

(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3月28日(28.03.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/059273 A1

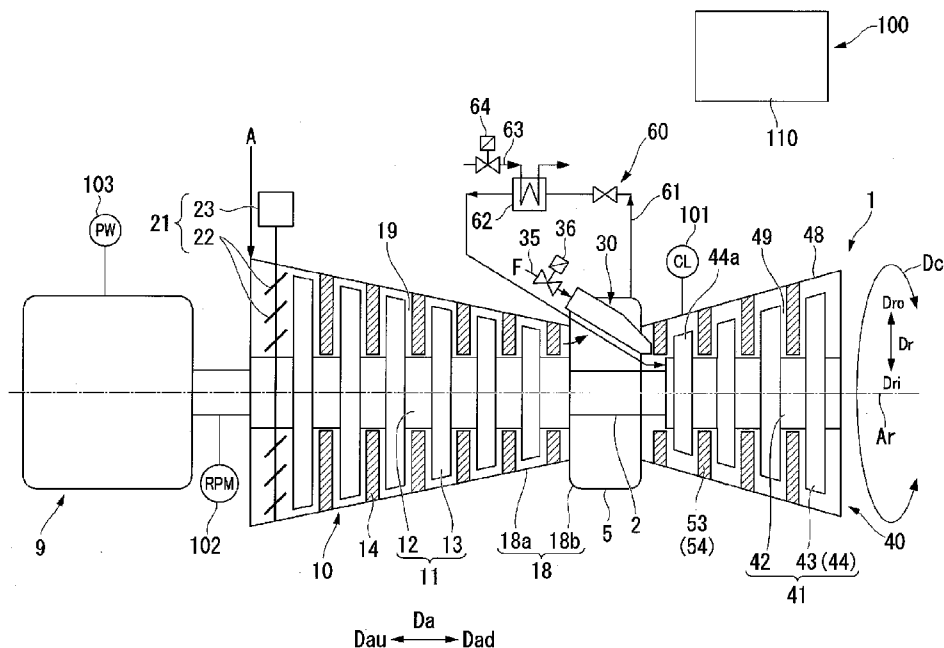
- (51) 国際特許分類:
F02C 9/28 (2006.01) *F01D 25/00* (2006.01)
F01D 11/20 (2006.01) *F01K 23/10* (2006.01)
F01D 17/00 (2006.01) *F02C 9/48* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/034804
- (22) 国際出願日: 2018年9月20日(20.09.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-182800 2017年9月22日(22.09.2017) 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: ファーンズ デイビッド(FERNS David); 〒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). 藤井 慶太(FUJII Keita); 〒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). 上田 修(UEDA Osamu); 〒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:** ROTATING MACHINE CONTROL DEVICE, ROTATING MACHINE EQUIPMENT, ROTATING MACHINE CONTROL METHOD, AND ROTATING MACHINE CONTROL PROGRAM

(54) 発明の名称: 回転機械の制御装置、回転機械設備、回転機械の制御方法、及び回転機械の制御プログラム



(57) **Abstract:** A rotating machine (1) control device (100) is provided with: an operating terminal (36) for changing a parameter of the rotating machine (1); a clearance measuring device (101) which measures the amount of clearance between a rotor (41) and a casing (48); and a control device body (110). The control device body (110), in accordance with

(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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the amount of clearance measured by means of the clearance measuring device (101), determines an operating amount for the operating terminal (36) so as to vary the rate of change in the parameter, and outputs the operating amount to the operating terminal (36).

(57) 要約: 回転機械 (1) の制御装置 (100) は、回転機械 (1) のパラメータを変える操作端 (36) と、ロータ (41) とケーシング (48) との間のクリアランス量を計測するクリアランス計測器 (101) と、制御装置本体 (110) と、を備える。制御装置本体 (110) は、クリアランス計測器 (101) で計測されたクリアランス量に応じて、パラメータの変化率が変わるよう、操作端 (36) の操作量を定め、この操作量を操作端 (36) に出力する。

明 細 書

発明の名称：

回転機械の制御装置、回転機械設備、回転機械の制御方法、及び回転機械の制御プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、回転するロータと、このロータの外周側を覆うケーシングを備える回転機械の制御装置、回転機械設備、回転機械の制御方法、及び回転機械の制御プログラムに関する。

本願は、2017年9月22日に日本国に出願された特願2017-182800号に基づき優先権を主張し、この内容をここに援用する。

背景技術

[0002] ガスタービンは、回転機械の一種である。このガスタービンは、大気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、この圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、燃焼ガスにより駆動するタービンと、を備える。圧縮機は、軸線を中心として回転する圧縮機ロータと、これを回転可能に覆う圧縮機ケーシングと、を有している。タービンは、軸線を中心として回転するタービンロータと、これを回転可能に覆うタービンケーシングと、を有している。タービンロータと圧縮機ロータとは、互いに接続されてガスタービンロータを成す。このガスタービンロータには、例えば、発電機が接続されている。燃焼器には、燃料ラインが接続されている。この燃料ラインには、燃焼器に供給される燃料の流量を調節する燃料調節弁が設けられている。

[0003] ガスタービンの出力や回転数を増減させる場合、操作端の一つである燃料調節弁の操作量を変える。すなわち、燃焼器に供給される燃料の流量を変える。燃料調節弁の操作量は、例えば、以下の特許文献1に記載されているように、外部からの負荷指令等により定められる。

[0004] 燃料調節弁の操作量が急激に変化すると、ガスタービンの出力や回転数も

急激に変化する。このように、操作量の急変に伴って、ガスタービンの出力や回転数が急変すると、ガスタービンが損傷する可能性が高まる。そこで、特許文献1に記載の技術では、外部からの発電機出力指令又は負荷指令等により燃料調節弁の操作量を定めた後、この操作量の変化率が所定以上高くないよう、操作量の変化率に関する制限器を設け、この制限器を経た操作量を燃料調節弁に出力している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2016-037882号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 前述したように、操作端の操作量の変化率を制限することは、ガスタービンの損傷を抑えるために必要な技術である。一方、発電業界では、ガスタービンの出力や回転数が短時間で目標値になることが望まれている。特に、電力系統に、天候等により発電量が左右される太陽光発電設備や風力発電設備が接続されている場合には、これらの設備での発電量の急変に対応するため、ガスタービンの出力や回転数が短時間で目標値になることが望まれている。

[0007] そこで、本発明は、回転機械の損傷を抑えつつも、回転機械の回転数又は出力を短時間で目標値にすることができる技術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] 前記目的を達成するための発明に係る一態様の回転機械の制御装置は、
回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備える回転機械の制御装置において、前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータを変える操作端と、前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を計測するクリアランス計測器と、前記クリアランス量に応じて、前記パラメ

ータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定めるパラメータ変化率設定部と、前記パラメータの前記変化率に応じて、前記操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する操作量出力部と、を備える。

[0009] 回転機械は、その回転数又は出力（output）であるパラメータが増減すると、ロータとケーシングとの間のクリアランス量が一時的に小さくなる場合がある。このクリアランス量が小さくなると、ロータとケーシングとが接触して、ロータ又はケーシングの一部が損傷する可能性が高まる。

[0010] 本態様では、クリアランス量に応じて、パラメータの変化率が変わるよう、この変化率を定める。そして、本態様では、この変化率に応じて操作端の操作量を定め、この操作量を操作端に出力する。よって、本態様では、クリアランス量に応じて、パラメータの変化率が変わる。

[0011] ここで、前記回転機械の制御装置において、前記パラメータ変化率設定部は、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定めてもよい。

[0012] また、以上のいずれかの前記回転機械の制御装置において、前記パラメータ変化率設定部は、前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める基本変化率演算部と、前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める変更値演算部と、前記変更値を用いて前記基本変化率を変更する変化率変更部と、を有してもよい。

[0013] 前記変更値演算部を有する前記回転機械の制御装置において、前記変更値演算部は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に対応する前記第一変更値を求める第一演算部を有してもよい。この場合、前記変化率変更部は、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0014] 前記第一演算部を有する前記回転機械の制御装置において、前記変更値演

算部は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める第二演算部を有してもよい。この場合、前記変化率変更部は、前記第一変更値と前記第二変更値とを用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0015] 前記第一変更演算部を有する、いずれかの前記回転機械の制御装置において、前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係であってもよい。

[0016] 前記目的を達成するための発明に係る一態様の回転機械設備は、
以上のいずれかの制御装置と、前記回転機械と、を備える。

[0017] ここで、前記回転機械設備において、前記回転機械は、空気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、前記圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスで駆動するタービンとを、備えるガスタービンである。前記圧縮機は、回転する圧縮機ロータと、前記圧縮機ロータを覆う圧縮機ケーシングと、を有する。前記タービンは、回転するタービンロータと、前記タービンロータを覆うタービンケーシングと、を有する。前記圧縮機ロータと前記タービンロータとは、機械的に接続されて、ガスタービンロータを成す。前記操作端は、前記燃焼器に供給される燃料の流量を調節する燃料調節弁である。前記クリアランス計測器は、前記タービンロータと前記タービンケーシングとの間のガスタービンクリアランス量を計測する。この場合、前記パラメータ変化率設定部は、前記ガスタービンクリアランス量に応じて、前記パラメータの増加時と減少時とのうち、少なくとも増加時における前記パラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める。

[0018] ガスタービンクリアランス量は、パラメータの増加時に一時的に小さくなり、パラメータの減少時には一時的に大きくなる。本態様では、パラメータの増加時にガスタービンクリアランス量に応じてパラメータの変化率が変わるよう、この変化率を定める。そして、本態様では、この変化率に応じて燃料調節弁の操作量を求め、この操作量を燃料調節弁に出力する。このため、

本態様では、ガスタービンのパラメータ増加時であっても、ガスタービンのクリアランス量が極端に小さくなることを抑えつつも、パラメータを短時間で目標値にすることができる。

[0019] 前記回転機械がガスタービンである回転機械設備において、前記圧縮機は、前記圧縮機ケーシングに設けられ、前記圧縮機ケーシング内に流入する空気の流量を調節する吸気流量調節器を有する。この場合、前記制御装置は、前記ガスタービンのクリアランス量に応じて、前記吸気流量調節器の操作量を定める吸気操作量設定部と、前記吸気流量調節器の前記操作量を前記吸気流量調節器に出力する吸気操作量出力部と、を有するとよい。

[0020] 燃料流量を変えずに、圧縮機ケーシング内に流入する空気の流量である吸気流量を増加させると、燃焼ガス流路を流れる燃焼ガスの温度が低下し、ガスタービンのクリアランス量が増加する。本態様では、ガスタービンのクリアランス量に応じて、吸気流量が変わるので、ガスタービンのクリアランス量が極端に小さくなることを防ぐことができる。

[0021] 前記回転機械がガスタービンである、以上のいずれかの前記回転機械設備において、前記ガスタービンは、前記圧縮機で圧縮された空気を抽気して、前記タービンロータの動翼に、抽気した空気を導く抽気ラインと、前記抽気ラインを流れる空気を冷却する冷却器と、前記冷却器による前記空気の冷却量を調節する冷却調節器と、を備える。この場合、前記制御装置は、前記ガスタービンのクリアランス量に応じて、前記冷却調節器の操作量を定める冷却操作量設定部と、前記冷却調節器の前記操作量を前記冷却調節器に出力する冷却操作量出力部と、を有するとよい。

[0022] 冷却器による前記空気の冷却量を変えると、この空気による動翼の冷却量が変わり、ガスタービンのクリアランス量が増加する。本態様では、ガスタービンのクリアランス量に応じて、空気の冷却量が変わるので、ガスタービンのクリアランス量が極端に小さくなることを防ぐことができる。

[0023] ここで、前記一態様の前記回転機械設備において、前記回転機械は、蒸気で駆動する蒸気タービンである。前記蒸気タービンは、回転する蒸気タービン

ンロータと、前記蒸気タービンロータを覆う蒸気タービンケーシングと、を有する。前記操作端は、前記蒸気タービンに供給される蒸気の流量を調節する蒸気調節弁である。前記クリアランス計測器は、前記蒸気タービンロータと前記蒸気タービンケーシングとの間の蒸気タービンクリアランス量を計測する。この場合、前記パラメータ変化率設定部は、前記蒸気タービンクリアランス量に応じて、前記パラメータの増加時と減少時とのうち、少なくとも減少時における前記パラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定めるとよい。

[0024] 蒸気タービンクリアランス量は、パラメータの減少時に一時的に小さくなり、パラメータの増加時には一時的に大きくなる。本態様では、パラメータの減少時に蒸気タービンクリアランス量に応じてパラメータの変化率が変わるよう、この変化率を定める。そして、本態様では、この変化率に応じて蒸気調節弁の操作量を求め、この操作量を蒸気調節弁に出力する。このため、本態様では、蒸気タービンのパラメータ減少時であっても、蒸気タービンクリアランス量が極端に小さくなることを抑えつつも、パラメータを短時間で目標値にすることができる。

[0025] また、前記一態様の前記回転機械設備において、前記回転機械としての第一回転機械と第二回転機械とを備える。前記第一回転機械は、ガスタービンである。前記第二回転機械は、蒸気タービンである。当該回転機械設備は、前記ガスタービンから排気された排気ガスで蒸気を発生させて、前記蒸気を蒸気タービンに送る排熱回収ボイラーを備える。前記ガスタービンは、空気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、前記圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスで駆動するタービンと、を有する。前記圧縮機は、回転する圧縮機ロータと、前記圧縮機ロータを覆う圧縮機ケーシングと、を有する。前記タービンは、回転するタービンロータと、前記タービンロータを覆うタービンケーシングと、を有する。前記圧縮機ロータと前記タービンロータとは、機械的に接続されて、ガスタービンロータを成す。前記ガスタービンの前記操作端は、前記燃焼器に供給される燃料

の流量を調節する燃料調節弁である。前記ガスタービンの前記クリアランス計測器は、前記タービンロータと前記タービンケーシングとの間のガスタービンクリアランス量を計測するガスタービンクリアランス計測器である。前記蒸気タービンは、回転する蒸気タービンロータと、前記蒸気タービンロータを覆う蒸気タービンケーシングと、を有する。前記蒸気タービンの前記操作端は、前記排熱回収ボイラーから前記蒸気タービンに供給される蒸気の流量を調節する蒸気調節弁である。前記蒸気タービンの前記クリアランス計測器は、前記蒸気タービンロータと前記蒸気タービンケーシングとの間の蒸気タービンクリアランス量を計測する蒸気タービンクリアランス計測器である。この場合、前記ガスタービンの前記パラメータ変化率設定部は、前記ガスタービンに関する前記パラメータであるガスタービンパラメータの増加時に、前記ガスタービンクリアランス量に応じて前記ガスタービンパラメータの変化率が変わるよう、前記ガスタービンパラメータの変化率を定め、前記ガスタービンパラメータの減少時に、前記蒸気タービンクリアランス量に応じて前記ガスタービンパラメータの変化率が変わるよう、前記ガスタービンパラメータの変化率を定めるとよい。また、前記ガスタービンの前記操作量出力部は、前記ガスタービンの前記パラメータ変化率設定部が定めた前記ガスタービンパラメータの変化率に応じて、前記燃料調節弁の操作量を定め、前記燃料調節弁の前記操作量を前記燃料調節弁に出力するとよい。さらに、前記蒸気タービンの前記パラメータ変化率設定部は、前記蒸気タービンに関する前記パラメータである蒸気タービンパラメータの増加時に、前記ガスタービンクリアランス量に応じて前記蒸気タービンパラメータの変化率が変わるよう、前記蒸気タービンパラメータの変化率を定め、前記蒸気タービンパラメータの減少時に、前記蒸気タービンクリアランス量に応じて前記蒸気タービンパラメータの変化率が変わるよう、前記蒸気タービンパラメータの変化率を定めるとよい。また、前記蒸気タービンの前記操作量出力部は、前記蒸気タービンの前記パラメータ変化率設定部が定めた前記蒸気タービンパラメータの変化率に応じて、前記蒸気調節弁の操作量を定め、前記蒸気調節弁の

前記操作量を前記蒸気調節弁に出力するとよい。

[0026] 本態様の回転機械設備は、いわゆるコンバインドサイクルプラントである。このコンバインドサイクルプラントでは、ガスタービンのパラメータが増加すると、これに連動して、蒸気タービンのパラメータが増加する。また、ガスタービンでは、パラメータが増加する場合にガスタービンのクリアランス量が一時的に小さくなり、パラメータが減少する場合にガスタービンのクリアランス量が一時的に大きくなる。また、蒸気タービンでは、パラメータが増加する場合に蒸気タービンのクリアランス量が一時的に大きくなり、パラメータが減少する場合に蒸気タービンのクリアランス量が一時的に小さくなる。

[0027] そこで、本態様では、ガスタービンのパラメータ及び蒸気タービンのパラメータが増加する場合、一時的に小さくなるガスタービンのクリアランス量に基づいて、ガスタービン及び蒸気タービンの操作端の操作量を定める。また、本態様では、ガスタービンのパラメータ及び蒸気タービンのパラメータが減少する場合、一時的に小さくなる蒸気タービンのクリアランス量に基づいて、ガスタービン及び蒸気タービンの操作端の操作量を定める。よって、本態様では、ガスタービンのパラメータ及び蒸気タービンのパラメータが増減しても、ガスタービン及び蒸気タービンのクリアランス量が極端に小さくなることを抑えつつも、パラメータを短時間で目標値にすることができる。

[0028] 前記目的を達成するための発明に係る一態様の回転機械の制御方法は、
回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備える回転機械の制御方法において、前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を受け付ける工程と、前記クリアランス量に応じて、前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める工程と、前記パラメータの前記変化率に応じて、前記パラメータを変える操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する工程と、を実行する。

[0029] ここで、前記回転機械の制御方法において、前記パラメータの前記変化率を定める前記工程では、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変

化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定めてもよい。

[0030] また、以上のいずれかの前記回転機械の制御方法において、前記パラメータの前記変化率を定める前記工程は、前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める工程と、前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める工程と、前記変更値を用いて、前記基本変化率を変更する工程と、を含んでもよい。

[0031] 前記変更値を求める前記工程を実行する前記回転機械の制御方法において、前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に対応する前記第一変更値を求める工程を含んでもよい。この場合、前記変更工程では、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0032] 前記第一変更値を求める前記工程を実行する前記回転機械の制御方法において、前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める工程を含んでもよい。この場合、前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0033] 前記第一変更値を求める前記工程を実行する、いずれかの前記回転機械の制御方法において、前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係であってもよい。

[0034] 前記目的を達成するための発明に係る一態様の回転機械の制御プログラムは、

回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備える回転機械の制御プログラムにおいて、コンピュータの入力装置により、前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を受け付ける工程と、前記クリ

アランス量に応じて、前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める工程と、前記パラメータの前記変化率に応じて、前記パラメータを変える操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する工程と、を前記コンピュータに実行させる。

[0035] ここで、前記回転機械の制御プログラムにおいて、前記パラメータの前記変化率を定める前記工程では、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定めてもよい。

[0036] また、以上のいずれかの前記回転機械の制御プログラムにおいて、前記パラメータの前記変化率を定める前記工程は、前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める工程と、前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める工程と、前記変更値を用いて、前記基本変化率を変更する変更した変化量を求める工程と、を含んでもよい。

[0037] 前記変更値を求める前記工程を実行させる前記回転機械の制御プログラムにおいて、前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に対応する前記第一変更値を求める工程を含んでもよい。この場合、前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0038] 前記第一変更値を求める前記工程を実行させる前記回転機械の制御プログラムにおいて、前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める工程を含んでもよい。この場合、前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値と前記第二変更値とを用いて前記基本変化率を変更するとよい。

[0039] 前記第一変更値を求める前記工程を実行させる、以上のいずれかの前記回転機械の制御プログラムにおいて、前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係であってもよい。

発明の効果

[0040] 本発明の一態様によれば、回転機械の損傷を抑えつつも、回転機械の回転数又は出力を短時間で目標値にすることができる。

図面の簡単な説明

[0041] [図1]本発明に係る第一実施形態におけるガスタービン発電プラントの構成を示す概念図である。

[図2]本発明に係る第一実施形態におけるガスタービンの要部断面図である。

[図3]図2におけるIII部の拡大図である。

[図4]本発明に係る第一実施形態における複数のクリアランス計測器の配置を示す説明図である。

[図5]本発明に係る第一実施形態における制御装置の構成を示す機能ブロック図である。

[図6]本発明に係る第一実施形態における出力変化率設定部の構成を示す機能ブロック図である。

[図7]本発明に係る第一実施形態における回転数変化率設定部の構成を示す機能ブロック図である。

[図8]本発明に係る第一実施形態における制御装置のハードウェア構成を示す回路ブロック図である。

[図9]本発明に係る第一実施形態における制御装置の動作を示すフローチャートである。

[図10]本発明に係る第一実施形態におけるガスタービンで、クリアランス量に基づく変化率制御を行っていない場合の時間変化に伴う、出力の変化、回転数の変化、及びクリアランスの変化を示すグラフである。

[図11]本発明に係る第一実施形態におけるガスタービンで、クリアランス量に基づく変化率制御を行った場合の時間変化に伴う、回転数の変化、及びク

リアランスの変化を示すグラフである。

[図12]本発明に係る第二実施形態におけるガスタービンで、クリアランス量に基づく変化率制御を行った場合の時間変化に伴う、出力の変化、クリアランスの変化を示すグラフである。

[図13]本発明に係る第二実施形態における蒸気タービン発電プラントの構成を示す概念図である。

[図14]本発明に係る第二実施形態における制御装置の構成を示す機能ブロック図である。

[図15]本発明に係る第三実施形態におけるガス圧縮プラントの構成を示す概念図である。

[図16]本発明に係る第三実施形態における制御装置の構成を示す機能ブロック図である。

[図17]本発明に係る第四実施形態におけるコンバインドサイクルプラントの構成を示す概念図である。

[図18]本発明に係る第四実施形態における制御装置の構成を示す機能ブロック図である。

発明を実施するための形態

[0042] 以下、本発明に係る各種実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

[0043] 「第一実施形態」

以下、本発明に係る回転機械設備の第一実施形態について、図1～図11を参照して説明する。

[0044] 本実施形態の回転機械設備は、図1に示すように、ガスタービン発電プラントである。このガスタービン発電プラントは、ガスタービン1と、ガスタービン1の駆動で発電する発電機9と、ガスタービン1の構成部品の一部を冷却する冷却装置60と、制御装置100と、を備える。

[0045] ガスタービン1は、空気を圧縮する圧縮機10と、圧縮機10で圧縮された空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器30と、燃焼ガスに

より駆動するタービン40と、を備える。

[0046] 圧縮機10は、図1及び図2に示すように、軸線Arを中心として回転する圧縮機ロータ11と、圧縮機ロータ11を覆う圧縮機ケーシング18と、複数の静翼列14と、圧縮機ケーシング18内に流入する空気の流量を調節するIGV (inlet guide vane) 21と、を有する。

[0047] なお、以下では、軸線Arが延びる方向を軸線方向Da、この軸線方向Daの一方側を軸線上流側Da_u、他方側を軸線下流側Da_dとする。軸線上流側Da_uは、圧縮機10内の空気の流れの上流側であると共に、タービン40内の燃焼ガスの流れの上流側でもある。軸線下流側Da_dは、圧縮機10内の空気の流れの下流側であると共に、タービン40内の燃焼ガスの流れの下流側でもある。また、この軸線Arを中心とした周方向を単に周方向Dcとし、軸線Arに対して垂直な方向を径方向Drとする。この径方向Drで、軸線Arに近づく側を径方向内側Driとし、軸線Arから遠ざかる側を径方向外側Droとする。

[0048] 圧縮機ロータ11は、その軸線Arを中心として軸線方向Daに延びるロータ軸12と、このロータ軸12に取り付けられている複数の動翼列13と、を有する。複数の動翼列13は、軸線方向Daに並んでいる。各動翼列13は、いずれも、周方向Dcに並んでいる複数の動翼で構成されている。複数の動翼列13の各軸線下流側Da_dには、静翼列14が配置されている。各静翼列14は、圧縮機ケーシング18の内側に設けられている。各静翼列14は、いずれも、周方向Dcに並んでいる複数の静翼で構成されている。ロータ軸12の径方向外側Droと圧縮機ケーシング18の径方向内側Driとの間であって、軸線方向Daで静翼列14及び動翼列13が配置されている領域の環状の空間は、空気が流れつつ圧縮される空気圧縮流路19を成す。すなわち、この圧縮機10は、軸流多段圧縮機である。

[0049] 圧縮機ケーシング18は、圧縮機本体ケーシング18aと、中間ケーシング18bとを有する。圧縮機本体ケーシング18aは、軸線方向Daで静翼列14及び動翼列13が配置されている領域で、この領域の外周側を覆う。

中間ケーシング 18 b は、圧縮機本体ケーシング 18 a の軸線下流側 D a d に接続されている。この中間ケーシング 18 b 内には、圧縮機本体ケーシング 18 a から吐出された圧縮空気が流入する。

[0050] IGV（吸気流量調節器）21 は、圧縮機本体ケーシング 18 a に設けられている。IGV 21 は、複数の可動翼 22 と、複数の可動翼 22 の角度を変える駆動器 23 と、を有する。複数の可動翼 22 は、複数の動翼列 13 のうちで最も軸線上流側 D a u の動翼列 13 よりも軸線上流側 D a u に配置されている。

[0051] タービン 40 は、軸線 A r を中心として回転するタービンロータ 41 と、タービンロータ 41 を覆うタービンケーシング 48 と、複数の静翼列 53 と、を有する。タービンロータ 41 は、その軸線 A r を中心として軸線方向 D a に延びるロータ軸 42 と、このロータ軸 42 に取り付けられている複数の動翼列 43 と、を有する。複数の動翼列 43 は、軸線方向 D a に並んでいる。各動翼列 43 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の動翼 44 で構成されている。複数の動翼列 43 の各軸線上流側 D a u には、静翼列 53 が配置されている。各静翼列 53 は、タービンケーシング 48 の内側に設けられている。各静翼列 53 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の静翼 54 で構成されている。ロータ軸 42 の外周側とタービンケーシング 48 の内周側との間であって、軸線方向 D a で静翼列 53 及び動翼列 43 が配置されている領域の環状の空間は、燃焼器 30 からの燃焼ガスが流れる燃焼ガス流路 49 を成す。なお、以下では、複数の動翼列 43 のうち、最も軸線上流側の動翼列を第一動翼列とし、以下、軸線下流側に向って、第二動翼列、第三動翼列、…とする。

[0052] 燃焼器 30 は、図 2 に示すように、中間ケーシング 18 b に設けられている。この燃焼器 30 は、高温高圧の燃焼ガス G をタービン 40 の燃焼ガス流路 49 内に送る燃焼筒（又は尾筒）31 と、この燃焼筒 31 内に圧縮機 10 からの圧縮空気と共に燃料 F を噴射する燃料噴射器 32 と、を有する。燃料噴射器 32 には、燃料 F が流れる燃料ライン 35 が接続されている。この燃

料ライン３５には、燃料調節弁（操作端）３６が設けられている。

[0053] 圧縮機ロータ１１とタービンロータ４１とは、図１に示すように、同一軸線Ａｒ上に位置して互いに接続されてガスタービンロータ２を成す。このガスタービンロータ２には、発電機９のロータが接続されている。また、圧縮機ケーシング１８とタービンケーシング４８とは、互いに接続されてガスタービンケーシング５を成す。なお、本実施形態の圧縮機ケーシング１８中の中間ケーシング１８ｂを燃焼器車室と言い、本実施形態の圧縮機ケーシング１８中の燃焼器車室（中間ケーシング１８ｂ）を含まない部分を単に圧縮機ケーシングという場合もある。しかしながら、本願では、この燃焼器車室（中間ケーシング１８ｂ）を含めて圧縮機ケーシング１８とする。

[0054] 本実施形態では、軸線Ａｒを中心として回転するガスタービンロータ２と、このガスタービンロータ２を覆うガスタービンケーシング５とを備えるガスタービン１が軸流式回転機械を成す。

[0055] 冷却装置６０は、図１及び図２に示すように、抽気ライン６１と、冷却器６２と、冷却調節器６４と、を有する。抽気ライン６１は、第一端と第二端とを有する。この抽気ライン６１の第一端は、中間ケーシング１８ｂに接続され、第二端は、タービンロータ４１のロータ軸４２を介して、第一動翼列を構成する複数の動翼である第一列動翼４４ａに接続されている。抽気ライン６１は、圧縮機本体ケーシング１８ａから吐出されて中間ケーシング１８ｂ内に流入した圧縮空気を複数の第一列動翼４４ａに導く。冷却器６２は、抽気ライン６１内を流れる圧縮空気と冷却媒体とを熱交換させて、圧縮空気を冷却する熱交換器である。冷却器６２には、冷却媒体が流れる媒体ライン６３が接続されている。冷却調節器６４は、この媒体ライン６３に設けられている。冷却調節器６４は、媒体ライン６３を流れる冷却媒体の流量を調節することで、圧縮空気の冷却量を調節する流量調節弁である。

[0056] 図２及び図３に示すように、抽気ライン６１は、タービンロータ４１のロータ軸４２中で第一動翼列が固定されている第一段軸部４２ａに接続されている。この第一段軸部４２ａには、抽気ライン６１と連通する冷却通路４２

cが形成されている。また、第一動翼列を構成する複数の第一列動翼44aには、第一段軸部42aの冷却通路42cと連通する冷却通路44cが形成されている。第一列動翼44aの冷却通路44cは、第一列動翼44aの表面中で燃焼ガスGと接する部分で開口している。このため、圧縮機10からの圧縮空気は、抽気ライン61を流れる過程で冷却器により冷却された後、第一段軸部42aに形成されている冷却通路42c、第一列動翼44aに形成されている冷却通路44cを介して、燃焼ガス流路49中に放出される。

[0057] ガスタービン1の構成部品にうちで、動翼44、静翼54、タービンケーシング48で内周面を形成する部品、燃焼筒31は、いずれも、高温の燃焼ガスGに接する高温部品である。本実施形態では、冷却器62で冷却された圧縮空気である冷却空気A_mで、これらの高温部品のうち、第一列動翼44aを冷却する。

[0058] なお、本実施形態の冷却器62は、熱交換器であるが、例えば、圧縮空気を通るラインにファン等で風を送って、圧縮空気を冷却するタイプでもよい。この場合、冷却調節器は、例えば、ファンの回転数RPMを変えるインバータ付きモータになる。

[0059] 制御装置100は、図1に示すように、前述の燃料調節弁36と、クリアランス計測器101と、回転数計102と、出力計103と、制御装置本体110と、を有する。クリアランス計測器101は、タービンケーシング48とタービンロータ41との間のクリアランス量CLを計測する。回転数計102は、ガスタービンロータ2の回転数RPMを検知する。出力計103は、ガスタービン1の出力PW、言い換えると、発電機の発電量を検知する。回転数計102及び出力計103は、いずれもパラメータ計の一例である。

[0060] 図3に示すように、軸線Arを中心として回転するタービンロータ41の動翼44と、このタービンロータ41を覆うタービンケーシング48との間には、クリアランスがある。本実施形態のクリアランス計測器101は、第一列動翼44aとタービンケーシング48との間のクリアランス量CLを計

測する。このクリアランス計測器１０１は、タービンケーシング４８に固定されている。このクリアランス計測器１０１は、例えば、第一列動翼４４ａとタービンケーシング４８との間の静電容量を検知し、検知した静電容量値をクリアランス量に変換する静電容量式の計測器である。また、このクリアランス計測器１０１は、例えば、タービンケーシング４８の温度を検知し、検知した温度をクリアランス量に変換する計測器であってもよい。なお、クリアランス計測器１０１で、第二列動翼４４とタービンケーシング４８との間のクリアランスの量を計測してもよい。さらに、第一列動翼４４ａとタービンケーシング４８との間のクリアランスの量、及び、第二列動翼４４とタービンケーシング４８との間のクリアランスの量を計測してもよい。

[0061] 本実施形態の制御装置１００は、図４に示すように、複数のクリアランス計測器１０１を備える。複数のクリアランス計測器１０１のうち、一のクリアランス計測器１０１は、タービンケーシング４８の上部に設けられている。また、他の一のクリアランス計測器１０１は、タービンケーシング４８の下部に設けられている。さらに他の一のクリアランス計測器１０１は、タービンケーシング４８の上下方向のほぼ中央部で且つ軸線Ａｒに対する右側部に設けられている。さらに他の一のクリアランス計測器１０１は、タービンケーシング４８の上下方向のほぼ中央部で且つ軸線Ａｒに対する左側部に設けられている。

[0062] 制御装置本体１１０は、機能的には、図５に示すように、クリアランス信号処理部１１１と、出力変化率設定部１２０と、回転数変化率設定部１４０と、燃料操作量出力部１６０と、冷却操作量設定部１７０と、冷却操作量出力部１７９と、吸気操作量設定部１８０と、吸気操作量出力部１８９と、を有する。

[0063] クリアランス信号処理部１１１は、複数のクリアランス計測器１０１からの信号を受け付け、複数のクリアランス計測器１０１が計測したクリアランス量ＣＬのうち、最小のクリアランス量ＣＬを出力する。

[0064] 出力変化率設定部１２０は、基本出力変化率演算部１２１と、変更値演算

部 1 2 4 と、変更部 1 3 0 と、を有する。基本出力変化率演算部 1 2 1 は、負荷指令や起動指令に応じて定まる目標出力 PW_t と出力計 1 0 3 で検知された出力 PW との偏差に基づいて、基本出力変化率 ΔPW_b を求める。変更値演算部 1 2 4 は、クリアランス信号処理部 1 1 1 から出力されたクリアランス量 CL 等に応じて、基本出力変化率 ΔPW_b を変更するための変更値を求める。変更部 1 3 0 は、変更値を用いて基本出力変化率 ΔPW_b を変更する。なお、出力 PW の変化率とは、単位時間当たりの出力 PW の変化量である。

[0065] 回転数変化率設定部 1 4 0 は、基本回転数変化率演算部 1 4 1 と、変更値演算部 1 4 4 と、変更部 1 5 0 と、を有する。基本回転数変化率演算部 1 4 1 は、負荷指令や起動指令に応じて定まる目標回転数 RPM_t と回転数計 1 0 2 で検知された回転数 RPM との偏差に基づいて、基本回転数変化率 ΔRPM_b を求める。変更値演算部 1 4 4 は、クリアランス信号処理部 1 1 1 から出力されたクリアランス量 CL 等に応じて、基本回転数変化率 ΔRPM_b を変更するための変更値を求める。変更部 1 5 0 は、変更値を用いて基本回転数変化率 ΔRPM_b を変更する。なお、回転数 RPM の変化率とは、単位時間当たりの回転数 RPM の変化量である。

[0066] 燃料操作量出力部 1 6 0 は、出力変化率換算部 1 6 2 と、回転数変化率換算部 1 6 4 と、選択部 1 6 9 と、を有する。出力変化率換算部 1 6 2 は、出力変化率設定部 1 2 0 が設定した出力変化率 ΔPW を操作端である燃料調節弁 3 6 の操作量に換算する。回転数変化率換算部 1 6 4 は、回転数変化率設定部 1 4 0 が設定した回転数変化率 ΔRPM を操作端である燃料調節弁 3 6 の操作量に換算する。選択部 1 6 9 は、出力変化率換算部 1 6 2 が求めた操作量と、回転数変化率換算部 1 6 4 が求めた操作量とのうち、一方の操作量のみを燃料調節弁 3 6 に出力する。

[0067] 冷却操作量設定部 1 7 0 は、冷却操作量発生部 1 7 1 と、変更部 1 7 2 と、を有する。冷却操作量発生部 1 7 1 は、例えば、冷却調節器 6 4 の操作量である冷却操作量を発生する。ここでは、冷却操作量発生部 1 7 1 は、燃料

操作量出力部 160 が出力する燃料調節弁 36 の操作量、言い換えると燃料流量の増加に伴って大きくなる冷却操作量を発生する。変更部 172 は、クリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL に応じて冷却操作量を変更する。冷却操作量出力部 179 は、変更された冷却操作量を冷却調節器 64 に出力する。

[0068] 吸気操作量設定部 180 は、IGV 開度発生部 181 と、変更部 182 と、を有する。IGV 開度発生部 181 は、例えば、IGV 21 の開度である IGV 開度を発生する。ここでは、IGV 開度発生部 181 は、燃料操作量出力部 160 が出力する燃料調節弁 36 の操作量、言い換えると燃料流量の増加に伴って大きくなる IGV 開度を発生する。変更部 182 は、クリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL に応じて IGV 開度を変更する。吸気操作量出力部 189 は、変更された IGV 開度を IGV 21 の駆動器 23 に出力する。

[0069] 基本出力変化率演算部 121 は、図 6 に示すように、目標出力演算部 122 と、 ΔP 演算部 123 と、を有する。目標出力演算部 122 は、負荷指令や起動指令に応じて目標出力 PW_t を求める。 ΔP 演算部 123 は、出力計 103 で検知された出力 PW と目標出力 PW_t との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量 (P 制御量) である基本出力変化率 ΔPW_b を求める。

[0070] 出力変化率設定部 120 の変更値演算部 124 は、上限出力変化率演算部 125 と、第一変更値演算部 (第一演算部) 126 と、第二変更値演算部 (第二演算部) 127 と、を有する。上限出力変化率演算部 125 は、実際の出力 PW と出力変化率 ΔPW の上限値である上限出力変化率 ΔPW_L との関係を示すマップ 125m を有している。上限出力変化率演算部 125 は、このマップ 125m を用いて、出力計 103 で検知された出力 PW に対応する上限出力変化率 ΔPW_L を求める。出力変化率設定部 120 の第一変更値演算部 126 は、クリアランス量 CL と基本出力変化率 ΔPW_b を変更する第一変更値 ΔPW_{c1} との関係を示すマップ 126m を有している。第一変更値

演算部 126 は、このマップ 126 m を用いて、クリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL に対応する第一変更値 $\Delta PWc1$ を求める。このマップ 126 m が示す関係は、基本的に、クリアランス量 CL の増加に伴って、第一変更値 $\Delta PWc1$ が大きくなる関係である。よって、この第一変更値演算部 126 が求める第一変更値 $\Delta PWc1$ は、クリアランス量 CL の増加に伴って大きくなる。さらに、このマップ 126 m では、許容最小クリアランス量 $CLmin$ よりもクリアランス量 CL が大きい場合、第一変更値 $\Delta PWc1$ が正の値を示し、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ 以下の場合、第一変更値 $\Delta PWc1$ が負の値を示す。なお、許容最小クリアランス量 $CLmin$ とは、クリアランス量に関する許容最小値である。出力変化率設定部 120 の第二変更値演算部 127 は、許容最小値記憶部 128 と、 ΔPI 演算部 129 と、を有する。許容最小値記憶部 128 には、許容最小クリアランス量 $CLmin$ が記憶されている。 ΔPI 演算部 129 は、許容最小クリアランス量 $CLmin$ とクリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（ PI 制御量）である第二変更値 $\Delta PWc2$ を求める。よって、この第二変更値演算部 127 が求める第二変更値 $\Delta PWc2$ は、許容最小クリアランス量 $CLmin$ とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0071] 出力変化率設定部 120 の変更部 130 は、第一加算器 131 と、第二加算器 132 と、最小値選択器 133 と、を有する。第一加算器 131 は、第一変更値演算部 126 が求めた第一変更値 $\Delta PWc1$ と第二変更値演算部 127 が求めた第二変更値 $\Delta PWc2$ とを加算する。第二加算器 132 は、上限出力変化率演算部 125 が求めた上限出力変化率 ΔPWL と第一加算器 131 からの出力を加算する。すなわち、第二加算器 132 は、第一変更値 $\Delta PWc1$ と第二変更値 $\Delta PWc2$ と上限出力変化率 ΔPWL とを加算した値を出力する。最小値選択器 133 は、基本出力変化率演算部 121 が求めた基本出力変化率 ΔPWb と第二加算器 132 からの出力の値とのうち、小さい方の値を選択し、これを出力変化率 ΔPW として出力する。最小値選択器 133

から出力された出力変化率 $\Delta P W$ は、前述した燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162に入力する。

[0072] 基本回転数変化率演算部141は、図7に示すように、目標回転数演算部142と、 $\Delta P I$ 演算部143と、を有する。目標回転数演算部142は、負荷指令や起動指令に応じて目標回転数 $R P M t$ を求める。 $\Delta P I$ 演算部143は、回転数計102で検知された回転数 $R P M$ と目標回転数 $R P M t$ との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（ $P I$ 制御量）である基本回転数変化率 $\Delta R P M b$ を求める。

[0073] 回転数変化率設定部140の変更値演算部144は、上限回転数変化率演算部145と、第一変更値演算部146と、第二変更値演算部147と、を有する。上限回転数変化率演算部145は、実際の回転数 $R P M$ と回転数変化率 $\Delta R P M$ の上限値である上限回転数変化率 $\Delta R P M L$ との関係を示すマップ145mを有している。上限回転数変化率演算部145は、このマップ145mを用いて、回転数計102で検知された回転数 $R P M$ に対応する上限回転数変化率 $\Delta R P M L$ を求める。回転数変化率設定部140の第一変更値演算部146は、クリアランス量 $C L$ と基本回転数変化率 $\Delta R P M b$ を変更する第一変更値 $\Delta R P M c 1$ との関係を示すマップ146mを有している。第一変更値演算部146は、このマップ146mを用いて、クリアランス信号処理部111から出力されたクリアランス量 $C L$ に対応する第一変更値 $\Delta R P M c 1$ を求める。このマップ146mが示す関係は、基本的に、クリアランス量 $C L$ の増加に伴って、第一変更値 $\Delta R P M c 1$ が大きくなる関係である。よって、この第一変更値演算部146が求める第一変更値 $\Delta R P M c 1$ は、クリアランス量 $C L$ の増加に伴って大きくなる。さらに、このマップ146mでは、許容最小クリアランス量 $C L_{min}$ よりもクリアランス量 $C L$ が大きい場合、第一変更値 $\Delta R P M c 1$ が正の値を示し、クリアランス量 $C L$ が許容最小クリアランス量 $C L_{min}$ 以下の場合、第一変更値 $\Delta R P M c 1$ が負の値を示す。回転数変化率設定部140の第二変更値演算部147は、許容最小値記憶部148と、 $\Delta P I$ 演算部149と、を有する。許容最小値記憶部148には、

許容最小クリアランス量 CL_{min} が記憶されている。 ΔP 演算部149は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス信号処理部111から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（ P 制御量）である第二変更値 ΔRPM_c2 を求める。よって、この第二変更値演算部147が求める第二変更値 ΔRPM_c2 は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0074] 回転数変化率設定部140の変更部150は、第一加算器151と、第二加算器152と、最小値選択器153と、を有する。第一加算器151は、第一変更値演算部146が求めた第一変更値 ΔRPM_c1 と第二変更値演算部147が求めた第二変更値 ΔRPM_c2 とを加算する。第二加算器152は、上限回転数変化率演算部145が求めた上限回転数変化率 ΔRPM_L と第一加算器151からの出力を加算する。すなわち、第二加算器152は、第一変更値 ΔRPM_c1 と第二変更値 ΔRPM_c2 と上限回転数変化率 ΔRPM_L とを加算した値を出力する。最小値選択器153は、基本回転数変化率演算部141が求めた基本回転数変化率 ΔRPM_b と第二加算器152からの出力の値とのうち、小さい方の値を選択し、これを回転数変化率 ΔRPM として出力する。最小値選択器153から出力された回転数変化率 ΔRPM は、前述した燃料操作量出力部160の回転数変化率換算部164に入力する。

[0075] 制御装置本体110は、図8に示すように、コンピュータである。このため、この制御装置本体110は、各種演算を行うCPU191と、CPU191のワークエリア等になるメモリ192と、ハードディスクドライブ装置等の補助記憶装置193と、キーボードやマウス等の手入力装置195aと、表示装置195bと、手入力装置195a及び表示装置195bの入出力インタフェース195と、ガスタービン1に設けられている各種センサからの信号が入力する設備インタフェース196と、ガスタービン1の各種操作端に操作量を出力する設備インタフェース197と、ネットワークNを介して外部と通信するための通信インタフェース198と、ディスク型記憶

媒体Dに対してデータの記憶処理や再生処理を行う記憶・再生装置194と、を備えている。

[0076] 補助記憶装置193には、ガスタービン固有値データ193a、制御プログラム193b、OS (Operating System) プログラム193cが予め格納されている。ガスタービン固有値データ193aとしては、先に説明した各種マップ125m, 126m, 145m, 146mや許容最小クリアランス量CLmin等がある。制御プログラム193bは、回転機械であるガスタービン1を制御するためのプログラムである。補助記憶装置193に格納される各種データやプログラムは、例えば、記憶・再生装置194を介して、ディスク型記憶媒体Dから補助記憶装置193に取り込まれる。なお、各種データやプログラムは、通信インタフェース198を介して外部の装置から補助記憶装置193に取り込まれてもよい。また、各種データやプログラムは、手入力装置195aから入出力インタフェース195を介して補助記憶装置193に取り込まれてもよい。

[0077] CPU191は、補助記憶装置193に格納されている制御プログラム193bをメモリ192上に展開し、この制御プログラム193bを実行することで、制御装置本体110の各機能構成を実現する。

[0078] 次に、本実施形態のガスタービン発電プラントの動作について説明する。

[0079] まず、ガスタービン1の基本的な動作について説明する。ガスタービン1の圧縮機10は、空気Aを圧縮して圧縮空気を生成する。この圧縮空気は、燃焼器30に供給される。また、燃焼器30には、燃料Fも供給される。燃焼器30の燃料噴射器32は、燃料F及び圧縮空気を燃焼筒31内に噴出する。燃焼筒31内では、この圧縮空気中で燃料Fが燃焼し、高温高圧の燃焼ガスGが生成される。この燃焼ガスGは、燃焼筒31からタービン40内の燃焼ガス流路49に送られ、タービンロータ41を回転させる。このタービンロータ41の回転で、このタービンロータ41に接続されている発電機9は発電する。

[0080] 次に、制御装置100の動作について説明する。

- [0081] まず、起動工程での制御装置 100 の動作について説明する。この起動工程は、ガスタービン 1 に燃料 F が供給されていない状態からガスタービン 1 の回転数 RPM が定格回転数（例えば、3600 rpm）になり、発電機 9 が電力系統に接続されるまでの工程である。
- [0082] 起動工程では、発電機 9 を原動機として機能させて、ガスタービンロータ 2 を回転させる。なお、起動装置を別途備えている場合には、この起動装置でガスタービンロータ 2 を回転させる。
- [0083] 起動工程では、図 9 のフローチャートに示す工程が繰り返し実行される。まず、回転数計 102 がガスタービン 1 の回転数 RPM を検知する（S11：パラメータ検知工程）。さらに、複数のクリアランス計測器 101 がクリアランス量 CL を計測する（S12：クリアランス計測工程）。制御装置本体 110 の回転数変化率設定部 140 は、回転数計 102 から回転数 RPM を受け付ける（S21：パラメータ受付工程）。また、制御装置本体 110 のクリアランス信号処理部 111 は、複数のクリアランス計測器 101 からの信号を受け付け、複数のクリアランス計測器 101 が計測したクリアランス量 CL のうち、最小のクリアランス量 CL を出力する（S22：クリアランス受付工程）。
- [0084] 次に、回転数変化率設定部 140 がガスタービン 1 の回転数変化率 Δ RPM を定める（S30：パラメータ変化率設定工程）。このパラメータ変化率設定工程（S30）では、基本変化率演算工程（S31）、上限変化率演算工程（S32）、第一変更値演算工程（S33）、第二変更値演算工程（S34）、変更工程（S35）が実行される。
- [0085] 基本変化率演算工程（S31）では、まず、目標回転数演算部 142 が起動指令に応じて目標回転数 RPM_t を求める。基本回転数変化率演算部 141 の Δ PI 演算部 143 は、回転数計 102 で検知された回転数 RPM と目標回転数 RPM_t との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（PI 制御量）である基本回転数変化率 Δ RPM_b を求める。
- [0086] 上限変化率演算工程（S32）では、上限回転数変化率演算部 145 が、

図 7 を参照して説明したマップ 1 4 5 m を用いて、回転数計 1 0 2 で検知された回転数 RPM に対応する上限回転数変化率 ΔRPM_L を求める。

[0087] 第一変更値演算工程 (S 3 3) では、回転数変化率設定部 1 4 0 の第一変更値演算部 1 4 6 が図 7 を参照して説明した 1 4 6 m を用いて、クリアランス信号処理部 1 1 1 から出力されたクリアランス量 CL に対応する第一変更値 ΔRPM_{c1} を求める。この第一変更値 ΔRPM_{c1} は、前述したように、クリアランス量 CL の増加に伴って大きくなる。

[0088] 第二変更値演算工程 (S 3 4) は、回転数変化率設定部 1 4 0 の第二変更値演算部 1 4 7 が実行する。第二変更値演算部 1 4 7 の ΔP 演算部 1 4 9 は、許容最小値記憶部 1 4 8 に記憶されている許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス信号処理部 1 1 1 から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量 (P 制御量) である第二変更値 ΔRPM_{c2} を求める。この第二変更値 ΔRPM_{c2} は、前述したように、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0089] 変更工程 (S 3 5) では、回転数変化率設定部 1 4 0 の変更部 1 5 0 が基本回転数変化率 ΔRPM_b を変更する。変更部 1 5 0 の第一加算器 1 5 1 は、第一変更値 ΔRPM_{c1} と第二変更値 ΔRPM_{c2} とを加算する。変更部 1 5 0 の第二加算器 1 5 2 は、上限回転数変化率演算部 1 4 5 が求めた上限回転数変化率 ΔRPM_L と第一加算器 1 5 1 からの出力とを加算する。変更部 1 5 0 の最小値選択器 1 5 3 は、基本回転数変化率 ΔRPM_b と第二加算器 1 5 2 からの出力の値とのうち、小さい方の値を選択し、これを回転数変化率 ΔRPM として、燃料操作量出力部 1 6 0 の回転数変化率換算部 1 6 4 へ出力する。

[0090] 以上で、パラメータ変化率設定工程 (S 3 0) が終了する。

[0091] 次に、燃料操作量出力部 1 6 0 が燃料調節弁 3 6 に操作量を出力する (S 3 6 : 操作量出力工程)。燃料操作量出力部 1 6 0 の回転数変化率換算部 1 6 4 は、回転数変化率設定部 1 4 0 が設定した回転数変化率 ΔRPM を燃料

調節弁 36 の操作量に換算する。この操作量は、選択部 169 を介して、燃料調節弁 36 に出力される。この結果、燃焼器 30 には、パラメータ変化率設定工程 (S30) で設定された回転数変化率 ΔRPM が得られる燃料流量の燃料 F が供給される。

[0092] 前述したように、以上の工程が繰り返し実行される結果、ガスタービンロータ 2 の回転数 RPM が次第に高まる。そして、ガスタービン 1 の回転数 RPM が定格回転数 (例えば、3600 rpm) になり、発電機 9 が電力系統に接続されると、起動工程が終了する。

[0093] 起動工程が終了すると、負荷運転工程が実行される。この負荷運転工程でも、起動工程と同様の工程が繰り返し実行される。

[0094] この負荷運転工程では、図 9 のフローチャートに示す工程が繰り返し実行される。まず、出力計 103 がガスタービン 1 の出力 PW を検知する (S11a: パラメータ検知工程)。さらに、複数のクリアランス計測器 101 がクリアランス量 CL を計測する (S12a: クリアランス計測工程)。制御装置本体 110 の出力変化率設定部 120 は、出力計 103 からの出力 PW を受け付ける (S21a: パラメータ受付工程)。また、制御装置本体 110 のクリアランス信号処理部 111 は、複数のクリアランス計測器 101 からの信号を受け付け、複数のクリアランス計測器 101 が計測したクリアランス量 CL のうち、最小のクリアランス量 CL を出力する (S22a: クリアランス受付工程)。

[0095] 次に、出力変化率設定部 120 がガスタービン 1 の出力変化率 ΔPW を定める (S30a: パラメータ変化率設定工程)。このパラメータ変化率設定工程 (S30a) では、基本変化率演算工程 (S31a)、上限変化率演算工程 (S32a)、第一変更値演算工程 (S33a)、第二変更値演算工程 (S34a)、変更工程 (S35a) が実行される。

[0096] 基本変化率演算工程 (S31a) では、まず、目標出力演算部 122 が負荷指令に応じて目標出力 PW_t を求める。基本出力変化率演算部 121 の $\Delta P I$ 演算部 123 は、出力計 103 で検知された出力 PW と目標出力 PW_t

との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（PI制御量）である基本出力変化率 ΔPWb を求める。

[0097] 上限変化率演算工程（S32a）では、上限出力変化率演算部125が、図6を参照して説明したマップ125mを用いて、出力計103で検知された出力PWに対応する上限出力変化率 ΔPWL を求める。

[0098] 第一変更値演算工程（S33a）では、出力変化率設定部120の第一変更値演算部126が図6を参照して説明したマップ126mを用いて、クリアランス信号処理部111から出力されたクリアランス量CLに対応する第一変更値 $\Delta PWc1$ を求める。この第一変更値 $\Delta PWc1$ は、前述したように、クリアランス量CLの増加に伴って大きくなる。

[0099] 第二変更値演算工程（S34a）は、出力変化率設定部120の第二変更値演算部127が実行する。第二変更値演算部127の ΔPI 演算部129は、許容最小値記憶部128に記憶されている許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス信号処理部111から出力されたクリアランス量CLとの偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（PI制御量）である第二変更値 $\Delta PWc2$ を求める。この第二変更値 $\Delta PWc2$ は、前述したように、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量CLとの偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0100] 変更工程（S35a）では、出力変化率設定部120の変更部130が基本出力変化率 ΔPWb を変更する。変更部130の第一加算器131は、第一変更値 $\Delta PWc1$ と第二変更値 $\Delta PWc2$ とを加算する。変更部130の第二加算器132は、上限出力変化率演算部125が求めた上限出力変化率 ΔPWL と第一加算器131からの出力とを加算する。変更部130の最小値選択器133は、基本出力変化率 ΔPWb と第二加算器132からの出力の値とのうち、小さい方の値を選択し、これを出力変化率 ΔPW として、燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162へ出力する。

[0101] 以上で、パラメータ変化率設定工程（S30a）が終了する。

[0102] 次に、燃料操作量出力部160が燃料調節弁36に操作量を出力する（S

36a：操作量出力工程）。燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162は、出力変化率設定部120が設定した出力変化率 ΔPW を燃料調節弁36の操作量に換算する。この操作量は、選択部169を介して、燃料調節弁36に出力される。この結果、燃焼器30には、パラメータ変化率設定工程（S30a）で設定された出力変化率 ΔPW が得られる燃料流量の燃料Fが供給される。

[0103] 制御装置本体110が新たな負荷指令を受け付けると、出力計103で検知された出力PWが新たな負荷指令が示す要求出力になるまで、以上の処理が繰り返し実行される。要求出力「0」を示す負荷指令を制御装置本体110が受けると、出力PWが次第に低下し、所定の出力PWになった時点で、発電機9が電力系統から電氣的に切断される。その後、燃焼器30に供給される燃料流量が「0」になる。

[0104] 前述したように、負荷運転工程では、以上の工程が繰り返し実行される結果、現状の出力PWより大きな要求出力を示す負荷指令を受けた場合には、出力PWが要求出力になるまで次第に高まる。また、現状の出力PWより小さな要求出力を示す負荷指令を受けた場合には、出力PWが要求出力になるまで次第に低下する。

[0105] 次に、図10を参照して、以上で説明したクリアランス量CLに基づくパラメータ変化率制御を行っていない変化率未制御時の回転数RPM、出力PW、及びクリアランス量CLの変化について説明する。

[0106] 制御装置100が時刻t0に起動指令を受けると、この時刻t0から回転数RPMが次第に増加する。

[0107] この起動工程の当初、ガスタービン1の実際の回転数RPMと目標回転数RPM_tとの偏差が極めて大きいため、基本回転数変化率演算部141が求める基本回転数変化率 ΔRPM_b は極めて大きな値になる。よって、起動工程の当初、基本回転数変化率 ΔRPM_b と第二加算器152からの出力の値とのうち、第二加算器152からの出力の値の方が小さくなる。このため、変更部150の最小値選択器153は、第二加算器152からの出力の値を

選択し、この出力の値を回転数変化率 $\Delta R P M$ として、燃料操作量出力部 160 の回転数変化率換算部 164 へ出力する。

[0108] また、この起動工程の終盤、ガスタービン 1 の実際の回転数 $R P M$ と目標回転数 $R P M_t$ との偏差が小さくなるため、基本回転数変化率演算部 141 が求める基本回転数変化率 $\Delta R P M_b$ は、起動工程の当初の値よりも小さな値になる。よって、起動工程の終盤、基本回転数変化率 $\Delta R P M_b$ と第二加算器 152 からの出力の値との差は、起動工程の当初よりも小さくなる。このため、変更部 150 の最小値選択器 153 は、第二加算器 152 からの出力の値を選択し、この出力の値を回転数変化率 $\Delta R P M$ として出力する場合もあれば、基本回転数変化率 $\Delta R P M_b$ を選択し、この基本回転数変化率 $\Delta R P M_b$ を回転数変化率 $\Delta R P M$ として出力する場合もある。

[0109] ここで、以下の説明を簡単にするため、起動工程では、基本回転数変化率 $\Delta R P M_b$ よりも第二加算器 152 からの出力の値の方が小さいとする。この場合、変更部 150 の最小値選択器 153 は、第二加算器 152 からの出力の値を選択し、この出力の値を回転数変化率 $\Delta R P M$ として、燃料操作量出力部 160 の回転数変化率換算部 164 へ出力する。

[0110] 変化率未制御時、回転数変化率設定部 140 の変更部 150 は、回転数変化率 $\Delta R P M$ に関する第一変更値 $\Delta R P M_{c1}$ 及び第二変更値 $\Delta R P M_{c2}$ を上限回転数変化率 $\Delta R P M_L$ に加算しない。このため、変更部 150 の最小値選択器 153 は、第二加算器 152 からの出力として、上限回転数変化率 $\Delta R P M_L$ を選択し、この上限回転数変化率 $\Delta R P M_L$ を回転数変化率 $\Delta R P M$ として、燃料操作量出力部 160 の回転数変化率換算部 164 へ出力する。上限回転数変化率 $\Delta R P M_L$ は、ほぼ一定である。このため、回転数 $R P M$ は、起動指令を受けた時点 (t_0) から、定格回転数になるまで、リニアに増加する。

[0111] 時刻 t_2 に、回転数 $R P M$ が定格回転数になると、この時刻 t_2 以降、回転数 $R P M$ はこの定格回転数に保持される。時刻 t_2 後の時刻 t_3 では、発電機 9 が電氣的に電力系統に接続される。この結果、時刻 t_3 から発電機出

力PWが発生する。出力PWは、その後、負荷指令が示す要求出力に応じて、増減する。

[0112] 負荷運転工程では、負荷指令を受けた当初、ガスタービン1の実際の出力PWと負荷指令が示す要求出力との偏差が大きいため、基本出力変化率演算部121が求める基本出力変化率 ΔPWb は大きな値になる。よって、負荷指令を受けた当初、基本出力変化率 ΔPWb と第二加算器132からの出力の値とのうち、第二加算器132からの出力の値の方が小さくなる。このため、変更部130の最小値選択器133は、第二加算器132からの出力の値を選択し、この出力の値を出力変化率 ΔPW として、燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162へ出力する。

[0113] また、負荷指令を受けてから所定時間経過すると、ガスタービン1の実際の出力PWと負荷指令が示す要求出力との偏差が小さくなるため、基本出力変化率演算部121が求める基本出力変化率 ΔPWb は、負荷指令を受けた当初の値よりも小さな値になる。よって、負荷指令を受けてから所定時間経過すると、基本出力変化率 ΔPW と第二加算器132からの出力の値との差は、負荷指令を受けた当初よりも小さくなる。このため、変更部130の最小値選択器133は、第二加算器132からの出力の値を選択し、この出力の値を出力変化率 ΔPW として出力する場合もあれば、基本出力変化率 ΔPWb を選択し、この基本出力変化率 ΔPWb を出力変化率 ΔPW として出力する場合もある。

[0114] ここで、以下の説明を簡単にするため、負荷運転工程では、基本出力変化率 ΔPWb よりも第二加算器132からの出力の値の方が小さいとする。この場合、変更部130の最小値選択器133は、第二加算器132からの出力の値を選択し、この出力の値を出力変化率 ΔPW として、燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162へ出力する。

[0115] 変化率未制御時、出力変化率設定部120の変更部130は、出力変化率 ΔPW に関する第一変更値 $\Delta PWc1$ 及び第二変更値 $\Delta PWc2$ を上限出力変化率 ΔPWL に加算しない。このため、変更部130の最小値選択器133

は、第二加算器 132 からの出力として、上限出力変化率 ΔPWL を選択し、この上限出力変化率 ΔPWL を出力変化率 ΔPW として、燃料操作量出力部 160 の出力変化率換算部 162 へ出力する。上限出力変化率 ΔPWL は、ほぼ一定である。このため、出力 PW は、負荷指令を受けた時点から、この負荷指令が示す要求出力になるまで、リニアに増加又は減少する。

[0116] ガスタービンロータ 2 が回転し始めると (t_0)、動翼 44 に遠心力が作用して、動翼 44 は径方向外側 Dr_o に延びる。このため、ガスタービン 1 が回転し始めると (t_0)、クリアランス量 CL が小さくなる。

[0117] タービンケーシング 48 は、動翼 44 よりも熱容量が大きい。このため、タービンケーシング 48 の単位時間当たりの熱伸び量は、動翼 44 の単位時間当たりの熱伸び量より小さい。よって、ガスタービン 1 への燃料供給が開始され、タービン 40 の燃焼ガス流路 49 に高温の燃焼ガスが流れて、タービンケーシング 48 及び動翼 44 が燃焼ガスにより同様に加熱されても、クリアランス量 CL が小さくなる。クリアランス量 CL がある程度小さくなると、逆にクリアランス量 CL が次第に大きくなる。この過程で、クリアランス量 CL が最低になる。この最低のクリアランス量 CL のポイントは、ピンチポイントと呼ばれる。

[0118] 出力 PW が増加し始める時点 (t_3) から、ガスタービン 1 への燃料供給量が増加し、燃焼ガス流路 49 を流れる燃焼ガスの温度が上昇する上に、この燃焼ガスの流量も増加する。このため、出力 PW が増加し始めると (t_3)、再び、クリアランス量 CL が小さくなる。出力 PW が要求出力になった (t_5) 以降、出力 PW がこのまま維持されると、タービンケーシング 48 と動翼 44 との熱伸び差が小さくなるため、クリアランス量 CL が次第に増加する。この過程で、クリアランス量 CL が最低になる。この最低のクリアランス量 CL のポイントも、ピンチポイントと呼ばれる。仮に、所定時間以上、出力一定が継続すると、クリアランス量 CL が一定の値に維持される。

[0119] ガスタービン 1 へ燃料供給量が減少すると、タービンケーシング 48 よりも動翼 44 の方が短時間で縮むため、クリアランス量 CL は一時的に大きく

なる。すなわち、負荷指令が示す要求出力が現時点の出力 PW より小さい場合、クリアランス量 CL は一時的に大きくなる。

[0120] 次に、図 11 を参照して、以上で説明したクリアランス量 CL に基づく変化率制御時の回転数 RPM 、及びクリアランス量 CL の変化について説明する。なお、以下の説明でも、説明を簡単にするため、基本回転数変化率 ΔRPM_b よりも回転数変化率設定部 140 の第二加算器 152 からの出力の値の方が小さいとする。この場合、変更部 150 の最小値選択器 153 は、第二加算器 152 からの出力の値を選択し、この出力の値を回転数変化率 ΔRPM として、燃料操作量出力部 160 の回転数変化率換算部 164 へ出力する。

[0121] タービンロータ 41 の回転数 RPM は、時刻 t_0 から徐々に増加して、定格回転数になると、この定格回転数が維持される。時刻 t_0 のときのクリアランス量 CL は、ピンチポイントでのクリアランス量 CL 及び許容最小クリアランス量 CL_{min} より遥に大きい。

[0122] 回転数変化率 ΔRPM に関する第一変更値 ΔRPM_{c1} 及び第二変更値 ΔRPM_{c2} は、クリアランス量 CL が大きくなるに連れて大きくなる。しかも、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} より大きい場合、これら第一変更値 ΔRPM_{c1} 及び第二変更値 ΔRPM_{c2} は、正の値である。よって、時刻 t_0 のときの第二加算器 152 からの出力の値は、上限回転数変化率 ΔRPM_L に正の値の第一変更値 ΔRPM_{c1} 及び第二変更値 ΔRPM_{c2} を加えた値になる。第二加算器 152 からの出力は、前述したように、回転数変化率設定部 140 が定めた回転数変化率 ΔRPM になる。このため、時刻 t_0 のとき、回転数変化率設定部 140 が定める回転数変化率 ΔRPM は、上限回転数変化率 ΔRPM_L より大きな値である。

[0123] 起動工程では、クリアランス量 CL が時間経過に伴い次第に小さくなる。このため、回転数変化率 ΔRPM に関する第一変更値 ΔRPM_{c1} 及び第二変更値 ΔRPM_{c2} も、起動工程では、時間経過に伴い次第に小さくなる。しかしながら、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} より大きい

場合には、第一変更値 $\Delta RPMc1$ 及び第二変更値 $\Delta RPMc2$ は正の値であるため、時刻 t_0 以降であっても、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ より大きい場合には、起動工程中、回転数変化率設定部140が定める回転数変化率 ΔRPM は、上限回転数変化率 ΔRPM_L より大きな値である。

[0124] 変化率未制御時、回転数変化率設定部140が定める回転数変化率 ΔRPM は、前述したように、上限回転数変化率 ΔRPM_L である。このため、変化率制御時、時刻 t_0 からクリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ に近い小さな値になるまで、回転数変化率 ΔRPM は変化率未制御時より大きい。

[0125] よって、本実施形態では、変化率未制御時に回転数 RPM が定格回転数になる時刻 t_2 よりも前の時刻 t_1 に回転数 RPM が定格回転数になる。すなわち、本実施形態では、ガスタービン1の起動開始(t_0)からこのガスタービン1の回転数 RPM が定格回転数になるまでの時間を短くすることができる。

[0126] このように、本実施形態では、ガスタービン1の起動開始(t_0)からこのガスタービン1の回転数 RPM が定格回転数になるまでの時間を短くなるので、起動工程で、クリアランス量 CL がピンチポイントになるまでの時間も、変化率未制御時の同時間よりも短くなる。

[0127] 回転数変化率 ΔRPM に関する第一変更値 $\Delta RPMc1$ は、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ に近い場合、及びクリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ より小さい場合には、負の値になる。また、回転数変化率 ΔRPM に関する第二変更値 $\Delta RPMc2$ は、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ より小さい場合には、負の値になる。このため、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ に近い場合、及びクリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 $CLmin$ より小さい場合には、回転数変化率設定部140が定める回転数変化率 ΔRPM は、上限回転数変化率 ΔRPM_L より小さな値である。

[0128] よって、本実施形態では、クリアランス量 CL がピンチポイントに近くなると、回転数変化率 ΔRPM が、変化率未制御時の回転数変化率 ΔRPM よりも小さくなる。このため、本実施形態では、ピンチポイントにおけるクリアランス量 CL が、変化率未制御時に比べて、小さくなることを抑制できる。

[0129] 次に、図12を参照して、以上で説明したクリアランス量 CL に基づく変化率制御時の出力 PW 、及びクリアランス量 CL の変化について説明する。なお、以下の説明でも、説明を簡単にするため、基本出力変化率 ΔPWb よりも出力変化率設定部120の第二加算器132からの出力の値の方が小さいとする。この場合、変更部130の最小値選択器133は、第二加算器132からの出力の値を選択し、この出力の値を出力変化率 ΔPW として、燃料操作量出力部160の出力変化率換算部162へ出力する。

[0130] ガスタービン1の出力 PW は、前述したように、時刻 t_3 から徐々に増加して、要求出力になると、この出力 PW が維持される。時刻 t_3 のときのクリアランス量 CL は、ピンチポイントでのクリアランス量 CL より大きい。

[0131] 出力変化率 ΔPW に関する第一変更値 $\Delta PWc1$ 及び第二変更値 $\Delta PWc2$ は、クリアランス量 CL が大きくなるに連れて大きくなる。しかも、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} より大きい場合、これら第一変更値 $\Delta PWc1$ 及び第二変更値 $\Delta PWc2$ は、正の値である。よって、時刻 t_3 のときの第二加算器132からの出力の値は、上限出力変化率 ΔPWL に正の値の第一変更値 $\Delta PWc1$ 及び第二変更値 $\Delta PWc2$ を加えた値になる。第二加算器132からの出力は、前述したように、出力変化率設定部120が定めた出力変化率 ΔPW になる。このため、時刻 t_3 のとき、出力変化率設定部120が定める出力変化率 ΔPW は、上限出力変化率 ΔPWL より大きな値である。

[0132] 出力 PW を増加させる場合、クリアランス量 CL は時間経過に伴い次第に小さくなる。このため、出力変化率 ΔPW に関する第一変更値 $\Delta PWc1$ 及び第二変更値 $\Delta PWc2$ も、出力 PW を増加させる過程で、時間経過に伴い次第

に小さくなる。しかしながら、クリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} より大きい場合には、第一変更値 ΔPW_{c1} 及び第二変更値 ΔPW_{c2} は正の値であるため、出力 PW を増加させる過程であっても、クリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} より大きい場合には、出力変化率設定部120が定める出力変化率 ΔPW は、上限出力変化率 ΔPW_L より大きな値である。

[0133] 変化率未制御時、出力変化率設定部120が定める出力変化率 ΔPW は、前述したように、上限出力変化率 ΔPW_L である。このため、変化率制御時、時刻 t_3 から出力 PW が要求出力になる時刻 t_5 よりも前の時刻 t_4 に、出力 PW が要求出力になる。すなわち、本実施形態では、時刻 t_3 からガスタービン1の出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くすることができる。

[0134] このように、本実施形態では、時刻 t_3 からガスタービン1の出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くなるので、出力 PW を増加させる過程で、クリアランス量 C_L がピンチポイントになるまでの時間も、変化率未制御時の同時間よりも短くなる。

[0135] 出力変化率 ΔPW に関する第一変更値 ΔPW_{c1} は、クリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} に近い場合、及びクリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} より小さい場合には、負の値になる。また、出力変化率 ΔPW に関する第二変更値 ΔPW_{c2} は、クリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} より小さい場合には、負の値になる。このため、クリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} に近い場合、及びクリアランス量 C_L が許容最小クリアランス量 C_{Lmin} より小さい場合には、出力変化率設定部120が定める出力変化率 ΔPW は、上限回転数変化率 ΔRPM_L より小さな値である。

[0136] よって、本実施形態では、出力 PW の増加過程で、クリアランス量 C_L がピンチポイントに近くなると、出力変化率 ΔPW が、変化率未制御時の出力変化率 ΔPW よりも小さくなる。このため、本実施形態では、出力 PW の増

加過程で、ピンチポイントにおけるクリアランス量 CL が、変化率未制御時に比べて、小さくなることを抑制できる。

[0137] 前述したように、出力増加時、一時的にクリアランス量 CL が小さくなる。一方、出力減少時には、逆に、一時的にクリアランス量 CL が大きくなる。このため、本実施形態では、要求出力が現状の出力 PW よりも小さい負荷指令を受けた場合でも、つまり出力減少を示す負荷指令を受けた場合でも、変化率制御時では、変化率未制御時に比べて、短時間で出力 PW が要求出力になる。

[0138] 吸気操作量設定部180の変更部182は、クリアランス計測器101で計測されたクリアランス量 CL に応じて、このIGV開度（吸気量調節器の操作量）を変更する。吸気操作量出力部189は、変更されたIGV開度をIGV21の駆動器23に出力する。この結果、IGV開度は、変更されたIGV開度になる。燃料流量を変えずに、吸気流量を増加させると、燃焼ガス流路49を流れる燃焼ガスの温度が低下し、クリアランス量 CL が変化する。以上のように、本実施形態では、クリアランス量 CL に応じてIGV開度が変わるので、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを防ぐことができる。

[0139] 中間ケーシング18bから抽気された圧縮空気は、冷却器62で冷却されて冷却空気 A_m になる。この冷却空気 A_m は、抽気ライン61等を介して、第一列動翼44aに導かれる。そして、この冷却空気 A_m は、第一列動翼44a内に形成されている冷却通路44cを経て、燃焼ガス流路49中に放出される。この冷却空気 A_m は、第一列動翼44a内に形成されている冷却通路44cを通る過程で、第一列動翼44aと熱交換して、この第一列動翼44aを冷却する。また、冷却空気 A_m が第一列動翼44aから放出されると、この冷却空気 A_m の一部が第一列動翼44aに対するフィルム冷却のための空気として機能する。よって、本実施形態では、第一列動翼44aが燃焼ガスの熱により熱損傷することを防ぐことができる。

[0140] ところで、動翼44が冷却されると、動翼44の熱伸び量が小さくなり、

クリアランス量 CL が増加する。本実施形態では、冷却操作量設定部170の変更部172が、クリアランス計測器101で計測されたクリアランス量 CL に応じて、冷却調節器64で冷却器62を流れる冷却媒体の流量を変更する。この結果、冷却空気 A_m の温度が変化して、冷却空気 A_m による第一列動翼44aの冷却量が変化する。よって、本実施形態では、クリアランス量 CL に応じて第一列動翼44aの冷却量が変わるので、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを防ぐことができる。

[0141] 以上のように、本実施形態では、クリアランス量 CL に応じて回転数変化率 ΔRPM が変わるので、回転数 RPM が定格回転数になるまでの、起動時間を短くすることができる。さらに、本実施形態では、クリアランス量 CL に応じて出力変化率 ΔPW が変わるので、出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くすることができる。このように、本実施形態では、回転数 RPM が定格回転数になるまでの時間や、出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くすることができる上に、クリアランス量 CL に応じて回転数変化率 ΔRPM や出力変化率 ΔPW が変わるので、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを抑えることができる。また、本実施形態では、クリアランス量 CL に応じて、 $IGV21$ の開度や圧縮空気の冷却量を変更するので、この観点からも、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを抑えることができる。

[0142] よって、本実施形態では、ガスタービン1の損傷を抑えつつも、ガスタービン1の出力 PW や回転数 RPM を短時間で目標値にすることができる。

[0143] なお、ガスタービン1では、以上で説明したように、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなり、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなる。このため、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合のみ、クリアランス量 CL に基づく回転数 RPM や出力 PW の変化率の制御を行い、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合、回転数 RPM や出力 PW の変化率を固定値にしてもよい。

[0144] 「第二実施形態」

以下、本発明に係る回転機械設備の第二実施形態について、図 13 及び図 14 を参照して説明する。

[0145] 本実施形態の回転機械設備は、図 13 に示すように、蒸気タービン発電プラントである。この蒸気タービン発電プラントは、蒸気タービン 70 と、蒸気タービン 70 の駆動で発電する発電機 9a と、制御装置 100a と、を備える。

[0146] 蒸気タービン 70 は、軸線 Ar を中心として回転する蒸気タービンロータ 71 と、蒸気タービンロータ 71 を覆う蒸気タービンケーシング 78 と、複数の静翼列 75 と、を有する。蒸気タービンロータ 71 は、その軸線 Ar を中心として軸線方向 Da に延びるロータ軸 72 と、このロータ軸 72 に取り付けられている複数の動翼列 73 と、を有する。複数の動翼列 73 は、軸線方向 Da に並んでいる。各動翼列 73 は、いずれも、周方向 Dc に並んでいる複数の動翼 74 で構成されている。複数の動翼列 73 の各軸線上流側 Dau には、静翼列 75 が配置されている。各静翼列 75 は、蒸気タービンケーシング 78 の内側に設けられている。各静翼列 75 は、いずれも、周方向 Dc に並んでいる複数の静翼 76 で構成されている。ロータ軸 72 の外周側と蒸気タービンケーシング 78 の内周側との間であって、軸線方向 Da で静翼列 75 及び動翼列 73 が配置されている領域の環状の空間は、蒸気が流れる蒸気主流路 79 を成す。なお、以下では、複数の動翼列 73 のうち、最も軸線上流側 Dau の動翼列 73 を第一動翼列とし、以下、軸線下流側 Dad に向って、第二動翼列、第三動翼列、…とする。

[0147] 本実施形態では、蒸気タービンロータ 71 と蒸気タービンケーシング 78 とを有する蒸気タービン 70 が軸流式回転機械を成す。蒸気タービンロータ 71 には、発電機 9a のロータが接続されている。

[0148] 蒸気タービンケーシング 78 には、自身の軸線上流側 Dau の部分に蒸気入口 78i が形成され、自身の軸線下流側 Dad の部分に蒸気出口 78o が形成されている。蒸気入口 78i には、主蒸気ライン 91 が接続されている

。この主蒸気ライン 91 には、蒸気タービンケーシング 78 内に流入する蒸気の流量を調節する蒸気調節弁 92 が設けられている。

[0149] 制御装置 100a は、前述の蒸気調節弁 92 と、クリアランス計測器 101 と、回転数計 102 と、出力計 103 と、制御装置本体 110a と、を有する。クリアランス計測器 101 は、蒸気タービンケーシング 78 と蒸気タービンロータ 71 との間のクリアランス量 CL を計測する。回転数計 102 は、蒸気タービンロータ 71 の回転数 RPM を検知する。出力計 103 は、蒸気タービン 70 の出力 PW、言い換えると、発電機 9a の発電量を検知する。回転数計 102 及び出力計 103 は、いずれもパラメータ計の一例である。

[0150] 軸線 Ar を中心として回転する蒸気タービンロータ 71 の動翼 74 と、この蒸気タービンロータ 71 を覆う蒸気タービンケーシング 78 との間には、クリアランスがある。本実施形態のクリアランス計測器 101 は、第一列動翼 74a と蒸気タービンケーシング 78 との間のクリアランス量 CL を計測する。本実施形態の制御装置 100a は、第一実施形態の制御装置 100a と同様に、複数のクリアランス計測器 101 を備える。なお、クリアランス計測器 101 で、第二列動翼 74 と蒸気タービンケーシング 78 との間のクリアランスの量を計測してもよい。さらに、第一列動翼 74a と蒸気タービンケーシング 78 との間のクリアランスの量、及び、第二列動翼 74 と蒸気タービンケーシング 78 との間のクリアランスの量を計測してもよい。

[0151] 制御装置本体 110a は、図 14 に示すように、クリアランス信号処理部 111 と、出力変化率設定部 120a と、回転数変化率設定部 140a と、蒸気操作量出力部 160a と、を有する。この制御装置本体 110a も、第一実施形態の制御装置本体 110 と同様に、コンピュータである。制御装置本体 110a の各機能構成は、コンピュータに格納された制御プログラムをこのコンピュータの CPU が実行することで実現する。

[0152] クリアランス信号処理部 111 は、複数のクリアランス計測器 101 からの信号を処理して、複数のクリアランス計測器 101 が計測したクリアラン

ス量 CL のうち、最小のクリアランス量 CL を出力する。

[0153] 出力変化率設定部120aは、第一実施形態の出力変化率設定部120と同様に、基本出力変化率演算部121aと、変更値演算部124aと、変更部130aと、を有する。

[0154] 基本出力変化率演算部121aは、第一実施形態の基本出力変化率演算部121の構成と基本的に同じで、負荷指令や起動指令に応じて定まる目標出力 PW_t と出力計103で検知された出力 PW との偏差に基づいて、基本出力変化率 ΔPW_b を求める。

[0155] 変更値演算部124aは、第一実施形態の変更値演算部124の構成と基本的に同じである。このため、この変更値演算部124aも、図示されていないが、第一実施形態の変更値演算部124と同様に、上限出力変化率演算部と、第一変更値演算部と、第二変更値演算部と、を有する。上限出力変化率演算部は、実際の出力 PW と出力変化率 ΔPW の上限値である上限出力変化率 ΔPW_L との関係を示すマップを用いて、出力計103で検知された出力 PW に対応する上限出力変化率 ΔPW_L を求める。変更値演算部124aの第一変更値演算部は、クリアランス量 CL と基本出力変化率 ΔPW_b を変更する第一変更値 ΔPW_{c1} との関係を示すマップを用いて、クリアランス信号処理部111から出力されたクリアランス量 CL に対応する第一変更値 ΔPW_{c1} を求める。このマップが示す関係も、第一実施形態の第一変更値演算部126が有するマップ126mと同様、基本的に、クリアランス量 CL の増加に伴って、第一変更値 ΔPW_{c1} が大きくなる関係である。さらに、このマップでも、許容最小クリアランス量 CL_{min} よりもクリアランス量 CL が大きい場合、第一変更値 ΔPW_{c1} が正の値を示し、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} 以下の場合、第一変更値 ΔPW_{c1} が負の値を示す。変更値演算部124aの第二変更値演算部は、図示されていないが、第一実施形態の第二変更値演算部127と同様に、許容最小値記憶部と、 ΔP 演算部と、を有する。許容最小値記憶部には、許容最小クリアランス量 CL_{min} が記憶されている。 ΔP 演算部は、許容最小クリアランス量 CL_{min}

とクリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（ PI 制御量）である第二変更値 $\Delta PWc2$ を求める。よって、この第二変更値演算部が求める第二変更値 $\Delta PWc2$ は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0156] 変更部 130a は、第一実施形態の変更部 130、150、172、182 の構成と基本的に同じである。このため、この変更部 130a も、図示されていないが、第一実施形態の変更部 130 と同様に、第一加算器と、第二加算器と、最小値選択器と、を有する。第一加算器は、第一実施形態の第一加算器 131 と同様に動作する。第二加算器は、第一実施形態の第二加算器 132 と同様に動作する。最小値選択器は、第一実施形態の最小値選択器 133 と同様に動作する。

[0157] 蒸気操作量出力部 160a は、出力変化率換算部 162a と、回転数変化率換算部 164a と、選択部 169a と、を有する。出力変化率換算部 162a は、出力変化率設定部 120a が設定した出力変化率 ΔPW を操作端である蒸気調節弁 92 の操作量に換算する。回転数変化率換算部 164a は、回転数変化率設定部 140a が設定した回転数変化率 ΔRPM を操作端である蒸気調節弁 92 の操作量に換算する。選択部 169a は、出力変化率換算部 162a が求めた操作量と、回転数変化率換算部 164a が求めた操作量とのうち、一方の操作量のみを蒸気調節弁 92 に出力する。

[0158] 回転数変化率設定部 140a は、第一実施形態の回転数変化率設定部 140 と同様に、基本回転数変化率演算部 141a と、変更値演算部 144a と、変更部 150a と、を有する。

[0159] 基本回転数変化率演算部 141a は、第一実施形態の基本回転数変化率演算部 141 の構成と基本的に同じで、起動指令に応じて定まる目標回転数 RPM_t と回転数計 102 で検知された回転数 RPM との偏差に基づいて、基本回転数変化率 ΔRPM_b を求める。

[0160] 変更値演算部 144a は、第一実施形態の変更値演算部 144 の構成と基

本的に同じである。このため、この変更値演算部 144 a も、図示されていないが、第一実施形態の変更値演算部 144 と同様に、上限回転数変化率演算部と、第一変更値演算部と、第二変更値演算部と、を有する。上限回転数変化率演算部は、実際の回転数 RPM と回転数変化率 ΔRPM の上限値である上限回転数変化率 ΔRPM_L との関係を示すマップを用いて、回転数計 102 で検知された回転数 RPM に対応する上限回転数変化率 ΔRPM_L を求める。変更値演算部 144 a の第一変更値演算部は、クリアランス量 CL と基本回転数変化率 ΔRPM_b を変更する第一変更値 ΔRPM_{c1} との関係を示すマップを用いて、クリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL に対応する第一変更値 ΔRPM_{c1} を求める。このマップが示す関係も、第一実施形態の第一変更値演算部 146 が有するマップ 146 m と同様、基本的に、クリアランス量 CL の増加に伴って、第一変更値 ΔRPM_{c1} が大きくなる関係である。さらに、このマップでも、許容最小クリアランス量 CL_{min} よりもクリアランス量 CL が大きい場合、第一変更値 ΔRPM_{c1} が正の値を示し、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} 以下の場合、第一変更値 ΔRPM_{c1} が負の値を示す。変更値演算部 144 a の第二変更値演算部は、図示されていないが、第一実施形態の第二変更値演算部 147 と同様に、許容最小値記憶部と、 ΔPI 演算部と、を有する。許容最小値記憶部には、許容最小クリアランス量 CL_{min} が記憶されている。 ΔPI 演算部は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量 (PI 制御量) である第二変更値 ΔRPM_{c2} を求める。よって、この第二変更値演算部が求める第二変更値 ΔRPM_{c2} は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0161] 変更部 150 a は、第一実施形態の変更部 150 の構成と基本的に同じである。このため、この変更部 150 a も、図示されていないが、第一実施形態の変更部 150 と同様に、第一加算器と、第二加算器と、最小値選択器

と、を有する。第一加算器は、第一実施形態の第一加算器 151 と同様に動作する。第二加算器は、第一実施形態の第二加算器 152 と同様に動作する。最小値選択器は、第一実施形態の最小値選択器 153 と同様に動作する。

[0162] 第一実施形態で説明したガスタービン 1 では、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなり、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなる。一方、蒸気タービン 70 では、蒸気タービンケーシング 78 の熱容量と動翼 74 の熱容量との関係等で、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなり、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなる。すなわち、回転数 RPM や出力 PW の増減に対するクリアランス量 CL の変化傾向は、ガスタービン 1 と蒸気タービン 70 とでは逆になる。

[0163] しかしながら、本実施形態でも、第一実施形態と同様に、クリアランス量 CL が小さいときには、回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が小さくなり、クリアランス量 CL が大きいときには、回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が大きくなる。このため、本実施形態でも、第一実施形態と同様に、回転数 RPM が定格回転数になるまでの、起動時間を短くすることができる。さらに、本実施形態でも、出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くすることができる。しかも、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを抑えることができる。

[0164] なお、蒸気タービン 70 では、以上で説明したように、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなり、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなる。このため、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合のみ、クリアランス量 CL に基づく回転数 RPM や出力 PW の変化率の制御を行い、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合、回転数 RPM や出力 PW の変化率を固定値にしてもよい。

[0165] 「第三実施形態」

以下、本発明に係る回転機械設備の第三実施形態について、図 15 及び図 16 を参照して説明する。

[0166] 本実施形態の回転機械設備は、図 15 に示すように、ガス圧縮プラントである。このガス圧縮は、圧縮機 80 と、圧縮機 80 を駆動させる原動機 9b と、制御装置 100b と、を備える。

[0167] 圧縮機 80 は、軸線 Ar を中心として回転する圧縮機ロータ 81 と、圧縮機ロータ 81 を覆う圧縮機ケーシング 88 と、複数の静翼列 85 と、を有する。圧縮機ロータ 81 は、その軸線 Ar を中心として軸線方向 Da に延びるロータ軸 82 と、このロータ軸 82 に取り付けられている複数の動翼列 83 と、を有する。複数の動翼列 83 は、軸線方向 Da に並んでいる。各動翼列 83 は、いずれも、周方向 Dc に並んでいる複数の動翼 84 で構成されている。複数の動翼列 83 の各軸線下流側 Da d には、静翼列 85 が配置されている。各静翼列 85 は、圧縮機ケーシング 88 の内側に設けられている。各静翼列 85 は、いずれも、周方向 Dc に並んでいる複数の静翼 86 で構成されている。ロータ軸 82 の外周側と圧縮機ケーシング 88 の内周側との間であって、軸線方向 Da で静翼列 85 及び動翼列 83 が配置されている領域の環状の空間は、ガスが流れつつ圧縮されるガス圧縮流路 89 を成す。すなわち、この圧縮機 80 は、軸流多段圧縮機である。なお、以下では、複数の動翼列 83 のうち、最も軸線上流側 Da u の動翼列 83 を第一動翼列とし、以下、軸線下流側 Da d に向って、第二動翼列、第三動翼列、…とし、最も軸線下流側 Da d の動翼列 83 を最終動翼列とする。

[0168] 本実施形態では、圧縮機ロータ 81 と圧縮機ケーシング 88 とを有する圧縮機 80 が回転機械を成す。圧縮機ロータ 81 には、この圧縮機ロータ 81 を回転させる原動機 9b のロータが接続されている。原動機 9b には、この原動機 9b に供給する電力の供給状態を変えて原動機 9b のロータの回転数 RPM を変える電源回路 94 が接続されている。

[0169] 圧縮機ケーシング 88 には、自身の軸線上流側 Da u の部分にガス入口 88 i が形成され、自身の軸線下流側 Da d の部分にガス出口 88 o が形成さ

れている。ガス出口 88 o には、圧縮ガスライン 93 が接続されている。この圧縮ガスライン 93 には、圧縮機 80 から吐出されたガスの流量 Q を検知する流量計 104 が設けられている。

[0170] 制御装置 100 b は、前述の電源回路 94 と、クリアランス計測器 101 と、回転数計 102 と、流量計 104 と、制御装置本体 110 b と、を有する。クリアランス計測器 101 は、圧縮機ケーシング 88 と圧縮機ロータ 81 との間のクリアランス量 CL を計測する。回転数計 102 は、圧縮機ロータ 81 の回転数 RPM を検知する。流量計 104 は、圧縮機 80 の出力としての吐出流量を検知する。回転数計 102 及び流量計 104 は、いずれもパラメータ計の一例である。

[0171] 軸線 A r を中心として回転する圧縮機ロータ 81 の動翼 84 と、この圧縮機ロータ 81 を覆う圧縮機ケーシング 88 との間には、クリアランスがある。本実施形態のクリアランス計測器 101 は、最終列動翼 84 a と圧縮機ケーシング 88 との間のクリアランス量 CL を計測する。本実施形態の制御装置 100 b は、第一及び第二実施形態の制御装置 100, 100 a と同様に、複数のクリアランス計測器 101 を備える。なお、クリアランス計測器 101 で、最終列より一つ軸線上流側 A r u の列の動翼 84 と圧縮機ケーシング 88 との間のクリアランス量 CL を計測してもよい。さらに、最終列動翼 84 a と圧縮機ケーシング 88 との間のクリアランス量 CL、及び、最終列より一つ軸線上流側 A r u の列の動翼 84 と圧縮機ケーシング 88 との間のクリアランス量 CL を計測してもよい。

[0172] 制御装置本体 110 b は、図 16 に示すように、クリアランス信号処理部 111 と、流量変化率設定部 120 b と、流量操作量出力部 160 b と、を有する。この制御装置本体 110 b も、第一実施形態の制御装置本体 110 と同様に、コンピュータである。制御装置本体 110 b の各機能構成は、コンピュータに格納された制御プログラムをこのコンピュータの CPU が実行することで実現する。

[0173] クリアランス信号処理部 111 は、複数のクリアランス計測器 101 から

の信号を処理して、複数のクリアランス計測器 101 が計測したクリアランス量 CL のうち、最小のクリアランス量 CL を出力する。

[0174] 流量変化率設定部 120b は、基本流量変化率演算部 121b と、変更値演算部 124b と、変更部 130 と、を有する。

[0175] 基本流量変化率演算部 121b は、 ΔP 演算部 123b を有する。この ΔP 演算部 123b は、外部からのガス流量指令が示す要求ガス流量と流量計で検知された吐出流量 Q との偏差に応じた比例及び積分制御量（ P 制御量）である基本流量変化率 ΔQ_b を求める。

[0176] 変更値演算部 124b は、第一実施形態の変更値演算部 124 の構成と基本的に同じである。このため、この変更値演算部 124b も、第一実施形態の変更値演算部 124 と同様に、上限流量変化率演算部 125b と、第一変更値演算部 126b と、第二変更値演算部 127b と、を有する。上限流量変化率演算部 125b は、実際の吐出流量 Q と流量変化率の上限値である上限流量変化率 ΔQ_L との関係を示すマップ 125mb を有する。上限流量変化率演算部 125b は、このマップ 125mb を用いて、流量計 104 で検知された吐出流量 Q に対応する上限流量変化率 ΔQ_L を求める。第一変更値演算部 126b は、クリアランス量 CL と基本流量変化率 ΔQ_b を変更する第一変更値 ΔQ_{c1} との関係を示すマップ 126mb を有する。第一変更値演算部 126b は、このマップ 126mb を用いて、クリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL に対応する第一変更値 ΔQ_{c1} を求める。このマップ 126mb が示す関係は、第一実施形態の第一変更値演算部 126 が有するマップ 126m と同様、基本的に、クリアランス量 CL の増加に伴って、第一変更値 ΔQ_{c1} が大きくなる関係である。さらに、このマップ 126mb でも、許容最小クリアランス量 CL_{min} よりもクリアランス量 CL が大きい場合、第一変更値 ΔQ_{c1} が正の値を示し、クリアランス量 CL が許容最小クリアランス量 CL_{min} 以下の場合、第一変更値 ΔQ_{c1} が負の値を示す。第二変更値演算部 127b は、許容最小値記憶部 128b と、 ΔP 演算部 129b と、を有する。許容最小値記憶部 128b には、許容最小

クリアランス量 CL_{min} が記憶されている。 ΔP 演算部 129b は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス信号処理部 111 から出力されたクリアランス量 CL との偏差を求め、この偏差に応じた比例及び積分制御量（ P 制御量）である第二変更値 $\Delta Qc2$ を求める。よって、この第二変更値演算部 127, 147 が求める第二変更値 $\Delta Qc2$ は、許容最小クリアランス量 CL_{min} とクリアランス量 CL との偏差が大きくなるに連れて大きくなる。

[0177] 変更部 130 は、第一実施形態の変更部 130 の構成と基本的に同じである。このため、この変更部 130 は、第一実施形態の変更部 130 と同様に、第一加算器 131 と、第二加算器 132 と、最小値選択器 133 と、を有する。第一加算器 131 は、第一実施形態の第一加算器 131 と同様に動作する。第二加算器 132 は、第一実施形態の第二加算器 132 と同様に動作する。最小値選択器 133 は、第一実施形態の最小値選択器 133 と同様に動作する。

[0178] 流量操作量出力部 160b は、流量変化率設定部 120b が設定した流量変化率 ΔQ を操作端である電源回路 94 の操作量に換算する。そして、この流量操作量出力部 160b は、この操作量を電源回路 94 に出力する。この結果、原動機ロータの回転数 $RP M$ が変化する。そして、原動機ロータの回転数 $RP M$ の変化に共になって、圧縮機ロータ 81 の回転数 $RP M$ が変化して、吐出流量 Q はガス流量指令が示す要求ガス流量になる。

[0179] 第一実施形態で説明したガスタービン 1 では、回転数 $RP M$ や出力 PW が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなり、回転数 $RP M$ や出力 PW が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなる。一方、圧縮機 80 では、一般的に、圧縮機ケーシング 88 の熱容量と動翼 84 の熱容量との関係等で、蒸気タービン 70 と同様、吐出流量 Q や回転数 $RP M$ が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなり、吐出流量 Q や回転数 $RP M$ が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなる。すなわち、吐出流量 Q や回転数 $RP M$ の増減に対するクリアランスの変化傾向は、ガスタービン 1 と圧縮機 80 とでは逆になり、蒸気タービン 70 と圧

縮機 80 とは同じになる。

[0180] しかしながら、本実施形態では、第一実施形態と同様に、クリアランス量 CL が小さいときには、流量変化率 ΔQ が小さくなり、クリアランス量 CL が大きいときには、流量変化率 ΔQ が大きくなる。このため、本実施形態では、実際の吐出流量 Q が要求流量になるまでの、時間を短くすることができると共に、クリアランス量 CL が極端に小さくなることを抑えることができる。

[0181] なお、以上では、圧縮機 80 のパラメータとして、圧縮機 80 の出力 (output) としての吐出流量 Q を扱っているが、この替りに、圧縮機 80 の出力 (output) としての吐出圧を扱ってもよい。この場合、外部からのガス圧指令が示す要求ガス圧と、圧力計で検知された吐出圧との偏差に応じた比例及び積分制御量 (PI 制御量) である基本圧力変化率を求める。そして、上限圧力変化率、クリアランス量 CL に基づく第一変更値及び第二変更値を用いて、基本圧力変化率を変更する。また、圧縮機 80 のパラメータとして、圧縮機 80 の回転数 RPM を扱ってもよい。この場合、外部からの回転数指令が示す要求回転数と、回転数計 102 で検知された回転数 RPM との偏差に応じた比例及び積分制御量 (PI 制御量) である基本回転数変化率を求める。そして、上限回転数変化率、クリアランス量に基づく第一変更値及び第二変更値を用いて、基本回転数変化率を変更する。

[0182] 圧縮機 80 では、以上で説明したように、吐出流量 Q や回転数 RPM が減少する場合にクリアランス量 CL が一時的に小さくなり、吐出流量 Q や回転数 RPM が増加する場合にクリアランス量 CL が一時的に大きくなる。このため、吐出流量 Q や回転数 RPM が減少する場合のみ、クリアランス量 CL に基づく吐出流量 Q や回転数 RPM の変化率の制御を行い、吐出流量 Q や回転数 RPM が増加する場合、吐出流量 Q や回転数 RPM の変化率を固定値にしてもよい。

[0183] また、第一、第二及び第三実施形態で説明したように、回転するロータと、このロータの外周側を覆うケーシングを備える回転機械であれば、他の回

転機械であっても、以上と同様に、クリアランスに基づき、回転数や出力（output）としての吐出流量等の変化率を変える制御を行ってもよい。

[0184] 「第四実施形態」

以下、本発明に係る回転機械設備の第四実施形態について、図 17 及び図 18 を参照して説明する。

[0185] 本実施形態の回転機械設備は、図 17 に示すように、コンバインドサイクルプラントである。このコンバインドサイクルプラントは、ガスタービン 1 と、蒸気タービン 70 と、発電機 9c と、排熱回収ボイラー 95 と、主蒸気ライン 91c と、復水器 96 と、給水ライン 97 と、給水ポンプ 98 と、制御装置 100c と、を備える。

[0186] ガスタービン 1 は、第一実施形態のガスタービン 1 と同様構成のガスタービン 1 である。よって、このガスタービン 1 は、空気 A を圧縮する圧縮機 10 と、圧縮機 10 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 30 と、燃焼ガスにより駆動するタービン 40 と、を備える。燃焼器 30 には、燃料 F が流れる燃料ライン 35 が接続されている。この燃料ライン 35 には、燃料調節弁 36 が設けられている。タービンケーシング 48 には、タービンケーシング 48 と第一列動翼 44a との間のクリアランス量 CLg を計測するガスタービンクリアランス計測器 101a が設けられている。

[0187] 蒸気タービン 70 は、第二実施形態の蒸気タービン 70 と同様構成の蒸気タービンである。蒸気タービンケーシング 78 には、蒸気タービンケーシング 78 と第一列動翼 74a との間のクリアランス量 CLs を計測する蒸気タービンクリアランス計測器 101b が設けられている。

[0188] 発電機 9c は、ガスタービン 1 及び蒸気タービン 70 の駆動で発電する。ガスタービンロータ 2、蒸気タービンロータ 71、及び発電機 9c のロータは、互いに接続されて、同一の軸線 Ar を中心として一体回転する。よって、本実施形態のコンバインドサイクルプラントは、一軸型のコンバインドサイクルプラントである。

[0189] 排熱回収ボイラー 95 は、ガスタービン 1 から排気された排気ガスの熱を利用して、水を蒸気にする。主蒸気ライン 91 c は、排熱回収ボイラー 95 で発生した蒸気を蒸気タービン 70 に導く。この主蒸気ライン 91 c には、蒸気タービン 70 に流入する蒸気の流量を調節する蒸気調節弁 92 が設けられている。復水器 96 は、蒸気タービン 70 から排気された蒸気を冷却して、この蒸気を水に戻す。給水ライン 97 は、復水器 96 内の水を排熱回収ボイラー 95 に導く。給水ポンプ 98 は、給水ライン 97 中の水を復水器 96 に送る。

[0190] 制御装置 100 c は、前述の燃料調節弁 36 と、前述の蒸気調節弁 92 と、前述のガスタービンのクリアランス計測器 101 a と、前述の蒸気タービンのクリアランス計測器 101 b と、回転数計 102 と、出力計 103 と、制御装置本体 110 c と、を有する。回転数計 102 は、ガスタービンロータ 2、蒸気タービンロータ 71、発電機 9c のロータのうち、いずれかの回転数 R P M を検知する。出力計 103 は、発電機 9c の発電量を検知する。なお、本実施形態では、回転数計 102 で検知される回転数 R P M は、ガスタービン 1 に関するパラメータでもあり、蒸気タービン 70 に関するパラメータでもある。また、出力計 103 で検出される出力 P W も、ガスタービン 1 に関するパラメータでもあり、蒸気タービン 70 に関するパラメータでもある。

[0191] 制御装置本体 110 c は、図 17 に示すように、第一クリアランス信号処理部 111 a と、第二クリアランス信号処理部 111 b と、クリアランス選択出力部 112 と、ガスタービン出力変化率設定部 120 と、ガスタービン回転数変化率設定部 140 と、燃料操作量出力部 160 と、蒸気タービン出力変化率設定部 120 a と、蒸気タービン回転数変化率設定部 140 a と、蒸気操作量出力部 160 a と、を有する。この制御装置本体 110 c も、第一実施形態の制御装置本体 110 と同様に、コンピュータである。制御装置本体 110 c の各機能構成は、コンピュータに格納された制御プログラムをこのコンピュータの C P U が実行することで実現する。

- [0192] 第一クリアランス信号処理部 111a は、複数のガスタービンクリアランス計測器 101a からの信号を処理して、複数のガスタービンクリアランス計測器 101a が計測したクリアランス量 CLg のうち、最小のクリアランス量 CLg を出力する。なお、以下では、第一クリアランス信号処理部 111a が出力するクリアランス量 CLg をガスタービンクリアランス量 CLg とする。第二クリアランス信号処理部 111b は、複数の蒸気タービンクリアランス計測器 101b からの信号を処理して、複数の蒸気タービンクリアランス計測器 101b が計測したクリアランス量 CLs のうち、最小のクリアランス量 CLs を出力する。なお、以下では、第一クリアランス信号処理部 111a が出力するクリアランス量 CLs を蒸気タービンクリアランス量 CLs とする。
- [0193] クリアランス選択出力部 112 は、出力 PW が増加しているときに第一クリアランス信号処理部 111a から出力されたガスタービンクリアランス量 CLg を出力し、出力 PW が減少しているときに第二クリアランス信号処理部 111b から出力された蒸気タービンクリアランス量 CLs を出力する。
- [0194] ガスタービン出力変化率設定部 120 は、第一実施形態の出力変化率設定部 120 と同一である。よって、本実施形態のガスタービン出力変化率設定部 120 も、第一実施形態の出力変化率設定部 120 と同様に、基本出力変化率演算部 121 と、変更値演算部 124 と、変更部 130 と、を有する。ガスタービン回転数変化率設定部 140 は、第一実施形態の回転数変化率設定部 140 と同一である。よって、本実施形態のガスタービン回転数変化率設定部 140 も、第一実施形態の回転数変化率設定部 140 と同様に、基本回転数変化率演算部 141 と、変更値演算部 144 と、変更部 150 と、を有する。燃料操作量出力部 160 は、第一実施形態の燃料操作量出力部 160 と同一である。よって、本実施形態の燃料操作量出力部 160 も、第一実施形態の燃料操作量出力部 160 と同様に、出力変化率換算部 162 と、回転数変化率換算部 164 と、選択部 169 と、を有する。
- [0195] 蒸気タービン出力変化率設定部 120a は、第二実施形態の出力変化率設

定部 120a と同一である。よって、本実施形態の蒸気タービン出力変化率設定部 120a も、第二実施形態の出力変化率設定部 120a と同様に、基本出力変化率演算部 121a と、変更値演算部 124a と、変更部 130a と、を有する。蒸気タービン回転数変化率設定部 140a は、第二実施形態の回転数変化率設定部 140a と同一である。よって、本実施形態の蒸気タービン回転数変化率設定部 140a も、第二実施形態の回転数変化率設定部 140a と同様に、基本回転数変化率演算部 141a と、変更値演算部 144a と、変更部 150a と、を有する。蒸気操作量出力部 160a は、第二実施形態の蒸気操作量出力部 160a と同一である。よって、本実施形態の蒸気操作量出力部 160a も、第二実施形態の蒸気操作量出力部 160a と同様に、出力変化率換算部 162 と、回転数変化率換算部 164 と、選択部 169 と、を有する。

[0196] コンバインドサイクルプラントでは、ガスタービン 1 の回転数 RPM 及び出力 PW が増加すると、これに連動して、蒸気タービン 70 の回転数 RPM 及び出力 PW が増加する。また、前述したように、ガスタービン 1 では、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合にガスタービークリアランス量 CLg が一時的に小さくなり、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合にガスタービークリアランス量 CLg が一時的に大きくなる。また、前述したように、蒸気タービン 70 では、回転数 RPM や出力 PW が増加する場合に蒸気クリアランス量 CLs が一時的に大きくなり、回転数 RPM や出力 PW が減少する場合に蒸気クリアランス量 CLs が一時的に小さくなる。

[0197] そこで、本実施形態では、発電機 9c の回転数 RPM 及び出力 PW（コンバインドサイクルプラント全体での出力 PW）が増加する場合、一時的に小さくなるガスタービークリアランス量 CLg に基づいて、ガスタービン 1 の出力変化率 ΔPW 及び回転数変化率 ΔRPM を定めると共に、蒸気タービン 70 の出力変化率 ΔPW 及び回転数変化率 ΔRPM を定める。また、本実施形態では、発電機 9c の回転数 RPM 及び出力 PW が減少する場合、一時的に小さくなる蒸気タービークリアランス量 CLs に基づいて、ガスタービン

1 の出力変化率 ΔPW 及び回転数変化率 ΔRPM を定めると共に、蒸気タービン70の出力変化率 ΔPW 及び回転数変化率 ΔRPM を定める。

[0198] よって、本実施形態では、ガスタービンクリアランス量 CL_g と蒸気タービンクリアランス量 CL_s とのうち、回転数 RPM や出力 PW の増加で小さくなる方の蒸気タービンクリアランス量 CL_s が大きいときには、ガスタービン1と蒸気タービン70双方の回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が大きくなる。一方、ガスタービンクリアランス量 CL_g と蒸気タービンクリアランス量 CL_s とのうち、回転数 RPM や出力 PW の減少で大きくなる方のガスタービンクリアランス量 CL_g が大きいときには、ガスタービン1と蒸気タービン70双方の回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が大きくなる。また、本実施形態では、ガスタービンクリアランス量 CL_g と蒸気タービンクリアランス量 CL_s とのうち、回転数 RPM や出力 PW の増加で小さくなる方のガスタービンクリアランス量 CL_g が小さいときには、ガスタービン1と蒸気タービン70双方の回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が小さくなる。一方、ガスタービンクリアランス量 CL_g と蒸気タービンクリアランス量 CL_s とのうち、回転数 RPM や出力 PW の減少で大きくなる方の蒸気タービンクリアランス量 CL_s が小さいときには、ガスタービン1と蒸気タービン70双方の回転数変化率 ΔRPM 及び出力変化率 ΔPW が小さくなる。

[0199] このため、本実施形態でも、第一実施形態と同様に、回転数 RPM が定格回転数になるまでの、起動時間を短くすることができる。さらに、本実施形態でも、出力 PW が要求出力になるまでの時間を短くすることができる。しかも、本実施形態では、ガスタービンクリアランス量 CL_g と蒸気タービンクリアランス量 CL_s の双方が極端に小さくなることを抑えることができる。

[0200] コンバインドサイクルプラントには、本実施形態のような一軸型のコンバインドサイクルプラントの他に、多軸型のコンバインドサイクルプラントがある。この多軸型のコンバインドサイクルプラントは、ガスタービンロータ

2と蒸気タービンロータ71とが機械的に接続されておらず、ガスタービンロータ2と蒸気タービンロータ71とは、それぞれ、個別の発電機のロータが接続されている。このような多軸型のコンバインドサイクルプラントでも、以上で説明した一軸型のコンバインドサイクルプラントと同様に、ガスタービン1の回転数RPM及び出力PWが増加すると、これに連動して、蒸気タービン70の回転数RPM及び出力PWが増加する。よって、このような多軸型のコンバインドサイクルプラントにおいても、本実施形態と同様の制御を行ってもよい。

産業上の利用可能性

[0201] 本発明の一態様によれば、回転機械の損傷を抑えつつも、回転機械の回転数又は出力を短時間で目標値にすることができる。

符号の説明

[0202] 1 : ガスタービン (回転機械)
2 : ガスタービンロータ
5 : ガスタービンケーシング
9, 9a, 9c : 発電機
9b : 原動機
10, 80 : 圧縮機
11, 81 : 圧縮機ロータ
12, 82 : ロータ軸
13, 83 : 動翼列
14, 85 : 静翼列
18, 88 : 圧縮機ケーシング
18a : 圧縮機本体ケーシング
18b : 中間ケーシング
19 : 空気圧縮流路
21 : IGV (吸気流量調節器)
22 : 可動翼

23 : 駆動器
30 : 燃焼器
31 : 燃焼筒（又は尾筒）
32 : 燃料噴射器
35 : 燃料ライン
36 : 燃料調節弁（操作端）
40 : タービン
41 : タービンロータ
42 : ロータ軸
42a : 第一段軸部
42c : 冷却通路
43 : 動翼列
44 : 動翼
44a : 第一列動翼
44c : 冷却通路
48 : タービンケーシング
49 : 燃焼ガス流路
53 : 静翼列
54 : 静翼
60 : 冷却装置
61 : 抽気ライン
62 : 冷却器
63 : 媒体ライン
64 : 冷却調節器
70 : 蒸気タービン（回転機械）
71 : 蒸気タービンロータ
72 : ロータ軸
73 : 動翼列

- 7 4 : 動翼
- 7 5 : 静翼列
- 7 6 : 静翼
- 7 8 : 蒸気タービンケーシング
- 7 8 i : 蒸気入口
- 7 8 o : 蒸気出口
- 7 9 : 蒸気主流路
- 8 4 : 動翼
- 8 4 a : 最終列動翼
- 8 6 : 静翼
- 8 8 i : ガス入口
- 8 8 o : ガス出口
- 8 9 : ガス圧縮流路
- 9 1, 9 1 c : 主蒸気ライン
- 9 2 : 蒸気調節弁（操作端）
- 9 3 : 圧縮ガスライン
- 9 4 : 電源回路（操作端）
- 9 5 : 排熱回収ボイラー
- 9 6 : 復水器
- 9 7 : 給水ライン
- 9 8 : 給水ポンプ
- 1 0 0, 1 0 0 a, 1 0 0 b, 1 0 0 c : 制御装置
- 1 0 1 : クリアランス計測器
- 1 0 1 a : ガスタービンクリアランス計測器
- 1 0 1 b : 蒸気タービンクリアランス計測器
- 1 0 2 : 回転数計（パラメータ計）
- 1 0 3 : 出力計（パラメータ計）
- 1 0 4 : 流量計（パラメータ計）

1 1 0, 1 1 0 a, 1 1 0 b, 1 1 0 c : 制御装置本体

1 1 1 : クリアランス信号処理部

1 1 1 a : 第一クリアランス信号処理部

1 1 1 b : 第二クリアランス信号処理部

1 1 2 : クリアランス選択出力部

1 2 0 : 出力変化率設定部 (ガスタービン出力変化率設定部)

1 2 0 a : 出力変化率設定部 (蒸気タービン出力変化率設定部)

1 2 0 b : 流量変化率設定部

1 2 1, 1 2 1 a : 基本出力変化率演算部

1 2 2 : 目標出力演算部

1 2 3, 1 2 9, 1 2 9 b, 1 4 3, 1 4 9 : ΔP I 演算部

1 2 4, 1 2 4 a, 1 2 4 b, 1 4 4, 1 4 4 a : 変更値演算部

1 2 5 : 上限出力変化率演算部

1 2 5 b : 上限流量変化率演算部

1 2 6, 1 2 6 b, 1 4 6 : 第一変更値演算部 (第一演算部)

1 2 7, 1 2 7 b, 1 4 7 : 第二変更値演算部 (第二演算部)

1 2 8, 1 2 8 b, 1 4 8 : 許容最小値記憶部

1 3 0, 1 3 0 a, 1 5 0, 1 5 0 a, 1 7 2, 1 8 2 : 変更部

1 3 1, 1 5 1 : 第一加算器

1 3 2, 1 5 2 : 第二加算器

1 3 3, 1 5 3 : 最小値選択器

1 4 0 : 回転数変化率設定部 (ガスタービン回転数変化率設定部)

1 4 0 a : 回転数変化率設定部 (蒸気タービン回転数変化率設定部)

1 4 1, 1 4 1 a : 基本回転数変化率演算部

1 4 2 : 目標回転数演算部

1 4 5 : 上限回転数変化率演算部

1 6 0 : 燃料操作量出力部

1 6 0 a : 蒸気操作量出力部

160b : 流量操作量出力部
162, 162a : 出力変化率換算部
164, 164a : 回転数変化率換算部
169, 169a : 選択部
170 : 冷却操作量設定部
171 : 冷却操作量発生部
179 : 冷却操作量出力部
180 : 吸気操作量設定部
181 : IGV開度発生部
189 : 吸気操作量出力部
191 : CPU
192 : メモリ
193 : 補助記憶装置
193a : ガスタービン固有値データ
193b : 制御プログラム
193c : OS (Operating System) プログラム
194 : 記憶・再生装置
195 : 入出力インタフェース
195a : 手入力装置
195b : 表示装置
196 : 設備Iインタフェース
197 : 設備Oインタフェース
198 : 通信インタフェース
Ar : 軸線
Da : 軸線方向
Da u : 軸線上流側
Da d : 軸線下流側
Dc : 周方向

D r : 径方向

D r i : 径方向内側

D r o : 径方向外側

請求の範囲

- [請求項1] 回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備える回転機械の制御装置において、
- 前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータを変える操作端と、
- 、
- 前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を計測するクリアランス計測器と、
- 前記クリアランス量に応じて、前記パラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定めるパラメータ変化率設定部と、
- 前記パラメータの前記変化率に応じて、前記操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する操作量出力部と、
- を備える回転機械の制御装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の回転機械の制御装置において、
- 前記パラメータ変化率設定部は、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定める、
- 回転機械の制御装置。
- [請求項3] 請求項1又は2に記載の回転機械の制御装置において、
- 前記パラメータ変化率設定部は、
- 前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める基本変化率演算部と、
- 前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める変更値演算部と、
- 前記変更値を用いて前記基本変化率を変更する変化率変更部と、
- を有する、
- 回転機械の制御装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の回転機械の制御装置において、

前記変更値演算部は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に対応する前記第一変更値を求める第一演算部を有し、

前記変化率変更部は、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更する、

回転機械の制御装置。

[請求項5]

請求項4に記載の回転機械の制御装置において、

前記変更値演算部は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める第二演算部を有し、

前記変化率変更部は、前記第一変更値と前記第二変更値とを用いて前記基本変化率を変更する、

回転機械の制御装置。

[請求項6]

請求項4又は5に記載の回転機械の制御装置において、

前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係である、

回転機械の制御装置。

[請求項7]

請求項1から6のいずれか一項に記載の回転機械の制御装置と、

前記回転機械と、

を備える回転機械設備。

[請求項8]

請求項7に記載の回転機械設備において、

前記回転機械は、空気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、前記圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスで駆動するタービンとを、備えるガスタービンであり、

前記圧縮機は、回転する圧縮機ロータと、前記圧縮機ロータを覆う圧縮機ケーシングと、を有し、

前記タービンは、回転するタービンロータと、前記タービンロータを覆うタービンケーシングと、を有し、

前記圧縮機ロータと前記タービンロータとは、機械的に接続されて、ガスタービンロータを成し、

前記操作端は、前記燃焼器に供給される燃料の流量を調節する燃料調節弁であり、

前記クリアランス計測器は、前記タービンロータと前記タービンケーシングとの間のガスタービンクリアランス量を計測し、

前記パラメータ変化率設定部は、前記ガスタービンクリアランス量に応じて、前記パラメータの増加時と減少時とのうち、少なくとも増加時における前記パラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める、

回転機械設備。

[請求項9]

請求項8に記載の回転機械設備において、

前記圧縮機は、前記圧縮機ケーシングに設けられ、前記圧縮機ケーシング内に流入する空気の流量を調節する吸気流量調節器を有し、

前記制御装置は、

前記ガスタービンクリアランス量に応じて、前記吸気流量調節器の操作量を定める吸気操作量設定部と、

前記吸気流量調節器の前記操作量を前記吸気流量調節器に出力する吸気操作量出力部と、

を有する、

回転機械設備。

[請求項10]

請求項8又は9に記載の回転機械設備において、

前記ガスタービンは、前記圧縮機で圧縮された空気を抽気して、前記タービンロータの動翼に、抽気した空気を導く抽気ラインと、前記抽気ラインを流れる空気を冷却する冷却器と、前記冷却器による前記空気の冷却量を調節する冷却調節器と、を備え、

前記制御装置は、

前記ガスタービンクリアランス量に応じて、前記冷却調節器の操作

量を定める冷却操作量設定部と、

前記冷却調節器の前記操作量を前記冷却調節器に出力する冷却操作量出力部と、

を有する、

回転機械設備。

[請求項11]

請求項7に記載の回転機械設備において、

前記回転機械は、蒸気で駆動する蒸気タービンであり、

前記蒸気タービンは、回転する蒸気タービンロータと、前記蒸気タービンロータを覆う蒸気タービンケーシングと、を有し、

前記操作端は、前記蒸気タービンに供給される蒸気の流量を調節する蒸気調節弁であり、

前記クリアランス計測器は、前記蒸気タービンロータと前記蒸気タービンケーシングとの間の蒸気タービんクリアランス量を計測し、

前記パラメータ変化率設定部は、前記蒸気タービんクリアランス量に応じて、前記パラメータの増加時と減少時とのうち、少なくとも減少時における前記パラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める、

回転機械設備。

[請求項12]

請求項7に記載の回転機械設備において、

前記回転機械としての第一回転機械と第二回転機械とを備え、

前記第一回転機械は、ガスタービンであり、

前記第二回転機械は、蒸気タービンであり、

前記ガスタービンから排気された排気ガスで蒸気を発生させて、前記蒸気を蒸気タービンに送る排熱回収ボイラーを備え、

前記ガスタービンは、空気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、前記圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスで駆動するタービンと、を有し、

前記圧縮機は、回転する圧縮機ロータと、前記圧縮機ロータを覆う

圧縮機ケーシングと、を有し、

前記タービンは、回転するタービンロータと、前記タービンロータを覆うタービンケーシングと、を有し、

前記圧縮機ロータと前記タービンロータとは、機械的に接続されて、ガスタービンロータを成し、

前記ガスタービンの前記操作端は、前記燃焼器に供給される燃料の流量を調節する燃料調節弁であり、

前記ガスタービンの前記クリアランス計測器は、前記タービンロータと前記タービンケーシングとの間のガスタービンクリアランス量を計測するガスタービンクリアランス計測器であり、

前記蒸気タービンは、回転する蒸気タービンロータと、前記蒸気タービンロータを覆う蒸気タービンケーシングと、を有し、

前記蒸気タービンの前記操作端は、前記排熱回収ボイラーから前記蒸気タービンに供給される蒸気の流量を調節する蒸気調節弁であり、

前記蒸気タービンの前記クリアランス計測器は、前記蒸気タービンロータと前記蒸気タービンケーシングとの間の蒸気タービンクリアランス量を計測する蒸気タービンクリアランス計測器であり、

前記ガスタービンの前記パラメータ変化率設定部は、前記ガスタービンに関する前記パラメータであるガスタービンパラメータの増加時に、前記ガスタービンクリアランス量に応じて前記ガスタービンパラメータの変化率が変わるよう、前記ガスタービンパラメータの変化率を定め、前記ガスタービンパラメータの減少時に、前記蒸気タービンクリアランス量に応じて前記ガスタービンパラメータの変化率が変わるよう、前記ガスタービンパラメータの変化率を定め、

前記ガスタービンの前記操作量出力部は、前記ガスタービンの前記パラメータ変化率設定部が定めた前記ガスタービンパラメータの変化率に応じて、前記燃料調節弁の操作量を定め、前記燃料調節弁の前記操作量を前記燃料調節弁に出力し、

前記蒸気タービンの前記パラメータ変化率設定部は、前記蒸気タービンに関する前記パラメータである蒸気タービンパラメータの増加時に、前記ガスタービンのクリアランス量に応じて前記蒸気タービンパラメータの変化率が変わるよう、前記蒸気タービンパラメータの変化率を定め、前記蒸気タービンパラメータの減少時に、前記蒸気タービンのクリアランス量に応じて前記蒸気タービンパラメータの変化率が変わるよう、前記蒸気タービンパラメータの変化率を定め、

前記蒸気タービンの前記操作量出力部は、前記蒸気タービンの前記パラメータ変化率設定部が定めた前記蒸気タービンパラメータの変化率に応じて、前記蒸気調節弁の操作量を定め、前記蒸気調節弁の前記操作量を前記蒸気調節弁に出力する、

回転機械設備。

[請求項13] 回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備える回転機械の制御方法において、

前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を受け付ける工程と、

前記クリアランス量に応じて、前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める工程と、

前記パラメータの前記変化率に応じて、前記パラメータを変える操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する工程と、

を実行する回転機械の制御方法。

[請求項14] 請求項13に記載の回転機械の制御方法において、

前記パラメータの前記変化率を定める前記工程では、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定める、
回転機械の制御方法。

- [請求項15] 請求項 1 3 又は 1 4 に記載の回転機械の制御方法において、
前記パラメータの前記変化率を定める前記工程は、
前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める工程と、
前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める工程と、
前記変更値を用いて、前記基本変化率を変更する工程と、
を含む、
回転機械の制御方法。
- [請求項16] 請求項 1 5 に記載の回転機械の制御方法において、
前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に対応する前記第一変更値を求める工程を含み、
前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更する、
回転機械の制御方法。
- [請求項17] 請求項 1 6 に記載の回転機械の制御方法において、
前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める工程を含み、
前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値と前記第二変更値とを用いて前記基本変化率を変更する、
回転機械の制御方法。
- [請求項18] 請求項 1 6 又は 1 7 に記載の回転機械の制御方法において、
前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係である、
回転機械の制御方法。
- [請求項19] 回転するロータと、前記ロータの外周側を覆うケーシングとを備え

る回転機械の制御プログラムにおいて、

コンピュータの入力装置により、前記ロータと前記ケーシングとの間のクリアランス量を受け付ける工程と、

前記クリアランス量に応じて、前記回転機械の回転数又は出力であるパラメータの変化率が変わるよう、前記パラメータの変化率を定める工程と、

前記パラメータの前記変化率に応じて、前記パラメータを変える操作端の操作量を定め、前記操作量を前記操作端に出力する工程と、

を前記コンピュータに実行させる回転機械の制御プログラム。

[請求項20]

請求項19に記載の回転機械の制御プログラムにおいて、

前記パラメータの前記変化率を定める前記工程では、第一のクリアランス量のときの前記パラメータの変化率に比べて、前記第一のクリアランス量よりも大きな第二のクリアランス量のときとの前記パラメータの変化率が大きくなるよう、前記パラメータの変化率を定める、回転機械の制御プログラム。

[請求項21]

請求項19又は20に記載の回転機械の制御プログラムにおいて、前記パラメータの前記変化率を定める前記工程は、

前記パラメータの目標値と前記パラメータの検出値との偏差に応じて、前記パラメータの基本変化率を求める工程と、

前記クリアランス量に応じて、前記基本変化率を変更する変更値を求める工程と、

前記変更値を用いて、前記基本変化率を変更する変更した変化量を求める工程と、

を含む、

回転機械の制御プログラム。

[請求項22]

請求項21に記載の回転機械の制御プログラムにおいて、

前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と前記基本変化率を変更する第一変更値との関係を用いて、前記クリアランス量に

対応する前記第一変更値を求める工程を含み、

前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値を用いて前記基本変化率を変更する、

回転機械の制御プログラム。

[請求項23]

請求項22に記載の回転機械の制御プログラムにおいて、

前記変更値を求める前記工程は、前記クリアランス量と予め定められている許容最小クリアランス量との偏差に応じて、前記基本変化率を変更する第二変更値を求める工程を含み、

前記基本変化率を変更する前記工程では、前記第一変更値と前記第二変更値とを用いて前記基本変化率を変更する、

回転機械の制御プログラム。

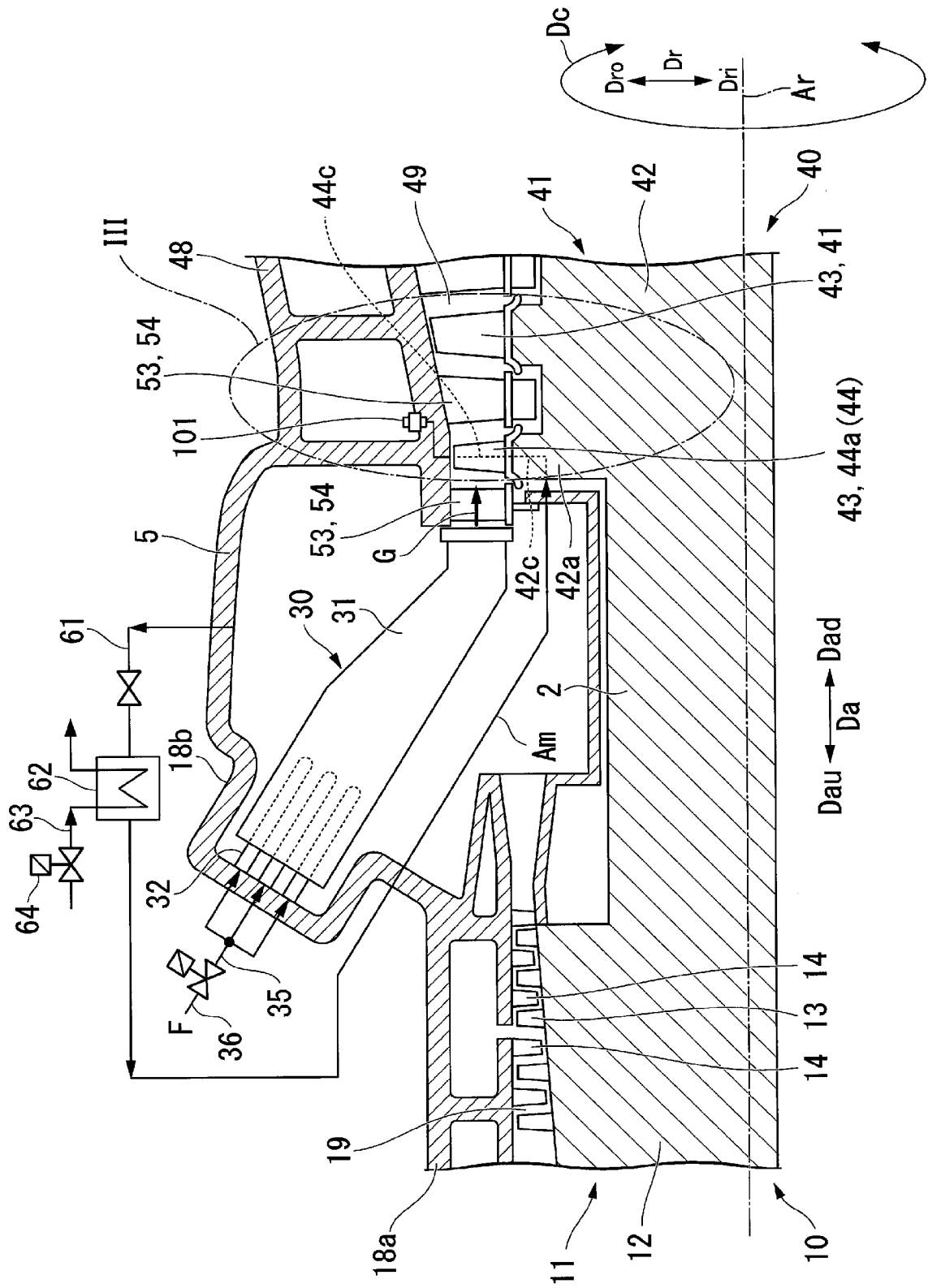
[請求項24]

請求項22又は23に記載の回転機械の制御プログラムにおいて、

前記関係は、前記クリアランス量が大きくなるに連れて前記第一変更値が大きくなる関係である、

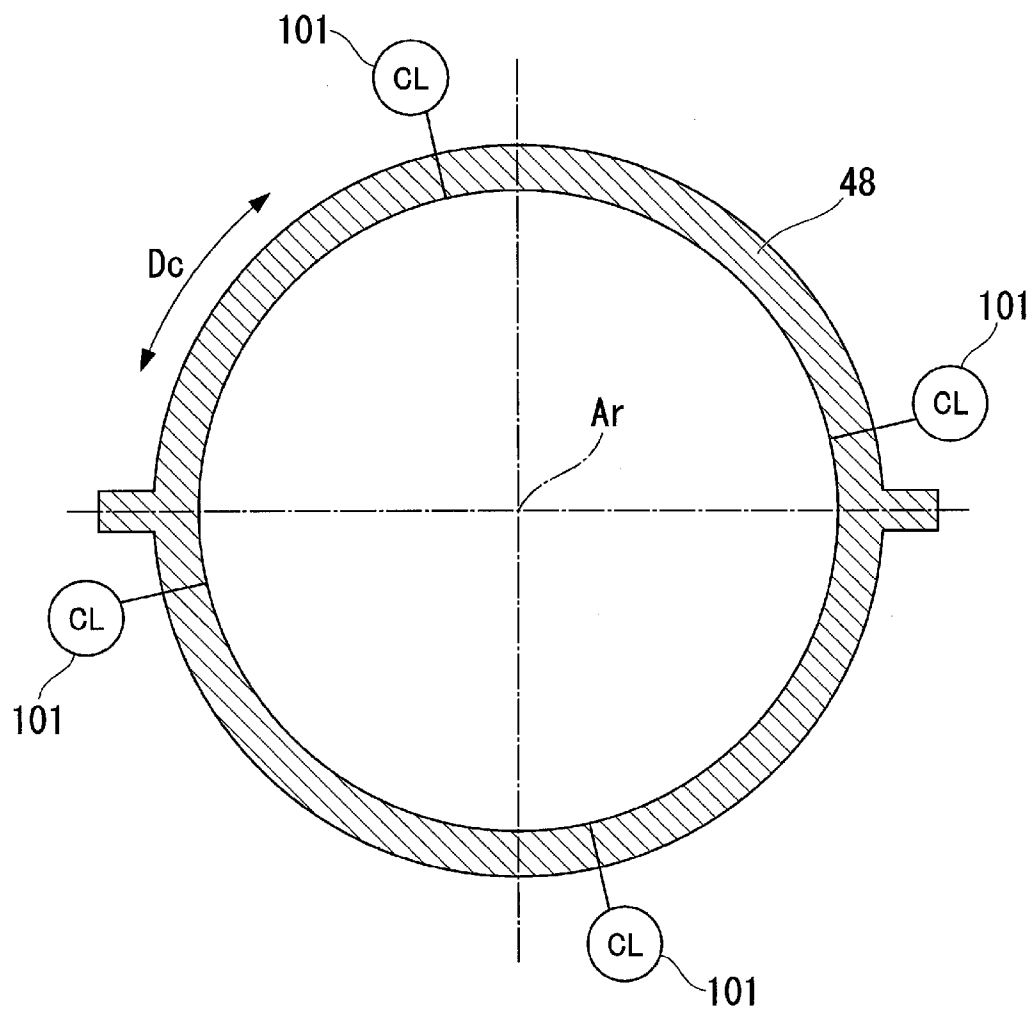
回転機械の制御プログラム。

[図2]

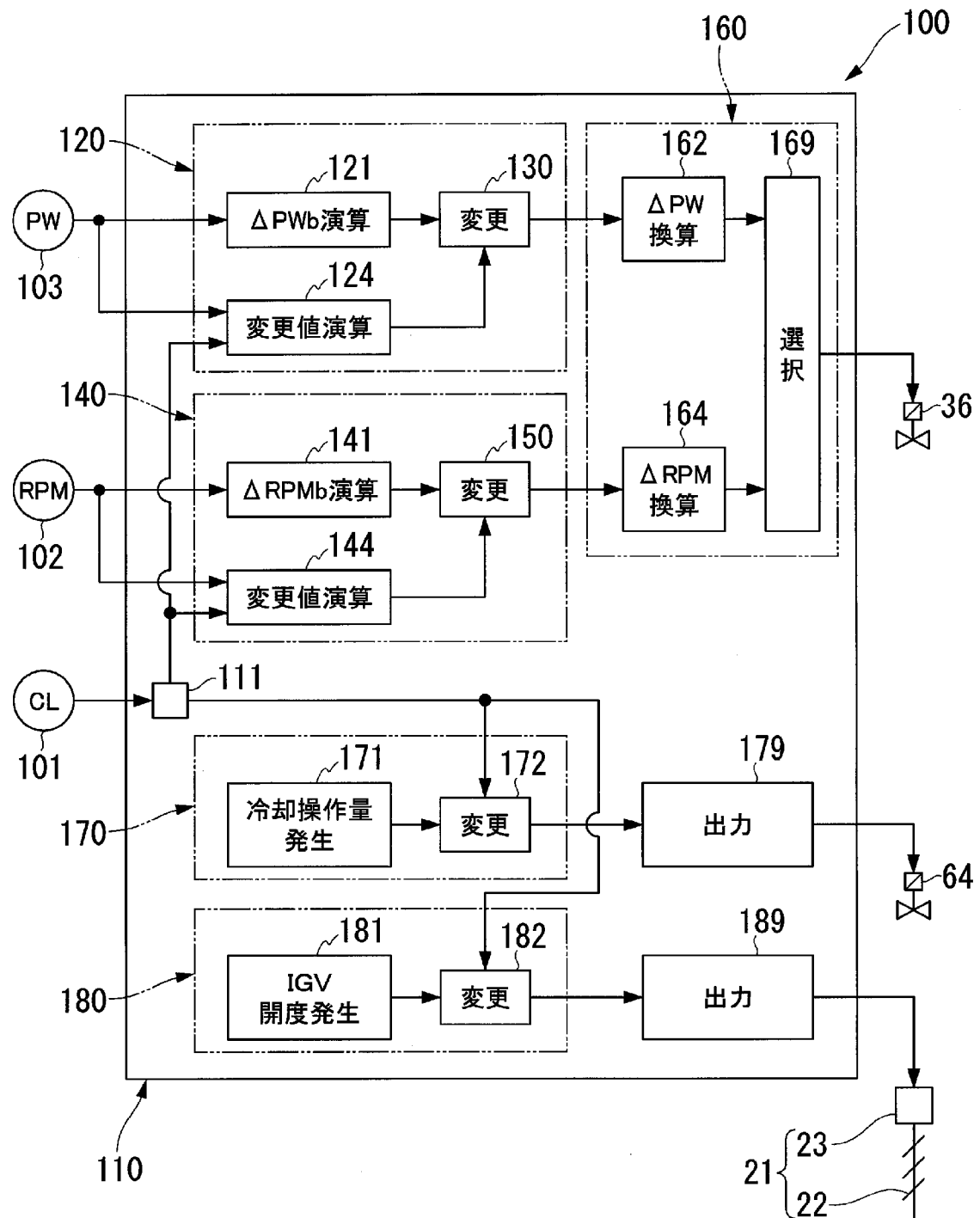


Dau $\longleftrightarrow$ Dad
Da

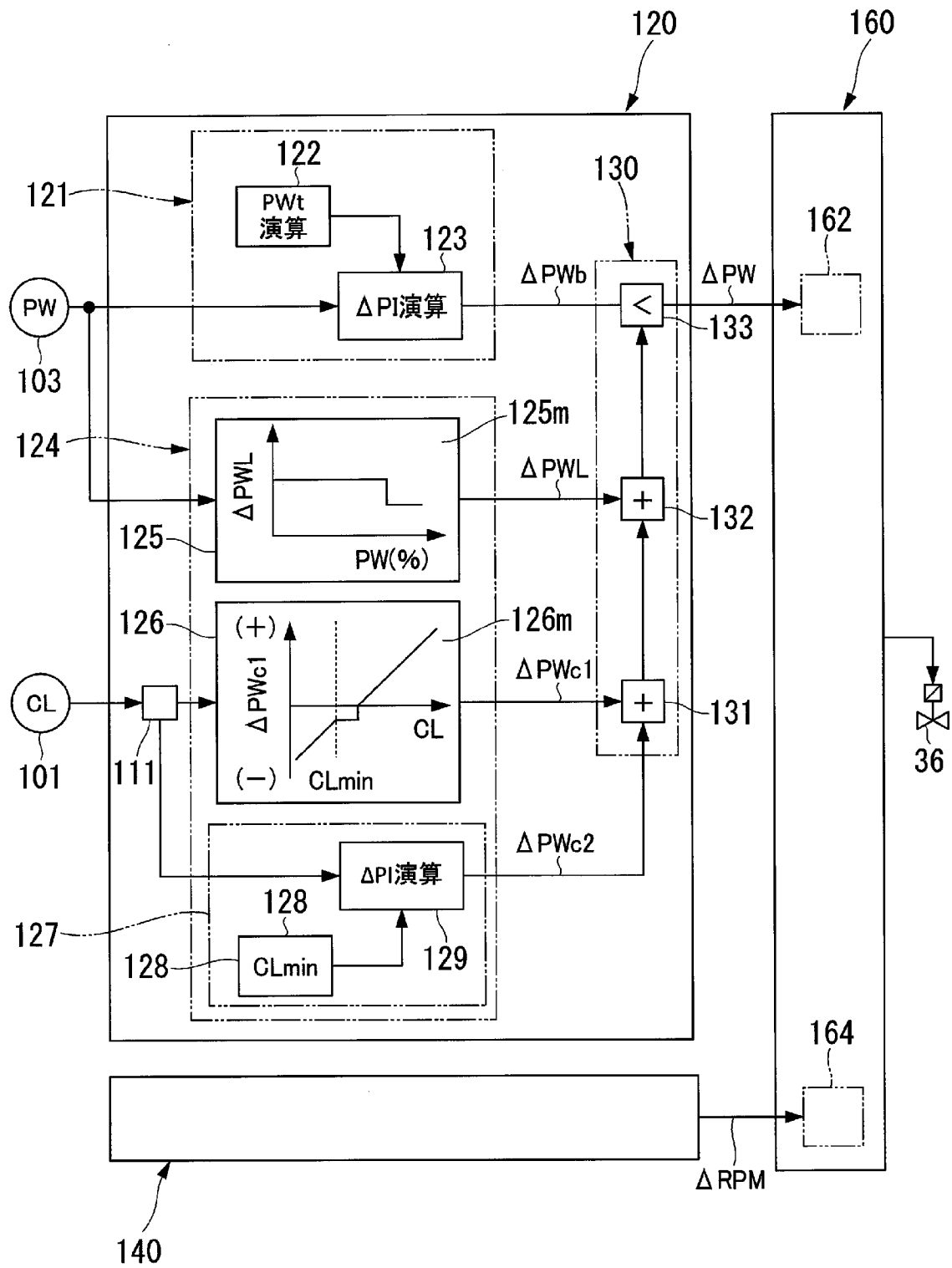
[図4]



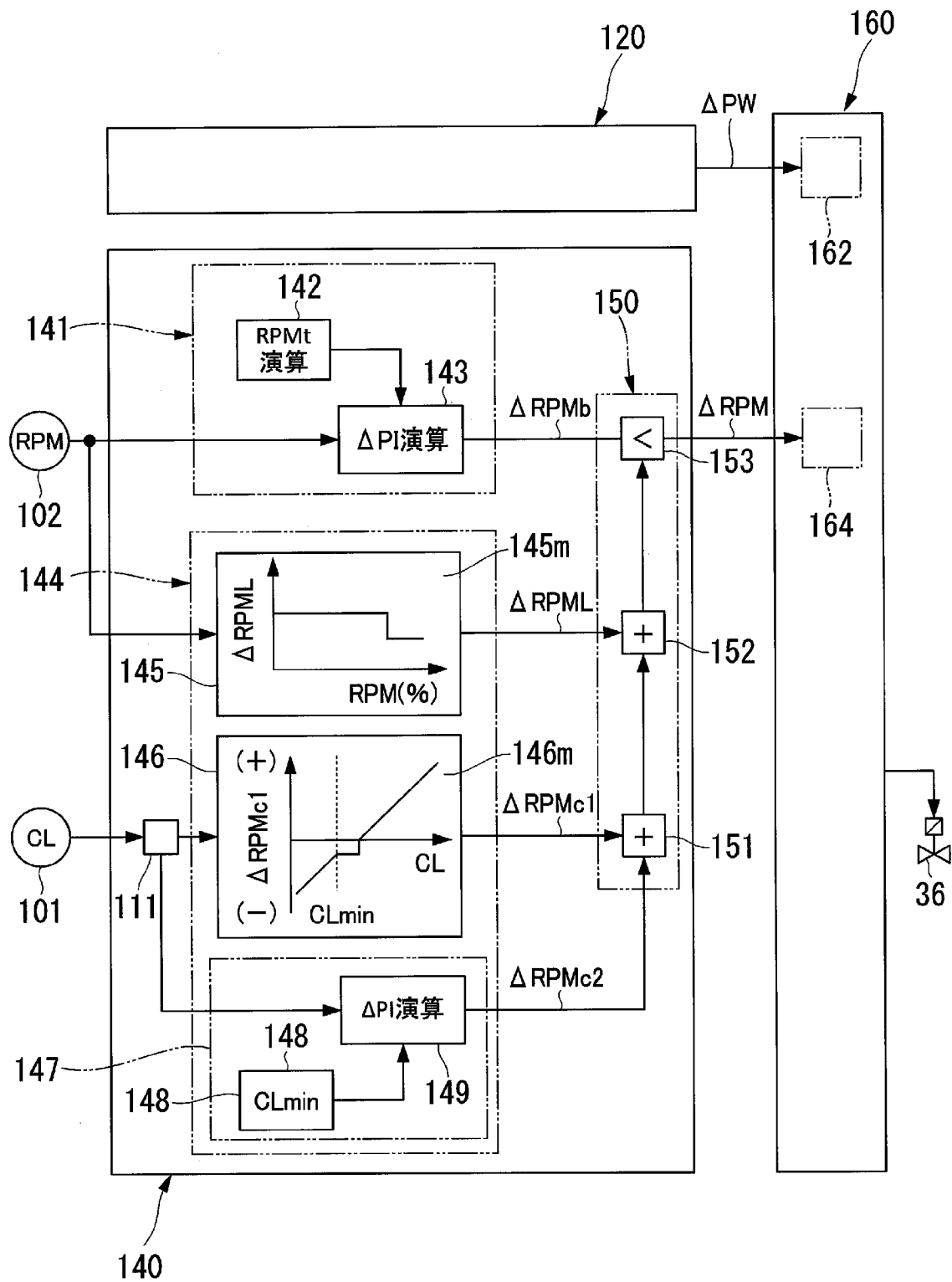
[図5]



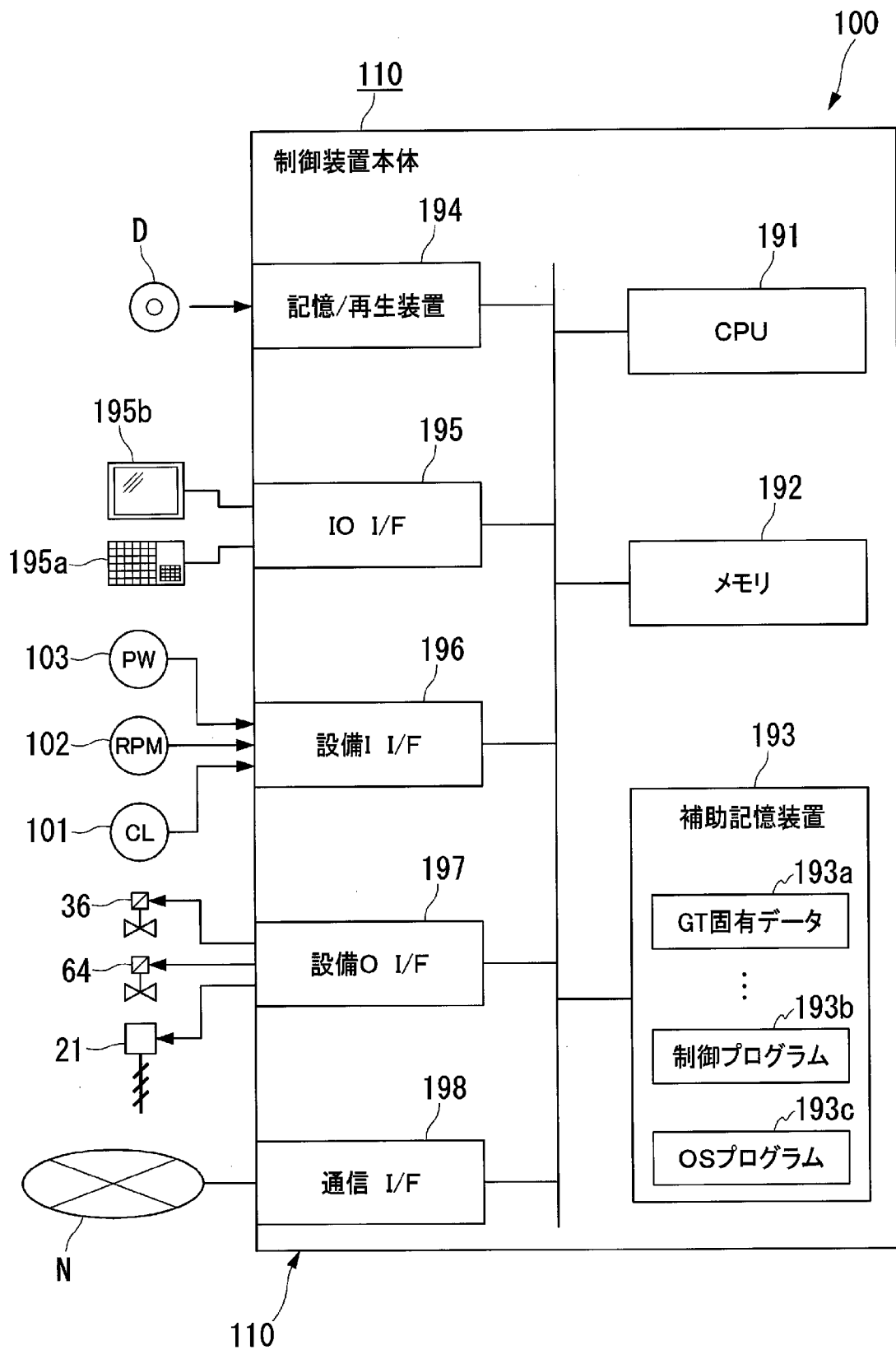
[図6]



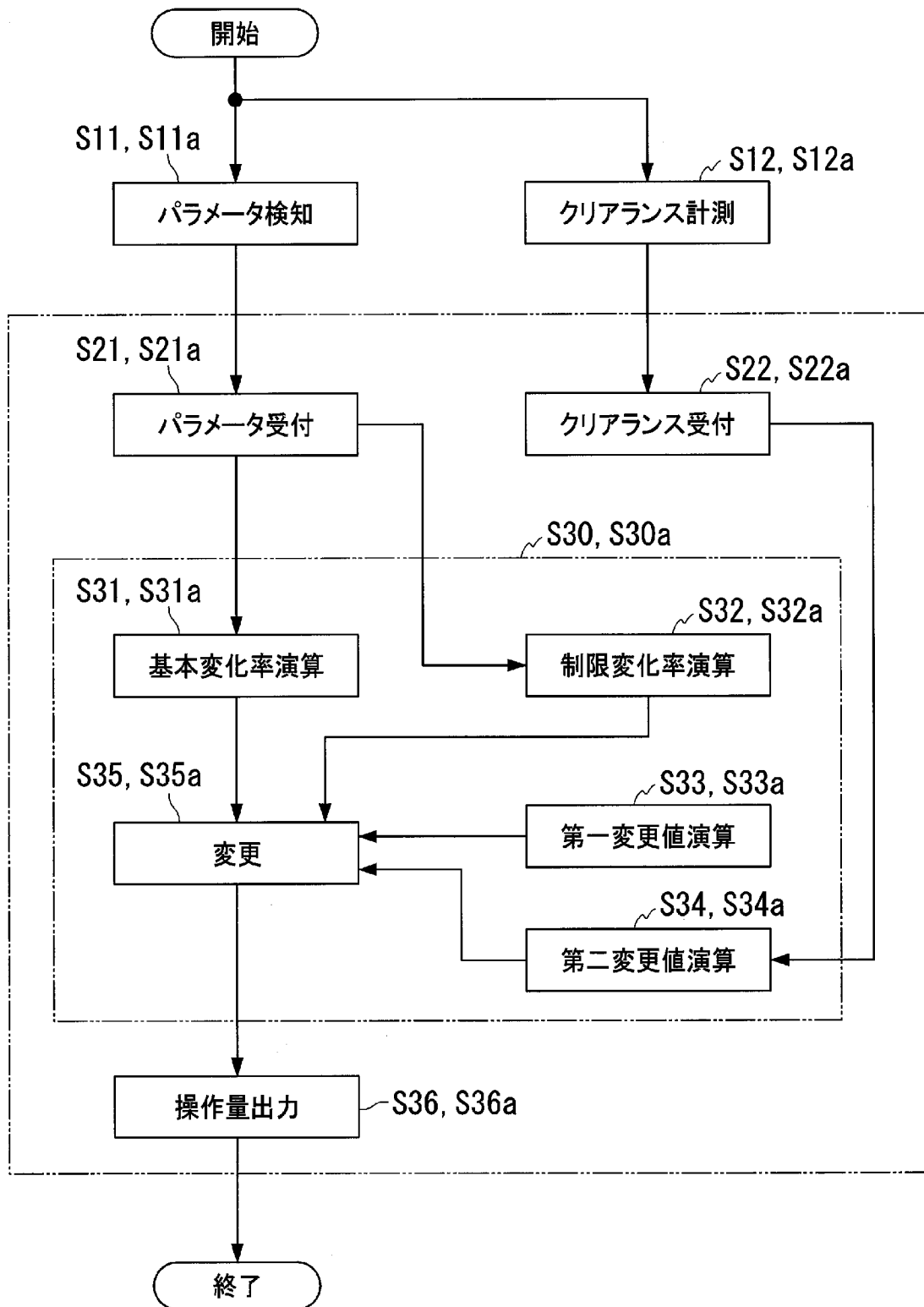
[図7]



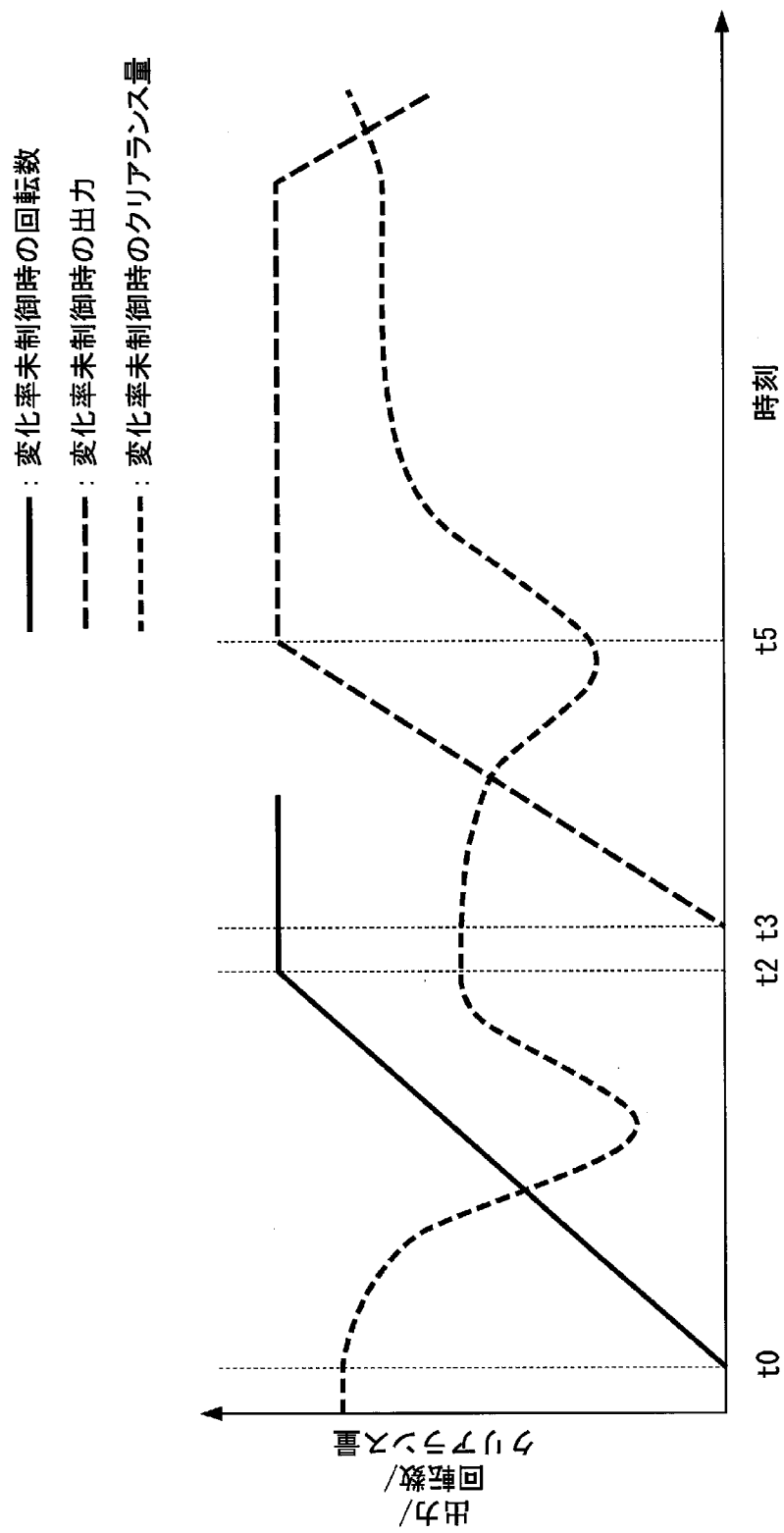
[図8]



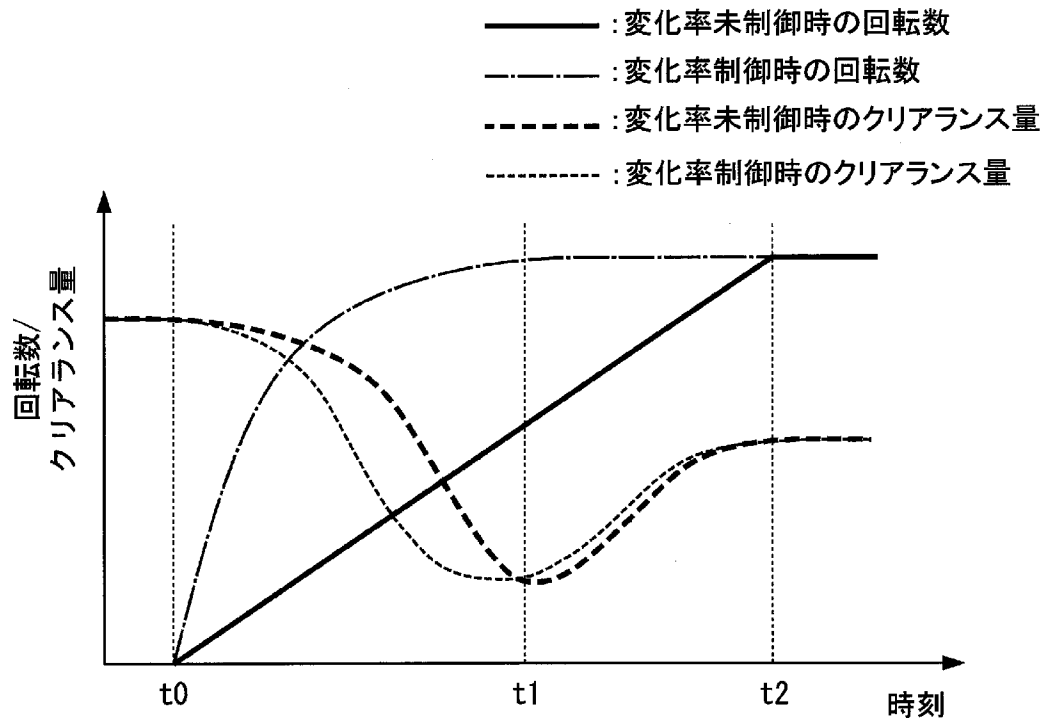
[図9]



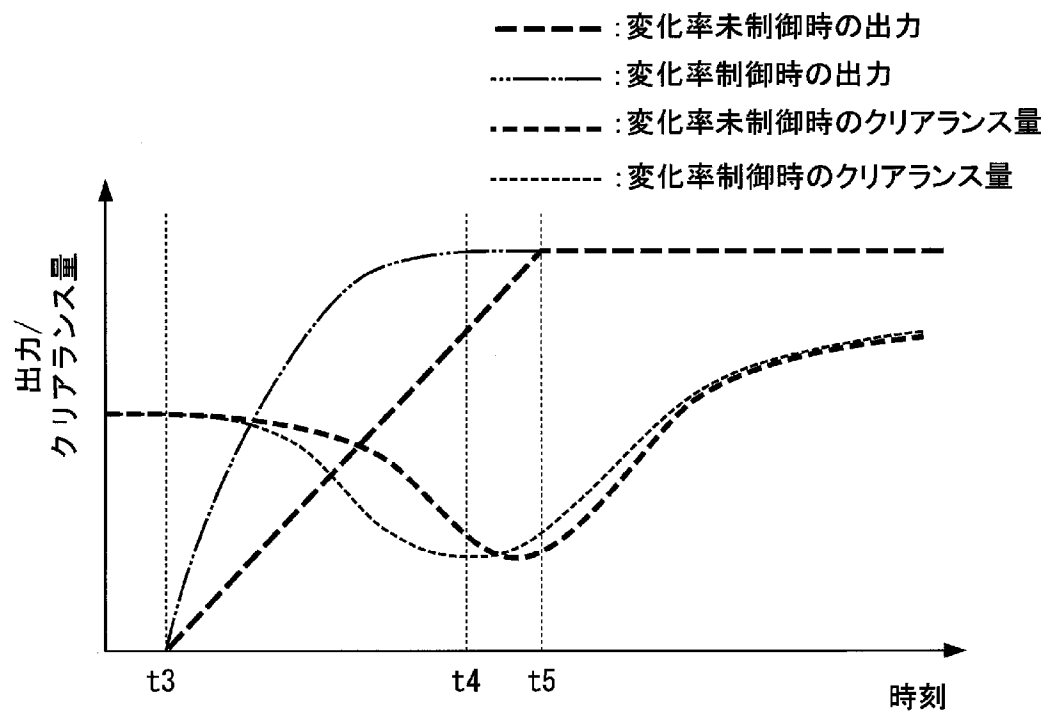
[図10]



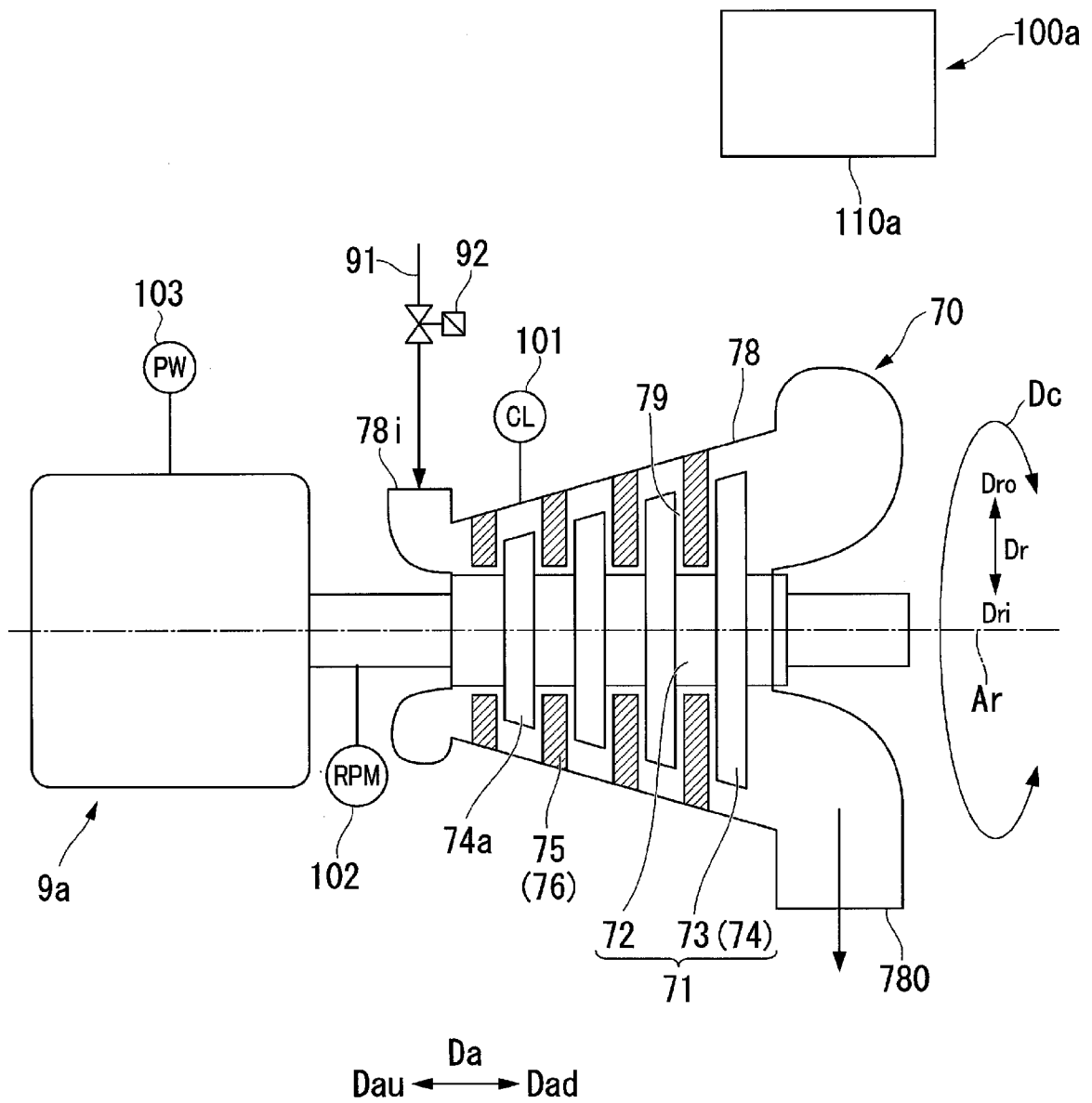
[図11]



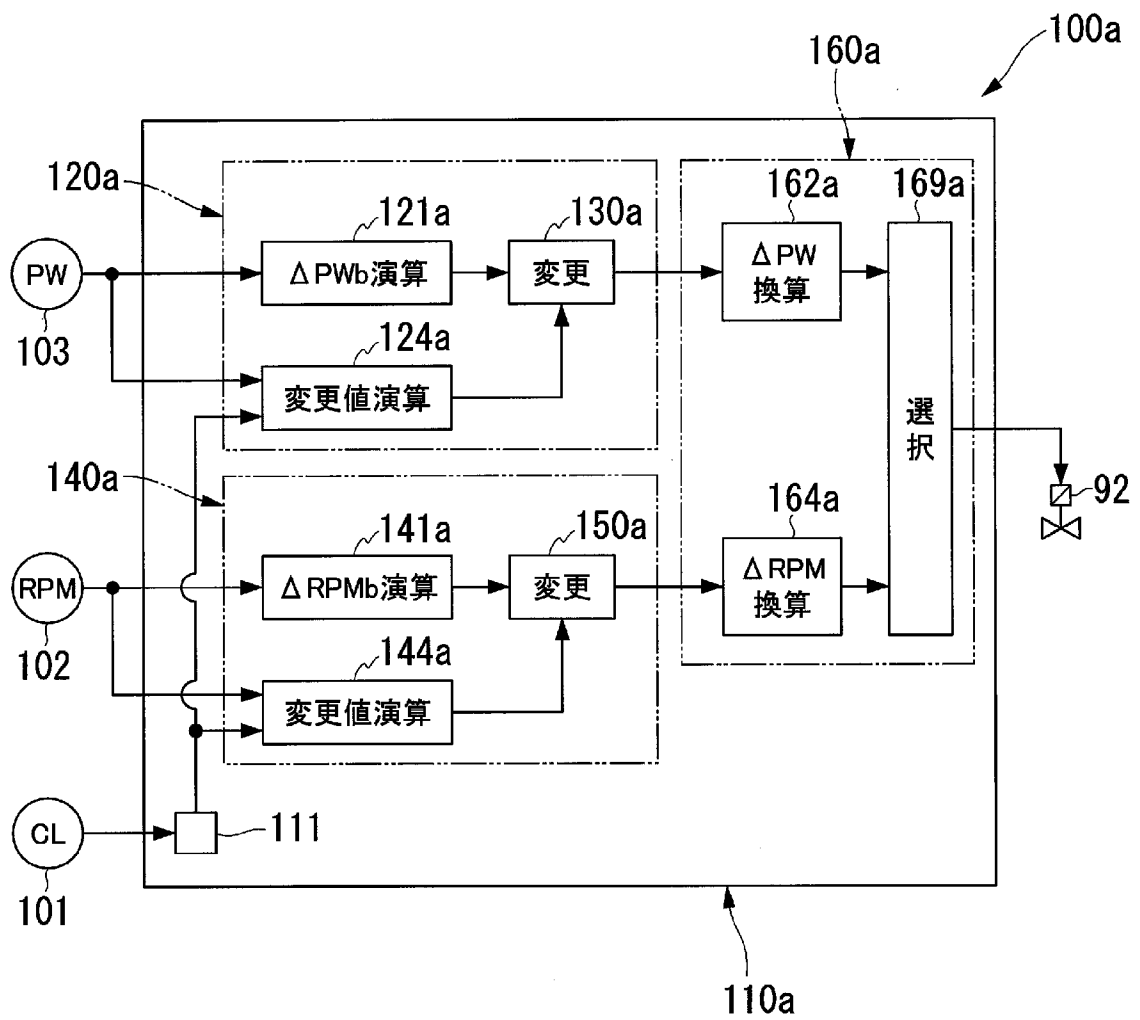
[図12]



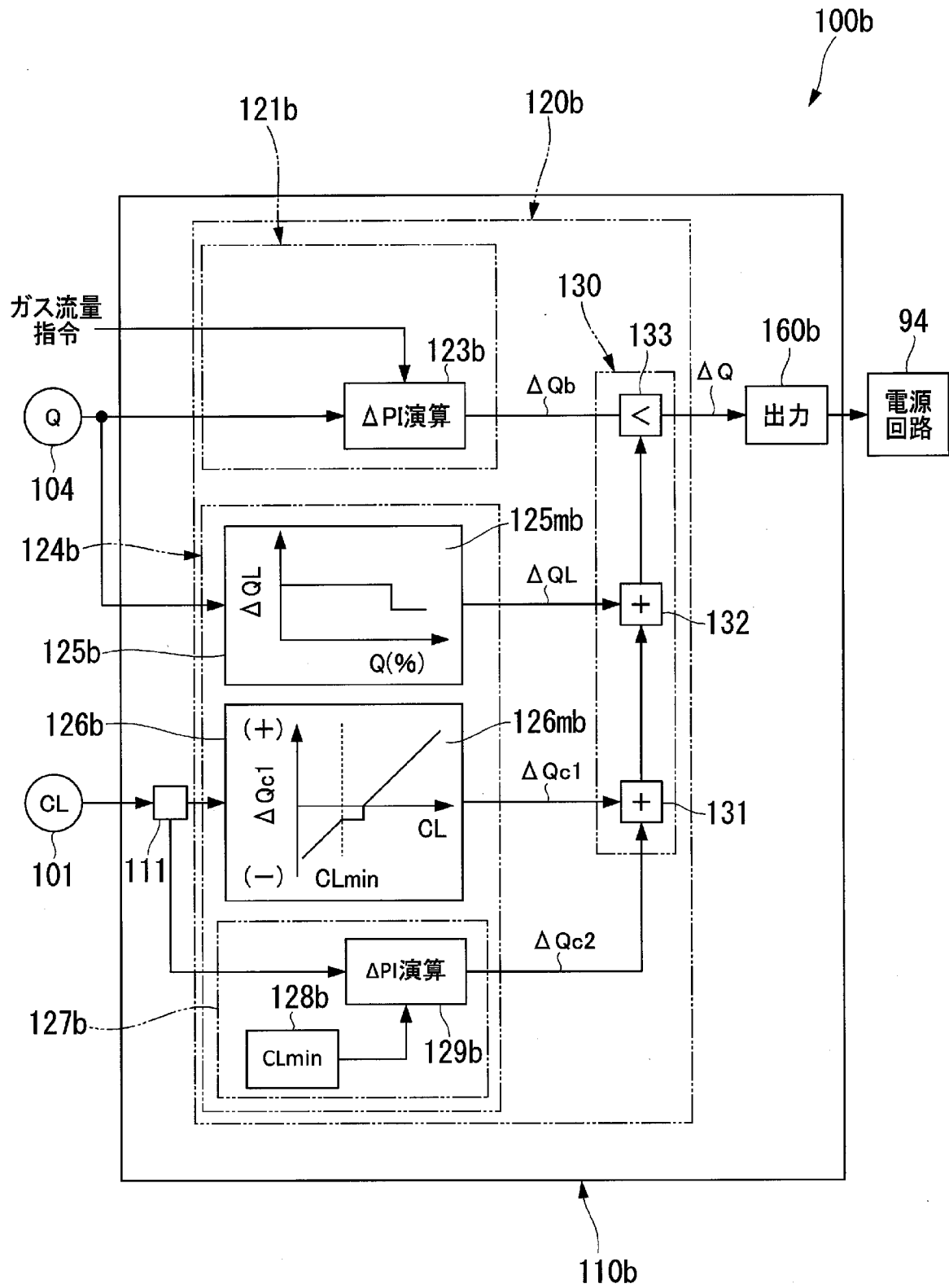
[図13]



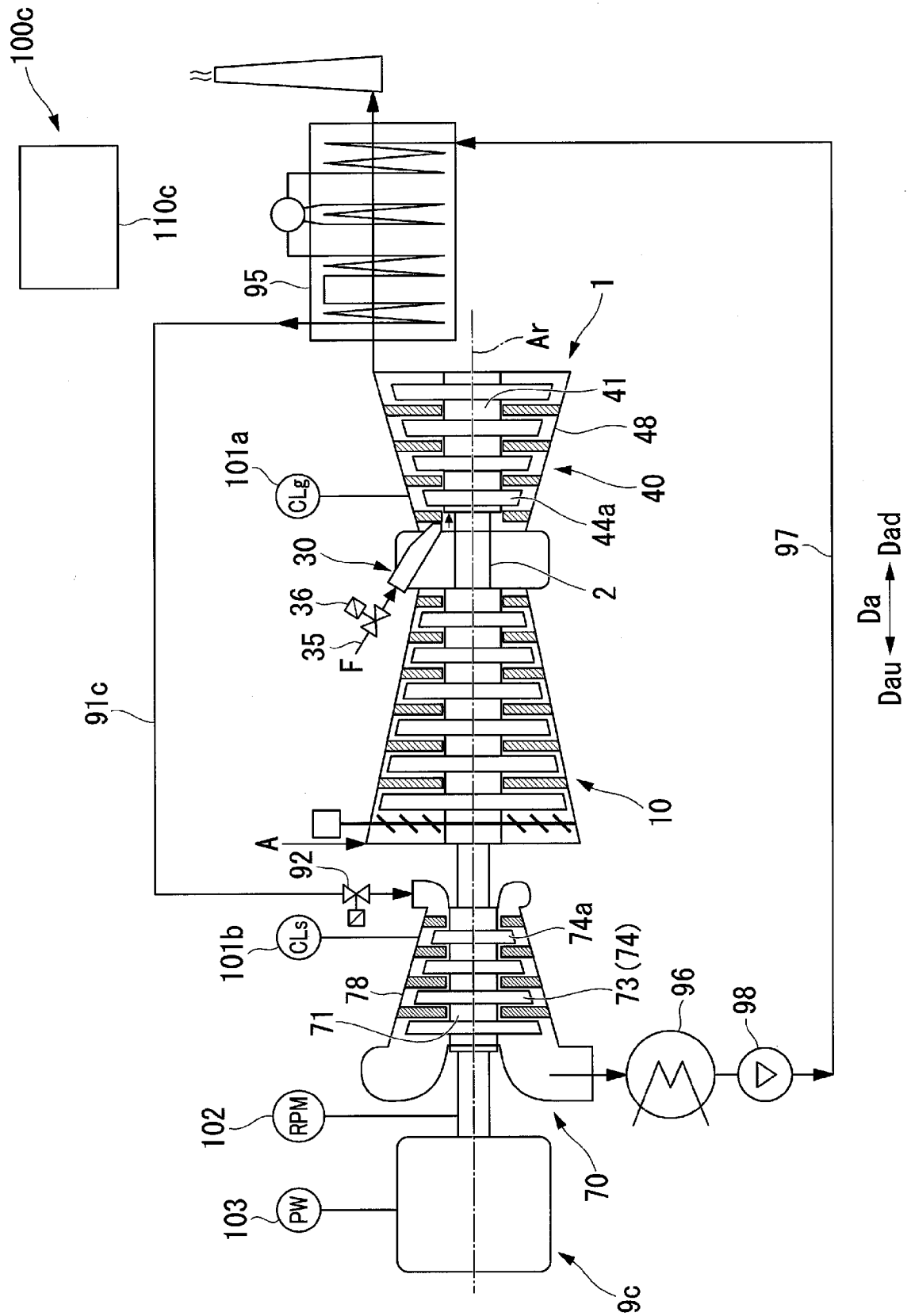
[図14]



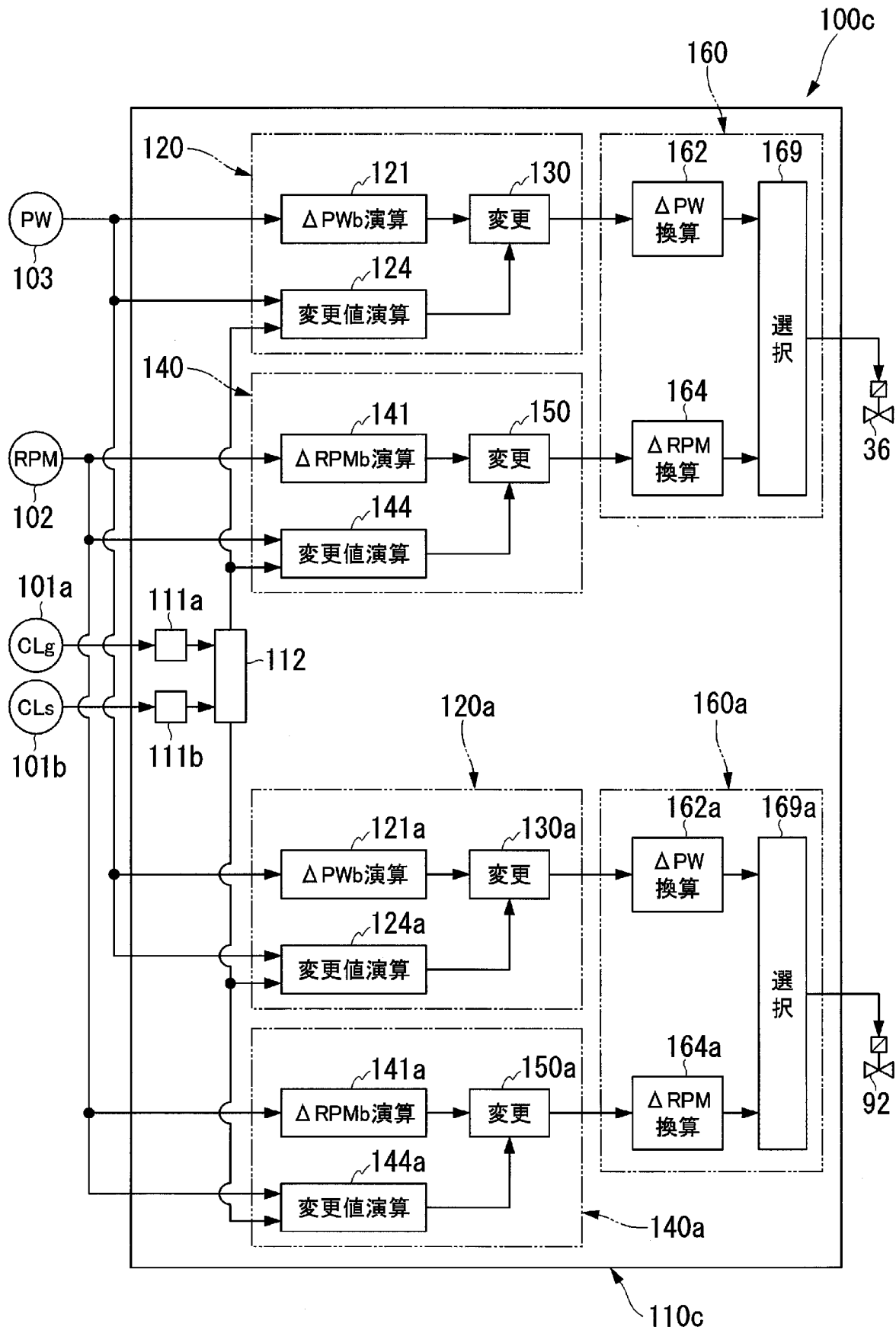
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/034804

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F02C9/28 (2006.01) i, F01D11/20 (2006.01) i, F01D17/00 (2006.01) i,
F01D25/00 (2006.01) i, F01K23/10 (2006.01) i, F02C9/48 (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-F02C9/58, F01D11/20, F01D17/00, F01D25/00, F01K23/10

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.
Y	JP 2015-190469 A (GENERAL ELECTRIC CO.) 02 November 2015, paragraphs [0011]-[0040], fig. 1-2 & US	1, 7-11, 13, 19
A	2015/0275703 A1, paragraphs [0022]-[0051], fig. 1-2 & DE 102015104638 A1 & CN 105020029 A	2-6, 12, 14-18, 20-24
Y	JP 2000-27606 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 25 January 2000, paragraphs [0002]-[0019], fig. 3-4 (Family: none)	1, 7-11, 13, 19
Y	JP 11-50809 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 23 February 1999, paragraphs [0002], [0014]-[0021], fig. 1 (Family: none)	10
A	JP 2017-78362 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 27 April 2017, paragraphs [0037]-[0086], fig. 1-4, 7-9 (Family: none)	1-24

☐

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
13 November 2018 (13.11.2018)

Date of mailing of the international search report
04 December 2018 (04.12.2018)

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. F02C9/28(2006.01)i, F01D11/20(2006.01)i, F01D17/00(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i,
F01K23/10(2006.01)i, F02C9/48(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- F02C9/58, F01D11/20, F01D17/00, F01D25/00, F01K23/10

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
Y A	JP 2015-190469 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2015.11.02, 段落[0011]-[0040], 図 1-2 & US 2015/0275703 A1, 段落[0022]-[0051], 図 1-2 & DE 102015104638 A1 & CN 105020029 A	1, 7-11, 13, 19 2-6, 12, 14-18, 20-24
Y	JP 2000-27606 A (三菱重工業株式会社) 2000.01.25, 段落[0002]-[0019], 図 3-4 (ファミリーなし)	1, 7-11, 13, 19

☑ 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

13.11.2018

国際調査報告の発送日

04.12.2018

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

電話番号 03-3581-1101 内線 3391

3 S

6 2 1 0

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 11-50809 A (三菱重工業株式会社) 1999.02.23, 段落[0002], [0014]-[0021], 図1 (ファミリーなし)	10
A	JP 2017-78362 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2017.04.27, 段落[0037]-[0086], 図1-4, 7-9 (ファミリーなし)	1-24