既知であり、そのため詳細には説明しない。

40

## 【0063】

図1において、浮体式プラットフォーム105は3つの支柱106、107、108を備え、タワー104は支柱106に据え付けられている。安定性とコストとのトレードオ

50

フを考慮すれば、浮体式風力タービンに3つの支柱を用いることは最適な数と考えられる。

【0064】

しかし、浮体式プラットフォームの設計は1つ又は複数の支柱を含んでもよく、実施形態は、3つの支柱106、107、108を備える浮体式プラットフォーム105に限定されないことが理解される。また図1において、タワー104は非対称位置において支柱のうちの1つに据え付けられて示されているが、タワー104は、対称位置において、支柱の配置構成の中心にある好適な支持構造体に据え付けてもよいし、同様に、浮体式プラットフォーム105上の任意の他の場所に据え付けてもよいことが理解される。

【0065】

また、浮体式プラットフォーム105は、係留索又は係留ケーブル113によって海底に係留又は固定してもよい。浮体式プラットフォーム105は、浮体式プラットフォーム105が同じ場所に留まるように固定してもよいし、浮体式プラットフォームが、例えば、およそ15メートルまでの自由度を有することができるよう固定してもよい。

【0066】

浮体式プラットフォーム105は、例えば、水捕捉板(water entrapment plates)等の任意の他の安定化設計特徴部を更に備えてもよい。このことは、沖合の深水域に配備されるときに浮体式プラットフォーム105の安定性を増大させることができる。

【0067】

浮体式プラットフォーム105に剛性及び安定性をもたらすように、支柱106、107、108はフレーム109によって相互連結される。

【0068】

実施形態において、浮体式風力タービン101に安定した基礎をもたらすために、浮体式プラットフォーム105はアクティブバラストシステムを備える。風力タービンを略垂直の位置に維持するために、アクティブバラストシステムは支柱間及び/又は支柱内で効果的にバラストを移動させる(支柱は1つ又は複数のバラストタンクを備えてよい)。例えば、重り、ガス等のバラストは支柱のそれぞれ106、107、108の内部で保持し、また変更してもよいし、例えば、水、ガス等のバラストはポンプ機構によって支柱間で移動させてもよい。

【0069】

本発明の実施形態では、アクティブバラストシステムは水バラストシステムを含む。水は、浮体式プラットフォーム105のフレーム109に取り付けられるか又はフレーム109内にある導管又はパイプを介して、3つの支柱間でポンプにより送られる。

【0070】

プラットフォームコントローラー110は、フレーム109に設置される3つの支柱106、107、108のうちの1つに配置してもよいし、浮体式プラットフォーム105に操作可能に接続してもよい。実施形態では水バラストシステムであるアクティブバラストシステムを、浮体式風力タービン101に作用する力に逆らうとともに風力タービンタワー104を略垂直の向きに維持するために、プラットフォームコントローラー110は適量の水バラストを3つの支柱間でポンプにより送るように制御してもよい。浮体式プラットフォーム105は、浮体式風力タービン101のチルト及び/又はロールを測定する1つ又は複数のチルトセンサ及び/又はロールセンサ112を備えてよい。支柱のそれぞれにおける水の量(したがってバラストの量)を調整するために、チルトセンサ及び/又はロールセンサ112からの測定値に基づき、プラットフォームコントローラー110は支柱間で水バラストを移動させるようにポンプを作動させる。支柱のそれぞれ106、107、108は、支柱のそれぞれにおける水の量を測定して測定値情報をプラットフォームコントローラー110に通信するセンサを有してもよい。

【0071】

浮体式風力タービン101に作用する力に逆らうように浮体式風力タービン101のバラストを変更するために、相当量の水バラストが支柱106、107、108間で移動さ

10

20

30

40

50

れる必要がある。柱間で移動又はポンプにより送られる水バラストの量に起因して、アクティブバラストシステムの応答時間は非常に遅く、要求される水バラストを移動させて浮体式風力タービン101に作用する力を打ち消すのに30分にまで至る。

【0072】

実施形態において、アクティブバラストシステムは閉ループシステムである。ここで、水バラストは周囲の海水から隔離される。閉ループシステムは、浮体式プラットフォームに水が溢れる(flooding)のを防止するのに役立つ。浮体式プラットフォームに水が溢れることは、プラットフォームの沈没につながる場合がある。しかし、本発明の実施形態は閉ループバラストシステムに限定されないことが理解される。

【0073】

現在、タービンコントローラー111とプラットフォームコントローラー110とは互いから独立している。タービンコントローラー111とプラットフォームコントローラー110とは、浮体式風力タービン101の自身に属する項目を制御する。この2つのシステムが唯一関わり合うのは、アクティブバラストシステムが停止する場合においてであり、この場合においては、タービンも停止させるように浮体式風力タービンの安全システムが発動され、タービンの稼動使用による力が浮体式風力タービンに対し許容安全裕度を越えて傾斜させないことを確実にする。

【0074】

上述したように、プラットフォームの傾斜を略ゼロに調節して浮体式風力タービンを略垂直の位置に維持するために、プラットフォームコントローラー110はプラットフォームのあらゆる場所でバラストを移動させる。浮体式風力タービンに作用して浮体式風力タービンを垂直位置から逸らして傾けるか又は傾斜させる現時の力に逆らうのに適切なバラスト移動量を決定するために、プラットフォームコントローラーは浮体式プラットフォームに取り付けられるチルトセンサ及びロールセンサから測定値を受信する。

【0075】

こうして、バラストは浮体式風力タービンに効果的に釣合重りを与えていた。したがって、支柱におけるバラスト配分を変更することによって、浮体式風力タービンに作用する風の力及び海水の力に逆らうように風力タービンタワーの傾斜角を制御することができる。

【0076】

浮体式風力タービンの効率性及び効果性を増大させるために、本発明の実施形態は、風力タービンと浮体式プラットフォームとの協調制御に向けた種々の手法を表す。

【0077】

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとは、浮体式風力タービンの制御を協調し、浮体式風力タービンの協調制御に基づき、1つ若しくは複数の風力タービン制御システム及び/又は1つ若しくは複数のプラットフォーム制御システムを変更する。これはいくつかの利点を有する。利点としては、電力生成に最適な位置をより長く維持することができ、風力タービンにかかる負荷を減少させることができることが挙げられる。

【0078】

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとは、風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間でデータを受信及び/又は送信(例えば、通信)することによって、制御を協調してもよい。このデータは、風力タービン及び/又はこの浮体式風力タービンのプラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示す。協調制御は、少なくとも上記プラットフォームに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、風力タービン制御システムに対する変更を更に決定し、及び/又は、少なくとも上記風力タービンに関する1つ又は複数の因子を示すデータに基づき、プラットフォーム制御システムに対する変更を決定してもよい。その結果、浮体式風力タービンの種々のシステムの制御がプラットフォームと風力タービンとの間で協調される。

【0079】

10

20

30

40

50

風力タービンが「始動」してタービンブレードが回転し始めるとき、タービンブレードが始動時には風上の方向へ向いていると仮定すると、大きな力及びモーメントが浮体式風力タービンに作用し、これにより浮体式風力タービンを風向から逸れて傾くか又は傾斜する。通常、タービンブレードの方向への風速が毎秒およそ3メートルを超えるときに風力タービンは動作を開始する。

【0080】

アクティブバラスト制御を伴う既存の浮体式風力タービンでは、バラストの配分を変更するための応答時間が遅い。そのため、風力タービンが始動するとき、応答時間の間に風力タービンが大きな推力を被り、アクティブバラストシステムは始動時の力に迅速に逆らうことが可能でない。これは浮体式風力タービンの大きな傾斜につながる可能性があり、この大きな傾斜が所定の最大安全傾斜を超える場合、浮体式風力タービンの緊急安全停止を引き起こす場合がある。

10

【0081】

実施形態において、風力タービン、特に風力タービンコントローラーは、風力タービンが始動するかもしれない時点を認識している。風力タービンコントローラーは、自動的に始動するために風速が最低風速に達したことを検出するか、及び／又は、操作者、他の風力タービン又は任意の他のシステムから始動命令若しくは始動コマンドを受信してもよい。

【0082】

これより、フローチャート201を示す図2を参照しながら、浮体式風力タービンの始動に関して協調制御の一例を記載する。

20

【0083】

電力を生成するために、風力タービンを始動させ、ひいてはタービンブレードを回転させる前に、タービンコントローラーが風速及び風向の見積値を求める(202)。

【0084】

タービンコントローラーは、風力タービンに取り付けられるセンサ(例えば、LiDAR装置)から風速及び風向の測定値又は見積値を受信してもよい。加えて又は代替的に、タービンコントローラーは、他の風力タービン、別個の検知手段等に取り付けられるセンサから風速及び風向の測定値／見積値を受信してもよい。センサ／検知手段はタービンコントローラーに操作可能に接続される。

30

【0085】

ステップ203において、少なくともステップ202において求められた風速の見積値に基づき、タービンコントローラーが浮体式プラットフォームに要求される復原モーメントを求める。この例では、浮体式プラットフォームの復原モーメントは、ルックアップテーブルによって求めることができる。ルックアップテーブルは、例えば、表1のものである。

【表1】

風速 (m s <sup>-1</sup> )	モーメント (MNm)
10	30
12	35
14	25
16	20

40

【0086】

上記のテーブルは単に例であって限定的ではなく、このテーブルに載っている値も、必ずしも実際の値又は正確な値ではない。復原モーメントは、例えば、数学的計算、履歴ログ等の多くの様々な方法及び手法によって求めてもよいことが理解される。

50

## 【0087】

ステップ204において、浮体式風力タービンの制御を協調するために風力タービンコントローラーはプラットフォームコントローラーと通信する。この例では、風力タービンコントローラーは復原モーメント及び見積られた風向をプラットフォームコントローラーに送信する。

## 【0088】

ステップ205において、少なくともステップ203において求められた復原モーメント及びステップ202においてコントローラーによって求められた風向の見積値に基づき、プラットフォームコントローラーはアクティブバラストシステムにおける概算のバラスト配分を計算する。代替的に、ステップ203において特定された復原モーメントは、風速及び風向の双方に基づき求めてよく、復原モーメントをプラットフォームコントローラーに提供して、復原モーメントからバラスト配分を計算してもよい。

10

## 【0089】

バラスト配分は、復原モーメントが適切な方向へ（例えば、風上の方向へ）かかるのを確実にするために計算される。バラスト配分は、数式、ルックアップテーブル等を用いて、システム全体性能（例えば、総自己電力消費）を最適にするように計算してもよい。さらに、復原モーメントを、閉ループバラスト制御システムに対するフィードフォワード信号に変換して、システムの動的応答を改善することができる。

## 【0090】

次にステップ205において、プラットフォームコントローラーは、バラストシステムを作動させて、計算されたバラスト配分に従って支柱間で水バラストをポンプにより送る。プラットフォームコントローラーがバラストを配分して、浮体式プラットフォームが風の方向へ傾斜又は傾き始める。そのため、風力タービンが始動すると、浮体式風力タービンに作用する風力が風力タービンの傾斜に逆らう。バラストシステムが浮体式風力タービンをこのように傾動させている。

20

## 【0091】

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間の協調制御の一部として、プラットフォームコントローラーは、自身が予防的なバラスト配分を実行していることを認識している。このように認識していることは、浮体式風力タービンが傾き始めることと、プラットフォームのチルトセンサ及びロールセンサが、浮体式プラットフォームが略垂直の位置から逸れている傾斜の測定値を提供することになる場合でも、プラットフォームコントローラーが予防的なバラスト配分の補正を実行しないことを意味する。風力タービンコントローラーによって又は安全システムによって、浮体式風力タービンが始動し始めないことを別様に知らされるまで、プラットフォームコントローラーは、風力タービンコントローラーからの基準信号に従ってもよいし、予防的なバラスト配分を実行してもよい。次に、プラットフォームコントローラーは、バラストシステムを作動させ、それに応じて、浮体式風力タービンを略垂直に位置調整するためにバラストを再配分するのに必要なステップをとってもよい。

30

## 【0092】

ステップ206において、プラットフォームコントローラーは、要求される計算されたバラスト配分にバラスト配分が一致するときを特定又は決定し、タービンコントローラーと通信して、風力タービンが始動することができることをタービンコントローラーに知らせる。バラストが完全に配分されたか又はバラストが要求されるバラスト配分の所定の量（例えば、80%、90%等）内であるときに、風力タービンが始動することができることをプラットフォームコントローラーはタービンコントローラーに知らせててもよい。

40

## 【0093】

次に、タービンコントローラーは風力タービンの始動を開始する。バラストが配分され、浮体式プラットフォームが垂直位置から傾斜するとき、風力タービンに作用する大きな始動時の力が浮体式プラットフォームの傾斜に逆らう。

## 【0094】

50

上記例では、プラットフォームコントローラーが計算された概算のバラスト配分を受信し、バラストシステムを作動させて、それに応じてバラストを配分した。代替的に又は加えて、プラットフォームコントローラーが、浮体式タービンに設定されるチルト角及び／又はアライメント角を受信してもよい。換言すれば、ステップ203において、チルト角及び／又はロール角を、風速に基づき、例えば、ルックアップテーブルから特定し、プラットフォームコントローラーに提供してもよい。次に、浮体式プラットフォームがターゲットチルト角及び／又はロール角によって表される向きに動くことを確実にするために、プラットフォームコントローラーがバラスト配分を決定するとともに、浮体式プラットフォームのチルトセンサ及びロールセンサの測定値を用いて、浮体式プラットフォームが要求される向きにあるか否かを特定してもよい。

10

#### 【0095】

また、風力タービンと浮体式プラットフォームとの協調制御は、浮体式風力タービンの効率性、効果性、及び動作を改善並びに増大させるために、浮体式風力タービンの動作中に実行してもよい。

#### 【0096】

これより、フローチャート301を示す図3を参照しながら、風力タービンのヨーシステムについて一例を記載する。風力タービンヨーシステムを用いて、風力タービンナセル（ひいてはタービンブレード）と風向との角度を変更する。現代の風力タービンは自動ヨーシステムを有し、自動ヨーシステムは、タービンブレードが風の方向へ向いて最大電力生成及び最小負荷をもたらすように、ナセルの方向を変更する。

20

#### 【0097】

ステップ302において、例えば、タービンブレード曲げモーメント、センサ等に基づき、タービンコントローラーがヨー誤差を見積る。ヨー誤差が予め決定された若しくは所定の角度にあるか、又はこの角度を超えると見積られる場合、ヨーシステムは風の方向へ面するようにナセルを動かす。

#### 【0098】

ステップ303において、少なくともヨー誤差見積に基づき、タービンコントローラーはヨー誤差が所定の誤差角に近づいていることを特定する。それにより、ナセルは風の方向へ動くようにすぐに指示される。代替的に、タービンコントローラーは、ヨー誤差概算値が所定の角度にあることを特定する。それにより、タービンコントローラーは、ナセルに対して、風の方向へ動くようにすぐに指示する。

30

#### 【0099】

ステップ304において、タービンコントローラーは、ナセルに対して動くように指示する前にプラットフォームコントローラーと通信する。それにより、ナセルがヨー運動を始めると浮体式風力タービンに作用する力が変化することに備えるために、アクティブバラストシステムを動作させることができる。

#### 【0100】

タービンコントローラーは、ヨー誤差をプラットフォームコントローラーに通信又は送信してもよい。それにより、プラットフォームコントローラーは、ナセルのヨー誤差に基づき、ナセルの反映された新しい位置又はアライメントに必要なバラスト配分を決定してもよい。

40

#### 【0101】

代替的に又は加えて、風力タービンコントローラーは、少なくともヨー誤差に基づき復原モーメントを求めてよいし、プラットフォームの必要なチルト角及び／又はロール角を計算して、このチルト角及び／又はロール角をプラットフォームコントローラーに通信してもよい。

#### 【0102】

要求されるバラスト配分又はプラットフォームの要求されるチルト及び／又はロールは、ルックアップテーブルによって及び／又はプラットフォームコントローラーによる数学的計算によって求めてよい。

50

## 【0103】

ステップ305において、プラットフォームコントローラーがそれに応じてバラストシステムを作動させる。それにより、ナセルがヨー運動すると風力タービンに作用する力に逆らわれるよう、プラットフォームがチルト運動及び／又はロール運動する。

## 【0104】

ステップ306において、プラットフォームコントローラーは、バラストが配分されたか又は要求されるバラスト配分の所定の値内であることをタービンコントローラーに通信し、ナセルの指定された新しいヨアライメントに一致させる。それにより、次に、タービンコントローラーは、ナセルに対して、風上の方向へヨー運動するように指示してもよい。

10

## 【0105】

風力タービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの間の協調制御の一部として、プラットフォームコントローラーは、自身が予防的なバラスト配分を実行していることを認識している。このように認識していることは、浮体式風力タービンが傾き始めることと、プラットフォームのチルトセンサ及びロールセンサが、風力タービンが略垂直の位置から逸れている傾斜の測定値を提供することになる場合でも、プラットフォームコントローラーが予防的なバラスト配分の補正を実行しないことを意味する。風力タービンコントローラーによって又は安全システムによって、ナセルがヨー運動しないことを別様に知らされるまで、プラットフォームコントローラーは、風力タービンコントローラーからの基準信号に従ってもよいし、予防的なバラスト配分を実行してもよい。次に、プラットフォームコントローラーは、バラストシステムを作動させ、それに応じて、浮体式風力タービンを略垂直に位置調整するためにバラストを再配分するのに必要なステップをとってもよい。

20

## 【0106】

これより、フローチャート401を示す図4を参照しながら、浮体式風力タービンに作用する波力を含むように可変推力リミッターを使用及び拡張することに関して一例を記載する。

## 【0107】

現在、いくつかの風力タービンは可変推力リミッターを備える。可変推力リミッターは、風力タービンに作用する推力を変更するのに用いられる制御機能部である。風力タービンブレードにかかる軸方向力は、ブレード構成体からナセルに伝達され、ローターの回転軸に沿って方向付けられる。これはタービンブレードからの推力であり、風力タービンの動作中の異なる時点において正であっても負であってもよい。推力は、通常、風速、(i)タービンブレードのピッチ角、及びローター(又は発電機)の毎分回転数(rpm)の関数である。

30

## 【0108】

VTLの機能は、推力を最大値未満に制限し、このとき、タービンコントローラーは風力タービンの動作状況に応じて最大値を変更することができる。タービンコントローラーは、電力、発電機の毎分回転数、及びタービンブレードのピッチ角の測定値からローター推力を見積るとともに、推力が指定された限度未満であることを確実にするタービンブレードのピッチ角を計算する。通常、本風力タービンでは、推力VTIは、タービンブレード及びタワーにかかるピーク負荷を回避するために、主に、大きい風の乱気流中に作動する。

40

## 【0109】

しかし、浮体式風力タービンに関して、VTIはタービンコントローラーとプラットフォームコントローラーとの協調制御によって改善することができる確認されている。浮体式プラットフォームが波の動き及び運動に起因して上下するとき、高波においては、風力タービンにかかる推力を制限し、それにより、浮体式風力タービンの傾斜が(波の動き及び空力に起因して)予め決定された又は所定の安全傾斜角よりも大きくなるのを防止することが有用である場合がある。傾斜が安全傾斜角よりも大きくなることは、風力タ

50

ービンの緊急停止を引き起こす。

【0110】

ステップ402において、プラットフォームコントローラーは、プラットフォームに影響する海象状態を見積る。海象状態は、プラットフォームデータから（例えば、プラットフォームに取り付けられるセンサから）、波浪ブイから、タワートップセンサ（例えば、加速度計）等から特定してもよい。プラットフォームは、加えて又は代替的に、例えば、浮体式風力タービンの傾斜、プラットフォームのチルト角及び／又はロール角等の他のプラットフォームデータから特定してもよい。

【0111】

ステップ403において、プラットフォームコントローラーは海象データ及び／又は傾斜データをタービンコントローラーに通信し、そのため、このデータはVTL制御システムにおいて考慮されてもよい。

10

【0112】

ステップ404において、VTL制御を実施する風力タービンコントローラーは、海象データ、浮体式風力タービンの傾斜データ、風速、発電機の毎分回転数、タービンブレードのピッチ角等のうちの1つ又は複数に基づき、推力下限が必要であるか否かを決定してもよい。推力下限が要求される場合、VTLにより、例えば、ルックアップテーブルによって推力下限を設定してもよい。

【0113】

ステップ404において求められた推力下限に基づき、タービンコントローラーは、ステップ405において、要求されるタービンブレードのピッチ角及び／又は電気トルクを計算する、すなわち求める。これは、浮体式風力タービンに作用する状況において、推力を推力下限に制限する。

20

【0114】

ステップ406において、タービンブレードのピッチをステップ405において求められた角度に設定するために、タービンコントローラーはピッチ制御システムを作動させる。

。

【0115】

VTL制御システムとともに用いる協調制御の別の例において、浮体式風力タービンのチルトセンサ及びロールセンサから測定値をプラットフォームコントローラーは受信してもよく、傾斜が所定の又は予め決定された値よりも大きい場合、例えば、傾斜が5度よりも大きい場合、推力下限をVTL制御システムにおいて設定することを要求するようにプラットフォームコントローラーはタービンコントローラーと通信してもよい。それにより、浮体式風力タービンの現時の傾斜に逆らうために、プラットフォームコントローラーが支柱間でバラストを移動させる時であることが可能になる。

30

【0116】

上述した例は、浮体式風力タービンの協調制御が、いかに既存の浮体式風力タービンを改善することができるかを示している。

【0117】

上述した例、例えば、風力タービンの始動中の協調制御、協調VTL、協調ヨー制御等を全て、独立して実施又は利用してもよいし、例のうちの1つ又は複数をともに実施してもよい。このように、例の任意の組合せを浮体式風力タービンに対して実施してもよい。

40

【0118】

風力タービンとプラットフォームとの間で浮体式風力タービンの制御を協調することにより、風力タービンを、電力を生成するのに最適な位置により長く位置決めすることができ、また、浮体式風力タービンにかかる負荷を減少させることができる。例えば、浮体式風力タービンにかかると予想される力に逆らうようにバラストを配分する場合、浮体式風力タービンが始動すると、予防的なバラスト配分が実行されない場合よりも早くに、風力タービンは電力を生成するのに最適な位置になる。また、浮体式風力タービンの制御を協調することにより、浮体式風力タービンが垂直線から所定の安全角よりも大きく傾斜する

50

可能性がはるかに低くなる。それにより、緊急停止の可能性が減少する。

【0119】

上記の例では、浮体式風力タービンの制御を改善するように協調する1つ又は複数の風力タービンコントローラー及び1つ又は複数のプラットフォームコントローラーが存在する。このことは、別個の風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーを有する点で本構成を反映している。また、上記の例では、風力タービンコントローラー及びプラットフォームコントローラーが或る特定のタスク及び機能を実行するが、コントローラーのいずれかが要求されるタスク又は機能のうちの任意のものを実行してもよい。本発明の実施形態は、例及び実施形態のそれぞれにおけるタスク若しくは機能を実行する順序又はコントローラーに限定されない。本実施形態の主な利点は、浮体式風力タービンの異なるシステムを制御するときに、風力タービンに影響する条件及び/又はプラットフォームに影響する条件が考慮に入れられること、例えば、協調制御である。

10

【0120】

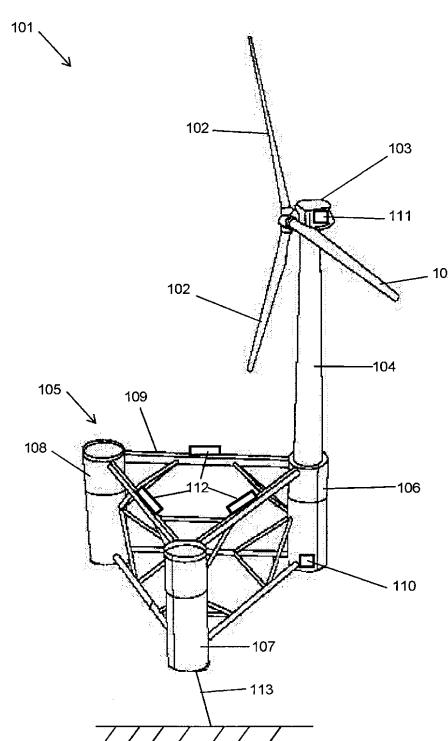
しかし、また理解されるように、将来には、浮体式風力タービンの全てのシステムを制御するコントローラーが1つだけ存在してもよい。この場合、協調制御は単一のコントローラーによって実行されるが、上述した例を依然として実施することができる。

【0121】

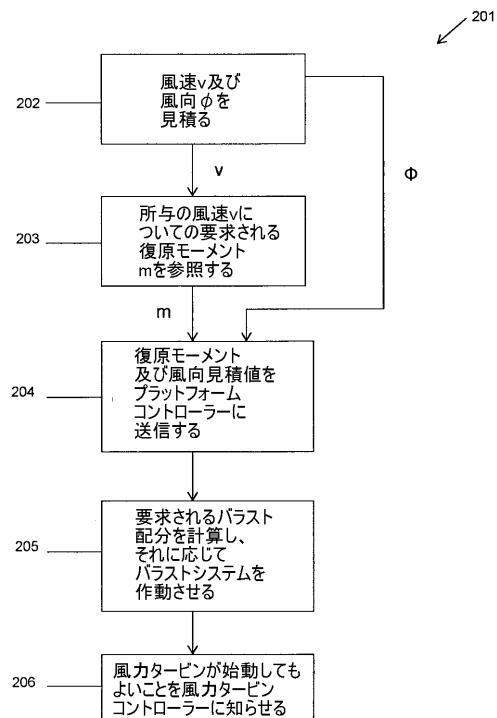
本発明の好ましい実施形態を図示及び記載したが、このような実施形態は、単に例として記載されていることが理解される。添付特許請求の範囲により規定される本発明の範囲から逸脱することなく、数多くの変形、変更、及び置換が当業者により想到される。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の趣旨及び範囲内にある全てのこのような変形態又は均等形態を包含することが意図される。

20

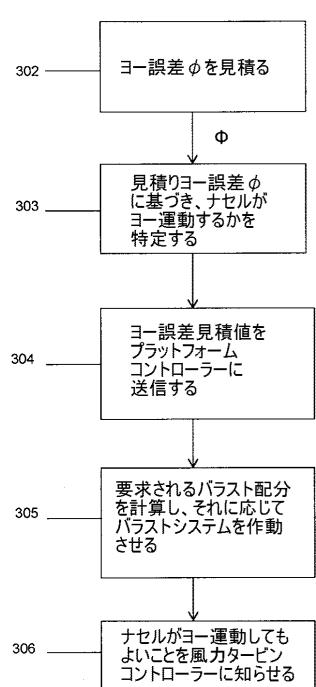
【図1】



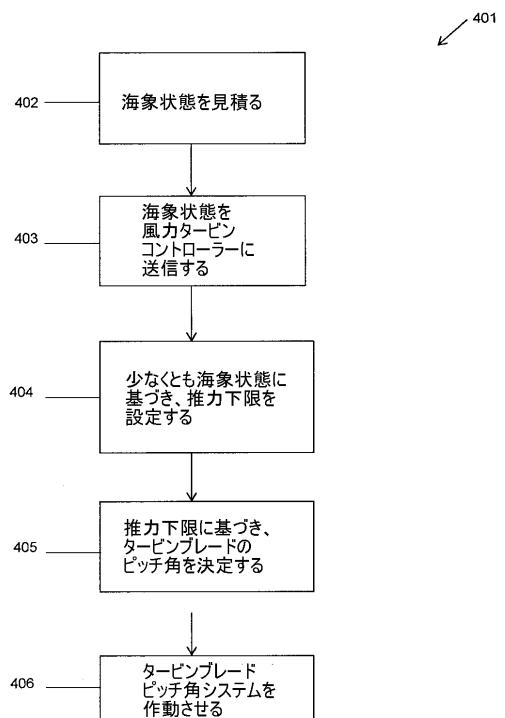
【図2】



【図3】



【図4】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/DK2013/050004

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F03D7/04 F03D7/02  
ADD.

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

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/148115 A1 (ROZNITSKY SAMUEL [US] ET AL) 23 June 2011 (2011-06-23) paragraphs [0059] - [0070]; figure 11 ----- US 2010/003134 A1 (EDWARDS JAMES IAN [GB] ET AL) 7 January 2010 (2010-01-07) paragraphs [0035] - [0037], [0040] - [0046]; figures ----- US 2011/140426 A1 (GARCIA LOPEZ FRANCISCO [ES] ET AL) 16 June 2011 (2011-06-16) paragraphs [0006] - [0008], [0026] - [0031] ----- -/-	1-35
X		1-35
X		1-7,12, 14-21, 26, 28-30, 32,34,35

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
- "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

Date of mailing of the international search report

15 April 2013

24/04/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libeaut, Laurent

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/DK2013/050004

## C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/074155 A1 (SCHOLTE-WASSINK HARMUT [DE]) 31 March 2011 (2011-03-31)  paragraphs [0005] - [0007], [0036] - [0037], [0054] - [0057], [0069] -----	1-3, 14-17, 28,29, 34,35

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/DK2013/050004

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2011148115 A1	23-06-2011	US 2011148115 A1		23-06-2011
		WO 2010021655 A2		25-02-2010
US 2010003134 A1	07-01-2010	AR 063236 A1		14-01-2009
		EP 2079929 A2		22-07-2009
		GB 2442719 A		16-04-2008
		TW 200827546 A		01-07-2008
		US 2010003134 A1		07-01-2010
		WO 2008044066 A2		17-04-2008
US 2011140426 A1	16-06-2011	CN 102384030 A		21-03-2012
		EP 2426356 A2		07-03-2012
		US 2011140426 A1		16-06-2011
US 2011074155 A1	31-03-2011	EP 2461028 A2		06-06-2012
		US 2011074155 A1		31-03-2011

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,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,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,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,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC

(74)代理人 100182257

弁理士 川内 英主

(72)発明者 コーチマン, イアン

イギリス ロンドン SW19 8NS, ロンドン グレーター トップ フロア フラット

(72)発明者 ボイヤー, ロバート

イギリス ロンドン SW6 6LE, ロンドン グレーター アダム ウォーク 18

F ターム(参考) 3H178 AA03 AA26 BB10 DD52X DD54X EE02 EE11 EE23 EE32 EE34