

(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2020-5476

(P2020-5476A)

(43) 公開日 令和2年1月9日(2020.1.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02J 3/38 (2006.01)	H02J 3/38 160	3H178
F03D 7/04 (2006.01)	F03D 7/04 Z	5G064
F03D 1/02 (2006.01)	F03D 1/02	5G066
F03D 1/06 (2006.01)	F03D 1/06 A	5H590
H02J 3/46 (2006.01)	H02J 3/46	
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2018-125822 (P2018-125822)
 (22) 出願日 平成30年7月2日 (2018.7.2)

(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 中谷 正親
 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
 (72) 発明者 伊藤 智道
 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
 (72) 発明者 角谷 啓
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法

(57) 【要約】

【課題】

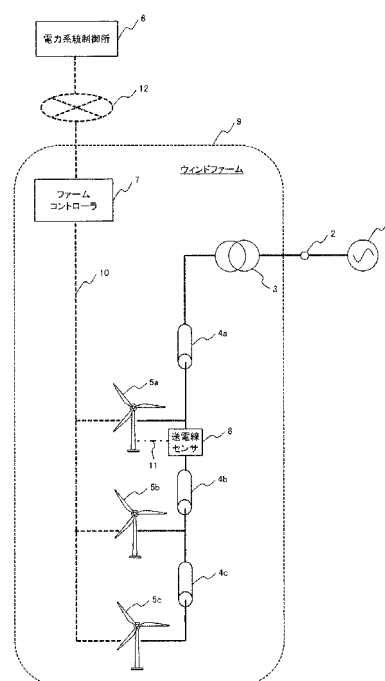
高速広域の通信設備を用いることなく、ウィンドファームの発電出力を上限値に一致させ得るウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法を提供する。

【解決手段】

ウィンドファーム9は、風力エネルギーを受けて発電する複数基の風力発電装置(5a, 5b, 5c)と、風力発電装置の発電出力を制御する風車コントローラ517aと、複数基の風力発電装置(5a, 5b, 5c)のうち一部の風力発電装置(5b, 5c)の合成発電出力を計測する送電線センサ8を備え、少なくとも、第1の風力発電装置5aを制御する第1の風車コントローラ517aは、送電線センサ8により計測される一部の風力発電装置(5b, 5c)の合成発電出力の計測値に基づき第1の風力発電装置5aの発電指令値を決定する。

【選択図】 図1

図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

風力エネルギーを受けて発電する複数基の風力発電装置と、
前記風力発電装置の発電出力を制御する風車コントローラと、
前記複数基の風力発電装置のうち一部の風力発電装置の合成発電出力を計測する送電線センサを備え、

少なくとも、第 1 の風力発電装置を制御する第 1 の風車コントローラは、前記送電線センサにより計測される前記一部の風力発電装置の合成発電出力の計測値に基づき前記第 1 の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のウィンドファームにおいて、

電力系統制御所から通信ネットワークを介してファーム出力上限指令値を受信し、広域低速通信を介して、前記複数基の風力発電装置へそれぞれ風車出力上限指令値を送信するファームコントローラを備え、

前記ファームコントローラは、

前記ファーム出力上限指令値を受信する受信部と、

前記複数基の風力発電装置による合成出力の上限値及び所定の配分比率に基づき、前記風車出力上限指令値を決定する風車出力上限決定部と、を有し、

前記第 1 の風車コントローラは、局所高速通信を介して前記送電線センサにより計測される合成発電出力の計測値を受信し、前記合成発電出力の計測値及び前記風車出力上限指令値に基づき前記第 1 の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のウィンドファームにおいて、

風力発電装置間または風力発電装置と電力系統の接続と切断を切替える開閉器を備え、

前記ファームコントローラは、少なくとも前記開閉器の開閉状態と、前記送電線センサの使用有無と、前記配分比率とを対応づけたテーブルを保存する制御テーブル記憶装置を有し、前記風車出力上限決定部は、前記制御テーブル記憶装置に保存されるテーブルに基づき前記風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 4】

請求項 2 に記載のウィンドファームにおいて、

前記ファームコントローラは、少なくとも前記第 1 の風力発電装置の発電出力の閾値、前記送電線センサの使用有無と、前記配分比率とを対応づけたテーブルを保存する制御テーブル記憶装置を有し、前記風車出力上限決定部は、前記制御テーブル記憶装置に保存されるテーブルに基づき前記風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のウィンドファームにおいて、

前記ファームコントローラは、

前記受信部にて第 1 の風力発電装置の発電出力計測値を受信し、前記第 1 の風力発電装置の発電出力計測値が前記第 1 の風力発電装置の発電出力の閾値未満の場合、前記風車出力上限決定部は、他の風力発電装置の合成発電出力の計測値が前記ファーム出力上限指令値となるよう前記他の風力発電装置の風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 6】

請求項 2 に記載のウィンドファームにおいて、

前記ファームコントローラは、第 1 のファームコントローラ及び第 2 のファームコントローラを備え、

前記第 1 のファームコントローラは、前記一部の風力発電装置と前記広域低速通信を介して接続され、

10

20

30

40

50

前記第 2 のファームコントローラは、少なくとも前記第 1 の風力発電装置及び前記送電線センサと前記局所高速通信を介して接続されることを特徴とするウィンドファーム。

【請求項 7】

風力エネルギーを受けて発電する複数基の風力発電装置と、前記風力発電装置の発電出力を制御する風車コントローラと、前記複数基の風力発電装置のうち一部の風力発電装置の合成発電出力を計測する送電線センサを備えるウィンドファームの制御方法であって、

少なくとも、第 1 の風力発電装置を制御する第 1 の風車コントローラは、前記送電線センサにより計測される前記一部の風力発電装置の合成発電出力の計測値に基づき前記第 1 の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とするウィンドファームの制御方法。

【請求項 8】

10

請求項 7 に記載のウィンドファームの制御方法において、

前記ウィンドファームは、電力系統制御所から通信ネットワークを介してファーム出力上限指令値を受信し、広域低速通信を介して、前記複数基の風力発電装置へそれぞれ風車出力上限指令値を送信するファームコントローラを備え、

前記ファームコントローラは、前記複数基の風力発電装置による合成出力の上限値及び所定の配分比率に基づき、前記風車出力上限指令値を決定し、

前記第 1 の風車コントローラは、局所高速通信を介して前記送電線センサにより計測される合成発電出力の計測値を受信し、前記合成発電出力の計測値及び前記風車出力上限指令値に基づき前記第 1 の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とするウィンドファームの制御方法。

20

【請求項 9】

請求項 8 に記載のウィンドファームの制御方法において、

前記ウィンドファームは、風力発電装置間または風力発電装置と電力系統の接続と切断を切替える開閉器を備え、

前記ファームコントローラは、少なくとも前記開閉器の開閉状態と、前記送電線センサの使用有無と、前記配分比率とを対応づけたテーブルを保存し、前記保存されたテーブルに基づき前記風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファームの制御方法。

【請求項 10】

請求項 8 に記載のウィンドファームの制御方法において、

30

前記ファームコントローラは、少なくとも前記第 1 の風力発電装置の発電出力の閾値、前記送電線センサの使用有無と、前記配分比率とを対応づけたテーブルを保存し、前記保存されるテーブルに基づき前記風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファームの制御方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のウィンドファームの制御方法において、

前記ファームコントローラは、第 1 の風力発電装置の発電出力計測値を受信し、前記第 1 の風力発電装置の発電出力計測値が前記第 1 の風力発電装置の発電出力の閾値未満の場合、他の風力発電装置の合成発電出力の計測値が前記ファーム出力上限指令値となるよう前記他の風力発電装置の風車出力上限指令値を決定することを特徴とするウィンドファームの制御方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、風のエネルギーを利用して発電する風力発電装置を複数基備えるウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

地球温暖化の原因と考えられている二酸化炭素の排出量削減が大きな課題である。二酸化炭素の排出量削減の方策の一つとして、2 基以上の風力発電装置からなる風力発電装置

50

群（以下、ウィンドファームと称する）の導入が盛んになっている。ウィンドファームは電力系統に連系されて用いられることが多いが、風速の変動により、発電出力が変動し、連系先の電力系統の周波数に悪影響を及ぼすことが懸念される。その対策の一つとして、ウィンドファームの発電出力に上限値を設定し、電力系統の周波数上昇を抑制する提案がなされている。

例えば、特許文献１には、複数基の風力発電装置を集中制御するファームコントローラによって、ウィンドファームの発電出力を所定の上限値に一致される方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【０００３】

【特許文献１】特表２０１６－５２１５３８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

しかしながら、特許文献１に記載される構成では、ファームコントローラが、ウィンドファームの発電出力の変化に応じてウィンドファーム内の全ての風力発電装置の出力上限指令を逐次更新する必要がある。ウィンドファームの発電出力は、風速の変化によって数秒間隔で変動する場合があるため、ファームコントローラには高速な通信設備が必要となる。また、大規模なウィンドファームには、数百基の風力発電装置が接続されるため、広域の通信設備が必要となる。このことから、特許文献１に記載される構成では、ファームコントローラに高速広域の通信設備の設置を要するという課題が生じる。

20

そこで、本発明は、高速広域の通信設備を用いることなく、ウィンドファームの発電出力を上限値に一致させ得るウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【０００５】

上記課題を解決するため、本発明に係るウィンドファームは、風力エネルギーを受けて発電する複数基の風力発電装置と、前記風力発電装置の発電出力を制御する風車コントローラと、前記複数基の風力発電装置のうち一部の風力発電装置の合成発電出力を計測する送電線センサを備え、少なくとも、第１の風力発電装置を制御する第１の風車コントローラは、前記送電線センサにより計測される前記一部の風力発電装置の合成発電出力の計測値に基づき前記第１の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とする。

30

【０００６】

また、本発明に係るウィンドファームの制御方法は、風力エネルギーを受けて発電する複数基の風力発電装置と、前記風力発電装置の発電出力を制御する風車コントローラと、前記複数基の風力発電装置のうち一部の風力発電装置の合成発電出力を計測する送電線センサを備えるウィンドファームの制御方法であって、少なくとも、第１の風力発電装置を制御する第１の風車コントローラは、前記送電線センサにより計測される前記一部の風力発電装置の合成発電出力の計測値に基づき前記第１の風力発電装置の発電指令値を決定することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【０００７】

本発明によれば、高速広域の通信設備を用いることなく、ウィンドファームの発電出力を上限値に一致させ得るウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法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】

【０００８】

【図１】本発明の一実施例に係る実施例１のウィンドファームの全体概略構成図である。

50

【図 2】図 1 に示すウィンドファーム内に設置される一の風力発電装置 5 b の概略構成を示す図である。

【図 3】図 1 に示すウィンドファーム内に設置される他の風力発電装置 5 a の概略構成を示す図である。

【図 4】図 1 に示すウィンドファーム内に設置されるファームコントローラの概略構成を示す図である。

【図 5】図 4 に示す制御テーブル記憶装置に保存されるテーブルの一例を示す図である。

【図 6】図 2 に示す風力発電装置 5 b を構成する風車コントローラ 5 1 7 b の概略構成を示す図である。

【図 7】図 3 に示す風力発電装置 5 a を構成する風車コントローラ 5 1 7 a の概略構成を示す図である。

10

【図 8】図 1 に示すウィンドファーム全体の動作を示すフローチャートである。

【図 9】実施例 1 における風力発電装置の発電出力を説明するためのグラフである。

【図 10】実施例 1 におけるウィンドファームの合成発電出力を説明するためのグラフである。

【図 11】実施例 1 の変形例 1 におけるファーム出力上限指令を説明するためのグラフである。

【図 12】実施例 1 の変形例 1 におけるファーム出力上限指令を説明するためのテーブルである。

【図 13】本発明の他の実施例に係る実施例 2 のウィンドファームの全体概略構成図である。

20

【図 14】図 13 に示すウィンドファーム内に設置されるファームコントローラの概略構成を示す図である。

【図 15】図 14 に示す制御テーブル記憶装置に保存されるテーブルの一例を示す図である。

【図 16】実施例 2 におけるウィンドファームの結線（ケース 1）を示す図である。

【図 17】実施例 2 におけるウィンドファームの結線（ケース 2）を示す図である。

【図 18】実施例 2 におけるウィンドファームの結線（ケース 3）を示す図である。

【図 19】図 13 に示すウィンドファーム全体の動作を示すフローチャートである。

【図 20】本発明の他の実施例に係る実施例 3 のウィンドファームの全体概略構成図である。

30

【図 21】図 20 に示すウィンドファーム内に設置されるファームコントローラの概略構成を示す図である。

【図 22】図 21 に示す制御テーブル記憶装置に保存されるテーブルの一例を示す図である。

【図 23】図 20 に示すウィンドファーム全体の動作を示すフローチャートである。

【図 24】本発明の他の実施例に係る実施例 4 のウィンドファームの全体概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

40

以下、図面を用いて本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

【0010】

図 1 は、本発明の一実施例に係る実施例 1 のウィンドファームの全体概略構成図である。図 1 に示すように、本実施例のウィンドファーム 9 は、通信ネットワーク 12 を介して電力系統制御所 6 と相互に通信可能に接続されると共に、連系点 2 を接続地点としてウィンドファーム 9 の連系先の電力系統 1 に接続されている。ここで通信ネットワーク 12 は、有線であるか、無線であるかを問わない。

また、ウィンドファーム 9 は、連系変圧器 3、送電線 4（4 a，4 b，4 c）、風力発電装置 5（5 a，5 b，5 c）、ファームコントローラ 7、送電線センサ 8、広域低速通

50

信 10、及び局所高速通信 11 にて構成されている。風力発電装置 5 は、送電線 4 及び連系変圧器 3 を介して、連系点 2 に接続される。なお、図 1 では、ウィンドファーム 9 内に、風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c の 3 基の風力発電装置 5 を、送電線 4 a、送電線 4 b、及び送電線 4 c を介して連系変圧器 3 に直列に設置する場合を一例として示している。しかし、ウィンドファーム 9 内に設置される風力発電装置 5 の数はこれに限られるものではなく、例えば、2 基の風力発電装置 5、或いは 4 基以上の風力発電装置 5 を設置する構成としても良い。

【0011】

図 1 に示すように、ファームコントローラ 7 は、電力系統制御所 6 から通信ネットワーク 12 を介してファーム出力上限指令を受信し、広域低速通信 10（例えば、20 分周期）を介して、風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c へそれぞれ風車出力上限指令を送信する。ここで、ファームコントローラ 7 は、例えば、ウィンドファーム 9 内の建屋内に設置される。

電力系統制御所 6 は、電力系統 1 の周波数変動を規定値以内に抑えるために、ウィンドファーム及び火力発電所等に対し、出力調整を指令する役割を担う。送電線センサ 8 は、局所高速通信 11（例えば、1 秒周期）を介して、風力発電装置 5 a に、送電線 4 b の電力潮流計測値を送信する。局所高速通信 11 に代えて、送電線センサ 8 を構成する電圧センサ及び電流センサのアナログ出力の取り合いとしても良い。なお、送電線 4 b の電力潮流は、風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の合成発電出力である。その他の送電線について、送電線 4 c には、風力発電装置 5 c の発電出力が流れる。また、送電線 4 a には、全ての風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c の合成発電出力が流れる。

【0012】

次に、風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c の構成につき図 2 及び図 3 を用いて説明する。図 2 は図 1 に示すウィンドファーム 9 内に設置される一の風力発電装置 5 b の概略構成を示す図であり、図 3 は図 1 に示すウィンドファーム 9 内に設置される他の風力発電装置 5 a の概略構成を示す図である。なお、風力発電装置 5 c の構成は風力発電装置 5 b の構成と同様であるため以下では説明を省略する。

【0013】

図 2 に示すように、風力発電装置 5 b は、風を受けて回転する風力ブレード 5 4 b、風力ブレード 5 4 b を支持するハブ 5 2 b、図示しないナセル、及びナセルを回転可能に支持するタワー（図示せず）を備える。図示しないナセル内に、ハブ 5 2 b に接続されハブ 5 2 b と共に回転する回転軸 5 5 b、及び、回転軸 5 5 b に連結され回転子を回転させて発電運転する発電機 5 6 b を備えている。風力ブレード 5 4 b の回転エネルギーを発電機 5 6 b に伝達する部位は、動力伝達部と称される。また、風力ブレード 5 4 b 及びハブ 5 2 b によりロータが構成される。

また、風力発電装置 5 b は、風速計 5 1 b、可変ピッチ機構部 5 3 b、交流電圧センサ（5 7 b、5 1 5 b）、交流電流センサ（5 8 b、5 1 4 b）、回転速度検出器 5 9 b、有効電力演算部 5 10 b、コンバータ 5 11 b、直流電圧センサ 5 12 b、インバータ 5 13 b、昇圧変圧器 5 16 b、及び風車コントローラ 5 17 b を備える。

【0014】

風速計 5 1 b は、風力ブレード 5 4 b が受ける風の速度（風速）を計測する。風力ブレード 5 4 b で受けた風力エネルギーは、可変ピッチ機構部 5 3 b、ハブ 5 2 b、及び回転軸 5 5 b を介して発電機 5 6 b に伝達される。発電機 5 6 b は、風力エネルギーを発電出力（電気エネルギー）に変換し、発電出力をコンバータ 5 11 b に送る。コンバータ 5 11 b は、交流電圧センサ 5 7 b と交流電流センサ 5 8 b の計測値、及び風車コントローラ 5 17 b から指令される発電出力目標値 P_{G2}^* （発電出力は有効電力である）に基づいて、発電機 5 6 b の交流電圧及び交流電流を制御する。また、コンバータ 5 11 b は、発電機 5 6 b の交流電圧および交流電流を直流電圧および直流電流に変換し、直流電圧および直流電流をインバータ 5 13 b に送る。インバータ 5 13 b は、直流電圧センサ 5 12 b

10

20

30

40

50

、交流電圧センサ 5 1 5 b、及び交流電流センサ 5 1 4 bに基づいて、コンバータ 5 1 1 bとインバータ 5 1 3 bの間の直流電圧、及びインバータ 5 1 3 bの無効電力出力を制御する。また、インバータ 5 1 3 bは、コンバータ 5 1 1 bから送られた直流電圧及び直流電流を、交流電圧及び交流電流に逆変換することで、発電機 5 6 bの発電出力を昇圧変圧器 5 1 6 bに送る。昇圧変圧器 5 1 6 bは、電圧を昇圧して、発電出力を送電線 4 bに送る。

【0015】

回転速度検出器 5 9 bは、交流電圧センサ 5 7 bの交流電圧計測値から、発電機 5 6 bの回転速度 ω_r を検出する。

有効電力演算部 5 1 0 bは、交流電圧センサ 5 7 bの交流電圧計測値及び交流電流センサ 5 8 bの交流電流計測値から、発電機 5 6 bの発電出力 P_G （有効電力）を演算する。

【0016】

風車コントローラ 5 1 7 bは、風速計 5 1 bによる風速計測値 V_W 、ファームコントローラ 7から広域低速通信 1 0（図 1）により指令される風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ 、回転速度検出器 5 9 bにより検出された発電機 5 6 bの回転速度 ω_r 、及び有効電力演算部 5 1 0 bにより演算された発電機 5 6 bの発電出力 P_G に基づいて、発電出力目標値 P_{G2}^* 及びピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を決定する。

風車コントローラ 5 1 7 bは、発電出力目標値 P_{G2}^* をコンバータ 5 1 1 bへ送信すると共に、ピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を可変ピッチ機構部 5 3 bへ送信する。コンバータ 5 1 1 bは、発電出力 P_G が風車コントローラ 5 1 7 bより送信された発電出力目標値 P_{G2}^* に追従するように、発電機 5 6 bの出力電流を制御する。可変ピッチ機構部 5 3 bは、風車コントローラ 5 1 7 bより送信されたピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* に一致するように、風力ブレード 5 4 bのピッチ角（風向に対する風力ブレードの角度）を調整する。

【0017】

図 3に示すように、風力発電装置 5 aが、風力発電装置 5 b及び風力発電装置 5 cと異なる点は、風車コントローラ 5 1 7 aに、送電線センサ 8の電力潮流計測値 P_{LINE} （風力発電装置 5 b及び風力発電装置 5 cの合成発電出力の計測値）が入力される点である。風車コントローラ 5 1 7 aは、風速計 5 1 aによる風速計測値 V_W 、ファームコントローラ 7から広域低速通信 1 0（図 1）により指令される風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ 、回転速度検出器 5 9 aにより検出された発電機 5 6 aの回転速度 ω_r 、有効電力演算部 5 1 0 aにより演算された発電出力 P_G 、及び送電線センサ 8からの電力潮流計測値 P_{LINE} に基づいて、発電出力目標値 P_{G2}^* 及びピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を決定する。換言すれば、風車コントローラ 5 1 7 aが、他の風力発電装置 5 b及び風力発電装置 5 cの合成発電出力の計測値（送電線センサ 8の電力潮流計測値 P_{LINE} ）の過不足を判定し発電出力目標値 P_{G2}^* を求め風力発電装置 5 aの発電出力 P_G が求めた発電出力目標値 P_{G2}^* となるよう発電機 5 6 aの出力電流を制御する。なお、詳細については後述する。また、図 3に示す風力発電装置 5 aの構成要素である風速計 5 1 a～昇圧変圧器 5 1 6 aは、上述の図 2に示す風力発電装置 5 bの風速計 5 1 b～昇圧変圧器 5 1 6 bと同様の機能を有するため、ここでは詳細説明を省略する。

【0018】

次に、ファームコントローラ 7につき図 4及び図 5を用いて説明する。図 4は図 1に示すウィンドファーム 9内に設置されるファームコントローラ 7の概略構成を示す図であり、図 5は図 4に示す制御テーブル記憶装置 7 4に保存されるテーブルの一例を示す図である。

【0019】

図 4に示すように、ファームコントローラ 7は、受信部 7 1、風車出力上限決定部 7 2、送信部 7 3、及び制御テーブル記憶装置 7 4を備える。受信部 7 1は、電力系統制御所 6から通信ネットワーク 1 2を介して指令されるファーム出力上限指令値を取得する。風車出力上限決定部 7 2は、受信部 7 1にて取得されたファーム出力上限指令、及び制御パラメータ記憶装置 7 4に保存されるテーブルに基づいて、各風力発電装置 5 a、風力発電

10

20

30

40

50

装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c の風車出力上限指令値を決定する。送信部 7 3 は、風車出力上限決定部 7 2 により決定された風車出力上限指令値を、広域低速通信 1 0 を介して各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c へ送信する。

【 0 0 2 0 】

図 5 に示すように、ファームコントローラ 7 を構成する制御テーブル記憶装置 7 4 には、各風力発電装置の識別番号及び出力上限配分比率 (%) を対応づけてテーブル形式にて保存している。図 5 に示す例では、「風力発電装置識別番号」が “ 5 a ” には「出力上限配分比率 (%) 」が “ 1 0 0 ” 、 「風力発電装置識別番号」が “ 5 b ” には「出力上限配分比率 (%) 」が “ 5 0 ” 、 及び「風力発電装置識別番号」が “ 5 c ” には「出力上限配分比率 (%) 」が “ 5 0 ” がそれぞれ対応付けて保存されている。

10

【 0 0 2 1 】

風車出力上限決定部 7 2 は、ファーム出力上限指令及び図 5 のテーブルに示す出力上限配分比率から、以下の式 (1) によって、各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c の風車出力上限指令値を決定する。

$$P_{WT_UL}^*(i) = P_{WF_UL}^* \times \alpha(i) / 100 \quad \cdots (1)$$

ここで、 $P_{WT_UL}^*(i)$ は風車出力上限指令値であり、 $P_{WF_UL}^*$ はファーム出力上限指令値であり、 $\alpha(i)$ は出力上限配分比率であり、 i は風力発電装置の識別番号 (5 a , 5 b , 5 c) である。

【 0 0 2 2 】

ここで、ファームコントローラ 7 を構成する風車出力上限決定部 7 2 が、式 (1) に具体的な数値を代入し、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の決定する方法について説明する。

20

【 0 0 2 3 】

例えば、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ が 6 MW の場合、風車出力上限決定部 7 4 は上述の式 (1) に基づき、図 5 に示す出力配分比率から、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ は、それぞれ、風力発電装置 5 a では 6 MW、風力発電装置 5 b では 3 MW、及び風力発電装置 5 c では 3 MW となる。風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c は、それぞれ、発電機 5 6 b 及び発電機 5 6 c の発電出力 P_G を、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の 3 MW に制御する。一方、風力発電装置 5 a は、発電機 5 6 a の発電出力 P_G と送電線センサ 8 の電力潮流計測値 P_{LINE} (風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の合成発電出力) の合計値を、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の 6 MW に制御する。

30

なお、風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の各々の発電出力 P_G が風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の 3 MW と一致する場合、その合成出力は 6 MW となりファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の 6 MW と一致するため、風力発電装置 5 a の発電出力は 0 MW となる。

【 0 0 2 4 】

また、仮に、風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c の定格出力がいずれも 5 MW であり、風力発電装置 5 b の発電出力 P_G が風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の 3 MW と一致し、風力発電装置 5 c の各々の発電出力 P_G が 2 MW で風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の 3 MW と一致しない場合、風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の合成出力は 5 MW となりファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の 6 MW に対し 1 MW 不足する。この場合、風力発電装置 5 a の発電出力 P_G を 1 MW となるよう発電機 5 6 a を調整することで、風力発電装置 5 a、風力発電装置 5 b、及び風力発電装置 5 c の発電出力 P_G の合計値が 6 MW となり、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の 6 MW に一致させる。すなわち、風力発電装置 5 a は、風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の各々の発電出力 P_G が風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ に対して不足する場合に、その不足分を補償するように発電出力 P_G を調整する。

40

【 0 0 2 5 】

次に、風力発電装置 5 a を構成する風車コントローラ 5 1 7 a、風力発電装置 5 b を構成する風車コントローラ 5 1 7 b、及び風力発電装置 5 c を構成する風車コントローラ 5

50

17cの構成につき図6及び図7を用いて説明する。図6は図2に示す風力発電装置5bを構成する風車コントローラ517bの概略構成を示す図であり、図7は図3に示す風力発電装置5aを構成する風車コントローラ517aの概略構成を示す図である。なお、風力発電装置5cを構成する風車コントローラ517cの構成は風力発電装置5bを構成する風車コントローラ517bの構成と同様であるため以下では説明を省略する。

【0026】

図6に示すように、風力発電装置5bを構成する風車コントローラ517bは、最大電力点追従制御器5171b(MPPT: Maximum power point tracking)、減算器、回転速度制御器5172b(ASR: Auto speed regulator)、及びリミッタ5173bより構成される。

10

【0027】

最大電力点追従制御器5171b(MPPT)は、風速計51bによる風速計速値 V_w と有効電力演算部510bにより演算された発電出力 P_g を入力し、発電出力 P_g を最大化する回転速度指令値 ω_r^* を算出する。

減算器は、最大電力点追従制御器5171b(MPPT)により算出された回転速度指令値 ω_r^* と回転速度検出器59bにより検出された発電機56bの回転速度計測値 ω_r との差分を算出し、算出結果の差分を回転速度制御器5172b(ASR)へ出力する。

回転速度制御器5172b(ASR)は、減算器より入力される差分がゼロとなるよう、すなわち、回転速度指令値 ω_r^* と回転速度検出器59bにより検出された発電機56bの回転速度計測値 ω_r が一致するように、抑制前発電出力目標値 P_{G1}^* 及びピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を決定する。回転速度制御器5172b(ASR)は、決定した抑制前発電出力目標値 P_{G1}^* をリミッタ5173bへ出力すると共にピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を可変ピッチ機構部53bへ送信する。

20

リミッタ5173bは、抑制前発電出力目標値 P_{G1}^* の上限を風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ に制限した発電出力目標値 P_{G2}^* を算出する。なお、発電出力の抑制によって回転速度計測値 ω_r が上昇する場合は、回転速度制御器5172b(ASR)がピッチ角目標値 θ_{PITCH}^* を調整することで、回転速度計測値 ω_r の上昇を抑制する。リミッタ5173bは、算出した発電出力目標値 P_{G2}^* をコンバータ511bへ送信する。

【0028】

図7に示すように、風力発電装置5aを構成する風車コントローラ517aが、図6に示す風力発電装置5bを構成する上述の風車コントローラ517bと異なる点は、送電線センサ8の電力潮流計測値 P_{LINE} を受信する点である。そして、風車コントローラ517aは、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ (ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ と同じ値)から、電力潮流計測値(風力発電装置5bと風力発電装置5cの合成発電出力の計測値)を引いた値 $P_{WT_UL2}^*$ (ファーム発電出力の上限指令に対する不足分)を、リミッタ5173aに入力する。風車コントローラ517aのその他の構成については、風車コントローラ517bと同様であるため、説明を省略する。

30

【0029】

次に、ウィンドファーム9全体の動作について説明する、図8は図1に示すウィンドファーム9全体の動作を示すフローチャートである。

40

図8に示すように、ステップS101では、電力系統制御所6にて、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値が設定される。ここで、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値として、ウィンドファーム9の定格出力(最大出力)が設定される。

ステップS102では、ファームコントローラ7が、電力系統制御所6から通信ネットワーク12を介してファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信したか否かを判定する。判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信していない場合にはステップS104へ進む。一方、判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信した場合には、ステップS103へ進む。なお、通信ネットワーク12を介して電力系統制御所6よりファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信する周期は、例えば、1時間に設定される。

50

【0030】

ステップS103では、例えば、1時間周期で受信されるファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を、ファームコントローラ7が更新し、ステップS104へ進む。

ステップS104では、ファームコントローラ7を構成する風車出力上限決定部72が、上述の式(1)に基づき、受信されたファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を用いて、各風力発電装置5a、風力発電装置5b、及び風力発電装置5cの風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を決定する。そして、決定された風力発電装置毎の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を、ファームコントローラ7を構成する送信部73が広域低速通信10を介して各風力発電装置へ送信する。ここで、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信周期は、上述のファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の受信周期と同様に、例えば、1時間に設定される。

10

【0031】

ステップS105では、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信先の風力発電装置が送電線センサ8の計測値を使用する風力発電装置5aであるか否かを判定し、風力発電装置5aでない場合、すなわち、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信先の風力発電装置が風力発電装置5b及び風力発電装置5cの場合にはステップS109へ進む。一方、送信先が送電線センサ8の計測値を使用する風力発電装置5aである場合にはステップS106へ進む。

【0032】

ステップS106では、風力発電装置5aを構成する風車コントローラ517aが、送電線センサ8から電力潮流計測値 P_{LINE} (風力発電装置5b及び風力発電装置5cの合成発電出力の計測値)を受信したか否かを判定する。ここでの受信周期は、例えば、1秒に設定される。送電線センサ8から電力潮流計測値 P_{LINE} を受信していない場合にはステップS111へ進む。一方、送電線センサ8から電力潮流計測値 P_{LINE} を受信した場合は、ステップS107へ進む。

20

ステップS107では、風力発電装置5aを構成する風車コントローラ517aが、有効電力演算部510aにより演算された風力発電装置5aの発電出力 P_G (有効電力)を受信し、ステップS108へ進む。

ステップS108では、風力発電装置5aを構成する風車コントローラ517aが、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ (ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ と同じ値)から、送電線センサ8の電力潮流計測値 P_{LINE} (風力発電装置5bと風力発電装置5cの合成発電出力の計測値)を引いた値 $P_{WT_UL}^{2*}$ (ファーム発電出力の上限指令に対する不足分)を、リミッタ5173aに入力する。これにより、電力潮流計測値 P_{LINE} (風力発電装置5bと風力発電装置5cの合成発電出力の計測値)及び風力発電装置5aの発電出力 P_G (有効電力)の合計出力が風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ (ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ と同じ値)に追従するように制御する。そしてステップS111へ進む。

30

【0033】

ステップS109では、風力発電装置5bを構成する風車コントローラ517bが、有効電力演算部510bにより演算された発電出力 P_G を受信する。

40

ステップS110では、風車コントローラ517bが、ファームコントローラ7より受信した風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ をリミッタ5173bの上限値に設定し、更新周期(例えば、1時間)毎に調整し、ステップS111へ進む。

【0034】

ステップS111では、ウィンドファーム9が稼働中か否かを判定し、ウィンドファーム9が停止或いは稼働していない場合には動作を終了する。一方、ウィンドファーム9が稼働中の場合には、上述のステップS102～ステップS110の処理を繰り返し実行する。

【0035】

次に、本実施例のウィンドファーム9によって、高速広域の通信設備を用いることなく

50

、ウィンドファーム 9 の発電出力を出力上限指令に一致させることができる原理について、図 9 及び図 10 を用いて説明する。

図 9 は、本実施例における風力発電装置の発電出力を説明するためのグラフであり、単一の時間断面における、各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c の各々の可能発電出力 1 3 (1 3 a , 1 3 b , 1 3 c)、発電出力 1 4 (1 4 a , 1 4 b , 1 4 c)、及び風車出力上限指令値 1 5 (1 5 b , 1 5 c) の一例を示す。なお、風力発電装置 5 a には、風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c の合成出力に対する風車出力上限指令値が設定される。そのため、風力発電装置 5 a の風車出力上限指令値 1 5 a は、図 9 には示さない。

図 9 に示すように、風力発電装置 5 c では、風車出力上限指令値 1 5 c より可能発電出力 1 3 c が大きいため、発電出力の抑制によって、風車出力上限指令値 1 5 c と発電出力 1 4 c は一致する。風力発電装置 5 b では、風車出力上限指令値 1 5 b より可能発電出力 1 3 b が小さいため、風車出力上限指令値 1 5 b に対して、発電出力 1 4 b は不足分 1 6 b だけ小さい。風力発電装置 5 a では、風力発電装置 5 b の不足分 1 6 b を発電するように、発電出力 1 4 a を調整する。

【 0 0 3 6 】

図 10 は、本実施例におけるウィンドファーム 9 の合成発電出力を説明するためのグラフであり、横軸を時間としたファーム発電出力及びファーム出力上限指令値のグラフの一例を示している。また、ファーム発電出力は、各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c の発電出力 1 4 (1 4 a , 1 4 b , 1 4 c) の合成値である。そのため、図 10 には、発電出力 1 4 (1 4 a , 1 4 b , 1 4 c) も合わせて示す。

図 10 に示すように、ファーム出力上限指令値 1 7 は、電力系統制御所 6 によって、時刻 t (t_0 , t_1 , t_2 , t_3) に更新される。ファームコントローラ 7 は、ファーム出力上限指令値 1 7 の更新に応じて、時刻 t_1 及び t_2 に風車出力上限指令値を更新する。そして、風車出力上限指令値は、各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c へ送信される。ファーム出力上限指令値 1 7 及び風車出力上限指令値の更新周期は、例えば 20 分である。

【 0 0 3 7 】

上述の図 9 で説明した通り、風力発電装置 5 a は、風力発電装置 5 b 及び風力発電装置 5 c の合成発電出力 ($14b + 14c$) がファーム出力上限指令値 1 7 より小さい場合に、その不足分 (例えば、図 9 に示す 1 6 b) と同量の発電出力 (1 3 a) を供給する。また、風力発電装置 5 a は、上述の図 3 に示す送電線センサ 8 及び局所高速通信 1 1 (例えば、1 秒周期) によって、その不足分 (例えば、図 9 に示す 1 6 b) を検出することができる。

【 0 0 3 8 】

以上より、本実施例によれば、高速広域の通信設備を用いることなく、ウィンドファームの発電出力を上限値に一致させ得るウィンドファーム及びウィンドファームの制御方法を提供することが可能となる。

具体的には、ファーム発電出力が所定の上限値に制限される場合に、送電線センサ 8 と局所高速通信 1 1 を用いることで、ファーム発電出力を上限値と一致させることができる。これにより、ファームコントローラ 7 と各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c をつなぐ広域低速通信 1 0 を高速通信に変更する設備増強が不要となり、ウィンドファーム 9 の設備費用を削減できる。また、ファーム発電出力を上限値に一致させることにより、制限された範囲内で、ウィンドファーム 9 から電力系統 1 に供給する電力を最大化でき、二酸化炭素の排出量削減に貢献できる。

< 実施例 1 の変形例 >

図 11 は実施例 1 の変形例 1 におけるファーム出力上限指令を説明するためのグラフであり、図 12 は実施例 1 の変形例 1 におけるファーム出力上限指令を説明するためのテーブルである。

上述の実施例 1 におけるファーム出力上限指令及び風車出力上限指令は、発電出力の上

限值（W：ワット）に代えて、発電出力の時間変化率（W／分）としても良い。図 1 1 には、ファーム出力上限指令を発電出力の時間変化率とした場合での、横軸を時間としたファーム出力上限指令のグラフを示している。図 1 1 では、時刻 t_1 から t_2 の期間におけるファーム発電出力の上昇の時間変化を $(P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)$ 以下に制限している。ファームコントローラ 7 は、図 1 1 に示すファーム出力上限指令を、図 1 2 に示すような時刻とファーム出力上限指令を対応づけたテーブルに変換し、各風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c に送信する。これにより、実施例 1 と同じ構成で実現が可能である。

【実施例 2】

【0039】

図 1 3 は、本発明の他の実施例に係る実施例 2 のウィンドファーム 9 a の全体概略構成図である。本実施例のウィンドファーム 9 a では、風力発電装置（5 a , 5 b , 5 c ）、送電線（4 a , 4 b , 4 c ）、及び送電線センサ 8 と同じ構成の風力発電装置（5 d , 5 e , 5 f ）、送電線（4 e , 4 f , 4 g ）、及び送電線センサ 8 a が、連系変圧器 3 に並列に接続されている点が実施例 1 と異なる。また更に、開閉器 1 8（1 8 a , 1 8 b , 1 8 c , 1 8 d , 1 8 e ）及び送電線（4 d , 4 h ）が追加された点が実施例 1 と異なる。送電線 4 d と 4 h の間には、開閉器 1 4 e が配置される。開閉器 1 4（a , b , c , d , e ）は、開閉状態を切替えることで、その両端の送電線を電氣的に接続、または切り離すことができる。以下では、実施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付し、実施例 1 と重複する説明を省略する。

【0040】

図 1 4 は、図 1 3 に示すウィンドファーム 9 a 内に設置されるファームコントローラ 7 a の概略構成を示す図である。図 1 4 に示すように、本実施例のファームコントローラ 7 a の構成は、上述の実施例 1 のファームコントローラ 7 と異なり、開閉器 1 8 の開閉状態を、受信部 7 1 a によって取得する。風車出力上限決定部 7 2 a は、電力系統制御所 6 から通信ネットワーク 1 2 を介して指令されるファーム出力上限指令、開閉器 1 4 の開閉状態、及び制御テーブル記憶装置 7 4 a に保存されるテーブルに基づいて、各風力発電装置 5 の風車出力上限指令値を決定する。風車出力上限指令値は、送信部 7 3 によって、各風力発電装置 5 に送信される。

【0041】

図 1 5 は、図 1 4 に示す制御テーブル記憶装置 7 4 a に保存されるテーブルの一例を示す図である。図 1 5 に示すように、ファームコントローラ 7 a を構成する制御テーブル記憶装置 7 4 a には、開閉器 1 8 の開閉状態、風車番号、送電線センサの使用有無、及び出力上限配分比率（％）を対応づけてテーブル形式にて保存している。ファームコントローラ 7 a を構成する風車出力上限決定部 7 2 a は、開閉器 1 8 の開閉状態の組合せに応じて、3 種類（図 1 4 に示すケース 1 , 2 , 3 ）の出力上限配分比率を使い分ける。

【0042】

図 1 6 は、本実施例におけるウィンドファーム 9 a の結線（ケース 1 ）を示す図である。図 1 5 に示すように、ケース 1 では、「開閉器の開閉状態」は、「開閉器 1 8 a 及び開閉器 1 8 b 」並びに「開閉器 1 8 c 及び開閉器 1 8 d 」は共に“閉状態”であり、「開閉器 1 8 e 」のみが“開状態”である。よって、図 1 6 に示すように、送電線 4 d と送電線 4 h は切り離される。この状態は、上述の実施例 1 における風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 及び風力発電装置 5 c と同様に、風力発電装置 5 d , 風力発電装置 5 e , 及び風力発電装置 5 f を制御すれば良い。

【0043】

図 1 7 は、本実施例におけるウィンドファーム 9 a の結線（ケース 2 ）を示す図である。図 1 5 に示すように、ケース 2 では、「開閉器の開閉状態」は、「開閉器 1 8 a 及び開閉器 1 8 b 」が“閉状態”であり、「開閉器 1 8 c 及び開閉器 1 8 d 」が“開状態”であり、「開閉器 1 8 e 」が“閉状態”である。よって、図 1 7 に示すように、連系変圧器 3 と送電線 4 e は切り離される。この場合では、送電線センサ 8 は、風力発電装置 5 b , 風

10

20

30

40

50

力発電装置 5 c , 風力発電装置 5 d , 風力発電装置 5 e , 及び風力発電装置 5 f の合成発電出力を計測する。そのため、風力発電装置 5 b , 風力発電装置 5 c , 風力発電装置 5 d , 風力発電装置 5 e , 及び風力発電装置 5 f は、自身の発電出力を風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ と一致するように制御する。そして、風力発電装置 5 a は、送電線センサ 8 を用いてファーム発電出力がファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に一致するように制御すれば良い。

【 0 0 4 4 】

図 1 8 は、本実施例におけるウィンドファーム 9 a の結線 (ケース 3) を示す図である。図 1 5 に示すように、ケース 3 では、「開閉器の開閉状態」は、「開閉器 1 8 a 及び開閉器 1 8 b 」のみが「開状態」であり、「開閉器 1 8 c 及び開閉器 1 8 d 」並びに「開閉器 1 8 e 」は共に「閉状態」である。よって、図 1 8 に示すように、連系変圧器 3 と送電線 4 a は切り離される。この場合では、送電線センサ 8 a は、風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 風力発電装置 5 c , 風力発電装置 5 e , 及び風力発電装置 5 f の合成発電出力を計測する。そのため、風力発電装置 5 a , 風力発電装置 5 b , 風力発電装置 5 c , 風力発電装置 5 e , 及び風力発電装置 5 f は、自身の発電出力を風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ と一致するように制御する。そして、風力発電装置 5 d は、送電線センサ 8 a を用いてファーム発電出力がファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に一致するように制御すれば良い。

【 0 0 4 5 】

次に、ウィンドファーム 9 a 全体の動作について説明する、図 1 9 は図 1 3 に示すウィンドファーム 9 a 全体の動作を示すフローチャートである。

図 1 9 に示すように、ステップ S 2 0 1 では、電力系統制御所 6 にて、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値が設定される。ここで、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値として、ウィンドファーム 9 a の定格出力 (最大出力) が設定される。

ステップ S 2 0 2 では、ファームコントローラ 7 a が、電力系統制御所 6 から通信ネットワーク 1 2 を介してファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信したか否かを判定する。判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信していない場合にはステップ S 2 0 4 へ進む。一方、判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信した場合には、ステップ S 2 0 3 へ進む。なお、通信ネットワーク 1 2 を介して電力系統制御所 6 よりファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信する周期は、例えば、1 時間に設定される。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 2 0 3 では、例えば、1 時間周期で受信されるファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を、ファームコントローラ 7 a が更新し、ステップ S 2 0 4 へ進む。

ステップ S 2 0 4 では、開閉器の開閉状態の初期値が設定される。ここで、開閉器の開閉状態の初期値は、送電線 4 が健全の時の開閉状態 (図 1 5 に示すケース 1) が設定される。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 2 0 5 では、ファームコントローラ 7 a が、開閉器 1 8 a , 開閉器 1 8 b , 開閉器 1 8 c , 開閉器 1 8 d , 及び開閉器 1 8 e より広域低速通信 1 0 を介して開閉状態を。ファームコントローラ 7 a の受信部 7 1 a にて受信したか否かを判定する。受信した場合はステップ S 2 0 6 へ進み、一方、受信しなかった場合はステップ S 2 0 7 へ進む。なお、開閉器の開閉状態を受信するタイミングは、例えば、送電線 4 a または送電線 4 e が事故によって断線した時である。

ステップ S 2 0 6 では、受信した開閉器 1 8 a , 開閉器 1 8 b , 開閉器 1 8 c , 開閉器 1 8 d , 及び開閉器 1 8 e の開閉状態を更新し制御テーブル記憶装置 7 4 a に保存する。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 2 0 7 では、ファームコントローラ 7 a を構成する風車出力上限決定部 7 2 a が、開閉器 1 8 の開閉状態及び図 1 5 に示すテーブルから、開閉状態に応じたケースを選択する。選択したケースに対応する出力上限配分比率及び上記ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に基づき、風力発電装置毎に個別の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を

上述の式(1)によって求める。風車出力上限決定部72aにより求められた個別の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ は、送信部73より対応する風力発電装置へ広域低速通信10を介して送信される。ここで、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信周期は、上述のファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の受信周期と同様に、例えば1時間に設定される。

【0049】

ステップS208では、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信先の風力発電装置が送電線センサの計測値を使用する風力発電装置であるか否かを判定し、送電線センサの計測値を使用する風力発電装置である場合、上述の実施例1と同様に図8に示すステップS106へ進む。一方、送電線センサの計測値を使用する風力発電装置でない場合、上述の実施例1と同様に図8に示すステップS109へ進む。以降は、上述の実施例1と同様にステップS107～ステップS111と同様の処理を実行する。

10

【0050】

以上より、本実施例によれば、上述の実施例1の効果に加え、開閉器18の開閉状態に応じて、使用する送電線センサを選択することで、例えば送電線4aまたは送電線4eが事故によって断線した場合においても、ファーム発電出力を上限値と一致させることができる。

【実施例3】

【0051】

図20は、本発明の他の実施例に係る実施例3のウィンドファーム9bの全体概略構成図である。本実施例のウィンドファーム9bでは、送電線センサ8に加え、送電線センサ8bを追加した点が実施例1と異なる。送電線センサ8bは、局所高速通信11bを介して、風力発電装置5bに、電力潮流計測値 $P_{LINE}(b)$ (風力発電装置5cの発電出力)を送る。以下では、実施例1と同様の構成要素に同一符号を付し、実施例1と重複する説明を省略する。

20

【0052】

図21は、図20に示すウィンドファーム9b内に設置されるファームコントローラ7bの概略構成を示す図である。図21に示すように、本実施例のファームコントローラ7bの構成は、上述の実施例1のファームコントローラ7と異なり、風力発電装置5aの発電出力 $P_G(a)$ を、受信部71bによって取得する。風車出力上限決定部72bは、電力系統制御所6から通信ネットワーク12を介して指令されるファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ 、発電出力 $P_G(a)$ 、及び制御テーブル記憶装置74bに保存されるテーブルに基づいて、各風力発電装置5の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を決定する。風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ は、送信部73によって、各風力発電装置5へ広域低速通信10を介して送信される。

30

【0053】

図22は、図21に示す制御テーブル記憶装置74bに保存されるテーブルの一例を示す図である。図22に示すように、ファームコントローラ7bを構成する制御テーブル記憶装置74bには、風力発電装置5aの発電出力 $P_G(a)$ の閾値、風車番号、送電線センサの使用有無、及び出力上限配分比率(%)を対応づけてテーブル形式にて保存している。ファームコントローラ7bを構成する風車出力上限決定部72bは、発電出力 $P_G(a)$ に応じて、2種類(ケース1, 2)の出力上限配分比率を使い分ける。

40

【0054】

図22に示すように、ケース1は、「風力発電装置5aの発電出力 $P_G(a)$ の閾値」が、例えば、「定格出力の10%以上」の場合である。この場合は、上述の実施例1と同様に、風力発電装置5b及び風力発電装置5cは、自身の発電出力が風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ に一致するように制御する。また、風力発電装置5aは、送電線センサ8の計測値を用いて、ファーム発電出力がファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に一致するように制御する。

ケース2は、「風力発電装置5aの発電出力 $P_G(a)$ が閾値」が、例えば、「定格出

50

力の10%未満”の場合である。この場合は、風力発電装置5aの出力調整能力が小さいため、風力発電装置5aは、送電線センサ8を使用せず、自身の発電出力を0Wに制御する。そして、風力発電装置5bは、送電線センサ8bの計測値を用いて、ファーム発電出力がファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に一致するように制御する。なお、風力発電装置5cは、ケース1と同じ動作をする。

【0055】

次に、ウィンドファーム9b全体の動作について説明する、図23は、図20に示すウィンドファーム9b全体の動作を示すフローチャートである。

図23に示すように、ステップS301では、電力系統制御所6にて、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値が設定される。ここで、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の初期値として、ウィンドファーム9bの定格出力(最大出力)が設定される。

ステップS302では、ファームコントローラ7bが、電力系統制御所6から通信ネットワーク12を介してファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信したか否かを判定する。判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信していない場合にはステップS304へ進む。一方、判定の結果、ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信した場合には、ステップS303へ進む。なお、通信ネットワーク12を介して電力系統制御所6よりファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ を受信する周期は、例えば、1時間に設定される。

【0056】

ステップS304では、ファームコントローラ7bが、風力発電装置の発電出力 P_G の初期値を設定する。ここで、例えば、風力発電装置5aの定格出力が初期値として設定される。

ステップS305では、ファームコントローラ7bが、広域低速通信10を介して、風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G を受信したか否かを判定する。風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G を受信していない場合は、ステップS307へ進む。一方、風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G を受信した場合には、ステップS306へ進む。ここで、風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G の受信周期は、例えば、10分に設定される。

【0057】

ステップS306では、風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G を更新する。

ステップS307では、ファームコントローラ7bを構成する風車出力上限決定部72bが、受信された風力発電装置5aの発電出力計測値 P_G 及び図22に示すテーブルに基づき、発電出力計測値 P_G に応じたケースを選択する。選択されたケースに対応する出力上限配分比率及び上記ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ から、風力発電装置毎に個別の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を、上述の式(1)によって求める。風車出力上限決定部72bにより求められた個別の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ は、送信部73より対応する風力発電装置5a、風力発電装置5b、及び風力発電装置5cへ広域低速通信10を介して送信される。風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信周期は、上記ファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ の受信周期と同様に、例えば1時間に設定される。

【0058】

ステップS308では、風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ の送信先の風力発電装置が送電線センサの計測値を使用する風力発電装置であるか否かを判定し、送電線センサの計測値を使用する風力発電装置である場合、上述の実施例1と同様に図8に示すステップS106へ進む。一方、送電線センサの計測値を使用する風力発電装置でない場合、上述の実施例1と同様に図8に示すステップS109へ進む。以降は、上述の実施例1と同様にステップS107～ステップS111と同様の処理を実行する。

【0059】

以上より、本実施例によれば、実施例1の効果に加え、複数の送電線センサ8及び送電線センサ8bを備え、風力発電装置5aの発電出力 $P_G(a)$ に応じて、使用する送電線センサを選択することで、風力発電装置5aの風速(発電出力)が低下した場合においても、ファーム発電出力を上限値と一致させることができる。

【実施例 4】

【0060】

図 24 は、本発明の他の実施例に係る実施例 4 のウィンドファームの全体概略構成図である。本実施例のウィンドファーム 9c では、ファームコントローラ 7 に代えて、第 1 のファームコントローラ 19 および第 2 のファームコントローラ 20 を備える点が上述の実施例 1 及び実施例 2 と異なる。以下では、実施例 1 と同様の構成要素に同一符号を付し、実施例 1 と重複する説明を省略する。

【0061】

図 24 に示すように、第 1 のファームコントローラ 19 は、ウィンドファーム 9c 内の半数以上の風力発電装置 5b, 風力発電装置 5c, 風力発電装置 5e, 及び風力発電装置 5f と通信する広域低速通信 10a (例えば, 20 分周期) を介して、各風力発電装置に風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を送信する。第 1 のファームコントローラ 19 は、各風力発電装置 5b, 風力発電装置 5c, 風力発電装置 5e, 及び風力発電装置 5f の各々の発電出力を制限する風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を決定する。

第 2 のファームコントローラ 20 は、ウィンドファーム 9c 内の一部の風力発電装置 5a 及び風力発電装置 5d 並びに送電線センサ (8, 8a) と通信する局所高速通信 11b (例えば, 1 秒周期) を介して、各風力発電装置に風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を送信する。第 2 のファームコントローラ 20 は、ファーム発電出力がファーム出力上限指令値 $P_{WF_UL}^*$ に一致するように、送電線センサ (8, 8a) の計測値を監視して、風力発電装置 5a 及び風力発電装置 5d の風車出力上限指令値 $P_{WT_UL}^*$ を決定する。

【0062】

以上より、本実施例によれば、実施例 1 の効果に加え、複数のファームコントローラ及び送電線センサを備え、更に一方のファームコントローラは一部の風力発電装置及び送電線センサと通信できる局所高速通信を備えることで、ファーム発電出力を上限値と一致させることができる。

【0063】

なお、本発明は上記した実施例 1 ~ 実施例 4 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。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

【0064】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良い。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現しても良い。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid - State - Drive) 等の記録装置、又は、IC カード、SD カード、DVD 等の記録媒体に置くことができる。

【符号の説明】

【0065】

- 1 ... 電力系統
- 2 ... 連系点
- 3 ... 連系変圧器
- 4 ... 送電線
- 5 ... 風力発電装置
- 6 ... 電力系統制御所
- 7 ... ファームコントローラ
- 8 ... 送電線センサ

10

20

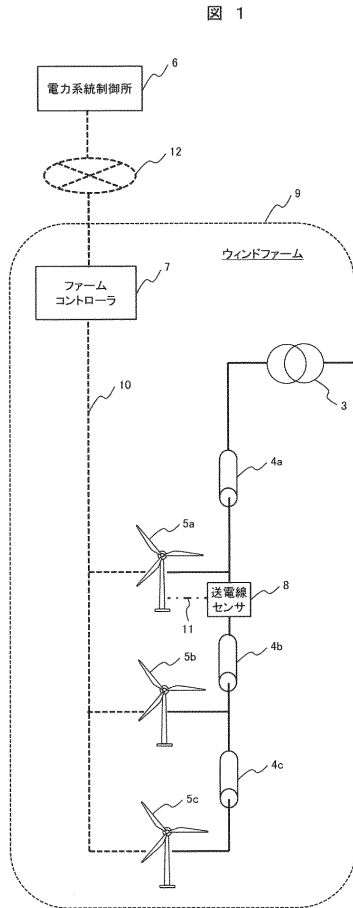
30

40

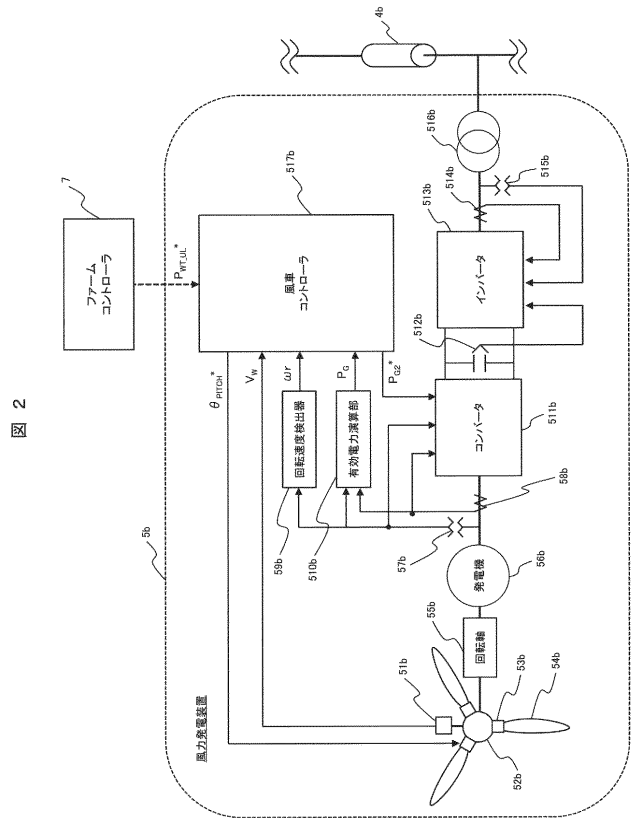
50

9 ... ウィンドファーム	
1 0 ... 広域低速通信	
1 1 ... 局所高速通信	
1 3 ... 可能発電出力	
1 2 ... 通信ネットワーク	
1 4 ... 発電出力	
1 5 ... 風車出力上限指令値	
1 6 ... 不足分	
1 7 ... ファーム出力上限指令値	
1 8 ... 開閉器	10
5 1 ... 風速計	
5 2 ... ハブ	
5 3 ... 可変ピッチ機構部	
5 4 ... 風力ブレード	
5 5 ... 回転軸	
5 6 ... 発電機	
5 7 ... 交流電圧センサ	
5 8 ... 交流電流センサ	
5 9 ... 回転速度検出器	
7 1 ... 受信部	20
7 2 ... 風車出力上限決定部	
7 3 ... 送信部	
7 4 ... 制御テーブル記憶装置	
5 1 0 ... 有効電力演算部	
5 1 1 ... コンバータ	
5 1 2 ... 直流電圧センサ	
5 1 3 ... インバータ	
5 1 4 ... 交流電流センサ	
5 1 5 ... 交流電圧センサ	
5 1 6 ... 昇圧変圧器	30
5 1 7 ... 風車コントローラ	
5 1 7 1 ... 最大電力点追従制御器	
5 1 7 2 ... 回転数制御器	
5 1 7 3 ... リミッタ	

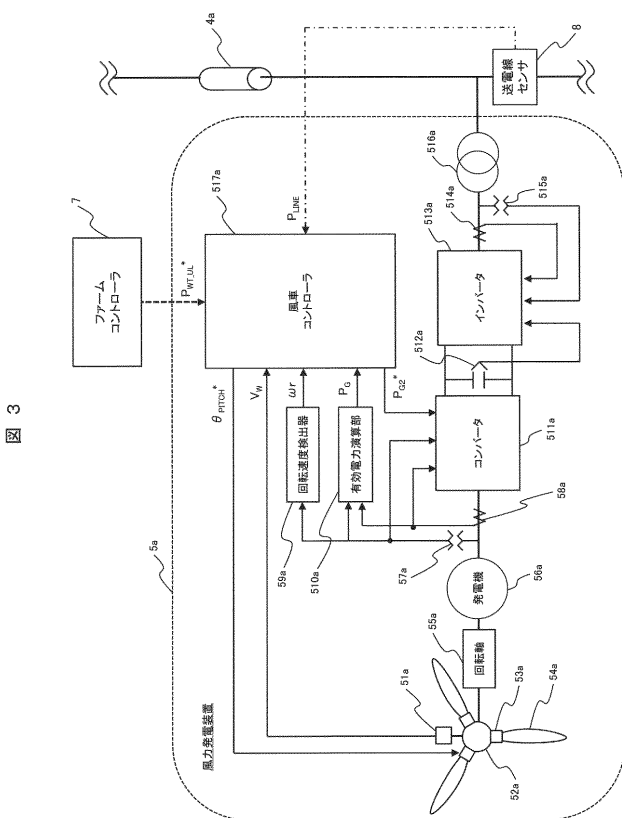
【図 1】



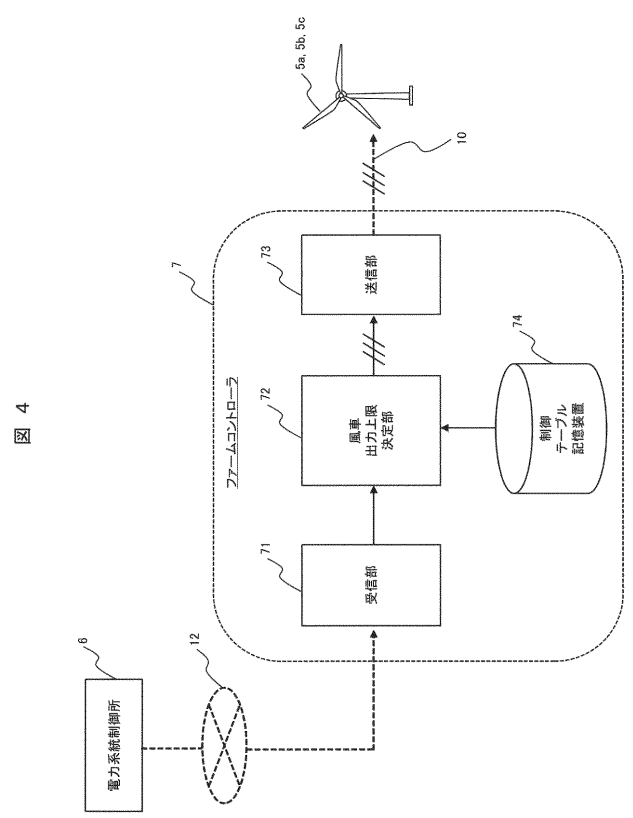
【図 2】



【図 3】



【図 4】



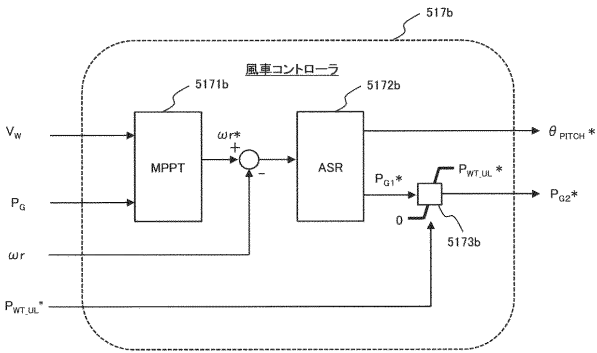
【 図 5 】

図 5

風力発電装置 識別番号	出力上限配分比率 (%)
5a	100
5b	50
5c	50

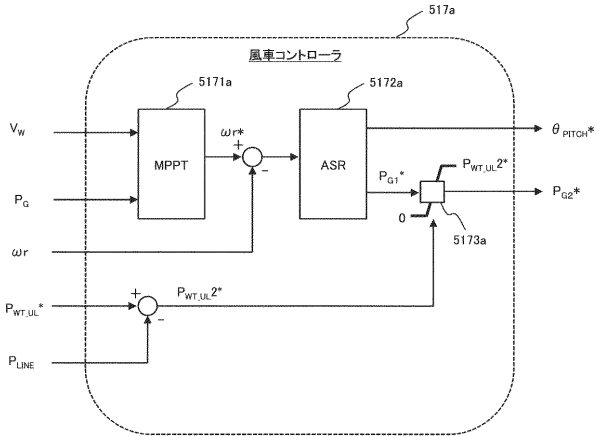
【 図 6 】

図 6



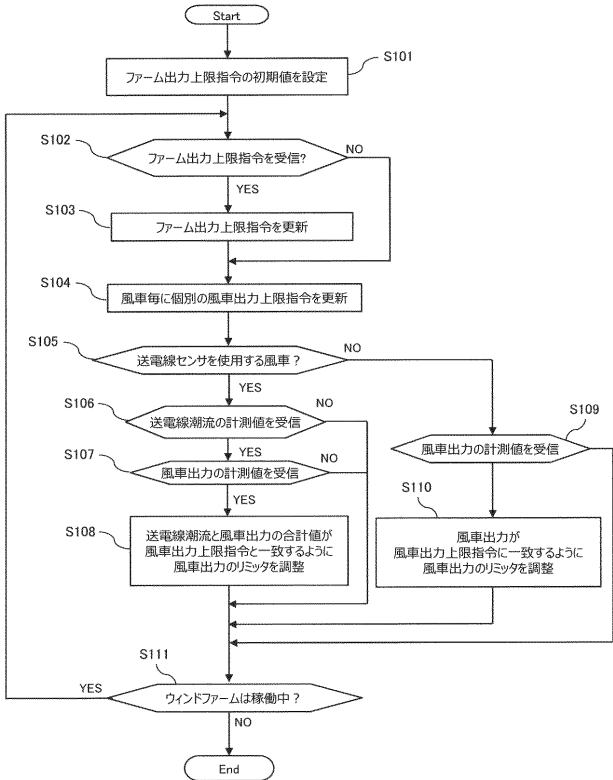
【 図 7 】

図 7



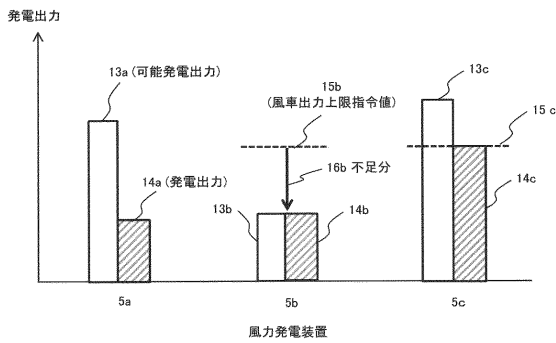
【 図 8 】

図 8

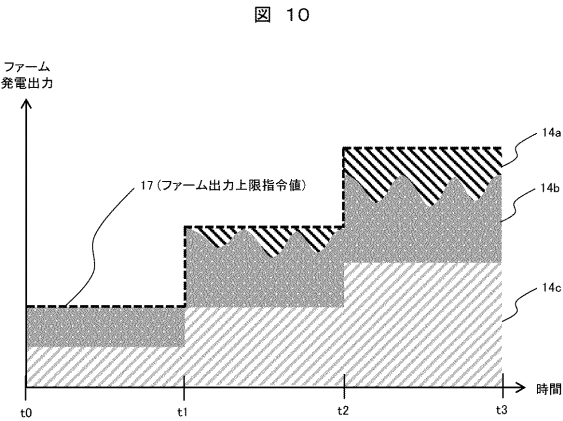


【 図 9 】

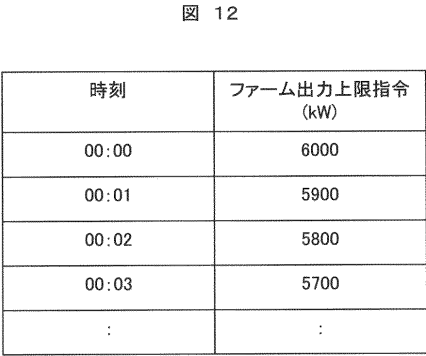
図 9



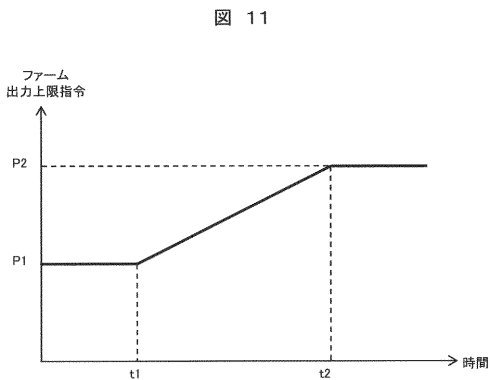
【図 1 0】



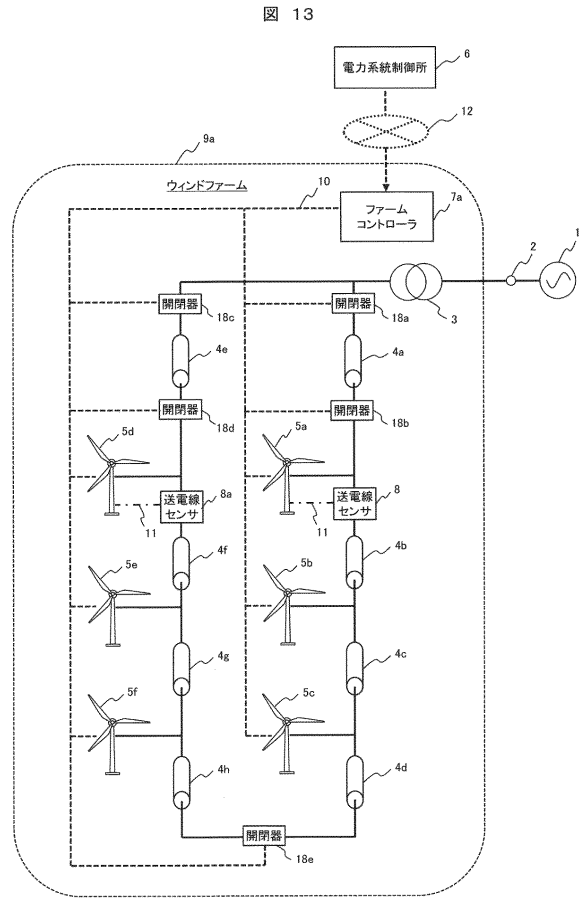
【図 1 2】



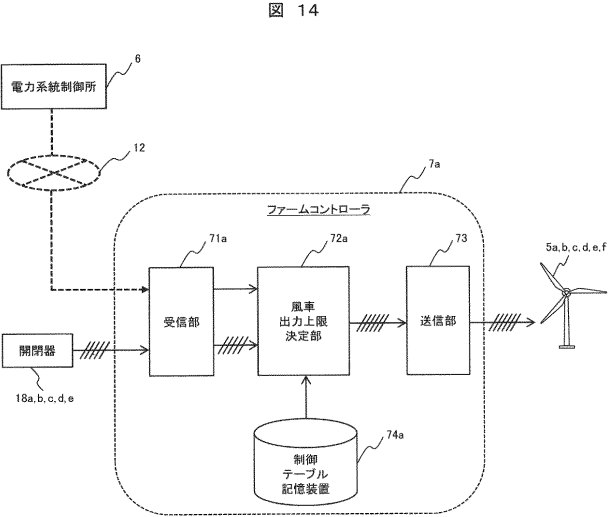
【図 1 1】



【図 1 3】



【図 1 4】



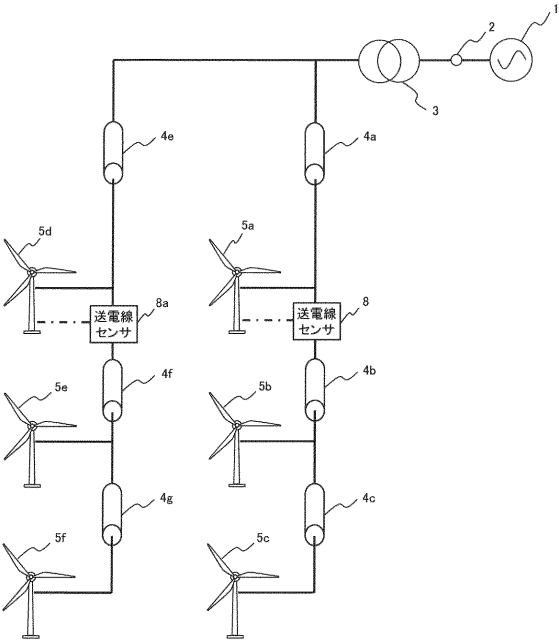
【図 15】

図 15

ケース	開閉器の開閉状態			風車 番号	送電線センサの 計測値を使用？	出力上限 配分比率 (%)
	18a 18b	18c 18d	18e			
1	閉	閉	開	5a	YES	50
				5b	—	25
				5c	—	25
				5d	YES	50
				5e	—	25
				5f	—	25
2	閉	開	閉	5a	YES	100
				5b	—	20
				5c	—	20
				5d	NO	20
				5e	—	20
				5f	—	20
3	開	閉	閉	5a	NO	20
				5b	—	20
				5c	—	20
				5d	YES	100
				5e	—	20
				5f	—	20

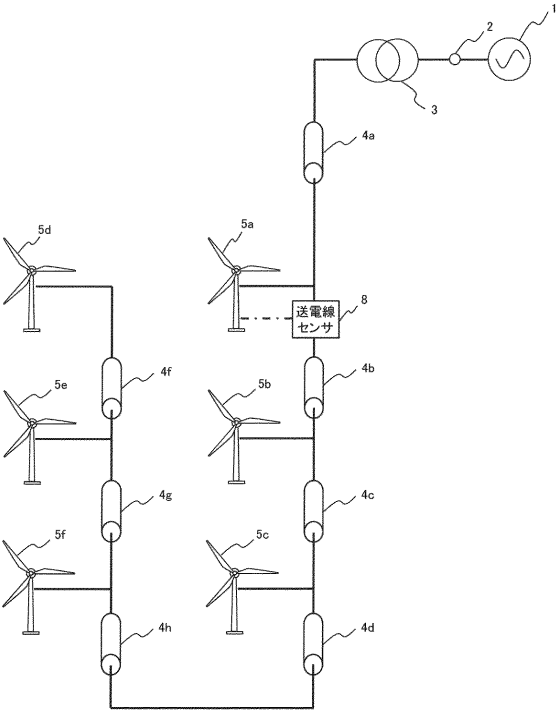
【図 16】

図 16



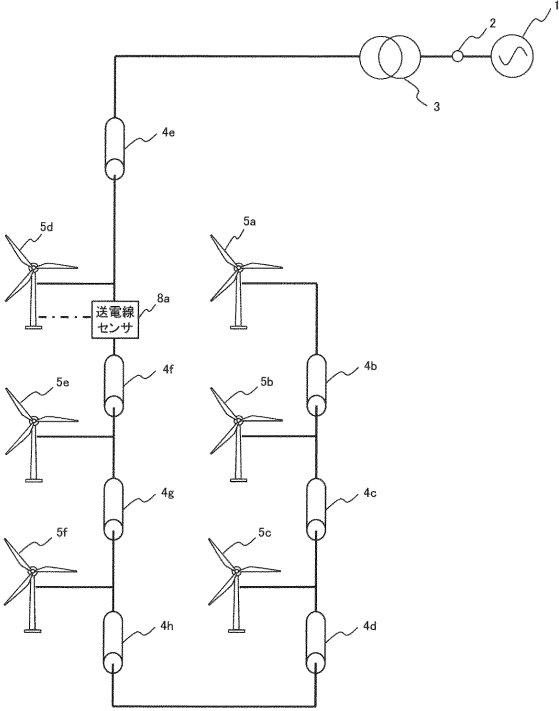
【図 17】

図 17

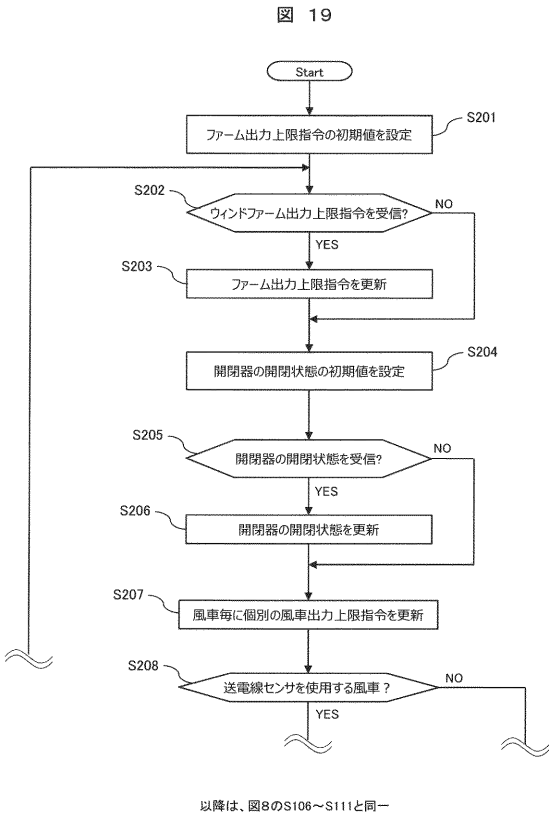


【図 18】

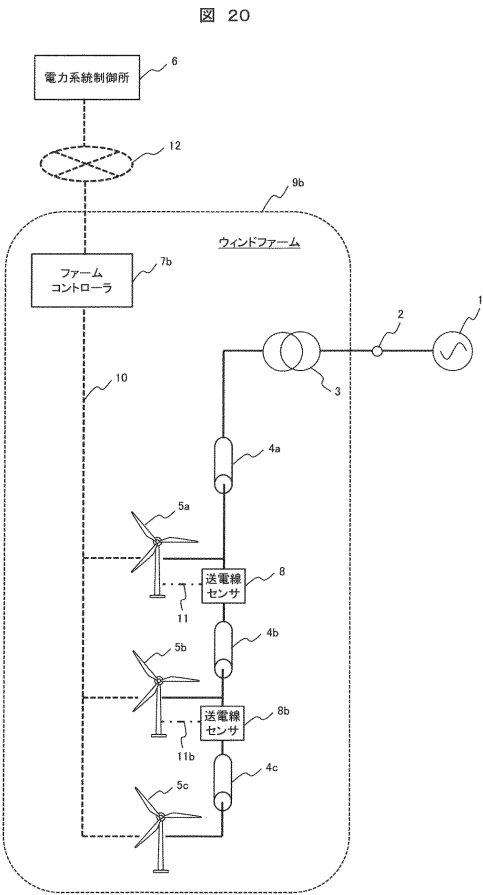
図 18



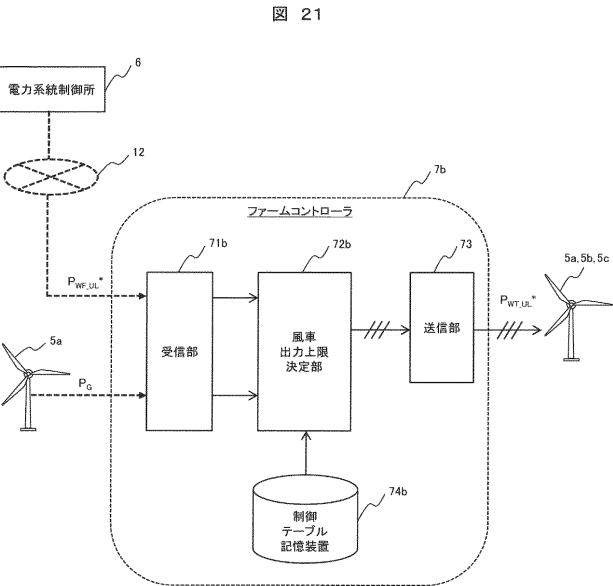
【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】

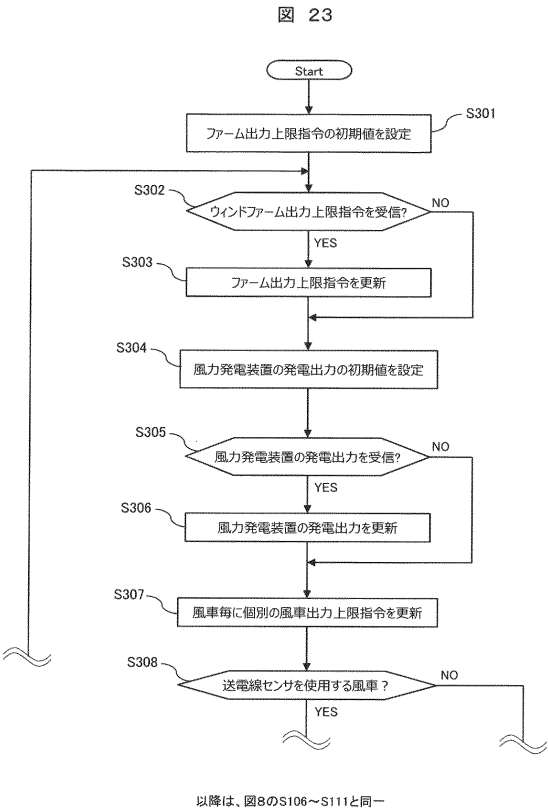


【 図 2 2 】

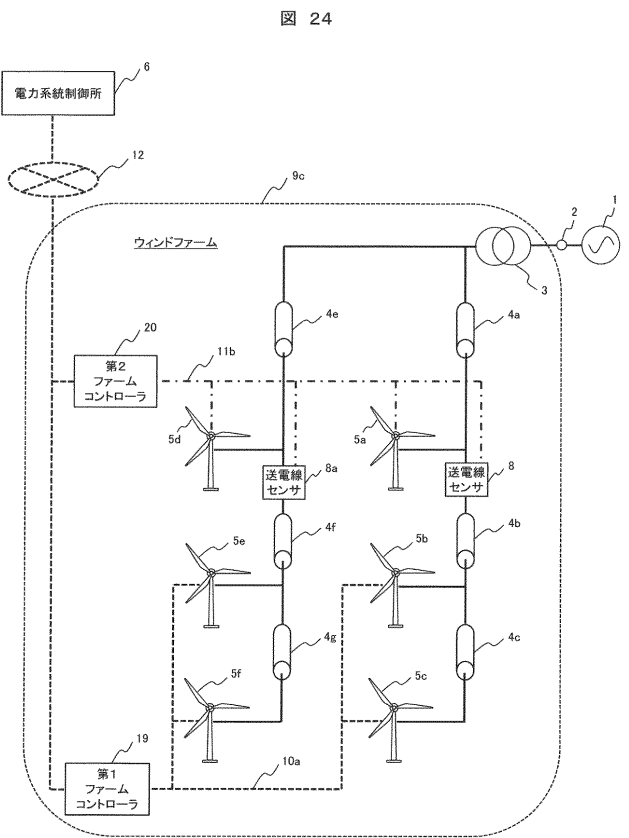
図 22

ケース	風力発電装置5a 発電出力の閾値	風車番号	送電線センサの 計測値を使用？	上限配分 率 (%)
1	定格比 10%以上	5a	YES	100
		5b	NO	50
		5c	—	50
2	定格比 10%未満	5a	NO	0
		5b	YES	100
		5c	—	100

【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 0 2 J 13/00 (2006.01)	H 0 2 J 13/00	3 1 1 R
H 0 2 P 9/00 (2006.01)	H 0 2 P 9/00	F
H 0 2 P 101/15 (2015.01)	H 0 2 P 101:15	

(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 AA51 BB21 DD12Z DD31Z DD52Z DD54X EE02
EE05 EE08 EE10 EE13 EE18 EE23 EE25 EE28
5G064 AA04 AC05 AC09 CB08 CB12 DA02
5G066 AE09 HA15 HB01
5H590 AA11 CA14 CD01 CD03 CE01 EA14 FA01 HA02 HA06 HA27
HB02 JB02