

(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
2019年7月4日(04.07.2019)



(10) 国際公開番号

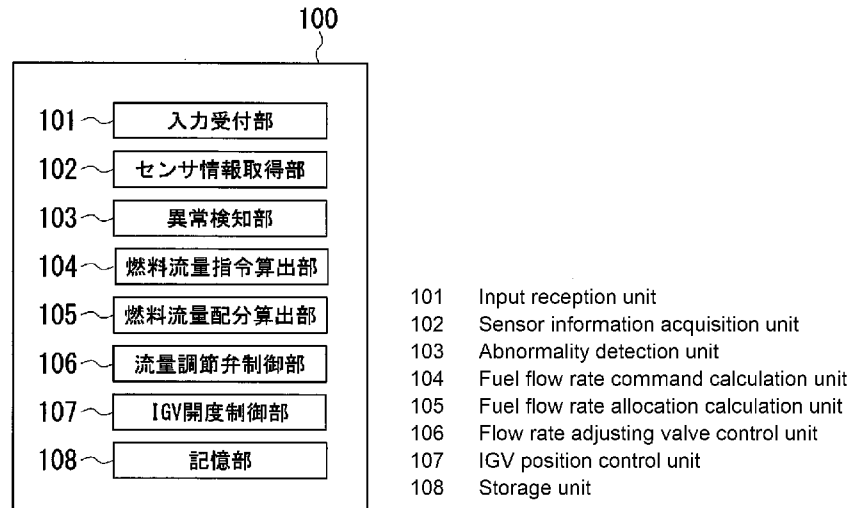
WO 2019/130976 A1

- (51) 国際特許分類:
F02C 9/54 (2006.01) *F02C 9/46* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/044184
- (22) 国際出願日: 2018年11月30日(30.11.2018)
- (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 2017-253217 2017年12月28日(28.12.2017) 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: 山本 圭介 (YAMAMOTO Keisuke); 〒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). 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). 岸 真人(KISHI Makoto); 〒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). 内田 進也(UCHIDA Shinya); 〒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). 中原 永(NAKAHARA Hisashi); 〒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). 片野 光(KATANO Hikaru); 〒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). 宇井 佳一(UI Yoshikazu); 〒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).

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

(54) 発明の名称: 制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラム



(57) Abstract: This control device selects and implements either: a normal control for outputting a fuel flow rate command value by a feedback control based on a deviation between a target output and an actual output of a gas turbine; or a load reducing control for outputting, without performing the feedback control, a fuel flow rate command value for decreasing the output of the gas turbine to a predetermined target output within a predetermined first time. If the load reducing control has been selected, the control device performs a control, in parallel with the implementation of the load reducing control, to decrease the flow rate of air that flows into a compressor of the gas turbine so as to keep the air-fuel ratio in a predetermined range.



(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, 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: 制御装置は、ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を出力する通常制御と、フィードバック制御を行うことなくガスタービンの出力を所定の第1時間で所定の目標出力まで低下させる燃料流量指令値を出力する負荷降下制御との何れかを選択して実行し、負荷降下制御が選択された場合、負荷降下制御の実行と並行して、空燃比が所定範囲に収まるようにガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行う。

明 細 書

発明の名称：制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラム 技術分野

[0001] 本発明は、制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラムに関する。

本願は、2017年12月28日に、日本に出願された特願2017-253217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] ガスタービン発電プラントで異常が生じた場合、負荷遮断を行って対処することがある。負荷遮断を行うと、ガスタービンは停止する。発電プラントから再び電力を供給するためには、ガスタービンを再稼働する必要がある。その為、発電事業者は、負荷遮断から再稼働して再び電力供給が可能となるまでの間、発電による利益機会を逸失する。これに対し、異常が生じた場合でも、ガスタービンを停止することなく、負荷を下げた状態で運転を継続し、異常への対処が完了した後に定格出力まで回復させるような運転に対するニーズがある。このような運転が可能であれば、発電事業者は、発電機会の逸失を回避することができる。

[0003] 特許文献1には、負荷遮断時における複数の燃料系統に対する燃料配分の制御方法について記載されている。特許文献1の制御方法によれば、負荷遮断時に燃焼器での失火を防ぐことができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-159786号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 負荷遮断の代わりに上記の運転を実現するためには、安全確保や機器保護のために急速に、例えば、毎分800%以上の速度で負荷を降下させつつ、ガスタービンの運転を継続しなければならない。この運転を実現するために

は、１）圧縮機のサージを回避しながら圧縮機の空気吸入量を低下させる、
２）燃焼器の失火を防ぐ、といった技術課題が存在する。これまでに、これらの技術課題を解決する技術は提供されていない。

[0006] 本発明は、上述の課題を解決することのできる制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラムを提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様によれば、制御装置は、ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第１時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行する燃料流量指令算出部と、前記燃料流量指令算出部による前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行う空気吸入流量制御部と、を備える。

[0008] 本発明の一態様によれば、前記負荷降下制御を選択した場合、燃料流量指令算出部は、前記燃料流量指令値を前記目標出力に相当する値へ低下させるまでの低下速度を、大気温度に応じて変更する。

[0009] 本発明の一態様によれば、前記負荷降下制御が選択された場合に、前記燃料流量指令値を前記目標出力に相当する値へ低下させるまでの第１時間と、前記圧縮機に流入する空気流量を所定の目標流量に低下させるまでの第２時間との差が所定の値以下である。

[0010] 本発明の一態様によれば、前記第１時間および第２時間が、２秒以上５秒以下の範囲である。

[0011] 本発明の一態様によれば、前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの出力の低下速度が、１００％毎分より高速である。

[0012] 本発明の一態様によれば、前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの出力の低下速度が、８００％毎分以上、２０００％毎分以下である。

- [0013] 本発明の一態様によれば、前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの前記目標出力が、前記ガスタービンの定格出力の30%以上40%以下である。
- [0014] 本発明の一態様によれば、前記制御装置は、前記負荷降下制御時に前記ガスタービンの燃焼器で異常燃焼が発生している場合、前記燃料流量指令値が、前記目標出力に相当する値に到達するタイミングで、前記燃焼器に設けられた複数のノズルのうち、最も上流側に設けられた第1ノズルからの燃料供給を停止する停止制御と、前記第1ノズルを除く他の前記ノズルの間での燃料供給配分比を、前記停止制御後の配分比に切り替える配分切換制御とを実行する燃料配分制御部、をさらに備える。
- [0015] 本発明の一態様によれば、前記燃料配分制御部は、前記第1ノズルを除く他の前記ノズルのうち、前記燃焼器で形成される予混合火炎を保炎する予混合火炎を形成するための前記ノズルの前記燃料供給配分比について、前記第1ノズルからの燃料供給の停止による一時的な燃料供給量の減少を補う補正を行う。
- [0016] 本発明の一態様によれば、前記制御装置は、前記ガスタービンの燃焼器に設けられた複数のノズルのうち、燃焼振動に関係する第2ノズルに対する燃料配分比について、前記負荷降下制御時の一の時刻における負荷に応じた燃焼負荷指令値と、前記一の時刻における前記第2ノズルの前記燃料配分比との関係が、燃焼振動が生じる可能性が高い関係となることを回避するような補正を前記第2ノズルの前記燃料配分比に対して行う第2燃料配分制御部、をさらに備える。
- [0017] 本発明の一態様によれば、ガスタービンは、圧縮機と、燃焼器と、タービンと、上記の何れかに記載の制御装置を備える。
- [0018] 本発明の一態様によれば、制御方法は、ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第1時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値

を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行するステップと、前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行うステップと、を有する。

[0019] 本発明の一態様によれば、プログラムは、コンピュータを、ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第1時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行する手段、前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行う手段、として機能させる。

発明の効果

[0020] 上記した制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラムによれば、圧縮機のサージや燃焼器における失火を防ぎつつ急速に負荷を低下させ、ガスタービンの運転を継続することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明に係る一実施形態におけるガスタービンプラントの系統図である。

[図2]本発明に係る一実施形態における燃焼器の第1の断面図である。

[図3]本発明に係る一実施形態における燃焼器の要部断面図である。

[図4]本発明に係る一実施形態における燃焼器の第2の断面図である。

[図5]本発明に係る一実施形態における制御装置のブロック図である。

[図6]本発明に係る一実施形態における制御方法を説明する図である。

[図7]本発明に係る一実施形態における燃料流量指令値の制御例を示す図である。

[図8]本発明に係る一実施形態におけるIGV開度の制御例を示す図である。

[図9]本発明に係る一実施形態における燃料ノズルの制御例を示す第1の図で

ある。

[図10]本発明に係る一実施形態における燃料ノズルの制御例を示す第2の図である。

[図11]負荷変化時における燃料供給配分比とCLCSOの関係の一例を示す図である。

[図12]本発明に係る一実施形態における制御の一例を示すフローチャートである。

[図13]本発明に係る一実施形態における制御を実行したときの制御値及び状態量のタイミングチャートである。

[図14]本発明に係る一実施形態における制御による効果を説明する図である。

[図15]本発明の一実施形態における制御装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] <実施形態>

以下、本発明の一実施形態によるガスタービンの瞬時負荷低下制御について図1～図15を参照して説明する。

図1は、本発明に係る一実施形態におけるガスタービンプラントの系統図である。

図2は、本発明に係る一実施形態における燃焼器の第1の断面図である。

図3は、本発明に係る一実施形態における燃焼器の要部断面図である。

本実施形態のガスタービンプラントは、図1に示すように、ガスタービン10と、ガスタービン10の駆動で発電する発電機29と、を備えている。ガスタービン10は、空気を圧縮する圧縮機11と、圧縮機11で圧縮された空気中で燃料Fを燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器31と、高温高压の燃焼ガスにより駆動するタービン21と、を備えている。

[0023] 圧縮機11は、軸線を中心として回転する圧縮機ロータ13と、この圧縮機ロータ13を回転可能に覆う圧縮機ケーシング12と、この圧縮機ケーシ

ング 12 の吸込み口に設けられている IGV (inlet guide vane) 14 と、を有する。IGV 14 は、複数のガイドベーン 15 と、複数のガイドベーン 15 を駆動する駆動器 16 とを有し、圧縮機ケーシング 12 内に吸い込まれる空気の流量を調節する。

[0024] タービン 21 は、燃焼器 31 からの燃焼ガスにより、軸線を中心として回転するタービンロータ 23 と、このタービンロータ 23 を回転可能に覆うタービンケーシング 22 と、を有する。タービンロータ 23 と圧縮機ロータ 13 とは、同一の軸線を中心として回転するもので、相互に連結されて、ガスタービンロータ 28 を成している。このガスタービンロータ 28 には、発電機 29 のロータが接続されている。

[0025] 燃焼器 31 は、図 2 に示すように、タービンケーシング 22 に固定されている外筒 32 と、タービンケーシング 22 内に配置され、燃焼ガスをタービン 21 の燃焼ガス流路中に送る燃焼筒（又は尾筒） 33 と、この燃焼筒 33 内に燃料及び空気を供給する燃料供給器 41 と、を備える。

[0026] 燃料供給器 41 は、図 2 に示すように、内筒 42 と、内筒 42 の中心軸線上に配置されているパイロットバーナ 43 と、このパイロットバーナ 43 を中心として周方向に等間隔で配置されている複数のメインバーナ 53 と、外筒 32 の内周側で内筒 42 の外周側に配置されているトップハットノズル 51 と、を有する。以下では、内筒 42 の中心軸線が延びる方向で、燃焼筒 33 内で燃焼ガス G が流れていく側を下流側とし、その反対側を上流側とする。

[0027] パイロットバーナ 43 は、内筒 42 の中心軸線上に配置されているパイロットノズル 44 と、パイロットノズル 44 の外周を囲みパイロットノズル 44 と同軸に設けられた筒状のパイロットガイド 45 と、を有する。パイロットノズル 44 の外周には、パイロットガイド 45 によって形成されたパイロット空気 A_p を流通させるためのパイロット空気流路 48 が形成されている。パイロットノズル 44 の外周には、例えば、円周方向等間隔に複数個のパイロットスワラ 43a が設置されている。このパイロットスワラ 43a は、

パイロット空気流路４８を通流するパイロット空気Ａｐにスワール（渦流）を生起させ、パイロットノズル４４から噴出されるパイロット燃料Ｆｐとの混合を促進させるものである。

パイロットノズル４４から噴射されたパイロット燃料Ｆｐは、このパイロット空気流路４８から噴出したパイロット空気Ａｐ中で燃焼して、予混火炎４９を形成する。

[0028] メインバーナ５３は、パイロット空気用筒４５の外周を囲む筒状のメイン空気用内筒５５と、メイン空気用内筒５５の外周を囲む筒状のメイン空気用外筒５６と、メイン空気用内筒５５の外周側とメイン空気用外筒５６の内周側との間の環状の空間を周方向に複数に分割する仕切板５７と、複数の仕切板５７の相互間に配置されているメインノズル５４と、を有する。メイン空気用内筒５５とメイン空気用外筒５６と複数の仕切板５７で画定される複数の空間は、圧縮機１１からの圧縮空気Ａｃがメイン空気Ａｍとして流れるメイン空気流路５８を成している。メイン空気流路５８を流れるメイン空気Ａｍには、メイン空気流路５８内に配置されているメインノズル５４からメイン燃料Ｆｍが噴射される。このため、メイン空気流路５８内でメインノズル５４の先端（下流端）よりも下流側には、メイン空気Ａｍとメイン燃料Ｆｍとが混ざり合った予混合気体が流れる。この予混合気体は、メイン空気流路５８から流出すると燃焼（予混合燃焼）して、予混合火炎５９を形成する。前述の予混火炎４９は、この予混合火炎５９を保炎する役目を担っている。

[0029] 外筒３２の内周側と内筒４２の外周側との空間は、圧縮機１１からの圧縮空気Ａｃを内筒４２内に導く圧縮空気流路５２を成している。トップハットノズル５１は、この圧縮空気流路５２にトップハット燃料Ｆｔを噴射する。このため、トップハット燃料Ｆｔが圧縮空気流路５２に噴射されると、メイン空気Ａｍ及びパイロット空気Ａｐ中にトップハット燃料Ｆｔが混入することになる。

[0030] 本実施形態のガスタービンプラントは、さらに、図１及び図２に示すように、パイロットノズル４４にパイロット燃料Ｆｐを送るパイロット燃料ライ

ン61と、メインノズル54にメイン燃料F_mを送るメイン燃料ライン62と、トップハットノズル51にトップハット燃料F_tを送るトップハット燃料ライン63と、パイロット燃料F_pの流量を調節するパイロット流量調節弁65と、メイン燃料F_mの流量を調節するメイン流量調節弁66と、トップハット燃料F_tの流量を調節するトップハット流量調節弁67と、これらの流量調節弁65, 66, 67の動作等を制御する制御装置100と、を備える。

[0031] パイロット燃料ライン61、メイン燃料ライン62及びトップハット燃料ライン63は、いずれも燃料ライン60から分岐したラインである。パイロット流量調節弁65は、パイロット燃料ライン61に設けられ、メイン流量調節弁66は、メイン燃料ライン62に設けられ、トップハット流量調節弁67は、トップハット燃料ライン63に設けられている。

[0032] 本実施形態のガスタービンプラントは、さらに、図1に示すように、ガスタービンロータ28の回転数Nを計測する回転数計71と、発電機29の出力を計測する出力計72と、圧縮機11が吸い込む空気Aの温度である大気温度を計測する温度計73と、圧縮機11が吸い込む空気の圧力である大気圧P_iを計測する圧力計74と、タービン21の最終段直後の燃焼ガスの温度であるブレードパス温度T_bを計測する温度計75と、タービン21の最終段よりも下流側の排気ダクト内の排気ガスの温度T_eを計測する温度計76と、を備える。

[0033] 図4は、本発明に係る一実施形態における燃焼器の第2の断面図である。

図4は、燃焼器31の燃焼ガスGの流れる方向に垂直な断面を模式的に示した図である。図4に示すように、燃焼器31は、中心にパイロットノズル44を設けており、このパイロットノズル44の外周側に、3つのメインノズル54（第一メインノズル54a）を円周方向に並べて設けている。そして、燃焼器31は、パイロットノズル44の外周側に、5つのメインノズル54（第二メインノズル54b）を円周方向に並べて設けている。各ノズルの配置や数は、適宜設定することができる。

[0034] 図5は、本発明に係る一実施形態における制御装置のブロック図である。

図示するように制御装置100は、入力受付部101、センサ情報取得部102、異常検知部103、燃料流量指令算出部104、燃料流量配分算出部105、流量調節弁制御部106、IGV開度制御部107、記憶部108を備えている。制御装置100は、コンピュータによって構成される。

[0035] 入力受付部101は、ユーザからの指示操作の入力や、他装置からの各種信号の入力を受け付ける。入力受付部101は、例えば、瞬時負荷降下制御の実行を示す信号（瞬時負荷降下制御中信号）の入力を受け付ける。

センサ情報取得部102は、ガスタービンプラントが備える各センサが計測した値を取得する。例えば、センサ情報取得部102は、出力計72が計測した発電機29の出力や温度計73が計測した大気温度を取得する。

[0036] 異常検知部103は、例えば、センサ情報取得部102が取得した温度計75による計測値（ブレードパス温度 T_b ）に基づいて、異常燃焼が生じたことを検知する。例えば、ブレードパス温度 T_b が単位時間あたりに所定の値以上変動する場合、異常検知部103は、異常燃焼が発生したと判定する。

[0037] 燃料流量指令算出部104は、ガスタービン10の目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなくガスタービン10の出力を所定の時間をかけて所定の目標出力まで低下させるような燃料流量指令値を算出する瞬時負荷降下制御との何れかを選択して燃料流量指令値の算出を行う。所定の時間とは、例えば、2～5秒である。この時間は、燃焼器31における失火や異常燃焼を回避するために適した時間である。所定の目標出力とは、例えば、定格出力を100%としたときの30～40%に相当する出力である。本明細書では、2～5秒の間に出力を30～40%程度に低下させる制御を瞬時負荷降下制御とよぶ。

瞬時負荷降下制御では、発電機29からの出力を、800～2000%/分、13～33%/分程度の速度で低下させる。燃料流量指令算出部104

は、瞬時負荷降下制御を実行する場合、ガスタービン10の出力を目標出力へ低下させるまでの低下速度を大気温度に応じて切り替える。

[0038] 一例では、35%程度の負荷への降下が異常燃焼を回避でき、且つ安定燃焼可能な負荷であり、負荷降下に要する時間が2秒以下となると圧縮機サージリスクが高まり、5秒以上になると異常燃焼による機器焼損リスクが高くなることがわかっている。ここでは一例として30%~40%程度の負荷としているが、異常燃焼を回避でき、且つ安定燃焼可能な負荷であれば、本実施形態の瞬時負荷降下制御を、所定の時間に例えば50%以上の負荷に低下させる制御に適用してもよい。

[0039] 燃料流量配分算出部105は、例えば、タービン入口温度（タービン21へ流入する燃焼ガスの温度）に基づいて記憶部108が記憶するタービン入口温度とパイロットノズル44へ供給する燃料の配分比（PLB比率）との関係を規定する関数からパイロットノズル44への配分比を算出する。同様に燃料流量配分算出部105は、タービン入口温度とトップハットノズル51へ供給する燃料の配分比（TH比率）との関係を規定する関数からトップハットノズル51へ供給する燃料の配分比を算出する。そして、燃料流量配分算出部105は、パイロットノズル44及びトップハットノズル51への配分比の和を100%から減算して、残りのメインノズル54（第一メインノズル54aおよび第二メインノズル54b）へ供給する燃料の配分比を算出する。燃料流量配分算出部105は、燃料流量指令算出部104が算出した燃料流量指令値に各燃料系統（パイロット燃料ライン61、メイン燃料ライン62、トップハット燃料ライン63）への配分比を乗じて、燃料系統ごとに燃料流量指令値を計算する。各燃料系統への燃料流量指令値を算出すると、燃料流量配分算出部105は、それらの値を流量調節弁制御部106へ出力する。

[0040] 流量調節弁制御部106は、燃料系統別の燃料流量指令値に基づいて、各燃料系統に設けられた流量調節弁（パイロット流量調節弁65、トップハット流量調節弁67、メイン流量調節弁66）の弁開度を算出する。具体的に

は、流量調節弁制御部 106 は、流量調節弁ごとに用意された燃料流量指令値と、流量調節弁の入口圧力および出口圧力と、燃料密度と、燃料温度とに基づいて、これらのパラメータに対応する弁開度を算出する記憶部 108 が記憶する関数等を用いて、各流量調節弁の弁開度を算出する。そして流量調節弁制御部 106 は、算出した弁開度に基づいて、パイロット流量調節弁 65、トップハット流量調節弁 67、メイン流量調節弁 66 を制御する。

[0041] IGV 開度制御部 107 は、燃料流量指令算出部 104 が通常制御を実行するときには、ガスタービン 10 の出力に応じて IGV の開度を制御する。

IGV 開度制御部 107 は、燃料流量指令算出部 104 が瞬時負荷降下制御を実行するときには、燃焼器 31 における空燃比が適切な所定範囲（失火や異常燃焼が生じない範囲）に収まるように IGV 14 の開度を制御する。具体的には、燃料流量指令算出部 104 が負荷を低下させる時間（2～5 秒）と同程度の時間をかけて、IGV 14 の開度を、瞬時負荷降下制御開始時の開度から負荷降下時の出力に対応する開度（例えば、全閉）へと変化させる。

記憶部 108 は、種々のデータを記憶する。

[0042] 図 6 は、本発明に係る一実施形態における制御方法を説明する図である。

図 6 に本実施形態の瞬時負荷降下制御を用いて 2～5 秒間に負荷を制御開始前の 100% から 35% に降下させたときの燃料流量指令値 CSO と IGV 14 の開度の関係を示す。

図 6 の上図は、瞬時負荷降下制御時に燃料流量指令算出部 104 が算出する燃料流量指令値 CSO（control signal output）の推移を示す。上図の横軸は時間、縦軸は CSO の大きさを示す。燃料流量指令値 CSO の大きさとガスタービン 10 の出力とは正の相関関係があり、CSO が大きくなるほどガスタービン 10 の出力も増加する。また、ある出力値について、大気温度が高温になるほど CSO の値は小さく、大気温度が低温になるほど CSO の値は大きくなる。つまり、ガスタービン 10 から同じ出力を行う場合でも大気温度によって CSO の値は異なる。図 6 上図のグラフ L1 は大気温度が 1

0℃の場合のCSO、グラフL2は大気温度が20℃の場合のCSOを示している。燃料流量指令算出部104は、瞬時負荷降下制御後の出力と、CSOとガスタービン10の出力の関係を規定する関数とに基づいて瞬時負荷降下制御後の出力に対応するCSOを算出する。燃料流量指令算出部104は、瞬時負荷降下制御前後のCSOと、出力を低下させる時間（2～5秒の範囲での所定時間）に基づいて、燃料流量指令値CSOの低下計画情報を算出する。低下計画情報には、例えば、出力を低下させる時間における所定時間ごとのCSOの値が含まれる。燃料流量指令算出部104は、例えば、図6上図に示すように一定の低下速度でCSOを低下させるような低下計画情報を算出する。他の例として、燃料流量指令算出部104は、例えば、瞬時負荷降下制御開始からの経過時間に応じてCSO低下速度が変化するような低下計画情報を算出してもよい。

[0043] ここで、燃料流量指令算出部104が、大気温度に依らない所定の低下速度でCSOを低下させることとした場合の例をグラフL1'に示す。グラフL1'は、大気温度20℃の場合と同じ速度でCSOを低下させたときのCSOの推移を示す。この場合、CSOが出力35%相当の値に低下するのは時刻t3である。出力35%相当の値に到達するタイミングが遅くなると、燃料投入量が相対的に増加するため火炎温度が超過するおそれがある。これとは逆に大気温度20℃の場合に、大気温度10℃の場合と同様の速度でCSOを低下させると、CSOが出力35%相当の値に到達するタイミングが早まり、燃料投入量が相対的に減少して失火の可能性がある。このようにCSOの低下速度を、大気温度に関係なく固定すると、燃焼器31の火炎に対する制御性が低下し、瞬時負荷降下前後を通じてガスタービン10の運転を継続することができない。そこで、燃料流量指令算出部104は、CSOの低下速度を大気温度に応じて変更する。これにより、燃焼器31での火炎温度挙動がロバストになり、失火耐性を向上させることができる。

[0044] 図6の下図は、瞬時負荷降下制御時にIGV開度制御部107が算出するIGV14の開度の推移を示す。下図の横軸は時間、縦軸はIGV14の開

度を示す。IGV14の開度と圧縮機11に流入する空気流量とは正の相関関係があり、IGV14の開度が大きくなるほど空気流量は増加する。ガスタービン10の出力とIGV14の開度の関係についても正の相関関係があり、出力が大きいときには開度を大きくし、出力が小さいときには開度を小さくする。図6下図のグラフL3は、IGV開度制御部107が算出するIGV14の開度である。IGV開度制御部107は、瞬時負荷降下制御後の出力（35%相当）と、IGV14の開度とガスタービン10の出力の関係を規定する関数とに基づいて瞬時負荷降下制御後の出力に対応するIGV14の開度を算出する。IGV開度制御部107は、瞬時負荷降下制御前後のIGV14の開度と、CSOを低下させる時間（2～5秒）に基づいて、IGV14の開度を現在の開度から所定の目標開度（例えば全閉）へ低下させる低下計画情報を算出する。IGV開度制御部107は、例えば、図6下図に示すように開度を一定の割合で低下させるような低下計画情報を算出する。低下計画情報には、例えば、開度を低下させる時間における所定時間ごとのIGV開度の値が含まれる。この他にも、例えば、IGV開度制御部107は、瞬時負荷降下制御開始からの経過時間に応じて開度の低下速度が変化するような低下計画情報を算出してもよい。

[0045] IGV開度制御部107は、燃料流量指令算出部104がCSOの低下を開始すると（時刻 t_1 ）、同じ時刻（時刻 t_1' ）にIGV14の開度の低下制御を開始する。あるいは、CSOの出力から実際の燃料制御が行われるまでの遅れを考慮して時刻 t_1' は、時刻 t_1 より少し遅らせてもよい。そして、IGV開度制御部107は、燃焼器31の火炎が安定する燃空比を維持する空気流量を吸入できるような変化速度でIGV14を閉じていく。燃焼器31の火炎の安定のためには、IGV14の開度の低下に要する時間とCSOの低下に要する時間とは一致していること、あるいは、2つの時間の差が所定の許容範囲内であることが望ましい。換言すると、IGV開度制御部107は、燃料流量指令算出部104がCSOを目標値まで低下し終える時刻 t_2 と、IGV14の開度が目標値となる時刻 t_2' との差（時刻 t_1

を遅らせた場合は、その遅延分の遅れがあってもよい）が許容範囲となる時間内に IGV 目標開度を達成できるような変化速度で、IGV 14 の開度を低下させる。つまり、IGV 開度制御部 107 は、燃料流量指令算出部 104 が CSO を目標値まで低下し終える時間と、圧縮機 11 に流入する空気流量が所定の目標流量に低下するまで時間との差が所定の許容範囲内となるように IGV 14 の開度を低下させる。

図 6 を用いて説明した制御により、燃焼器 31 の火炎を正常な状態に保ちつつ、ガスタービン 10 の出力を瞬時（2～5 秒間）に 35% 程度まで降下させることができる。また、出力を低下させた後もその出力での運転を継続することができる。

[0046] 次に図 7、図 8 を参照して、図 6 で説明した制御に係る制御装置の構成例を説明する。

図 7 は、本発明に係る一実施形態における燃料流量指令値の制御例を示す図である。

図 7 に、燃料流量指令算出部 104 による通常制御および瞬時負荷降下制御の制御方法を示す。燃料流量指令算出部 104 は、制御指令値上書き機能付きの PI 制御器 104a と、CSO の低下速度算出機能付きの切替器 104b とを備えている。

（通常制御）

通常制御時は、燃料流量指令算出部 104 は、ガスタービン 10 の目標出力と、実際の出力の偏差を計算する。PI 制御器 104a は、この偏差を 0 にする制御指令値 LDCSO (load limit control signal output) を算出する。燃料流量指令算出部 104 は、負荷に基づく制御指令値である LDCSO 以外にも、ガスタービンの回転速度に基づく制御指令値、排ガス温度に基づく制御指令値、燃焼ガス温度に基づく制御指令値などを算出し、これらの中の最小値を選択して、その値を燃料流量指令値 CSO として設定する。そして、上記のとおり、燃料流量配分算出部 105 が各燃料系統の燃料配分比を算出し、流量調節弁制御部 106 が燃料流量指令値 CSO と配分比に従

ってパイロット流量調節弁 65、トップハット流量調節弁 67、メイン流量調節弁 66の開度を制御する。これにより燃焼器 31 への燃料供給量が制御される。

[0047] (瞬時負荷降下制御)

瞬時負荷降下制御時には、PI 制御で動作させると負荷の急激な降下に制御が追い付かないため切替器 104b を用いて、100% 負荷相当の CSO から 35% 負荷相当の CSO に切り替える。また、PI 制御器 104a からの出力を、35% 負荷相当の CSO にトラッキングさせることで、急激な変化に追従させる。つまり、切替器 104b が、2~5 秒で出力を低下させるための LDCSO を生成し、この LDCSO で PI 制御による LDCSO を上書きする。

まず、入力受付部 101 が、瞬時負荷降下制御中信号を取得すると、燃料流量指令算出部 104 は、瞬時負荷降下制御中信号を切替器 104b に入力する。すると、切替器 104b は、温度計 73 が計測した大気温度と、瞬時負荷降下制御前の CSO と、35% 負荷に相当する大気温度に応じた CSO と、CSO を低下させる時間 (2~5 秒の間の所定時間) とに基づいて、CSO の低下速度を算出する。CSO を低下させる時間や負荷の低下率 (35%) は予め定められている。

[0048] 切替器 104b は、算出した低下速度に基づく所定時間ごとの CSO と瞬時負荷降下制御中信号を、PI 制御器 104a へ出力する。PI 制御器 104a は、瞬時負荷降下制御中信号を取得すると、瞬時負荷降下制御中信号とともに取得した負荷降下に追従する CSO で、PI 制御によって算出した LDCSO を上書きし、上書きした値を LDCSO として出力する。その後の制御については通常制御と同様である。

[0049] 図 7 を用いて説明した制御により、燃料流量指令算出部 104 は、通常制御と、瞬時負荷降下制御を切り替えて実行することができる。瞬時負荷降下制御では、燃料流量指令算出部 104 は、負荷降下中に急激に変化する出力の、その時々出力に応じた燃料流量指令値 CSO を算出する。これにより

、所定時間内（２～５秒以内）にガスタービン１０の出力を定格負荷の３５％程度にまで低下させることができる。

[0050] 図７では、ＬＤＣＳＯによってＣＳＯを大気温度に応じた低下速度で低下する制御例を説明したが、これに限定されない。例えば、通常制御と同様の方法で算出したＣＳＯに対し、大気温度に応じた低下速度を実現するための所定時間ごとの燃料流量指令値ＣＳＯを算出してもよい。

[0051] 図８は、本発明に係る一実施形態におけるＩＧＶ開度の制御例を示す図である。

図８に、ＩＧＶ開度制御部１０７による通常制御および瞬時負荷降下制御のＩＧＶ制御を示す。ＩＧＶ開度制御部１０７は、切替器１０７ａと、ガスタービン１０の出力とＩＧＶ１４の開度の関係を規定した関数１０７ｂと、切替器１０７ｃと、ＩＧＶ１４の開度の変化速度を制御する制御器１０７ｄとを備えている。

（通常制御）

通常制御時は、瞬時負荷降下制御中信号の入力が無い、この場合、切替器１０７ａには、現在のガスタービン１０の出力が入力され、切替器１０７ｃには、通常のＩＧＶ１４の開度変化速度が入力される。通常の開度変化速度とは、例えば４００％／分程度である。関数１０７ｂは、現在のガスタービン１０の出力に応じた目標ＩＧＶ開度を算出し制御器１０７ｄへ出力する。制御器１０７ｄは、目標ＩＧＶ開度と通常の開度変化速度とを取得して、取得したこれらの値と現在のＩＧＶ１４の開度を用いて、現在の開度から目標ＩＧＶ開度まで、通常の開度変化速度でＩＧＶ１４の開度を変化させるためのＩＧＶ開度指令値を算出する。

[0052] （瞬時負荷降下制御）

瞬時負荷降下制御時には、瞬時負荷降下制御中信号が、切替器１０７ａと切替器１０７ｃに入力される。すると、切替器１０７ａには、負荷降下時のガスタービン１０の出力（例えば３５％相当）が入力され、切替器１０７ｃには、瞬時負荷降下用のＩＧＶ１４の開度変化速度が入力される。瞬時負荷

降下用の開度変化速度とは、全開から全閉の切替時間が2～5秒になる速度（750%/分～2000%/分程度）であるが、この範囲にある速度のうち、CSOとほぼ同じ時間をかけてIGV14の開度を目標開度まで低下させることができる速度が予め設定され、この値が入力される。関数107bは、負荷降下時のガスタービン10の出力（35%相当）に応じた目標IGV開度を算出し制御器107dへ出力する。制御器107dは、目標IGV開度と瞬時負荷降下用の開度変化速度とを取得して、取得したこれらの値と現在のIGV14の開度を用いて、現在の開度から目標IGV開度まで、瞬時負荷降下用の開度変化速度でIGV14の開度を変化させることができるIGV開度指令値を算出する。

[0053] 図8を用いて説明した制御により、IGV開度制御部107は、通常制御と、瞬時負荷降下制御を切り替えて実行することができる。瞬時負荷降下制御では、IGV開度制御部107は、燃料流量指令算出部104によるCSOの低下と同期するようにIGV開度を低下させる。これにより、急速に負荷を降下させる状況でも燃空比を適切な範囲に維持し、燃焼器31における失火等を防ぐことができる。IGV開度制御部107は、IGV14の開度変化速度を大気温度に応じて変更してもよい。

[0054] 次に瞬時負荷降下制御におけるパイロット流量調節弁65とトップハット流量調節弁67の制御について説明する。

後述するように、パイロット流量調節弁65とトップハット流量調節弁67の制御については、通常制御、瞬時負荷降下制御に加え、異常燃焼を伴う場合の瞬時負荷降下制御が加わる。従来は、異常燃焼が生じたときには機器保護の観点から負荷を切り離す負荷遮断を行うことが多い。しかし、負荷遮断を行うと発電機会の逸失が生じる。そこで、本実施形態では、負荷遮断の代わりに瞬時負荷降下制御によって機器保護を図る制御方法を提供する。これが、異常燃焼を伴う場合の瞬時負荷降下制御である。異常燃焼が生じている場合、異常燃焼が長時間継続するとノズル焼損などの機器破損が生じるため、異常燃焼の検知から4秒程度で35%程度に負荷降下させるとともに、

負荷降下が完了したタイミングでトップハットノズル51からの燃料の供給を遮断する制御を行う。パイロット火炎を保持できずに吹き消えてしまう失火現象を回避するため、トップハットノズル51からの燃料供給遮断と同時にパイロットノズル44へ供給する燃料を一時的に増大させる制御を行う。

[0055] 図9は、本発明に係る一実施形態における燃料ノズルの制御例を示す第1の図である。

図9に、燃料流量配分算出部105、流量調節弁制御部106による通常制御および瞬時負荷降下制御におけるトップハットノズル51からの燃料供給量の算出処理を示す。

燃料流量配分算出部105は、燃焼負荷指令値 $CLCSO$ とトップハットノズル51への燃料の配分比（ TH 比率）の関係を規定する関数105aと、切替器105bとを備える。流量調節弁制御部106は、トップハット流量調節弁67の開度を算出する弁開度演算部106aを備えている。

[0056] （通常制御）

まず、燃料流量配分算出部105は、タービン21のタービン出力、 IGV 開度、大気温度に基づいて、燃焼負荷指令値 $CLCSO$ を算出する。燃焼負荷指令値 $CLCSO$ とは、タービン21のタービン入口温度と正の相関性を持つパラメータである。次に関数105aは、燃焼負荷指令値 $CLCSO$ に対する TH 比率を算出する。次に燃料流量配分算出部105は、燃料流量指令値 CSO と TH 比率を乗じてトップハット系統への燃料流量指令値を算出する。

流量調節弁制御部106では、弁開度演算部106aが、トップハット系統への燃料流量指令値と、トップハット流量調節弁67の入口圧力および出口圧力と、燃料密度と燃料温度とに基づいて、トップハット流量調節弁67への弁開度指令値を算出する。

[0057] （瞬時負荷降下制御）

瞬時負荷降下制御時には、関数105aが算出した TH 比率に弁開度調整用のバイアス $h1$ を加算する。バイアス $h1$ は、急激な負荷変動中に生じが

ちな燃焼振動へ対応するために必要な所定の補正量である。燃焼振動へ対応するための補正量（バイアス h_1 ）については、後にパイロット流量調節弁65の制御とともに説明する。以降の処理は、通常制御と同様である。

[0058] （異常燃焼を伴う場合の瞬時負荷降下制御）

瞬時負荷降下制御時に異常燃焼が生じている場合、CSOが所定の目標値（例えば、出力35%相当に対応するCSO）に低下するまでは、上記の「瞬時負荷降下制御」の制御を行う。CSOが所定の目標値に到達すると、燃料流量指令算出部104が、CSOが所定の目標値へ到達したことを示す信号を生成し、燃料流量配分算出部105へ出力する。燃料流量配分算出部105では、CSOが所定の目標値へ到達したことを示す信号（図中「CSOが35%負荷相当に到達」）が切替器105bに入力される。すると、切替器105bは、TH比率0%を出力する。燃料流量配分算出部105は、トップハット系統への燃料流量指令値0を流量調節弁制御部106へ出力する。すると、流量調節弁制御部106が算出するトップハット流量調節弁67への弁開度指令値は0%となり、トップハット流量調節弁67が閉じられる。これにより、トップハットノズル51からの燃料の供給が遮断される。このように異常燃焼が生じたときに瞬時負荷降下制御によってCSOが所定の目標値まで低下すると、ノズル焼損などを防ぐために燃料流量配分算出部105は、TH比率に0%を設定する。すると、燃料流量配分算出部105は、燃料流量指令値CSOに対する配分比を、残りのパイロット系統とメイン系統とに再配分する処理を行う。次にパイロット流量調節弁65の制御について説明する。

[0059] 図10は、本発明に係る一実施形態における燃料ノズルの制御例を示す第2の図である。

図10に、燃料流量配分算出部105、流量調節弁制御部106による通常制御および瞬時負荷降下制御におけるパイロットノズル44からの燃料供給量の算出処理を示す。

燃料流量配分算出部105は、燃焼負荷指令値CLCSOとパイロットノ

ズル44への燃料の配分比（PLB比率）の関係を規定する関数105cおよび関数105eと、切替器105dとを備える。関数105cは通常時、つまりTH比率が0%ではないときの関数、関数105eは、異常燃焼が生じたときにTH比率を0%とした後に残りのパイロット系統およびメイン系統への配分比を算出するために用いる関数である。流量調節弁制御部106は、パイロット流量調節弁65の開度を算出する弁開度演算部106bを備えている。

[0060] （通常制御）

まず、燃料流量配分算出部105は、タービン出力、IGV開度、大気温度に基づいて、燃焼負荷指令値CLCSOを算出する。次に関数105cは、燃焼負荷指令値CLCSOに対するPLB比率を算出する。切替器105dは、このPLB比率を出力する。次に燃料流量配分算出部105は、燃料流量指令値CSOとPLB比率を乗じてパイロット系統への燃料流量指令値を算出する。

流量調節弁制御部106では、弁開度演算部106bが、パイロット系統への燃料流量指令値と、パイロット流量調節弁65の入口圧力および出口圧力と、燃料密度と燃料温度とに基づいて、パイロット流量調節弁65への弁開度指令値を算出する。

[0061] （瞬時負荷降下制御）

瞬時負荷降下制御時には、通常制御と同様にして関数105cが算出したPLB比率に、燃焼振動への対応として、弁開度調整用のバイアス値h2を加算する。以降の処理は、通常制御と同様である。

[0062] （異常燃焼を伴う場合の瞬時負荷降下制御）

瞬時負荷降下制御時に異常燃焼が生じている場合、CSOが所定の目標値（例えば、出力35%相当に対応するCSO）に低下するまでは、上記の「瞬時負荷降下制御」の制御を行う。CSOが所定の目標値に到達すると、CSOが所定の目標値へ到達したことを示す信号（図中「CSOが35%負荷相当に到達」）が、燃料流量配分算出部105に入力される。すると、燃料流

量配分算出部 105 は、PLB 比率の算出に用いる関数を関数 105c から関数 105e へ切り替える。関数 105e は、CLCSO に対する PLB 比率を算出する。次に燃料流量配分算出部 105 は、PLB 比率にトップハット系統遮断に対応するための弁開度調整用のバイアス h3 を加算して PLB 比率を算出する。切替器 105d は、バイアス h3 を加算した後の PLB 比率を出力する。次に燃料流量配分算出部 105 は、燃料流量指令値 CSO と PLB 比率を乗じてパイロット系統への燃料流量指令値を算出する。

流量調節弁制御部 106 は、通常制御と同様にしてパイロット流量調節弁 65 に対する弁開度指令値を算出する。

[0063] ここで、パイロット系統に関する弁開度調整用のバイアス h2 およびバイアス h3 について説明する。

(燃焼振動に対する補正)

図 11 は、負荷変化時における燃料供給配分比と CLCSO の関係の一例を示す図である。

図 11 の縦軸は PLB 比率、横軸は CLCSO を示す。図 11 に PLB 比率と CLCSO と燃焼振動の関係を示す。領域 A4、領域 A5 は燃焼振動が発生する領域である。グラフ A1 は、燃焼振動が発生しない PLB 比率と CLCSO の関係を示す運転ラインを示している。グラフ A2 は、負荷を上げたとき (CLCSO が上昇する) の運転ラインの一例であり、運転ライン A3 は、負荷を下げたときの運転ラインの一例である。どちらの場合も、燃焼振動が発生する可能性がある。燃料流量配分算出部 105 は、グラフ A1 に示すような、燃焼振動発生領域を回避できる PLB 比率を算出する必要があるが、瞬時負荷降下制御においては、グラフ A3 のような運転ラインとなり易い。

[0064] ガスタービン 10 の出力が変動すると、それに伴いタービン 21 の入口温度、つまり CLCSO の値も変化する。燃料流量配分算出部 105 は、タービン 21 の入口温度をガスタービン 10 の出力に基づいて算出するが、負荷変動が急激な場合、ある時点で CLCSO (タービン入口温度) と PLB 比

率の関係が燃焼振動が生じない関係（例えばグラフ A 1 上の点）であったとしても実際には、燃焼振動発生領域に含まれるような関係となってしまうことがある。例えば、燃料流量配分算出部 105 が CLCSO に基づいて PLB 比率等の配分比を算出してから、実際に各燃料系統の弁開度を作動させ、各燃料系統から供給される燃料流量が算出した配分比どおりになるまでには、弁動作遅れ、各燃料系統の流量調整弁（トップハット流量調節弁 67）とノズルまでの配管系統の容量の影響などによる圧力応答遅れ、燃料流量の変動による燃焼遅れなどによって時間がかかる。一方、CLCSO（タービン入口温度）は、ガスタービン 10 の出力に基づいて算出されるが、瞬時負荷制御中のガスタービン 10 の出力は、燃料流量指令算出部 104 による上記制御により急激に降下する。するとそれに伴い、CLCSO も低下する。すると、ある時刻で CLCSO の値が「CLCSO1」であることに基づいて算出した PLB 比率「PLB1」は、実際にその比率に基づく燃料流量供給が実現される時刻における CLCSO の値「CLCSO2」との関係では燃焼振動発生領域に含まれる関係となってしまう。そこで、瞬時負荷制御中は、バイアス h2 を加算して、PLB 比率と CLCSO（タービン入口温度）の関係が、燃焼振動が生じる可能性が高い関係となることを回避するように補正する。図 9 を用いて説明したように燃料流量配分算出部 105 は、TH 比率についても、バイアス h1 を加算して、TH 比率と CLCSO の関係が、燃焼振動が生じる可能性が高い関係となることを回避するように補正する。

[0065] （トップハット遮断に対する補正）

異常燃焼を伴う場合の瞬時負荷降下制御において、CSO が目標値に到達したときには、トップハットノズル 51 からの燃料の供給が遮断される。上記のとおり、トップハット遮断と同時にパイロット系統とメイン系統の間で配分比を再設定する処理を行うが、実際に再設定後の配分比となるまでには、弁動作遅れ、圧力応答遅れ、燃焼遅れ等の影響により時間がかかり、それまでの間は、トップハット系統遮断の影響で一時的にパイロット系統に供給

される燃料が減少する。すると、パイロット系統の火炎が保持できずに失火するおそれがある。そこで、失火を回避するため、パイロットノズル44へ供給する燃料を一時的に増大させる弁開度調整用のバイアス h_3 を加算する補正を行う。

[0066] 次に本実施形態の瞬時負荷降下制御の処理の流れについて説明する。

図12は、本発明に係る一実施形態における制御の一例を示すフローチャートである。

まず、燃料流量指令算出部104およびIGV開度制御部107が瞬時負荷降下制御を実行するか否かを判定する（ステップS11）。たとえば、入力受付部101が瞬時負荷降下制御中信号を取得したり、異常検知部103が異常燃焼を検知したりすると、燃料流量指令算出部104等は、瞬時負荷降下制御を実行すると判定する。それ以外の場合、燃料流量指令算出部104は、通常制御によるCSO算出を行う（ステップS11；No）。具体的には、図7を用いて説明したように燃料流量指令算出部104は、ガスタービン10の目標出力と実出力に基づくフィードバック制御を行ってLD CSOを算出する等の制御により燃料流量指令値CSOを算出する（ステップS12）。次に燃料流量配分算出部105がCSOに基づいて、トップハット系統、パイロット系統、メイン系統への燃料配分比を算出し、流量調節弁制御部106がそれぞれの配分比に基づいて、パイロット流量調節弁65、メイン流量調節弁66、トップハット流量調節弁67の弁開度制御を行う（ステップS13）。ステップS12、13と並行して、IGV開度制御部107は通常制御によるIGV開度の算出を行い（ステップS14）、IGV14の開度を通常の変化速度で変化させる制御を行う（ステップS15）。ステップS14、ステップS15の処理については図8を用いて説明したとおりである。

[0067] 一方、瞬時負荷降下制御を実行する場合と判定した場合（ステップS11；Yes）、燃料流量指令算出部104は、瞬時負荷降下制御によるCSO算出を行う（ステップS16）。具体的には、図6、図7を用いて説明した

ように、燃料流量指令算出部 104 は、大気見合いの CSO 低下速度を算出し、その低下速度に応じた CSO を出力する。次に燃料流量配分算出部 105 および流量調節弁制御部 106 が、瞬時負荷降下制御による弁開度制御を行う（ステップ S17）。具体的には、通常制御と同様に燃料流量配分算出部 105 が、トップハット系統、パイロット系統、メイン系統への燃料配分比を算出する。このとき、燃料流量配分算出部 105 は、図 9、図 10 を用いて説明したように TH 比率にバイアス h1 を加算し、PLB 比率にバイアス h2 を加算する。流量調節弁制御部 106 は、パイロット流量調節弁 65、メイン流量調節弁 66、トップハット流量調節弁 67 の弁開度制御を行う。

[0068] ステップ S16、ステップ S17 と並行して、IGV 開度制御部 107 は瞬時負荷降下制御による IGV 開度の算出を行い（ステップ S18）、IGV 14 の開度を瞬時負荷降下制御時の変化速度で変化させる制御を行う（ステップ S19）。ステップ S18、ステップ S19 の処理については図 8 を用いて説明したとおりである。IGV 開度制御部 107 は、燃料流量指令算出部 104 による瞬時負荷降下制御用 CSO の出力とほぼ同時刻に IGV 開度制御を開始する。IGV 開度制御部 107 は、CSO が目標値まで低下する時間と同程度の時間（2～5 秒）をかけて IGV 14 の開度を目標開度まで閉じる。

[0069] ステップ S16 およびステップ S17 の処理によって、CSO が所定の目標値に低下すると、燃料流量指令算出部 104 は CSO が所定の目標値へ到達したことを示す信号を、燃料流量配分算出部 105 へ出力する。燃料流量配分算出部 105 が、CSO が所定の目標値まで低下したことを示す信号を取得する。

すると、燃料流量配分算出部 105 は、瞬時負荷降下制御開始時または現在、異常検知部 103 によって異常燃焼の発生が検出されているか否かを判定する（ステップ S20）。異常燃焼が生じている場合（ステップ S20；Yes）、燃料流量配分算出部 105 は、TH 比率に 0% を設定し、PLB

比率を更新する。燃料流量配分算出部 105 は、PLB 比率にバイアス h3 を加算する。流量調節弁制御部 106 は、トップハットノズル 51 からの燃料供給を遮断し（ステップ S21）、パイロットノズル 44 およびメインノズル 54 からの燃料供給量を新たな配分比に基づいて調整する。異常燃焼が生じていない場合（ステップ S20 ; No）、ステップ S21 の処理は実行しない。

[0070] 図 13 に本実施形態の瞬時負荷降下制御における制御値とガスタービン 10 の状態量の経時的变化を示す。図 13 は、本発明に係る一実施形態における制御を実行したときの制御値及び状態量のタイミングチャートである。

図 13 の左側の上から順に瞬時負荷降下制御中信号の有無、CSO、IGV 14 の開度、パイロット流量調節弁 65 の開度、トップハット流量調節弁 67 の開度の各制御値についてのタイミングチャートを示す。これまでに説明したように、制御装置 100 は、瞬時負荷降下制御の開始から 2～5 秒の間の所定時間に CSO と IGV 開度を、瞬時負荷降下後の出力に応じた目標値と目標開度に低下させる。負荷低下後にトップハット流量調節弁 67 の開度を 0 とし、一方、パイロット流量調節弁 65 の開度を 10 秒程度増加させる。これらの制御により、右側の各タイミングチャートに示す状態量が得られる。

[0071] 図 13 の右側の上から順にガスタービン出力、車室圧力、パイロット火炎温度の各状態量についてのタイミングチャートを示す。CSO および IGV 開度の低下に伴いガスタービン出力が低下し、車室圧力も徐々に低下する。その結果、パイロット火炎温度は、閾値 SH1 に到達し失火を免れる。図 13 の右側の一番下に IGV 開度と車室圧力の比を示す。IGV 開度と車室圧力の比（グラフ PS）は、サージ領域 SH2 に抵触することなく圧縮機 11 のサージを回避することができる。

[0072] 上記のとおり、燃空比が所定範囲から乖離すると環境性能悪化もしくは失火のリスクが高まる。その為、瞬時負荷降下制御では、CSO 及び IGV 開度の低下時間を概ね一致させる。低下時間が長すぎると異常燃焼の時間が長

時間化してノズル焼損などの機器破損に繋がる。一方、低下時間が短すぎると圧縮機 11 にサージが発生し機器破損に繋がる。比較のため、CSO および IGV 開度をさらに高速に低下させた場合の IGV 開度と車室圧力の比を示す（グラフ PL）。この場合、IGV 開度が急激に低下するのに対し、車室圧力の低下には時間を要する。その結果、IGV 開度と車室圧力の比はグラフ PL のような推移となり、サージ領域 SH2 に抵触する。その結果、圧縮機 11 のサージが発生する可能性が増大する。これら制御値と状態量の関係から、CSO 及び IGV 開度の低下は 2～5 秒程度で行うと良く、負荷降下時の程度については、定格負荷の 35% 程度が最も異常燃焼の回避や安定燃焼に適していることが確認されている。

[0073] 次に本実施形態の瞬時負荷降下制御による効果を説明する。

図 14 は、本発明に係る一実施形態における制御による効果を説明する図である。従来であれば、異常燃焼を検知した場合、機器保護のために負荷遮断を行っている（破線のグラフ）。負荷遮断を行うと、発電事業者は、時刻 t_a から t_b までの間、発電機会を逸失する。これに対し、負荷遮断の代わりに瞬時負荷降下制御を行う。すると、ガスタービン 10 の負荷を瞬時に降下させつつ安定して運転を継続することが可能となる。これにより、ガスタービン 10 の運転停止を回避し（実線のグラフ）、プラント稼働率を向上して発電機会の逸失を回避することができる。

[0074] 図 15 は、本発明の一実施形態における制御装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

コンピュータ 900 は、CPU 901、主記憶装置 902、補助記憶装置 903、入出力インタフェース 904、通信インタフェース 905 を備える例えば PC (Personal Computer) やサーバ端末装置である。上述の制御装置 100 は、コンピュータ 900 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 903 に記憶されている。CPU 901 は、プログラムを補助記憶装置 903 から読み出して主記憶装置 902 に展開し、当該プログラムに従って上記処理を実行する。CPU 901 は

、プログラムに従って、記憶部１０８に対応する記憶領域を主記憶装置９０２に確保する。ＣＰＵ９０１は、プログラムに従って、処理中のデータを記憶する記憶領域を補助記憶装置９０３に確保する。

[0075] 少なくとも１つの実施形態において、補助記憶装置９０３は、一時的でない有形の媒体の一例である。一時的でない有形の媒体の他の例としては、入出力インタフェース９０４を介して接続される磁気ディスク、光磁気ディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、半導体メモリ等が挙げられる。このプログラムが通信回線によってコンピュータ９００に配信される場合、配信を受けたコンピュータ９００が当該プログラムを主記憶装置９０２に展開し、上記処理を実行しても良い。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良い。さらに、当該プログラムは、前述した機能を補助記憶装置９０３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）であっても良い。

[0076] 入力受付部１０１、センサ情報取得部１０２、異常検知部１０３、燃料流量指令算出部１０４、燃料流量配分算出部１０５、流量調節弁制御部１０６、ＩＧＶ開度制御部１０７の全て又は一部は、マイコン、ＬＳＩ（Large Scale Integration）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＰＬＤ（Programmable Logic Device）、ＦＰＧＡ（Field-Programmable Gate Array）等のハードウェアを用いて実現されてもよい。

[0077] その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施の形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。この発明の技術範囲は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

燃料流量配分算出部１０５は、燃料配分制御部、第２燃料配分制御部の一例である。ＩＧＶ開度制御部１０７は、空気吸入流量制御部の一例である。２～５秒の範囲での所定時間は第１時間および第２時間の一例である。トップハットノズル５１は第１ノズルの一例、パイロットノズル４４は第２ノズル

ルの一例である。

産業上の利用可能性

[0078] 上記した制御装置、ガスタービン、制御方法及びプログラムによれば、圧縮機のサージや燃焼器における失火を防ぎつつ急速に負荷を低下させ、ガスタービンの運転を継続することができる。

符号の説明

[0079] 10 ガスタービン、11 圧縮機、14 IGV、21 タービン、31 燃焼器、33 燃焼筒（又は尾筒）、43 パイロットバーナ、43a パイロットスワラ、44 パイロットノズル、51 トップハットノズル、53 メインバーナ、54 メインノズル、60 燃料ライン、61 パイロット燃料ライン、62 メイン燃料ライン、63 トップハット燃料ライン、65 パイロット流量調節弁、66 メイン流量調節弁、67 トップハット流量調節弁、71 回転数計、72 出力計、73 温度計、74 圧力計、75 温度計、76 温度計、100 制御装置、101 入力受付部、102 センサ情報取得部、103 異常検知部、104 燃料流量指令算出部、104a PI制御器、104b 切替器、105 燃料流量配分算出部、105b、105d 切替器、105a、105c、105e 関数、106 流量調節弁制御部、107 IGV開度制御部、107a、107c 切替器、107b 関数、107d 制御器、108 記憶部、900 コンピュータ、901 CPU、902 主記憶装置、903 補助記憶装置、904 入出力インタフェース、905 通信インタフェース

請求の範囲

- [請求項1] ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第1時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行する燃料流量指令算出部と、
- 前記燃料流量指令算出部による前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行う空気吸入流量制御部と、
- を備える制御装置。
- [請求項2] 前記負荷降下制御を選択した場合、燃料流量指令算出部は、前記燃料流量指令値を前記目標出力に相当する値へ低下させるまでの低下速度を、大気温度に応じて変更する、
- 請求項1に記載の制御装置。
- [請求項3] 前記負荷降下制御が選択された場合に、前記燃料流量指令値を前記目標出力に相当する値へ低下させるまでの第1時間と、前記圧縮機に流入する空気流量を所定の目標流量に低下させるまでの第2時間との差が所定の値以下である、
- 請求項1に記載の制御装置。
- [請求項4] 前記第1時間および第2時間が、2秒以上5秒以下の範囲である、
- 請求項1から請求項3の何れか1つに記載の制御装置。
- [請求項5] 前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの出力の低下速度が、100%毎分より高速である、
- 請求項1から請求項4の何れか1つに記載の制御装置。
- [請求項6] 前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの出力の低下速度が、800%毎分以上、2000%毎分以下である、
- 請求項1から請求項4の何れか1つに記載の制御装置。
- [請求項7] 前記負荷降下制御が選択された場合の前記ガスタービンの前記目標

出力が、前記ガスタービンの定格出力の30%以上40%以下である、

請求項1から請求項6の何れか1つに記載の制御装置。

[請求項8] 前記負荷降下制御時に前記ガスタービンの燃焼器で異常燃焼が発生している場合、前記燃料流量指令値が、前記目標出力に相当する値に到達するタイミングで、前記燃焼器に設けられた複数のノズルのうち、最も上流側に設けられた第1ノズルからの燃料供給を停止する停止制御と、前記第1ノズルを除く他の前記ノズルの間での燃料供給配分比を、前記停止制御後の配分比に切り替える配分切換制御とを実行する燃料配分制御部、

をさらに備える請求項1から請求項7の何れか1つに記載の制御装置。

[請求項9] 前記燃料配分制御部は、前記第1ノズルを除く他の前記ノズルのうち、前記燃焼器で形成される予混合火炎を保炎する予混火炎を形成するための前記ノズルの前記燃料供給配分比について、前記第1ノズルからの燃料供給の停止による一時的な燃料供給量の減少を補う補正を行う、

請求項8に記載の制御装置。

[請求項10] 前記ガスタービンの燃焼器に設けられた複数のノズルのうち、燃焼振動に関係する第2ノズルに対する燃料配分比について、前記負荷降下制御時の一の時刻における負荷に応じた燃焼負荷指令値と、前記一の時刻における前記第2ノズルの前記燃料配分比との関係が、燃焼振動が生じる可能性が高い関係となることを回避するような補正を前記第2ノズルの前記燃料配分比に対して行う第2燃料配分制御部、

をさらに備える請求項1から請求項9の何れか1項に記載の制御装置。

[請求項11] 圧縮機と、
燃焼器と、

タービンと、

請求項 1 から請求項 10 の何れか 1 つに記載の制御装置と、

を備えるガスタービン。

[請求項12]

ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第 1 時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行するステップと、

前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行うステップと、

を有する制御方法。

[請求項13]

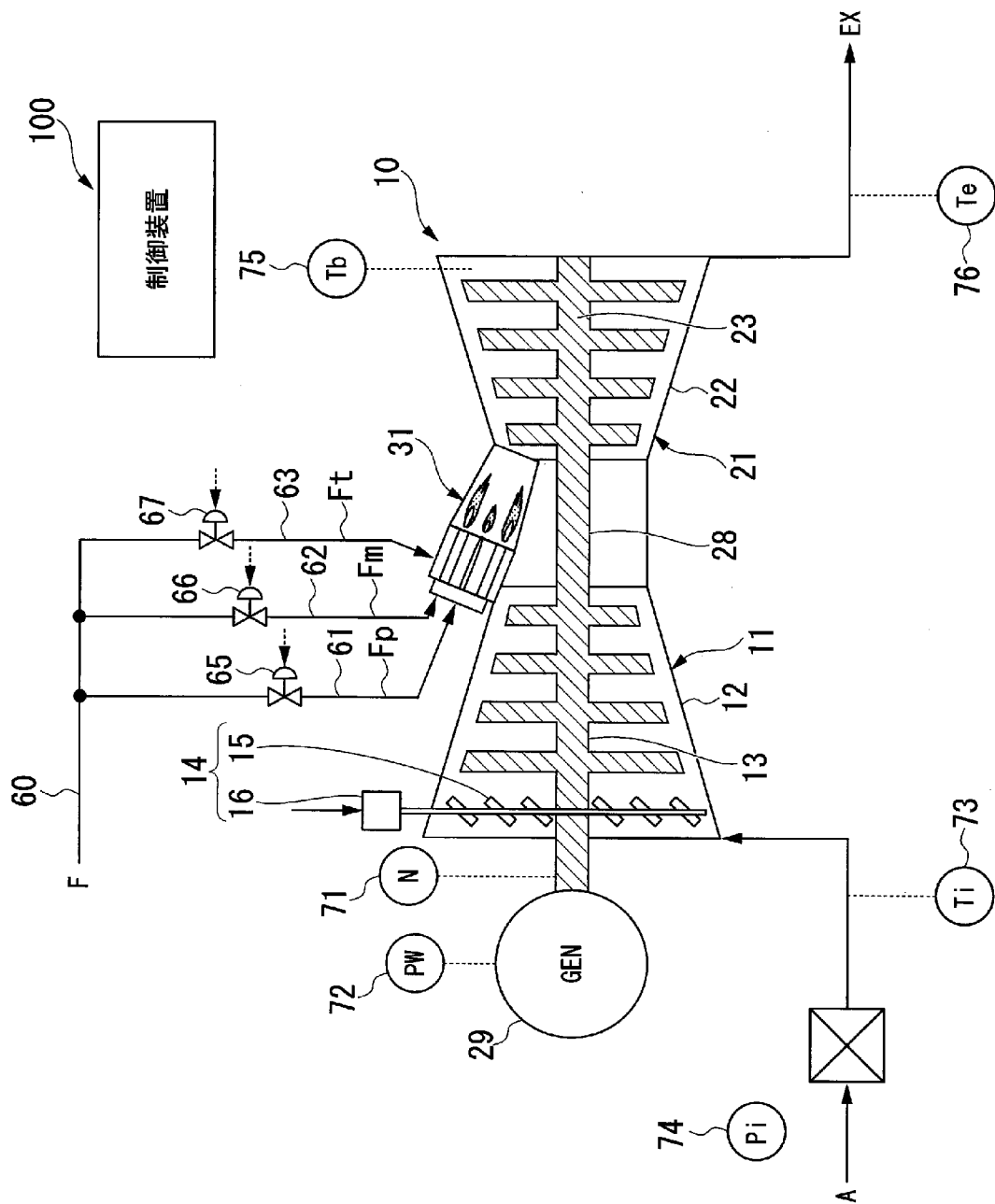
コンピュータを、

ガスタービンの目標出力と実際の出力との偏差に基づくフィードバック制御により燃料流量指令値を算出する通常制御と、フィードバック制御を行うことなく前記ガスタービンの出力を所定の第 1 時間で所定の目標出力まで低下させるような前記燃料流量指令値を算出する負荷降下制御との何れかを選択して実行する手段、

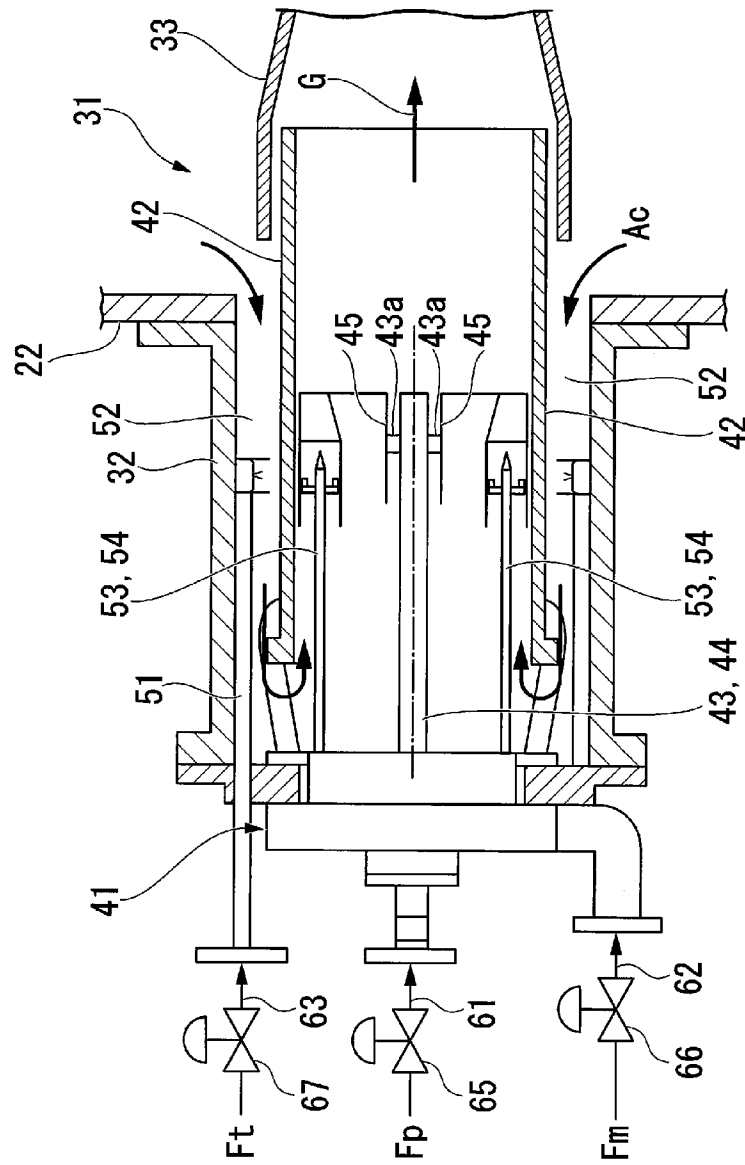
前記負荷降下制御の実行と並行して、燃空比が所定範囲に収まるように前記ガスタービンの圧縮機に流入する空気流量を低下させる制御を行う手段、

として機能させるためのプログラム。

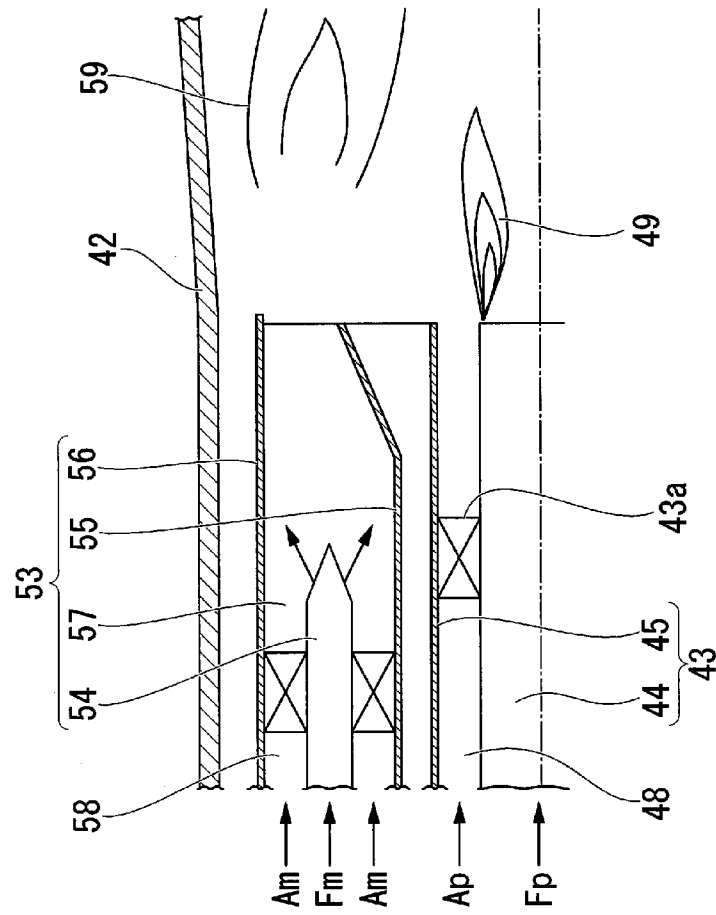
[図1]



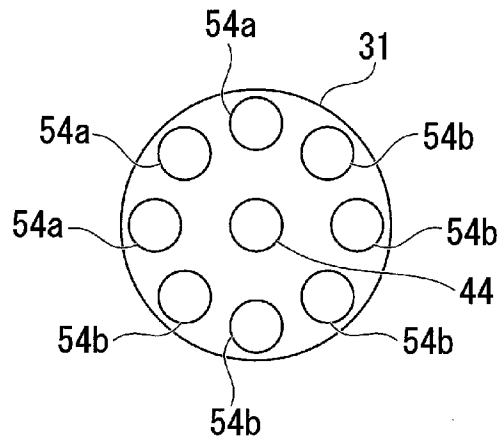
[図2]



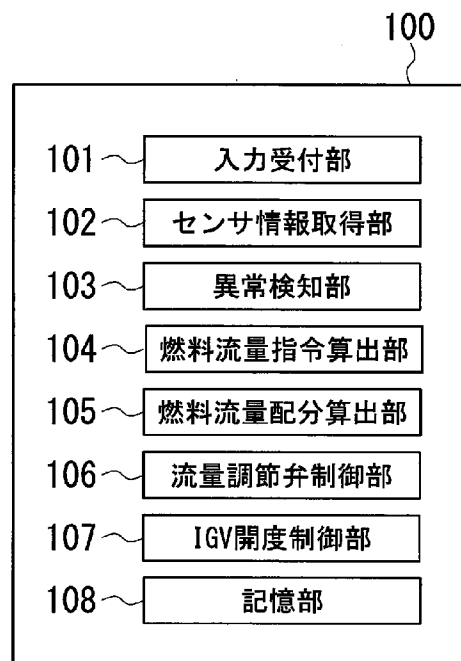
[図3]



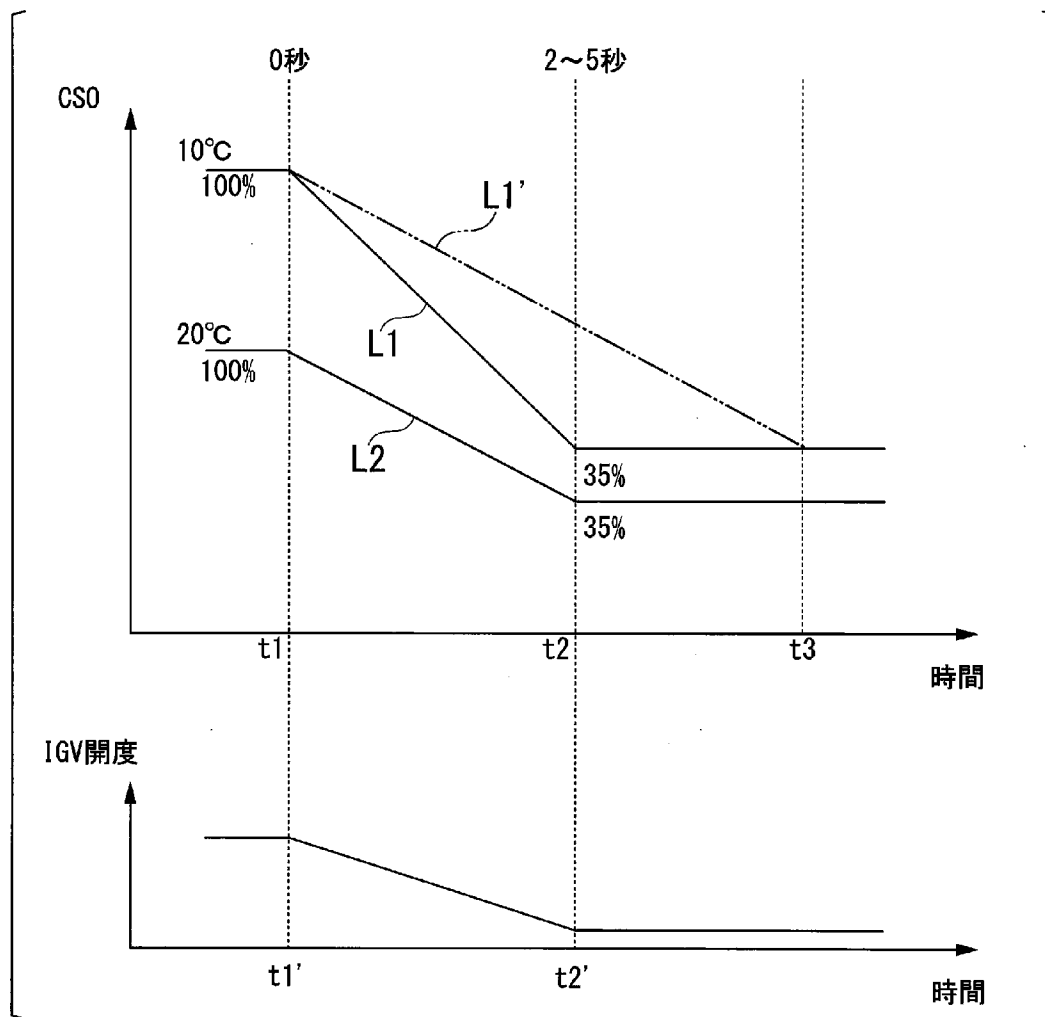
[図4]



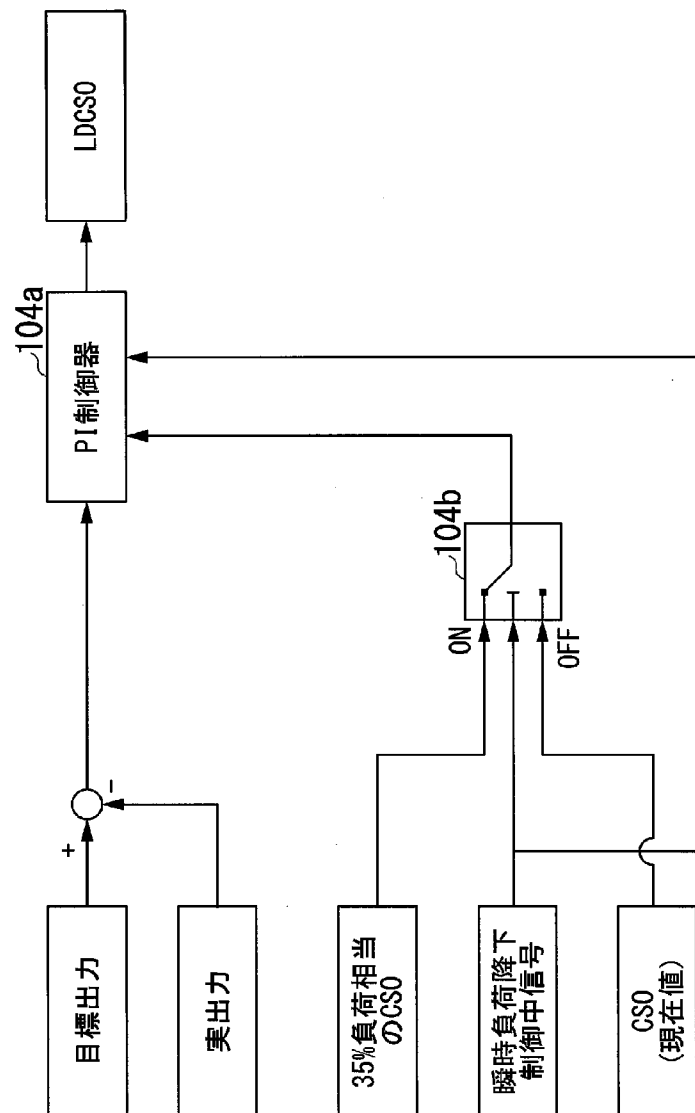
[図5]



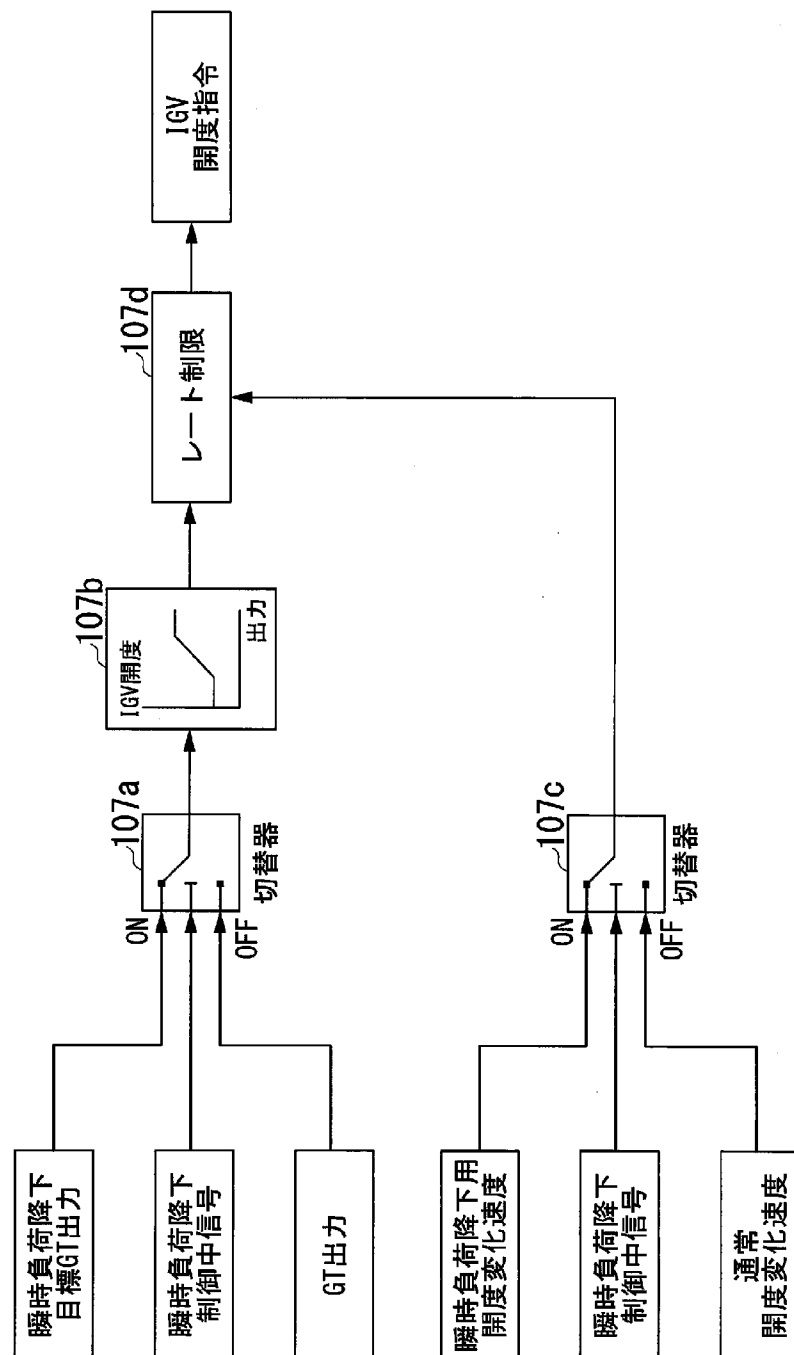
[図6]



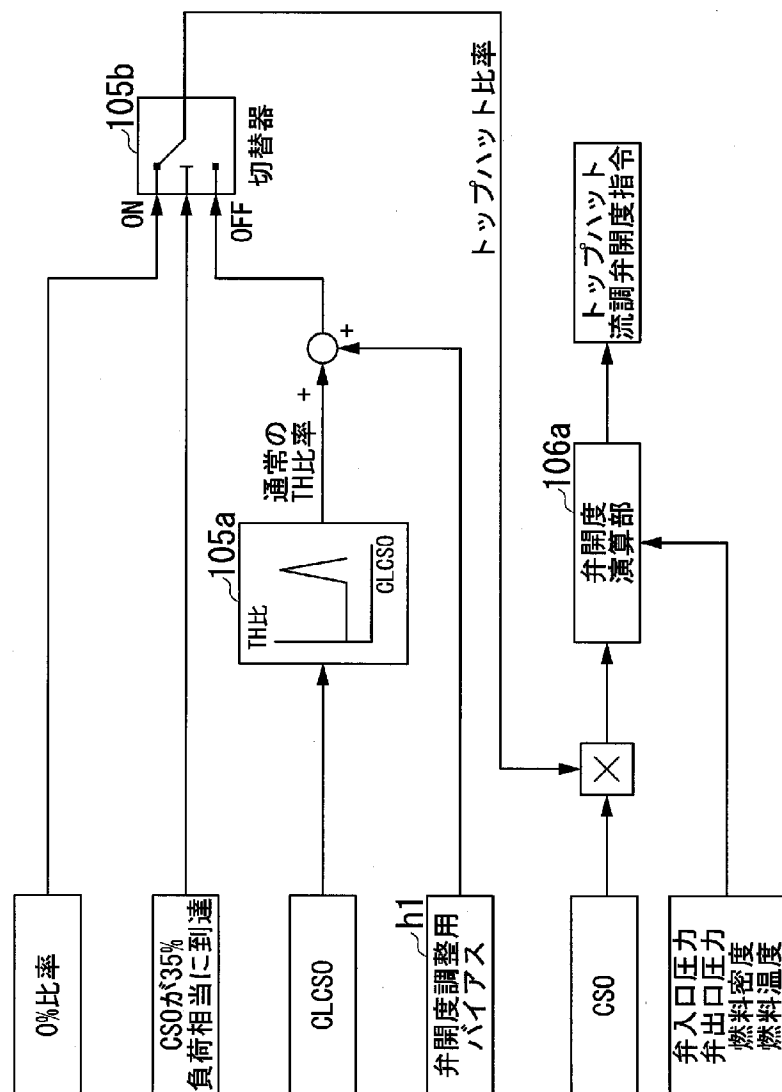
[図7]



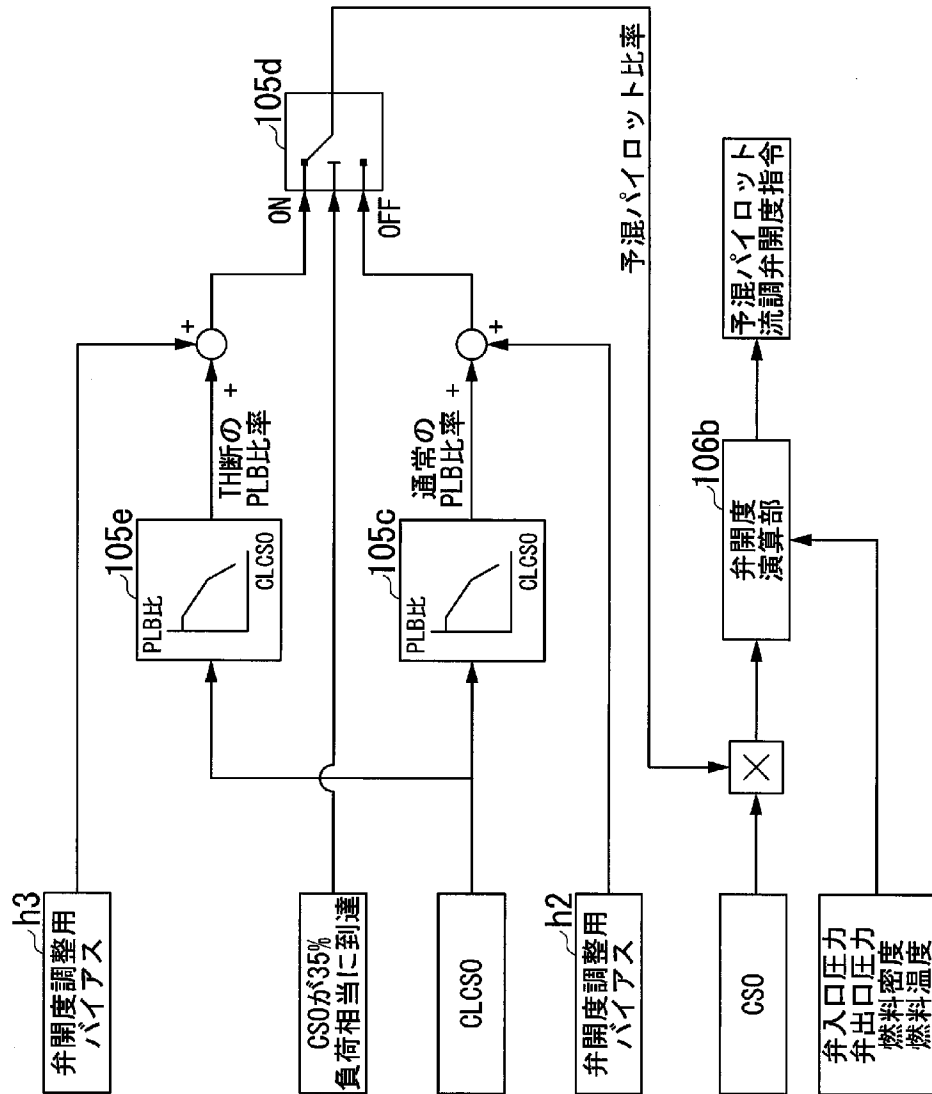
[図8]



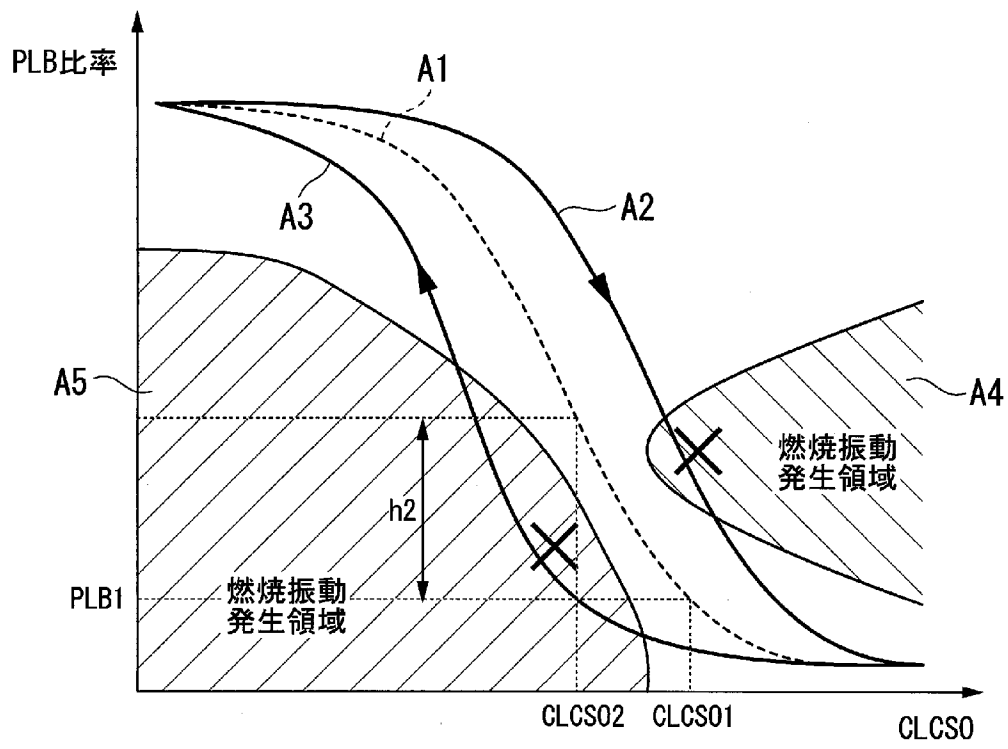
[図9]



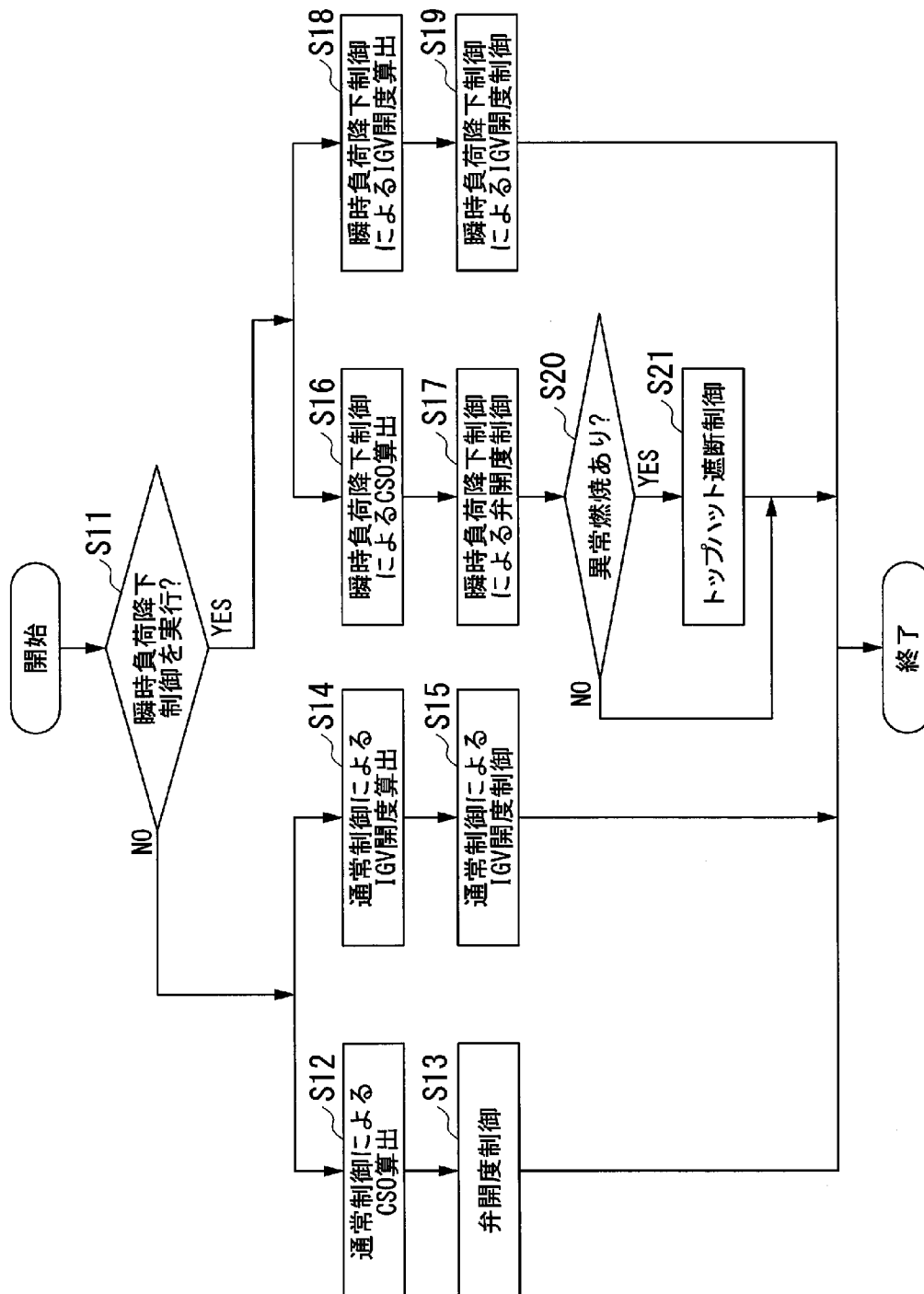
[図10]



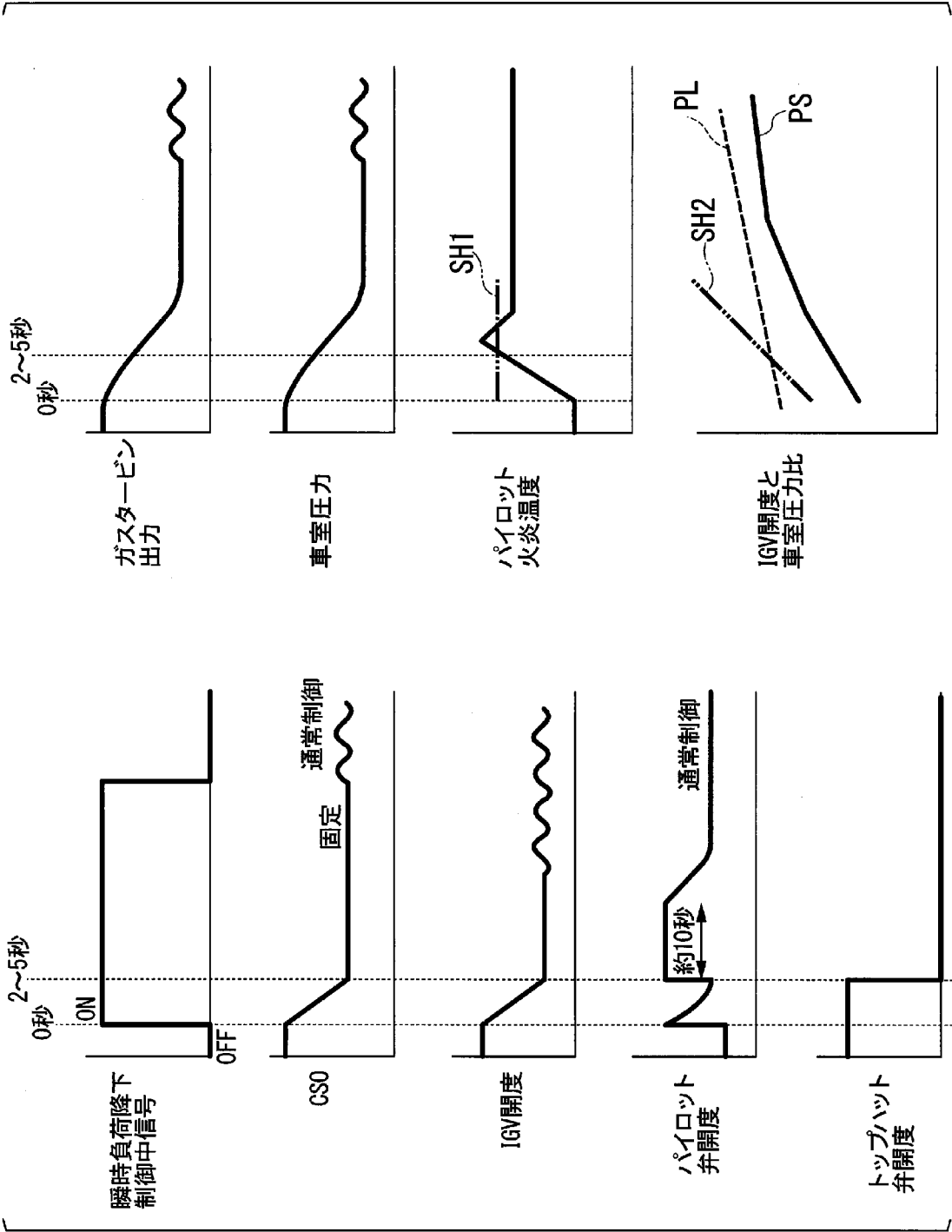
[図11]



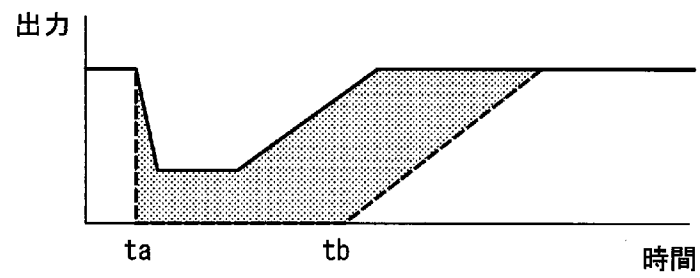
[図12]



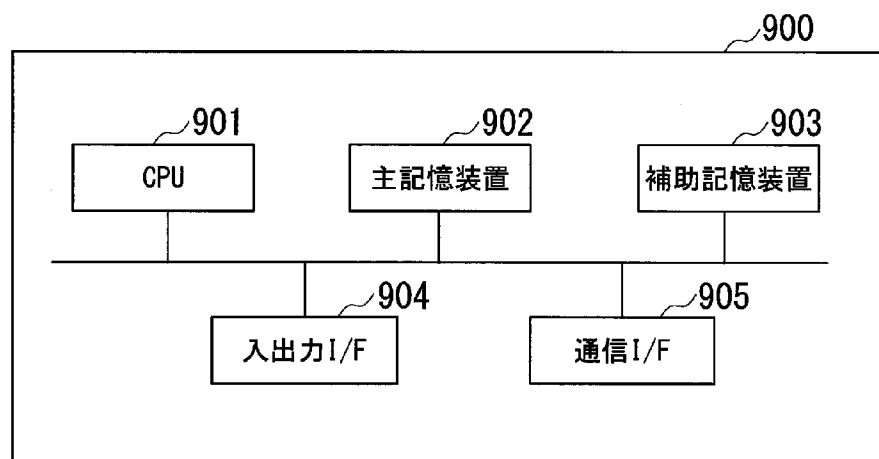
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/044184

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F02C9/54 (2006.01) i, F02C9/46 (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. F02C9/26-9/58

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
Y	JP 2013-96303 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 20 May 2013, paragraphs [0014], [0024]-[0065], fig. 1-13 (Family: none)	1-13
Y	JP 2013-113201 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 10 June 2013, paragraphs [0012]-[0013], [0034]-[0092], fig. 1-10 & US 2014/0230449 A1, paragraphs [0015]-[0016], [0047]-[0118], fig. 1-10 & WO 2013/080894 A1 & EP 2752568 A1 & KR 10-2014-0071385 A & CN 103946516 A	1-13
Y	JP 2016-70063 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 09 May 2016, claim 4, paragraphs [0048]-[0063], fig. 6-7 (Family: none)	1-13



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
12 February 2019 (12.02.2019)

Date of mailing of the international search report
26 February 2019 (26.02.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/044184

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-78670 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 23 April 2015, claim 4, paragraphs [0017]-[0024], [0038]-[0046], fig. 1-4, 14-17 (Family: none)	1-13
Y	JP 2016-37883 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 22 March 2016, paragraphs [0027]-[0108], fig. 1-4, 14-15 & US 2017/0292458 A1, paragraphs [0045]-[0168], fig. 1-4, 14-15 & WO 2016/021390 A1 & KR 10-2017-0007424 A & CN 106460678 A	8-10
Y	JP 2016-37882 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 22 March 2016, paragraphs [0030]-[0096], fig. 1-4, 12, 14 & US 2018/0209352 A1, paragraphs [0046]-[0157], fig. 1-4, 12, 14 & WO 2016/021298 A1 & KR 10-2017-0018955 A & CN 106536898 A	8-10
A	JP 2015-161176 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 07 September 2015, entire text, all drawings & US 2016/0326967 A1, entire text, all drawings & WO 2015/129498 A1 & CN 105849389 A & KR 10-2016-0091412 A	1-13
A	JP 2014-159786 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 04 September 2014, entire text, all drawings & US 2015/0354467 A1, entire text, all drawings & WO 2014/129458 A1 & KR 10-2015-0092334 A & CN 104919159 A	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F02C9/54(2006.01)i, F02C9/46(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. F02C9/26-9/58

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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
Y	JP 2013-96303 A（三菱重工業株式会社）2013.05.20, 段落[0014], [0024]-[0065], 図 1-13（ファミリーなし）	1-13
Y	JP 2013-113201 A（三菱重工業株式会社）2013.06.10, 段落[0012]-[0013], [0034]-[0092], 図 1-10 & US 2014/0230449 A1, 段落[0015]-[0016], [0047]-[0118], 図 1-10 & WO 2013/080894 A1 & EP 2752568 A1 & KR 10-2014-0071385 A & CN 103946516 A	1-13

☒ 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

12.02.2019

国際調査報告の発送日

26.02.2019

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）

西中村 健一

3S

3420

電話番号 03-3581-1101 内線 3391

C (続き) . 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
Y	JP 2016-70063 A (三菱重工業株式会社) 2016. 05. 09, 請求項 4, 段落 [0048]-[0063], 図 6-7 (ファミリーなし)	1-13
Y	JP 2015-78670 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2015. 04. 23, 請求項 4, 段落 [0017]-[0024], [0038]-[0046], 図 1-4, 14-17 (ファミリーなし)	1-13
Y	JP 2016-37883 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2016. 03. 22, 段落 [0027]-[0108], 図 1-4, 14-15 & US 2017/0292458 A1, 段落 [0045]-[0168], 図 1-4, 14-15 & WO 2016/021390 A1 & KR 10-2017-0007424 A & CN 106460678 A	8-10
Y	JP 2016-37882 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2016. 03. 22, 段落 [0030]-[0096], 図 1-4, 12, 14 & US 2018/0209352 A1, 段落 [0046]-[0157], 図 1-4, 12, 14 & WO 2016/021298 A1 & KR 10-2017-0018955 A & CN 106536898 A	8-10
A	JP 2015-161176 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2015. 09. 07, 全文, 全図 & US 2016/0326967 A1, 全文, 全図 & WO 2015/129498 A1 & CN 105849389 A & KR 10-2016-0091412 A	1-13
A	JP 2014-159786 A (三菱重工業株式会社) 2014. 09. 04, 全文, 全図 & US 2015/0354467 A1, 全文, 全図 & WO 2014/129458 A1 & KR 10-2015-0092334 A & CN 104919159 A	1-13