

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6023917号
(P6023917)

(45) 発行日 平成28年11月9日(2016.11.9)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

| (51) Int. Cl. | F I |
|--------------------------|---------------|
| HO 1 M 8/04225 (2016.01) | HO 1 M 8/04 X |
| HO 1 M 8/04302 (2016.01) | HO 1 M 8/06 R |
| HO 1 M 8/0606 (2016.01) | HO 1 M 8/12 |
| HO 1 M 8/12 (2016.01) | |

請求項の数 3 (全 26 頁)

| | | | |
|---------------|------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2016-514686 (P2016-514686) | (73) 特許権者 | 000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地 |
| (86) (22) 出願日 | 平成27年2月9日(2015.2.9) | (73) 特許権者 | 000010087 TOTO株式会社 福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/JP2015/000572 | (74) 代理人 | 110000556 特許業務法人 有古特許事務所 |
| (87) 国際公開番号 | W02015/162833 | (72) 発明者 | 酒井 修 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 |
| (87) 国際公開日 | 平成27年10月29日(2015.10.29) | (72) 発明者 | 藤田 龍夫 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成28年2月22日(2016.2.22) | | 最終頁に続く |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2014-90930 (P2014-90930) | | |
| (32) 優先日 | 平成26年4月25日(2014.4.25) | | |
| (33) 優先権主張国 | 日本国(JP) | | |

(54) 【発明の名称】 固体酸化物形燃料電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、

前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、

前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、

前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、

前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、を備え、

起動時において前記原料供給部が原料を、前記発電用空気供給部が前記発電用空気をそれぞれ前記燃焼部に供給し、かつ、改質用空気供給部が前記改質用空気の供給を停止させた状態で、前記着火部により原料が着火された後、前記改質用空気供給部が前記改質用空気を前記燃焼部に供給する固体酸化物形燃料電池。

【請求項2】

前記改質用空気供給部は、着火後において、前記改質用空気を、単位時間当たり所定流量以下となる範囲内で増加させかつ、単位時間当たりの該改質用空気の流量の変化率を示す傾きの大きさが所定の範囲内となるように、前記燃焼部に供給する請求項1に記載の固体酸化物形燃料電池。

【請求項3】

10

20

着火前においてプリパージとして前記発電用空気供給部が前記発電用空気を、前記改質用空気供給部が前記改質用空気をそれぞれ供給した後、該改質用空気供給部は前記改質用空気の供給を停止させる一方、前記原料供給部が前記原料の供給を開始し、前記燃焼部において前記着火部が前記原料を着火させ、前記発電用空気と共に燃焼させる請求項1または2に記載の固体酸化物形燃料電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell：以下、SOFCと称する）に関するものであり、特に、SOFCにおける起動時の着火処理に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来のSOFCとして、電解質に酸化物イオン導電性固体電解質を用い、その両側に電極を設置した構成を有するものが提案されている。このSOFCは、一方の電極側に、都市ガス（13A）などの原料を改質して得た改質ガスを供給するとともに、他方の電極側に空気（酸素）を供給し、高温、高効率で発電するように構成されている。この従来のSOFCでは、酸化物イオン導電性固体電解質を通過した酸化物イオンと水素イオンとの化学反応により、水蒸気や二酸化炭素を生成して電気や熱を発生する。そして、発生した電気はSOFCの外部に取り出され各種の電力負荷に供給される。また、発電時に発生した熱は原料、発電用空気、または改質用水等の加熱に使用される（例えば、特許文献1参照）。

20

【0003】

特許文献1に係るSOFCが備える燃料電池モジュールでは、改質器において生成された改質ガスが燃料ガス供給管を通じて燃料電池セルユニット内に供給される。さらに、空気用熱交換器により排ガスとの熱交換で予熱された空気が空気導入管を介して発電室に導入される。また、燃料電池セルユニットは、内部に燃料ガス流路を形成する円筒形の内側電極層（燃料極）と、円筒形の外側電極層（空気極）と、これらの間設けられた電解質層とを有する、複数の燃料電池セルから構成されている。特許文献1に係るSOFCでは、発電に利用されなかった改質ガスと、発電に利用されなかった空気とを燃焼室において燃焼させ、その燃焼熱により改質器を加熱したり、空気を予熱する空気用熱交換器を加熱したりする。また、特許文献1に係るSOFCでは、燃焼室における燃焼により発生した未燃ガスまたは一酸化炭素等の不完全燃焼ガスが外部に排出されることを防ぐように構成されている。すなわち、特許文献1に係るSOFCは、燃料電池セルスタックの温度が適正な温度範囲内となるように制御することを優先しつつ、発電用空気供給量を補正して、未燃ガスまたは不完全燃焼ガスの排出を抑制する構成となっている。

30

【0004】

また、未燃ガス等の発生を抑制するために、燃焼用に利用するガスの着火の有無を判定できる燃料電池装置の起動方法が提案されている（例えば、特許文献2参照）。特許文献2に係る燃料電池装置は、着火ヒータにより、ガスに着火した後、燃焼領域の温度が所定時間以内に所定温度 T_0 から T_1 以上に温度が上昇した場合に着火したと判定し、所定時間内に着火と判定できなければ、未着火と判定する。このように、特許文献2に係る燃料電池装置は、着火ヒータによる未着火の有無を判定し、未燃ガスの放出を抑制することができる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2013-12444号公報

【特許文献2】特開2008-135268号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0006】

本発明は、固体酸化物形燃料電池の起動から発電に至るまでにおける各フェーズでの特性を考慮し、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、を備え、起動時において前記原料供給部が原料を、前記発電用空気供給部が前記発電用空気をそれぞれ前記燃焼部に供給し、前記着火部により原料が着火された後、前記改質用空気供給部が前記改質用空気を前記燃焼部に供給する。

10

【0008】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスを浄化する排ガス浄化部と、前記原料、前記改質用空気、前記発電用空気、および前記改質用水の流量をそれぞれ制御する流量制御部と、前記排ガス浄化部の入口に設けられ、該排ガス浄化部の入口温度を検知する浄化部用温度検知部と、を備え、着火後において、前記浄化部用温度検知部により検知された前記排ガス浄化部の入口温度が所定温度になった後に、前記水供給部および前記流量制御部は、前記改質用水を供給、または増量させる。

20

【0009】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、を備え、前記制御部は、前記温度検知部から受け付けた検知結果から得られた、原料供給後の前記被加熱体の所定時間における温度変化をもとに、着火判断を行なう。

30

40

【0010】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知す

50

る温度検知部と、制御部と、発電時において前記燃料電池セルスタックが劣化しない範囲として定められている所定の温度範囲と前記被加熱体の温度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃料電池セルスタックの温度が前記所定の温度範囲内となるように、前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

【0011】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、前記被加熱体の温度と前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下になるように、前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

10

【0012】

ある態様に係る固体酸化物形燃料電池は、上記した課題を解決するために、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、前記燃料電池セルスタックが劣化しない範囲として定められている所定の温度範囲と前記被加熱体の温度との対応関係を示すとともに、前記被加熱体の温度と前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃料電池セルスタックの温度が所定の温度範囲内となり、かつ前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下になるように前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

20

30

【発明の効果】

【0013】

本発明に係る固体酸化物形燃料電池は、以上に説明したように構成され、固体酸化物形燃料電池の起動から発電に至るまでにおける各フェーズでの特性を考慮し、従来になく新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

40

【図1】本発明の実施の形態1に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の全体構成を示す模式図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の起動時の作動の一例を示すタイムチャートである。

【図3】本発明の実施の形態1の変形例1に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の起動時の作動の一例を示すタイムチャートである。

【図4】本発明の実施の形態2における固体酸化物形燃料電池(SOFC)の全体構成を示す模式図である。

【図5】本発明の実施の形態2に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の起動時に系外へ排出されるCO濃度と排ガス浄化部の入口部分の温度(入口温度)との関係を示すグラ

50

フである。

【図6】本発明の実施の形態3に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の全体構成を示す模式図である。

【図7】実施の形態3に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の起動時における改質部およびスタックそれぞれの温度特性を示すグラフである。

【図8】実施の形態3に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)における発電時の温度特性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

(本発明の一形態を得るに至った経緯)

本発明者は「背景技術」にて記載した特許文献1に係るSOFCの起動時に実施するシーケンス制御に関して鋭意研究したところ、以下の知見を得た。まず、特許文献1に係るSOFCの、起動時に実施するシーケンス制御について説明する。

【0016】

特許文献1に係るSOFCでは、起動時において、改質用空気が改質器へ供給されるとともに、発電用空気が空気用熱交換器を介して発電室および燃焼室(燃焼部)へと供給される。この後、原料の供給も開始され、改質用空気に原料が混合された状態で改質器および燃料電池セルスタック、および燃料電池セルユニットをそれぞれ通過して、燃焼室へと供給される。

【0017】

次に、燃焼室において点火装置により原料への着火が行われ、原料と空気(改質用空気、発電用空気)とを燃焼させる。このとき生成された排気ガスの有する熱により、改質器内の原料および改質用空気を加熱させ、部分酸化改質反応(POX)を進行させる。改質器の温度が上昇して所定温度(例えば、600)になると、原料と改質用空気と水蒸気とを予め混合したガスを改質器に供給させ、上述した部分酸化改質反応と水蒸気改質反応(SR)とが共存するオートサーマル改質反応(ATR)が進行する。さらに改質器の温度が上昇して所定温度(例えば、700)になると、改質用空気の供給を停止し、改質ガスと水蒸気のみによる水蒸気改質反応(SR)を進行させた後、発電を開始する。

【0018】

この起動時におけるシーケンス制御において、本発明者は、着火時に一酸化炭素等の有害ガスが発生しやすいということを見出した。しかしながら、特許文献1では、SOFCの安定動作時における一酸化炭素の発生の抑制については考慮されているが、起動時の着火時における一酸化炭素の発生については考慮されていない。

【0019】

以上の知見に基づいて、本発明者らは、原料への着火時に改質用空気の供給を制御することで、着火時において発生する一酸化炭素の量を抑制することができることを見出し、本発明に至った。

【0020】

また、本発明者は、改質部においてオートサーマル改質反応または水蒸気改質反応を実行する際に、改質用水を改質部に供給したり増量させたりするが、この改質用水の供給または増量により、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が上昇する場合があることを見出した。このため、改質用水を改質部に供給または増量する場合には、その時点までに排ガス浄化部を、燃焼排ガス中の一酸化炭素を除去する機能が確保できる所定温度まで加熱しておく必要がある。そこで、排ガス浄化部の温度を監視し、燃焼排ガスの熱により所定温度に達するまで改質用水の供給または増量を行わないように制御することで、燃料電池モジュールから排気される燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度を低減できることを見出した。また、このように制御することで排ガス浄化部を燃焼排ガスの有する熱でのみ加熱することができ、別途、ヒータなどを設ける必要もないことを発見し、本発明に至った。

【0021】

また、本発明者は、燃焼排ガスの熱により加熱される改質部の温度と燃料電池セルスタ

10

20

30

40

50

ックの温度との関係を調べたところ両者に相関があることを見出した。さらには、改質部の温度と、燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度とも相関があることを見出した。つまり、改質部の温度を管理することで燃料電池セルスタックの温度および一酸化炭素濃度を管理することができることを見出した。また、所定時間における改質部の温度変化から燃焼室における着火の有無を判定することができることも見出した。

【0022】

そして、本発明では具体的には以下に示す態様を提供する。

【0023】

第1の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、を備え、起動時において前記原料供給部が原料を、前記発電用空気供給部が前記発電用空気をそれぞれ前記燃焼部に供給し、前記着火部により原料が着火された後、前記改質用空気供給部が前記改質用空気を前記燃焼部に供給する。

10

【0024】

上記構成によると、前記起動時において、原料、発電用空気のみを燃焼部へ供給させ着火部により原料に着火させ、該原料を発電用空気とともに燃焼させる。そして、着火後に改質用空気を燃焼部へ供給するといったシーケンスとなっている。このように、着火時に燃焼部に対して原料に改質用空気を混入させた状態で供給することを防ぐことができるため、改質用空気により着火安定性が阻害されることを回避することができる。したがって、固体酸化物形燃料電池は、着火時に発生する一酸化炭素を抑制することができる。

20

【0025】

よって、固体酸化物形燃料電池の起動から発電に至るまでで、特に着火時の特性を考慮し、一酸化炭素の発生を抑制できる、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

30

【0026】

また、第2の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第1の態様に係る固体酸化物形燃料電池において、前記改質用空気供給部は、着火後において、前記改質用空気を、単位時間当たり所定流量以下となる範囲内で増加させかつ、単位時間当たりの該改質用空気の流量の変化率を示す傾きの大きさが所定の範囲内となるように、前記燃焼部に供給するように構成されていてもよい。なお、単位時間当たりの改質用空気の流量の変化率を示す傾きの大きさが所定の範囲内であれば、改質用空気の流量は、階段状に増加してもよいし、曲線状または直線状(単調増加)に増加してもよい。すなわち、改質用空気は、一度に所定流量増加させるのではなく、徐々に増加するように供給される構成であればよい。

40

【0027】

また、第3の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第1または第2の態様に係る固体酸化物形燃料電池において、着火前においてプリバージとして前記発電用空気供給部が前記発電用空気を、前記改質用空気供給部が前記改質用空気をそれぞれ供給した後、該改質用空気供給部は前記改質用空気の供給を停止させる一方、前記原料供給部が前記原料の供給を開始し、前記燃焼部において前記着火部が前記原料を着火させ、前記発電用空気と共に燃焼させるように構成されていてもよい。

【0028】

また、第4の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成

50

する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスを浄化する排ガス浄化部と、前記原料、前記改質用空気、前記発電用空気、および前記改質用水の流量をそれぞれ制御する流量制御部と、前記排ガス浄化部の入口に設けられ、該排ガス浄化部の入口温度を検知する浄化部用温度検知部と、を備え、着火後において、前記浄化部用温度検知部により検知された前記排ガス浄化部の入口温度が所定温度になった後に、前記水供給部および前記流量制御部は、前記改質用水を供給、または増量させる。

10

【0029】

ここで、排ガス浄化部における所定の入口温度とは、排ガス浄化部が燃焼排ガスに含まれる一酸化炭素等の有害物質を除去する機能が確保できる温度である。

【0030】

上記構成によると、着火後において、排ガス浄化部の入口温度が所定温度になった後に、水供給部と流量制御部とが協働して改質用水の供給または増量を行う構成である。ところで、改質用水を供給したり、増量させたりすると、燃焼部に改質ガスとともに、水蒸気も噴出するため火災安定性が低下し、発生する一酸化炭素の濃度が高くなる。しかしながら、本発明に係る固体酸化物形燃料電池は、この改質用水の供給または増量を排ガス浄化部の入口温度が所定温度になった後で行うシーケンスとなっているため、仮に燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が高くなったとしても、排ガス浄化部により除去できる。

20

【0031】

すなわち、第4の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、排ガス浄化部の入口温度を高めて浄化性能を確保しておいて、一酸化炭素等の有害ガスが発生しやすい改質用水の供給、または増量を行うため、系外（燃料電池モジュール外）に排気される燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度を低下させることができる。

【0032】

よって、固体酸化物形燃料電池の動作における、特に部分酸化改質反応からオートサーマル改質反応に移行するフェーズにおいて、改質用水の供給または増量により一酸化炭素濃度が上昇するという特性を考慮し、排気される燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度を低減させる、従来になかった新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

30

【0033】

また、第5の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第4の態様に係る固体酸化物形燃料電池において、前記排ガス浄化部に浄化用の触媒を設けるように構成されていてもよい。

【0034】

また、第6の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、を備え、前記制御部は、前記温度検知部から受け付けた検知結果から得られた、原料供給後の前記被加熱体の所定時間における温度変化をもとに、着火判断を行なう。

40

【0035】

ここで被加熱体とは、例えば、燃焼排ガスが保有する熱を利用して加熱される改質器等が例示できる。また、温度検知部によって検知される温度は、例えば、被加熱体を改質器

50

とする場合、その内部温度またはその壁面温度とすることができる。

【0036】

上記構成によると、着火判断を行う判断基準に利用する温度変化の検知対象を燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度、例えば内部温度や壁面温度変化としている。このように燃焼領域の温度変化を検知対象とせず、被加熱体の温度変化を検知対象とするため、温度検知部により燃焼部において形成される火炎の安定性を阻害することを防ぐことができる。

【0037】

したがって、火炎安定性の阻害に起因する一酸化炭素の発生を抑制しつつ確度よく着火判断を行うことができ、安全性の高い固体酸化物形燃料電池を提供できる。

10

【0038】

よって、固体酸化物形燃料電池の起動から発電に至るまでにおける、特に着火時において、着火時の特性を考慮し、一酸化炭素の発生を抑制しつつ確度よく着火判断を行うことができる、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

【0039】

また、第7の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、発電時において前記燃料電池セルスタックが劣化しない範囲として定められている所定の温度範囲と前記被加熱体の温度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃料電池セルスタックの温度が前記所定の温度範囲内となるように、前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

20

【0040】

ここで被加熱体とは、例えば、燃焼排ガスが保有する熱を利用して加熱される改質器等が例示できる。また、温度検知部によって検知される温度は、例えば、被加熱体を改質器とする場合、その内部温度またはその壁面温度とすることができる。

30

【0041】

上記構成によると、テーブル情報を保持する記憶部を備えているため、被加熱体の温度変化を検知し、該被加熱体の温度変化に対応する燃料電池セルスタックの温度変化を把握することができる。このため、被加熱体の温度変化を監視することで、発電時において該被加熱体の温度または燃料電池セルスタックの温度が所定の温度範囲内となるように制御することができる。

【0042】

したがって、第7の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、燃料電池セルスタックの耐久性を確保しながら安全に発電を行うことができる。

40

【0043】

よって、特に固体酸化物形燃料電池の発電時において、発電時の特性を考慮し、燃料電池セルスタックの耐久性を確保できる、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

【0044】

また、第8の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が

50

発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、前記被加熱体の温度と前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下になるように、前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

【0045】

10

ここで被加熱体とは、例えば、燃焼排ガスが保有する熱を利用して加熱される改質器等が例示できる。また、温度検知部によって検知される温度は、例えば、被加熱体を改質器とする場合、その内部温度またはその壁面温度とすることができる。

【0046】

上記構成によると、テーブル情報を保持する記憶部を備えているため、被加熱体の温度変化を検知し、該被加熱体の温度変化に対応する燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度を把握することができる。このため、被加熱体の温度変化を監視することで、発電時において燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下となるように制御することができる。

【0047】

したがって、第8の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、一酸化炭素濃度を所定値以下に抑制しつつ安全に発電を行うことができる。

20

【0048】

よって、特に固体酸化物形燃料電池の発電時において、発電時の特性を考慮し、一酸化炭素濃度を所定値以下に抑制できる、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

【0049】

また、第9の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、原料を改質した改質ガスと発電用空気とを反応させて発電する燃料電池セルスタックと、該原料を改質して該改質ガスを生成する改質部と、起動時に該原料に着火させる着火部と、該着火部により着火された原料が発電用空気とともに燃焼させられる空間である燃焼部と、を有する燃料電池モジュールと、前記燃料電池モジュールに原料を供給する原料供給部と、前記燃料電池モジュールに発電用空気を供給する発電用空気供給部と、前記改質部に改質用空気を供給する改質用空気供給部と、前記改質部に改質用水を供給する水供給部と、前記燃焼部における燃焼により生成された燃焼排ガスにより加熱される被加熱体の温度を検知する温度検知部と、制御部と、前記燃料電池セルスタックが劣化しない範囲として定められている所定の温度範囲と前記被加熱体の温度との対応関係を示すとともに、前記被加熱体の温度と前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度との対応関係を示すテーブル情報を保持する記憶部と、を備え、前記制御部は、前記テーブル情報を参照して、前記燃料電池セルスタックの温度が所定の温度範囲内となり、かつ前記燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下になるように前記温度検知部により検知された前記被加熱体の温度を制御する。

30

40

【0050】

ここで被加熱体とは、例えば、燃焼排ガスが保有する熱を利用して加熱される改質器等が例示できる。また、温度検知部によって検知される温度は、例えば、被加熱体を改質器とする場合、その内部温度またはその壁面温度とすることができる。

【0051】

上記構成によると、テーブル情報を保持する記憶部を備えているため、温度検知部により検知された被加熱体の温度から、該被加熱体の温度に対応する燃料電池セルスタックの温度を把握することができる。このため、被加熱体の温度変化を監視することで、発電時において該被加熱体の温度または燃料電池セルスタックの温度が所定の温度範囲内となるように制御することができる。

50

【 0 0 5 2 】

さらにまた、被加熱体の温度変化に対応する燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度を把握することができる。このため、被加熱体の温度変化を監視することで、発電時において燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度が所定値以下となるように制御することができる。

【 0 0 5 3 】

したがって、第9の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、被加熱体の温度または燃料電池セルスタックの温度が所定の温度範囲内となるように制御しつつ、一酸化炭素濃度を所定値以下に抑制し、安全に発電を行うことができる。

【 0 0 5 4 】

よって、特に固体酸化物形燃料電池の発電時において、発電時の特性を考慮し、燃料電池セルスタックの耐久性を確保するとともに、一酸化炭素濃度を所定値以下に抑制できる、従来にない新規な技術を有する固体酸化物形燃料電池を提供することができるという効果を奏する。

10

【 0 0 5 5 】

また、第10の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第7から第9のいずれか1つの態様に係る固体酸化物形燃料電池において、前記テーブル情報における被加熱体の温度は、発電量に対応して設定されていてもよい。

【 0 0 5 6 】

また、第11の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第6から第10のいずれか1つの態様に係る固体酸化物形燃料電池において、前記被加熱体が前記改質部であってもよい。

20

【 0 0 5 7 】

また、第12の態様に係る固体酸化物形燃料電池は、第1から第11のいずれか1つの態様に係る固体酸化物形燃料電池において、前記燃焼部の上流側に前記燃料電池セルスタックが設けられ、該燃料電池セルスタックは複数の燃料電池セルから構成されており、前記燃料電池セルの出口近傍に火炎が形成されるように構成されていてもよい。

【 0 0 5 8 】

以下本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 5 9 】

(実施の形態1)

(固体酸化物形燃料電池の構成)

30

図1は、本発明の実施の形態1における固体酸化物形燃料電池(SOFC)の全体構成を示す模式図である。なお、図1では、発明をより明確に説明するため、燃料電池モジュール1において原料、改質ガス、改質用空気、改質用水、および発電用空気の流通経路については特には明記していない。

【 0 0 6 0 】

図1に示すように、SOFCは燃料電池モジュール1と、補機ユニット2とを備えてなる構成である。燃料電池モジュール1内には、複数の燃料電池セル3が電氣的に直列に接合されてなるスタック4が設置されている。燃料電池セル3は、例えば、内部に改質ガスが流通する経路を形成する円筒形の内側電極層と、円筒形の外側電極層と、これらの間に設けられた電解質層とを有し、内側電極層が燃料極、外側電極層が空気極となるように構成することができる。そして、内側電極層を流通した改質ガスが円筒形の燃料電池セル3の上方端部に形成された出口部3aから噴出され、外側電極層を接触した発電用空気も円筒形の燃料電池セル3の出口部3a側から送出されるようになっている。なお、燃料電池セル3はこのような円筒型セルに限定されるものではなく例えば、平板型セルであってもよい。

40

【 0 0 6 1 】

スタック4の上部には燃焼室(燃焼部)5が設けられており、燃焼室5内には供給された原料と空気(発電用空気)とを燃焼させるために着火するための着火部8が備えられている。原料としては、例えば都市ガス(13A)を利用することができる。燃焼室5の上部には、補機ユニット2を介して外部から供給された原料を改質して改質ガスを生成する

50

改質部 6 が設けられている。さらに改質部 6 の上部には補機ユニット 2 を介して外部から供給された発電用空気を予熱する空気予熱部 7 が設けられる。そして、燃焼室 5 において原料と空気とを燃焼させることで発生した燃焼排ガスは、改質部 6 および空気予熱部 7 をそれぞれ加熱し、燃料電池モジュール 1 の排ガス出口部 20 から系外に排気される。なお、排ガス出口部 20 には排ガス浄化部 9 が設けられており、燃焼排ガス中に含まれる一酸化炭素などの有害ガスを除去できるように構成されている。

【 0 0 6 2 】

補機ユニット 2 は、原料供給部 10 と改質用空気供給部 11 と発電用空気供給部 12 と水供給部 13 と原料流量制御部 14 と改質用空気流量制御部 15 と発電用空気流量制御部 16 と水流量制御部 17 とを備えてなる構成である。なお、原料流量制御部 14 と改質用空気流量制御部 15 と発電用空気流量制御部 16 と水流量制御部 17 とによって本発明の流量制御部を実現する。

10

【 0 0 6 3 】

原料供給部 10 は、燃料電池モジュール 1 に原料を供給するためのものである。改質用空気供給部 11 は、燃料電池モジュール 1 に改質用空気を供給するためのものである。原料および改質用空気が共に燃料電池モジュール 1 に供給される場合、改質部 6 の上流で両者が混合され、改質部 6 から燃料電池セル 3 の内側電極層を流通し、燃焼室 5 へと導かれる。なお、改質部 6 において改質反応が実施されていない場合、燃料電池セル 3 の内側電極層を原料が流通し、改質反応が進行すると改質ガスが流通することとなる。発電用空気供給部 12 は、燃料電池モジュール 1 に発電用空気を供給するためのものである。水供給部 13 は、燃料電池モジュール 1 に改質用の水（改質用水）を供給するためのものである。

20

【 0 0 6 4 】

上記した原料供給部 10、改質用空気供給部 11、発電用空気供給部 12、および水供給部 13 は、例えば、ポンプなどにより実現できる。また原料供給部 10、改質用空気供給部 11、発電用空気供給部 12、および水供給部 13 により供給される流体（原料、空気、水）の流量は、原料流量制御部 14、改質用空気流量制御部 15、発電用空気流量制御部 16、および水流量制御部 17 それぞれによって制御され、燃料電池モジュール 1 に送出される。原料流量制御部 14、改質用空気流量制御部 15、発電用空気流量制御部 16、および水流量制御部 17 は、例えば電磁弁などにより実現できる。

30

【 0 0 6 5 】

また、S O F C は主制御部（制御部）19 を備え、主制御部 19 からの制御指示の下、S O F C が備える各部の各種制御が実施されるように構成されている。なお、主制御部 19 は、例えば C P U 等により実現できる。

【 0 0 6 6 】

（起動時の動作処理）

次に、上記した構成を有する実施の形態 1 に係る S O F C の起動時の主な動作処理について説明する。まず、起動時には、原料と発電用空気とが燃焼室 5 に供給される。具体的には、補機ユニット 2 の原料供給部 10 が、都市ガス（13A）等の原料を、原料流量制御部 14 を介して燃料電池モジュール 1 内に供給する。燃料電池モジュール 1 内に供給された原料は、改質部 6 を通過した後、燃料電池セル 3 それぞれを流通し、各燃料電池セル 3 の上方端部の出口部 3a から燃焼室 5 へと噴出する。一方、補機ユニット 2 の発電用空気供給部 12 が、発電用空気を、発電用空気流量制御部 16 を介して燃料電池モジュール 1 内に供給する。燃料電池モジュール 1 内に供給された発電用空気は、空気予熱部 7 を流通し複数の燃料電池セル 3 それぞれへと送出させられる。そして、発電用空気は、各燃料電池セル 3 の上方端部の出口部 3a 側から燃焼室 5 へと送出される。

40

【 0 0 6 7 】

このように燃焼室 5 内へ原料と発電用空気とが供給されると、着火部 8 を作動させて原料に着火する。これにより複数の燃料電池セル 3 それぞれの出口部 3a の近傍に火炎を形成し、所定の空気比（原料が完全燃焼する時に必要な理論空気量に対する実空気量の比）

50

で燃焼させることができる。このようにして燃焼室 5 において生成された燃焼排ガスは燃焼室 5 の上方に設置された改質部 6 および空気予熱部 7 等の被加熱体を加熱した後、排ガス浄化部 9 を通過し、燃料電池モジュール 1 の外部に排出される。

【 0 0 6 8 】

以上のようにして燃焼室 5 において生成された燃焼排ガスにより改質部 6 が所望の温度（部分酸化改質反応を行うために必要な温度）となるまで加熱された後、改質用空気の燃料電池モジュール 1 への供給が開始される。すなわち着火後、改質部 6 の外壁に設けられた温度検知センサ（温度検知部）18 の検知結果が上記した所望の温度に達したと主制御部 19 が判定した場合、補機ユニット 2 の改質用空気供給部 11 および改質用空気流量制御部 15 に指示して改質用空気を燃料電池モジュール 1 へ供給させる。主制御部 19 から
10
の指示に応じて、改質用空気流量制御部 15 は、所定流量の改質用空気が流通するように例えば、電磁弁の開度を調整する。そして、主制御部 19 からの指示に応じて、改質用空気供給部 11 は、改質用空気を、改質用空気流量制御部 15 を介して燃料電池モジュール 1 内に供給する。燃料電池モジュール 1 内に供給された改質用空気は、改質部 6 に送出され、改質部 6 内で加熱される。この時点では燃焼排ガスにより改質部 6 が加熱されており、これにより改質部 6 内において混合された改質用空気と原料とが加熱され、部分酸化改質反応が進行することとなる。

【 0 0 6 9 】

改質部 6 内の温度がさらに上昇して所定温度（例えば、500）になると、補機ユニット 2 の水供給部 13 は、改質用水を、水流量制御部 17 を介して燃料電池モジュール 1
20
内に供給する。燃料電池モジュール 1 内に供給された改質用水は、改質部 6 に送出される。つまり、温度検知センサ 18 の検知結果が所定温度（例えば、500）に達したと主制御部 19 が判定した場合、水供給部 13 および水流量制御部 17 に指示して改質用水を燃料電池モジュール 1 へ供給させる。そして、主制御部 19 からの指示に応じて、水流量制御部 17 は、所定流量の改質用水が流通するように例えば、電磁弁の開度を調整する。そして、主制御部 19 からの指示に応じて、水供給部 13 は、改質用水を、水流量制御部 17 を介して燃料電池モジュール 1 内に供給する。このように改質部 6 に改質用水が供給されることにより、上述した部分酸化改質反応に加えて、水蒸気改質反応も併存して実施されるオートサーマル改質反応が進行する。

【 0 0 7 0 】

さらに、改質部 6 内の温度が上昇して所定温度（例えば、600）になると、改質用空気供給部 11 は、改質用空気の供給を停止する。つまり、温度検知センサ 18 の検知結果が所定温度（例えば、600）に達したと主制御部 19 が判定した場合、改質用空気供給部 11 および改質用空気流量制御部 15 に指示して改質用空気の燃料電池モジュール 1 への供給を停止させる。そして、主制御部 19 からの指示に応じて、改質用空気流量制御部 15 は、例えば、電磁弁を閉じ、改質用空気供給部 11 は改質用空気の供給を停止させる。このように改質用空気の供給が停止すると、改質部 6 は、原料と水蒸気のみによる水蒸気改質反応を進行させる。改質部 6 における改質反応がオートサーマル改質反応から水蒸気改質反応に移行した後、S O F C では発電が開始する。発電時では、発電に利用されなかった燃料（改質ガス）と、発電に利用されなかった発電用空気とを燃焼室 5 において燃焼し、生成した燃焼排ガスによって改質部 6、および空気予熱部 7 が加熱される。
40

【 0 0 7 1 】

上記したように、燃焼室 5 よりも上流側に複数の燃料電池セル 3 を設け、燃焼室 5 における各燃料電池セル 3 の出口部 3 a の近傍にて火炎を形成する構成である。このため、火炎の個数を多くすることができ、火炎長をより小さくすることができ、燃焼室 5 のコンパクト化を図ることができる。その結果、燃料電池モジュール 1 のコンパクト化を実現できる。

【 0 0 7 2 】

なお、実施の形態 1 に係る S O F C では、起動時では、改質部 6 において、上記したように部分酸化改質反応、オートサーマル改質反応、水蒸気改質反応の順に、逐次反応が進
50

行する構成であった。しかしながら部分酸化改質反応を省略し、オートサーマル改質反応から改質反応を進行させていく構成とすることもできる。

【0073】

次に、図2を参照して上記したSOFCにおける起動時の動作処理において、各流体（原料、発電用空気、改質用空気）が流通するタイミングを説明する。図2は、本発明の実施の形態1に係る固体酸化物形燃料電池（SOFC）の起動時の作動の一例を示すタイムチャートである。

【0074】

図2では、着火前後と、改質部6で実施される改質反応が部分酸化改質反応からオートサーマル改質反応に切り替わるまでの期間について示しており、プリパーズを実施する期間、着火を行う期間、着火により原料が燃焼する期間、部分酸化改質反応～オートサーマル改質反応を進行させる期間に区別することができる。図2では、横軸を時間軸として、上から原料流量のON/OFF（原料供給の有無）、着火部8のON/OFF、改質用空気流量のON/OFF（改質用空気の供給の有無）、発電用空気流量のON/OFF（発電用空気の供給の有無）の時系列変化を示している。なお、原料流量、改質用空気流量、発電用空気流量のONとは、原料、改質用空気、発電用空気の供給が行われている状態を示し、OFFとは、原料、改質用空気、発電用空気の供給が停止されている状態を示す。図2では、原料流量、着火部、改質用空気流量、発電用空気流量それぞれの時間経過を示す横軸方向に延びた直線において立ち上がっている区間がONの状態であり、立ち下がっている区間がOFF状態に相当する。

【0075】

まず、SOFCでは、着火部8による着火が行われる前に、改質用空気および発電用空気を利用して燃料電池セル3内外に残存する水分や残留ガス等の除去を行うプリパーズを行う。具体的には、プリパーズ期間では、改質用空気供給部11により改質用空気が、発電用空気供給部12により発電用空気がそれぞれ燃料電池モジュール1に供給される。そして、これら供給された改質用空気および発電用空気を、燃料電池セル3内外に送出することで燃料電池セル3内外に残存する水分や残留ガス等を外部に排気させ、除去する。プリパーズが終わり、かつ着火部8による着火が行われる前に、改質用空気供給部11は改質用空気の供給を停止する。なお、プリパーズを行う期間として所定時間が設定されており、主制御部19が不図示の計時部を起動させて所定時間の経過を管理する。そして、プリパーズを行う所定時間が経過すると、主制御部19は、改質用空気の供給を停止させるように改質用空気供給部11に対して指示する。この指示に応じて、改質用空気供給部11は、改質用空気の供給を停止させる。

【0076】

改質用空気の供給が停止されると、主制御部19は、着火部8に着火するように指示する。着火部8は主制御部19からの指示に応じて着火を行う。着火部8で着火が行われている間に、主制御部19は、原料供給部10に燃料電池モジュール1への原料の供給を指示する。原料供給部10は、主制御部19からの指示に応じて、原料の供給を開始する。燃焼室5において原料と発電用空気とが供給され、着火部8の着火により原料が燃焼すると、着火部8は着火を停止する。そして、原料と発電用空気とが燃焼し、生成された燃焼排ガスにより改質部6が所定温度になると、主制御部19は、改質用空気供給部11に改質用空気の供給を再開させるように指示する。改質用空気供給部11は、主制御部19からの指示に応じて、改質用空気の供給を開始する。これにより改質部6において部分酸化改質反応が実施される。

【0077】

ところで、例えば特許文献1に開示された従来のSOFCでは、プリパーズ期間の経過後の着火時においても、継続して改質用空気を燃料電池モジュール1に供給していた。これに対して、実施の形態1に係るSOFCでは、改質用空気の供給を停止させ、原料および発電用空気のみを供給した状態で、着火部により原料を着火させ、燃焼させるように構成されている。このため、実施の形態1に係るSOFCでは、着火時において、原料に改質

10

20

30

40

50

用空気が混入された状態で燃焼室5に供給されることがなく、着火安定性を阻害することを回避することができる。また、着火後において、燃焼室5には燃焼の維持に必要な酸素として火炎の外から発電用空気が拡散によって入ってきており火炎安定性を高め、一酸化炭素の発生を抑制することができる。

【0078】

(一酸化炭素の発生について)

ここで、以下において実施の形態1に係るS O F Cのように着火時に改質用空気の供給を停止させる構成と、従来のように着火時にも改質用空気の供給を停止させない構成とを比較し、一酸化炭素の発生について説明する。

【0079】

着火時において従来のように6NL/minの流量の改質用空気も原料とともに供給して着火させると、発生した一酸化炭素濃度のピーク値は250ppmとなった。これに対して、実施の形態1に係るS O F Cのように、着火時において改質用空気の供給を停止させた場合、発生した一酸化炭素濃度のピーク値を50ppmまで低減することができた。

【0080】

従来構成では起動時には、混合させた原料と改質用空気とを複数の円筒型の燃料電池セル3の内側から燃焼室5へ噴出させ、発電用空気を複数の円筒型の燃料電池セル3の外側から燃焼室5へ送出させ、着火部8を作動させて原料に着火させ、複数の燃料電池セル3の出口部3aに火炎を形成する、いわゆる予混合燃焼を行っていた。

【0081】

例えばブンゼンバーナ等で予混合燃焼させる場合、原料が噴出する時の動圧によって発生する圧力差で燃焼用一次空気(改質用空気に相当)を誘引し、周囲から燃焼用二次空気(発電用空気に相当)を拡散吸引して火炎を形成する。これに対して、実施の形態1に係るS O F Cでは、一次空気に相当する改質用空気を誘引する構成ではなく、強制給気する構成であり、二次空気に相当する発電用空気も拡散吸引する構成ではなく、強制給気する構成である。このため、燃焼室5において燃料電池セル3の出口部3aにおける低流速領域でしか着火できず、燃料電池セル3の出口部3aから燃料電池セル3内に火炎が逆流する逆火が発生する可能性がある。そこで、この逆火抑制のため、燃料電池セル3の出口部3aを細管で形成し、出口部3aにおける消炎距離を所定距離以下とする必要がある。このように燃料電池セル3の出口部3aを細管とすると、逆火抑制には効果的であるが、原料に改質用空気を混合させると、着火時の火炎安定性が阻害され、一酸化炭素発生量の増加をもたらすと考えられる。

【0082】

そこで、S O F Cにおいて、着火特性(一酸化炭素の発生)を支配する要因をより詳細に検証した。つまり、改質用空気流量による一次空気比と、改質用空気流量と発電用空気流量とを加えたトータル空気比とにより、着火限界、及び着火時の一酸化炭素発生ピーク値を調べたところ、一酸化炭素発生の抑制には、改質用空気流量による一次空気比の影響を受けることが分かった。つまり、ブンゼンバーナ等とは構成の相違から、原料への改質用空気の混入が着火安定性を阻害しており、具体的には一次空気比が著しく小さくなる時(0から0.1)に一酸化炭素の発生ピーク値を抑制できることが分かった。

【0083】

上記した検証結果を踏まえ、図2で説明したように、着火時に改質用空気の供給を停止させる構成とすることで、着火安定性に優れ、既述したように着火時の一酸化炭素発生ピーク値を50ppmに抑制することができる。

【0084】

以上のように、実施の形態1に係るS O F Cは、発電用空気と改質用空気とを供給して原料の着火前にプリパーズを行なった後、改質用空気の供給だけを停止させる。次いで、原料の供給を開始し、継続して供給されている発電用空気とともに燃焼室5で燃焼させ、その後再度、改質用空気を供給するシーケンスとしている。このようにプリパーズを起動時に行うことにより、燃料電池セル3内に残存していた水分や残留ガスを除去し、着火

10

20

30

40

50

安定性を高め、一酸化炭素の発生を抑制することもできる。

【0085】

(変形例1)

実施の形態1に係るSOFCでは、図2に示すように着火後に再度、供給する改質用空気は、改質部6が所望の温度まで加熱された時点で所定流量、燃料電池モジュール1へ供給される構成であった。しかしながら、図3に示すように単位時間当たりの流量が所定流量以下となる範囲内で、かつ、例えば、単調増加するように燃料電池モジュール1へ徐々に供給するように構成されてもよい。図3は、本発明の実施の形態1の変形例1に係る固体酸化物形燃料電池(SOFC)の起動時の作動の一例を示すタイムチャートである。図3は、図2と同様に、着火の前後と改質部6においてオートサーマル改質反応が実施されるまでの期間について示しており、プリパーズを実施する期間、着火を行う期間、着火により原料が燃焼する期間、部分酸化改質反応～オートサーマル改質反応を進行させる期間に区別することができる。

10

【0086】

図3に示すように、実施の形態1の変形例に係るSOFCでは、着火後に改質用空気の供給を再開する際、主制御部19からの指示に応じて改質用空気流量制御部15が開度を徐々に変化させ、改質用空気供給部11が改質用空気を燃料電池モジュール1に供給する。このとき、改質用空気流量制御部15は、改質用空気の単位時間当たりの流量が所定流量以下となる範囲内で、例えば、0.1NL/secずつ増量するように調整する。

【0087】

このように、着火後に改質用空気を徐々に増量させて燃料電池モジュール1に供給することにより、火災安定性の低下を回避でき、一酸化炭素の発生をさらに抑制することができる。

20

【0088】

(実施の形態2)

上記した実施の形態1に係るSOFCおよび変形例1に係るSOFCでは、SOFCの起動時、特に着火前後と改質部6で部分酸化改質反応を進行させる期間において、改質用空気の供給タイミングを工夫することで一酸化炭素の発生を抑制する構成について説明した。

【0089】

実施の形態2に係るSOFCは、図4に示すように、実施の形態1に係るSOFCの構成において、排ガス浄化部9の入口部分に、この入口部分の温度を検知するための浄化部用温度検知センサ(浄化部用温度検知部)21をさらに備えた構成とする。そして、この浄化部用温度検知センサ21の検知結果に基づき、主制御部19が水供給部13および水流量制御部17に対して、所定の流量の改質用水を燃料電池モジュール1の改質部6に供給するように指示する点で実施の形態1に係るSOFCと異なる。特に、実施の形態2に係るSOFCは、浄化部用温度検知センサ21の検知結果に基づき、主制御部19が水供給部13および水流量制御部17に指示して、所定の流量の改質用水を適切なタイミングで増量させる。それ以外については、実施の形態2に係るSOFCは実施の形態1に係るSOFCと同様な構成となるため、同様な部材には同じ符号を付しその説明については省略する。

30

【0090】

図4は、本発明の実施の形態2における固体酸化物形燃料電池(SOFC)の全体構成を示す模式図である。図1と同様に、発明をより明確に説明するため、燃料電池モジュール1において原料、改質ガス(燃料)、改質用ガス、改質用水、および発電用空気の流通経路については特には明記していない。

【0091】

なお、この改質用水の増量は以下の理由で行う。すなわち、改質部6および燃料電池セル3等の温度が十分に上昇しない段階で多量の改質用水を流入させると作動安定性および火災温度の低下を招き、それによって発生する一酸化炭素の濃度が大きくなるという問題

40

50

があるからである。そこで、実施の形態 2 に係る S O F C では、改質用水を徐々に供給しつつ、改質部 6 および燃料電池セル 3 等とともに温度上昇する排ガス浄化部 9 の温度に基づき、供給する改質用水の流量を増量させる。

【 0 0 9 2 】

(改質用水の増量タイミング)

次に、図 5 を参照して、上記した構成を有する実施の形態 2 に係る S O F C において、改質部 6 に供給する改質用水の増量を行うタイミングについて説明する。図 5 は、本発明の実施の形態 2 に係る固体酸化物形燃料電池 (S O F C) の起動時に系外へ排出される C O 濃度と排ガス浄化部 9 の入口部分の温度 (入口温度) との関係を示すグラフである。図 5 において、グラフの横軸は時間 (t)、左側の縦軸は系外に排出される C O 濃度 (C)、右側の縦軸は排ガス浄化部 9 の入口温度 (T) を示している。

10

【 0 0 9 3 】

またこのグラフにおいて、破線は実施の形態 2 に係る S O F C の効果を説明するための比較例として挙げた S O F C における C O 濃度の時系列変化、実線は実施の形態 2 に係る S O F C における C O 濃度の時系列変化、一点鎖線は排ガス浄化部 9 の入口温度の時系列変化を示す。なお、図 5 に示すグラフにおいて、t 1 は起動開始から着火までの経過時間、t 2 は起動開始から改質用水を供給開始するまでの経過時間、t 3 は比較例に係る S O F C における起動開始から改質用水を最初に増量するまでの経過時間、t 4 は比較例に係る S O F C における起動開始から改質用水をさらに増量するまでの経過時間を示す。また、後述するが、この t 4 は、実施の形態 2 に係る S O F C における起動開始から改質用水を最初に増量するまでの経過時間でもある。

20

【 0 0 9 4 】

C O 濃度を示す縦軸における C 1 は、実施の形態 2 に係る S O F C において発生する C O 濃度のピーク値が主として出現する値に相当しており、排ガス浄化部 9 の入口温度を示す縦軸における T 1 は、排ガス浄化部 9 の機能が確保できる所定温度 (例えば 1 2 0) に相当する。図 5 に示すように、排ガス浄化部 9 の入口温度は、燃焼室 5 で生成された燃焼排ガスにより加熱され、徐々に温度上昇し、ある程度時間が経過するとほぼ一定となるように変化する。

【 0 0 9 5 】

また、図 5 において、実施の形態 2 に係る S O F C における C O 濃度の時系列変化 (実線) および比較例に係る S O F C における C O 濃度の時系列変化 (破線) ではともに大きさは異なるが、2 つのピークが現れる。実施の形態 2 に係る S O F C において、1 つ目のピークは着火時に発生した C O に起因するものである。2 つ目のピークは、部分酸化改質反応からオートサーマル改質反応に移行する際に供給された改質用水に起因するものであり、改質用水の供給により、火炎安定性が阻害されて C O 濃度が上昇したことを示している。

30

【 0 0 9 6 】

一方、比較例に係る S O F C における 1 つ目のピークは、着火時に発生した C O に起因するものである。2 つ目のピークは、部分酸化改質反応からオートサーマル改質反応に移行する際に供給された改質用水、ならびに改質用水の最初の増量に起因するものであり、改質用水の供給時および最初の増量時それぞれにおいて火炎安定性が阻害されて C O が発生したため C O 濃度が大きく上昇している。

40

【 0 0 9 7 】

図 5 に示すように、実施の形態 2 に係る S O F C では、改質用水の最初の増量に伴う C O 濃度の上昇の影響を受けておらず、逆に、比較例に係る S O F C では、改質用水の最初の増量に伴う C O 濃度の上昇を受けて、2 つ目のピークの値が大きくなっている。この両者の違いについて以下に説明する。

【 0 0 9 8 】

実施の形態 2 に係る S O F C と比較例に係る S O F C との相違は、前者は t 3 では改質用水を増量させずに、t 4 で改質用水を増量させているのに対して、後者は t 3 で改質部

50

6 に供給する改質用水を増量させている点である。改質部 6 に供給する改質用水を増量させると、燃料電池セル 3 の出口部 3 a から改質用空気および改質ガス（燃料）とともに、水蒸気も噴出するため火災安定性が低下し、発生する CO の濃度が高くなる。ここで比較例に係る SOFC のように、t 3 で改質用水を増量させると、t 3 では排ガス浄化部 9 の入口温度が排ガス浄化部 9 に備えられている浄化用触媒（酸化触媒）の活性温度（例えば、120）よりも低く、排ガス浄化部 9 において排ガス浄化の機能が十分に確保されていない。このため、比較例に係る SOFC では、t 3 において系外（燃料電池モジュール外）に排気される CO 濃度を低減させることができず、図 5 のグラフにおいて破線で示されるように、CO 濃度は 2 つ目のピークで高い値となっている。

【0099】

一方、実施の形態 2 に係る SOFC のように t 4 で改質用水を増量させると、t 4 では排ガス浄化部 9 の入口温度が浄化用触媒の活性温度（T1）を超えており、排ガス浄化部 9 において排ガス浄化の機能が十分に確保されているため、系外に排出される CO 濃度を低減させることができる。その結果、図 5 のグラフにおいて実線で示すように、改質用水の増量に起因した CO 濃度のピークが発生せずに良好な排ガス特性を示す。

【0100】

なお、上記したように実施の形態 2 に係る SOFC の CO 濃度の時系列変化を示す実線において、改質用水の供給に起因してわずかに 2 番目の CO 濃度ピークが発生している。ここで、実施の形態 2 に係る SOFC を、排ガス浄化部 9 の入口温度が浄化用触媒の活性温度に達するまで、部分酸化改質反応を進行させて改質用水を供給しないように構成することで、2 番目の CO 濃度ピークも回避させることができる。

【0101】

なお、排ガス浄化部 9 の内部に備えられる浄化用触媒は、例えば貴金属を主とした酸化用の触媒を用いることができ、この浄化用触媒により CO の浄化性能を確保することができる。また、この浄化用触媒が浄化性能を確保するためには、所定温度以上とする必要がある。このため、排ガス浄化部 9 を加熱するための加熱ヒータを別途備え、SOFC の起動時において、この加熱ヒータにより浄化用触媒が所定温度以上とする構成が考えられる。しかしながら、実施の形態 2 に係る SOFC では、上記したように、実施する改質反応の特性を考慮し、浄化用触媒が活性化する所定温度に達するまで改質用水の増量を行わないようにする独自のシーケンスを実行しており、これにより加熱ヒータを不要にすることができた。

【0102】

なお、実施の形態 2 に係る SOFC では、排ガス浄化部 9 は、浄化用触媒として、貴金属を主とした酸化用の触媒を備える構成であったが、浄化用触媒は CO 浄化性能を確保できれば、その材料、形状を限定するものではない。また、排ガス浄化部 9 は、所定温度で活性化する浄化用触媒を備える構成であったが、必ずしも浄化用触媒を備える必要はなく、所定温度以上で CO を有効に除去できる構成のものであれば任意である。

【0103】

（実施の形態 3）

次に、実施の形態 3 に係る SOFC として、改質器（被加熱体）6 の温度変化に基づき、スタック 4 の温度変化を把握するとともに、燃焼室 5 において着火部 8 により原料に着火されたか否かに関する判定である着火判定処理を行う構成を有する SOFC について図 6 および図 7 を参照して説明する。図 6 は、本発明の実施の形態 3 に係る固体酸化物形燃料電池（SOFC）の全体構成を示す模式図である。図 1 および図 4 と同様に、発明をより明確に説明するため、燃料電池モジュール 1 において原料、改質ガス（燃料）、改質用ガス、改質用水、および発電用空気の流通経路については特には明記していない。また、図 7 は、実施の形態 3 に係る固体酸化物形燃料電池（SOFC）の起動時における改質部 6 およびスタック 4 それぞれの温度特性を示すグラフである。

【0104】

図 6 に示すように実施の形態 3 に係る SOFC は、実施の形態 1 に係る SOFC の構成

10

20

30

40

50

において、S O F C の稼働時間に応じた改質部 6 の外壁温度とスタック温度との対応関係を示すテーブル情報 3 1 を保持する記憶部 3 0 を備えている。それ以外については、実施の形態 3 に係る S O F C は、実施の形態 1 に係る S O F C と同様な構成となるため、同様な部材には同じ符号を付しその説明については省略する。

【 0 1 0 5 】

まず、燃焼室 5 で生成された燃焼排ガスによる被加熱体である改質部 6 の外壁温度と、スタック 4 の温度（スタック温度）との関係について、図 7 を参照して説明する。図 7 において、グラフの横軸は時間（ t ）、縦軸は温度（ T ）であり、グラフ中における破線はスタック温度、実線は被加熱体である改質部 6 の外壁温度を示す。 t_1 は起動開始から着火までの経過時間、 t_5 は起動開始から発電を開始するまでの経過時間を示している。

10

【 0 1 0 6 】

なお、実施の形態 3 では、スタック温度を複数の燃料電池セル 3 が配置されたスタック 4 の水平方向における中央部でかつ、鉛直方向の中央部に位置する燃料電池セル 3 近傍（図 6 における A）で測定した。また、改質部 6 の外壁温度を燃焼室 5 において形成される火炎の上方となる改質部 6 の下側（図 6 における B）で測定した。そして、両者の対応関係を示すテーブル情報 3 1 を作成した。なお、改質部 6 の入口部分では改質用水が蒸発しているため、改質反応が進行している出口部分の近傍の外壁で温度を測定した。

【 0 1 0 7 】

図 7 に示すように、実施の形態 3 に係る S O F C を起動させ、原料を供給して着火した時点（ t_1 の時点）からスタック温度および改質部 6 の外壁温度それぞれが上昇していく。スタック 4 の熱容量は改質部 6 の外壁の熱容量よりも大きいので、スタック温度は徐々に上昇していくのに対し、改質部 6 の外壁温度は、改質部 6 の直下に火炎が形成されており、急激に上昇する。このように、改質部 6 の外壁は、燃料電池モジュール 1 における温度変化に対する応答性が高くなっている。

20

【 0 1 0 8 】

ここで、図 7 を参照すると、改質部 6 の外壁温度の温度変化とスタック温度の温度変化は単位時間あたりの変化の大きさは異なるが両者は相関している。つまり、改質部 6 の外壁温度とスタック温度とは、原料への着火後、改質部 6 において部分酸化改質反応、オートサーマル改質反応、水蒸気改質反応と、改質反応を進行させるにともない、図 7 に示すように上昇していき、発電を開始して定格出力（例えば、800W）で発電を継続すると、所定温度（例えば、630）で安定する。つまり、スタック温度の温度変化は改質部 6 の外壁温度の温度変化と相関性がある。このため、例えば燃焼に伴う急激な温度変化に対して応答性の優れた改質部 6 の温度を検知することにより、スタック温度の温度変化を確度よく、すばやく把握することができる。そこで、この図 7 に示す両者の温度特性の対応関係を示すテーブル情報 3 1 を予め用意し、記憶部 3 0 に保持しておく。そして、実施の形態 3 に係る S O F C では、主制御部 1 9 はテーブル情報 3 1 を参照して、温度検知センサ 1 8 により検知された改質部 6 の外壁温度に基づきスタック温度を把握することができるように構成されている。

30

【 0 1 0 9 】

さらに温度変化に対して応答性の優れた改質部 6 の温度を検知し、この検知した温度変化に基づき、原料に対する着火判定を行う構成とすることで、燃料電池モジュール 1 において信頼性の高い燃焼検知を実現できる。以下において、実施の形態 3 に係る S O F C における着火判定について説明する。

40

【 0 1 1 0 】

（着火判定）

実施の形態 3 に係る S O F C は、改質部 6 の温度を温度検知センサ 1 8 の検知対象とし、温度検知センサ 1 8 の検知結果に基づき、主制御部 1 9 が原料供給後の改質部 6 の所定時間における温度変化を把握する。そして、主制御部 1 9 が把握した温度変化に基づき着火部 8 による原料への着火判断を行なうように構成されている。例えば、主制御部 1 9 は、原料供給後、所定時間（例えば、20秒）以内に、所定温度（例えば、15）以上、

50

改質部 6 の外壁温度が増加したと判定した場合、燃焼室 5 において原料に着火したと判断する。一方、主制御部 19 は、所定時間（例えば、20 秒）以内に、改質部 6 の外壁温度が所定温度（例えば、15 ）未満しか増加しなかった場合、未着火と判断する。

【0111】

例えば、上記した着火判定において、燃焼領域（燃焼室 5 内の燃焼排ガス）の温度を温度検知センサ 18 の検知対象とすることも考えられるが、この場合、温度変化に対する応答性は改質部 6 の外壁温度よりもさらに高くなる。しかしながら、燃焼室 5 に形成される火災位置と温度検知センサ 18 の位置とが所定距離以上離れている場合、検知精度が低下する場合がある。逆に、火災の近傍に温度検知センサ 18 を設けた場合、火災安定性が阻害され、一酸化炭素が発生するという問題がある。そこで、実施の形態 3 に係る SOFC 10 では、改質部 6 の外壁部に設けた温度検知センサ 18 の温度変化を、着火判定に利用する。

【0112】

しかしながら、着火判定を行うために温度検知を行う検知対象はこの改質部 6 の外壁に限定されるものではなく、燃焼室 5 における燃焼に伴い温度変化する他の部材であってもよい。あるいは、改質部 6 の外壁ではなく、例えば、改質部 6 の内部温度や内壁温度であっても良い。なお、着火判定に利用する温度検知センサ 18 は、実施の形態 1 にて述べたように、改質部 6 で実施する改質反応を切り替えるために改質部 6 の温度を検知するために設けられているものを共用できる。このため、着火判定のために別途、温度検知センサ 18 を設ける必要がなく部品点数を低減できるという利点がある。 20

【0113】

（変形例 1）

実施の形態 3 に係る SOFC では、上記したように、温度変化に対する応答性が高い改質部 6 の外壁温度を利用して、スタック温度を把握したり、燃焼室 5 における着火部 8 による原料の着火判定を行ったりする構成であった。実施の形態 3 の変形例 1 に係る SOFC は、上記した改質部 6 の外壁温度とスタック温度との対応関係を利用して、スタック温度が所定の温度範囲、例えば、耐久限界範囲内となるように管理するように構成する。なお、耐久限界範囲とは、スタック耐久上限温度からスタック耐久下限温度までの範囲を示しており、スタック 4 が劣化しない範囲として定められている温度範囲である。実機として燃料電池セル 3 の長寿命化を確保するためには、定格出力で発電が継続されている時のように燃料電池モジュール 1 が熱的に安定状態となっている場合において、スタック温度が耐久限界範囲内となるように作動させることが重要となる。 30

【0114】

実施の形態 3 の変形例 1 に係る SOFC の構成は、実施の形態 3 に係る SOFC の構成と比較して記憶部 30 が保持するテーブル情報 31 の内容が異なる点を除けば、同様の構成となる。このため構成部材には同じ符号を付しその説明については省略する。詳細は後述するが、実施の形態 3 の変形例 1 に係る SOFC では、記憶部 30 は、発電量と、スタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度それぞれに応じた改質部 6 の温度との対応関係を示す情報をテーブル情報 31 として記憶部 30 に保持している。なお、記憶部 30 は、例えば、メインメモリなどの主記憶装置を利用することができる。 40

【0115】

ここで、実施の形態 3 の変形例 1 に係る SOFC が有するテーブル情報 31 について図 8 を参照して説明する。図 8 は、実施の形態 3 に係る固体酸化物形燃料電池（SOFC）における発電時の温度特性を示すグラフである。図 8 において、グラフの横軸は発電量（G）、縦軸は改質部 6 の外壁温度（T）であり、グラフの実線はスタック 4 の耐久上限温度、グラフの破線はスタック 4 の耐久下限温度に対応する改質部 6 の外壁温度である。

【0116】

スタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度は、それぞれスタック 4 に対して所定値が設定されている。しかしながら、スタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度それぞれに対応する改質部 6 の外壁温度は、発電に利用される燃料の利用率、発電用空 50

気の利用率、燃焼状態、燃焼室 5 から改質部 6 への伝熱、改質部 6 における放熱等を含む燃料電池モジュール 1 における熱収支等に支配される。このため、図 8 に示すように、スタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度それぞれに対応する改質部 6 の外壁温度は、発電量に応じて変化する。なお、図 8 に示すように、スタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度それぞれに対応する改質部 6 の外壁温度は、発電量の増加に伴い、低下する傾向にある。これは、S O F C において発電量が増加とともに燃料の利用率が高まり、燃焼室 5 において燃料比率が少なくなるとともに、水分の比率が高くなる。このため、燃焼室 5 において形成される火炎の温度が低下し、燃焼が不安定になりやすいという傾向があるからである。

【 0 1 1 7 】

ところで、発電時において発電量が変わると、スタック 4 の温度が変化し、スタック 4 の温度がスタック耐久上限温度からスタック耐久下限温度までの範囲を超える場合がある。S O F C の信頼性の基準となるスタック温度が変化すると、このスタック温度と相関する改質部 6 の外壁温度も変化する。そこで、スタック温度を適切な設定範囲（スタック耐久上限温度からスタック耐久下限温度の範囲）となるように、発電量に応じて改質部 6 の外壁温度を制御する。

【 0 1 1 8 】

すなわち、発電量の変化は、燃焼機器に対して要求される T D R (Turn Down Ratio) に対応する改質部 6 の外壁温度とし、燃焼量の変動範囲をスタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度それぞれに対応した改質部 6 の外壁温度で設定する。このため、発電量に応じて改質部 6 の外壁温度を制御することで、スタック温度をその耐久限界範囲内（スタック耐久上限温度からスタック耐久下限温度までの範囲）となるように制御することができる。

【 0 1 1 9 】

(制御方法)

次に、実施の形態 3 の変形例 1 に係る S O F C における、改質部 6 の外壁温度の制御方法について説明する。

【 0 1 2 0 】

発電時には燃料電池セル 3 の上方部分の出口部 3 a から噴出する発電に利用されなかった燃料と、発電に利用されなかった発電用空気とが拡散燃焼する。この拡散燃焼時における空気比を増加させると、スタック温度および改質部 6 の温度はともに、この空気比の増加に比例して低下する。逆に空気比を低下させると、スタック温度および改質部 6 の温度はともに、この空気比の低下に比例して大きくなる。このため、発電時の拡散燃焼時において、供給する空気比を調整することで改質部 6 の温度、該改質部 6 の温度に対応するスタック温度を調整することができる。より具体的には以下のようにして改質部 6 の外壁温度を制御する。

【 0 1 2 1 】

より具体的には、主制御部 1 9 が温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果に基づき、改質部 6 の外壁温度がスタック耐久上限温度に対応する温度を上回ったと判定した場合、まず、発電用空気供給部 1 2 および発電用空気流量制御部 1 6 に指示して発電用空気の流量を増加させる。発電用空気流量制御部 1 6 は、主制御部 1 9 からの指示に応じて、供給する発電用空気の流量が増加するように開度を大きくし、発電用空気供給部 1 2 は発電用空気流量制御部 1 6 を介して主制御部 1 9 から指示された流量の改質用空気を燃料電池モジュール 1 に供給する。

【 0 1 2 2 】

また、発電用空気の流量を増加させても温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果が設定温度範囲内（耐久限界範囲内）とならない場合、主制御部 1 9 は、原料供給部 1 0 および原料流量制御部 1 4 に対して供給する原料の流量を減少させるようにさらに指示する。原料流量制御部 1 4 は、主制御部 1 9 からの指示に応じて、供給する原料の流量が減少するように開度を小さくし、原料供給部 1 0 は、原料流量制御部 1 4 を介して主制御部 1

10

20

30

40

50

9 から指示された流量の原料を燃料電池モジュール 1 に供給する。

【 0 1 2 3 】

一方、主制御部 1 9 が温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果に基づき、改質部 6 の外壁温度がスタック耐久下限温度に対応する温度を下回ったと判定した場合、まず、発電用空気供給部 1 2 および発電用空気流量制御部 1 6 に指示して発電用空気の流量を減少させる。また、発電用空気の流量を減少させても温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果が設定温度範囲にならないと判定した場合、主制御部 1 9 は、原料供給部 1 0 および原料流量制御部 1 4 に対して供給する原料の流量を増加させるように指示する。

【 0 1 2 4 】

以上のようにして、主制御部 1 9 は、改質部 6 の外壁温度を、スタック耐久上限温度に対応する温度からスタック耐久下限温度に対応する温度までの範囲に収まるように制御することができる。

10

【 0 1 2 5 】

なお、上記した制御を行ったとしても発電量に応じた改質部 6 の外壁温度が、耐久限界範囲内に対応する設定温度範囲内とならない場合、主制御部 1 9 は、火炎の吹飛び (Blow Off)、消炎 (Quenching) による失火等を含め、異常燃焼と判断する。異常燃焼と判断した場合、主制御部 1 9 は、原料供給部 1 0 および原料流量制御部 1 4 に指示して原料の供給を中止させ、燃焼を停止させる。

【 0 1 2 6 】

上記した異常燃焼か否かについての判定は、具体的には以下のように行う。すなわち、発電用空気の流量を減少または増加させることで、改質部 6 の外壁温度を、発電量に応じた耐久限界範囲内に対応する設定温度範囲内とする構成の場合、発電用空気の流量を例えば、 $\pm 10\%$ 変化させ、改質部 6 の外壁温度が設定温度範囲内に戻らないとき、主制御部 1 9 は、異常燃焼と判定する。また、原料の流量を減少または増加させることで、改質部 6 の外壁温度を発電量に応じた耐久限界範囲内に対応する設定温度範囲内とする構成の場合、原料の流量を例えば、 $\pm 5\%$ 変化させ、改質部 6 の外壁温度が設定温度範囲内に戻らないとき、主制御部 1 9 は、異常燃焼と判定する。

20

【 0 1 2 7 】

なお、上記では、改質部 6 の外壁温度が設定温度範囲内となるように調整することで、スタック温度を耐久限界範囲内となるように制御する構成であったが、このような制御に限定されるものではない。例えば、スタック温度が耐久限界範囲外となったか否かについての判定のみ、改質部 6 の外壁温度に基づいて行う。そして、耐久限界範囲外となったと判定された場合、上記したように発電用空気または原料の流量を変更させることで、直接、スタック 4 の温度が耐久限界範囲内に収まるように制御する構成であってもよい。このように構成される場合、スタック 4 にも別途、温度検知センサを設けることとなる。

30

【 0 1 2 8 】

(変形例 2)

ところで、本発明者は、被加熱体である改質部 6 の外壁温度と燃焼排ガス中の CO 濃度との間にも相関があることを見出した。すなわち、改質部 6 の外壁温度と、燃焼排ガス中に含まれる CO 濃度との関係について検討した。その結果、S O F C の燃焼室 5 に供給される発電用空気の空気比を増加させると、改質部 6 の外壁温度は低下するが、改質ガスと発電用空気との拡散が促進されて燃焼排ガス中の CO 濃度が低下する。一方、S O F C の燃焼室 5 に供給される発電用空気の空気比を低下させると、改質部 6 の外壁温度は増加するが、改質ガスと発電用空気との拡散反応が不十分になって燃焼排ガス中の CO 濃度が増加することが分かった。このため、この改質部 6 の外壁温度と、燃焼排ガス中の CO 濃度との関係に基づき、燃焼排ガスの一酸化炭素濃度が所定値 (例えば、150 ppm) 以下になるように改質部 6 の外壁温度を制御することができることが分かった。

40

【 0 1 2 9 】

そこで、実施の形態 3 の変形例 2 に係る S O F C は、改質部 6 の外壁温度と燃焼排ガス中の CO 濃度との対応関係から、燃焼排ガス中の CO 濃度が所定値以下になるように改質

50

部 6 の外壁温度を制御する構成とする。このように、改質部 6 の外壁温度と C O 濃度との対応関係から、C O 濃度が所定値以下となるように改質部 6 の外壁温度を制御する構成とすることで、C O 濃度を考慮した改質部 6 の外壁温度の制御が可能となる。

【 0 1 3 0 】

なお、実施の形態 3 の変形例 2 に係る S O F C は、記憶部 3 0 に保持するテーブル情報 3 1 が異なる点を除けば実施の形態 3 に係る S O F C と同様の構成である。このため実施の形態 3 と同様の構成部材には同じ符号を付しその説明については省略する。実施の形態 3 の変形例 2 に係る S O F C では、テーブル情報 3 1 として空気比の変動に応じた改質部 6 の外壁温度と C O 濃度との対応関係を示す情報を記憶部 3 0 は保持する。このため、実施の形態 3 の変形例 2 に係る S O F C では、主制御部 1 9 は、燃焼室 5 に供給される発電用空気の空気比に応じて、温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果から燃焼排ガス中の C O 濃度を把握することができる。なお、上記した空気比は、主制御部 1 9 が発電用空気供給部 1 2 により発電用空気流量制御部 1 6 を介して燃料電池モジュール 1 に供給される空気流量を管理しており、S O F C における発電量と供給する空気流量とに基づき求めることができる。

10

【 0 1 3 1 】

(変形例 3)

次に、実施の形態 3 の変形例 3 に係る S O F C について説明する。実施の形態 3 の変形例 3 に係る S O F C は、実施の形態 3 の変形例 1 と変形例 2 とを組み合わせた構成となっており、発電量に応じた改質部 6 の外壁温度と、スタック温度と、燃焼排ガス中の C O 濃度との対応関係から、発電量に応じてスタック温度が耐久限界範囲内となり、かつ燃焼排ガス中の C O 濃度が所定値以下になるように改質部 6 の外壁温度を制御するように構成する。

20

【 0 1 3 2 】

実施の形態 3 の変形例 3 に係る S O F C は、記憶部 3 0 に保持するテーブル情報 3 1 が異なる点を除けば、図 6 に示す実施の形態 3 に係る S O F C の構成と同様である。このため、実施の形態 3 と同様の構成部材には同じ符号を付しその説明については省略する。実施の形態 3 の変形例 3 に係る S O F C は、テーブル情報 3 1 として、発電量に応じたスタック耐久上限温度およびスタック耐久下限温度に対応する改質部 6 の外壁温度と、空気比の変動に応じた改質部 6 の外壁温度と、燃焼排ガス中の C O 濃度との対応関係を示す情報を保持する。そして、主制御部 1 9 は、設定されている発電量と温度検知センサ 1 8 から受け付けた検知結果とからテーブル情報 3 1 を参照して、スタック温度を耐久限界範囲内としつつ、燃焼排ガス中の C O 濃度を所定値以下となるに抑制するように改質部 6 の外壁温度をすることができる。

30

【 0 1 3 3 】

つまり、燃料電池モジュール 1 において火災安定性に優れ、燃焼範囲が広い場合、主制御部 1 9 は、改質部 6 の外壁温度を調整し、スタック温度が耐久限界範囲内となるように優先的に制御する。一方、燃料電池モジュール 1 において火災安定性が良好ではなく、燃焼範囲が狭い場合、燃焼排ガス中の C O 濃度が所定値 (例えば、1 5 0 ppm) に達すると、改質部 6 の外壁温度を調整して、C O 濃度が所定値以下となるように優先的に制御する。このように制御することにより、実施の形態 3 の変形例 3 に係る S O F C は、安全性と製品寿命を両立させることが可能となる。

40

【 0 1 3 4 】

なお、実機において、原料を供給する原料供給部 1 0 または空気を供給する発電用空気供給部 1 2 の性能のばらつきを考慮すると、実施の形態 3 で上記した着火判定や実施の形態 3 の変形例 1 で上記した異常燃焼の有無を判定できる範囲 (燃焼検知範囲) が広いことが望ましい。

【 0 1 3 5 】

また実施の形態 3、実施の形態 3 の変形例 1 ~ 3 に係る S O F C では、改質部 6 の外壁温度を改質部 6 の下側で、かつ改質部 6 の出口近傍に温度検知センサ 1 8 を設けて、温度

50

を測定する構成であったが、出口近傍に限定されるものではなく、燃焼状況と改質反応の進行状況とを把握することができれば、改質部6の内部温度、内壁温度を検知するように温度検知センサ18を設けてもよい。また、改質部6の外壁に温度検知センサ18を設ける構成の場合、外壁との接触部分の温度を温度検知センサ18により検知することが好ましいが、これに限定されない。

【0136】

なお、上記した実施の形態1、2、3で説明したSOFCの構成をそれぞれ適宜、組み合わせてもよい。また、上記説明から、当業者にとって、本発明の多くの改良や他の実施の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、本発明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。本発明の精神を逸脱することなく、その構造及び/又は機能の詳細を実質的に変更できる。

10

【産業上の利用可能性】

【0137】

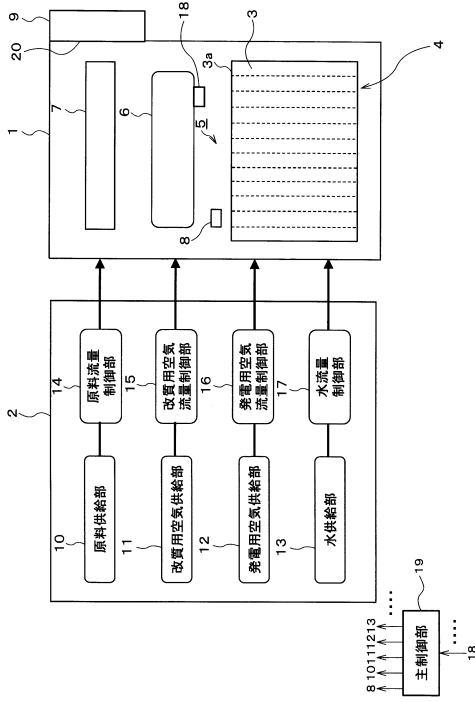
本発明に係るSOFCは、起動時に原料を着火し、生成した燃焼排ガスの有する熱により改質部等を加熱し、改質反応を実施する家庭用燃料電池システム、業務用燃料電池システム、あるいは各種電源供給システム等の用途に広く利用できる。

【符号の説明】

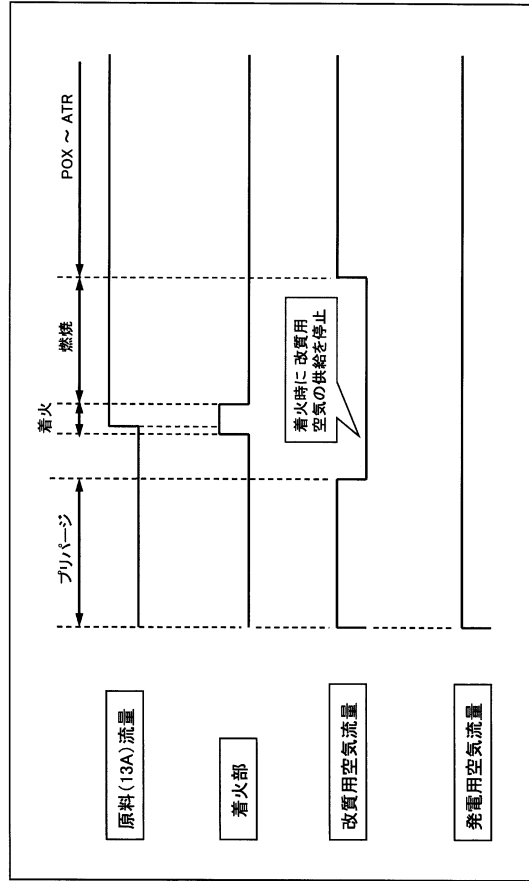
【0138】

| | | |
|-----|-------------|----|
| 1 | 燃料電池モジュール | |
| 2 | 補機ユニット | 20 |
| 3 | 燃料電池セル | |
| 3 a | 出口部 | |
| 4 | スタック | |
| 5 | 燃焼室 | |
| 6 | 改質部 | |
| 7 | 空気予熱部 | |
| 8 | 着火部 | |
| 9 | 排ガス浄化部 | |
| 10 | 原料供給部 | |
| 11 | 改質用空気供給部 | 30 |
| 12 | 発電用空気供給部 | |
| 13 | 水供給部 | |
| 14 | 原料流量制御部 | |
| 15 | 改質用空気流量制御部 | |
| 16 | 発電用空気流量制御部 | |
| 17 | 水流量制御部 | |
| 18 | 温度検知センサ | |
| 19 | 主制御部 | |
| 20 | 排ガス出口部 | |
| 21 | 浄化部用温度検知センサ | 40 |
| 30 | 記憶装置 | |
| 30 | 記憶部 | |
| 31 | テーブル情報 | |

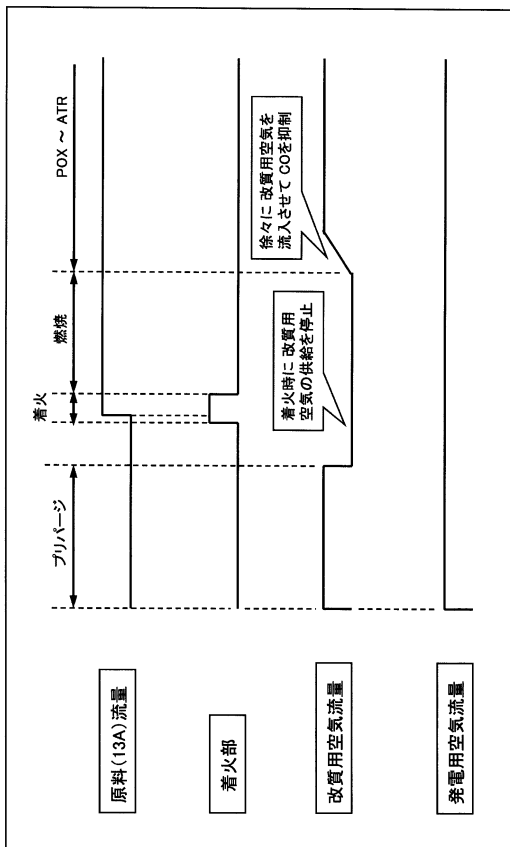
【図1】



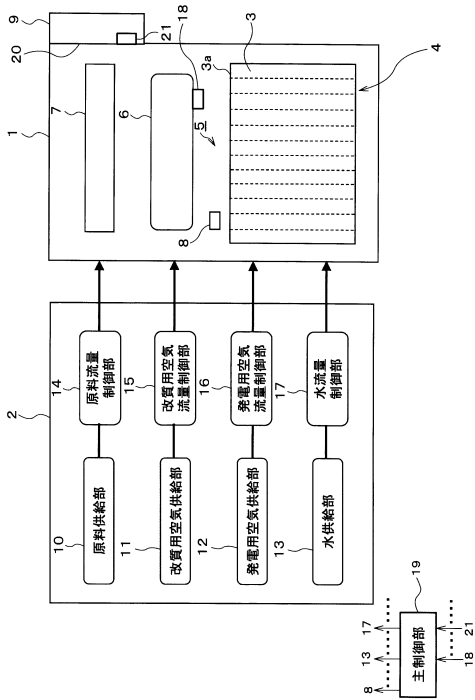
【図2】



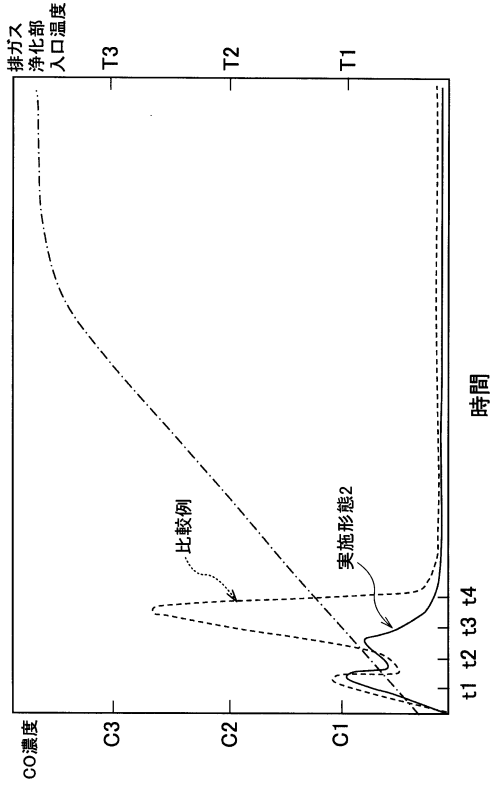
【図3】



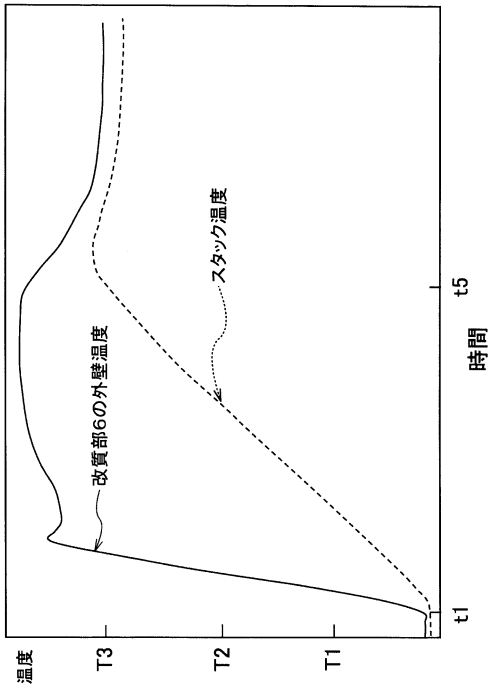
【図4】



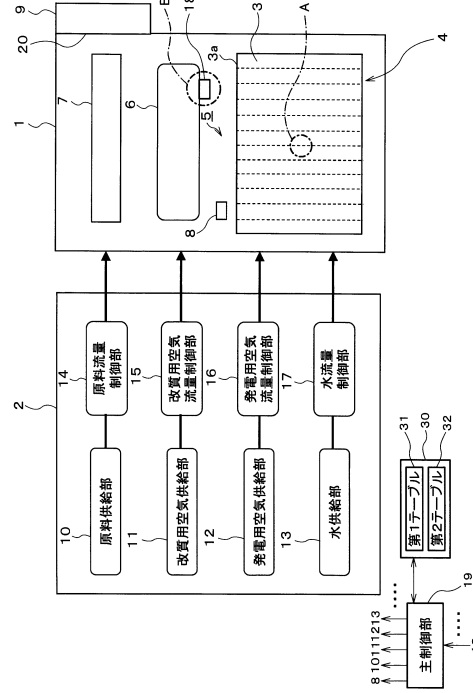
【図5】



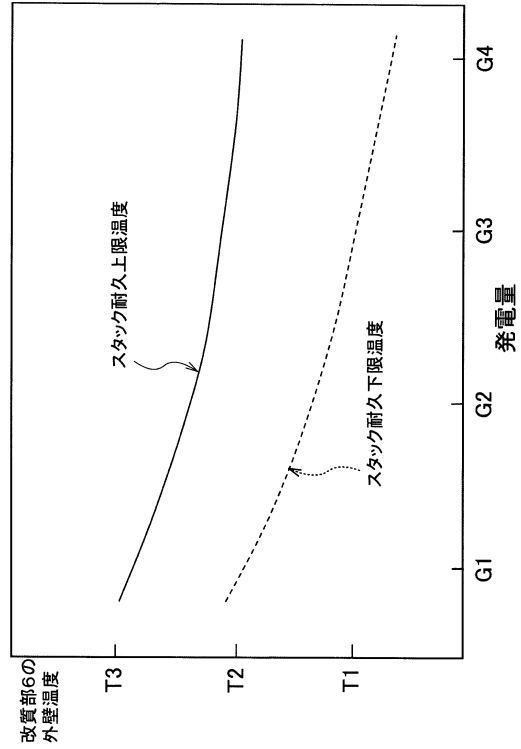
【図7】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

- (72)発明者 鵜飼 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
- (72)発明者 嘉久和 孝
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 坂本 泰一郎
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内
- (72)発明者 大江 俊春
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内

審査官 笹岡 友陽

- (56)参考文献 特開2010-277844(JP,A)
特開2014-22234(JP,A)
特開2008-135268(JP,A)
特開2013-211165(JP,A)
特開2012-79420(JP,A)
特開2009-295534(JP,A)
特開2006-73215(JP,A)
特開2007-187426(JP,A)
国際公開第2010/116685(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 8/00 - 8/24