

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6960610号
(P6960610)

(45) 発行日 令和3年11月5日(2021.11.5)

(24) 登録日 令和3年10月14日(2021.10.14)

(51) Int.Cl.

F 1

HO 1 M	8/04	(2016.01)
HO 1 M	8/0612	(2016.01)
HO 1 M	8/04303	(2016.01)
CO 1 B	3/38	(2006.01)
HO 1 M	8/12	(2016.01)

HO 1 M	8/04	J
HO 1 M	8/0612	
HO 1 M	8/04303	
CO 1 B	3/38	
HO 1 M	8/12	1 O 1

請求項の数 10 (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2017-184437 (P2017-184437)

(22) 出願日

平成29年9月26日 (2017.9.26)

(65) 公開番号

特開2018-67534 (P2018-67534A)

(43) 公開日

平成30年4月26日 (2018.4.26)

審査請求日 令和2年8月28日 (2020.8.28)

(31) 優先権主張番号 特願2016-202582 (P2016-202582)

(32) 優先日 平成28年10月14日 (2016.10.14)

(33) 優先権主張国・地域又は機関
日本国 (JP)

(73) 特許権者 314012076

パナソニックIPマネジメント株式会社
大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号

(74) 代理人 110000556

特許業務法人 有古特許事務所

(72) 発明者 鶴飼 邦弘

大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
ソニック株式会社内

審査官 加藤 昌人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

カソードに供給される空気とアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電する固体酸化物型の燃料電池と、

前記燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと前記燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼させ、燃焼排ガスを生成する燃焼器と、

原料の水蒸気改質により前記燃料電池のアノードに供給するための前記水素含有ガスを生成する改質器と、

前記燃焼排ガスおよび前記燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知する第1温度検知器と、

前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記第1温度検知器の検知温度が、予め設定された第1閾値を下回ると、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作、および、前記改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行う制御器と、を備える燃料電池システムであって、

前記制御器は、前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対して前記アノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、前記第1温度検知器の検知温度が前記第1閾値を下回ると、前記少なくともいずれか1つの動作を行う、燃料電池システム。

【請求項 2】

10

20

前記制御器は、前記燃料電池の発電継続中において、前記第1温度検知器の検知温度が前記第1閾値を下回ると、前記少なくともいずれか1つの動作を行う請求項1に記載の燃料電池システム。

【請求項3】

前記制御器は、前記第1温度検知器の検知温度が前記第1閾値を下回ると、前記少なくともいずれか1つの動作を行った後、前記第1温度検知器の検知温度が、前記第1閾値よりも低い温度に予め設定された第2閾値を下回ると、前記燃料電池システムの運転を停止させる請求項1または2に記載の燃料電池システム。

【請求項4】

前記制御器は、前記第1温度検知器の検知温度が前記第1閾値を下回ると、前記少なくともいずれか1つの動作を行った後、前記第1温度検知器の検知温度が、前記第1閾値よりも低い温度であって前記燃焼器の火炎が失火する直前の温度に予め設定された第3閾値を下回ると、前記燃料電池システムの運転を停止させる請求項1または2に記載の燃料電池システム。

10

【請求項5】

前記燃料電池の温度を検知する第2温度検知器を備え、

前記制御器は、前記第1温度検知器の検知温度が前記第1閾値を下回ると、前記第2温度検知器の検知温度が、予め設定された第4閾値を超えないように、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費させる空気の割合を高くする動作を行う請求項1から4のいずれかに記載の燃料電池システム。

20

【請求項6】

前記燃料電池のカソードに空気を供給する空気供給器を備え、

前記制御器は、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作として、前記燃料電池のカソードに供給する空気の流量が減少するように前記空気供給器を制御する請求項1から5のいずれかに記載の燃料電池システム。

【請求項7】

カソードに供給される空気とアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電する固体酸化物型の燃料電池と、

前記燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと前記燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼させ、燃焼排ガスを生成する燃焼器と、

30

原料の水蒸気改質により前記燃料電池のアノードに供給するための前記水素含有ガスを生成する改質器と、

前記燃焼排ガスおよび前記燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知する第1温度検知器と、

前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記第1温度検知器の検知温度が、予め設定された第1閾値を下回ると、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作、および、前記改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行う制御器と、を備える燃料電池システムであって、

40

前記改質器に原料を供給する原料供給器を備え、

前記制御器は、前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記第1温度検知器の検知温度が、予め設定された第1閾値を下回ると、前記改質器に供給する原料の流量が増加するように前記原料供給器を制御する燃料電池システム。

【請求項8】

前記制御器は、前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記第1温度検知器の検知温度が、予め設定された第1閾値を下回ると、前記燃料電池の発電量が下がるように前記燃料電池システムを制御する請求項1から5のいずれかに記載の燃料電池システム。

【請求項9】

前記改質器に水を供給する水供給器を備え、

50

前記制御器は、前記改質器に供給される水の流量が減少するように前記水供給器を制御する請求項1から5のいずれかに記載の燃料電池システム。

【請求項10】

固体酸化物型の燃料電池において、前記燃料電池のカソードに供給される空気と前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電し、

前記燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと前記燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとが燃焼器で燃焼することで燃焼排ガスを生成し、

改質器において、原料の水蒸気改質により前記燃料電池のアノードに供給するための前記水素含有ガスを生成し、

温度検知器において、前記燃焼排ガスおよび前記燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知し、10

前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記温度検知器の検知温度が、予め設定された閾値を下回ると、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作、および、前記改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作が行われる燃料電池システムの運転方法であって、

前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対して前記アノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、前記温度検知器の検知温度が前記閾値を下回ると、前記少なくともいずれか1つの動作が行われる、燃料電池システムの運転方法。20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、小型でも発電効率が高く、発電時に発生する熱を利用することで総合効率が高くなるので、分散型発電システムの発電部として用いられている。特に、固体酸化物を電解質として高温で作動する固体酸化物型の燃料電池（以下、S O F Cと略す場合がある）は、発電効率が高いことが知られている。30

【0003】

分散型の発電システムを機能させるには、発電時の燃料ガスを安定的に供給する必要がある。一般的に、燃料電池は、既存のインフラストラクチャーから供給されるメタンガスを主成分とする天然ガス、L P G、ガソリン、灯油などを原料として、原料の改質反応により得られた水素含有ガスを燃料に用いて発電する。この改質反応（吸熱反応）は、550 - 750 程度の温度範囲で進行させる必要があり、改質反応に必要な熱は、一般的に、S O F Cの発電で未使用の水素含有ガスを燃焼させることで賄われている。特に、S O F Cは、改質反応と同等の高温で動作され、S O F Cの発電で未使用の空気も発電時に発生する熱により高温になっている。よって、これらの熱エネルギーを発電に関わる反応にも有効利用し、発電効率の高い発電が行われる。40

【0004】

ここで、燃料電池システムの熱の有効活用のため、燃料電池スタック（燃料電池の単セルの集合体）、改質器および空気熱交換器を一体に収容する構成を取ることがある。例えば、燃料電池スタックを中心部に配置し、燃料電池スタックの上方に改質器を配置する構成が知られている。また、燃料電池スタックの上部において、燃料電池スタックでの発電反応に寄与しなかった水素含有ガス（アノードオフガス）および空気（カソードオフガス）を燃焼させる燃焼器を構成するとともに、その上方に燃焼検知器を設ける構成が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

また、燃料電池で熱を有効利用するには、燃焼器の適切な燃焼状態を確保する必要があ50

るので、特許文献 2 では、燃料電池システムの起動時における燃焼器の再着火時のガス流量制御が記載されている。例えば、燃焼器が吹き消えているか否かを判定する判定部が設けられ、この吹き消えの判定により、原料または空気の流量が制御されて、燃焼器を再着火する構成が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2010 - 67547 号公報

【特許文献 2】特開 2015 - 185213 号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、特許文献 2 では、上記のとおり、燃料電池システムの起動時における燃焼器の再着火時のガス流量制御が記載されているに過ぎず、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃焼器の燃焼状態が不安定に至る場合の問題については十分に検討されていない。

【0008】

本開示の一態様(aspect)は、このような事情に鑑みてなされたものであり、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃焼器の燃焼状態を従来よりも安定化させ得る燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

20

【0009】

上記課題を解決するため、本開示の一態様の燃料電池システムは、カソードに供給される空気とアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電する固体酸化物型の燃料電池と、前記燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと前記燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼させ、燃焼排ガスを生成する燃焼器と、原料の水蒸気改質により前記燃料電池のアノードに供給するための前記水素含有ガスを生成する改質器と、前記燃焼排ガスおよび前記燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知する第 1 温度検知器と、前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記第 1 温度検知器の検知温度が、予め設定された第 1 閾値を下回ると、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作、前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対して前記アノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、前記改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいざれか 1 つの動作を行う制御器と、を備える。

30

【0010】

また、本開示の一態様の燃料電池システムの運転方法は、固体酸化物型の燃料電池において、前記燃料電池のカソードに供給される空気と前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電し、前記燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと前記燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとが燃焼器で燃焼することで燃焼排ガスを生成し、改質器において、原料の水蒸気改質により前記燃料電池のアノードに供給するための前記水素含有ガスを生成し、温度検知器において、前記燃焼排ガスおよび前記燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知し、前記燃焼器の火炎が形成されている状態で、前記温度検知器の検知温度が、予め設定された閾値を下回ると、前記燃料電池のカソードに供給される空気に対して前記カソードで消費される空気の割合を高くする動作、前記燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対して前記アノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、前記改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいざれか 1 つの動作が行われる。

40

【発明の効果】

【0011】

本開示の一態様の燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法は、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃焼器の燃焼状態を従来よりも安定化させ得るという効果を

50

奏する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、第1実施形態の燃料電池システムの一例を示す図である。

【図2】図2は、第1実施形態の燃料電池システムの動作(運転)の一例を示すフローチャートである。

【図3】図3は、第1実施形態の第1実施例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図4】図4は、第1実施形態の第2実施例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図5】図5は、第1実施形態の第1変形例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、第1実施形態の第2変形例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図7】図7は、第2実施形態の燃料電池システムの一例を示す図である。

【図8】図8は、第2実施形態の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

燃料電池システムの運転中には、燃料電池の発電に寄与しなかったアノードオフガスおよびカソードオフガスが燃焼器で燃焼するので、燃焼器の燃焼状態が不安定となる可能性がある。例えば、高効率条件で燃料電池の発電を行うには、燃料電池のアノードでの水素消費割合を高める運転が必要であるが、このような燃料電池システムの高効率な運転を行うことで燃焼器では吹き消え領域に近い希薄燃焼となる場合がある。

【0014】

ところで、このような燃料電池システムの運転中に、燃焼器が突然、失火すると、固体酸化物型の燃料電池の温度が急激に低下する。特に、固体酸化物型の燃料電池の電解質はセラミックで構成されているので、このような急激な温度変化で電解質に、ヒートクラックなどのダメージが起こる可能性がある。これは、燃料電池システムの劣化要因になり、燃料電池システムが劣化することで燃料電池の発電性能低下、高効率運転の障害にもつながる。

【0015】

そこで、燃料電池システムの運転中の燃焼器の燃焼状態を検討した結果、燃焼器の正常燃焼領域から燃焼器の火炎の吹き消え領域に至るまでの燃焼継続領域で、燃焼排ガス中の一酸化炭素ガスの濃度が増加する不安定領域が存在することがわかった。そして、この不安定領域において、燃焼器の燃焼温度と燃焼排ガス中の一酸化炭素ガスの濃度との間で相関関係があることもわかった。

【0016】

ここで、燃焼器の火炎の吹き消え領域に至るまでの燃焼継続領域において、燃焼器の燃焼状態が不安定となった場合に、起動時にならって予め想定した条件により燃料電池システムを停止させることもできる。しかし、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃料電池システムの停止動作を繰り返すと、上記のとおり、固体酸化物型の燃料電池の急激な温度変化により、燃料電池の電解質(セラミック)にダメージを与え、燃料電池システムの正常な発電動作が継続できない可能性がある。

【0017】

すなわち、本開示の第1の態様の燃料電池システムは、以上の知見に基づいて案出できたものであり、カソードに供給される空気とアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電する固体酸化物型の燃料電池と、燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼させ、燃焼排ガスを生成する燃焼器と、原料の水蒸気改質により燃料電池のアノードに供給するための水

10

20

30

40

50

素含有ガスを生成する改質器と、燃焼排ガスおよび燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知する第1温度検知器と、燃焼器の火炎が形成されている状態で、第1温度検知器の検知温度が、予め設定された第1閾値を下回ると、燃料電池のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行う制御器と、を備える。

【0018】

また、本開示の第1の態様の燃料電池システムの運転方法は、固体酸化物型の燃料電池において、燃料電池のカソードに供給される空気と燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電し、燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとが燃焼器で燃焼することで燃焼排ガスを生成し、改質器において、原料の水蒸気改質により燃料電池のアノードに供給するための水素含有ガスを生成し、温度検知器において、燃焼排ガスおよび燃焼器のうちの少なくとも一方の温度を検知し、燃焼器の火炎が形成されている状態で、温度検知器の検知温度が、予め設定された閾値を下回ると、燃料電池のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行われる。

10

【0019】

以上により、本態様の燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法は、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃焼器の燃焼状態を従来よりも安定化させ得る。これにより、燃焼器の燃焼を継続させながら、燃焼器の燃焼状態を改善できるので、燃料電池の急激な温度変化により燃料電池の電解質（セラミック）に与えられるダメージが従来よりも抑制される。よって、燃料電池システムの耐久性を向上できる。

20

【0020】

つまり、燃焼器の火炎が吹き消える領域（希薄燃焼）では、この吹き消え領域に近づく程、燃焼状態が不安定になり、燃焼器の燃焼温度が低下する。よって、燃焼器の健全な燃焼状態を維持し得る燃焼器の燃焼温度が第1閾値として予め設定されている。そして、燃焼器の火炎が形成されている状態で、第1温度検知器の検知温度が第1閾値を下回ると、上記の少なくともいずれか1つの動作が行われる。

30

【0021】

具体的には、燃焼器は、燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガスと燃料電池のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼するので、燃焼器に送られるアノードオフガス量と比較してカソードオフガス（空気）量が多くなる場合がある。この場合、燃焼器の燃焼状態が不安定な希薄燃焼になる可能性がある。

【0022】

そこで、本態様の燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法では、燃料電池のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作を行い、燃焼器に送られるカソードオフガス量を低減させることができる。すると、アノードオフガス量と比較してカソードオフガス量が少なくなるので、燃焼器の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器の燃焼を継続させながら、燃焼器の燃焼状態を改善することができる。

40

【0023】

また、燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作を行い、燃焼器に送られるアノードオフガス量を増加させることができる。すると、カソードオフガス量に比較してアノードオフガス量が多くなるので、燃焼器の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器の燃焼を継続させながら、燃焼器の燃焼状態を改善することができる。

50

【0024】

また、改質器に供給される水の量を少なくする動作を行い、改質器から燃料電池のアノードに送られる水素含有ガス（水素ガス）中の水蒸気量を低減させることができる。すると、改質器の水の蒸発に必要な燃焼排ガスの熱量を少なくし得るので、空気熱交換器の空気と燃焼排ガスとの熱交換量が増加する。これにより、空気熱交換器から燃料電池への空気の温度を高めて、燃料電池の温度およびカソードオフガスの温度を上げることができ。よって、燃焼器の燃焼温度の上昇により燃焼反応の維持が容易となるので、燃焼器の燃焼を継続させながら、燃焼器の燃焼状態を改善することができる。さらに、改質器から燃料電池のアノードに送られる水素含有ガス（水素ガス）中の水蒸気量を低減させると、アノードオフガス中の水素ガスの割合を増やすことができる。すると、燃焼器の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器の燃焼を継続させながら、燃焼器の燃焼状態を改善することができる。10

【0025】

本開示の第2の態様の燃料電池システムは、第1の態様の燃料電池システムにおいて、燃料電池のカソードに空気を供給する空気供給器を備え、制御器は、燃料電池のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作として、燃料電池のカソードに供給する空気の流量が減少するように空気供給器を制御してもよい。

【0026】

かかる構成によると、空気供給器の操作量を調整することで、上記の動作が適切に行われる。20

【0027】

また、本開示の第3の態様の燃料電池システムは、第1の態様の燃料電池システムにおいて、改質器に原料を供給する原料供給器を備え、制御器は、燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作として、改質器に供給する原料の流量が増加するように原料供給器を制御してもよい。

【0028】

かかる構成によると、原料供給器の操作量を調整することで、上記の動作が適切に行われる。

【0029】

また、本開示の第4の態様の燃料電池システムは、第1の態様の燃料電池システムにおいて、制御器は、燃料電池のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作として、燃料電池の発電量が下がるように燃料電池システムを制御してもよい。30

【0030】

かかる構成によると、燃料電池システムの操作量を調整することで、上記の動作が適切に行われる。

【0031】

また、本開示の第5の態様の燃料電池システムは、第1の態様の燃料電池システムにおいて、改質器に水を供給する水供給器を備え、制御器は、改質器に供給される水の流量が減少するように水供給器を制御してもよい。40

【0032】

かかる構成によると、水供給器の操作量を調整することで、水の流量の減少が適切に行われる。

【0033】

以下、添付図面を参照しつつ、本開示の第1実施形態、第1実施形態の第1実施例 - 第2実施例、第1実施形態の第1変形例 - 第2変形例および第2実施形態について説明する。

【0034】

以下で説明する第1実施形態、第1実施形態の第1実施例 - 第2実施例、第1実施形態の第1変形例 - 第2変形例および第2実施形態は、いずれも上記の各態様の一例を示すも50

のである。よって、以下で示される形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、動作のステップおよびステップの順序などは、あくまで一例であり、請求項に記載されていない限り、上記の各態様を限定するものではない。また、以下の構成要素のうち、本態様の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、図面において、同じ符号が付いたものは、説明を省略する場合がある。また、図面は理解しやすくするために、それぞれの構成要素を模式的に示したもので、形状および寸法比などについては正確な表示ではない場合がある。また、動作においては、必要に応じて、各ステップの順序などを変更できる。また、必要に応じて、他の公知のステップを追加できる。

【0035】

10

(第1実施形態)

[装置構成]

図1は、第1実施形態の燃料電池システムの一例を示す図である。

【0036】

図1に示すように、燃料電池システム100は、固体酸化物型の燃料電池1(以下、S OFC1)と、燃焼器2と、改質器4と、空気熱交換器7と、原料供給器10と、水供給器11と、空気供給器12と、水素含有ガス供給経路13と、空気供給経路14と、アノードオフガス排出経路15と、カソードオフガス排出経路16と、火炎ガイド18と、制御器20と、第1温度検知器21と、を備える。

【0037】

20

なお、図1において、便宜上、燃料電池システム100の「上」および「下」を同図に示す如く取っており、重力は、「上」から「下」に作用するものとする。

【0038】

改質器4は、原料の水蒸気改質によりS OFC1のアノードに供給するための水素含有ガスを生成する。具体的には、改質器4は、円筒内壁4Aと、円筒外壁4Bと、円筒内壁4Aと円筒外壁4Bとの間に設けられた改質触媒4Cとを備え、改質触媒4Cに原料および水が供給されることで、原料の水蒸気改質反応が進行し、水素含有の改質ガスが生成される。なお、改質器4の容器は、円筒内壁4Aと円筒外壁4Bとで構成する2重円筒形状になっている。これにより、高温状態の改質器4の熱応力への耐性が、例えば、改質器4の容器を矩形筒形状で構成する場合に比べ適切に確保できる。

30

【0039】

改質器4の改質反応は、いずれの形態であってもよい。改質反応として、例えば、水蒸気改質反応、オートサーマル反応などを挙げることができる。なお、改質触媒4Cには、一般的に、Pt、Ru、Rhなどの貴金属系触媒およびNiからなる群の中から選択される少なくとも1種を用いることができる。本実施形態の燃料電池システム100では、改質器4の改質反応として、原料の水蒸気改質反応を行い、改質器4の改質触媒4Cとして、Ruを含む触媒を用いている。

【0040】

原料供給器10は、改質器4に原料を供給する。原料供給器10は、改質器4に原料を供給できれば、どのような構成であってもよい。原料供給器10は、改質器4に送る原料流量を調整する機器であり、例えば、昇圧器および流量調整弁で構成されてもよいし、これらのいずれか一方により構成されてもよい。昇圧器は、例えば、定容積型ポンプを用いることができるが、これに限定されない。原料は、原料供給源より供給される。原料供給源は、所定の供給圧を有しており、例えば、原料ボンベ、原料インフラなどを例示できる。なお、原料は、メタンを主成分とする都市ガス、天然ガス、LPGなどの少なくとも炭素および水素から構成される有機化合物を含む炭化水素燃料である。

40

【0041】

水供給器11は、改質器4に水を供給する。水供給器11は、改質器4に水を供給できれば、どのような構成であってもよい。水供給器11は、改質器4に送る水流量を調整するための機器であり、例えば、昇圧器および流量調整弁で構成されてもよいし、これらの

50

いずれか一方により構成されてもよい。昇圧器は、例えば、定容積型ポンプを用いることができるが、これに限定されない。

【0042】

図1に示すように、改質器4は、改質触媒4Cの上方に、円筒内壁4Aおよび円筒外壁4Bによって形成される水蒸発部4Dを備える。つまり、改質器4の容器内の下方部分には、改質触媒4Cが充填されており、上方部分には水蒸発部4Dが形成されている。これにより、改質器4が水蒸発部を備えない場合に比べ、改質触媒4Cへ供給する水蒸気を生成するための水蒸発部4Dを簡易に構成できる。そして、原料供給器10からの原料および水供給器11からの水が水蒸発部4Dに送られて、原料および水蒸気が水蒸発部4Dで混合された後、混合ガスが改質触媒4Cへ供給される。

10

【0043】

なお、水蒸発部4Dは、水蒸発部4D内を流れる水を途中で一時的に溜める水受け部(図示せず)を備えてもよいし、螺旋流路を形成する流路部材(図示せず)を備えてもよい。かかる水受け部または流路部材により、水蒸発部4D内の水を重力が作用する方向に落下させる場合でも、水蒸発部4Dの途中で水を適切に蒸発させることができる。

【0044】

図1には示されていないが、改質反応において必要となる機器を適宜設けられる。例えば、改質反応がオートサーマル反応であれば、燃料電池システム100には、さらに、改質器4に改質反応用の空気を供給する供給器などが設けられる。

【0045】

空気供給器12は、SOF C1のカソードに空気を供給する。空気供給器12は、SOF C1のカソードに空気を供給できれば、どのような構成であってもよい。空気供給器12は、SOF C1のカソードに送る空気流量を調整するための機器であり、例えば、プロア、シロッコファンなどで構成されてもよい。

20

【0046】

図1に示すように、空気供給器12は、空気熱交換器7に接続している。空気熱交換器7は、筒状内壁7Aと、筒状外壁7Bと、筒状内壁7Aと筒状外壁7Bとの間に設けられた空気経路7Cとを備え、改質器4を囲み、かつ改質器4と同軸状に配置されている。つまり、空気熱交換器7の容器は、筒状内壁7Aと筒状外壁7Bとで構成する2重筒形状に構成され、この容器の内部が、空気熱交換器7の受熱流体に用いる空気の通過経路となっている。空気熱交換器7で加熱された空気は、SOF C1のカソードに送られ、SOF C1の発電に利用される。なお、空気熱交換器7の加熱流体に用いる燃焼排ガスの経路については後述する。

30

【0047】

空気熱交換器7の筒状内壁7Aおよび筒状外壁7Bの外形は、円筒形状であってもよいし、矩形筒形状であってもよい。筒状内壁7Aおよび筒状外壁7Bを円筒形状で構成する場合、矩形筒形状で構成する場合に比べ熱応力への耐性に優れるという利点がある。筒状内壁7Aおよび筒状外壁7Bを矩形筒形状で構成する場合、円筒形状で構成する場合に比べ空気熱交換器7を断熱材で覆いやすくなるという利点がある。

【0048】

40

SOF C1は、カソードに供給される空気とアノードに供給される水素含有ガスとを燃料として発電する。具体的には、SOF C1は、改質器4で生成された水素含有ガスおよび空気熱交換器7を通過した空気を用いて発電する。SOF C1は、図示しない燃料電池スタックを備える。燃料電池スタックは、例えば、平板型セルおよびインターコネクタなどの部材を積層した平板状に形状されている。なお、燃料電池スタックは、平板型形状に限定されるものではない。

【0049】

また、図1に示すように、改質器4からSOF C1への水素含有ガスの供給に用いる水素含有ガス供給経路13と、空気熱交換器7からSOF C1への空気供給に用いる空気供給経路14と、SOF C1の発電に使用しなかった水素含有ガス(アノードオフガス)の

50

燃焼器 2 への排出に用いるアノードオフガス排出経路 15 と、S O F C 1 の発電に使用しなかった空気（カソードオフガス）の燃焼器 2 への排出に用いるカソードオフガス排出経路 16 とが、S O F C 1 の適所に接続されている。

【 0 0 5 0 】

燃焼器 2 は、S O F C 1 のアノードから排出されるアノードオフガスと S O F C 1 のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼させ、燃焼排ガスを生成する。

【 0 0 5 1 】

図 1 に示すように、S O F C 1 から排出されるアノードオフガスおよびカソードオフガスがそれぞれ、アノードオフガス排出経路 15 およびカソードオフガス排出経路 16 のそれぞれを介して燃焼器 2 に送られ、これらのガスが燃焼器 2 で燃焼される。これにより、燃焼器 2 の燃焼空間 8 には、高温の燃焼排ガスが発生する。10

【 0 0 5 2 】

本実施形態の燃料電池システム 100 では、燃焼器 2 は、S O F C 1 の外部に設けられており、S O F C 1 から延伸するアノードオフガス排出経路 15 およびカソードオフガス排出経路 16 がそれぞれ、燃焼器 2 の適所に接続されている。また、燃焼器 2 には、図示しない炎口部が形成され、円筒状の火炎ガイド 18 が、改質器 4 および空気熱交換器 7 などを収容する本体容器の下壁部（例えば、燃焼器 2 の炎口部が形成されている壁部）に当接し、ここから鉛直に燃焼空間 8 の周囲へ向かうように立設している。

【 0 0 5 3 】

ここで、図 1 に示すように、S O F C 1 は、改質器 4 の中心軸に沿って、改質器 4 および燃焼器 2 のいずれとも離隔した位置に設けられている。また、改質器 4 は、改質器 4 の中心軸に沿って、燃焼器 2 と離隔した位置に設けられている。そして、改質器 4 の円筒内壁 4 A は、燃焼器 2 により形成される火炎の燃焼空間 8 の周囲に配置されている。つまり、改質器 4（燃焼空間 8 ）、燃焼器 2 および S O F C 1 がそれぞれ、重力が作用する上方から下方へとこの順に、適宜の離隔距離を設けて配置されている。また、燃焼器 2 の燃焼排ガス経路 9 は、火炎ガイド 18 と改質器 4 の円筒内壁 4 Aとの間の空間、改質器 4 の下方端と本体容器の下壁部との間の空間と、改質器 4 の円筒外壁 4 B と空気熱交換器 7 の筒状内壁 7 A との間の空間とによって形成されている。つまり、燃焼排ガスは、図 1 の矢印点線で図示するように、火炎ガイド 18 および改質器 4 に沿って下方に導かれ、その後、改質器 4 の下方端直下の空間を通過した後に、改質器 4 および空気熱交換器 7 に沿って上方に向かうように導かれる。2030

【 0 0 5 4 】

第 1 温度検知器 21 は、燃焼排ガスおよび燃焼器 2 のうちの少なくとも一方の温度（以下、これらの温度を、便宜上、燃焼器 2 の燃焼温度という場合がある）を検知する。第 1 温度検知器 21 は、燃焼器 2 の燃焼温度を検知できれば、どのような構成であってもよい。

【 0 0 5 5 】

例えば、燃焼器 2 の近傍であれば、第 1 温度検知器 21 を火炎ガイド 18 の上方空間の適所に設けることができる。

【 0 0 5 6 】

また、第 1 温度検知器 21 を、燃焼器 2 の火炎が直接当たる箇所に設けることもできる。つまり、第 1 温度検知器 21 により、燃焼器 2 で形成される火炎の温度を検知する構成を取ってもよい。

【 0 0 5 7 】

また、火炎ガイド 18 の外側の燃焼排ガス経路 9 上に第 1 温度検知器 21 を設けてもよいし、燃焼排ガスの温度を相關する所定の箇所（例えば、燃焼排ガス経路 9 を形成する円筒内壁 4 A の外面など）に第 1 温度検知器 21 を設けてもよい。つまり、第 1 温度検知器 21 により、火炎ガイド 18 から出た直後の高温の燃焼排ガスの温度を検知する構成を取ってもよい。

【 0 0 5 8 】

10

20

30

40

50

なお、本実施形態の燃料電池システム 100 では、火炎ガイド 18 の外面近傍の燃焼排ガス経路 9 上に、第 1 温度検知器 21 が配置されている。第 1 温度検知器 21 として、例えば、熱電対、サーミスタなどを例示できる。

【 0 0 5 9 】

燃焼器 2 には、イグナイター、ヒーターなどの着火器が設けられているが、これは、一般的な燃料電池システムの燃焼器の構成と同様であるので、詳細な説明および図示は省略する。

【 0 0 6 0 】

制御器 20 は、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T_1 が、予め設定された第 1 閾値 S_1 を下回ると、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器 4 に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか 1 つの動作を行う。10

【 0 0 6 1 】

具体的には、制御器 20 は、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作として、S O F C 1 のカソードに供給する空気の流量が減少するように空気供給器 12 を制御してもよい。

【 0 0 6 2 】

また、制御器 20 は、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作として、改質器 4 に供給する原料の流量が増加するように原料供給器 10 を制御してもよい。20

【 0 0 6 3 】

また、制御器 20 は、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作として、S O F C 1 の発電量が下がるよう燃料電池システム 100 を制御してもよい。

【 0 0 6 4 】

また、制御器 20 は、改質器 4 に供給される水の流量が減少するように水供給器 11 を制御してもよい。

【 0 0 6 5 】

制御器 20 は、制御機能を有するものであれば、どのような構成であっても構わない。制御器 20 は、例えば、演算回路（図示せず）と、制御プログラムを記憶する記憶回路（図示せず）と、を備える。演算回路として、例えば、M P U、C P Uなどを例示できる。記憶回路として、例えば、メモリなどを例示できる。制御器 20 は、集中制御を行う単独の制御器で構成されていてもよいし、互いに協働して分散制御を行う複数の制御器で構成されていてもよい。また、制御器 20 は、燃料電池システム 100 の運転を制御するように構成されていてもよい。この場合、制御器 20 により、例えば、燃料電池システム 100 の温度、S O F C 1 の発電量などの情報をもとに、空気供給器 12、原料供給器 10、水供給器 11 および図示しない着火器などの動作が制御される。すると、制御器 20 により、空気の流量、原料の流量および水の流量が調整されることで、燃料電池システム 100 の運転が適切に行われる。40

【 0 0 6 6 】

〔動作〕

以下、本実施形態の燃料電池システム 100 の動作の一例について図面を参照しながら説明する。

【 0 0 6 7 】

なお、以下に示す動作は、例えば、制御器 20 の演算回路が記憶回路から制御プログラムを読み出すことで行われる。ただし、以下の動作を制御器 20 で行うこととは、必ずしも必須ではない。操作者が、その一部または全部の動作を行っても構わない。

【 0 0 6 8 】

10

20

30

40

50

まず、本実施形態の燃料電池システム 100 では、原料の水蒸気改質反応が行われるので、改質水が、水供給器 11 から水蒸発部 4D へと供給される。水蒸発部 4D においては、水蒸気が生成され、原料供給器 10 からの原料と水蒸気が水蒸発部 4D で混合される。このとき、原料は水蒸発部 4D で加熱される。混合ガスは、改質触媒 4C が配された空間へと送られる。すると、改質触媒 4C において、原料の水蒸気改質反応が進行し、水素含有ガス（改質ガス）が生成される。水素含有ガスは、水素含有ガス供給経路 13 を通じて、SOF C 1 へと供給される。

【0069】

一方、空気供給器 12 からの空気が、空気熱交換器 7 へと送られ、空気熱交換器 7 において、空気は、燃焼排ガス経路 9 を流れる燃焼排ガスとの熱交換により加熱される。そして、空気は、空気供給経路 14 を通じて、SOF C 1 へと供給される。10

【0070】

SOF C 1 では、水素含有ガスおよび空気を燃料に用いて発電が行われる。SOF C 1 の発電に使用されなかった水素含有ガス（アノードオフガス）および SOF C 1 の発電に使用されなかった空気（カソードオフガス）はそれぞれ、アノードオフガス排出経路 15 およびカソードオフガス排出経路 16 のそれぞれを通じて、燃焼器 2 へと送られる。

【0071】

燃焼器 2 では、アノードオフガスおよびカソードオフガスが燃焼し、燃焼空間 8 に向かう火炎が形成される。

【0072】

このとき、燃焼器 2 で発生した高温の燃焼排ガスは、図 1 の矢印点線で示すように、火炎ガイドの 18 の上方開口を通って排出され、火炎ガイド 18 と改質器 4 の円筒内壁 4A との空間を通過する。これにより、改質器 4 の改質触媒 4C は燃焼排ガスの熱や火炎ガイド 18 からの輻射熱で適切に加熱される。また、高温の燃焼排ガスで水素含有ガスの流れ方向の下流側の改質器 4 を加熱するので、改質触媒 4C のガス出口付近を高温にすることもできる。よって、改質反応（吸熱反応）が効果的に進行し、水素を豊富に含む水素含有ガスを生成できる。20

【0073】

次いで、燃焼排ガスは、改質器 4 の下方端と本体容器の下壁部との間の空間を経て、改質器 4 の円筒外壁 4B の下方部分（改質触媒 4C が設けられている部分）と空気熱交換器 7 の筒状内壁 7A との間の空間を通過する。これにより、燃焼排ガスの熱で改質器 4 の改質触媒 4C を適切に加熱できる。また、燃焼排ガスの熱で空気熱交換器 7 の下流側の空気を適切に加熱（予熱）できる。このとき、空気熱交換器 7 内の空気および改質器 4 内の混合ガスの流れと、燃焼排ガスの流れとが対向しているので、両流体の流れが並行する場合および直交する場合に比べ熱交換の性能が高い。よって、これらの空気および混合ガスを効率的に加熱できる。30

【0074】

次いで、燃焼排ガスは、改質器 4 の円筒外壁 4B の上方部分（水蒸発部 4D が設けられている部分）と空気熱交換器 7 の筒状内壁 7A との間の空間を通過する。つまり、燃焼排ガスは、水蒸発部 4D の周囲を通過する。これにより、水蒸発部 4D を燃焼排ガスの熱で適切に加熱できる。また、空気熱交換器 7 の上流側の空気を燃焼排ガスの熱により適切に加熱（予熱）できる。40

【0075】

特に、水蒸発部 4D および空気熱交換器 7 の入口付近は比較的低温である。よって、これらを流れるガスと、円筒外壁 4B の下方部分を通過した燃焼排ガスとが熱交換するので、燃焼排ガスが保有する熱を有效地に利用できる。具体的には、改質器 4 のガス出口付近、空気熱交換器 7 のガス出口付近および水蒸発部 4D のそれぞれの適温は、この順に低くなるので、上記の如く、燃焼排ガスを流することで、燃焼排ガスの熱がカスケード的に利用される。その結果、原料の投入エネルギーに対して高効率な発電エネルギーが得られる燃料電池システム 100 を構築できる。50

【 0 0 7 6 】

なお、水蒸発部 4 D の周囲を通過した燃焼排ガスは、図示しない燃焼排ガス排出経路を通じて燃料電池システム 100 外へと排出される。

【 0 0 7 7 】

ここで、本実施形態の燃料電池システム 100 では、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、以下の動作が行われる。

【 0 0 7 8 】

図 2 は、第 1 実施形態の燃料電池システムの動作（運転）の一例を示すフローチャートである。

【 0 0 7 9 】

まず、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 温度検知器 21 で検知され、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、予め設定された第 1 閾値 S1 を下回るか否かが判定される（ステップ S1）。なお、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定領域において、燃焼器 2 の燃焼温度と燃焼排ガス中の一酸化炭素ガスの濃度との間で相関関係があることがわかっている。そこで、燃焼器 2 の燃焼状態（例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度）と第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 との相関関係を予め把握（測定）することで、燃焼器 2 が健全な燃焼状態（例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以上とならない状態）に維持される燃焼温度を予測できる。よって、ステップ S1 では、燃焼排ガス中に所定濃度の一酸化炭素が生じると予測される燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 閾値 S1 として設定されている。そして、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 との比較および判定に、この第 1 閾値 S1 が使用されている。例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素の濃度が増え始めると予測される燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 閾値 S1 であってもよいが、これに限定されない。10

【 0 0 8 0 】

ステップ S1 の第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 1 閾値 S1 以上である場合、燃料電池システム 100 の動作がそのまま継続し、適時に、ステップ S1 の動作が再び行われる。

【 0 0 8 1 】

ステップ S1 の第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 1 閾値 S1 を下回る場合、ステップ S2 で、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器 4 に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか 1 つの動作が行われる。20

【 0 0 8 2 】

具体的には、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作の一例として、S O F C 1 のカソードに供給する空気の流量が減少するように空気供給器 12 が制御されてもよい。

【 0 0 8 3 】

また、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作の一例として、改質器 4 に供給する原料の流量が増加するように原料供給器 10 が制御されてもよい。また、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費させる水素含有ガスの割合を低くする動作の他の例として、S O F C 1 の発電量が下がるように燃料電池システム 100 が制御されてもよい。30

【 0 0 8 4 】

また、改質器 4 に供給される水の量を少なくする動作の一例として、改質器 4 に供給される水の流量が減少するように水供給器 11 が制御されてもよい。

【 0 0 8 5 】

以上により、本実施形態の燃料電池システム 100 および燃料電池システム 100 の運転方法は、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、燃焼器 2 の燃焼状態を従来よりも安40

定化させ得る。これにより、燃焼器 2 の燃焼を継続させながら、燃焼器 2 の燃焼状態を改善できるので、S O F C 1 の急激な温度変化により S O F C 1 の電解質（セラミック）に与えられるダメージが従来よりも抑制される。よって、燃料電池システム 1 0 0 の耐久性を向上できる。

【 0 0 8 6 】

つまり、燃焼器 2 の火炎が吹き消える領域（希薄燃焼）では、この吹き消え領域に近づく程、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定になり、燃焼器 2 の燃焼温度が低下する。よって、燃焼器 2 の健全な燃焼状態を維持し得る燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 閾値 S 1 として予め設定されている。そして、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が第 1 閾値 S 1 を下回ると、上記の少なくともいずれか 1 つの動作が行われる

10

。

【 0 0 8 7 】

具体的には、燃焼器 2 は、S O F C 1 のアノードから排出されるアノードオフガスと S O F C 1 のカソードから排出されるカソードオフガスとを燃焼するので、燃焼器 2 に送られるアノードオフガス量と比較してカソードオフガス（空気）量が多くなる場合がある。この場合、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定な希薄燃焼になる可能性がある。

【 0 0 8 8 】

そこで、本実施形態の燃料電池システム 1 0 0 および燃料電池システム 1 0 0 の運転方法では、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 1 閾値 S 1 を下回ると、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作を行い、燃焼器 2 に送られるカソードオフガス量を低減させることができる。すると、アノードオフガス量と比較してカソードオフガス量が少なくなるので、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器 2 の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器 2 の燃焼を継続させながら、燃焼器 2 の燃焼状態を改善することができる。

20

【 0 0 8 9 】

また、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作を行い、燃焼器 2 に送られるアノードオフガス量を増加させることができる。すると、カソードオフガス量に比較してアノードオフガス量が多くなるので、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器 2 の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器 2 の燃焼を継続させながら、燃焼器 2 の燃焼状態を改善することができる。

30

【 0 0 9 0 】

また、改質器 4 に供給される水の量を少なくする動作を行い、改質器 4 から S O F C 1 のアノードに送られる水素含有ガス（水素ガス）中の水蒸気量を低減させることができる。すると、改質器 4 の水の蒸発に必要な燃焼排ガスの熱量を少なくし得るので、空気熱交換器 7 の空気と燃焼排ガスとの熱交換量が増加する。これにより、空気熱交換器 7 から S O F C 1 への空気の温度を高めて、S O F C 1 の温度およびカソードオフガスの温度を上げることができる。よって、燃焼器 2 の燃焼温度の上昇により燃焼反応の維持が容易となるので、燃焼器 2 の燃焼を継続させながら、燃焼器 2 の燃焼状態を改善することができる。さらに、改質器から S O F C 1 のアノードに送られる水素含有ガス（水素ガス）中の水蒸気量を低減させると、アノードオフガス中の水素ガスの割合を増やすことができる。すると、燃焼器 2 の燃焼状態が不安定な希薄燃焼が緩和されて、燃焼器 2 の燃焼温度が上がる。よって、燃焼器 2 の燃焼を継続させながら、燃焼器 2 の燃焼状態を改善することができる。

40

【 0 0 9 1 】

このようにして、本実施形態の燃料電池システム 1 0 0 および燃料電池システム 1 0 0 の運転方法は、燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 温度検知器 2 1 で検知され、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 と第 1 閾値 S 1 との比較により、燃焼器 2 の燃焼温度の低下を抑制する動作が行われる。

【 0 0 9 2 】

50

(第1実施例)

図3は、第1実施形態の第1実施例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【0093】

本実施例の燃料電池システム100は、第1実施形態の燃料電池システム100において、制御器20は、SOF C1の発電継続中において、第1温度検知器21の検知温度T1が第1閾値S1を下回ると、SOF C1のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、SOF C1のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器4に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行う。なお、図3のステップS2の動作に関する制御器20の制御対象の具体例は第1実施形態と同様であるので説明を省略する。また、図3のステップS1およびステップS2は、図2のステップS1およびステップS2と同様であるので詳細な説明を省略する。

10

【0094】

本実施例の燃料電池システム100では、SOF C1の発電継続中において、ステップS1で、燃焼器2の燃焼温度が第1温度検知器21で検知されるとともに、第1温度検知器21の検知温度T1と第1閾値S1との比較および判定が行われる。そして、第1温度検知器21の検知温度T1が、第1閾値S1を下回る場合、ステップS2で、燃焼器2の燃焼温度の低下を抑制する動作が行われる。

20

【0095】

これにより、SOF C1の発電継続中において、燃焼器2の燃焼状態が安定するので、SOF C1の耐久性を考慮した燃料電池システム100の発電運転を行うことができる。具体的には、仮に燃焼器2が失火した場合、SOF C1のアノードに水素含有ガスを供給することも、SOF C1のカソードに送る空気を加熱することもできない。この場合、SOF C1の発電継続が不可能となる。すると、燃料電池システム100の発電状態では、SOF C1内の燃料電池スタックは高温状態であるので、燃料電池スタックが急に冷えて、燃料電池スタックの熱ひずみが発生しやすい。

【0096】

特に、SOF C1の電解質(セラミック)は熱ひずみが弱く、燃焼器2の失火が繰り返されると、本電解質にダメージが与えられ、燃料電池システム100の正常な発電動作が維持できなくなる可能性があるが、本実施例の燃料電池システム100では、上記の少なくともいずれか1つの動作を行うことにより、燃焼器2の燃焼状態を安定化させ得るので、このような可能性を低減できる。また、燃焼器2が失火に至る過程において燃焼排ガス中の一酸化炭素が増加する可能性があるが、本実施例の燃料電池システム100では、上記の少なくともいずれか1つの動作を行うことにより、このような可能性も低減できる。

30

【0097】

本実施例の燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法は、上記特徴以外は、第1実施形態の燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法と同様であってもよい。

【0098】

40

(第2実施例)

図4は、第1実施形態の第2実施例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【0099】

本実施例の燃料電池システム100は、第1実施形態または第1実施形態の第1実施例の燃料電池システム100において、SOF C1のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、第1温度検知器21の検知温度T1が第1閾値S1を下回ると、SOF C1のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、SOF C1のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費

50

される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器4に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行う。なお、図4のステップS2の動作に関する制御器20の制御対象の具体例は第1実施形態と同様であるので説明を省略する。また、図4のステップS1およびステップS2は、図2のステップS1およびステップS2と同様であるので詳細な説明を省略する。

【0100】

ここで、SOF C1のアノードの水素ガス利用量を多くすることで、燃料電池システム100を高効率に運転することができる。具体的には、SOF C1の燃料利用率 U_f (SOF C1に供給した水素ガス量を1として、SOF C1の発電に利用した水素ガス量の比率)が、予め設定された水素消費割合よりも高くなると、燃料電池システム100を一時的に高効率に運転することができる。しかし、SOF C1の燃料利用率 U_f を高くする場合、燃焼器2に送られるアノードオフガス量が必然的に少なくなる。すると、燃焼器2では、アノードオフガス量と比較してカソードオフガス量が多い希薄燃焼に陥り易い。つまり、燃焼器2の燃焼時の空気比の増加に伴って、燃焼器2で形成された火炎が燃焼器2で正常に維持できない吹き消え領域に近づく。

【0101】

そこで、本実施例の燃料電池システム100では、このような燃料電池システム100を高効率に運転する場合に(ステップS3)、ステップS1に進み、ステップS1で、燃焼器2の燃焼温度が第1温度検知器21で検知されるとともに、第1温度検知器21の検知温度T1と第1閾値S1との比較および判定が行われる。そして、第1温度検知器21の検知温度T1が、第1閾値S1を下回る場合、ステップS2で、燃焼器2の燃焼温度の低下を抑制する動作が行われる。

【0102】

以上により、燃焼器2が希薄燃焼に陥り易い燃料電池システム100の高効率運転を行う場合であっても、上記の少なくともいずれか1つの動作を行うことにより燃焼器2の燃焼状態を安定化させ得る。よって、燃焼器2の燃焼温度の低下により燃焼器2の燃焼状態が悪化することで、燃焼反応の適切な維持が困難となる可能性を低減できる。

【0103】

本実施例の燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法は、上記特徴以外は、第1実施形態または第1実施形態の第1実施例の燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法と同様であってもよい。

【0104】

(第1変形例)

図5は、第1実施形態の第1変形例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【0105】

本変形例の燃料電池システム100は、第1実施形態および第1実施形態の第1実施例-第2実施例のいずれかの燃料電池システム100において、制御器20は、第1温度検知器21の検知温度T1が第1閾値S1を下回ると、SOF C1のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、SOF C1のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器4に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作を行った後、第1温度検知器21の検知温度T1が、第1閾値S1よりも低い温度に予め設定された第2閾値S2を下回ると、燃料電池システム100の運転を停止させる。

【0106】

なお、図5のステップS2の動作に関する制御器20の制御対象の具体例は第1実施形態と同様であるので説明を省略する。また、図5のステップS1およびステップS2は、図2のステップS1およびステップS2と同様であるので詳細な説明を省略する。

【0107】

10

20

30

40

50

本変形例の燃料電池システム 100 では、ステップ S2 で、燃焼器 2 の燃焼温度の低下を抑制する動作を行った後、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 温度検知器 21 で検知され、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、予め設定された第 2 閾値 S2 を下回るか否かが判定される（ステップ S4）。上記のとおり、燃焼器 2 の燃焼状態（例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度）と第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 との相関関係を予め把握（測定）することで、燃焼器 2 が健全な燃焼状態（例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以上とならない状態）に維持される燃焼温度を予測できる。よって、ステップ S4 では、第 1 閾値 S1 よりも低い温度であって、燃焼器 2 の燃焼状態が、ステップ S1 の場合に比べて悪化することで、燃焼排ガス中の一酸化炭素が所定濃度まで急増すると予測される燃焼器 2 の燃焼温度が第 2 閾値 S2 として設定されている。そして、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 との比較および判定に、この第 2 閾値 S2 が使用されている。例えば、燃焼排ガス中の一酸化炭素が燃焼器 2 の停止を要する程、高濃度と予測される燃焼器 2 の燃焼温度が第 2 閾値 S2 であってもよいが、これに限定されない。10

【0108】

第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 2 閾値 S2 以上である場合、燃料電池システム 100 の動作がそのまま継続し、適時に、ステップ S1 の動作が再び行われる。

【0109】

第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 2 閾値 S2 を下回る場合、燃料電池システム 100 の運転が停止する（ステップ S5）。20

【0110】

以上により、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 2 閾値 S2 を下回る場合に、燃料電池システム 100 の停止動作を適切に行い得る。

【0111】

具体的には、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が第 2 閾値 S2 を下回る場合、燃焼器 2 が失火する可能性がある。仮に燃焼器 2 が突然、失火すると、SOF C1 の燃料電池スタックの急激な温度変化などが発生する可能性があるが、本変形例の燃料電池システム 100 では、燃料電池システム 100 の停止動作を所定の停止シーケンスに従って適切に行うことができるので、このような可能性を低減できる。

【0112】

また、第 1 温度検知器 21 の検知温度 T1 が、第 2 閾値 S2 を下回る場合、原料供給器 10、水供給器 11 または空気供給器 12 などに何等かの異常が生じている場合がある。よって、この状態まま燃料電池システム 100 の動作を継続すると、燃料電池システム 100 の故障につながる可能性があるが、本変形例の燃料電池システム 100 では、燃料電池システム 100 の停止動作を所定の停止シーケンスに従って適切に行うことができるので、このような可能性を低減できる。30

【0113】

本変形例の燃料電池システム 100 および燃料電池システム 100 の運転方法は、上記特徴以外は、第 1 実施形態および第 1 実施形態の第 1 実施例 - 第 2 実施例のいずれかの燃料電池システム 100 および燃料電池システム 100 の運転方法と同様であってもよい。例えば、第 2 実施例の如く、SOF C1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、本変形例の燃料電池システム 100 の動作を行ってもよい。40

【0114】

（第 2 変形例）

図 6 は、第 1 実施形態の第 2 変形例の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【0115】

本変形例の燃料電池システム 100 は、第 1 実施形態および第 1 実施形態の第 1 実施例 - 第 2 実施例のいずれかの燃料電池システム 100 において、制御器 20 は、第 1 温度検

知器 2 1 の検知温度 T 1 が第 1 閾値 S 1 を下回ると、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器 4 に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか 1 つの動作を行った後、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 1 閾値 S 1 よりも低い温度であって燃焼器 2 の火炎が失火する直前の温度に予め設定された第 3 閾値 S 3 を下回ると、燃料電池システム 1 0 0 の運転を停止させる。

【 0 1 1 6 】

なお、図 6 のステップ S 2 の動作に関する制御器 2 0 の制御対象の具体例は第 1 実施形態と同様であるので説明を省略する。また、図 6 のステップ S 1 およびステップ S 2 は、10 図 2 のステップ S 1 およびステップ S 2 と同様であるので詳細な説明を省略する。

【 0 1 1 7 】

本変形例の燃料電池システム 1 0 0 では、ステップ S 2 で、燃焼器 2 の燃焼温度の低下を抑制する動作を行った後、燃焼器 2 の火炎が形成されている状態で、燃焼器 2 の燃焼温度が第 1 温度検知器 2 1 で検知され、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、予め設定された第 3 閾値 S 3 を下回るか否かが判定される（ステップ S 6）。ステップ S 6 では、第 1 閾値 S 1 よりも低い温度であって、燃焼器 2 の燃焼状態がステップ S 1 の場合に比べて悪化することで、燃焼器 2 の火炎が失火する直前の温度が第 3 閾値 S 3 として設定されている。そして、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 との比較および判定に、この第 3 閾値 S 3 が使用されている。20

【 0 1 1 8 】

第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 3 閾値 S 3 以上である場合、燃料電池システム 1 0 0 の動作がそのまま継続し、適時に、ステップ S 1 の動作が再び行われる。

【 0 1 1 9 】

第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 3 閾値 S 3 を下回る場合、燃料電池システム 1 0 0 の運転が停止する（ステップ S 5）。

【 0 1 2 0 】

以上により、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 3 閾値 S 3 を下回る場合に、燃料電池システム 1 0 0 の停止動作を適切に行い得る。

【 0 1 2 1 】

具体的には、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が第 3 閾値 S 3 を下回ると、その後に、燃焼器 2 が失火する。仮に燃焼器 2 が突然、失火すると、S O F C 1 の燃料電池スタックの急激な温度変化などが発生する可能性があるが、本変形例の燃料電池システム 1 0 0 では、燃料電池システム 1 0 0 の停止を所定の停止シーケンスに従って適切に行うことができるので、このような可能性を低減できる。30

【 0 1 2 2 】

また、第 1 温度検知器 2 1 の検知温度 T 1 が、第 3 閾値 S 3 を下回る場合、原料供給器 1 0 、水供給器 1 1 または空気供給器 1 2 などに何等かの異常が生じている場合がある。よって、この状態まま燃料電池システム 1 0 0 の動作を継続すると、燃料電池システム 1 0 0 の故障につながる可能性があるが、本変形例の燃料電池システム 1 0 0 では、燃料電池システム 1 0 0 の停止動作を所定の停止シーケンスに従って適切に行うことができるの40 で、このような可能性を低減できる。

【 0 1 2 3 】

本変形例の燃料電池システム 1 0 0 および燃料電池システム 1 0 0 の運転方法は、上記特徴以外は、第 1 実施形態および第 1 実施形態の第 1 実施例 - 第 2 実施例のいずれかの燃料電池システム 1 0 0 および燃料電池システム 1 0 0 の運転方法と同様であってもよい。例えば、第 2 実施例の如く、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、本変形例の燃料電池システム 1 0 0 の動作を行ってもよい。

【 0 1 2 4 】

10

20

30

40

50

(第2実施形態)

S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作を行う際の問題について鋭意検討が行われ、以下の知見が得られた。

【0125】

高温で作動する固体酸化物型の燃料電池システム 100 では、S O F C 1 の発電に使用する空気で発電時に発生する熱を回収することにより、S O F C 1 の高温化を抑制する構成が取られている。このため、S O F C 1 のカソードに供給する空気の流量を低減させると、S O F C 1 の動作温度が上昇する。そして、固体酸化物型の燃料電池システム 100 でも、S O F C 1 の動作温度が過度に高温化すると、S O F C 1 の電解質、その周辺部材などの熱劣化が生じて、燃料電池システム 100 の長期運転時の発電性能が低下する可能性がある。10

【0126】

そこで、第2実施形態の燃料電池システム 100 は、第1実施形態、第1実施形態の第1実施例 - 第2実施例および第1実施形態の第1変形例 - 第2変形例のいずれかの燃料電池システムにおいて、S O F C 1 の温度を検知する第2温度検知器 22 を備え、制御器 20 は、第1温度検知器 21 の検知温度 T 1 が第1閾値 S 1 を下回ると、第2温度検知器 22 の検知温度 T 2 が、予め設定された第4閾値 S 4 を超えないように、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費させる空気の割合を高くする動作を行う。20

【0127】

図 7 は、第2実施形態の燃料電池システムの一例を示す図である。20

【0128】

図 7 に示すように、燃料電池システム 100 は、S O F C 1 と、燃焼器 2 と、改質器 4 と、空気熱交換器 7 と、原料供給器 10 と、水供給器 11 と、空気供給器 12 と、水素含有ガス供給経路 13 と、空気供給経路 14 と、アノードオフガス排出経路 15 と、カソードオフガス排出経路 16 と、火炎ガイド 18 と、制御器 20 と、第1温度検知器 21 と、第2温度検知器 22 と、を備える。なお、S O F C 1 、燃焼器 2 、改質器 4 、空気熱交換器 7 、原料供給器 10 、水供給器 11 、空気供給器 12 、水素含有ガス供給経路 13 、空気供給経路 14 、アノードオフガス排出経路 15 、カソードオフガス排出経路 16 、火炎ガイド 18 および第1温度検知器 21 は、第1実施形態と同様であるので説明を省略する。30

【0129】

第2温度検知器 22 は、上記のとおり、S O F C 1 の温度を検知する。第2温度検知器 22 は、S O F C 1 の温度を検知できれば、どのような構成であってもよい。例えば、S O F C 1 中に第2温度検知器 22 を設け、S O F C 1 の温度を直接、検知してもよいし、S O F C 1 の温度と相關する所定の箇所に第2温度検知器 22 を設け、S O F C 1 の温度を間接的に検知してもよい。第2温度検知器 22 として、例えば、熱電対、サーミスタなどを例示できる。

【0130】

制御器 20 は、第1温度検知器 21 の検知温度 T 1 が第1閾値 S 1 を下回ると、第2温度検知器 22 の検知温度 T 2 が、予め設定された第4閾値 S 4 を超えない範囲で、S O F C 1 のカソードに供給する空気の流量が減少するように空気供給器 12 を制御する。40

【0131】

図 8 は、第2実施形態の燃料電池システムの動作の一例を示すフローチャートである。なお、図 8 のステップ S 1 およびステップ S 2 は、図 2 のステップ S 1 およびステップ S 2 と同様であるので詳細な説明を省略する。

【0132】

本変形例の燃料電池システム 100 では、第1温度検知器 21 の検知温度 T 1 が、予め設定された第1閾値 S 1 を下回ると（ステップ S 1 で「Y e s」の場合）、ステップ S 2 で、S O F C 1 のカソードに供給される空気に対してカソードで消費される空気の割合を高くする動作、S O F C 1 のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費

される水素含有ガスの割合を低くする動作、および、改質器4に供給される水の量を少なくする動作のうち、少なくともいずれか1つの動作が行われる。

【0133】

次に、上記の動作において、SOF C1の温度が第2温度検知器22で検知され、第2温度検知器22の検知温度T2が、予め設定された第4閾値S4を上回るか否かが判定される(ステップS7)。なお、SOF C1の温度特性および寿命特性に基づいて、燃料電池システム100の長期運転時の発電性能の低下が起こりにくい温度の上限値を、ステップS7の第4閾値S4として設定するとよい。

【0134】

ステップS7の第2温度検知器22の検知温度T2が、第4閾値S4以下である場合、燃料電池システム100の動作がそのまま継続し、適時に、ステップS1の動作が再び行われる。

10

【0135】

ステップS7の第2温度検知器22の検知温度T2が、予め設定された第4閾値S4を上回ると、ステップS8で、第2温度検知器22の検知温度T2が第4閾値S4を超えないように、SOF C1のカソードに供給される空気に対してカソードで消費させる空気の割合を低くする動作が行われる。例えば、第2温度検知器22の検知温度T2が第4閾値S4を超えない範囲で、SOF C1のカソードに供給する空気の流量が減少するように空気供給器12が制御されてもよい。また、図示を省略するが、第2温度検知器22の検知温度T2が、第4閾値S4を超える場合は、燃料電池システム100の動作を停止してもよい。

20

【0136】

以上により、本実施形態の燃料電池システム100では、第1温度検知器21の検知温度T1が第1閾値S1を下回る場合に、燃焼器2の燃焼温度の低下を抑制する動作が行われつつ、SOF C1の温度が第4閾値S4を超えない範囲で、SOF C1のカソードに供給する空気の流量を低減できる。よって、SOF C1の電解質、その周辺部材などの熱劣化を抑制しつつ、燃焼器2の火炎が形成されている状態で、燃焼器2の燃焼状態を従来よりも安定化させ得る。

【0137】

本実施形態の燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法は、上記特徴以外は、第1実施形態、第1実施形態の第1実施例-第2実施例および第1実施形態の第1変形例-第2変形例のいずれかの燃料電池システム100および燃料電池システム100の運転方法と同様であってもよい。例えば、第1実施形態の第2実施例の如く、SOF C1のアノードに供給される水素含有ガスに対してアノードで消費される水素含有ガスの水素消費割合が、予め設定された水素消費割合よりも高い場合において、本実施形態の燃料電池システム100の動作を行ってもよい。

30

【0138】

なお、第1実施形態、第1実施形態の第1実施例-第2実施例、第1実施形態の第1変形例-第2変形例および第2実施形態は、互いに相手を排除しない限り、互いに組み合わせてもよい。

40

【0139】

上記説明から、当業者にとっては、本開示の多くの改良や他の実施形態が明らかである。従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本開示を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本開示の精神を逸脱することなく、その構造および/または機能の詳細を実質的に変更できる。

【産業上の利用可能性】

【0140】

本開示の一態様は、燃焼器の火炎が形成されている状態で、燃焼器の燃焼状態を従来よりも安定化させ得る燃料電池システムおよび燃料電池システムの運転方法に利用できる。

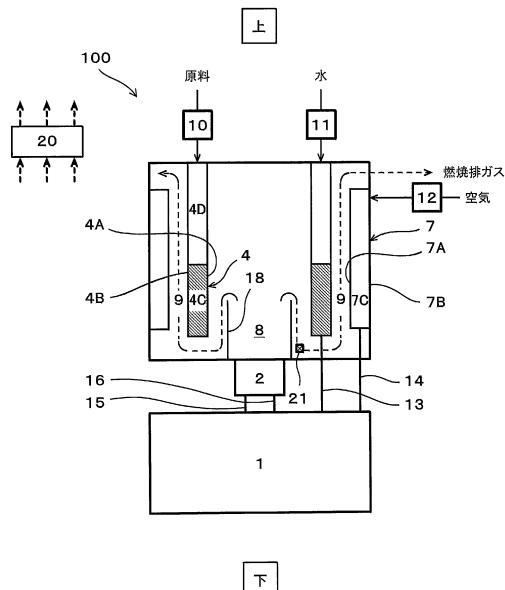
【符号の説明】

50

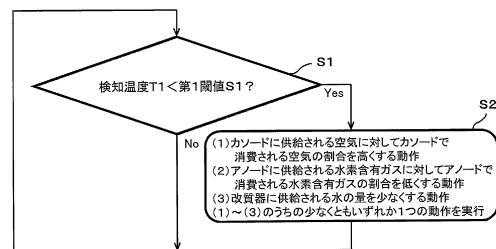
【 0 1 4 1 】

1	: 燃料電池 (S O F C)	
2	: 燃焼器	
4	: 改質器	
4 A	: 円筒内壁	
4 B	: 円筒外壁	
4 C	: 改質触媒	
4 D	: 水蒸発部	
7	: 空気熱交換器	
7 A	: 筒状内壁	10
7 B	: 筒状外壁	
7 C	: 空気経路	
8	: 燃焼空間	
9	: 燃焼排ガス経路	
1 0	: 原料供給器	
1 1	: 水供給器	
1 2	: 空気供給器	
1 3	: 水素含有ガス供給経路	
1 4	: 空気供給経路	
1 5	: アノードオフガス排出経路	20
1 6	: カソードオフガス排出経路	
1 8	: 火炎ガイド	
2 0	: 制御器	
2 1	: 第 1 温度検知器	
2 2	: 第 2 温度検知器	
1 0 0	: 燃料電池システム	

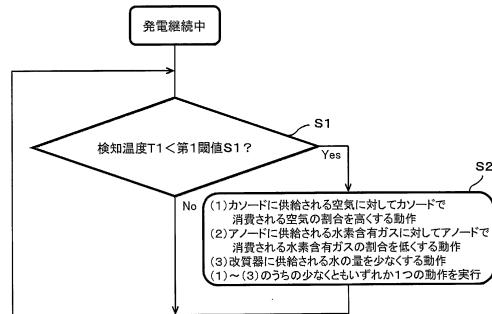
【図1】



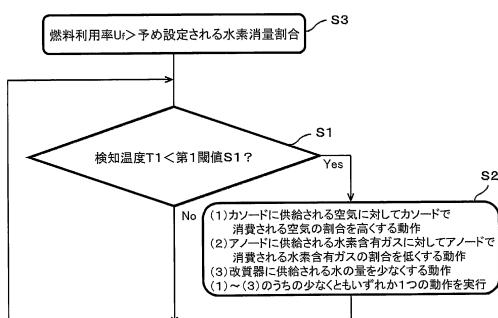
【図2】



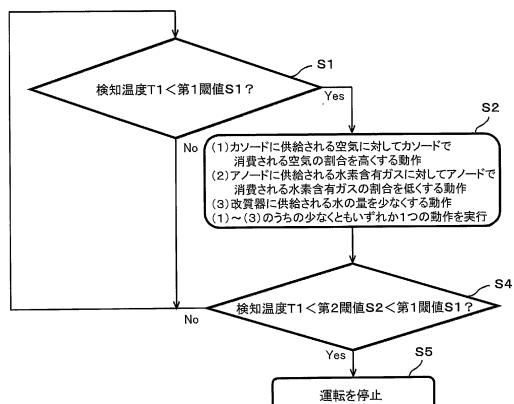
【図3】



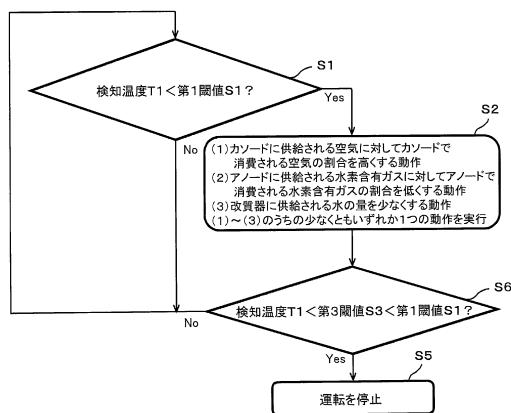
【図4】



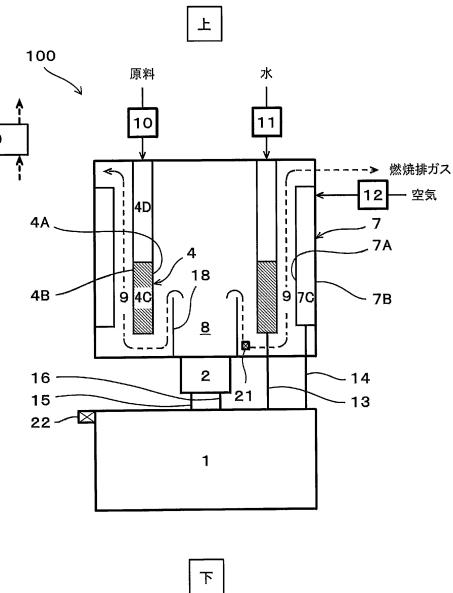
【図5】



【図6】

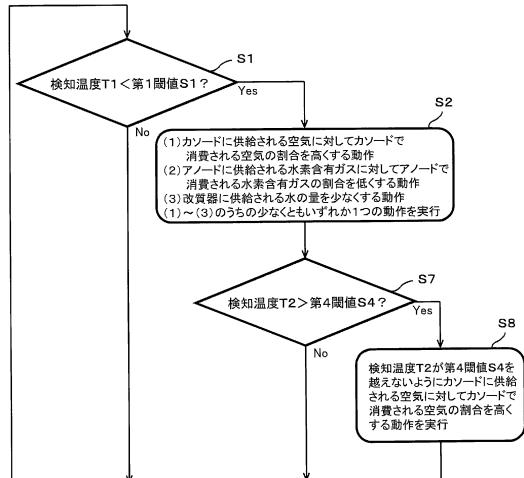


【図7】



下

【図8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-210686(JP,A)
特開2008-159517(JP,A)
再公表特許第2012/091034(JP,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 M 8 / 00 - 8 / 2495