

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-183249

(P2017-183249A)

(43) 公開日 平成29年10月5日(2017.10.5)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO 1 M	8/0612	(2016.01)	HO 1 M	8/06	G	4 G 1 4 0		
HO 1 M	8/12	(2016.01)	HO 1 M	8/12		5 H 0 2 6		
HO 1 M	8/04	(2016.01)	HO 1 M	8/04	Z	5 H 1 2 6		
CO 1 B	3/38	(2006.01)	HO 1 M	8/04	N	5 H 1 2 7		
CO 1 B	3/48	(2006.01)	CO 1 B	3/38				

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-73422 (P2016-73422)  
 (22) 出願日 平成28年3月31日 (2016. 3. 31)

(71) 出願人 000005326  
 本田技研工業株式会社  
 東京都港区南青山二丁目1番1号  
 (74) 代理人 110001807  
 特許業務法人磯野国際特許商標事務所  
 (72) 発明者 水野 淳  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
 本田技術研究所内  
 (72) 発明者 戸田 茂  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
 本田技術研究所内  
 (72) 発明者 塚本 啓司  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
 本田技術研究所内

最終頁に続く

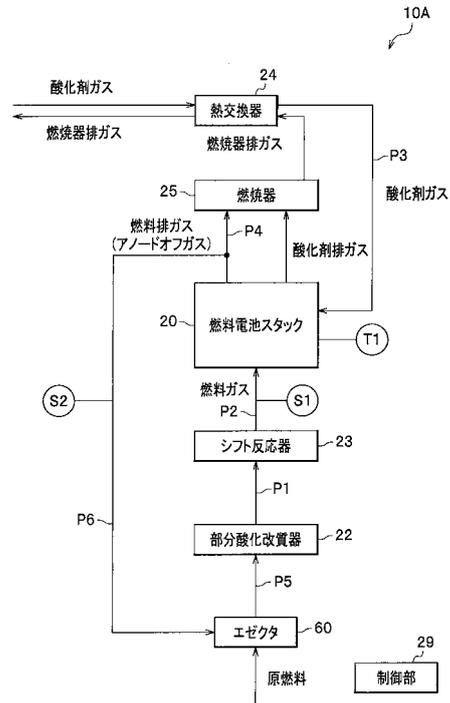
(54) 【発明の名称】 燃料電池システム

(57) 【要約】

【課題】 改質ガスを供給する燃料電池スタック内での炭素析出を防止する燃料電池システムを提供する。

【解決手段】 本発明の燃料電池システム 10A は、炭化水素を含む原燃料を部分酸化して一酸化炭素と水素とを生成する部分酸化改質器 22 と、前記一酸化炭素と水蒸気とをシフト反応させて二酸化炭素と水素とを生成するシフト反応器 23 と、前記部分酸化改質器 22 及び前記シフト反応器 23 の少なくともいずれかで生成される前記水素と、酸化剤ガスとの電気化学的反応により発電する燃料電池スタック 20 と、前記燃料電池スタック 20 の排ガスに含まれる水蒸気を前記シフト反応器 23 に供給する排ガス還流配管 P6 と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図 2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

原燃料を部分酸化して一酸化炭素と水素とを生成する部分酸化改質器と、  
前記一酸化炭素と水蒸気とをシフト反応させて二酸化炭素と水素とを生成するシフト反応器と、  
前記部分酸化改質器及び前記シフト反応器の少なくともいずれかで生成される前記水素と、酸化剤ガスとの電気化学的反応により発電する燃料電池スタックと、  
前記燃料電池スタックの排ガスに含まれる水蒸気を前記シフト反応器に供給する排ガス還流配管と、  
を備えることを特徴とする燃料電池システム。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の燃料電池システムにおいて、  
前記燃料電池スタックは、固体酸化物型燃料電池が複数積層されて形成され、  
前記排ガスは、前記固体酸化物型燃料電池のアノードオフガスを含むことを特徴とする燃料電池システム。

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載の燃料電池システムにおいて、  
前記原燃料を部分酸化させる酸化剤ガスを前記部分酸化改質器に供給する酸化剤ガス供給流路を備え、  
前記酸化剤ガス供給流路を通流する前記酸化剤ガスが前記シフト反応器と熱交換して前記シフト反応器を冷却可能なように、前記酸化剤ガス供給流路が前記シフト反応器に対して近接して配置されていることを特徴とする燃料電池システム。

20

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載の燃料電池システムにおいて、  
前記部分酸化改質器と前記シフト反応器とは一体に形成されていることを特徴とする燃料電池システム。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の燃料電池システムにおいて、  
前記燃料電池スタックの前記排ガスに含まれる未反応の前記水素を燃焼させる燃焼器を備え、  
前記排ガス還流配管は、前記燃焼器の排ガスに含まれる前記水蒸気を前記シフト反応器に供給していることを特徴とする燃料電池システム。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、燃料電池システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、燃料ガスとして、改質ガスを使用する燃料電池システムが知られている（例えば、特許文献 1、2 など参照）。この改質ガスとしては、炭化水素を原燃料に下記式（1）で示される水蒸気改質反応で得られるものや、下記式（2）で示される部分酸化反応で得られるものが挙げられる。

40



## 【0003】

このような燃料電池システムにおいては、水蒸気改質反応よりも反応速度が速い部分酸化反応を使用する改質ガス供給装置を備えるもののほうがガス処理効率に優れる点で、燃料電池システムの小型化（コンパクト化）を図ることができる利点がある。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

50

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 2 - 1 6 0 4 6 5 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 1 0 - 6 7 5 3 4 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

ところが、比較的改質ガスに多く含まれるCO（一酸化炭素）は、下記式（3）が示すように、炭素（C）を析出する。



析出した炭素は、燃料電池スタック内でコーキングを生じさせる。

10

【 0 0 0 6 】

そこで、本発明の課題は、改質ガスを供給する燃料電池スタック内での炭素析出を防止する燃料電池システムを提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

前記課題を解決する本発明の燃料電池システムは、原燃料を部分酸化して一酸化炭素と水素とを生成する部分酸化改質器と、前記一酸化炭素と水蒸気とをシフト反応させて二酸化炭素と水素とを生成するシフト反応器と、前記部分酸化改質器及び前記シフト反応器の少なくともいずれかで生成される前記水素と、酸化剤ガスとの電気化学的反応により発電する燃料電池スタックと、前記燃料電池スタックの排ガスに含まれる水蒸気を前記シフト

20

反応器に供給する排ガス還流配管と、を備えることを特徴とする。

この燃料電池システムによれば、シフト反応器によるシフト反応によって燃料ガス中の一酸化炭素濃度が低減することで燃料電池スタック内での炭素析出が防止される。

【 0 0 0 8 】

また、このような燃料電池システムにおいては、前記燃料電池スタックは、固体酸化物型燃料電池が複数積層されて形成され、前記排ガスは、前記固体酸化物型燃料電池のアノードオフガスを含む構成とすることもできる。

この燃料電池システムによれば、シフト反応器で使用される水蒸気がアノードオフガスによって供給される。これによりアノードオフガスに含まれる未燃の燃料ガスを再利用でき、燃料電池システムの発電効率が向上する。

30

【 0 0 0 9 】

また、このような燃料電池システムにおいては、前記原燃料を部分酸化させる酸化剤ガスを前記部分酸化改質器に供給する酸化剤ガス供給流路を備え、前記酸化剤ガス供給流路を通流する前記酸化剤ガスが前記シフト反応器と熱交換して前記シフト反応器を冷却可能なように、前記酸化剤ガス供給流路が前記シフト反応器に対して近接して配置されている構成とすることもできる。

この燃料電池システムによれば、高温の改質ガスがシフト反応器に送り込まれるのにも関わらず、シフト反応器が部分酸化改質器に供給される酸化剤ガスによって冷却されるので、シフト反応器でのシフト反応を効率よく進行させることができる。これにより燃料ガス中の一酸化炭素濃度が、さらに効率よく低減されて燃料電池スタック内での炭素析出がより確実に防止される。

40

【 0 0 1 0 】

また、このような燃料電池システムにおいては、前記部分酸化改質器と前記シフト反応器とは一体に形成されている構成とすることもできる。

この燃料電池システムによれば、システムをコンパクト化することができる。

【 0 0 1 1 】

また、このような燃料電池システムにおいては、前記燃料電池スタックの前記排ガスに含まれる未反応の前記水素を燃焼させる燃焼器を備え、前記排ガス還流配管は、前記燃焼器の排ガスに含まれる前記水蒸気を前記シフト反応器に供給している構成とすることもできる。

50

この燃料電池システムにおいては、例えば暖機時のように燃料電池スタックでの発電開始前においても、シフト反応器に水蒸気を供給することができる。これによりさらに効率よく燃料電池スタック内での炭素析出が防止される。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、改質ガスを供給する燃料電池スタック内での炭素析出を防止する燃料電池システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1実施形態に係る燃料電池システムの外観斜視図である。

10

【図2】本発明の第1実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図3】第1実施形態の変形例で使用される部分酸化改質器とシフト反応器の構成説明図である。

【図4】本発明の第2実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図5】本発明の第3実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図6】本発明の第4実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図7】本発明の第5実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図8】本発明の第6実施形態に係る燃料電池システムの構成説明図である。

【図9】本発明の第1実施形態に係る燃料電池システムにおいて、リターン率を20%、30%及び40%に設定した際の炭素析出開始温度を示すグラフである。

20

【図10】本発明の第1実施形態に係る燃料電池システムにおいて、リターン率を10%、20%及び30%に設定した際の発電効率を示すグラフである。

【図11】本発明の第1実施形態に係る燃料電池システムにおいて、シフト反応器の温度と、シフト反応後の一酸化炭素濃度及び水素濃度との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

次に、本発明の実施形態について説明する。本発明の燃料電池システムは、燃料電池スタックに対する燃料ガスの供給装置として部分酸化改質器を備えている。以下では本発明の実施形態として、固体酸化物型燃料電池(SOFC; Solid Oxide Fuel Cell)を複数積層した燃料電池スタックを備える定置用の燃料電池システムを例にとって説明する。

30

【0015】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係る燃料電池システム10Aの外観斜視図、図2は、本発明の第1実施形態に係る燃料電池システム10Aの構成説明図である。なお、図1中、燃料電池スタック20は、仮想線(点線)で示している。

図1及び図2に示すように、燃料電池システム10Aは、平板積層型燃料電池スタック20と、部分酸化改質器22と、シフト反応器23と、燃焼器25と、熱交換器24と、排ガス還流配管P6(図2参照)と、制御部29(図2参照)とを備えている。

【0016】

燃料電池スタック20は、後記する燃料ガス中の水素と酸化剤ガス中の酸素との電気化学反応により発電する平板状の固体酸化物型燃料電池30を備えている。

40

なお、本実施形態での燃料ガスは、後記するように、部分酸化改質器22及びシフト反応器23で生成した水素を含む混合ガスであり、酸化剤ガスは、空気である。

本実施形態での燃料電池30(図1参照)は、鉛直方向Vt(図1参照)に積層されている。燃料電池30の積層方向の両端には、エンドプレート(図示省略)が配置されている。

【0017】

燃料電池30は、例えば、安定化ジルコニア等の酸化物イオン導電体で構成される電解質の両面に、カソード電極及びアノード電極が設けられた電解質・電極接合体(MEA)を備えている。

50

## 【 0 0 1 8 】

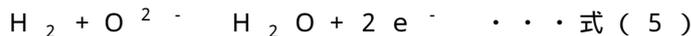
この電解質・電極接合体の両側には、図示は省略するが、カソード側セパレータとアノード側セパレータとが配設されている。カソード側セパレータには、カソード電極に酸化剤ガスを供給する酸化剤ガス流路が形成されるとともに、アノード側セパレータには、アノード電極に燃料ガスを供給する燃料ガス流路が形成される。

## 【 0 0 1 9 】

燃料電池 3 0 は、作動温度が数百 と高温であり、前記のように、アノード電極に供給される水素と、カソード電極に供給される酸素とによる電気化学的反応によって発電する。具体的には、酸素が供給されるカソード電極では、下記式 ( 4 ) の電極反応が進行する。



また、アノード電極では、供給される水素と、カソード電極側から移行する  $\text{O}^{2-}$  とによって、下記式 ( 5 ) の電極反応が進行する。



## 【 0 0 2 0 】

燃料電池スタック 2 0 から排出される燃料排ガス (アノードオフガス) と、酸化剤排ガスとは、後記する燃焼器 2 5 に送り出される。

なお、アノード電極で生成した水蒸気 (  $\text{H}_2\text{O}$  ) は、燃料排ガス (アノードオフガス) の構成成分となる。この燃料排ガス (アノードオフガス) には、この水蒸気のほか、後記する部分酸化改質器 2 2 及びシフト反応器 2 3 で生成した水素 (電気化学的反応後における未反応の水素)、二酸化炭素、一酸化炭素、未改質の炭化水素などが含まれる。

## 【 0 0 2 1 】

酸化剤排ガスには、酸化剤ガスとして供給された空気に含まれる窒素、未反応の酸素などが含まれる。

## 【 0 0 2 2 】

図 2 中、符号 T 1 は、燃料電池スタック 2 0 の温度を検出する温度センサである。また、図示しないが、燃料電池スタック 2 0 には、燃料電池スタック 2 0 の暖機をアシストするスタック用加熱器を設けることもできる。

## 【 0 0 2 3 】

部分酸化改質器 2 2 は、炭化水素を含む原燃料を反応成分として下記式 ( 6 ) で示される部分酸化反応を進行させて改質ガス (  $\text{CO} + \text{H}_2$  ) を生成し、この改質ガスをシフト反応器 2 3 に送り出す構成となっている。



## 【 0 0 2 4 】

部分酸化改質器 2 2 に使用される部分酸化反応触媒としては、例えば、Pt、Rh、Pd などが挙げられる。部分酸化改質器 2 2 の温度としては、約 5 0 0 ~ 1 0 0 0 程度が望ましい。

## 【 0 0 2 5 】

本実施形態での原燃料は、例えば、1 3 A などのメタンを主に含む都市ガス、プロパンを主に含む LPG などを想定している。

本実施形態において部分酸化反応に使用される酸素 (  $\text{O}_2$  ) は、燃料電池スタック 2 0 に酸化剤ガスを供給する後記の酸化剤ガス供給配管 P 3 から分岐する所定配管 (図示省略) によって供給される。

## 【 0 0 2 6 】

原燃料は、エゼクタ 6 0 を介して部分酸化改質器 2 2 に供給される。なお、このエゼクタ 6 0 は、図示しない原燃料ポンプと部分酸化改質器 2 2 とを接続する原燃料供給配管 P 5 に設けられている。このエゼクタ 6 0 には、後記する排ガス還流配管 P 6 が接続される。なお、本実施形態でのエゼクタ 6 0 は、電磁ニードル弁 (図示省略) を有している。この電磁ニードル弁は、排ガス還流配管 P 6 を介して原燃料供給配管 P 5 に流れ込む後記する燃料排ガス (アノードオフガス) の流量を調節する。ただし、この燃料排ガス (アノ

10

20

30

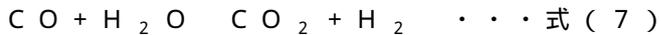
40

50

ドオフガス)の流量調節は、排ガス還流配管 P 6 に流量調節弁(図示省略)を設けて行うこともできる。

【0027】

シフト反応器 23 は、部分酸化改質器 22 で生成した改質ガス中の一酸化炭素に水蒸気を反応させる下記式(7)のシフト反応を進行させてシフトガスを生成し、このシフトガスを燃料電池スタック 20 (アノード電極側)に送り出す構成となっている。



【0028】

シフト反応器 23 に使用されるシフト反応触媒としては、例えば、Cu-Zn系触媒、Fe-Cr系触媒、Pt系触媒などが挙げられる。

10

シフト反応器 23 の温度としては、約 350 ~ 550 程度が望ましい。

図 2 中、符号 P 1 は、部分酸化改質器 22 とシフト反応器 23 とを接続する改質ガス供給配管であり、符号 P 2 は、シフト反応器 23 と燃料電池スタック 20 (アノード電極側入口)とを接続する燃料ガス供給配管である。符号 S 1 は、燃料ガス供給配管 P 2 に設けられる一酸化炭素濃度センサ(以下、単に「COセンサ S 1」という)である。

【0029】

なお、燃料ガス供給配管 P 2 には、シフト反応器 23 で生成したシフトガス(CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>)及び部分酸化改質器 22 で生成した水素(H<sub>2</sub>)に加えて、シフト反応器 23 で未反応の一酸化炭素(CO)、水蒸気(H<sub>2</sub>O)、部分酸化改質器 22 で未改質の原燃料(炭化水素)などの微量成分を含む混合ガスが通流する。この混合ガスは、前記の本実施形態における燃料ガスに相当する。

20

COセンサ S 1 は、この燃料ガス中の一酸化炭素濃度(以下、単に「CO濃度」という)を検出する。

【0030】

燃焼器 25 は、燃料電池スタック 20 から排出される燃料排ガス(アノードオフガス)に含まれる未反応の水素を燃焼させる構成となっている。また、燃焼器 25 では、シフト反応器 23 で二酸化炭素に変換し切れなかった一酸化炭素や未改質の原燃料(炭化水素)も燃焼する。これらの燃焼には、燃料電池スタック 20 から燃焼器 25 に供給される酸化剤排ガスが利用される。なお、この酸化剤排ガスには、この燃焼に十分な量の酸素が含まれている。この燃焼器 25 の燃焼器排ガスには、水素、一酸化炭素の燃焼結果物である水蒸気、二酸化炭素に加えて、酸化剤排ガス(空気成分)が含まれる。燃焼器 25 から排出される燃焼器排ガスは、次に説明する熱交換器 24 を介して燃料電池システム 10A の系外に排出される。

30

【0031】

熱交換器 24 は、燃焼器 25 から送り出される燃焼器排ガスと、燃料電池スタック 20 に供給する酸化剤ガスとを熱交換させて酸化剤ガスを昇温させる。なお、熱交換器 24 には、図示しない空気供給ポンプによって大気中の空気が酸化剤ガスとして送り込まれる。また、熱交換器 24 で熱交換した酸化剤ガスは、酸化剤ガス供給配管 P 3 を介して燃料電池スタック 20 (カソード電極側入口)に供給される。

【0032】

40

排ガス還流配管 P 6 は、燃料電池スタック 20 のアノードオフガス出口配管 P 4 から分岐してエゼクタ 60 に接続されている。この排ガス還流配管 P 6 は、燃料排ガス(アノードオフガス)の一部を、エゼクタ 60 を介して原燃料供給配管 P 5 に送り込むことによって、燃料排ガス(アノードオフガス)に含まれる水蒸気をシフト反応器 23 に供給する。この水蒸気によって前記のシフト反応は進行する。

図 2 中、符号 S 2 は、排ガス還流配管 P 6 に設けられた湿度センサである。

【0033】

制御部 29 は、CPU やメモリなどによって構成された電子ユニットであり、メモリなどの記憶部に保持された制御プログラムを CPU で実行する。

本実施形態での制御部 29 は、COセンサ S 1 によって燃料ガス中の CO 濃度を検出し

50

、温度センサT1によって燃料電池スタック20の温度を検出し、湿度センサS2によって排ガス還流配管P6を流れる燃料排ガス（アノードオフガス）の湿度を検出する。制御部29は、後記するように、これらの検出値に基づいて排ガス還流配管P6を流れる燃料排ガス（アノードオフガス）の流量を制御するように構成されている。

#### 【0034】

次に、本実施形態の燃料電池システム10Aの動作及び燃料電池システム10Aの奏する作用効果について図2を参照しながら説明する。

燃料電池システム10Aの起動時には、図示を省略した空気供給ポンプによって酸化剤ガス供給配管P3に酸化剤ガスとしての空気が供給される。空気の一部は、所定経路で部分酸化改質器22にも供給される。

10

#### 【0035】

また、エゼクタ60には、図示を省略した原燃料供給ポンプから原燃料が供給される。エゼクタ60は、所定流量の原燃料を部分酸化改質器22に送り込む。

部分酸化改質器22では、原燃料に含まれる炭化水素と、前記の所定経路で送り込まれた空気中の酸素とによって部分酸化反応が進行して改質ガスが生成する。生成した改質ガスは部分酸化反応の反応熱によって高温となっている。

部分酸化改質器22の下流側に配置されるシフト反応器23、燃料電池スタック20は、改質ガスが通流することで昇温されて暖機が行われる。なお、燃料電池スタック20の暖機は、前記のスタック用加熱器（図示省略）によっても行うことができる。

20

#### 【0036】

燃料電池スタック20には、酸化剤ガス供給配管P3を介して酸化剤ガスが供給される。燃料電池スタック20の暖機完了前には、燃料電池スタック20に供給された燃料ガスは、発電に使用されないで（未反応のまま）、燃料電池スタック20に供給された酸化剤ガスとともに燃焼器25に送り込まれて燃焼する。

#### 【0037】

燃焼器25から送り出された燃焼器排ガスは、熱交換器24に送り込まれてこの熱交換器24に別途送り込まれた酸化剤ガスと熱交換する。これにより酸化剤ガス供給配管P3を通流する酸化剤ガスは、所定温度に昇温されてから燃料電池スタック20に供給される。

#### 【0038】

制御部29は、温度センサT1によって燃料電池スタック20の暖機が完了したと判断すると、燃料電池スタック20と、例えば二次電池などの外部負荷とを電氣的に接続させる。これにより燃料電池スタック20は発電を開始する。燃料電池スタック20のカソード電極及びアノード電極では、前記の電極反応が進行する。

30

#### 【0039】

また、制御部29は、COセンサS1によって燃料ガス供給配管P2を流れる燃料ガスに含まれるCO濃度を監視する。制御部29は、COセンサS1の検出したCO濃度が予め設定した閾値を超えた場合に、燃料電池スタック20に炭素析出のおそれがあると判断する。

ちなみに、この閾値は、前記のCO濃度と燃料電池スタック20における炭素析出との関係について予め求めたマップによって決定され、制御部29は、このようなマップが格納されるメモリを参照することで前記の判断を行う。

40

#### 【0040】

制御部29は、前記の閾値を超えたと判断した場合には、エゼクタ60における前記の電磁ニードル弁（図示省略）の開度を調節する。具体的には、シフト反応器23に供給される水蒸気の量が増大するように電磁ニードル弁（図示省略）を開く。

これによりシフト反応器23における「 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 」で示されるシフト反応が十分に行われて、シフト反応器23内の残余のCOが消費される。これにより燃料電池スタック20に供給される燃料ガスに含まれるCO濃度が低減されて燃料電池スタック20における炭素析出が回避される。

50

## 【 0 0 4 1 】

また、排ガス還流配管 P 6 を流れる燃料排ガス（アノードオフガス）に含まれる未反応の水素、一酸化炭素、未改質の原燃料などが、再び部分酸化改質器 2 2 やシフト反応器 2 3 に供給されることで、燃料電池スタック 2 0 の発電効率が向上する。

## 【 0 0 4 2 】

また、制御部 2 9 は、発電量に応じて変化する燃料電池スタック 2 0 の温度を、温度センサ T 1 によって監視する。制御部 2 9 は、この燃料電池スタック 2 0 の温度に基づいて、前記の発電量に応じて必要な燃料ガス量を演算する。この演算は、燃料電池スタック 2 0 の温度と、必要な燃料ガス量との関係について予め求めたマップが格納されるメモリを参照することで行われる。

10

## 【 0 0 4 3 】

また、制御部 2 9 は、演算した燃料ガス量を生成する際にシフト反応器 2 3 で必要な水分量（水蒸気量）を演算する。この演算は、前記の部分酸化反応及びシフト反応の化学量論計算に基づいて行われる。

## 【 0 0 4 4 】

その一方で、制御部 2 9 は、湿度センサ S 2 によって排ガス還流配管 P 6 を流れる燃料排ガス（アノードオフガス）の水分量を求める。

この水分量に基づいて、制御部 2 9 は、シフト反応器 2 3 で必要な前記の水分量（水蒸気量）を確保するための、排ガス還流配管 P 6 における燃料排ガス（アノードオフガス）の流量を演算する。

20

## 【 0 0 4 5 】

制御部 2 9 は、演算した排ガス還流配管 P 6 における燃料排ガス（アノードオフガス）の流量となるように、エゼクタ 6 0 の電磁ニードル弁（図示省略）を開く。

これによりシフト反応器 2 3 におけるシフト反応が十分に行われて、燃料電池スタック 2 0 に供給される燃料ガスに含まれる CO 濃度が低減され、燃料電池スタック 2 0 における炭素析出が回避される。

## 【 0 0 4 6 】

本実施形態の燃料電池システム 1 0 A においては、燃料電池スタック 2 0 から排出されるアノードオフガスの流量 Q 1 に対する排ガス還流配管 P 6 の燃料排ガス（アノードオフガス）の流量 Q 2 の百分率（ $100 Q 2 / Q 1$ ）、つまりリターン率が 1 0 % ~ 3 0 % 程度に設定されることが望ましい。

30

## 【 0 0 4 7 】

なお、本実施形態における燃料電池スタック 2 0 の発電量の制御部 2 9 による演算は、前記のように、燃料電池スタック 2 0 の温度に基づいて行われているが、燃料電池スタック 2 0 の通常運転時における電流値や電圧値に基づいて行うこともできる。

## 【 0 0 4 8 】

（第 1 実施形態の変形例）

図 3 は、第 1 実施形態の変形例で使用される部分酸化改質器 2 2 とシフト反応器 2 3 の構成説明図である。

図 1 に示すように、部分酸化改質器 2 2 とシフト反応器 2 3 とは互いに隣接するように配置されている。

40

## 【 0 0 4 9 】

図 3 に示すように、部分酸化反応触媒 2 2 a を内蔵する部分酸化改質器 2 2 に、前記のように原燃料と酸化剤ガスとが供給されて改質ガスが生成する。この改質ガスは、改質ガス供給配管 P 1 を介してシフト反応触媒 2 3 b を内蔵するシフト反応器 2 3 に送られる。シフト反応器 2 3 では、前記のようにシフト反応が進行して生成した燃料ガスを送り出す。

## 【 0 0 5 0 】

この変形例においては、部分酸化改質器 2 2 に酸化剤ガスを供給する部分酸化用の酸化剤ガス供給流路 P 9（以下、POX 酸化剤ガス供給流路 P 9 という）が、シフト反応器 2

50

2 内でシフト反応触媒 2 3 b と熱的に接触するように（シフト反応触媒 2 3 b と熱交換可能に）配置されている。具体的には、内蔵されるシフト反応触媒 2 3 b の外側に隣接するように P O X 酸化剤ガス供給流路 P 9 が配置されている。

つまり、この変形例においては、P O X 酸化剤ガス供給流路 P 9 を通流する酸化剤ガス（空気）がシフト反応器 2 3 と熱交換してシフト反応器 2 3 を冷却可能なように、P O X 酸化剤ガス供給流路 P 9 がシフト反応器 2 3 に対して近接して配置されている。

#### 【0051】

このような変形例によれば、P O X 酸化剤ガス供給流路 P 9 を流れる部分酸化用酸化剤ガスによって、シフト反応触媒 2 3 b が冷却される。望ましくは 3 5 0 ~ 5 5 0 程度にシフト反応触媒 2 3 b の温度が設定される。これによりシフト反応器 2 3 でのシフト反応の進行が効率よく行われる。また、部分酸化用酸化剤ガスは、シフト反応触媒 2 3 b との熱交換によって昇温してから部分酸化改質器 2 2 に供給される。これにより部分酸化改質器 2 2 での部分酸化反応の進行が効率よく行われる。燃料電池スタック 2 0 における炭素析出は、第 1 実施形態と比較してさらに効果的に防止される。燃料電池スタック 2 0 の発電効率もさらに向上する。

#### 【0052】

（第 2 実施形態）

図 4 は、本発明の第 2 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 B の構成説明図である。

本実施形態において、前記の第 1 実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

#### 【0053】

図 4 に示すように、本実施形態の燃料電池システム 1 0 B は、第 1 実施形態での部分酸化改質器 2 2 （図 2 参照）とシフト反応器 2 3 （図 2 参照）とが一体に形成されて部分酸化改質・シフト反応複合器 2 6 を構成している。

この部分酸化改質・シフト反応複合器 2 6 は、1 つの筐体内に部分酸化反応触媒とシフト反応触媒とが内蔵され、改質ガス供給配管 P 1 （図 2 参照）が省略されている。

この第 2 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 B によれば、前記の第 1 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 A と同様の前記の作用効果を奏するとともに、システムのコンパクト化を図ることができる。

#### 【0054】

（第 3 実施形態）

図 5 は、本発明の第 3 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 C の構成説明図である。

本実施形態において、前記の第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

#### 【0055】

図 5 に示すように、本実施形態に係る燃料電池システム 1 0 C は、第 2 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 B （図 4 参照）と異なって、排ガス還流配管 P 6 （以下、第 1 の排ガス還流配管ということがある）とは別に、熱交換器 2 4 から排出される燃焼器排ガスをエゼクタ 6 0 に送り込む排ガス還流配管 P 7 （以下、第 2 の排ガス還流配管ということがある）が設けられている。

図 5 中、符号 V 1 , V 2 は、排ガス還流配管 P 6 , P 7 のそれぞれに設けられる電磁開閉弁である。なお、図 5 中、燃焼器排ガスにかっこ書きで添えられた「アノードオフガス」の文言は、燃焼器排ガスにアノードオフガスが含まれていることを意味している。

#### 【0056】

第 2 実施形態に係る燃料電池システム 1 0 B （図 4 参照）においては、燃料電池スタック 2 0 （図 4 参照）の暖機時には燃料電池スタック 2 0 での発電が行われない。つまり、水蒸気を含む燃料排ガス（アノードオフガス）のエゼクタ 6 0 への供給が行われないため、シフト反応器 2 3 でのシフト反応が進行せずに、暖機完了後と比べて一酸化炭素（C O ）リッチの燃料ガスが燃料電池スタック 2 0 に供給される。

#### 【0057】

10

20

30

40

50

これに対して本実施形態に係る燃料電池システム10Cでは、図5に示すように、燃料電池スタック20の暖機時に、水蒸気を含む燃焼器排ガスが排ガス還流配管P7を介してエゼクタ60に供給される。つまり、燃料電池スタック20の暖機時においても、部分酸化改質・シフト反応複合器26においてシフト反応が進行する。

【0058】

また、暖機完了後の燃料電池スタック20は、燃料電池スタック20の発電が可能となって、燃焼器25で発生した水蒸気と、アノードオフガスが含まれる水蒸気との両方を、部分酸化改質・シフト反応複合器26でのシフト反応に使用することができる。

【0059】

また、燃料電池システム10Cにおいては、制御部29が燃料電池スタック20の暖機時には電磁開閉弁V1を閉状態とし、電磁開閉弁V2を開状態とするように構成することもできる。そして燃料電池スタック20の暖機完了後には、制御部29が電磁開閉弁V1を開状態とし、電磁開閉弁V2を閉状態とするように構成することもできる。すなわち、この燃料電池システム10Cにおいては、燃料電池スタック20の暖機時には、燃焼器排ガスに含まれる水蒸気をシフト反応に使用し、燃料電池スタック20の暖機完了後には、アノードオフガスに含まれる水蒸気をシフト反応に使用する構成とすることができる。

10

【0060】

このような燃料電池システム10Cによれば、前記の第1実施形態に係る燃料電池システム10Aと同様の前記の作用効果を奏するとともに、燃料電池スタック20の暖機時においても燃料ガスに含まれるCO濃度を低減することができ、より確実に燃料電池スタック20内での炭素析出を防止することができる。

20

【0061】

(第4実施形態)

図6は、本発明の第4実施形態に係る燃料電池システム10Dの構成説明図である。

本実施形態において、前記の第1実施形態から第3実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

【0062】

図6に示すように、本実施形態に係る燃料電池システム10Dは、第3実施形態に係る燃料電池システム10C(図5参照)と異なって、第2の排ガス還流配管としての排ガス還流配管P7が第1の排ガス還流配管としての排ガス還流配管P6の延在途中に合流している。そして、この合流位置に電磁流路切換弁V3が配置されている。

30

【0063】

本実施形態に係る燃料電池システム10Dでは、制御部29が燃料電池スタック20の暖機時には燃焼器排ガスがエゼクタ60に通流するように電磁流路切換弁V3を設定し、燃料電池スタック20の暖機完了後には燃料排ガスがエゼクタ60に通流するように電磁流路切換弁V3を設定するように構成されている。なお、図6中、燃焼器排ガスにかっこ書きで添えられた「アノードオフガス」の文言は、燃焼器排ガスにアノードオフガスが含まれていることを意味している。

【0064】

このような燃料電池システム10Cによれば、前記の第3実施形態に係る燃料電池システム10Cと同様の前記の作用効果を奏するとともに、排ガス還流配管P7を短縮化することができるとともに、2つの電磁開閉弁V1, V2を単一の電磁流路切換弁V3に置き換えることができ、システムのコンパクト化を図ることができる。

40

【0065】

(第5実施形態)

図7は、本発明の第5実施形態に係る燃料電池システム10Eの構成説明図である。

本実施形態において、前記の第1実施形態から第4実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

【0066】

図7に示すように、本実施形態に係る燃料電池システム10Eは、第4実施形態に係る

50

燃料電池システム 10D (図 6 参照) と異なって、部分酸化改質・シフト反応複合器 26 (図 6 参照) を、部分酸化改質器 22 とシフト反応器 23 に分離する構成とした。また、燃料電池システム 10E は、第 1 実施形態に係る燃料電池システム 10A (図 2 参照) と異なって、エゼクタ 60 を部分酸化改質器 22 とシフト反応器 23 との間に配置した。なお、図 7 中、燃焼器排ガスにかっこ書きで添えられた「アノードオフガス」の文言は、燃焼器排ガスにアノードオフガスが含まれていることを意味している。

【0067】

この燃料電池システム 10E においては、水蒸気を含む燃焼器排ガス又は燃料排ガスをシフト反応器 23 の直ぐ上流側に送り込みことが可能となる。

【0068】

この燃料電池システム 10E によれば、第 4 実施形態に係る燃料電池システム 10D と同様の効果を奏するとともに、水蒸気が係わり合うシフト反応器 23 にダイレクトに送り込むことができるので、シフト反応がさらに効率よく進行する。これにより燃料ガスに含まれる CO 濃度を、より確実に低減することができ、燃料電池スタック 20 内での炭素析出がより確実に防止される。

【0069】

(第 6 実施形態)

図 8 は、本発明の第 6 実施形態に係る燃料電池システム 10F の構成説明図である。

本実施形態において、前記の第 1 実施形態から第 5 実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

【0070】

図 8 に示すように、本実施形態に係る燃料電池システム 10F は、第 1 実施形態に係る燃料電池システム 10A (図 2 参照) と異なって、シフト反応器 23 を省略している。

また、燃料電池システム 10F は、空気成分で構成される酸化剤排ガスが含まれる燃焼器排ガスをエゼクタ 60 に送り込む排ガス還流配管 P7 を備えている。

【0071】

この燃料電池システム 10F においては、第 1 実施形態に係る燃料電池システム 10A と同様に、制御部 29 は、CO センサ S1 の検出した CO 濃度が予め設定した閾値を超えた場合に、燃料電池スタック 20 に炭素析出のおそれがあると判断する。

制御部 29 は、前記の閾値を超えたと判断した場合には、エゼクタ 60 における前記の電磁ニードル弁 (図示省略) の開度を調節する。具体的には、燃料電池スタックに供給される燃料ガスに含まれる CO 濃度が低減するように、燃焼器排ガスをエゼクタ 60 に送り込む。このように燃料ガスに含まれる CO 濃度が低減されることで、燃料電池スタック 20 における炭素析出が回避される。

【0072】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は前記した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変更することができる。

前記実施形態に係る燃料電池システム 10A ~ 10F は、定置型のものを想定しているが、船舶などの移動体に使用することもできる。

また、前記実施形態に係る燃料電池システム 10A ~ 10F は、原燃料として、都市ガス、LPG などの炭化水素を含むものを想定しているが、炭素原子と水素原子とを含み所定温度で気化が可能な他の化合物 (例えば、アルコールなどの低分子量有機化合物) を原燃料として使用することもできる。

また、前記実施形態に係る燃料電池システム 10A ~ 10F は、固体酸化物型燃料電池を構成要素とするものを想定しているが、固体高分子型、熔融炭酸塩型、リン酸型などの他の燃料電池を構成要素とすることもできる。この場合、各種燃料電池の電極反応に応じて、水分含有のオフガスがシフト反応器に還流されることとなる。

【実施例】

【0073】

次に、本発明の燃料電池システムにおける作用効果を検証した実施例について以下に説

10

20

30

40

50

明する。

この実施例では、第1実施形態に係る燃料電池システム10A(図2参照)の燃料電池スタック20における炭素析出開始温度について検証した。

【0074】

この実施例では、燃料電池スタック20から排出されるアノードオフガスの流量 $Q_1$ に対する排ガス還流配管P6の燃料排ガス(アノードオフガス)の流量 $Q_2$ の百分率( $100Q_2/Q_1$ )で規定されるリターン率を20%、30%及び40%に設定した。そして、それぞれのリターン率における炭素析出( $2CO + CO_2 + C$ )の化学平衡計算を行って、各リターン率における炭素析出開始温度を算出した。

【0075】

その結果を図9に示す。図9は、リターン率を20%、30%及び40%に設定した際の炭素析出開始温度 $T_{20}$ 、 $T_{30}$ 、 $T_{40}$ を示すグラフである。グラフの縦軸は炭素モル分率であり、横軸は反応温度である。

【0076】

図9に示すように、リターン率が20%、30%及び40%へと増加するにしたがって、炭素析出開始温度が $T_{20}$ 、 $T_{30}$ 、及び $T_{40}$ へと低下していることが確認された。つまり、第1実施形態に係る燃料電池システム10A(図2参照)では、リターン率が増加するほど、より低い温度で燃料電池スタック20に炭素を析出させることなく運転できることが検証された。

【0077】

また、この実施例では、第1実施形態に係る燃料電池システム10A(図2参照)において、リターン率を10%、20%及び30%にそれぞれ設定した際の燃料電池スタック20の発電効率を算出した。

【0078】

その結果を図10に示す。図10は、リターン率を10%、20%及び30%に設定した際の発電効率を示すグラフである。グラフの縦軸は燃料電池スタック20の発電効率であり、横軸は燃料ガスの利用率である。

図10に示すように、リターン率が10%、20%及び30%へと増加するにしたがって、発電効率が増加することが確認された。

【0079】

また、この実施例では、第1実施形態に係る燃料電池システム10A(図2参照)のシフト反応器23(図2参照)におけるシフト反応の温度依存性について検証された。具体的には、シフト反応器23(図2参照)における温度と、このシフト反応器23でのシフト反応後のCO濃度と水素濃度とが算出された。

【0080】

その結果を図11に示す。図11は、シフト反応器23の温度と、シフト反応後のCO濃度及び水素濃度との関係を示すグラフである。グラフの左縦軸はCO濃度[%]であり、グラフの右縦軸は水素( $H_2$ )濃度[%]である。また、図11には、シフト反応前のCO濃度と水素( $H_2$ )濃度とを点線で示している。

【0081】

図11に示すように、シフト反応後の水素( $H_2$ )濃度は、シフト反応器23の温度が上昇するに従って上昇する傾向にあった。したがって、燃料電池スタック20に供給される水素( $H_2$ )濃度のみに着目すると、シフト反応器23の温度は高いほうが望ましい。

【0082】

一方、シフト反応後のCO濃度は、所定の温度まではシフト反応器23の温度が上昇するに従って低下するものの、この所定の温度を超えると逆に上昇することが判明した。そして、燃料電池スタック20での炭素析出を防止する燃料ガス中のCO濃度を考慮すると、シフト反応器23の温度は、350 から550 の範囲が望ましいことが確認された。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

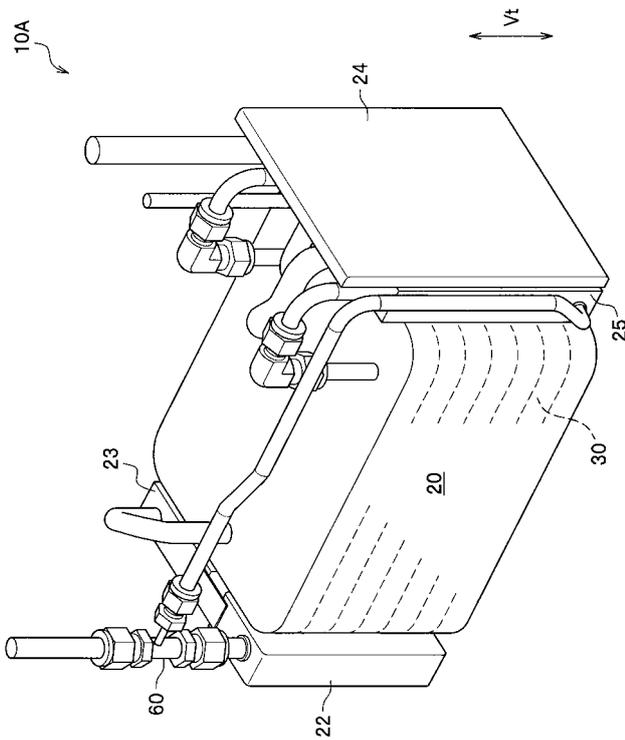
【 0 0 8 3 】

- 1 0 A ~ 1 0 F 燃料電池システム
- 2 0 燃料電池スタック
- 2 2 部分酸化改質器
- 2 3 シフト反応器
- 2 4 熱交換器
- 2 5 燃焼器
- 2 9 制御部
- 3 0 燃料電池
- 5 0 原燃料供給配管
- 6 0 エゼクタ
- P 1 改質ガス供給配管
- P 2 燃料ガス供給配管
- P 3 酸化剤ガス供給配管
- P 4 アノードオフガス出口配管
- P 5 原燃料供給配管
- P 6 排ガス還流配管 (第1の排ガス還流配管)
- P 7 排ガス還流配管 (第2の排ガス還流配管)
- P 9 酸化剤ガス供給流路 (酸化剤ガス供給流路)
- S 1 一酸化炭素濃度センサ
- S 2 湿度センサ
- T 1 温度センサ

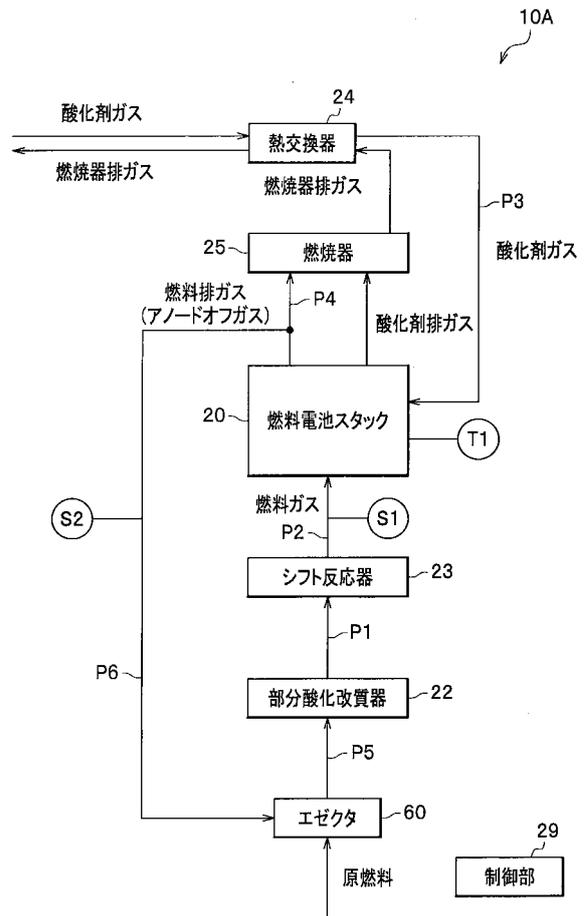
10

20

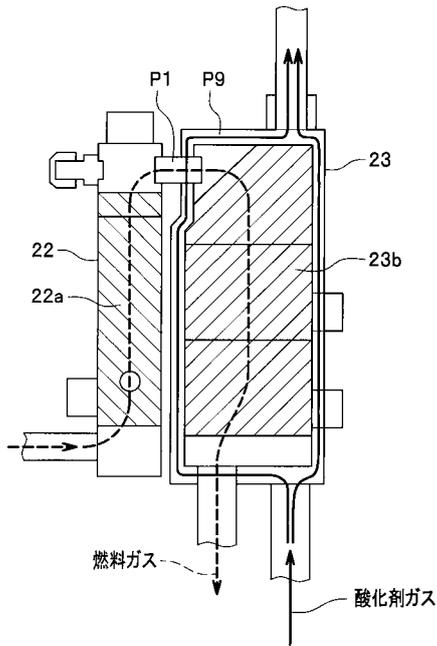
【 図 1 】



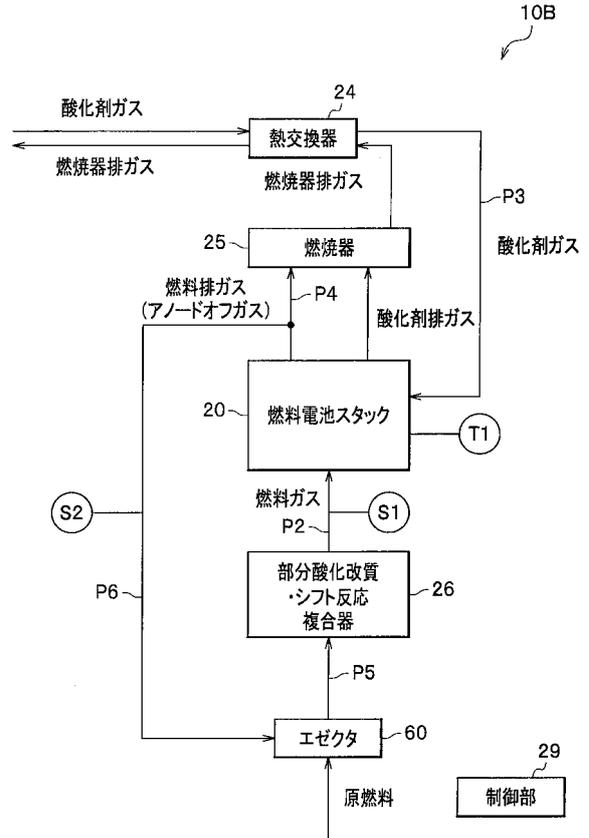
【 図 2 】



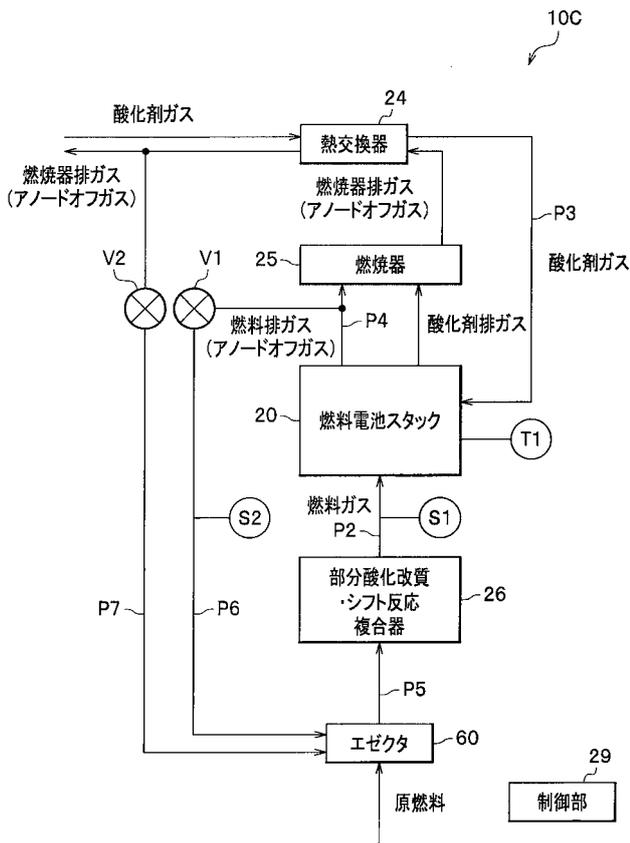
【 図 3 】



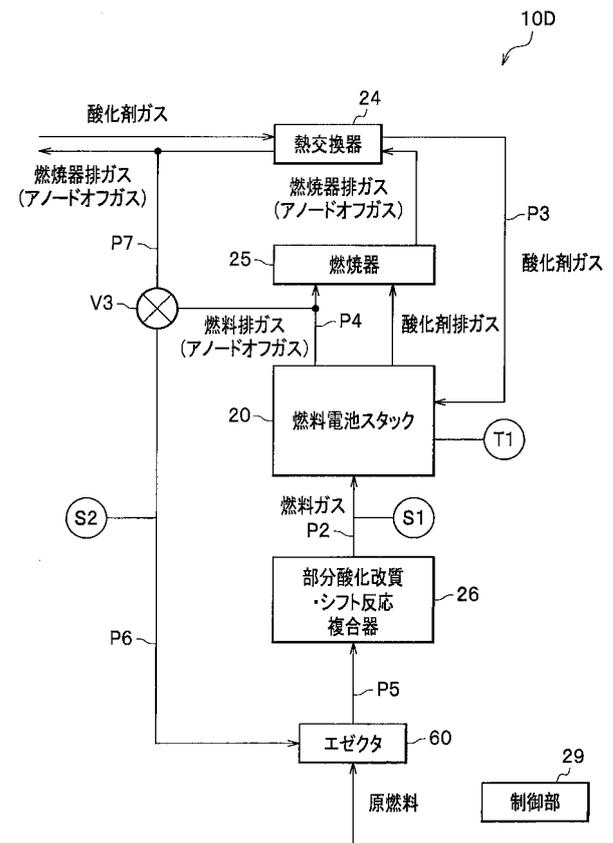
【 図 4 】



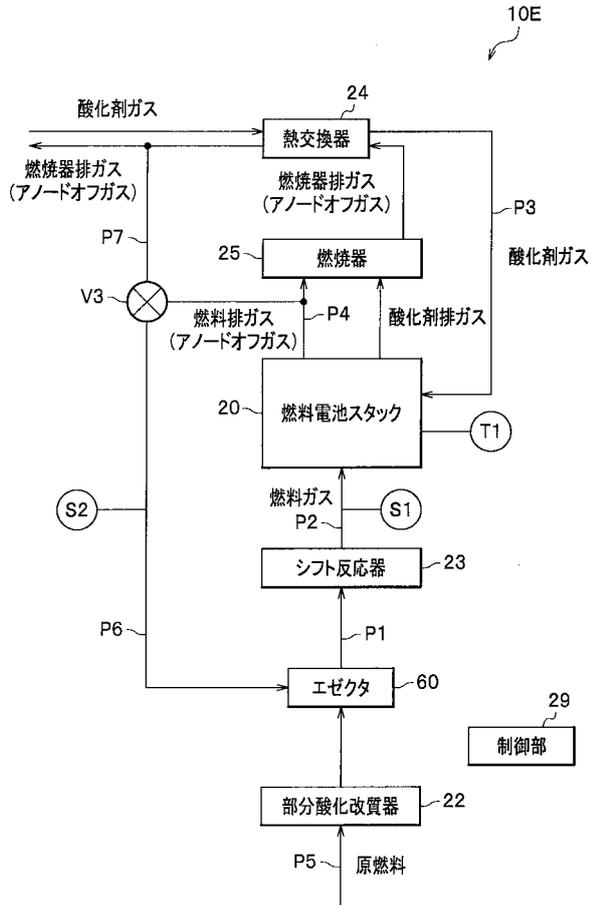
【 図 5 】



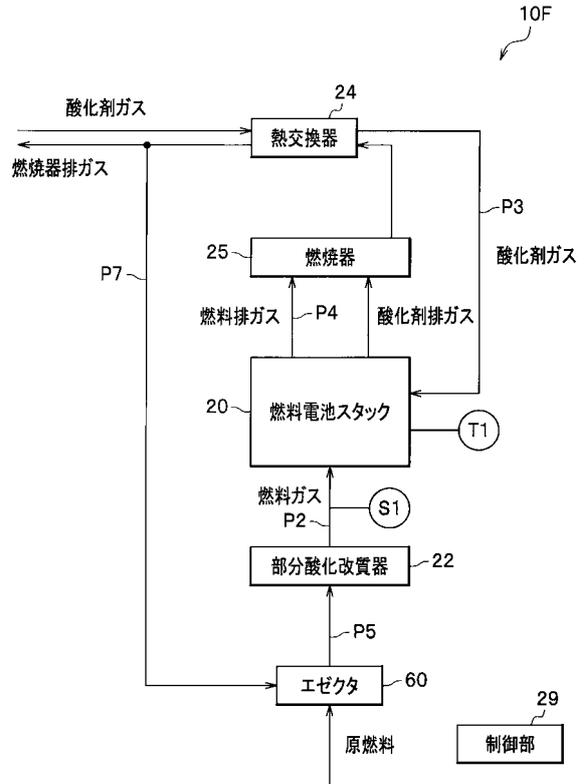
【 図 6 】



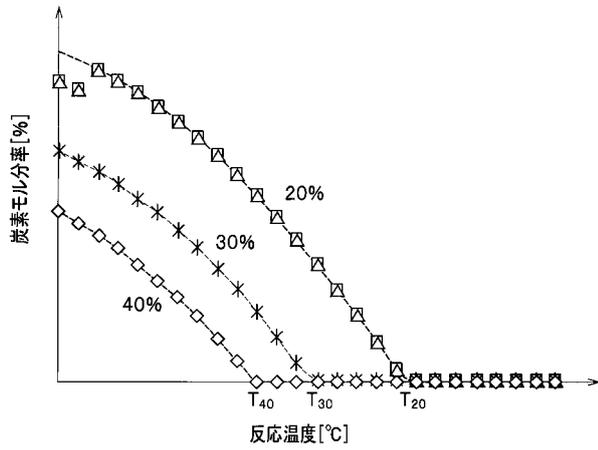
【 図 7 】



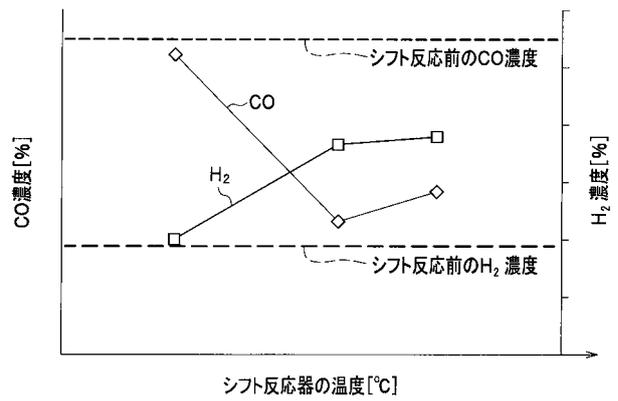
【 図 8 】



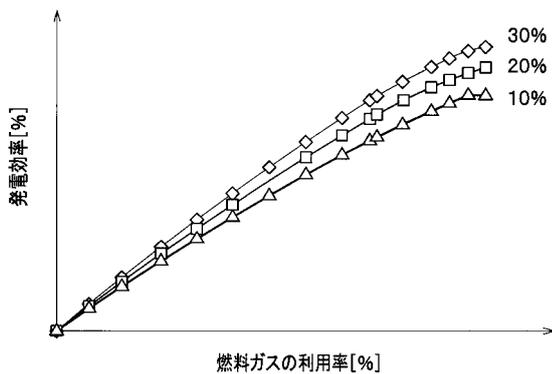
【 図 9 】



【 図 1 1 】



【 図 1 0 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

C 0 1 B 3/48

(72)発明者 本間 弘樹

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

Fターム(参考) 4G140 EA03 EA07 EA09 EB03 EB33 EB44

5H026 AA06

5H126 BB06

5H127 AA07 AB29 AC02 BA01 BA05 BA12 BA19 BA37 BA57 BA58

BA59 BB02 BB12 BB27 BB37 EE02 EE12 EE15