

(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2017-160843

(P2017-160843A)

(43) 公開日 平成29年9月14日(2017.9.14)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 0 2 C 9/28 (2006.01)	F 0 2 C 9/28 C	
F 0 2 C 9/00 (2006.01)	F 0 2 C 9/00 A	
F 0 2 C 9/20 (2006.01)	F 0 2 C 9/00 B	
F 0 2 C 9/54 (2006.01)	F 0 2 C 9/20	
	F 0 2 C 9/54	
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-45985 (P2016-45985)
 (22) 出願日 平成28年3月9日 (2016.3.9)

(71) 出願人 514030104
 三菱日立パワーシステムズ株式会社
 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 110002147
 特許業務法人酒井国際特許事務所
 (72) 発明者 高木 一茂
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 (72) 発明者 齋藤 昭彦
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

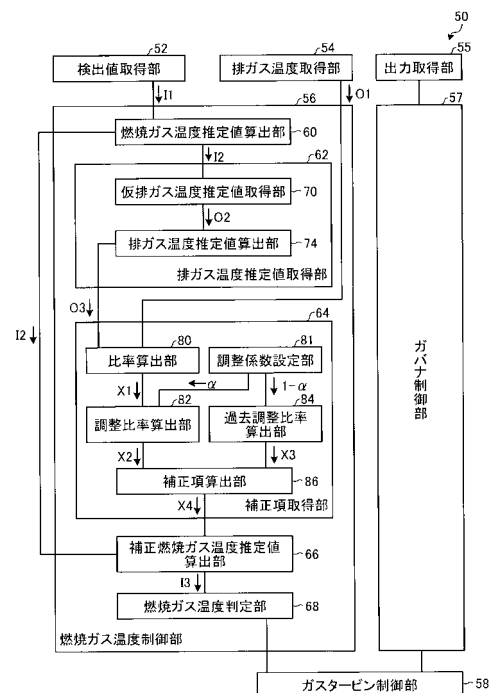
(54) 【発明の名称】 ガスタービンの制御装置及びガスタービンの制御方法

(57) 【要約】

【課題】 応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガス温度の推定値を算出する。

【解決手段】 制御装置は、ガスタービンを制御する制御装置である。制御装置は、燃料の供給量、圧縮空気の圧力、及び発電機の発電電力のうち少なくとも一つの検出値 I 1 を取得する検出値取得部 52 と、排ガス温度検出値 O 1 を取得する排ガス温度取得部 54 と、検出値 I 1 に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する燃焼ガス温度推定値算出部 60 と、燃焼ガス温度推定値 I 2 と排ガス温度検出値 O 1 との比率に基づき、補正項 X 4 を算出する補正項取得部 64 と、燃焼ガス温度推定値 I 2 を補正項 X 4 で補正して、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する補正燃焼ガス温度推定値算出部 66 と、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づき、ガスタービンを制御するガスタービン制御部 58 と、を有する。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空気供給ラインから供給される空気を圧縮する圧縮機と、燃料が供給され前記圧縮機で圧縮された圧縮空気を燃焼させる燃焼器と、前記燃焼器で生じた燃焼ガスにより回転するタービンと、前記タービンを回転させた後の燃焼ガスである排ガスを排出する排ガス排出ラインと、前記タービンの回転により発電する発電機と、を有するガスタービンの制御装置であって、

前記燃料の供給量、前記圧縮空気の圧力、及び前記発電機の発電電力のうち少なくとも一つの検出値を取得する検出値取得部と、

前記排ガスの温度の検出値である排ガス温度検出値を取得する排ガス温度取得部と、

前記検出値取得部が取得した検出値に基づき、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度推定値を算出する燃焼ガス温度推定値算出部と、

前記燃焼ガス温度推定値と前記排ガス温度検出値との比率に基づき、前記燃焼ガス温度推定値を補正する補正項を算出する補正項取得部と、

前記燃焼ガス温度推定値を前記補正項で補正して、補正燃焼ガス温度推定値を算出する補正燃焼ガス温度推定値算出部と、

前記補正燃焼ガス温度推定値に基づき、前記ガスタービンを制御するガスタービン制御部と、を有する、ガスタービンの制御装置。

【請求項 2】

前記燃焼ガス温度推定値に基づき、前記排ガスの推定温度である排ガス温度推定値を算出する排ガス温度推定値取得部を更に有し、

前記補正項取得部は、前記排ガス温度推定値と前記排ガス温度検出値との比率に基づき、前記補正項を算出する、ガスタービンの制御装置。

【請求項 3】

前記補正項取得部は、前記排ガス温度推定値に対する前記排ガス温度検出値の比率を前記補正項として算出し、前記補正燃焼ガス温度推定値算出部は、前記燃焼ガス温度推定値に前記補正項を乗じて、前記補正燃焼ガス温度推定値を算出する、請求項 2 に記載のガスタービンの制御装置。

【請求項 4】

前記補正項取得部は、

前記排ガス温度推定値に対する前記排ガス温度検出値の比率を算出する比率算出部と、

前記比率に対する調整係数を、0 より大きく 1 以下の値のうちから設定する調整係数設定部と、

前記比率に前記調整係数を乗じて調整比率を算出する調整比率算出部と、

1 から前記調整係数を差し引いた値を、前回算出した前記補正項に乘じて、過去調整比率を算出する過去調整比率算出部と、

前記調整比率に前記過去調整比率を加えて、前記補正項を算出する補正項算出部と、を有する、請求項 3 に記載のガスタービンの制御装置。

【請求項 5】

前記排ガス温度推定値取得部は、前記燃焼ガス温度推定値を予め定められた所定の算出式に入力して、仮排ガス温度推定値を算出する仮排ガス温度推定値取得部と、

前記仮排ガス温度推定値に対し、時間毎の値の変化を遅れさせる一次遅れ処理を行って、前記排ガス温度推定値を算出する排ガス温度推定値算出部と、を有する、請求項 2 に記載のガスタービンの制御装置。

【請求項 6】

前記排ガス温度取得部は、前記タービンの直後における前記排ガスの温度である上流排ガス温度検出値と、前記上流排ガス温度検出値を検出した箇所よりも下流における前記排ガスの温度である下流排ガス温度検出値と、を取得し、

さらに、前記上流排ガス温度検出値に基づき、前記下流における排ガスの温度の推定値である下流排ガス温度推定値を取得する下流排ガス温度推定値取得部と、

前記下流排ガス温度推定値と前記下流排ガス温度検出値との比率に基づき、前記上流排ガス温度検出値を補正する上流補正項を算出する上流補正項取得部と、

前記上流排ガス温度検出値を前記上流補正項で補正して、補正上流排ガス温度検出値を算出する補正上流排ガス温度検出値算出部と、を有し、

前記補正項取得部は、前記排ガス温度検出値として、前記補正上流排ガス温度検出値を用いて前記補正項を算出する、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のガスタービンの制御装置。

【請求項 7】

前記排ガス温度検出値を用いてヒートバランス計算を行うことで、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度比較値を算出する燃焼ガス温度比較値取得部を更に有し、

前記補正項取得部は、前記燃焼ガス温度推定値と前記燃焼ガス温度比較値との比率に基づき、前記補正項を算出する、請求項 1 に記載のガスタービンの制御装置。

【請求項 8】

空気供給ラインから供給される空気を圧縮する圧縮機と、燃料が供給され前記圧縮機で圧縮された圧縮空気を燃焼させる燃焼器と、前記燃焼器で生じた燃焼ガスにより回転するタービンと、前記タービンを回転させた後の燃焼ガスである排ガスを排出する排ガス排出ラインと、前記タービンの回転により発電する発電機と、を有するガスタービンの制御方法であって、

前記燃料の供給量、前記圧縮空気の圧力、及び前記発電機の発電電力の少なくともいずれか一つの検出値を取得する検出値取得ステップと、

前記排ガスの温度の検出値である排ガス温度検出値を取得する排ガス温度取得ステップと、

前記検出値取得ステップにおいて取得した検出値に基づき、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度推定値を算出する燃焼ガス温度推定値算出ステップと、

前記燃焼ガス温度推定値と前記排ガス温度検出値との比率に基づき、前記燃焼ガス温度推定値を補正する補正項を算出する補正項取得ステップと、

前記燃焼ガス温度推定値を前記補正項で補正して、補正燃焼ガス温度推定値を算出する補正燃焼ガス温度推定値算出ステップと、

前記補正燃焼ガス温度推定値に基づき、前記ガスタービンを制御するガスタービン制御ステップと、を有する、ガスタービンの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービンの制御装置及びガスタービンの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンは、圧縮機と燃焼器とタービンとにより構成されている。そして、空気取入口から取り込まれた空気が圧縮機によって圧縮されることで高温高圧の圧縮空気となり、燃焼器にて、この圧縮空気に対して燃料を供給して燃焼させることで高温高圧の燃焼ガス（作動流体）を得て、この燃焼ガスによりタービンを駆動し、このタービンに連結された発電機を駆動する。タービンを駆動させた燃焼ガスは、タービンの排気側から排ガスとして排出される。

【0003】

このようなガスタービンを制御する制御装置は、燃料の供給量などを調整して、タービンに流入する燃焼ガスの温度が、予め設定された上限温度を超えないように、ガスタービンの運転を制御する温調制御を実行している。燃焼ガスは高温高圧であるため、その温度を直接測定することは困難である。従って、例えば特許文献 1 に記載されているように、燃焼ガスの温度は、排ガスの温度の検出値などに基づき、推定値として算出される。制御装置は、この算出した推定値を燃焼ガスの温度として、温調制御を実行する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-029162号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

排ガス温度の検出値から算出した燃焼ガス温度の推定値は、実際の燃焼ガスの温度との誤差が比較的少なく、算出精度が高いものとなっている。しかし、排ガス温度は、燃焼ガス温度の変位に対して時間的な遅れが大きく、応答性が低い。一方、燃料の供給量などから、燃焼ガスの温度の推定値を算出することが可能である。燃料の供給量から算出した燃焼ガスの温度の推定値は、実際の燃焼ガス温度の変位に対する応答性は高いが、算出精度が低くなる。従って、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガス温度の推定値を算出することが求められている。

10

【0006】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガス温度の推定値を算出するガスタービンの制御装置及びガスタービンの制御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】

【0007】

20

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係るガスタービンの制御装置は、空気供給ラインから供給される空気を圧縮する圧縮機と、燃料が供給され前記圧縮機で圧縮された圧縮空気を燃焼させる燃焼器と、前記燃焼器で生じた燃焼ガスにより回転するタービンと、前記タービンを回転させた後の燃焼ガスである排ガスを排出する排ガス排出ラインと、前記タービンの回転により発電する発電機と、を有するガスタービンの制御装置であって、前記燃料の供給量、前記圧縮空気の圧力、及び前記発電機の発電電力のうち少なくとも一つの検出値を取得する検出値取得部と、前記排ガスの温度の検出値である排ガス温度検出値を取得する排ガス温度取得部と、前記検出値取得部が取得した検出値に基づき、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度推定値を算出する燃焼ガス温度推定値算出部と、前記燃焼ガス温度推定値と前記排ガス温度検出値との比率に基づき、前記燃焼ガス温度推定値を補正する補正項を算出する補正項取得部と、前記燃焼ガス温度推定値を前記補正項で補正して、補正燃焼ガス温度推定値を算出する補正燃焼ガス温度推定値算出部と、前記補正燃焼ガス温度推定値に基づき、前記ガスタービンを制御するガスタービン制御部と、を有する。

30

【0008】

この制御装置は、温度変位に対する応答性が高い燃焼ガス温度推定値を、算出精度が高い排ガス温度検出値に基づき算出された補正項で補正して、補正燃焼ガス温度推定値を算出する。従って、この制御装置は、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガスの温度推定値（補正燃焼ガス温度推定値）を算出することができる。

【0009】

40

前記ガスタービンの制御装置は、前記燃焼ガス温度推定値に基づき、前記排ガスの推定温度である排ガス温度推定値を算出する排ガス温度推定値取得部を更に有し、前記補正項取得部は、前記排ガス温度推定値と前記排ガス温度検出値との比率に基づき、前記補正項を算出することが好ましい。この制御装置は、排ガスの温度同士に基づき、補正項を算出するため、補正項を精度よく算出することが可能となる。

【0010】

前記ガスタービンの制御装置において、前記補正項取得部は、前記排ガス温度推定値に対する前記排ガス温度検出値の比率を前記補正項として算出し、前記補正燃焼ガス温度推定値算出部は、前記燃焼ガス温度推定値に前記補正項を乗じて、前記補正燃焼ガス温度推定値を算出することが好ましい。この制御装置は、このように補正項及び補正燃焼ガス温

50

度推定値を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値の算出精度をより向上させることが可能となる。

【0011】

前記ガスタービンの制御装置において、前記補正項取得部は、前記排ガス温度推定値に対する前記排ガス温度検出値の比率を算出する比率算出部と、前記比率に対する調整係数を、0より大きく1以下の値のうちから設定する調整係数設定部と、前記比率に前記調整係数を乗じて調整比率を算出する調整比率算出部と、1から前記調整係数を差し引いた値を、前回算出した前記補正項に乗じて、過去調整比率を算出する過去調整比率算出部と、前記調整比率に前記過去調整比率を加えて、前記補正項を算出する補正項算出部と、を有することが好ましい。この制御装置は、過去の値を用いて補正項を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値の算出精度をより向上させることが可能となる。

10

【0012】

前記ガスタービンの制御装置において、前記排ガス温度推定値取得部は、前記燃焼ガス温度推定値を予め定められた所定の算出式に入力して、仮排ガス温度推定値を算出する仮排ガス温度推定値取得部と、前記仮排ガス温度推定値に対し、時間毎の値の変化を遅れさせる一次遅れ処理を行って、前記排ガス温度推定値を算出する排ガス温度推定値算出部と、を有することが好ましい。この制御装置は、一次遅れの関係を反映して排ガス温度推定値を算出するため、補正項Xをより精度よく算出することが可能となる。

【0013】

前記ガスタービンの制御装置において、前記排ガス温度取得部は、前記タービンの直後における前記排ガスの温度である上流排ガス温度検出値と、前記上流排ガス温度検出値を検出した箇所よりも下流における前記排ガスの温度である下流排ガス温度検出値と、を取得し、さらに、前記上流排ガス温度検出値に基づき、前記下流における排ガスの温度の推定値である下流排ガス温度推定値を取得する下流排ガス温度推定値取得部と、前記下流排ガス温度推定値と前記下流排ガス温度検出値との比率に基づき、前記上流排ガス温度検出値を補正する上流補正項を算出する上流補正項取得部と、前記上流排ガス温度検出値を前記上流補正項で補正して、補正上流排ガス温度検出値を算出する補正上流排ガス温度検出値算出部と、を有し、前記補正項取得部は、前記排ガス温度検出値として、前記補正上流排ガス温度検出値を用いて前記補正項を算出することが好ましい。この制御装置は、上流補正項を用いて補正燃焼ガス温度推定値を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値の応答性及び算出精度をより適切に向上させることができる。

20

30

【0014】

前記ガスタービンの制御装置は、前記排ガス温度検出値を用いてヒートバランス計算を行うことで、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度比較値を算出する燃焼ガス温度比較値取得部を更に有し、前記補正項取得部は、前記燃焼ガス温度推定値と前記燃焼ガス温度比較値との比率に基づき、前記補正項を算出することが好ましい。この制御装置は、算出精度が高い燃焼ガス温度比較値を用いて補正燃焼ガス温度推定値を算出する。従って、この制御装置は、算出精度が高く、かつ、応答性がより高い補正燃焼ガス温度推定値を算出することが可能となる。

【0015】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係るガスタービンの制御方法は、空気供給ラインから供給される空気を圧縮する圧縮機と、燃料が供給され前記圧縮機で圧縮された圧縮空気を燃焼させる燃焼器と、前記燃焼器で生じた燃焼ガスにより回転するタービンと、前記タービンを回転させた後の燃焼ガスである排ガスを排出する排ガス排出ラインと、前記タービンの回転により発電する発電機と、を有するガスタービンの制御方法であって、前記燃料の供給量、前記圧縮空気の圧力、及び前記発電機の発電電力の少なくともいずれか一つの検出値を取得する検出値取得ステップと、前記排ガスの温度の検出値である排ガス温度検出値を取得する排ガス温度取得ステップと、前記検出値取得ステップにおいて取得した検出値に基づき、前記燃焼ガスの推定温度である燃焼ガス温度推定値を算出する燃焼ガス温度推定値算出ステップと、前記燃焼ガス温度推定値と前記排ガス

40

50

温度検出値との比率に基づき、前記燃焼ガス温度推定値を補正する補正項を算出する補正項取得ステップと、前記燃焼ガス温度推定値を前記補正項で補正して、補正燃焼ガス温度推定値を算出する補正燃焼ガス温度推定値算出ステップと、前記補正燃焼ガス温度推定値に基づき、前記ガスタービンを制御するガスタービン制御ステップと、を有することが好ましい。この制御方法を用いると、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガスの温度推定値（補正燃焼ガス温度推定値）を算出することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガス温度の推定値を算出することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、第1実施形態に係るガスタービンを表す模式図である。

【図2】図2は、第1実施形態に係る制御部のブロック図である。

【図3】図3は、燃焼ガス温度制御部の疑似的な回路図である。

【図4】図4は、一次遅れの例を示すグラフである。

【図5】図5は、第1実施形態に係る燃焼ガス温度制御部の制御フローを説明するフローチャートである。

【図6】図6は、第2実施形態に係る制御部のブロック図である。

【図7】図7は、第2実施形態に係る燃焼ガス温度制御部の疑似的な回路図である。

20

【図8】図8は、第2実施形態に係る補正上流排ガス温度取得部のブロック図である。

【図9】図9は、第2実施形態に係る補正上流排ガス温度取得部の疑似的な回路図である。

【図10】図10は、第3実施形態に係る制御部のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下に添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではなく、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせるものも含むものである。

【0019】

30

（第1実施形態）

（ガスタービンの構成）

図1は、第1実施形態に係るガスタービンを表す模式図である。図1に示すように、第1実施形態に係るガスタービン1は、圧縮機11と、燃焼器12と、タービン13と、発電機17と、を備えている。圧縮機11、燃焼器12およびタービン13の中心部には、ロータ15が貫通して配置され、圧縮機11とタービン13とは、ロータ15により一体回転可能に連結されている。ロータ15は、軸方向の両端部が図示しない軸受部により回転自在に支持されており、軸心を中心として回転自在に設けられている。そして、ロータ15の圧縮機11側の端部には、発電機17の駆動軸が連結されている。発電機17は、タービン13と同軸上に設けられ、タービン13の回転により発電する。このガスタービン1は、制御装置としての制御部50によって制御されている。

40

【0020】

圧縮機11は、空気供給ライン20から取り込んだ空気Aを圧縮して圧縮空気A1とする。この圧縮機11には、空気供給ライン20から取り込む空気Aの吸気量を調整する入口案内翼（IGV：Inlet Guide Vane：吸気弁）22が配置される。空気供給ライン20から取り込まれた空気Aは、入口案内翼22を経て圧縮機11の内部を通過して圧縮されることで高温・高圧の圧縮空気A1となる。入口案内翼22は、開度調整部23によりその開度が調整されることで、空気Aの吸気量が調整される。入口案内翼22は、その開度が大きくなると、空気Aの吸気量が多くなり、圧縮機11の圧力比が増加する。一方で、入口案内翼22は、その開度が小さくなることで、空気Aの吸気量が少なくなり、圧縮

50

機 1 1 の圧力比が低下する。本実施形態では、開度調整部 2 3 は、制御部 5 0 の指令に基づき、入口案内翼 2 2 の開度を調整する。

【0021】

燃焼器 1 2 は、圧縮機 1 1 で圧縮された圧縮空気 A 1 に対して燃料 F を供給し、圧縮空気 A 1 と燃料 F とを混合して燃焼することで、燃焼ガスを生成する。燃焼器 1 2 は、圧縮空気導通ライン 2 4 を介して圧縮機 1 1 に接続されており、圧縮空気導通ライン 2 4 を通って、圧縮機 1 1 から圧縮空気 A 1 が供給される。また、燃焼器 1 2 には、燃料供給ライン 2 6 から、燃料 F が供給される。燃焼器 1 2 は、内部に供給された圧縮空気 A 1 と燃料 F とが混合され燃焼することで、高温・高圧の燃焼ガス I を生成する。なお、燃料供給ライン 2 6 には、燃料供給弁 2 7 が設けられている。燃料供給弁 2 7 は、開度を調整することで、圧縮機 1 1 への燃料 F の供給量を調整する。本実施形態では、制御部 5 0 が燃料供給弁 2 7 の開度を操作して、圧縮機 1 1 への燃料 F の供給量を調整する。

10

【0022】

タービン 1 3 には、燃焼ガス供給ライン 2 8 を通して、燃焼器 1 2 から燃焼ガス I が供給される。燃焼ガス I は、タービン 1 3 の内部を通過することにより、タービン 1 3 を作動（回転）させてロータ 1 5 を駆動回転し、このロータ 1 5 に連結された発電機 1 7 を駆動する。これにより、ロータ 1 5 に連結された発電機 1 7 は、回転駆動されることで発電を行う。排ガス排出ライン 2 9 は、タービン 1 3 の後段（燃焼ガス供給ライン 2 8 と反対側）に接続されている管である。タービン 1 3 を駆動した燃焼ガス I は、排ガス O として、排ガス排出ライン 2 9 を通って大気に放出される。

20

【0023】

また、図 1 に示すように、ガスタービン 1 には、吸気検出部 3 2 と、車室検出部 3 4 と、燃料検出部 3 6 と、ブレードパス温度計 3 7 と、排ガス温度計 3 8 と、出力計 3 9 が設けられている。吸気検出部 3 2 は、空気供給ライン 2 0 に設けられ、圧縮機 1 1 に取り込まれる空気 A の吸気温度と吸気圧力とを検出する。車室検出部 3 4 は、圧縮空気導通ライン 2 4、すなわち燃焼器 1 2 の車室内部に設けられ、圧縮空気 A 1 の圧力（車室圧力）と、圧縮空気 A 1 の温度（車室温度）とを計測する。燃料検出部 3 6 は、燃料供給ライン 2 6 であって、燃料供給弁 2 7 よりも燃焼器 1 2 側に設けられ、圧縮機 1 1 への燃料 F の供給量、及び燃料 F の温度を検出する。ただし、燃料検出部 3 6 は、必ずしも燃料 F の供給量を検出しなくてもよく、制御部 5 0 が、現在の燃料供給弁 2 7 の開度に基づき、圧縮機 1 1 への燃料 F の供給量を算出してもよい。

30

【0024】

ブレードパス温度計 3 7 は、排ガス排出ライン 2 9 に設けられ、タービン 1 3 の排ガス O の流れ方向の下流側に設けられる最終段のブレードを通過した直後の排ガス O の温度（ブレードパス温度）を計測する。排ガス温度計 3 8 は、排ガス排出ライン 2 9 であって、ブレードパス温度計 3 7 の下流側に設けられ、ブレードパス温度計 3 7 よりも下流側を流れる排ガス O の温度を計測する。排ガス温度計 3 8 は、排ガス O の温度分布が均一化している箇所であることが好ましく、タービン翼の回転の影響を受けず、排ガス O の温度分布が均一化する程度、ブレードパス温度計 3 7 よりも下流側に設けられていることが好ましい。ただし、排ガス温度計 3 8 は、ブレードパス温度計 3 7 の下流側であれば、その位置は任意であってよい。出力計 3 9 は、発電機 1 7 の出力、すなわち発電機 1 7 の発電する系統電力を検出する。吸気検出部 3 2 と、車室検出部 3 4 と、燃料検出部 3 6 と、ブレードパス温度計 3 7 と、排ガス温度計 3 8 と、出力計 3 9 とは、検出した値を制御部 5 0 に伝達する。

40

【0025】

以下、排ガス温度計 3 8 が検出した排ガス O の温度を、排ガス温度検出値 O 1 とする。また、車室検出部 3 4 が検出した圧縮空気 A 1 の圧力及び圧縮空気 A 1 の温度と、燃料検出部 3 6 が検出した燃料 F の供給量及び燃料 F の温度とは、特に区別しない場合、検出値 I 1 と記載する。

【0026】

50

(制御部)

次に、制御部 50 について説明する。図 2 は、第 1 実施形態に係る制御部のブロック図である。図 2 に示すように、制御部 50 は、検出値取得部 52 と、排ガス温度取得部 54 と、出力取得部 55 と、燃焼ガス温度制御部 56 と、ガバナ制御部 57 と、ガスタービン制御部 58 とを有する。検出値取得部 52 は、吸気検出部 32 と車室検出部 34 と燃料検出部 36 とから、検出値 I 1 を取得する。排ガス温度取得部 54 は、排ガス温度計 38 から排ガス温度検出値 O 1 を取得する。出力取得部 55 は、出力計 39 から、発電機 17 の発電する系統電力、より詳しくは系統電力の周波数を取得する。燃焼ガス温度制御部 56 は、温調制御を実行するものであり、燃焼ガス I の温度の推定値を算出し、燃焼ガス I の温度の推定値が温度閾値より高いかを判断する。ガバナ制御部 57 は、出力取得部 55 から系統電力の周波数を取得し、この系統周波数に基づき、ガスタービン 1 の運転条件を決定する。ガスタービン制御部 58 は、燃焼ガス温度制御部 56 からの判断結果と、ガバナ制御部 57 からの運転条件の情報を取得して、圧縮機 11 への燃料 F の供給量を決定し、決定した供給量となるように、燃料供給弁 27 の開度を操作する。ただし、ガスタービン制御部 58 は、ガスタービン 1 の制御を行えば、燃料供給弁 27 の開度を調整しなくてもよく、例えば空気 A の吸気量などを制御してもよい。

【0027】

図 3 は、燃焼ガス温度制御部の疑似的な回路図である。以下、図 2 及び図 3 を基に、燃焼ガス温度制御部 56 の構成について説明する。具体的には、燃焼ガス温度制御部 56 は、図 2 に示すように、燃焼ガス温度推定値算出部 60 と、排ガス温度推定値取得部 62 と、補正項取得部 64 と、補正燃焼ガス温度推定値算出部 66 と、燃焼ガス温度判定部 68 とを有する。

【0028】

燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、検出値取得部 52 が取得した検出値 I 1 に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する。燃焼ガス温度推定値 I 2 は、燃焼ガス I の温度の推定値であり、より詳しくは、タービン 13 に入る直前の燃焼ガス I の推定温度である。具体的には、燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、検出値 I 1 のうちの圧縮空気 A 1 の圧力に基づき、圧縮空気 A 1 の流量を算出する。そして、燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、圧縮空気 A 1 の流量と、検出値 I のうちの圧縮空気 A 1 の温度と、燃料 F の供給量と、燃料 F の温度とに対し、遅れ補償を行う。燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、遅れ補償を行った圧縮空気 A 1 の流量と、圧縮空気 A 1 の温度と、燃料 F の供給量と、燃料 F の温度とを用いて、以下の式 (1) により、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する。

【0029】

$$c_{p4} \cdot V_{cb} \cdot \gamma_4 (dI2 / dt) = c_{pf} \cdot G_f \cdot T_f + c_{p3} \cdot G_3 \cdot T_3 + \eta \cdot H_f \cdot G_f - c_{p4} \cdot G_4 \cdot T_4 \quad \dots (1)$$

【0030】

ここで、 T_3 は、遅れ補償を行った圧縮空気 A 1 の温度 (車室温度) であり、 T_f は、遅れ補償を行った燃料 F の温度であり、 G_3 は、遅れ補償を行った圧縮空気 A 1 の流量であり、 G_f は、遅れ補償を行った燃料 F の供給量である。すなわち、これらは、検出値 I 1 に基づいた値である。また、 G_4 は、燃焼ガス I の流量であり、 $G_3 + G_f$ である。 c_{p3} は、車室比熱であり、 c_{pf} は、燃料比熱であり、 c_{p4} は、燃焼ガス比熱であり、 H_f は、発熱量であり、 η は、燃焼器 12 の熱効率であり、 V_{cb} は、車室から尾筒の容積であり、 γ_4 は、燃焼ガス比重である。 c_{p3} と c_{pf} と c_{p4} と H_f と η と V_{cb} と γ_4 とは、物性値又は設計値であり、予め定められた値である。

【0031】

このように、燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、検出値 I 1 である圧縮空気 A 1 の流量と、圧縮空気 A 1 の温度と、燃料 F の供給量と、燃料 F の温度との検出値に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する。ただし、燃焼ガス温度推定値算出部 60 による燃焼ガス温度推定値 I 2 の算出方法は、これに限られない。燃焼ガス温度推定値算出部 60 は、燃料 F の供給量の検出値、及び圧縮空気 A 1 の圧力のうち、少なくとも一つに基づき燃焼ガ

ス温度推定値 I 2 を算出すればよい。また、燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 は、検出値 I 1 を、出力計 3 9 が検出した発電機 1 7 の発電する系統電力、すなわち発電機 1 7 の出力である電力 (MW) としてもよい。すなわち、燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 は、系統電力である検出値 I 1 に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出してもよい。ただし、燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 は、排ガス O の温度の検出値に基づいては、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出しない。

【0032】

排ガス温度推定値取得部 6 2 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 に基づき、排ガス温度推定値 O 3 を算出する。排ガス温度推定値 O 3 は、タービン 1 3 の入口の燃焼ガス I の温度を燃焼ガス温度推定値 I 2 と仮定した場合の、排ガス O の温度の推定値である。図 2 に示すように、排ガス温度推定値取得部 6 2 は、仮排ガス温度推定値取得部 7 0 と、排ガス温度推定値算出部 7 4 とを有する。

10

【0033】

仮排ガス温度推定値取得部 7 0 は、燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 から燃焼ガス温度推定値 I 2 を取得し、予め定められた所定の算出式に燃焼ガス温度推定値 I 2 を入力して、仮排ガス温度推定値 O 2 を算出する。この算出式は、タービン 1 3 の入口の燃焼ガス I の温度を、出口の排ガス O の温度に換算するための式である。例えば、仮排ガス温度推定値取得部 7 0 は、次の式 (2) のように、断熱膨張を仮定した算出式を用いて、仮排ガス温度推定値 O 2 を算出する。

【0034】

$$O2 = I2 \cdot Pr^{\{(1-n)/n\}} \cdots (2)$$

20

【0035】

ここで、Pr は圧力比であり、n は、ポリトロップ指数である。

【0036】

ただし、仮排ガス温度推定値取得部 7 0 は、上述の式 (2) に限られず、タービン 1 3 の入口の燃焼ガス I の温度を燃焼ガス温度推定値 I 2 とした場合の、排ガス O の温度 (仮排ガス温度推定値 O 2) を算出するものであれば、任意の方法で、仮排ガス温度推定値 O 2 を算出してもよい。

【0037】

排ガス温度推定値算出部 7 4 は、仮排ガス温度推定値 O 2 に対し、時間毎の値の変化を遅れさせる一次遅れ処理を行って、排ガス温度推定値 O 3 を算出する。具体的には、排ガス温度推定値算出部 7 4 は、燃焼ガス I の温度と排ガス O の温度との時間毎の関係を示す温度関係式を記憶している。この温度関係式は、燃焼ガス I の温度変化に対して、排ガス O の温度変化が遅れる一次遅れ系の関係式である。

30

【0038】

図 4 は、一次遅れの例を示すグラフである。図 4 の横軸は時間であり、縦軸は温度である。図 4 の線分 L 1 は、燃焼ガス I の時間毎の温度の一例を示している。図 4 の線分 L 2 は、燃焼ガス I の温度が線分 L 1 のように変化した場合の排ガス O の時間毎の温度の一例を示している。線分 L 2 に示すように、排ガス O の温度は、燃焼ガス I の温度変化に対して、時間的に遅れて変化する。すなわち、排ガス O の温度は、燃焼ガス I の温度に対して一次遅れの関係性を有している。温度関係式は、このような一次遅れ関係を反映させるために、燃焼ガス I の温度変化に対して排ガス O の温度変化を遅れさせる関係式である。仮排ガス温度推定値 O 2 は、燃焼ガス I の温度である燃焼ガス温度推定値 I 2 に基づき算出されたものであるため、実際の排ガス O のような一次遅れの関係が反映されていない。排ガス温度推定値算出部 7 4 は、仮排ガス温度推定値 O 2 を、この温度関係式に入力することで、一次遅れ処理を行って、排ガス温度推定値 O 3 を算出する。排ガス温度推定値 O 3 は、一次遅れ処理が行われたものなので、一次遅れの関係が反映されたものになる。すなわち、排ガス温度推定値算出部 7 4 は、図 3 に示すように、一次遅れ回路としての機能を有するものである。

40

【0039】

50

図 2 に示す補正項取得部 6 4 は、排ガス温度検出値 O 1 と燃焼ガス温度推定値 I 2 との比率に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を補正する補正項 X 4 を算出する。本実施形態では、補正項取得部 6 4 は、排ガス温度検出値 O 1 と、燃焼ガス温度推定値 I 2 に基づき算出された排ガス温度推定値 O 3 との比率に基づき、補正項 X 4 を算出する。具体的には、補正項取得部 6 4 は、図 2 に示すように、比率算出部 8 0 と、調整係数設定部 8 1 と、調整比率算出部 8 2 と、過去調整比率算出部 8 4 と、補正項算出部 8 6 とを有する。

【0040】

比率算出部 8 0 は、排ガス温度推定値 O 3 に対する排ガス温度検出値 O 1 の比率 X 1 を算出する。すなわち、比率算出部 8 0 は、図 3 に示すように、次の式 (3) のように排ガス温度検出値 O 1 を排ガス温度推定値 O 3 で除して、比率 X 1 を算出する。

10

【0041】

$$X 1 = O 1 / O 3 \quad \cdots (3)$$

【0042】

調整係数設定部 8 1 は、比率に対する調整係数 α を、0 より大きく 1 以下の値のうちから設定する。調整係数設定部 8 1 は、例えば操作者の設定により、0 より大きく 1 以下の所定の値を、調整係数 α として設定する。調整比率算出部 8 2 は、比率算出部 8 0 から比率 X 1 を取得し、調整係数設定部 8 1 から調整係数 α を取得する。調整比率算出部 8 2 は、図 3 に示すように、次の式 (4) のように比率 X 1 に調整係数 α を乗じて、調整比率 X 2 を算出する。

【0043】

20

$$X 2 = \alpha \cdot X 1 \quad \cdots (4)$$

【0044】

過去調整比率算出部 8 4 は、前回算出された補正項 X 4 である過去補正項 X 4 ' を記憶する。また、過去調整比率算出部 8 4 は、1 から調整係数 α を差し引いた値、すなわち $1 - \alpha$ の値の情報を取得する。過去調整比率算出部 8 4 は、次の式 (5) のように過去補正項 X 4 ' に、 $1 - \alpha$ を乗じて、過去調整比率 X 3 を算出する。

【0045】

$$X 3 = (1 - \alpha) \cdot X 4' \quad \cdots (5)$$

【0046】

補正項算出部 8 6 は、調整比率 X 2 に基づき、補正項 X 4 を算出する。具体的には、補正項算出部 8 6 は、図 3 に示すように、次の式 (6) のように調整比率 X 2 に過去調整比率 X 3 を加えて、補正項 X 4 を算出する。

30

【0047】

$$X 4 = X 2 + X 3 \quad \cdots (6)$$

【0048】

このように算出された補正項 X 4 は、排ガス温度検出値 O 1 と燃焼ガス温度推定値 I 2 との比率に基づいた値であり、燃焼ガス I の温度の推定値を、排ガス O の温度の検出値で補正するための補正項であるといえることができる。

【0049】

補正燃焼ガス温度推定値算出部 6 6 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 を補正項 X 4 で補正して、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。具体的には、補正燃焼ガス温度推定値算出部 6 6 は、図 3 に示すように、次の式 (7) のように燃焼ガス温度推定値 I 2 に補正項 X 4 を乗じて、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。

40

【0050】

$$I 3 = X 4 \cdot I 2 \quad \cdots (7)$$

【0051】

燃焼ガス温度判定部 6 8 は、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 が、温度閾値 I_{th} より高いかを判定する。温度閾値 I_{th} は、予め定められた燃焼ガス I の温度の上限値である。燃焼ガス温度判定部 6 8 は、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 が温度閾値 I_{th} より低い場合は、ガスタービン制御部 5 8 に対し、通常信号を送信する。ガスタービン制御部 5 8 は、通

50

常信号を取得した場合、ガバナ制御部 57 からの運転条件に従った通常運転を選択し、通常運転を行うための燃料 F の供給量を決定する。ガスタービン制御部 58 は、決定した供給量となるように、燃料供給弁 27 の開度を操作する。

【0052】

燃焼ガス温度判定部 68 は、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 が温度閾値 I_{th} より高い場合は、ガスタービン制御部 58 に対し、出力制限信号を送信する。ガスタービン制御部 58 は、出力制限信号を取得した場合、通常運転よりも出力を低下させる出力制限運転を選択し、出力制限運転を行うための燃料 F の供給量を決定する。ガスタービン制御部 58 は、決定した供給量となるように、燃料供給弁 27 の開度を操作する。出力制限運転を行うための燃料 F の供給量は、通常運転を行うための燃料 F の供給量より少ない。これにより、制御部 50 は、燃焼ガス I の温度の上昇を抑制することができる。

10

【0053】

次に、以上説明した燃焼ガス温度制御部 56 の制御フローを、フローチャートに基づき説明する。図 5 は、第 1 実施形態に係る燃焼ガス温度制御部の制御フローを説明するフローチャートである。図 5 に示すように、最初に、燃焼ガス温度制御部 56 は、燃焼ガス温度推定値算出部 60 により、検出値取得部 52 が取得した検出値 I_1 に基づき、燃焼ガス温度推定値 I_2 を算出する（ステップ S12）。

【0054】

燃焼ガス温度推定値 I_2 を算出した後、燃焼ガス温度制御部 56 は、仮排ガス温度推定値取得部 70 により、燃焼ガス温度推定値 I_2 に基づき、仮排ガス温度推定値 O_2 を算出し（ステップ S14）、排ガス温度推定値算出部 74 により、仮排ガス温度推定値 O_2 と温度関係式とに基づき、排ガス温度推定値 O_3 を算出する（ステップ S16）。

20

【0055】

排ガス温度推定値 O_3 を算出した後、燃焼ガス温度制御部 56 は、比率算出部 80 により、排ガス温度推定値 O_3 と排ガス温度検出値 O_1 とに基づき、比率 X_1 を算出し（ステップ S18）、調整比率算出部 82 により、比率 X_1 と調整係数 α とに基づき、調整比率 X_2 を算出し（ステップ S20）、過去調整比率算出部 84 により、過去補正項 X_4' と調整係数 α （具体的には $1 - \alpha$ ）とに基づき、過去調整比率 X_3 を算出する（ステップ S22）。調整比率 X_2 と過去調整比率 X_3 とを算出した後、燃焼ガス温度制御部 56 は、補正項算出部 86 により、調整比率 X_2 と過去調整比率 X_3 とに基づき、補正項 X_4 を算出する（ステップ S24）。補正項 X_4 は、燃焼ガス I の温度の推定値を、排ガス O の温度の検出値で補正するための補正項である。

30

【0056】

補正項 X_4 を算出した後、燃焼ガス温度制御部 56 は、補正燃焼ガス温度推定値算出部 66 により、燃焼ガス温度推定値 I_2 と補正項 X_4 とに基づき、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 を算出する（ステップ S26）。具体的には、燃焼ガス温度制御部 56 は、燃焼ガス温度推定値 I_2 に補正項 X_4 を乗じて、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 を算出する。補正燃焼ガス温度推定値 I_3 は、燃焼ガス温度推定値 I_2 を補正項 X_4 で補正した値である。

【0057】

補正燃焼ガス温度推定値 I_3 を算出した後、燃焼ガス温度制御部 56 は、燃焼ガス温度判定部 68 により、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 が温度閾値 I_{th} より高いかを判定し（ステップ S28）、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 が温度閾値 I_{th} より高い場合（ステップ S28；Yes）、ガスタービン制御部 58 に対し、出力制限信号を送信する（ステップ S30）。ガスタービン制御部 58 は、出力制限信号を取得した場合、通常運転よりも出力を低下させる出力制限運転を選択し、出力制限運転を行うための燃料 F の供給量を決定する。燃焼ガス温度判定部 68 は、補正燃焼ガス温度推定値 I_3 が温度閾値 I_{th} より高くない場合（ステップ S28；No）、すなわち補正燃焼ガス温度推定値 I_3 が温度閾値 I_{th} を超えない場合、ガスタービン制御部 58 に対し、通常信号を送信する（ステップ S32）。ガスタービン制御部 58 は、通常信号を取得した場合、ガバナ制御部 57 からの運転条件に従った通常運転を選択し、通常運転を行うための燃料 F の供給量を決定す

40

50

る。ステップ S 3 0 又はステップ S 3 2 を実行した後は、ステップ S 3 4 に移動し、制御を終了しない場合（ステップ S 3 4 ; N o）、ステップ S 1 2 に戻り、次のタイミングで取得された検出値 I 1 に基づき、燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出し、その後の処理を繰り返す。制御を終了する場合（ステップ S 3 4 ; Y e s）、この制御を終了する。

【 0 0 5 8 】

制御部 5 0 は、タービン 1 3 に流入する燃焼ガス I の温度が、予め定められた上限値を超えないようにするため、温度が上がり過ぎた場合に、出力制限運転を行う。出力制限運転は、通常運転よりも出力を制限する運転であるため、燃料 F の供給量が抑えられ、燃焼ガス I の温度上昇を抑制することができる。しかし、燃焼ガス I は、高温・高圧であるため、直接測定することは困難である。従って、制御部 5 0 は、燃焼ガス I の温度を、推定値として算出している。ここで、燃焼ガス I の温度推定値を排ガス O の温度検出値から算出した場合、燃焼ガス I の温度推定値は、実際の燃焼ガス I の温度との誤差が比較的少なく、算出精度が高い。しかし、排ガス O の温度は、燃焼ガス I の温度変位に対して時間的な遅れが大きく、応答性が低い。燃料 F の供給量や圧縮空気 A 1 の圧力などの検出値 I から算出した燃焼ガスの温度の推定値は、実際の燃焼ガス I の温度変位に対する応答性は高いが、算出精度が低くなる。

【 0 0 5 9 】

第 1 実施形態に係る制御部 5 0 は、検出値 I から算出した燃焼ガス I の温度推定値である燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する。この燃焼ガス温度推定値 I 2 は、実際の燃焼ガス I の温度変位に対する応答性は高い値である。さらに、制御部 5 0 は、燃焼ガス I の温度が燃焼ガス温度推定値 I 2 であると仮定した場合の排ガス O の推定温度を、排ガス温度推定値 O 3 として算出する。そして、制御部 5 0 は、排ガス温度推定値 O 3 に対する排ガス温度検出値 O 1 の比率である補正項 X 4 を算出する。制御部 5 0 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 にこの補正項 X 4 を乗じて、燃焼ガス I の温度推定値である補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。補正項 X 4 は、排ガス温度推定値 O 3 に対する排ガス温度検出値 O 1 の比率であるため、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 に対して補正項 X 4 が乗じられることで、応答性に加えて、算出精度が高い値になっている。制御部 5 0 は、応答性と算出精度とが高い補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づき、燃焼ガス I の温度を判断する。従って、制御部 5 0 は、温調制御を精度よく行うことが可能となる。

【 0 0 6 0 】

以上説明したように、第 1 実施形態に係る制御部 5 0（制御装置）は、ガスタービン 1 の制御装置である。ガスタービン 1 は、空気供給ライン 2 0 から供給される空気 A を圧縮する圧縮機 1 1 と、燃料 F が供給され圧縮機 1 1 で圧縮された圧縮空気 A 1 を燃焼させる燃焼器 1 2 と、燃焼器 1 2 で生じた燃焼ガス I により回転するタービン 1 3 と、タービン 1 3 を回転させた後の燃焼ガス I である排ガス O を排出する排ガス排出ライン 2 9 と、タービン 1 3 の回転により発電する発電機 1 7 と、を有する。制御部 5 0 は、検出値取得部 5 2 と、排ガス温度取得部 5 4 と、燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 と、補正項取得部 6 4 と、補正燃焼ガス温度推定値算出部 6 6 と、ガスタービン制御部 5 8 とを有する。検出値取得部 5 2 は、燃料 F の供給量、圧縮空気 A 1 の圧力、及び発電機 1 7 の発電電力のうち少なくとも一つの検出値 I 1 を取得する。排ガス温度取得部 5 4 は、排ガス O の温度の検出値である排ガス温度検出値 O 1 を取得する。燃焼ガス温度推定値算出部 6 0 は、検出値 I 1 に基づき、燃焼ガス I の推定温度である燃焼ガス温度推定値 I 2 を算出する。補正項取得部 6 4 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 と排ガス温度検出値 O 1 との比率に基づき、補正項 X 4 を算出する。補正燃焼ガス温度推定値算出部 6 6 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 を補正項 X 4 で補正して、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。ガスタービン制御部 5 8 は、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づき、ガスタービン 1 を制御する。

【 0 0 6 1 】

この制御部 5 0 は、温度変位に対する応答性が高い燃焼ガス温度推定値 I 2 を、算出精度が高い排ガス温度検出値 O 1 に基づき算出された補正項 X 4 で補正して、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。従って、この補正燃焼ガス温度推定値 I 3 は、応答性及び算

出精度が高いものとなる。従って、この制御部 50 は、応答性が高く、かつ、算出精度も高い燃焼ガス I の温度推定値（補正燃焼ガス温度推定値 I 3）を算出することができる。制御部 50 は、この補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を用いて燃料 F の供給量を制御するため、温調制御の精度を向上させることができる。なお、本実施形態では、ガスタービン制御部 58 は、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づき燃料 F の供給量を制御する（温調制御を行う）が、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づきガスタービン 1 を制御すれば、その制御対象は燃料 F の供給量に限られず、例えば、空気 A の吸気量を制御してもよい。また、ガスタービン制御部 58 は、例えば、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 に基づき、各燃料系統へ振り分ける燃料の配分を制御する燃料配分制御を行ってもよい。

【0062】

なお、本実施形態における排ガス温度検出値 O 1 は、排ガス温度計 38 が検出した排ガス O の温度であるが、ブレードパス温度計 37 が検出した排ガス O の温度であってもよい。すなわち、排ガス温度検出値 O 1 は、排ガス O の温度の検出値であれば、排ガス排出ライン 29 のどの位置での検出値であってもよい。ブレードパス温度計 37 は、タービン 13 を追加した直後の排ガス O の温度であるため、ブレードパス温度計 37 の検出した排ガス O の温度は、排ガス温度計 38 が検出した排ガス O の温度よりも算出精度は低い、燃焼ガス温度推定値 I 2 よりも算出精度は高い。さらに、ブレードパス温度計 37 の検出した排ガス O の温度は、それより後段の排ガス温度計 38 が検出した排ガス O の温度よりも、応答性が高くなる。従って、ブレードパス温度計 37 が検出した排ガス O の温度を排ガス温度検出値 O 1 として用いることで、算出精度が高く、かつ、応答性がより高い補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出することが可能となる。

【0063】

また、制御部 50 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 に基づき、排ガス O の推定温度である排ガス温度推定値 O 3 を算出する排ガス温度推定値取得部 62 を更に有する。補正項取得部 64 は、排ガス温度推定値 O 3 と排ガス温度検出値 O 1 との比率に基づき、補正項 X 4 を算出する。この制御部 50 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 を排ガス温度推定値 O 3 に換算して、この換算した排ガス温度推定値 O 3 と、排ガス温度検出値 O 1 との比率に基づき、補正項 X 4 を算出する。この制御部 50 は、排ガス O の温度同士に基づき、補正項 X 4 を算出するため、補正項 X 4 を精度よく算出することが可能となる。

【0064】

補正項取得部 64 は、排ガス温度推定値 O 3 に対する排ガス温度検出値 O 1 の比率を補正項 X 4 として算出し、補正燃焼ガス温度推定値算出部 66 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 に補正項 X 4 を乗じて、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出する。この制御部 50 は、このように補正項 X 4 及び補正燃焼ガス温度推定値 I 3 を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 の算出精度をより向上させることが可能となる。

【0065】

補正項取得部 64 は、比率算出部 80 と、調整係数設定部 81 と、調整比率算出部 82 と、過去調整比率算出部 84 と、補正項算出部 86 とを有する。比率算出部 80 は、排ガス温度推定値 O 3 に対する排ガス温度検出値 O 1 の比率 X 1 を算出する。調整係数設定部 81 は、比率 X 1 に対する調整係数 α を、0 より大きく 1 以下の値のうちから設定する。調整比率算出部 82 は、比率 X 1 に調整係数 α を乗じて調整比率 X 2 を算出する。過去調整比率算出部 84 は、1 から調整係数 α を差し引いた値（ $1 - \alpha$ ）を、前回算出した補正項 X 4（過去補正項 X 4'）に乗じて、過去調整比率 X 3 を算出する。補正項算出部 86 は、調整比率 X 2 に過去調整比率 X 3 を加えて、補正項 X 4 を算出する。この補正項取得部 64 は、調整比率 X 2 と過去調整比率 X 3 とを用いて補正項 X 4 を算出することで、現在の値だけでなく、過去の値を用いて補正項 X 4 を算出している。過去の値も用いることで、例えばノイズなどの特異的な温度変化があり、その温度変化はすぐに元に戻るものであった場合に、その温度変化の補正燃焼ガス温度推定値 I 3 への寄与度を小さくすることができる。このように、過去の値を用いて補正項 X 4 を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値 I 3 の算出精度をより向上させることが可能となる。

【0066】

ただし、補正項取得部64は、過去の値を用いること、すなわち過去調整比率X3を用いて補正項X4を算出しなくてもよい。この場合、比率X1を補正項X4としてもよいし、調整比率X2を補正項X4としてもよい。

【0067】

また、調整係数設定部81は、調整係数 α を、一定の値として設定していたが、時間経過毎に調整係数 α を変化させてもよい。例えば、調整係数設定部81は、燃焼ガス温度推定値I2の所定時間の間の変化量に基づき、調整係数 α を設定してもよい。この場合、調整係数設定部81は、例えば、燃焼ガス温度推定値I2の所定時間の間の変化量が小さいほど、調整係数 α の値を小さく設定し、燃焼ガス温度推定値I2の所定時間の間の変化量が大きいほど、調整係数 α の値を大きく設定する。燃焼ガス温度推定値I2の変化量が小さい場合は、燃焼ガスIの温度が安定しているといえる。燃焼ガスIの温度が安定している場合、燃焼ガス温度推定値I2の精度低下は抑制される。調整係数設定部81は、燃焼ガス温度推定値I2の変化量が小さく温度が安定している場合に、調整係数 α の値を小さくして、補正燃焼ガス温度推定値に対する燃焼ガス温度推定値I2の寄与度を大きくすることで、燃焼ガスIの温度変化に対する応答性をより高くすることができる。調整係数設定部81は、燃焼ガス温度推定値I2の変化量が大きく温度が安定していない場合に、調整係数 α の値を大きくして、補正燃焼ガス温度推定値に対する排ガス温度検出値O1の寄与度を大きくすることで、燃焼ガスIの温度変化に対する精度をより高くすることができる。

10

20

【0068】

また、排ガス温度推定値取得部62は、仮排ガス温度推定値取得部70と、排ガス温度推定値算出部74とを有する。仮排ガス温度推定値取得部70は、燃焼ガス温度推定値I2を予め定められた所定の算出式に入力して、仮排ガス温度推定値O2を算出する。排ガス温度推定値算出部74は、仮排ガス温度推定値O2に対し、時間毎の値の変化を遅れさせる一次遅れ処理を行って、排ガス温度推定値O3を算出する。この排ガス温度推定値取得部62は、一次遅れ処理を行って、排ガス温度推定値O3を算出するため、排ガスOの温度変化が燃焼ガスIの温度変化に対して遅れる一次遅れの関係を反映して、排ガス温度推定値O3を算出することができる。そのため、排ガス温度推定値取得部62は、補正項X4をより精度よく算出することが可能となる。

30

【0069】

(第2実施形態)

次に、第2実施形態について説明する。第2実施形態に係る制御部50aは、補正上流排ガス温度検出値を用いて補正項を算出する点で、第1実施形態と異なる。第2実施形態において、第1実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

【0070】

図6は、第2実施形態に係る制御部のブロック図である。図7は、第2実施形態に係る燃焼ガス温度制御部の疑似的な回路図である。図6に示すように、第2実施形態に係る燃焼ガス温度制御部56aは、補正上流排ガス温度取得部63aを有する。補正上流排ガス温度取得部63aは、排ガス温度取得部54から、上流排ガス温度検出値O1aと、下流排ガス温度検出値O1bとを取得する。上流排ガス温度検出値O1aは、タービン13の直後における排ガスOの温度の検出値である。すなわち、上流排ガス温度検出値O1aは、ブレードパス温度計37が検出した排ガスOの温度である。下流排ガス温度検出値O1bは、上流排ガス温度検出値O1aを検出した箇所よりも排ガスOの下流における排ガスOの温度の検出値である。すなわち、下流排ガス温度検出値O1bは、排ガス温度計38が検出した排ガスOの温度である。以下、ブレードパス温度計37の位置における排ガスOを、上流排ガスOaとし、排ガス温度計38の位置における排ガスOを、下流排ガスObと記載する。

40

【0071】

補正上流排ガス温度取得部63aは、上流排ガス温度検出値O1aと下流排ガス温度検

50

出値 O 1 b とに基づき補正上流排ガス温度検出値 O 5 を算出する。図 6 及び図 7 に示すように、第 2 実施形態に係る比率算出部 8 0 は、燃焼ガス温度推定値 I 2 と補正上流排ガス温度検出値 O 5 とに基づき、比率 X 1 を算出する。すなわち、第 2 実施形態に係る比率算出部 8 0 は、補正上流排ガス温度検出値 O 5 を排ガス温度検出値 O 1 として用いて、比率 X 1 を算出する点で、第 1 実施形態とは異なる。その他の燃焼ガス温度制御部 5 6 a の制御は、第 1 実施形態に係る燃焼ガス温度制御部 5 6 と同様である。

【0072】

以下、補正上流排ガス温度取得部 6 3 a について詳細に説明する。図 8 は、第 2 実施形態に係る補正上流排ガス温度取得部のブロック図である。図 9 は、第 2 実施形態に係る補正上流排ガス温度取得部の疑似的な回路図である。図 8 に示すように、補正上流排ガス温度取得部 6 3 a は、下流排ガス温度推定値取得部 9 0 と、上流補正項取得部 9 2 と、補正上流排ガス温度検出値算出部 9 4 とを有する。

【0073】

下流排ガス温度推定値取得部 9 0 は、上流排ガス温度検出値 O 1 a に基づき、下流排ガス温度推定値 O 4 を算出する。下流排ガス温度推定値 O 4 は、下流排ガス O b の温度の推定値である。下流排ガス温度推定値取得部 9 0 は、上流排ガス温度検出値 O 1 a に対し、時間毎の値の変化を遅れさせる一次遅れ処理を行って、下流排ガス温度推定値 O 4 を算出する。具体的には、下流排ガス温度推定値取得部 9 0 は、上流排ガス O a の温度と下流排ガス O b の温度との時間毎の関係を示す温度関係式を記憶している。この温度関係式は、上流排ガス O a の温度変化に対して、下流排ガス O b の温度変化が遅れる一次遅れ系の関係式である。下流排ガス O b は、上流排ガス O a よりも下流であるため、上流排ガス O a に対して温度変化が遅れる。すなわち、下流排ガス O b の温度は、上流排ガス O a の温度に対して一次遅れの関係を有している。下流排ガス温度推定値取得部 9 0 は、上流排ガス温度検出値 O 1 a をこの温度関係式に入力することで、一次遅れ処理を行って、下流排ガス温度推定値 O 4 を算出する。すなわち、下流排ガス温度推定値 O 4 は、上流排ガス温度検出値 O 1 a に対して一次遅れ処理を行わせた値である。

【0074】

上流補正項取得部 9 2 は、上流排ガス温度検出値 O 1 a と下流排ガス温度検出値 O 1 b との比率に基づき、上流排ガス温度検出値 O 1 a を補正する上流補正項 X 4 a を算出する。本実施形態では、上流補正項取得部 9 2 は、下流排ガス温度検出値 O 1 b と、上流排ガス温度検出値 O 1 a に基づき算出された下流排ガス温度推定値 O 4 との比率に基づき、上流補正項 X 4 a を算出する。具体的には、上流補正項取得部 9 2 は、図 8 に示すように、上流比率算出部 1 0 0 と、上流調整係数設定部 1 0 1 と、上流調整比率算出部 1 0 2 と、過去上流調整比率算出部 1 0 4 と、上流補正項算出部 1 0 6 とを有する。

【0075】

上流比率算出部 1 0 0 は、下流排ガス温度推定値 O 4 に対する下流排ガス温度検出値 O 1 b の比率である上流比率 X 1 a を算出する。すなわち、比率算出部 8 0 は、図 9 に示すように、次の式 (8) のように下流排ガス温度検出値 O 1 b を下流排ガス温度推定値 O 4 で除して、上流比率 X 1 a を算出する。

【0076】

$$X 1 a = O 1 b / O 4 \quad \cdots (8)$$

【0077】

上流調整係数設定部 1 0 1 は、上流比率に対する調整係数 αa を、0 より大きく 1 以下の値のうちから設定する。上流調整係数設定部 1 0 1 は、例えば操作者の設定により、0 より大きく 1 以下の所定の値を、調整係数 αa として設定する。なお、調整係数 αa は、第 1 実施形態の調整係数 α であってもよいし、別に設定されてもよい。上流調整比率算出部 1 0 2 は、図 9 に示すように、次の式 (9) のように上流比率 X 1 a に調整係数 αa を乗じて、上流調整比率 X 2 a を算出する。

【0078】

$$X 2 a = \alpha a \cdot X 1 a \quad \cdots (9)$$

【0079】

過去上流調整比率算出部104は、前回算出された上流補正項 $X4a$ である過去上流補正項 $X4a'$ を記憶する。過去上流調整比率算出部104は、次の式(10)のように過去上流補正項 $X4'a$ に、1から調整係数 αa を差し引いた値、すなわち $1 - \alpha a$ を乗じて、過去上流調整比率 $X3a$ を算出する。

【0080】

$$X3a = (1 - \alpha a) \cdot X4a' \quad \cdots (10)$$

【0081】

上流補正項算出部106は、上流調整比率 $X2a$ に基づき、上流補正項 $X4a$ を算出する。具体的には、上流補正項算出部106は、図9に示すように、次の式(11)のように上流調整比率 $X2a$ に過去上流調整比率 $X3a$ を加えて、上流補正項 $X4a$ を算出する。

【0082】

$$X4a = X2a + X3a \quad \cdots (11)$$

【0083】

このように算出された上流補正項 $X4a$ は、上流排ガス温度検出値 $O1a$ と下流排ガス温度検出値 $O1b$ の比率に基づいた値であり、上流排ガス温度検出値 $O1a$ を、下流排ガス温度検出値 $O1b$ で補正するための補正項であるといえることができる。

【0084】

補正上流排ガス温度検出値算出部94は、上流排ガス温度検出値 $O1a$ を上流補正項 $X4a$ で補正して、補正上流排ガス温度検出値 $O5$ を算出する。具体的には、補正上流排ガス温度検出値算出部94は、図9に示すように、次の式(12)のように上流排ガス温度検出値 $O1a$ に上流補正項 $X4a$ を乗じて、補正上流排ガス温度検出値 $O5$ を算出する。

【0085】

$$O5 = X4a \cdot O1a \quad \cdots (12)$$

【0086】

第2実施形態に係る上流比率算出部100は、燃焼ガス温度推定値 $I2$ と補正上流排ガス温度検出値 $O5$ とに基づき、比率 $X1$ を算出する。以下の処理は第1実施形態と同様である。

【0087】

第2実施形態に係る制御部50aは、排ガス温度検出値 $O1$ の代わりに補正上流排ガス温度検出値 $O5$ を用いて、補正燃焼ガス温度推定値 $I3$ を算出する。ブレードパス温度計37の検出した上流排ガス温度検出値 $O1a$ は、排ガス温度計38が検出した下流排ガス温度検出値 $O1b$ よりも算出精度は低い。ただし、上流排ガス温度検出値 $O1a$ は、下流排ガス温度検出値 $O1b$ よりも応答性は高くなる。補正上流排ガス温度検出値 $O5$ は、補正上流排ガス温度検出値 $O5$ を算出するにあたり、上流排ガス温度検出値 $O1a$ を下流排ガス温度検出値 $O1b$ 、すなわち上流補正項 $X4a$ で補正している。従って、補正上流排ガス温度検出値 $O5$ は、応答性が高く、かつ、算出精度が高い値であるといえることができる。第2実施形態に係る制御部50aは、燃焼ガス温度推定値 $I2$ と補正上流排ガス温度検出値 $O5$ とを用いて、補正燃焼ガス温度推定値 $I3$ を算出する。従って、第2実施形態に係る制御部50aは、補正燃焼ガス温度推定値 $I3$ の応答性及び算出精度を、より適切に向上させることができる。

【0088】

以上説明したように、第2実施形態に係る制御部50aは、排ガス温度取得部54が、上流排ガス温度検出値 $O1a$ と下流排ガス温度検出値 $O1b$ とを取得する。そして、制御部50aは、下流排ガス温度推定値取得部90と、上流補正項取得部92と、補正上流排ガス温度検出値算出部94とを有する。下流排ガス温度推定値取得部90は、上流排ガス温度検出値 $O1a$ に基づき、下流排ガス $O1b$ の温度の推定値である下流排ガス温度推定値 $O4$ を取得する。上流補正項取得部92は、下流排ガス温度推定値 $O4$ と下流排ガス温度検出値 $O1b$ との比率に基づき、上流排ガス温度検出値 $O1a$ を補正する上流補正項 $X4$

aを算出する。補正上流排ガス温度検出値算出部94は、上流排ガス温度検出値O1aを上流補正項X4aで補正して、補正上流排ガス温度検出値O5を算出する。補正項取得部64は、排ガス温度検出値O1として補正上流排ガス温度検出値O5を用いて、補正項X4を算出する。この制御部50aは、上流補正項X4aを用いて補正した補正上流排ガス温度検出値O5を、排ガス温度検出値O1として用いることで、補正項X4を算出する。制御部50aは、この補正項X4を用いて補正燃焼ガス温度推定値I3を算出することで、補正燃焼ガス温度推定値I3の応答性及び算出精度をより適切に向上させることができる。

【0089】

(第3実施形態)

次に、第3実施形態について説明する。第3実施形態に係る制御部50bは、燃焼ガス温度比較値Ibを用いて補正項X4を算出する点で、第1実施形態と異なる。第3実施形態において、第1実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

【0090】

図10は、第3実施形態に係る制御部のブロック図である。図10に示すように、第3実施形態に係る燃焼ガス温度制御部56bは、第1実施形態の排ガス温度推定値取得部62を有さず、代わりに燃焼ガス温度比較値取得部62bを有する。燃焼ガス温度比較値取得部62bは、排ガス温度検出値O1を用いてヒートバランス計算を行うことで、燃焼ガス温度比較値I2bを算出する。燃焼ガス温度推定値I2は、検出値I1を用いて算出された燃焼ガスIの温度推定値であるのに対し、燃焼ガス温度比較値I2bは、排ガス温度検出値O1を用いて算出された燃焼ガスIの温度の推定値である。燃焼ガス温度比較値I2bは、排ガス温度検出値O1を用いて算出された値であるため、燃焼ガス温度推定値I2よりも算出精度が高い。

【0091】

第3実施形態における比率算出部80は、燃焼ガス温度推定値I2と燃焼ガス温度比較値I2bとを用いて比率X1を算出する。つまり、第3実施形態に係る補正項取得部64は、燃焼ガス温度推定値I2と燃焼ガス温度比較値I2bとの比率に基づき、補正項X4を算出する。第3実施形態に係る補正項取得部64は、排ガス温度検出値O1の代わりに燃焼ガス温度比較値I2bを用いる他は、第1実施形態と同様の方法で補正項X4を算出する。

【0092】

このように、第3実施形態に係る制御部50bは、排ガス温度検出値O1を用いてヒートバランス計算を行うことで燃焼ガス温度比較値I2bを算出する燃焼ガス温度比較値取得部62bを有する。第3実施形態に係る補正項取得部64は、燃焼ガス温度推定値I2と燃焼ガス温度比較値I2bとの比率に基づき、補正項X4を算出する。第3実施形態に係る制御部50bは、算出精度が高い燃焼ガス温度比較値I2bを用いて算出された補正項X4を用いて補正燃焼ガス温度推定値I3を算出する。従って、第3実施形態に係る制御部50bは、算出精度が高く、かつ、応答性がより高い補正燃焼ガス温度推定値I3を算出することが可能となる。

【0093】

以上、本発明の実施形態を説明したが、この実施形態の内容により実施形態が限定されるものではない。また、前述した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、前述した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。さらに、前述した実施形態の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換又は変更を行うことができる。

【符号の説明】

【0094】

- 1 ガスタービン
- 11 圧縮機
- 12 燃焼器

10

20

30

40

50

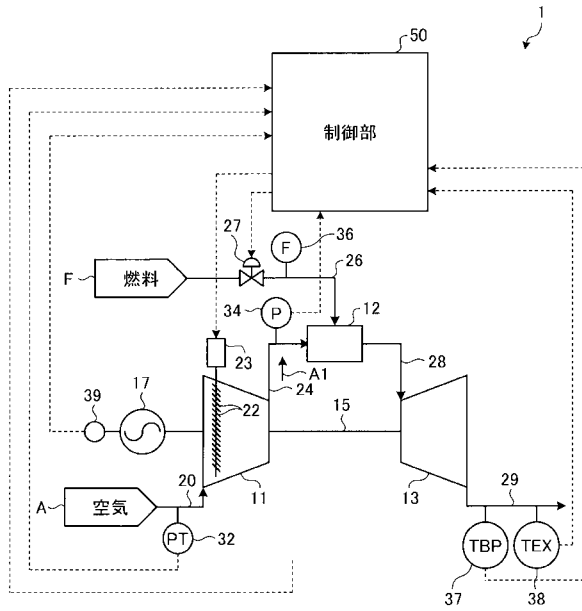
1 3	タービン	
1 5	ロータ	
1 7	発電機	
2 0	空気供給ライン	
2 2	入口案内翼	
2 3	開度調整部	
2 4	圧縮空気導通ライン	
2 6	燃料供給ライン	
2 7	燃料供給弁	
2 8	燃焼ガス供給ライン	10
2 9	排ガス排出ライン	
3 2	吸気検出部	
3 4	車室検出部	
3 6	燃料検出部	
3 7	ブレードパス温度計	
3 8	排ガス温度計	
3 9	出力計	
5 0、5 0 a、5 0 b	制御部	
5 2	検出値取得部	
5 4	排ガス温度取得部	20
5 5	出力取得部	
5 6、5 6 a、5 6 b	燃焼ガス温度制御部	
5 7	ガバナ制御部	
5 8	ガスタービン制御部	
6 0	燃焼ガス温度推定値算出部	
6 2	排ガス温度推定値取得部	
6 2 b	燃焼ガス温度比較値取得部	
6 3 a	補正上流排ガス温度取得部	
6 4	補正項取得部	
6 6	補正燃焼ガス温度推定値算出部	30
6 8	燃焼ガス温度判定部	
7 0	仮排ガス温度推定値取得部	
7 4	排ガス温度推定値算出部	
8 0	比率算出部	
8 1	調整係数設定部	
8 2	調整比率算出部	
8 4	過去調整比率算出部	
8 6	補正項算出部	
9 0	下流排ガス温度推定値取得部	
9 2	上流補正項取得部	40
9 4	補正上流排ガス温度検出値算出部	
1 0 0	上流比率算出部	
1 0 1	上流調整係数設定部	
1 0 2	上流調整比率算出部	
1 0 4	過去上流調整比率算出部	
1 0 6	上流補正項算出部	
A	空気	
A 1	圧縮空気	
F	燃料	
I	燃焼ガス	50

I 1 検出値
I 2 燃焼ガス温度推定値
I 2 b 燃焼ガス温度比較値
I 3 補正燃焼ガス温度推定値
I_{t h} 温度閾値
O 排ガス
O 1 排ガス温度検出値
O 1 a 上流排ガス温度検出値
O 1 b 下流排ガス温度検出値
O 2 仮排ガス温度推定値
O 3 排ガス温度推定値
O 4 下流排ガス温度推定値
O 5 補正上流排ガス温度検出値
O a 上流排ガス
O b 下流排ガス
X 1 比率
X 1 a 上流比率
X 2 調整比率
X 2 a 上流調整比率
X 3 過去調整比率
X 3 a 過去上流調整比率
X 4 ' 過去補正項
X 4 補正項
X 4 a ' 過去上流補正項
X 4 a 上流補正項
 α 、 αa 調整係数

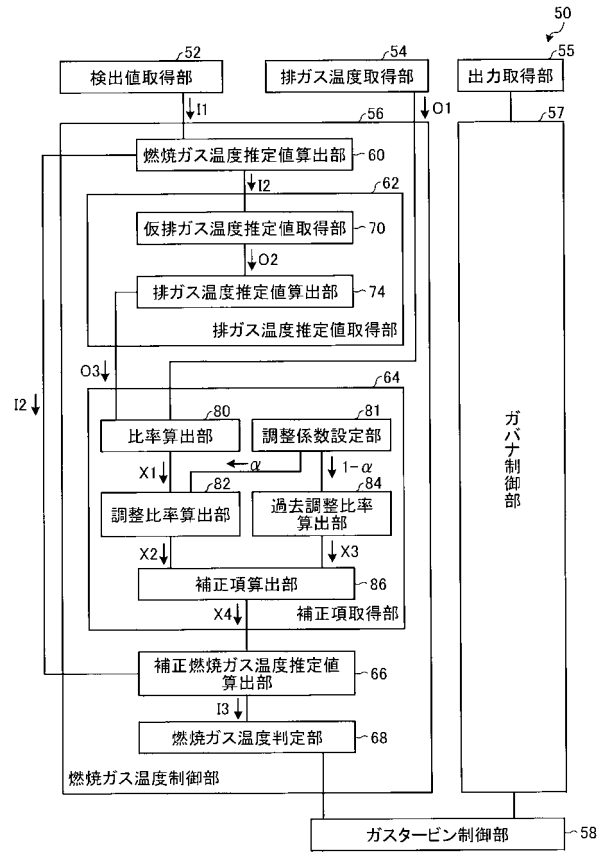
10

20

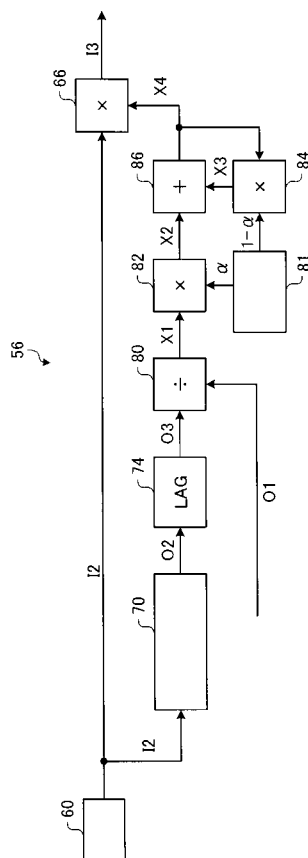
【図 1】



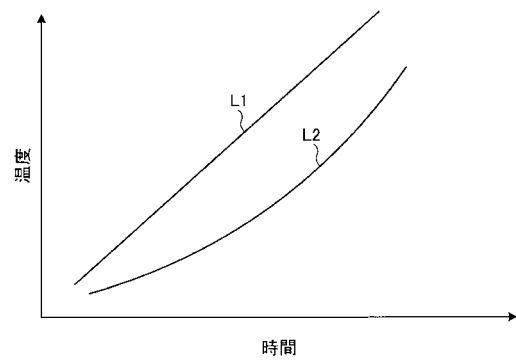
【図 2】



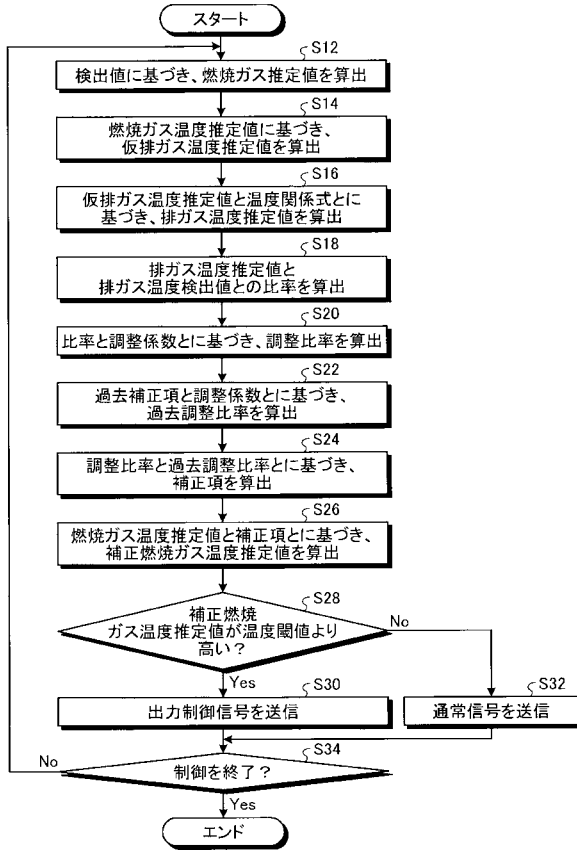
【図 3】



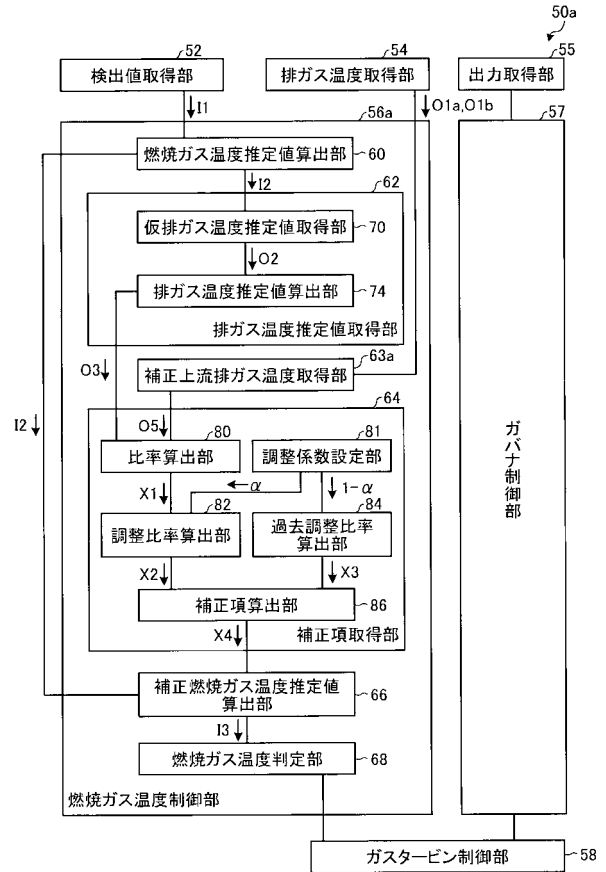
【図 4】



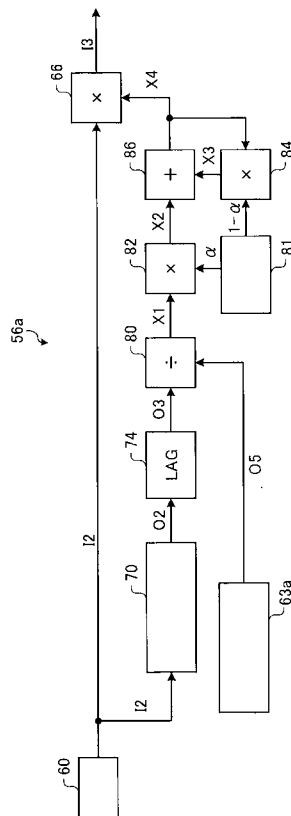
【図 5】



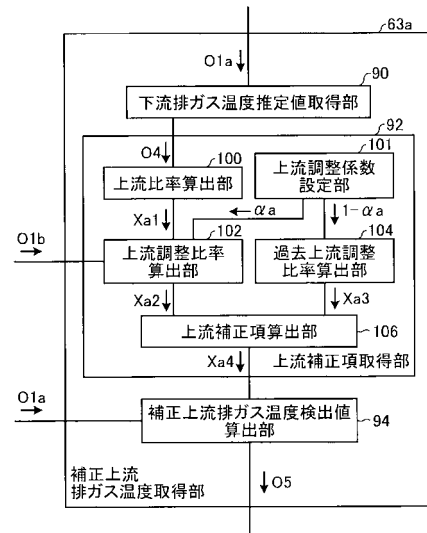
【図 6】



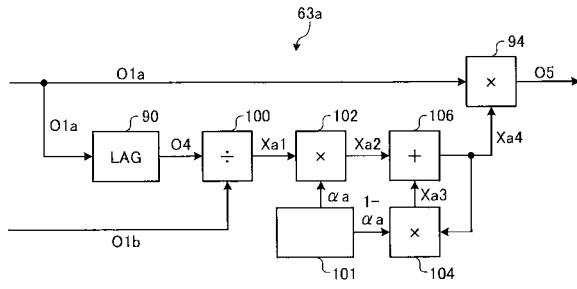
【図 7】



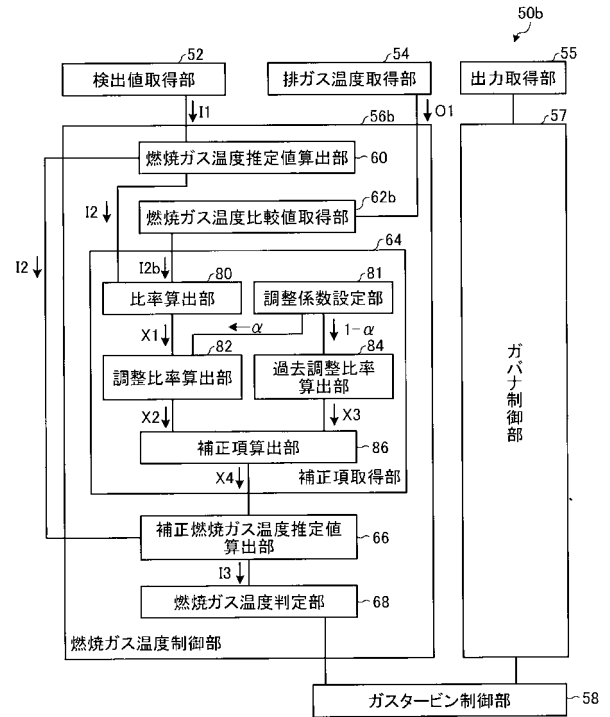
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
F 0 2 C 9/00 C

- (72)発明者 竹中 竜児
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
- (72)発明者 岩▲崎▼ 好史
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
- (72)発明者 吉岡 真一
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
- (72)発明者 ▲高▼橋 達治
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
- (72)発明者 秋山 知英
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