

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-178900

(P2018-178900A)

(43) 公開日 平成30年11月15日(2018.11.15)

(51) Int.Cl.
F03D 7/00 (2006.01)

F I
F03D 7/00

テーマコード (参考)
3H178

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-81815 (P2017-81815)
(22) 出願日 平成29年4月18日 (2017.4.18)

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人 110000350
ポレール特許業務法人
(72) 発明者 楠野 順弘
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
Fターム(参考) 3H178 AA03 AA40 AA43 BB01 DD12Z
DD31Z DD41Z DD54X EE02 EE05
EE07 EE08 EE11 EE23 EE25
EE26 EE27 EE28 EE34

(54) 【発明の名称】 風力発電システム

(57) 【要約】

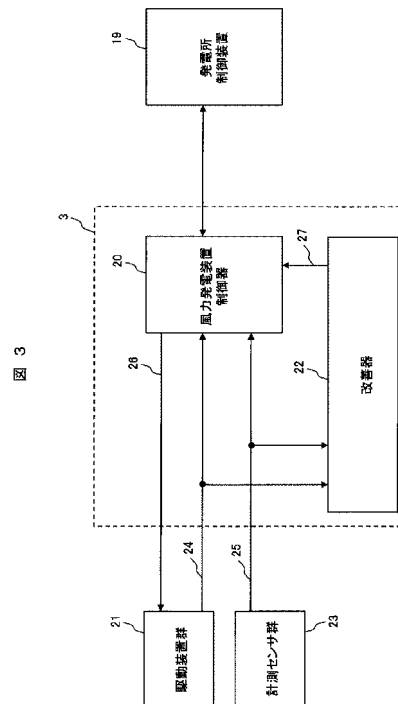
【課題】

時間的に変動する風況に応じて風力発電装置の制御方式そのものを更新し得る風力発電システムを提供する。

【解決手段】

風力発電システム1は、翼の回転による回転エネルギーを用いて発電する風力発電装置2及び風力発電装置2を制御する制御器3を備え、制御器3は風力発電装置制御器20及び改善器22を有する。改善器20は、風力発電装置2の発電出力又は発電電力の電圧及び電流、及び加速度のうち少なくとも一方を評価値として入力し、且つ、少なくとも、風速、翼回転速度、及び翼回転角度のうちいずれか一つの状態信号を入力し、状態信号25に基づき風力発電装置2の運転状態を判別し、所定条件下で評価値が改善するよう、風力発電装置2へ風力発電装置制御器20が出力する指令信号及び/又は風力発電装置制御器20へ出力する改善器22の出力信号を更新する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

翼の回転による回転エネルギーを用いて発電する風力発電装置と、前記風力発電装置を制御する制御器とを備え、前記制御器は風力発電装置制御器及び改善器を有し、

前記改善器は、前記風力発電装置の発電出力又は発電電力の電圧及び電流、及び加速度のうち少なくとも一方を評価値として入力し、且つ、少なくとも、風速、翼回転速度、及び翼回転角度のうちいずれか一つの状態信号を入力し、前記状態信号に基づき前記風力発電装置の運転状態を判別し、

所定条件下で前記評価値が改善するよう、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号及び / 又は前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新することを特徴とする風力発電システム。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の風力発電システムにおいて、

前記評価値は、前記風力発電装置の翼の一回転に要する時間内の値であって、

前記改善器の出力信号の更新周期は、前記風力発電装置の翼の一回転に要する時間の n 倍 (n は 2 以上の整数) であることを特徴とする風力発電システム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、前記風力発電装置制御器内の比例制御器、積分制御器、及び微分制御器のうち少なくとも一つの制御変数又は前記制御変数を演算するための関数形を、前記風力発電装置制御器へ更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

20

【請求項 4】

請求項 2 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号に加算する値を更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 5】

請求項 2 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、

前記風力発電装置制御器内の比例制御器、積分制御器、及び微分制御器のうち少なくとも一つの制御変数又は前記制御変数を演算するための関数形を、前記風力発電装置制御器へ第 1 の更新信号として出力すると共に、

30

前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号に加算する値を第 2 の更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 6】

請求項 2 に記載の風力発電システムにおいて、

前記風力発電装置は、電力変換器及びピッチ駆動装置を備え、

前記改善器は、

前記電力変換器へ制御定数又は前記電力変換器へ前記風力発電装置制御器より出力される指令信号に加算する値を第 1 の更新信号として求め、

前記ピッチ駆動装置へ制御定数又は前記ピッチ駆動装置へ前記風力発電装置制御器より出力される指令信号に加算する値を第 2 の更新信号として求め、

40

前記風力発電装置の運転領域に応じて、前記第 1 の更新信号及び / 又は前記第 2 の更新信号を前記風力発電装置制御器へ出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 7】

請求項 2 に記載の風力発電システムにおいて、

前記風力発電装置及び前記制御器を複数備え、

前記改善器は、

入力される少なくとも一つの風力発電装置の前記評価値及び前記状態信号と、他の風力発電装置の前記評価値及び前記状態信号とに基づき、前記一の風力発電装置を制御する制御器の前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新することを特徴とする

50

風力発電システム。

【請求項 8】

請求項 3 乃至請求項 7 のうちいずれか 1 項に記載の風力発電システムにおいて、
前記改善器は記憶部を有し、

前記記憶部に、少なくとも、最急降下法、共役勾配法、遺伝的最適化アルゴリズム、及び強化学習アルゴリズムのうちいずれか一つのアルゴリズムを実行するためにプログラムを格納し、前記プログラムを実行することにより前記改善器より出力する更新信号を求めることを特徴とする風力発電システム。

【請求項 9】

翼の回転による回転エネルギーを用いて発電する風力発電装置と、前記風力発電装置を制御する制御器と、ネットワークを介して前記制御器に接続される改善器とを備え、

前記制御器は、風力発電装置制御器を有し、

前記改善器は、前記風力発電装置の発電出力又は発電電力の電圧及び電流、及び加速度のうち少なくとも一方を評価値として入力し、且つ、少なくとも、風速、翼回転速度、及び翼回転角度のうちいずれか一つの状態信号を入力し、前記状態信号に基づき前記風力発電装置の運転状態を判別し、

所定条件下で前記評価値が改善するよう、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号及び / 又は前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の風力発電システムにおいて、

前記評価値は、前記風力発電装置の翼の一回転に要する時間内の値であって、

前記改善器の出力信号の更新周期は、前記風力発電装置の翼の一回転に要する時間の n 倍 (n は 2 以上の整数) であることを特徴とする風力発電システム。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、前記風力発電装置制御器内の比例制御器、積分制御器、及び微分制御器のうち少なくとも一つの制御変数又は前記制御変数を演算するための関数形を、前記風力発電装置制御器へ更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号に加算する値を更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 13】

請求項 10 に記載の風力発電システムにおいて、

前記改善器は、

前記風力発電装置制御器内の少なくとも比例制御器、積分制御器、及び微分制御器のうち少なくとも一つの制御変数又は前記制御変数を演算するための関数形を、前記風力発電装置制御器へ第 1 の更新信号として出力すると共に、

前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号に加算する値を第 2 の更新信号として出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 14】

請求項 10 に記載の風力発電システムにおいて、

前記風力発電装置は、電力変換器及びピッチ駆動装置を備え、

前記改善器は、

前記電力変換器へ制御定数又は前記電力変換器へ前記風力発電装置制御器より出力される指令信号に加算する値を第 1 の更新信号として求め、

前記ピッチ駆動装置へ制御定数又は前記ピッチ駆動装置へ前記風力発電装置制御器より出力される指令信号に加算する値を第 2 の更新信号として求め、

前記風力発電装置の運転領域に応じて、前記第 1 の更新信号及び / 又は前記第 2 の更新

10

20

30

40

50

信号を前記風力発電装置制御器へ出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 15】

請求項 10 に記載の風力発電システムにおいて、
前記風力発電装置及び前記制御器を複数備え、
前記改善器は、

入力される一の風力発電装置の前記評価値及び前記状態信号と、他の風力発電装置の前記評価値及び前記状態信号とに基づき、前記一の風力発電装置を制御する制御器の前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新することを特徴とする風力発電システム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、風力発電装置と制御器からなる風力発電システムに係り、特に好適な制御を行う風力発電システムに関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置は、風速や風の乱流強度等の風況に発電出力が大きく依存する。風から電力を得るためには、風力発電装置の翼の受風角（ピッチ角）を操作するピッチ駆動装置やナセルを風向に正対させるヨー駆動装置を操作することで、風が持つ物理エネルギーから翼の回転エネルギーへのエネルギー変換効率を最大化し、かつ、発電機が発生させる機械トルクを発電機に接続された電力変換器によって操作することで、回転エネルギーから電気エネルギーへのエネルギー変換効率を最大化することが必要である。これを実現する風力発電システムの制御方式を設計する必要がある。

20

また、風力発電装置を構成する翼やタワー等の構造体や上述のピッチ駆動装置やヨー駆動装置等の駆動装置が受ける荷重は、同一風況であっても風力発電システムの制御方式によって変化する。通常、風力発電装置は 20 年以上の長期間運用に耐え得るように風力発電装置の構造体を設計する必要がある。

【0003】

このように、風力発電システムは、発電出力を最大化すると共に、20 年以上の長期運用にも耐え得るように、その制御方式と構造体を設計する必要がある。そこで、風力発電システムを設計するための規格が定められている。

30

規格では、平均風速と風の乱流強度指標によって風況の分類が定義され、各分類における突風等の風況条件と、風力発電システムの機器が正常である場合のみならず、複数の翼の各ピッチ駆動装置の内一つが機能不全に陥った場合等の動作条件において、風力発電システムが健全に発電運転及び発電停止し待機できることが定められている。風力発電システムは、これら条件を考慮して制御方式及び構造体が設計され、対応する風況分類が風力発電システムの製品仕様として明示される。

【0004】

風力発電システムを導入する場合、複数の風力発電システムで風力発電所を構成する（ウィンドファームと称される）ことが多く、風力発電所の建設予定地の風況を、事前に風況計測装置を設けて一年間計測し、得られた計測値から平均風速や乱流強度等の風況を算出し、それに対応する仕様の風力発電システムが選定される。

40

しかし、実際に発電運転を開始した風力発電所では、風力発電システムを導入したことに因る風況への影響のみならず、風力発電システムそのものの発電運転によって乱流が誘起されるため、事前に想定した風況と異なる場合がある。そのため、規格に基づき設計された制御方式が、実際の発電運転において、発電出力の点或いは構造体に加わる荷重の点、若しくはその両方の点において、最良でない場合がある。そのような場合には、風力発電所を構成する各風力発電システムをそれぞれ調整することで、発電出力及び荷重の改善を図る必要がある。また、季節や経年による気象変動等の変化に対しても制御方式の調整を実施することで、発電出力及び荷重の改善を図ることが期待される。

50

【 0 0 0 5 】

そこで、風力発電システムの制御方式の調整方法として、例えば特許文献 1 及び特許文献 2 に記載の技術が知られている。

特許文献 1 には、実際の発電システムの運転データを用いて発電システムを模擬するモデルを最適化し、最適化したモデルを用いて発電システムの発電運転を最適化できる制御方法を検討し、検討した制御方式を実際の発電システムに組み込み、発電システムの運転データで検討した制御方式を検証すると共に、上述の発電システムを模擬するモデルの最適化を繰り返す。これにより発電システムの最適な制御方式を得る旨開示されている。

また、特許文献 2 には、実際の風力発電システムの運転情報と風力発電システムの機械的負荷とを比較し、運転情報の結果として機械的負荷が低下した場合には、運転情報に応じて風力発電システムの最大回転速度設定値を増加させることで、風力発電システムの風エネルギーの捕捉を増加させる装置及び制御方式が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 5 - 1 4 9 8 8 5 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 9 - 2 8 7 5 6 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 に記載される技術では、風力発電装置の入力エネルギーは風であるため、受風する風速や乱流強度の時系列変化による風力発電装置の応答をモデルに組み込む必要がある。しかしながら、風は自然現象であるため人為的に制御することが不可能であり、膨大な解析資源を用いても実際の風力発電装置が受風する風の空間分布を詳細に再現することは困難である。このため、最適化に使用される模擬モデルは、風そのもの、或いは、風に対する応答を簡略化したものにならざるを得ない。実際に受風する風速や乱流強度の時系列変化に対して最適な制御方式を検討することが目的である場合、制御方式の最適化の成否が風力発電システムのモデルの模擬精度の制約を受けるため、制御方式は最適化後のモデルに対して最適であるのみで、実際の風力発電システムに対して最適化である保証はなく、風力発電システムの模擬モデルと制御方式のそれぞれの最適化を延々と繰り返しても、模擬モデルのモデル化の制約は解消し得ないという課題がある。

また、特許文献 2 に記載される技術では、最大回転速度の設定値を変更する調整方法では、特定の制御方式の適用範囲を拡大することはできるものの、風量発電装置が受風する風速や乱流強度の時系列変化に対応した制御方式そのものを調整することはできないという課題がある。

さらに、風は自然現象であり、風力発電システムの入力を人為的に制御することができない。発電出力や荷重等の最適化の評価指標は常に風の擾乱の影響を受けて変動するため、適切な評価方法が必要である。

そこで、本発明は、時間的に変動する風況に応じて風力発電装置の制御方式そのものを更新し得る風力発電システムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上記課題を解決するため、本発明に係る風力発電システムは、翼の回転による回転エネルギーを用いて発電する風力発電装置と、前記風力発電装置を制御する制御器とを備え、前記制御器は風力発電装置制御器及び改善器を有し、前記改善器は、前記風力発電装置の発電出力又は発電電力の電圧及び電流、及び加速度のうち少なくとも一方を評価値として入力し、且つ、少なくとも、風速、翼回転速度、及び翼回転角度のうちいずれか一つの状態信号を入力し、前記状態信号に基づき前記風力発電装置の運転状態を判別し、所定条件下で前記評価値が改善するよう、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号及び / 又は前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新すること

10

20

30

40

50

を特徴とする。

また、本発明に係る他の風力発電システムは、翼の回転による回転エネルギーを用いて発電する風力発電装置と、前記風力発電装置を制御する制御器と、ネットワークを介して前記制御器に接続される改善器とを備え、前記制御器は、風力発電装置制御器を有し、

前記改善器は、前記風力発電装置の発電出力又は発電電力の電圧及び電流、及び加速度のうち少なくとも一方を評価値として入力し、且つ、少なくとも、風速、翼回転速度、及び翼回転角度のうちいずれか一つの状態信号を入力し、前記状態信号に基づき前記風力発電装置の運転状態を判別し、所定条件下で前記評価値が改善するよう、前記風力発電装置へ前記風力発電装置制御器が出力する指令信号及び/又は前記風力発電装置制御器へ出力する改善器の出力信号を更新することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、時間的に変動する風況に応じて風力発電装置の制御方式そのものを更新し得る風力発電システムを提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】風力発電システムの全体概略構成図である。

【図2】図1に示す制御器の概要を示す図である。

【図3】本発明の一実施例に係る実施例1の制御器のブロック図である。

20

【図4】図3に示す改善器のブロック図である。

【図5】実施例1に係る信号処理の時系列関係の概要を示す図である。

【図6】本発明の他の実施例に係る実施例2の制御器のブロック図である。

【図7】実施例2に係る信号処理の時系列関係の概要を示す図である。

【図8】本発明の他の実施例に係る実施例3の制御器のブロック図である。

【図9】本発明の他の実施例に係る実施例4の制御器を構成する改善器のブロック図である。

【図10】実施例4に係る運転領域の一例を示す図である。

【図11】本発明の他の実施例に係る実施例5の複数の風力発電システムを備える風力発電所の全体概略構成図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0011】

本明細書では、本発明の実施形態に係る風力発電装置として、ダウンウィンド型の風力発電装置を例に説明するが、アップウィンド型の風力発電装置においても同様に適用できる。また、3枚の翼とハブにてロータを構成する例を示すが、これに限られず、ロータはハブと少なくとも1枚の翼にて構成しても良い。本発明の実施形態に係る風力発電装置及び制御器を有する風力発電システムは、洋上、山岳部及び平野部の何れの場所にも設置できるものである。

本発明の適用対象となる風力発電システムの概要を、図1及び図2に示す。図1は、風力発電システムの全体概略構成図である。図1に示すように、風力発電システム1は、風力発電装置2及び制御器3にて構成される。風力発電装置2は、少なくとも1枚の翼4を備え、翼4はハブ5内部に備えられるピッチ駆動装置6によって翼長方向を回転軸として回転させることができる。ピッチ駆動装置6は、翼4に対する風の受風角度を、翼の回転速度に基づき、風のエネルギーから回転エネルギーを得るために最適な角度に調整する機能を有する。翼4によって風のエネルギーから得られた回転エネルギーは、ハブ5と接続する主軸7を介して、ナセル8内のフレーム11上に備え付けられた増速機9及び発電機10に機械的に伝達される。発電機10はタワー12の基部に備える電力変換器13と電氣的に接続しており、電力変換器13は、発電機10のトルクを制御することで、発電機10が回転エネルギーを電力に変換する機能を有する。また、電力変換器13は、発電機10で得られた電力を図示しない電力システムの周波数と整合するように調整し送電する機能

40

50

も有している。フレーム 11 はヨー駆動装置 14 を介してタワー 12 と接続しており、ヨー駆動装置 14 は、タワー 12 を回転軸としてナセル 8 を回転させることで、ナセル 8 の方向を風向と一致させる機能を有する。なお、翼 4 及びハブ 5 によりロータが構成される。また、上述のように、翼 4 の回転エネルギーを発電機 10 に伝達する部位は、動力伝達部と称され、本実施例では、主軸 7 及び増速機 9 が動力伝達部に含まれる。

【0012】

図 2 は、図 1 に示す制御器 3 の概要を示す図である。図 2 に示すように、制御器 3 は風力発電装置制御器 20 を有する。風力発電装置制御器 20 は、風力発電装置 2 に備えられたピッチ駆動装置 6 やヨー駆動装置 14 及び電力変換器 13 等の駆動装置群 21 からの状態フィードバック信号 24 を入力する。また、風力発電装置制御器 20 は、翼 4 の回転速度若しくは回転角度、或いは増速機 9 によって翼 4 の回転速度が増速された発電機 10 の回転速度若しくは回転角度を計測する回転速度・回転角度センサ 15 (図 1)、発電電力を算出するための電流センサ 16 と電圧センサ 17、及び、風速と風向を計測する風速・風向センサ 18 等の計測センサ群 23 からの状態信号 25 を入力する。そして、風力発電装置制御器 20 は、入力された状態フィードバック信号 24 及び状態信号 25 に基づき、風力発電装置 2 が風のエネルギーから電力を得るために予め備えられた制御方式に従って駆動装置群 21 へ指令信号 26 を出力する。指令信号 26 は、ピッチ駆動装置 6 に対するピッチ角指令値、電力変換器 13 に対するトルク指令若しくは電力指令、及びヨー駆動装置 14 に対する角度指令或いは角速度指令を少なくとも含む指令信号である。

10

【0013】

さらに複数の風力発電システム 1 から構成されるウィンドファームを有する風力発電所では、複数の風力発電システム 1 を統括して起動停止を制御すること、及び、各風力発電システム 1 の発電電力の上限値を設定することで複数基の風力発電装置 2 を協調制御することを目的に発電所制御装置 19 が設けられている。制御器 3 は、発電所制御装置 19 へ風力発電装置 2 の発電状態に関する情報を送信し、発電所制御装置 19 は、上述の目的に従い、制御器 3 へ起動停止や発電電力の上限値指令値等を送信する。各制御器 3 は上述の指令に従って風力発電装置 2 を制御する。その他、図示しない風力発電システム 1 の発電運転に必要な装置群及びセンサ群、操作端末や記憶装置や表示装置等の情報機器群を備えても良い。

20

なお、風力発電システム 1 を構成する制御器 3 として、風力発電装置制御器 20 は、例えば、制御盤又は SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) が用いられる。また、風力発電装置制御器 20 は、例えば、図示しない CPU (Central Processing Unit) などのプロセッサ、各種プログラム (上述の制御方式) を格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。

30

また、図 1 に示す例では、制御器 3 を風力発電装置 2 の外部に配し相互に通信可能 (有線、無線を問わい) とする場合を示すがこれに限らず、制御器 3 をタワー 12 の基部側に配する構成としても良い。また、制御器 3 を、ネットワークを介して遠隔地の指令所に配する構成としても良い。

40

【0014】

以下、本発明に係る風力発電システムを構成する制御器を主として、図面を用いて実施例について説明する。

【実施例 1】

【0015】

図 3 は、本発明の一実施例に係る実施例 1 の制御器のブロック図である。図 3 に示すように、本実施例の制御器 3 は、風力発電装置制御器 20 及び改善器 22 を備える。風力発電装置制御器 20 は、通常の制御機能に加え、改善器 22 からの更新信号 27 を入力する。改善器 22 は、駆動装置群 21 からの状態フィードバック信号 24、及び、計測センサ

50

群 2 3 からの状態信号 2 5 のうち、少なくとも回転速度・回転角度センサ 1 5 及び発電電力を算出するために電流センサ 1 6 と電圧センサ 1 7 からの計測値を入力する。

図 4 は、図 3 に示す改善器のブロック図である。図 4 に示すように、改善器 2 2 は、発電出力演算器 2 8、翼回転判別器 2 9、統計処理器 3 0、及び最適化器 3 1 を有する。これら、発電出力演算器 2 8、翼回転判別器 2 9、統計処理器 3 0、及び最適化器 3 1 は、例えば、図示しない CPU などのプロセッサ、各種プログラム（上述の制御方式）を格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。以下に、それぞれの機能を詳述する。

発電出力演算器 2 8 は、電流センサ 1 6 及び電圧センサ 1 7 からの電流信号及び電圧信号を入力し、発電出力の瞬時値を算出する。発電出力の算出は、例えば、入力された電流信号及び電圧信号が 3 相交流信号の場合、電流信号及び電圧信号をそれぞれ 3 成分のベクトルと見做し、内積で算出される。また、電流信号及び電圧信号のそれぞれを 3 相 2 相変換等の座標変換を用い、図示しない電力系統の周波数と同一の周波数成分をフーリエ変換などの処理を用いて抽出し、算出された商用周波数の電流及び電圧から発電出力を演算しても良い。

【 0 0 1 6 】

翼回転判別器 2 9 は、回転速度・回転角度センサ 1 5 の回転速度信号若しくは回転角度信号に基づき、翼 4 の一回転の n 倍（ n は正の整数）の時間に相当する時間間隔を評価し、後段の統計処理器 3 0 及び最適化器 3 1 へ翼 4 の一回転の n 倍（ n は正の整数）の時間に相当するタイミングでパルス信号を、後述する統計処理器 3 0 及び最適化器 3 1 へ出力する。翼 4 の一回転は、入力された信号が回転速度である場合、数値的な積分処理を実行し回転角度に変換すれば良く、増速機 9 で増速された発電機 1 0 の回転速度若しくは回転角度が入力される場合には、増速機 9 の増速比に基づき翼 4 の一回転相当に変換して評価する。なお、回転速度・回転角度センサ 1 5 がセンサの一回転に一度更新される出力信号（通常、Z パルスと称される）を出力する場合には、翼 4 の回転回数の算出に代用しても良い。

【 0 0 1 7 】

統計処理器 3 0 は、発電出力演算器 2 8 で演算された発電出力、状態信号 2 5、及び翼回転判別器 2 9 よりパルス信号を入力する。そして、統計処理器 3 0 は、パルス信号を基準として、パルス間の時間間隔を評価単位として、入力された発電出力及び状態信号 2 5 の統計平均値或いは統計分散を評価する。

最適化器 3 1 は、統計処理器 3 0 で演算された各統計値、状態フィードバック信号 2 4、及び翼回転判別器 2 9 よりパルス信号を入力する。そして、最適化器 3 1 は、入力された統計値の内、発電出力の統計値及び / 又は加速度の統計値を評価値として用いる。評価値は、パルス信号の入力を基準に、同一期間に入力された評価値以外の各統計値を用いて分類され、評価データとして一時記憶部（図示せず）に格納される。最適化器 3 1 は、翼回転判別器 2 9 からのパルス信号の ON 信号の入力回数を基準に、一時記憶部（図示せず）に格納される評価データのうち同一分類となる少なくとも一つ以上の評価データからなる評価データ群を生成し、特定の個数以上の評価データ群が一時記憶部（図示せず）に入力された場合は、最も過去に入力された評価データを破棄する。最適化器 3 1 は、評価データ群を用いて出力すべき更新信号 2 7 生成し、当該生成した更新信号 2 7 の良否を評価し、翼回転判別器 2 9 からのパルス信号の入力タイミングで更新信号 2 7 を更新し、当該更新後の更新信号 2 7 を風力発電装置制御器 2 0 へ出力する。更新信号 2 7 は、風力発電装置制御器 2 0 内の比例制御器や積分制御器及び微分制御器などの任意の制御変数（通常、制御ゲインと称される）や、制御変数を演算するための関数群（ゲインスケジューリング関数）の係数でも良く、複数の制御変数や制御変数を演算するための関数群の係数から構成されるベクトルデータであっても良い。上述の更新信号 2 7 の良否を評価する方法としては、例えば、数値微分を用いた最急降下法や共役勾配法などの最小値・最大値を探索

10

20

30

40

50

する最適化アルゴリズムや、遺伝的アルゴリズム或いは強化学習のような試行錯誤型の最適値探索アルゴリズムを用いても良い。最適化器31は、上述のアルゴリズムを実行するためのプログラムをROM（図示しない記憶部）に格納し、ROM（記憶部）より読み出したプログラムを実行することで、上述のアルゴリズムにより更新信号27の良否を評価する。

【0018】

図5は、信号処理の時系列関係の概要を示す図であり、上述の改善器22の各機能ブロックによる処理結果の概要を示している。図5の最上段より順に下方へ向かい、翼回転判別器29に回転角度信号が入力される場合の入力信号の時系列波形概要、翼回転判別器29の出力であるパルス信号の時系列波形概要、統計処理器30に入力される評価値若しくは状態信号などの入力信号の時系列波形概要と統計処理器30の出力となる平均値、統計処理器30の出力及び状態フィードバック信号24を入力とする最適化器31の出力である更新信号の時系列波形概要を示している。図5に図示した波形概要は、統計処理器30の評価周期を翼4の一回転の倍の時間とし、最適化器31の更新周期を翼4の一回転の n 倍（ n は正の整数）の時間、ここでは一例として、翼4の一回転の二倍（ $n=2$ ）の時間とし、最適化器31より出力される更新信号は1つの制御ゲインの場合を一例として示している。

10

【0019】

図5では、統計処理器30の出力となる時系列波形概要として平均値のみを示したがこれに限らず、図示しない統計分散や尖度、歪度などの統計処理値を算出しても良い。風速に対する平均値及び分散は、それぞれ平均風速及び乱流強度に関連する数値となり、風況を分類する指標となる。最適化器31より出力される更新信号は、前段の統計処理器30の過去の2つの評価値（過去の評価周期二周期分の評価値）を用いて、上述の最適化アルゴリズム或いは最適値探索アルゴリズムを用いて、次の更新周期の間に実行される更新信号を出力する。すなわち、図5の上から3段目の評価値の時系列波形概要の2つの評価値を用いて、二重矢印で示される図5の最下段の更新信号2が算出される。但し、図5に図示した概要図では、統計処理器30や最適化器31の演算遅延を無視した場合の時系列関係を示している。従って実際の適用においては、最適化器31で処理されるデータ量及び処理アルゴリズムによって演算遅延が生じ得るため、翼回転判別器29より出力される全てのパルス信号のON信号出力時に同時に信号が変更されとは限らず、適宜遅延を含む。

20

30

【0020】

本実施例の改善器22によって、風力発電装置制御器20の制御ゲインやゲインスケジューリング関数等の設定値を評価値の判定に基づいて更新することができ、設計時に備えた制御方式を改善することが可能となる。また、最適化器31は風力発電装置制御器20への更新信号のみならず、最適化に用いた処理アルゴリズムの処理概要を逐次外部の記憶装置に格納或いは表示装置の画面上に表示する構成としても良い。これにより、改善器22による制御方式の改善効果を記録・確認することができ、同様の風況を有する風力発電システム1へ上述の設定値を適用することが可能となり、改善器22による改善効果を風力発電装置2の発電運転開始時から得ることが可能となる。

40

上述のように改善器22が動作する所定条件としては、改善器22がアクティブか非アクティブかに因る。

なお、本実施例では図3に示したように、制御器3が改善器22を有する構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、改善器22を、ネットワークを介して制御器3と相互に通信可能に設置しても良い。この場合、例えば、風力発電装置2から離間し、遠隔地に建設される指令所に、改善器22を設置しても良い。

【0021】

以上の通り本実施例によれば、時間的に変動する風況に応じて風力発電装置の制御方式そのものを更新し得る風力発電システムを提供することが可能となる。

また、本実施例によれば、風力発電システムそのものを対象に制御方式の改善検討を行

50

うため、風力発電システムのモデリング精度にも依存せず、さらに、翼一回転に要する時間の n 倍(n は正の整数)を評価単位とすることで、制御方式の改善効果そのものを評価することができる。

【実施例2】

【0022】

図6は、本発明の他の実施例に係る実施例2の制御器のブロック図である。上述の実施例1は、改善器22が更新信号27を風力発電装置制御器20へ出力する構成としたのに対し、本実施例では、風力発電装置制御器20の出力信号である駆動装置群21に対する指令信号26に、改善器22の更新信号27を加算する構成とした点が実施例1と異なる。実施例1と同様の構成要素に同一符号を付している。その他の構成は実施例1と同様であり、以下では実施例1と重複する説明を省略する。

10

【0023】

図6に示すように、本実施例の風力発電システム1を構成する制御器3は、風力発電装置制御器20、改善器22、及び風力発電装置制御器20の出力信号である駆動装置群21に対する指令信号26に改善器22からの更新信号27を加算する加算器34を備える。改善器22から加算器34へ出力される更新信号27は、加算対象となる指令値信号26と同一属性(物理的意味を有する)の信号である必要がある。例えば、駆動装置群21である電力変換器13に対するトルク指令信号、或いは、ピッチ駆動装置6に対するピッチ角指令信号である。これにより、設計時に備えた制御方式を変更することなく、改善効果を得ることができる。改善器22は、上述の図4に示した、発電出力演算器28、翼回転判別器29、統計処理器30、及び最適化器31を有する。

20

【0024】

まず、改善器22が出力する更新信号17は、上述の図5に示すように、翼4の一回転の n 倍(n は正の整数)の時間の間、固定値(更新信号1、更新信号2)を出力するようにもできる。この場合、風力発電装置制御器20から出力される指令信号26に固定値のオフセットを加算することに相当し、風力発電システム1の建設時の不具合、例えば、翼4の取り付け基準角度とピッチ駆動装置6が認識する基準角度との偏差や、同様にヨー駆動装置14の偏差を補正することなどが可能となる。これにより、風力発電装置2が発電運転開始後に本実施例の改善器22によって、風力発電システム1の据付工事を再度実施することなく、また、風力発電装置制御器20内の定数を人為的に調整することなく補正

30

【0025】

また、改善器22が出力する更新信号を、状態フィードバック信号24や状態信号25を引数として、風力発電装置制御器20の制御周期で逐次変化する信号とすることも可能である。この場合、最適化器31から出力される更新信号27は逐次変化するが、試行されるのは関数形であり、関数形の更新は更新周期となる。図7は、信号処理の時系列関係の概要を示す図であり、改善器22を構成する、発電出力演算器28、翼回転判別器29、統計処理器30、及び最適化器31による処理結果の概要を示している。図7の最上段より順に下方へ向かい、翼回転判別器29に回転角度信号が入力される場合の入力信号の時系列波形概要、翼回転判別器29の出力であるパルス信号の時系列波形概要、統計処理器30に入力される評価値若しくは状態信号などの入力信号の時系列波形概要と統計処理器30の出力となる平均値、統計処理器30の出力及び状態フィードバック信号24を入力とする最適化器31の出力である更新信号の時系列波形概要を示している。図7に図示した波形概要は、統計処理器30の評価周期を翼4の一回転の1倍の時間とし、最適化器31の更新周期を翼4の一回転の n 倍(n は正の整数)の時間、ここでは一例として、翼4の一回転の2倍($n=2$)の時間とし、最適化器31より出力される更新信号はピッチ駆動装置6へ出力されるピッチ角指令信号であり、風力発電装置2のロータを構成する翼4が3枚の翼A、翼B、翼Cの場合を一例として示している。

40

【0026】

図7の最下段に、統計処理器30の評価周期を翼4の一回転の1倍の時間とし、最適化

50

器 3 1 の更新周期を、ロータを構成する 3 枚の翼 A、翼 B、及び翼 C の各翼の一回転の二倍 ($n = 2$) の時間とし、更新信号がピッチ角指令信号の場合を示している。風力発電システム 1 が 3 枚の翼 4 (翼 A、翼 B、及び翼 C) を備え、回転角度を引数とするピッチ角指令信号の関数形を改善器 2 2 で改善する場合、各々の翼の回転角度は 120 度ずつシフトするため、改善器 2 2 で試行される関数形から出力される信号も 120 度ずつシフトした信号となる。改善器 2 2 の評価値は、発電出力の統計値及び / 又は加速度の統計値を評価値として用いるため、異なる関数形が混在する試行期間(図 7 中のハッチング部)に得られた評価値は、最適化器 3 1 の評価の対象から除かれる。特定の試行関数形に対する評価値を複数得るためには、最適化器 3 1 の評価期間を翼 4 の一回転の n 倍 (n は正の整数) とし、長くすることで達成される。なお、例えば、翼 4 (翼 A、翼 B、及び翼 C) の一回転の 10 倍などが設定される。10 倍とした場合、ある関数形 (運転方法: 制御方式) に対し複数回の評価値を取得することで、評価値群で試行すべき関数形を評価でき、より最適な関数形を設定することが可能となる。このような関数形の試行錯誤には、遺伝的アルゴリズム或いは強化学習による最適化アルゴリズムが好適である。

図 7 の上から 3 段目に示す、評価値の平均値は、上述のアルゴリズムに依存し、評価すべき関数形は一定で、パラメータのみを更新し試行すべき関数形 (含むパラメータ) を設定する場合、及び、平均値と分散との関係から試行すべき関数形を設定する場合があります。

【0027】

なお、本実施例では図 6 に示したように、制御器 3 が改善器 2 2 を有する構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、改善器 2 2 を、ネットワークを介して制御器 3 と相互に通信可能に設置しても良い。この場合、例えば、風力発電装置 2 から離間し、遠隔地に建設される指令所に、改善器 2 2 を設置しても良い。

【0028】

以上の通り本実施例によれば、上述の実施例 1 の効果に加え、風の変動による擾乱の影響を受けることなく、風力発電システム 1 の制御方式の改善を実施することが可能となる。

【実施例 3】

【0029】

図 8 は、本発明の他の実施例に係る実施例 3 の制御器 3 のブロック図である。上述の実施例 1 は、改善器 2 2 が更新信号 2 7 を風力発電装置制御器 2 0 へ出力する構成としたのに対し、本実施例では、改善器 2 2 が更新信号 2 7 b を風力発電装置制御器 2 0 へ出力する構成に加え、風力発電装置制御器 2 0 の出力信号である駆動装置群 2 1 に対する指令信号 2 6 に、改善器 2 2 の更新信号 2 7 a を加算する構成を有する点が実施例 1 と異なる。実施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付している。その他の構成は実施例 1 と同様であり、以下では実施例 1 と重複する説明を省略する。

【0030】

図 8 に示すように、本実施例の風力発電システム 1 を構成する制御器 3 は、風力発電装置制御器 2 0、改善器 2 2、及び風力発電装置制御器 2 0 の出力信号である駆動装置群 2 1 に対する指令信号 2 6 に改善器 2 2 からの更新信号 2 7 a を加算する加算器 3 4 を備える。また、改善器 2 2 は、更新信号 2 7 b を風力発電装置制御器 2 0 へ出力する。ここで、更新信号 2 7 a として、例えば、3 枚の翼にてロータが構成される場合、翼 A、翼 B、翼 C のピッチ駆動装置 6 に出力されるピッチ角指令値を補正するための更新信号であり、上述の図 7 の更新信号として表される。また、更新信号 2 7 b として、例えば、ピッチ駆動装置 6 を比例積分制御器 (PI 制御器) にて制御する場合、この比例積分制御器の制御ゲインが改善器 2 2 より風力発電装置制御器 2 0 へ出力される。更新信号 2 7 b は、上述の図 5 に示すように一定値となる。

【0031】

より具体的には、例えば、風力発電装置 2 におけるピッチ制御を一例とし、あるロータアジマス角に対して翼毎にピッチ角を制御する場合を説明する。更新信号 2 7 b は、例え

ば、風力発電装置制御器 20 内の比例積分制御器へリミッタ（制御変数の上限値）が時間に対して一定の値（係数又はリミッタの値）である。風力発電装置制御器 20 は、入力された更新信号 27 b に基づき、コレクティブピッチ角をピッチ角指令信号として出力する。ここで、コレクティブピッチ角とは、3 枚の翼（翼 A、翼 B、翼 C）の統一のピッチ角である。更新信号 27 b は、更新期間中において関数形及び出力信号が一定の値を維持する。

更新信号 27 a は、翼 A に対するオフセット、翼 B に対するオフセット、翼 C に対するオフセットである。翼毎のピッチ角の位相をオフセットとして加算器 34 に改善器 22 より出力される。更新信号 27 a は、更新期間中において関数形は一定であるものの、出力信号は変化する。

10

【0032】

なお、本実施例では図 6 に示したように、制御器 3 が改善器 22 を有する構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、改善器 22 を、ネットワークを介して制御器 3 と相互に通信可能に設置しても良い。この場合、例えば、風力発電装置 2 から離間し、遠隔地に建設される指令所に、改善器 22 を設置しても良い。

【0033】

以上の通り本実施例によれば、風力発電装置制御器 20 の制御定数の更新による改善と、風力発電装置制御器 20 の駆動装置群 21 への指令信号を制御周期で加算的に更新することによる改善の、双方の改善効果を得ることが可能となる。

【実施例 4】

20

【0034】

図 9 は、本発明の他の実施例に係る実施例 4 の制御器のブロック図である。本実施例では、改善器 22 が、第 1 最適化器 31 a、第 2 最適化器 31 b、及び運転領域判別器 32 を有する点が実施例 1 と異なる。実施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付している。その他の構成は実施例 1 と同様であり、以下では実施例 1 と重複する説明を省略する。

【0035】

図 9 に示すように、本実施例の改善器 22 は、発電出力演算器 28、翼回転判別器 29、統計処理器 30、第 1 最適化器 31 a、第 2 最適化器 31 b、及び運転領域判別器 32 を有する。これら、発電出力演算器 28、翼回転判別器 29、統計処理器 30、第 1 最適化器 31 a、第 2 最適化器 31 b、及び運転領域判別器 32 は、図示しない CPU などのプロセッサ、各種プログラム（上述の制御方式）を格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。

30

【0036】

第 1 最適化器 31 a 及び第 2 最適化器 31 b は、それぞれ異なる目的、例えば、第 1 最適化器 31 a が発電出力の向上を目的とした最適化を実行し、第 2 最適化器 31 b が加速度（荷重）の低減を目的とした最適化を実行する。なお、ここで、「発電出力の向上を目的とした最適化」と「加速度（荷重）の低減を目的とした最適化」とは、トレードオフの関係にはない。「加速度（荷重）の低減」は、風力発電装置 2 を構成する翼 4 及びタワー 12 などの構造体にかかる荷重（振動振幅値）であり、加速度（荷重）を低減することで、構造体の寿命を長くすることが可能となる。また、第 1 最適化器 31 a 及び第 2 最適化器 31 b により実行される最適化処理は、上述の異なる目的に限られるものではない。例えば、同一目的の最適化であっても、状態信号 25 の統計処理器 30 で処理した後の状態信号 25' によって異なる運転領域と判別される場合に、第 1 最適化器 31 a 及び第 2 最適化器 31 b に対し、それぞれ異なる最適化アルゴリズムを適用しても良い。

40

【0037】

運転領域判別器 32 は、第 1 最適化器 31 a より出力される更新信号 27 a、第 2 最適化器 31 b より出力される更新信号 27 b、及び、上述の統計処理器 30 で処理された回転速度及び / 又は風速を入力する。運転領域判別器 32 は、入力された統計処理後の回転

50

速度及び/又は風速を用いて運転領域を判別し、判別した運転領域で適用される最適化を実行する更新信号27a及び/又は更新信号27bを出力する。なお、判別した運転領域で適用を意図しない最適化を実行する第1最適化器31aより出力される更新信号27a又は第2最適化器31bより出力される更新信号27bは、破棄若しくは過去に運転領域として認識された値の保持もしくは初期設定のいずれかの処理を、運転領域判別器32が実行する。

【0038】

図10は、運転領域の一例を示す図であり、風力発電システム1における制御方式の改善が未対応の風速に対する発電出力の特性を示している。図10において、横軸は風速(平均)であり、縦軸は発電電力(平均)である。図10に示すように、風力発電システム1の発電出力が定格出力以下の風速領域を低風速域と定義すると、低風速域では風速の増加に対して発電出力が増加するように制御が実行される。一方、風力発電システム1の発電出力が定格出力に達する風速領域を高風速域と定義すると、高風速域では風速の増加に対して発電出力を定格出力で一定に保つ制御が実行される。

10

【0039】

例えば、上述のように運転領域を、風力発電システム1が受風する平均風速を用いて低風速域と高風速域の2つの運転領域に区分する場合を一例として、改善器22の動作について説明する。

第1最適化器31aが発電出力の向上を目的とした最適化を実行し、第2最適化器31bが加速度(荷重)の低減を目的とした最適化を実行する場合で、且つ、第1最適化器31aが電力変換器13に係る制御定数若しくは電力変換器13への指令信号に対して加算によって改善を実行し、第2最適化器31bがピッチ駆動装置6に係る制御定数若しくはピッチ駆動装置6への指令信号に対して加算によって改善を実行する場合で、さらに、風力発電システム1が定格以上の発電出力が許容されない場合を想定する。運転領域判別器32が、入力された統計処理器30で処理された風速に基づき、運転領域を低風速域と判別すると、発電出力の向上と加速度(荷重)の低減の双方の改善が実行可能であるため、第1最適化器31aからの更新信号27a及び第2最適化器31bからの更新信号27bのそれぞれが、運転領域判別器32より出力される。一方、運転領域判別器32が、入力された統計処理器30で処理された風速に基づき、運転領域を高風速域と判別すると、発電出力を向上させることは不適であるため第1最適化器31aからの更新信号27aは低風速域における最適化によって得られた更新信号に保持されるか、若しくは、風力発電装置2が初期設定時に受信する指令信号となるように初期設定の値が用いられる。加速度(荷重)の低減を目的とした改善は実行可能であるため、第2最適化器31bからの更新信号27bはそのまま出力される。

20

30

【0040】

複数の最適化器の出力が同一である場合、例えば、第1最適化器31a及び第2最適化器31bが出力する更新信号27a及び更新信号27bが、共にピッチ駆動装置6に係る制御定数である場合若しくは共にピッチ駆動装置6への指令信号に対して加算によって改善を実行する場合において、上述の第1最適化器31a及び第2最適化器31bによる改善は互いに干渉することになるため、運転領域判別器32には、互いに干渉する第1最適化器31a及び第2最適化器31bの改善をそれぞれ異なる運転領域で適用するように運転領域と適用する最適化器の出力選択が定義される。各運転領域において、互いに干渉する第1最適化器31a及び第2最適化器31bの更新信号27a及び更新信号27bは、運転領域判別器32によって、適用が定義される第1最適化器31aからの更新信号27a又は第2最適化器31bから更新信号27bが出力され、適用が定義されない第1最適化器31aからの更新信号27a又は第2最適化器31bから更新信号27bは破棄される。これによって、互いに干渉する改善効果を各運転領域に応じて選択することができる。

40

【0041】

なお、本実施例では、第1最適化器31a及び第2最適化器31bの2つの最適化器3

50

1を有する場合を一例に説明したが、最適化器31の数はこれに限られるものではなく、複数(3つ以上)の最適化器31を有する構成としても良い。

また、上述のように改善器22が動作する所定条件の一例として、風力発電システム1の発電出力が定格出力を基準として低風速域及び高風速域の2つの運転領域に分ける場合を示したが、必ずしもこれに限られるものではない。例えば、所定の発電出力(平均)及び定格出力を基準とし、3つの運転領域に区分しても良く、所定条件として設定する運転領域の数は適宜設定すれば良い。

【0042】

なお、本実施例では図9に示す改善器22を制御器3内に設ける構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、改善器22を、ネットワークを介して制御器3と相互に通信可能に設置しても良い。この場合、例えば、風力発電装置2から離間し、遠隔地に建設される指令所に、改善器22を設置しても良い。

10

【0043】

以上の通り本実施例によれば、実施例1の効果に加え、発電出力の向上を目的とした最適化及び加速度(荷重)の低減を目的とした最適化などの異なる最適化の目的に対しても好適に風力発電装置を制御することが可能となる。

また、本実施例によれば、同一目的の最適化であっても、異なる運転領域毎に風力発電装置を最適に制御することが可能となる。

【実施例5】

【0044】

20

図11は、本発明の他の実施例に係る実施例5の複数の風力発電システムを備える風力発電所の全体概略構成図である。本実施例では、複数の風力発電システムからなるウィンドファームを有する風力発電所において、一の風力発電システムが他の風力発電システムの状態フィードバック信号及び状態信号を受信し改善器が動作する点が実施例1異なる。実施例1と同様の構成要素に同一符号を付している。その他の構成は実施例1と同様であり、以下では実施例1と重複する説明を省略する。

【0045】

図11に示すように、本実施例では、風力発電所33が、風上に位置する風力発電システム1a及び風力発電システム1aよりも風下に位置する風力発電システム1bを備える。図11では説明の便宜上、2つの風力発電システム1a及び風力発電システム1bのみを示すが、ウィンドファーム内に設置される風力発電システムは多数存在し、以下に説明する風力発電システム1a及び風力発電システム1bと同様に動作する。

30

【0046】

風力発電システム1aを構成する制御器3a及び風力発電システム1bを構成する制御器3bは、それぞれ発電所制御装置19と相互に通信するのみならず、各風力発電システム1a, 1bは発電所制御装置19から自機以外の少なくとも風力発電システムの状態フィードバック信号24及び状態信号25を受信する。受信した自機以外の他の風力発電システムの状態フィードバック信号24及び状態信号25は、自機の状態フィードバック信号24及び状態信号25と同様に扱い制御器3を構成する改善器22に入力され、改善器22を構成する最適化器31における評価値の分類に使用される。その他の処理は、上述の各実施例に記載の処理と同一である。例えば、風上に位置する風力発電システム1aを構成する制御器3aは、発電所制御装置19から風下に位置する風力発電システム1bを構成する風力発電装置2bの状態フィードバック信号24及び状態信号25を受信し、制御器3aを構成する改善器22は、受信した風力発電装置2bの状態フィードバック信号24及び状態信号25、並びに、自機である風力発電装置2aの状態フィードバック信号24及び状態信号25に基づき動作する。ここで、風力発電システム1aを構成する制御器3a内の改善器22、及び、風力発電システム1bを構成する制御器3b内の改善器22の構成は、上述の実施例1乃至実施例4に示した改善器22のうちのいずれかが適用される。

40

【0047】

50

これにより、自機の状態以外に周囲に設置された風力発電システム 1 の状態を考慮した評価値の分類が可能となる。例えば、自機である風力発電システム 1 b に対して風上に位置する風力発電システム 1 a の発電出力の状態やヨー角度などの運転状態によって、風下側に位置する風力発電システム 1 b を構成する風力発電装置 2 b (自機) が受風する風の風速低下や乱流強度の増加が発生するため、これらを考慮した風力発電装置 2 b (自機) の制御方式の改善を実行することができる。また、評価値を風力発電装置 2 b (自機) の発電出力とするだけでなく、風力発電所 3 3 を構成する全風力発電システム 1 の発電出力の総和とすることで、風力発電所 3 3 の総発電出力を向上させるために、各風力発電システム 1 が周囲の他の風力発電システム 1 の運転状態を考慮した制御方式の改善を実行することが可能となる。例えば、風上に位置する風力発電システム 1 a が風下に位置する風力発電システム 1 b の発電出力の向上のために、発電出力の上限を抑制することやヨー角を変更し、風下の風力発電システム 1 b が受風する風の風速低下や乱流強度の増加を抑制することが可能となる。

10

【0048】

なお、本実施例では図 1 1 に示す制御器 3 a 及び制御器 3 b 内にそれぞれ改善器 2 2 (図示せず) を設ける構成を説明したが、これに限られるものではない。例えば、改善器 2 2 を、ネットワークを介してそれぞれ制御器 3 a 及び制御器 3 b と相互に通信可能に設置しても良い。この場合、例えば、風力発電装置 2 から離間し、遠隔地に建設される指令所に、改善器 2 2 を設置しても良い。

20

【0049】

以上の通り本実施例によれば、ウィンドファームを有する風力発電所の総発電出力を向上することが可能となる。

【0050】

以上、実施例 1 乃至実施例 5 を例にし、風力発電システム 1 の状態フィードバック信号 2 4 及び状態信号 2 5 を入力とする改善器 2 2 によって、各風力発電システム 1 が発電出力の向上及び / 又は加速度 (荷重) の低減の改善を目的に、風力発電装置 2 の制御方式を改善する機能を組み込んだ制御器 3 を構成する改善器 2 2 について述べた。改善器 2 2 を各風力発電システム 1 に備える構成について説明したが、制御器 3 と発電所制御装置 1 9 との通信が、各風力発電システム 1 へ更新信号を送信するのに十分な性能を備えている場合には、発電所制御装置 1 9 に改善器 2 2 の機能を備え、各風力発電システム 1 の発電出力の向上及び加速度 (荷重) の低減を実行しても良い。また、風力発電所の総発電出力の向上を実行しても良い。最適化器 3 1 に採用されるアルゴリズムは、最急降下法や共役勾配法などの最適化アルゴリズムや、遺伝的アルゴリズムや強化学習のような試行錯誤型の最適値探索アルゴリズムを想定し、これらアルゴリズムを適用するための評価値及び動作状態を最適化器 3 1 に入力する。しかし、アルゴリズムは上述のアルゴリズムに限られるものではなく、評価値の改善を目的に更新信号を算出できるアルゴリズムであれば採用可能である。また、改善の試行において、風力発電システム 1 が設計時に想定し得ない動作となるような更新信号は、最適化器 3 1 に探索すべき更新信号の出力制限幅を設けると共に、風力発電システム 1 を構成する駆動装置群 2 1 に保護機能を備え、これらソフトとハードの両面で、風力発電システム 1 の健全性が担保されるものとする。

30

40

【0051】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。

【符号の説明】**【0052】**

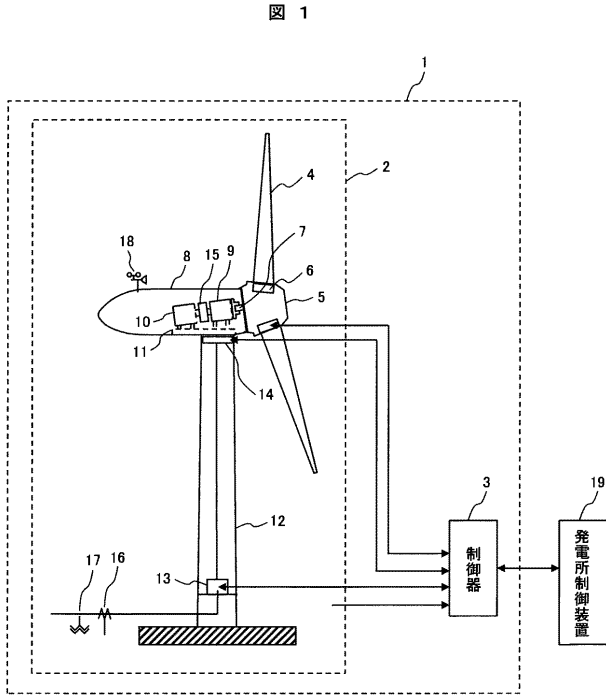
1, 1 a, 1 b . . . 風力発電システム

2, 2 a, 2 b . . . 風力発電装置

50

3 , 3 a , 3 b . . . 制御器	
4 . . . 翼	
5 . . . ハブ	
6 . . . ピッチ駆動装置	
7 . . . 主軸	
8 . . . ナセル	
9 . . . 増速機	
10 . . . 発電機	
11 . . . フレーム	
12 . . . タワー	10
13 . . . 電力変換器	
14 . . . ヨー駆動装置	
15 . . . 回転速度・回転角度センサ	
16 . . . 電流センサ	
17 . . . 電圧センサ	
18 . . . 風速・風向センサ	
19 . . . 発電所制御装置	
20 . . . 風力発電装置制御器	
21 . . . 駆動装置群	
22 . . . 改善器	20
23 . . . 計測センサ群	
24 . . . 状態フィードバック信号	
25 . . . 状態信号	
26 . . . 指令信号	
27 , 27 a , 27 b . . . 更新信号	
28 . . . 発電出力演算器	
29 . . . 翼回転判別器	
30 . . . 統計処理器	
31 . . . 最適化器	
31 a . . . 第1最適化器	30
31 b . . . 第2最適化器	
32 . . . 運転領域判別器	
33 . . . 風力発電所	
34 . . . 加算器	

【 図 1 】



【 図 2 】

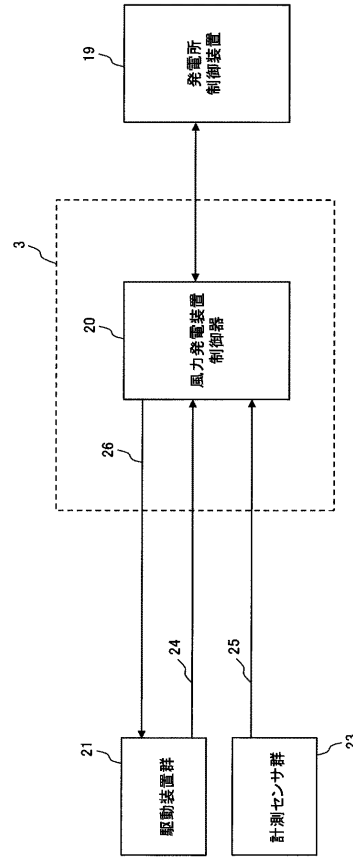
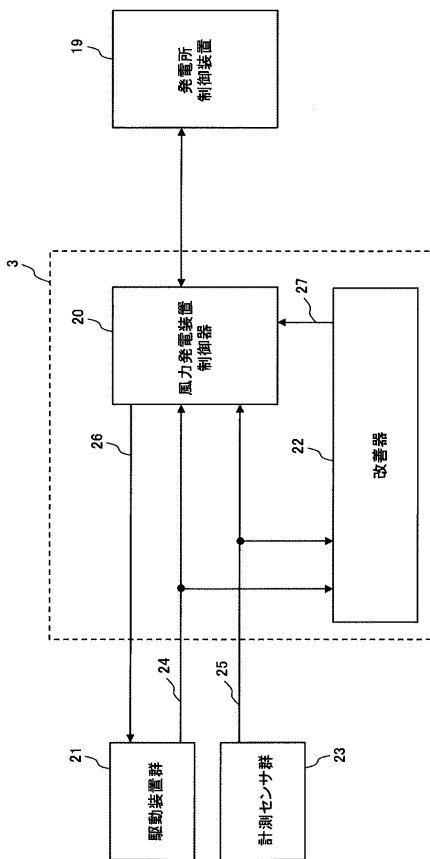


図 2

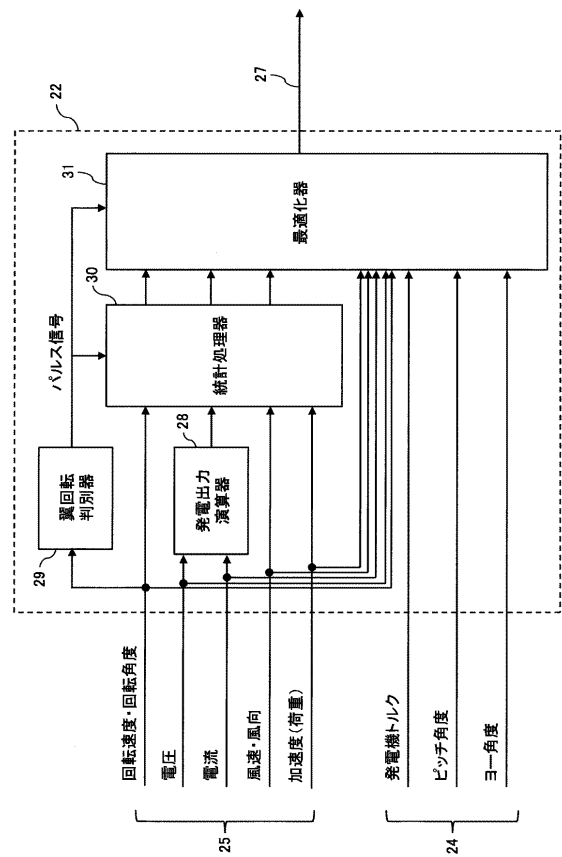
【 図 3 】

図 3

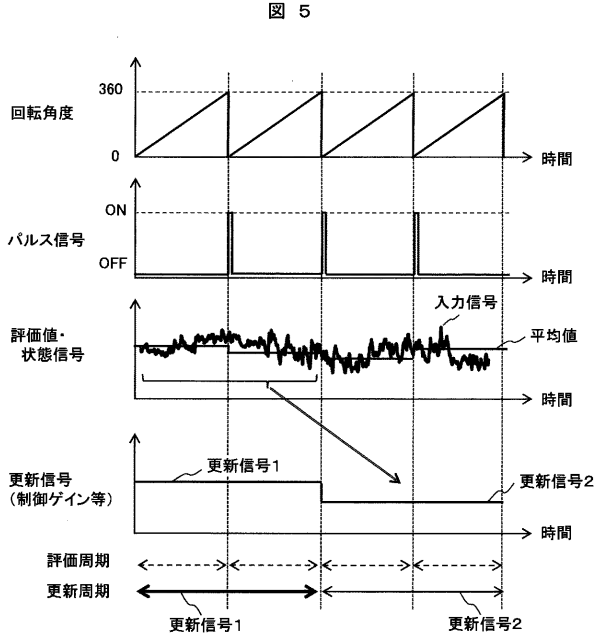


【 図 4 】

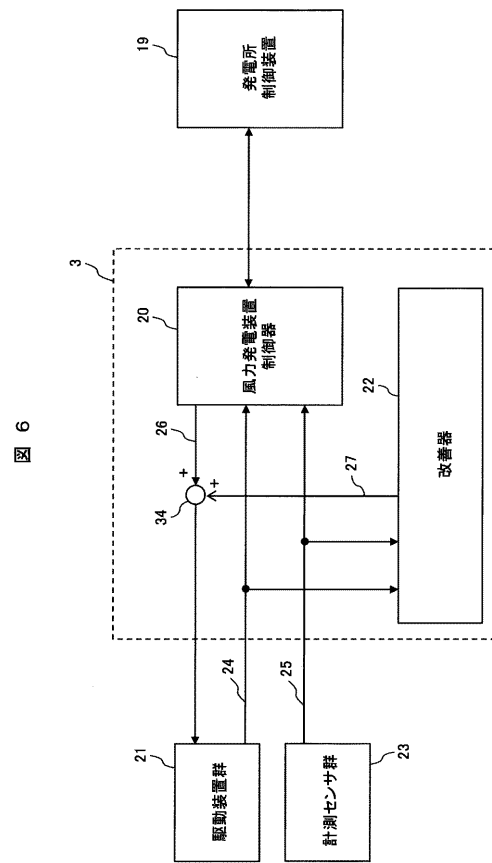
図 4



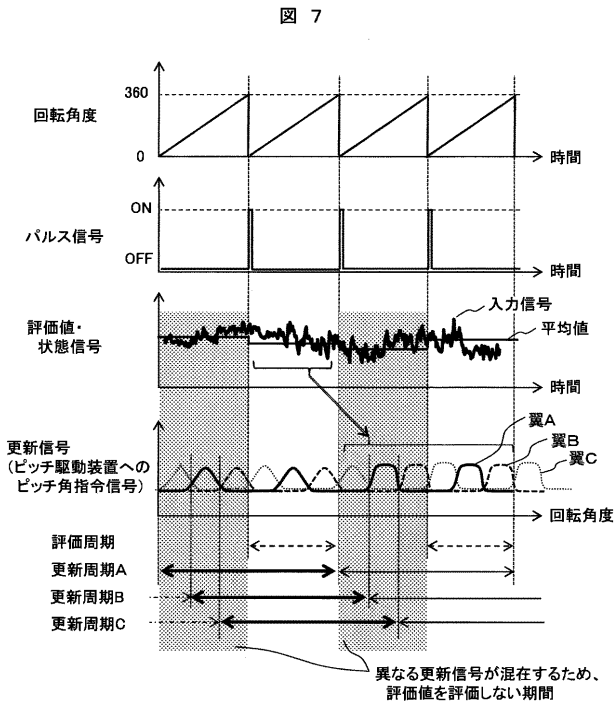
【 図 5 】



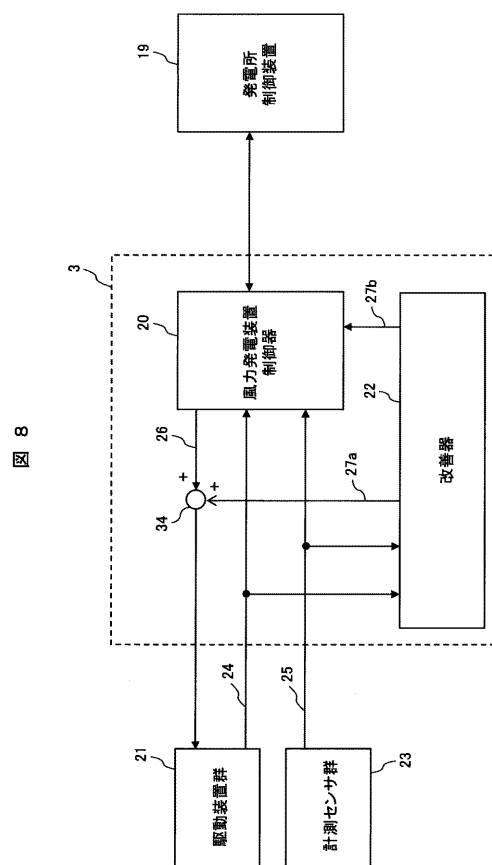
【 図 6 】



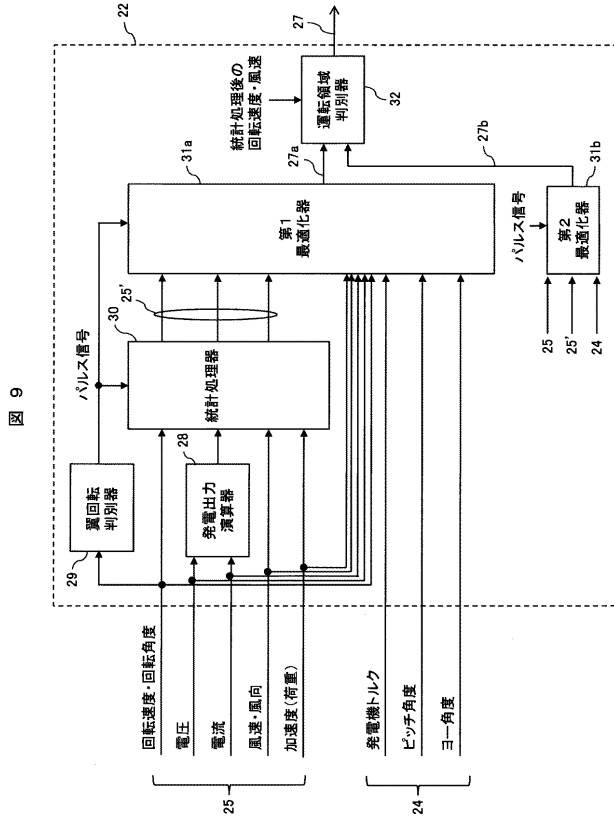
【 図 7 】



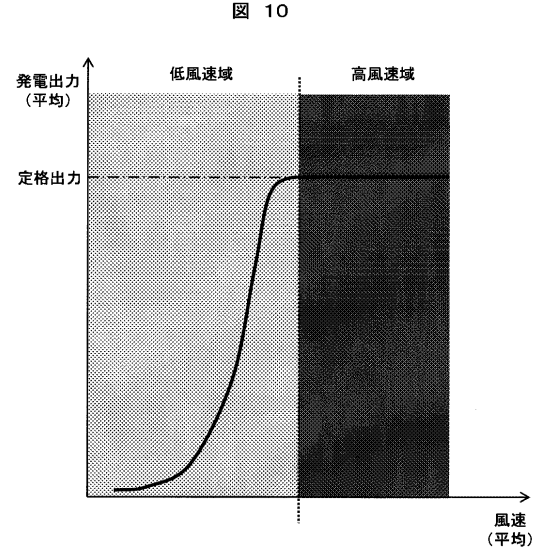
【 図 8 】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

