

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6239229号
(P6239229)

(45) 発行日 平成29年11月29日 (2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日 (2017.11.10)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04225 (2016.01)	HO 1 M 8/04 X
HO 1 M 8/04302 (2016.01)	HO 1 M 8/04 J
HO 1 M 8/04 (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)	

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2012-265591 (P2012-265591)	(73) 特許権者	514030104
(22) 出願日	平成24年12月4日 (2012.12.4)		三菱日立パワーシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2014-110226 (P2014-110226A)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
(43) 公開日	平成26年6月12日 (2014.6.12)	(74) 代理人	100112737
審査請求日	平成27年10月6日 (2015.10.6)		弁理士 藤田 考晴
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成20年度～平成22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要素技術開発実用性向上のための技術開発超効率運転のための高圧運転技術」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)		(74) 代理人	100118913
			弁理士 上田 邦生
		(72) 発明者	寺本 雄一
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	永井 卓磨
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池システムおよび燃料電池運転方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

空気極と燃料極とを有する燃料電池と、
 燃料ガスを前記燃料極に供給する燃料供給装置と、
 水蒸気を前記燃料極に供給する水蒸気供給装置と、
 不活性ガスを前記燃料極に供給する不活性ガス供給装置と、

前記燃料電池が発電する前に、前記燃料極が配置される発電室の温度が、前記燃料極において前記燃料ガスを改質して水素を生成可能な所定温度以上になったときに、前記水蒸気と前記燃料ガスとが所定の流量比で混合された混合ガスが前記燃料極に供給開始されるように、前記燃料供給装置と前記水蒸気供給装置とを制御し、前記燃料電池が発電する前であって、前記混合ガスが前記燃料極に供給される前、及び、前記混合ガスが前記燃料極に供給されているときに前記不活性ガスが前記燃料極に供給されるように前記不活性ガス供給装置を制御する制御装置とを備える燃料電池システム。

【請求項2】

前記所定温度は、400度以上とする請求項1に記載される燃料電池システム。

【請求項3】

前記制御装置は、さらに、前記所定の流量比は、前記混合ガスが含有する水蒸気量を前記混合ガスが含有する炭素量で除算したS/C比が5以上になるように、前記燃料供給装置と前記水蒸気供給装置とを制御する請求項1～請求項2に記載される燃料電池システム

。

【請求項 4】

前記燃料極が配置される発電室の温度を計測する温度計をさらに備え、

前記制御装置は、前記温度に基づいて決定されたタイミングで前記混合ガスが前記燃料極に供給されるように、前記燃料供給装置と前記水蒸気供給装置とを制御する請求項 1 ~ 請求項 3 のうちのいずれか一項に記載される燃料電池システム。

【請求項 5】

前記制御装置は、さらに、前記燃料電池が発電しているときに、前記所定の流量比は、前記混合ガスが含有する水蒸気量を前記混合ガスが含有する炭素量で除算した S/C 比が 5 以下になるように、前記燃料供給装置と前記水蒸気供給装置とを制御する請求項 1 ~ 請求項 4 のうちのいずれか一項に記載される燃料電池システム。

10

【請求項 6】

前記燃料電池により発電された電力を消費する電力負荷に前記燃料電池から流れる電流を測定する電力負荷測定装置をさらに備え、

前記制御装置は、前記燃料電池が発電しているときに、前記水蒸気が前記燃料極に単位時間あたりに供給される水蒸気供給量が、前記電流に基づいて算出される水蒸気供給量に等しくなるように、前記水蒸気供給装置をさらに制御する請求項 1 ~ 請求項 5 のうちのいずれか一項に記載される燃料電池システム。

【請求項 7】

還元性ガスを前記燃料極に供給する還元性ガス供給装置をさらに備え、

前記制御装置は、さらに、前記所定温度以下で、

前記混合ガスが前記燃料極に供給される前の少なくとも一期間に、前記還元性ガスが前記燃料極に供給されるように、前記還元性ガス供給装置を制御し、

前記混合ガスが供給されているときに、前記還元性ガスが前記燃料極に供給されないように、前記還元性ガス供給装置を制御する請求項 1 ~ 請求項 6 のうちのいずれか一項に記載される燃料電池システム。

20

【請求項 8】

前記制御装置は、前記混合ガスが前記燃料極に供給されているときに前記不活性ガスが前記燃料極に供給されるように、かつ、前記混合ガスが前記燃料極に供給されているときに前記不活性ガスが前記燃料極に供給される供給量が、前記混合ガスが前記燃料極に供給される前に前記不活性ガスが前記燃料極に供給される供給量より小さくなるように、前記不活性ガス供給装置を制御する請求項 1 ~ 請求項 7 のうちのいずれか一項に記載される燃料電池システム。

30

【請求項 9】

前記制御装置は、前記燃料電池が発電しており、かつ、前記電力負荷に流れる電流が所定電流に達した場合に、前記還元性ガスが前記燃料極に供給されないように、前記還元性ガス供給装置を制御し、前記不活性ガスが前記燃料極に供給されないように、前記不活性ガス供給装置を制御する請求項 8 に記載される燃料電池システム。

【請求項 10】

酸素が供給される空気極と燃料極とを有する燃料電池と、

燃料ガスを前記燃料極に供給する燃料供給装置と、

水蒸気を前記燃料極に供給する水蒸気供給装置と

不活性ガスを前記燃料極に供給する不活性ガス供給装置と、

を備える燃料電池システムを用いて実行される燃料電池運転方法であり、

前記燃料電池が発電する前に、前記燃料極が配置される発電室の温度が、前記燃料極において前記燃料ガスを改質して水素を生成可能な所定温度以上になったときに、前記水蒸気と前記燃料ガスとが所定の流量比で混合された混合ガスが前記燃料極に供給開始されるように、前記燃料供給装置と前記水蒸気供給装置とを制御すること、

前記燃料電池が発電する前であって、前記混合ガスが前記燃料極に供給される前、及び、前記混合ガスが前記燃料極に供給されているときに前記不活性ガスが前記燃料極に供給

40

50

されるように前記不活性ガス供給装置を制御すること、

前記混合ガスが前記燃料極に供給された後に、前記燃料電池が発電すること
とを備える燃料電池運転方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池システムおよび燃料電池運転方法に関し、特に、燃料ガスと酸素とを化学反応させることにより発電する燃料電池システムおよび燃料電池運転方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

燃料ガスと酸素とを化学反応させることにより発電する燃料電池が知られている。このうち、固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell：以下「S O F C」と呼ぶ）は、電解質としてジルコニアセラムックスなどのセラムックスが用いられ、都市ガス、天然ガス、石油、メタノール、石炭ガス化ガスなどを燃料として運転される燃料電池である。このS O F Cは、イオン伝導率を高めるために作動温度が約700～1000程度と高く、用途の広い高効率な高温型燃料電池として知られている。このような燃料電池を備える燃料電池システムは、燃料電池の燃料として、炭化水素系ガスなどから水素や一酸化炭素へ改質して燃料極の反応に用いるものは、燃料極の健全性を維持しながら改質反応を行うとともに燃料電池が適切に発電するように、適切な量の水蒸気を燃料電池に供給している。

20

【0003】

特許第3917838号公報には、直列接続モジュールのうちの先頭の燃料電池に燃料と水蒸気を投入することにより、システム全体の効率を向上させ、燃料利用率の向上を図り、水蒸気の供給の効率化を図ることができる燃料電池システムが開示されている。

【0004】

特開2006-294508号公報には、発電停止時以降も少量の水と燃料ガスの供給を継続しつつ、燃料電池の熱容量を利用して、水蒸気を生成し、改質ガスと水蒸気の混合ガスを燃料極に供給することにより、燃料極層側を還元状態に保持しつつ、スタック温度を低下させる燃料電池発電装置が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3917838号公報

【特許文献2】特開2006-294508号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

このような燃料電池システムは、所定の電力を発電する定格運転に移行される前に、燃料電池を発電可能な温度まで昇温した後に、定格運転時の所定温度まで発電に伴う反応熱を利用しながら昇温を行うにあたり、燃料電池から電力負荷に流れる電流を徐々に増加させる期間を設ける必要がある。このような燃料電池システムは、燃料電池が発電を開始してから定格運転に移行するまでの時間を短縮することが望まれている。

40

【0007】

本発明の課題は、燃料電池が発電を開始してから所定の電力を発電する定格運転に移行するまでの時間を短縮する燃料電池システムおよび燃料電池運転方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明による燃料電池システムは、空気極と燃料極とを有する燃料電池と、燃料ガスを

50

その燃料極に供給する燃料供給装置と、水蒸気をその燃料極に供給する水蒸気供給装置と、制御装置とを備えている。その制御装置は、その燃料電池が発電する前に、その燃料極が配置される発電室の温度が所定温度以上であるときに、その水蒸気とその燃料ガスとが混合された混合ガスがその燃料極に供給されるように、その燃料供給装置とその水蒸気供給装置とを制御する。その所定温度は、400度以上とする。

【0009】

このような燃料電池システムは、発電室の温度が概ね400以上であるときにその混合ガスを燃料極に供給することにより、その水蒸気と燃料ガスとから本格的に水素が生成される改質反応が燃料極で起こりはじめ、燃料電池が発電する前に、その水素によりその燃料極を還元雰囲気配置することができる。なお、改質反応を利用できる温度は、必要

10

な水素量と燃料極の改質触媒としての活性能力次第であるが、発電室の温度が概ね350よりも高いときに改質反応が起こり始めるので、発電室の温度は350以上が好ましく、確実な改質反応を得るには、400以上がさらに好ましい。このような燃料電池システムは、燃料電池が発電を開始する前からその燃料極が還元雰囲気配置されることにより、燃料電池が発電を開始する以前の昇温段階から燃料電池の燃料極の雰囲気を還元雰囲気に維持しながら、発電に使用する燃料ガスを用いて昇温することができ、所定温度に昇温後は速やかに燃料電池が発電を開始し、定格運転に移行するまでの時間を短縮することができる。

【0010】

その制御装置は、さらに、その混合ガスがその水蒸気を含有する水蒸気量をその混合ガスが炭素を含有する炭素量で除算したS/C比が5以上になるように、その燃料供給装置とその水蒸気供給装置とを制御する。

20

【0011】

このような燃料電池システムは、その燃料極に炭素が析出することを防止することができ、燃料電池が発電するときに燃料極または絶縁部で電流がリークすることを防止することができる。

【0012】

本発明による燃料電池システムは、その燃料極が配置される発電室の温度を計測する温度計をさらに備えている。このとき、その制御装置は、その温度に基づいて決定されたタイミングでその混合ガスがその燃料極に供給されるように、その燃料供給装置とその水蒸気供給装置とを制御する。

30

【0013】

その改質反応は、その燃料極の温度が高いほど促進される。このため、このような燃料電池システムは、その発電室の温度がその所定の温度以上になった後にその混合ガスをその燃料極に供給することにより、その改質反応をより適切に進行させることができ、その燃料極をより高効率に還元雰囲気に配置することができる。

【0014】

その制御装置は、さらに、その燃料電池が発電しているときに、その混合ガスがその水蒸気を含有する水蒸気量をその混合ガスが炭素を含有する炭素量で除算したS/C比が5以下になるように、その燃料供給装置とその水蒸気供給装置とを制御する。

40

【0015】

このような燃料電池システムは、セルスタックの内側で炭素が析出することを防止することができ、燃料電池が発電するときに燃料極で電流がリークすることを防止することができる。

【0016】

本発明による燃料電池システムは、その燃料電池により発電された電力を消費する電力負荷にその燃料電池から流れる電流を測定する電力負荷測定装置をさらに備えている。このとき、その制御装置は、その燃料電池が発電しているときに、その水蒸気がその燃料極に単位時間あたりに供給される供給量が、その電流に基づいて算出される供給量に等しくなるように、その水蒸気供給装置をさらに制御する。

50

【 0 0 1 7 】

このような燃料電池システムは、燃料電池が発電しているときに燃料極における燃料ガスと水による改質反応で水素が生成され、燃料極が還元雰囲気配置される。このような燃料電池システムは、燃料電池が発電しているときに、燃料極に供給される水蒸気の供給量を低減することにより、燃料極が配置される雰囲気の水素量を適切に制御することができる。

【 0 0 1 8 】

本発明による燃料電池システムは、還元性ガスをその燃料極に供給する還元性ガス供給装置をさらに備えている。このとき、その制御装置は、さらに、その混合ガスがその燃料極に供給される前に、その還元性ガスがその燃料極に供給されるように、その還元性ガス供給装置を制御し、その混合ガスが供給されているときに、その還元性ガスがその燃料極に供給されないように、その還元性ガス供給装置を制御する。

10

【 0 0 1 9 】

このような燃料電池システムは、その混合ガスが燃料極に供給される前に、その燃料極を還元雰囲気に配置することができる。

【 0 0 2 0 】

本発明による燃料電池システムは、不活性ガスをその燃料極に供給する不活性ガス供給装置をさらに備えている。このとき、その制御装置は、その混合ガスがその燃料極に供給されているときにその不活性ガスがその燃料極に供給されるように、かつ、その混合ガスがその燃料極に供給されているときにその不活性ガスがその燃料極に供給される供給量が、その混合ガスがその燃料極に供給される前にその不活性ガスがその燃料極に供給される供給量より小さくなるように、その不活性ガス供給装置を制御する。

20

【 0 0 2 1 】

このような燃料電池システムは、燃料電池が発電するときに、その不活性ガスにより燃料ガスの濃度が低下することを防止し、より適切に発電することができる。

【 0 0 2 2 】

その制御装置は、その燃料電池が発電しており、かつ、その電力負荷に流れる電流が所定電流に達した場合に、その還元性ガスがその燃料極に供給されないように、その還元性ガス供給装置を制御し、その不活性ガスがその燃料極に供給されないように、その不活性ガス供給装置を制御する。

30

【 0 0 2 3 】

本発明による燃料電池運転方法は、燃料電池システムを用いて実行される。その燃料電池システムは、酸素が供給される空気極と燃料極とを有する燃料電池と、燃料ガスをその燃料極に供給する燃料供給装置と、水蒸気をその燃料極に供給する水蒸気供給装置とを備えている。本発明による燃料電池運転方法は、その燃料電池が発電する前に、その燃料極が400以上であるときに、その水蒸気とその燃料ガスとが混合された混合ガスがその燃料極に供給されるように、その燃料供給装置とその水蒸気供給装置とを制御すること、その混合ガスがその燃料極に供給された後に、その燃料電池が発電することとを備えている。

【 0 0 2 4 】

このような燃料電池運転方法によれば、燃料電池システムは、燃料極が400以上であるときにその混合ガスを燃料極に供給することにより、その水蒸気と燃料ガスとから水素が生成される改質反応が燃料極で起こり、燃料電池が発電する前に、その水素によりその燃料極を還元雰囲気に配置することができる。このような燃料電池運転方法によれば、燃料電池システムは、燃料電池が発電を開始する前からその燃料極が還元雰囲気で配置されることにより、燃料電池が発電を開始する以前の昇温段階から燃料電池の燃料極の雰囲気を還元雰囲気に維持しながら、発電に使用する燃料ガスをを用いて昇温することができ、所定温度に昇温後は速やかに燃料電池が発電を開始し、定格運転に移行するまでの時間を短縮することができる。

40

【 発明の効果 】

50

【 0 0 2 5 】

本発明による燃料電池システムおよび燃料電池運転方法は、燃料電池が発電を開始する前からその燃料極を還元雰囲気に配置することにより、燃料電池が発電を開始してから定格運転に移行するまでの時間を短縮し、発電を開始する前から燃料極が酸化することによるセルの劣化を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

【図 1】本発明による燃料電池システムの一態様を示すブロック図である。

【図 2】S O F C モジュールの一態様を示すものである。

【図 3】S O F C カートリッジの断面の一態様を示すものである。

【図 4】セルスタックの一態様を示すものである。

【図 5】制御装置を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 7 】

図面を参照して、燃料電池システムの実施の形態が以下に記載される。その燃料電池システム 1 は、図 1 に示されるように、複合発電システム 2 に適用されている。複合発電システム 2 は、燃料電池システム 1 とマイクロガスタービン 3 とを備えている。燃料電池システム 1 は、燃料供給装置 5 と水蒸気供給装置 6 と還元性ガス供給装置 7 と不活性ガス供給装置 8 と制御装置 10 とを備え、さらに、燃料供給系 11 と酸化性ガス供給系 12 と燃料ガス排出系 14 と酸化性ガス排出系 15 と再循環ライン 16 と S O F C (固体酸化物形燃料電池、S o l i d O x c i d e F u e l C e l l) モジュール 201 とを備えている。

【 0 0 2 8 】

燃料供給装置 5 は、制御装置 10 に制御されることにより、都市ガスを燃料供給系 11 に供給する。すなわち、燃料供給装置 5 は、流量調整弁 21 を備えている。流量調整弁 21 は、都市ガス供給源と燃料供給系 11 とを接続する流路の途中に設置され、制御装置 10 に制御されることにより、その都市ガス供給源から燃料供給系 11 に都市ガスが単位時間あたりに供給される流量を変動させる。なお、燃料としては、水素 (H_2) および一酸化炭素 (CO)、メタン (CH_4) などの炭化水素系ガス、石炭など炭素質原料のガス化設備により製造したガスを用いても良い。

【 0 0 2 9 】

水蒸気供給装置 6 は、制御装置 10 に制御されることにより、燃料供給系 11 に水蒸気を供給する。すなわち、水蒸気供給装置 6 は、ボイラー 22 と流量調整弁 23 と開閉弁 24 とを備えている。ボイラー 22 は、市水供給源から供給される水を加熱することにより水蒸気を生成する。流量調整弁 23 は、制御装置 10 に制御されることにより、ボイラー 22 により生成された水蒸気が燃料供給系 11 に単位時間あたりに供給される流量を変動させる。開閉弁 24 は、制御装置 10 に制御されることにより、流量調整弁 23 と燃料供給系 11 とを接続する流路を開閉する。

【 0 0 3 0 】

還元性ガス供給装置 7 は、制御装置 10 に制御されることにより、還元性ガス供給装置 7 から燃料供給系 11 に水素が単位時間あたりに供給される供給量が所定の供給量に等しくなるように、燃料供給系 11 に水素を供給する。

【 0 0 3 1 】

不活性ガス供給装置 8 は、制御装置 10 に制御されることにより、不活性ガス供給装置 8 から燃料供給系 11 に窒素が単位時間あたりに供給される供給量が所定の供給量に等しくなるように、燃料供給系 11 に窒素を供給する。なお、その窒素は、他の不活性ガスに置換されることができる。その不活性ガスとしては、アルゴンが例示される。

【 0 0 3 2 】

燃料供給系 11 は、S O F C モジュール 201 に接続される流路を形成している。燃料供給系 11 は、燃料供給装置 5 から供給される都市ガスと水蒸気供給装置 6 から供給され

10

20

30

40

50

る水蒸気と還元性ガス供給装置 7 から供給される水素と不活性ガス供給装置 8 から供給される窒素と再循環ラインから供給される排燃料ガスとを混合し、その混合された混合ガスを S O F C モジュール 2 0 1 に供給する。

【 0 0 3 3 】

酸化性ガス供給系 1 2 は、S O F C モジュール 2 0 1 に接続される流路を形成している。酸化性ガス供給系 1 2 は、マイクロガスタービン 3 により圧縮される酸化性ガスを S O F C モジュール 2 0 1 に供給する。

【 0 0 3 4 】

S O F C モジュール 2 0 1 は、燃料供給系 1 1 から供給される混合ガスと酸化性ガス供給系 1 2 から供給される酸化性ガスとを化学反応させることにより発電し、排酸化性ガスと排燃料ガスとを排気する。

10

【 0 0 3 5 】

燃料ガス排出系 1 4 は、S O F C モジュール 2 0 1 に接続される流路を形成している。燃料ガス排出系 1 4 は、S O F C モジュール 2 0 1 から排気される排燃料ガスの一部を再循環ライン 1 6 に供給し、その排燃料ガスの残りをマイクロガスタービン 3 に供給する。

【 0 0 3 6 】

酸化性ガス排出系 1 5 は、S O F C モジュール 2 0 1 に接続される流路を形成している。酸化性ガス排出系 1 5 は、S O F C モジュール 2 0 1 から排気される酸化性ガスをマイクロガスタービン 3 に供給する。

【 0 0 3 7 】

20

再循環ライン 1 6 は、燃料ガス排出系 1 4 と燃料供給系 1 1 とを接続する流路を形成している。再循環ライン 1 6 は、燃料ガス排出系 1 4 に供給される排燃料ガスの一部を燃料供給系 1 1 に供給する。

【 0 0 3 8 】

マイクロガスタービン 3 は、都市ガス供給源から供給される都市ガスと燃料ガス排出系 1 4 から供給される排燃料ガスと酸化性ガス排出系 1 5 から供給される排酸化性ガスとを用いて、発電し、酸化性ガスを供給する。すなわち、マイクロガスタービン 3 は、燃焼器 4 1 とガスタービン 4 2 と圧縮機 4 3 と発電機 4 4 と熱交換器 4 5 とを備えている。燃焼器 4 1 は、酸化性ガス排出系 1 5 から供給される排酸化性ガスを用いて、または、圧縮機 4 3 により供給される圧縮空気を用いて、燃料ガス排出系 1 4 から供給される排燃料ガスを燃焼することにより、または、都市ガス供給源から供給される都市ガスを燃焼することにより、高温高压の燃焼排ガスを生成する。ガスタービン 4 2 は、燃焼器 4 1 により生成された燃焼排ガスを用いて回転動力を生成し、排ガスを排気する。圧縮機 4 3 は、ガスタービン 4 2 により生成された回転動力を用いて空気を圧縮することにより、圧縮空気を供給する。発電機 4 4 は、ガスタービン 4 2 により生成された回転動力に余剰がある場合は発電を行っても良い。熱交換器 4 5 は、ガスタービン 4 2 により排気された排ガスの熱を用いて、圧縮機 4 3 により供給された圧縮空気を加熱することにより、酸化性ガスを供給する。その酸化性ガスの流量は、マイクロガスタービン 3 により供給される圧縮空気の流量に一致する。

30

【 0 0 3 9 】

40

以下においては、説明の便宜上、紙面を基準として「上」及び「下」の表現を用いて各構成要素の位置関係を特定するが、鉛直方向に対して必ずしもこの限りである必要はない。例えば、紙面における上方向が鉛直方向における下方向に対応してもよい。また、紙面における上下方向が鉛直方向に直行する水平方向に対応してもよい。また、以下においては、固体酸化物形燃料電池 (S O F C) のセルスタックとして円筒形を例として説明するが、必ずしもこの限りである必要はなく、例えば平板形のセルスタックであってもよい。

【 0 0 4 0 】

S O F C モジュール 2 0 1 は、図 2 に示すように、例えば、複数の S O F C カートリッジ 2 0 3 と、これら複数の S O F C カートリッジ 2 0 3 を収納する圧力容器 2 0 5 とを有する。また、S O F C モジュール 2 0 1 は、燃料ガス供給管 2 0 7 と複数の燃料ガス供給

50

枝管 207a とを有する。また S O F C モジュール 201 は、燃料ガス排出管 209 と複数の燃料ガス排出枝管 209a とを有する。また、S O F C モジュール 201 は、酸化性ガス供給管（不図示）と酸化性ガス供給枝管（不図示）とを有する。また、S O F C モジュール 201 は、酸化性ガス排出管（不図示）と複数の酸化性ガス排出枝管（不図示）とを有する。

【0041】

燃料ガス供給管 207 は、圧力容器 205 の外部に設けられ、S O F C モジュール 201 の発電量に対応して所定ガス組成と所定流量の燃料ガスを供給する燃料供給系 11 に接続されると共に、複数の燃料ガス供給枝管 207a に接続されている。この燃料ガス供給管 207 は、燃料供給系 11 から供給される所定流量の燃料ガスを、複数の燃料ガス供給枝管 207a に分岐して導くものである。また、燃料ガス供給枝管 207a は、燃料ガス供給管 207 に接続されると共に、複数の S O F C カートリッジ 203 に接続されている。この燃料ガス供給枝管 207a は、燃料ガス供給管 207 から供給される燃料ガスを複数の S O F C カートリッジ 203 に略均等の流量で導き、複数の S O F C カートリッジ 203 の発電性能を略均一化させるものである。

【0042】

燃料ガス排出枝管 209a は、複数の S O F C カートリッジ 203 に接続されると共に、燃料ガス排出管 209 に接続されている。この燃料ガス排出枝管 209a は、S O F C カートリッジ 203 から排出される排燃料ガスを燃料ガス排出管 209 に導くものである。また、燃料ガス排出管 209 は、複数の燃料ガス排出枝管 209a に接続されると共に、一部が圧力容器 205 の外部に配置されている。この燃料ガス排出管 209 は、燃料ガス排出枝管 209a から略均等の流量で導出される排燃料ガスを圧力容器 205 の外部（燃料ガス排出系 14）に導くものである。

【0043】

圧力容器 205 は、内部の圧力が 0.1 MPa ~ 約 1 MPa、内部の温度が大気温度 ~ 約 550 で運用されるので、耐力性と酸化性ガス中に含まれる酸素などの酸化剤に対する耐食性を保有する材質が利用される。例えば S U S 304 などのステンレス系材が好適である。

【0044】

ここで、本実施例においては、複数の S O F C カートリッジ 203 が集合化されて圧力容器 205 に収納される態様について説明しているが、これに限られず例えば、S O F C カートリッジ 203 が集合化されずに圧力容器 205 内に収納される態様とすることもできる。

【0045】

S O F C カートリッジ 203 は、図 3 に示す通り、複数のセルスタック 101 と、発電室 215 と、燃料ガス供給室 217 と、燃料ガス排出室 219 と、酸化性ガス供給室 221 と、酸化性ガス排出室 223 とを有する。また、S O F C カートリッジ 203 は、上部管板 225a と、下部管板 225b と、上部断熱体 227a と、下部断熱体 227b とを有する。なお、本実施例においては、S O F C カートリッジ 203 は、燃料ガス供給室 217 と燃料ガス排出室 219 と酸化性ガス供給室 221 と酸化性ガス排出室 223 とが図 3 のように配置されることで、燃料ガスと酸化性ガスとがセルスタック 101 の内側と外側とを対向して流れる構造となっているが、必ずしもこの必要はなく、例えば、セルスタックの内側と外側とを平行して流れる、または酸化性ガスがセルスタックの長手方向と直交する方向へ流れるようにしても良い。

【0046】

発電室 215 は、上部断熱体 227a と下部断熱体 227b との間に形成された領域である。この発電室 215 は、セルスタック 101 の燃料電池セル 105 が配置され、燃料ガスと酸化性ガスとを電気化学的に反応させて発電を行う領域である。また、この発電室 215 のセルスタック 101 長手方向の中央部付近での温度は、S O F C モジュール 201 の定常運転時に、およそ 700 ~ 1100 の高温雰囲気となる。

【 0 0 4 7 】

燃料ガス供給室 2 1 7 は、S O F C カートリッジ 2 0 3 の上部ケーシング 2 2 9 a と上部管板 2 2 5 a とに囲まれた領域である。また、燃料ガス供給室 2 1 7 は、上部ケーシング 2 2 9 a に備えられた燃料ガス供給孔 2 3 1 a によって、燃料ガス供給枝管 2 0 7 a と連通されている。また、燃料ガス供給室 2 1 7 には、セルスタック 1 0 1 の一方の端部が、セルスタック 1 0 1 の基体管 1 0 3 の内部が燃料ガス排出室 2 1 9 に対して開放して配置されている。この燃料ガス供給室 2 1 7 は、燃料ガス供給枝管 2 0 7 a から燃料ガス供給孔 2 3 1 a を介して供給される燃料ガスを、複数のセルスタック 1 0 1 の基体管 1 0 3 の内部に略均一流量で導き、複数のセルスタック 1 0 1 の発電性能を略均一化させるものである。

10

【 0 0 4 8 】

燃料ガス排出室 2 1 9 は、S O F C カートリッジ 2 0 3 の下部ケーシング 2 2 9 b と下部管板 2 2 5 b とに囲まれた領域である。また、燃料ガス排出室 2 1 9 は、下部ケーシング 2 2 9 b に備えられた燃料ガス排出孔 2 3 1 b によって、燃料ガス排出枝管 2 0 9 a と連通されている。また、燃料ガス排出室 2 1 9 には、セルスタック 1 0 1 の他方の端部が、セルスタック 1 0 1 の基体管 1 0 3 の内部が燃料ガス排出室 2 1 9 に対して開放して配置されている。この燃料ガス排出室 2 1 9 は、複数のセルスタック 1 0 1 の基体管 1 0 3 の内部を通過して燃料ガス排出室 2 1 9 に供給される排燃料ガスを集約して、燃料ガス排出孔 2 3 1 b を介して燃料ガス排出枝管 2 0 9 a に導くものである。

【 0 0 4 9 】

20

その酸化性ガス供給管は、酸化性ガス供給系 1 2 から酸化性ガスが供給され、S O F C モジュール 2 0 1 の発電量に対応して所定ガス組成と所定流量の酸化性ガスを酸化性ガス供給枝管へと分岐して、複数の S O F C カートリッジ 2 0 3 へ供給する。酸化性ガス供給室 2 2 1 は、S O F C カートリッジ 2 0 3 の下部ケーシング 2 2 9 b と下部管板 2 2 5 b と下部断熱体 2 2 7 b とに囲まれた領域である。また、酸化性ガス供給室 2 2 1 は、下部ケーシング 2 2 9 b に備えられた酸化性ガス供給孔 2 3 3 a によって、図示しない酸化性ガス供給枝管と連通されている。この酸化性ガス供給室 2 2 1 は、図示しない酸化性ガス供給枝管から酸化性ガス供給孔 2 3 3 a を介して供給される所定流量の酸化性ガスを、後述する酸化性ガス供給隙間 2 3 5 a を介して発電室 2 1 5 に導くものである。

【 0 0 5 0 】

30

酸化性ガス排出室 2 2 3 は、S O F C カートリッジ 2 0 3 の上部ケーシング 2 2 9 a と上部管板 2 2 5 a と上部断熱体 2 2 7 a とに囲まれた領域である。また、酸化性ガス排出室 2 2 3 は、上部ケーシング 2 2 9 a に備えられた酸化性ガス排出孔 2 3 3 b によって、図示しない酸化性ガス排出枝管と連通されている。この酸化性ガス排出室 2 2 3 は、発電室 2 1 5 から、後述する酸化性ガス排出隙間 2 3 5 b を介して酸化性ガス排出室 2 2 3 に供給される排酸化性ガスを、酸化性ガス排出孔 2 3 3 b を介して図示しない酸化性ガス排出枝管に導くものである。その酸化性ガス排出枝管は、図示されていない酸化性ガス排出管に連通している。その酸化性ガス排出管は、その酸化性ガス排出枝管から供給される排酸化性ガスを酸化性ガス排出系 1 5 に供給する。

【 0 0 5 1 】

40

上部管板 2 2 5 a は、上部ケーシング 2 2 9 a の天板と上部断熱体 2 2 7 a との間に、上部管板 2 2 5 a と上部ケーシング 2 2 9 a の天板と上部断熱体 2 2 7 a とが略平行になるように、上部ケーシング 2 2 9 a の側板に固定されている。また上部管板 2 2 5 a は、S O F C カートリッジ 2 0 3 に備えられるセルスタック 1 0 1 の本数に対応した複数の孔を有し、該孔にはセルスタック 1 0 1 が夫々挿入されている。この上部管板 2 2 5 a は、複数のセルスタック 1 0 1 の一方の端部をシール部材及び接着部材のいずれか一方又は両方を介して気密に支持すると共に、燃料ガス供給室 2 1 7 と酸化性ガス排出室 2 2 3 とを隔離するものである。

【 0 0 5 2 】

下部管板 2 2 5 b は、下部ケーシング 2 2 9 b の底板と下部断熱体 2 2 7 b との間に、

50

下部管板 2 2 5 b と下部ケーシング 2 2 9 b の底板と下部断熱体 2 2 7 b とが略平行になるように下部ケーシング 2 2 9 b の側板に固定されている。また下部管板 2 2 5 b は、S O F C カートリッジ 2 0 3 に備えられるセルスタック 1 0 1 の本数に対応した複数の孔を有し、該孔にはセルスタック 1 0 1 が夫々挿入されている。この下部管板 2 2 5 b は、複数のセルスタック 1 0 1 の他方の端部をシール部材及び接着部材のいずれか一方又は両方を介して気密に支持すると共に、燃料ガス排出室 2 1 9 と酸化性ガス供給室 2 2 1 とを隔離するものである。

【 0 0 5 3 】

上部断熱体 2 2 7 a は、上部ケーシング 2 2 9 a の下端部に、上部断熱体 2 2 7 a と上部ケーシング 2 2 9 a の天板と上部管板 2 2 5 a とが略平行になるように配置され、上部ケーシング 2 2 9 a の側板に固定されている。また、上部断熱体 2 2 7 a には、S O F C カートリッジ 2 0 3 に備えられるセルスタック 1 0 1 の本数に対応して、複数の孔が設けられている。この孔の直径はセルスタック 1 0 1 の外径よりも大きく設定されている。上部断熱体 2 2 7 a は、この孔の内面と、上部断熱体 2 2 7 a に挿通されたセルスタック 1 0 1 の外面との間に形成された酸化性ガス排出隙間 2 3 5 b を有する。

【 0 0 5 4 】

この上部断熱体 2 2 7 a は、発電室 2 1 5 と酸化性ガス排出室 2 2 3 とを仕切るものであり、上部管板 2 2 5 a の周囲の雰囲気が高温度化し強度低下や酸化性ガス中に含まれる酸化剤による腐食が増加することを抑制する。上部管板 2 2 5 a 等はインコネルなどの高温耐久性のある金属材料から成るが、上部管板 2 2 5 a 等が発電室 2 1 5 内の高温に晒されて上部管板 2 2 5 a 等内の温度差が大きくなることで熱変形することを防ぐものである。また、上部断熱体 2 2 7 a は、発電室 2 1 5 を通過して高温に晒された排酸化性ガスを、酸化性ガス排出隙間 2 3 5 b を通過させて酸化性ガス排出室 2 2 3 に導くものである。

【 0 0 5 5 】

本実施例によれば、上述した S O F C カートリッジ 2 0 3 の構造により、燃料ガスと酸化性ガスとがセルスタック 1 0 1 の内側と外側とを対向して流れるものとなっている。このことにより、排酸化性ガスは、基体管 1 0 3 の内部を通過して発電室 2 1 5 に供給される燃料ガスとの間で熱交換がなされ、金属材料から成る上部管板 2 2 5 a 等が座屈などの変形をしない温度に冷却されて酸化性ガス排出室 2 2 3 に供給される。また、燃料ガスは、発電室 2 1 5 から排出される排酸化性ガスとの熱交換により昇温され、発電室 2 1 5 に供給される。その結果、ヒーター等を用いることなく発電に適した温度に予熱昇温された燃料ガスを発電室 2 1 5 に供給することができる。

【 0 0 5 6 】

下部断熱体 2 2 7 b は、下部ケーシング 2 2 9 b の上端部に、下部断熱体 2 2 7 b と下部ケーシング 2 2 9 b の底板と下部管板 2 2 5 b とが略平行になるように配置され、下部ケーシング 2 2 9 b の側板に固定されている。また、下部断熱体 2 2 7 b には、S O F C カートリッジ 2 0 3 に備えられるセルスタック 1 0 1 の本数に対応して、複数の孔が設けられている。この孔の直径はセルスタック 1 0 1 の外径よりも大きく設定されている。下部断熱体 2 2 7 b は、この孔の内面と、下部断熱体 2 2 7 b に挿通されたセルスタック 1 0 1 の外面との間に形成された酸化性ガス供給隙間 2 3 5 a を有する。

【 0 0 5 7 】

この下部断熱体 2 2 7 b は、発電室 2 1 5 と酸化性ガス供給室 2 2 1 とを仕切るものであり、下部管板 2 2 5 b の周囲の雰囲気が高温度化し強度低下や酸化性ガス中に含まれる酸化剤による腐食が増加することを抑制する。下部管板 2 2 5 b 等はインコネルなどの高温耐久性のある金属材料から成るが、下部管板 2 2 5 b 等が高温に晒されて下部管板 2 2 5 b 等内の温度差が大きくなることで熱変形することを防ぐものである。また、下部断熱体 2 2 7 b は、酸化性ガス供給室 2 3 3 に供給される酸化性ガスを、酸化性ガス供給隙間 2 3 5 a を通過させて発電室 2 1 5 に導くものである。

【 0 0 5 8 】

本実施例によれば、上述した S O F C カートリッジ 2 0 3 の構造により、燃料ガスと酸

10

20

30

40

50

化性ガスとがセルスタック 101 の内側と外側とを対向して流れるものとなっている。このことにより、基体管 103 の内部を通して発電室 215 を通過した排燃料ガスは、発電室 215 に供給される酸化性ガスとの間で熱交換がなされ、金属材料から成る下部管板 225b 等が座屈などの変形をしない温度に冷却されて燃料ガス排出室 219 に供給される。また、酸化性ガスは排燃料ガスとの熱交換により昇温され、発電室 215 に供給される。その結果、ヒーター等を用いることなく発電に必要な温度に昇温された酸化性ガスを発電室 215 に供給することができる。

【0059】

発電室 215 で発電された直流電力は、複数の燃料電池セル 105 に設けた Ni/YSZ 等からなるリード膜 115 によりセルスタック 101 の端部付近まで導出した後に、SOF C カートリッジ 203 の集電棒（不図示）に集電板（不図示）を介して集電して、各 SOF C カートリッジ 203 の外部へと取り出される。前記集電棒によって SOF C カートリッジ 203 の外部に導出された電力は、各 SOF C カートリッジ 203 の発電電力を所定の直列数および並列数へと相互に接続され、SOF C モジュール 201 の外部へと導出されて、図示しないインバータなどにより所定の交流電力へと変換されて、電力負荷へと供給される。そのインバータと電力負荷とは、制御装置 10 に制御されることにより、SOF C モジュール 201 から外部に流れる電流が所定の電流に等しくなるように、抵抗が変動する。

【0060】

セルスタック 101 は、図 4 に示されるように、円筒形状の基体管 103 と、基体管 103 の外周面に複数形成された燃料電池セル 105 と、隣り合う燃料電池セル 105 の間に形成されたインターコネクタ 107 とを有する。燃料電池セル 105 は、燃料極 109 と固体電解質 111 と空気極 113 とが積層して形成されている。また、セルスタック 101 は、基体管 103 の外周面に形成された複数の燃料電池セル 105 の内、基体管 103 の軸方向において最も端に形成された燃料電池セル 105 の空気極 113 に、インターコネクタ 107 を介して電氣的に接続されたリード膜 115 を有する。

【0061】

基体管 103 は、多孔質材料からなり、例えば、 CaO 安定化 ZrO_2 (CSZ)、又は Y_2O_3 安定化 ZrO_2 (YSZ)、又は $MgAl_2O_4$ とされる。この基体管 103 は、燃料電池セル 105 とインターコネクタ 107 とリード膜 115 とを支持すると共に、基体管 103 の内周面に供給される燃料ガスを基体管 103 の細孔を介して基体管 103 の外周面に形成される燃料極 109 に拡散させるものである。

【0062】

燃料極 109 は、 Ni とジルコニア系電解質材料との複合材の酸化物で構成され、例えば、 Ni/YSZ が用いられる。この場合、燃料極 109 は、燃料極 109 の成分である Ni が燃料ガスに対して触媒作用を有する。この触媒作用は、基体管 103 を介して供給された燃料ガス、例えば、メタン (CH_4) と水蒸気との混合ガスを反応させ、水素 (H_2) と一酸化炭素 (CO) に改質するものである。また、燃料極 109 は、改質により得られる水素 (H_2) 及び一酸化炭素 (CO) と、固体電解質 111 を介して供給される酸素イオン (O^{2-}) とを固体電解質 111 との界面付近において電気化学的に反応させて水 (H_2O) 及び二酸化炭素 (CO_2) を生成するものである。なお、燃料電池セル 105 は、この時、酸素イオンから放出される電子によって発電する。

【0063】

固体電解質 111 は、ガスを通しにくい気密性と、高温で高い酸素イオン導電性とを有する YSZ が主として用いられる。この固体電解質 111 は、空気極で生成される酸素イオン (O^{2-}) を燃料極に移動させるものである。

【0064】

空気極 113 は、例えば、 $LaSrMnO_3$ 系酸化物、又は $LaCoO_3$ 系酸化物で構成される。この空気極 113 は、固体電解質 111 との界面付近において、供給される空気等の酸化性ガス中の酸素を解離させて酸素イオン (O^{2-}) を生成するものである。

【 0 0 6 5 】

インターコネクタ 107 は、 $SrTiO_3$ 系などの $M_{1-x}L_xTiO_3$ (M はアルカリ土類金属元素、L はランタノイド元素) で表される導電性ペロブスカイト型酸化物から構成され、燃料ガスと酸化性ガスとが混合しないように緻密な膜となっている。また、インターコネクタ 107 は、酸化雰囲気と還元雰囲気との両雰囲気下で安定した電気導電性を有する。このインターコネクタ 107 は、隣り合う燃料電池セル 105 において、一方の燃料電池セル 105 の空気極 113 と他方の燃料電池セル 105 の固体電解質 111 とを電氣的に接続し、隣り合う燃料電池セル 105 同士を直列に接続するものである。リード膜 115 は、電子伝導性を有すること、及びセルスタック 101 を構成する他の材料との熱膨張係数が近いことが必要であることから、Ni / YSZ 等の Ni とジルコニア系電解質材料との複合材で構成されている。このリード膜 115 は、インターコネクタにより直列に接続される複数の燃料電池セル 105 で発電された直流電力をセルスタック 101 の端部付近まで導出すものである。

10

【 0 0 6 6 】

燃料電池システム 1 は、さらに、温度計と電流計とを備えている。その温度計は、制御装置 10 に制御されることにより、燃料極 109 が配置される発電室 215 の温度を測定する。その電流計は、制御装置 10 に制御されることにより、SOFC モジュール 201 により発電された電力を消費する電力負荷に SOFC モジュール 201 から流れる電流を測定する。その電力負荷は、制御装置 10 に制御されることにより、電気抵抗が変動する。

20

【 0 0 6 7 】

図 5 は、制御装置 10 を示している。制御装置 10 は、コンピュータであり、図示されていない CPU と記憶装置とメモリドライブと通信装置とインターフェースとを備えている。その CPU は、制御装置 10 にインストールされるコンピュータプログラムを実行して、その記憶装置とリムーバルメモリドライブと通信装置とインターフェースとを制御する。その記憶装置は、そのコンピュータプログラムを記録する。その記憶装置は、さらに、その CPU により利用される情報を記録する。そのリムーバルメモリドライブは、コンピュータプログラムが記録されている記録媒体が挿入されたときに、そのコンピュータプログラムを制御装置 10 にインストールするときに利用される。その通信装置は、通信回線網を介して制御装置 10 に接続される他のコンピュータからコンピュータプログラムを制御装置 10 にダウンロードし、そのコンピュータプログラムを制御装置 10 にインストールするときに利用される。

30

【 0 0 6 8 】

そのインターフェースは、制御装置 10 に接続される外部機器により生成される情報をその CPU に出力し、その CPU により生成された情報をその外部機器に出力する。その外部機器は、燃料供給装置 5 と水蒸気供給装置 6 と還元性ガス供給装置 7 と不活性ガス供給装置 8 とを含み、図示されていない温度計と電流計と電力負荷とを含んでいる。

【 0 0 6 9 】

制御装置 10 にインストールされるコンピュータプログラムは、制御装置 10 に複数の機能をそれぞれ実現させるための複数のコンピュータプログラムから形成されている。その複数の機能は、温度測定部 31 と電流測定部 32 と供給準備部 33 と供給開始部 34 と発電開始部 35 と定格運転部 36 とを含んでいる。

40

【 0 0 7 0 】

温度測定部 31 は、燃料極 109 の温度が間欠的に測定されるように、その燃料極 109 の配置がある発電室 215 に設置した温度計により計測するように制御する。また、発電室 215 の温度分布を考慮して、温度計が複数設置される場合には、必要に応じて平均値を算出しても良い。電流測定部 32 は、SOFC モジュール 201 からその電力負荷に流れる電流が間欠的に測定されるように、図示しないインバータ内に設けた電流計により SOFC モジュール 201 から流れる電流を計測するように制御する。

【 0 0 7 1 】

50

供給準備部 33 は、温度測定部 31 により測定された温度が 400 以下であるときに、動作する。供給準備部 33 は、S O F C モジュール 201 からその電力負荷に電流が流れないように、その電力負荷を制御する。供給準備部 33 は、さらに、都市ガスが燃料供給系 11 に供給されないように、燃料供給装置 5 を制御する。供給準備部 33 は、さらに、水蒸気が燃料供給系 11 に供給されないように、水蒸気供給装置 6 を制御する。供給準備部 33 は、さらに、水素が燃料供給系 11 に供給されるように、還元性ガス供給装置 7 を制御する。供給準備部 33 は、さらに、窒素が燃料供給系 11 に供給されるように、不活性ガス供給装置 8 を制御する。供給準備部 33 は、さらに、燃料供給系 11 に水素が供給される供給量と燃料供給系 11 に窒素が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるように、還元性ガス供給装置 7 と不活性ガス供給装置 8 とを制御する。

10

【0072】

供給開始部 34 は、温度測定部 31 により測定された温度が 400 以上であるときに、かつ、その温度が 800 以下であるときに、動作する。供給開始部 34 は、S O F C モジュール 201 からその電力負荷に電流が流れないように、その電力負荷を制御する。供給開始部 34 は、さらに、水素が燃料供給系 11 に供給されないように、還元性ガス供給装置 7 を制御する。供給開始部 34 は、さらに、都市ガスが燃料供給系 11 に供給されるように、燃料供給装置 5 を制御する。供給開始部 34 は、さらに、水蒸気が燃料供給系 11 に供給されるように、水蒸気供給装置 6 を制御する。供給開始部 34 は、さらに、燃料供給系 11 に都市ガスが供給される供給量と燃料供給系 11 に水蒸気が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるようにする。すなわち、燃料供給系 11 により供給される水蒸気と都市ガスとが混合された混合ガスが含有する水蒸気量（水蒸気分子のモル量）をその混合ガスが含有する炭素量（炭素原子のモル量）で除算した S / C 比（Steam/Carbon 比）が 5 以上になるように、燃料供給装置 5 と水蒸気供給装置 6 とを制御する。

20

【0073】

発電開始部 35 は、温度測定部 31 により測定された温度が 800 以上であるときに、かつ、その温度が 1000 以下であるときに、動作する。発電開始部 35 は、S O F C モジュール 201 からその電力負荷に流れる電流が徐々に増加するように、その電力負荷を制御する。すなわち、定格運転時の所定温度である約 1000 まで昇温を行うにあたり、燃料電池から電力負荷に流れる電流を徐々に増加させることで、内部発熱反応を利用して燃料電池の温度を昇温させることができる。発電開始部 35 は、さらに、電流測定部 32 により測定された電流に基づいて水蒸気供給量を算出する。その水蒸気供給量は、その電流が大きいほど大きい。発電開始部 35 は、さらに、水蒸気が S O F C モジュール 201 に単位時間当たりに供給される供給量が電流に基づいて算出された水蒸気供給量に等しくなるように、水蒸気供給装置 6 を制御する。発電開始部 35 は、さらに、燃料供給系 11 に都市ガスが供給される供給量と燃料供給系 11 に水蒸気が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるように、すなわち、燃料供給系 11 により供給される混合ガスが含有する水蒸気量（水蒸気分子のモル量）をその混合ガスが含有する炭素量（炭素原子のモル量）で除算した S / C 比（Steam/Carbon 比）が 5 以下になるように、燃料供給装置 5 と水蒸気供給装置 6 とを制御する。

30

【0074】

定格運転部 36 は、温度測定部 31 により測定された温度が 700 以上であり、かつ、その温度が 1000 以下であるときに、動作する。定格運転部 36 は、水蒸気が水蒸気供給装置 6 から燃料供給系 11 に供給されないように、水蒸気供給装置 6 を制御する。定格運転部 36 は、さらに、水素が還元性ガス供給装置 7 から燃料供給系 11 に供給されないように、還元性ガス供給装置 7 を制御する。定格運転部 36 は、さらに、窒素が不活性ガス供給装置 8 から燃料供給系 11 に供給されないように、不活性ガス供給装置 8 を制御する。定格運転部 36 は、さらに、所定量の都市ガスが燃料供給系 11 に単位時間当たりに供給されるように、燃料供給装置 5 を制御する。

40

【0075】

燃料電池運転方法の実施の形態は、燃料電池システム 1 により実行され、供給準備運転

50

と供給開始運転と発電開始運転と定格運転とを備えている。

【0076】

その供給準備運転は、燃料電池システム1が停止しているときに、開始される。まず、マイクロガスタービン3が動作することにより、酸化性ガス供給系12を介して、マイクロガスタービン3により生成される酸化性ガスがSOFCモジュール201に供給される。このとき、SOFCモジュール201は、その酸化性ガスが発電室215に供給されることにより、発電室215が加熱される。

【0077】

制御装置10は、その温度計を制御することにより、燃料極109が配置される発電室215の温度を間欠的に測定する。制御装置10は、その温度計により測定された温度が400以下であるときに、その電力負荷を制御することにより、SOFCモジュール201が発電することを停止させる。制御装置10は、さらに、燃料供給装置5と水蒸気供給装置6とを制御することにより、都市ガスと水蒸気とが燃料供給系11に供給されることを停止させる。制御装置10は、さらに、還元性ガス供給装置7と不活性ガス供給装置8とを制御することにより、燃料供給系11に水素が供給される供給量と燃料供給系11に窒素が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるように、水素と窒素とを燃料供給系11に供給する。所定の比（水素供給量と窒素供給量との比）を例示すると、水素：窒素は5：95以下の割合で水素を供給することが望ましい。またはSOFCからの排燃料中の水素濃度が0.01%以上（排燃料系統に水素が少しでもあればよい）であることが望ましい。理由として、昇温に伴いセルでは還元性ガスの酸化反応が起こるためである。なお、セル温度によって消費される還元性ガス量は異なる。

【0078】

このとき、燃料供給系11は、水素と窒素とが供給されることにより、水素と窒素とが混合された混合ガスをSOFCモジュール201の燃料極109に供給する。SOFCモジュール201は、その混合ガスが供給されることにより、その混合ガスから形成される還元雰囲気燃料極109が配置され、燃料極109が還元状態に保持される。さらに、SOFCモジュール201は、発電室215の温度が400以下であるときに、燃料極109に水蒸気が供給されないことにより、燃料極109が結露することが防止される。なお、発電室215の温度が概ね100以下では、還元状態を保持する必要性がなく、水素の供給を停止してもよい。

【0079】

その供給開始運転は、その供給準備運転が開始された後で、その温度計により測定された温度が400以上になったときに、開始される。マイクロガスタービン3は、引き続き、酸化性ガス供給系12を介して酸化性ガスをSOFCモジュール201に供給することにより、SOFCモジュール201の発電室215を加熱する。制御装置10は、その電力負荷を制御することにより、SOFCモジュール201が発電することを停止させる。制御装置10は、さらに、還元性ガス供給装置7を制御することにより、燃料供給系11に水素を供給することを停止する。制御装置10は、さらに、燃料供給装置5と水蒸気供給装置6とを制御することにより、燃料供給系11に都市ガスが供給される供給量と燃料供給系11に水蒸気が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるように、すなわち、燃料供給系11により生成される混合ガスが水蒸気を含有する水蒸気量をその混合ガスが炭素を含有する炭素量で除算したS/C比が5以上になるように、都市ガスと水蒸気とを燃料供給系11に供給する。

【0080】

このとき、燃料供給系11は、都市ガスと水蒸気とが供給されることにより、都市ガスと水蒸気とが混合された混合ガスをSOFCモジュール201の燃料極109に供給する。SOFCモジュール201は、発電室215の温度が400以上であるときに、燃料極109にその混合ガスが供給されることにより、燃料極109を触媒にする改質反応が進み、燃料極109でその水蒸気と燃料ガスとから水素が生成される。このとき、燃料極109は、その生成された水素により還元雰囲気に配置され、還元状態に保持される。こ

のため、燃料極 109 には燃料の供給により水素が供給可能になり、水素の供給が不要になるために、水素ポンプの水素使用量を大幅に削減することができるので、本発電システムの運用性が向上するとともに、ランニングコストを低減できる。

【0081】

その発電開始運転は、その供給開始運転が開始された後で、その温度計により測定された温度が 800 以上であるときに、開始される。マイクロガスタービン 3 は、引き続き動作することにより、酸化性ガス供給系 12 を介して酸化性ガスを SOFC モジュール 201 に供給することにより、SOFC モジュール 201 の発電室 215 を加熱する。制御装置 10 は、まず、その電力負荷を制御することにより、SOFC モジュール 201 からその電力負荷に流れる電流を徐々に（たとえば、 $10\text{ mA/cm}^2 \cdot \text{min}$ で）増加させる。

10

【0082】

制御装置 10 は、さらに、その電流計を制御することにより、SOFC モジュール 201 からその電力負荷に流れる電流を間欠的に測定する。制御装置 10 は、さらに、その電流に基づいて水蒸気供給量を算出する。その水蒸気供給量は、その電流が大きいほど大きい。制御装置 10 は、さらに、水蒸気供給装置 6 を制御することにより、水蒸気が燃料供給系 11 に単位時間あたりに供給される供給量がその水蒸気供給量に等しくなるように、水蒸気を燃料供給系 11 に供給する。制御装置 10 は、さらに、燃料供給装置 5 を制御することにより、燃料供給系 11 に都市ガスが供給される供給量と燃料供給系 11 に水蒸気が供給される供給量との比が所定の比に等しくなるように、すなわち、燃料供給系 11 により生成される混合ガスが水蒸気を含有する水蒸気量をその混合ガスが炭素を含有する炭素量で除算した S/C 比が 5 以下になるように、都市ガスを燃料供給系 11 に供給する。

20

【0083】

その発電開始運転は、水素と窒素との混合ガスが燃料極 109 に供給される他の発電開始運転に比較して、SOFC モジュール 201 から排気される排燃料ガスに含有される水蒸気量が多いために、その電力負荷に流れる電流をより速く（3 倍程度）上昇させた場合でも、燃料極 109 を還元状態に維持させることができる。このような発電開始運転によれば、SOFC モジュール 201 は、さらに、その発電開始運転でその S/C 比が 5 以下であることにより、より高効率に発電することができる。

【0084】

30

その定格運転は、その発電開始運転が実行された後で、SOFC モジュール 201 からその電力負荷に流れる電流が所定電流（たとえば、 100 mA/cm^2 ）に達したときに、開始される。制御装置 10 は、水蒸気供給装置 6 を制御することにより、水蒸気が燃料供給系 11 に供給されることを停止させる。制御装置 10 は、さらに、還元性ガス供給装置 7 を制御することにより、水素が還元性ガス供給装置 7 から燃料供給系 11 に供給されることを停止させる。制御装置 10 は、さらに、不活性ガス供給装置 8 を制御することにより、窒素が不活性ガス供給装置 8 から燃料供給系 11 に供給されることを停止させる。制御装置 10 は、さらに、燃料供給装置 5 を制御することにより、単位時間あたりに所定量の都市ガスを燃料供給系 11 に供給する。

【0085】

40

SOFC モジュール 201 は、その定格運転が開始されるときに、その発電開始運転により燃料極 109 が還元状態に保持されていることにより、その定格運転で適切に発電することができる。

【0086】

このような燃料電池運転方法によれば、燃料電池システム 1 は、水素と窒素との混合ガスが燃料極 109 に供給される他の発電開始運転に比較して、SOFC モジュール 201 から排気される排燃料ガスに含有される水蒸気量が多いために、その電力負荷に流れる電流をより速く（3 倍程度）上昇させた場合でも、燃料極 109 が還元状態に維持されることができる。このため、このような燃料電池運転方法によれば、燃料電池システム 1 は、その電力負荷に流す電流をより高速に上昇させることができ、その電流を上昇させる期間

50

をより短縮することができ、より早く定格運転を開始することができる。

【0087】

このような燃料電池運転方法によれば、さらに、その供給開始運転で水素がS O F Cモジュール201に供給されていないことにより、水素がS O F Cモジュール201に供給される他の供給開始運転に比較して、ランニングコストを低減することができる。このような燃料電池運転方法によれば、S O F Cモジュール201は、その供給開始運転で窒素がS O F Cモジュール201に供給されていないことにより、その発電開始運転と定格運転とが実施されるときに、燃料極109の周りの雰囲気窒素濃度を小さくすることができ、燃料の濃度を大きくすることができ、より高効率に発電することができる。

【0088】

このような燃料電池運転方法によれば、S O F Cモジュール201は、さらに、その供給開始運転でそのS / C比が5以上であることにより、燃料極109に炭素が析出することが防止され、後でS O F Cモジュール201が発電するとき、その析出した炭素により電流がリークすることが防止される。

【0089】

本発明による燃料電池運転方法は、制御装置10により実行される動作が人により実行された場合にも、同様にして、より早く定格運転を開始することができる。

【0090】

なお、その供給開始運転は、燃料極109に炭素の析出の対策が十分に施されているときに、そのS / C比が5より小さくなるように都市ガスと水蒸気とを供給する他の供給開始運転に置換されともできる。このような供給開始運転が適用された燃料電池運転方法も、既述の実施の形態における燃料電池運転方法と同様にして、より早く定格運転を開始することができる。

【0091】

なお、還元性ガス供給装置7は、省略することができる。還元性ガス供給装置7が省略された燃料電池システムは、S O F Cモジュール201への水素の供給が省略される。このような燃料電池システムは、既述の実施の形態における燃料電池システム1と同様にして、より早く定格運転を開始することができる。このような燃料電池システムは、還元性ガス供給装置7が省略されたことにより、既述の実施の形態における燃料電池システム1に比較して、より容易に取り扱うことができる。

【0092】

なお、都市ガスは、他の燃料に置換されることができる。その燃料としては、水素(H_2)および一酸化炭素(CO)、メタン(CH_4)などの炭化水素系ガス、石炭など炭素質原料のガス化設備により製造したガスが例示される。このような燃料が適用された燃料電池システムも、既述の実施の形態における燃料電池システム1と同様にして、より早く定格運転を開始することができる。

【0093】

なお、燃料電池システム1は、複合発電システム2に適用されないで、単独で使用されることもできる。燃料電池システム1は、単独で使用される場合も、より早く定格運転を開始することができる。

【0094】

なお、燃料電池システム1に供給される酸化性ガスは、圧縮空気と異なる他の酸化性ガスに置換されることができる。その酸化性ガスとしては、燃焼排ガスと空気の混合ガスや、酸素と空気の混合ガスなどが例示される。このような酸化性ガスが適用された燃料電池システムも、既述の実施の形態における燃料電池システム1と同様にして、より早く定格運転を開始することができる。

【符号の説明】

【0095】

- 1 燃料電池システム
- 5 燃料供給装置

10

20

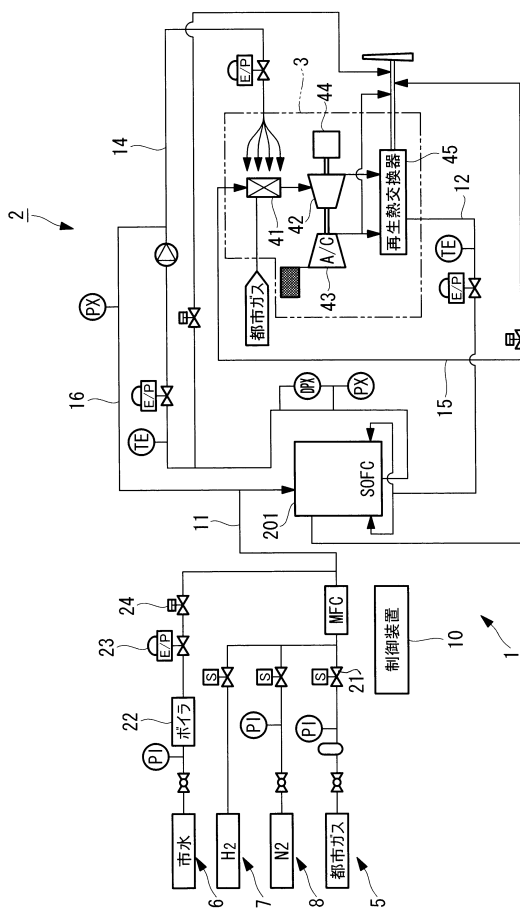
30

40

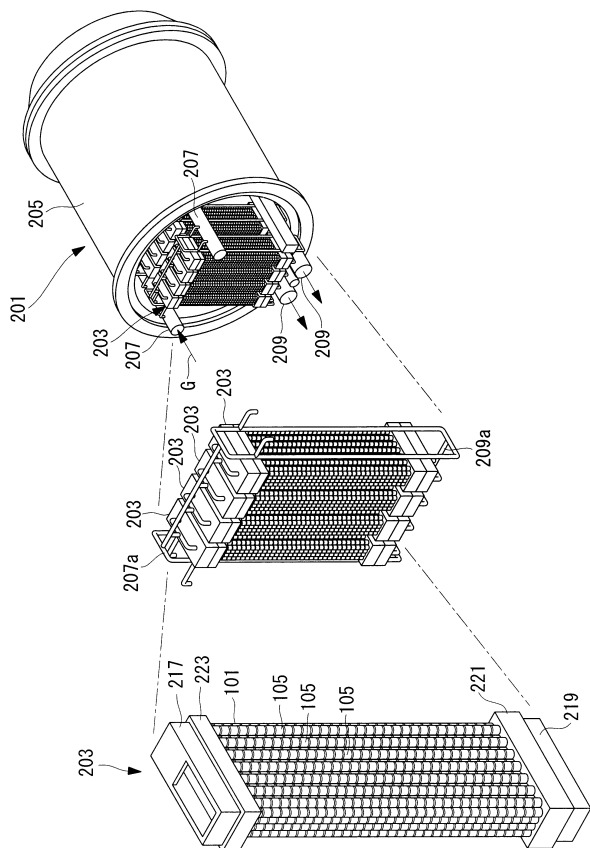
50

- 6 水蒸気供給装置
- 7 還元性ガス供給装置
- 8 不性ガス供給装置
- 10 制御装置
- 109 燃料極
- 113 空気極
- 215 発電室

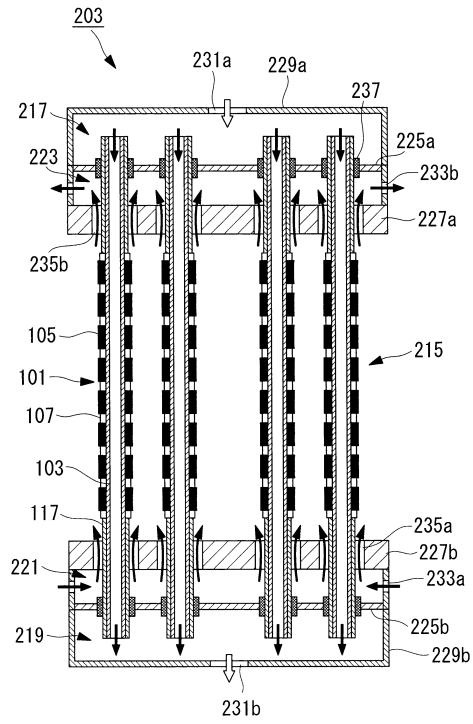
【図1】



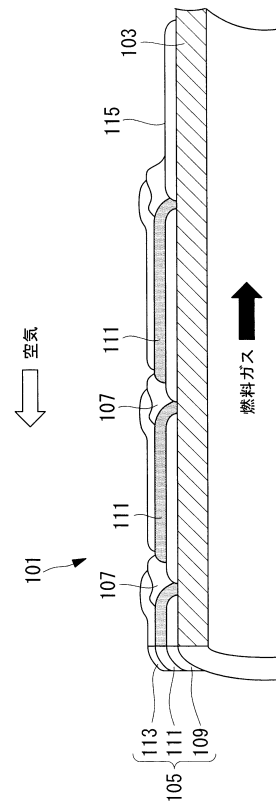
【図2】



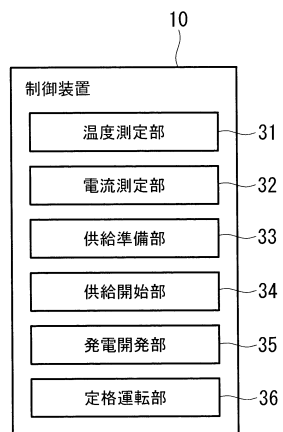
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 西浦 雅則
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内

審査官 清水 康

(56)参考文献 特開２０１２－１４２１９０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－２１６２８９（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０１６２７７（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－０５９６６８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－１７８３５６（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－０５９５１９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－００９２７５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－０５９５０５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－２４９２３４（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２９８８８９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H 0 1 M 8 / 0 0 - 8 / 2 4 9 5