

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6099408号
(P6099408)

(45) 発行日 平成29年3月22日 (2017. 3. 22)

(24) 登録日 平成29年3月3日 (2017. 3. 3)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04 (2016. 01)	HO 1 M 8/04 J
HO 1 M 8/00 (2016. 01)	HO 1 M 8/04 N
HO 1 M 8/12 (2016. 01)	HO 1 M 8/00 Z
	HO 1 M 8/12

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-7758 (P2013-7758)	(73) 特許権者	514030104
(22) 出願日	平成25年1月18日 (2013. 1. 18)		三菱日立パワーシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2014-137977 (P2014-137977A)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
(43) 公開日	平成26年7月28日 (2014. 7. 28)	(74) 代理人	100134544
審査請求日	平成27年1月30日 (2015. 1. 30)		弁理士 森 隆一郎
(出願人による申告) 平成24年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発の研究開発共同研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(72) 発明者	森 龍太郎
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	大澤 弘行
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発電システム、及び発電システムの運転方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料ガスで発電を行う燃料電池と、
 空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、
 前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、
 前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、
 前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、
 前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、を備える発電システムの運転方法であって、

前記切替器を用いて前記排燃料ガスを前記分岐排燃料ラインのみに送る工程と、
 前記加熱手段を用いて前記排燃料ガスが流れていない前記排燃料ラインを加熱する工程と、を有することを特徴とする発電システムの運転方法。

10

【請求項2】

前記発電システムは、
 前記タービンから排出される排気ガスを放出するガスタービン排ガスダクトを備え、
 前記加熱手段は、前記ガスタービン排ガスダクトを通る排ガスを熱源としていることを特徴とする請求項1に記載の発電システムの運転方法。

【請求項3】

前記排燃料ラインは、前記ガスタービン排ガスダクトの内部を貫通していることを特徴とする請求項2に記載の発電システムの運転方法。

20

【請求項 4】

燃料ガスで発電を行う燃料電池と、
空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、
前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、
前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、
前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、
前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、
前記燃料電池から排出された酸化剤ガスを前記燃焼器に導入する排酸化剤ガスラインと、
を備え、

前記加熱手段は、前記排酸化剤ガスラインを通る排酸化剤ガスを熱源としていることを特徴とする発電システム。

10

【請求項 5】

燃料ガスで発電を行う燃料電池と、
空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、
前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、
前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、
前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、
前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、
前記空気圧縮機から排出された酸化剤ガスを前記燃料電池に導入する酸化剤ガスラインと、
を備え、

前記加熱手段は、前記酸化剤ガスラインを通る酸化剤ガスを熱源としていることを特徴とする発電システム。

20

【請求項 6】

燃料ガスで発電を行う燃料電池と、
空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、
前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、
前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、
前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、
前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、を備え、
前記加熱手段は、前記分岐排燃料ラインを通る排燃料ガスを熱源としていることを特徴とする発電システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発電システムに係り、少なくとも燃料電池とガスタービンを備える発電システム、及び発電システムの運転方法に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、低公害で発電効率が高いため、近年、各種分野での利用が期待されている。燃料電池を用いた高効率発電システムとしては、燃料電池が高温で作動することから燃料電池とガスタービンとを連携し、さらにガスタービンからの高温の排ガスを利用する蒸気タービンと連携したコンバインド発電システムが知られている。

40

【0003】

上記コンバインド発電システムにおいては、燃料電池はガスタービンの燃焼器の上流に設置され、燃料電池から排出される未燃分の燃料（残燃料）を含む排燃料ガスをガスタービンの燃焼器に導入している。即ち、燃料電池とガスタービンの燃焼器とが配管にて接続されている。これにより全ての燃料を発電用に利用することができる。

一方、空気は空気圧縮機で昇圧して燃料電池に供給され、酸化剤として使用された後、高温排熱とともにガスタービンに送られる。ガスタービンでは高温高压空気の顕熱・圧力も熱源の一部となって電力に変換され、システム全体では高い発電効率を得られる。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2010-146934号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、コンバインド発電システムは、起動時など、定常運転以外の段階では、燃料電池から排出される排燃料ガスを前記配管に切替バルブを介して接続されたベントラインより排出し、定常運転が可能な条件になった段階で、排燃料ガスを燃焼器に導入するように切り替えている。

10

しかしながら、この切り替えの段階で切替バルブ下流の配管が昇温されていない場合には、排燃料ガス中に含まれる水分が配管内にて凝縮して生成される凝縮ドレンが燃焼器に流入してしまう。そして、凝縮ドレンの流入により、燃焼器あるいはタービン羽根が損傷を受けるという問題がある。

【0006】

この発明は、このような事情を考慮してなされたもので、その目的は、発電システムの燃料電池とガスタービンを連携させる定常運転の切り替え時における燃焼器あるいはタービン羽根の損傷を防止することができる発電システム、及び発電システムの運転方法を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するために、この発明は以下の手段を提供している。

即ち、本発明の第一の態様によれば、発電システムの運転方法は、燃料ガスで発電を行う燃料電池と、空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、を備える発電システムの運転方法であって、前記切替器を用いて前記排燃料ガスを前記分岐排燃料ラインのみに送る工程と、前記加熱手段を用いて前記排燃料ガスが流れていない前記排燃料ラインを加熱する工程と、を有することを特徴とする。

30

【0008】

上記構成によれば、切替器下流側の排燃料ラインに加熱手段が設けられていることによって、排燃料ラインを予熱することができる。そして、排燃料ラインが加熱手段によって予熱されていることから、排燃料ガスに含まれる水分が排燃料ライン内にて凝縮しドレン化することを防止することができる。これにより、凝縮ドレンがガスタービンの燃焼器に流入し、燃焼器あるいはタービンを構成するタービン羽根が損傷することを防止することができる。

【0009】

上記発電システムにおいて、前記タービンから排出される排気ガスを放出するガスタービン排ガスダクトを備え、前記加熱手段は、前記ガスタービン排ガスダクトを通る排ガスを熱源としていることが好ましい。

40

【0010】

上記構成によれば、加熱手段を作動させるためのエネルギーが不要となるため、プラント効率の低下を防ぐことができる。

【0011】

上記発電システムにおいて、前記排燃料ラインは、前記ガスタービン排ガスダクトの内部を貫通していることが好ましい。

【0012】

上記構成によれば、より簡素な構成で加熱手段を構成することができる。

50

【0013】

本発明の第二の態様によれば、発電システムは、燃料ガスで発電を行う燃料電池と、空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、前記燃料電池から排出された酸化剤ガスを前記燃焼器に導入する排酸化剤ガスラインと、を備え、前記加熱手段は、前記排酸化剤ガスラインを通る排酸化剤ガスを熱源としていることを特徴とする。

【0014】

10

本発明の第三の態様によれば、発電システムは、燃料ガスで発電を行う燃料電池と、空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、前記空気圧縮機から排出された酸化剤ガスを前記燃料電池に導入する酸化剤ガスラインと、を備え、前記加熱手段は、前記酸化剤ガスラインを通る酸化剤ガスを熱源としていることを特徴とする。

【0015】

20

本発明の第四の態様によれば、発電システムは、燃料ガスで発電を行う燃料電池と、空気圧縮機、燃焼器、及びタービンを含むガスタービンと、前記燃料電池から排出された排燃料ガスを前記燃焼器に導入する排燃料ラインと、前記排燃料ラインの途中から分岐している分岐排燃料ラインと、前記分岐排燃料ラインと前記燃焼器のうち一方に排燃料ガスを送る切替器と、前記切替器の下流側の前記排燃料ラインを加熱する加熱手段と、を備え、前記加熱手段は、前記分岐排燃料ラインを通る排燃料ガスを熱源としていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

30

本発明によれば、燃料電池とガスタービンの燃焼器を連結する排燃料ラインに設置されている切替器の下流側に加熱手段を設けることによって、排燃料ラインを燃焼器の手前で予熱することができる。そして、排燃料ラインが加熱手段によって予熱されていることから、排燃料ガスに含まれる水分が排燃料ライン内にて凝縮しドレンが生成することを防止することができる。これにより、凝縮ドレンがガスタービンの燃焼器に流入し、燃焼器あるいはタービンを構成するタービン羽根が損傷することを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第一実施形態に係るコンバインド発電システムの系統図である。

【図2】本発明の第一実施形態に係る燃料電池モジュールの概略構成を示す模式図である。

。

【図3】本発明の第一実施形態に係るセルスタックの要部断面図である。

40

【図4】本発明の第一実施形態に係るカートリッジの断面図である。

【図5】本発明の第一実施形態に係るカートリッジの斜視図である。

【図6】本発明の第一実施形態に係る加熱手段の詳細斜視図である。

【図7】本発明の第二実施形態に係るコンバインド発電システムの系統図である。

【図8】本発明の第三実施形態に係るコンバインド発電システムの系統図である。

【図9】本発明の第四実施形態に係るコンバインド発電システムの系統図である。

【図10】本発明の第五実施形態に係るコンバインド発電システムの系統図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

(第一実施形態)

50

以下、本発明の第一実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

図1に示すように、本実施形態のコンバインド発電システム1は燃料電池モジュール2と、ガスタービン3とを組み合わせた発電システムである。

ガスタービン3は、外気を吸入して圧縮する空気圧縮機4と、空気圧縮機4の下流側に設けられた燃焼器5と、燃焼器5の下流側に設けられたタービン6とを主な構成要素として有している。さらに、ガスタービン3には、発電機8が接続されている。また、本実施形態のコンバインド発電システム1は、ガスタービン3の排ガスを利用する為に、図示しない排熱回収ボイラおよび蒸気タービンが設置されても良い。

【0020】

燃焼器5は、空気に燃料ガスを噴射して、高温燃焼ガスを生成する。タービン6は、燃焼器5により生成された高温燃焼ガスの供給を受けて回転駆動力を発生させ、空気圧縮機4を回転駆動させるとともに、発電機8を駆動する。

タービン6には、タービン6を回転駆動した後の高温燃焼ガス、即ち、排ガスが導入されるガスタービン排ガスダクト9が設けられている。ガスタービン排ガスダクト9は、排ガスを外部に導く配管である。ガスタービン排ガスダクト9は、排ガスの全量または一部が導出されるダクトである。

【0021】

燃料電池モジュール2は圧力容器10と圧力容器10の内部に収納された複数のカートリッジ201（カートリッジ群200）とを有している。カートリッジ201は、燃料ガスF1及び酸化剤ガスO1の供給を受けて発電を行うものである。

カートリッジ201には、ガスタービン3から酸化剤ガスO1を供給する酸化剤ガス配管330と、燃料供給部20から燃料ガスF1を供給する燃料配管310が接続されている。

【0022】

燃料ガスF1としては、例えば、水素、一酸化炭素、メタン等の炭化水素系ガス、石炭等の炭素質原料のガス化により得られたガス、又は、これらの2以上の成分を含むガス等が利用される。また、酸化剤ガスO1としては、例えば、酸素を15～30vol%含むガス等が利用される。代表的な酸化剤ガスO1としては、空気であるが、排燃焼ガスと空気との混合ガスや、酸素と空気との混合ガスを利用してもよい。

【0023】

さらに、コンバインド発電システム1には、カートリッジ201における発電に用いられた後の排酸化剤ガスO2を、ガスタービン3の燃焼器5に供給する排酸化剤ガス配管340（排酸化剤ガスライン）と、カートリッジ201から排出される燃料ガス（排燃料ガスF2）を燃焼器5に供給する排燃料配管320（排燃料ライン）とが設けられている。排燃料配管320には、排燃料配管320を流れる排燃料ガスF2を加圧するプロア14が設けられている。ここで、排燃料ガスF2とは、発電に用いられた燃料ガスと、発電に用いられなかった燃料ガスとを含むものである。

【0024】

酸化剤ガス配管330は、ガスタービン3の空気圧縮機4において圧縮された酸化剤ガスをカートリッジ201に導く配管である。

排燃料配管320には、排燃料ガスF2の一部を燃料配管310に戻して、燃料電池モジュール2に再循環させる燃料再循環配管325が接続されている。即ち、燃料再循環配管325の一方の端部は排燃料配管320に接続され、他方の端部は燃料配管310に接続されている。燃料再循環配管325には、燃料再循環配管325を流れる排燃料ガスF2を加圧する燃料再循環プロア15が設けられている。

【0025】

排燃料配管320には、カートリッジ201から燃焼器5に向かって順に、燃料再循環配管325との接続部、切替バルブ16（切替器）が設けられている。切替バルブ16からは、ベント配管17（分岐排燃料ライン）が分岐している。ベント配管17は、排燃料配管320を流れる排燃料ガスF2の少なくとも一部を外部に放出する配管である。切替

10

20

30

40

50

バルブ 16 は、排燃料配管 320 を流れる排燃料ガス F2 を燃焼器 5 とベント配管 17 のうち一方に送る弁であって、ベント配管 17 から外部に放出される排燃料ガス F2 の流量又は圧力を制御する調整弁である。

【0026】

また、酸化剤ガス配管 330 からは、酸化剤ガス O1 を排酸化剤ガス配管 340 へ分岐する空気分岐配管 18 が設けられている。さらに、燃料配管 310 からは、燃料ガス F1 を燃焼器 5 に直接導入する燃料分岐配管 19 が設けられている。

【0027】

そして、本実施形態のコンバインド発電システム 1 においては、切替バルブ 16 の下流側の排燃料配管 320 に加熱器 23 が設けられている。加熱器 23 の熱源は、ガスタービン排ガスダクト 9 に導入される高温の排ガスである。即ち、排燃料配管 320 が、ガスタービン排ガスダクト 9 の内部を通過するように構成されている。

10

具体的には、図 6 に示すように、ガスタービン排ガスダクト 9 に排燃料配管 320 が通過可能であり、かつ、ガスタービン排ガスダクト 9 の気密性を確保するトンネル状の管状孔 9a が形成されており、排燃料配管 320 は、その外周面が管状孔 9a の内周面に接するように配置されている。

【0028】

次に、燃料電池モジュール 2 の詳細構造について説明する。

図 2 に示すように、燃料電池モジュール 2 は、容器中心軸 Av を中心として容器中心軸方向 Dv に延びる円筒形状の圧力容器 10 と、この圧力容器 10 内に配置されている複数のカートリッジ 201 を有している。

20

【0029】

圧力容器 10 は、例えば、内部の圧力が 0.1 MPa ～約 5 MPa、内部の温度が大気温度～約 550℃ で運用される。このため、この圧力容器 10 は、耐圧性を考慮して、円筒形状の胴部 11 と、胴部 11 の中心軸方向における両端部に形成されている半球状の鏡部 12 とを有している。この圧力容器 10 は、全体として円筒形状を成し、その容器中心軸 Av が上下方向に延びるよう設置されている。また、この圧力容器 10 は、耐圧性と共に、酸化剤ガス O1 中に含まれる酸素などの酸化剤に対する耐食性も要求されるため、例えば、SUS304 などのステンレス系材で形成されている。

【0030】

30

カートリッジ 201 は、複数のセルスタックの束で構成されている。図 3 に示すように、セル集合体であるセルスタック 101 は、円筒形状（又は管形状）の基体管 103 と、基体管 103 の外周面に形成されている複数の燃料電池セル 105 と、隣り合う燃料電池セル 105 の間に形成されているインターコネクタ 107 とを有する。燃料電池セル 105 は、燃料極 112 と固体電解質 111 と空気極 113 とが積層して形成されている。セルスタック 101 は、さらに、基体管 103 の外周面に形成されている複数の燃料電池セル 105 のうちで、基体管 103 の軸方向において最も端に形成されている燃料電池セル 105 の空気極 113 に、インターコネクタ 107 を介して電氣的に接続されているリード膜 115 を有する。なお、本実施形態においては、円筒形状のセルスタックにて説明しているが、円筒に限らず、平板形、扁平円筒形等のセルスタックを利用しても良い。

40

【0031】

本実施形態では、この円筒形状（又は管形状）のセルスタック 101 の内周側に燃料ガス F1 が通り、外周側に酸化剤ガス O1 が通る。

【0032】

基体管 103 は、例えば、CaO 安定化 ZrO₂ (CSZ)、Y₂O₃ 安定化 ZrO₂ (YSZ)、MgAl₂O₄ 等のいずれかで形成されている多孔質体である。この基体管 103 は、燃料電池セル 105 とインターコネクタ 107 とリード膜 115 とを支持する役目を担っている。さらに、この基体管 103 は、内周側に供給された燃料ガス F1 を基体管 103 の細孔を介して基体管 103 の外周面に形成される燃料電池セル 105 に拡散させる役目も担っている。

50

【0033】

燃料極112は、例えば、Ni/YSZ等、Niとジルコニア系電解質材料との複合材の酸化物で形成されている。この場合、燃料極112は、燃料極112の成分であるNiが燃料ガスF1に対して触媒として作用する。この触媒としての作用は、基体管103を介して供給された燃料ガスF1中に、例えば、メタン(CH_4)と水蒸気とが含まれている場合、これら相互を反応させ、水素(H_2)と一酸化炭素(CO)に改質する作用である。

【0034】

空気極113は、例えば、LaSrMnO₃系酸化物、又はLaCoO₃系酸化物で形成されている。この空気極113は、固体電解質111との界面付近において、供給される酸化剤ガスO1中の酸素を解離させて酸素イオン(O^{2-})を生成する。

10

【0035】

固体電解質111は、例えば、主としてYSZで形成されている。このYSZは、ガスを通しにくい気密性と、高温下での高い酸素イオン導電性とを有している。この固体電解質111は、空気極113で生成された酸素イオン(O^{2-})を燃料極112に移動させる。

【0036】

前述の燃料極112では、固体電解質111との界面付近において、改質により得られた水素(H_2)及び一酸化炭素(CO)と、固体電解質111から供給された酸素イオン(O^{2-})とが反応し、水(H_2O)及び二酸化炭素(CO_2)が生成される。この燃料電池セル105では、この反応過程で酸素イオンから電子が放出されて、発電が行われる。

20

【0037】

インターコネクタ107は、例えば、SrTiO₃系などのM_{1-x}L_xTiO₃(Mはアルカリ土類金属元素、Lはランタノイド元素)で表される導電性ペロブスカイト型酸化物で形成されている。このインターコネクタ107は、燃料ガスF1と酸化剤ガスO1とが混合しないように緻密な膜で、酸化雰囲気と還元雰囲気との両雰囲気下で安定した電気導電性を有する。このインターコネクタ107は、隣り合う燃料電池セル105において、一方の燃料電池セル105の空気極113と他方の燃料電池セル105の燃料極112とを電氣的に接続する。つまり、このインターコネクタ107は、隣り合う燃料電池セル105同士を電氣的に直列接続する。

30

【0038】

リード膜115は、電子伝導性を有すること、及びセルスタック101を構成する他の材料との熱膨張係数が近いことが必要であることから、例えば、Ni/YSZ等のNiとジルコニア系電解質材料との複合材で形成されている。このリード膜115は、インターコネクタ107により電氣的に直列接続されている複数の燃料電池セル105で発電された直流電力をセルスタック101の端部付近まで導出する役目を担っている。

【0039】

カートリッジ201は、図4及び図5に示すように、複数のセルスタック101と、複数のセルスタック101の束の一方の端部を覆う第一カートリッジヘッダ220aと、複数のセルスタック101の束の他方の端部を覆う第二カートリッジヘッダ220bと、を有している。複数のセルスタック101は、互いに平行で且つその長手方向における互いの位置が揃って、全体として円柱形状を成している。また、第一カートリッジヘッダ220a及び第二カートリッジヘッダ220bは、円柱形状を成している複数のセルスタック101の束の外径よりわずかに大きな外径の円筒形状を成している。このため、カートリッジ201は、全体として、セルスタック101の長手方向に長い円柱形状を成している。

40

【0040】

第一カートリッジヘッダ220a及び第二カートリッジヘッダ220bは、いずれも、複数のセルスタック101の束の端部が開口228から内部に入り込む円筒形状のケーシ

50

ング２２９ａ、２２９ｂと、ケーシング２２９ａ、２２９ｂの開口２２８を塞ぐ断熱体２２７ａ、２２７ｂと、ケーシング２２９ａ、２２９ｂの内部空間をセルスタック１０１の長手方向で２つの空間に仕切る管板２２５ａ、２２５ｂと、を有している。管板２２５ａ、２２５ｂ等は、インコネル（ニッケル基合金に対するスペシャルメタルズ社の登録商標）等の高温耐久性のある金属材料で形成されている。管板２２５ａ、２２５ｂ及び断熱体２２７ａ、２２７ｂには、複数のセルスタック１０１の端部のそれぞれが挿通可能な貫通孔が形成されている。管板２２５ａ、２２５ｂは、その貫通孔に挿通されたセルスタック１０１の端部をシール部材又は接着剤２３７を介して支持する。このため、この管板２２５ａ、２２５ｂには貫通孔が形成されているものの、この管板２２５ａ、２２５ｂを基準にしてケーシング２２９ａ、２２９ｂ内の一方の空間に対する他方の空間の気密性が確保されている。断熱体２２７ａ、２２７ｂの貫通孔の内径は、ここに挿通されるセルスタック１０１の外径よりも大きく形成されている。つまり、断熱体２２７ａ、２２７ｂの貫通孔の内周面と、この貫通孔に挿通されたセルスタック１０１の外周面との間には隙間２３５ａ、２３５ｂが存在する。

10

【００４１】

第一カートリッジヘッド２２０ａのケーシング２２９ａと管板２２５ａとで形成されている空間は、燃料ガスＦ１が供給される燃料ガス供給室２１７を形成している。このケーシング２２９ａには、燃料配管３１０からの燃料ガスＦ１を燃料ガス供給室２１７に導くための燃料ガス供給孔２３１ａが形成されている。この燃料ガス供給室２１７内には、複数のセルスタック１０１における基体管１０３の端部が位置し、ここで開放している。燃料配管３１０から燃料ガス供給室２１７に導かれた燃料ガスＦ１は、複数のセルスタック１０１の基体管１０３の内部に流れ込む。この際、燃料ガスＦ１は、燃料ガス供給室２１７により、複数のセルスタック１０１の各基体管１０３に対してほぼ均等流量に配分される。このため、複数のセルスタック１０１における各発電量の均一化を図ることができる。

20

【００４２】

第二カートリッジヘッド２２０ｂのケーシング２２９ｂと管板２２５ｂとで形成されている空間は、セルスタック１０１の基体管１０３内を通過した燃料ガスＦ１が流れ込む燃料ガス排出室２１９を形成している。このケーシング２２９ｂには、燃料ガス排出室２１９に流れ込んだ排燃料ガスＦ２を排燃料配管３２０に導くための燃料ガス排出孔２３１ｂが形成されている。この燃料ガス排出室２１９内には、複数のセルスタック１０１における基体管１０３の端部が位置し、ここで開放している。複数のセルスタック１０１の各基体管１０３内を通過した燃料ガスＦ１は、前述したように、燃料ガス排出室２１９に流入した後、排燃料配管３２０を通過して、圧力容器１０外へ排出される。

30

【００４３】

第二カートリッジヘッド２２０ｂのケーシング２２９ｂと断熱体２２７ｂと管板２２５ｂとで形成されている空間は、酸化剤ガス供給室２１６を形成している。このケーシング２２９ｂには、酸化剤ガス配管３３０からの酸化剤ガスＯ１を酸化剤ガス供給室２１６に導くための酸化剤ガス供給孔２３３ｂが形成されている。この酸化剤ガス供給室２１６内に導かれた酸化剤ガスＯ１は、断熱体２２７ｂの貫通孔の内周面と、この貫通孔に挿通されているセルスタック１０１の外周面との間の隙間２３５ｂから、第一カートリッジヘッド２２０ａと第二カートリッジヘッド２２０ｂとの間の発電室２１５へと流出する。

40

【００４４】

第一カートリッジヘッド２２０ａと第二カートリッジヘッド２２０ｂとの間の発電室２１５には、複数のセルスタック１０１の燃料電池セル１０５が配置されている。このため、この発電室２１５では、燃料ガスＦ１と酸化剤ガスＯ１とが電気化学的反応して、発電が行われる。なお、この発電室２１５で、セルスタック１０１の長手方向における中央部付近の温度は、燃料電池モジュール２の定常運転時に、およそ７００℃～１１００℃の高温雰囲気になる。また、この発電室２１５は、第一カートリッジヘッド２２０ａと第二カートリッジヘッド２２０ｂとの間であって、外周側が後述の内側断熱材１１６で囲まれた

50

空間である。

【0045】

第一カートリッジヘッダ220aのケーシング229aと断熱体227aと管板225aとで形成されている空間は、発電室215を通った排酸化剤ガスO₂が流入する空気排出室218を形成している。このケーシング229aには、空気排出室218に流れ込んだ排酸化剤ガスO₂を排酸化剤ガス配管340に導くための空気排出孔233aが形成されている。発電室215中の酸化剤ガスO₁は、断熱体227aの貫通孔の内周面と、この貫通孔に挿通されているセルスタック101の外周面との間の隙間235aから空気排出室218内に流入した後、排酸化剤ガス配管340を通して、圧力容器10外へ排酸化剤ガスO₂として排出される。

10

【0046】

発電室215の高温化に伴って、各カートリッジヘッダ220a、220bの管板225a、225bが高温化する。第一カートリッジヘッダ220a及び第二カートリッジヘッダ220bの断熱体227a、227bは、この管板225a、225bが高温化による強度低下や酸化剤ガスO₁中に含まれている酸化剤による腐食を抑える。さらに、この断熱体227a、227bは、管板225a、225bの熱変形も抑える。

【0047】

前述したように、発電室215中の酸化剤ガスO₁と、この発電室215に配置されている複数のセルスタック101の内側を通る燃料ガスF₁とは、セルスタック101における複数の燃料電池セル105で電気化学反応する。この結果、複数の燃料電池セル205で発電が行われる。

20

【0048】

複数の燃料電池セル205での発電で得られた直流電流は、複数の燃料電池セル205相互間に設けられているインターコネクタ107を経て、セルスタック101の端部側へ流れ、このセルスタック101のリード膜115に流れ込む。そして、この直流電流は、リード膜115から、集電板（不図示）を介して、カートリッジ201の集電棒（不図示）に流れ、カートリッジ201外部へ取り出される。複数の集電棒は、互いに直列及び／又は並列接続されている。集電棒のうち、最も下流側の集電棒は、例えば、図示されていないインバータに接続されている。カートリッジ201外部に取り出された直流電流は、直列及び／又は並列接続されている複数の集電棒を経て、例えば、インバータに流れ、こ

30

【0049】

セルスタック101の内周側を流れる燃料ガスF₁とセルスタック101の外周側を流れる酸化剤ガスO₁とは、このセルスタック101を介して熱交換する。この結果、燃料ガスF₁は、酸化剤ガスO₁により加熱され、酸化剤ガスO₁は、逆に燃料ガスF₁により冷却される。本実施形態では、これら燃料ガスF₁と酸化剤ガスO₁とがセルスタック101の内周側と外周側とを対向して流れる。このため、燃料ガスF₁と酸化剤ガスO₁との熱交換率が高まり、燃料ガスF₁による酸化剤ガスO₁の冷却効率、及び酸化剤ガスO₁による燃料ガスF₁の加熱効率が高まる。よって、本実施形態において、酸化剤ガスO₁は、第一カートリッジヘッダ220aを形成する管板225a等が座屈変形等しない温度に冷却されてから、この第一カートリッジヘッダ220aの酸化剤ガス排出室218に流れ込む。また、本実施形態において、燃料ガスF₁は、発電室215内のセルスタック101内で、ヒーター等を用いることなく発電に適した温度に予熱昇温される。

40

【0050】

なお、本実施形態では、燃料ガスF₁と酸化剤ガスO₁とがセルスタック101の内周側と外周側とを対向して流れる、つまり燃料ガスF₁と酸化剤ガスO₁とが逆向きに流れるが、必ずしもこの必要はなく、例えば、燃料ガスF₁と酸化剤ガスO₁とがセルスタック101の内周側と外周側で同じ向きに流れてもよいし、酸化剤ガスO₁が燃料ガスF₁の流れに対して直交する方向に流れてもよい。

【0051】

50

円柱形状の複数のカートリッジ 201 は、図 2 に示すように、いずれも、カートリッジ中心軸 A c が圧力容器 10 の容器中心軸 A v と平行になるよう、圧力容器 10 内に配置されている。つまり、本実施形態では、カートリッジ中心軸 A c は、容器中心軸 A v と同様、上下方向に延びている。

【0052】

なお、カートリッジ 201 の構成は上記したものに限らず、カートリッジを圧力容器の中心軸と直交する方向に延びるように配置してもよい。また、カートリッジは円柱形状に限らず、角柱形状としてもよい。

【0053】

次に、上記の構成からなるコンバインド発電システム 1 の動作について説明する。

10

コンバインド発電システム 1 を起動する場合、ガスタービン 3 が起動した後に燃料電池モジュール 2 が起動する。まず、ガスタービン 3 にて、空気圧縮機 4 が空気供給部 21 から導入される酸化剤ガス O1 を圧縮し、燃焼器 5 が酸化剤ガス O1 と燃料供給部 20 から燃料分岐配管 19 を介して供給される燃料ガス F1 とを混合して燃焼し、タービン 6 が燃焼排ガスにより回転することで発電機 8 が発電を開始する。また、ガスタービン 3 の起動時においては、空気圧縮機 4 により燃料電池モジュール 2 に送給される全ての酸化剤ガス O1 を、空気分岐配管 18 を介して燃焼器 5 へ供給するように設定されている。

【0054】

燃料電池モジュール 2 では、まず、酸化剤ガス O1 を供給して昇圧を開始し、加熱を開始する。その際、空気分岐配管 18 に流入される酸化剤ガス O1 の量を少しずつ減少させるとともに、燃料電池モジュール 2 に供給される酸化剤ガス O1 を徐々に増加させる。一方、燃料電池モジュール 2 では、燃料極側に燃料ガス F1、図示されていない酸化剤ガス配管 330 の分岐から圧縮空気を供給するか、窒素等の不活性ガスを供給して昇圧を開始する。酸化剤ガス O1 は、空気圧縮機 4 で圧縮されることで約 350～400℃で排出されることから、燃料電池モジュール 2 の加熱も行われる。

20

このように、燃料電池モジュール 2 の起動は、燃料ガス F1 及び酸化剤ガス O1 を徐々に増加させて昇圧しながら加熱することで行う。燃料電池モジュール 2 は、酸化剤ガス O1 の供給および燃料電池モジュール 2 の内部での燃焼等により加熱される。そして燃料電池モジュール 2 の圧力が所定圧力に達し、カートリッジ 201 の圧力制御が安定したことを確認したら、切替バルブ 16 を切り替え、排燃料ガス F2 が燃焼器 5 に導入される。

30

【0055】

次に、定常運転されている場合の発電方法について説明する。

コンバインド発電システム 1 が定常運転されている場合には、酸化剤ガス O1 は空気圧縮機 4 に圧縮され、酸化剤ガス配管 330 を介して燃料電池モジュール 2 のカートリッジ 201 に供給される。

【0056】

一方、燃料供給部 20 より供給された燃料ガス F1 は、燃料配管 310 を介して燃料電池モジュール 2 のカートリッジ 201 に供給される。カートリッジ群 200 は、酸化剤ガス O1、及び燃料ガス F1 を用いて発電を行う。発電に使用された排酸化剤ガス O2 は、カートリッジ群 200 から排酸化剤ガス配管 340 を介して燃焼器 5 に導入される。

40

【0057】

一方、排燃料ガス F2 は、排燃料配管 320 を介して燃焼器 5 に導入される。ここで、排燃料ガス F2 は、高温化での発電反応により水が生成されることから、水蒸気を含んでいる。この排燃料ガス F2 の一部は、燃料再循環ブロー 15 が駆動していることによって、燃料再循環配管 325 を介して燃料配管 310 に流入する。

【0058】

燃焼器 5 では、排燃料ガス F2 が燃焼され、高温の排気ガスが生成される。高温の排気ガスは、燃焼器 5 からタービン 6 に導入され、タービン 6 を回転駆動させる。

タービン 6 では、導入された高温の排気ガスから回転駆動力を発生させ、空気圧縮機 4 を回転駆動する。回転駆動力は発電機 8 にも伝達され、発電が行われる。

50

このように、コンバインド発電システム 1 では、燃料電池モジュール 2 とガスタービン 3 とで発電が行われる。

【0059】

上記実施形態によれば、切替バルブ 16 の燃焼器側から燃焼器 5 の入口側に至る間の排燃料配管 320 に加熱器 23 が設けられていることによって、排燃料配管 320 を予熱することができる。

そして、排燃料配管 320 が加熱器 23 によって予熱されていることから、排燃料ガス F2 に含まれる水分が低温状態の排燃料配管 320 内に接触することで凝縮しドレンを生成することを防止することができる。これにより、凝縮ドレンがガスタービン 3 の燃焼器 5 に流入し、燃焼器 5 あるいはタービン 6 を構成するタービン羽根が損傷することを防止

10

【0060】

また、排燃料配管 320 がガスタービン排ガスダクト 9 内に配置されていることから、ガスタービン 3 を起動することで加熱器 23 を作動させるため、コンバインド発電システムにおける燃料電池とガスタービンとの連携する前に排燃料配管 320 を予熱することができる。加熱器 23 は、電力などのエネルギーが不要であるため、プラント効率の低下を防ぐことができる。

さらに、ガスタービン排ガスダクト 9 の内部に排燃料配管 320 を貫通させる構造とすることにより、より簡素な構成で加熱器 23 を構成することができる。

【0061】

20

なお、ガスタービン排ガスダクト 9 を熱源とする方法は、上記方法に限ることはなく、ガスタービン排ガスダクト 9 を流れる排ガスの一部を小径管に分岐させ、小径管を排燃料配管 320 の周囲に配置する構成としてもよい。

【0062】

(第二実施形態)

以下、本発明の第二実施形態に係るコンバインド発電システムを図面に基づいて説明する。なお、本実施形態では、上述した第一実施形態との相違点を中心に述べ、同様の部分についてはその説明を省略する。

【0063】

第一実施形態に係るコンバインド発電システム 1 の加熱器 23 がガスタービン排ガスダクト 9 を熱源としていることに対して、本実施形態のコンバインド発電システム 1B は、排酸化剤ガス配管 340 を熱源としている。

30

具体的には、図 7 に示すように、排酸化剤ガス配管 340 と排燃料配管 320 とは、その一部が並設されており、排酸化剤ガス配管 340 と排燃料配管 320 とに跨るように熱交換器 24 が設けられている。熱交換器 24 は、排酸化剤ガス配管 340 と排燃料配管 320 との間で熱交換を行うものである。換言すれば、熱交換器 24 は、排酸化剤ガス配管 340 の熱を利用して、排燃料配管 320 を予熱するものである。即ち、本実施形態の加熱器 23 は、排酸化剤ガス配管 340 を熱源としている。

【0064】

上記実施形態によれば、切替バルブ 16 の燃焼器側から燃焼器 5 の入口側に至る間の排燃料配管 320 が、高温熱源である排酸化剤ガス配管 340 によって予熱されることによって、排燃料ガス F2 に含まれる水分が排燃料配管 320 内にて凝縮しドレン化することを防止することができる。

40

【0065】

なお、排酸化剤ガス配管 340 と排燃料配管 320 との熱交換は、熱交換器 24 を用いることに限ることはなく、排酸化剤ガス配管 340 と排燃料配管 320 とを並設させた状態で保温を施工することにより、排酸化剤ガス配管 340 の熱が排燃料配管 320 に輻射及び自然対流で伝達される構成としてもよい。

さらに、排酸化剤ガス配管 340 を流れる排酸化剤ガス O2 の一部を小径管に分岐させ、小径管を排燃料配管 320 の周囲に配置する構成としてもよい。

50

【0066】

(第三実施形態)

以下、本発明の第三実施形態に係るコンバインド発電システムを図面に基づいて説明する。なお、本実施形態では、上述した第一実施形態との相違点を中心に述べ、同様の部分についてはその説明を省略する。

【0067】

第一実施形態に係るコンバインド発電システム1の加熱器23がガスタービン排ガスダクト9を熱源としていることに対して、本実施形態のコンバインド発電システム1Cは、酸化剤ガス配管330を熱源としている。

具体的には、図8に示すように、酸化剤ガス配管330と排燃料配管320とは、その一部が並設されており、酸化剤ガス配管330と排燃料配管320とに跨るように熱交換器24Cが設けられている。熱交換器24Cは、酸化剤ガス配管330と排燃料配管320との間で熱交換を行うものである。換言すれば、熱交換器24Cは、酸化剤ガス配管330の熱を利用して、排燃料配管320を予熱するものである。即ち、本実施形態の加熱器23は、酸化剤ガス配管330を熱源としている。

10

【0068】

上記実施形態によれば、切替バルブ16の燃焼器側から燃焼器5の入口側に至る間の排燃料配管320が、高温熱源である酸化剤ガス配管330によって予熱されることによって、排燃料ガスF2に含まれる水分が排燃料配管320内にて凝縮しドレンを生成することを防止することができる。

20

【0069】

なお、第二実施形態と同様に、酸化剤ガス配管330と排燃料配管320との熱交換は、熱交換器24Cを用いることに限ることはなく、酸化剤ガス配管330と排燃料配管320とを並設させた状態で保温を施工することにより、酸化剤ガス配管330の熱が排燃料配管320に輻射及び自然対流で伝達される構成としてもよい。

さらに、酸化剤ガス配管330を流れる酸化剤ガスO1の一部を小径管に分岐させ、小径管を排燃料配管320の周囲に配置する構成としてもよい。

【0070】

(第四実施形態)

以下、本発明の第四実施形態に係るコンバインド発電システムを図面に基づいて説明する。なお、本実施形態では、上述した第一実施形態との相違点を中心に述べ、同様の部分についてはその説明を省略する。

30

【0071】

本実施形態のコンバインド発電システム1Dは、ベント配管17を熱源としている。

具体的には、図9に示すように、ベント配管17と排燃料配管320とは、その一部が並設されており、ベント配管17と排燃料配管320とに跨るように熱交換器24Dが設けられている。即ち、本実施形態の加熱器23は、ベント配管17を熱源としている。

【0072】

上記実施形態によれば、切替バルブ16の燃焼器側から燃焼器5の入口側に至る間の排燃料配管320が、高温熱源であるベント配管17によって予熱されることによって、排燃料ガスF2に含まれる水分が排燃料配管320内にて凝縮しドレンを生成することを防止することができる。

40

【0073】

なお、ベント配管17と排燃料配管320との熱交換は、熱交換器24Dを用いることに限ることはなく、ベント配管17と排燃料配管320とを並設させた状態で保温を施工することにより、ベント配管17の熱が排燃料配管320に輻射及び自然対流で伝達される構成としてもよい。

さらに、ベント配管17を流れる排燃料ガスF2の一部を小径管に分岐させ、小径管を排燃料配管320の周囲に配置する構成としてもよい。

【0074】

50

(第五実施形態)

以下、本発明の第五実施形態にかかるコンバインド発電システムを図面に基づいて説明する。なお、本実施形態では、上述した第一実施形態との相違点を中心に述べ、同様の部分についてはその説明を省略する。

【0075】

図10に示すように、本実施形態のコンバインド発電システム1Eは、排燃料配管320（排燃料ライン）に導入される排燃料ガスF2に対して、排燃料配管320（排燃料ライン）にドレン分離器25を設けている。ドレン分離器25を設けることにより、ドレンを分離した排燃料ガスF2を下流側に供給することで、切替バルブ16の燃焼器側から燃焼器5の入口側に至る間の排燃料配管320におけるドレンの生成を防止している。

10

【0076】

ドレン分離器25は、排燃料ガスF2を冷却して、排燃料ガスF2に含まれる水分を取り除いてから切替バルブ16よりも下流側の排燃料配管320（排燃料ライン）に供給される。ここで、ドレン分離器25は、排燃料配管320の切替バルブ16よりも上流側に設置されるのが好ましい。

ドレン分離器25における冷却手段としては、排燃料ガスF2よりも低温の冷却材を流路26に供給して、排燃料ガスF2と熱交換することでドレンを凝縮させている。冷却材としては、特に限定されないが、LNGまたはコンバインド発電システムの蒸気タービンの複水を用いることで、排燃料ガスF2の熱をシステム内で回収することで、コンバインド発電システムとしての効率向上に寄与させても良い。

20

ドレン分離器25により凝縮されたドレンは、ドレン流路27により排出されても良いし、燃料ガスF1に添加される水分として再利用しても良い。

【0077】

本実施形態において、ドレンを分離した排燃料ガスF2を加熱器23により加熱することで、燃焼器において安定した燃焼が実現できる。本実施形態では加熱器23として、排燃料配管320（排燃料ライン）に設置された触媒燃焼による加熱が適用される。触媒燃焼させるために必要な空気としては、図示しない酸化剤ガス配管330（酸化剤ガスライン）から分岐されて供給しても良いし、別途設けられた空気供給ラインを用いてもよい。ここで、触媒燃焼とは酸化反応や燃焼反応を含めた総称として燃焼と記載する。なお、本実施形態における加熱手段としては、触媒燃焼以外にもバーナー等の一般的な燃焼方法を適用することも可能であるまた、加熱手段として、第一実施形態乃至第四実施形態のいずれかまたは複数を適用することができる。

30

【0078】

排燃料ガスF2は、ドレン分離器25によりドレンが分離されると共に、加熱器23によりドレン分離により冷却された排燃料を加熱していることから、コンバインド発電システムの起動過程において、排燃料ガスF2が低温の排燃料配管320（排燃料ライン）に流入することで凝縮されるドレンの生成を防止することができる。

【0079】

なお、本発明の技術範囲は上記の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において、種々の変更を加えることが可能である。

40

例えば、加熱器23として、電気ヒーターなどの独立した熱源を採用して、排燃料配管320を予熱する構成としてもよい。

【符号の説明】

【0080】

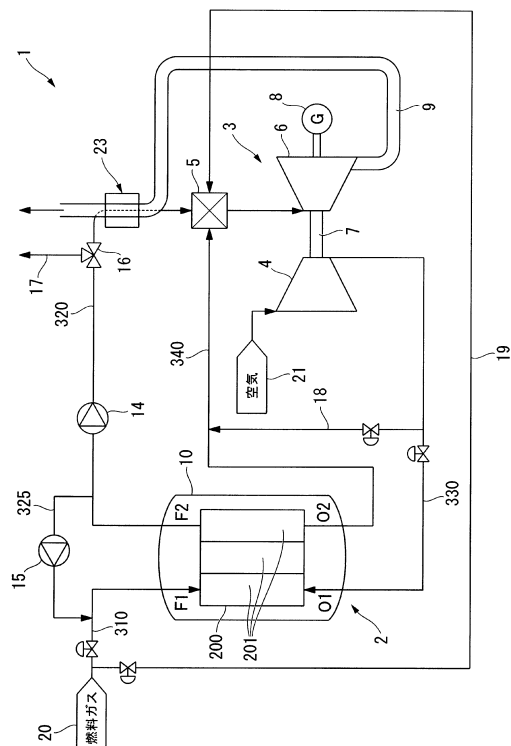
- 1 コンバインド発電システム
- 2 燃料電池モジュール（燃料電池）
- 3 ガスタービン
- 4 空気圧縮機
- 5 燃焼器
- 6 タービン

50

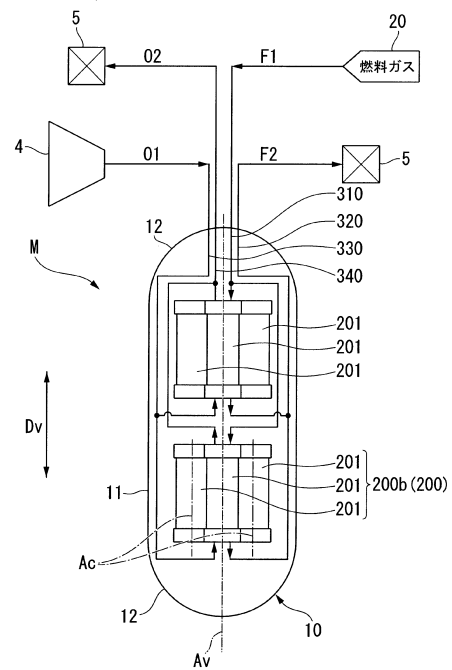
- 9 ガスタービン排ガスダクト
- 16 切替バルブ（切替器）
- 17 ベント配管（分岐排燃料ライン）
- 23 加熱器（加熱手段）
- 24 熱交換器
- 25 ドレン分離器
- 26 流路
- 27 ドレン流路
- 310 燃料配管（燃料ライン）
- 320 排燃料配管（排燃料ライン）
- 330 酸化剤ガス配管（酸化剤ガスライン）
- 340 排酸化剤ガス配管（排酸化剤ガスライン）
- F1 燃料ガス
- F2 排燃料ガス
- O1 酸化剤ガス
- O2 排酸化剤ガス

10

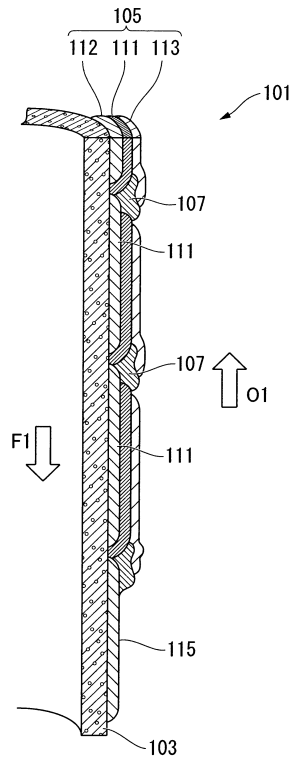
【図 1】



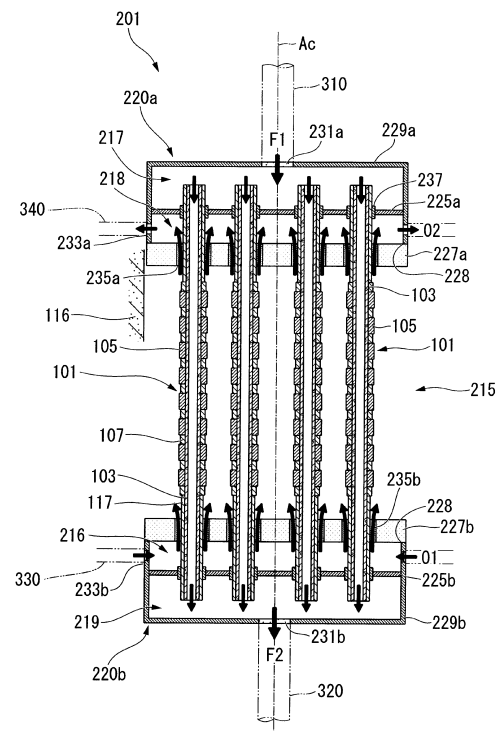
【図 2】



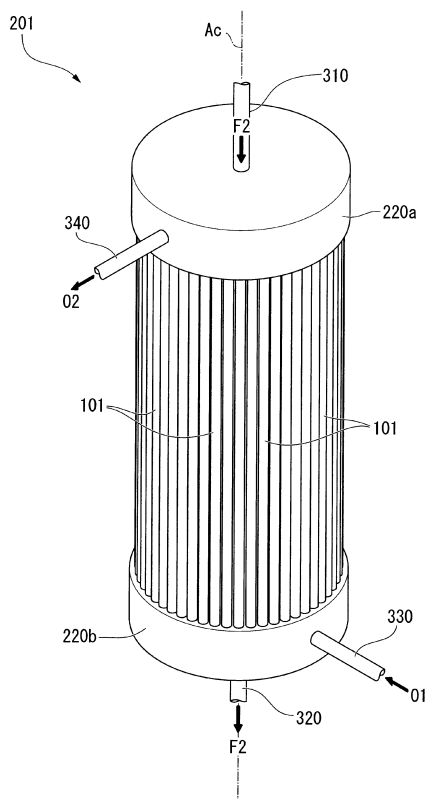
【図 3】



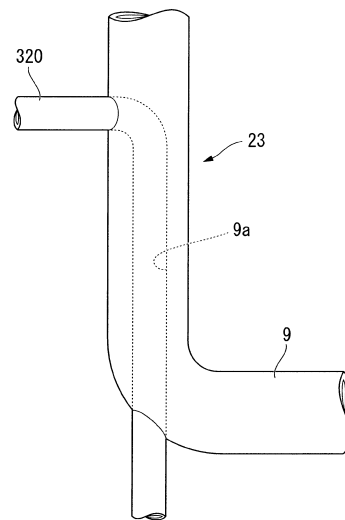
【図 4】



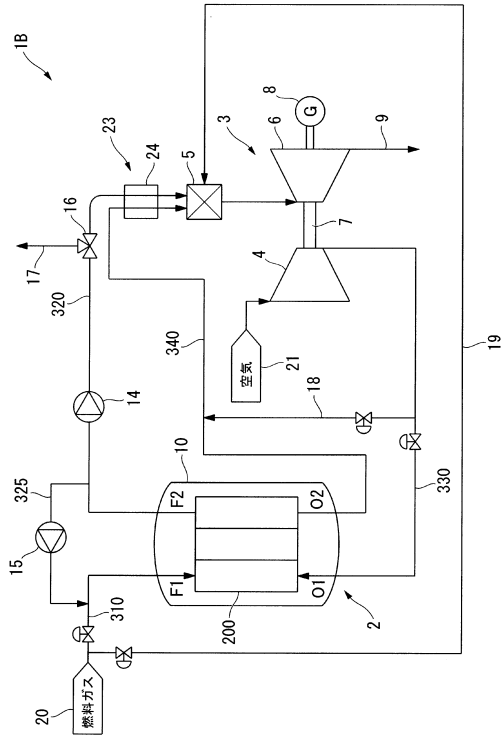
【図 5】



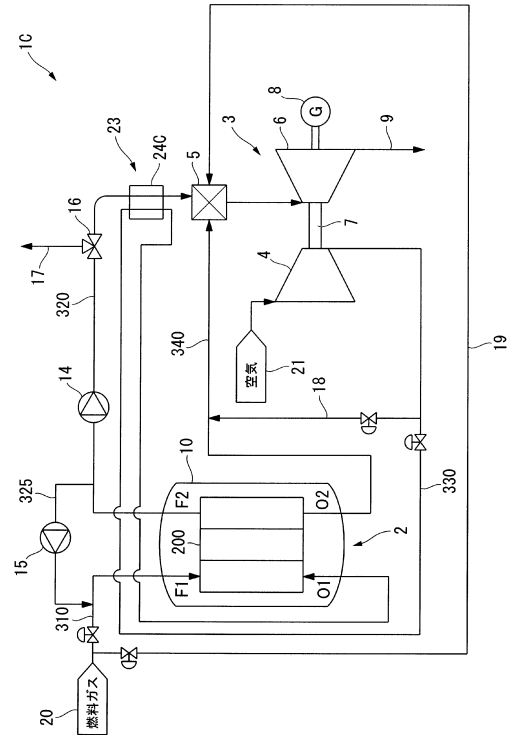
【図 6】



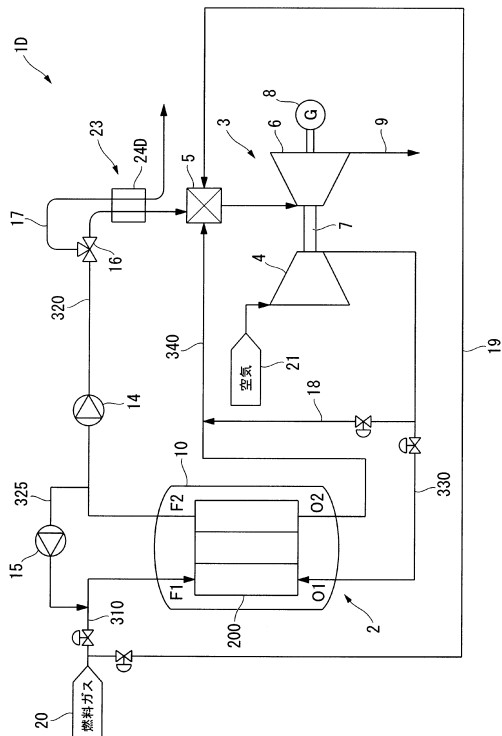
【図 7】



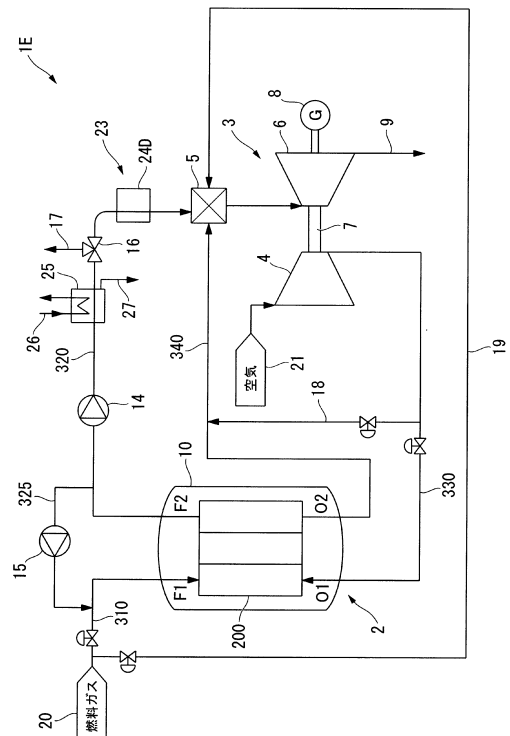
【图 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 棕本 陽喜
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 眞竹 徳久
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 相羽 昌孝

- (56)参考文献 特開昭51-105551 (JP, A)
特開2008-130403 (JP, A)
特表2010-518559 (JP, A)
特開昭58-023169 (JP, A)
特表平08-504049 (JP, A)
特開2004-206896 (JP, A)
特開2011-141967 (JP, A)
米国特許第06255010 (US, B1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/00- 8/2485