

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7015114号

(P7015114)

(45)発行日 令和4年2月2日(2022.2.2)

(24)登録日 令和4年1月25日(2022.1.25)

(51)国際特許分類

F I

G 0 5 B 23/02 (2006.01)

G 0 5 B 23/02

Z

F 0 2 C 9/00 (2006.01)

F 0 2 C 9/00

C

F 0 1 D 25/00 (2006.01)

F 0 1 D 25/00

V

請求項の数 12 (全17頁)

(21)出願番号	特願2017-65896(P2017-65896)	(73)特許権者	000006208
(22)出願日	平成29年3月29日(2017.3.29)		三菱重工株式会社
(65)公開番号	特開2018-169750(P2018-169750 A)	(73)特許権者	514030104
(43)公開日	平成30年11月1日(2018.11.1)		三菱パワー株式会社
審査請求日	令和2年2月5日(2020.2.5)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目 3番1号
		(74)代理人	100149548
			弁理士 松沼 泰史
		(74)代理人	100134544
			弁理士 森 隆一郎
		(74)代理人	100064908
			志賀 正武
		(74)代理人	100108578
			高橋 詔男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 運転管理装置、発電プラント、発電プラントの運転管理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

発電プラントに係る第1状態量の計測値、および前記第1状態量と異なる状態量であって、計測により得られる計測値の信頼性が前記第1状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である第2状態量の計測値を取得する状態取得部と、
前記第2の状態量の計測値に基づいて前記発電プラントの状態を判定し、前記発電プラントの状態別に用意された前記第1状態量を説明変数とし前記第2状態量を目的変数とする関数のうち前記判定の結果に係るものに、前記第1状態量の計測値を代入することで、前記第2状態量の推定値を更新する状態更新部と、
前記第2状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する管理部とを備える運転管理装置。

【請求項2】

前記第2状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を制御するための制御量を調整する制御量調整部をさらに備え、
前記管理部は、前記制御量に基づいて前記発電プラントの運転を管理する
請求項1に記載の運転管理装置。

【請求項3】

発電プラントの運転状態を示す第1状態量の計測値を取得する状態取得部と、
前記発電プラントまたは前記発電プラントと異なる発電プラントの過去の運転に係る前記第1状態量の実績値、および前記第1状態量と異なる状態量であって、計測により得られ

る計測値の信頼性が前記第 1 状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である第 2 状態量の実績値を取得する実績取得部と、

前記第 1 状態量の実績値と前記第 1 状態量の計測値との差である第 1 変化量を算出する変化量算出部と、

前記第 1 変化量に基づいて、前記発電プラントまたは前記異なる発電プラントの過去の運転に係る前記第 2 状態量の実績値からの変化量である第 2 変化量を推定する変化量推定部と、

前記第 2 変化量と前記第 2 状態量の実績値とに基づいて前記第 2 状態量の推定値を更新する状態更新部と、

前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する管理部とを備える運転管理装置。

10

【請求項 4】

前記状態取得部は、前記第 2 状態量の計測値をさらに取得し、

前記管理部は、前記第 2 状態量の計測値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の運転管理装置。

【請求項 5】

前記第 2 状態量の推定値に基づいて前記第 2 状態量の計測値を評価する計測評価部をさらに備え、

前記管理部は、前記計測値の評価結果に基づいて前記発電プラントの運転状態を管理する、

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の運転管理装置。

20

【請求項 6】

前記計測評価部は、前記第 2 状態量の推定値と前記第 2 状態量の計測値との差である誤差値を算出することで、前記第 2 状態量の計測値を評価し、

前記管理部は、前記第 2 状態量の誤差値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する

請求項 5 に記載の運転管理装置。

【請求項 7】

前記変化量推定部は、前記第 1 変化量と前記第 2 変化量との関係式、前記第 1 変化量と前記第 2 変化量との対応関係を示すテーブル、および任意の入力値のいずれか 1 つに基づいて、前記第 2 変化量を推定する、

請求項 3 に記載の運転管理装置。

30

【請求項 8】

前記第 1 状態量は、排ガス温度を含み、
前記第 2 状態量は、吸気流量を含む、

請求項 1 から請求項 7 の何れか 1 項に記載の運転管理装置。

【請求項 9】

前記管理部は、前記発電プラントの運転状態を示す前記第 1 状態量および前記第 2 状態量と異なる状態量である第 3 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する

請求項 1 から請求項 8 の何れか 1 項に記載の運転管理装置。

40

【請求項 10】

前記第 3 状態量は、燃焼温度を含む、

請求項 9 に記載の運転管理装置。

【請求項 11】

請求項 1 から請求項 10 の何れか 1 項に記載の運転管理装置
を備える発電プラント。

【請求項 12】

発電プラントに係る第 1 状態量の計測値、および前記第 1 状態量と異なる状態量であって、計測により得られる計測値の信頼性が前記第 1 状態量の計測値の信頼性より低くなる状

50

態量である第 2 状態量の計測値を取得することと、
前記第 2 の状態量の計測値に基づいて前記発電プラントの状態を判定し、前記発電プラントの状態別に用意された前記第 1 状態量を説明変数とし前記第 2 状態量を目的変数とする関数のうち前記判定の結果に係るものに、前記第 1 状態量の計測値を代入することで、前記第 2 状態量の推定値を更新することと、
前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理することと
を有する発電プラントの運転管理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、運転管理装置、発電プラント、発電プラントの運転管理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

発電プラント等の設備を長時間作動させると、当該設備を構成する構成要素の効率が低下する。各構成要素の経年変化を推定するため、設備の効率や運用条件の変化に応じて、当該設備の制御パラメータを修正し、当該設備を表す数学モデルを自動的に調整することが検討されている。

例えば、特許文献 1 では、ガスタービンモデルと運転パラメータの差を利用してカルマンフィルタでモデル修正係数を生成し、自動的に数学モデルを調整することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許第 8 6 3 9 4 8 0 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、計測器の誤差や計測の遅れなどの要因によって、運転パラメータの計測値の信頼性が高くないことがある。特許文献 1 に記載の方法を用いる場合に、信頼性の低い計測値を用いると、制御パラメータを適切に調整できない可能性がある。なお、特許文献 1 には、数学モデルの予測値と運転パラメータの計測値との差を利用するとの記載があるものの、計測値を数学モデルに活用する具体的な方法については開示されていない。

本発明は、上記の課題に鑑みてされたものであって、設備の運転状態を適切に管理することができる運転管理装置、発電プラント、発電プラントの運転管理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の第 1 の態様によれば、運転管理装置は、発電プラントに係る第 1 状態量の計測値、および前記第 1 状態量と異なる状態量であって、計測により得られる計測値の信頼性が前記第 1 状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である第 2 状態量の計測値を取得する状態取得部と、前記第 2 の状態量の計測値に基づいて前記発電プラントの状態を判定し、前記発電プラントの状態別に用意された前記第 1 状態量を説明変数とし前記第 2 状態量を目的変数とする関数のうち前記判定の結果に係るものに、前記第 1 状態量の計測値を代入することで、前記第 2 状態量の推定値を更新する状態更新部と、前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する管理部とを備える。

【0007】

本発明の第 3 の態様によれば、第 1 または第 2 の態様に係る運転管理装置は、前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を制御するための制御量を調整する制御量調整部をさらに備え、前記管理部は、前記制御量に基づいて前記発電プラントの運転を管理するものであってよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

本発明の第 4 の態様によれば、運転管理装置は、発電プラントの運転状態を示す第 1 状態量の計測値を取得する状態取得部と、前記発電プラントまたは前記発電プラントと異なる発電プラントの過去の運転に係る前記第 1 状態量の実績値、および前記第 1 状態量と異なる状態量であって、計測により得られる計測値の信頼性が前記第 1 状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である第 2 状態量の実績値を取得する実績取得部と、前記第 1 状態量の実績値と前記第 1 状態量の計測値との差である第 1 変化量を算出する変化量算出部と、前記第 1 変化量に基づいて、前記発電プラントまたは前記異なる発電プラントの過去の運転に係る前記第 2 状態量の実績値からの変化量である第 2 変化量を推定する変化量推定部と、前記第 2 変化量と前記第 2 状態量の実績値とに基づいて前記第 2 状態量の推定値を更新する状態更新部と、前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理する管理部とを備える。

10

【 0 0 0 9 】

本発明の第 5 の態様によれば、第 1 から第 4 の何れかの態様に係る運転管理装置において、前記状態取得部は、前記第 2 状態量の計測値をさらに取得し、前記管理部は、前記第 2 状態量の計測値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理するものであってよい。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 6 の態様によれば、第 1 から第 5 の何れかの態様に係る運転管理装置は、前記第 2 状態量の推定値に基づいて前記第 2 状態量の計測値を評価する計測評価部をさらに備え、前記管理部は、前記計測値の評価結果に基づいて前記発電プラントの運転状態を管理する、ものであってよい。

20

【 0 0 1 1 】

本発明の第 7 の態様によれば、第 6 の態様に係る運転管理装置は、前記計測評価部は、前記第 2 状態量の推定値と前記第 2 状態量の計測値との差である誤差値を算出することで、前記第 2 状態量の計測値を評価し、前記管理部は、前記第 2 状態量の誤差値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理するものであってよい。

【 0 0 1 2 】

本発明の第 8 の態様によれば、第 4 の態様に係る運転管理装置は、前記変化量推定部は、前記第 1 変化量と前記第 2 変化量との関係式、前記第 1 変化量と前記第 2 変化量との対応関係を示すテーブル、および任意の入力値のいずれか 1 つに基づいて、前記第 2 変化量を推定する、ものであってよい。

30

【 0 0 1 3 】

本発明の第 9 の態様によれば、第 1 から第 8 の何れかの態様に係る運転管理装置は、前記第 1 状態量は、排気温度を含み、前記第 2 状態量は、吸気流量を含む、ものであってよい。

【 0 0 1 4 】

本発明の第 10 の態様によれば、第 1 から第 9 の何れかの態様に係る運転管理装置は、前記制御量調整部は、前記発電プラントの運転状態を示す前記第 1 状態量および前記第 2 状態量と異なる状態量である第 3 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を制御するための制御量を調整するものであってよい。

【 0 0 1 5 】

本発明の第 11 の態様によれば、第 1 から第 10 の何れかの態様に係る運転管理装置は、前記第 1 状態量は、燃焼温度を含む、ものであってよい。

40

【 0 0 1 6 】

本発明の第 12 の態様によれば、発電プラントは、第 1 から第 11 の何れかの態様に係る運転管理装置を備える。

【 0 0 1 7 】

本発明の第 13 の態様によれば、発電プラントに係る第 1 状態量の計測値、および前記第 1 状態量と異なる状態量であって、計測により得られる計測値の信頼性が前記第 1 状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である第 2 状態量の計測値を取得することと、前記第 2 の状態量の計測値に基づいて前記発電プラントの状態を判定し、前記発電プラントの

50

状態別に用意された前記第 1 状態量を説明変数とし前記第 2 状態量を目的変数とする関数のうち前記判定の結果に係るものに、前記第 1 状態量の計測値を代入することで、前記第 2 状態量の推定値を更新することと、前記第 2 状態量の推定値に基づいて、前記発電プラントの運転状態を管理することとを有する。

【発明の効果】

【0018】

上記態様のうち少なくとも 1 つの態様によれば、運転管理装置は、設備の運転状態を適切に管理することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図 1】第 1 の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

【図 2】第 1 の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

【図 3】第 1 の実施形態に係る発電プラントの動作を示すシーケンス図である。

【図 4】排ガス温度と吸気流量の関係を示す図である。

【図 5】第 2 の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

【図 6】第 2 の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

【図 7】第 2 の実施形態に係る発電プラントの動作を示すシーケンス図である。

【図 8】吸気流量の計測値と推定値の関係を示す図である。

【図 9】第 3 の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

【図 10】第 3 の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

【図 11】第 3 の実施形態に係る運転管理装置の動作を示すフローチャートである。

【図 12】少なくとも 1 つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

第 1 の実施形態

以下、図面を参照しながら第 1 の実施形態について詳しく説明する。

図 1 は、第 1 の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

発電プラント 1 は、ガスタービン発電機 10 と計測器 20 と運転管理装置 30 とを備える。

【0021】

《ガスタービン発電機の構成》

ガスタービン発電機 10 は、圧縮機 11 と、燃料系統 12 と、燃焼器 13 と、タービン 14 と、発電機 15 とを備える。

圧縮機 11 は、外部空気を圧縮して、高圧の圧縮空気を生成する。より詳細には、圧縮機 11 は、主軸線回りに回転する圧縮機ロータ 111 と、圧縮機ロータ 111 を外周側から覆う圧縮機車室 112 とを備える。タービン 14 は、主軸線回りに回転するタービンロータ 141 と、タービンロータ 141 を外周側から覆うタービン車室 142 とを備える。圧縮機ロータ 111 とタービンロータ 141 とは、主軸線上で一体に接続される。

燃焼器 13 は、圧縮機 11 によって生成された圧縮空気中で、燃料系統 12 から供給される燃料を燃焼させることで、高温高圧の燃焼ガスを生成する。燃焼器 13 は、燃焼器内筒 131 と、燃焼器内筒 131 を覆う燃焼器車室 132 とを備える。また、圧縮機車室 112 と燃焼器車室 132 とタービン車室 142 とは、互いに連結される。

発電機 15 は、圧縮機ロータ 111 の一端に接続される。発電機 15 は、圧縮機ロータ 111 の回転によって駆動されることで、電力を生成する。

【0022】

燃料系統 12 は、燃料タンクから供給される燃料の圧力および流量を調整する。燃料系統 12 は、圧力調整弁 121 と、燃料流量調整弁 122 と、ノズル 123 と、マニホールド 124 とを備える。燃料系統 12 は、燃料の供給先に応じて複数設けられてもよい。例えば、ガスタービン発電機 10 は、燃焼器 13 のトップハット部に燃料を供給するトップハット燃料系統、燃焼器 13 の内筒の中心部に燃料を供給するパイロット燃料系統、燃焼器

10

20

30

40

50

１３の内筒においてパイロット燃料系統を囲む部分に燃料を供給するメイン燃料系統を備えてもよい。

【００２３】

ガスタービン発電機１０には、状態量を計測する複数の計測器２０が設けられる。具体的には、ガスタービン発電機１０には、少なくとも、燃料系統１２の燃料流量を計測する燃料流量センサ２０ａ、ノズル１２３の通過流量（ノズル通過流量）を計測するノズル流量センサ２０ｂ、排ガス流量を計測する排ガス流量センサ２０ｃ、マニホールド１２４内の圧力（マニホールド圧力）を計測するマニホールド圧力センサ２０ｄが設けられる。燃料流量、ノズル通過流量または燃料弁通過流量、排ガス流量、およびマニホールド圧力は、いずれもガスタービン発電機１０の状態量である。以下、計測器２０によって計測される状態量を第１状態量ともいう。

10

【００２４】

《運転管理装置の構成》

図２は、第１の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

運転管理装置３０は、ガスタービン発電機１０に設けられる複数の計測器２０が計測した計測値に基づいて、ガスタービン発電機１０の運転を管理する。

運転管理装置３０は、状態取得部３０１、状態推定部３０２、モデル記憶部３０３、シミュレータ３０４、状態更新部３０５、管理部３０６、制御量調整部３０７を備える。

状態取得部３０１は、計測器２０から状態量（第１状態量）の計測値を取得する。すなわち、状態取得部３０１は、少なくとも計測器２０から燃料流量、ノズル通過流量、排ガス流量、またはマニホールド圧力を取得する。

20

状態推定部３０２は、状態取得部３０１が取得した計測値に基づいて、吸気流量および燃焼器車室１３２の内部の圧力（車室圧力）の値を推定する。以下、吸気流量および車室圧力のように、状態推定部３０２によって推定される状態量を、第２状態量ともいう。

モデル記憶部３０３は、発電プラント１の全体の挙動を予測するための予測モデルを記憶する。

シミュレータ３０４は、モデル記憶部３０３が記憶する予測モデルと、ガスタービン発電機１０の状態量の値とに基づいて、発電プラント１の挙動を計算する。

状態更新部３０５は、状態取得部３０１が取得した第１状態量の計測値、および第２状態量の推定値によって、シミュレータ３０４が保持する状態量の値を更新する。

30

管理部３０６は、シミュレータ３０４の計算結果に基づいて発電プラント１の運転を管理する。

制御量調整部３０７は、シミュレータ３０４の計算結果に基づいて発電プラント１の制御量を調整する。制御量の例としては、ＩＧＶ（Inlet Guide Vane）の開度、圧力調整弁１２１の開度および燃料流量調整弁１２２の開度が挙げられる。

【００２５】

《状態量》

運転管理装置３０が推定する第２状態量は、計測器を用いて計測する場合に、計測値の信頼性が発電プラント１の運転管理上に十分でないような状態量である。例えば、吸気流量は、吸気入口部における上流圧力と下流圧力の差圧に基づいて計測することができるが、当該差圧は吸気入口部の上流圧力と下流圧力と比較してとても小さく、吸気入口部の上流圧力および下流圧力の計測値に含まれるノイズの影響を多分に受ける。そのため、当該差圧に基づいて算出される吸気流量の信号対ノイズ比は小さく、信頼性が高いとは言えない。また、車室圧力は、計測器の計測遅れが大きく（時定数が大きく）、信頼性が高いとは言えない。

40

【００２６】

これに対し、計測器２０が計測する第１状態量は、計測値の信頼性が第２状態量より高い状態量である。換言すると、同程度の精度を有する計測器を用いて第１状態量と第２状態量のそれぞれを計測する場合、第１状態量の計測値の信頼性は、第２状態量の計測値の信頼性より高い。例えば、排ガス流量および燃料流量に係る計測値の信号対ノイズ比は、吸

50

気流量を計測する場合における計測値の信号対ノイズ比より大きい。また、ノズル通過流量およびマニホールド圧力に係る計測値の時定数は、車室圧力を計測する場合における計測値の時定数より小さい。

【 0 0 2 7 】

《 運転管理装置の動作 》

図 3 は、第 1 の実施形態に係る発電プラントの動作を示すシーケンス図である。

運転管理装置 3 0 が発電プラント 1 の管理を開始すると、シミュレータ 3 0 4 は、モデル記憶部 3 0 3 から予測モデルを読み出す（ステップ S 1）。また、各計測器 2 0 は、ガスタービン発電機 1 0 の第 1 状態量を計測する（ステップ S 2）。

次に、状態取得部 3 0 1 は、ガスタービン発電機 1 0 に設けられた各計測器 2 0 から、燃料流量、ノズル通過流量、排ガス流量、またはマニホールド圧力を取得する（ステップ S 3）。

【 0 0 2 8 】

次に、状態推定部 3 0 2 は、状態取得部 3 0 1 が取得した燃料流量と排ガス流量とに基づいて、吸気流量を推定する（ステップ S 4）。具体的には、状態推定部 3 0 2 は、排ガス流量から燃料流量を減算することで、吸気流量を推定する。

【 0 0 2 9 】

また、状態推定部 3 0 2 は、状態取得部 3 0 1 が取得した燃料流量とノズルの通過流量とマニホールド圧力とに基づいて、車室圧力を推定する（ステップ S 5）。具体的には、状態推定部 3 0 2 は、以下の式（ 1 ）に基づいて車室圧力を推定する。なお、他の実施形態においては、状態推定部 3 0 2 は、吸気流量と車室圧力のうち一方だけを推定する（ステップ S 4 とステップ S 5 のうち一方だけを実行する）ものであってもよい。

【 0 0 3 0 】

【 数 1 】

$$G = CdA \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa - 1} P_0 \gamma_0 \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right] \times 10000} \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 1 】

式（ 1 ）において、G は燃料流量であり、C d はノズル通過流量に応じた係数であり、A はノズル 1 2 3 の径面積であり、g は重力加速度であり、 $\frac{\kappa}{\kappa - 1}$ は比熱比であり、P₀ はマニホールド圧力であり、P₁ は車室圧力であり、 γ_0 はガス密度である。なお、ガス密度 γ_0 は、マニホールド圧力 P₀ の関数により求められる。式（ 1 ）は、第 1 変化量と第 2 変化量との関係式の一例である。

【 0 0 3 2 】

なお、式（ 1 ）は、非チョーク時における燃料流量の等式である。したがって、状態推定部 3 0 2 は、ガスタービン発電機 1 0 が非チョーク状態である場合に、式（ 1 ）に基づいて車室圧力を推定する。一方、チョーク時における燃料流量の等式は、式（ 2 ）の通りである。

【 0 0 3 3 】

【 数 2 】

$$G = CdA \sqrt{\kappa g \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}} P_0 \gamma_0 \times 10000} \quad \dots (2)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

式(2)に示すとおり、チョーク時における燃料流量の等式は、車室圧力の関数ではない。したがって、ガスタービン発電機10が非チョーク状態である場合、状態推定部302は、車室圧力の推定値を得ることができない。この場合、車室圧力は、後述するシミュレータ304によるシミュレーションにより演算される。ガスタービン発電機10がチョーク状態であるか否かは、例えば、マニホールド圧力と車室圧力の比によって判定することができる。具体的には、マニホールド圧力を車室圧力で除算した値が2より小さい場合に非チョーク状態、マニホールド圧力を車室圧力で除算した値が2以上である場合にチョーク状態であると判定することができる。なお、この場合、目的変数である車室圧力を用いてチョーク状態であるか否かの判定を行うこととなるが、当該判定は厳密である必要がないため、例えば車室圧力の計測値を用いて判定を行ってよい。

10

【 0 0 3 5 】

次に、状態更新部305は、状態取得部301が取得した計測値、および状態推定部302が推定した推定値によって、シミュレータ304が保持する状態量の値を更新する(ステップS6)。そして、シミュレータ304は、予測モデルと更新された状態量の値に基づいて、発電プラント1をシミュレートする(ステップS7)。このとき、シミュレータ304は、状態更新部305によって更新されなかった状態量の値もシミュレートする。例えば、シミュレータ304は、燃焼温度、TIT(Turbine Inlet Temperature)、燃焼器圧力などをシミュレートする。以下、シミュレータ304によるシミュレーションにより算出される状態量を、第3状態量ともいう。第1状態量および第2状態量は、シミュレーションによらずに求められる状態量である。

20

【 0 0 3 6 】

制御量調整部307は、シミュレータ304のシミュレート結果に基づいて発電プラント1の制御量を調整する(ステップS8)。例えば、制御量調整部307は、シミュレート結果が示す状態量に基づいて、発電目標を達成するために必要な圧力調整弁121の開度および燃料流量調整弁122の開度を算出する。そして、管理部306は、シミュレータ304によるシミュレート結果および制御量調整部307が調整した制御量に基づいて、発電プラント1の管理処理を行う(ステップS9)。管理処理の例としては、発電プラント1の状態量が運転許容範囲を逸脱していないか監視すること、発電プラント1の発電量が目標を満たしているかを監視すること、IGVに制御信号を出力して開度設定を変更すること、または、圧力調整弁121および燃料流量調整弁122に制御信号を出力することなどが挙げられる。また、制御量調整部307が算出した制御量は、シミュレータ304によるシミュレーションにも用いられる。以降、運転管理装置30は処理をステップS2に戻し、定期的に状態量を更新する。

30

【 0 0 3 7 】

このように、第1の実施形態によれば、運転管理装置30は、第1状態量の計測値に基づいて第2状態量の推定値を更新し、当該第2状態量の推定値に基づいて、発電プラント1の運転状態を管理する。これにより、運転管理装置30は、設備の運転状態を適切に管理することができる。特に、第1の実施形態においては、第2状態量は、計測を行った場合に、計測値の信頼性が第1状態量の計測値の信頼性より低くなる状態量である。つまり、第1の実施形態によれば、第2の状態量の値の信頼性を、計測によって求める場合より高めることができる。

40

【 0 0 3 8 】

第2の実施形態

図4は、排ガス温度と吸気流量の関係を示す図である。

第2の実施形態では、運転管理装置30は、吸気流量を、排ガス温度の計測値と吸気流量の過去の実績値とに基づいて推定する。圧縮機11の効率の劣化等により、図4に示すように、ガスタービン発電機10の吸気流量は、運転時間が長くなるほど減少する。このとき、燃焼時の空気流量が減少するため、発電機15の出力が同じであっても、排ガス温度が高くなる。つまり、図4に示すように、ガスタービン発電機10の排ガス温度は、運転

50

時間が長くなるほど上昇する。したがって、排ガス温度の変化量と吸気流量の変化量との間には相関があり、排ガス温度の変化量から吸気流量の変化量を求めることができる。つまり、吸気流量の変化量 G_a は、排ガス温度の変化量 T_d の関数 ($G_a = f(T_d)$) として表すことができる。

【0039】

図5は、第2の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

第2の実施形態に係る発電プラント1は、計測器20が計測する状態量および運転管理装置30の構成が第1の実施形態と異なる。ガスタービン発電機10の構成は、第1の実施形態と同じである。

【0040】

第2の実施形態に係るガスタービン発電機10には、排ガス温度を計測する排ガス温度センサ20eが設けられる。排ガス温度は第1状態量である。なお、第2の実施形態に係る発電プラント1は、必ずしも排ガス流量センサ20cを備えなくてもよい。

【0041】

《運転管理装置の構成》

第2の実施形態に係る運転管理装置30は、ネットワークNを介してサーバ装置40との通信を行う。サーバ装置40には、発電プラント1の過去の運転における状態量の実績値、および第2状態量の算出に用いる関係式が記憶されている。

【0042】

図6は、第2の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

第2の実施形態に係る運転管理装置30は、第1の実施形態の構成に加え、さらに実績取得部308、変化量算出部309、変化量推定部310を備える。

実績取得部308は、サーバ装置40から、発電プラント1の過去の運転に係る状態量の実績値を取得する。実績取得部308は、サーバ装置40から、発電プラント1と異なる発電プラント101の過去の運転に係る状態量の実績値を取得してもよい。具体的には、実績取得部308は、吸気流量（第2状態量）の実績値と排ガス温度（第1状態量）の実績値を取得する。実績値は、例えば発電プラント1の納品時または定期点検時に計測された状態量の計測値であってよい。納品時または定期点検時には、発電プラント1が備える計測器20より精度の高い計測器を用いて状態量の計測が行われる。

変化量算出部309は、実績取得部308が取得した排ガス温度の実績値と、状態取得部301が取得した排ガス温度の計測値との差である排ガス温度の変化量（第1変化量）を算出する。

変化量推定部310は、排ガス温度の変化量に基づいて、経年劣化による吸気流量の変化量（第2変化量）を推定する。吸気流量の変化量とは、現時点における吸気流量の値と、実績取得部308が取得した吸気流量の実績値との差である。変化量推定部310は、サーバ装置40から、排ガス温度と吸気流量との関係式、または排ガス温度と吸気流量との対応関係を示すテーブルを受信し、これに基づいて吸気流量の変化量を推定する。なお、他の実施形態においては、変化量推定部310は、任意の入力値に基づいて吸気流量の変化量を推定してもよい。

【0043】

第2の実施形態に係る状態推定部302は、変化量推定部310が推定した吸気流量の変化量と実績取得部308が取得した吸気流量の実績値とに基づいて、吸気流量の値を推定する。

【0044】

《運転管理装置の動作》

図7は、第2の実施形態に係る発電プラントの動作を示すシーケンス図である。

運転管理装置30が発電プラント1の管理を開始すると、シミュレータ304は、モデル記憶部303から予測モデルを読み出す（ステップS101）。また、各計測器20は、ガスタービン発電機10の第1状態量を計測する（ステップS102）。

次に、状態取得部301は、ガスタービン発電機10に設けられた各計測器20から、燃

10

20

30

40

50

料流量、ノズル通過流量、排ガス温度、またはマニホールド圧力を取得する（ステップ S 103）。

【0045】

次に、実績取得部 308 は、サーバ装置 40 から吸気流量および排ガス温度の実績値を取得する（ステップ S 104）。次に、変化量算出部 309 は、排ガス温度の計測値と排ガス温度の実績値との差を算出することで、排ガス温度の変化量を算出する（ステップ S 105）。次に、変化量推定部 310 は、サーバ装置 40 から、排ガス温度と吸気流量との関係式、または排ガス温度と吸気流量との対応関係を示すテーブルを取得する（ステップ S 106）。次に、変化量推定部 310 は、取得した関係式またはテーブルに基づいて、吸気流量の変化量を推定する（ステップ S 107）。次に、状態推定部 302 は、実績取得部 308 が取得した吸気流量の実績値に吸気流量の変化量を加算することで、現時点における吸気流量を推定する（ステップ S 108）。

10

【0046】

また、状態推定部 302 は、状態取得部 301 が取得した燃料流量とノズルの通過流量とマニホールド圧力とに基づいて、車室圧力を推定する（ステップ S 109）。車室圧力の推定方法は、第 1 の実施形態と同様である。

【0047】

次に、状態更新部 305 は、状態取得部 301 が取得した計測値、および状態推定部 302 が推定した推定値によって、シミュレータ 304 が保持する状態量の値を更新する（ステップ S 110）。そして、シミュレータ 304 は、予測モデルと更新された状態量の値に基づいて、発電プラント 1 をシミュレートする（ステップ S 111）。

20

【0048】

制御量調整部 307 は、シミュレータ 304 のシミュレート結果に基づいて発電プラント 1 の制御量を調整する（ステップ S 112）。次に、管理部 306 は、シミュレータ 304 によるシミュレート結果および制御量調整部 307 が調整した制御量に基づいて、発電プラント 1 の管理処理を行う（ステップ S 113）。そして、運転管理装置 30 は処理をステップ S 2 に戻し、次の制御タイミングに係る計算を実行する。

【0049】

このように、第 2 の実施形態によれば、運転管理装置 30 は、発電プラント 1 の過去の運転に係る第 1 状態量の実績値と第 1 状態量の計測値との差（第 1 変化量）に基づいて、第 2 状態量の変化量（第 2 変化量）を推定し、第 2 変化量と第 2 状態量の実績値とに基づいて、第 2 状態量の推定値を更新する。これにより、運転管理装置 30 は、より適切に発電プラント 1 の運転状態を管理することができる。

30

【0050】

また、第 2 の実施形態によれば、運転管理装置 30 は、発電プラント 1 と異なる発電プラント 101 の過去の運転に係る第 1 状態量の実績値と第 1 状態量の計測値との差（第 1 変化量）に基づいて、第 2 状態量の変化量（第 2 変化量）を推定し、第 2 変化量と第 2 状態量の実績値とに基づいて、第 2 状態量の推定値を更新してもよい。これにより、運転管理装置 30 は、発電プラント 1 と異なるが、発電プラント 1 と同種の発電プラント 101 の実績値も用いて、より適切に発電プラント 1 の運転状態を管理することができる。

40

【0051】

なお、第 2 の実施形態によれば、運転管理装置 30 は、第 1 変化量に基づいて吸気流量の変化量を求めるが、他の実施形態においてはこれに限られない。例えば、他の実施形態に係る運転管理装置 30 は、吸気流量以外の第 2 状態量を、第 1 変化量に基づいて求めても良い。

【0052】

第 3 の実施形態

図 8 は、吸気流量の計測値と推定値の関係を示す図である。

第 3 の実施形態では、運転管理装置 30 は、吸気流量を計測器 20 によって計測し、この計測値を吸気流量の計測値によって評価する。具体的には、吸気流量の計測値 G_a 、 M と

50

吸気流量の推定値 G_{a_E} の差である誤差値 E_{rr} が、所定の閾値以上であるか否かの評価を行う。予測モデルが適切に構築されている場合において、吸気流量 G_{a_M} の計測誤差が小さいならば、誤差値 E_{rr} は小さくなる。つまり、誤差値 E_{rr} が小さいということは、計測値 G_{a_M} の信頼性が高いことを意味する。したがって、第3の実施形態に係る運転管理装置30は、計測値 G_{a_M} と推定値 G_{a_E} の差である誤差値 E_{rr} を以て、計測値 G_{a_M} と推定値 G_{a_E} のいずれを発電プラント1の運転状態の管理に用いるかを決定する。

【0053】

図9は、第3の実施形態に係る発電プラントの構成を示す概略図である。

第3の実施形態に係る発電プラント1は、計測器20が計測する状態量および運転管理装置30の構成が第2の実施形態と異なる。ガスタービン発電機10の構成は、第1および第2の実施形態と同じである。第3の実施形態に係るガスタービン発電機10には、圧縮機11の吸気流量を計測する吸気流量センサ20fが設けられる。

【0054】

《運転管理装置の構成》

図10は、第3の実施形態に係る運転管理装置の構成を示す概略図である。

第3の実施形態に係る運転管理装置30は、第2の実施形態の構成に加え、さらに計測評価部311を備える。計測評価部311は、吸気流量の推定値を用いて吸気流量の計測値を評価する。具体的には、計測評価部311は、吸気流量センサ20fによる吸気流量の計測値とシミュレータ304による吸気流量の推定値の差である誤差値が、所定の閾値以上であるか否かの判定により、計測値を発電プラント1の管理に用いることの妥当性の評価を行う。当該閾値は、計測誤差の許容最大値（例えば、計測誤差の3）に相当する。第3の実施形態に係る管理部306は、誤差値が閾値以上であるか否かを示す計測評価部311による評価結果に基づいて発電プラント1の運転状態を管理する。

【0055】

《運転管理装置の動作》

図11は、第3の実施形態に係る運転管理装置の動作を示すフローチャートである。

運転管理装置30が発電プラント1の管理を開始すると、シミュレータ304は、モデル記憶部303から予測モデルを読み出す（ステップS201）。次に、状態取得部301は、ガスタービン発電機10に設けられた各計測器20から、吸気流量、燃料流量、ノズル通過流量、排ガス温度、またはマニホールド圧力を取得する（ステップS202）。次に、実績取得部308は、サーバ装置40から吸気流量または排ガス温度の実績値を取得する（ステップS203）。

【0056】

次に、計測評価部311は、吸気流量の計測値から吸気流量の実績値を減算して得られる値が、所定の閾値以上であるか否かを判定する（ステップS204）。吸気流量の計測値と吸気流量の実績値との差が閾値未満である場合（ステップS204：NO）、状態更新部305は、状態推定部302による吸気流量の推定を行わず、吸気流量の計測値を以て吸気流量の値を更新することを決定する（ステップS205）。

【0057】

他方、吸気流量の計測値と吸気流量の実績値との差が閾値以上である場合（ステップS204：YES）、変化量算出部309は、排ガス温度の計測値と排ガス温度の実績値との差を算出することで、排ガス温度の変化量を算出する（ステップS206）。次に、変化量推定部310は、サーバ装置40から、排ガス温度と吸気流量との関係式、または排ガス温度と吸気流量との対応関係を示すテーブルを取得する（ステップS207）。次に、変化量推定部310は、取得した関係式またはテーブルに基づいて、吸気流量の変化量を推定する（ステップS208）。次に、状態推定部302は、実績取得部308が取得した吸気流量の実績値に吸気流量の変化量を加算することで、現時点における吸気流量を推定する（ステップS209）。

【0058】

10

20

30

40

50

次に、計測評価部 3 1 1 は、吸気流量の計測値と吸気流量の推定値の差である誤差値が、所定の閾値以上であるか否かを判定する（ステップ S 2 1 0）。誤差値が閾値未満である場合（ステップ S 2 1 0：NO）、状態更新部 3 0 5 は、吸気流量の計測値を以て吸気流量の値を更新することを決定する（ステップ S 2 0 5）。

他方、誤差値が閾値以上である場合（ステップ S 2 1 0：YES）、状態更新部 3 0 5 は、吸気流量の推定値を以て吸気流量の値を更新することを決定する（ステップ S 2 1 1）。閾値は、例えば吸気流量の値の標準偏差に基づいて（例えば 3 に）決定することができる。

【0059】

状態更新部 3 0 5 が吸気流量の値の更新に推定値を用いるか計測値を用いるかを決定すると、状態推定部 3 0 2 は、状態取得部 3 0 1 が取得した燃料流量とノズルの通過流量とマニホールド圧力とに基づいて、車室圧力を推定する（ステップ S 2 1 2）。車室圧力の推定方法は、第 1 の実施形態と同様である。次に、状態更新部 3 0 5 は、状態取得部 3 0 1 が取得した計測値、および状態推定部 3 0 2 が推定した推定値によって、シミュレータ 3 0 4 が保持する状態量の値を更新する（ステップ S 2 1 3）。このとき、状態更新部 3 0 5 は、ステップ S 2 0 5 またはステップ S 2 1 1 で決定した値を以て吸気流量の値を更新する。そして、シミュレータ 3 0 4 は、予測モデルと更新された状態量の値に基づいて、発電プラント 1 をシミュレートする（ステップ S 2 1 4）。

【0060】

制御量調整部 3 0 7 は、シミュレータ 3 0 4 のシミュレート結果に基づいて発電プラント 1 の制御量を調整する（ステップ S 2 1 5）。次に、管理部 3 0 6 は、シミュレータ 3 0 4 によるシミュレート結果および制御量調整部 3 0 7 が調整した制御量に基づいて、発電プラント 1 の管理処理を行う（ステップ S 2 1 6）。以降、運転管理装置 3 0 は処理をステップ S 2 に戻し、次の制御タイミングに係る計算を実行する。

【0061】

このように、第 3 の実施形態によれば、運転管理装置 3 0 は、第 2 状態量の推定値に基づいて第 2 状態量の計測値の評価を行う。これにより、運転管理装置 3 0 は、第 2 状態量の計測値が、推定値に基づいて信頼性が十分に高いと判断できる場合に、計測値を用いて発電プラント 1 の管理を行うことで、信頼性を担保しつつ計測値に基づいて発電プラント 1 の運転状態を管理することができる。なお、第 3 の実施形態に係る運転管理装置 3 0 は、第 2 状態量の推定値に基づいて、第 2 状態量の値を計測値を用いて更新するか推定値を用いて更新するかを決定するが、これに限られない。例えば、他の実施形態では、運転管理装置 3 0 は、計測値の評価結果に基づく重み付けにより、推定値と計測値の加重平均を求めてもよいし、計測値の評価を行わずに、推定値と計測値の両方を用いて第 2 状態量の値を更新してもよい。

また、他の実施形態では、運転管理装置 3 0 は、第 1 状態量の計測値または第 2 状態量の推定値に基づいて第 3 状態量を推定し、当該推定結果を用いて、シミュレータ 3 0 4 が算出した第 3 状態量を評価してもよい。

【0062】

以上、図面を参照して一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、様々な設計変更等を行うことが可能である。

例えば、他の実施形態では、上述した運転管理装置 3 0 の一部の処理を他の装置（例えばサーバ装置 4 0）に実行させてもよい。この場合、運転管理装置 3 0 とサーバ装置 4 0 の組み合わせを運転管理装置とみなすことができる。また、他の実施形態では、サーバ装置 4 0 の機能の一部または全部を運転管理装置 3 0 が有していてもよい。

【0063】

コンピュータ構成

図 1 2 は、少なくとも 1 つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

コンピュータ 9 0 は、CPU 9 1、主記憶装置 9 2、補助記憶装置 9 3、インタフェース

10

20

30

40

50

９４を備える。

上述の運転管理装置３０は、コンピュータ９０に実装される。そして、上述した各処理部の動作は、プログラムの形式で補助記憶装置９３に記憶されている。ＣＰＵ９１は、プログラムを補助記憶装置９３から読み出して主記憶装置９２に展開し、当該プログラムに従って上記処理を実行する。また、ＣＰＵ９１は、プログラムに従って、上述した各記憶部に対応する記憶領域を主記憶装置９２に確保する。

【００６４】

補助記憶装置９３の例としては、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）、ＳＳＤ（Solid State Drive）、磁気ディスク、光磁気ディスク、ＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disc Read Only Memory）、ＤＶＤ－ＲＯＭ（Digital Versatile Disc Read Only Memory）、半導体メモリ等が挙げられる。補助記憶装置９３は、コンピュータ９０のバスに直接接続された内部メディアであってもよいし、インタフェース９４または通信回線を介してコンピュータ９０に接続される外部メディアであってもよい。また、このプログラムが通信回線によってコンピュータ９０に配信される場合、配信を受けたコンピュータ９０が当該プログラムを主記憶装置９２に展開し、上記処理を実行してもよい。少なくとも１つの実施形態において、補助記憶装置９３は、一時的でない有形の記憶媒体である。

【００６５】

また、当該プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、当該プログラムは、前述した機能を補助記憶装置９３に既に記憶されている他のプログラムとの組み合わせで実現するもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であ

【符号の説明】

【００６６】

１ 発電プラント

１０ ガスタービン発電機

２０ 計測器

３０ 運転管理装置

３０１ 状態取得部

３０２ 状態推定部

３０３ モデル記憶部

３０４ シミュレータ

３０５ 状態更新部

３０６ 管理部

３０７ 制御量調整部

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

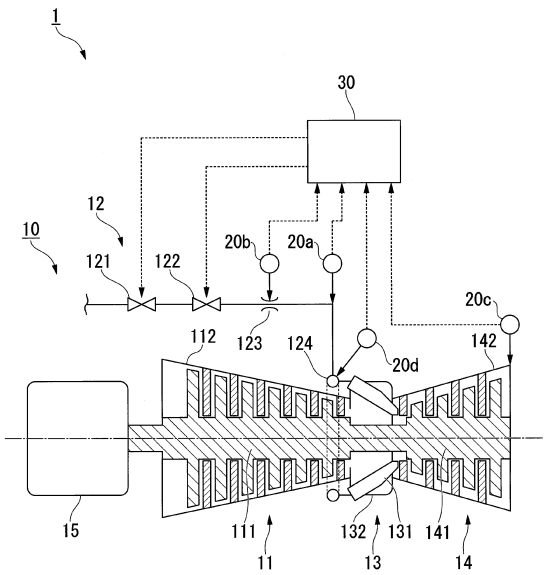


図 1

【図 2】

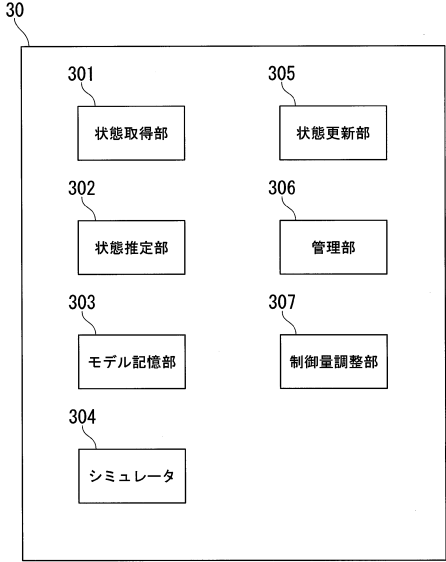


図 2

【図 3】

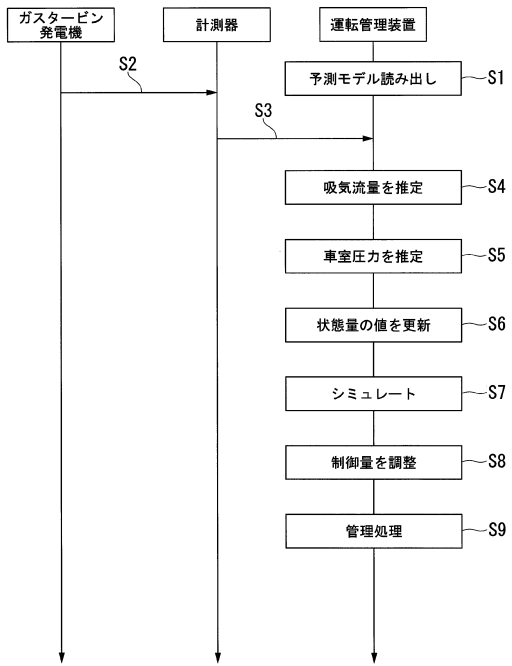


図 3

【図 4】

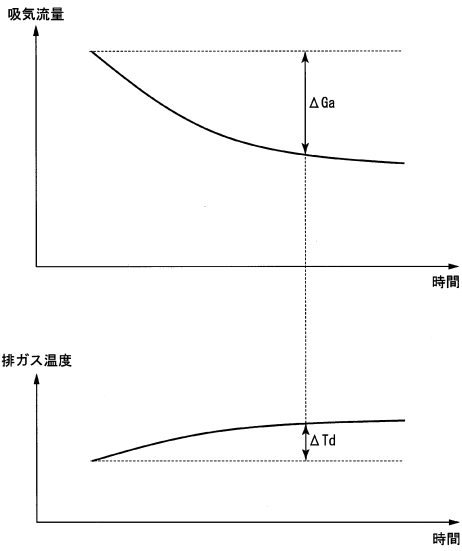


図 4

10

20

30

40

50

【図 5】

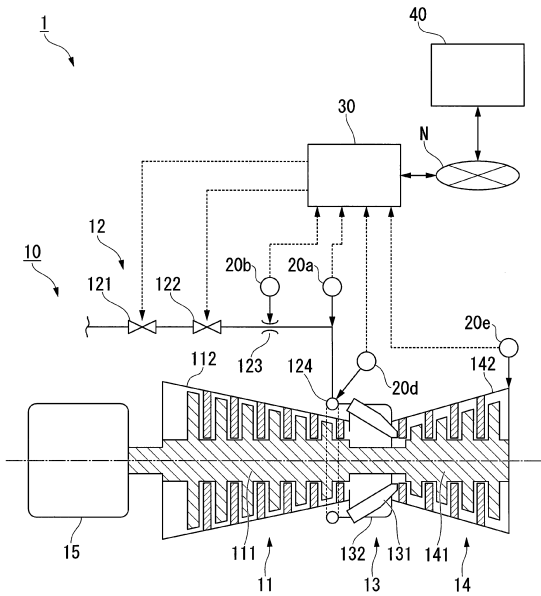


図 5

【図 6】

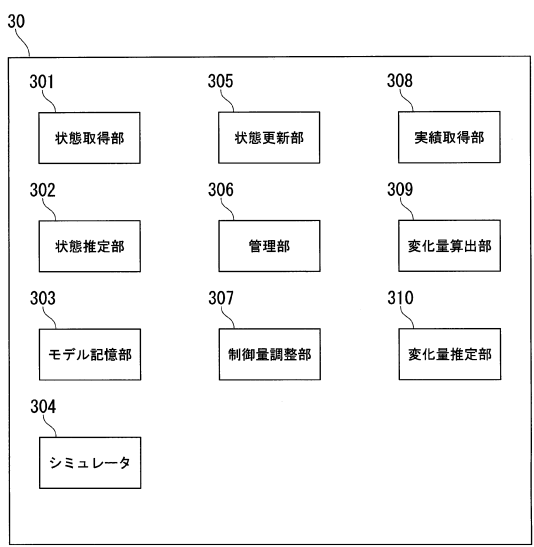


図 6

【図 7】

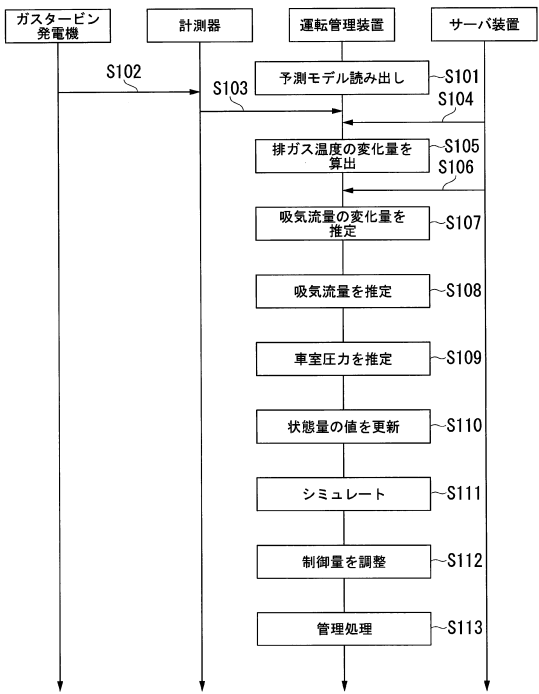


図 7

【図 8】

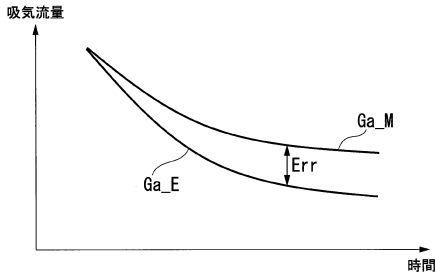


図 8

10

20

30

40

50

【図 9】

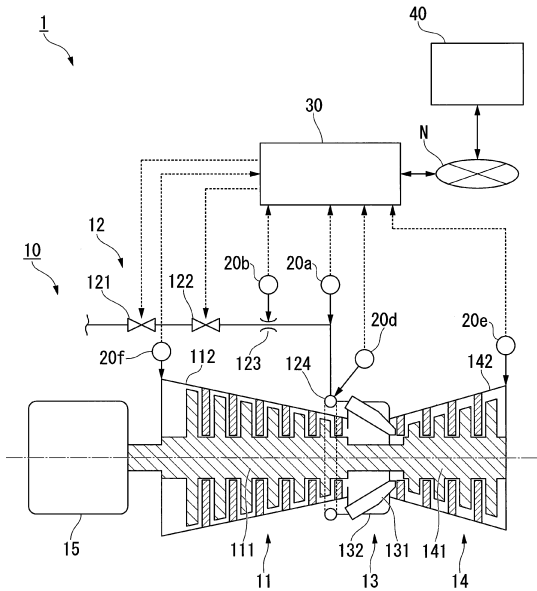


図9

【図 10】

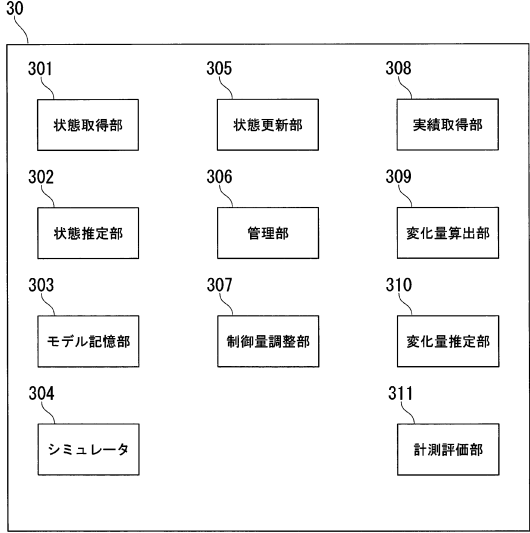


図10

【図 11】

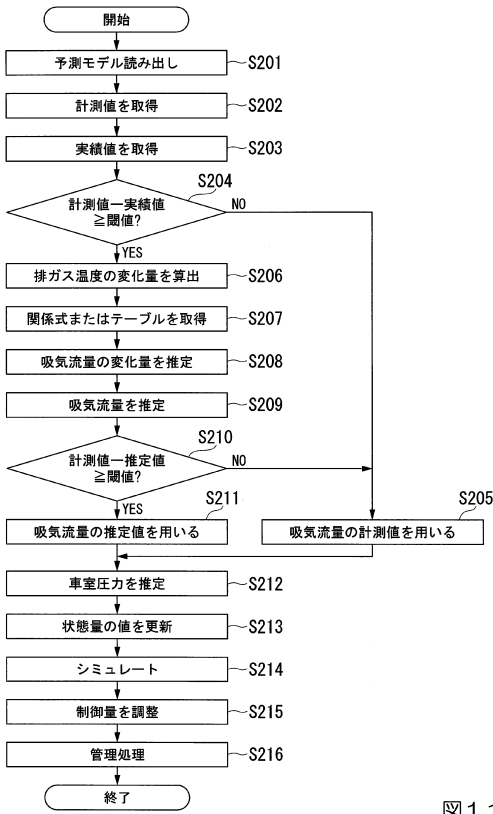


図11

【図 12】

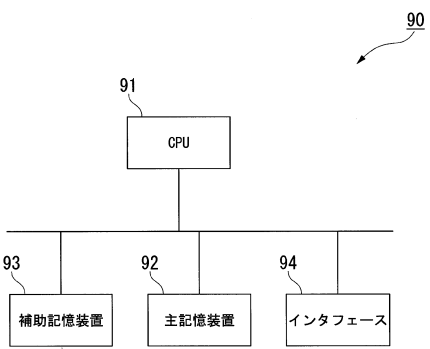


図12

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100126893
弁理士 山崎 哲男
- (72)発明者 山本 圭介
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 熊野 信太郎
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 岸 真人
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 安部 克彦
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目 3 番 1 号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- 審査官 堀内 亮吾
- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 1 2 3 3 0 (J P , A)
米国特許第 0 6 5 3 9 7 8 3 (U S , B 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 5 B 2 3 / 0 2
F 0 2 C 9 / 0 0
F 0 1 D 2 5 / 0 0