

(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
2024年6月6日(06.06.2024)



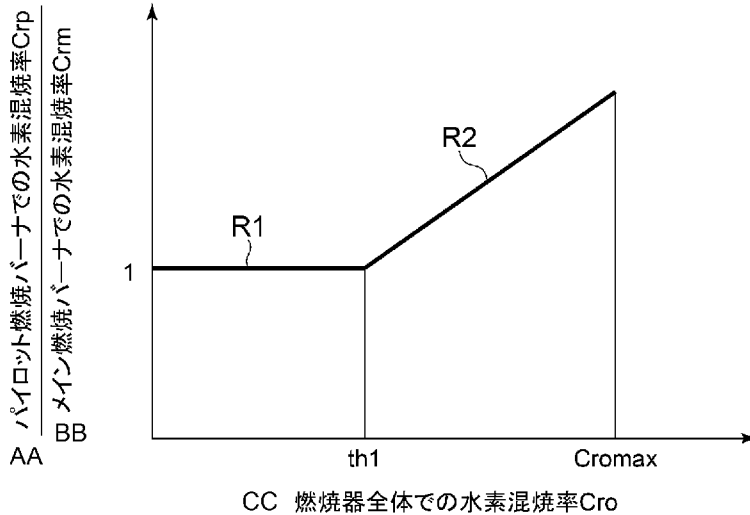
(10) 国際公開番号

WO 2024/116963 A1

- (51) 国際特許分類:
F02C 9/40 (2006.01) *F02C 7/22* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/041777
- (22) 国際出願日: 2023年11月21日(21.11.2023)
- (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 2022-192566 2022年12月1日(01.12.2022) JP
- (71) 出願人 (KR を除く全ての指定国について):三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (KR についてののみ): 三菱パワー株式会社 (MITSUBISHI POWER, LTD.) [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 谷村 聡 (TANIMURA, Satoshi); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 中村 聡介 (NAKAMURA, Sosuke); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 川上 朋 (KAWAKAMI, Tomo); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 松本 照弘 (MATSUMOTO, Teruhiro); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 盛下 光寛 (MORISHITA,

(54) Title: OPERATION METHOD FOR GAS TURBINE

(54) 発明の名称: ガスタービンの運転方法



- AA Hydrogen co-combustion rate C_p at pilot combustion burner
BB Hydrogen co-combustion rate C_{rm} at main combustion burner
CC Hydrogen co-combustion rate C_{ro} of whole combustor

(57) Abstract: An operation method for a gas turbine according to one embodiment is for a gas turbine provided with a combustor that has a main nozzle and a pilot nozzle and that is capable of using, as fuel, hydrogen and a fuel other than hydrogen. In the operation method for the gas turbine according to said one embodiment, with regard to the ratio of the hydrogen co-combustion rate of the fuel injected from the pilot nozzle to the hydrogen co-combustion rate of the fuel injected from the main nozzle, when compared with a first ratio during operation at a low hydrogen co-combustion rate, a second ratio during operation at a high hydrogen co-combustion rate, during which the hydrogen co-combustion rate is

Mitsubishi); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 道免 昌平(**DOMEN, Shohei**); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 市川 昌紀(**ICHIKAWA, Akinori**); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: S S I P 弁理士法人(**SSIP PATENT ATTORNEY CORPORATION**); 〒1080073 東京都港区三田三丁目13番16号 三田43MTビル13階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

higher than that during the operation at the low hydrogen co-combustion rate, is higher.

(57) 要約: 一実施形態に係るガスタービンの運転方法は、メインノズルとパイロットノズルとを有し、水素と、水素以外の燃料とを燃料として使用可能な燃焼器を備えたガスタービンの運転方法である。一実施形態に係るガスタービンの運転方法では、メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率に対するパイロットノズルから噴射する燃料の水素混焼率の比は、低水素混焼率運転時の第1比と比べて、低水素混焼率運転時よりも水素混焼率が高い高水素混焼率運転時の第2比の方が大きい。

明 細 書

発明の名称：ガスタービンの運転方法

技術分野

[0001] 本開示は、ガスタービンの運転方法に関する。

本願は、2022年12月1日に日本国特許庁に出願された特願2022-192566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] 例えば火力発電プラントでは、地球温暖化の原因となる二酸化炭素（ CO_2 ）の排出量を削減する手段として、発電効率の向上や化石燃料以外の水素などの燃料を積極的に利用することが検討されている（例えば特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2021-046949号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 二酸化炭素の排出量を削減するためには、水素の混焼率を高めることが望ましい。しかし、水素は着火エネルギーが小さく、燃焼速度が速いため、水素の混焼率を高めると、火炎の逆流等を生じる可能性が高まってしまう。

[0005] 本開示の少なくとも一実施形態は、上述の事情に鑑みて、ガスタービンの運転に際して、火炎の逆流等を抑制しつつ水素混焼率を高めることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] (1) 本開示の少なくとも一実施形態に係るガスタービンの運転方法は、メインノズルとパイロットノズルとを有し、水素と、水素以外の燃料とを燃料として使用可能な燃焼器を備えたガスタービンの運転方法であって、前記メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率に対する前記パイロット

ノズルから噴射する燃料の水素混焼率の比は、低水素混焼率運転時の第1比と比べて、前記低水素混焼率運転時よりも水素混焼率が高い高水素混焼率運転時の第2比の方が大きい。

発明の効果

[0007] 本開示の少なくとも一実施形態によれば、ガスタービンの運転に際して、火炎の逆流等を抑制しつつ水素混焼率を高められる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]幾つかの実施形態に係るガスタービンを示す概略構成図である。
- [図2]幾つかの実施形態に係る燃焼器を示す断面図である。
- [図3]幾つかの実施形態に係る燃焼器の要部を示す断面図である。
- [図4]幾つかの実施形態に係る燃焼器を燃焼器の軸線方向に沿って下流側から上流側を見たときの各燃料噴射器の配置を模式的に示した図である。
- [図5]幾つかの実施形態に係る燃焼器に対する燃料の供給系統の概略を示した図である。
- [図6A]定格運転時における、各燃焼バーナの水素混焼率と、燃焼器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。
- [図6B]各燃焼バーナの水素混焼率と、燃焼器全体での水素混焼率とが図6Aに示す関係であるときの、メイン燃焼バーナでの水素混焼率に対するパイロット燃焼バーナでの水素混焼率の比と、燃焼器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。
- [図7A]定格運転時における、各燃焼バーナの水素混焼率と、燃焼器全体での水素混焼率との関係の他の一例を示すグラフである。
- [図7B]各燃焼バーナの水素混焼率と、燃焼器全体での水素混焼率とが図7Aに示す関係であるときの、メイン燃焼バーナでの水素混焼率に対するパイロット燃焼バーナでの水素混焼率の比と、燃焼器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。
- [図8A]定格運転時における、各燃焼バーナの水素混焼率と、燃焼器全体での水素混焼率との関係のさらに他の一例を示すグラフである。

[図8B]各燃烧バーナの水素混焼率と、燃烧器全体での水素混焼率とが図8Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナでの水素混焼率に対するパイロット燃烧バーナでの水素混焼率の比と、燃烧器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。

[図9A]部分負荷運転時における、各燃烧バーナの水素混焼率と、燃烧器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。

[図9B]各燃烧バーナの水素混焼率と、燃烧器全体での水素混焼率とが図9Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナでの水素混焼率に対するパイロット燃烧バーナでの水素混焼率の比と、燃烧器全体での水素混焼率との関係の一例を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、添付図面を参照して本開示の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本開示の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直角」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な

表現ではない。

[0010] (ガスタービン 1 について)

図 1 は、幾つかの実施形態に係るガスタービン 1 を示す概略構成図である。

幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法の適用先の一例であるガスタービンについて、図 1 を参照して説明する。

[0011] 図 1 に示すように、幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法によって運転されるガスタービン 1 は、酸化剤としての圧縮空気を生成するための圧縮機 2 と、圧縮空気及び燃料を用いて燃焼ガスを発生させるためのガスタービン燃焼器 4 と、燃焼ガスによって回転駆動されるように構成されたタービン 6 と、を備える。発電用のガスタービン 1 の場合、タービン 6 には不図示の発電機が連結され、タービン 6 の回転エネルギーによって発電が行われるようになっている。以下の説明では、ガスタービン燃焼器 4 のことを単に燃焼器 4 とも称する。

[0012] 幾つかの実施形態に係るガスタービン 1 における各部位の具体的な構成例について説明する。

幾つかの実施形態に係る圧縮機 2 は、圧縮機車室 10 と、圧縮機車室 10 の入口側に設けられ、空気を取り込むための空気取入口 12 と、圧縮機車室 10 及び後述するタービン車室 22 を共に貫通するように設けられたロータ 8 と、圧縮機車室 10 内に配置された各種の翼と、を備える。各種の翼は、空気取入口 12 側に設けられた入口案内翼 14 と、圧縮機車室 10 側に固定された複数の静翼 16 と、静翼 16 に対して交互に配列されるようにロータ 8 に植設された複数の動翼 18 と、を含む。なお、圧縮機 2 は、不図示の抽気室等の他の構成要素を備えていてもよい。このような圧縮機 2 において、空気取入口 12 から取り込まれた空気は、複数の静翼 16 及び複数の動翼 18 を通過して圧縮されることで高温高圧の圧縮空気となる。そして、高温高圧の圧縮空気は圧縮機 2 から後段の燃焼器 4 に送られる。

[0013] 幾つかの実施形態に係る燃焼器 4 は、ケーシング 20 内に配置される。図

1に示すように、燃焼器4は、ケーシング20内にロータ8を中心として環状に複数配置されていてもよい。燃焼器4には燃料と圧縮機2で生成された圧縮空気とが供給され、燃料を燃焼させることによって、タービン6の作動流体である燃焼ガスを発生させる。そして、燃焼ガスは燃焼器4から後段のタービン6に送られる。なお、幾つかの実施形態に係る燃焼器4の構成例については後述する。

[0014] 幾つかの実施形態に係るタービン6は、タービン車室22と、タービン車室22内に配置された各種の翼と、を備える。各種の翼は、タービン車室22側に固定された複数の静翼24と、静翼24に対して交互に配列されるようにロータ8に植設された複数の動翼26と、を含む。なお、タービン6は、出口案内翼等の他の構成要素を備えていてもよい。タービン6においては、燃焼ガスが複数の静翼24及び複数の動翼26を通過することでロータ8が回転駆動する。これにより、ロータ8に連結された発電機が駆動されるようになっている。

タービン車室22の下流側には、排気車室28を介して排気室30が連結されている。タービン6を駆動した後の燃焼ガスは、排気車室28及び排気室30を介して外部へ排出される。

[0015] (燃焼器4について)

図2は、幾つかの実施形態に係る燃焼器4を示す断面図である。図3は、幾つかの実施形態に係る燃焼器4の要部を示す断面図である。図4は、幾つかの実施形態に係る燃焼器4を燃焼器4の軸線方向に沿って下流側から上流側を見たときの各燃料噴射器の配置を模式的に示した図である。

図2、図3及び図4を参照して、幾つかの実施形態に係る燃焼器4の構成について説明する。

[0016] 図2及び図3に示すように、幾つかの実施形態に係る燃焼器4は、ロータ8を中心として環状に複数配置されている(図1参照)。各燃焼器4は、ケーシング20により画定される燃焼器車室40に設けられた燃焼器ライナ46と、燃焼器ライナ46内にそれぞれ配置された燃料噴射器であるメイン燃

焼バーナ60及びパイロット燃焼バーナ50とを含む。

[0017] 燃焼器4は、ケーシング20の内部において燃焼器ライナ46の内筒47の外周側に設けられた外筒45をさらに含む。内筒47の外周側かつ外筒45の内周側には、圧縮空気が流れる空気通路43が形成される。

なお、燃焼器4は、燃焼ガスをバイパスさせるためのバイパス管（不図示）等の他の構成要素を備えていてもよい。

[0018] 例えば、燃焼器ライナ46は、パイロット燃焼バーナ50及び複数のメイン燃焼バーナ60の周囲に配置される内筒47と、内筒47の先端部に連結された尾筒48と、を有している。すなわち、燃焼器ライナ46は、メイン燃焼バーナ60及びパイロット燃焼バーナ50から噴射された燃料Fが燃焼する燃焼部に相当する。

図3及び図4に示すように、パイロット燃焼バーナ50は、燃焼器ライナ46の中心軸に沿って配置されている。そして、パイロット燃焼バーナ50の外周側を囲むように、複数のメイン燃焼バーナ60が互いに離間して周方向に並んで配置されている。

[0019] 図3に示すように、パイロット燃焼バーナ50は、燃料ポート52に連結されたパイロットノズル54と、パイロットノズル54を囲むように配置されたパイロットバーナ筒56と、パイロットノズル54の外周に設けられた複数のスワラ（旋回板）58と、を有している。

パイロットノズル54は、燃焼器軸線Acを中心として軸線方向Daに延在している。

ここで、燃焼器軸線Acの延在方向である軸線方向Daの一方側であって燃焼ガスの流れに沿った上流側を上流側とし、他方側であって燃焼ガスの流れに沿った下流側を下流側とする。また、燃焼器軸線Acは、このパイロット燃焼バーナ50のバーナ軸線でもある。

[0020] パイロットノズル54の下流側端部には、燃料Fを噴射する不図示の噴射孔が形成されている。パイロットノズル54で噴射孔が形成されている位置よりも上流側には、複数の旋回板58が設けられている。各旋回板58は、

燃焼器軸線A cを中心として圧縮空気を旋回させるためのものである。各旋回板5 8は、パイロットノズル5 4の外周から放射方向成分を含む方向に延びて、パイロットバーナ筒5 6の内周面に近接している。パイロットバーナ筒5 6は、パイロットノズル5 4の外周に位置する本体部5 6 aと、本体部5 6 aの下流側に接続され下流側に向かって次第に拡径されているコーン部5 6 bと、を有する。複数の旋回板5 8は、パイロットバーナ筒5 6における本体部5 6 aの内周面に近接している。

[0021] パイロットノズル5 4は、火炎温度を抑制してNO_xの抑制とコーン部5 6 bのメタル温度の抑制を図るための不図示の水の流路を有し、水を噴射可能に構成されている。

[0022] メイン燃焼バーナ6 0は、燃料ポート6 2に連結されたメインノズル6 4と、メインノズル6 4を囲むように配置されたメインバーナ筒6 6と、メインバーナ筒6 6と燃焼器ライナ4 6（例えば内筒4 7）をつなぐ延長管6 5と、メインノズル6 4の外周に設けられたスワラ（旋回板）7 0と、を有している。

[0023] メインノズル6 4は、燃焼器軸線A cと平行なバーナ軸線A bを中心として軸線方向D aに延在する棒状のノズルである。なお、メイン燃焼バーナ6 0のバーナ軸線A bは、燃焼器軸線A cと平行であるため、燃焼器軸線A cに関する軸線方向D aと、バーナ軸線A bに関する軸線方向D aとは同じ方向である。また、燃焼器軸線A cに関する軸線方向D aの上流側は、バーナ軸線A bに関する軸線方向D aの上流側であり、燃焼器軸線A cに関する軸線方向D aの下流側は、バーナ軸線A bに関する軸線方向D aの下流側である。

[0024] メインノズル6 4の軸線方向D aにおける中間部には、燃料Fを噴射する噴射孔が形成されている。メインノズル6 4で噴射孔が形成されている位置近傍には、複数の旋回板7 0が設けられている。各旋回板7 0は、バーナ軸線A bを中心として圧縮空気を旋回させるためのものである。各旋回板7 0は、メインノズル6 4の外周から放射方向成分を含む方向に延びて、メイン

バーナ筒 66 の内周面に近接している。メインバーナ筒 66 は、メインノズル 64 の外周に位置している。

[0025] 上記構成を有する燃焼器 4 において、圧縮機 2 で生成された圧縮空気は車室入口 40 a から燃焼器車室 40 内に供給され、さらに燃焼器車室 40 から空気通路 43 を経由してパイロットバーナ筒 56 及び複数のメインバーナ筒 66 内に流入する。

[0026] パイロット燃焼バーナ 50 では、パイロットバーナ筒 56 の下流端から、圧縮空気と共に、パイロットノズル 54 から噴射された燃料 F が噴出される。この燃料 F は、燃焼器ライナ 46 内で拡散燃焼又は予混合燃焼する。

すなわち、図 2、図 3 及び図 4 に示したパイロット燃焼バーナ 50 は、拡散燃焼式又は予混合燃焼式の燃料噴射器である。

[0027] メイン燃焼バーナ 60 では、メインバーナ筒 66 内で圧縮空気とメインノズル 64 から噴射された燃料 F とが混合して、予混合気体 PM が形成される。メイン燃焼バーナ 60 では、延長管 65 の下流端から予混合気体 PM が噴出される。この予混合気体 PM 中の燃料 F は、燃焼器ライナ 46 内で予混合燃焼する。

すなわち、図 2、図 3 及び図 4 に示したメイン燃焼バーナ 60 は、予混合燃焼式の燃料噴射器である。

[0028] なお、旋回板 70 に燃料 F を噴射する噴射孔を形成し、ここからメインバーナ筒 66 内に燃料 F を噴射してもよい。この場合、以上で説明した棒状のメインノズル 64 に相当する部分がハブ棒を成し、メインノズルは、このハブ棒と複数の旋回板 70 とを有して形成されることになる。ハブ棒内には、外部からの燃料 F が供給され、このハブ棒から旋回板 70 に燃料 F が供給される。

[0029] (燃料 F について)

幾つかの実施形態に係る燃焼器 4 では、燃料 F として、例えば従来の燃焼器と同様に天然ガスを用いるとともに、水素を用いることができるように構成されている。なお、以下の説明では、燃料 F としての天然ガスを天然ガス

燃料F N、又は単に天然ガスと称する。同様に、以下の説明では、燃料Fとしての水素を水素燃料F H、又は単に水素と称する。

また、以下の説明では、天然ガス燃料F N、水素燃料F H、及び天然ガス燃料F Nと水素燃料F Hとの混合燃料F Mを特に区別する必要がない場合、又はこれらの燃料を総称する場合に燃料Fと称することとする。

[0030] (燃料Fの供給系統について)

図5は、幾つかの実施形態に係る燃焼器4に対する燃料Fの供給系統200の概略を示した図である。幾つかの実施形態に係るガスタービン1は、図5に示す燃料Fの供給系統200を含む。図5に示す燃料Fの供給系統200は、天然ガス燃料F Nをメイン燃焼バーナ60に供給するための第1供給ライン211と、天然ガス燃料F Nをパイロット燃焼バーナ50に供給するための第2供給ライン212と、水素燃料F Hをメイン燃焼バーナ60及びパイロット燃焼バーナ50に供給するための第3供給ライン221と、水素燃料F Hをパイロット燃焼バーナ50に供給するための第4供給ライン222とを含む。

[0031] 天然ガス燃料F Nは、天然ガス燃料F Nの供給源201から天然ガス供給ライン210を介して供給される。第1供給ライン211と第2供給ライン212とは、分岐部231で分岐している。

第1供給ライン211には、メイン燃焼バーナ60への燃料Fの供給量を調整するための第1調節弁241が設けられている。第1供給ライン211の下流端は、メイン燃焼バーナ60のメインノズル64が連結されている燃料ポート62に接続されている。

第2供給ライン212には、パイロット燃焼バーナ50への燃料Fの供給量を調整するための第2調節弁242が設けられている。第2供給ライン212の下流端は、パイロット燃焼バーナ50のパイロットノズル54が連結されている燃料ポート52に接続されている。

[0032] 水素燃料F Hは、水素燃料F Hの供給源202から水素供給ライン220を介して供給される。第3供給ライン221と第4供給ライン222とは、

分岐部 232 で分岐している。

第 3 供給ライン 221 には、メイン燃焼バーナ 60 及びパイロット燃焼バーナ 50 への水素燃料 F H の供給量を調整するための第 3 調節弁 243 が設けられている。第 3 供給ライン 221 の下流端は、天然ガス供給ライン 210 における分岐部 231 よりも上流側の合流部 233 で天然ガス供給ライン 210 に接続されている。

すなわち、第 3 調節弁 243 は、天然ガス供給ライン 210 を流れる天然ガス燃料 F N に水素燃料 F H を添加する添加量を調節するための調節弁である。

[0033] 第 4 供給ライン 222 には、パイロット燃焼バーナ 50 への水素燃料 F H の供給量を調整するための第 4 調節弁 244 が設けられている。第 4 供給ライン 222 の下流端は、第 2 供給ライン 212 における第 2 調節弁 242 よりも下流側の合流部 234 で第 2 供給ライン 212 に接続されている。

すなわち、第 4 調節弁 244 は、第 2 供給ライン 212 を流れる天然ガス燃料 F N、又は、天然ガス燃料 F N と水素燃料 F H との混合燃料 F M に水素燃料 F H を添加する添加量を調節することができる調節弁である。なお、後述するように、第 2 調節弁 242 を閉じ、第 4 調節弁 244 を開くことで、水素燃料 F H だけをパイロット燃焼バーナ 50 へ供給することができる。

[0034] このように構成される燃料 F の供給系統 200 では、第 1 調節弁 241、第 2 調節弁 242、第 3 調節弁 243、及び第 4 調節弁 244 の開度を調節することで、メイン燃焼バーナ 60 及びパイロット燃焼バーナ 50 における、噴射する燃料 F における水素燃料 F H の割合である水素混焼率（カロリー比）を調節できる。

幾つかの実施形態に係る燃焼器 4 における水素混焼率の制御については、後で詳述する。

[0035] 第 1 調節弁 241、第 2 調節弁 242、第 3 調節弁 243、及び第 4 調節弁 244 は、これら各調節弁を制御可能に構成されたコントローラによって制御される。幾つかの実施形態では、このコントローラは、ガスタービン 1

の燃焼制御装置 140 によって実現される。

燃焼制御装置 140 の各処理機能はソフトウェア（コンピュータプログラム）で構成され、コンピュータで実行されるが、これに限定するものではなく、ハードウェアで構成してもよい。

[0036] （水の供給について）

幾つかの実施形態に係るガスタービン 1 は、パイロット燃焼バーナ 50 へ冷却用の水を供給するための水供給ライン 215 を備えている。詳細な説明は省略するが、冷却用の水を供給することで、パイロット燃焼バーナ 50 での水素混焼率を高くしたときに上昇する火炎温度が抑制されるので、 NO_x の発生が抑制されるとともに、パイロット燃焼バーナ 50 のコーン部 56b のメタル温度を抑制できる。

冷却用の水は、水の供給源 205 から水供給ライン 215 を介してパイロット燃焼バーナ 50 に供給可能とされている。

水供給ライン 215 には、パイロット燃焼バーナ 50 への水の供給量を調整するための水供給量調節弁 251 が設けられている。詳細な説明は省略するが、水供給量調節弁 251 は、燃焼制御装置 140 によって制御される。

[0037] （水素混焼率の制御について）

例えばガスタービン 1 のように地球温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO_2) を排出する設備では、二酸化炭素の排出量を削減することが求められている。例えばガスタービン 1 において二酸化炭素の排出量を削減するためには、水素の混焼率を高めることが望ましい。しかし、水素は着火エネルギーが小さく、燃焼速度が速いため、水素の混焼率を高めると、火炎の逆流等を生じる可能性が高まってしまう。

一方で、火炎の逆流（逆火）のリスクは、燃料噴射器（燃焼バーナ）の構造や燃料噴射器の配置位置等によって異なるため、複数の燃料噴射器においてどの燃料噴射器も逆火のリスクが同じであるとは限らない。具体的には、例えば以下のとおりである。

[0038] 図 2、図 3 及び図 4 に示す実施形態では、メイン燃焼バーナ 60 は、予混

合燃焼式の燃料噴射器であり、パイロット燃焼バーナ50は、拡散燃焼式又は予混合燃焼式の燃料噴射器である。

一般的に、拡散燃焼式の燃料噴射器は予混合燃焼式の燃料噴射器よりも逆火のリスクが小さい燃料噴射器である。したがって、図2、図3及び図4に示す実施形態では、パイロット燃焼バーナ50は、メイン燃焼バーナ60よりも逆火のリスクが小さい燃料噴射器となる。

[0039] なお、一般的に、燃料噴射器が他の複数の燃料噴射器によって周囲を取り囲まれている場合、周囲を取り囲まれている燃料噴射器は、周囲を取り囲んでいる燃料噴射器よりも逆火のリスクが小さくなる。

ここで、図2、図3及び図4に示す実施形態では、メイン燃焼バーナ60は、パイロット燃焼バーナ50の周囲に複数配置されている。したがって、仮に図2、図3及び図4に示す実施形態においてメイン燃焼バーナ60とパイロット燃焼バーナ50とが共に拡散燃焼式又は予混合燃焼式の燃料噴射器である場合のように、メイン燃焼バーナ60とパイロット燃焼バーナ50とで燃料噴射器の構造が同様であれば、パイロット燃焼バーナ50は、メイン燃焼バーナ60よりも逆火のリスクが小さい燃料噴射器となる。

[0040] そこで、幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、これらを考慮して、ガスタービン1を以下のように運転するようにしている。

上述したように、パイロット燃焼バーナ50がメイン燃焼バーナ60よりも逆火のリスクが小さい燃料噴射器であるので、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の上限値 $C_{rpm\max}$ は、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} の上限値 $C_{rmm\max}$ よりも大きくなるようにしている。これにより、逆火を抑制しつつ、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} の最大値 $C_{rom\max}$ を大きくすることができる。

より具体的には、幾つかの実施形態に係る燃焼器4では、水素混焼率は以下のように制御される。

なお、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} は、1つの燃焼器における、複数のメイン燃焼バーナ60、及びパイロット燃焼バーナ50から噴射するト

ータルの燃料Fに対するトータルの水素燃料FHの割合をカロリー比で表したものである。

[0041] 図6Aは、定格運転時における、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフである。

図6Bは、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} とが図6Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフである。

図7Aは、定格運転時における、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の他の一例を示すグラフである。

図7Bは、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} とが図7Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフである。

図8Aは、定格運転時における、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係のさらに他の一例を示すグラフである。

図8Bは、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} とが図8Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフである。

図9Aは、部分負荷運転時における、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフ

である。

図9Bは、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} とが図9Aに示す関係であるときの、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})と、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} との関係の一例を示すグラフである。

[0042] 例えばガスタービン1の定格運転時において、天然ガス燃料FNによる専焼(水素混焼率 $C_{ro}=0\%$)から水素混焼率 C_{ro} を徐々に高くしながら混焼する場合について考える。

この場合において、図6Aに示すように、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が比較的低い低水素混焼率運転時には、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するにつれて、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} は同じ値を取りつつ漸増するようにしてもよい。

このような各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} の推移は、例えば図5に示したパイロット燃烧バーナ50への水素燃料FHの供給量を調整するための第4調節弁244を閉じたまま、メイン燃烧バーナ60及びパイロット燃烧バーナ50への水素燃料FHの供給量を調整するための第3調節弁243を徐々に開くことで実現できる。

また、燃烧制御装置140が、第3調節弁243がこのように動作するように第3調節弁243に制御信号を送信するとよい。

[0043] 図6Aに示すように、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を同じ値を取りつつ漸増させた後、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が上限値 C_{rmax} に達した後は、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} を漸増させることで燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するようにしてもよい。すなわち、低水素混焼率運転時よりも水素混焼率が高い高水素混焼率運転時には、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} を漸増させることで燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するようにしてもよい。

[0044] このような各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} の推移は、例えば図5に示した第3調節弁243の開度を固定したまま、第2供給ライン212の第2調節弁242を徐々に閉じつつ、且つ、第4調節弁244を徐々に開くことで実現できる。

また、燃焼制御装置140が、第2調節弁242及び第4調節弁244がこのように動作するように第2調節弁242及び第4調節弁244に制御信号を送信するとよい。

[0045] なお、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の上限値 C_{rpm} は、図6A、及び後述する図7A、図8A、及び図9Aに示すように100%であってもよい。

[0046] 説明の便宜上、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を同じ値を取りつつ漸増させた後、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が上限値 C_{rmm} に達したときの燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} の値 t_{h1} 、又は後述する値 t_{h3} を境に、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} 又は値 t_{h3} 以下の場合を低水素混焼率運転と称し、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} 又は値 t_{h3} を超えた場合を高水素混焼率運転と称する。

[0047] 図6Aに示すように、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図6Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} 以下の場合には、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})は、1となる。

図6Aに示すように、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図6Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} を超える場合には、上記比(C_{rp}/C_{rm})は、1を超え、水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて漸増する。

[0048] 以下の説明では、低水素混焼率運転時における上記比(C_{rp}/C_{rm})を第1比 $R1$ と称し、高水素混焼率運転時における上記比(C_{rp}/C_{rm})を第2比 $R2$ と称する。

[0049] 図6A及び図6Bに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増

加させる過程で、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が上限値 C_{rmax} に達するまではパイロット燃焼バーナ50への水素燃料FHの供給量を調整するための第4調節弁244を閉じたままとしていた。しかし、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が上限値 C_{rmax} に達する前に第4調節弁244を開き始めてもよい。

図7A及び図7Bに示す例は、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が値 t_{h1} よりも小さい値 t_{h2} ($t_{h2} < t_{h1}$) に達したときから第4調節弁244を開き始めた場合の一例である。

[0050] 図7Aに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h2} に達するまでは、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するにつれて、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} は同じ値を取りつつ漸増する。

図7Aに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h2} に達した後、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達するまでは、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} がメイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} よりも大きな値を取りつつ、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて両者の差が徐々に大きくなる。

[0051] 図7Aに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達した後は、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} は上限値 C_{rmax} となり、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} が漸増する。すなわち、図7Aに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達した後は、例えば図5に示した第3調節弁243の開度を固定したまま、第2供給ライン212の第2調節弁242を徐々に閉じつつ、且つ、第4調節弁244を徐々に開くとよい。

[0052] 図7Aに示すように、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図7Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h2} 以下の場合には、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})は、1となる。

図7Aに示すように、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図7Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h2} を超える場合には、上記比(C_{rp}/C_{rm})は、1を超え、水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて漸増する。

[0053] 図7A及び図7Bに示す例では、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h2} に達するまではパイロット燃烧バーナ50への水素燃料FHの供給量を調整するための第4調節弁244を閉じたままとしていた。しかし、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、第3調節弁243を開き始めるのと同時に第4調節弁244を開き始めてもよい。

図8A及び図8Bに示す例は、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、第3調節弁243を開き始めるのと同時に第4調節弁244を開き始めた場合の一例である。

[0054] 図8Aに示す例では、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達するまでは、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} がメイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} よりも大きな値を取りつつ、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて両者の差が徐々に大きくなる。

[0055] 図8Aに示す例では、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達した後は、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} は上限値 C_{rmmax} となり、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} が漸増する。すなわち、図8Aに示す例では、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h1} に達した後は、例えば図5に示し

た第3調節弁243の開度を固定したまま、第2供給ライン212の第2調節弁242を徐々に閉じつつ、且つ、第4調節弁244を徐々に開くとよい。

[0056] 図8Aに示すように、各燃烧バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図8Bに示すように、メイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比(C_{rp}/C_{rm})は、1を超え、燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて漸増する。

[0057] (部分負荷運転時の場合)

一般的には、ガスタービン1の負荷が高負荷になるほど燃料Fの供給量が増えるため、逆火のリスクが高まる。逆に、ガスタービン1の部分負荷運転時には定格運転時よりも水素燃料の逆火のリスクは小さくなるので、部分負荷運転時の燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} の最大値 C_{romax} を定格運転時よりも大きくすることができる。

上述したように、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の上限値 C_{rpm} は、定格運転時において図6A、図7A、及び図8Aに示すように100%であるため、パイロット燃烧バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の上限値 C_{rpm} を引き上げる余地はない。

そこで、幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図9A及び図9Bに示すように、部分負荷運転時のメイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} の上限値 C_{rmm} を定格運転時よりも大きくすることで、部分負荷運転時の燃烧器4全体での水素混焼率 C_{ro} の最大値 C_{romax} を定格運転時よりも大きくすることとしている。

[0058] すなわち、幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図9Aと例えば図6Aとの比較から明らかなように、部分負荷運転時のメイン燃烧バーナ60での水素混焼率 C_{rm} の上限値 C_{rmm} を定格運転時よりも大きくする。

[0059] 例えばガスタービン1の部分負荷運転時において、天然ガス燃料FNによ

る専焼（水素混焼率 $C_{ro} = 0\%$ ）から水素混焼率 C_{ro} を徐々に高くしながら混焼する場合について考える。

この場合において、図9Aに示すように、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が比較的低い低水素混焼率運転時には、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するにつれて、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} は同じ値を取りつつ漸増するようにしてもよい。

[0060] 図9Aに示すように、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を同じ値を取りつつ漸増させた後、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} が上限値 C_{rmax} に達した後は、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} を漸増させることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するようにしてもよい。すなわち、低水素混焼率運転時よりも水素混焼率が高い高水素混焼率運転時には、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} を漸増させることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が増加するようにしてもよい。

図9Aに示す例では、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を増加させる過程で、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} が値 t_{h3} に達した後は、例えば図5に示した第3調節弁243の開度を固定したまま、第2供給ライン212の第2調節弁242を徐々に閉じつつ、且つ、第4調節弁244を徐々に開くとよい。

[0061] 図9Aに示すように、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図9Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h3} 以下（低水素混焼率運転時）の場合には、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比（ C_{rp}/C_{rm} ）は、1となる。

図9Aに示すように、各燃焼バーナの水素混焼率 C_{rm} 、 C_{rp} を変更した場合、図9Bに示すように、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h3} を超える（高水素混焼率運転時）場合には、上記比（ C_{rp}/C_{rm} ）は、1を超え、水素混焼率 C_{ro} が大きくなるにつれて漸増する。

なお、ガスタービン入口燃焼ガス温度 T_1 が低くなるほどメイン燃焼バーナ 60 の水素混焼率 C_{rm} の上限値 C_{rmax} を大きくなるようにしてもよい。

[0062] (幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法のまとめ)

上記各実施形態に記載の内容を以下にまとめる。

幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法は、メインノズル 64 とパイロットノズル 54 とを有し、水素と、水素以外の燃料とを燃料として使用可能な燃焼器 4 を備えたガスタービン 1 の運転方法である。メインノズル 64 から噴射する燃料 F の水素混焼率 C_{rm} に対するパイロットノズル 54 から噴射する燃料 F の水素混焼率 C_{rp} の比 (C_{rp}/C_{rm}) は、図 6 B、図 7 B、図 8 B、及び図 9 B に示すように、低水素混焼率運転時の第 1 比 R_1 と比べて、低水素混焼率運転時よりも燃焼器 4 全体での水素混焼率 C_{ro} が高い高水素混焼率運転時の第 2 比 R_2 の方が大きい。

[0063] 例えばパイロット燃焼バーナ 50 の方がメイン燃焼バーナ 60 よりも火炎の逆流等を起こし難い場合には、燃焼器 4 全体での水素混焼率 C_{ro} を高くする場合に、メイン燃焼バーナ 60 から噴射する燃料 F の水素混焼率 C_{rm} よりもパイロット燃焼バーナ 50 から噴射する燃料 F の水素混焼率 C_{rp} を高くすることで、逆火のリスクを低減できる。

幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法によれば、パイロット燃焼バーナ 50 の方がメイン燃焼バーナ 60 よりも逆火を起こし難い場合には、逆火を抑制しつつ高い水素混焼率 C_{ro} で運転できる。

[0064] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図 6 B、図 7 B、図 8 B、及び図 9 B に示すように、第 2 比 R_2 は、燃焼器 4 に供給される燃料 F の水素混焼率 (燃焼器 4 全体での水素混焼率 C_{ro}) が大きくなるほど大きくなるとよい。

これにより、高水素混焼率運転時にはメイン燃焼バーナ 60 の水素混焼率 C_{rm} を抑制して逆火を抑制しつつパイロット燃焼バーナ 50 の水素混焼率 C_{rp} を大きくすることで燃焼器 4 全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくする

ことができる。

[0065] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、図8A、及び図9Aに示すように、高水素混焼率運転時には燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）が大きくなるほどパイロット燃焼バーナ50から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rp} が大きくなるとよい。

これにより、高水素混焼率運転時にはパイロット燃焼バーナ50の水素混焼率 C_{rp} を大きくすることで逆火を抑制しつつ燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0066] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、図8A、及び図9Aに示すように、高水素混焼率運転時には、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）の増加率に対するパイロット燃焼バーナ50から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rp} の増加率は、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）の増加率に対するメイン燃焼バーナ60から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rm} の増加率よりも大きいとよい。

なお、水素混焼率 C_{ro} の増加率に対する水素混焼率 C_{rp} の増加率が水素混焼率 C_{ro} の増加率に対する水素混焼率 C_{rm} の増加率よりも大きいということは、図6A、図7A、図8A、及び図9Aにおいて水素混焼率 C_{rp} のグラフ線の傾きが水素混焼率 C_{rm} のグラフ線の傾きよりも大きいことと等しい。

幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、図8A、及び図9Aに示すように、高水素混焼率運転時、すなわち、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} 又は値 t_{h3} を超えた場合、水素混焼率 C_{rp} のグラフ線の傾きが水素混焼率 C_{rm} のグラフ線の傾きよりも大きい。

これにより、高水素混焼率運転時にはメイン燃焼バーナ60の水素混焼率 C_{rm} を抑制して逆火を抑制しつつパイロット燃焼バーナ50の水素混焼率 C_{rp} を大きくすることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくする

ことができる。

[0067] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、図8A、及び図9Aに示すように、高水素混焼率運転時には、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）に関わらずメイン燃焼バーナ60から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rm} は一定の値であってもよい。

これにより、高水素混焼率運転時にはメイン燃焼バーナ60の水素混焼率 C_{rm} を一定にして逆火を抑制しつつパイロット燃焼バーナ50の水素混焼率 C_{rp} を大きくすることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0068] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、図8A、及び図9Aに示すように、パイロット燃焼バーナ50から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rp} の上限値 $C_{rpm\max}$ は、100%であるとよい。

これにより、燃焼器4における逆火を抑制しつつパイロット燃焼バーナ50の水素混焼率 C_{rp} を100%とすることができ、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{or} を大きくすることができる。

[0069] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A、図7A、及び図9Aに示すように、低水素混焼率運転時の少なくとも一部の期間において、第1比 R_1 は1であるとよい。

これにより、メイン燃焼バーナ60から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rm} とパイロット燃焼バーナ50から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rp} とが等しいので、図5に示すようにメイン燃焼バーナ60とパイロット燃焼バーナ50への燃料Fの供給系統200を共有できるので、燃料Fの供給系統200を簡略化できる。

[0070] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図6A及び図9Aに示すように、メイン燃焼バーナ60から噴射する燃料Fの水素混焼率 C_{rm} の上限値 $C_{rm\max}$ は、ガスタービン1の定格運転時よりも部分負荷運

転時の方が大きいとよい。

[0071] ガスタービン1の部分負荷運転時の方が定格運転時よりも水素燃料F Hの逆火のリスクは小さくなるので、部分負荷運転時の燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} の最大値 C_{romax} を定格運転時よりも大きくすることができる。幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法によれば、部分負荷運転時のメイン燃焼バーナ60の水素混焼率 C_{rm} の上限値 C_{rmax} を定格運転時よりも大きくすることで、部分負荷運転時のトータルの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）の最大値 C_{romax} を定格運転時よりも大きくすることができる。

また、幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法によれば、パイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} が100%となり、それ以上パイロット燃焼バーナ50では水素混焼率 C_{rp} を大きくできない場合であっても、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0072] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、図2、図3、及び図4に示すように、燃焼器4は、メインノズル64を有するメイン燃焼バーナ60と、パイロットノズル54を有するパイロット燃焼バーナ50とを備えるとよい。メイン燃焼バーナ60は、予混合燃焼方式のバーナであるとよく、パイロット燃焼バーナ50は、拡散燃焼方式のバーナであるとよい。

これにより、拡散燃焼方式のバーナの方が予混合燃焼方式のバーナよりも逆火リスクが小さいので、パイロット燃焼バーナ50の水素混焼率 C_{rp} の上限値を高くすることができ、トータルの水素混焼率（燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} ）を大きくできる。

[0073] 幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法では、パイロット燃焼バーナ50は、水の流路を有し、水を噴射可能に構成されているとよい。

これにより、火炎温度を抑制して NO_x の抑制とパイロット燃焼バーナ50（コーン部56b）のメタル温度の抑制ができる。

[0074] 本開示は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

例えば、上述した幾つかの実施形態に係るガスタービンの運転方法において、水素混焼率 C_{ro} の値が値 t_{h1} 又は値 t_{h3} 以下となる少なくとも一部の水素混焼率 C_{ro} の範囲において、メイン燃焼バーナ60での水素混焼率 C_{rm} に対するパイロット燃焼バーナ50での水素混焼率 C_{rp} の比 (C_{rp}/C_{rm}) は1未満となってもよい。

[0075] 上記各実施形態に記載の内容は、例えば以下のように把握される。

(1) 本開示の少なくとも一実施形態に係るガスタービン1の運転方法は、メインノズル64とパイロットノズル54とを有し、水素と、水素以外の燃料とを燃料として使用可能な燃焼器4を備えたガスタービン1の運転方法である。メインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率 (C_{rm}) に対するパイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率 (C_{rp}) の比 (C_{rp}/C_{rm}) は、低水素混焼率運転時の第1比 R_1 と比べて、低水素混焼率運転時よりも水素混焼率 (C_{ro}) が高い高水素混焼率運転時の第2比 R_2 の方が大きい。

[0076] 例えばパイロットノズル54の方がメインノズル64よりも逆火を起こし難い場合には、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を高くする場合に、メインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率 (C_{rm}) よりもパイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率 (C_{rp}) を高くすることで、逆火のリスクを低減できる。

上記(1)の方法によれば、パイロットノズル54の方がメインノズル64よりも火炎の逆流等を起こし難い場合には、逆火を抑制しつつ高い水素混焼率 (C_{ro}) で運転できる。

[0077] (2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の方法において、第2比 R_2 は、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率 (C_{ro}) が大きくなるほど大きくなるとよい。

[0078] 上記(2)の方法によれば、高水素混焼率運転時にはメインノズル64の水素混焼率 (C_{rm}) を抑制して逆火を抑制しつつパイロットノズル54の水素混焼率 (C_{rp}) を大きくすることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{r}

oを大きくすることができる。

[0079] (3) 幾つかの実施形態では、上記(2)の方法において、高水素混焼率運転時には燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率(C_{ro})が大きくなるほどパイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rp})が大きくなるとよい。

[0080] 上記(3)の方法によれば、高水素混焼率運転時にはパイロットノズル54の水素混焼率(C_{rp})を大きくすることで逆火を抑制しつつ燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0081] (4) 幾つかの実施形態では、上記(2)又は(3)の方法において、高水素混焼率運転時には、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率(C_{ro})の増加率に対するパイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rp})の増加率は、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率(C_{ro})の増加率に対するメインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rm})の増加率よりも大きいとよい。

[0082] 上記(4)の方法によれば、高水素混焼率運転時にはメインノズル64の水素混焼率(C_{rm})を抑制して逆火を抑制しつつパイロットノズル54の水素混焼率(C_{rp})を大きくすることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0083] (5) 幾つかの実施形態では、上記(4)の方法において、高水素混焼率運転時には、燃焼器4に供給される燃料Fの水素混焼率(C_{ro})に関わらずメインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rm})は一定の値であつてもよい。

[0084] 上記(5)の方法によれば、高水素混焼率運転時にはメインノズル64の水素混焼率(C_{rm})を一定にして逆火を抑制しつつパイロットノズル54の水素混焼率(C_{rp})を大きくすることで燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。

[0085] (6) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(5)の何れかの方法において、パイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rp})の上

限値は、100%であるとよい。

- [0086] 上記(6)の方法によれば、燃焼器4における逆火を抑制しつつパイロットノズル54の水素混焼率(C_{rp})を100%とすることができ、燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} を大きくすることができる。
- [0087] (7)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(6)の何れかの方法において、低水素混焼率運転時の少なくとも一部の期間において、第1比 R_1 は1であるとよい。
- [0088] 上記(7)の方法によれば、メインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rm})とパイロットノズル54から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rp})とが等しいので、メインノズル64とパイロットノズル54への燃料Fの供給系統200を共有できるので、燃料Fの供給系統200を簡略化できる。
- [0089] (8)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(7)の何れかの方法において、メインノズル64から噴射する燃料Fの水素混焼率(C_{rm})の上限值(C_{rmax})は、ガスタービン1の定格運転時よりも部分負荷運転時の方が大きいとよい。
- [0090] ガスタービン1の部分負荷運転時の方が定格運転時よりも水素燃料FHの逆火のリスクは小さくなるので、部分負荷運転時の燃焼器4全体での水素混焼率 C_{ro} の最大値 C_{romax} を定格運転時よりも大きくすることができる。上記(8)の方法によれば、部分負荷運転時のメインノズル64の水素混焼率(C_{rm})の上限值(C_{rmax})を定格運転時よりも大きくすることで、部分負荷運転時のトータルの水素混焼率(C_{ro})の最大値(C_{romax})を定格運転時よりも大きくすることができる。
- [0091] (9)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(8)の何れかの方法において、燃焼器4は、メインノズル64を有するメイン燃焼バーナ60と、パイロットノズル54を有するパイロット燃焼バーナ50とを備えるとよい。メイン燃焼バーナ60は、予混合燃焼方式のバーナであるとしてよく、パイロット燃焼バーナ50は、拡散燃焼方式のバーナであるとしてよい。

[0092] 上記（９）の方法によれば、拡散燃焼方式のバーナの方が予混合燃焼方式のバーナよりも逆火リスクが小さいので、パイロット燃焼バーナ５０の水素混焼率（ C_{rp} ）の上限値（ C_{rpmax} ）を高くすることができ、トータルの水素混焼率（ C_{ro} ）を大きくできる。

[0093] （１０）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（９）の何れかの方法において、パイロットノズル５４は、水の流路を有し、水を噴射可能に構成されているとよい。

[0094] 上記（１０）の方法によれば、火炎温度を抑制して NO_x の抑制とパイロット燃焼バーナ５０（コーン部５６ｂ）のメタル温度の抑制ができる。

符号の説明

- [0095] １ ガスタービン
４ ガスタービン燃焼器（燃焼器）
５０ パイロット燃焼バーナ
５４ パイロットノズル
６０ メイン燃焼バーナ
６４ メインノズル
２００ 供給系統

請求の範囲

- [請求項1] メインノズルとパイロットノズルとを有し、水素と、水素以外の燃料とを燃料として使用可能な燃焼器を備えたガスタービンの運転方法であって、
- 前記メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率に対する前記パイロットノズルから噴射する燃料の水素混焼率の比は、低水素混焼率運転時の第1比と比べて、前記低水素混焼率運転時よりも水素混焼率が高い高水素混焼率運転時の第2比の方が大きい
- ガスタービンの運転方法。
- [請求項2] 前記第2比は、前記燃焼器に供給される燃料の水素混焼率が大きくなるほど大きくなる、
- 請求項1に記載のガスタービンの運転方法。
- [請求項3] 前記高水素混焼率運転時には、前記燃焼器に供給される燃料の水素混焼率が大きくなるほど前記パイロットノズルから噴射する燃料の水素混焼率が大きくなる
- 請求項2に記載のガスタービンの運転方法。
- [請求項4] 前記高水素混焼率運転時には、前記燃焼器に供給される燃料の水素混焼率の増加率に対する前記パイロットノズルから噴射する燃料の水素混焼率の増加率は、前記燃焼器に供給される燃料の水素混焼率の増加率に対する前記メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率の増加率よりも大きい、
- 請求項2又は3に記載のガスタービンの運転方法。
- [請求項5] 前記高水素混焼率運転時には、前記燃焼器に供給される燃料の水素混焼率に関わらず前記メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率は一定の値である
- 請求項4に記載のガスタービンの運転方法。
- [請求項6] 前記パイロットノズルから噴射する燃料の水素混焼率の上限値は、100%である、

請求項 1 又は 2 に記載のガスタービンの運転方法。

[請求項7] 前記低水素混焼率運転時の少なくとも一部の期間において、前記第 1 比は 1 である、

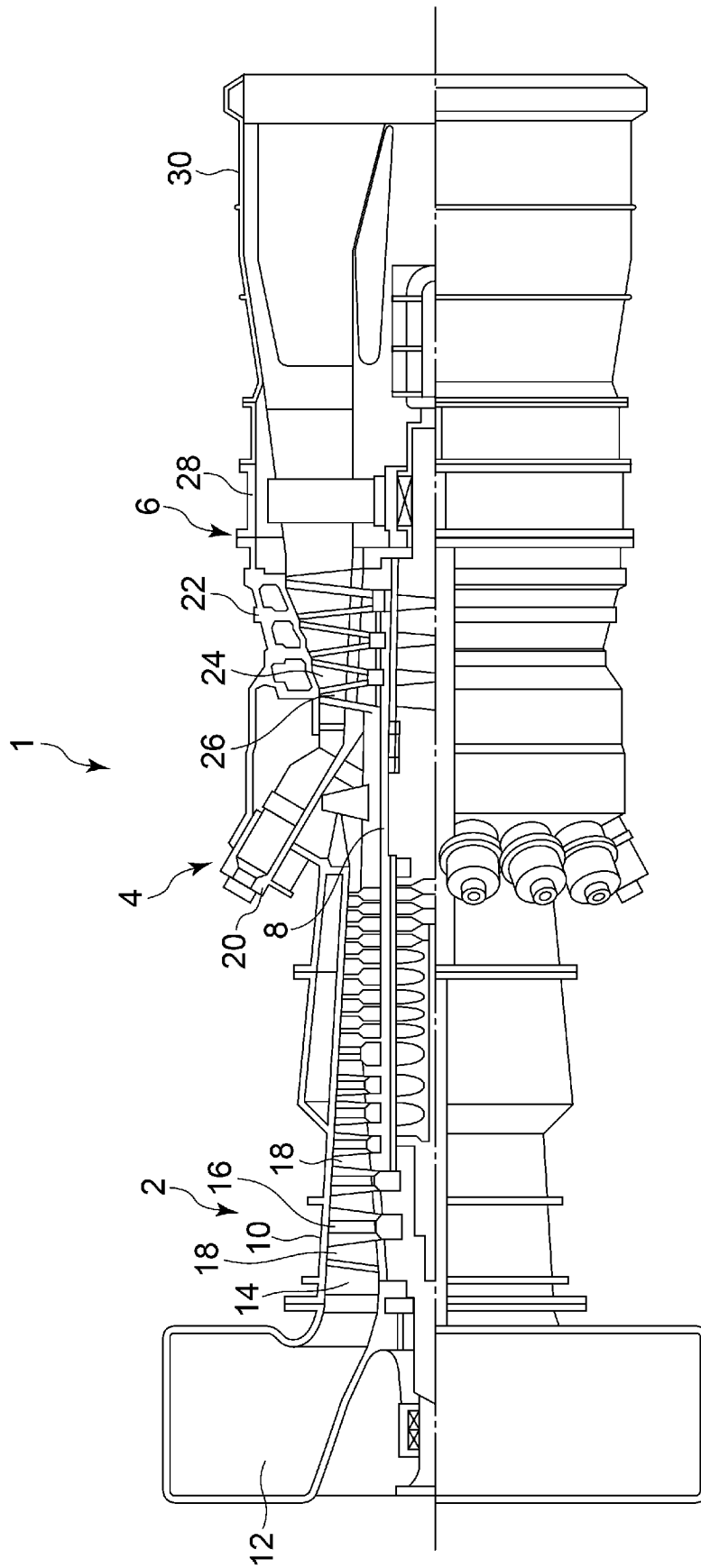
請求項 1 又は 2 に記載のガスタービンの運転方法。

[請求項8] 前記メインノズルから噴射する燃料の水素混焼率の上限値は、前記ガスタービンの定格運転時よりも部分負荷運転時の方が大きい、
請求項 1 又は 2 に記載のガスタービンの運転方法。

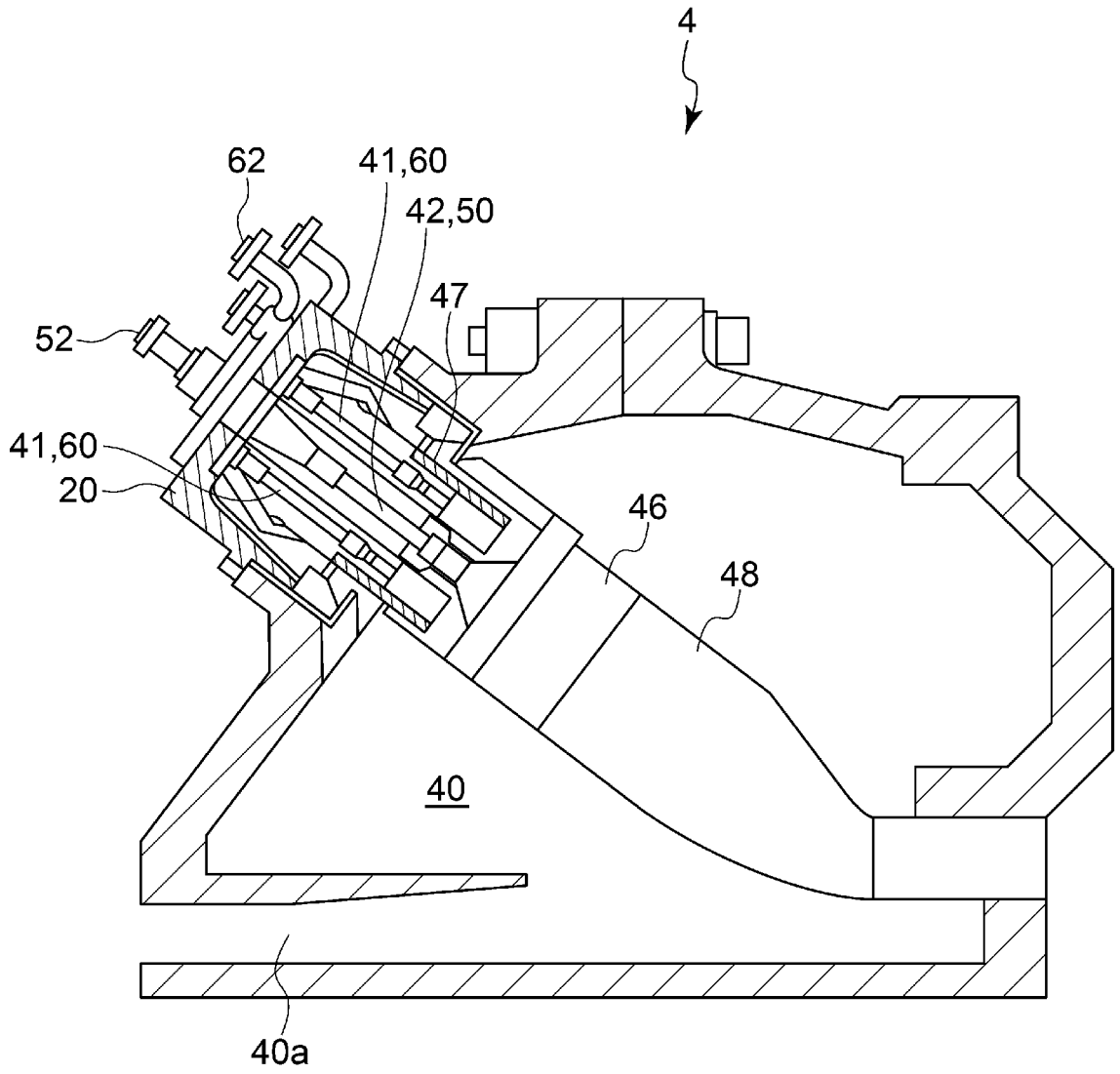
[請求項9] 前記燃焼器は、前記メインノズルを有するメイン燃焼バーナと、前記パイロットノズルを有するパイロット燃焼バーナとを備え、
前記メイン燃焼バーナは、予混合燃焼方式のバーナであり、
前記パイロット燃焼バーナは、拡散燃焼方式のバーナである、
請求項 1 又は 2 に記載のガスタービンの運転方法。

[請求項10] 前記パイロットノズルは、水の流路を有し、前記水を噴射可能に構成されている、
請求項 1 又は 2 に記載のガスタービンの運転方法。

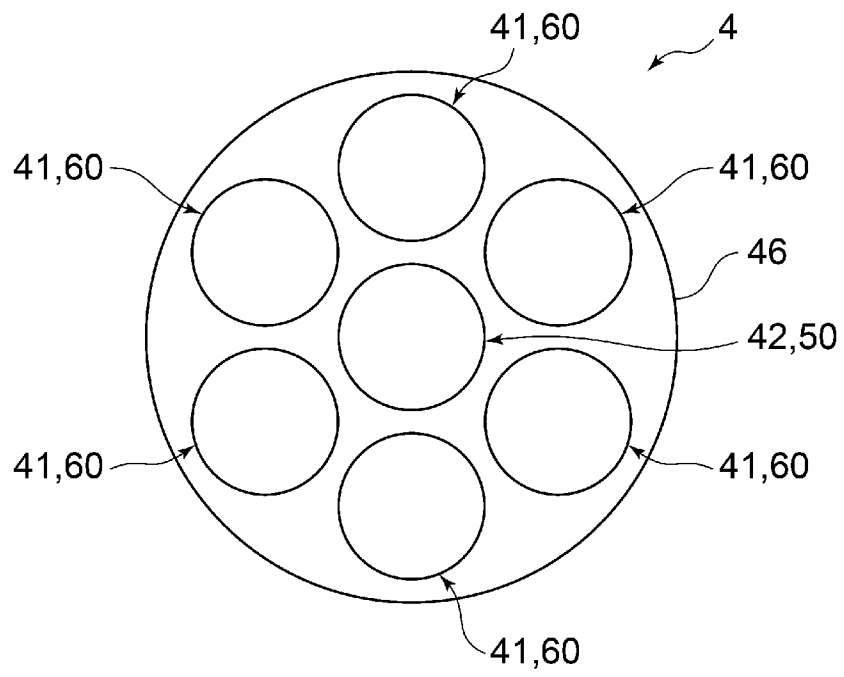
[図1]



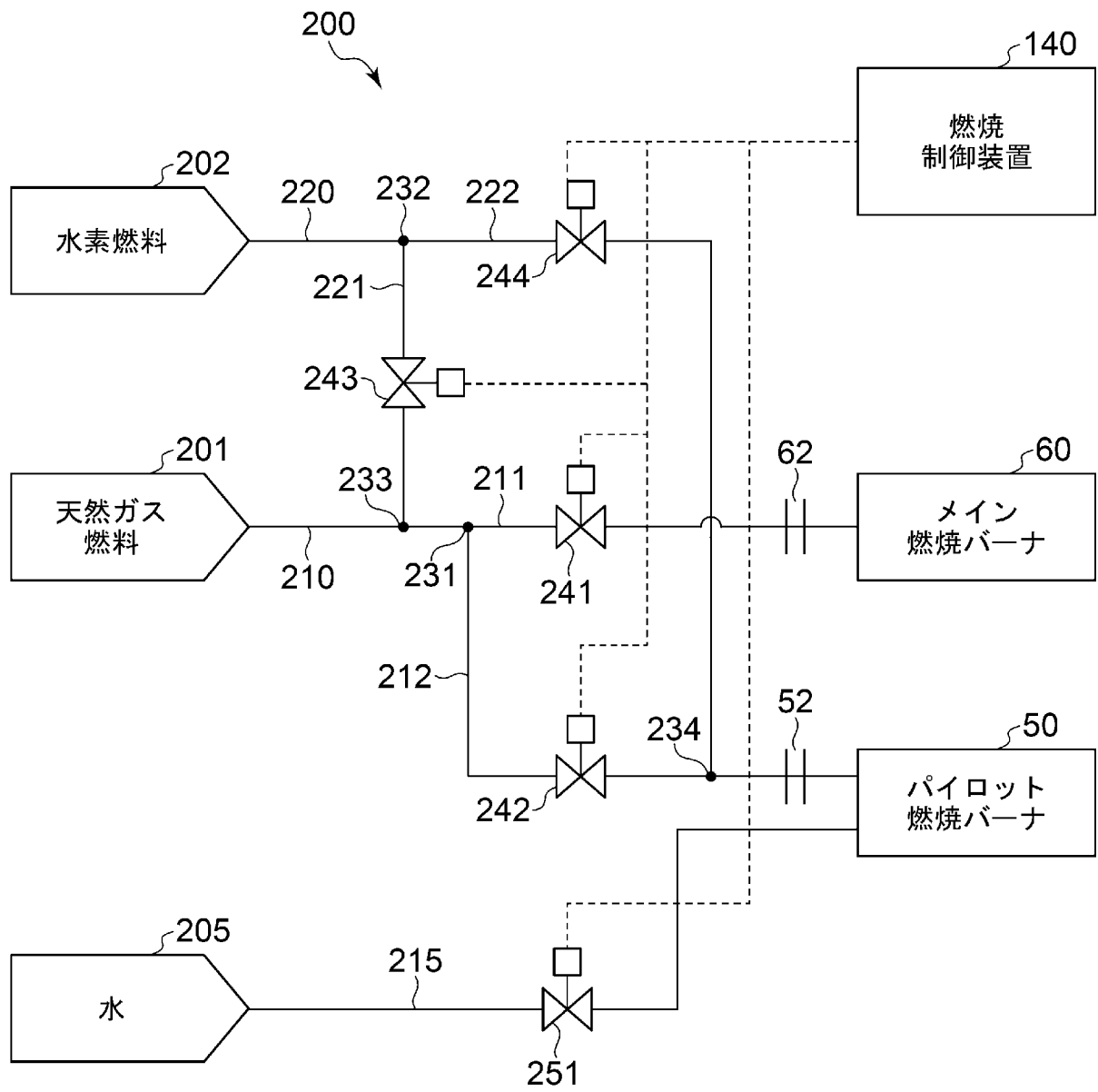
[図2]



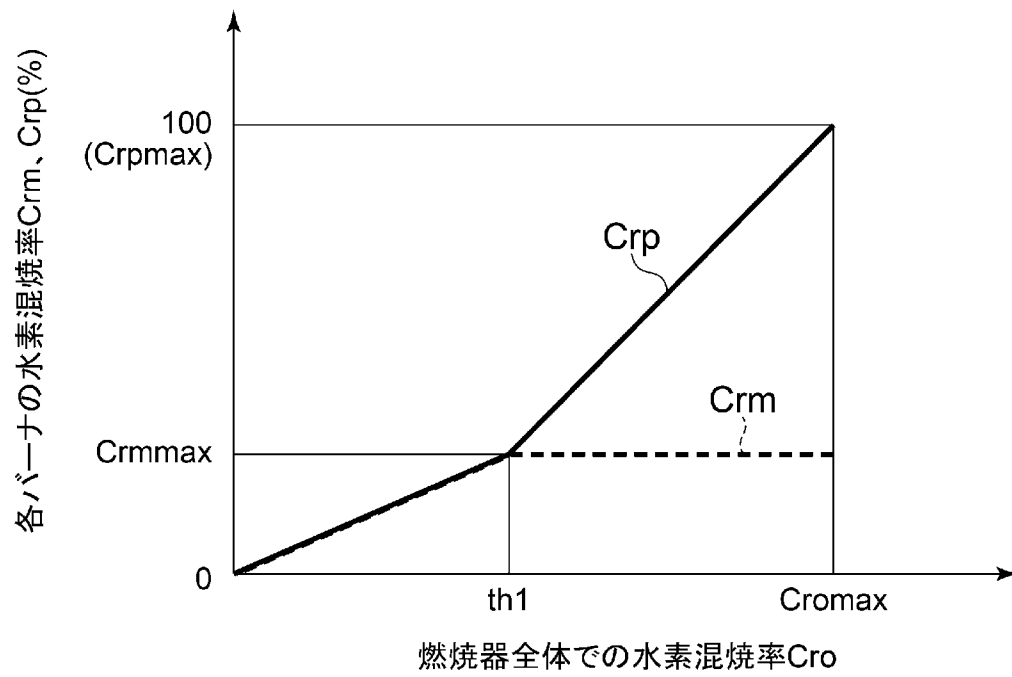
[図4]



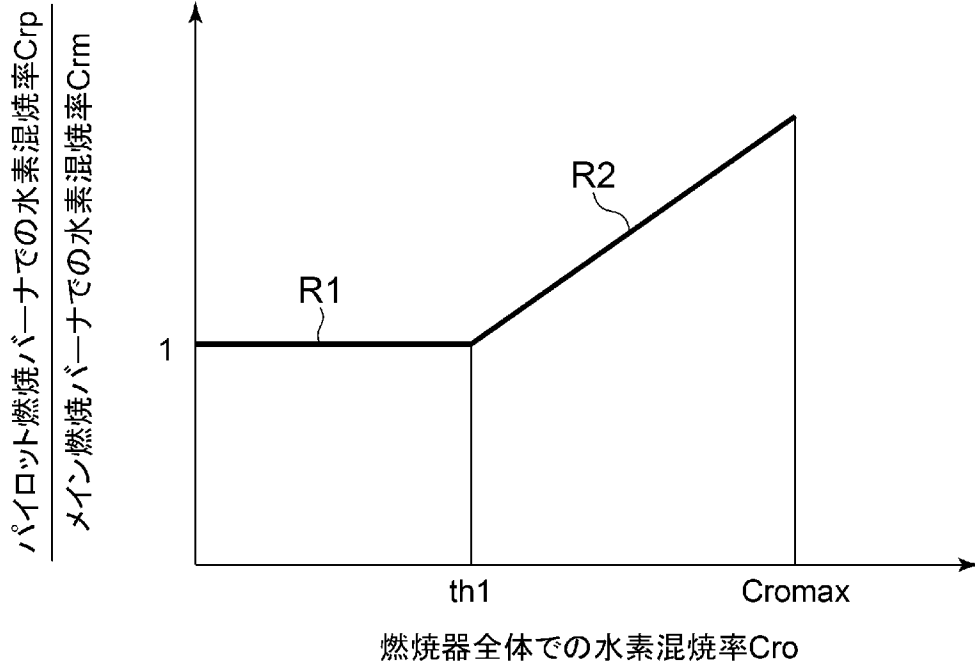
[図5]



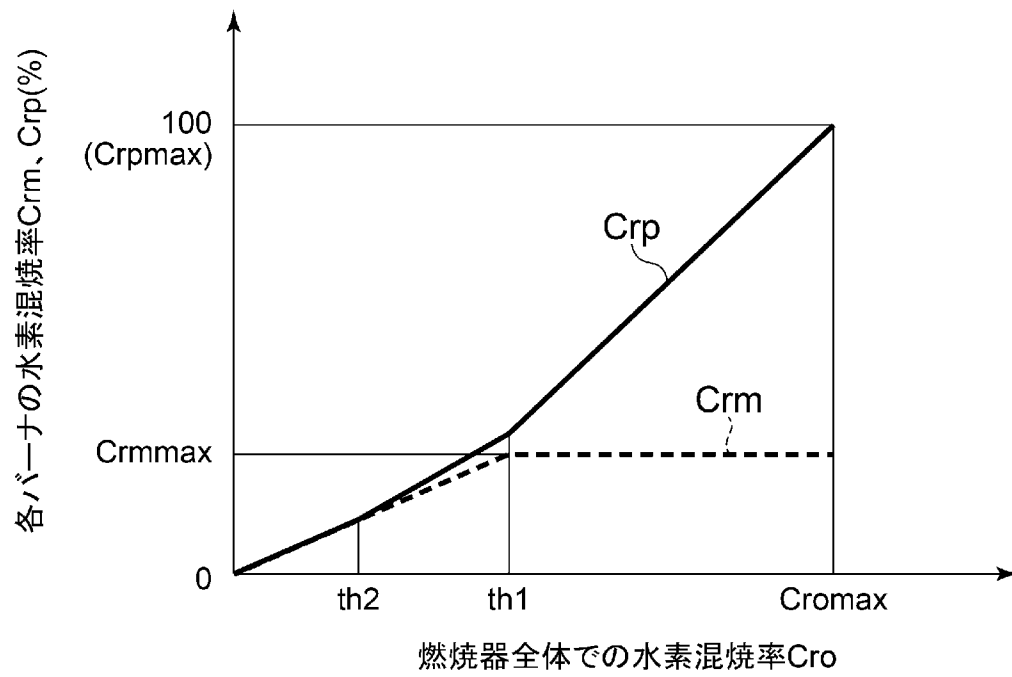
[図6A]



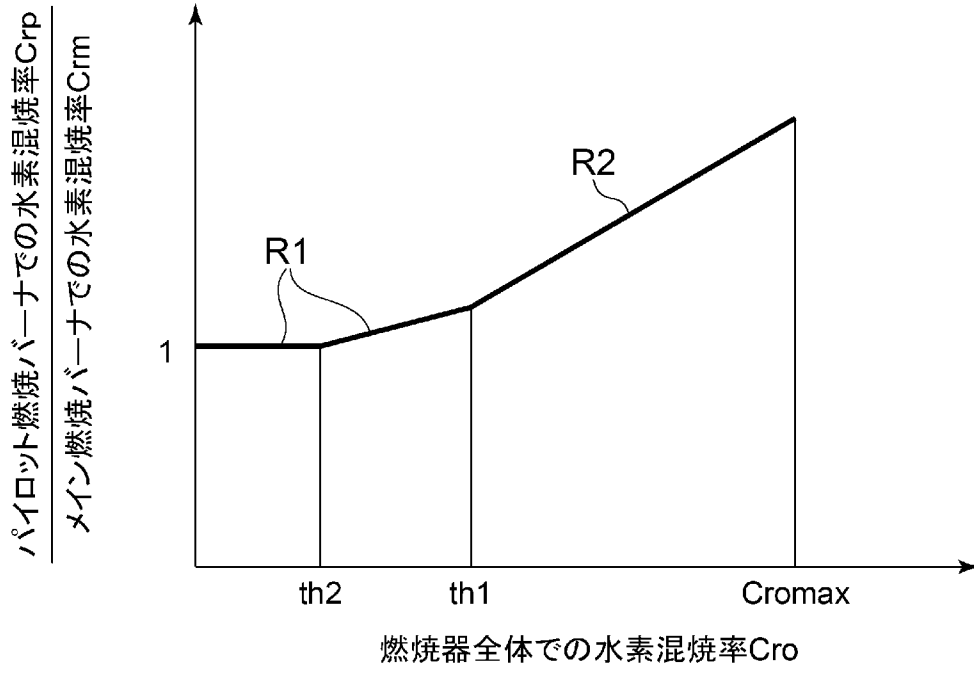
[図6B]



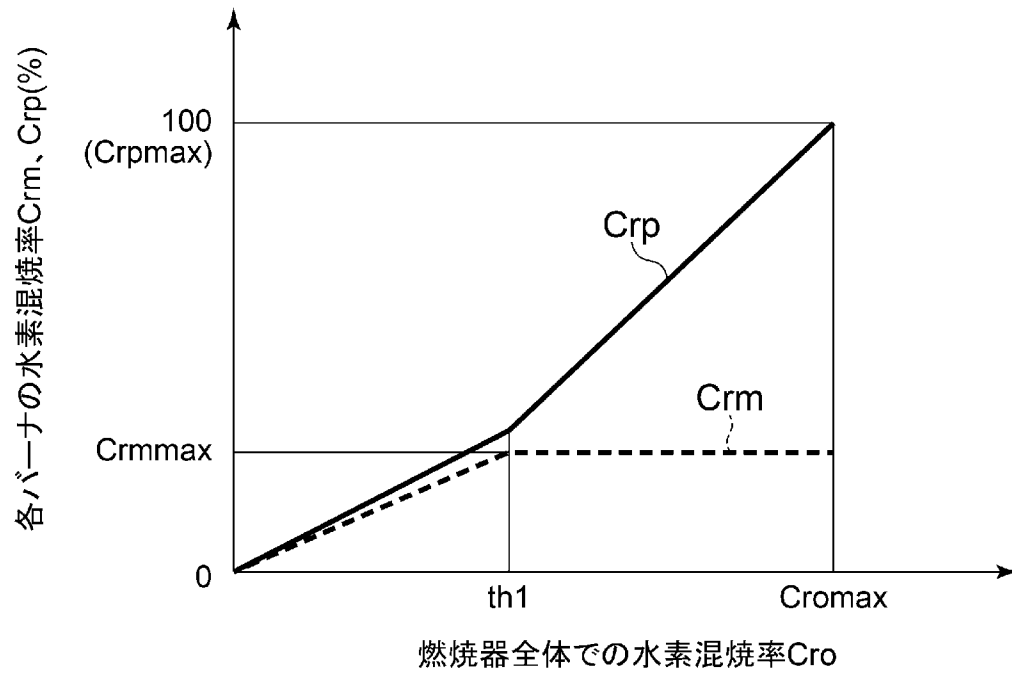
[図7A]



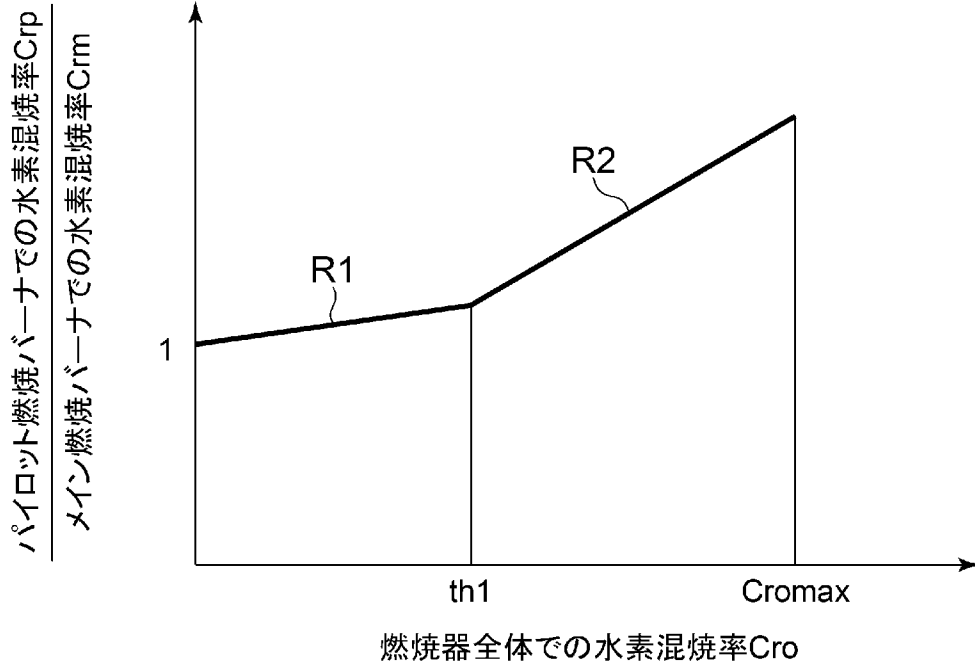
[図7B]



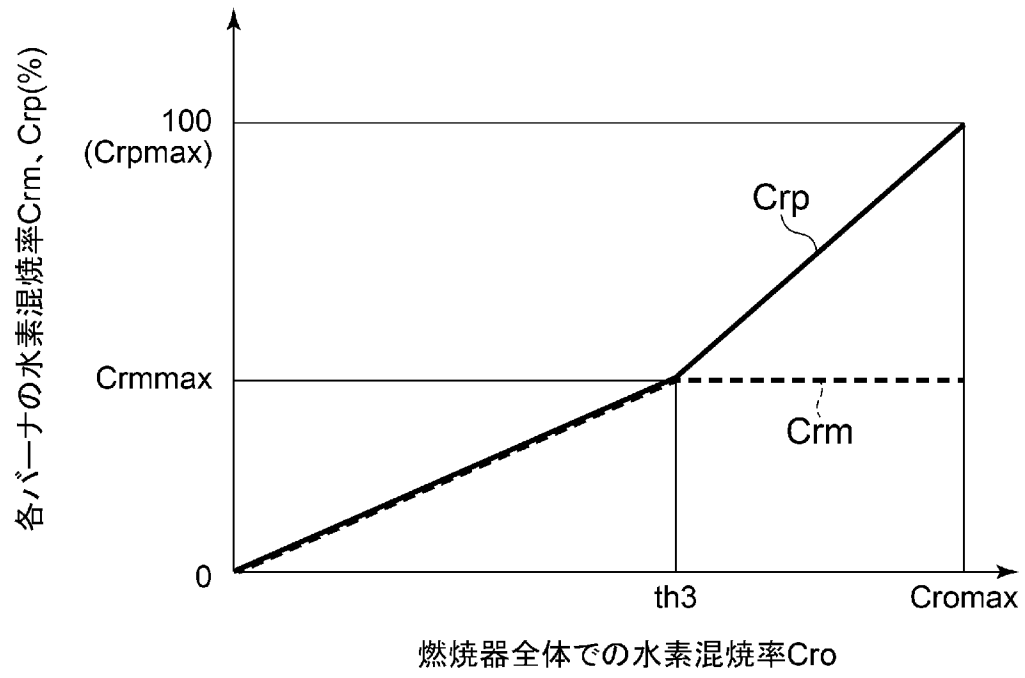
[図8A]



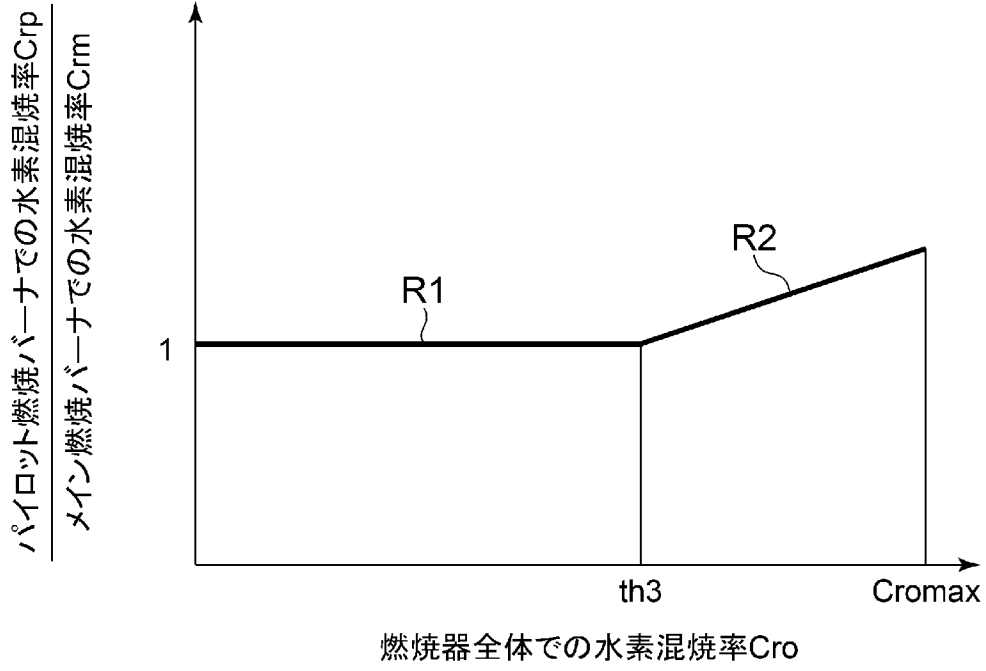
[図8B]



[図9A]



[図9B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/041777

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>F02C 9/40</i> (2006.01)i; <i>F02C 7/22</i> (2006.01)i FI: F02C9/40 A; F02C7/22 A		
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) F02C9/40; F02C7/22		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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.
A	WO 2022/149540 A1 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 14 July 2022 (2022-07-14) paragraphs [0011]-[0081], fig. 1-8	1-10
A	JP 2011-75174 A (HITACHI, LTD.) 14 April 2011 (2011-04-14) paragraphs [0012]-[0071], fig. 1-6	1-10
P, A	WO 2023/140183 A1 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 27 July 2023 (2023-07-27) paragraphs [0049]-[0073], fig. 1-6B	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 "T" 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 17 January 2024		Date of mailing of the international search report 06 February 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/041777

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/149540 A1	14 July 2022	DE 112021005603 T5 CN 116710643 A KR 10-2023-0112676 A	
JP 2011-75174 A	14 April 2011	US 2011/0094239 A1 paragraphs [0025]-[0089], fig. 1-6 EP 2309189 A2 CN 102032568 A	
WO 2023/140183 A1	27 July 2023	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F02C 9/40(2006.01)i; F02C 7/22(2006.01)i FI: F02C9/40 A; F02C7/22 A		
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）） F02C9/40; F02C7/22 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 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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
A	WO 2022/149540 A1（三菱重工業株式会社）14.07.2022（2022 - 07 - 14） 段落0011 - 0081, 図1 - 8	1-10
A	JP 2011-75174 A（株式会社日立製作所）14.04.2011（2011 - 04 - 14） 段落0012 - 0071, 図1 - 6	1-10
P, A	WO 2023/140183 A1（三菱重工業株式会社）27.07.2023（2023 - 07 - 27） 段落0049 - 0073, 図1 - 6 B	1-10
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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抵触するものではなく、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 17.01.2024	国際調査報告の発送日 06.02.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 松浦 久夫 30 9613 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/041777

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/149540	A1	14.07.2022	DE	112021005603	T5	
				CN	116710643	A	
				KR	10-2023-0112676	A	

JP	2011-75174	A	14.04.2011	US	2011/0094239	A1	
				段落 0 0 2 5 - 0 0 8 9 ,			
				図 1 - 6			
				EP	2309189	A2	
				CN	102032568	A	

WO	2023/140183	A1	27.07.2023	(ファミリーなし)			
