

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5988037号
(P5988037)

(45) 発行日 平成28年9月7日(2016.9.7)

(24) 登録日 平成28年8月19日(2016.8.19)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04228 (2016.01)	HO 1 M 8/04 Y
HO 1 M 8/04303 (2016.01)	HO 1 M 8/06 G
HO 1 M 8/0612 (2016.01)	HO 1 M 8/12
HO 1 M 8/12 (2016.01)	HO 1 M 8/04 A
HO 1 M 8/04746 (2016.01)	

請求項の数 9 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2013-4928 (P2013-4928)	(73) 特許権者	000010087
(22) 出願日	平成25年1月15日 (2013.1.15)		TOTO株式会社
(65) 公開番号	特開2013-225483 (P2013-225483A)		福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号
(43) 公開日	平成25年10月31日 (2013.10.31)	(74) 代理人	100092093
審査請求日	平成27年10月23日 (2015.10.23)		弁理士 辻居 幸一
(31) 優先権主張番号	特願2012-66766 (P2012-66766)	(74) 代理人	100082005
(32) 優先日	平成24年3月23日 (2012.3.23)		弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74) 代理人	100103609
			弁理士 井野 砂里
		(74) 代理人	100095898
			弁理士 松下 満

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体酸化物型燃料電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料を水蒸気改質して生成した水素と酸化剤ガスを反応させることにより発電する固体酸化物型燃料電池であって、

複数の燃料電池セルユニットからなる燃料電池セルスタックを備えた燃料電池モジュールと、

この燃料電池モジュール内の熱の外部への発散を抑制する断熱材と、

上記燃料電池モジュールに燃料を供給する燃料供給装置と、

上記燃料電池モジュールに水蒸気改質用の水を供給する水供給装置と、

上記燃料電池セルスタックの酸化剤ガス極側に酸化剤ガスを供給する酸化剤ガス供給装置と、

上記燃料電池セルスタックにおいて、発電に利用されずに残った燃料を燃焼させる燃焼部と、

上記燃料電池モジュール内に配置され、上記燃料供給装置から供給された燃料を、上記水供給装置から供給された水を使用して水蒸気改質し、改質された燃料を上記各燃料電池セルユニットの燃料極に供給する改質器と、

上記燃料供給装置、上記水供給装置、上記酸化剤ガス供給装置、及び上記燃料電池モジュールからの電力の取り出しを制御するコントローラと、を有し、

上記コントローラは、燃料供給、及び発電を停止させるシャットダウン停止回路を備え、

10

20

上記改質器は、改質触媒が収容された改質部と、水蒸気改質用の水を蒸発させる蒸発部と、を一体的に備えることにより、上記シャットダウン停止回路により燃料供給及び発電が停止された後も水が蒸発され、上記改質部と上記蒸発部の間には、上記蒸発部内における水の蒸発による上記改質部内の圧力変動を抑制する圧力変動吸収手段が設けられていることを特徴とする固体酸化物型燃料電池。

【請求項 2】

上記圧力変動吸収手段は、所定容積のチャンバーと、上記改質部の入り口に設けられた狭小流路から構成されている請求項 1 記載の固体酸化物型燃料電池。

【請求項 3】

さらに、上記改質器の上方に配置され、上記燃料電池モジュールの内部における上記改質器からの熱の発散を抑制する内部断熱材を有する請求項 2 記載の固体酸化物型燃料電池。

10

【請求項 4】

上記内部断熱材は、少なくとも上記蒸発部の上方に配置されている請求項 3 記載の固体酸化物型燃料電池。

【請求項 5】

さらに、上記燃焼部において生成された燃焼ガスにより上記酸化剤ガス供給装置から供給された酸化剤ガスを加熱する熱交換器を有し、上記内部断熱材は、上記改質器と上記熱交換器の間に配置されている請求項 4 記載の固体酸化物型燃料電池。

【請求項 6】

さらに、上記改質器と上記内部断熱材との間に設けられ、上記燃焼部において生成された燃焼ガスを排出するための排気通路を有し、この排気通路は、上記蒸発部の上方においては、燃焼ガスの流れが淀むように形成されている請求項 5 記載の固体酸化物型燃料電池。

20

【請求項 7】

上記シャットダウン停止回路は圧力保持制御回路を有し、この圧力保持制御回路は、上記シャットダウン停止回路により燃料供給及び発電が停止された後、上記水供給装置を作動させることにより、上記蒸発部内で水を蒸発させ、蒸発された水蒸気の圧力によって上記各燃料電池セルユニットの上記燃料極側の圧力低下を抑制することにより、上記燃料極側への酸化剤ガスの流入を抑制する請求項 5 記載の固体酸化物型燃料電池。

30

【請求項 8】

上記シャットダウン停止回路は、燃料供給及び発電を停止させた後、上記酸化剤ガス供給装置を作動させ、上記熱交換器を介して、酸化剤ガスを上記燃料電池セルスタックの酸化剤ガス極側に供給することにより、上記燃料電池モジュール内に滞留していた酸化剤ガス及び燃焼ガスを排出する請求項 7 記載の固体酸化物型燃料電池。

【請求項 9】

上記圧力保持制御回路は、燃料供給及び発電が停止された後、所定時間経過し、上記各燃料電池セルユニットの燃料極側の圧力が低下して、上記酸化剤ガス極側の圧力に近付いたとき作動され、上記水供給装置による水の供給を開始させる請求項 8 記載の固体酸化物型燃料電池。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体酸化物型燃料電池に関し、特に、燃料を水蒸気改質して生成した水素と酸化剤ガスを反応させることにより発電する固体酸化物型燃料電池に関する。

【背景技術】

【0002】

固体酸化物型燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell : 以下「S O F C」とも言う) は、電解質として酸化物イオン導電性固体電解質を用い、その両側に電極を取り付け、一方の側に燃料ガスを供給し、他方の側に酸化剤 (空気、酸素等) を供給して、比較的高温で動作

50

する燃料電池である。

【0003】

特開2012-3850号公報(特許文献1)には、固体電解質型燃料電池が記載されている。この燃料電池においては、高温で動作している燃料電池を停止させる際、少量の燃料及び燃料改質用の水の供給を継続しつつ、燃料電池セルスタックの空気極側に空気を供給し、この空気の冷却効果により燃料電池モジュール内の温度を低下させている。即ち、この燃料電池においては、まず、停止工程において、燃料電池モジュールからの電力の取り出しを停止させた後にも燃料の供給を継続しながら、冷却用の空気を大量に送ることにより燃料電池セルスタックを冷却する。次に、セルスタックの温度が燃料電池セルの酸化温度未満に低下したとき燃料の供給を停止させ、以降、温度が十分に低下するまで冷却用の空気のみ供給を続け、燃料電池を安全に停止させている。

10

【0004】

また、停止工程において、電力の取り出し、及び、燃料、燃料改質用の水、及び発電用の空気(空気極側に送る空気)の供給を短時間で完全に停止させる、所謂シャットダウン停止を行う燃料電池も知られている。

特開2010-27579号公報(特許文献2)には、燃料電池システムが記載されている。この燃料電池システムでは、緊急停止時において、改質器に燃料を供給する送出ポンプ、水蒸気改質用の水を供給する改質水ポンプ、及びセルスタックの空気極側に空気を送る空気ブローを停止させる。その後、緊急停止時作動制御により送出ポンプ及び改質水ポンプが再び作動されると、燃料供給源からの燃料ガスの供給が遮断された状態であっても、吸着器に吸着されていた燃料ガスが改質器に送られ、改質水ポンプから供給された水により、水蒸気改質が行われる。これにより、燃料ガスの供給が遮断された後も、所定期間に亘ってセルスタックの燃料極に改質燃料が供給され、空気が逆流することによる燃料極の酸化が防止される。

20

【0005】

さらに、特開2012-138186号公報(特許文献3)には、高温作動型燃料電池システムが記載されている。この高温作動型燃料電池システムでは、緊急停止時において、燃料ガスを供給する原燃料ポンプを停止する一方、改質器に水を供給する改質水ポンプを作動させる。改質水ポンプが作動されると、供給された水は、改質器内において蒸発されることにより体積膨張する。このため、燃料供給源からの源燃料ガスの供給が遮断された状態であっても、改質器よりも下流側の燃料ガス供給ラインに残存していた燃料ガスが、体積膨張した水蒸気の圧力により燃料電池(セルスタック)側に押し出される。これにより、空気が逆流することによる燃料極の酸化が防止される。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2012-3850号公報

【特許文献2】特開2010-27579号公報

【特許文献3】特開2012-138186号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特開2012-3850号公報(特許文献1)記載の燃料電池においては、停止工程にも燃料電池セルスタックが所定の温度に低下するまで燃料が供給されるので、発電に寄与しない燃料が浪費されるという問題がある。また、セルスタックの温度が十分に低下する前に燃料の供給を停止し、冷却用の空気を供給すると、燃料電池セルの空気極側に供給した冷却用の空気が燃料極側に逆流し、逆流した空気が燃料電池セルの燃料極を酸化させ、セルを損傷させてしまう。このため、燃料電池セルの温度が酸化温度未満に低下するまでは燃料を供給し続け、燃料電池セルの空気極側に供給した冷却用の空気の逆流を防止する必要がある。なお、作動していた燃料電池セルスタックの温度が、停止工程において酸

50

化温度未滿に低下するまでの時間は、燃料電池モジュールの断熱性能等にも依存するものであるが、一般に、1時間乃至数時間にも及び、この間発電に寄与しない燃料を供給し続ける必要がある。

【0008】

一方、シャットダウン停止においては、燃料、及び燃料改質用の水の供給が短時間で完全に停止されるので、燃料の浪費を抑制することができる。また、シャットダウン停止においては、燃料電池セルスタックが高温の状態では燃料の供給が停止されるので、燃料供給の停止と共に燃料電池セルスタックの空気極側に送る冷却用の空気の供給も停止させ、空気の燃料極側への逆流、及び燃料極の酸化を回避している。

【0009】

しかしながら、本発明者は、シャットダウン停止を行った場合、燃料供給の停止時に燃料電池セルスタックの空気極側に送る空気を停止させても燃料電池セルの燃料極に酸化が発生してセルを劣化させ、これがセルの損傷に繋がるという新たな技術課題を見出した。

【0010】

一方、特開2010-27579号公報(特許文献2)記載の燃料電池システムにおいては、燃料供給源からの供給が遮断された後も送出ポンプ及び改質水ポンプを作動させることにより、一定期間、吸着器に吸着されていた燃料ガスを改質してセルスタックに送り、燃料極の酸化を防止することができる。従って、この燃料電池システムでは、燃料を予め貯蔵しておくために、特別に吸着器を設けておく必要がある。また、一般に、燃料電池の熱容量は極めて大きいため、燃料極の酸化が回避できる温度に低下するまでには長時間を要するが、この長時間に亘って吸着されていた燃料を供給し続けるには、極めて微量な流量で改質された燃料を送り続ける必要がある。しかしながら、改質水ポンプから送られた水の蒸発器内における蒸発を制御することは困難であり、供給された水の塊(水滴)が蒸発器の高温部に接触すると、急激に大量の水蒸気が発生する。このように、急激に大量の水蒸気が発生すると、蒸発器及びその下流側の改質器、燃料供給経路内の圧力が急上昇する。この圧力の急上昇により、改質器及び下流側の燃料供給経路内に残留していた燃料ガスは、一気に、大量に、セルスタックに送り出されてしまう。従って、特許文献2記載の燃料電池システムにより、燃料極の温度が十分に低下するまで燃料を供給し続けることは、極めて困難である。

【0011】

さらに、特開2012-138186号公報(特許文献3)に記載されている高温作動型燃料電池システムにおいても、原燃料ポンプが停止された直後に改質水ポンプを作動させ、改質器内で蒸発された水の体積膨張によって、残留している燃料をセルスタック側に押し出している。従って、特許文献3記載の高温作動型燃料電池システムにおいても、燃料極の温度が十分に低下するまで燃料を供給し続けることは、極めて困難である。

【0012】

従って、本発明は、燃料電池セルの酸化を十分に抑制しつつ、シャットダウン停止を実行することができる固体酸化物型燃料電池を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上述した課題を解決するために、本発明は、燃料を水蒸気改質して生成した水素と酸化剤ガスを反応させることにより発電する固体酸化物型燃料電池であって、複数の燃料電池セルユニットからなる燃料電池セルスタックを備えた燃料電池モジュールと、この燃料電池モジュール内の熱の外部への発散を抑制する断熱材と、燃料電池モジュールに燃料を供給する燃料供給装置と、燃料電池モジュールに水蒸気改質用の水を供給する水供給装置と、燃料電池セルスタックの酸化剤ガス極側に酸化剤ガスを供給する酸化剤ガス供給装置と、燃料電池セルスタックにおいて、発電に利用されずに残った燃料を燃焼させる燃焼部と、燃料電池モジュール内に配置され、燃料供給装置から供給された燃料を、水供給装置から供給された水を使用して水蒸気改質し、改質された燃料を各燃料電池セルユニットの燃

10

20

30

40

50

料極に供給する改質器と、燃料供給装置、水供給装置、酸化剤ガス供給装置、及び燃料電池モジュールからの電力の取り出しを制御するコントローラと、を有し、コントローラは、燃料供給、及び発電を停止させるシャットダウン停止回路を備え、改質器は、改質触媒が収容された改質部と、水を蒸発させる蒸発部と、を一体的に備えることにより、シャットダウン停止回路により燃料供給及び発電が停止された後も水が蒸発され、改質部と蒸発部の間には、蒸発部内における水の蒸発による改質部内の圧力変動を抑制する圧力変動吸収手段が設けられていることを特徴としている。

【0014】

このように構成された本発明においては、燃料及び水が、燃料供給装置及び水供給装置によって、燃料電池モジュール内に配置された改質器に夫々供給され、改質器は燃料を水蒸気改質する。改質された燃料は、燃料電池セルスタックを構成する各燃料電池セルユニットの燃料極側に供給される。一方、酸化剤ガスが、酸化剤ガス供給装置によって、燃料電池セルスタックの酸化剤ガス極側に供給される。コントローラは、シャットダウン停止回路を備え、燃料供給装置、水供給装置、酸化剤ガス供給装置、及び燃料電池モジュールからの電力の取り出しを制御する。改質器は、改質触媒が収容された改質部と、水を蒸発させる蒸発部と、を一体的に備えることにより、シャットダウン停止回路により燃料供給及び発電が停止された後も水が蒸発され、改質部と蒸発部の間に設けられた圧力変動吸収手段は、蒸発部内における水の蒸発による改質部内の圧力変動を抑制する。

10

【0015】

従来の固体酸化物型燃料電池においては、シャットダウン停止を行う際には、燃料の供給、燃料改質用の水の供給、燃料電池モジュールからの電力の取り出し、及び酸化剤ガスの供給を全て同時に停止させている。従来の技術において、燃料及び電力の取り出しの停止と同時に酸化剤ガスの供給も停止するのは、電力取り出し停止直後の、燃料電池セルスタック温度が酸化温度よりも高い状態で、燃料を停止させ、酸化剤ガスのみを供給すると、燃料電池セルユニットの燃料極側に酸化剤ガスが逆流し、燃料極を損傷する虞があるためである。

20

【0016】

しかしながら、このように酸化剤ガスの供給を同時に停止させた場合においても、酸化剤ガスが燃料極を酸化させる場合があるという新たな課題が本件発明者により見出された。この問題は、電力取り出し停止後において、各燃料電池セルユニットの燃料極側と酸化剤ガス極側の間に温度差が生じることに起因する。まず、各燃料電池セルユニットの酸化剤ガス極側は、発電用の酸化剤ガスの供給が停止されるため、酸化剤ガスによる冷却効果がなくなり、温度が上昇する傾向となる。一方、各燃料電池セルユニットの燃料極側は、電力取り出しが停止されるため、発電熱が発生しなくなる。また、各燃料電池セルユニットの燃料極側には、燃料供給手段による燃料供給が停止された後も、改質器等に残存した燃料が流入する。この燃料極側に流入する燃料は、改質器において、吸熱反応である水蒸気改質反応により生成されたものであり、一般に、燃料電池セルユニットの酸化剤ガス極側の温度よりも低温になる。このように、各燃料電池セルユニットの酸化剤ガス極側は、燃料供給及び電力取り出しの停止後、温度が上昇傾向となるのに対して、燃料極側は、発電熱の消失や、低温の残存燃料の流入により、温度が低下する傾向となる。温度が低下した部分ではその周囲の気体が収縮して圧力が低下し、温度が上昇した部分ではその周囲の気体が膨張して圧力が上昇する。これらの現象により、各燃料電池セルユニットの酸化剤ガス極側は圧力が高くなり、燃料極側は圧力が低くなり、この圧力差により、酸化剤ガス極側から燃料極側へ酸化剤ガスが逆流してしまう場合がある。

30

40

【0017】

本件発明者は、この新たな技術課題を、改質器が改質部と蒸発部とを一体的に備え、改質部と蒸発部の間に、蒸発部内における水の蒸発による改質部内の圧力変動を抑制する圧力変動吸収手段を設けることにより解決した。まず、改質器が改質部と蒸発部とを一体的に備えることにより、シャットダウン停止前に蒸発部に供給されていた水、又はシャットダウン停止後に蒸発部に供給された水を、シャットダウン停止後において、蒸発部で蒸発

50

させることができる。さらに、蒸発部で急激な蒸発が発生した場合には、圧力変動吸収手段が、蒸発部における急激な圧力上昇が改質部に伝搬し、改質部内の圧力が急激に上昇するのを抑制する。これにより、改質部及びその下流側に滞留していた燃料が、一気に、大量に燃料電池セルスタックに送り込まれてしまうのを防止することができる。この結果、改質部及びその下流側に滞留していた燃料を長時間に亘って少しずつ燃料電池セルスタックに送り込むことが可能になり、酸化剤ガス極側の酸化剤ガスが燃料極側に流入し、燃料極が酸化されるのを抑制することができる。

【0018】

本発明において、好ましくは、圧力変動吸収手段は、所定容積のチャンバーと、改質部の入り口に設けられた狭小流路から構成されている。

10

このように構成された本発明によれば、所定容積のチャンバーが蒸発部内の急激な圧力上昇の緩衝空間となると共に、狭小流路の流路抵抗により、発生した水蒸気の急激な流れが抑制されるので、簡単な構成で、効果的に圧力変動を吸収することができる。

【0019】

本発明において、好ましくは、さらに、改質器の上方に配置され、燃料電池モジュールの内部における改質器からの熱の発散を抑制する内部断熱材を有する。

このように構成された本発明によれば、シャットダウン停止後の改質器内の急激な温度低下が回避されるので、内部の気体が急激に収縮することによる圧力低下を抑制することができ、酸化剤ガスの燃料極側への逆流を防止することができる。

【0020】

20

本発明において、好ましくは、内部断熱材は、少なくとも蒸発部の上方に配置されている。

このように構成された本発明によれば、内部断熱材により、蒸発部からの熱の発散が抑制されるので、蒸発部の温度が低下しにくく、シャットダウン停止後、長期間に亘って水を蒸発させ、燃料極側の圧力低下を抑制することができる。

【0021】

本発明において、好ましくは、さらに、燃焼部において生成された燃焼ガスにより酸化剤ガス供給装置から供給された酸化剤ガスを加熱する熱交換器を有し、内部断熱材は、改質器と熱交換器の間に配置されている。

このように構成された本発明によれば、内部断熱材が改質器と熱交換器の間に配置されているので、外気が侵入する熱交換器によって改質器の熱が直接奪われるのを防止することができる。これにより、シャットダウン停止後の改質器内の急激な温度低下を回避することができる。

30

【0022】

本発明において、好ましくは、さらに、改質器と内部断熱材との間に設けられ、燃焼部において生成された燃焼ガスを排出するための排気通路を有し、この排気通路は、蒸発部の上方においては、燃焼ガスの流れが淀むように形成されている。

【0023】

このように構成された本発明によれば、蒸発部の上方において燃焼ガスの流れが淀むように排気通路が形成されているので、蒸発部の上方で淀んでいる燃焼ガスにより蒸発部からの熱の発散が抑制され、蒸発部の温度低下を抑制することができる。

40

【0024】

本発明において、好ましくは、シャットダウン停止回路は圧力保持制御回路を有し、この圧力保持制御回路は、シャットダウン停止回路により燃料供給及び発電が停止された後、水供給装置を作動させることにより、蒸発部内で水を蒸発させ、蒸発された水蒸気の圧力によって各燃料電池セルユニットの燃料極側の圧力低下を抑制することにより、燃料極側への酸化剤ガスの流入を抑制する。

【0025】

このように構成された本発明によれば、シャットダウン停止後に、蒸発部に水が供給されるので、シャットダウン停止後長期間に亘って水を蒸発させることができ、燃料極側の

50

圧力低下を抑制することができる。また、内部断熱材により蒸発部の温度低下が抑制されているので、シャットダウン停止後長期間経過した後も、蒸発部において水を蒸発させることができる。

【0026】

本発明において、好ましくは、シャットダウン停止回路は、燃料供給及び発電を停止させた後、酸化剤ガス供給装置を作動させ、熱交換器を介して、酸化剤ガスを燃料電池セルスタックの酸化剤ガス極側に供給することにより、燃料電池モジュール内に滞留していた酸化剤ガス及び燃焼ガスを排出する。

【0027】

このように構成された本発明によれば、シャットダウン停止後に、酸化剤ガス極側に酸化剤ガスを供給して、滞留していた酸化剤ガス及び燃焼ガスを排出するので、酸化剤ガス極側と燃料極側の温度が接近する。このため、燃料極側の燃料ガスの温度が酸化剤ガス極側に対して低下し、燃料極側の燃料ガスが収縮することによる酸化剤ガスの逆流を防止することができる。

10

【0028】

本発明において、好ましくは、圧力保持制御回路は、燃料供給及び発電が停止された後、所定時間経過し、各燃料電池セルユニットの燃料極側の圧力が低下して、酸化剤ガス極側の圧力に近付いたとき作動され、水供給装置による水の供給を開始させる。

【0029】

このように構成された本発明によれば、水の供給が、シャットダウン停止後所定時間経過し、燃料極側の圧力が酸化剤ガス極側の圧力に近付いたとき開始される。これにより、改質器及びその下流側に残留している燃料を長期間温存することができると共に、酸化剤ガス逆流のリスクが高くなったとき、水を蒸発させて燃料極側の圧力を上昇させるため、燃料極の温度が十分に低下するまで、確実に酸化剤ガスの逆流を防止することができる。

20

【発明の効果】

【0030】

本発明の固体酸化物型燃料電池によれば、燃料電池セルの酸化を十分に抑制しつつ、シャットダウン停止を実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

30

【図1】本発明の一実施形態による燃料電池装置を示す全体構成図である。

【図2】本発明の一実施形態による燃料電池装置の燃料電池モジュールを示す正面断面図である。

【図3】図2のIII-III線に沿った断面図である。

【図4】本発明の一実施形態による燃料電池装置の燃料電池セルユニットを示す部分断面図である。

【図5】本発明の一実施形態による燃料電池装置の燃料電池セルスタックを示す斜視図である。

【図6】本発明の一実施形態による燃料電池装置を示すブロック図である。

【図7】本発明の一実施形態による燃料電池装置の改質器の斜視図である。

40

【図8】本発明の一実施形態による燃料電池装置の改質器の天板を取り除いて改質器の内部を示した斜視図である。

【図9】本発明の一実施形態による燃料電池装置の改質器内部の燃料の流れを示す平面断面図である。

【図10】本発明の一実施形態による燃料電池装置のハウジング内に収納された金属製のケース及び空気用熱交換器を示す斜視図である。

【図11】本発明の一実施形態による燃料電池装置の熱交換器用断熱材と、蒸発部の位置関係を示す断面図である。

【図12】本発明の一実施形態による燃料電池装置の起動工程における燃料等の各供給量、及び各部の温度の一例を示すタイムチャートである。

50

【図 1 3】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モードの選択を行う停止判断のフローチャートである。

【図 1 4】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 1 が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【図 1 5】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 1 が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【図 1 6】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 2 が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【図 1 7】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 2 が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【図 1 8】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 3 が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【図 1 9】本発明の一実施形態による燃料電池装置の停止モード 3 において、シャットダウン停止直後を拡大して示すタイムチャートである。

【図 2 0】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 3 が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【図 2 1】停止前処理における水供給のフローチャートである。

【図 2 2】停止モード 3 の変形例を示すタイムチャートである。

【図 2 3】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 4 が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【図 2 4】本発明の一実施形態による燃料電池装置において、停止モード 4 が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【図 2 5】本発明の一実施形態による燃料電池装置の変形例において、停止モードの選択を行う停止判断のフローチャートである。

【図 2 6】従来の固体酸化物型燃料電池の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0032】

次に、添付図面を参照して、本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) を説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) を示す全体構成図である。この図 1 に示すように、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) 1 は、燃料電池モジュール 2 と、補機ユニット 4 を備えている。

【0033】

燃料電池モジュール 2 は、ハウジング 6 を備え、このハウジング 6 内部には、断熱材 7 を介して金属製のケース 8 が内蔵されている。この密閉空間であるケース 8 の下方部分である発電室 10 には、燃料と酸化剤ガス (空気) とにより発電反応を行う燃料電池セル集合体 12 が配置されている。この燃料電池セル集合体 12 は、10 個の燃料電池セルスタック 14 (図 5 参照) を備え、この燃料電池セルスタック 14 は、16 本の燃料電池セルユニット 16 (図 4 参照) から構成されている。このように、燃料電池セル集合体 12 は、160 本の燃料電池セルユニット 16 を有し、これらの燃料電池セルユニット 16 の全てが直列接続されている。

【0034】

燃料電池モジュール 2 のケース 8 の上述した発電室 10 の上方には、燃焼部である燃焼室 18 が形成され、この燃焼室 18 で、発電反応に使用されなかった残余の燃料と残余の酸化剤 (空気) とが燃焼し、排気ガスを生成するようになっている。さらに、ケース 8 は

10

20

30

40

50

断熱材 7 により覆われており、燃料電池モジュール 2 内部の熱が、外気へ発散するのを抑制している。

また、この燃焼室 18 の上方には、燃料を改質する改質器 20 が配置され、前記残余ガスの燃焼熱によって改質器 20 を改質反応が可能な温度となるように加熱している。さらに、この改質器 20 の上方には、残余ガスの燃焼ガスにより発電用の空気を加熱し、発電用の空気を予熱する熱交換器である空気用熱交換器 22 が配置されている。

【0035】

次に、補機ユニット 4 は、燃料電池モジュール 2 からの排気中に含まれる水分を結露させた水を貯水してフィルターにより純水とする純水タンク 26 と、この貯水タンクから供給される水の流量を調整する水流量調整ユニット 28 (モータで駆動される「水ポンプ」等)を備えている。また、補機ユニット 4 は、都市ガス等の燃料供給源 30 から供給された燃料を遮断するガス遮断弁 32 と、燃料ガスから硫黄を除去するための脱硫器 36 と、燃料ガスの流量を調整する燃料流量調整ユニット 38 (モータで駆動される「燃料ポンプ」等)と、電源喪失時において、燃料流量調整ユニット 38 から流出する燃料ガスを遮断するバルブ 39 を備えている。さらに、補機ユニット 4 は、空気供給源 40 から供給される酸化剤ガスである空気を遮断する電磁弁 42 と、空気の流量を調整する改質用空気流量調整ユニット 44 及び発電用空気流量調整ユニット 45 (モータで駆動される「空気ブローア」等)と、改質器 20 に供給される改質用空気を加熱する第 1 ヒータ 46 と、発電室に供給される発電用空気を加熱する第 2 ヒータ 48 とを備えている。これらの第 1 ヒータ 46 と第 2 ヒータ 48 は、起動時の昇温を効率よく行うために設けられているが、省略しても良い。

【0036】

次に、燃料電池モジュール 2 には、排気ガスが供給される温水製造装置 50 が接続されている。この温水製造装置 50 には、水供給源 24 から水道水が供給され、この水道水が排気ガスの熱により温水となり、図示しない外部の給湯器の貯湯タンクへ供給されるようになっている。

また、燃料電池モジュール 2 には、燃料ガスの供給量等を制御するための制御ボックス 52 が取り付けられている。

さらに、燃料電池モジュール 2 には、燃料電池モジュールにより発電された電力を外部に供給するための電力取出部 (電力変換部)であるインバータ 54 が接続されている。

【0037】

次に、図 2 及び図 3 により、本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) の燃料電池モジュールの内部構造を説明する。図 2 は、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) の燃料電池モジュールを示す側面断面図であり、図 3 は、図 2 の III-III 線に沿って断面図である。

図 2 及び図 3 に示すように、燃料電池モジュール 2 のハウジング 6 内のケース 8 には、上述したように、下方から順に、燃料電池セル集合体 12、改質器 20、空気用熱交換器 22 が配置されている。

【0038】

改質器 20 は、その上流端側の端部側面に純水、改質される燃料ガス、及び改質用空気を導入するための改質器導入管 62 が取り付けられている。

改質器導入管 62 は、改質器 20 の一端の側壁面から延びる円管であり、90° 屈曲されて概ね鉛直方向に延び、ケース 8 の上端面を貫通している。なお、改質器導入管 62 は、改質器 20 に水を導入する水導入管として機能している。また、改質器導入管 62 の上端には、T 字管 62a が接続されており、この T 字管 62a の概ね水平方向に延びる管の両側の端部には、燃料ガス及び純水を供給するための配管が夫々接続されている。水供給用配管 63a は T 字管 62a の一方の側端から斜め上方に向けて延びている。燃料ガス供給用配管 63b は T 字管 62a の他方の側端から水平方向に延びた後、U 字型に屈曲され、水供給用配管 63a と同様の方向に、概ね水平に延びている。

【0039】

10

20

30

40

50

一方、改質器 20 の内部には、上流側から順に、蒸発部 20 a、混合部 20 b、改質部 20 c が形成され、この改質部 20 c には改質触媒が充填されている。この改質器 20 に導入された水蒸気（純水）が混合された燃料ガス及び空気は、改質器 20 内に充填された改質触媒により改質される。改質触媒としては、アルミナの球体表面にニッケルを付与したものや、アルミナの球体表面にルテニウムを付与したものが適宜用いられる。

【0040】

この改質器 20 の下流端側には、燃料ガス供給管 64 が接続され、この燃料ガス供給管 64 は、下方に延び、さらに、燃料電池セル集合体 12 の下方に形成されたマニホールド 66 内で水平に延びている。燃料ガス供給管 64 の水平部 64 a の下方面には、複数の燃料供給孔 64 b が形成されており、この燃料供給孔 64 b から、改質された燃料ガスがマニホールド 66 内に供給される。また、燃料ガス供給管 64 の鉛直部の途中には、流路が狭められた圧力変動抑制用流路抵抗部 64 c が設けられ、燃料ガスの供給流路の流路抵抗が調整されている。流路抵抗の調整については後述する。

10

【0041】

このマニホールド 66 の上方には、上述した燃料電池セルスタック 14 を支持するための貫通孔を備えた下支持板 68 が取り付けられており、マニホールド 66 内の燃料ガスが、燃料電池セルユニット 16 内に供給される。

【0042】

一方、改質器 20 の上方には、空気用熱交換器 22 が設けられている。

また、図 2 に示すように、燃料ガスと空気との燃焼を開始するための点火装置 83 が、燃焼室 18 に設けられている。

20

【0043】

次に図 4 により燃料電池セルユニット 16 について説明する。図 4 は、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池（SOFC）の燃料電池セルユニットを示す部分断面図である。

図 4 に示すように、燃料電池セルユニット 16 は、燃料電池セル 84 と、この燃料電池セル 84 の両端部にそれぞれ接続されたキャップである内側電極端子 86 とを備えている。

燃料電池セル 84 は、上下方向に延びる管状構造体であり、内部に燃料ガス流路 88 を形成する円筒形の内側電極層 90 と、円筒形の外側電極層 92 と、内側電極層 90 と外側電極層 92 との間にある電解質層 94 とを備えている。この内側電極層 90 は、燃料ガスが通過する燃料極であり、（-）極となり、一方、外側電極層 92 は、空気と接触する空気極であり、（+）極となっている。

30

【0044】

燃料電池セル 84 の上端側と下端側に取り付けられた内側電極端子 86 は、同一構造であるため、ここでは、上端側に取り付けられた内側電極端子 86 について具体的に説明する。内側電極層 90 の上部 90 a は、電解質層 94 と外側電極層 92 に対して露出された外周面 90 b と上端面 90 c とを備えている。内側電極端子 86 は、導電性のシール材 96 を介して内側電極層 90 の外周面 90 b と接続され、さらに、内側電極層 90 の上端面 90 c とは直接接触することにより、内側電極層 90 と電氣的に接続されている。内側電極端子 86 の中心部には、内側電極層 90 の燃料ガス流路 88 と連通する燃料ガス流路細管 98 が形成されている。

40

【0045】

この燃料ガス流路細管 98 は、内側電極端子 86 の中心から燃料電池セル 84 の軸線方向に延びるように設けられた細長い細管である。このため、マニホールド 66（図 2）から、下側の内側電極端子 86 の燃料ガス流路細管 98 を通って燃料ガス流路 88 に流入する燃料ガスの流れには、所定の圧力損失が発生する。従って、下側の内側電極端子 86 の燃料ガス流路細管 98 は、流入側流路抵抗部として作用し、その流路抵抗は所定の値となるように設定されている。また、燃料ガス流路 88 から、上側の内側電極端子 86 の燃料ガス流路細管 98 を通って燃焼室 18（図 2）に流出する燃料ガスの流れにも所定の圧力

50

損失が発生する。従って、上側の内側電極端子 86 の燃料ガス流路細管 98 は、流出側流路抵抗部として作用し、その流路抵抗は所定の値となるように設定されている。

【0046】

内側電極層 90 は、例えば、Ni と、Ca や Y、Sc 等の希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたジルコニアとの混合体、Ni と、希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたセリアとの混合体、Ni と、Sr、Mg、Co、Fe、Cu から選ばれる少なくとも一種をドーブしたランタンガレートとの混合体、の少なくとも一種から形成される。

【0047】

電解質層 94 は、例えば、Y、Sc 等の希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたジルコニア、希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたセリア、Sr、Mg から選ばれる少なくとも一種をドーブしたランタンガレート、の少なくとも一種から形成される。

【0048】

外側電極層 92 は、例えば、Sr、Ca から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンマンガンナイト、Sr、Co、Ni、Cu から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンフェライト、Sr、Fe、Ni、Cu から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンコバルタイト、銀、などの少なくとも一種から形成される。

【0049】

次に図 5 により燃料電池セルスタック 14 について説明する。図 5 は、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) の燃料電池セルスタックを示す斜視図である。

図 5 に示すように、燃料電池セルスタック 14 は、16 本の燃料電池セルユニット 16 を備え、これらの燃料電池セルユニット 16 は、8 本ずつ 2 列に並べて配置されている。各燃料電池セルユニット 16 は、下端側がセラミック製の長方形の下支持板 68 (図 2) により支持され、上端側は、両端部の燃料電池セルユニット 16 が 4 本ずつ、概ね正方形の 2 枚の上支持板 100 により支持されている。これらの下支持板 68 及び上支持板 100 には、内側電極端子 86 が貫通可能な貫通穴がそれぞれ形成されている。

【0050】

さらに、燃料電池セルユニット 16 には、集電体 102 及び外部端子 104 が取り付けられている。この集電体 102 は、燃料極である内側電極層 90 に取り付けられた内側電極端子 86 と電氣的に接続される燃料極用接続部 102a と、空気極である外側電極層 92 の外周面と電氣的に接続される空気極用接続部 102b とを接続するように一体的に形成されている。また、各燃料電池セルユニット 16 の外側電極層 92 (空気極) の外表面全体には、空気極側の電極として、銀製の薄膜が形成されている。この薄膜の表面に空気極用接続部 102b が接触することにより、集電体 102 は空気極全体と電氣的に接続される。

【0051】

さらに、燃料電池セルスタック 14 の端 (図 5 では左端の奥側) に位置する燃料電池セルユニット 16 の空気極 86 には、2 つの外部端子 104 がそれぞれ接続されている。これらの外部端子 104 は、隣接する燃料電池セルスタック 14 の端にある燃料電池セルユニット 16 の内側電極端子 86 に接続され、上述したように、160 本の燃料電池セルユニット 16 の全てが直列接続されるようになっている。

【0052】

次に図 6 により本実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) に取り付けられたセンサ類等について説明する。図 6 は、本発明の一実施形態による固体酸化物型燃料電池 (SOFC) を示すブロック図である。

図 6 に示すように、固体酸化物型燃料電池 1 は、制御部 110 を備え、この制御部 110 には、使用者が操作するための「ON」や「OFF」等の操作ボタンを備えた操作装置 112、発電出力値 (ワット数) 等の種々のデータを表示するための表示装置 114、及

10

20

30

40

50

び、異常状態のとき等に警報（ワーニング）を発する報知装置 116 が接続されている。また、制御部 110 には、マイクロプロセッサ、メモリ、及びこれらを作動させるプログラム（以上、図示せず）が内蔵されており、これらにより、各センサからの入力信号に基づいて、補機ユニット 4、インバータ 54 等が制御される。なお、この報知装置 116 は、遠隔地にある管理センタに接続され、この管理センタに異常状態を通知するようなものであっても良い。

【0053】

次に、制御部 110 には、以下に説明する種々のセンサからの信号が入力されるようになっていてる。

まず、可燃ガス検出センサ 120 は、ガス漏れを検知するためのもので、燃料電池モジュール 2 及び補機ユニット 4 に取り付けられている。

CO 検出センサ 122 は、本来排気ガス通路 80 等を経て外部に排出される排気ガス中の CO が、燃料電池モジュール 2 及び補機ユニット 4 を覆う外部ハウジング（図示せず）へ漏れたかどうかを検知するためのものである。

貯湯状態検出センサ 124 は、図示しない給湯器におけるお湯の温度や水量を検知するためのものである。

【0054】

電力状態検出センサ 126 は、インバータ 54 及び分電盤（図示せず）の電流及び電圧等を検知するためのものである。

発電用空気流量検出センサ 128 は、発電室 10 に供給される発電用空気の流量を検出するためのものである。

改質用空気流量センサ 130 は、改質器 20 に供給される改質用空気の流量を検出するためのものである。

燃料流量センサ 132 は、改質器 20 に供給される燃料ガスの流量を検出するためのものである。

【0055】

水流量センサ 134 は、改質器 20 に供給される純水の流量を検出するためのものである。

水位センサ 136 は、純水タンク 26 の水位を検出するためのものである。

圧力センサ 138 は、改質器 20 の外部の上流側の圧力を検出するためのものである。

排気温度センサ 140 は、温水製造装置 50 に流入する排気ガスの温度を検出するためのものである。

【0056】

発電室温度センサ 142 は、図 3 に示すように、燃料電池セル集合体 12 の近傍の前面側と背面側に設けられ、燃料電池セルスタック 14 の近傍の温度を検出して、燃料電池セルスタック 14（即ち燃料電池セル 84 自体）の温度を推定するためのものである。

燃焼室温度センサ 144 は、燃焼室 18 の温度を検出するためのものである。

排気ガス室温度センサ 146 は、排気ガス室 78 の排気ガスの温度を検出するためのものである。

改質器温度センサ 148 は、改質器 20 の温度を検出するためのものであり、改質器 20 の入口温度と出口温度から改質器 20 の温度を算出する。

外気温度センサ 150 は、固体酸化物型燃料電池（SOFC）が屋外に配置された場合、外気の温度を検出するためのものである。また、外気の湿度等を測定するセンサを設けるようにしても良い。

【0057】

これらのセンサ類からの信号は、制御部 110 に送られ、制御部 110 は、これらの信号によるデータに基づき、水流量調整ユニット 28、燃料流量調整ユニット 38、改質用空気流量調整ユニット 44、発電用空気流量調整ユニット 45 に、制御信号を送り、これらのユニットにおける各流量を制御するようになっている。

【0058】

10

20

30

40

50

次に、図 7 乃至図 9 を参照して、改質器 20 の詳細な構成を説明する。

図 7 は改質器 20 の斜視図であり、図 8 は、天板を取り除いて改質器 20 の内部を示した斜視図である。図 9 は、改質器 20 内部の燃料の流れを示す平面断面図である。

【 0 0 5 9 】

図 7 に示すように、改質器 20 は、直方体状の金属製の箱であり、内部には燃料を改質するための改質触媒が充填されている。また、改質器 20 の上流側には水、燃料及び改質用空気を導入するための改質器導入管 62 が接続されている。さらに、改質器 20 の下流側には、内部で改質された燃料を流出させる燃料ガス供給管 64 が接続されている。

【 0 0 6 0 】

図 8 に示すように、改質器 20 の内部には、その上流側に蒸発室である蒸発部 20a が設けられ、この蒸発部 20a に隣接して、下流側には混合部 20b が設けられている。さらに、混合部 20b に隣接して、下流側には改質部 20c が設けられている。蒸発部 20a の内部には、複数の仕切り板が配置されることにより、曲がりくねって蛇行する通路が形成されている。改質器 20 に導入された水は、温度が上昇した状態では蒸発部 20a 内で蒸発され、水蒸気となる。さらに、混合部 20b は所定の容積を有するチャンバーから構成され、その内部にも、複数の仕切り板が配置されることにより、曲がりくねって蛇行する通路が形成されている。改質器 20 に導入された燃料ガス、改質用空気は、混合部 20b の曲がりくねった通路を通りながら蒸発部 20a で生成された水蒸気と混合される。

【 0 0 6 1 】

一方、改質部 20c の内部にも、複数の仕切り板が配置されることにより曲がりくねった通路が形成され、この通路に触媒が充填されている。蒸発部 20a、混合部 20b を通って燃料ガス、水蒸気及び改質用空気の混合物が導入されると、改質部 20c では、部分酸化改質反応及び水蒸気改質反応が発生する。さらに、燃料ガス、及び水蒸気の混合物が導入されると、改質部 20c では、水蒸気改質反応のみが発生する。

なお、本実施形態においては、蒸発部、混合部、改質部が一体に構成され、1つの改質器を形成しているが、変形例として、改質部のみを備えた改質器を設け、この上流側に隣接して混合部、蒸発室を設けることもできる。

【 0 0 6 2 】

図 8 及び図 9 に示すように、改質器 20 の蒸発部 20a に導入された燃料ガス、水及び改質用空気は、改質器 20 の横断方向に蛇行して流れ、この間に、導入された水は蒸発し、水蒸気となる。蒸発部 20a と混合部 20b の間には、蒸発 / 混合部隔壁 20d が設けられ、この蒸発 / 混合部隔壁 20d には隔壁開口 20e が設けられている。この隔壁開口 20e は、蒸発 / 混合部隔壁 20d の片側約半分のうちの、上側約半分の領域に設けられた長方形の開口部である。

また、混合部 20b と改質部 20c の間には、混合 / 改質部隔壁 20f が設けられ、この混合 / 改質部隔壁 20f には多数の連通孔 20g を設けることにより狭小流路が形成されている。混合部 20b 内において混合された燃料ガス等は、これらの連通孔 20g を通って改質部 20c に流入する。

【 0 0 6 3 】

改質部 20c に流入した燃料等は、改質部 20c の中央を長手方向に流れた後、2つに分岐して折返し、2つの通路は再び折り返して改質部 20c の下流端に向かい、そこで合流されて燃料ガス供給管 64 に流入する。燃料は、このように蛇行した通路を通過しながら、通路に充填された触媒により改質される。なお、蒸発部 20a 内においては、或る量の水が短時間に急激に蒸発する突沸が発生し、内部の圧力が上昇する場合がある。しかしながら、混合部 20b には所定容積のチャンバーが構成され、混合 / 改質部隔壁 20f には狭小流路が形成されているため、改質部 20c には、蒸発部 20a 内の急激な圧力変動の影響が及びにくい。従って、混合部 20b のチャンバー及び混合 / 改質部隔壁 20f の狭小流路は圧力変動吸収手段として機能する。

【 0 0 6 4 】

次に、図 10 及び図 11 を新たに参照すると共に、図 2 及び図 3 を再び参照して、発電

10

20

30

40

50

酸化剤ガス用熱交換器である空気用熱交換器 22 の構造を詳細に説明する。図 10 は、ハウジング 6 内に収納された金属製のケース 8 及び空気用熱交換器 22 を示す斜視図である。図 11 は、蒸発室用断熱材と、蒸発部の位置関係を示す断面図である。

【 0 0 6 5 】

図 10 に示すように、空気用熱交換器 22 は、燃料電池モジュール 2 内のケース 8 の上方に配置された熱交換器である。また、図 2 及び図 3 に示すように、ケース 8 の内部には燃焼室 18 が形成され、複数の燃料電池セルユニット 16、改質器 20 等が収納されているので、空気用熱交換器 22 は、これらの上方に位置する。空気用熱交換器 22 は、燃焼室 18 内で燃焼され、排気として排出される燃焼ガスの熱を回収、利用して、燃料電池モジュール 2 内に導入された発電用の空気を予熱するように構成されている。また、図 10 に示すように、ケース 8 の上面と空気用熱交換器 22 の底面との間には、内部断熱材である蒸発室用断熱材 23 が、これらの間に挟まれるように配置されている。即ち、蒸発室用断熱材 23 は、改質器 20 と空気用熱交換器 22 の間に配置されている。さらに、図 10 に示されている空気用熱交換器 22 及びケース 8 の外側を、外側断熱材である断熱材 7 が覆っている(図 2)。

10

【 0 0 6 6 】

図 2 及び図 3 に示すように、空気用熱交換器 22 は、複数の燃焼ガス配管 70 と発電用空気流路 72 と、を有する。また、図 2 に示すように、複数の燃焼ガス配管 70 の一方の端部には、排気ガス集約室 78 が設けられており、この排気ガス集約室 78 は、各燃焼ガス配管 70 に連通されている。また、排気ガス集約室 78 には、排気ガス排出管 82 が接続されている。さらに、各燃焼ガス配管 70 の他方の端部は開放されており、この開放された端部は、ケース 8 の上面に形成された連通開口 8a を介して、ケース 8 内の燃焼室 18 に連通されている。

20

【 0 0 6 7 】

燃焼ガス配管 70 は、水平方向に向けられた複数の金属製の円管であり、各円管は夫々平行に配置されている。一方、発電用空気流路 72 は、各燃焼ガス配管 70 の外側の空間によって構成されている。また、発電用空気流路 72 の、排気ガス排出管 82 側の端部には、発電用空気導入管 74 (図 10) が接続されており、燃料電池モジュール 2 の外部の空気が、発電用空気導入管 74 を通って発電用空気流路 72 に導入される。なお、図 10 に示すように、発電用空気導入管 74 は、排気ガス排出管 82 と平行に、空気用熱交換器 22 から水平方向に突出している。さらに、発電用空気流路 72 の他方の端部の両側面には、一对の連絡流路 76 (図 3、図 10) が接続されており、発電用空気流路 72 と各連絡流路 76 は、夫々、出口ポート 76a を介して連通されている。

30

【 0 0 6 8 】

図 3 に示すように、ケース 8 の両側面には、発電用空気供給路 77 が夫々設けられている。空気用熱交換器 22 の両側面に設けられた各連絡流路 76 は、ケース 8 の両側面に設けられた発電用空気供給路 77 の上部に夫々連通されている。また、各発電用空気供給路 77 の下部には、多数の吹出口 77a が水平方向に並べて設けられている。各発電用空気供給路 77 を通って供給された発電用の空気は、多数の吹出口 77a から、燃料電池モジュール 2 内の燃料電池セルスタック 14 の下部側面に向けて噴射される。

40

【 0 0 6 9 】

また、ケース 8 内部の天井面には、隔壁である整流板 21 が取り付けられており、この整流板 21 には開口部 21a が設けられている。

整流板 21 は、ケース 8 の天井面と改質器 20 の間に、水平に配置された板材である。この整流板 21 は、燃焼室 18 から上方に流れる気体の流れを整え、空気用熱交換器 22 の入り口(図 2 の連通開口 8a)に導くように構成されている。燃焼室 18 から上方へ向かう発電用空気及び燃焼ガスは、整流板 21 の中央に設けられた開口部 21a を通って整流板 21 の上側に流入し、整流板 21 の上面とケース 8 の天井面の間を排気通路 21b を図 2 における左方向に流れ、空気用熱交換器 22 の入り口に導かれる。また、図 11 に示すように、開口部 21a は、改質器 20 の改質部 20c の上方に設けられており、開口部

50

21 a を通って上昇した気体は、蒸発部 20 a とは反対側の、図 2、図 11 における左側の排気通路 21 b に流れる。このため、蒸発部 20 a の上方の空間（図 2、図 11 における右側）は、改質部 20 c の上方の空間よりも排気の流れが遅く、排気の流れが淀む気体滞留空間 21 c として作用する。

【0070】

また、整流板 21 の開口部 21 a の縁には、全周に亘って縦壁 21 d が設けられており、この縦壁 21 d により、整流板 21 の下側の空間から整流板 21 の上側の排気通路 21 b に流入する流路が狭められている。さらに、排気通路 21 b と空気用熱交換器 22 を連通させる連通開口 8 a の縁にも、全周に亘って下がり壁 8 b（図 2）が設けられており、この下がり壁 8 b により、排気通路 21 b から空気用熱交換器 22 に流入する流路が狭められている。これらの縦壁 21 d、下がり壁 8 b を設けることにより、燃焼室 18 から空気用熱交換器 22 を通って燃料電池モジュール 2 の外部に至る排気の通路における流路抵抗が調整されている。流路抵抗の調整については後述する。

10

【0071】

蒸発室用断熱材 23 は、空気用熱交換器 22 の底面に、概ねその全体を覆うように取り付けられた断熱材である。従って、蒸発室用断熱材 23 は、蒸発部 20 a 全体の上方に亘って配置されている。この蒸発室用断熱材 23 は、整流板 21 の上面とケース 8 の天井面の間に形成された排気通路 21 b 及び気体滞留空間 21 c 内の高温の気体が、空気用熱交換器 22 の底面を直接加熱するのを抑制するように配置されている。このため、燃料電池モジュール 2 の運転中においては、蒸発部 20 a の上方の排気通路に滞留している排気から、空気用熱交換器 22 の底面に直接伝わる熱が少なくなり、蒸発部 20 a 周囲の温度は上昇しやすくなる。また、燃料電池モジュール 2 の停止後においては、蒸発室用断熱材 23 が配置されていることにより、改質器 20 からの熱の発散が抑制され、即ち、蒸発部 20 a 周囲の熱が空気用熱交換器 22 に奪われにくくなり、蒸発部 20 a の温度低下が緩やかになる。

20

【0072】

なお、蒸発室用断熱材 23 は、外気への熱の散逸を抑制するために、燃料電池モジュール 2 のケース 8 及び空気用熱交換器 22 全体を覆っている外側断熱材である断熱材 7 とは別に、断熱材 7 の内部に配置された断熱材である。また、断熱材 7 は、蒸発室用断熱材 23 よりも断熱性が高く構成されている。即ち、断熱材 7 の内面と外面の間の熱抵抗は、蒸発室用断熱材 23 の上面と下面の間の熱抵抗よりも大きくなっている。即ち、断熱材 7 と蒸発室用断熱材 23 を同一の材料で構成する場合には、断熱材 7 を蒸発室用断熱材 23 よりも厚く構成する。

30

【0073】

次に、固体酸化物型燃料電池 1 の発電運転時における燃料、発電用空気、及び排気ガスの流れを説明する。

まず、燃料は、燃料ガス供給用配管 63 b、T字管 62 a、改質器導入管 62 を介して改質器 20 の蒸発部 20 a に導入されると共に、純水は、水供給用配管 63 a、T字管 62 a、改質器導入管 62 を介して蒸発部 20 a に導入される。従って、供給された燃料及び水は T字管 62 a において合流され、改質器導入管 62 を通って蒸発部 20 a に導入される。発電運転中においては、蒸発部 20 a は高温に加熱されているため、蒸発部 20 a に導入された純水は、比較的速やかに蒸発され水蒸気となる。蒸発された水蒸気及び燃料は、混合部 20 b 内で混合され、改質器 20 の改質部 20 c に流入する。水蒸気と共に改質部 20 c に導入された燃料は、ここで水蒸気改質され、水素を豊富に含む燃料ガスに改質される。改質部 20 c において改質された燃料は、燃料ガス供給管 64 を通って下方に下り、分散室であるマニホール 66 に流入する。

40

【0074】

マニホール 66 は、燃料電池セルスタック 14 の下側に配置された比較的体積の大きい直方体状の空間であり、その上面に設けられた多数の穴が燃料電池セルスタック 14 を構成する各燃料電池セルユニット 16 の内側に連通している。マニホール 66 に導入さ

50

れた燃料は、その上面に設けられた多数の穴を通して、燃料電池セルユニット16の燃料極側、即ち、燃料電池セルユニット16の内部を通して、その上端から流出する。また、燃料である水素ガスが燃料電池セルユニット16の内部を通過する際、空気極（酸化剤ガス極）である燃料電池セルユニット16の外側を通る空気中の酸素と反応して電荷が生成される。この発電に使用されずに残った残余燃料は、各燃料電池セルユニット16の上端から流出し、燃料電池セルスタック14の上方に設けられた燃焼室18内で燃焼される。

【0075】

一方、酸化剤ガスである発電用の空気は、発電用の酸化剤ガス供給装置である発電用空気流量調整ユニット45によって、発電用空気導入管74を介して燃料電池モジュール2内に送られる。燃料電池モジュール2内に送られた空気は、発電用空気導入管74を介して空気用熱交換器22の発電用空気流路72に導入され、予熱される。予熱された空気は、各出口ポート76a（図3）を介して各連絡流路76に流出する。各連絡流路76に流入した発電用の空気は、燃料電池モジュール2の両側面に設けられた発電用空気供給路77を通して下方に流れ、多数の吹出口77aから、燃料電池セルスタック14に向けて発電室10内に噴射される。

【0076】

発電室10内に噴射された空気は、燃料電池セルスタック14の空気極側（酸化剤ガス極側）である各燃料電池セルユニット16の外側面に接触し、空気中の酸素の一部が発電に利用される。また、吹出口77aを介して発電室10の下部に噴射された空気は、発電に利用されながら発電室10内を上昇する。発電室10内を上昇した空気は、各燃料電池セルユニット16の上端から流出する燃料を燃焼させる。この燃焼による燃焼熱は、燃料電池セルスタック14の上方に配置された改質器20の蒸発部20a、混合部20b及び改質部20cを加熱する。燃料が燃焼され、生成された燃焼ガスは、上方の改質器20を加熱した後、改質器20上方の開口部21aを通して整流板21の上側に流入する。整流板21の上側に流入した燃焼ガスは、整流板21によって構成された排気通路21bを通して空気用熱交換器22の入り口である連通開口8aに導かれる。連通開口8aから空気用熱交換器22に流入した燃焼ガスは、開放された各燃焼ガス配管70の端部に流入し、各燃焼ガス配管70外側の発電用空気流路72を流れる発電用空気との間で熱交換を行い、排気ガス集約室78に集約される。排気ガス集約室78に集約された排気ガスは、排気ガス排出管82を介して燃料電池モジュール2の外部に排出される。これにより、蒸発部20aにおける水の蒸発、及び改質部20cにおける吸熱反応である水蒸気改質反応が促進されると共に、空気用熱交換器22内の発電用空気が予熱される。

【0077】

次に、図12を新たに参照して、固体氧化物型燃料電池1の起動工程における制御を説明する。

図12は、起動工程における燃料等の各供給量、及び各部の温度の一例を示すタイムチャートである。なお、図12の縦軸の目盛りは温度を示しており、燃料等の各供給量は、それらの増減を概略的に示したものである。

【0078】

図12に示す起動工程においては、常温の状態にある燃料電池セルスタック14の温度を、発電が可能な温度まで上昇させる。

まず、図12の時刻 t_0 において、発電用空気及び改質用空気の供給が開始される。具体的には、コントローラである制御部110が、発電用の酸化剤ガス供給装置である発電用空気流量調整ユニット45に信号を送って、これを作動させる。上述したように、発電用空気は、発電用空気導入管74を介して燃料電池モジュール2内に導入され、空気用熱交換器22、発電用空気供給路77を経て発電室10内に流入する。また、制御部110は、改質用の酸化剤ガス供給装置である改質用空気流量調整ユニット44に信号を送って、これを作動させる。燃料電池モジュール2内に導入された改質用空気は、改質器20、マニホールド66を経て、各燃料電池セルユニット16の内部に流入し、その上端から流出する。なお、時刻 t_0 においては、まだ燃料が供給されていないため、改質器20内に

において改質反応は発生しない。本実施形態においては、図12の時刻t0において開始される発電用空気の供給量は約100L/minであり、改質用空気の供給量は約10.0L/minである。

【0079】

次いで、図12の時刻t0から所定時間後の時刻t1において、燃料の供給が開始される。具体的には、制御部110が、燃料供給装置である燃料流量調整ユニット38に信号を送って、これを作動させる。本実施形態においては、時刻t1において開始される燃料の供給量は約5.0L/minである。燃料電池モジュール2内に導入された燃料は、改質器20、マニホールド66を経て、各燃料電池セルユニット16の内部に流入し、その上端から流出する。なお、時刻t1においては、まだ改質器の温度が低温であるため、改質器20内において改質反応は発生しない。

10

【0080】

次に、図12の時刻t1から所定時間経過した時刻t2において、供給されている燃料への点火工程が開始される。具体的には、点火工程においては、制御部110が、点火手段である点火装置83(図2)に信号を送り、各燃料電池セルユニット16の上端から流出する燃料に点火する。点火装置83は、燃料電池セルスタック14の上端近傍で繰り返し火花を発生させ、各燃料電池セルユニット16の上端から流出する燃料に点火する。

【0081】

図12の時刻t3において着火が完了すると、改質用の水の供給が開始される。具体的には、制御部110が、水供給装置である水流量調整ユニット28(図6)に信号を送り、これを作動させる。本実施形態においては、時刻t3に開始される水の供給量は、2.0cc/minである。時刻t3においては、燃料供給量は、従前の約5.0L/minに維持される。また、発電用空気及び改質用空気の供給量も、従前の値に維持される。なお、この時刻t3において、改質用空気中の酸素O₂と燃料中の炭素Cの比O₂/Cは約0.32になる。

20

【0082】

図12の時刻t3において着火された後、供給された燃料は、各燃料電池セルユニット16の上端からオフガスとして流出し、ここで燃焼される。この燃焼熱は、燃料電池セルスタック14の上方に配置された改質器20を加熱する。ここで、改質器20の上方(ケース8の上)には、蒸発室用断熱材23が配置されており、これにより、燃料の燃焼開始直後において、改質器20の温度は常温から急激に上昇する。蒸発室用断熱材23の上に配置されている空気用熱交換器22には外気が導入されているため、空気用熱交換器22は、特に燃焼開始直後においては温度が低く、冷却源となりやすい。本実施形態においては、ケース8の上面と空気用熱交換器22の底面の間に蒸発室用断熱材23が配置されていることにより、ケース8内の上部に配置された改質器20から空気用熱交換器22への熱の移動が抑制され、ケース8内の改質器20付近には熱が籠もりやすくなる。加えて、蒸発部20aの上方の、整流板21の上側の空間は、燃焼ガスの流れが遅くなる気体滞留空間21c(図2)として構成されているため、蒸発部20a付近は二重に断熱され、より急速に温度が上昇する。

30

【0083】

このように、蒸発部20aの温度が急速に上昇することにより、オフガスの燃焼開始後短時間で水蒸気を生成することが可能になる。また、蒸発部20aには、改質用の水が少量ずつ供給されているため、多量の水が蒸発部20aに貯留されている場合に比べ、わずかな熱で水を沸点まで加熱することができ、早急に水蒸気の供給を開始することができる。さらに、水流量調整ユニット28の作動開始直後から水が流入するため、水の供給遅れによる、蒸発部20aの過剰な温度上昇、及び水蒸気の供給遅れを回避することができる。

40

【0084】

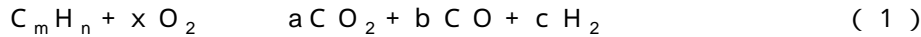
なお、オフガスの燃焼開始後、或る程度の時間が経過すると、燃焼室18から空気用熱交換器22に流入する排気ガスにより、空気用熱交換器22の温度も上昇する。改質器2

50

0と空気用熱交換器22の間を断熱する蒸発室用断熱材23は、断熱材7の内側に設けられた断熱材である。従って、蒸発室用断熱材23は、燃料電池モジュール2からの熱の散逸を抑制するものではなく、オフガスの燃焼開始直後において、改質器20、特に、その蒸発部20aの温度を急速に上昇させる。

【0085】

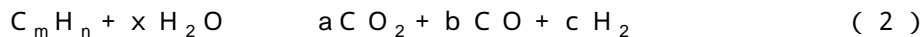
このようにして、改質器20の温度が上昇した時刻t4において、蒸発部20aを経て改質部20bに流入した燃料と改質用空気が、式(1)に示す部分酸化改質反応を起こすようになる。



この部分酸化改質反応は発熱反応であるため、改質部20b内で部分酸化改質反応が発生すると、その周囲の温度が局部的に急上昇する。

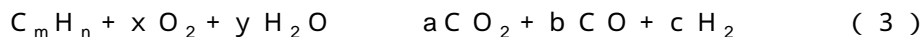
【0086】

一方、本実施形態においては、着火が確認された直後の時刻t3から改質用の水の供給が開始されており、また、蒸発部20aの温度が急速に上昇するように構成されているため、時刻t4においては、既に蒸発部20a内で水蒸気が生成され、改質部20bに供給されている。即ち、オフガスに着火された後、改質部20bの温度が部分酸化改質反応が発生する温度に到達する所定時間前から水の供給が開始され、部分酸化改質反応が発生する温度に到達した時点においては、蒸発部20aに所定量の水が貯留され、水蒸気が生成されている。このため、部分酸化改質反応の発生により温度が急上昇すると、改質部20bに供給されている改質用の水蒸気と燃料が反応する水蒸気改質反応が発生する。この水蒸気改質反応は、式(2)に示す吸熱反応であり、部分酸化改質反応よりも高い温度で発生する。



【0087】

このように、図12の時刻t4に到達すると、改質部20b内では部分酸化改質反応が発生するようになり、また、部分酸化改質反応が発生することによる温度上昇で、水蒸気改質反応も同時に発生するようになる。従って、時刻t4以降に改質部20b内で発生する改質反応は、部分酸化改質反応と水蒸気改質反応が混在した式(3)に示すオートサーマル改質反応(ATR)となる。即ち、時刻t4においてATR1工程が開始される。



【0088】

このように、本発明の実施形態の固体酸化物型燃料電池1では、起動工程の全期間において水が供給されており、部分酸化改質反応(POX)が単独で発生することはない。なお、図12に示すタイムチャートでは、時刻t4における改質器温度は約200である。この改質器温度は部分酸化改質反応が発生する温度よりも低い。改質器温度センサ148(図6)により検出されている温度は改質部20bの平均的な温度である。実際には、時刻t4においても、改質部20bは部分的には部分酸化改質反応が発生する温度に到達しており、発生した部分酸化改質反応の反応熱により、水蒸気改質反応をも誘発される。このように、本実施形態においては、着火された後、改質部20bが部分酸化改質が発生する温度に到達する前から、水の供給が開始されており、部分酸化改質反応が単独で発生することがない。

【0089】

次に、改質器温度センサ148による検出温度が約500以上に到達すると、図12の時刻t5において、ATR1工程からATR2工程に移行される。時刻t5において、水供給量が2.0cc/minから3.0cc/minに変更される。また、燃料供給量、改質用空気供給量及び発電用空気供給量は従前の値が維持される。これにより、ATR2工程における水蒸気と炭素の比S/Cは0.64に増加される一方、改質用空気と炭素の比O₂/Cは0.32に維持される。このように、改質用空気と炭素の比O₂/Cを一定に維持しながら、水蒸気と炭素の比S/Cを増加させることにより、部分酸化改質可能な炭素の量を低下させずに、水蒸気改質可能な炭素の量が増加される。これにより、改質部20bにお

10

20

30

40

50

ける炭素析出のリスクを確実に回避しながら、改質部 20b の温度上昇と共に、水蒸気改質される炭素の量を増加させることができる。

【0090】

さらに、図 12 の時刻 t6 本実施形態において、発電室温度センサ 142 による検出温度が約 400 以上に到達すると、ATR2 工程から ATR3 工程に移行される。これに伴い、燃料供給量が 5.0 L/min から 4.0 L/min に変更され、改質用空気供給量が 9.0 L/min から 6.5 L/min に変更される。また、水供給量及び発電用空気供給量は従前の値が維持される。これにより、ATR3 工程における水蒸気と炭素の比 S/C は 0.80 に増加される一方、改質用空気と炭素の比 O_2/C は 0.29 に減少される。

【0091】

さらに、図 12 の時刻 t7 において、発電室温度センサ 142 による検出温度が約 550 以上に到達すると、SR1 工程に移行される。これに伴い、燃料供給量が 4.0 L/min から 3.0 L/min に変更され、水供給量が 3.0 cc/min から 7.0 cc/min に変更される。また、改質用空気の供給は停止され、発電用空気供給量は従前の値が維持される。これにより、SR1 工程では、改質部 20b 内で専ら水蒸気改質が発生するようになり、水蒸気と炭素の比 S/C は、供給された燃料の全量を水蒸気改質するために適切な 2.49 に設定される。図 12 の時刻 t7 においては、改質器 20、燃料電池セルスタック 14 とともに、十分に温度が上昇しているため、改質部 20b において部分酸化改質反応が発生してなくとも、水蒸気改質反応を安定して発生させることができる。

【0092】

次に、図 12 の時刻 t8 において、発電室温度センサ 142 による検出温度が約 600 以上に到達すると、SR2 工程に移行される。これに伴い、燃料供給量が 3.0 L/min から 2.5 L/min に変更され、水供給量が 7.0 cc/min から 6.0 cc/min に変更される。また、発電用空気供給量は従前の値が維持される。これにより、SR2 工程では、水蒸気と炭素の比 S/C は、2.56 に設定される。

【0093】

さらに、SR2 工程を所定時間実行した後、発電工程に移行する。発電工程においては、燃料電池セルスタック 14 からインバータ 54 (図 6) に電力が取り出され、発電が開始される。なお、発電工程では、改質部 20b において、専ら水蒸気改質により燃料が改質される。また、発電工程においては、燃料電池モジュール 2 に対して要求される出力電力に対応して、燃料供給量、発電用空気供給量、及び水供給量に変更される。

【0094】

次に、図 13 乃至図 26 を参照して、本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池 1 の停止について説明する。

まず、図 26 を参照して、従来の固体酸化物型燃料電池におけるシャットダウン停止時の挙動を説明する。図 26 は、従来の固体酸化物型燃料電池の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。

【0095】

まず、図 26 の時刻 t501 において、発電運転されていた燃料電池のシャットダウン停止操作が行われている。これにより、燃料電池モジュール内の温度が低下するのを待つことなく、短時間で燃料供給量、改質用の水供給量、及び発電用の空気供給量がゼロにされ、燃料電池モジュールから取り出される電流（発電電流）もゼロにされる。即ち、燃料電池モジュールへの燃料、水、発電用の空気の供給が短時間で停止され、燃料電池モジュールからの電力の取り出しが停止される。また、災害等により、固体酸化物型燃料電池への燃料及び電気の供給が喪失した場合も、停止挙動は図 26 と同様の状態になる。なお、図 26 における各供給量、電流、電圧のグラフは、単に変化傾向を示すものであり、具体的な値を表したものではない。

【0096】

時刻 t501 において電力の取り出しが停止されたことにより、燃料電池セルスタックに生じる電圧値は上昇（ただし、電流はゼロ）する。また、時刻 t501 において、発電

10

20

30

40

50

用の空気供給量がゼロにされているため、燃料電池モジュール内に空気が強制的に送り込まれることはなく、時刻 t 5 0 1 以後、長時間に亘って燃料電池セルスタックは自然冷却される。

【 0 0 9 7 】

仮に、時刻 t 5 0 1 の後も、燃料電池モジュール内に空気を供給し続けたとすれば、送り込まれた空気により燃料電池モジュール内の圧力は上昇する。一方、燃料の供給は既に停止されているので、燃料電池セルユニットの内部の圧力は低下し始める。このため、燃料電池モジュールの発電室内に送り込まれた空気が、上端から、燃料電池セルユニット内側の燃料極側に逆流すると考えられる。時刻 t 5 0 1 においては、燃料電池セルスタックは高温状態にあるため、燃料極側に空気が逆流すると、燃料極が酸化して、燃料電池セルユニットは損傷されてしまう。これを避けるために、従来の燃料電池においては、図 2 6 に示すように、シャットダウン停止により燃料供給を停止した直後は、電源が喪失されていない場合であっても、発電用の空気も速やかに停止されていた。

10

【 0 0 9 8 】

さらに、シャットダウン停止の後、6乃至7時間程度経過し、燃料電池モジュール内の温度が燃料極の酸化下限温度未満に低下した後、再び燃料電池モジュール内へ空気を供給することも行われている（図示せず）。このような空気の供給は、滞留している燃料ガスを排出する目的で実行されるものであるが、燃料電池セルスタックの温度が燃料極の酸化下限温度未満に低下している状態では、仮に燃料極に空気が逆流したとしても、燃料極が酸化されることはない。

20

【 0 0 9 9 】

しかしながら、本件発明者は、このような従来の燃料電池におけるシャットダウン停止を行ったとしても、燃料極側に空気が逆流し、燃料極が酸化されるリスクがあることを見出した。

【 0 1 0 0 】

空気極側から燃料極側への空気の逆流は、燃料電池セルユニットの内側（燃料極側）と外側（空気極側）の圧力差に基づいて発生する。燃料ガス及び発電用空気が供給されているシャットダウン停止前の状態においては、燃料電池セルユニットの燃料極側には、改質された燃料が圧送されている。一方、燃料電池セルユニットの空気極側にも発電用空気が送り込まれている。この状態では、燃料電池セルユニットの燃料極側の圧力が、空気極側の圧力よりも高く、燃料電池セルユニットの燃料極側から空気極側へ燃料が噴出している。

30

【 0 1 0 1 】

次いで、シャットダウン停止により燃料ガス及び発電用空気の供給が停止されると、圧力が高い状態にあった燃料極側から、圧力の低い空気極側へ燃料が噴出する。また、燃料電池モジュール内の空気極側の圧力も、外気の圧力（大気圧）よりも高い状態にあるため、シャットダウン停止の後、燃料電池モジュール内の空気極側の空気（及び燃料極側から噴出した燃料ガス）は、排気通路を通過して燃料電池モジュールの外部に排出される。このため、シャットダウン停止の後、燃料電池セルユニットの燃料極側、空気極側とも圧力が低下し、最終的には大気圧に収斂する。従って、燃料極側及び空気極側において圧力が低下する挙動は、燃料電池セルユニットの燃料極側と空気極側との間の流路抵抗、燃料電池モジュール内の空気極側と外気との間の流路抵抗等の影響を受けることになる。なお、燃料極側と空気極側の圧力が等しい状態においては、拡散により、空気極側の空気が燃料極側へ侵入する。

40

【 0 1 0 2 】

しかしながら、実際には、燃料電池モジュールの内部は高温の状態にあるため、シャットダウン停止後における圧力の挙動は、燃料極側及び空気極側の温度変化にも影響を受ける。例えば、燃料電池セルユニットの燃料極側の温度が、空気極側よりも急激に低下した場合、燃料電池セルユニット内の燃料ガスの体積が収縮するため、燃料極側の圧力が低下して空気の逆流が発生する。このように、シャットダウン停止後における燃料極側及び空

50

気極側の圧力は、燃料電池モジュール内各部の流路抵抗、燃料電池モジュール内の温度分布、蓄積されている熱量等の影響を受け、非常に複雑に変化する。

【0103】

燃料電池セルユニットの燃料極側及び空気極側に存在する気体の成分は、電流を取りだしていない状態（出力電流 = 0）におけるセルスタックの出力電圧に基づいて推定することができる。図26の太い破線に示すように、時刻t501のシャットダウン停止の直後は、セルスタックの出力電圧は急激に上昇する（図26のA部）。これは、シャットダウン停止の直後は、燃料極側には多くの水素が存在し、空気極側には空気が存在すると共に、セルスタックから取り出される電流が0にされるためである。次いで、セルスタックの出力電圧は急激に低下するが（図26のB部）、これは、シャットダウン停止後に、各燃料電池セルユニットの燃料極側に存在していた水素が流出して燃料極側の水素の濃度が低下すると共に、流出した水素により、空気極側の空気の濃度が低下するためであると推定される。

10

【0104】

次いで、セルスタックの出力電圧は時間の経過と共に低下し、燃料電池モジュール内の温度が酸化下限温度未満に低下した時点（図26のC部）では、出力電圧は大きく低下している。この状態においては、各燃料電池セルユニットの燃料極側には殆ど水素が残っていないものと推定され、従来の燃料電池においては、燃料極は酸化の危険に晒されている。実際に、従来の燃料電池においては、多くの場合に、燃料電池モジュール内の温度が酸化下限温度未満に低下する前に、燃料極側の圧力が空気極側の圧力よりも低下する現象が発生し、燃料電池セルユニットに悪影響が生じていると考えられる。

20

【0105】

また、燃料電池モジュールの構造、シャットダウン停止前の運転条件によっては、シャットダウン停止の後、燃料供給が停止されているにも関わらず、燃料電池モジュール内上部の温度が上昇するという現象が発生する（図示せず）。即ち、燃料電池モジュール内の温度が、シャットダウン停止後の1時間程度、発電運転時よりも上昇する場合がある。このような温度上昇は、発電運転中に改質器内で発生していた吸熱反応である水蒸気改質反応が、燃料供給の停止により発生しなくなる一方、各燃料電池セルユニットの内部や、これらに燃料を分配するマニホールド内に残留している燃料が、燃料供給停止後も燃焼室内で燃焼し続けることが原因であると考えられる。

30

【0106】

このように、燃料電池モジュール内の改質器付近の温度が上昇する一方、燃料電池セルスタックからの電流の取り出しは停止されているため、燃料電池セルスタックにおいては発電熱が発生しなくなる。これにより、燃料電池セルスタック上方の温度が上昇して圧力が上昇するのに対して、各燃料電池セルユニットの内部は、温度低下により圧力が低下する。このような燃料電池モジュール内の温度勾配に起因して、各燃料電池セルユニットの燃料極側の圧力が、空気極側の圧力よりも低くなる場合がある。このような場合には、燃料電池セルユニット外部の空気極側の空気が、内部の燃料極側に逆流し、燃料電池セルユニットが損傷される可能性が高い。

【0107】

本発明の実施形態の固体酸化物型燃料電池1においては、燃料電池モジュール内各部の流路抵抗を適切な値に設定すると共に、制御部110に内蔵されているシャットダウン停止回路110a（図6）の制御により、燃料極の酸化のリスクを大幅に抑制している。

40

【0108】

次に、図13乃至図25を参照して、本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池1の停止について説明する。

図13は、本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池1における停止モードの選択を行う停止判断のフローチャートである。図13のフローチャートは、所定の条件に基づいて、何れの停止モードを選択するかを判断するためのフローチャートであり、固体酸化物型燃料電池1の運転中において、所定の時間間隔で繰り返し実行される。

50

【 0 1 0 9 】

まず、図 1 3 のステップ S 1 においては、燃料供給源 3 0 (図 1) からの燃料ガスの供給、及び商用電源からの電力の供給が停止されているか否かが判断される。燃料ガス及び電力の両方の供給が停止されている場合には、ステップ S 2 に進み、ステップ S 2 においては、緊急停止モードである停止モード 1 が選択されて、図 1 3 のフローチャートの 1 回の処理が終了する。停止モード 1 が選択される場合としては、自然災害等により、燃料ガス及び電力の供給が停止された場合が想定され、このような停止が行われる頻度は極めて少ないと考えられる。

【 0 1 1 0 】

一方、燃料ガス及び電力の少なくとも一方が供給されている場合には、ステップ S 3 に進み、ステップ S 3 においては、燃料ガスの供給が停止され、且つ電力が供給されている状態であるか否かが判断される。燃料ガスの供給が停止され、且つ電力が供給されている場合にはステップ S 4 に進み、それ以外の場合にはステップ S 5 に進む。ステップ S 4 においては、通常停止モードのうちの一つである停止モード 2 が選択されて、図 1 3 のフローチャートの 1 回の処理が終了する。停止モード 2 が選択される場合としては、燃料ガス供給経路の工事等により、一時的に燃料ガスの供給が停止された場合等が想定され、このような停止が行われる頻度は少ないと考えられる。

【 0 1 1 1 】

さらに、ステップ S 5 においては、使用者により停止スイッチが操作されたか否かが判断される。使用者により停止スイッチが操作された場合にはステップ S 6 に進み、操作されていない場合にはステップ S 7 に進む。ステップ S 6 においては、通常停止モードのうちの一つのスイッチ停止モードである停止モード 3 が選択されて、図 1 3 のフローチャートの 1 回の処理が終了する。停止モード 3 が選択される場合としては、固体酸化物型燃料電池 1 の利用者が長期間不在になるため、比較的長期間に亘って固体酸化物型燃料電池 1 の運転を意図的に停止させる場合が想定され、このような停止が行われる頻度はあまり多くないと考えられる。

【 0 1 1 2 】

一方、ステップ S 7 においては、予め予定された時機に定期的に行われる定期停止であるか否かが判断される。定期停止である場合にはステップ S 8 に進み、定期停止でない場合には、図 1 3 のフローチャートの 1 回の処理が終了する。ステップ S 8 においては、通常停止モードのうちの一つのプログラム停止モードである停止モード 4 が選択されて、図 1 3 のフローチャートの 1 回の処理が終了する。停止モード 4 が選択される場合としては、燃料供給源 3 0 に設けられているマイコンメータに対する対応が想定される。即ち、一般に、燃料供給源 3 0 にはマイコンメータ (図示せず) が設けられており、このマイコンメータは、約 1 ヶ月の間に、燃料ガスの供給が完全に停止された状態が連続して 1 時間程度以上存在しない場合には、ガス漏れが発生していると判断し、燃料ガスの供給を遮断させるように構成されている。このため、一般に、固体酸化物型燃料電池 1 は、約 1 ヶ月に一度、1 時間程度以上停止させる必要がある。従って、停止モード 4 による停止は、約 1 ヶ月に 1 回以上の頻度で行われることが想定され、最も高頻度で行われる停止である。

【 0 1 1 3 】

なお、電力の供給が停止され、燃料ガスの供給が継続されている場合には、図 1 3 のフローチャートによっては、何れの停止モードも選択されない。このような場合においては、本実施形態による固体酸化物型燃料電池 1 は、燃料電池セルスタック 1 4 によって生成された電力によって補機ユニット 4 を作動させることにより、発電を継続することができる。なお、電力の供給停止が所定の長時間に亘って継続した場合において、発電が停止されるように本発明を構成することもできる。

【 0 1 1 4 】

次に、図 1 4 乃至図 2 5 を参照して、各停止モードにおける停止処理を説明する。

図 1 4 は本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池 1 において、停止モード 1 (図 1 3 のステップ S 2) が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイ

10

20

30

40

50

ムチャートである。図15は停止モード1が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【0115】

まず、図14の時刻t101において、シャットダウン停止が行われると、燃料流量調整ユニット38による燃料の供給、水流量調整ユニット28による水の供給、及び発電用空気流量調整ユニット45による発電用空気の供給が短時間に停止する。また、インバータ54による燃料電池モジュール2からの電力の取り出しも停止する（出力電流=0）。停止モード1が実行された場合には、シャットダウン停止の後、燃料電池モジュール2は、この状態で自然放置される。このため、各燃料電池セルユニット16内部の燃料極側に存在していた燃料は、外部の空気極側との圧力差に基づいて、燃料ガス流路細管98（図4）を通過して空気極側に噴出される。また、各燃料電池セルユニット16の空気極側に存在していた空気（及び燃料極側から噴出した燃料）は、空気極側の圧力（発電室10（図1）内の圧力）と大気圧との圧力差に基づいて、排気通路21b、空気用熱交換器22等を通して、燃料電池モジュール2の外部に排出される。従って、シャットダウン停止の後、各燃料電池セルユニット16の燃料極側及び空気極側の圧力は、自然に低下する。

10

【0116】

しかしながら、各燃料電池セルユニット16の上端部には、流出側流路抵抗部である燃料ガス流路細管98が設けられており、排気通路21bには、縦壁21d及び下がり壁8b（図2）が設けられている。この燃料ガス流路細管98の流路抵抗は、燃料供給及び発電が停止された後の燃料極側の圧力低下が、空気極側の圧力低下よりも緩やかになるように設定されている。本実施形態の固体酸化物型燃料電池1は、これらの燃料及び排気の通路各部における流路抵抗を適切にチューニングすることにより、各燃料電池セルユニット16の燃料極側に、シャットダウン停止後も長時間に亘って燃料が残存するように構成されている。例えば、燃料ガス流路細管98における流路抵抗に対して、発電室10から外気へ至る排気経路の流路抵抗が小さすぎる場合には、シャットダウン停止後に空気極側の圧力が急激に低下するため、燃料極側と空気極側の圧力差が増大し、却って燃料極側からの燃料の流出が促進されてしまう。逆に、燃料ガス流路細管98の流路抵抗に対して、排気経路の流路抵抗が大きすぎる場合には、燃料極側の圧力低下と比較して、空気極側の圧力低下が緩やかになり、燃料極側と空気極側の圧力が接近するので、燃料極側への空気逆流のリスクが高くなる。

20

30

【0117】

このように、本実施形態においては、燃料流量調整ユニット38から改質器20、各燃料電池セルユニット16の燃料極を通過して燃料電池モジュール2の外部へ燃料及び/又は排気ガスを導く燃料/排気ガス通路が上記のようにチューニングされている。このため、シャットダウン停止の後自然放置された場合においても、燃料極側の圧力は、空気極側の圧力よりも高い圧力を維持しながら低下し、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下した時点においても、大気圧よりも高い圧力に維持され、燃料極が酸化されるリスクを十分に抑制することができる。図14に示すように、本実施形態の固体酸化物型燃料電池1では、時刻t101においてシャットダウン停止が行われた後、太い破線に示す燃料電池セルスタック14の出力電圧は一旦大きく上昇した後、低下するが、その落ち込みは、従来の固体酸化物型燃料電池（図26）よりも少なく、比較的高い電圧が長時間継続する。図14に示す例では、シャットダウン停止後、燃料極側及び空気極側の温度が所定の酸化抑制温度に低下する時刻t102まで、比較的高い電圧が維持されている。このことは、各燃料電池セルユニット16の燃料極側には、温度が酸化抑制温度に低下する時刻t102まで燃料が残存していることを示している。

40

【0118】

なお、本明細書において、酸化抑制温度とは、燃料極が酸化されるリスクが十分に低下される温度を意味している。燃料極が酸化されるリスクは、温度の低下と共に少しずつ減少して、やがてゼロになる。このため、燃料極の酸化が発生し得る最低の温度である酸化

50

下限温度よりも少し高い温度帯域の酸化抑制温度であっても、燃料極酸化のリスクを十分に低減することができる。一般的な燃料電池セルユニットにおいては、このような酸化抑制温度は350乃至400程度であり、酸化下限温度は250乃至300程度であると考えられる。

【0119】

即ち、本実施形態の固体酸化物型燃料電池1においては、燃料/排気ガス通路は、シャットダウン停止後、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下するまで、燃料電池モジュール2内の空気極側の圧力を大気圧よりも高く維持すると共に、燃料極側の圧力を空気極側の圧力よりも高く維持するように構成されている。従って、燃料/排気ガス通路は、燃料極側の圧力が空気極側の圧力に近づくまでの時間を延長する機械的圧力保持手段として機能する。

10

【0120】

図15は停止モード1の動作を説明する図であり、上段には燃料極側及び空気極側の圧力変化を模式的に表すグラフを示し、中段には制御部110による制御動作及び燃料電池モジュール2内の温度を時系列で示し、下段には各時点における燃料電池セルユニット16の上端部の状態を示している。

【0121】

まず、図15中段におけるシャットダウン停止の前は、通常の発電運転が行われている。この状態においては、燃料電池モジュール2内の温度は700程度である。また、図15の下段(1)に示すように、燃料電池セルユニット16上端の燃料ガス流路細管98からは、発電に使用されずに残った燃料ガスが噴出しており、この噴出する燃料ガスは燃料ガス流路細管98の上端で燃焼される。次いで、シャットダウン停止により、燃料ガス、改質用の水、発電用の空気の供給が停止されると、噴出する燃料ガスの流量が低下し、図15の下段(2)に示すように、燃料ガス流路細管98先端の炎が消失する。燃料ガス流路細管98は細長く形成されているため、燃料ガス流量の低下により炎が燃料ガス流路細管98の中に引き込まれると、炎は速やかに消失する。炎が速やかに消失されることにより、燃料電池セルユニット16の内部等に残存している燃料ガスの消費が抑制され、残存する燃料を燃料極側に維持することができる時間が延長される。

20

【0122】

図15の下段(3)に示すように、シャットダウン停止後、炎が消失されたあとも、燃料電池セルユニット16の内部(燃料極側)の圧力は、外部(空気極側)よりも高いため、燃料ガス流路細管98からの燃料ガスの噴出は継続される。また、図15上段に示すように、シャットダウン停止直後において、燃料極側の圧力は空気極側の圧力よりも高く、各圧力は、この関係を維持したまま低下する。燃料極側と空気極側の圧力差は、シャットダウン停止の後、燃料ガスの噴出と共に低下する。

30

【0123】

燃料ガス流路細管98からの燃料ガスの噴出量は、燃料極側と空気極側の圧力差が低下するにつれて減少する(図15の下段(4)(5))。一方、シャットダウン停止時においては、改質器20の内部にも、改質された燃料ガス、未改質の燃料ガス、水蒸気、水が残存しており、シャットダウン停止後も、余熱により未改質の燃料ガスが水蒸気により改質される。また、残存している水も、改質器20に蒸発部20aが一体的に備えられているため、余熱により蒸発されて水蒸気となる。改質器20における、燃料ガスの改質及び水の蒸発に伴い体積膨張が発生するため、改質器20内、燃料ガス供給管64、マニホール66(図2)内に残存していた燃料ガスが、各燃料電池セルユニット16の中(燃料極側)に順次押し出される。このため、燃料ガス流路細管98からの燃料ガスの噴出に伴う燃料極側の圧力低下が抑制される。

40

【0124】

さらに、改質器20内の改質部20cは触媒が充填されているため、流路抵抗が比較的大きい。このため、残存している水が蒸発部20aにおいて蒸発された際、水蒸気は改質部20cに流入する一方、改質器導入管62(図2)の方へ逆流する。この改質器導入管

50

6 2 は蒸発部 2 0 a の側面から概ね水平に延びた後、屈曲されて、概ね鉛直上方に延びるように構成されている。従って、逆流した水蒸気は、改質器導入管 6 2 の中を鉛直方向に上昇し、改質器導入管 6 2 の上端に接続されている T 字管 6 2 a に到達する。ここで、蒸発部 2 0 a から延びる改質器導入管 6 2 は、ケース 8 を覆う断熱材 7 の内部に配置されているため、温度が高い。また、改質器導入管 6 2 の上端部及び T 字管 6 2 a は、断熱材 7 の外部に位置するため、温度が低くなっている。このため、改質器導入管 6 2 の中を上昇した水蒸気は、温度の低い改質器導入管 6 2 の上端部及び T 字管 6 2 a の内壁面に当たって冷却されて結露し、水が生成される。

【 0 1 2 5 】

結露により生成された水は、T 字管 6 2 a 及び改質器導入管 6 2 の上端部から、改質器導入管 6 2 下部の内壁面に落下し、ここで再び加熱されて温度が上昇し、蒸発部 2 0 a に再び流入する。改質器導入管 6 2 は屈曲して構成されているため、結露した後落下した水滴は、蒸発部 2 0 a には直接流入せず、改質器導入管 6 2 下部の内壁面上に落下する。従って、改質器導入管 6 2 の断熱材 7 の内側に配置された部分は、供給された水、又は結露した水を予熱する予熱部として機能し、この予熱部よりも温度が低い改質器導入管 6 2 の上端部及び T 字管 6 2 a は、結露部として機能する。

【 0 1 2 6 】

また、改質器導入管 6 2 内を上昇した水蒸気は、T 字管 6 2 a から水供給用配管 6 3 a まで逆流する場合がある。しかしながら、水供給用配管 6 3 a は、T 字管 6 2 a から上方へ向かうように傾斜して配置されているため、水蒸気が水供給用配管 6 3 a 内で結露された場合にも、結露水は、水供給用配管 6 3 a から T 字管 6 2 a の方へ流れ、改質器導入管 6 2 内に落下する。また、図 2 に示すように、改質器導入管 6 2 の下部は、断熱材 7 の内側において、排気ガス排出管 8 2 と交差するように近接して配置されている。このため、予熱部である改質器導入管 6 2 と排気ガス排出管 8 2 の間で熱交換が行われ、排気の熱によっても加熱される。

【 0 1 2 7 】

このように、蒸発部 2 0 a において蒸発された水蒸気の一部は、改質器導入管 6 2 に逆流し、これが結露水を生成し、再び蒸発部 2 0 a において蒸発される。このため、シャットダウン停止時において水の供給が停止された後も、残留している水が少しずつ蒸発部 2 0 a 内で蒸発され、シャットダウン停止の後、比較的長時間に亘って水の蒸発が発生する。さらに、改質器導入管 6 2 は蒸発部 2 0 a の側面から延びた後、屈曲されて、概ね鉛直上方に延びて断熱材 7 を貫通している。従って、改質器導入管 6 2 が断熱材 7 を貫通している箇所は、改質器 2 0 の鉛直上方の領域から外れており、改質器 2 0 の熱は、改質器導入管 6 2 による断熱材 7 の貫通箇所を通過して外部に逃げにくく、改質器導入管 6 2 によって断熱性が著しく損なわれることはない。

【 0 1 2 8 】

一方、改質器 2 0 内において発生する水の蒸発は、蒸発部 2 0 a 内の温度分布等に依存して急激に発生することがある。このような場合には、蒸発部 2 0 a 内の圧力が急上昇するので、高い圧力が下流側に伝搬し、燃料電池セルユニット 1 6 内の燃料ガスが、急激に空気極側へ噴出する虞がある。しかしながら、燃料ガス供給管 6 4 には、圧力変動抑制用流路抵抗部 6 4 c (図 2) が設けられているため、改質器 2 0 内の急激な圧力上昇に基づく、燃料電池セルユニット 1 6 内の燃料ガスの急激な噴出が抑制される。また、各燃料電池セルユニット 1 6 の下端にも、燃料ガス流路細管 9 8 (図 4) が設けられているため、この燃料ガス流路細管 9 8 の流路抵抗により、各燃料電池セルユニット 1 6 内部の急激な圧力上昇が抑制される。従って、各燃料電池セルユニット 1 6 下端の燃料ガス流路細管 9 8 及び圧力変動抑制用流路抵抗部 6 4 c は、燃料極側の圧力を高く維持する機械的圧力保持手段として機能する。

【 0 1 2 9 】

このように、機械的圧力保持手段により、各燃料電池セルユニット 1 6 の燃料極側の圧力低下は、シャットダウン停止後、長時間に亘って抑制される。シャットダウン停止後、

10

20

30

40

50

5乃至6時間程度経過し、燃料電池モジュール2内の温度が酸化抑制温度まで低下する頃には、各燃料電池セルユニット16の燃料極側、空気極側ともほぼ大気圧まで低下し、空気極側の空気が燃料極側に拡散し始める(図15の下段(6)(7))。しかしながら、燃料ガス流路細管98、及び燃料電池セル84上端部の外側電極層92が形成されていない部分(図15下段(6)のA部)は、空気が侵入しても酸化されることはなく、この部分はバッファ部として機能する。特に、燃料ガス流路細管98は細長く構成されているため、バッファ部が長くなり、燃料電池セルユニット16の上端から空気が侵入した場合にも、燃料極の酸化が発生しにくい。また、酸化抑制温度近傍においては、燃料極の温度が低く、燃料極に空気が触れた場合にも発生する酸化は僅かであり、また、停止モード1が実行される頻度は極めて低いため、酸化により発生する悪影響は、実質的に無視することができる。さらに、図15の下段(8)に示すように、燃料極の温度が酸化下限温度よりも低下した後は、各燃料電池セルユニット16の燃料極側に空気が充満しても燃料極が酸化されることはない。

【0130】

次に、図16及び図17を参照して、停止モード2を説明する。

図16は本発明の実施形態による固体氧化物型燃料電池1において、停止モード2(図13のステップS4)が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。図17は停止モード2が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

【0131】

まず、停止モード2は、燃料ガスの供給のみが停止された場合に実行される停止モードである。図16の時刻t201において、シャットダウン停止が行われると、燃料流量調整ユニット38による燃料の供給、及び水流量調整ユニット28による水の供給が短時間に停止する。また、インバータ54による燃料電池モジュール2からの電力の取り出しも停止する(出力電流=0)。停止モード2が実行された場合には、制御部110に内蔵されたシャットダウン停止回路110aは、時刻t201のシャットダウン停止の直後に、温度降下制御を実行し、発電用空気流量調整ユニット45を所定の排熱時間に亘って最大出力で作動させる。なお、本実施形態においては、所定の排熱時間は約2分間であり、この間、水流量調整ユニット28は停止されている。さらに、図16の時刻t202において、発電用空気流量調整ユニット45が停止された後は、停止モード1と同様に、自然放置される。

【0132】

停止モード2による停止では、シャットダウン停止の後、温度降下制御により、燃料電池セルユニット16の空気極側に空気が送り込まれる。これにより、図16のA部において、空気極側の温度が、停止モード1の場合(図14)よりも急激に低下している。上述したように、燃料供給が完全に停止された後、燃料電池セルスタック14の温度が酸化抑制温度に低下するまでは、燃料極を酸化させ、損傷する危険があるため、空気の供給は必ず停止されていた。しかしながら、燃料供給を停止した直後でも、所定時間の間は安全に空気極側に発電用の空気を供給できることが、本発明者により見出された。

【0133】

即ち、シャットダウン停止の直後においては、各燃料電池セルユニット16の燃料極側に十分に燃料ガスが残存しており、これが各燃料電池セルユニット16上端から噴出している状態であるため、空気極側に空気を送り込むことにより、燃料極側に空気が逆流することはない。即ち、この状態においては、温度降下制御によって空気を送り込むことにより、空気極側の圧力が上昇するが、依然として燃料極側の圧力が空気極側の圧力よりも高い状態にある。なお、各燃料電池セルユニット16の上端に設けられた燃料ガス流路細管98は、流路断面積を狭くした絞り流路であり、これにより、各燃料電池セルユニット16から流出する燃料ガスの流速が高くなる。従って、上端に設けられた燃料ガス流路細管98は、燃料ガスの流速を高くする加速部として機能する。さらに、時刻t202におい

10

20

30

40

50

て空気の供給が停止された後は、停止モード1と同様に自然放置され、機械的圧力保持手段によって燃料極側の圧力が空気極側の圧力よりも高い状態が所定期間維持される。しかしながら、停止モード2においては、温度降下制御により、燃料電池モジュール2内に滞留していた高温の空気及び燃焼ガスが排出されるため、停止モード1よりも低い温度から自然放置が開始される。このため、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下する前に空気の逆流が発生するリスクが低下される。このように、シャットダウン停止後において、燃料極側の圧力低下は、空気極側の圧力低下よりも緩やかになる。また、温度降下制御により、燃料電池モジュール2内の温度が均一化されるため、燃料電池セルユニット16内側の燃料ガスが急激に収縮し、燃料極側に空気が引き込まれるリスクが低減される。

【0134】

10

さらに、シャットダウン停止後、温度降下制御により空気極側に空気が送り込まれるため、燃料ガス流路細管98上端の炎は、より速やかに消失され、残存している燃料の消費が抑制される。また、シャットダウン停止直後は、燃料電池セルユニット16から噴出した多くの燃料ガスが、燃焼されることなく燃料電池セルユニット16の空気極側に流出する。停止モード2においては、シャットダウン停止後、空気極側に空気が送り込まれ、噴出した燃料ガスが空気と共に排出されるので、燃料極から流出した燃料ガスが空気極に触れて空気極が部分的に還元されるリスクが回避される。

【0135】

図17は停止モード2の動作を説明する図であり、上段には燃料極側及び空気極側の圧力変化を模式的に表すグラフを示し、中段には制御部110による制御動作及び燃料電池モジュール2内の温度を時系列で示し、下段には各時点における燃料電池セルユニット16の上端部の状態を示している。

20

【0136】

まず、図17中段におけるシャットダウン停止前は、発電運転が行われており、シャットダウン停止後は、温度降下制御が実行される。約2分間の温度降下制御の後、発電用空気流量調整ユニット45が停止され、その後は停止モード1と同様に自然放置される。しかしながら、停止モード2においては、自然放置が開始される時点(図16の時刻t202)における燃料電池モジュール2内の温度、及び燃料極側、空気極側の圧力が停止モード1の場合よりも低下されている。このため、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下する前に、燃料極側に空気が侵入するリスクは、更に低減される。

30

【0137】

次に、図18乃至図22を参照して、停止モード3を説明する。

図18は本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池1において、停止モード3(図13のステップS6)が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。図19はシャットダウン停止直後を拡大して示すタイムチャートである。図20は停止モード3が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。図22は停止モード3の変形例を示すタイムチャートである。

【0138】

まず、停止モード3は、使用者により停止スイッチが操作された場合に実行される停止モードである。図18、図19に示すように、停止モード3においても温度降下制御が実行されるが、停止モード3における温度降下制御は、燃料電池セルスタック14からの電力の取り出しが完全に停止される前の第1の温度降下工程と、電力の取り出しが停止された後の第2の温度降下工程から構成されている。第2の温度降下工程は停止モード2における温度降下制御と同様であり、第1の温度降下工程は、電力の取り出しが停止される前の停止前処理として実行される。

40

【0139】

図19に示すタイムチャートの例では、時刻t301において、使用者により停止スイッチが操作され、第1の温度降下工程である停止前処理が開始されている。停止前処理においては、まず、燃料電池モジュール2による発電電力のインバータ54への出力が停止

50

される。これにより、図19に細い一点鎖線で示すように、燃料電池モジュール2から取り出される電流、電力が急速に低下する。なお、停止前処理においては、燃料電池モジュール2からインバータ54への電流出力は停止されるが、固体酸化物型燃料電池1の補機ユニット4を作動させるための一定の微弱な電流(1A程度)の取り出しは、所定期間に亘って継続される。このため、時刻t301において発電電流が大幅に低下した後も、停止前処理中においては燃料電池モジュール2から微弱な電流が取り出される。また、図19に破線で示すように、燃料電池モジュール2の出力電圧は、取り出される電流の低下と共に上昇する。このように、停止前処理中において、電力の取り出し量を制限し、微弱な電流を取り出しながら所定電力の発電を継続することにより、供給された燃料の一部が発電に使用されるため、発電に使用されずに残る余剰燃料の著しい増加が回避され、燃料電池モジュール2内の温度が低下される。

10

【0140】

さらに、停止前処理においては、時刻t301の後、図19に点線で示す燃料供給量、及び細い実線で示す改質用の水の供給量が直線的に低下される。一方、太い一点鎖線で示す発電用の空気供給量は直線的に増加される。従って、停止前処理中においては、燃料電池モジュール2から取り出される電力に対応した量よりも多くの空気が供給される。このように、空気供給量を増加させることにより、改質器20から熱を奪い、燃料電池モジュール2内の温度上昇を抑制している。続いて、図19に示す例では、時刻t301から約20秒後の時刻t302において、燃料供給量及び水供給量が、燃料電池モジュール2から取り出されている微弱な電流に対応した供給量まで低下され、その後、低下された供給量が維持される。このように、停止前処理として、燃料供給量及び水供給量を低下させておくことにより、燃料供給の完全停止時に大流量の燃料が急激に停止されることによる燃料電池モジュール2内の気流の乱れや、燃料供給の完全停止後における大量の燃料の改質器20、マニホールド66内への残留を防止している。なお、時刻t301の後、燃料供給量を減少させ、空気供給量を増加させることにより、図19に太い実線で示す燃料電池モジュール2内の空気極側の空気の温度は低下される。しかしながら、燃料電池モジュール2を取り囲む断熱材7等には依然として大量の熱量が蓄積されている。また、停止前処理中においては、インバータ54への電流出力は停止されているものの、燃料及び水の供給が継続されているため、発電用の空気の供給を継続しても、各燃料電池セルユニット16内部の燃料極側へ空気が逆流することはない。従って、安全に空気の供給を継続することができる。

20

30

【0141】

図19に示す例では、停止前処理が開始された時刻t301から約2分後の時刻t303において、燃料供給量及び改質用の水供給量がゼロにされ、燃料電池モジュール2からの取り出し電流もゼロにされ、シャットダウン停止されている。なお、図19に示す例では、時刻t303において、燃料電池モジュール2からの取り出し電流がゼロにされる直前に、水供給量が僅かに増加されている。この水供給量の増加は、シャットダウン停止の時点において、蒸発部20a内に適正な量の水が残るよう、水量を調整するものである。この水供給量の制御については後述する。

【0142】

40

図19に示す例では、時刻t303におけるシャットダウン停止後も、温度降下制御の第2の温度降下工程として、発電用空気の供給(ただし、発電は完全に停止されている)が継続されている。これにより、燃料電池モジュール2内(燃料電池セルスタック14の空気極側)の空気、残余燃料の燃焼ガス、及びシャットダウン停止後に燃料電池セルスタック14の燃料極側から流出した燃料が排出されるので、第2の温度降下工程は排気工程として機能する。本実施形態においては、時刻t303において、燃料供給が完全に停止された後、時刻t304までの所定期間、大量の発電用空気の供給が継続されている。また、発電用の空気供給量は、停止前処理中に最大の空気供給量まで増加され、その後、最大値に維持される。

【0143】

50

図18に示すように、時刻 t_{304} において、発電用空気の供給が停止された後は、停止モード1と同様に自然放置される。しかしながら、停止モード3においては、シャットダウン停止前に第1の温度降下工程が実行され、シャットダウン停止後に第2の温度降下工程が実行されるので、図18のA部における温度低下が停止モード1及び2よりも大きく、より低温、低圧の状態から自然放置が開始される。

【0144】

図20は停止モード3の動作を説明する図であり、上段には燃料極側及び空気極側の圧力変化を模式的に表すグラフを示し、中段には制御部110による制御動作及び燃料電池モジュール2内の温度を時系列で示し、下段には各時点における燃料電池セルユニット16の上端部の状態を示している。

10

【0145】

まず、図20中段における停止スイッチ操作前は、発電運転が行われており、停止スイッチ操作後は、第1の温度降下工程である停止前処理工程が実行される。停止前処理工程においては、燃料ガスの供給量が低下されるので、図20の下段(1)のように、発電運転中には大きかった各燃料電池セルユニット16上端の炎が、下段(2)に示すように小さくなる。このように、燃料ガスの供給量及び発電量が低下されるため、燃料電池モジュール2内の温度は、発電運転中よりも低下される。約2分間の停止前処理工程の後、シャットダウン停止が行われる。シャットダウン停止の後、第2の温度降下工程として、発電用空気流量調整ユニット45により発電用の空気が2分間供給される。第2の温度降下工程の後、発電用空気流量調整ユニット45が停止され、その後は停止モード1と同様に自然放置される。

20

【0146】

上述したように、シャットダウン停止の時点においては、各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力は空気極側の圧力よりも高いため、燃料供給が停止された後も、燃料極側の燃料ガスが各燃料電池セルユニット16の上端から噴出する。なお、燃料ガスが燃焼される炎は、シャットダウン停止時に消失する。シャットダウン停止後において、各燃料電池セルユニット16の上端から噴出する燃料ガスは、シャットダウン停止直後が最も多く、その後次第に減少する。このシャットダウン停止直後に噴出される大量の燃料ガスは、第2の温度降下工程(排気工程)において供給される発電用の空気によって、燃料電池モジュール2の外へ排出される。また、排気工程終了後にも、燃料ガスは各燃料電池セルユニット16の上端から噴出されるが、その燃料ガスの量は比較的少なくなっている。

30

【0147】

このため、排気工程終了後に噴出された燃料ガスである水素は、燃料電池モジュール2内の上部(燃料電池セルスタック14よりも上方)に滞留するが、噴出された燃料ガスは、各燃料電池セルユニット16の空気極には、実質的に接触しない。従って、燃料ガスが高温の空気極に接触することにより還元され、空気極が劣化されることはない。また、シャットダウン停止前の停止前処理においては、所定範囲の分量の適量の水が蒸発部20a内に貯留されるように水が供給されている。このため、シャットダウン停止後の排気工程中において、蒸発部20a内で水が蒸発されることにより、各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力が高められ、適量の燃料ガスが各燃料電池セルユニット16の上端から噴出される。排気工程中に噴出された燃料ガスは速やかに燃料電池モジュール2内から排出される。排気工程中において適量の燃料ガスが噴出されているため、排気工程後において、過剰な量の燃料ガスが各燃料電池セルユニット16から噴出され、空気極を劣化させることはない。

40

【0148】

ここで、停止モード3においては、排気工程終了後、自然放置が開始される時点(図18の時刻 t_{304})における燃料電池モジュール2内の温度、及び燃料極側、空気極側の圧力が停止モード1及び2の場合よりも低下されている。また、停止モード3においては、停止前処理工程により、シャットダウン停止前の燃料ガスの供給量、水供給量等が所定の値に固定されている。これにより、発電運転中における運転状態に依存した、自然放置

50

が開始される時点における圧力、温度分布等のバラツキが少なくなり、常に適正な状態から自然放置が開始される。このため、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下する前に、燃料極側に空気が侵入するリスクは、極めて低いものになる。

【0149】

次に、図21を参照して、停止前処理における水の供給を説明する。

図21は、停止前処理における水供給のフローチャートであり、固体酸化物型燃料電池1の運転中において、シャットダウン停止回路110aにより所定の時間間隔で繰り返し実行される。まず、図21のステップS11において、停止前処理が開始されるか否かが判断される。停止前処理が開始された場合には、ステップS12に進み、開始されていない場合には、図21のフローチャートの1回の処理を終了する。

10

【0150】

次に、ステップS12においては、供給水確保工程として、温水製造装置50(図1)に内蔵されている給湯器用ラジエータ(図示せず)が2分間作動される。この給湯器用ラジエータは、燃料電池モジュール2からの高温の排気ガスとの間で熱交換を行うことにより水を温め、排気ガス中の排熱を回収するように構成されている。一方、排気ガス中には水蒸気が含まれており、この水蒸気は給湯器用ラジエータとの間で熱交換を行い、冷却されることによって水となり、結露する。給湯器用ラジエータを作動させることにより、排気ガスの冷却量が増加して結露水が増加する。増加した結露水は回収され、純水タンク26(図1)に貯留される。この純水タンク26に回収された水は、フィルタ処理(図示せず)等を経た後、水蒸気改質用の水として利用される。このステップS12の処理により生成された水は、停止前処理中における水の供給、及び後述する停止モード4において実行される圧力保持制御に利用される。なお、停止前処理中及び圧力保持制御に使用される水の量は僅かである一方、多くの水蒸気が含まれた高温の排気ガスが給湯器用ラジエータ(図示せず)によって急激に冷却されるため、停止前処理中の2分間で所要量の水を十分に確保することができる。

20

【0151】

次に、ステップS13においては、停止前処理が開始される図19の時刻 t_{301} 直前の10分間における発電量の時系列データ W_0 が、制御部110に読み込まれる。さらに、ステップS14においては、読み込まれた発電量の時系列データ W_0 の10分間の平均値 W_1 が計算される。次に、ステップS15においては、固体酸化物型燃料電池1の最大定格発電量と平均値 W_1 の差 W_2 が計算される。さらに、ステップS16においては、差 W_2 に基づいて、不足水量 Q_1 が計算される。最後に、ステップS17において、計算された不足水量 Q_1 が、停止前処理の終了直前(図19、時刻 t_{303} の直前)に供給され、図21のフローチャートの1回の処理を終了する。

30

【0152】

この不足水量 Q_1 の供給により、蒸発部20aには、最大定格発電量の運転が継続された後にシャットダウン停止が行われた場合と同程度の量の改質用の水が貯留される。この水は、シャットダウン停止後の排気工程(図19の時刻 t_{303} ~ t_{304})中において、蒸発されることにより、各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力が高められ、適量の燃料ガスが各燃料電池セルユニット16の上端から噴出される。

40

【0153】

次に、図22を参照して、停止モード3の変形例を説明する。

図22に示す変形例では、第2の温度降下工程における発電用空気の供給の仕方が図19とは異なる。図22に示すように、本変形例においては、時刻 t_{303} でシャットダウン停止が行われた後、時刻 t_{304} まで発電用空気が最大量で供給される。時刻 t_{304} においては、発電用空気の供給量が段階的に減少され、減少された供給量が時刻 t_{305} まで継続される。好ましくは、時刻 t_{303} ~時刻 t_{304} の間は約2~5分に設定し、時刻 t_{304} ~ t_{305} の間は約2~20分に設定する。

【0154】

本変形例においては、シャットダウン停止直後の燃料極側の圧力が高い状態において大

50

量の発電用空気を供給することにより、空気極側の高温の空気が速やかに排出される。一方、シャットダウン停止から或る程度時間が経過し、燃料極側の圧力が低下した状態においては、発電用空気の供給量を減少させることにより、逆流のリスクを回避しながら、高温の空気を排出する。

【0155】

次に、図23及び図24を参照して、停止モード4を説明する。

図23は本発明の実施形態による固体酸化物型燃料電池1において、停止モード4（図13のステップS8）が実行された場合の停止挙動の一例を模式的に時系列で表したタイムチャートである。図24は停止モード4が実行された場合における制御、燃料電池モジュール内の温度、圧力、及び燃料電池セルユニットの先端部の状態を時系列で説明するための図である。

10

【0156】

まず、停止モード4は、上述したように、マイコンメータ（図示せず）に対応するために、概ね1ヶ月に1回の割合で定期的に行われる停止であり、停止モードの中で実行される頻度が最も高いものである。従って、停止モード4の実行時において、燃料電池セルユニット16に僅かでも燃料極の酸化等の悪影響があると、燃料電池セルスタック14の耐久性に与える影響が大きいため、より確実に燃料極の酸化を防止する必要がある。この停止モード4による停止は、シャットダウン停止回路110aに内蔵されているプログラムに基づいて、定期的に行われる。

【0157】

20

まず、図23の時刻t401において、シャットダウン停止回路110aのプログラムにより予定されているシャットダウン停止時刻の所定時間前になると、シャットダウン停止回路110aは温度降下制御を実行する。停止モード4においても停止モード3と同様に、温度降下制御は、第1の温度降下工程及び第2の温度降下工程によって実行される。即ち、第1の温度降下工程である停止前処理においては、まず、燃料電池モジュール2による発電電力のインバータ54への出力が停止され、固体酸化物型燃料電池1の補機ユニット4を作動させるための微弱な電流（1A程度）の取り出しのみが継続される。また、停止前処理中においては、上記のように、図21に示す停止前処理水供給フローも実行される。

【0158】

30

さらに、停止前処理においては、時刻t401の後、図23に太い点線で示す燃料供給量、及び細かい実線で示す改質用の水の供給量が低下される。一方、太い一点鎖線で示す発電用の空気供給量は増加される。停止モード4においては、第1の温度降下工程は時刻t401の後、停止モード3よりも長い10分間継続される。

【0159】

時刻t401の後10分間経過した、時刻t402において、シャットダウン停止回路110aは、シャットダウン停止を実行する。シャットダウン停止が行われると、燃料流量調整ユニット38による燃料の供給、及び水流量調整ユニット28による水の供給が短時間に停止する。また、インバータ54による燃料電池モジュール2からの電力の取り出しも停止する（出力電流=0）。

40

【0160】

シャットダウン停止回路110aは、時刻t402のシャットダウン停止の後、温度降下制御のうちの第2の温度降下工程を実行し、発電用空気流量調整ユニット45を約2分間最大出力で作動させる。さらに、図23の時刻t403において、発電用空気流量調整ユニット45が停止された後は、停止モード1と同様に、自然放置される。

【0161】

さらに、停止モード4では、シャットダウン停止後、約5時間経過し、燃料電池モジュール2内の温度が所定の温度まで低下した時刻t404において、シャットダウン停止回路110aは、圧力保持制御回路110b（図6）を作動させる。本実施形態においては、燃料電池モジュール2内の温度が、所定温度である400程度に低下した際には、燃

50

料電池セルユニット 16 の燃料極側の圧力も低下して、空気極側の圧力に近付いている。圧力保持制御回路 110b は、水流量調整ユニット 28 に信号を送り、これを作動させる。水流量調整ユニット 28 が作動されることにより、改質器 20 の蒸発部 20a に水が供給される。燃料電池モジュール 2 の内部は、シャットダウン停止後 5 時間程度経過した時刻 t404 においても、依然として 400 程度の温度であるため、蒸発部 20a に供給された水は、そこで蒸発される。なお、本実施形態においては、水は間欠的に供給され、水供給量は 1 分間に約 1 mL に設定されており、この水供給量は、発電運転中における最少の水供給量よりも少ない値である。

【0162】

蒸発部 20a 内で水が蒸発して膨張されることにより、改質器 20 から、燃料ガス供給管 64、マニホールド 66 (図 2) を介して各燃料電池セルユニット 16 に至る燃料ガス通路内部の圧力が高められる。これにより、各燃料電池セルユニット 16 の燃料極側の圧力の低下が抑制され、より確実に、燃料極側への空気の逆流が防止される。なお、改質器 20 内の蒸発部 20a、混合部 20b、改質部 20c の流路は、何れも蛇行して形成されているため、蒸発部 20a 内で水の急激な蒸発が発生した場合でも、圧力上昇の影響が下流側へ伝播しにくくなっている。これにより、急激な蒸発の発生により、各燃料電池セルユニット 16 の内側 (燃料極側) の圧力が急上昇し、内部に滞留していた燃料ガスが短時間に大量に噴出されるのを防止することができる。

【0163】

また、燃料ガス供給管 64 の途中に設けられている圧力変動抑制用流路抵抗部 64c (図 2)、及び各燃料電池セルユニット 16 の下端に設けられている流入側流路抵抗部である燃料ガス流路細管 98 も、燃料極側の圧力の急激な上昇を抑制し、燃料ガスを燃料極側に長時間滞留させるように作用する。

【0164】

圧力保持制御回路 110b は、燃料電池モジュール 2 内の温度が酸化下限温度まで低下した図 23 の時刻 t405 において、水流量調整ユニット 28 を停止させ、以後、燃料電池モジュール 2 は自然放置される。

【0165】

さらに、シャットダウン停止回路 110a は、燃料電池モジュール 2 内の温度が更に低下した時刻 t406 において、改質用空気流量調整ユニット 44 及び発電用空気流量調整ユニット 45 に信号を送り、これらを作動させる。これにより、改質器 20、燃料ガス供給管 64、マニホールド 66 等の燃料ガス通路、及び各燃料電池セルユニット 16 の内部の燃料極が空気によりパージされる。また、発電室 10 内の空気極側、排気通路 21b、及び空気用熱交換器 22 等の排気ガス通路内も空気によりパージされる。燃料ガス通路及び燃料極をパージすることにより、これらの内部に残留していた水蒸気が結露し、燃料ガス通路及び燃料極の結露水による酸化が防止される。また、排気ガス通路内をパージすることにより、燃料極から排出された水蒸気の、排気ガス通路内における結露が防止される。また、発電室 10 内の空気極側をパージすることにより、燃料極側から排出された燃料ガスによる還元が防止される。

【0166】

図 24 は停止モード 4 の動作を説明する図であり、上段には燃料極側及び空気極側の圧力変化を模式的に表すグラフを示し、中段には制御部 110 による制御動作及び燃料電池モジュール 2 内の温度を時系列で示し、下段には各時点における燃料電池セルユニット 16 の上端部の状態を示している。

【0167】

まず、図 24 中段におけるシャットダウン停止前は、発電運転が行われており、プログラムにより予定されているシャットダウン停止時刻の 10 分前になると、温度降下制御における第 1 の温度降下工程が実行される。停止モード 4 においては、第 1 の温度降下工程が約 10 分間実行されるため、シャットダウン停止時における燃料電池モジュール 2 内の温度、及び燃料極側、空気極側の圧力が停止モード 3 の場合よりも低下されている。シャ

10

20

30

40

50

ットダウン停止後は、温度降下制御の第2の温度降下工程として約2分間発電用の空気が供給され、発電用空気流量調整ユニット45が停止される。発電用空気流量調整ユニット45が停止された後は停止モード3と同様に自然放置される。ここで、停止モード4においては、自然放置が開始される時点(図23の時刻t403)における燃料電池モジュール2内の温度、及び燃料極側、空気極側の圧力は停止モード3の場合よりも更に低下されている。このため、燃料極の温度が酸化抑制温度に低下する前に、燃料極側に空気が侵入するリスクは、更に低減される。

【0168】

加えて、停止モード4においては、自然放置により各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力が空気極側の圧力に近付いた時点において、圧力保持制御回路110bが作動され、各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力が高められる。圧力保持制御により、まず、マニホールド66や燃料ガス供給管64(図2)に滞留していた改質された燃料ガスが各燃料電池セルユニット16の燃料極に少しずつ送り込まれ、次いで、改質器20内に残存していた未改質の燃料ガスが燃料極に少しずつ送り込まれるようになる。さらに、未改質の燃料ガスが全て送り込まれた後は、蒸発部20aで蒸発された水蒸気が各燃料電池セルユニット16の燃料極に少しずつ送り込まれるようになる。圧力保持制御回路110bが作動される時点においては、各燃料電池セルユニット16の燃料極の温度は、酸化抑制温度付近にまで低下しているため、燃料極側への空気の逆流が発生したとしても、その影響は僅かである。しかしながら、停止モード4を実行するプログラム停止は、最も頻繁に実行される停止モードであるため、燃料極の酸化が発生するリスクを更に低下させ、各燃料電池セルユニット16への酸化の影響を極限まで低下させている。

【0169】

また、図24の上段左側に示すように、停止モード1乃至3においては、各燃料電池セルユニット16の燃料極側の圧力は、シャットダウン停止後低下して、燃料極の温度が酸化抑制温度付近まで低下する頃には、空気極側の圧力に近くなる。これに対して、停止モード4においては、図24の上段右側に示すように、燃料極側の圧力と空気極側の圧力が近接する領域において、圧力保持制御回路110bによる圧力保持制御が実行され、燃料極側の圧力が空気極側よりも低下するのを、より確実に防止する。

【0170】

また、図24の下段に示すように、第2の温度降下工程終了後の自然放置中(図24中段の「自然放置1」)においては、各燃料電池セルユニット16の燃料極に滞留していた燃料ガスが少しずつ流出し、その終期には、空気極側の空気が燃料極側へ拡散し始める場合がある(図24下段(1))。しかしながら、その後、圧力保持制御が開始されるため、蒸発部20a内で発生する水蒸気の圧力により、改質器20下流側の燃料ガス通路内に滞留していた燃料ガスが再び各燃料電池セルユニット16内に移動され、燃料極内の燃料ガス濃度が再び上昇する(図24下段(2))。その後も圧力保持制御により、蒸発部20a内で水蒸気が発生されるため、各燃料電池セルユニット16の燃料極からの燃料ガスの流出分は、燃料ガス通路内に滞留していた燃料ガスにより補われ、燃料極への空気の逆流が防止される。さらに、圧力保持制御の終期において、図24下段(3)に示すように、滞留していた燃料ガスがほぼ全量流出した場合であっても、各燃料電池セルユニット16の燃料極には、圧力保持制御により生成された水蒸気が充満するため、燃料極への空気の逆流が確実に防止される。

【0171】

さらに、圧力保持制御の終了後、自然放置され(図24中段の「自然放置2」)、その後、改質用空気及び発電用空気(改質及び発電は行われぬ)が供給され、パージが実行される。これにより、各燃料電池セルユニット16の燃料極側に残留している燃料ガス及び水蒸気が排出され、発電室10内の空気極側に残留している燃料ガス等も燃料電池モジュール2から排出される。これにより、最も高い頻度で実行される停止モード4において、各燃料電池セルユニット16の燃料極の酸化が確実に回避される。

【0172】

本発明の実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 においては、改質器 20 が改質部 20 c と蒸発部 20 a とを一体的に備え、改質部 20 c と蒸発部 20 a の間に、蒸発部 20 a 内における水の蒸発による改質部 20 c 内の圧力変動を抑制する圧力変動吸収手段（混合部 20 b、混合 / 改質部隔壁 20 f の連通孔 20 g）が設けられている。これにより、シャットダウン停止を実行しながら、燃料極の酸化を防止することができる。まず、改質器 20 が改質部 20 c と蒸発部 20 a とを一体的に備えることにより、シャットダウン停止（図 23 の時刻 t 402）前に蒸発部 20 a に供給されていた水、又はシャットダウン停止後に蒸発部 20 a に供給された水を、シャットダウン停止後において、蒸発部 20 a で蒸発させることができる。さらに、蒸発部 20 a で急激な蒸発が発生した場合には、混合部 20 b 及び混合 / 改質部隔壁 20 f の連通孔 20 g（図 8）が、蒸発部 20 a における急激な圧力上昇が改質部 20 c に伝搬し、改質部 20 c 内の圧力が急激に上昇するのを抑制する。これにより、改質部 20 c 及びその下流側に滞留していた燃料が、一気に、大量に燃料電池セルスタック 14 に送り込まれてしまうのを防止することができる。この結果、改質部 20 c 及びその下流側に滞留していた燃料を長時間に亘って少しずつ燃料電池セルスタック 14 に送り込むことが可能になり、空気極側の空気が燃料極側に流入し、燃料極が酸化されるのを抑制することができる。

10

【0173】

また、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、所定容積のチャンバーを構成する混合部 20 b が蒸発部 20 a 内の急激な圧力上昇の緩衝空間となると共に、狭小流路である連通孔 20 g の流路抵抗により、発生した水蒸気の急激な流れが抑制されるので、簡単な構成で、効果的に圧力変動を吸収することができる。

20

【0174】

さらに、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、蒸発室用断熱材 23（図 2、図 10）が改質器 20 の上方に配置され、燃料電池モジュール 2 の内部における改質器 20 からの熱の発散が抑制される。これにより、シャットダウン停止（図 23 の時刻 t 402）後の改質器 20 内の急激な温度低下が回避されるので、内部の気体が急激に収縮することによる圧力低下を抑制することができ、空気の燃料極側への逆流を防止することができる。

【0175】

また、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、蒸発室用断熱材 23 が蒸発部 20 a の上方に配置され（図 2）ており、蒸発部 20 a からの熱の発散が抑制されるので、蒸発部 20 a の温度が低下しにくく、シャットダウン停止（図 23 の時刻 t 402）後、長期間に亘って水を蒸発させ、燃料極側の圧力低下を抑制することができる。

30

【0176】

さらに、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、蒸発室用断熱材 23 が改質器 20 と空気用熱交換器 22 の間に配置され（図 2）ているので、外気が侵入する空気用熱交換器 22 によって改質器 20 の熱が直接奪われるのを防止することができる。これにより、シャットダウン停止（図 23 の時刻 t 402）後の改質器 20 内の急激な温度低下を回避することができる。

【0177】

また、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、蒸発部 20 a の上方に燃焼ガスの流れが淀む気体滞留空間 21 c（図 2）が形成されているので、蒸発部 20 a の上方で淀んでいる燃焼ガスにより蒸発部 20 a からの熱の発散が抑制され、蒸発部 20 a の温度低下を抑制することができる。

40

【0178】

さらに、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、シャットダウン停止（図 23 の時刻 t 402）後に、蒸発部 20 a に水が供給される（図 23 の時刻 t 404 ~ t 405）ので、シャットダウン停止後長期間に亘って水を蒸発させることができ、燃料極側の圧力低下を抑制することができる。また、蒸発室用断熱材 23 により蒸発部 20 a の温度低下が抑制されているので、シャットダウン停止後に長期間経過した後も、蒸発部 20 a

50

において水を蒸発させることができる。

【 0 1 7 9 】

また、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、シャットダウン停止（図 2 3 の時刻 t 4 0 2）後に、空気極側に空気を供給（図 2 3 の時刻 t 4 0 2 ~ t 4 0 3）して、滞留していた空気及び燃焼ガスを排出するので、空気極側と燃料極側の温度が接近する。このため、燃料極側の燃料ガスの温度が空気極側に対して低下し、燃料極側の燃料ガスが収縮することによる空気の逆流を防止することができる。

【 0 1 8 0 】

さらに、本実施形態の固体酸化物型燃料電池 1 によれば、水の供給が、シャットダウン停止（図 2 3 の時刻 t 4 0 2）後所定時間経過し、燃料極側の圧力が空気極側の圧力に近付いたとき（図 2 3 の時刻 t 4 0 4）開始される。これにより、改質器 2 0 及びその下流側に残留している燃料を長期間温存することができると共に、空気逆流のリスクが高くなったとき、水を蒸発させて燃料極側の圧力を上昇させるため、燃料極の温度が十分に低下するまで、確実に空気の逆流を防止することができる。

【 0 1 8 1 】

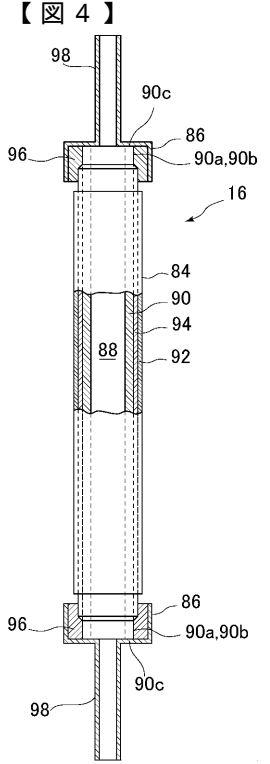
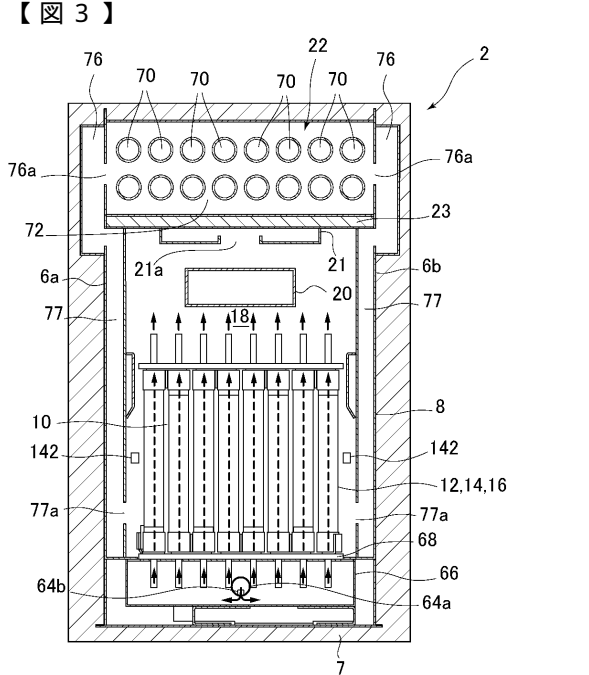
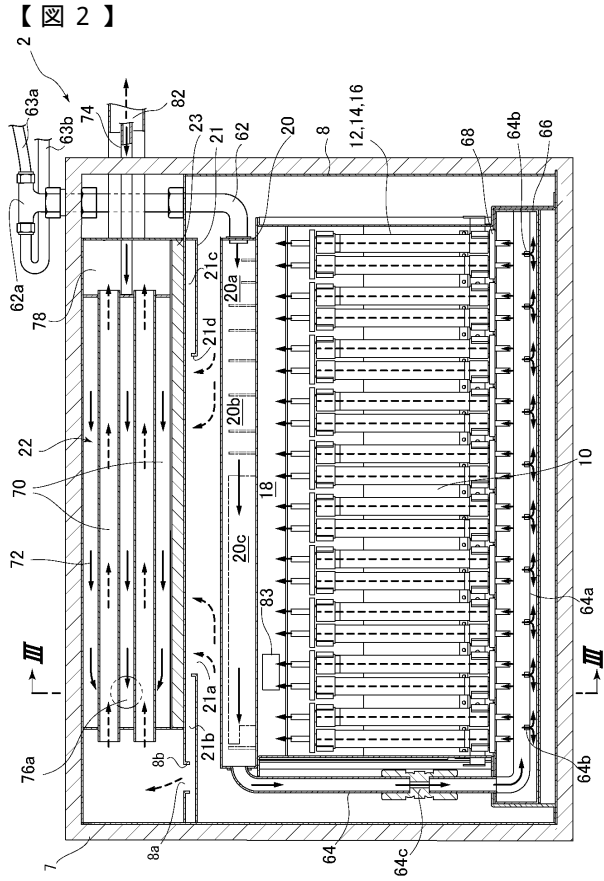
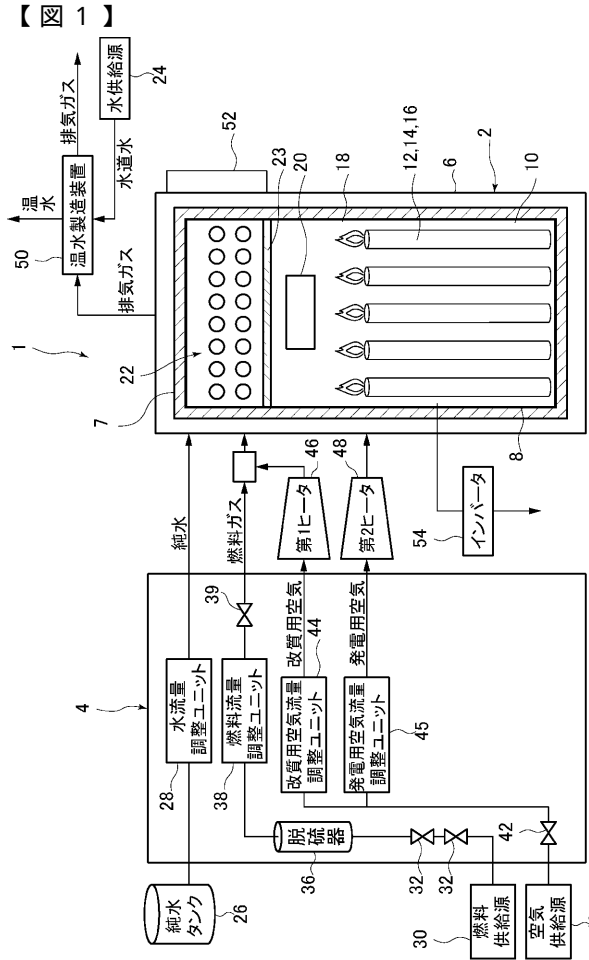
また、上述した本発明の実施形態においては、使用者により停止スイッチが操作された場合（図 1 3 のステップ S 5）には、停止モード 3 が実行されていたが、変形例として、図 2 5 に示すように、停止モード 2 を実行してもよい。図 2 5 は、本発明の変形例による燃料電池装置において、停止モードの選択を行う停止判断のフローチャートである。即ち、この変形例においては、燃料ガスが停止され、電気のみが供給されている場合（図 2 5 のステップ S 3 S 4）、及び使用者により停止スイッチが操作された場合（図 2 5 のステップ S 5 S 4）に、停止モード 2 が実行される。本変形例によれば、停止スイッチが操作された場合に、停止前処理（第 1 の温度降下工程）が実行されることなく、シャットダウン停止が実行されるため、使用者による停止スイッチ操作後、シャットダウン停止に係る制御を速やかに終了することができる。

【 符号の説明 】

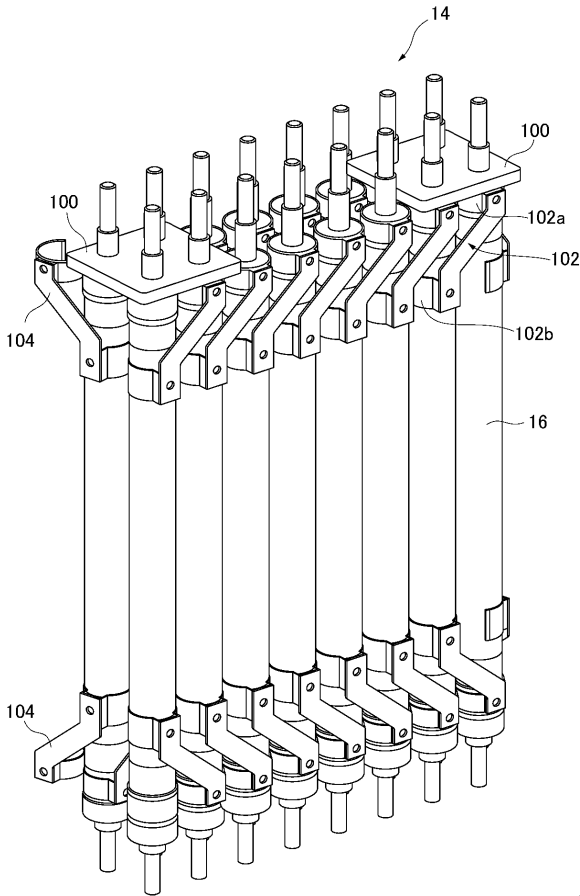
【 0 1 8 2 】

- | | | |
|-------|--------------------------|----|
| 1 | 固体酸化物型燃料電池 | |
| 2 | 燃料電池モジュール | |
| 4 | 補機ユニット | 30 |
| 7 | 断熱材（蓄熱材） | |
| 8 | ケース | |
| 8 a | 連通開口 | |
| 8 b | 下がり壁 | |
| 1 0 | 発電室 | |
| 1 2 | 燃料電池セル集合体 | |
| 1 4 | 燃料電池セルスタック | |
| 1 6 | 燃料電池セルユニット（固体酸化物型燃料電池セル） | |
| 1 8 | 燃焼室（燃焼部） | |
| 2 0 | 改質器 | 40 |
| 2 0 a | 蒸発部（蒸発室） | |
| 2 0 b | 混合部（圧力変動吸収手段） | |
| 2 0 c | 改質部 | |
| 2 0 d | 蒸発 / 混合部隔壁 | |
| 2 0 e | 隔壁開口 | |
| 2 0 f | 混合 / 改質部隔壁（圧力変動吸収手段） | |
| 2 0 g | 連通孔（狭小流路） | |
| 2 1 | 整流板（隔壁） | |
| 2 1 a | 開口部 | |
| 2 1 b | 排気通路 | 50 |

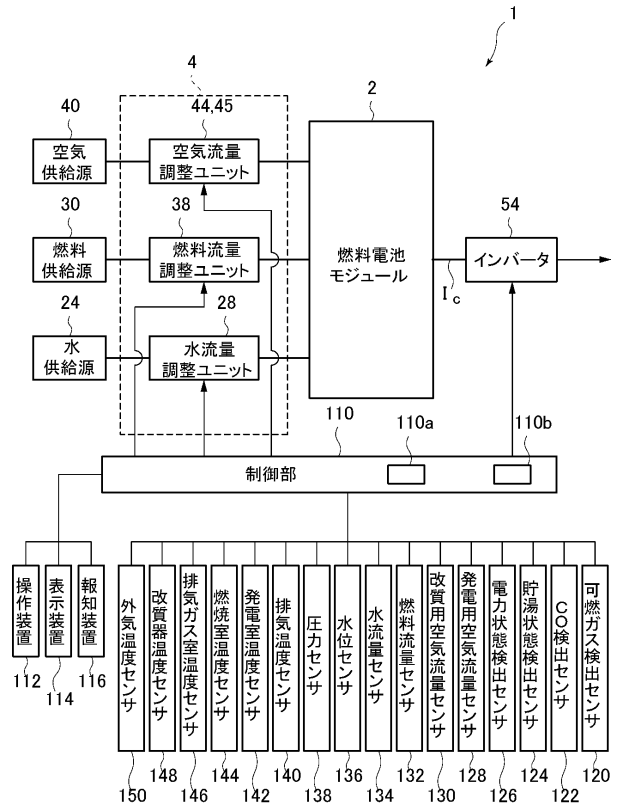
2 1 c	気体滞留空間	
2 1 d	縦壁	
2 2	空気用熱交換器（熱交換器）	
2 3	蒸発室用断熱材（内部断熱材）	
2 4	水供給源	
2 6	純水タンク	
2 8	水流量調整ユニット（水供給装置）	
3 0	燃料供給源	
3 8	燃料流量調整ユニット（燃料供給装置）	
3 9	バルブ	10
4 0	空気供給源	
4 4	改質用空気流量調整ユニット（改質用の酸化剤ガス供給装置）	
4 5	発電用空気流量調整ユニット（発電用の酸化剤ガス供給装置）	
4 6	第1ヒータ	
4 8	第2ヒータ	
5 0	温水製造装置（排熱回収用の熱交換器）	
5 2	制御ボックス	
5 4	インバータ	
6 2	改質器導入管（水導入管、予熱部、結露部）	
6 2 a	T字管（結露部）	20
6 3 a	水供給用配管	
6 3 b	燃料ガス供給用配管	
6 4	燃料ガス供給管	
6 4 c	圧力変動抑制用流路抵抗部	
6 6	マニホールド（分散室）	
7 6	空気導入管	
7 6 a	吹出口	
8 2	排気ガス排出管	
8 3	点火装置	
8 4	燃料電池セル	30
8 5	排気バルブ	
8 6	内側電極端子（キャップ）	
9 8	燃料ガス流路細管（流入側流路抵抗部、流出側流路抵抗部、絞り流路、加速部）	
1 1 0	制御部（コントローラ）	
1 1 0 a	シャットダウン停止回路	
1 1 0 b	圧力保持制御回路	
1 1 2	操作装置	
1 1 4	表示装置	
1 1 6	警報装置	40
1 2 6	電力状態検出センサ（需要電力検出手段）	
1 3 2	燃料流量センサ（燃料供給量検出センサ）	
1 3 8	圧力センサ（改質器圧力センサ）	
1 4 2	発電室温度センサ（温度検出手段）	
1 4 8	改質器温度センサ	
1 5 0	外気温度センサ	



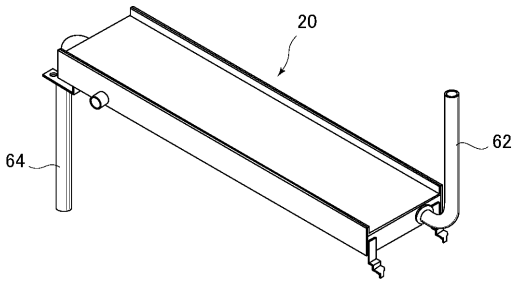
【図5】



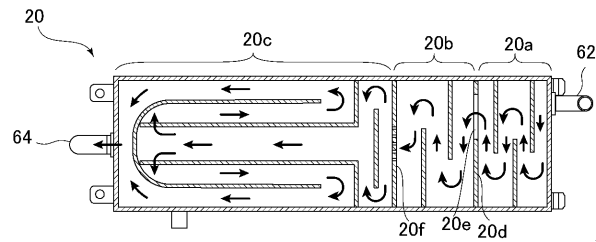
【図6】



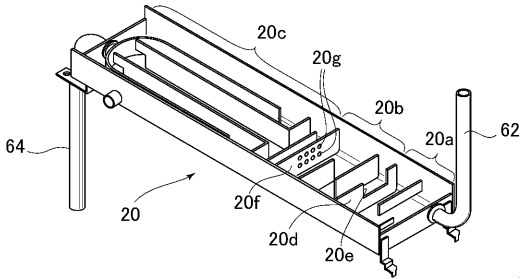
【図7】



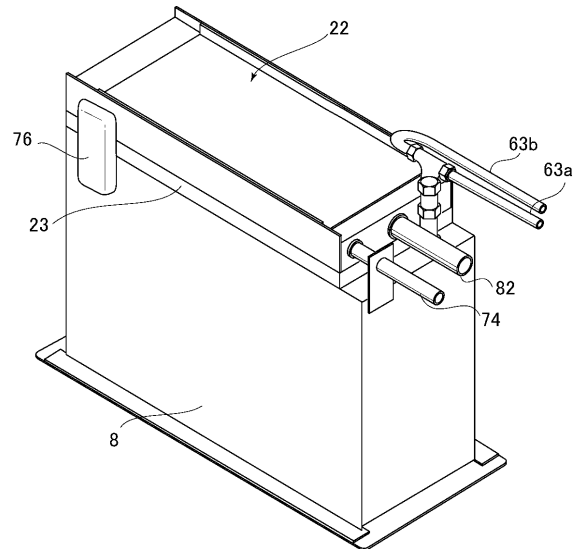
【図9】



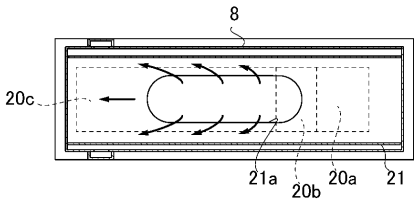
【図8】



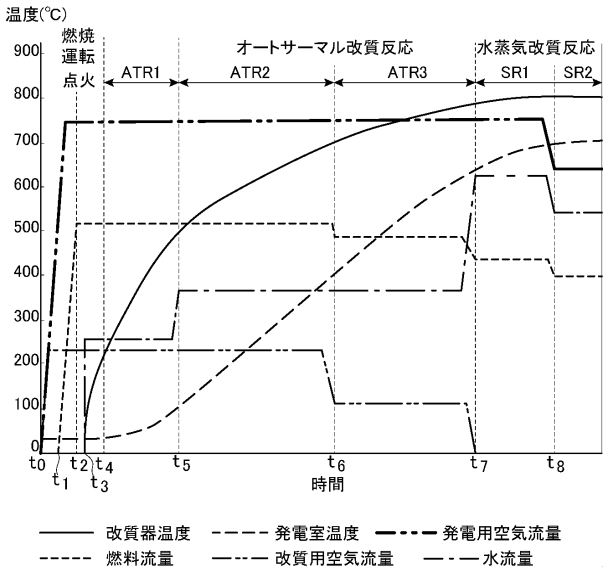
【図10】



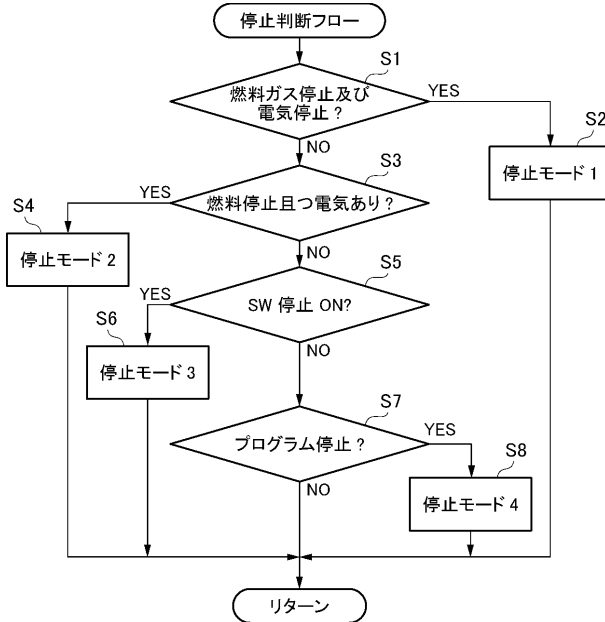
【図11】



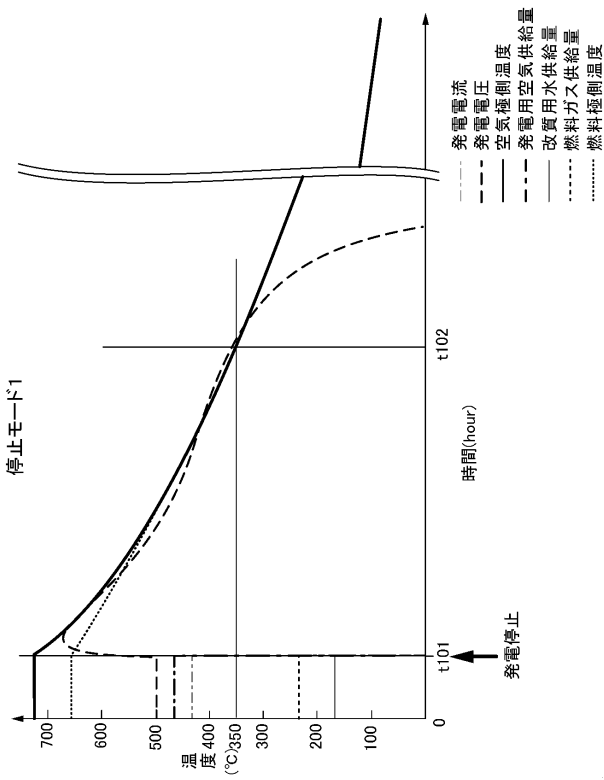
【図12】



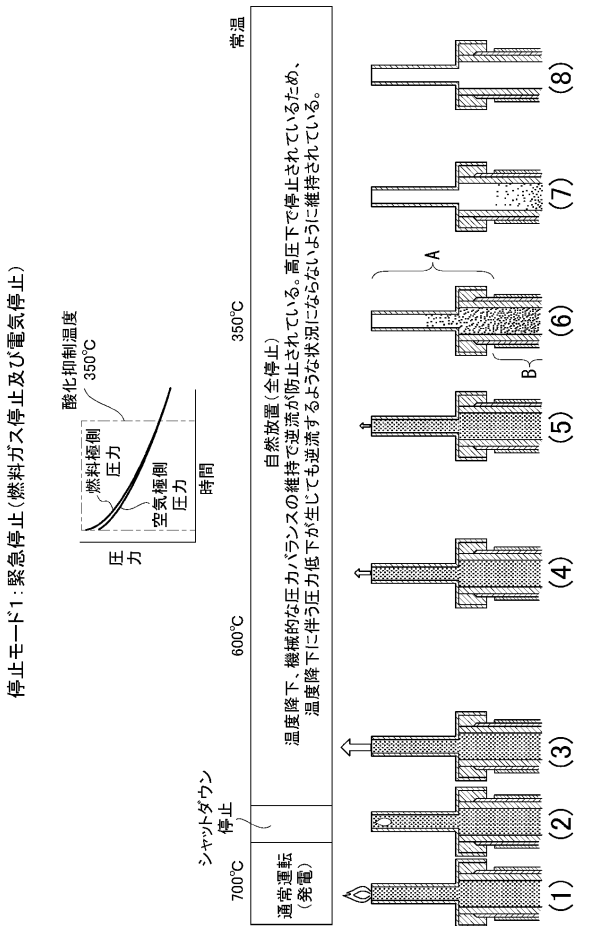
【図13】



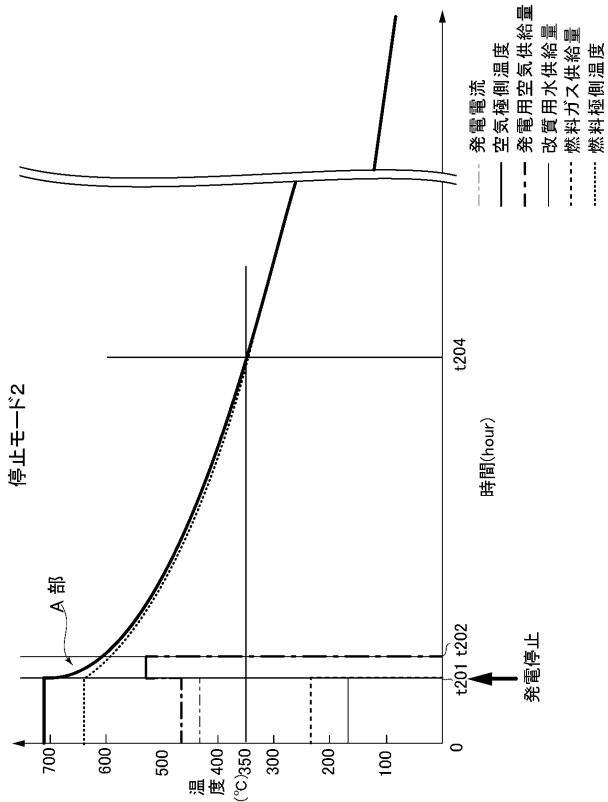
【図14】



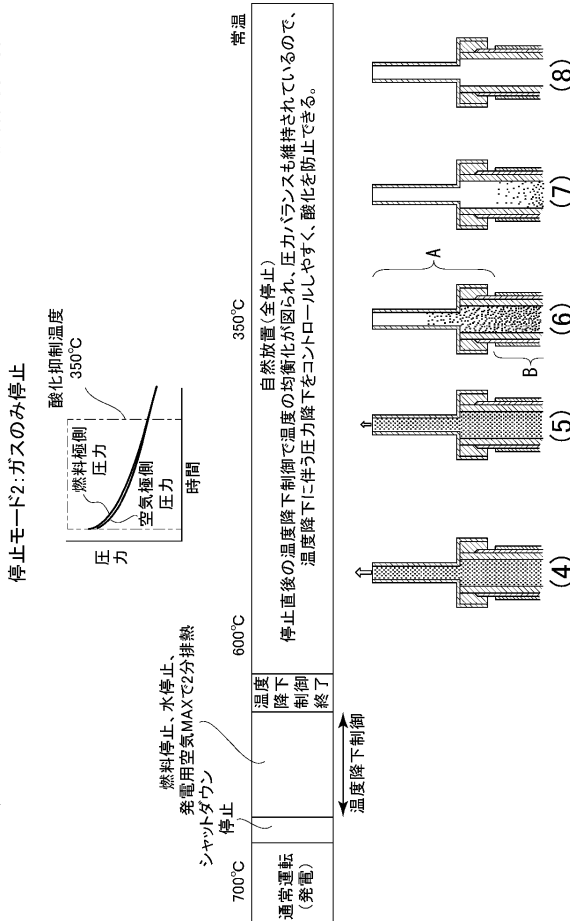
【図15】



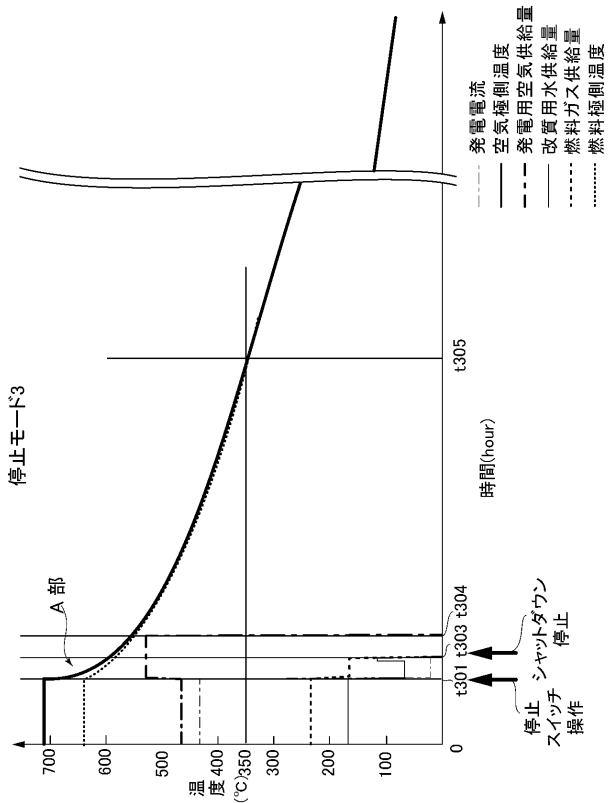
【 図 16 】



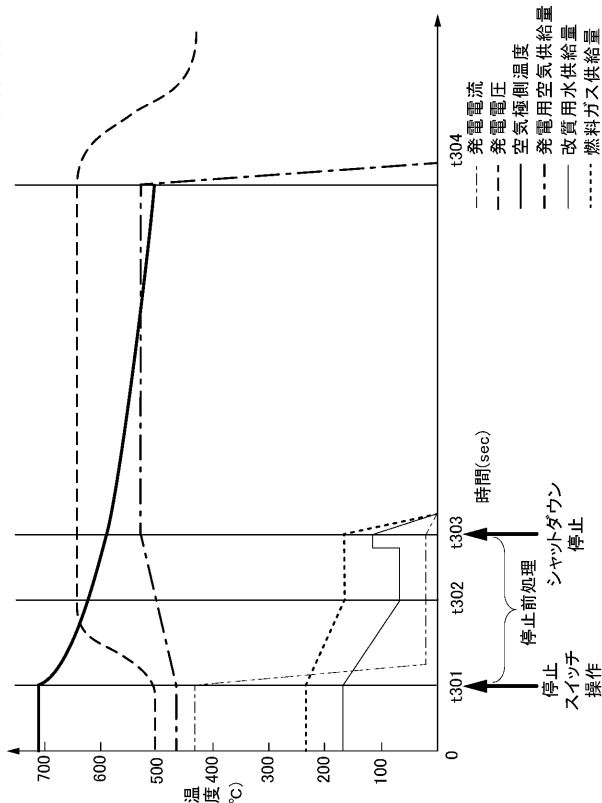
【 図 17 】



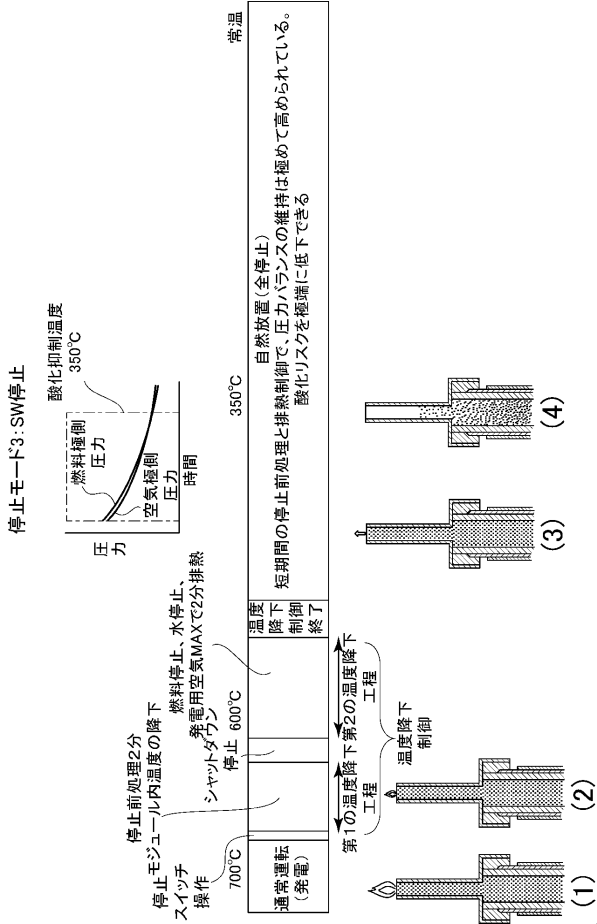
【 図 18 】



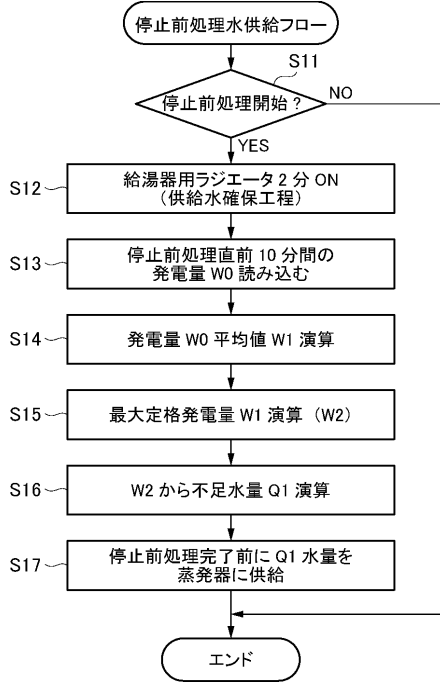
【 図 19 】



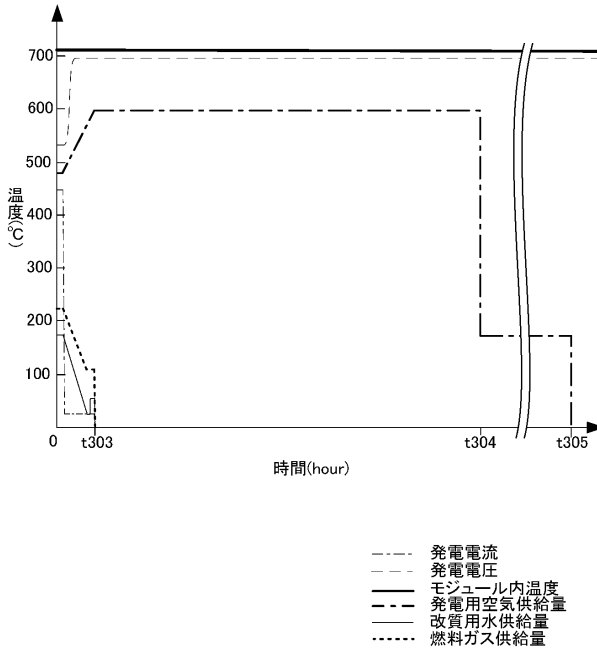
【図20】



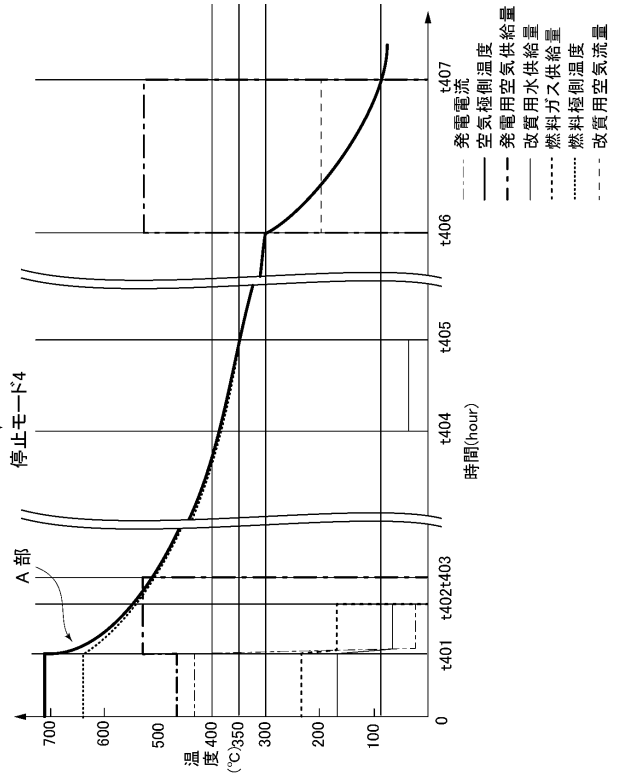
【図21】



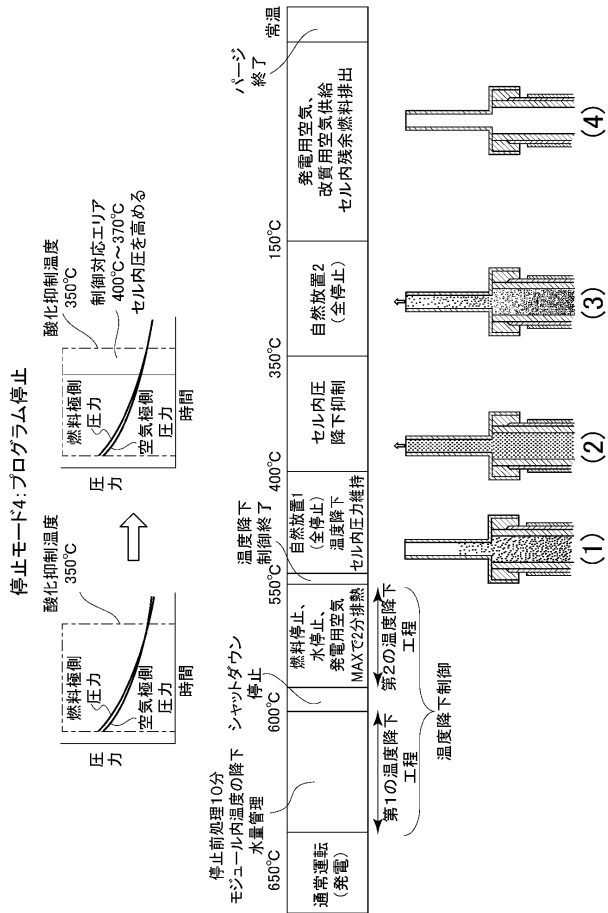
【図22】



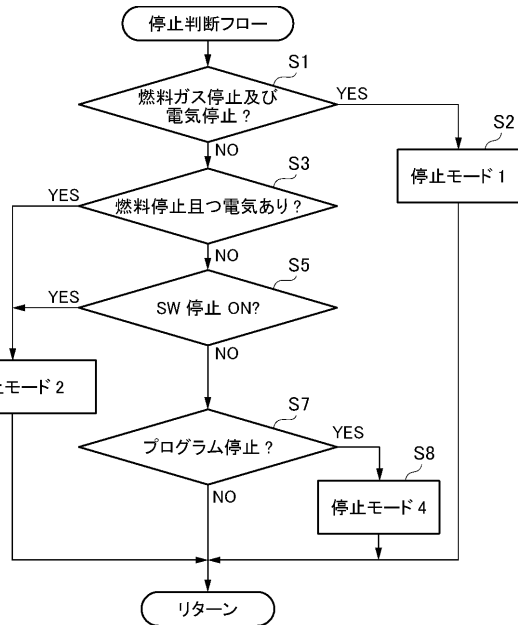
【図23】



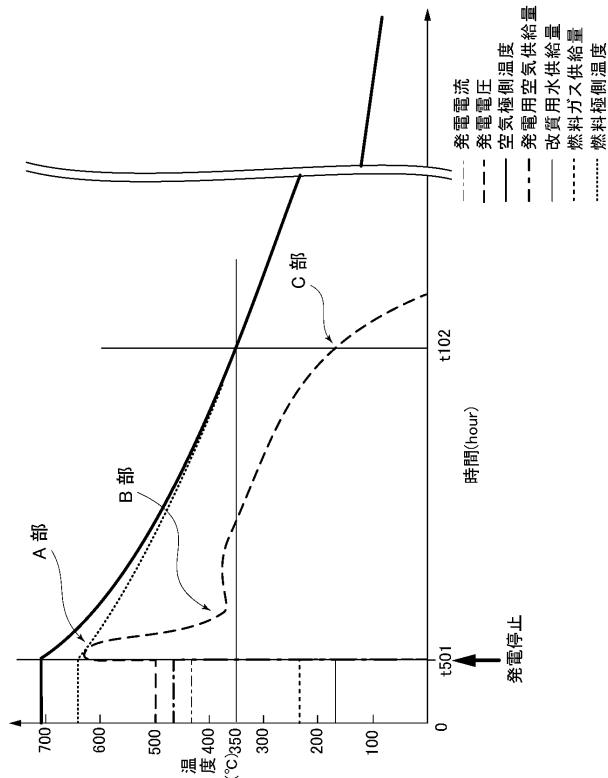
【図24】



【図25】



【図26】



フロントページの続き

- (74)代理人 100098475
弁理士 倉澤 伊知郎
- (74)代理人 100123630
弁理士 渡邊 誠
- (72)発明者 松尾 卓哉
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 大塚 俊治
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 土屋 勝久
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 島津 めぐみ
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 赤木 陽祐
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 小林 千尋
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2011-8993(JP,A)
特開2011-207711(JP,A)
特開2011-210631(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/00 - 8/24