

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電解質をアノード電極とカソード電極とで挟んで構成される電解質・電極接合体とセパレータとが積層される燃料電池を設け、複数の前記燃料電池が積層される燃料電池スタックと、酸化剤ガスを前記燃料電池スタックに供給する前に加熱する第 1 熱交換器と、炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合燃料を改質して燃料ガスを生成する改質器とを備える燃料電池システムであって、

発電反応に使用されて前記燃料電池スタックから排出される排ガスの一部を、前記改質器を直接加熱するための熱媒体として前記改質器に供給する第 1 加熱機構と、

前記排ガスの残余を、前記酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として前記第 1 熱交換器に供給するとともに、前記第 1 熱交換器で発生する熱を、前記改質器を間接加熱するための熱源として前記改質器に供給する第 2 加熱機構と、

前記改質器及び前記第 1 熱交換器から排出される前記排ガスが、冷媒体を加熱するための熱媒体として供給される第 2 熱交換器と、

前記第 2 熱交換器の下流に配置され、前記改質器に供給される前記排ガスの流量を調整する流量調整弁と、

前記燃料電池システムが熱自立運転時の運転条件値を維持するように、前記流量調整弁を制御する制御機構と、

を備えることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 2】

請求項 1 記載の燃料電池システムにおいて、前記冷媒体は、前記第 1 熱交換器に供給される前の前記酸化剤ガスであることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の燃料電池システムにおいて、前記冷媒体は、前記第 2 熱交換器に接続される温水機構から供給される水であることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システムにおいて、前記第 2 熱交換器は、前記排ガス中の水蒸気を凝縮し、凝縮された水を前記燃料電池システムに供給する凝縮器であ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 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システムにおいて、前記混合燃料を生成するために、水を蒸発させて前記水蒸気を得る蒸発器を備え、

前記蒸発器は、前記改質器に前記混合燃料を供給するとともに、

前記第 1 熱交換器から排出される前記排ガスが、前記水を蒸発させる熱媒体として供給されるように構成されることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システムにおいて、前記混合燃料を生成するために、水を蒸発させて前記水蒸気を得る蒸発器を備え、

前記蒸発器は、前記改質器に前記混合燃料を供給するとともに、

前記改質器から排出される前記排ガスが、前記水を蒸発させる熱媒体として供給されるように構成されることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システムにおいて、前記運転条件値は、少なくとも前記改質器の温度又は前記原燃料に対する炭素と前記水蒸気とのモル比のいずれかを含むことを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 8】

請求項 5 又は 6 記載の燃料電池システムにおいて、前記運転条件値は、少なくとも前記蒸発器の温度、前記蒸発器に供給される前記原燃料の流量又は前記蒸発器に供給される水の流量のいずれかを含むことを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システムにおいて、前記燃料電池は、固体酸化物形燃料電池であることを特徴とする燃料電池システム。

【請求項 10】

電解質をアノード電極とカソード電極とで挟んで構成される電解質・電極接合体とセパレータとが積層される燃料電池を設け、複数の前記燃料電池が積層される燃料電池スタックと、酸化剤ガスを前記燃料電池スタックに供給する前に加熱する第 1 熱交換器と、炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合燃料を改質して燃料ガスを生成する改質器とを備える燃料電池システムの運転方法であって、

発電反応に使用されて前記燃料電池スタックから排出される排ガスの一部を、前記改質器を直接加熱するための熱媒体として前記改質器に供給する第 1 の工程と、

前記排ガスの残余を、前記酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として前記第 1 熱交換器に供給するとともに、前記第 1 熱交換器で発生する熱を、前記改質器を間接加熱するための熱源として前記改質器に供給する第 2 の工程と、

前記第 1 の工程及び前記第 2 の工程で供給された後の前記排ガスを、冷媒体を加熱するための熱媒体として第 2 熱交換器に供給する第 3 の工程と、

前記燃料電池システムが熱自立運転時の運転条件値を維持するように、前記第 1 の工程で前記改質器に供給される前記排ガスの流量を調整する第 4 の工程と、

を有することを特徴とする燃料電池システムの運転方法。

【請求項 11】

請求項 10 記載の運転方法において、前記運転条件値は、少なくとも前記改質器の温度又は前記原燃料に対する炭素と前記水蒸気とのモル比のいずれかを含むことを特徴とする燃料電池システムの運転方法。

【請求項 12】

請求項 10 又は 11 記載の運転方法において、前記燃料電池システムは、前記混合燃料を生成するために、水を蒸発させて前記水蒸気を得る蒸発器を備え、

前記運転条件値は、少なくとも前記蒸発器の温度、前記蒸発器に供給される前記原燃料の流量又は前記蒸発器に供給される水の流量のいずれかを含むことを特徴とする燃料電池システムの運転方法。

【請求項 13】

請求項 10 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の運転方法において、前記燃料電池は、固体酸化物形燃料電池であることを特徴とする燃料電池システムの運転方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電解質をアノード電極とカソード電極とで挟んで構成される電解質・電極接合体とセパレータとが積層される燃料電池を設け、複数の前記燃料電池が積層される燃料電池スタックと、酸化剤ガスを前記燃料電池スタックに供給する前に加熱する第 1 熱交換器と、炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合燃料を改質して燃料ガスを生成する改質器とを備える燃料電池システム及びその運転方法に関する。

【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電極を配設した電解質・電極接合体を、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】

上記の燃料電池に供給される燃料ガスは、通常、改質装置によって炭化水素系の原燃料から生成される水素ガスが使用されている。改質装置では、一般的に、メタンや LNG 等の化石燃料等の炭化水素系の原燃料から改質原料ガスを得た後、この改質原料ガスに水蒸

10

20

30

40

50

気改質や部分酸化改質、又はオートサーマル改質等を施すことにより、改質ガス（燃料ガス）が生成されている。

【0004】

この場合、S O F Cの運転は、例えば、800 程度の高温で行われている。従って、部分負荷（低負荷）運転時には、発生熱量が小さくなるため、熱自立運転（外部から熱を加えることなく、S O F Cから発生する熱量のみで前記S O F Cの動作温度を維持すること）が困難になる。

【0005】

そこで、例えば、特許文献1に開示されている熱自立型固体酸化物形燃料電池システムでは、図8に示すように、断熱材1を配置した断熱容器2を備えている。この断熱容器2内には、下部から上部へ沿ってS O F Cスタック3、オフガス燃焼部4及び蓄熱材層5が配置されている。蓄熱材層5には、空気管路6が配置されるとともに、この空気管路6には、バイパス流路7が設けられている。断熱容器2の下部には、オフガス燃焼部4からの燃焼排ガスを熱源としてスタックへ導入する空気及び燃料を加熱する熱交換器8が設けられている。

10

【0006】

そして、全負荷運転時には、余剰熱を蓄熱材層5に蓄熱するとともに、空気をバイパス流路7にバイパスさせてスタックに供給している。一方、部分負荷運転時には、空気を蓄熱材層5に通して全負荷運転時に蓄熱した熱を回収し、スタックに戻すことにより熱自立を図っている。

20

【0007】

さらに、特許文献2に開示されている固体酸化物形燃料電池システムでは、図9に示すように、水素リッチな改質ガスを生成する改質器1aと、改質用燃料の水を加熱する水加熱手段2aと、燃料電池3aと、前記燃料電池3aより排出される排気ガスから、水及び熱を回収する水・熱回収器4aと、前記水・熱回収器4aが回収した水を蓄える回収水用タンク5aと、前記回収水用タンク5aから水加熱手段2aに水を供給するポンプ6aと、ポンプ7aから供給される灯油に含まれる硫黄分を除去する脱硫器8aと、この脱硫器8aから供給される灯油及び水蒸気を気化させて、改質器1aに供給する気化器9aとを具備している。

30

【0008】

【特許文献1】特開2004-71312号公報

【特許文献2】特開2006-309982号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上記の特許文献1では、全負荷運転時の余剰熱を蓄熱材層5に蓄熱して、部分負荷時にこの蓄熱した熱を利用するため、部分負荷運転に先立って、全負荷運転が行われている必要がある。従って、全負荷運転を行わずに、部分負荷運転を行う際には、電気ヒータ等によって熱を付与しなければならず、エネルギー効率が低下するという問題がある。

40

【0010】

さらに、上記の特許文献2では、排気ガスの熱を気化器9a、脱硫器8a、水加熱手段2a及び水・熱回収器4aにより回収している。このため、酸化剤ガスは、昇温されずに燃料電池3aに供給されており、特に、A/F（エア/燃料）値が高い燃料電池システムでは、供給される酸化剤ガスによって燃料電池3aが冷却され、熱自立運転が困難になるという問題がある。

【0011】

本発明はこの種の問題を解決するものであり、部分負荷運転時でも、確実に熱自立運転を行うことができるとともに、熱効率の向上を図ることが可能な燃料電池システム及びその運転方法を提供することを目的とする。

50

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、電解質をアノード電極とカソード電極とで挟んで構成される電解質・電極接合体とセパレータとが積層される燃料電池を設け、複数の前記燃料電池が積層される燃料電池スタックと、酸化剤ガスを前記燃料電池スタックに供給する前に加熱する第1熱交換器と、炭化水素を主体とする原燃料と水蒸気との混合燃料を改質して燃料ガスを生成する改質器とを備える燃料電池システムに関するものである。

【0013】

燃料電池システムは、発電反応に使用されて燃料電池スタックから排出される排ガスの一部を、改質器を直接加熱するための熱媒体として前記改質器に供給する第1加熱機構と、前記排ガスの残余を、酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として第1熱交換器に供給するとともに、前記第1熱交換器で発生する熱を、前記改質器を間接加熱するための熱源として前記改質器に供給する第2加熱機構と、前記改質器及び前記第1熱交換器から排出される前記排ガスが、冷媒体を加熱するための熱媒体として供給される第2熱交換器と、前記第2熱交換器の下流に配置され、前記改質器に供給される前記排ガスの流量を調整する流量調整弁と、前記燃料電池システムが熱自立運転時の運転条件値を維持するように、前記流量調整弁を制御する制御機構とを備えている。

10

【0014】

また、冷媒体は、第1熱交換器に供給される前の酸化剤ガスであることが好ましい。酸化剤ガスは、排ガスにより加熱された後、燃料電池スタックに供給されるため、燃料電池の温度低下を抑制するとともに、排熱の回収率、すなわち、熱効率が有効に向上し、経済的である。

20

【0015】

さらに、冷媒体は、第2熱交換器に接続される温水機構から供給される水であることが好ましい。従って、排ガスの熱を利用して温水を得ることができ、熱効率が向上して経済的である。

【0016】

さらにまた、第2熱交換器は、排ガス中の水蒸気を凝縮し、凝縮された水を燃料電池システムに供給する凝縮器であることが好ましい。このため、凝縮器は、排ガス中に含まれる多量の水蒸気を凝縮した凝縮水を得ることができ、この凝縮水は、燃料電池システムの水供給系で使用される水として再利用することが可能になる。これにより、外部の給水機構が不要になって、燃料電池システムの水供給系が有効に簡素化される。

30

【0017】

また、燃料電池システムは、混合燃料を生成するために、水を蒸発させて水蒸気を得る蒸発器を備え、前記蒸発器は、改質器に前記混合燃料を供給するとともに、第1熱交換器から排出される排ガスが、前記水を蒸発させる熱媒体として供給されるように構成されることが好ましい。このため、蒸発器は、熱自立運転に必要な運転条件値（蒸発器の温度条件値）に維持され、燃料電池システムは、部分負荷時の熱自立運転が可能になり、熱効率が向上する。

【0018】

さらに、燃料電池システムは、混合燃料を生成するために、水を蒸発させて水蒸気を得る蒸発器を備え、前記蒸発器は、改質器に前記混合燃料を供給するとともに、前記改質器から排出される排ガスが、水を蒸発させる熱媒体として供給されるように構成されることが好ましい。従って、蒸発器は、熱自立運転に必要な運転条件値（蒸発器の温度条件値）に維持され、燃料電池システムは、部分負荷時の熱自立運転が可能になり、熱効率が向上する。

40

【0019】

さらにまた、運転条件値は、少なくとも改質器の温度又は原燃料に対する炭素と前記水蒸気とのモル比のいずれかを含むことが好ましい。これにより、燃料電池システムでは、発生熱量が小さい部分負荷運転時であっても、改質器は、熱自立運転に必要な運転条件値

50

(改質器の温度条件値)に維持され、燃料電池システムは、部分負荷時の熱自立運転が可能になり、熱効率が向上する。しかも、コーキング限界までS/C(水蒸気/炭素)比を低下させることが可能になり、水の供給量が削減されて水供給装置の負荷を有効に軽減することができる。

【0020】

また、運転条件値は、少なくとも蒸発器の温度、前記蒸発器に供給される原燃料の流量又は前記蒸発器に供給される水の流量のいずれかを含むことが好ましい。このため、蒸発器は、熱自立運転に必要な運転条件値(蒸発器の温度条件値)に維持され、燃料電池システムは、熱自立運転が可能な領域が一層拡大され、熱効率が良好に向上する。

【0021】

さらに、燃料電池は、固体酸化物形燃料電池であることが好ましい。固体酸化物形燃料電池は、運転温度が高いため、運転時の発生熱量が大きく、排熱の回収を容易に行うことが可能になる。

【0022】

さらにまた、本発明の燃料電池システムの運転方法では、発電反応に使用されて燃料電池スタックから排出される排ガスの一部を、改質器を直接加熱するための熱媒体として前記改質器に供給する第1の工程と、前記排ガスの残余を、酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として第1熱交換器に供給するとともに、前記第1熱交換器で発生する熱を、前記改質器を間接加熱するための熱源として前記改質器に供給する第2の工程と、前記第1の工程及び前記第2の工程で供給された後の前記排ガスを、冷媒体を加熱するための熱媒体として第2熱交換器に供給する第3の工程と、前記燃料電池システムが熱自立運転時の運転条件値を維持するように、前記第1の工程で前記改質器に供給される前記排ガスの流量を調整する第4の工程とを有している。

【0023】

また、運転条件値は、少なくとも改質器の温度又は原燃料に対する炭素と水蒸気とのモル比のいずれかを含むことが好ましい。

【0024】

さらに、燃料電池システムは、混合燃料を生成するために、水を蒸発させて水蒸気を得る蒸発器を備え、運転条件値は、少なくとも前記蒸発器の温度、前記蒸発器に供給される原燃料の流量又は前記蒸発器に供給される水の流量のいずれかを含むことが好ましい。

【0025】

さらにまた、燃料電池は、固体酸化物形燃料電池であることが好ましい。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、改質器は、第1加熱機構により直接加熱されるとともに、第2加熱機構により間接加熱されている。このため、燃料電池システムでは、発生熱量が小さい部分負荷運転時であっても、改質器は、熱自立運転に必要な運転条件値(改質器の温度条件値)に維持される。これにより、燃料電池システムは、部分負荷時の熱自立運転が可能な領域が拡大され、熱効率が向上する。

【0027】

さらに、排ガスは、改質器及び第1熱交換器に供給されて熱媒体及び熱源として使用された後、第2熱交換器に供給されることにより冷媒体を加熱するための熱媒体として再度利用されている。従って、排ガスの排熱を効率的に利用することができ、前記排熱の回収率が有効に向上して経済的である。

【0028】

さらにまた、改質器に供給される排ガスの流量を調整する流量調整弁を備えるとともに、前記流量調整弁が制御されることにより、前記改質器は、熱自立運転時の運転条件値(改質器の温度条件値)を維持することが可能になる。これにより、簡単な構成及び工程で、燃料電池システムの熱自立運転が可能な領域が拡大され、熱効率の向上が図られる。

【0029】

10

20

30

40

50

しかも、流量調整弁は、第2熱交換器の下流に配置されている。このため、流量調整弁が高温の排ガスに曝されることを抑制することができ、前記流量調整弁の耐久性及び寿命が向上するとともに、前記流量調整弁を比較的安価に構成することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

図1は、本発明の第1の実施形態に係る燃料電池システム10の機械系回路を示す概略構成説明図である。図2は、前記燃料電池システム10の抽気回路の説明図であり、図3は、前記燃料電池システム10の回路図である。

【0031】

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。燃料電池システム10は、燃料ガス（水素ガス）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12と、前記燃料電池モジュール12を昇温させる燃焼器（例えば、トーチヒータ）14と、前記燃料電池モジュール12に原燃料（例えば、都市ガス）を供給する燃料ガス供給装置（燃料ガスポンプを含む）16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（エアポンプを含む）18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）20と、前記水供給装置20に水を供給する樹脂製の水容器21と、前記水容器21から供給される水に含まれる不純物を除去し、前記不純物が除去された前記水を前記水供給装置20に供給するイオン交換装置（イオン交換フィルタ）23と、酸化剤ガス供給装置18から供給される酸化剤ガス（冷媒体）と熱交換して前記燃料電池モジュール12から排出される排ガス（熱媒体）中の水蒸気を凝縮し、凝縮された水を前記水容器21に供給する凝縮器（第2熱交換器）25と、前記燃料電池モジュール12で発生した直流電力を要求仕様電力に変換する電力変換装置22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24とを備える。

【0032】

燃料電池モジュール12は、図2に示すように、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固体電解質（固体酸化物）26をアノード電極28aとカソード電極28bとで挟んで構成される電解質・電極接合体30と、セパレータ31（図4参照）とが積層される固体酸化物形の燃料電池32を設けるとともに、複数の前記燃料電池32が鉛直方向に積層される固体酸化物形の燃料電池スタック34を備える。

【0033】

図1及び図4に示すように、燃料電池スタック34の積層方向上端側には、酸化剤ガスを前記燃料電池スタック34に供給する前に加熱する熱交換器（第1熱交換器）36と、原燃料と水蒸気との混合燃料を生成するために、水を蒸発させる蒸発器38と、前記混合燃料を改質して改質ガスを生成する改質器40とが配設される。

【0034】

燃料電池スタック34の積層方向下端側には、前記燃料電池スタック34を構成する燃料電池32に積層方向（矢印A方向）に沿って締め付け荷重を付与するための荷重付与機構42が配設される（図3参照）。

【0035】

改質器40は、脱硫された都市ガス（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 ）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。

【0036】

燃料電池32は、作動温度が数百と高温であり、電解質・電極接合体30では、燃料ガス中のメタンが改質されて水素が得られ、この水素がアノード電極に供給される。

【0037】

熱交換器36は、図4に示すように、燃料電池スタック34から排出される使用済み反応ガス（以下、排ガス又は燃焼排ガスともいう）を流すための第1排ガス通路44と、冷

10

20

30

40

50

媒体（被加熱流体）である空気を排ガスと対向流に流すための空気通路４６とを有する。

【００３８】

第１排ガス通路４４は、図２に示すように、熱交換器３６の上流側で分岐排ガス通路４５に分岐し、この分岐排ガス通路４５は、改質器４０に連通した後、排気管５０に連通する。

【００３９】

図４に示すように、第１排ガス通路４４は、蒸発器３８に水を蒸発させるための熱源として排ガスを供給するための第２排ガス通路４８に連通する。空気通路４６の上流側は、空気供給管５２に連通するとともに、前記空気通路４６の下流側は、燃料電池スタック３４の酸化剤ガス供給連通孔５３に連通する。

10

【００４０】

蒸発器３８は、互いに同軸上に配設される外管部材５４ａと内管部材５４ｂとを備える２重管構造を採用し、この２重管は、第２排ガス通路４８内に配置される。外管部材５４ａと内管部材５４ｂとの間には、原燃料通路５６が形成されるとともに、前記内管部材５４ｂ内には、水通路５８が形成される。蒸発器３８の第２排ガス通路４８は、主排気管６０に連通する（図２及び図４参照）。

【００４１】

外管部材５４ａには、改質器４０の入口部に連結される混合燃料供給管６２が接続される。改質器４０の出口側には、改質ガス供給路６４の一端が連結されるとともに、前記改質ガス供給路６４の他端は、燃料電池スタック３４の燃料ガス供給連通孔６６に連通する。燃料電池モジュール１２及び燃焼器１４は、断熱材（図示せず）に囲繞される。

20

【００４２】

図１及び図３に示すように、燃料ガス供給装置１６は、原燃料通路５６に接続される。酸化剤ガス供給装置１８は、空気供給管５２に接続されるとともに、前記空気供給管５２の途上には、凝縮器２５を介装して切替弁７０が設けられる。この切替弁７０には、空気分岐通路７２が接続されるとともに、前記空気分岐通路７２は、燃焼器１４に接続される。燃焼器１４は、例えば、トーチヒータを備えており、空気及び電流が供給される。

【００４３】

図１及び図２に示すように、凝縮器２５には、排気管５０及び主排気管６０が接続されるとともに、前記排気管５０の前記凝縮器２５からの出口側には、改質器４０に供給される排ガスの流量を調整する流量調整弁７４が配置される。流量調整弁７４としては、開閉バルブや開度調整可能な可変絞りバルブ等が採用される。

30

【００４４】

凝縮器２５には、温水機構７６が接続される。この温水機構７６は、排気管５０及び／又は主排気管６０を介して供給される排ガスを熱媒体として、加熱する水（冷媒体）を循環させる水循環路７８を備える。この水循環路７８には、貯湯タンク８０及びポンプ８２が配設される。

【００４５】

図１及び図３に示すように、凝縮器２５の下流には、水容器２１が接続され、前記水容器２１の下流には、イオン交換装置２３が接続され、さらに、前記イオン交換装置２３の下流には、水供給装置２０が接続される。この水供給装置２０には、水通路５８が連通する。

40

【００４６】

燃料ガス供給装置１６、酸化剤ガス供給装置１８及び水供給装置２０は、制御装置２４により制御されるとともに、前記制御装置２４には、図２及び図３に示すように、改質器４０の温度を検出する複数の温度センサ８４ａ、蒸発器３８の温度を検出する複数の温度センサ８４ｂ、前記蒸発器３８に供給される原燃料の流量を検出する第１流量計８６ａ、前記蒸発器３８に供給される水の流量を検出する第２流量計８６ｂ及び燃料ガスを検知する検知器８８が電氣的に接続される。電力変換装置２２には、例えば、商用電源９０（又は、負荷や２次電池等）が接続される（図３参照）。

50

【 0 0 4 7 】

図 2 に示すように、燃料電池システム 1 0 は、発電反応に使用されて燃料電池スタック 3 4 から排出される排ガスの一部を、改質器 4 0 を直接加熱するための熱媒体として前記改質器 4 0 に供給する第 1 加熱機構 9 2 と、前記排ガスの残余を、酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として熱交換器 3 6 に供給するとともに、前記熱交換器 3 6 で発生する熱を、前記改質器 4 0 を間接加熱するための熱源として前記改質器 4 0 に供給する第 2 加熱機構 9 4 と、前記改質器 4 0 及び前記熱交換器 3 6 から排出される前記排ガスが、冷媒体（酸化剤ガス及び水）を加熱するための熱媒体として供給される凝縮器 2 5 と、前記凝縮器 2 5 の下流に配置され、前記改質器 4 0 に供給される前記排ガスの流量を調整する流量調整弁 7 4 と、前記燃料電池システム 1 0 が熱自立運転時の運転条件値を維持するように、前記流量調整弁 7 4 を制御する制御装置（制御機構）2 4 とを備える。

10

【 0 0 4 8 】

第 1 加熱機構 9 2 は、第 1 排ガス通路 4 4 から分岐する分岐排ガス通路 4 5 を備える一方、第 2 加熱機構 9 4 は、前記第 1 排ガス通路 4 4 を備える。熱交換器 3 6 は、改質器 4 0 の外側に配設され、前記熱交換器 3 6 と前記改質器 4 0 との間には、第 2 加熱機構 9 4 を構成する間接加熱用空間部 9 6 が形成される。

【 0 0 4 9 】

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、本発明の運転方法との関連で、以下に説明する。

【 0 0 5 0 】

図 3 に示すように、燃料ガス供給装置 1 6 の駆動作用下に、原燃料通路 5 6 には、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。一方、水供給装置 2 0 の駆動作用下に、水通路 5 8 には、水が供給されるとともに、空気供給管 5 2 には、酸化剤ガス供給装置 1 8 を介して酸化剤ガスである、例えば、空気が供給される。この空気は、凝縮器 2 5 を通る際に、燃料電池モジュール 1 2 から排出される排ガスと熱交換することにより加温されている。

20

【 0 0 5 1 】

図 4 に示すように、蒸発器 3 8 では、原燃料通路 5 6 を流れる原燃料に水蒸気が混在されて混合燃料が得られ、この混合燃料は、混合燃料供給管 6 2 を介して改質器 4 0 の入口部に供給される。混合燃料は、改質器 4 0 内で水蒸気改質され、 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、改質器 4 0 の出口部に連通する改質ガス供給路 6 4 を通って燃料電池スタック 3 4 の燃料ガス供給連通孔 6 6 に供給される。このため、改質ガス中のメタンが改質されて水素ガスが得られ、この水素ガスを主成分とする燃料ガスは、アノード電極 2 8 a に供給される。

30

【 0 0 5 2 】

一方、空気供給管 5 2 から熱交換器 3 6 に供給される空気は、この熱交換器 3 6 の空気通路 4 6 に沿って移動する際、第 1 排ガス通路 4 4 に沿って移動する後述する排ガスとの間で熱交換が行われ、所望の温度に予め加温されている。熱交換器 3 6 で加温された空気は、燃料電池スタック 3 4 の酸化剤ガス供給連通孔 5 3 に供給され、カソード電極 2 8 b に供給される。

40

【 0 0 5 3 】

従って、電解質・電極接合体 3 0 では、燃料ガスと空気との電気化学反応により発電が行われる。各電解質・電極接合体 3 0 の外周部に排出される高温（数百）の排ガスは、熱交換器 3 6 の第 1 排ガス通路 4 4 を通って空気と熱交換を行い、この空気を所望の温度に加温して温度低下が惹起される。

【 0 0 5 4 】

この排ガスは、第 2 排ガス通路 4 8 に沿って移動することにより、水通路 5 8 を通過する水を蒸発させる。蒸発器 3 8 を通過した排ガスは、主排気管 6 0 を介して凝縮器 2 5 に送られて水蒸気が凝縮される一方、排ガス成分が外部に排出される。

【 0 0 5 5 】

50

また、排ガスの一部は、分岐排ガス通路 45 を通って改質器 40 を加熱するとともに、前記改質器 40 は、熱交換器 36 からの輻射熱によって加熱され、改質反応ができる温度域（例えば、300～600）まで昇温される。分岐排ガス通路 45 に供給された排ガスは、排気管 50 から排出されて凝縮器 25 に導入される。

【0056】

この場合、第 1 の実施形態では、図 2 に示すように、発電反応に使用されて燃料電池スタック 34 から排出される排ガスの一部を、改質器 40 を直接加熱するための熱媒体として前記改質器 40 に供給する第 1 加熱機構 92 と、前記排ガスの残余を、酸化剤ガスを加熱するための熱媒体として熱交換器 36 に供給するとともに、前記熱交換器 36 で発生する熱を、前記改質器 40 を間接加熱するための熱源として前記改質器 40 に供給する第 2 加熱機構 94 とを備えている。

10

【0057】

このため、改質器 40 は、第 1 加熱機構 92 を構成する第 1 排ガス通路 44 から供給される排ガスの一部によって直接加熱されるとともに、熱交換器 36 で発生する熱は、空間部 96 を介して輻射熱乃至対流熱として前記改質器 40 を間接加熱する。

【0058】

その際、制御装置 24 では、改質器 40 に装着されている複数の温度センサ 84a により検出された前記改質器 40 の各部位における検出温度 t が入力されている。この制御装置 24 では、予め設定された熱自立運転に必要な運転条件値の中、設定温度（温度条件） T と検出温度 t とが比較される。そして、検出温度 $t =$ 設定温度 T となるように、流量調整弁 74 の開閉制御が行われる。

20

【0059】

具体的には、熱交換器 36 から間接加熱されることで、改質器 40 を均熱化するが、検出温度 t が設定温度 T よりも低い場合に（ $t < T$ ）、検出温度 t が設定温度 T に等しい場合（ $t = T$ ）に比較して流量調整弁 74 が開放される。このため、第 1 排ガス通路 44 から分岐排ガス通路 45 に導入される排ガス流量が増加され、排ガスによる改質器 40 の直接加熱が促進される。これにより、検出温度 t と設定温度 T との温度差を縮めるように作動する。従って、分岐排ガス通路 45 から供給される排ガスによる直接加熱と、熱交換器 36 から輻射熱乃至対流熱による間接加熱とがバランスされる。

【0060】

さらにまた、検出温度 t が設定温度 T よりも高い場合（ $t > T$ ）、検出温度 t が設定温度 T に等しい場合（ $t = T$ ）に比較して流量調整弁 74 が閉塞される。このため、改質器 40 は、熱交換器 36 からの輻射熱乃至対流熱により間接加熱される。

30

【0061】

上記の制御が行われることによって、燃料電池システム 10 では、発生熱量が小さい部分負荷運転時であっても、改質器 40 は、熱自立運転に必要な運転条件値（温度条件値）に維持され、前記燃料電池システム 10 は、部分負荷時の熱自立運転が可能になり、熱効率が向上するという効果が得られる。

【0062】

また、改質器 40 は、予め設定された運転条件値、すなわち、原燃料に対する炭素（C）と水蒸気（S）とのモル比（S/C比）= 1.0 に設定することも可能になる。その結果、コーキング限界まで S/C 比を下げることができ、水の供給量が大幅に削減され、水供給装置 20 の負荷が軽減される。

40

【0063】

さらに、第 1 の実施形態では、排ガスは、改質器 40 及び熱交換器 36 に供給されることにより、熱媒体及び熱源として使用された後、凝縮器 25 に供給されることにより、酸化剤ガスや水等の冷媒体を加熱するための熱媒体として、再度、使用されている。図 2 に示すように、排気管 50 を通る排ガスは、凝縮器 25 を介して 150～600 の温度が常温～100 の温度に低下する一方、主排気管 60 を通る排ガスは、前記凝縮器 25 を介して 90～400 の温度が常温～50 の温度に低下している。従って、排ガス

50

の排熱を効率的に利用することができ、前記排熱の回収率が向上して経済的であるという利点がある。

【0064】

さらに、凝縮器25の下流側には、改質器40に供給される排ガスの流量を調整するための流量調整弁74が設けられるとともに、この流量調整弁74は、制御装置24によって制御されている。これにより、改質器40は、流量調整弁74を制御するだけで、予め設定された自立運転に必要な運転条件値(温度条件値)に維持されるため、簡単な構成及び工程で、燃料電池システム10の熱自立運転が可能な領域が拡大され、熱効率の向上が図られる。

【0065】

しかも、流量調整弁74は、凝縮器25の下流に配置されている。このため、流量調整弁74は、改質器40から直接供給される高温(150 ~ 600)の排ガスに曝されることを抑制することができ、前記流量調整弁74の耐久性及び寿命が向上するとともに、前記流量調整弁74を比較的安価に構成することが可能になる。

【0066】

さらに、凝縮器25において排ガスにより加熱される熱媒体は、熱交換器36に供給される前の酸化剤ガスである。ここで、酸化剤ガスは、凝縮器25で排ガスにより、例えば、150以下に加熱された後、熱交換器36で所望の温度に再度加熱されて、燃料電池スタック34に供給されている。従って、燃料電池32の温度低下を抑制するとともに、排熱の回収率、すなわち、熱効率が有効に向上して経済的であるという効果がある。

【0067】

さらにまた、熱交換器36により排ガスを介して加熱される冷媒体は、この凝縮器25に接続される温水機構76から供給される水である。従って、排ガスの熱を利用して温水を得ることができ、熱効率が向上して経済的である。

【0068】

その上、第2熱交換器として、凝縮器25が用いられるため、排ガス中に含まれる多量の水蒸気を凝縮した凝縮水を得ることが可能になる。このため、この凝縮水を再利用することによって、外部の給水機構が不要になり、燃料電池システム10の水供給系が有効に簡素化される。

【0069】

また、混合燃料を生成するために水を蒸発させて水蒸気を得る蒸発器38には、熱交換器36から第2排ガス通路48を介して排ガスが供給されている。このため、蒸発器38は、熱自立運転に必要な運転条件値(温度条件値)に設定され、燃料電池システム10は、部分負荷時の熱自立運転が容易に可能になる。

【0070】

ここで、蒸発器38には、複数の温度センサ84b、前記蒸発器38に供給される原燃料の流量を検出する第1流量計86a及び前記蒸発器38に供給される水の流量を検出する第2流量計38bが設けられている。従って、蒸発器38の温度、前記蒸発器38に供給される原燃料の流量、又は、前記蒸発器38に供給される水の流量の少なくともいずれかが、予め設定された条件値に維持されることにより、燃料電池システム10は、熱自立運転が可能な領域が一層拡大され、熱効率が良好に向上する。

【0071】

さらにまた、温水機構76では、温水の需要が少ないときには、ポンプ82を停止させる一方、この温水により凝縮器25に供給される酸化剤ガスの加熱を行うこともできる。

【0072】

さらに、燃料電池モジュール12では、高温型燃料電池システム、例えば、固体酸化物形燃料電池(SOFC)モジュールにより構成されることにより、良好な効果が得られる。運転温度が高いため、運転時の発生熱量が大きく、排熱の回収を容易に行うことができるからである。なお、固体酸化物形燃料電池モジュールに代えて、他の高温型燃料電池モジュールや中温型燃料電池モジュールにも好適に用いることができる。例えば、熔融炭酸

10

20

30

40

50

塩形燃料電池（MFC）、リン酸形燃料電池（PAFC）及び水素分離膜形燃料電池（HMFC）等が良好に採用可能である。

【0073】

また、第1の実施形態では、燃焼器14としてトーチヒータが使用されているが、これに限定されるものではない。例えば、燃焼器14として、バーナーを使用するとともに、原燃料通路56には、燃料ガス供給装置16の下流に切替バルブ（図示せず）を配設して燃焼器14に、原燃料と空気とが供給されるように構成してもよい。

【0074】

図5は、本発明の第2の実施形態に係る燃料電池システム100の機械系回路を示す概略構成説明図であり、図6は、前記燃料電池システム100の抽気回路の説明図である。なお、第1の実施形態に係る燃料電池システム10と同一の構成要素には同一の参照符号を付して、その詳細な説明は省略する。また、以下に説明する第3の実施形態においても同様に、その詳細な説明は省略する。

10

【0075】

燃料電池システム100では、凝縮器25が空気供給管52の系外に配置されており、酸化剤ガス供給装置18から供給される酸化剤ガスは、前記凝縮器25を通らずに、直接、熱交換器36に供給される。従って、凝縮器25では、排ガスを熱媒体として温水機構から供給される水にみを加熱する。

【0076】

図7は、本発明の第3の実施形態に係る燃料電池システム120の抽気回路の説明図である。

20

【0077】

燃料電池システム120では、熱交換器36に、第2排ガス通路48に代えて、第2排ガス通路122が連通する。この第2排ガス通路122は、主排気管60に連通する。改質器40には、分岐排ガス通路45の出口側に対応して排ガス通路124が設けられ、この排ガス通路124は、蒸発器38に連通しており、この蒸発器38に水を蒸発させるための熱源として排ガスを供給するための通路を構成する。

【0078】

このように構成される第3の実施形態では、蒸発器38は、改質器40に混合燃料を供給するとともに、前記改質器40から排出される排ガスが、水を蒸発させる熱媒体として排ガス通路124を介して前記蒸発器38に供給されるように構成されている。従って、蒸発器38は、熱自立運転に必要な運転条件値（温度条件値）に維持され、燃料電池システム120は、部分負荷時の熱自立運転が可能になり、熱効率が向上するという効果がある。

30

【図面の簡単な説明】

【0079】

【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機械系回路を示す概略構成説明図である。

【図2】前記燃料電池システムの抽気回路の説明図である。

【図3】前記燃料電池システムの回路図である。

40

【図4】前記燃料電池システムを構成する燃料電池モジュールの要部断面説明図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る燃料電池システムの機械系回路を示す概略構成説明図である。

【図6】前記燃料電池システムの抽気回路の説明図である。

【図7】本発明の第3の実施形態に係る燃料電池システムの抽気回路の説明図である。

【図8】特許文献1の熱自立型固体酸化物形燃料電池システムの概略斜視説明図である。

【図9】特許文献2の個体酸化物形燃料電池システムの説明図である。

【符号の説明】

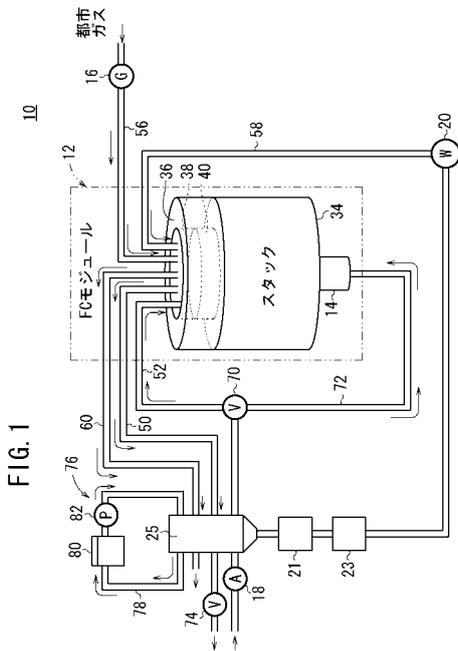
【0080】

10、100、120...燃料電池システム

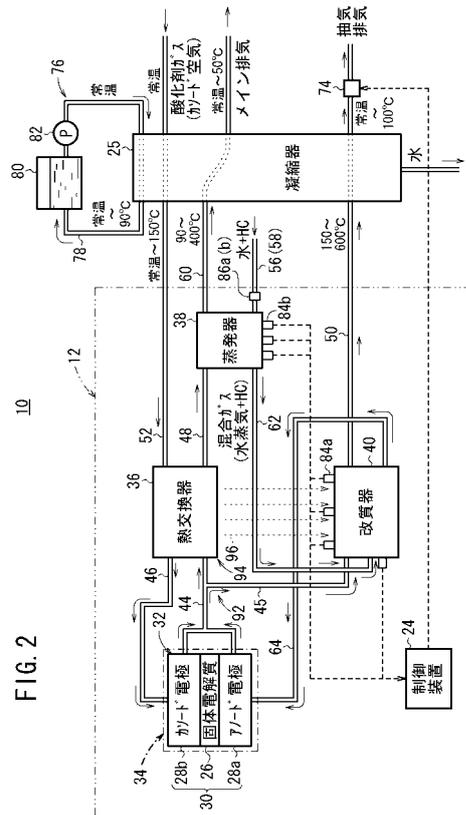
50

- 1 2 ... 燃料電池モジュール
- 1 6 ... 燃料ガス供給装置
- 2 0 ... 水供給装置
- 2 4 ... 制御装置
- 2 6 ... 固体電解質
- 2 8 b ... カソード電極
- 3 1 ... セパレータ
- 3 4 ... 燃料電池スタック
- 3 8 ... 蒸発器
- 4 4、4 8、1 2 2、1 2 4 ... 排ガス通路
- 4 5 ... 分岐排ガス通路
- 5 0 ... 排気管
- 5 6 ... 原燃料通路
- 6 2 ... 混合燃料供給管
- 7 4 ... 流量調整弁
- 8 4 a、8 4 b ... 温度センサ
- 8 8 ... 検知器
- 9 6 ... 空間部
- 1 4 ... 燃焼器
- 1 8 ... 酸化剤ガス供給装置
- 2 2 ... 電力変換装置
- 2 5 ... 凝縮器
- 2 8 a ... アノード電極
- 3 0 ... 電解質・電極接合体
- 3 2 ... 燃料電池
- 3 6 ... 熱交換器
- 4 0 ... 改質器
- 4 6 ... 空気通路
- 5 2 ... 空気供給管
- 6 0 ... 主排気管
- 6 4 ... 改質ガス供給路
- 7 6 ... 温水機構
- 8 6 a、8 6 b ... 流量計
- 9 2、9 4 ... 加熱機構

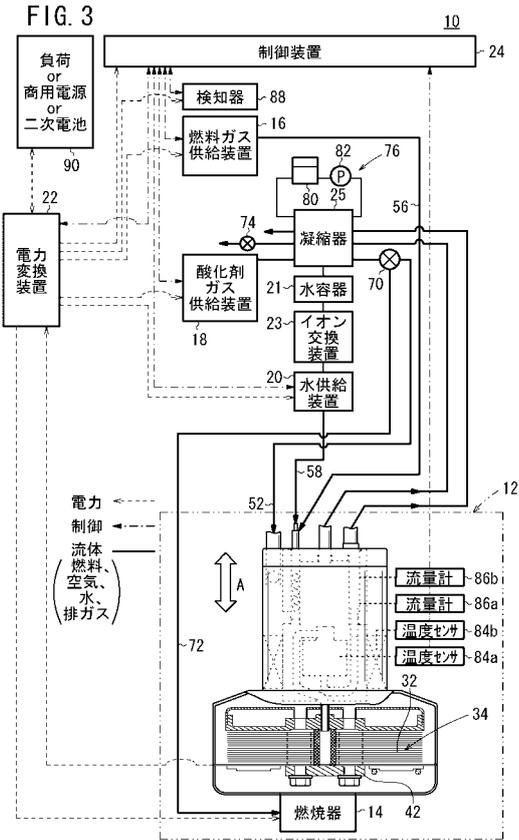
【 図 1 】



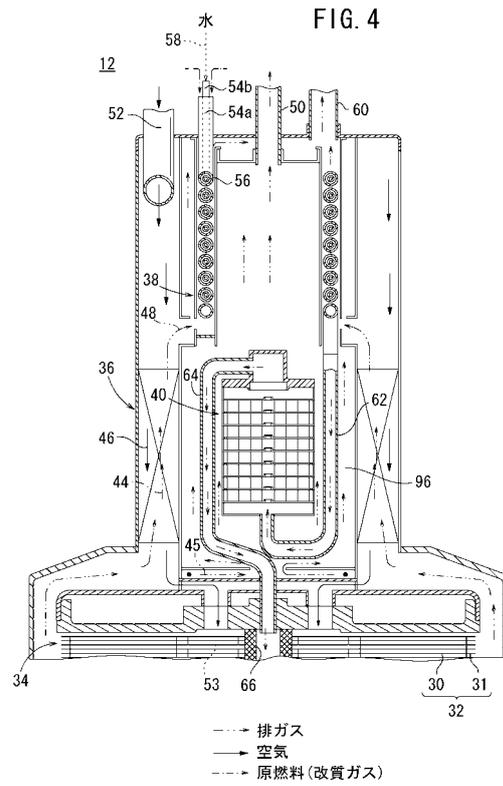
【 図 2 】



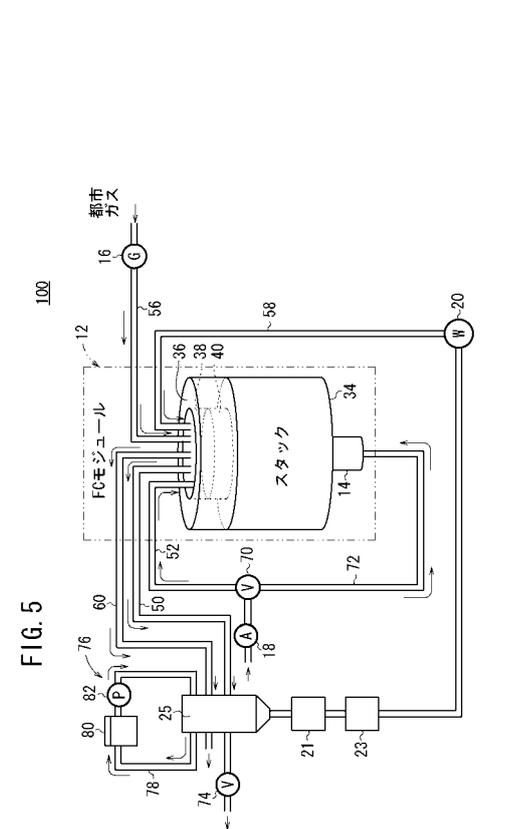
【図3】



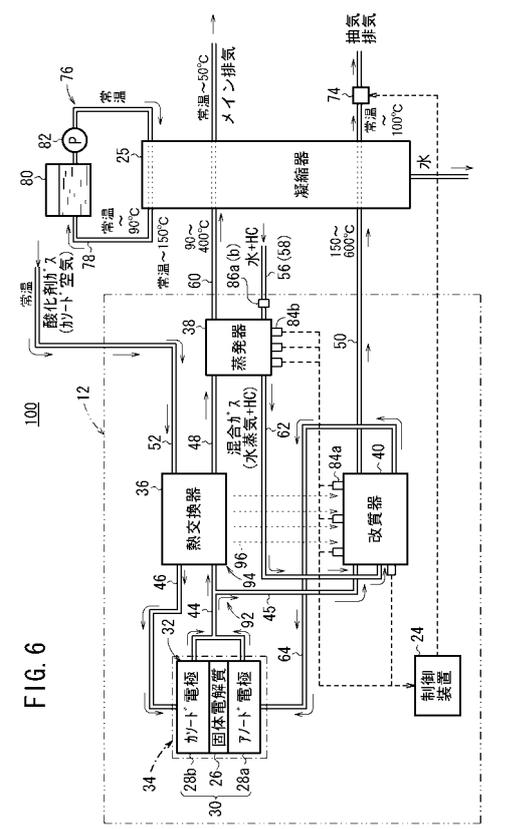
【図4】



【図5】



【図6】



【 図 7 】

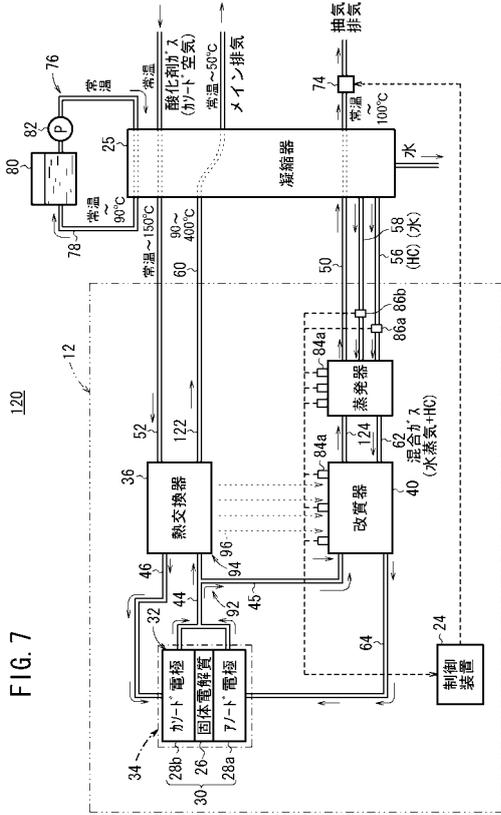


FIG. 7

120

【 図 8 】

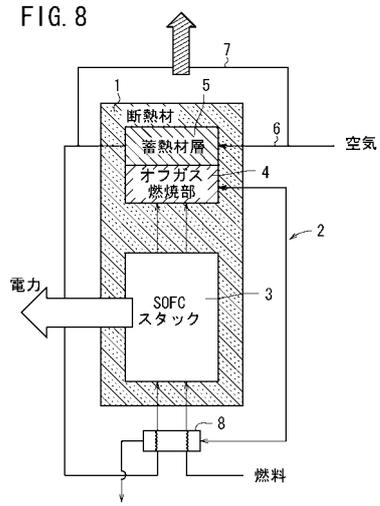


FIG. 8

【 図 9 】

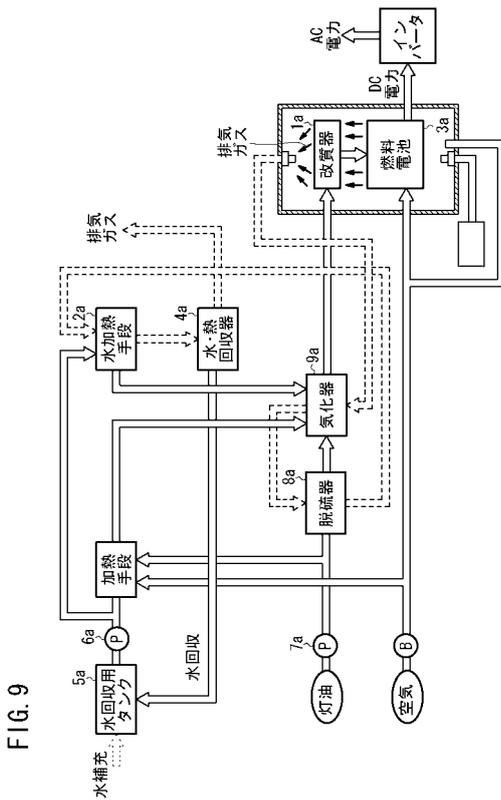


FIG. 9

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 M 8/12

Fターム(参考) 5H027 AA06 BA01 BA05 BA09 BA16 DD03 KK25 KK42 KK46 MM08
MM13 MM27