

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

燃料ガスと酸化剤ガスとの電気化学反応により発電する燃料電池を複数積層した燃料電池スタックと、

炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合ガスを改質し、前記燃料電池スタックに供給される前記燃料ガスを生成する改質器と、

水を蒸発させるとともに、水蒸気を前記改質器に供給する蒸発器と、

燃焼ガスとの熱交換により前記酸化剤ガスを昇温させるとともに、前記燃料電池スタックに前記酸化剤ガスを供給する熱交換器と、

前記燃料電池スタックから排出される前記燃料ガスである燃料排ガスと前記酸化剤ガスである酸化剤排ガスを燃焼させ、前記燃焼ガスを発生させる排ガス燃焼器と、

前記原燃料と前記酸化剤ガスを燃焼させて前記燃焼ガスを発生させる起動用燃焼器と

を備える燃料電池モジュールであって、

前記燃料電池スタックから排出される前記燃料排ガスを、前記排ガス燃焼器に供給する燃料排ガス通路と、

前記燃料排ガス通路から分岐し、前記燃料排ガスを前記改質器の上流側に供給する燃料排ガス分岐通路と、

を備えることを特徴とする燃料電池モジュール。

【請求項 2】

請求項 1 記載の燃料電池モジュールにおいて、前記燃料排ガス通路と前記燃料排ガス分岐通路との境界部位には、前記燃料排ガスを前記燃料排ガス通路と前記燃料排ガス分岐通路とに分配して供給するための燃料排ガス調整弁が配設されることを特徴とする燃料電池モジュール。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の燃料電池モジュールにおいて、前記燃料排ガス通路に沿って前記排ガス燃焼器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_1 は、前記燃料排ガス分岐通路に沿って前記改質器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_2 よりも大きく設定されることを特徴とする燃料電池モジュール。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の燃料電池モジュールにおいて、前記燃料排ガス通路に沿って前記排ガス燃焼器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_1 と、前記燃料排ガス分岐通路に沿って前記改質器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_2 とは、 $W_1 / W_2 = 1.0$ に設定されることを特徴とする燃料電池モジュール。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の燃料電池モジュールにおいて、前記改質器は、水蒸気改質器であることを特徴とする燃料電池モジュール。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の燃料電池モジュールにおいて、前記燃料電池モジュールは、固体酸化物形燃料電池モジュールであることを特徴とする燃料電池モジュール

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料ガスと酸化剤ガスとの電気化学反応により発電する燃料電池を複数積層した燃料電池スタックを備える燃料電池モジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

通常、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は、固体電解質に酸化物イオン導電体、例えば、安定化ジルコニアを用いており、この固体電解質の両側にアノード電極及びカソード

10

20

30

40

50

電極を配設した電解質・電極接合体（以下、MEAともいう）を、セパレータ（バイポーラ板）によって挟持している。この燃料電池は、通常、電解質・電極接合体とセパレータとが所定数だけ積層された燃料電池スタックとして使用されている。

【0003】

燃料電池は、燃料ガスと酸化剤ガスとの電気化学反応により発電するものである。燃料ガス及び酸化剤ガスは、通常、発電に必要な量以上の流量が供給されている。このため、特に燃料ガスでは、未使用の燃料ガスが排ガスとして排出される場合があり、経済的ではないという問題がある。

【0004】

そこで、例えば、特許文献1に開示されている固体電解質型燃料電池システムが知られている。この燃料電池システムは、図11に示すように、燃料、酸素及び水から水素リッチな改質ガスを生成する改質器1aと、複数の電池ユニットUを積層したスタック構造体SKを備えており、前記スタック構造体SKの各電池ユニットUに改質ガスと空気を供給して発電するように構成されている。

10

【0005】

燃料電池システムは、さらに改質器1aからスタック構造体SKに供給される改質ガスを冷却する改質ガス冷却手段Aと、前記スタック構造体SKの温度を制御する温度制御手段Bと、前記改質器1aから前記改質ガス冷却手段Aをバイパスして該スタック構造体SKに至る改質ガス分配手段Cとを備えている。

【0006】

改質器1aは、スタック構造体SKにおける各電池ユニットUの燃料極に改質ガスを供給する改質ガス供給路2aを備えるとともに、燃料の気化器3aを備えている。電池ユニットUの単セルを構成する燃料極4aには、改質ガス排出路5aが連結しており、この改質ガス排出路5aには、切替バルブ6aを介して改質器1aの気化器3aに至る改質ガスリターン路7aが連結されている。すなわち、気化器3aは、燃料の気化の熱源の一部としてスタック構造体SKから排出された改質ガスを用いている。

20

【0007】

また、特許文献2に開示されている燃料電池システムでは、図12に示すように、発電を行う燃料電池スタック1bと、この燃料電池スタック1bに燃料ガスを供給する燃料供給系と、前記燃料電池スタック1bに酸化剤ガス（空気）を供給する空気供給系とを備えている。

30

【0008】

燃料供給系は、水素供給流路2b、エゼクタ3b、アノード排ガス排気流路4b及び水素循環流路5bを有している。そして、図示しない水素供給源から供給される水素ガスが、水素供給流路2b及びエゼクタ3bを通過して燃料電池スタック1bのアノード極6bに供給されるように構成されている。

【0009】

燃料電池スタック1bでは、供給された水素ガスが全て消費されるわけではない。残った水素ガス（燃料電池スタック1bのアノード極6bから排出される水素ガス）は、水素循環流路5bを通過してエゼクタ3bにより循環され、新たに供給される水素ガスと混合されて、再び燃料電池スタック1bのアノード極6bに供給されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2009-140733号公報

【特許文献2】特開2004-199931号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、上記の特許文献1では、改質器1aは、オートサーマル改質を行うため

50

、スタック内で吸熱反応が発生することがない。従って、スタック内が過熱状態になり易いという問題がある。しかも、燃料極 4 a からの高温の燃料排ガスは、改質ガスリターン路 7 a を通って気化器 3 a に供給されているが、この気化器 3 a の作動温度が低いため、熱源のロスが大きくなり、経済的ではないという問題がある。

【 0 0 1 2 】

また、上記の特許文献 2 では、アノード極 6 b から排出される水素ガスをエゼクタ 3 b により循環させることにより、アノード排ガス（燃料排ガス）を前記水素ガスとして使用することが可能になる。その際、循環される水素ガスには、不純物が混在し易く、該不純物の濃度が上昇した際に、流路内のアノード排ガスをパージする必要がある。このため、アノード極 6 b から排出される排ガスを有効且つ効率的に活用することができないという問題がある。

10

【 0 0 1 3 】

本発明は、この種の問題を解決するものであり、燃料排ガスを有効利用するとともに、急激な負荷増加時にも、燃料枯渇を抑制することができ、しかも発電効率の向上を図ることが可能な燃料電池モジュール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】

【 0 0 1 4 】

本発明は、燃料ガスと酸化剤ガスとの電気化学反応により発電する燃料電池を複数積層した燃料電池スタックと、炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合ガスを改質し、前記燃料電池スタックに供給される前記燃料ガスを生成する改質器と、水を蒸発させるとともに、水蒸気を前記改質器に供給する蒸発器と、燃焼ガスとの熱交換により前記酸化剤ガスを昇温させるとともに、前記燃料電池スタックに前記酸化剤ガスを供給する熱交換器と、前記燃料電池スタックから排出される前記燃料ガスである燃料排ガスと前記酸化剤ガスである酸化剤排ガスを燃焼させ、前記燃焼ガスを発生させる排ガス燃焼器と、前記原燃料と前記酸化剤ガスを燃焼させて前記燃焼ガスを発生させる起動用燃焼器とを備える燃料電池モジュールに関するものである。

20

【 0 0 1 5 】

そして、この燃料電池モジュールでは、燃料電池スタックから排出される燃料排ガスを、排ガス燃焼器に供給する燃料排ガス通路と、前記燃料排ガス通路から分岐し、前記燃料排ガスを改質器の上流側に供給する燃料排ガス分岐通路とを備えている。

30

【 0 0 1 6 】

また、この燃料電池モジュールでは、燃料排ガス通路と燃料排ガス分岐通路との境界部位には、燃料排ガスを前記燃料排ガス通路と前記燃料排ガス分岐通路とに分配して供給するための燃料排ガス調整弁が配設されることが好ましい。このため、改質器に供給される燃料排ガスの流量を緻密に制御することができ、特に急激な負荷増加時にも、改質反応の遅延による燃料枯渇を抑制することが可能になるとともに、前記改質器の耐久性が向上する。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

【 0 0 1 7 】

さらに、この燃料電池モジュールでは、燃料排ガス通路に沿って排ガス燃焼器に供給される燃料排ガスの流量 W_1 は、燃料排ガス分岐通路に沿って改質器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_2 よりも大きく設定されることが好ましい。従って、改質器への燃料排ガス供給量が、排ガス燃焼器への燃料排ガス供給量に比べて過多になることがなく、熱自立運転が確実に遂行される。ここで、熱自立とは、外部から熱を加えることなく自ら発生する熱のみで燃料電池の動作温度を維持することをいう。

40

【 0 0 1 8 】

さらにまた、この燃料電池モジュールでは、燃料排ガス通路に沿って排ガス燃焼器に供給される燃料排ガスの流量 W_1 と、燃料排ガス分岐通路に沿って改質器に供給される前記燃料排ガスの流量 W_2 とは、流量 $W_1 / 流量 W_2 = 1.0$ に設定されることが好ましい。これにより、改質器への燃料排ガス供給量が、排ガス燃焼器への燃料排ガス供給量に比べて過多になることがなく、熱自立運転が確実に遂行される。

50

【0019】

また、この燃料電池モジュールでは、改質器は、水蒸気改質器であることが好ましい。このため、急激な負荷増加の際、水蒸気改質の吸熱反応に即応することが可能になり、燃料枯渇を抑制することができ、耐久性の向上が図られる。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

【0020】

さらに、この燃料電池モジュールは、固体酸化物形燃料電池モジュールであることが好ましい。従って、特にSOFC等の高温型燃料電池に最適である。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、燃料排ガスは、排ガス燃焼器と改質器とに分配供給されている。このため、急激な負荷増加の際、水蒸気改質の吸熱反応に即応することが可能になり、燃料枯渇を抑制することができ、耐久性の向上が図られる。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

10

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る燃料電池システムの概略構成説明図である。

【図2】前記燃料電池システムを構成するFC周辺機器の概略斜視説明図である。

【図3】前記FC周辺機器の要部斜視説明図である。

【図4】前記FC周辺機器の要部分解斜視説明図である。

20

【図5】前記FC周辺機器を構成する改質器の一部断面正面図である。

【図6】前記FC周辺機器を構成する熱交換器及び排ガス燃焼器の一部断面正面図である。

【図7】前記FC周辺機器を構成する起動用燃焼器の一部断面側面図である。

【図8】前記燃料電池システムの動作を説明するフローチャートである。

【図9】前記燃料電池システムを構成する燃料排ガス調整弁の開度と運転出力とのマップである。

【図10】本発明の第2の実施形態に係る燃料電池システムの概略構成説明図である。

【図11】特許文献1に開示されている燃料電池システムの概略説明図である。

【図12】特許文献2に開示されている燃料電池システムの概略説明図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0023】

図1に示すように、本発明の第1の実施形態に係る燃料電池システム10は、定置用の他、車載用等の種々の用途に用いられている。

【0024】

燃料電池システム10は、燃料ガス（水素ガスにメタン、一酸化炭素が混合した気体）と酸化剤ガス（空気）との電気化学反応により発電する燃料電池モジュール（SOFCモジュール）12と、前記燃料電池モジュール12に原燃料（例えば、都市ガス）を供給する原燃料供給装置（燃料ガスポンプを含む）14と、前記燃料電池モジュール12に前記酸化剤ガスを供給する酸化剤ガス供給装置（空気ポンプを含む）16と、前記燃料電池モジュール12に水を供給する水供給装置（水ポンプを含む）18と、前記燃料電池モジュール12の発電量を制御する制御装置20とを備える。

40

【0025】

燃料電池モジュール12は、複数の固体酸化物形の燃料電池22が鉛直方向（又は水平方向）に積層される固体酸化物形の燃料電池スタック24を備える。燃料電池22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26の両面に、カソード電極28及びアノード電極30が設けられた電解質・電極接合体（MEA）32を備える。

【0026】

電解質・電極接合体32の両側には、カソード側セパレータ34とアノード側セパレー

50

タ 3 6 とが配設される。カソード側セパレータ 3 4 には、カソード電極 2 8 に酸化剤ガスを供給する酸化剤ガス流路 3 8 が形成されるとともに、アノード側セパレータ 3 6 には、アノード電極 3 0 に燃料ガスを供給する燃料ガス流路 4 0 が形成される。なお、燃料電池 2 2 としては、従来より使用されている種々の S O F C を用いることができる。

【 0 0 2 7 】

燃料電池スタック 2 4 には、各酸化剤ガス流路 3 8 の入口側に一体に連通する酸化剤ガス入口連通孔 4 2 a、前記酸化剤ガス流路 3 8 の出口側に一体に連通する酸化剤ガス出口連通孔 4 2 b、各燃料ガス流路 4 0 の入口側に一体に連通する燃料ガス入口連通孔 4 4 a、及び前記燃料ガス流路 4 0 の出口側に一体に連通する燃料ガス出口連通孔 4 4 b とが設けられる。

10

【 0 0 2 8 】

燃料電池モジュール 1 2 は、炭化水素を主体とする原燃料（例えば、都市ガス）と水蒸気との混合ガスを改質し、燃料電池スタック 2 4 に供給される燃料ガスを生成する改質器 4 6 と、水を蒸発させるとともに、水蒸気を前記改質器 4 6 に供給する蒸発器 4 8 と、燃焼ガスとの熱交換により酸化剤ガスを昇温させるとともに、前記燃料電池スタック 2 4 に前記酸化剤ガスを供給する熱交換器 5 0 と、前記燃料電池スタック 2 4 から排出される前記燃料ガスである燃料排ガスと前記酸化剤ガスである酸化剤排ガスを燃焼させ、前記燃焼ガスを発生させる排ガス燃焼器 5 2 と、前記原燃料と前記酸化剤ガスを燃焼させて前記燃焼ガスを発生させる起動用燃焼器 5 4 とを備える。

【 0 0 2 9 】

20

燃料電池モジュール 1 2 は、基本的には、燃料電池スタック 2 4 と F C 周辺機器 5 6 とにより構成される。この F C 周辺機器 5 6 は、改質器 4 6、蒸発器 4 8、熱交換器 5 0、排ガス燃焼器 5 2 及び起動用燃焼器 5 4 を備えるとともに、後述するように、前記改質器 4 6、前記熱交換器 5 0、前記排ガス燃焼器 5 2 及び前記起動用燃焼器 5 4 間には、排ガス用の配管を設けていない。

【 0 0 3 0 】

F C 周辺機器 5 6 では、熱交換器 5 0 内には、排ガス燃焼器 5 2 が一体に設けられるとともに、起動用燃焼器 5 4 は、前記熱交換器 5 0 の一端に隣接して設けられる。改質器 4 6 は、熱交換器 5 0 の他端に隣接して設けられる。

【 0 0 3 1 】

30

図 2 ~ 図 4 に示すように、熱交換器 5 0 は、立位姿勢に配置されており、後述するように、酸化剤ガスを鉛直下方向から鉛直上方向に流通させる。改質器 4 6 は、立位姿勢に配置されており、改質ガスを鉛直下方向から鉛直上方向に流通させる。熱交換器 5 0 の一方の側部（一端）には、起動用燃焼器 5 4 が直接装着されるとともに、前記熱交換器 5 0 の他方の側部（他端）には、改質器 4 6 が直接装着される。改質器 4 6、熱交換器 5 0（排ガス燃焼器 5 2 を含む）及び起動用燃焼器 5 4 は、水平方向（矢印 A 方向）に積層される。

【 0 0 3 2 】

図 2 に示すように、熱交換器 5 0 及び改質器 4 6 の下方には、蒸発器 4 8 と、都市ガス（原燃料）中に含まれる硫黄化合物を除去するための脱硫器 5 8 とが配設される。

40

【 0 0 3 3 】

改質器 4 6 は、都市ガス（原燃料）中に含まれるエタン（ C_2H_6 ）、プロパン（ C_3H_8 ）及びブタン（ C_4H_{10} ）等の高級炭化水素（ C_{2+} ）を、主としてメタン（ CH_4 ）、水素、CO を含む燃料ガスに水蒸気改質するための予備改質器であり、数百 の作動温度に設定される。

【 0 0 3 4 】

燃料電池 2 2 は、作動温度が数百 と高温であり、アノード電極 3 0 では、燃料ガス中のメタンが改質されて水素、CO が得られ、この水素、CO が電解質 2 6 の前記アノード電極 3 0 側に供給される。

【 0 0 3 5 】

50

図 1 に示すように、脱硫器 5 8 の入口には、原燃料供給装置 1 4 を構成する原燃料通路 6 0 a が接続されるとともに、前記脱硫器 5 8 の出口には、原燃料供給路 6 0 b が接続される。この原燃料供給路 6 0 b は、改質器 4 6 の改質ガス供給室 6 2 a に接続される。

【 0 0 3 6 】

図 3 及び図 5 に示すように、改質ガス供給室 6 2 a は、複数の改質管路 6 4 の下端側に連通するとともに、前記改質管路 6 4 の上端側に改質ガス排出室 6 2 b が連通する。改質ガス排出室 6 2 b には、燃料ガス通路 6 6 の一端が連通するとともに、前記燃料ガス通路 6 6 の他端が燃料電池スタック 2 4 の燃料ガス入口連通孔 4 4 a に連通する（図 1 参照）。各改質管路 6 4 には、改質用にペレット状の触媒（図示せず）が充填されている。

【 0 0 3 7 】

各改質管路 6 4 間には、加熱空間 6 8 が形成される。この加熱空間 6 8 には、排ガス配管 7 0 a の一端が開口される一方、図 1 に示すように、前記排ガス配管 7 0 a の他端は、蒸発器 4 8 の加熱路 7 2 の入口に接続される。蒸発器 4 8 の加熱路 7 2 の出口には、排気配管 7 0 b が接続される。

【 0 0 3 8 】

蒸発器 4 8 の入口には、水供給装置 1 8 を構成する水通路 7 4 a が接続され、この水通路 7 4 a を流通する水は、加熱路 7 2 に沿って流通する排ガスにより加熱され、水蒸気が発生する。蒸発器 4 8 の出口には、水蒸気通路 7 4 b の一端が接続されるとともに、前記水蒸気通路 7 4 b の他端は、原燃料供給路 6 0 b に対して脱硫器 5 8 の下流の位置に合流する。

【 0 0 3 9 】

図 4 及び図 6 に示すように、熱交換器 5 0 は、下部側に酸化剤ガス供給室 7 6 a が設けられるとともに、上部側に酸化剤ガス排出室 7 6 b が設けられる。酸化剤ガス供給室 7 6 a と酸化剤ガス排出室 7 6 b とには、複数の酸化剤ガス管路 7 8 の両端が連通する。

【 0 0 4 0 】

酸化剤ガス供給室 7 6 a には、第 1 酸化剤ガス供給路 8 0 a の一端が配設される。酸化剤ガス排出室 7 6 b には、酸化剤ガス通路 8 2 の一端が配設されるとともに、前記酸化剤ガス通路 8 2 の他端は、燃料電池スタック 2 4 の酸化剤ガス入口連通孔 4 2 a に接続される（図 1 参照）。

【 0 0 4 1 】

熱交換器 5 0 の内部には、複数の酸化剤ガス管路 7 8 が収容された空間からなるとともに、排ガス燃焼器 5 2 を構成する燃焼室 8 4 が形成される。燃焼室 8 4 は、燃料ガス（具体的には、燃料排ガス）と酸化剤ガス（具体的には、酸化剤排ガス）との燃焼反応により、酸化剤ガスを昇温させる熱源として機能する。

【 0 0 4 2 】

燃焼室 8 4 には、酸化剤ガス排出室 7 6 b 側から酸化剤排ガス通路 8 6 の一端と燃料排ガス通路 8 8 の一端とが配置される。図 1 に示すように、酸化剤排ガス通路 8 6 の他端は、燃料電池スタック 2 4 の酸化剤ガス出口連通孔 4 2 b に接続されるとともに、燃料排ガス通路 8 8 の他端は、前記燃料電池スタック 2 4 の燃料ガス出口連通孔 4 4 b に接続される。

【 0 0 4 3 】

燃料排ガス通路 8 8 から燃料排ガス分岐通路 8 8 a が分岐する。燃料排ガス分岐通路 8 8 a は、原燃料供給路 6 0 b に対して改質ガス供給室 6 2 a の近傍位置に合流する。燃料排ガス通路 8 8 と燃料排ガス分岐通路 8 8 a との境界部位には、燃料排ガスを前記燃料排ガス通路 8 8 と前記燃料排ガス分岐通路 8 8 a とに分配して供給するための燃料排ガス調整弁 8 9 が配設される。

【 0 0 4 4 】

燃料排ガス通路 8 8 に沿って排ガス燃焼器 5 2 に供給される燃料排ガスの流量 W_1 は、燃料排ガス分岐通路 8 8 a に沿って改質器 4 6 に供給される前記燃料排ガスの流量 W_2 よりも大きく設定される。具体的には、 $W_1 / W_2 = 1.0$ に設定される。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

図 4 に示すように、改質器 4 6 と熱交換器 5 0 との間には、壁板（壁部）9 0 が配設される。改質器 4 6 のフランジ部 9 2 と熱交換器 5 0 のフランジ部 9 4 との間に、壁板 9 0 が挟持されるとともに、これらが複数のボルト 9 6 及びナット 9 7 により一体的に固定される。壁板 9 0 には、熱交換器 5 0 の燃焼室 8 4 に発生した燃焼ガスを、改質器 4 6 の加熱空間 6 8 に供給するための開口部 9 8 が形成される。

【 0 0 4 6 】

図 7 に示すように、起動用燃焼器 5 4 は、内部ケーシング 1 0 0 を介して燃焼室 1 0 2 が形成されるとともに、前記内部ケーシング 1 0 0 の外方には、前記燃焼室 1 0 2 を冷却するための冷却通路 1 0 4 が形成される。冷却通路 1 0 4 の上部には、酸化剤ガス供給装置 1 6 を構成する第 1 酸化剤ガス通路 1 0 6 a が接続される一方、前記冷却通路 1 0 4 の下部には、第 2 酸化剤ガス通路 1 0 6 b が接続される（図 1 参照）。

10

【 0 0 4 7 】

燃焼室 1 0 2 は、排ガス燃焼器 5 2 を構成する燃焼室 8 4 に対応して矩形状の火炎領域 S が設定される（図 4 参照）。この燃焼室 1 0 2 には、予混合燃料通路 1 0 8 が接続されるとともに、前記予混合燃料通路 1 0 8 には、図 1 に示すように、第 2 酸化剤ガス供給路 8 0 b と原燃料分岐通路 1 1 0 とが接続される。図 4 に示すように、起動用燃焼器 5 4 と熱交換器 5 0 とは、それぞれに設けられたフランジ部 9 2、9 4 が複数のボルト 9 6 及びナット 9 7 により一体的に固定される。

【 0 0 4 8 】

図 1 に示すように、酸化剤ガス供給装置 1 6 は、酸化剤ガスを第 2 酸化剤ガス通路 1 0 6 b から熱交換器 5 0 と起動用燃焼器 5 4 とに、すなわち、第 1 酸化剤ガス供給路 8 0 a と第 2 酸化剤ガス供給路 8 0 b とに、分配する酸化剤ガス用調整弁 1 1 2 を備える。

20

【 0 0 4 9 】

原燃料供給装置 1 4 は、原燃料を改質器 4 6 と起動用燃焼器 5 4 とに、すなわち、原燃料供給路 6 0 b と原燃料分岐通路 1 1 0 とに、分配する原燃料用調整弁 1 1 4 を備える。

【 0 0 5 0 】

制御装置 2 0 は、少なくとも燃料電池スタック 2 4 の温度、改質器 4 6 の温度又は蒸発器 4 8 の温度のいずれかに基づいて、酸化剤ガス用調整弁 1 1 2 を制御する酸化剤ガス分配制御部 1 1 6 と、原燃料用調整弁 1 1 4 を制御する原燃料分配制御部 1 1 8 とを備える。

30

【 0 0 5 1 】

このように構成される燃料電池システム 1 0 の動作について、図 8 のフローチャートに沿って、以下に説明する。

【 0 0 5 2 】

燃料電池システム 1 0 の起動時には、先ず、燃料排ガス調整弁 8 9 が操作されて燃料排ガス分岐通路 8 8 a が閉塞され、燃料排ガスが前記燃料排ガス分岐通路 8 8 a を流通することを規制する（ステップ S 1）。次いで、ステップ S 2 に進んで、空気（酸化剤ガス）及び原燃料が起動用燃焼器 5 4 に供給される。

【 0 0 5 3 】

具体的には、酸化剤ガス供給装置 1 6 では、空気ポンプの駆動作用下に第 1 酸化剤ガス通路 1 0 6 a に空気が供給される。この空気は、起動用燃焼器 5 4 の冷却通路 1 0 4 を通って第 2 酸化剤ガス通路 1 0 6 b に導入された後、酸化剤ガス用調整弁 1 1 2 の開度調整作用下に、第 2 酸化剤ガス供給路 8 0 b から予混合燃料通路 1 0 8 に供給される。

40

【 0 0 5 4 】

一方、原燃料供給装置 1 4 では、燃料ガスポンプの駆動作用下に原燃料通路 6 0 a の上流に、例えば、都市ガス（ CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} を含む）等の原燃料が供給される。原燃料は、原燃料用調整弁 1 1 4 の開度調整作用下に、原燃料分岐通路 1 1 0 に導入される。この原燃料は、予混合燃料通路 1 0 8 に供給されて空気と混合されるとともに、起動用燃焼器 5 4 内の燃焼室 1 0 2 に供給される。

50

【 0 0 5 5 】

このため、燃焼室 1 0 2 内には、原燃料と空気との混合ガスが供給され、この混合ガスが着火されることにより、燃焼が開始される。従って、起動用燃焼器 5 4 に直接接続されている熱交換器 5 0 には、図 4 に示すように、前記起動用燃焼器 5 4 の火炎領域 S から排ガス燃焼器 5 2 を構成する燃焼室 8 4 に燃焼ガスが供給される。

【 0 0 5 6 】

燃焼室 8 4 に供給された燃焼ガスは、熱交換器 5 0 を加温するとともに、壁板 9 0 に形成された開口部 9 8 を介して改質器 4 6 の加熱空間 6 8 に移動する。これにより、改質器 4 6 が加温される。加熱空間 6 8 には、排ガス配管 7 0 a が配設されており、この排ガス配管 7 0 a は、蒸発器 4 8 の加熱路 7 2 に連通している。このため、燃焼ガスは、蒸発器 4 8 を昇温させた後、排気配管 7 0 b から排出される。

10

【 0 0 5 7 】

さらに、ステップ S 3 に進んで、改質器 4 6 が設定温度 T 1 以上であるか否かが判断される。設定温度 T 1 は、例えば、5 5 0 である。改質器 4 6 が設定温度 T 1 以上である際（ステップ S 3 中、Y E S）、ステップ S 4 に進む。このステップ S 4 では、燃料電池スタック 2 4 の還元が開始される。

【 0 0 5 8 】

具体的には、酸化剤ガス用調整弁 1 1 2 の開度が調整され、第 1 酸化剤ガス供給路 8 0 a に空気が供給される。一方、原燃料用調整弁 1 1 4 の開度が調整され、原燃料通路 6 0 a に原燃料が供給される。なお、水供給装置 1 8 では、蒸発器 4 8 に供給される水量が調整される。

20

【 0 0 5 9 】

このため、第 1 酸化剤ガス供給路 8 0 a から酸化剤ガス供給室 7 6 a に導入された空気は、図 6 に示すように、複数の酸化剤ガス管路 7 8 内を下端側から上端側に移動する間に、燃焼室 8 4 に導入された燃焼ガスにより加熱（熱交換）される。加熱された空気は、一旦酸化剤ガス排出室 7 6 b に供給された後、酸化剤ガス通路 8 2 を介して燃料電池スタック 2 4 の酸化剤ガス入口連通孔 4 2 a に供給される（図 1 参照）。

【 0 0 6 0 】

燃料電池スタック 2 4 では、加熱された空気は、酸化剤ガス流路 3 8 を流通した後、酸化剤ガス出口連通孔 4 2 b から酸化剤排ガス通路 8 6 に排出される。酸化剤排ガス通路 8 6 は、図 6 に示すように、排ガス燃焼器 5 2 を構成する燃焼室 8 4 に開口しており、前記燃焼室 8 4 に空気が導入される。

30

【 0 0 6 1 】

また、原燃料供給装置 1 4 では、図 1 に示すように、原燃料用調整弁 1 1 4 を介して原燃料通路 6 0 a から脱硫器 5 8 に原燃料が供給される。脱硫器 5 8 で脱硫された原燃料は、原燃料供給路 6 0 b を流通して改質器 4 6 の改質ガス供給室 6 2 a に供給される。一方、水供給装置 1 8 から供給される水は、蒸発器 4 8 で蒸発された後、原燃料供給路 6 0 b を流通して改質ガス供給室 6 2 a に供給される。

【 0 0 6 2 】

図 5 に示すように、改質ガス供給室 6 2 a に供給された原燃料と水蒸気との混合ガスは、複数の改質管路 6 4 内を下端側から上端側に移動する。その間に、混合ガスは、加熱空間 6 8 に導入された燃焼ガスにより加熱されるとともに、ペレット状の触媒を介して水蒸気改質され、 C_2+ の炭化水素が除去（改質）されてメタンを主成分とする改質ガスが得られる。この改質ガスは、加熱された燃料ガスとして、一旦改質ガス排出室 6 2 b に供給された後、燃料ガス通路 6 6 を介して燃料電池スタック 2 4 の燃料ガス入口連通孔 4 4 a に供給される（図 1 参照）。

40

【 0 0 6 3 】

燃料電池スタック 2 4 では、加熱された燃料ガスは、燃料ガス流路 4 0 を流通した後、燃料ガス出口連通孔 4 4 b から燃料排ガス通路 8 8 に排出される。燃料排ガス通路 8 8 は、図 6 に示すように、排ガス燃焼器 5 2 を構成する燃焼室 8 4 に開口しており、前記燃焼

50

室 8 4 に燃料ガスが導入される。

【 0 0 6 4 】

上記のように、燃料電池スタック 2 4 は、加熱された空気及び加熱された燃料ガスが流通することにより、昇温される。そして、燃料電池スタック 2 4 が、設定温度 T 2 (例えば、6 0 0) 以上であると判断されると(ステップ S 5 中、Y E S)、ステップ S 6 に進む。このステップ S 6 では、改質器 4 6 により改質された燃料ガス(改質ガス)の温度を検出し、この燃料ガスの温度から改質ガス組成を算出する。この算出結果から、燃料排ガスの戻し量を算出した後に、該戻し量に調整するための燃料排ガス調整弁 8 9 の開度が設定される。

【 0 0 6 5 】

さらに、ステップ S 7 に進んで、燃料電池スタック 2 4 が発電可能な状態であるか否かが判断される。具体的には、燃料電池 2 2 の O C V (開回路電圧)が測定され、前記 O C V が所定の値に至った際、燃料電池スタック 2 4 の発電が可能であると判断する(ステップ S 7 中、Y E S)。これにより、燃料電池スタック 2 4 は、発電が開始される(ステップ S 8)。

【 0 0 6 6 】

燃料電池スタック 2 4 の発電時は、上記の起動時と同様に、空気が酸化剤ガス流路 3 8 を流通する一方、燃料ガスが燃料ガス流路 4 0 を流通する。従って、各燃料電池 2 2 のカソード電極 2 8 に空気が供給されるとともに、アノード電極 3 0 に燃料ガスが供給され、化学反応により発電が行われる。

【 0 0 6 7 】

反応に使用された空気(未反応の空気を含む)は、酸化剤排ガスとして酸化剤排ガス通路 8 6 に排出される。また、反応に使用された燃料ガス(未反応の燃料ガスを含む)は、燃料排ガスとして燃料排ガス通路 8 8 に排出される。酸化剤排ガス及び燃料排ガスは、排ガス燃焼器 5 2 に送られて燃焼されるとともに、前記燃料排ガスの一部は、燃料排ガス分岐通路 8 8 a を流通して改質器 4 6 の改質ガス供給室 6 2 a に供給される。

【 0 0 6 8 】

次に、ステップ S 9 に進んで、燃料電池スタック 2 4 の運転負荷に応じて、燃料排ガス調整弁 8 9 の開度が設定される。燃料排ガス調整弁 8 9 の開度は、図 9 に示すように、燃料電池スタック 2 4 の運転出力(要求電力)に応じて予めマップとして作成され、制御装置 2 0 に記憶されている。そして、運転負荷に応じてマップから燃料排ガス調整弁 8 9 の開度が算出され、決定される。

【 0 0 6 9 】

燃料電池スタック 2 4 の発電が停止されると判断されると(ステップ S 1 0 中、Y E S)、ステップ S 1 1 に進んで、燃料排ガス調整弁 8 9 の開度が調整されて燃料排ガス分岐通路 8 8 a が閉塞される。さらに、ステップ S 1 2 に進んで、燃料電池スタック 2 4 が O C V に戻されるとともに、発電の停止モードに移行する。

【 0 0 7 0 】

この場合、第 1 の実施形態では、燃料電池スタック 2 4 から排出される燃料排ガスを、排ガス燃焼器 5 2 に供給する燃料排ガス通路 8 8 と、前記燃料排ガス通路 8 8 から分岐し、前記燃料排ガスを改質器 4 6 の上流側に供給する燃料排ガス分岐通路 8 8 a とを備えている。

【 0 0 7 1 】

このため、燃料排ガスは、排ガス燃焼器 5 2 と改質器 4 6 とに分配供給されている。従って、急激な負荷増加の際、水蒸気改質の吸熱反応に即応することが可能になり、燃料枯渇を抑制することができ、耐久性の向上が図られるという効果が得られる。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

【 0 0 7 2 】

燃料排ガス分岐通路 8 8 a を流通して改質器 4 6 に供給される燃料排ガスは、発電反応により水分を含んでいる。これにより、水供給装置 1 8 を介して改質器 4 6 に供給される

10

20

30

40

50

水蒸気量を低減させることができるとともに、触媒反応を良好に保ち、炭素析出領域の発生を抑制することが可能になる。しかも、改質器 4 6 に燃料排ガスが直接供給されるため、要求負荷に対する追従性が向上するとともに、起動性が向上するという利点がある。

【 0 0 7 3 】

さらに、例えば、700 の高温の燃料排ガスを、作動温度が 500 の改質器 4 6 に供給するため、前記改質器 4 6 を良好に加温することができる。その上、700 の高温の燃料排ガス、すなわち、還元ガスを循環させることにより、触媒を良好な還元状態に維持することが可能になる。

【 0 0 7 4 】

しかも、未燃の燃料ガスを含む燃料排ガスは、改質器 4 6 を介して燃料電池スタック 2 4 に供給されて燃料ガスとして有効利用することが可能になり、経済的である。

10

【 0 0 7 5 】

また、この燃料電池モジュール 1 2 では、燃料排ガス通路 8 8 と燃料排ガス分岐通路 8 8 a との境界部位には、燃料排ガスを前記燃料排ガス通路 8 8 と前記燃料排ガス分岐通路 8 8 a とに分配して供給するための燃料排ガス調整弁 8 9 が配設されている。

【 0 0 7 6 】

このため、改質器 4 6 に供給される燃料排ガスの流量を緻密に制御することができ、特に急激な負荷増加時にも、改質反応の遅延による燃料枯渇を抑制することが可能になるとともに、前記改質器 4 6 の耐久性が向上する。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

20

【 0 0 7 7 】

さらに、燃料排ガス通路 8 8 に沿って排ガス燃焼器 5 2 に供給される燃料排ガスの流量 $W 1$ は、燃料排ガス分岐通路 8 8 a に沿って改質器 4 6 に供給される前記燃料排ガスの流量 $W 2$ よりも大きく設定されている。従って、改質器 4 6 への燃料排ガス供給量が、排ガス燃焼器 5 2 への燃料排ガス供給量に比べて過多になることがなく、熱自立運転が確実に遂行される。ここで、熱自立とは、外部から熱を加えることなく自ら発生する熱のみで燃料電池 2 2 の動作温度を維持することをいう。

【 0 0 7 8 】

さらにまた、燃料排ガス通路 8 8 に沿って排ガス燃焼器 5 2 に供給される燃料排ガスの流量 $W 1$ と、燃料排ガス分岐通路 8 8 a に沿って改質器 4 6 に供給される前記燃料排ガスの流量 $W 2$ とは、 $W 1 / W 2 = 1.0$ に設定されている。これにより、改質器 4 6 への燃料排ガス供給量が、排ガス燃焼器 5 2 への燃料排ガス供給量に比べて過多になることがなく、熱自立運転が確実に遂行される。

30

【 0 0 7 9 】

ここで、改質器 4 6 に供給される燃料排ガスの流量 $W 2$ が過剰になると、熱自立が困難になる一方、排ガス燃焼器 5 2 での余剰熱量分を前記改質器 4 6 に分流することが望ましい。このため、少なくとも $W 1 / W 2 = 1.0$ の要件が必要である。

【 0 0 8 0 】

また、改質器 4 6 は、水蒸気改質器である。このため、急激な負荷増加の際、水蒸気改質の吸熱反応に即応することが可能になり、燃料枯渇を抑制することができ、耐久性を良好に向上させることが可能になる。しかも、燃料利用率が高くなり、発電効率の向上が容易に図られる。

40

【 0 0 8 1 】

さらに、燃料電池モジュール 1 2 は、固体酸化物形燃料電池モジュールである。従って、特に SOFC 等の高温型燃料電池に最適である。

【 0 0 8 2 】

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

【 0 0 8 3 】

なお、第 1 の実施形態に係る燃料電池システム 1 0 と同一の構成要素には、同一の参照

50

符号を付して、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 4 】

燃料電池システム 1 2 0 は、燃料排ガス通路 8 8 から燃料排ガス分岐通路 1 2 2 が分岐する。燃料排ガス通路 8 8 の開口断面積 M_1 と、燃料排ガス分岐通路 1 2 2 の開口断面積 M_2 とは、開口断面積 M_1 : 開口断面積 $M_2 = 10 : 1$ の関係に設定される。

【 0 0 8 5 】

これにより、第 2 の実施形態では、燃料排ガス通路 8 8 から排ガス燃焼器 5 2 に供給される燃料排ガスの流量が、燃料排ガス分岐通路 1 2 2 から改質器 4 6 に供給される燃料排ガスの流量よりも、常時、多量に設定されている。従って、上記の第 1 の実施形態と同様の効果が得られるとともに、弁機構が不要になり、経済的であるという利点がある。

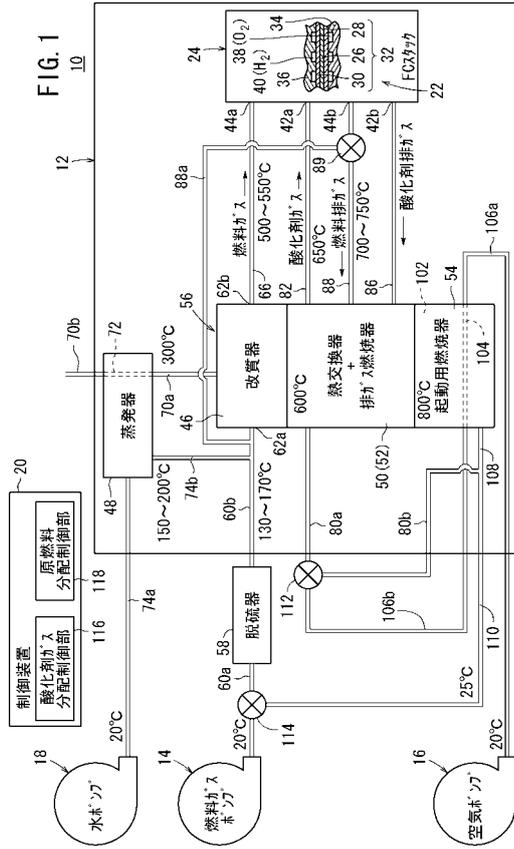
10

【符号の説明】

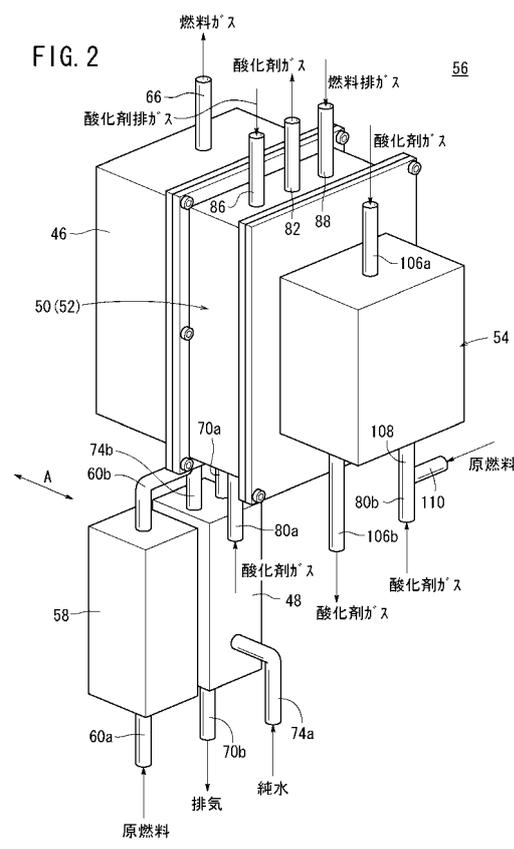
【 0 0 8 6 】

1 0、1 2 0 ... 燃料電池システム	1 2 ... 燃料電池モジュール	
1 4 ... 原燃料供給装置	1 6 ... 酸化剤ガス供給装置	
1 8 ... 水供給装置	2 0 ... 制御装置	
2 2 ... 燃料電池	2 4 ... 燃料電池スタック	
2 6 ... 電解質	2 8 ... カソード電極	
3 0 ... アノード電極	3 8 ... 酸化剤ガス流路	
4 0 ... 燃料ガス流路	4 6 ... 改質器	
4 8 ... 蒸発器	5 0 ... 熱交換器	20
5 2 ... 排ガス燃焼器	5 4 ... 起動用燃焼器	
5 6 ... F C 周辺機器	5 8 ... 脱硫器	
6 0 a ... 原燃料通路	6 0 b ... 原燃料供給路	
6 2 a ... 改質ガス供給室	6 2 b ... 改質ガス排出室	
6 4 ... 改質管路	6 6 ... 燃料ガス通路	
6 8 ... 加熱空間	7 0 a ... 排ガス配管	
7 0 b ... 排気配管	7 2 ... 加熱路	
7 4 a ... 水通路	7 4 b ... 水蒸気通路	
7 6 a ... 酸化剤ガス供給室	7 6 b ... 酸化剤ガス排出室	
7 8 ... 酸化剤ガス管路	8 0 a、8 0 b ... 酸化剤ガス供給路	30
8 2、1 0 6 a、1 0 6 b ... 酸化剤ガス通路		
8 4、1 0 2 ... 燃焼室	8 6 ... 酸化剤排ガス通路	
8 8 ... 燃料排ガス通路	8 8 a、1 2 2 ... 燃料排ガス分岐通路	
8 9 ... 燃料排ガス調整弁	9 0 ... 壁板	
9 8 ... 開口部	1 0 4 ... 冷却通路	
1 0 8 ... 予混合燃料通路	1 1 0 ... 原燃料分岐通路	
1 1 2 ... 酸化剤ガス用調整弁	1 1 4 ... 原燃料用調整弁	

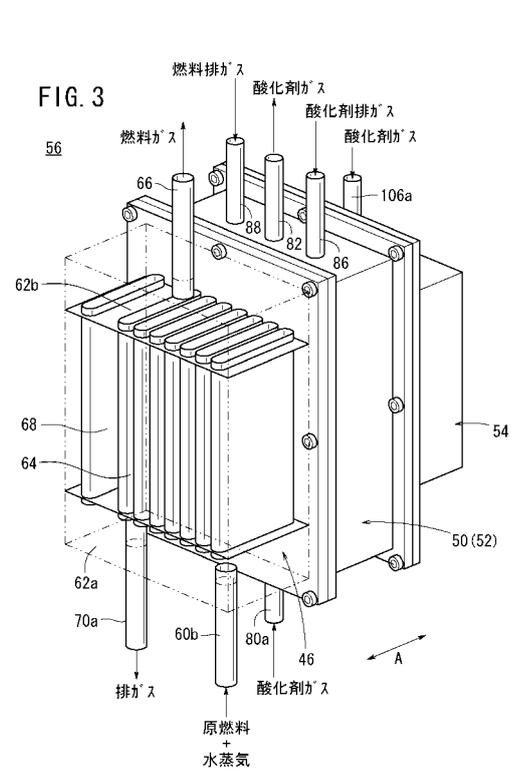
【 図 1 】



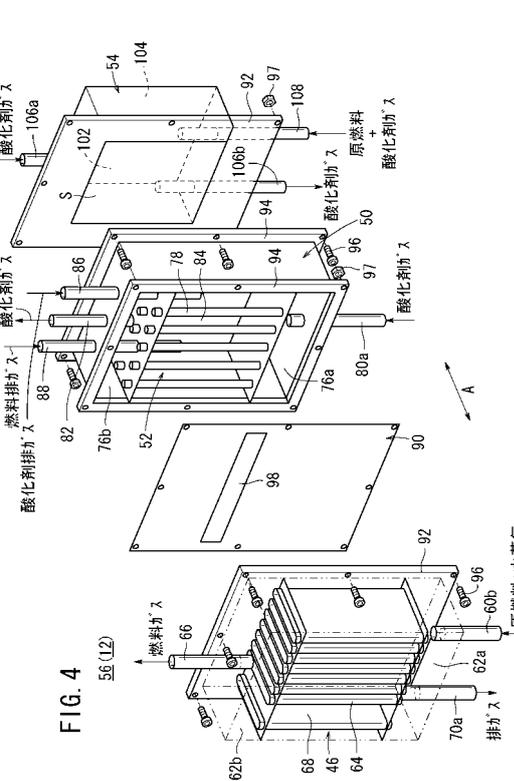
【 図 2 】



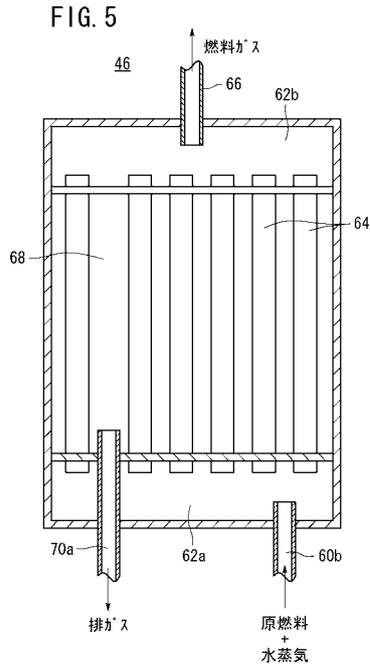
【 図 3 】



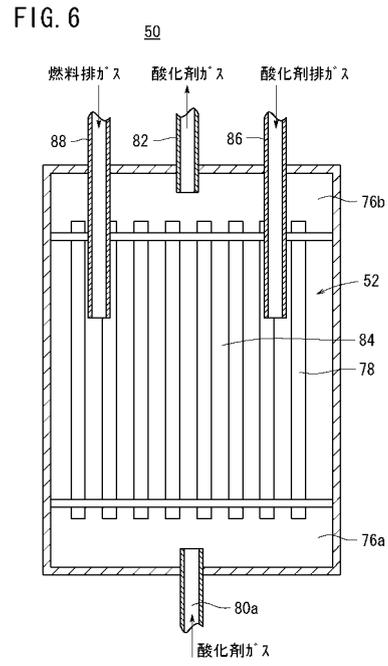
【 図 4 】



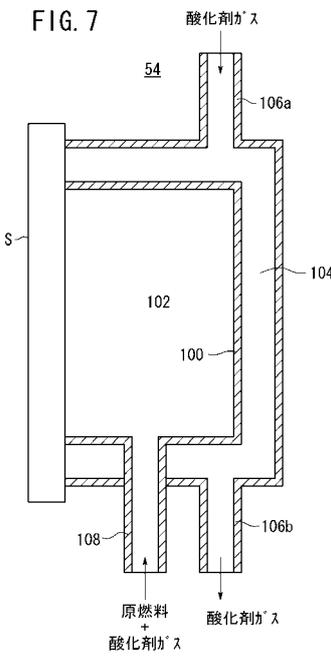
【 図 5 】



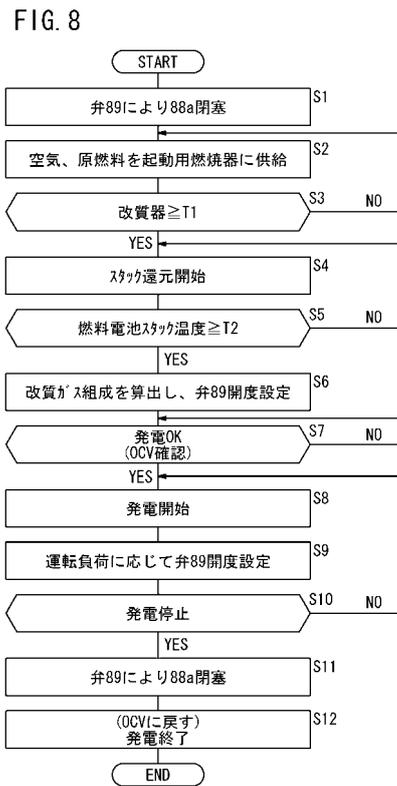
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

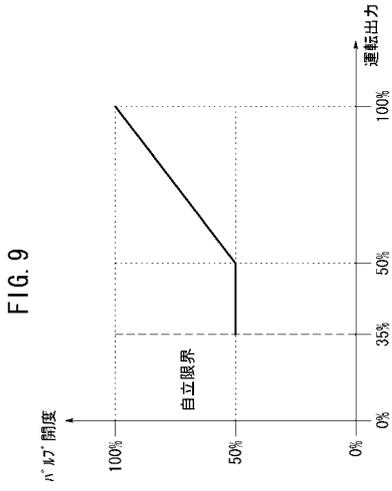


FIG. 9

【 図 1 1 】

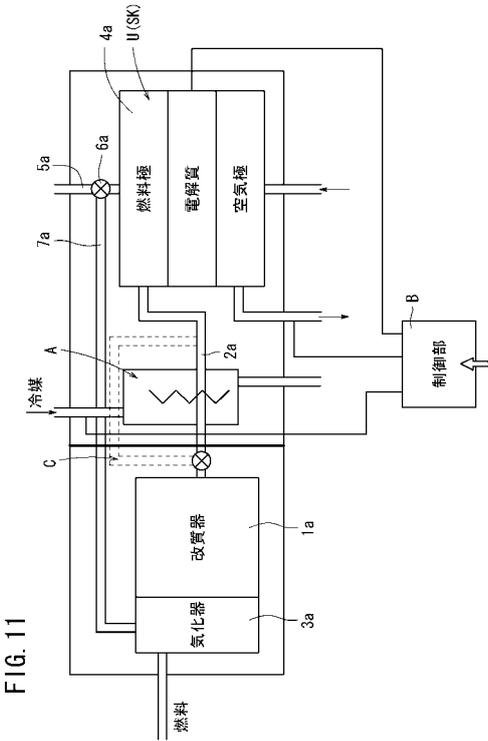


FIG. 11

【 図 1 0 】

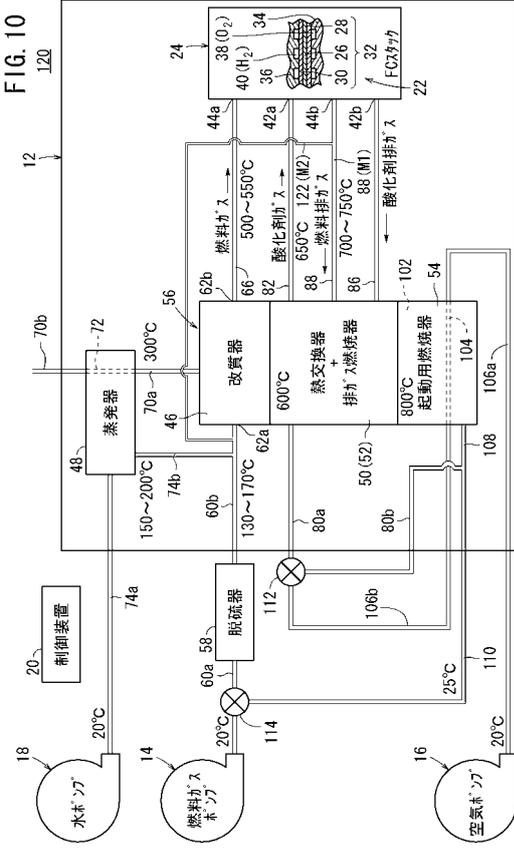


FIG. 10

【 図 1 2 】

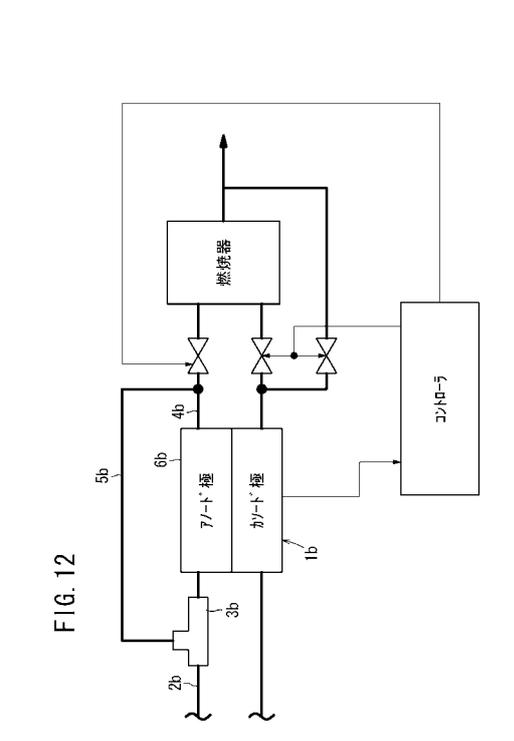


FIG. 12