

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5500504号
(P5500504)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月20日(2014.3.20)

(51) Int. Cl.			F I		
HO 1 M	8/04	(2006.01)	HO 1 M	8/04	X
HO 1 M	8/06	(2006.01)	HO 1 M	8/04	P
HO 1 M	8/12	(2006.01)	HO 1 M	8/06	G
CO 1 B	3/38	(2006.01)	HO 1 M	8/12	
			CO 1 B	3/38	

請求項の数 11 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2010-114967 (P2010-114967)	(73) 特許権者	000010087
(22) 出願日	平成22年5月19日(2010.5.19)		TOTO株式会社
(65) 公開番号	特開2011-9193 (P2011-9193A)		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23年1月13日(2011.1.13)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成25年5月14日(2013.5.14)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	特願2009-129050 (P2009-129050)	(74) 代理人	100088694
(32) 優先日	平成21年5月28日(2009.5.28)		弁理士 弟子丸 健
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100103609
			弁理士 井野 砂里
		(74) 代理人	100095898
			弁理士 松下 満
		(74) 代理人	100098475
			弁理士 倉澤 伊知郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体電解質型燃料電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料と発電用の酸化剤ガスを反応させて発電する固体電解質型燃料電池であって、
複数の固体電解質型燃料電池セルを備えた燃料電池モジュールと、
発電に使用する燃料を供給する燃料供給装置と、

この燃料供給装置から供給された燃料を改質し、改質された燃料を上記固体電解質型燃料電池セルに供給すると共に、上記固体電解質型燃料電池セルにおいて発電に使用されずに残った燃料を上記固体電解質型燃料電池セルの上端で燃焼させることにより加熱されるように上記固体電解質型燃料電池セルの上方に配置された改質器と、

この改質器に水を供給する水供給装置と、

上記固体電解質型燃料電池セルに発電用の酸化剤ガスを供給する発電用酸化剤ガス供給装置と、

上記燃料電池モジュールの上記固体電解質型燃料電池セルを発電可能な温度まで上昇させる起動時において、上記燃料供給装置、及び上記水供給装置を制御して、上記改質器内で、水蒸気改質反応のみが発生するSR運転を行い、その後、発電を開始させるコントローラと、を有し、

上記コントローラは、SR運転中における燃料供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように上記燃料供給装置を制御することを特徴とする固体電解質型燃料電池。

【請求項2】

10

20

上記コントローラは、S R 運転中における水供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように上記水供給装置を制御する請求項 1 記載の固体電解質型燃料電池。

【請求項 3】

上記コントローラは、S R 運転中における酸化剤ガス供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように上記発電用酸化剤ガス供給装置を制御する請求項 2 記載の固体電解質型燃料電池。

【請求項 4】

上記燃料電池モジュールは、所定の出力電力範囲の電力を出力するように構成されており、上記コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多くなるように、上記燃料供給装置を制御する請求項 1 記載の固体電解質型燃料電池。

10

【請求項 5】

上記コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるように、上記燃料供給装置を制御する請求項 4 記載の固体電解質型燃料電池。

【請求項 6】

上記コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、上記出力電力範囲の中間値に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるように、上記燃料供給装置を制御する請求項 5 記載の固体電解質型燃料電池。

20

【請求項 7】

上記コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、上記出力電力範囲の概ね最大値に対応する値に固定されるように、上記燃料供給装置を制御する請求項 5 記載の固体電解質型燃料電池。

【請求項 8】

上記コントローラは、発電開始直前の S R 運転における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の割合とは異なる所定の発電待機供給割合になるように、上記燃料供給装置、上記水供給装置、及び上記発電用酸化剤ガス供給装置を制御する請求項 3 に記載の固体電解質型燃料電池。

30

【請求項 9】

上記発電待機供給割合は、燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合よりも小さくなるように設定されている請求項 8 記載の固体電解質型燃料電池。

【請求項 10】

上記発電待機供給割合は、燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める発電用酸化剤ガス供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める発電用酸化剤ガス供給量の割合よりも多くなるように設定されている請求項 9 記載の固体電解質型燃料電池。

40

【請求項 11】

燃料と発電用の酸化剤ガスを反応させて発電する固体電解質型燃料電池であって、
 複数の固体電解質型燃料電池セルを備えた燃料電池モジュールと、
 発電に使用する燃料を供給する燃料供給手段と、
 この燃料供給手段から供給された燃料を改質し、改質された燃料を上記固体電解質型燃料電池セルに供給すると共に、上記固体電解質型燃料電池セルにおいて発電に使用されずに残った燃料を上記固体電解質型燃料電池セルの上端で燃焼させることにより加熱されるように上記固体電解質型燃料電池セルの上方に配置された改質器と、
 この改質器に水を供給する水供給手段と、
 上記固体電解質型燃料電池セルに発電用の酸化剤ガスを供給する発電用酸化剤ガス供給

50

手段と、

上記燃料電池モジュールの上記固体電解質型燃料電池セルを発電可能な温度まで上昇させる起動時において、上記燃料供給手段、及び上記水供給手段を制御して、上記改質器内で、水蒸気改質反応のみが発生するSR運転を行い、その後、発電を開始させる制御手段と、を有し、

上記制御手段は、SR運転中における燃料供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように上記燃料供給手段を制御することを特徴とする固体電解質型燃料電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、固体電解質型燃料電池に関し、特に、燃料と発電用の酸化剤ガスを反応させて発電する固体電解質型燃料電池に関する。

【背景技術】

【0002】

固体電解質型燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell：以下「SOFC」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、比較的高温で動作する燃料電池である。

【0003】

20

このSOFCにおいては、酸化物イオン導電性固体電解質を通過した酸素イオンと燃料との反応によって水蒸気又は二酸化炭素を生成し、電気エネルギー及び熱エネルギーが発生する。電気エネルギーは、SOFC外部に取り出されて、各種電氣的用途に使用される。一方、熱エネルギーは、燃料、改質器、水及び酸化剤等の温度を上昇させるために使用される。

【0004】

特開2007-103194号公報（特許文献1）には、固体酸化物形燃料電池を備えた電源が記載されている。ここに記載されている燃料電池においては、発電に寄与した後の燃料及び空気が、燃焼室で燃焼され、その燃焼熱がセルスタックの加熱に利用されている。

30

【0005】

また、特開2009-32555号公報（特許文献2）には、燃料電池装置が記載されている。この燃料電池装置では、起動処理工程において、燃料ガスを供給するための改質器、及び燃料電池セルが所定の温度まで昇温される。また、起動処理工程において、改質器内では、部分酸化改質法（POX）、オートサーマル法（ATR）、水蒸気改質法（SR）が温度の上昇と共に切り替えて実行され、燃料の改質が行われる。

【0006】

さらに、特開2009-32555号公報に記載されている燃料電池装置では、セルスタックの温度が発電開始可能な温度に達するとセルスタックによる発電が開始されると共に、発電開始可能な温度を超えてから所定時間が経過するまでの間は、改質器に供給される燃料ガス及びセルスタックに供給される酸素含有ガスの所定流量を継続して供給しながら発電する制御が行われる。これにより、所定流量の継続した供給が終了した後、それに続く負荷追従運転を開始する際に十分な発電量を得ている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2007-103194号公報

【特許文献2】特開2009-32555号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 8 】

しかしながら、特開 2 0 0 9 - 3 2 5 5 5 号公報に記載されているように起動を行う固体電解質型燃料電池においても、所定流量の燃料及び酸化剤ガスを継続して供給しながら発電した後、負荷追従運転を開始した際、固体電解質型燃料電池の運転が不安定になるという問題がある。即ち、起動状態から通常の発電状態に移行する際に、燃料電池の運転が不安定になりやすいという問題がある。特に、負荷に追従して発電量を変化させるタイプの燃料電池においては、例えば、負荷追従運転開始時の要求電力が小さい場合には、供給する燃料の量が負荷追従運転の開始と共に急激に減少する。このため、改質器を加熱するために燃焼される燃料の量が減少するのに加えて、改質器内で発生している水蒸気改質反応は吸熱反応であるため、改質器及びセルスタックの温度が急低下し、正常な発電ができなくなる場合がある。特に、発電開始時にセルスタックの温度が低下してしまうと、これを発電可能な温度まで回復させるには長い時間を要するので、長時間に亘って正常な発電ができなくなるという問題がある。

10

【 0 0 0 9 】

従って、本発明は、起動状態から発電状態に円滑に移行することができる固体電解質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】

【 0 0 1 0 】

上述した課題を解決するために、本発明は、燃料と発電用の酸化剤ガスを反応させて発電する固体電解質型燃料電池であって、複数の固体電解質型燃料電池セルを備えた燃料電池モジュールと、発電に使用する燃料を供給する燃料供給装置と、この燃料供給装置から供給された燃料を改質し、改質された燃料を固体電解質型燃料電池セルに供給すると共に、固体電解質型燃料電池セルにおいて発電に使用されずに残った燃料を固体電解質型燃料電池セルの上端で燃焼させることにより加熱されるように固体電解質型燃料電池セルの上方に配置された改質器と、この改質器に水を供給する水供給装置と、固体電解質型燃料電池セルに発電用の酸化剤ガスを供給する発電用酸化剤ガス供給装置と、燃料電池モジュールの固体電解質型燃料電池セルを発電可能な温度まで上昇させる起動時において、燃料供給装置、及び水供給装置を制御して、改質器内で、水蒸気改質反応のみが発生するSR運転を行い、その後、発電を開始させるコントローラと、を有し、コントローラは、SR運転中における燃料供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように燃料供給装置を制御することを特徴としている。

20

30

【 0 0 1 1 】

このように構成された本発明においては、コントローラは、燃料供給装置、水供給装置及び発電用酸化剤ガス供給装置を制御して、改質器に燃料、及び水を供給し、固体電解質型燃料電池セルに発電用酸化剤ガスを供給する。また、固体電解質型燃料電池セルにおいて発電に使用されずに残った燃料は燃焼され、改質器の加熱に利用される。また、制御部は、固体電解質型燃料電池セルを発電可能な温度に上昇させる起動時において、改質器内で水蒸気改質反応のみが発生するSR運転を行う。ここで、SR運転中における燃料供給量は、発電開始前において減少された後、発電が開始される。

【 0 0 1 2 】

起動時のSR運転中における燃料供給量は、一般に、燃料電池モジュールや改質器温度を発電可能な温度まで上昇させるために発電時の燃料供給量よりも多く設定されている。このため、起動時のSR運転から発電に移行すると、発電に必要な量まで急激に燃料供給量が減少するので燃料電池モジュールや改質器を加熱する燃焼熱が減少する。加えて、SR運転中においては、発電が行われていないため固体電解質型燃料電池セルに供給された燃料の全てが燃焼され、その燃焼熱で改質器が加熱されるが、発電が開始されると、燃料が発電にも消費されるようになるため、燃焼される燃料は供給される燃料の減少分以上に減少され、燃焼熱はさらに減少されることになる。

40

また、固体電解質型燃料電池セルは複数本あるので、燃料供給量が変化した直後には各セルへの燃料供給量にばらつきが発生してしまう。さらに、セルの上端上方に設けられた

50

改質器内では吸熱反応である水蒸気改質反応が行われている。よって、各セル間で燃料供給量にばらつきがあり、他のセルよりも燃料供給量の減少が大きいセルの近傍では、燃料の燃焼による燃焼熱よりも改質器による吸熱が大きくなり、燃料電池モジュール温度や改質器温度が低下してしまい、各固体電解質型燃料電池セルの間で温度ムラが発生するという問題があった。この温度ムラがある状態で発電を開始させてしまうと、温度が低かったり燃料供給量が発電に必要な量を下回ったりしているセルに過大な負荷がかかって、セルが破損する等の不具合が発生するという問題があった。

本発明によれば、起動時のSR運転中における燃料供給量が、発電開始前において減少された後、発電が開始されるので、発電開始時における燃料供給量の減少が緩やかになり、各固体電解質型燃料電池セルの間での温度ムラを抑制することができ、この結果、個々の固体電解質型燃料電池セルに過大な負荷がかかることを防止できるため、固体電解質型燃料電池セルの耐用年数を延長することができる。さらに、本発明によれば、SR運転中における燃料供給量が、発電開始前において減少されているので、発電開始時に燃料供給量を急激に変化させたことによる温度ムラの発生を緩和することができ、一部の固体電解質型燃料電池セルの大きな温度低下や燃料不足による損傷を防止することができる。また、本発明によれば、SR運転から発電に移行する際の燃料供給量の減少が緩やかに発生するので、発電開始後、固体電解質型燃料電池セルに電流が流れることによるジュール熱による温度上昇効果が現れるまでに、固体電解質型燃料電池セルの温度が急激に低下するのを防止することができる。

【0013】

本発明において、好ましくは、コントローラは、SR運転中における水供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように水供給装置を制御する。

【0014】

このように構成された本発明によれば、SR運転中における水供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるので、発電開始前の燃料供給量の減少に伴って燃料に対して水が過剰となるのを防止することができる。水分が過剰になると、改質器内で余った水分を含む燃料が燃焼されることになるので燃焼が不安定になり、改質器の加熱が十分に行なえず改質器の温度が低下する虞がある。また、水分が過剰な燃料が固体電解質型燃料電池セルに供給されると、セルの燃料極が酸化され、セルの耐用年数を短縮する虞がある。このように構成された本発明によれば、これらの問題を回避することができる。

【0015】

本発明において、好ましくは、コントローラは、SR運転中における酸化剤ガス供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように発電用酸化剤ガス供給装置を制御する。

【0016】

一般に、起動時においては、固体電解質型燃料電池セルの温度が低く、燃料の燃焼が不安定であるため、不完全燃焼による一酸化炭素が発生しやすい状況にあり、酸化剤ガス供給量を多くすることにより一酸化炭素を希釈している。一方、発電開始時には、温度が上昇しているため、発電するために適量の減少された酸化剤ガスが供給される。しかしながら、発電開始時に酸化剤ガス供給量を急激に減少させると、燃料電池モジュール内の気流が乱れて、燃料の燃焼が不安定になりやすい。特に、発電開始後は、燃料供給量も減少されているため、燃焼の炎が小さく、燃焼は一層不安定になる。このように構成された本発明によれば、SR運転中における酸化剤ガス供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるので、発電開始時に急激に酸化剤ガス供給量が減少され、燃焼が不安定になるのを防止することができる。

【0017】

本発明において、好ましくは、燃料電池モジュールは、所定の出力電力範囲の電力を出力するように構成されており、コントローラは、SR運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多くなるように、燃料供給装置を制御する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

S R 運転中においては、燃料電池モジュールの温度が十分に上昇していなかったり、温度ムラが発生している場合があるので、発電開始に急激に燃料供給量を減らすと、改質器内の水蒸気改質反応による吸熱が発熱量よりも大きくなって、改質器の温度や、固体電解質型燃料電池セルの温度が低下してしまう虞があり、一旦温度が低下すると、温度の回復には長い時間を要する。このように構成された本発明によれば、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多いので、燃料供給量の減らしすぎによる温度低下を防止することができる。

【 0 0 1 9 】

本発明において、好ましくは、コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるように、燃料供給装置を制御する。

10

【 0 0 2 0 】

このように構成された本発明によれば、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、S R 開始時における燃料供給量よりも少なく、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多い値に固定されるので、発電開始前における燃料の浪費を抑制しながら、固体電解質型燃料電池セルの温度が低下しすぎるのを防止することができる。さらに、発電開始直前において燃料供給量が固定されるので、S R 運転中において燃料電池モジュール内の気流を安定させることができ、発電開始時における気流の乱れを抑制することができる。

20

【 0 0 2 1 】

本発明において、好ましくは、コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、出力電力範囲の中間値に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるように、燃料供給装置を制御する。

【 0 0 2 2 】

このように構成された本発明によれば、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、出力電力範囲の中間値に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるので、発電開始時の燃料供給量の変化幅を抑制することができる。また、中間値に対応する燃料供給量よりも多い値に固定されるので、燃料電池モジュールの温度の下がりすぎを防止することができる。さらに、発電開始直前において燃料供給量が固定されるので、発電開始時における運転状態を安定させることができる。

30

【 0 0 2 3 】

本発明において、好ましくは、コントローラは、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、出力電力範囲の概ね最大値に対応する値に固定されるように、燃料供給装置を制御する。

【 0 0 2 4 】

このように構成された本発明によれば、S R 運転中において発電開始前に減少された燃料供給量が、出力電力範囲の概ね最大値に対応する値に固定されるので、S R 運転中における燃料供給量の変化幅を小さくできると共に、燃料供給量を減らしすぎることによる燃料電池モジュールの温度の想定外の温度の低下を防止することができる。また、このように構成された本発明によれば、発電開始時の要求電力が出力電力範囲内のどの電力であっても円滑に発電状態に移行することができる。さらに、発電開始直前において燃料供給量が固定されるので、発電開始時における運転状態を安定させることができる。

40

【 0 0 2 5 】

本発明において、好ましくは、コントローラは、発電開始直前のS R 運転における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の割合とは異なる所定の発電待機供給割合になるように、燃料供給装置、水供給装置、及び発電用酸化剤ガス供給装置を制御する。

【 0 0 2 6 】

一般に、発電時における供給量の割合は、所定の割合に設定される。このように構成さ

50

れた本発明によれば、発電待機用の所定の供給量の割合が発電時における供給量の割合とは異なる割合にされているので、発電待機用の所定の供給量の割合を発電開始を待機するために最適化された値に設定することにより、円滑に発電状態に移行することができる。具体的には、発電待機用の所定の供給量の割合を適切に設定することにより、SR運転中及び発電開始時における燃料電池モジュールの温度低下や、気流の乱れ、燃料の燃焼の不安定を防止することができる。

【0027】

本発明において、好ましくは、発電待機供給割合は、燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合よりも小さくなるように設定されている。

10

【0028】

このように構成された本発明によれば、発電待機用の供給量の割合は、燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める燃料供給量の割合よりも小さくなるように設定されているので、発電開始時においては、燃料供給量の変化幅が最も小さくなるので、発電移行時に、燃料の燃焼が不安定になるのを防止することができる。

【0029】

本発明において、好ましくは、発電待機供給割合は、燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める発電用酸化剤ガス供給量の割合が、発電時における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の全体に占める発電用酸化剤ガス供給量の割合よりも多くなるように設定されている。

20

【0030】

このように構成された本発明によれば、SR運転中において発電開始前に燃料供給量が減少される際、発電用酸化剤ガス供給量はあまり減少されないため、燃料電池モジュール内を流れる気体の流量の変化幅を小さくすることができ、SR運転中に燃料供給量が減少した場合であっても、気流の乱れを比較的小さくすることができる。

【0031】

また、本発明は、燃料と発電用の酸化剤ガスを反応させて発電する固体電解質型燃料電池であって、複数の固体電解質型燃料電池セルを備えた燃料電池モジュールと、発電に使用する燃料を供給する燃料供給手段と、この燃料供給手段から供給された燃料を改質し、改質された燃料を固体電解質型燃料電池セルに供給すると共に、固体電解質型燃料電池セルにおいて発電に使用されずに残った燃料を固体電解質型燃料電池セルの上端で燃焼させることにより加熱されるように固体電解質型燃料電池セルの上方に配置された改質器と、この改質器に水を供給する水供給手段と、固体電解質型燃料電池セルに発電用の酸化剤ガスを供給する発電用酸化剤ガス供給手段と、燃料電池モジュールの固体電解質型燃料電池セルを発電可能な温度まで上昇させる起動時において、燃料供給手段、及び水供給手段を制御して、改質器内で、水蒸気改質反応のみが発生するSR運転を行い、その後、発電を開始させる制御手段と、を有し、制御手段は、SR運転中における燃料供給量を、発電開始前において減少させた後、発電が開始されるように燃料供給手段を制御することを特徴としている。

30

40

【発明の効果】

【0032】

本発明の固体電解質型燃料電池によれば、起動状態から発電状態に円滑に移行することができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池(SOFC)を示す全体構成図である。

50

【図2】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）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線に沿って断面図である。

【図4】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）の燃料電池セル単体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固体電解質型燃料電池（SOFC）の燃料電池セルスタックを示す斜視図である。

【図6】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）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固体電解質型燃料電池（SOFC）の起動時の動作を示すタイムチャートである。

10

【図8】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）の運転停止時の動作を示すタイムチャートである。

【図9】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）の負荷追従運転を説明するタイムチャートである。

【図10】本発明の一実施形態において、制御部に入力される要求発電量と、要求発電量を生成するために必要な燃料供給量の関係の一例を示すグラフである。

【図11】本発明の一実施形態において、要求発電量の変更に対する燃料供給量の時間的変化の一例を示すグラフである。

【図12】本発明の一実施形態において、要求発電量と、要求発電量を生成するために必要な燃料供給量、発電用空気供給量、水供給量の関係の一例を示すデータテーブルである。

20

【図13】本発明の一実施形態において、固体電解質型燃料電池の起動処理手順の一例を示す動作テーブルである。

【発明を実施するための形態】

【0034】

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

図1は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（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電解質型燃料電池（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。

30

【0035】

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（図示せず但し断熱材は必須の構成ではなく、なくても良いものである。）を介して密封空間8が形成されている。なお、断熱材は設けなくても良い。この密閉空間8の下方部分である発電室10には、燃料ガスと酸化剤（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。

40

【0036】

燃料電池モジュール2の密封空間8の上述した発電室10の上方には、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ガスと残余の酸化剤（空気）とが燃焼し、排気ガスを生成するようになっている。

また、この燃焼室18の上方には、燃料ガスを改質する改質器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、燃焼熱を受けて空気を加熱するための空気用熱交換器22が配置されている。

【0037】

50

次に、補機ユニット4は、水道等の水供給源24からの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ガス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）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「空気プロア」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。

10

【0038】

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。

20

【0039】

次に、図2及び図3により、本発明の実施形態による固体電解質型燃料電池（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電解質型燃料電池（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内の密閉空間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。

【0040】

30

改質器20は、その上流端側に純水を導入するための純水導入管60と改質される燃料ガスと改質用空気を導入するための被改質ガス導入管62が取り付けられ、また、改質器20の内部には、上流側から順に、蒸発部20aと改質部20bを形成され、改質部20b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。

【0041】

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64aの下方面には、複数の燃料供給孔64bが形成されており、この燃料供給孔64b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。

40

【0042】

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。

【0043】

次に、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。この空気用熱交換器22は、上流側に空気集約室70、下流側に2つの空気分配室72を備え、これらの

50

空気集約室 70 と空気分配室 72 は、6 個の空気流路管 74 により接続されている。ここで、図 3 に示すように、3 個の空気流路管 74 が一組 (74 a, 74 b, 74 c, 74 d, 74 e, 74 f) となっており、空気集約室 70 内の空気が各組の空気流路管 74 からそれぞれの空気分配室 72 へ流入する。

【0044】

空気用熱交換器 22 の 6 個の空気流路管 74 内を流れる空気は、燃焼室 18 で燃焼して上昇する排気ガスにより予熱される。

空気分配室 72 のそれぞれには、空気導入管 76 が接続され、この空気導入管 76 は、下方に延び、その下端側が、発電室 10 の下方空間に連通し、発電室 10 に余熱された空気を導入する。

10

【0045】

次に、マニホールド 66 の下方には、排気ガス室 78 が形成されている。また、図 3 に示すように、ハウジング 6 の長手方向に沿った面である前面 6a と後面 6b の内側には、上下方向に延びる排気ガス通路 80 が形成され、この排気ガス室通路 80 の上端側は、空気用熱交換器 22 が配置された空間と連通し、下端側は、排気ガス室 78 と連通している。また、排気ガス室 78 の下面のほぼ中央には、排気ガス排出管 82 が接続され、この排気ガス排出管 82 の下流端は、図 1 に示す上述した温水製造装置 50 に接続されている。

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。

【0046】

20

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電解質型燃料電池 (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 の上下方向端部にそれぞれ接続された内側電極端子 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

【0047】

燃料電池セル 16 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 90a 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 90b と上端面 90c 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 90b と接続され、さらに、内側電極層 90 の上端面 90c 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 98 が形成されている。

【0048】

40

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。

【0049】

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。

50

【 0 0 5 0 】

外側電極層 9 2 は、例えば、S r、C a 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、S r、C o、N i、C u 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、S r、F e、N i、C u 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。

【 0 0 5 1 】

次に図 5 により燃料電池セルスタック 1 4 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電解質型燃料電池 (S O F C) 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 1 4 は、1 6 本の燃料電池セルユニット 1 6 を備え、これらの燃料電池セルユニット 1 6 の下端側及び上端側が、それぞれ、セラミック製の支持板 6 8 及び上支持板 1 0 0 により支持されている。これらの下支持板 6 8 及び上支持板 1 0 0 には、内側電極端子 8 6 が貫通可能な貫通穴 6 8 a 及び 1 0 0 a がそれぞれ形成されている。

10

【 0 0 5 2 】

さらに、燃料電池セルユニット 1 6 には、集電体 1 0 2 及び外部端子 1 0 4 が取り付けられている。この集電体 1 0 2 は、燃料極である内側電極層 9 0 に取り付けられた内側電極端子 8 6 と電氣的に接続される燃料極用接続部 1 0 2 a と、空気極である外側電極層 9 2 の外周面全体と電氣的に接続される空気極用接続部 1 0 2 b とにより一体的に形成されている。空気極用接続部 1 0 2 b は、外側電極層 9 2 の表面を上下方向に延びる鉛直部 1 0 2 c と、この鉛直部 1 0 2 c から外側電極層 9 2 の表面に沿って水平方向に延びる多数の水平部 1 0 2 d とから形成されている。また、燃料極用接続部 1 0 2 a は、空気極用接続部 1 0 2 b の鉛直部 1 0 2 c から燃料電池セルユニット 1 6 の上下方向に位置する内側電極端子 8 6 に向かって斜め上方又は斜め下方に向かって直線的に延びている。

20

【 0 0 5 3 】

さらに、燃料電池セルスタック 1 4 の端 (図 5 では左端の奥側及び手前側) に位置する 2 個の燃料電池セルユニット 1 6 の上側端及び下側端の内側電極端子 8 6 には、それぞれ外部端子 1 0 4 が接続されている。これらの外部端子 1 0 4 は、隣接する燃料電池セルスタック 1 4 の端にある燃料電池セルユニット 1 6 の外部端子 1 0 4 (図示せず) に接続され、上述したように、1 6 0 本の燃料電池セルユニット 1 6 の全てが直列接続されるようになっている。

30

【 0 0 5 4 】

次に図 6 により本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) 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電解質型燃料電池 (S O F C) を示すブロック図である。

図 6 に示すように、固体電解質型燃料電池 1 は、制御部 1 1 0 を備え、この制御部 1 1 0 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 1 1 2、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 1 1 4、及び、異常状態のとき等に警報 (ワーニング) を発する報知装置 1 1 6 が接続されている。なお、この報知装置 1 1 6 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。

40

【 0 0 5 5 】

次に、制御部 1 1 0 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る。

まず、可燃ガス検出センサ 1 2 0 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。

C O 検出センサ 1 2 2 は、本来排気ガス通路 8 0 等を経て外部に排出される排気ガス中の C O 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 1 2 4 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

50

ためのものである。

【0056】

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。

10

【0057】

水流量センサ134は、改質器20に供給される純水（水蒸気）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。

【0058】

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。

20

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、固体電解質型燃料電池（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。

【0059】

30

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。

また、制御ユニット110は、インバータ54に、制御信号を送り、電力供給量を制御するようになっている。

【0060】

次に図7により本実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）による起動時の動作を説明する。図7は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（SOFC）の起動時の動作を示すタイムチャートである。

40

最初は、燃料電池モジュール2を温めるために、無負荷状態で、即ち、燃料電池モジュール2を含む回路を開いた状態で、運転を開始する。このとき、回路に電流が流れないので、燃料電池モジュール2は発電を行わない。

【0061】

まず、改質用空気流量調整ユニット44から改質用空気を第1ヒータ46を經由して燃料電池モジュール2の改質器20へ供給する。また、同時に、発電用空気流量調整ユニット45から発電用空気を第2ヒータ48を經由して燃料電池モジュール2の空気用熱交換器22へ供給し、この発電用空気が、発電室10及び燃焼室18に到達する。

この直ぐ後、燃料流量調整ユニット38からも燃料ガスが供給され、改質用空気が混合された燃料ガスが、改質器20及び燃料電池セルスタック14、燃料電池セルユニット1

50

6 を通過して、燃焼室 18 に到達する。

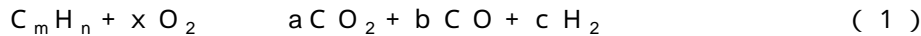
【 0 0 6 2 】

次に、点火装置 83 により着火して、燃焼室 18 にある燃料ガスと空気（改質用空気及び発電用空気）とを燃焼させる。この燃料ガスと空気との燃焼により排気ガスが生じ、この排気ガスにより、発電室 10 が暖められ、また、排気ガスが燃料電池モジュール 2 の密封空間 8 内を上昇する際、改質器 20 内の改質用空気を含む燃料ガスを暖めると共に、空気熱交換器 22 内の発電用空気も暖める。

【 0 0 6 3 】

このとき、燃料流量調整ユニット 38 及び改質用空気流量調整ユニット 44 により、改質用空気が混合された燃料ガスが改質器 20 に供給されているので、改質器 20 において、式（1）に示す部分酸化改質反応 P O X が進行する。この部分酸化改質反応 P O X は、発熱反応であるので、起動性が良好となる。また、この昇温した燃料ガスが燃料ガス供給管 64 により燃料電池セルスタック 14 の下方に供給され、これにより、燃料電池セルスタック 14 が下方から加熱され、また、燃焼室 18 も燃料ガスと空気が燃焼して昇温されているので、燃料電池セルスタック 14 は、上方からも加熱され、この結果、燃料電池セルスタック 14 は、上下方向において、ほぼ均等に昇温可能となっている。この部分酸化改質反応 P O X が進行しても、燃焼室 18 では継続して燃料ガスと空気との燃焼反応が持続される。

【 0 0 6 4 】



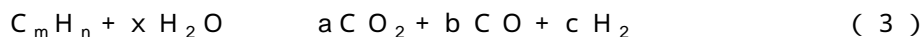
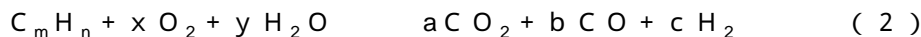
【 0 0 6 5 】

部分酸化改質反応 P O X の開始後、改質器温度センサ 148 により検出された改質器 20 の温度に基づいて、水流量調整ユニット 28、燃料流量調整ユニット 38 及び改質用空気流量調整ユニット 44 により、燃料ガスと改質用空気と水蒸気とを予め混合したガスの改質器 20 への供給が開始される。このとき、改質器 20 においては、上述した部分酸化改質反応 P O X と後述する水蒸気改質反応 S R とが併用されたオートサーマル改質反応 A T R が進行する。このオートサーマル改質反応 A T R は、熱的に内部バランスが取れるので、改質器 20 内では熱的に自立した状態で反応が進行する。即ち、酸素（空気）が多い場合には部分酸化改質反応 P O X による発熱が支配的となり、水蒸気が多い場合には水蒸気改質反応 S R による吸熱反応が支配的となる。また、オートサーマル改質反応 A T R が進行中も、燃焼室 18 では燃焼反応が継続して行われている。

【 0 0 6 6 】

式（2）に示すオートサーマル改質反応 A T R の開始後、改質器温度センサ 146 により検出された改質器 20 の温度に基づいて、改質用空気流量調整ユニット 44 による改質用空気の供給が停止されると共に、水流量調整ユニット 28 による水蒸気の供給を増加させる。これにより、改質器 20 には、空気を含まず燃料ガスと水蒸気のみを含むガスが供給され、改質器 20 において、式（3）の水蒸気改質反応 S R が進行する。

【 0 0 6 7 】



【 0 0 6 8 】

この水蒸気改質反応 S R は吸熱反応であるので、燃焼室 18 からの燃焼熱と熱バランスをとりながら反応が進行する。また、水蒸気改質反応 S R が進行しても、燃焼室 18 では継続して燃焼反応が進行する。

【 0 0 6 9 】

このようにして、燃料電池モジュール 2 は、点火装置 83 により点火した後、部分酸化改質反応 P O X、オートサーマル改質反応 A T R、水蒸気改質反応 S R が、順次進行することにより、発電室 10 内の温度が徐々に上昇する。以上の起動処理が終了した後、燃料電池モジュール 2 からインバータ 54 に電力が取り出される。即ち、発電が開始される。燃料電池モジュール 2 の発電により、燃料電池セル 84 自体も発熱し、燃料電池セル 84

10

20

30

40

50

の温度も上昇する。

【0070】

発電開始後においても、改質器20の温度を維持するために、燃料電池セル84で発電に消費される燃料ガス及び発電用空気の量よりも多い燃料ガス及び発電用空気を供給し、燃焼室18での燃焼を継続させる。なお、発電中は、改質効率の高い水蒸気改質反応SRで発電が進行する。

【0071】

次に、図8により本実施形態による固体電解質型燃料電池(SOFC)の運転停止時の動作を説明する。図8は、本実施形態により固体電解質型燃料電池(SOFC)の運転停止時の動作を示すタイムチャートである。

10

図8に示すように、燃料電池モジュール2の運転停止を行う場合には、まず、燃料流量調整ユニット38及び水流量調整ユニット28を操作して、燃料ガス及び水蒸気の改質器20への供給量を減少させる。

【0072】

また、燃料電池モジュール2の運転停止を行う場合には、燃料ガス及び水蒸気の改質器20への供給量を減少させると同時に、改質用空気流量調整ユニット44による発電用空気の燃料電池モジュール2内への供給量を増大させて、燃料電池セル集合体12及び改質器20を空気により冷却し、これらの温度を低下させる。その後、発電室温度が所定温度、例えば、400まで低下したとき、燃料ガス及び水蒸気の改質器20への供給を停止し、改質器20の水蒸気改質反応SRを終了する。この発電用空気の供給は、改質器20の温度が所定温度、例えば、200まで低下するまで、継続し、この所定温度となったとき、発電用空気流量調整ユニット45からの発電用空気の供給を停止する。

20

【0073】

このように、本実施形態においては、燃料電池モジュール2の運転停止を行うとき、改質器20による水蒸気改質反応SRと発電用空気による冷却とを併用しているため、比較的短時間に、燃料電池モジュールの運転を停止させることができる。

【0074】

次に、図9乃至12を参照して、本発明の実施形態による固体電解質型燃料電池1の発電時における負荷追従運転作用を説明する。

図9は、本実施形態の固体電解質型燃料電池の負荷追従運転を説明するタイムチャートである。図10は、制御部110に入力される要求発電量と、要求発電量を生成するために必要な燃料供給量の関係の一例を示すグラフである。図11は、要求発電量の変更に對する燃料供給量の時間的变化の一例を示すグラフである。図12は、要求発電量と、要求発電量を生成するために必要な燃料供給量、発電用空気供給量、水供給量の関係の一例を示すデータテーブルである。

30

【0075】

固体電解質型燃料電池1は、図7により説明した起動処理の後、インバータ54(図6)からの要求発電量に応じた出力電力が得られるように、図9に示す負荷追従運転を実行する。即ち、図6に示すように、コントローラである制御部110は、インバータ54からの要求発電量に応じて、燃料供給装置である燃料流量調整ユニット38、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、及び水供給装置である水流量調整ユニット28に信号を送り、必要な流量の燃料、空気、水を燃料電池モジュール2に供給している。これにより、図9に示すように、インバータ54からの要求発電量に追従するように固体電解質型燃料電池1の出力電力が変化する。ここで、要求発電量に対する出力電力の応答には時間 t の遅れがあり、これは燃料供給量等の変化を緩慢にしているため出力電力が遅れて変化しているものであり、また、要求発電量の急激な変化に対しても、燃料供給量の変化を大きく抑えているため出力電力の追従が遅れているものである。なお、制御部110、燃料流量調整ユニット38、発電用空気流量調整ユニット45、及び水流量調整ユニット28は、夫々、制御手段、燃料供給手段、酸化剤ガス供給手段、及び水供給手段として機能する。

40

50

【 0 0 7 6 】

制御部 1 1 0 は、インバータ 5 4 からの要求発電量に応じて、図 1 0 に一例を示すグラフによって燃料供給量を決定し、決定した流量の燃料が燃料電池モジュール 2 内の改質器 2 0 に供給されるように燃料流量調整ユニット 3 8 を制御する。制御部 1 1 0 は、図 1 0 の曲線 F 0 に従って要求発電量に対する燃料供給量を決定する。図 1 0 に示すように、燃料供給量は、要求発電量の増大に伴って単調に増加するように決定されるが、要求発電量約 2 0 0 W 未満では燃料供給量はほぼ一定値にされる。

【 0 0 7 7 】

また、要求発電量が変更された場合に、燃料供給量を急激に変化させると燃料電池セルの温度が急激に変化されるため燃料電池モジュール 2 の劣化を早めることがあるので、図 1 1 に示すように、燃料供給量の変化を緩慢にするために漸増又は漸減される。なお、図 1 1 に示すように、燃料を増加させる際の燃料供給量の変化率は、燃料を減少させる際の燃料供給量の変化率よりも小さく設定されている。即ち、燃料供給量の減少に対しては、変化を緩慢にして遅れを大きくすると無用の燃料を消費させることになるため、減少に関しては増加させる場合よりも変化率が大きく設定されている。図 1 1 は、要求発電量が 5 0 0 W から 7 0 0 W にステップ状に変化された場合における、燃料供給量の時間に対する変化の一例を示すグラフである。図 1 1 に示すように、時刻 $t 1 0$ において、要求発電量が 5 0 0 W から 7 0 0 W に急激に変更されたとすると、必要な燃料供給量も、5 0 0 W の電力出力に対応する供給量から 7 0 0 W に対応する供給量に急激に変化する。しかしながら、制御部 1 1 0 は、燃料供給量が急激に増加することがないように、図 1 1 に想像線 F 1

【 0 0 7 8 】

同様に、時刻 $t 1 1$ において、要求発電量が 7 0 0 W から 5 0 0 W に変更された場合にも、制御部 1 1 0 は燃料供給量が急激に減少することがないように、図 1 1 の想像線 F 1 0 に従って緩やかに燃料供給量を減少させる。なお、燃料供給量の変化率は、供給量を増加させる場合の方が、供給量を減少させる場合よりも緩やかに設定されている。これは先に説明した通り、燃料の減少側はセルの温度を高める方向に作用するものではないためセル劣化の感度が低いことに着目して、無駄な燃料の消費を抑えつつ、燃料の減少が過剰な温度低下につながることをないように配慮して最適化したものである。

【 0 0 7 9 】

なお、図 1 0 及び 1 1 は、燃料供給量に関するものであるが、発電用空気供給量、水供給量も、要求発電量に応じて、同様に変更される。また、図 1 2 に一例を示すように、各要求発電量に対する燃料、発電用空気、水の供給量の割合は適切な運転状態が得られるように最適化されており、要求発電量に応じて異なっている。本実施形態の固体電解質型燃料電池 1 は 2 0 0 W ~ 7 0 0 W の出力電力範囲の電力を出力するように構成されている。この出力電力範囲において、発電時における燃料、発電用空気、水の供給量の割合は、燃料供給量を 1 とすると、発電用空気供給量は約 1 4 . 7 ~ 1 7 . 1、水供給量は約 0 . 0 0 2 1 ~ 0 . 0 0 2 5 に設定されている。

【 0 0 8 0 】

次に、図 1 3 と共に図 7 を再び参照して、本発明の実施形態による固体電解質型燃料電池 1 の起動処理を詳細に説明する。

図 1 3 は、固体電解質型燃料電池 1 の起動処理手順を示す動作テーブルである。

図 7 の時刻 $t 0$ において固体電解質型燃料電池 1 を起動すると、制御部 1 1 0 は、改質用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 4 4 及び発電用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 4 5 に信号を送ってこれらを起動させ、改質用空気及び発電用空気を燃料電池モジュール 2 に供給する。なお、本実施形態においては、時刻 $t 0$ において供給が開始される改質用空気の供給量は 1 0 L / m i n、発電用空気の供給量は 1 0 0 L / m i n に設定されている（図 1 3）。

【 0 0 8 1 】

次いで、時刻 t_1 において、制御部 110 は、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、改質器 20 への燃料供給を開始する。これにより、改質器 20 へ送り込まれた燃料及び改質用空気は、改質器 20、燃料ガス供給管 64、マニホールド 66 を介して各燃料電池セルユニット 16 内に送り込まれる。各燃料電池セルユニット 16 内に送り込まれた燃料及び改質用空気は、各燃料電池セルユニット 16 の燃料ガス流路 98 上端から夫々流出する。なお、本実施形態においては、時刻 t_1 において供給が開始される燃料の供給量は 6 L/min に設定されている（図 13 の「燃焼運転」状態）。

【0082】

さらに、時刻 t_2 において、制御部 110 は、点火装置 83 に信号を送り、燃料電池セルユニット 16 から流出した燃料に点火する。これにより、燃焼室 18 内で燃料が燃焼され、その上方に配置された改質器 20 が加熱されると共に、燃焼室 18、発電室 10、及びその中に配置された燃料電池セルスタック 14 の温度も上昇する（図 7 の時刻 $t_2 \sim t_3$ ）。改質器 20 が加熱されることにより、改質器 20 の温度が 300°C 程度まで上昇すると、改質器 20 内においては、部分酸化改質反応（POX）が発生する（図 7 の時刻 t_3 ）。部分酸化改質反応は発熱反応であるため、改質器 20 は、部分酸化改質反応の発生により、その反応熱によっても加熱されるようになる。

【0083】

さらに温度が上昇し、改質器 20 の温度が 350°C に達すると、制御部 110 は、燃料流量調整ユニット 38 に信号を送り、燃料供給量を減少させると共に、改質用空気流量調整ユニット 44 に信号を送り、改質用空気供給量を増加させる（図 7 の時刻 t_4 ）。これにより、燃料供給量は 5 L/min に変更され、改質用空気供給量は 18 L/min に変更される（図 13 の「POX1」状態）。これらの供給量は、部分酸化改質反応を発生させるために適正な供給量である。即ち、部分酸化改質反応が発生し始める初期の温度領域においては、供給する燃料の割合を多くすることにより、燃料に確実に着火される状態を形成すると共に、その供給量を維持して着火を安定させる（図 13 の「POX1」状態）。さらに、安定して着火され、温度が上昇した後は、部分酸化改質反応を生成するために必要にして十分な燃料供給量として、燃料の浪費を抑えている（図 13 の「POX2」状態）。

【0084】

次に、図 7 の時刻 t_5 において、改質器 20 の温度が 600°C 以上、且つ、燃料電池セルユニット 16 の温度が 250°C 以上になると、制御部 110 は、改質用空気流量調整ユニット 44 に信号を送り、改質用空気供給量を減少させると共に、水供給装置である水流量調整ユニット 28 に信号を送り、水の供給を開始させる。これにより、改質用空気供給量は 8 L/min に変更され、水供給量は 2 cc/min にされる（図 13 の「ATR1」状態）。改質器 20 内に水（水蒸気）が導入されることにより、改質器 20 内で水蒸気改質反応も発生するようになる。即ち、図 13 の「ATR1」状態においては、部分酸化改質反応と水蒸気改質反応が混在したオートサーマル改質（ATR）が発生するようになる。

【0085】

本実施形態においては、燃料電池セルユニット 16 の温度は、発電室 10 内に配置された温度検出手段である発電室温度センサ 142 によって測定されている。発電室内の温度と燃料電池セルユニットの温度は、厳密には同一ではないが、発電室温度センサによって検出される温度は燃料電池セルユニットの温度を反映したものであり、発電室内に配置された発電室温度センサにより燃料電池セルユニットの温度を把握することができる。なお、本明細書において、燃料電池セルユニットの温度とは、燃料電池セルユニットの温度を反映した値を指示する任意のセンサにより測定された温度を意味するものとする。

【0086】

さらに、図 7 の時刻 t_6 において、改質器 20 の温度が 600°C 以上、且つ、燃料電池セルユニット 16 の温度が 400°C 以上になると、制御部 110 は、燃料流量調整ユニット 38 に信号を送り、燃料供給量を減少させる。また、制御部 110 は、改質用空気

10

20

30

40

50

流量調整ユニット４４に信号を送り、改質用空気供給量を減少させると共に、水流量調整ユニット２８に信号を送り、水の供給量を増加させる。これにより、燃料供給量は４Ｌ／ｍｉｎに変更され、改質用空気供給量は４Ｌ／ｍｉｎに変更され、水供給量は３ｃｃ／ｍｉｎにされる（図１３の「ＡＴＲ２」状態）。改質用空気供給量が減少され、水供給量が増加されることにより、改質器２０内においては、部分酸化改質反応の割合が減少し、水蒸気改質反応の割合が増加する。

【００８７】

次に、図７の時刻ｔ７において、改質器２０の温度が６５０℃以上、且つ、燃料電池セルユニット１６の温度が６００℃以上になると、制御部１１０は、改質用空気流量調整ユニット４４に信号を送り、改質用空気の供給を停止する。また、制御部１１０は、燃料流量調整ユニット３８に信号を送り、燃料供給量を減少させると共に、水流量調整ユニット２８に信号を送り、水の供給量を増加させる。これにより、燃料供給量は３Ｌ／ｍｉｎに変更され、水供給量は８ｃｃ／ｍｉｎに変更される（図１３の「ＳＲ１」状態）。改質用空気の供給が停止されることにより、改質器２０内においては、部分酸化改質反応は発生しなくなり、水蒸気改質反応のみが発生するＳＲが開始される。

10

【００８８】

さらに、図７の時刻ｔ８において、改質器２０の温度が６５０℃以上、且つ、燃料電池セルユニット１６の温度が７００℃以上になると、制御部１１０は、燃料流量調整ユニット３８に信号を送り、燃料供給量を減少させると共に、水流量調整ユニット２８に信号を送り、水の供給量も減少させる。また、制御部１１０は、発電用空気流量調整ユニット４５に信号を送り、発電用空気の供給量も減少させる。これにより、燃料供給量は発電待機燃料供給量である２．３Ｌ／ｍｉｎに変更され、水供給量は６．３ｃｃ／ｍｉｎに変更され、発電用空気供給量は８０Ｌ／ｍｉｎに変更される（図１３の「ＳＲ２」状態）。

20

【００８９】

制御部１１０は、これらの供給量を所定の発電移行時間以上維持した後、燃料電池モジュール２からインバータ５４に電力を出力させ、発電を開始する（図７の時刻ｔ９）。発電開始後の燃料供給量、発電用空気供給量、及び水供給量は、要求電力に応じて図１０乃至図１１に基づいて決定され、供給され、負荷追従運転が実行される。

【００９０】

なお、本実施形態においては、発電移行時間は４分に設定されている。また、図７に示す例では、「ＳＲ１」状態に移行した後速やかに燃料電池セルユニット１６の温度は発電可能な温度まで上昇しているが、「ＳＲ１」状態に移行後所定の初期ＳＲ継続時間が経過した場合には、制御部１１０は、発電可能な温度に達していなくても運転を「ＳＲ２」状態に移行させる。即ち、制御部１１０は、燃料電池セルユニット１６が発電可能な温度に上昇するまで、又は、初期ＳＲ継続時間が経過するまで、「ＳＲ１」状態の燃料供給量を維持する。なお、本実施形態においては、初期ＳＲ継続時間は３０分に設定されている。さらに、制御部１１０は、「ＳＲ２」状態に移行した後、所定の発電移行時間が経過し、且つ燃料電池セルユニット１６の温度が発電可能な温度以上に上昇した場合に発電を開始する。

30

【００９１】

上記のように、発電開始直前（時刻ｔ９）における燃料供給量は、改質器２０内で水蒸気改質反応のみが発生するＳＲが開始されたとき（時刻ｔ７）の燃料供給量に対して約２３．３％減少され、水供給量は約２１．３％減少され、発電用空気供給量は約２０％減少される。このように、燃料供給量の減少割合は、水供給量の減少割合よりも大きく、各供給量のうちで最も大きく減少されるように設定されている。即ち、燃料に対して水を多くすることにより、水の気化により気化熱が奪われるので、起動時の不安定な加熱状態が穏やかになり安定する。また、燃料に対して水を多くすることにより、炭素析出を確実に防止することができる。

40

【００９２】

また、発電開始直前（時刻ｔ９）における燃料供給量は、出力電力範囲の最低出力電力

50

である200Wに対応する燃料供給量1.7L/min、及び出力電力範囲の中間値である450Wに対応する燃料供給量2.2L/minよりも高い値に固定されている(図12)。或いは、発電開始直前(時刻t9)における燃料供給量を、出力電力範囲の最大値である700Wに対応する燃料供給量と同程度の値に設定することもできる。

【0093】

さらに、発電開始直前(時刻t9)における燃料供給量、発電用空気供給量、水供給量の割合である発電待機供給割合は、凡そ1:34.8:0.0027に設定されており、図12に一例を示した発電時における供給量の割合とは大きく異なるものになっている。このように、図12の「SR2」状態において設定されている発電待機供給割合は、水蒸気改質反応を発生させながら燃料電池セルユニット16を昇温させる「SR1」状態から、発電状態に円滑に移行するために最適化された供給割合である。この発電待機供給割合は、発電状態における供給割合(図12)に対し、発電用空気供給量が著しく大きく割り増しされて設定されている。即ち、本実施形態における発電待機供給割合では、発電が開始されるとき、発電用空気供給量が最も大きく減少される。これにより、発電開始前の起動処理中は、過剰な発電用空気を供給して燃料を燃焼させ、燃料電池セルユニット16を十分に加熱することができると共に、起動処理中よりも燃料が減少される発電時には、発電用空気を減少させて燃料電池セルユニット16が発電用空気により冷却されてしまうのを防止することができる。

10

【0094】

本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前の「SR2」状態における燃料供給量がSR開始時の「SR1」状態における燃料供給量よりも減少されているので、発電開始直前において改質器内で吸熱反応を起こす燃料の量が減少する。このため、発電開始時において燃料供給量が減少された場合においても、燃料電池セルユニットの温度が急激に低下するのを防止することができ、起動状態から発電状態に円滑に移行することができる。

20

【0095】

また、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前のSRにおける水供給量がSR開始時における水供給量よりも減少されているので、発電開始直前において、発電に使用されなかった燃料に大量の水蒸気が混入して、燃料の燃焼が不安定になるのを防止することができる。

30

【0096】

さらに、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前の「SR2」状態における発電用空気供給量が、SR開始時の「SR1」状態よりも減少されているので、燃料電池セルユニットの温度を上昇させるためにSR開始時において過剰に供給されていた発電用空気を適量にして燃料の燃焼を安定させることができる。

【0097】

また、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前の「SR2」状態における燃料供給量が、SR開始時の「SR1」状態における燃料供給量よりも少なく、最低の出力電力に対応する燃料供給量よりも多いので、発電開始前における燃料の浪費を抑制しながら、発電開始時の要求電力が最低の出力電力であった場合に、燃料電池セルユニットの温度が低下しすぎるのを防止することができる。

40

【0098】

さらに、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前のSRにおける燃料供給量が固定されるので、発電開始時における運転状態を安定させることができる。

【0099】

また、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前の「SR2」状態における燃料供給量が、SR開始時の「SR1」状態における燃料供給量よりも少なく、出力電力範囲の中間値に対応する燃料供給量よりも多い所定の値に固定されるので、発電開始前における燃料の浪費を抑制しながら、発電開始時の要求電力が出力電力範囲内

50

のどの電力であっても円滑に発電状態に移行することができる。

【0100】

さらに、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電開始直前の「SR2」状態における燃料供給量、水供給量、及び発電用酸化剤ガス供給量の割合が、発電時における供給量の割合とは異なる発電待機供給割合に最適化されているので、円滑に発電状態に移行することができる。

【0101】

また、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電待機供給割合は、発電時における供給量の割合に対して、発電用空気供給量が最も多く割り増しされるように設定されているので、発電開始前においては十分な発電用空気により、効果的に加熱を行うことができると共に、発電開始後は、空気により固体電解質型燃料電池セルが冷却されるのを抑制することができる。

10

【0102】

さらに、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、発電待機供給割合は、SR開始時の「SR1」状態における供給量の割合に対して、燃料供給量が最も大きな割合で減少されているので、発電開始直前において、燃料供給量に対して水の供給量が増えるので、気化熱により熱が奪われ、起動時の不安定な加熱状態を穏やかに安定化することができる。

【0103】

また、本発明の実施形態の固体電解質型燃料電池によれば、改質器内においてPOX、ATR、SRの順に改質反応が発生されるので、起動時に、燃料電池モジュールの運転が不安定になるのを防止することができ、より円滑に起動することができる。

20

【0104】

以上、本発明の好ましい実施形態を説明したが、上述した実施形態に種々の変更を加えることができる。特に、上述した実施形態においては、固体電解質型燃料電池は、要求発電量に応じて出力電力を可変するように構成されていたが、常に一定の電力を出力する燃料電池に本発明を適用することもできる。また、上述した実施形態においては、起動時に改質器内においてPOX、ATR、SRの順に改質反応が発生されていたが、例えば、ATRを省略することができる。本発明は、発電開始直前にSRを発生させる任意の起動処理を実行する固体電解質型燃料電池に適用することができる。

30

【符号の説明】

【0105】

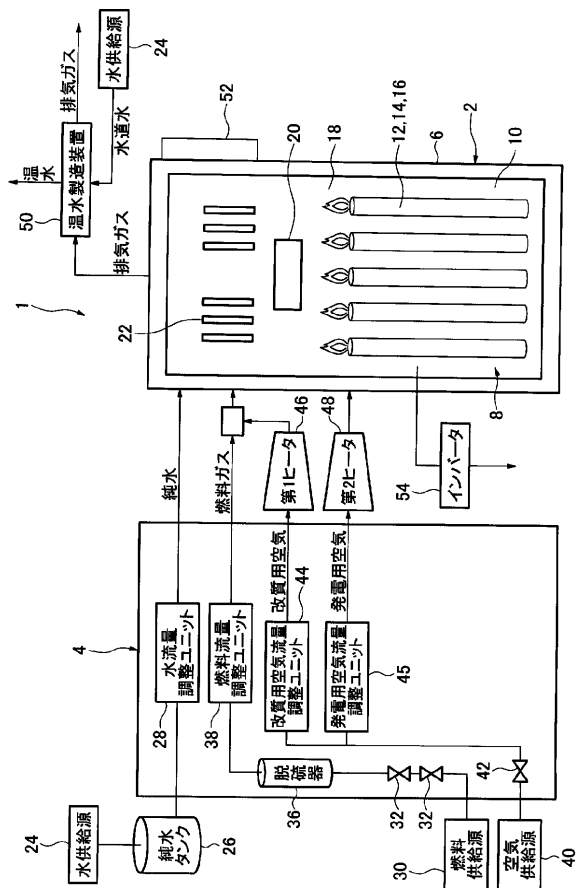
- 1 固体電解質型燃料電池
- 2 燃料電池モジュール
- 4 補機ユニット
- 8 密封空間
- 10 発電室
- 12 燃料電池セル集合体
- 14 燃料電池セルスタック
- 16 燃料電池セルユニット（固体電解質型燃料電池セル）
- 18 燃焼室
- 20 改質器
- 22 空気用熱交換器
- 24 水供給源
- 26 純水タンク
- 28 水流量調整ユニット（水供給装置、水供給手段）
- 30 燃料供給源
- 38 燃料流量調整ユニット（燃料供給装置、燃料供給手段）
- 40 空気供給源
- 44 改質用空気流量調整ユニット

40

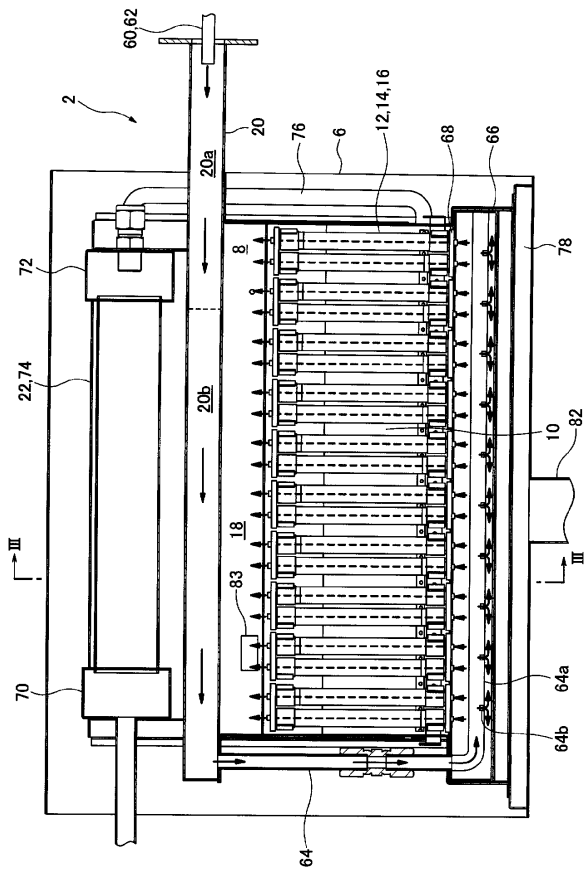
50

- 4 5 発電用空気流量調整ユニット（酸化剤ガス供給装置、酸化剤ガス供給手段）
- 4 6 第1ヒータ
- 4 8 第2ヒータ
- 5 0 温水製造装置
- 5 2 制御ボックス
- 5 4 インバータ
- 8 3 点火装置
- 8 4 燃料電池セル
- 1 1 0 制御部（コントローラ、制御手段）
- 1 1 2 操作装置
- 1 1 4 表示装置
- 1 1 6 警報装置
- 1 2 6 電力状態検出センサ
- 1 4 2 発電室温度センサ（温度検出手段）
- 1 5 0 外気温度センサ

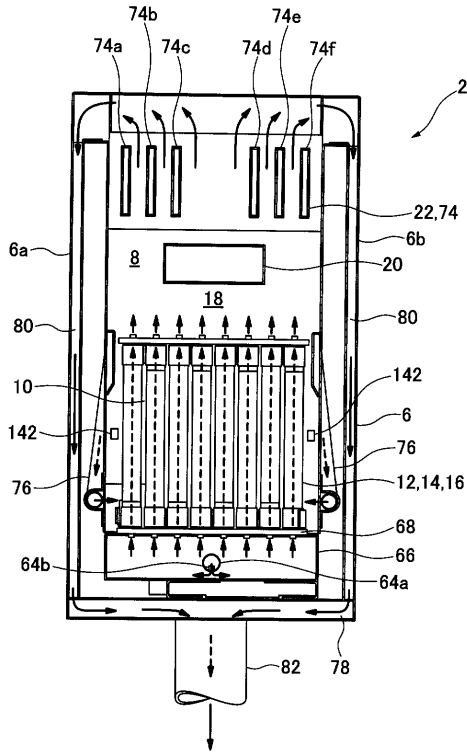
【図1】



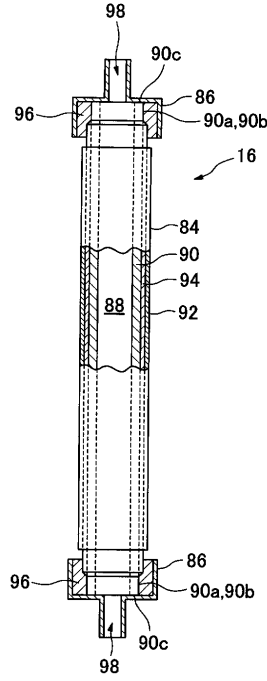
【図2】



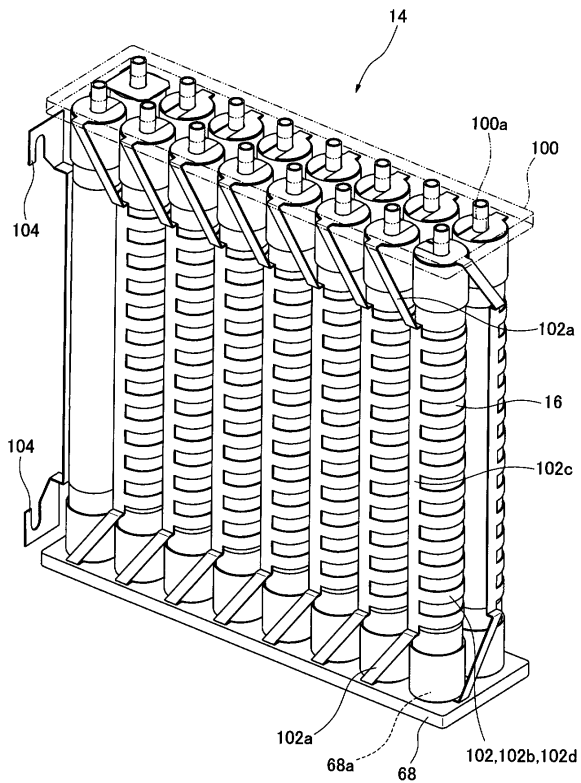
【図3】



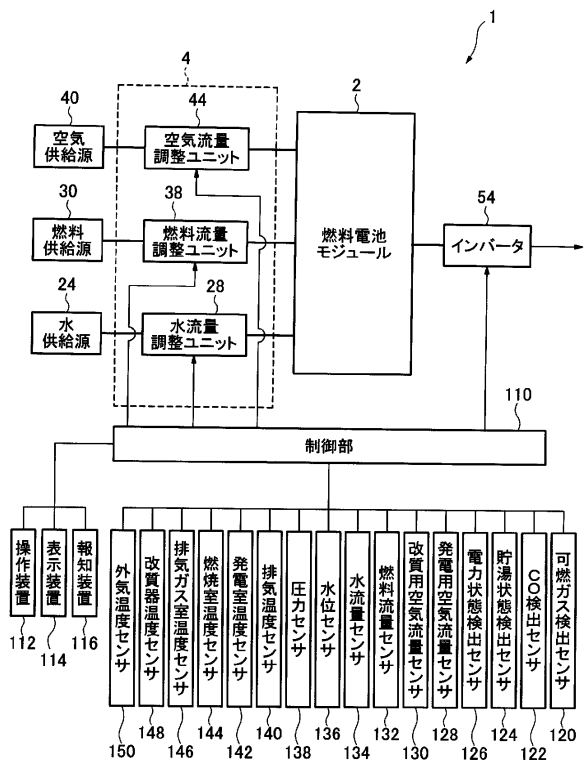
【図4】



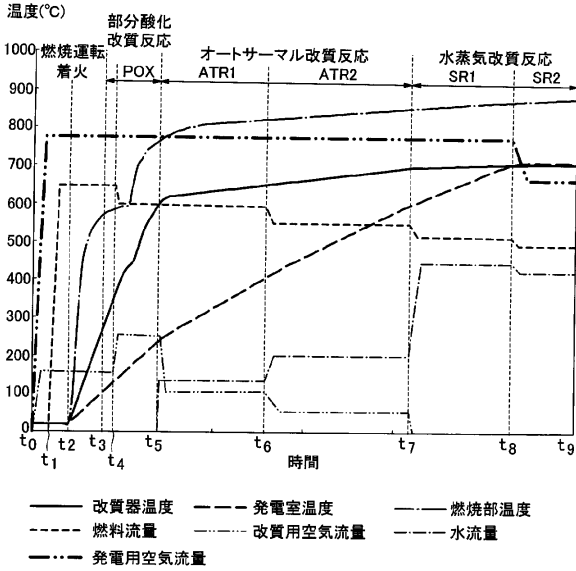
【図5】



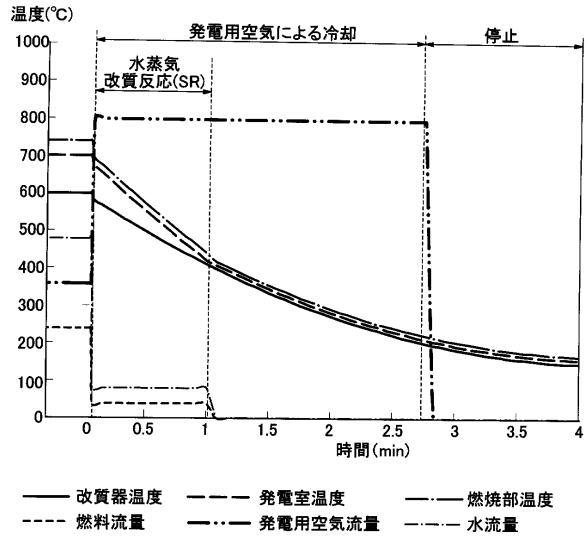
【図6】



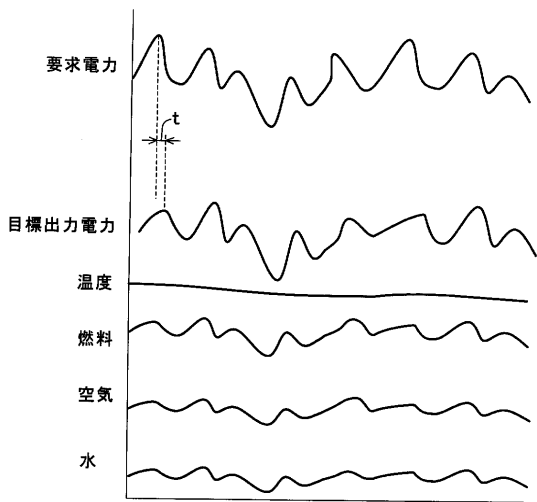
【図7】



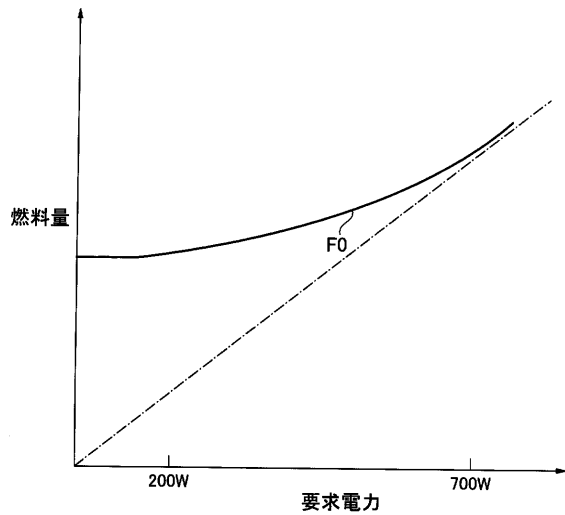
【図8】



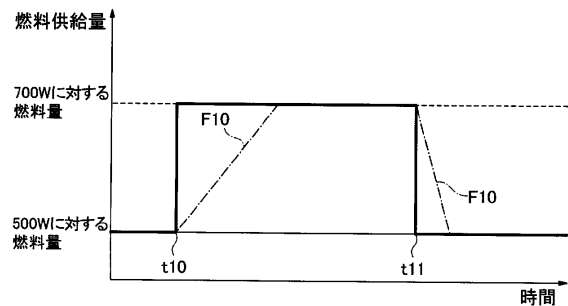
【図9】



【図10】



【図11】



【 図 1 2 】

要求発電量	燃料供給量 L/min	発電空気供給量 L/min	水供給量 cc/min
700W	2.8	48	5.9
450W	2.2	33	5.4
200W	1.7	25	3.9

【 図 1 3 】

モード	状態	燃料流量 (L/min)	改質空気流量 (L/min)	発電空気流量 (L/min)	純水流量 (cc/min)	移行温度条件(°C)		スタック	蒸発部
						改質器	改質器		
起動モード	燃焼運転	6.0	10.0	100.0	0.0	300°C以上	-	-	-
	POX1	6.0	10.0	100.0	0.0	350°C以上	-	-	-
	POX2	5.0	18.0	100.0	0.0	600°C以上	250°C以上	-	-
	ATR1	5.0	8.0	100.0	2.0	600°C以上	400°C以上	100°C以上	-
	ATR2	4.0	4.0	100.0	3.0	650°C以上	600°C以上	100°C以上	100°C以上
	SR1	3.0	0.0	100.0	8.0	650°C以上	700°C以上	100°C以上	100°C以上
	SR2	2.3	0.0	80.0	6.3	650°C以上	700°C以上	100°C以上	100°C以上

フロントページの続き

- (74)代理人 100123630
弁理士 渡邊 誠
- (72)発明者 渡邊 直樹
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 西願 修一郎
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 井坂 暢夫
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 前原 義明

- (56)参考文献 特開2009-104980(JP,A)
特開2009-032555(JP,A)
特開2009-104846(JP,A)
特開2005-293951(JP,A)
特開2009-051712(JP,A)
特開2011-009194(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 8/00 - 8/24
C01B 3/38