

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6786233号  
(P6786233)

(45) 発行日 令和2年11月18日 (2020. 11. 18)

(24) 登録日 令和2年10月30日 (2020. 10. 30)

(51) Int. Cl.	F I
<b>FO2C 7/00 (2006.01)</b>	FO2C 7/00 A
<b>FO1D 25/00 (2006.01)</b>	FO1D 25/00 W
	FO1D 25/00 V

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-57187 (P2016-57187)	(73) 特許権者	514030104
(22) 出願日	平成28年3月22日 (2016. 3. 22)		三菱パワー株式会社
(65) 公開番号	特開2017-172391 (P2017-172391A)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
(43) 公開日	平成29年9月28日 (2017. 9. 28)	(74) 代理人	110002147
審査請求日	平成31年3月20日 (2019. 3. 20)		特許業務法人酒井国際特許事務所
		(72) 発明者	岸 真人
			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	藤井 慶太
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービンの特性評価装置及びガスタービンの特性評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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、  
 を備えるガスタービンの特性評価装置であって、  
 前記圧縮機、前記燃焼器及び前記タービンのうち少なくとも1つについての特性を含む  
 ガスタービン特性の前記ガスタービンが配置される環境条件による影響を補正するための  
 補正值を前記ガスタービンの運転データに基づいて算出し、前記補正值に基づいて補正さ  
 れた前記ガスタービン特性を算出し、補正後の前記ガスタービン特性と所定の基準値とを  
 比較することにより前記ガスタービンの評価を行う処理部を備え、  
 前記運転データは、前記ガスタービンの定期点検からの経過時間を含み、  
 前記処理部は、前記運転データに基づいて前記ガスタービン特性のモデル値を算出し、  
 前記モデル値に基づいて前記補正值を推定すると共に、前記定期点検が行われた場合に前  
 記モデル値を更新し、  
 前記処理部は、補正後の前記ガスタービン特性と前記所定の基準値とに基づいて、前記  
 ガスタービン特性の変化の要因を評価する  
 ガスタービンの特性評価装置。

【請求項2】

前記処理部は、前記運転データに基づいて前記ガスタービン特性のモデル値を算出し、

10

20

前記モデル値に基づいて前記補正値を推定する請求項 1 に記載のガスタービンの特性評価装置。

【請求項 3】

前記ガスタービン特性は、前記ガスタービンの出力、前記圧縮機の吸気流量、前記圧縮機の効率、前記圧縮空気の圧力のうち少なくとも 1 つを含む請求項 1 又は請求項 2 に記載のガスタービンの特性評価装置。

【請求項 4】

前記運転データは、前記ガスタービンが配置される環境における大気温度、大気圧力、及び前記ガスタービンの運転時間を含む請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のガスタービンの特性評価装置。

10

【請求項 5】

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、  
を備えるガスタービンの特性評価方法であって、  
前記圧縮機、前記燃焼器及び前記タービンのうち少なくとも 1 つについての特性を含むガスタービン特性の前記ガスタービンが配置される環境条件による影響を補正するための補正値を前記ガスタービンの運転データに基づいて算出することと、

前記補正値に基づいて補正された前記ガスタービン特性を算出することと、  
補正後の前記ガスタービン特性と所定の基準値とを比較することにより前記ガスタービンの評価を行うことと、

20

を含み、  
前記運転データは、前記ガスタービンの定期点検からの経過時間を含み、  
前記運転データに基づいて前記ガスタービン特性のモデル値を算出し、前記モデル値に基づいて前記補正値を推定することと、

前記定期点検が行われた場合に前記モデル値を更新することと、をさらに含み、  
前記ガスタービンの評価は、補正後の前記ガスタービン特性と前記所定の基準値とに基づいて、前記ガスタービン特性の変化の要因を評価することを含む

ガスタービンの特性評価方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービンの特性評価装置及びガスタービンの特性評価方法に関する。

【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压の圧縮空気となり、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压の燃焼ガスを得て、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。

40

【0003】

上記のようなガスタービンは、継続して使用することにより、汚れや劣化等が生じて出力が減少することがある。このため、ガスタービンの運転状態の異常を監視したり（例えば、特許文献 1 参照）、ガスタービンにおける特性を評価したりすることが行われている。

【0004】

上記のガスタービンでは、周囲の環境によって特性が変化する場合がある。例えば、大気温度が高くなると、圧縮機に取り込まれる空気の流量が少なくなる。ここで、タービン入口温度の制限があるため、圧縮機に取り込まれる空気の流量が少なくなる場合、圧縮空

50

気に対する燃料の供給量を少なくする必要がある。これにより、ガスタービンの出力が減少する。したがって、汚れや劣化等によるガスタービンの特性の変化を評価しようとする場合、環境条件に起因する特性の変化の影響を排除する必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-192138号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

従来、環境条件に応じた補正値を予め設定しておき、当該補正値に基づいてガスタービンの特性を補正することで、環境条件に起因する特性の変化の影響を低減することが行われている。しかしながら、予め設定された補正値は、実際の運転データに基づいて設定されたものではないため、実際の特性と当該補正値に基づく補正後のガスタービンの特性との間にはずれが生じる可能性がある。このため、評価の精度が低下する可能性がある。

【0007】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、高精度の評価を行うことが可能なガスタービンの特性評価装置及びガスタービンの特性評価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】

【0008】

20

本発明に係るガスタービンの特性評価装置は、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、を備えるガスタービンの特性評価装置であって、前記圧縮機、前記燃焼器及び前記タービンのうち少なくとも1つについての特性を含むガスタービン特性のうち前記ガスタービンが配置される環境条件による影響を補正するための補正値を前記ガスタービンの運転データに基づいて算出し、前記補正値に基づいて補正された前記ガスタービン特性を算出し、補正後の前記ガスタービン特性と所定の基準値とを比較することにより前記ガスタービンの評価を行う処理部を備える。

【0009】

本発明によれば、ガスタービンの運転データに基づいて環境条件による影響を補正するための補正値を算出するため、精度の高い補正値を得ることができる。この補正値に基づいて補正されたガスタービン特性を算出し、補正後のガスタービン特性と所定の基準値とを比較することによりガスタービンの評価を行うため、高精度の評価を行うことができる。

30

【0010】

また、前記処理部は、前記運転データに基づいて前記ガスタービン特性のモデル値を算出し、前記モデル値に基づいて前記補正値を推定してもよい。

【0011】

本発明によれば、運転データに基づいてガスタービン特性のモデル値を算出し、モデル値に基づいて補正値を推定するため、精度の高い補正値を得ることができる。

40

【0012】

また、前記ガスタービン特性は、前記ガスタービンの出力、前記圧縮機の吸気流量、前記圧縮機の効率、前記圧縮空気の圧力のうち少なくとも1つを含んでもよい。

【0013】

本発明によれば、ガスタービンの出力、圧縮機の吸気流量、圧縮機の効率、圧縮空気の圧力についての高精度の評価を行うことができる。

【0014】

また、前記運転データは、前記ガスタービンが配置される環境における大気温度、大気圧力、及び前記ガスタービンの運転時間を含んでもよい。

【0015】

50

本発明によれば、ガスタービンの置かれた環境における大気温度、大気圧力、及びガスタービンの運転時間に基づいて補正値を算出するため、高精度の補正値を得ることができる。

【0016】

本発明に係るガスタービンの特性評価方法は、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、を備えるガスタービンの特性評価方法であって、前記圧縮機、前記燃焼器及び前記タービンのうち少なくとも1つについての特性を含むガスタービン特性のうち前記ガスタービンが配置される環境条件による影響を補正するための補正値を前記ガスタービンの運転データに基づいて算出することと、前記補正値に基づいて補正された前記ガスタービン特性を算出することと、補正後の前記ガスタービン特性と所定の基準値とを比較することにより前記ガスタービンの評価を行うことと、を含む。

10

【0017】

本発明によれば、ガスタービンの運転データに基づいて環境条件による影響を補正するための補正値を算出するため、精度の高い補正値を得ることができる。この補正値に基づいて補正されたガスタービン特性を算出し、補正後のガスタービン特性と所定の基準値とを比較することによりガスタービンの評価を行うため、高精度の評価を行うことができる。

【発明の効果】

【0018】

20

本発明によれば、高精度の評価を行うことが可能なガスタービンの特性評価装置及びガスタービンの特性評価方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】図1は、本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、処理部の構成を示すブロック図である。

【図3】図3は、ガスタービンの特性評価方法の一例を示すフローチャートである。

【図4】図4は、出力モデル生成部の一例を示すブロック図である。

【図5】図5は、吸気流量モデル生成部の一例を示すブロック図である。

【図6】図6は、圧縮機効率モデル生成部の一例を示すブロック図である。

30

【図7】図7は、車室圧モデル生成部の一例を示すブロック図である。

【図8】図8は、大気温度についての補正値の一例を示すグラフである。

【図9】図9は、階層型ニューラルネットワークを用いて特性モデルを生成する様子を模式的に示す図である。

【図10】図10は、大気温度についての補正値の一例を示すグラフである。

【図11】図11は、特性モデルを更新する手順を示すフローチャートである。

【図12】図12は、運転時間についての補正値の一例を示すグラフである。

【図13】図13は、出力モデル生成部の一例を示すブロック図である。

【図14】図14は、ガスタービンの運転時間と定期点検からの経過時間との関係を示すグラフである。

40

【図15】図15は、定期点検が行われる場合における運転時間と補正係数との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明に係るガスタービンの特性評価装置及びガスタービンの特性評価方法の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。

【0021】

図1は、本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、本実

50

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１８が貫通して配置され、圧縮機１１とタービン１３とは、ロータ１８により一体回転可能に連結されている。このガスタービン１は、制御装置１４によって制御されている。また、ガスタービン１には、発電機１５が連結されており、発電可能となっている。また、ガスタービン１は、圧縮機１１からタービン１３に冷却用空気を供給する冷却用空気供給ライン１９を有する。冷却用空気供給ライン１９には、冷却用空気制御弁２０が設けられている。

#### 【００２２】

圧縮機１１は、空気取入口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、空気取入口から取り込む空気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。入口案内翼２２は、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。具体的に、入口案内翼２２は、複数の翼本体２２ａと、複数の翼本体２２ａの翼角度を変更するためのＩＧＶ作動部２２ｂとを有し、ＩＧＶ作動部２２ｂにより翼本体２２ａの翼角度が調整されることで、入口案内翼２２の開度が調整され、空気Ａの吸気量を調整する。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、圧縮機１１の圧力比が低下する。

#### 【００２３】

燃焼器１２は、圧縮機１１で圧縮された圧縮空気Ａ１に対して燃料Ｆを供給し、圧縮空気Ａ１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。タービン１３は、燃焼器１２で生成された燃焼ガスによって回転する。タービン１３は、ロータ１８と、複数段の静翼と、複数段の動翼とを有している。複数段の静翼と複数段の動翼とは、ロータ１８の軸方向に交互に設けられている。

#### 【００２４】

ロータ１８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１８の圧縮機１１側の端部には、発電機１５の駆動軸が連結されている。発電機１５は、タービン１３と同軸上に設けられ、タービン１３が回転することで発電することができる。

#### 【００２５】

従って、圧縮機１１の空気取入口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。この圧縮空気Ａ１に対して燃焼器１２から燃料Ｆが供給され、圧縮空気Ａ１と燃料Ｆとが混合され燃焼することで、高温・高圧の燃焼ガスが生成される。そして、燃焼器１２で生成された高温・高圧の燃焼ガスが、タービン１３の内部を通過することにより、タービン１３を作動（回転）させてロータ１８を駆動回転し、このロータ１８に連結された発電機１５を駆動する。これにより、ロータ１８に連結された発電機１５は、回転駆動されることで発電を行う。一方、タービン１３を駆動した燃焼ガスは、排ガスとして熱を回収し、大気に放出される。

#### 【００２６】

上記ガスタービン１には、車室圧力計５１、吸気状態検出器５２、ブレードパス温度計５３、排ガス温度計５４及び流量計５５が設けられている。車室圧力計５１は、圧縮機１１から燃焼器１２に向けて圧縮空気Ａ１が流通するラインに設けられ、具体的に、燃焼器１２の車室内部に設けられ、圧縮空気Ａ１の圧力（車室圧）を計測する。吸気状態検出器５２は、圧縮機１１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。ブレードパス温度計５３は、タービン１３から排出される排ガスが流通するラインに設けられ、タービン１３の排ガス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排ガスの温度を計測する。排ガス温度計５４は、ブレードパス温度計５３の下流側に設けられ、排ガスの温度を計測する。流量計５５は、冷却用空気供給ライン１９を流れる冷却用空気の流量を計測する。さらに、ガスタービン１には、ガスタービン１の出力（負荷）を検出

10

20

30

40

50

するための出力計 5 6 が設けられている。そして、車室圧力計 5 1、吸気状態検出器 5 2、ブレードパス温度計 5 3、排ガス温度計 5 4、流量計 5 5 及び出力計 5 6 により計測された信号が、制御装置 1 4 に入力される。

#### 【0027】

制御装置 1 4 は、制御部 6 1 と、記憶部 6 2 と、処理部（ガスタービンの特性評価装置）6 3 とを有している。制御部 6 1 は、車室圧力計 5 1、吸気状態検出器 5 2、ブレードパス温度計 5 3、排ガス温度計 5 4 及び流量計 5 5 等の計測結果に基づいて、入口案内翼 2 2 及び燃料調整弁 3 5 等を制御して、ガスタービン 1 の運転を制御する。また、制御部 6 1 は、ガスタービン 1 の出力（発電機 1 5 の出力）に応じて、ガスタービン 1 の運転を制御する。

10

#### 【0028】

また、制御部 6 1 は、車室圧力計 5 1、吸気状態検出器 5 2、ブレードパス温度計 5 3、排ガス温度計 5 4、流量計 5 5 及び出力計 5 6 の計測結果に基づいて、ガスタービン特性や、入口圧力ロス、出口圧力ロス、回転数、相対湿度、運転時間等の運転データを算出可能である。ガスタービン特性は、圧縮機 1 1、燃焼器 1 2 及びタービン 1 3 のうち少なくとも 1 つについての特性を含む。例えば、ガスタービン特性としては、ガスタービン 1 の出力、圧縮機 1 1 の吸気流量、圧縮機 1 1 の効率、車室圧等を含む。

#### 【0029】

記憶部 6 2 は、ガスタービン 1 の運転に関する各種プログラムやデータ等を記憶する。

#### 【0030】

20

図 2 は、処理部 6 3 の構成を示すブロック図である。図 2 に示すように、処理部 6 3 は、特性モデル生成部 6 4 と、補正部 6 5 と、評価部 6 6 とを有している。特性モデル生成部 6 4 は、ガスタービン 1 の運転データに基づいてガスタービン特性のモデル値を算出する。

#### 【0031】

また、特性モデル生成部 6 4 は、出力モデル生成部 6 4 a と、吸気流量モデル生成部 6 4 b と、圧縮機効率モデル生成部 6 4 c と、車室圧モデル生成部 6 4 d とを有している。出力モデル生成部 6 4 a は、ガスタービン 1 の出力特性のモデルを生成する。

#### 【0032】

図 4 は、出力モデル生成部 6 4 a の一例を示すブロック図である。図 4 に示すように、出力モデル生成部 6 4 a は、運転データとして、大気温度、大気圧力、相対湿度、回転数、入口圧力ロス、出口圧力ロス、及び運転時間が入力される。出力モデル生成部 6 4 a は、これらの各運転データに基づいて、ガスタービン 1 の出力特性のモデルである出力モデル  $F \times 1$  を生成し、生成した出力モデル  $F \times 1$  に基づいて各運転データの補正値を算出する。出力モデル生成部 6 4 a は、線形重回帰分析、非線形重回帰分析、ニューラルネットワーク、アンサンブル学習等、公知の手法を用いることができる。

30

#### 【0033】

本実施形態では、線形重回帰分析を用いる場合を例に挙げて説明する。運転データの測定値及び基準値（測定値，基準値）を、それぞれ、大気温度（ $T$ ， $T_0$ ）、大気圧力（ $P$ ， $P_0$ ）、相対湿度（ $H$ ， $H_0$ ）、回転数（ $R$ ， $R_0$ ）、入口圧力ロス（ $P_i$ ， $P_{i0}$ ）、出口圧力ロス（ $P_e$ ， $P_{e0}$ ）、及び運転時間（ $A$ ， $A_0$ ）とすると、出力モデル  $F \times 1$  は、以下の式で表される。

40

#### 【0034】

$$F \times 1 = -a(T - T_0) - b(P - P_0) - c(H - H_0) - d(R - R_0) \\ - e(P_i - P_{i0}) - f(P_e - P_{e0}) - g(A - A_0) + h$$

#### 【0035】

なお、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 、 $g$  及び  $h$  は、定数である。なお、 $h$  については、基準となる出力（単位：MW）である。また、運転データの基準値  $T_0$ 、 $P_0$ 、 $H_0$ 、 $R_0$ 、 $P_{i0}$ 、 $P_{e0}$  及び  $A_0$  は、出力特性の評価の基準となる環境条件における値である。基準値については、予め設定することができる。出力モデル生成部 6 4 a は、生成した出力

50

モデルに基づいて、線形重回帰分析を用いて各運転データの補正値を求めることができる。

【 0 0 3 6 】

図 8 は、大気温度についての補正値の一例を示すグラフである。図 8 の縦軸は補正係数（補正値）であり、横軸が大気温度である。図 8 に示すように、線形重回帰分析によって得られた大気温度の直線 1 0 1 は、例えば大気温度が高くなるほど補正係数が小さくなるような直線状である。なお、直線 1 0 1 の傾き等の特性については一例であり、これに限定されるものではない。

【 0 0 3 7 】

図 5 は、吸気流量モデル生成部 6 4 b の一例を示すブロック図である。図 5 に示すように、吸気流量モデル生成部 6 4 b は、運転データとして、大気温度、大気圧力及び運転時間が入力される。吸気流量モデル生成部 6 4 b は、出力モデル生成部 6 4 a と同様に、これらの各運転データに基づいて、圧縮機 1 1 の吸気流量のモデルである吸気流量モデル F X 2 を生成する。

【 0 0 3 8 】

吸気流量モデル生成部 6 4 b は、例えば線形重回帰分析、非線形重回帰分析、ニューラルネットワーク、アンサンブル学習等、公知の手法を用いて吸気流量モデルを生成し、生成した吸気流量モデルに基づいて、線形重回帰分析を用いて各運転データの補正値を求めることができる。

【 0 0 3 9 】

図 6 は、圧縮機効率モデル生成部 6 4 c の一例を示すブロック図である。図 6 に示すように、圧縮機効率モデル生成部 6 4 c は、運転データとして、大気温度、大気圧力及び運転時間が入力される。圧縮機効率モデル生成部 6 4 c は、出力モデル生成部 6 4 a と同様に、これらの各運転データに基づいて、圧縮機 1 1 の効率のモデルである圧縮機効率モデル F X 3 を生成する。

【 0 0 4 0 】

圧縮機効率モデル生成部 6 4 c は、例えば線形重回帰分析、非線形重回帰分析、ニューラルネットワーク、アンサンブル学習等、公知の手法を用いて圧縮機効率モデルを生成し、生成した圧縮機効率モデルに基づいて、線形重回帰分析を用いて各運転データの補正値を求めることができる。

【 0 0 4 1 】

図 7 は、車室圧モデル生成部 6 4 d の一例を示すブロック図である。図 7 に示すように、車室圧モデル生成部 6 4 d は、運転データとして、大気温度、大気圧力及び運転時間が入力される。車室圧モデル生成部 6 4 d は、出力モデル生成部 6 4 a と同様に、これらの各運転データに基づいて、圧縮空気 A 1 の圧力特性（車室圧特性）のモデルである車室圧モデル F X 4 を生成する。

【 0 0 4 2 】

車室圧モデル生成部 6 4 d は、例えば線形重回帰分析、非線形重回帰分析、ニューラルネットワーク、アンサンブル学習等、公知の手法を用いて車室圧モデルを生成し、生成した車室圧モデルに基づいて、線形重回帰分析を用いて各運転データの補正値を求めることができる。

【 0 0 4 3 】

図 2 に示す補正部 6 5 は、各ガスタービン特性について、それぞれ環境条件による影響度を除去又は低減させた補正後のガスタービン特性を求める。ここでは、ガスタービン特性として、ガスタービン 1 の出力を例に挙げて説明する。算出された補正値のうち、大気温度についての補正値を K 1 とし、大気圧力についての補正値を K 2 とし、相対湿度についての補正値を K 3 とし、回転数についての補正値を K 4 とし、入口圧力ロスについての補正値を K 5 とし、出口圧力ロスについての補正値を K 6 とし、及び運転時間についての補正値を K 7 とし、出力計 5 6 の検出結果を G とすると、基準とする環境条件における出力 G ' は、例えば以下のように求めることができる。

## 【 0 0 4 4 】

$$G' = G / (K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7)$$

## 【 0 0 4 5 】

また、各種測定器等で測定又は制御部 6 1 で算出されたガスタービン特性のうち、吸気流量の値を X とし、圧縮機効率の値を Y とし、車室圧の値を Z とすると、基準とする環境条件における吸気流量 X'、圧縮機効率 Y'、及び車室圧 Z' は、同様に以下のように求めることができる。

## 【 0 0 4 6 】

$$X' = X / (K1 \cdot K2 \cdot K7)$$

## 【 0 0 4 7 】

$$Y' = Y / (K1 \cdot K2 \cdot K7)$$

## 【 0 0 4 8 】

$$Z' = Z / (K1 \cdot K2 \cdot K7)$$

## 【 0 0 4 9 】

評価部 6 6 は、求めた補正後のガスタービン特性を評価する。補正部 6 5 で補正された出力 G' は、環境条件による影響が除去又は低減された値である。したがって、評価部 6 6 は、例えば補正部 6 5 で求めた出力 G' に基づいて、汚れや劣化等によるガスタービン 1 の出力の変化等を評価することができる。この場合、基準の環境条件におけるガスタービン 1 の出力の基準値を予め求めておき、当該基準値と比較することで評価を行うことができる。

## 【 0 0 5 0 】

この基準値としては、例えば、基準の環境条件において汚れや劣化等のない状態、又は汚れや劣化等が所定の閾値未満である状態のガスタービン 1 の出力とすることができる。また、評価部 6 6 は、当該基準値とガスタービン 1 の出力の測定値との差に基づいて、出力変化の要因を評価してもよい。

## 【 0 0 5 1 】

また、評価部 6 6 は、吸気流量、圧縮機効率、及び車室圧についても同様に、補正部 6 5 で補正された各ガスタービン特性に基づいて、汚れや劣化等によるガスタービン特性の変化や、ガスタービン特性の変化の要因等を評価することができる。

## 【 0 0 5 2 】

なお、本実施形態では、線形重回帰分析を用いて各特性モデルを生成している。このため、出力モデル生成部 6 4 a、吸気流量モデル生成部 6 4 b、圧縮機効率モデル生成部 6 4 c、及び車室圧モデル生成部 6 4 d にそれぞれ大気温度等の運転データを入力した場合には、理論値としての特性（出力、吸気流量、圧縮機効率、及び車室圧）が算出される。この特性は、補正值に基づいて補正されたガスタービン特性に相当する値である。したがって、評価部 6 6 は、これら出力、吸気流量、圧縮機効率、及び車室圧の測定値と、線形重回帰分析で算出される理論値とを比較することにより、評価を行ってもよい。

## 【 0 0 5 3 】

また、特性モデル生成部 6 4 の各部には、運転データとして、運転時間の値が入力される。このため、運転時間の経過によってガスタービン特性が変化する度合い、すなわち、劣化によるガスタービン特性の変化の度合いが算出されることになる。したがって、評価部 6 6 は、補正されたガスタービン特性と、算出された劣化によるガスタービン特性の変化の度合いとを比較することにより、劣化についての評価を行ってもよい。

## 【 0 0 5 4 】

次に、上記のように構成されたガスタービン特性を評価する方法を説明する。図 3 は、ガスタービンの特性評価方法の一例を示すフローチャートである。図 3 に示すように、処理部 6 3 は、環境条件によるガスタービン特性への影響を補正するための補正值を算出する（ステップ S 1 0）。ステップ S 1 0 において、特性モデル生成部 6 4 は、ガスタービン 1 の各特性についての特性モデルを生成し、生成した特性モデルに基づいて運転データの補正值を算出する。



## 【0055】

次に、処理部63は、算出した補正值に基づいてガスタービン特性を補正する（ステップS20）。ステップS20において、補正部65は、ガスタービン特性毎に算出された補正值に基づいて、基準とする環境条件における補正後のガスタービン特性を求める。補正後のガスタービン特性は、環境条件による影響が除去又は低減された値となる。

## 【0056】

次に、処理部63は、補正後のガスタービン特性に基づいて評価する（ステップS30）。ステップS30において、評価部66は、補正後のガスタービン特性と、ガスタービン特性の実測値とを比較することにより、ガスタービン特性の評価を行う。環境条件による影響が除去又は低減されたガスタービン特性に基づく評価であるため、高精度の評価が得られる。

10

## 【0057】

以上のように、本実施形態に係るガスタービンの特性評価装置は、ガスタービン1の運転データに基づいて、環境条件による影響を補正するための補正值を算出するため、精度の高い補正值を得ることができる。この補正值に基づいてガスタービン特性を補正し、補正後のガスタービン特性と所定の基準値とを比較することによりガスタービン特性の評価を行うため、高精度の評価を行うことができる。

## 【0058】

また、本実施形態に係るガスタービンの特性評価装置は、劣化によるガスタービン特性の変化の度合いを算出することができる。したがって、ガスタービン1毎の置かれた環境条件や、ガスタービン1毎の個別の運転データに応じた劣化特性を評価することができるため、高精度の評価を行うことができる。

20

## 【0059】

本発明の技術範囲は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更を加えることができる。例えば、上記実施形態においては、特性モデル生成部64が線形重回帰分析を用いて特性モデルを生成する場合を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、非線形の手法によって特性モデルを生成してもよい。

## 【0060】

特性モデル生成部64は、非線形の手法として、例えばニューラルネットワークを用いて特性モデルを生成することができる。図9は、階層型ニューラルネットワークを用いて特性モデルを生成する様子を模式的に示す図である。図9では、特性モデル生成部として、出力モデルF<sub>X1</sub>を出力する出力モデル生成部64eを例に挙げて説明する。出力モデル生成部64eは、入力層である第1層L1と、中間層である第2層L2、第3層L3及び第4層L4と、出力層である第5層L5とを有している。なお、出力モデル生成部64eは、中間層が3層となっている構成であるが、これに限定されるものではなく、中間層が2層以下又は4層以上となっている構成でもよい。第1層L1、第2層L2、第3層L3、第4層L4及び第5層L5は、1つまたは複数のノードnを有している。

30

## 【0061】

第1層L1は、7つのノードn（n1、n2、n3、n4、n5、n6、n7）を有している。ノードn1には、大気温度が入力される。ノードn2には、大気圧が入力される。ノードn3には、相対湿度が入力される。ノードn4には、回転数が入力される。ノードn5には、入口圧力ロスが入力される。ノードn6には、出口圧力ロスが入力される。ノードn7には、運転時間が入力される。第1層L1の7つのノードnは、第2層L2の各ノードnに対して信号を出力する。

40

## 【0062】

第2層L2は、例えば6つのノードnを有している。第2層L2の6つのノードnは、第1層L1の7つのノードnから出力された信号が入力される。第2層L2の6つのノードnは、第3層L3の各ノードnに対して信号を出力する。なお、第2層L2において、ノードnの数は6つに限定されるものではなく、5つ以下又は7つ以上であってもよい。

## 【0063】

50

第2層L3は、3つのノードnを有している。第3層L3の3つのノードnは、第2層L2の6つのノードnから出力された信号が入力される。第3層L3の6つのノードnは、第4層L4の各ノードnに対して信号を出力する。なお、第3層L3において、ノードnの数は3つに限定されるものではなく、2つ以下又は4つ以上であってもよい。

【0064】

第4層L4は、6つのノードnを有している。第4層L4の6つのノードnは、第3層L3の3つのノードnから出力された信号が入力される。第4層L4の6つのノードnは、第5層L5のノードnに対して信号を出力する。なお、第4層L4において、ノードnの数は6つに限定されるものではなく、5つ以下又は7つ以上であってもよい。

【0065】

第5層L5は、1つのノードnを有している。第5層L5の3つのノードnは、第4層L4の6つのノードnから出力された信号が入力される。第5層L5のノードnは、例えば出力モデルF×1を出力する。なお、第5層L5において、ノードnの数は1つに限定されるものではなく、2つ以上であってもよい。

【0066】

なお、ここでは、出力モデル生成部64eがニューラルネットワークを用いて出力モデルF×1を出力する構成を例に挙げて説明したが、これに限定されるものではない。例えば、吸気流量モデルF×2を出力する吸気流量モデル生成部、圧縮機効率モデルF×3を出力する圧縮機効率モデル生成部、車室圧モデルF×4を出力する車室圧モデル生成部についても、上記のようなニューラルネットワークを用いて各特性モデルを出力する構成としてもよい。この場合、入力層のノード数、中間層の層数及び各層のノード数については、入力信号の種類に応じて適宜変更することができる。

【0067】

また、図9では、階層型ニューラルネットワークが用いられる場合を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、階層型ニューラルネットワークとは異なるニューラルネットワーク、例えば相互結合型ニューラルネットワーク等が用いられる構成であってもよい。

【0068】

図10は、大気温度についての補正值の一例を示すグラフである。図10の縦軸は補正係数(補正值)であり、横軸が大気温度である。図10に示すように、大気温度の曲線102は、曲線状であり、例えば大気温度が高くなるほど補正係数の減少量が小さくなっている。このように、図9に示すニューラルネットワーク等の非線形的手法を用いることにより、直線状には限られず、曲線状の曲線102についても得ることができたため、より高精度な補正值を得ることができる。例えば、運転時間に対するガスタービン1の出力の変化など、予め特性を把握することが困難な場合であっても、より高精度な補正值を得ることができる。

【0069】

また、上記実施形態の構成において、特性モデル生成部64は、ガスタービン特性の特性モデルを逐次的に更新するようにしてもよい。図11は、特性モデルを更新する手順を示すフローチャートである。図11に示すように、特性モデル生成部64は、特性モデルを更新するフラグの有無を検出する(ステップS40)。ステップS40において、特性モデルを更新するフラグとしては、例えば所定期間が経過した場合(例えば、1日経過した場合、1週間経過した場合、1か月経過した場合、等)や、所定の定期点検が行われた場合等に発生させることができる。フラグが検出されない場合(ステップS40のNo)、特性モデル生成部64はステップS40を繰り返し行う。

【0070】

フラグが検出された場合(ステップS40のYes)、特性モデル生成部64は、ガスタービン特性の特性モデルを更新する(ステップS50)。ステップS50において、特性モデル生成部64は、入力される運転データに基づいて特性モデルを新たに生成する。生成された特性モデルは、前回特性モデルが生成されてからの運転データが蓄積された状

10

20

30

40

50

態で新たに生成されるため、より高精度な特性モデルとなる。特性モデル生成部 6 4 は、生成した特性モデルに基づいて、運転データ毎に補正値を算出する。補正部 6 5 は、新たに算出された補正値に基づいてガスタービン特性を補正する。評価部 6 6 は、新たな補正値に基づいて補正されたガスタービン特性に基づいて評価を行う。このため、高精度の評価が得られる。

#### 【 0 0 7 1 】

特性モデルを更新した後、特性モデル生成部 6 4 は、ガスタービン 1 の動作が終了しない場合には ( ステップ S 6 0 の N o )、ステップ S 4 0 からの動作を繰り返し行う。また、ガスタービン 1 の動作が終了する場合 ( ステップ S 6 0 の Y e s )、特性モデル生成部 6 4 は上記処理を終了する。

10

#### 【 0 0 7 2 】

このように、特性モデル生成部 6 4 は、特性モデルを更新することにより、蓄積された運転データに基づいて補正値を算出することができる。これにより、当該補正値に基づいて補正されたガスタービン特性を評価した場合、高精度の評価が得られる。

#### 【 0 0 7 3 】

また、上記実施形態の構成において、特性モデル生成部 6 4 は、求めた補正値に基づいて将来の補正値を予測して算出してもよい。図 1 2 は、運転時間についての補正値の一例を示すグラフである。図 1 2 の縦軸は補正係数 ( 補正値 ) であり、横軸が運転時間である。図 1 2 に示すように、例えば特性モデル生成部 6 4 が特性モデルを生成した時刻 t 1 においては、運転時間の補正値として、時刻 t 1 までの補正値が算出されている。直線 1 0 3 は、例えば線形重回帰分析によって得られた補正値である。曲線 1 0 4 は、例えば非線形の手法によって得られた補正値である。いずれの場合においても、時刻 t 1 までの補正値が算出されている。

20

#### 【 0 0 7 4 】

この状態において、特性モデル生成部 6 4 は、直線 1 0 3 及び曲線 1 0 4 の傾向に基づいて、将来の補正値、例えば時刻 t 1 よりも後の時刻 t 2 までの補正値を予測してもよい。直線 1 0 3 a 及び曲線 1 0 4 a は、直線 1 0 3 及び曲線 1 0 4 に基づいて予測された補正値を示す。この場合、補正部 6 5 は、予測された補正値に基づいてガスタービン特性を補正することで、将来の補正後のガスタービン特性を算出してもよい。また、評価部 6 6 は、算出された将来の補正後のガスタービン特性に基づいて評価を行ってもよい。これにより、将来のガスタービン特性に関する評価を得ることができる。

30

#### 【 0 0 7 5 】

また、上記実施形態では、例えば出力モデル生成部 6 4 a は、運転データとして、大気温度、大気圧力、相対湿度、回転数、入口圧力ロス、出口圧力ロス、及び運転時間が入力される構成を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、他の運転データが入力される構成であってもよい。

#### 【 0 0 7 6 】

図 1 3 は、出力モデル生成部 6 4 a の一例を示すブロック図である。図 1 3 に示すように、出力モデル生成部 6 4 a は、上記の運転データに加えて、定期点検からの経過時間のデータが入力される構成であってもよい。出力モデル生成部 6 4 a は、これらの各運転データに基づいて、ガスタービン 1 の出力特性のモデルである出力モデル F X 1 a を生成し、生成した出力モデル F X 1 a に基づいて各運転データの補正値を算出する。

40

#### 【 0 0 7 7 】

図 1 4 は、ガスタービン 1 の運転時間と定期点検からの経過時間との関係を示すグラフである。図 1 4 に示すように、ガスタービン 1 の定期点検は、例えば運転開始からの時刻 t 3、t 4、t 5 及び t 6 において、定期的に行われる。折れ線 1 0 5 は、定期点検ごとに経過時間がリセットされる状態を示している。定期点検には、例えば燃焼器 1 2 の点検である燃焼器点検と、タービン 1 3 の点検であるタービン点検と、メジャー点検とがある。タービン点検を行うことにより、燃焼器点検も併せて行われる。メジャー点検を行うことにより、タービン点検及び燃焼器点検も併せて行われる。

50

## 【 0 0 7 8 】

図 1 5 は、定期点検が行われる場合における運転時間と補正係数との関係を示すグラフである。ガスタービン 1 においては、定期点検が行われる度に、例えば出力の低下が改善される、つまり、定期点検が行われる度に出力が上昇する。したがって、汚れや劣化等の評価を行う場合、定期点検による出力増加の影響を除外又は低減する必要がある。そこで、図 1 5 に示すように、出力モデル生成部 6 4 a は、運転開始から定期点検が行われる時刻  $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ 、 $t_6$  のそれぞれにおいて、出力上昇の影響が除外又は低減されるように補正値を算出する。このため、補正値を示す折れ線 1 0 6 の形状は、例えば時刻  $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ 、 $t_6$  において急激に上昇した状態となる。このように、定期点検が出力等のガスタービン特性に与える影響を反映させることにより、より高精度の補正値、ひいては評価が得られることになる。

10

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 9 】

- 1 ガスタービン
- 1 1 圧縮機
- 1 2 燃焼器
- 1 3 タービン
- 1 4 制御装置
- 1 5 発電機
- 1 8 ロータ
- 1 9 冷却用空気供給ライン
- 2 0 冷却用空気制御弁
- 2 2 入口案内翼
- 2 2 a 翼本体
- 2 2 b I G V 作動部
- 3 5 燃料調整弁
- 5 1 車室圧力計
- 5 2 吸気状態検出器
- 5 3 ブレードパス温度計
- 5 4 排ガス温度計
- 5 5 流量計
- 5 6 出力計
- 6 1 制御部
- 6 2 記憶部
- 6 3 処理部
- 6 4 特性モデル生成部
- 6 4 a , 6 4 e 出力モデル生成部
- 6 4 b 吸気流量モデル生成部
- 6 4 c 圧縮機効率モデル生成部
- 6 4 d 車室圧モデル生成部
- 6 5 補正部
- 6 6 評価部
- 1 0 1 , 1 0 3 , 1 0 3 a 直線
- 1 0 2 , 1 0 4 , 1 0 4 a 曲線
- 1 0 5 , 1 0 6 折れ線
- A 空気
- A 1 圧縮空気
- F 燃料
- H 0 , P 0 , R 0 , T 0 , P e 0 , P i 0 基準値
- F X 1 , F X 1 a 出力モデル

20

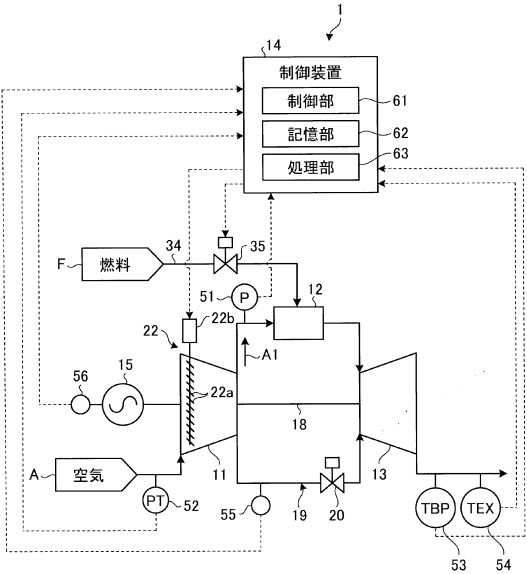
30

40

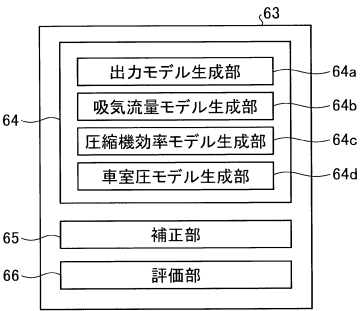
50

F X 2 吸気流量モデル  
F X 3 圧縮機効率モデル  
F X 4 車室圧モデル  
L 1 第 1 層  
L 2 第 2 層  
L 3 第 3 層  
L 4 第 4 層  
L 5 第 5 層  
n , n 1 , n 2 , n 3 , n 4 , n 5 , n 6 , n 7 ノード  
t 1 , t 2 , t 3 , t 4 , t 5 , t 6 時刻

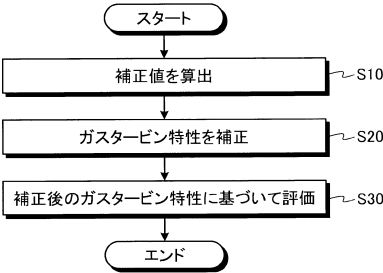
【 図 1 】



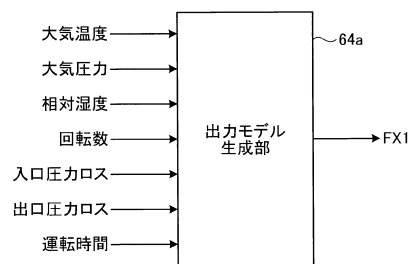
【 図 2 】



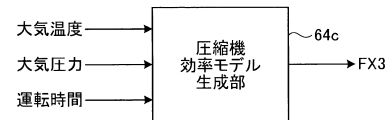
【 図 3 】



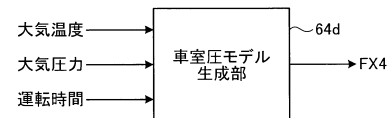
【図 4】



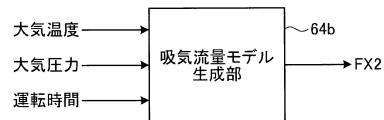
【図 6】



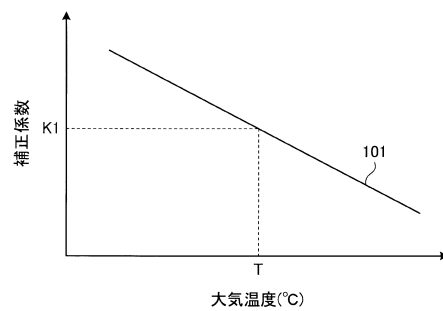
【図 7】



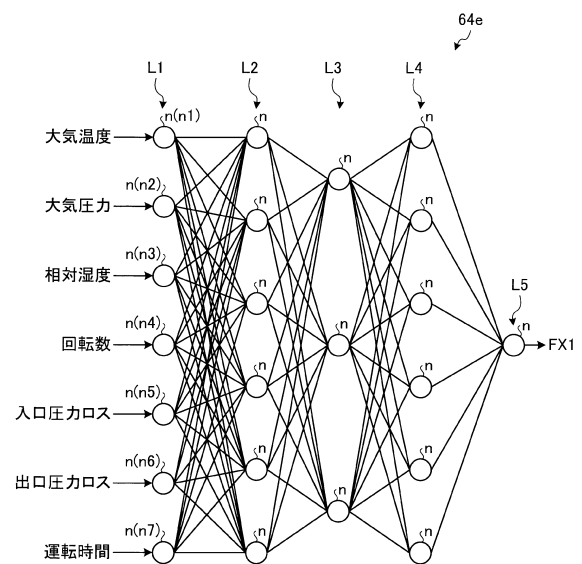
【図 5】



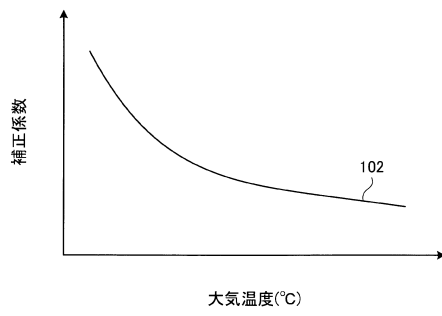
【図 8】



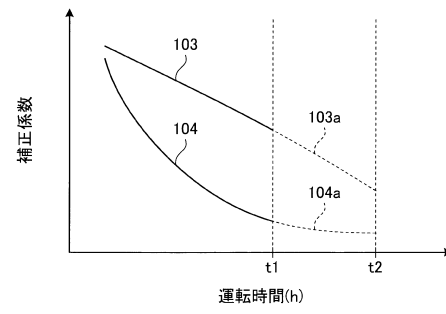
【図 9】



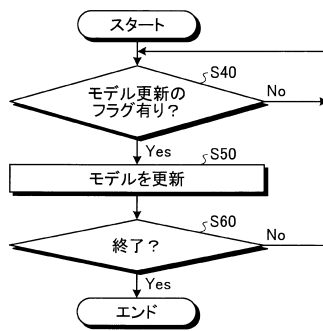
【図 10】



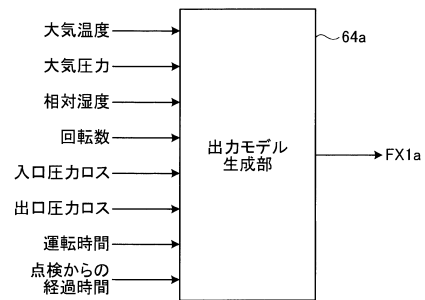
【図 12】



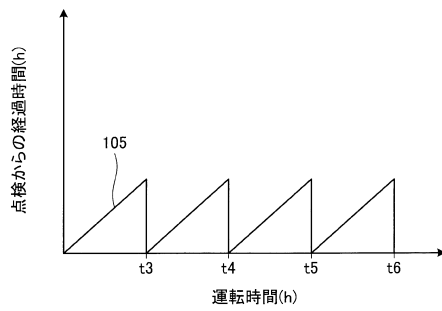
【図 11】



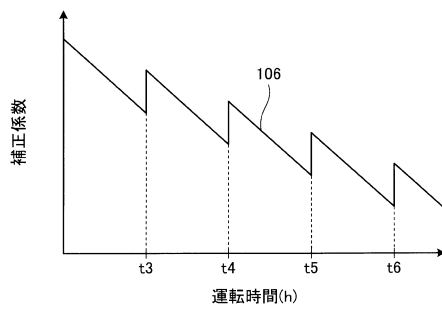
【図 13】



【図 14】



【図 15】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 伊藤 真悟  
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 小林 淳一  
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 マルホトラ コウ  
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 阪上 尚規  
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 荒木 勝人  
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内

審査官 小林 勝広

- (56)参考文献 特開２００３－０８３０８９（ＪＰ，Ａ）  
特開２０１１－０９４６２０（ＪＰ，Ａ）  
特開２００２－０７３１５６（ＪＰ，Ａ）  
特開２００４－１６２６９８（ＪＰ，Ａ）  
特開平０５－１９５７２０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

F 0 2 C      7 / 0 0  
F 0 1 D      2 5 / 0 0