

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4944597号
(P4944597)

(45) 発行日 平成24年6月6日(2012.6.6)

(24) 登録日 平成24年3月9日(2012.3.9)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 M 8/04 (2006.01)

HO 1 M 8/12 (2006.01)

HO 1 M 8/06 (2006.01)

HO 1 M 8/04 P

HO 1 M 8/12

HO 1 M 8/06 G

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2006-349432 (P2006-349432)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成18年12月26日 (2006.12.26)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2008-159517 (P2008-159517A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成20年7月10日 (2008.7.10)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成20年10月17日 (2008.10.17)		ポレール特許業務法人
(出願人による申告)平成18年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 固体酸化物形燃料電池システム技術開発 コジェネレーションシステム開発 湿式円筒形20kW級システムの開発委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	松本 弘
			茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所内
		(72) 発明者	床井 博見
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	高橋 心
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 固体酸化物形燃料電池発電システムとその運転制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料改質器と、セルの集合体である燃料電池と、燃料と給水の流量を調整する制御装置とを備える固体酸化物形燃料電池発電システムであって、前記制御装置は目標出力指令値 (L_{RO}) を発生する目標出力設定手段と、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料改質器に供給する燃料流量を決定する燃料流量指令手段と、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料改質器に供給する給水流量を決定する給水流量指令手段とを有し、かつ前記制御装置は、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて、出力変化率 (dL_{RO}/dt) を求める出力変化率演算手段と、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) に基づいて前記燃料流量を補正する燃料流量補正手段と、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) に基づいて前記給水流量を補正する給水流量補正手段とを有し、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が負の場合に前記燃料流量補正手段と前記給水流量補正手段ではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して正の補正をすることによって、燃料電池の出力変動時の燃料利用率の変動を抑制することを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システム。

【請求項2】

請求項1において、前記制御装置は、さらに前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料電池に供給する空気流量を決定する空気流量指令手段と、燃料電池出口の燃焼室温度 (T_{CB}) を計測する燃焼室温度計測手段と、前記燃焼室温度 (T_{CB}) に基づいて前記空気流量を補正する空気流量補正手段とを有し、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が負の場合に前記燃料流量補正手段と前記給水流量補正手段ではそれぞれ前記燃料流量と

前記給水流量に対して正の補正を行い、前記空気流量補正手段では前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) を決定するとともに、前記燃焼室温度 (T_{CB}) が前記基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) よりも高い場合は前記空気流量に対して正の補正を行うことを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システム。

【請求項 3】

請求項 1 において、前記制御装置は、さらに前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が正の場合に前記燃料流量補正手段と前記給水流量補正手段ではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して負の補正をすることによって、燃料電池の出力変動時の燃料利用率の変動を抑制することを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システム。

【請求項 4】

請求項 3 において、前記制御装置は、さらに前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料電池に供給する空気流量を決定する空気流量指令手段と、燃料電池出口の燃焼室温度 (T_{CB}) を計測する燃焼室温度計測手段と、前記燃焼室温度 (T_{CB}) に基づいて前記空気流量を補正する空気流量補正手段とを有し、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が正の場合に前記燃料流量補正手段と前記給水流量補正手段ではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して負の補正を行い、前記空気流量補正手段では前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) を決定するとともに、前記燃焼室温度 (T_{CB}) が前記基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) よりも低い場合は前記空気流量に対して負の補正を行うことを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システム。

【請求項 5】

燃料改質器と、セルの集合体である燃料電池と、燃料と給水の流量を調整する制御装置とを有する燃料電池発電システムの運転制御方法であって、前記制御装置により、目標出力指令値 (L_{RO}) を発生する目標出力指令ステップと、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料改質器に供給する燃料流量を決定する燃料流量指令ステップと、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて前記燃料改質器に供給する給水流量を決定する給水流量指令ステップとを実行し、かつ、前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて出力変化率 (dL_{RO}/dt) を求める出力変化率演算ステップと、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が負の場合に、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) に基づいて前記燃料流量に対して正の補正をする燃料流量補正ステップと、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) に基づいて前記給水流量に対して正の補正をする給水流量補正ステップを実行することによって、燃料電池の出力変動時の燃料利用率の変動を抑制することを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システムの運転制御方法。

【請求項 6】

請求項 5 において、さらに前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて空気流量を決定する空気流量指令ステップと、燃料電池出口の燃焼室温度 (T_{CB}) を計測する燃焼室温度計測ステップと、前記燃焼室温度 (T_{CB}) に基づいて前記空気流量を補正する空気流量補正ステップを実行し、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が負の場合に前記燃料流量補正ステップと前記給水流量補正ステップではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して正の補正を行い、前記空気流量補正ステップでは前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) を決定するとともに、前記燃焼室温度 (T_{CB}) が前記基準燃焼室温度設定値 (T_{CBS}) よりも高い場合は前記空気流量に対して正の補正を行うことを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システムの運転制御方法。

【請求項 7】

請求項 5 において、さらに前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が正の場合に、前記燃料流量と前記給水流量に対して負の補正をする燃料流量及び給水流量補正ステップを実行することを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システムの運転制御方法。

【請求項 8】

請求項 7 において、さらに前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて空気流量を決定する空気流量指令ステップと、燃料電池出口の燃焼室温度 (T_{CB}) を計測する燃焼室温度計測ステップと、前記燃焼室温度 (T_{CB}) に基づいて前記空気流量を補正する空気流量

10

20

30

40

50

補正ステップを実行し、前記出力変化率 (dL_{RO}/dt) が正の場合に前記燃料流及び前記給水流量補正ステップではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して負の補正を行い、前記空気流量補正ステップでは前記目標出力指令値 (L_{RO}) に基づいて基準燃焼室温度設定値 (T_{CRS}) を決定するとともに、前記燃焼室温度 (T_{CB}) が前記基準燃焼室温度設定値 (T_{CRS}) よりも低い場合は前記空気流量に対して負の補正を行うことを特徴とする固体酸化物形燃料電池発電システムの運転制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池発電システムおよびその運転制御方法に係り、特に出力変動時の燃料利用率と温度状態を安定化する固体酸化物形燃料電池発電システムとその運転制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、クリーンで高効率な分散電源の一つとして燃料電池発電システムが注目されている。なかでも、高温動作可能な固体酸化物形燃料電池発電システムは業務用から産業用など適用範囲が広く、将来の電源、あるいは電熱併給システムとして多分野で期待されている。しかしながら、このような適用分野においては一般に出力変動が激しく、システムには高頻度（数10回～数100回/月）で且つ大幅な出力変更（定格出力の20～50%幅）が要求される。そのため、システムは急速な出力変化要求時でも高い出力応答性を備え、高い発電効率と、高い耐久性も兼ね備えることが重要となっている。

20

【0003】

固体酸化物形燃料電池発電システムは、燃料電池のセルにおけるカソード側に供給された空気中の酸素がイオン化され電解質を透過してアノードに達し、アノード側に供給された水素と反応することで起電力を発生する仕組みを利用したものである。この場合、アノードに直接水素を供給しても良いが、通常、都市ガス、LNG、灯油など炭化水素系燃料に蒸気を混合した原料を予め改質器に通すことで水素リッチな改質ガスに転換し、これを燃料として使用する方法が一般的である。

【0004】

このような固体酸化物形燃料電池発電システムにおいて、特に重要となるのが燃料不足によるアノードの酸化である。この燃料不足（以下、燃料枯れとよぶ）はアノードに供給される燃料流量に比べて出力の割合（燃料利用率）が高くなると発生しやすく、燃料利用率が100%に達すると燃料枯れとなる。これにより、一旦、アノードに酸化が起きると電池性能が低下し、起電力と出力が低下し、結果として発電効率も低下する。このように、燃料枯れは燃料電池の寿命を短くする（耐久性を落とす）要因の一つとなっており、特に燃料濃度が希薄となるアノード出口付近で発生し易く、出力変動時に起き易いため、運転制御上、最も留意すべき点のひとつである。

30

【0005】

また、実際には運転中に燃料濃度をリアルタイムで計測するのは困難で、多数のセルの集合体（これをモジュールと呼ぶ）で構成された燃料電池では、モジュール内部において均一な燃料流量配分を維持することが困難である。そのため、燃料枯れを防止するために、一般的には、非特許文献1に記載されているように、燃料利用率が85%以下となるような設計がなされている。固体酸化物形燃料電池においては、セル内部での改質能力も有するが、改質反応は吸熱を伴うため、セル温度をある程度高く保つために、予め前記の改質器により改質を進めておく方法が一般的に採用されている。通常、改質器での改質率は50%前後で運転される。

40

【0006】

また、特許文献1には、発電装置の負荷の急激な増加に際し、燃料供給系の応答遅れによって燃料電池に生ずる燃料の欠乏を、過電流保護回路を用いて防止することが記載されている。この方法では、過電流発生を検知してから出力電圧設定値を下方修正することで

50

過電流を抑制している。

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特開平 7 - 1 3 5 0 1 3 号公報

【非特許文献 1】固体酸化物燃料電池と地球環境（田川 著、頁62、アグネス承風社、1998年6月）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

ここで問題となるのが、出力変動等でシステムの物質バランスや温度バランスが変動することで、改質率も変動し、これが燃料利用率の変動要因となることである。例えば、出力を下げる場合、燃料を出力と一定比率で減少させたとすると、改質器内部での燃料の滞留時間が長くなるため改質率が促進され、燃料利用率が過渡的に高くなりがちとなる。この現象は、特に排ガス熱回収型の改質器を採用した場合に顕著であり、出力降下が一段落し、排ガス温度の低下とともに改質器温度が低下するにつれ燃料利用率も回復する。

10

【 0 0 0 9 】

このような現象に対し、燃料利用率を予め大きな余裕を持たせることも考えられるが、常時、過度に余裕を持たせることは発電効率を大幅低下させることになり好ましくない。

【 0 0 1 0 】

また、特許文献 1 の方法によると負荷変動に伴う過電流発生の度に出力電圧を変更するため、主力値は必ずしも目標値を満足するわけにいかず、その都度出力偏差が発生するという不都合がある。

20

【 0 0 1 1 】

本発明が解決しようとする課題は、前記背景技術における問題点を解決することである。その目的は、出力変動時に燃料利用率を安定に保つことで燃料枯れを防ぎ、電池の耐久性と発電効率の向上を可能にする固体酸化物形燃料電池発電システムとその運転制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記目的を達成するために、本発明は、燃料改質器と、セルの集合体である燃料電池と、燃料と給水と空気の流量を調整する制御装置とを備える固体酸化物形燃料電池発電システムであって、前記制御装置は目標出力指令値を発生する目標出力設定手段と、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料改質器に供給する燃料流量を決定する燃料流量指令手段と、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料改質器に供給する給水流量を決定する給水流量指令手段と、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料電池に供給する空気流量を決定する空気流量指令手段とを有し、かつ前記目標出力指令値に基づいて出力変化率を求める出力変化率演算手段と、前記出力変化率に基づいて前記燃料流量を補正する燃料流量補正手段と、前記出力変化率に基づいて前記給水流量を補正する給水流量補正手段とを有し、前記出力変化率が負の場合に前記燃料流量補正手段と前記給水流量補正手段ではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して正の補正をすることを特徴とする。

30

【 0 0 1 3 】

また、前記制御装置は燃料電池出口の燃焼室温度を計測する燃焼室温度計測手段と、前記燃焼室温度に基づいて前記空気流量を補正する空気流量補正手段とを有し、前記空気流量補正手段では前記目標出力指令値に基づいて基準燃焼室温度設定値を決定するとともに前記燃焼室温度が前記基準燃焼室温度設定値よりも高い場合は前記空気流量に対して正の補正をすることを特徴とする。

40

【 0 0 1 4 】

また、本発明は、燃料改質器と、セルの集合体である燃料電池と、燃料と給水と空気の流量を調整する制御装置とを有する固体酸化物形燃料電池発電システムの運転制御方法であって、前記制御装置により、目標出力指令値を発生する目標出力指令ステップと、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料改質器に供給する燃料流量を決定する燃料流量指令ス

50

テップと、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料改質器に供給する給水流量を決定する給水流量指令ステップと、前記目標出力指令値に基づいて前記燃料電池に供給する空気流量を決定する空気流量指令ステップを実行し、さらに前記目標出力指令値に基づいて出力変化率を求める出力変化率演算ステップと、前記出力変化率に基づいて前記燃料流量を補正する燃料流量補正ステップと、前記出力変化率に基づいて前記給水流量を補正する給水流量補正ステップと、前記出力変化率が負の場合に前記燃料流量補正ステップと前記給水流量補正ステップではそれぞれ前記燃料流量と前記給水流量に対して正の補正をすることを特徴とする。

【0015】

また、前記制御装置により、燃料電池出口の燃焼室温度を計測する燃焼室温度計測ステップと、前記燃焼室温度に基づいて前記空気流量を補正する空気流量補正ステップを実行し、前記空気流量補正ステップでは前記目標出力指令値に基づいて基準燃焼室温度設定値を決定するとともに前記燃焼室温度が前記基準燃焼室温度設定値よりも高い場合は前記空気流量に対して正の補正をすることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、固体酸化物形燃料電池発電システムの出力変化時の燃料利用率を安定化できるため燃料枯れを回避でき、アノードの酸化による電池性能の劣化を防止できる。そのため、電池の耐久性が増し、長期に亘り高効率と高稼働率を維持できる。これにより燃料費や保守費を最小限にできるため、運用コストを大幅に低減することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の最良の実施形態を説明する。燃料電池機器本体は、燃料と給水を受けて混合ガスを生成するための燃料予熱器5と、大気から取り込んだ空気を予熱するための空気予熱器10と、混合ガスを水素リッチな改質ガスに転換する改質器6を有する。さらに改質ガスと空気を受けて直流電力を発生するセル集合体である固体酸化物形燃料電池8と、発生した直流電力を交流電力に変換するための電力変換器15を有する。また、燃料流量を調整するための燃料流量調整弁17と、空気流量を調整するための空気ブロー19と、給水流量を調整するための給水ポンプ18を有する。この燃料電池機器本体は、機器全体を制御するための制御装置200を有する。制御装置200には目標出力指令値を発生する目標出力設定手段21と、目標出力指令値に基づいて燃料流量指令値、空気流量指令値、給水流量指令値をそれぞれ発生する指令手段22、26、24を含む、燃料流量制御手段50、給水流量制御手段150、空気流量制御手段250を備える。

【0018】

また、制御装置200には、目標出力指令値に基づいて出力変化率を求める出力変化率演算手段29を有する。この出力変化率に基づいて燃料流量を補正する燃料流量補正手段30と、出力変化率に基づいて給水流量を補正する給水流量補正手段40と、燃料電池出口の燃焼室温度を計測する燃焼室温度計測手段37と、燃焼室温度に基づいて空気流量を補正する空気流量補正手段60を備える。

【0019】

そして、出力変化率が負の場合に、燃料流量補正手段30と給水流量補正手段40ではそれぞれ燃料流量と給水流量に対して正の補正をし、空気流量補正手段60では目標出力指令値に基づいて基準燃焼室温度設定値を決定する。それとともに、燃焼室温度が基準燃焼室温度設定値よりも高い場合は空気流量に対して正の補正をするようにしている。

【0020】

この構成により、出力変化時の燃料利用率を安定化できるため燃料枯れを回避でき、アノードの酸化による電池性能の劣化を防止できる。そのため、電池の耐久性が増し、長期に亘り高効率と高稼働率を維持できる。これにより燃料費や保守費を最小限にできるため、運用コストを大幅に低減することが可能となる。

【0021】

以下、図面を参照しながら詳細に説明する。図 1 は 1 実施例による固体酸化物形燃料電池発電システムの構成を示す。燃料電池のセル構造としては、主として円筒型と平板型が提案されているが、両者とも基本的な動作原理は同じであり、以下の実施形態では、円筒型を例にして説明する。また、以下では簡単のため固体酸化物形燃料電池発電システムを単に燃料電池発電システムと呼ぶ。

【 0 0 2 2 】

最初に、本実施形態の燃料電池発電システムのうち、制御装置 2 0 0 を除く破線で示す燃料電池機器本体 1 0 0 の働きについて説明する。

【 0 0 2 3 】

まず、燃料 1 である都市ガス若しくは灯油（以下、単に燃料と呼ぶ）は燃料タンク 2 より、給水 3 は給水タンク 4 より供給される。両者は混合され燃料予熱器 5 に送られ、給水は蒸気となり、燃料は改質器 6 にて水素リッチで高温の改質ガス 7 に転換される。改質ガス 7 は燃料電池 8 に送入される。一方、大気から取り込まれた空気 9 は空気予熱器 1 0 にて予熱されたのち燃料電池 8 に供給される。

【 0 0 2 4 】

本実施例の燃料電池 8 は、複数の円筒型セル 1 1 で構成され、セルの外側がアノード、内側がカソードになっている。改質ガス 7 は燃料電池 8 の下方から送入されアノードに沿って上昇し、上部の燃焼室 1 2 に排出される。また、空気は上部のマニホールド 1 3 に送入され、ここで複数の分流し、各セルの内部に配置された円筒状の空気導入管 1 4 の内部を予熱されながら下降し、下端部を出たのちセル内側のカソードに沿って上昇し、上部の燃焼室 1 2 に抜ける。燃焼室 1 2 に抜けた空気は、ここでアノードを通過した改質ガス（燃料ガス）と合流する。

【 0 0 2 5 】

アノードとカソードの間には解質膜があり、カソード側を通過する空気中の酸素は解質膜の働きでイオン化され電解質を透過してアノードに達し、アノードに供給される改質ガス 7 に含まれる水素または一酸化炭素と反応することで起電力を発生する。発生した直流電力 L_C は電力変換器 1 5 により交流電力 L_A に変換され、負荷 1 6 に供給される。尚、本図では明示していないが、通常、複数のセルは並列接続と直列接続の組合せで必要な電圧と電流を得ることができるように構成されている。したがって、端子電圧は直列接続セル数に依存し、端子電流は並列接続セル数に依存する。

【 0 0 2 6 】

負荷 1 6 が直流電力を要求するものであれば、電力変換器 1 5 は直流から交流への変換は不要であるが、端子電圧 V_C は出力により変化するため、電圧変換機能が必要となる。また、負荷に供給する出力電力 L_A は電力変換器 1 5 における変換損失だけ端子電力 L_C よりも小さくなる。

【 0 0 2 7 】

燃料 1、給水 3 及び空気 9 の各流量は、それぞれ燃料流量調整弁 1 7 の開度、給水ポンプ 1 8 及び空気ブロア 1 9 の速度により調整される。改質ガス 7 はアノードを通過しながら発電に寄与することで燃料濃度が低下するが、ある程度の燃料は残存する。ここで、改質ガス（セル入口ガス）のメタン、水素及び一酸化炭素のモル分率をそれぞれ $M_{CH_4_in}$ 、 $M_{H_2_in}$ 及び M_{CO_in} とし、また、セル出口のそれらを $M_{CH_4_out}$ 、 $M_{H_2_out}$ 及び M_{CO_out} とすると、燃料利用率 U_F は次式で定義される。

$$U_F = 100 \times \left(\left(4M_{CH_4_in} + M_{H_2_in} + M_{CO_in} \right) - \left(4M_{CH_4_out} + M_{H_2_out} + M_{CO_out} \right) \right) / \left(4M_{CH_4_in} + M_{H_2_in} + M_{CO_in} \right) \quad (\%)$$

上式によれば、セル出口においてメタン、水素、一酸化炭素の 3 成分が全て“零”となったとき燃料消費率 U_F が 1 0 0 % となり、燃料枯れの状態となる。前述のように通常は 8 5 % 以下での運転が望ましいとされている。

【 0 0 2 8 】

燃焼室 1 2 に排出された空気もある程度の酸素が残存するので、残存燃料と空気は燃焼により再び高温ガスとなり、この高温ガスはマニホールド 1 3 に供給された空気を加熱す

10

20

30

40

50

る。燃焼室 12 から排出された高温ガスは空気予熱器 10 に送られる。この高温排ガスのエネルギーにより空気が予熱されマニホールド 13 に送入される。さらに、空気予熱器 10 からの排出ガスも燃料予熱器 5 と改質器 6 に導かれ、燃料の予熱と改質に利用されたのち排ガスパロア 20 によりシステム外に排出される。

【0029】

このように、排熱を回収して再利用する理由は、燃料電池 8 において一定以上の効率を維持して安定な発電をするためには、アノード側出口の燃料とカソード側出口の酸素を一定以上の濃度に保つことが必要となるからである。そのため、供給された燃料と酸素の全てを発電に使わず、或る程度の燃料と酸素を残して燃焼室 12 に排出することになる。

【0030】

次に、制御装置 200 の構成と動作について説明する。図 1 の二点鎖線で囲んだ制御装置 200 において、太線で示す制御要素が本発明の実施形態に係るもので、細線で示す制御要素は従来システムと共通するものである。ここでは制御装置の動きを理解し易くするために各制御要素をブロックで示したが、実際には燃料電池機器本体 100 と同一パッケージ内、若しくはその近傍に配置されたコントローラで実現されている。

【0031】

まず、従来要素の動きについて説明する。制御装置 200 において目標出力設定手段 21 から目標出力指令値 L_{R0} が発せられる。この目標出力指令値 L_{R0} に対応して、基準燃料流量指令手段 22 では基準燃料流量指令値 F_{FR0} 、基準給水流量指令手段 24 では基準給水流量指令値 F_{WR0} 、及び基準空気流量指令手段 26 では基準空気流量指令値 F_{AR0} が出力される。この 3 つの基準指令値 F_{FR0} 、 F_{WR0} 、 F_{AR0} は、静特性的に設計条件に合致するバランス条件であり、定常運転時に出力 L_{R0} を得るのに必要な値である。

【0032】

基準燃料流量指令値 F_{FR0} は後述する燃料流量補正手段 30 により燃料補正值 F_{FM} が加算されて補正後燃料流量指令値 F_{FR} となり、これが弁開度指令手段 27 に与えられ、燃料流量調整弁 17 に対する弁開度指令値 A_{FV} を出力する。また、基準給水流量指令値 F_{WR0} は後述する給水流量補正手段 40 により給水補正值 F_{WM} が加算されて補正後給水流量指令値 F_{WR} となり、これがポンプ速度指令手段 25 に与えられ、これに対応して給水ポンプ 18 に速度指令値 N_{WP} を出力する。さらに、基準空気流量指令値 F_{AR0} は後述する空気流量補正手段 60 により空気補正值 F_{AM} が加算されて補正後空気流量指令値 F_{AR} となり、これがブロア速度指令手段 23 に与えられ、これに対応して空気ブロア 19 にブロア速度指令値 N_{AB} を出力する。

【0033】

一方、目標出力指令値 L_{R0} は電力変換制御手段 28 に与えられる。電力変換器制御手段 28 では、これを満たすような電流指令値 I_{CR} を電力変換器 15 に指令する。即ち、電力変換制御手段 28 では燃料電池 8 の端子電圧 V_C を入力して、 $I_{CR} (= L_{R0} / \eta_E V_C)$ なる電流指令値 I_{CR} を発生する。ここで、 η_E は電力変換器 15 の変換効率であり、前述のように変換損失分を勘案したものである。また、セルの並列数を n_p とすると、セル電流 I_C は I_{CR} / n_p となる。

【0034】

次に、本発明の特徴部に係る制御装置 200 における制御要素について説明する。図 1 に示した燃料流量補正手段 30、給水流量補正手段 40 及び燃料流量補正手段 60 の具体的な実施形態について、それぞれ図 2、図 3、図 4 を用いて順に説明する。

【0035】

図 2 は燃料流量補正手段の構成を示す。燃料補正手段 30 は、出力変化率演算手段 29 より算出された出力変化率 (dL_{R0}/dt) を入力する。この変化率に比例ゲイン 31 ($-K_F$) を掛けた値に 2 次遅れ特性 32 を与え、得られた燃料補正值 F_{FM} が前記基準燃料流量指令値 F_{FR0} に加算手段 33 にて加算されて補正後の燃料流量指令値 F_{FR} となる。

【0036】

ここで、比例ゲイン 31 を負にした理由は、出力変化率 (dL_{R0}/dt) が負になる出力降

10

20

30

40

50

下時は燃料流量を増強し、正となる出力上昇時は燃料流量を抑制することを意図している。これにより、出力降下時は改質率の上昇とそれに伴う燃料利用率の上昇を抑制する効果があり、出力上昇時は改質率の低下とそれに伴う燃料利用率の低下を抑制する効果がある。これらの効果は、改質器 6 における燃料ガスの滞留時間変動とこれに伴う改質率の変動が抑制されることで実現している。また、燃料補正值 F_{FM} として 2 次遅れ特性を与えた理由は、燃料流量を出力変化に過度に反応させないためと、出力変化終了後の改質器 6 の温度が安定値に向かう速度に合わせることで改質率を安定化させるためである。このときの遅れ時定数 T_F はシステム動特性に応じて適宜設定すれば良い。

【 0 0 3 7 】

図 3 は給水量補正手段の構成を示す。給水流量補正手段 4 0 は、出力変化率演算手段 2 9 より算出された出力変化率 (dL_{R0}/dt) を入力する。この変化率に比例ゲイン 3 4 ($-K_w$) を掛けた値を 2 次遅れ特性演算手段 3 5 に与え、得られた給水補正值 F_{WM} が加算手段 3 6 により基準給水流量指令値 F_{WR0} に加算されて補正後の給水流量指令値 F_{WR} となる。比例ゲイン 3 4 を負にした理由は、燃料流量補正手段 3 0 の場合と同様、出力変化率 (dL_{R0}/dt) が負になる出力降下時は給水流量を増強し、正となる出力上昇時は給水流量を抑制することを意図している。これにより、同様の効果、即ち、出力変動時の改質器 6 における燃料ガスの滞留時間変動を抑制し、これに伴う改質率の変動と燃料利用率の変動を抑制している。また、給水補正值 F_{WM} として 2 次遅れ特性を与えた理由も、燃料流量と同様に給水流量を出力変化に過度に反応させないためと、出力変化終了後も改質率を安定化させるためである。このときの遅れ時定数 T_W もシステム動特性に応じて適宜設定すれば良い。

【 0 0 3 8 】

図 4 は空気流量補正手段の構成を示す。空気流量補正手段 6 0 は、まず、目標出力指令値 L_{R0} と温度計 3 7 で計測した燃烧室温度 T_{CB} を入力する。目標出力指令値 L_{R0} に対応して基準燃烧室温度設定手段 3 8 で基準燃烧室温度 T_{CBS} を決定し、燃烧室温度 T_{CB} との温度偏差 ΔT_{CB} を減算手段 3 9 により求める。次に、補正関数発生手段 4 1 により、温度偏差 ΔT_{CB} に対応した空気補正值 F_{AM} が求められ、加算手段 4 2 により基準空気流量指令値 F_{AR0} に加算されて補正後の空気流量指令値 F_{AR} となる。

【 0 0 3 9 】

ここで、基準燃烧室温度設定手段 3 8 で決められる基準燃烧室温度 T_{CBS} とは、システムの静特性バランスとして適切な燃烧室温度であり、定常状態では燃烧室 1 2 を出たあとの排ガスにより空気予熱器 1 0、燃料予熱器 5、改質器 6 の運転状態が影響を受ける。補正関数 4 1 による空気補正は、目標出力指令値 L_{R0} に従って出力が変動する場合は、基準燃烧室温度 T_{CBS} に燃烧室温度に追従できるようにするためのものである。即ち、実際の燃烧室温度 T_{CB} が基準燃烧室温度 T_{CBS} よりも高くなったときは、空気流量を増やして温度を下げる働きをし、燃烧室温度 T_{CB} が下がった場合は逆に空気流量を減らす動作となる。これにより、燃料流量補正手段 3 0 と空気流量補正手段 4 0 が動作したときの影響も吸収され燃烧室温度 T_{CB} は安定に保つことができる。補正関数 4 1 としては温度偏差 ΔT_{CB} に対してデッドバンド (不感帯) $\pm T_a$ を設けているが、これは燃烧室 1 2 での流動ムラや燃烧ムラなどにより燃烧室温度 T_{CB} の僅かな温度変動があっても空気流量を変えないためである。

【 0 0 4 0 】

図 5 は制御装置の動作による各部の出力の時間経過を示すタイミングチャートである。本図はシミュレーションによって得たもので、時刻 t_1 から t_2 の間で目標出力指令値 L_{R0} を一定変化率で降下させ、時刻 t_3 から t_4 の間では、逆に目標出力指令値 L_{R0} を一定変化率で上昇させた場合を示す。出力変化率 (dL_{R0}/dt) はステップ状に変化して、 t_1 から t_2 の出力降下時は負方向の矩形状となり、 t_3 から t_4 の出力上昇時は正方向の矩形状となっている。燃料補正值 F_{FM} と給水補正值 F_{WM} は出力変化率 (dL_{R0}/dt) に比例し、かつ 2 次遅れ特性を示す。これら補正值 F_{FM} 、 F_{WM} が各々の基準値 F_{FR0} 、 F_{WR0} に加算されて実際の指令値 F_{FR} 、 F_{WR} となっている。従って、出力変化時の指令値の変化は両者とも基準値の変化より小さく、出力変化後は徐々に基準値まで復帰している。

【 0 0 4 1 】

一方、燃焼室温度 T_{CB} については、基準燃焼室温度設定値 T_{CBS} が出力指令値に応じて変更されている。実際の燃焼室温度 T_{CB} は基準燃焼室温度設定値 T_{CBS} よりも大きく変動する傾向を示すが、本発明によると実際の燃焼室温度 T_{CB} と基準値 T_{CBS} との温度偏差 ΔT_{CB} に応じて空気量補正值 F_{AM} が基準空気流量指令値 F_{ARO} に加算されるため、実際の燃焼室温度 T_{CB} の変動は抑制されている。即ち、出力降下時は燃焼室温度 T_{CB} の低下が抑制され、出力上昇時は燃焼室温度 T_{CB} の上昇が抑制される。

【0042】

以上の結果、本図に示すように改質率 R_F の変動が抑制され、その結果、燃料利用率 U_F も安定化されている。

【0043】

以上のように、本実施形態によれば、固体酸化物形燃料電池発電システムの出力変化時の燃料利用率を安定化できるため燃料枯れを回避でき、アノードの酸化による電池性能の劣化を防止できる。そのため、電池の耐久性が増し、長期に亘り高効率と高稼働率を維持できる。これにより燃料費や保守費を最小限にできるため、運用コストを大幅に低減することが可能となる。

【0044】

なお、本発明は上述の実施形態に限定されるものでなく、以下に述べる実施形態においても、その本質を何ら変えることなく適用可能である。

【0045】

まず、本発明の実施形態では燃料利用率安定化のための補正手段として、燃料補正值、給水補正值、空気補正值の3つの手段を用いる方法とした。しかし、必ずしも3つの手段を用いる必要はなく、システム構成や設計条件に応じて、これらの1つ、若しくは2つを適宜選択して実施する方法としても、本発明の本質を何ら変えるものではない。特に、燃料補正值と給水補正值を用いる方法は有効である。

【0046】

また、本発明の実施形態では燃料補正值と給水補正值を出力変化率に基づいて算出しているが、必ずしも出力変化率を用いなくても、これに順ずるものであれば良く、例えば電流値変化率を用いる方法としても本発明の本質を何ら変えることなく適用可能である。

【0047】

さらに、本発明の実施形態では燃料電池のセル構造として円筒型のものを対象としたが、本発明を適用するに当り円筒型セルに限定する必要はなく、平板型セルやその他の構造を持つセルに対しても、本発明の本質を何ら変更されることなく実施できる。

【0048】

また、本発明の実施形態は燃料電池システムのセル構造として、円筒の内側がアノード、外側がアノードとするものを対象としたが、この逆でもよい。即ち内側がアノード、外側がカソードとするセル構造を有する燃料電池システムに対しても、本発明の本質を何ら変更されることなく実施できる。

【0049】

また、本発明の実施形態では燃料補正值と給水補正值の算出に、2次遅れ特性を用いる方法としたが、必ずしも2次遅れ特性とする必要はない。例えば、1次遅れ特性やランプ関数などで燃料補正值 F_{FM} を柔軟に変更する方法であれば、燃料利用率の変動を抑制するという本発明の本質は変わらない。

【0050】

さらに、本発明の実施形態では空気流量補正用の補正関数41において、補正感度 F_m や補正の有効域 T_b を規定している。この補正関数はシステムの設計条件に応じて、例えば、3次曲線や比例積分演算など適宜採用した方法としても、燃焼室温度を安定化させることで燃料利用率を安定化するという本発明の本質は変わらない。

【0051】

また、本発明の実施形態では空気流量補正のために燃焼室温度を用いたが、必ずしも燃焼室温度に着目する必要はなく、これに順ずるものであれば良い。例えば、燃焼室を出た

10

20

30

40

50

あとの排ガス温度を用いる方法としても本発明の本質を何ら変えることなく適用可能である。

【 0 0 5 2 】

さらに、本発明の実施形態では排ガスが空気予熱器、燃料予熱器、改質器の順次に供給されるシステム構成としているが、必ずしもこの構成とする必要はない。例えば、排ガスが改質器を通過してから燃料予熱器に供給されたり、給水蒸発器を別途配置されたりしたシステム構成であっても、本発明の本質を何ら変えることなく適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 3 】

【図 1】本発明の 1 実施形態による燃料電池発電システムの機器本体及び制御装置の機能を示す構成図。

10

【図 2】1 実施形態による燃料流量補正手段の構成図。

【図 3】1 実施形態による給水流量補正手段の構成図。

【図 4】1 実施形態による空気流量補正手段の構成図。

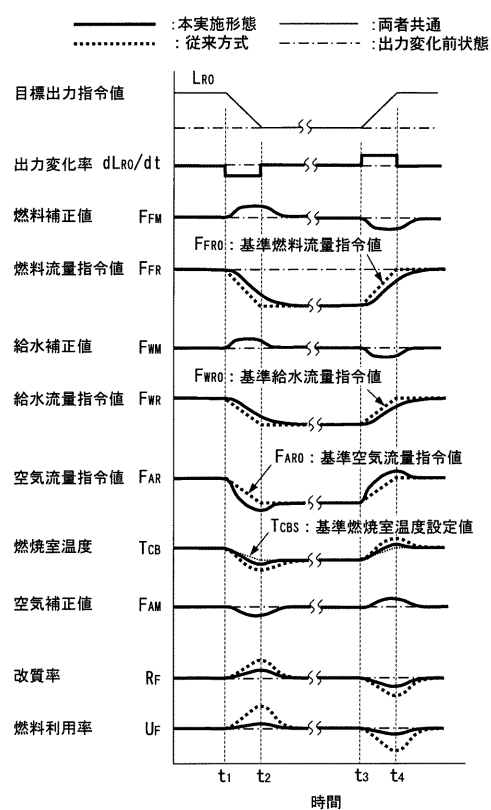
【図 5】本実施形態による燃料電池発電システムの動作を示すタイミングチャート。

【符号の説明】

【 0 0 5 4 】

1 ... 燃料、2 ... 燃料タンク、3 ... 給水、4 ... 給水タンク、5 ... 燃料予熱器、6 ... 改質器、7 ... 改質ガス、8 ... 燃料電池、9 ... 空気、10 ... 空気予熱器、11 ... セル、12 ... 燃焼室、13 ... マニホールド、14 ... 空気導入管、15 ... 電力変換器、16 ... 負荷、17 ... 燃料流量調整弁、18 ... 給水ポンプ、19 ... 空気ブロア、20 ... 排ガスのブロア、21 ... 目標出力設定手段、23 ... ブロア速度指令手段、25 ... ポンプ速度指令手段、27 ... 弁開度指令手段、28 ... 電力変換器制御手段、29 ... 出力変化率演算手段、22 ... 基準燃料流量指令手段、24 ... 基準給水流量指令手段、26 ... 基準空気流量指令手段、30 ... 燃料流量補正手段、40 ... 給水流流量補正手段、60 ... 空気流量補正手段、31 ... 比例ゲイン、32 ... 2 次遅れ特性演算手段、33 ... 加算手段、34 ... 比例ゲイン、35 ... 2 次遅れ特性演算手段、36 ... 加算手段、37 ... 温度計、38 ... 基準燃焼室温度設定手段、39 ... 減算手段、41 ... 補正関数、42 ... 加算手段、100 ... 燃料電池機器本体、200 ... 制御装置、50 ... 燃料流量制御手段、150 ... 給水流量制御手段、250 ... 空気流量制御手段。

20



フロントページの続き

(72)発明者 軍司 章

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

審査官 池田 貴俊

(56)参考文献 特開2004-026596(JP,A)

特開2005-276628(JP,A)

特開2006-244882(JP,A)

特開2003-292303(JP,A)

特開昭61-101970(JP,A)

特開2005-183071(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 8/04

H01M 8/06

H01M 8/12