

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年8月30日(30.08.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/155552 A1

- (51) 国際特許分類:
F02C 9/00 (2006.01) F01D 25/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/006436
- (22) 国際出願日: 2018年2月22日(22.02.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-032682 2017年2月23日(23.02.2017) JP
- (71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 高木 一茂 (TAKAKI Kazushige); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 齋藤 昭彦 (SAITO Akihiko); 〒1088215 東京都港区港南二

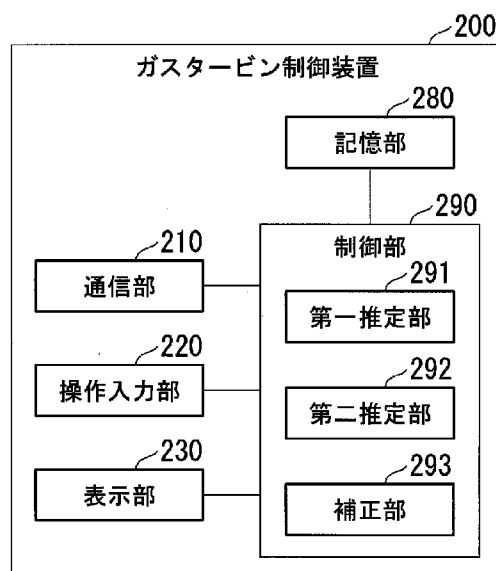
丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 竹中 竜児(TAKENAKA Ryuji); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 福本 皓士郎(FUKUMOTO Koshiro); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 岩▲崎▼ 好史 (IWASAKI Yoshifumi); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: GAS TURBINE CONTROL DEVICE, GAS TURBINE PLANT, AND GAS TURBINE CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: ガスタービン制御装置、ガスタービンプラントおよびガスタービン制御方法



200 Gas turbine control device
210 Communication unit
220 Operation input unit
230 Display unit
280 Storage unit
290 Control unit
291 First estimation unit
292 Second estimation unit
293 Correction unit

(57) Abstract: This gas turbine control device is provided with: a first estimation unit for estimating a first temperature that is a turbine inlet temperature estimation value based on a first model, which is a physical model using a fuel flow rate for a gas turbine; a second estimation unit for estimating a second temperature that is a turbine inlet temperature estimation value based on a second model, which is a physical model using an exhaust gas temperature of the gas turbine; and a correction unit for correcting the first temperature on the basis of the second temperature and calculating the turbine inlet temperature value.



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: ガスタービン制御装置が、ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する第一推定部と、前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する第二推定部と、前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する補正部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

ガスタービン制御装置、ガスタービンプラントおよびガスタービン制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、ガスタービン制御装置、ガスタービンプラントおよびガスタービン制御方法に関する。

本願は、2017年2月23日に、日本国に出願された特願2017-32682号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] ガスタービンの制御にタービン入口温度を用いる場合がある。これに対し、ガスタービンの入口が高温になり、タービン入口温度を高精度に実測することが困難な場合がある。そこで、タービン入口温度を推定するための技術が提案されている。例えば、特許文献1には、ガスタービンの燃焼器における熱収支に基づいてタービン入口温度を推定する技術が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2005-240608号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 燃焼器における熱収支に基づいてタービン入口温度を推定することで、過渡期における応答性を確保することができる。さらに、タービン入口温度の推定精度を高めることができれば、ガスタービンの制御の精度を高めることができる。

[0005] 本発明は、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる、ガスタービン制御装置、ガスタービンプラント

およびガスタービン制御方法を提供する。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の第1の態様によれば、ガスタービン制御装置は、ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する第一推定部と、前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する第二推定部と、前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する補正部と、を備える。
- [0007] 前記第一推定部は、燃焼器における熱収支を示す前記第一モデルに基づいて前記第一温度を推定し、前記第二推定部は、前記ガスタービンの排ガス温度を用いたヒートバランスを示す前記第二モデルに基づいて前記第二温度を推定し、前記補正部は、前記第一温度と前記第二温度との割合に基づいて決定された補正係数を用いて前記第一温度を補正するようにしてもよい。
- [0008] 前記ガスタービン制御装置が、前記第一モデルへの入力となる推定値のうち少なくとも1つに対して、前記第二モデルを用いた計算で得られた推定値を用いた補正を行う入力値補正部を備えるようにしてもよい。
- [0009] 本発明の第2の態様によれば、ガスタービンプラントは、前記した何れかのガスタービン制御装置を備える。
- [0010] 本発明の第3の態様によれば、ガスタービン制御方法は、ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する工程と、前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する工程と、前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する工程とを含む。

発明の効果

- [0011] 上記したガスタービン制御装置、ガスタービンプラントおよびガスタービン制御方法によれば、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]第一実施形態に係るガスタービンプラントの機能構成を示す概略ブロック図である。
- [図2]第一実施形態に係るプラント本体の構成を示す概略構成図である。
- [図3]第一実施形態に係るガスタービン制御装置の機能構成を示す概略ブロック図である。
- [図4]第一実施形態における発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の第一例を示すグラフである。
- [図5]第一実施形態における発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定の第二例を示すグラフである。
- [図6]第一実施形態に係る関数 $L A G$ の値の例を示すグラフである。
- [図7]第一実施形態に係るガスタービン制御装置がタービン入口温度推定値を求める処理手順の例を示す図である。
- [図8]第二実施形態に係るガスタービン制御装置の機能構成を示す概略ブロック図である。
- [図9]第二実施形態に係るガスタービン制御装置がタービン入口温度推定値を求める処理手順の例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0013] 以下、本発明の実施形態を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0014] <第一実施形態>

図1は、第一実施形態に係るガスタービンプラントの機能構成を示す概略ブロック図である。図1に示すように、ガスタービンプラント1は、プラント本体100と、ガスタービン制御装置200とを備える。

以下では、ガスタービンプラント1がガスタービン発電プラントである場合を例に説明する。但し、ガスタービンプラント1は、ガスタービン発電プラントに限らず、ガスタービンを備えたプラントであればよい。

プラント本体１００は、ガスタービン制御装置２００の制御に従って動作して回転力を生成し、生成した回転力で発電を行う。

[0015] 図２は、プラント本体１００の構成例を示す概略構成図である。図２の例で、プラント本体１００は、ガスタービン１１０と、発電機１２０とを備える。ガスタービン１１０は、入口案内翼１１１と、圧縮機１１２と、車室１１３と、燃焼器１１４と、タービン１１５と、回転軸１１６とを備える。

ガスタービン１１０は、燃料ガスを燃焼させて回転力を生成する。

圧縮機１１２は、空気（大気）を取り込んで圧縮する。圧縮機１１２による圧縮空気は車室１１３を経由して燃焼器１１４へ流入する。圧縮機１１２の空気吸入口には入口案内翼１１１が設けられている。入口案内翼１１１は、ガスタービン制御装置２００の制御に従って入口案内翼１１１自らの翼開度を調整することで、圧縮機１１２への吸気量を調整する。

[0016] 燃焼器１１４は、燃料供給ラインから供給される燃料ガスと、圧縮機１１２からの圧縮空気とを混合させて燃焼させる。燃焼によって生じた燃焼ガスがタービン１１５へ流入し、タービン１１５の翼に当たってタービン１１５を回転させる。

タービン１１５と圧縮機１１２と発電機１２０とは回転軸１１６によって接続されている。回転軸１１６がタービン１１５から圧縮機１１２へ回転力を伝達し、圧縮機１１２は、タービン１１５からの回転力で空気の圧縮を行う。また、回転軸１１６がタービン１１５から発電機１２０で回転力を伝達し、発電機１２０は、タービン１１５からの回転力で発電する。

[0017] ガスタービン制御装置２００は、プラント本体１００を制御する。特に、ガスタービン制御装置２００は、タービン入口温度推定値をリアルタイムで求め、得られた推定値に基づいてガスタービン１１０を制御する。ここでいうタービン入口温度は、タービン１１５の燃焼ガス入口における温度である。

ガスタービン制御装置２００は、例えばＥＷＳ（Engineering WorkStation）又はＰＬＣ（Programmable Logic Controller）等のコンピュータを用いて

構成される。

[0018] 図3は、ガスタービン制御装置200の機能構成を示す概略ブロック図である。図3に示すように、ガスタービン制御装置200は、通信部210と、操作入力部220と、表示部230と、記憶部280と、制御部290とを備える。制御部290は、第一推定部291と、第二推定部292と、補正部293とを備える。

通信部210は、他の機器と通信を行う。特に、通信部210は、プラント本体100に設けられた各センサからセンサデータを受信する。また、通信部210は、プラント本体100の各部に対して制御信号を送信する。

[0019] 操作入力部220は、例えば操作盤又はキーボード、或いはこれらの組み合わせ等の入力デバイスを備え、ユーザ操作を受ける。

表示部230は、例えば表示盤又は液晶パネル等の表示画面、或いはこれらの組み合わせ等の表示装置を備え、各種情報を表示する。

記憶部280は、ガスタービン制御装置200が備える記憶デバイスを用いて構成され、各種情報を記憶する。

[0020] 制御部290は、ガスタービン制御装置200の各部を制御して各種機能を実行する。制御部290は、例えばガスタービン制御装置200が備えるCPU (Central Processing Unit、中央処理装置) が、記憶部280からプログラムを読み出して実行することで構成される。

第一推定部291は、第一温度を推定する。ここでいう第一温度は、第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である。ここでいう第一モデルは、ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである。ここでいうガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルとは、ガスタービンへの燃料流量の入力を受けて物理量を計算するモデルである。第一モデルとして公知のモデルを用いることができる。

ガスタービン制御装置200における物理モデルのデータ形式は、特定の形式に限定されない。例えば、物理モデルが関数又は方程式など数式の形で示されていてもよいし、入力と出力との対応関係を示す表形式で示されてい

てもよい。

[0021] 燃料流量の変化とタービン入口温度の変化との関係は、燃料流量の変化に応じてタービン入口温度が変化する関係にある。具体的には、燃料流量の変化に応じて、燃料を燃焼して得られた燃焼ガスの流量又は温度が変化し、燃焼ガスで温められるタービン入口の温度が変化する。従って、第一推定部 291 がガスタービン 110 への燃料流量を用いてタービン入口温度を推定することで、燃料流量の変化に対するタービン入口温度の変化を遅れ無く推定することができる。この点で、第一推定部 291 が推定する第一温度は、ガスタービンの状態が変化する過渡時の応答性が良い。

第一推定部 291 が、第一モデルとして、燃焼器における熱収支を示す物理モデルを用いるようにしてもよい。例えば、第一推定部 291 が、日本国特開 2005-240608 号公報に記載の式 (1) で示されるモデルを用いるようにしてもよい。

[0022] [数1]

$$\begin{aligned}
 c_{P4} \times V_{cb} \times \gamma_4 \times \frac{dT_4}{dt} \\
 = c_{Pf} \times G'_f \times T'_f + c_{P3} \times G'_3 \times T'_3 + \eta \times H_f \times G'_f \\
 - c_{P4} \times G'_4 \times T_4
 \end{aligned}
 \quad \dots (1)$$

[0023] c_{P4} は、燃焼ガス比熱 [kcal/kg°C] を示す。

V_{cb} は、タービンの車室～尾筒の容積 [m³] を示す。

γ_4 は、燃焼ガス比重 [kg/m³] を示す。

T_4 は、推定対象であるタービン入口温度 [°C] を示す。

t は、時間 [sec] を示す。

c_{Pf} は、燃料比熱 [kcal/kg°C] を示す。

G'_f は、遅れ補償された燃料流量計測値 [kg/s] を示す。

T'_f は、遅れ補償された燃料温度計測値 [°C] を示す。

c_{P3} は、車室比熱 [kcal/kg°C] を示す。

G'_3 は、遅れ補償された燃焼器流入空気流量計測値 [kg/s] を示す。

G'_3 として計算値を用いるようにしてもよい。

T'_3 は、遅れ補償された車室温度計測値 $[^{\circ}\text{C}]$ を示す。

η は、燃焼器の熱効率 $[\text{kcal}/\text{kg}]$ を示す。

H_f は、発熱量 $[\text{kcal}/\text{kg}]$ を示す。

G'_4 は、遅れ補償されたタービン入口燃焼ガス流量 $[\text{kg}/\text{s}]$ を示す。

$G'_4 = G'_3 + G'_f$ である。

η 及び V_{ob} は設計値であり、設計段階で算出される。

[0024] 第二推定部292は、第二温度を推定する。ここでいう第二温度は、第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である。ここでいう第二モデルは、ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである。ここでいうガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルは、ガスタービンの排ガス温度の入力を受けて物理量を計算するモデルである。第二モデルとして公知のモデルを用いることができる。

[0025] 排ガス温度は、燃焼ガスがタービンを經由し排ガスとしてタービンから放出される際の温度である。従って、タービン入口温度と排ガス温度とは、それぞれタービンの入口と出口とにおける燃焼ガスの温度であり強い相関性を有している。第二推定部292が排ガス温度に基づいてタービン入口温度を推定することで、タービン入口温度（第二温度）を高精度に推定し得る。特に、ガスタービンの状態が一定である静定時において、第二温度の方が第一温度よりも精度が高い。

[0026] 一方、タービン入口温度がタービンを經由する前の燃焼ガスの温度であるのに対し、排ガス温度がタービンを經由した後の燃焼ガスの温度であることから、排ガス温度は、タービン入口温度の変化に遅れて変化する。さらに、一般に、温度センサによる温度計測の際に遅れが生じる。特に、排ガス温度を精度よく測定しようとする計測遅れが大きいことが考えられる。このため、第二推定部292が推定する第二温度よりも、第一推定部291が推定する第一温度のほうが、ガスタービンの状態が変化する過渡時の応答性が良い。

[0027] 第二推定部 292 が、第二モデルとして、ガスタービンの排ガス温度を用いたヒートバランスを示すモデルを用いるようにしてもよい。以下、式（２）～式（８）を参照して、第二推定部 292 が用いる第二モデルの例について説明する。

タービンの仕事 W_t は、式（２）のように示される。

[0028] [数2]

$$W_t = \Delta H \times G_t \quad \dots (2)$$

[0029] ΔH は、タービンでの熱落差（エンタルピー差）を示す。 G_t は、タービン通過流量（タービンを通過する燃焼ガスの流量）を示す。

タービンでの熱落差 ΔH は、式（３）のように示される。

[0030] [数3]

$$\Delta H = H_{1T} - H_{2T} \quad \dots (3)$$

[0031] H_{1T} は、タービン入口のエンタルピーを示す。 H_{2T} は、タービン出口のエンタルピーを示す。

式（２）及び式（３）から、式（４）を得られる。

[0032] [数4]

$$\frac{W_t}{G_t} = H_{1T} - H_{2T} \quad \dots (4)$$

[0033] 式（４）は、式（５）のように変形できる。

[0034] [数5]

$$H_{1T} = H_{2T} + \frac{W_t}{G_t} \quad \dots (5)$$

[0035] また、エンタルピーを温度に変換する関係式を用いると、タービン入口温度推定値である第二温度 T_{1T_t} は、式（６）のように示される。

[0036] [数6]

$$T_{1T_t} = f(H_{1T}) \quad \dots (6)$$

[0037] ここでの関数 f は、物性で決まる関数である。例えば、記憶部 280 が関数 f を予め記憶しておく。

式 (5) 及び式 (6) より、式 (7) を得られる。

[0038] [数7]

$$T1T_t = f\left(H_{2T} + \frac{W_t}{G_t}\right) \quad \dots (7)$$

[0039] 第二推定部 292 が、式 (7) で示されるモデルを第二モデルとして用いるようにしてもよい。この場合、第二推定部 292 は、式 (8) に基づいて発電機出力 P_e からタービンの仕事 W_t を算出する。

[0040] [数8]

$$P_e = W_t + W_c + W_{LOSS} \quad \dots (8)$$

[0041] W_c は、圧縮機の仕事を示す、 W_{LOSS} は、機械的な損失（メカロス、Mechanical Loss）を示す。第二推定部 292 は、 W_c の値及び W_{LOSS} の値を計算にて取得する。

また、第二推定部 292 が、式 (7) のタービン通過流量 G_t として測定値を用いるようにしてもよいし計算値を用いるようにしてもよい。また、第二推定部 292 は、タービン出口のエンタルピー H_{2T} を公知のエンタルピー算出方法に基づいて算出する。

[0042] 補正部 293 は、第二温度に基づいて第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する。

補正部 293 が、第一温度と第二温度との割合に基づいて決定された補正係数を用いて第一温度を補正するようにしてもよい。例えば、補正部 293 が、式 (9) に基づいて補正係数 X を算出するようにしてもよい。

[0043] [数9]

$$X = \alpha \times \frac{T1T_t}{T1T_f} + (1 - \alpha) \times X' \quad \dots (9)$$

[0044] α は、 $0 < \alpha \leq 1$ の定数で示される調整係数である。調整係数 α の値は、

例えば操作者が操作入力部 220 を用いて行う入力操作に従って設定される。

$T1T_t$ は、第二温度を示す。 $T1T_f$ は、第一温度を示す。

X' は、補正係数 X の過去値を示す。例えば、1 演算周期前の補正係数 X の値を X' の値として用いるようにしてもよい。

式 (9) の「 $T1T_t / T1T_f$ 」に示されるように、補正係数 X は、第一温度と第二温度との割合に基づいて決定された補正係数の例に該当する。

補正部 293 は、式 (10) に示されるように、補正係数 X を用いて第一温度を補正する。

[0045] [数10]

$$T1T_e = X \times T1T_f \quad \dots (10)$$

[0046] $T1T_e$ は、タービン入口温度推定値を示す。

式 (10) の「 X 」に式 (9) を代入すると、式 (11) のように示される。

[0047] [数11]

$$T1T_e = \alpha \times T1T_t + (1 - \alpha) \times X' \times T1T_f \quad \dots (11)$$

[0048] 式 (11) では、第一温度 $T1T_f$ 、第二温度 $T1T_t$ それぞれに係数を乗算して重み付けを行い、これらの値を合計している。

ガスタービンの状態が変化する過渡時には、第一温度 $T1T_f$ の項（「 $(1 - \alpha) \times X' \times T1T_f$ 」）によって第二温度 $T1T_t$ のみの場合よりも応答性の良いタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を得られる。

また、ガスタービンの状態が一定である静定時には、第二温度 $T1T_t$ の項（「 $\alpha \times T1T_t$ 」）によって第一温度 $T1T_f$ のみの場合よりも精度の高いタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を得られる。

[0049] また、補正部 293 が、第一温度 $T1T_f$ を補正することで、タービン入口温度推定値 $T1T_e$ に第二温度 $T1T_t$ を反映させるので、静定時と過渡時とで処理を切り替える必要がない。これにより、処理の切替に伴う推定値の急

変を回避することができる。また、静定時か過渡時かの判定を行う必要がない点、および、処理の切替を行う必要がない点で、制御部 290 の負荷が軽くて済む。

[0050] ここで、図 4 及び図 5 を参照して、ガスタービン制御装置 200 によるタービン入口温度推定値 T_{1T} の精度について、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づく推定の場合との比較で説明する。

図 4 は、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の第一例を示すグラフである。図 4 では、タービン負荷上昇時における発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の例を示している。

図 4 の横軸は時間を示す。縦軸は、温度を示す。

[0051] 線 L11 は、タービン入口温度の実際値の例を示す。線 L12 は、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の例を示す。発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度の推定として、例えば、GT 出力計測値、大気温度計測値、及び、IGV 開度指令値をヒートバランスデータに適用してタービン入口温度推定値を求めるようにしてもよい。

[0052] タービンに流入した燃焼ガスがタービンの動翼に当たって動翼及び回転軸を回転させ、回転軸によって発電機に伝達された回転力によって発電機が発電する。このため、タービン入口温度が変化してから発電機出力が変化するまでには、回転軸等の慣性による遅れなどの遅れが生じる。従って、図 4 の例のように、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度の推定では、タービン入口温度の推定値の変化が実際値の変化に対して遅れる。

これに対し、上記のようにガスタービン制御装置 200 では、燃料流量に基づく第一温度 T_{1T_f} をタービン入口温度推定値 T_{1T} に反映させることで、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づいてタービン入口温度を推定する場合よりも高い応答性を得られる。この点で、ガスタービン制御

装置 200 では、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度の推定の場合よりも、過渡時においても高精度にタービン入口温度を推定することができる。

[0053] 図 5 は、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定の第二例を示すグラフである。図 5 では、タービン負荷降下時における発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の例を示している。

図 5 の横軸は時間を示す。縦軸は、温度を示す。

線 L 21 は、タービン入口温度の実際値の例を示す。線 L 22 は、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値の例を示す。

[0054] 発電機出力が変化する際、電力系統との関係により発電機出力が振動する場合がある。これにより、図 5 の例のように、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度推定値が振動することが考えられる。一方、この振動は発電機と電力系統との関係によるものであり、図 5 の例のようにタービン入口温度は振動せずに変化していることが考えられる。

実際のタービン入口温度と大きく異なるタービン入口温度推定値を用いてガスタービンの制御を行った場合、失火によるトリップや、燃焼振動による燃焼器の損傷などが生じる可能性がある。

[0055] これに対し、上記のようにガスタービン制御装置 200 では、燃料流量に基づく第一温度 $T_1 T_f$ をタービン入口温度推定値 $T_1 T_e$ に反映させることで、発電機出力の振動による影響を回避又は低減させることができる。この点で、ガスタービン制御装置 200 では、発電機出力を用いたヒートバランスモデルに基づくタービン入口温度の推定の場合よりも、過渡時においても高精度にタービン入口温度を推定することができる。

[0056] なお、補正部 293 が行う補正は、式 (10) 及び式 (11) に示されるものに限らない。補正部 293 が行う補正として、第一温度に基づいて過渡時の応答性を確保し、第二温度に基づいて静定時の精度を得られるいろいろ

な補正を用いることができる。

例えば、補正部 293 が式 (12) に基づいてタービン入口温度推定値 T_{1T_e} を推定するようにしてもよい。

[0057] [数12]

$$T_{1T_e} = T_{1T_f} + T_{1T_t} - LAG(T_{1T_f}) \quad \dots (12)$$

[0058] ここで、LAG は、一次遅れ要素を示す関数である。

図 6 は、関数 LAG の値の例を示すグラフである。図 6 は、関数 LAG への入力値が時間に関して一定である場合の、関数 LAG の値を示している。

図 6 の例のように、関数 LAG の出力値は時間経過に応じて入力値に近づいていく。なお、式 (12) において、関数 LAG に代えて、時間経過に応じて出力値が入力値に近づく他の関数を用いるようにしてもよい。後述する式 (13) についても同様である。

[0059] 式 (12) では、静定時には関数 LAG の値が第一温度 T_{1T_f} となり、タービン入口温度推定値 T_{1T_e} は、第二温度 T_{1T_t} と等しくなる。これにより、静定時におけるタービン入口温度推定値 T_{1T_e} をより高精度に推定することができる。

また、式 (12) では、過渡時には、関数 LAG の値の変化に遅れが生じ、第一温度 T_{1T_f} の変化がタービン入口温度推定値 T_{1T_e} に反映される。これにより、過渡時におけるタービン入口温度推定値 T_{1T_e} の応答性を確保できる。

このように、補正部 293 が式 (12) を用いてタービン入口温度推定値 T_{1T_e} を推定することで、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

[0060] 或いは、補正部 293 が式 (13) に基づいてタービン入口温度推定値 T_{1T_e} を推定するようにしてもよい。

[0061]

[数13]

$$T1T_e = \frac{T1T_f \times T1T_t}{LAG(T1T_f)} \quad \dots (13)$$

[0062] 式(13)では、静定時には関数LAGの値が第一温度 $T1T_f$ となり、タービン入口温度推定値 $T1T_e$ は、第二温度 $T1T_t$ と等しくなる。これにより、静定時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ をより高精度に推定することができる。

また、式(13)では、過渡時には、関数LAGの値の変化に遅れが生じ、第一温度 $T1T_f$ の変化がタービン入口温度推定値 $T1T_e$ に反映される。これにより、過渡時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ の応答性を確保できる。

このように、補正部293が式(13)を用いてタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を推定することで、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

[0063] 或いは、補正部293が式(14)に基づいてタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を推定するようにしてもよい。

[0064] [数14]

$$T1T_e = T1T_f + LAG(T1T_t - T1T_f) \quad \dots (14)$$

[0065] 式(14)では、静定時には、関数LAGの値が第二温度 $T1T_t$ から第一温度 $T1T_f$ を減算した値(「 $T1T_t - T1T_f$ 」)となり、タービン入口温度推定値 $T1T_e$ は、第二温度 $T1T_t$ と等しくなる。これにより、静定時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ をより高精度に推定することができる。

また、式(14)では、過渡時には、関数LAGの値の変化に遅れが生じ、第一温度 $T1T_f$ の変化がタービン入口温度推定値 $T1T_e$ に反映される。これにより、過渡時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ の応答性を確保

できる。

このように、補正部 293 が式 (14) を用いてタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を推定することで、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

[0066] 或いは、補正部 293 が式 (15) に基づいてタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を推定するようにしてもよい。

[0067] [数15]

$$T1T_e = T1T_f \times LAG \left(\frac{T1T_t}{T1T_f} \right) \quad \dots (15)$$

[0068] 式 (15) の「 $LAG (T1T_t / T1T_f)$ 」は、第一温度と第二温度との割合に基づいて決定された補正係数の例に該当する。

式 (15) では、静定時には、関数 LAG の値が第二温度 $T1T_t$ を第一温度 $T1T_f$ で除算した値（「 $T1T_t / T1T_f$ 」）となり、タービン入口温度推定値 $T1T_e$ は、第二温度 $T1T_t$ と等しくなる。これにより、静定時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ をより高精度に推定することができる。

また、式 (15) では、過渡時には、関数 LAG の値の変化に遅れが生じ、第一温度 $T1T_f$ の変化がタービン入口温度推定値 $T1T_e$ に反映される。これにより、過渡時におけるタービン入口温度推定値 $T1T_e$ の応答性を確保できる。

このように、補正部 293 が式 (15) を用いてタービン入口温度推定値 $T1T_e$ を推定することで、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

[0069] 次に、図 7 を参照してガスタービン制御装置 200 の動作について説明する。図 7 は、ガスタービン制御装置 200 がタービン入口温度推定値を求める処理手順の例を示す図である。ガスタービン制御装置 200 は、例えば所定周期毎に図 7 の処理を繰り返す。

図 7 の例で、第一推定部 291 は、第一モデルを用いて第一温度を算出する（ステップ S111）。また、第二推定部 292 は、第二モデルを用いて

第二温度を算出する（ステップS 1 2 1）。第一推定部2 9 1及び第二推定部2 9 2が、ステップS 1 1 1における処理とステップS 1 2 1における処理とを並列実行するようにしてもよいし、逐次的に実行するようにしてもよい。

補正部2 9 3は、ステップS 1 1 1で得られた第一温度を、ステップS 1 2 1で得られた第二温度に基づいて補正する（ステップS 1 3 1）。

ステップS 1 3 1の後、図7の処理を終了する。

[0070] 以上のように、第一推定部2 9 1は、ガスタービン1 1 0への燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度 $T_1 T_f$ を推定する。第二推定部2 9 2は、ガスタービン1 1 0の排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度 $T_1 T_t$ を推定する。補正部2 9 3は、第二温度に基づいて第一温度を補正してタービン入口温度推定値 $T_1 T_e$ を算出する。

ガスタービン制御装置2 0 0では、燃料流量に基づく第一温度 $T_1 T_f$ を用いる点で、タービン入口温度推定値 $T_1 T_e$ の応答性を確保できる。また、ガスタービン制御装置2 0 0では、排ガス温度に基づく第二温度 $T_1 T_t$ を用いる点で、タービン入口温度推定値 $T_1 T_e$ を高精度に推定することができる。

このように、ガスタービン制御装置2 0 0によれば、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。

[0071] また、補正部2 9 3が、第一温度 $T_1 T_f$ を補正することで、タービン入口温度推定値 $T_1 T_e$ に第二温度 $T_1 T_t$ を反映させるので、静定時と過渡時とで処理を切り替える必要がない。これにより、処理の切替に伴う推定値の急変を回避することができる。また、静定時か過渡時かの判定を行う必要がない点、および、処理の切替を行う必要がない点で、制御部2 9 0の負荷が軽くて済む。

[0072] 例えば、第一推定部2 9 1は、燃焼器1 1 4における熱収支を示す第一モデルに基づいて第一温度を推定する。第二推定部2 9 2は、タービン1 1 5の排ガス温度を用いたヒートバランスを示す第二モデルに基づいて第二温度

を推定する。補正部 293 は、補正部は、第一温度と第二温度との割合に基づいて決定された補正係数を用いて第一温度を補正する。

これにより、ガスタービン制御装置 200 によれば、上記のように、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる。また、ガスタービン制御装置 200 によれば、上記のように、静定時と過渡時とで処理を切り替える必要がなく、処理の切替に伴う推定値の急変を回避することができる。また、静定時か過渡時かの判定を行う必要がない点、および、処理の切替を行う必要がない点で、制御部 290 の負荷が軽くて済む。

[0073] <第二実施形態>

ガスタービン制御装置が、第一モデルへの入力となる推定値に対して補正を行うようにしてもよい。第二実施形態ではこの点について説明する。

図 8 は、第二実施形態に係るガスタービン制御装置の機能構成を示す概略ブロック図である。図 8 に示すように、ガスタービン制御装置 300 は、通信部 210 と、操作入力部 220 と、表示部 230 と、記憶部 280 と、制御部 390 とを備える。制御部 390 は、第一推定部 291 と、第二推定部 292 と、補正部 293 と、入力値補正部 394 とを備える。

図 8 の各部のうち、図 3 の各部に対応して同様の機能を有する部分には同一の符号（210、220、230、280、291、292、293）を付して説明を省略する。ガスタービン制御装置 300 は、制御装置 390 が、入力値補正部 394 を備える点でガスタービン制御装置 200 の場合と異なる。それ以外は、ガスタービン制御装置 200 の場合と同様である。図 1 の構成で、ガスタービン制御装置 200 に代えてガスタービン制御装置 300 を用いることができる。

[0074] 入力値補正部 394 は、第一モデルへの入力となる推定値のうち少なくとも 1 つに対して、第二モデルを用いた計算で得られた推定値を用いた補正を行う。

ここで、第一モデルへの入力となる値のうち、燃料流量及び空気流量など

計算で求める値は、実際の値に対して誤差を含んでいる可能性がある。タービン入口温度の場合と同様、これら第一モデルへの入力についても、静定時に関しては第二モデルの計算過程で得られる値がより精度が高いと考えられる。

そこで、入力値補正部 394 は、タービン入口温度の補正について説明したのと同様、第一モデルへの入力となる値についても、第二モデルの計算過程で得られる値を静定時に関して反映させる補正を行う。

これにより、ガスタービン制御装置 300 では、タービン入口温度の推定精度を更に高めることができる。

[0075] 次に、図 9 を参照してガスタービン制御装置 300 の動作について説明する。図 9 は、ガスタービン制御装置 300 がタービン入口温度推定値を求める処理手順の例を示す図である。ガスタービン制御装置 300 は、例えば所定周期毎に図 7 の処理を繰り返す。

図 9 の例で、入力値補正部 394 は、第一モデルへの入力となる推定値のうち少なくとも 1 つに対して、第二モデルを用いた計算で得られた推定値を用いた補正を行う（ステップ S 211）。

ステップ S 212、S 221、S 231 は、それぞれ図 7 のステップ S 111、S 121、S 131 と同様である。

ステップ S 231 の後、図 9 の処理を終了する。

[0076] 以上のように、入力値補正部 394 は、第一モデルへの入力となる推定値のうち少なくとも 1 つに対して、第二モデルを用いた計算で得られた推定値を用いた補正を行う。

これにより、ガスタービン制御装置 300 では、タービン入口温度の推定精度を更に高めることができる。

[0077] なお、第一実施形態、第二実施形態のいずれにおいても、第一推定部 291 の処理を行うコンピュータと、第二推定部 292 の処理を行うコンピュータとは、同一のコンピュータであってもよいし、別々のコンピュータであってもよい。

ここで、第一モデルを用いた第一温度の計算は、繰り返し計算を必要とせず処理負荷が比較的軽いことが期待される。

[0078] 一方、第二モデルを用いた第二温度の計算の場合、繰り返し計算が含まれて処理負荷が比較的重いことが考えられる。このため、一般的な制御装置を用いて第二推定部 292 の処理を実行した場合、制御周期内に計算が終わらない可能性がある。

そこで、制御装置とは別に第二推定部 292 の処理を実行するためのコンピュータを用意し、このコンピュータが計算する第二温度を補正部 293 に取り込むようにしてもよい。

[0079] なお、制御部 290 又は 390 の全部または一部の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することで各部の処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。

また、「コンピュータシステム」は、WWW システムを利用している場合であれば、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）も含むものとする。

また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良く、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであっても良い。

[0080] 以上、本発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明の実施形態は、ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する第

一推定部と、前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する第二推定部と、前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する補正部と、を備えるガスタービン制御装置に関する。

この実施形態によれば、タービン入口温度の推定について応答性を確保し、かつ、推定精度を高めることができる

符号の説明

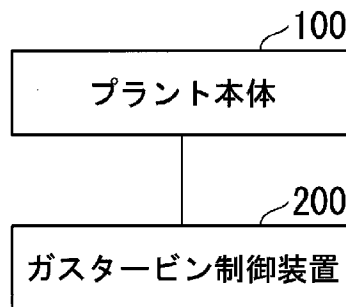
- [0082] 1 ガスタービンプラント
- 1 0 0 プラント本体
 - 1 1 0 ガスタービン
 - 1 1 1 入口案内翼
 - 1 1 2 圧縮機
 - 1 1 3 車室
 - 1 1 4 燃焼器
 - 1 1 5 タービン
 - 1 1 6 回転軸
 - 1 2 0 発電機
 - 2 0 0、3 0 0 ガスタービン制御装置
 - 2 1 0 通信部
 - 2 2 0 操作入力部
 - 2 3 0 表示部
 - 2 8 0 記憶部
 - 2 9 0、3 9 0 制御部
 - 2 9 1 第一推定部
 - 2 9 2 第二推定部
 - 2 9 3 補正部
 - 3 9 4 入力値補正部

請求の範囲

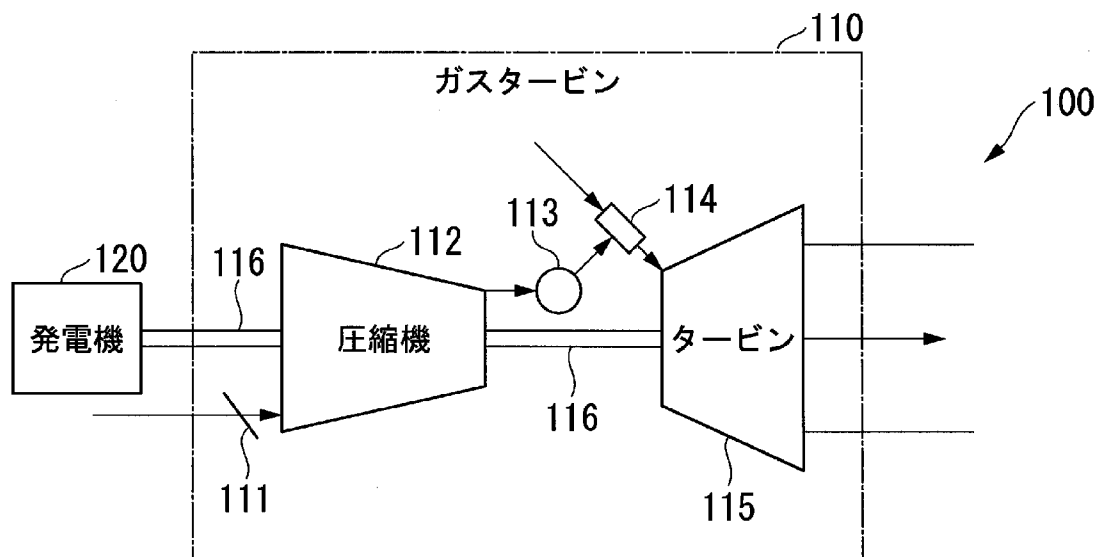
- [請求項1] ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する第一推定部と、
- 前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する第二推定部と、
- 前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する補正部と、
- を備えるガスタービン制御装置。
- [請求項2] 前記第一推定部は、燃焼器における熱収支を示す前記第一モデルに基づいて前記第一温度を推定し、
- 前記第二推定部は、前記ガスタービンの排ガス温度を用いたヒートバランスを示す前記第二モデルに基づいて前記第二温度を推定し、
- 前記補正部は、前記第一温度と前記第二温度との割合に基づいて決定された補正係数を用いて前記第一温度を補正する、
- 請求項1に記載のガスタービン制御装置。
- [請求項3] 前記第一モデルへの入力となる推定値のうち少なくとも1つに対して、前記第二モデルを用いた計算で得られた推定値を用いた補正を行う入力値補正部を備える、
- 請求項1または請求項2に記載のガスタービン制御装置。
- [請求項4] 請求項1から3の何れか一項に記載のガスタービン制御装置を備えるガスタービンプラント。
- [請求項5] ガスタービンへの燃料流量を用いた物理モデルである第一モデルに基づくタービン入口温度推定値である第一温度を推定する工程と、
- 前記ガスタービンの排ガス温度を用いた物理モデルである第二モデルに基づくタービン入口温度推定値である第二温度を推定する工程と、
- 、

前記第二温度に基づいて前記第一温度を補正してタービン入口温度推定値を算出する工程と、
を含むガスタービン制御方法。

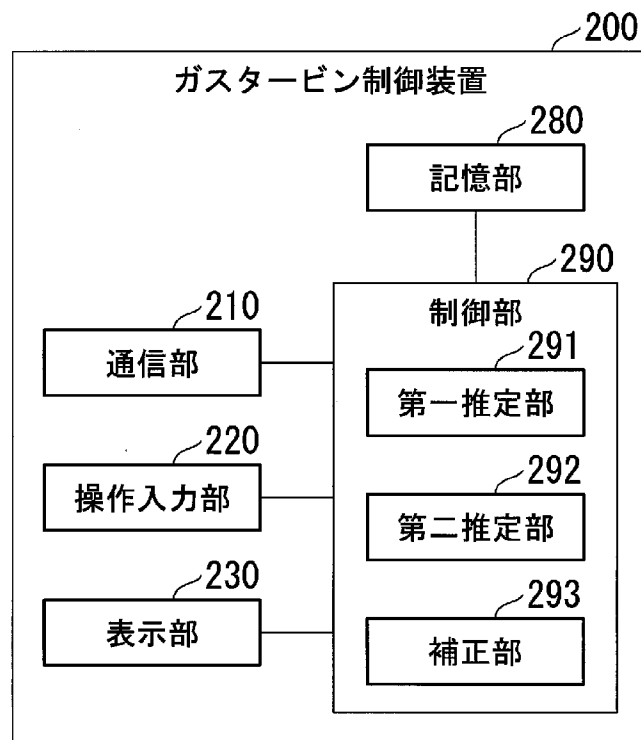
[図1]



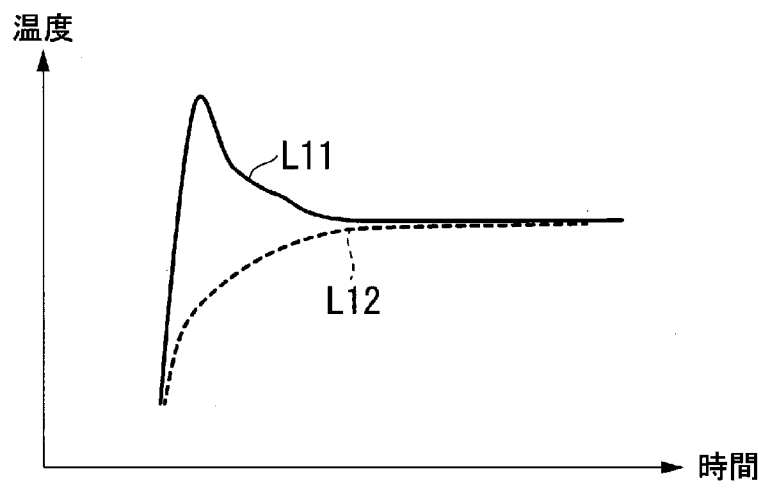
[図2]



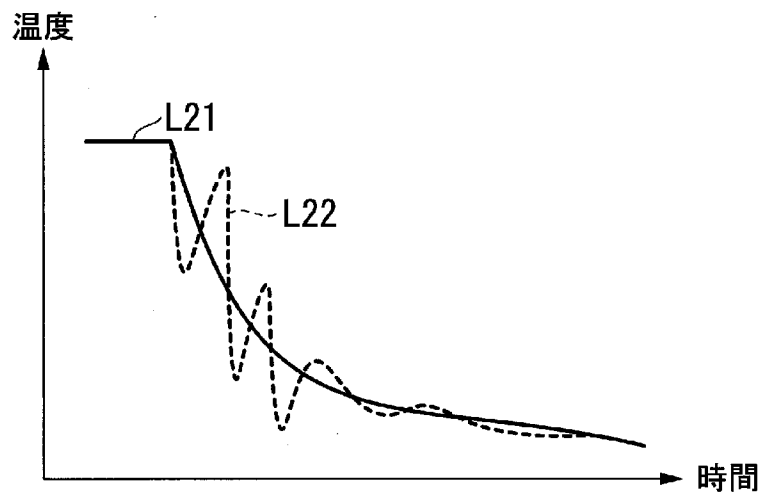
[図3]



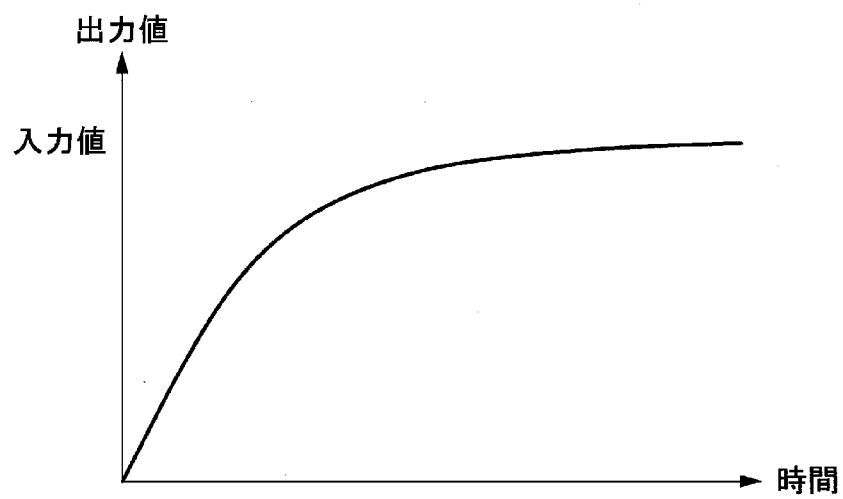
[図4]



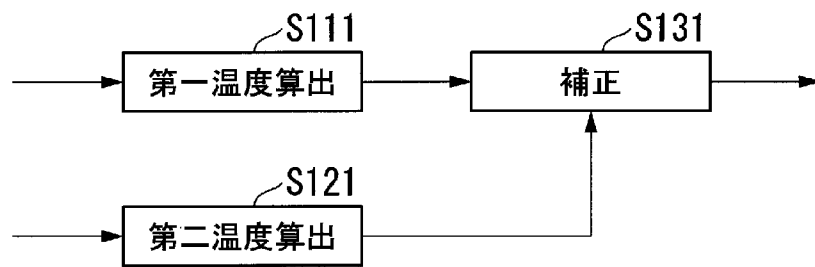
[図5]



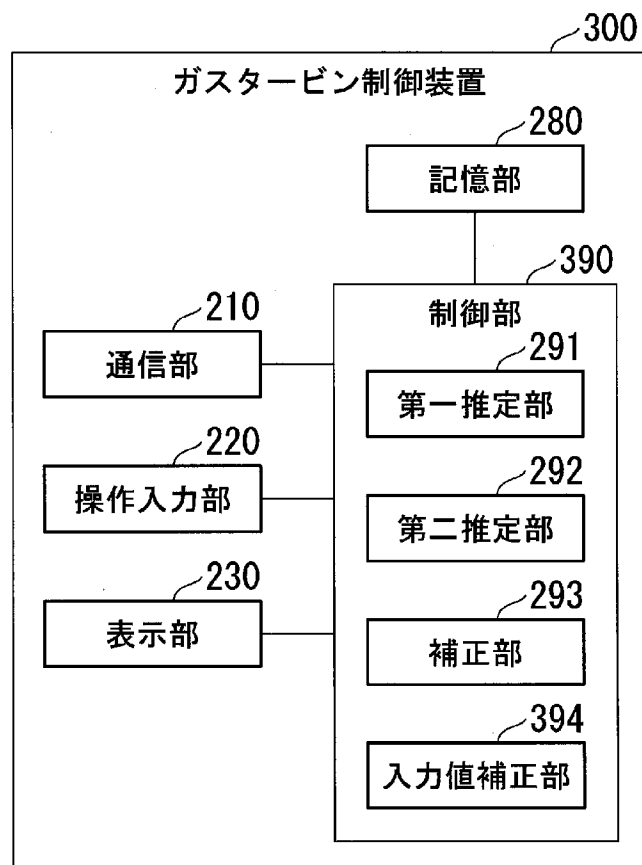
[図6]



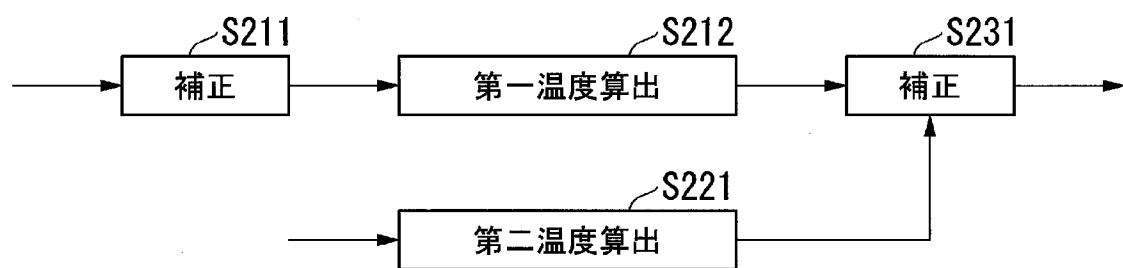
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/006436

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F02C9/00 (2006.01) i, F01D25/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. F02C9/00, F01D25/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2016-23604 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 08 February 2016, paragraphs [0021]-[0058], fig. 1, 3, 6-8 (Family: none)	1-5
A	JP 2012-2126 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 05 January 2012 (Family: none)	1-5

☐

Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 May 2018 (01.05.2018)

Date of mailing of the international search report

22 May 2018 (22.05.2018)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F02C9/00(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F02C9/00, F01D25/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2016-23604 A（三菱重工業株式会社） 2016.02.08, 段落[0021]-[0058], 図1, 3, 6-8 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2012-2126 A（三菱重工業株式会社） 2012.01.05, (ファミリーなし)	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.05.2018

国際調査報告の発送日

22.05.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

金田 直之

3 S

6 2 1 0

電話番号 03-3581-1101 内線 3391