

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4656539号
(P4656539)

(45) 発行日 平成23年3月23日(2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日(2011.1.7)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 M	8/04	(2006.01)	HO 1 M	8/04	X
HO 1 M	8/10	(2006.01)	HO 1 M	8/04	P
			HO 1 M	8/04	Z
			HO 1 M	8/10	

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-301232 (P2007-301232)	(73) 特許権者	000003207
(22) 出願日	平成19年11月21日(2007.11.21)		トヨタ自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2009-129596 (P2009-129596A)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(43) 公開日	平成21年6月11日(2009.6.11)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成20年9月16日(2008.9.16)		弁理士 稲葉 良幸
		(74) 代理人	100093861
			弁理士 大賀 真司
		(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		(74) 代理人	100117189
			弁理士 江口 昭彦
		(72) 発明者	今西 啓之
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

通常運転に比して発電効率の低い低効率運転を行うことにより、当該燃料電池を暖機する燃料電池システムであって、

前記燃料電池の暖機の開始タイミングが到来したか否かを判断する判断手段と、

前記燃料電池の暖機目標電圧を設定する設定手段と、

前記燃料電池の現時点での出力電圧を検知する検知手段と、

前記燃料電池の開始タイミングが到来したと判断し、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで降圧させる場合に、要求電力と検知される前記出力電圧と前記暖機目標電圧とに基づき、該出力電圧の電圧変化速度を決定する決定手段と、

前記要求電力が得られるよう、決定した電圧変化速度で前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで降圧させるDC/DCコンバータと

を具備することを特徴とする燃料電池システム。

【請求項2】

前記燃料電池は、理想燃料電池とキャパシタとが並列接続された回路構成を有しており

前記決定手段は、前記燃料電池における前記キャパシタの容量成分を考慮して前記出力電圧の電圧変化速度を決定することを特徴とする請求項1に記載の燃料電池システム。

【請求項3】

前記燃料電池の関連温度を検知する温度検知手段をさらに備え、

前記判断手段は、前記関連温度に基づき前記開始タイミングが到来したか否かを判断することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の燃料電池システム。

【請求項 4】

前記設定手段は、少なくとも前記関連温度、要求発熱量または前記要求電力に応じて、前記暖機目標電圧を変更することを特徴とする請求項 3 に記載の燃料電池システム。

【請求項 5】

前記検知手段は、前記出力電圧が前記暖機目標電圧まで遷移されるまでの間に、現時点での出力電圧を所定タイミングで複数回検知し、

前記決定手段は、検知タイミング毎に、当該システムの要求電力と検知される前記出力電圧と前記暖機目標電圧とに基づき、該出力電圧の電圧変化速度を決定することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 の請求項に記載の燃料電池システム。

10

【請求項 6】

前記暖機目標電圧よりも大きな閾値電圧を設定する閾値設定手段をさらに具備し、

前記制御手段は、前記出力電圧が前記閾値電圧を下回った場合に、当該時点での電圧変化速度より速い電圧変化速度で、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで遷移させることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 の請求項に記載の燃料電池システム。

【請求項 7】

前記出力電圧の遷移を開始してからの経過時間を計測する計測手段をさらに備え、

前記決定手段は、前記出力電圧が前記閾値電圧を下回り、かつ、前記経過時間が閾値時間を越えた場合に、当該時点での電圧変化速度よりも速い電圧変化速度で、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで遷移させることを特徴とする請求項 6 に記載の燃料電池システム。

20

【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に関し、特に低効率運転によって燃料電池を暖機する燃料電池システムに関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、燃料を電気化学プロセスによって酸化させることにより酸化反応に伴って放出されるエネルギーを電気エネルギーに直接変換する発電システムであり、水素イオンを選択的に輸送するための電解質膜の両側面を多孔質材料から成る一対の電極によって挟持して成る複数の膜・電極アセンブリを積層して成るスタック構造を有している。なかでも、固体高分子膜を電解質として用いる固体高分子電解質型燃料電池は、低コストでコンパクト化が容易であり、しかも高い出力密度を有することから、車載電力源としての用途が期待されている。

30

【0003】

この種の燃料電池は、一般に 70 ~ 80 が発電に最適な温度域とされているが、寒冷地などの環境では、起動してから最適温度域に達するまでに長時間を要する場合があるので、各種の暖機システムが検討されている。例えば、下記特許文献 1 には、通常運転に比して発電効率の低い低効率運転を実施することにより燃料電池の自己発熱量を制御し、車両走行しながら燃料電池を暖機する手法について開示されている。かかる手法は、燃料電池の出力電圧をその電流・電圧特性（以下、I-V 特性）に基づく電圧値よりも低い電圧値に設定し、燃料電池の熱損失を増大させて自己発熱による暖機運転を実施するものであるため、暖機用の装置を搭載する必要がなく、利便性に優れている。

40

【特許文献 1】特開 2002 - 313388 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、燃料電池の I-V 特性は一定でなく、燃料電池の運転状態（例えば、通常運転

50

から低効率運転への切換えなど)によって大きく変動する。かかる変動を考慮することなく燃料電池の出力電力が制御されると、燃料電池から外部負荷(トラクションモータや各種の補機、2次電池など)へ供給する電力に過不足が生じてしまう等の問題が懸念される。

【0005】

本発明は以上説明した事情を鑑みてなされたものであり、運転状態の切換えなどが行われる場合であっても、外部負荷に対して過不足なく電力を供給することが可能な燃料電池システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した問題を解決するため、本発明に係る燃料電池システムは、通常運転に比して発電効率の低い低効率運転を行うことにより、当該燃料電池を暖機する燃料電池システムであって、前記燃料電池の暖機の開始タイミングが到来したか否かを判断する判断手段と、前記燃料電池の暖機目標電圧を設定する設定手段と、前記燃料電池の現時点での出力電圧を検知する検知手段と、前記燃料電池の開始タイミングが到来したと判断し、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで降圧させる場合に、要求電力と検知される前記出力電圧と前記暖機目標電圧とに基づき、該出力電圧の電圧変化速度を決定する決定手段と、前記要求電力が得られるよう、決定した電圧変化速度で前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで降圧させるDC/DCコンバータとを具備することを特徴とする。

【0007】

かかる構成によれば、燃料電池の暖機の開始タイミングが到来し、出力電圧を前暖機目標電圧まで降圧させる場合に、燃料電池等に対する要求電力、暖機運転時の燃料電池の目標電圧、現時点での出力電圧に基づき、電圧変化速度を決定し、要求電力が得られるよう、決定した電圧変化速度で燃料電池スタックの出力電圧を出力目標電圧まで降圧させる。ここで、燃料電池から取り出せる出力電流は、燃料電池の出力電圧の電圧変化速度によって変化し、電圧変化速度が大きいほど、瞬間的な出力電流の変化量は大きくなる(図4参照)。このため、要求電力に応じて燃料電池の出力電圧の電圧変化速度を逐次変化させて出力電流を制御することにより、出力要求電力を満たしつつ、燃料電池を迅速に暖機することが可能となる。

【0008】

ここで、上記構成にあつては、前記燃料電池は、理想燃料電池とキャパシタとが並列接続された回路構成を有しており、前記決定手段は、前記燃料電池における前記キャパシタの容量成分を考慮して前記出力電圧の電圧変化速度を決定する態様が好ましい。

【0009】

また、上記構成にあつては、前記燃料電池の関連温度を検知する温度検知手段をさらに備え、前記判断手段は、前記関連温度に基づき前記開始タイミングが到来したか否かを判断する態様が好ましい。

【0010】

また、上記構成にあつては、前記設定手段は、少なくとも前記関連温度、要求発熱量または前記要求電力に応じて、前記暖機目標電圧を変更する態様が好ましい。

【0011】

また、上記構成にあつては、前記検知手段は、前記出力電圧が前記暖機目標電圧まで遷移されるまでの間に、現時点での出力電圧を所定タイミングで複数回検知し、前記決定手段は、検知タイミング毎に、当該システムの要求電力と検知される前記出力電圧と前記暖機目標電圧とに基づき、該出力電圧の電圧変化速度を決定する態様が好ましい。

【0012】

また、上記構成にあつては、前記暖機目標電圧よりも大きな閾値電圧を設定する閾値設定手段をさらに具備し、前記制御手段は、前記出力電圧が前記閾値電圧を下回った場合に、当該時点での電圧変化速度より速い電圧変化速度で、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで遷移させる態様が好ましい。

【 0 0 1 3 】

また、上記構成にあっては、前記出力電圧の遷移を開始してからの経過時間を計測する計測手段をさらに備え、前記決定手段は、前記出力電圧が前記閾値電圧を下回り、かつ、前記経過時間が閾値時間を越えた場合に、当該時点での電圧変化速度よりも速い電圧変化速度で、前記出力電圧を前記暖機目標電圧まで遷移させる態様が好ましい。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

以上説明したように、本発明によれば、運転状態の切換えなどが行われる場合であっても、外部負荷に対して過不足なく電力を供給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 】

10

【 0 0 1 5 】

以下、本発明に係る実施の形態について図面を参照しながら説明する。

A . 第 1 実施形態

A - 1 . 構成

図 1 は本実施形態に係る燃料電池システム 10 を搭載した車両の概略構成である。なお、以下の説明では車両の一例として燃料電池自動車 (F C H V ; Fuel Cell Hybrid Vehicle) を想定するが、電気自動車やハイブリッド自動車にも適用可能である。また、車両のみならず各種移動体 (例えば、船舶や飛行機、ロボットなど) や定置型電源、さらには携帯型の燃料電池システムにも適用可能である。

【 0 0 1 6 】

20

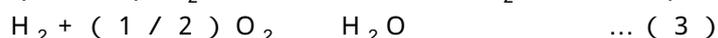
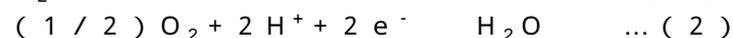
燃料電池システム 10 は、燃料電池車両に搭載される車載電源システムとして機能するものであり、反応ガス (燃料ガス、酸化ガス) の供給を受けて発電する燃料電池スタック 20 と、酸化ガスとしての空気を燃料電池スタック 20 に供給するための酸化ガス供給系 30 と、燃料ガスとしての水素ガスを燃料電池スタック 20 に供給するための燃料ガス供給系 40 と、電力の充放電を制御するための電力系 50 と、燃料電池スタック 20 を冷却するための冷却系 60 と、システム全体を制御するコントローラ (E C U) 70 とを備えている。

【 0 0 1 7 】

燃料電池スタック 20 は、複数のセルを直列に積層してなる固体高分子電解質型セルスタックである。燃料電池スタック 20 では、アノード極において (1) 式の酸化反応が生じ、カソード極において (2) 式の還元反応が生じる。燃料電池スタック 20 全体としては (3) 式の起電反応が生じる。

30

【 0 0 1 8 】



【 0 0 1 9 】

燃料電池スタック 20 には、燃料電池スタック 20 の出力電圧を検出するための電圧センサ 71、及び発電電流を検出するための電流センサ 72 が取り付けられている。

【 0 0 2 0 】

40

酸化ガス供給系 30 は、燃料電池スタック 20 のカソード極に供給される酸化ガスが流れる酸化ガス通路 34 と、燃料電池スタック 20 から排出される酸化オフガスが流れる酸化オフガス通路 36 とを有している。酸化ガス通路 34 には、フィルタ 31 を介して大気中から酸化ガスを取り込むエアコンプレッサ 32 と、燃料電池スタック 20 のカソード極へ供給される酸化ガスを加湿するための加湿器 33 と、酸化ガス供給量を調整するための絞り弁 35 とが設けられている。酸化オフガス通路 36 には、酸化ガス供給圧を調整するための背圧調整弁 37 と、酸化ガス (ドライガス) と酸化オフガス (ウェットガス) との間で水分交換するための加湿器 33 とが設けられている。

【 0 0 2 1 】

燃料ガス供給系 40 は、燃料ガス供給源 41 と、燃料ガス供給源 41 から燃料電池スタ

50

ック20のアノード極に供給される燃料ガスが流れる燃料ガス通路45と、燃料電池スタック20から排出される燃料オフガスを燃料ガス通路45に帰還させるための循環通路46と、循環通路46内の燃料オフガスを燃料ガス通路43に圧送する循環ポンプ47と、循環通路47に分岐接続される排気排水通路48とを有している。

【0022】

燃料ガス供給源41は、例えば、高圧水素タンクや水素吸蔵合金などで構成され、高圧（例えば、35MPa乃至70MPa）の水素ガスを貯留する。遮断弁42を開くと、燃料ガス供給源41から燃料ガス通路45に燃料ガスが流出する。燃料ガスは、レギュレータ43やインジェクタ44により、例えば、200kPa程度まで減圧されて、燃料電池スタック20に供給される。

10

【0023】

尚、燃料ガス供給源41は、炭化水素系の燃料から水素リッチな改質ガスを生成する改質器と、この改質器で生成した改質ガスを高圧状態にして蓄圧する高圧ガスタンクとから構成してもよい。

【0024】

レギュレータ43は、その上流側圧力（一次圧）を、予め設定した二次圧に調圧する装置であり、例えば、一次圧を減圧する機械式の減圧弁などで構成される。機械式の減圧弁は、背圧室と調圧室とがダイヤフラムを隔てて形成された筐体を有し、背圧室内の背圧により調圧室内で一次圧を所定の圧力に減圧して二次圧とする構成を有する。

【0025】

インジェクタ44は、弁体を電磁駆動力で直接的に所定の駆動周期で駆動して弁座から離隔させることによりガス流量やガス圧を調整することが可能な電磁駆動式の開閉弁である。インジェクタ44は、燃料ガス等の気体燃料を噴射する噴射孔を有する弁座を備えるとともに、その気体燃料を噴射孔まで供給案内するノズルボディと、このノズルボディに対して軸線方向（気体流れ方向）に移動可能に収容保持され噴射孔を開閉する弁体を備えている。

20

【0026】

排気排水通路48には、排気排水弁49が配設されている。排気排水弁49は、コントローラ70からの指令によって作動することにより、循環通路46内の不純物を含む燃料オフガスと水分とを外部に排出する。排気排水弁49の開弁により、循環通路46内の燃料オフガス中の不純物の濃度が下がり、循環系内を循環する燃料オフガス中の水素濃度を上げることができる。

30

【0027】

排気排水弁49を介して排出される燃料オフガスは、酸化オフガス通路34を流れる酸化オフガスと混合され、希釈器（図示せず）によって希釈される。循環ポンプ47は、循環系内の燃料オフガスをモータ駆動により燃料電池スタック20に循環供給する。

【0028】

電力系50は、DC/DCコンバータ51、バッテリー52、トラクションインバータ53、トラクションモータ54、及び補機類55を備えている。DC/DCコンバータ51は、バッテリー52から供給される直流電圧を昇圧してトラクションインバータ53に出力する機能と、燃料電池スタック20が発電した直流電力、又は回生制動によりトラクションモータ54が回収した回生電力を降圧してバッテリー52に充電する機能とを有する。DC/DCコンバータ51のこれらの機能により、バッテリー52の充放電が制御される。また、DC/DCコンバータ51による電圧変換制御により、燃料電池スタック20の運転動作点（出力電圧、出力電流）が制御される。

40

【0029】

バッテリー52は、余剰電力の貯蔵源、回生制動時の回生エネルギー貯蔵源、燃料電池車両の加速又は減速に伴う負荷変動時のエネルギーバッファとして機能する。バッテリー52としては、例えば、ニッケル・カドミウム蓄電池、ニッケル・水素蓄電池、リチウム二次電池等の二次電池が好適である。

50

【 0 0 3 0 】

トラクションインバータ53は、例えば、パルス幅変調方式で駆動されるPWMインバータであり、コントローラ70からの制御指令に従って、燃料電池スタック20又はバッテリー52から出力される直流電圧を三相交流電圧に変換して、トラクションモータ54の回転トルクを制御する。トラクションモータ54は、車輪56L、56Rを駆動するためのモータ（例えば三相交流モータ）であり、燃料電池車両の動力源を構成する。

【 0 0 3 1 】

補機類55は、燃料電池システム10内の各部に配置されている各モータ（例えば、ポンプ類などの動力源）や、これらのモータを駆動するためのインバータ類、更には各種の車載補機類（例えば、エアコンプレッサ、インジェクタ、冷却水循環ポンプ、ラジエータなど）を総称するものである。

10

【 0 0 3 2 】

冷却系60は、燃料電池スタック20内部を循環する冷媒を流すための冷媒通路61、62、63、64、冷媒を圧送するための循環ポンプ65、冷媒と外気との間で熱交換するためのラジエータ66、冷媒の循環経路を切り替えるための三方弁67、及び冷媒温度を検出するための温度センサ74を備えている。暖機運転が完了した後の通常運転時には燃料電池スタック20から流出する冷媒が冷媒通路61、64を流れてラジエータ66にて冷却された後、冷媒通路63を流れて再び燃料電池スタック20に流れ込むように三方弁67が開閉制御される。一方、システム起動直後における暖機運転時には、燃料電池スタック20から流出する冷媒が冷媒通路61、62、63を流れて再び燃料電池スタック

20

【 0 0 3 3 】

コントローラ70は、CPU、ROM、RAM、及び入出力インタフェース等を備えるコンピュータシステムであり、燃料電池システム10の各部（酸化ガス供給系30、燃料ガス供給系40、電力系50、及び冷却系60）を制御するための制御手段として機能する。例えば、コントローラ70は、イグニッションスイッチから出力される起動信号IGを受信すると、燃料電池システム10の運転を開始し、アクセルセンサから出力されるアクセル開度信号ACCや、車速センサから出力される車速信号VCなどを基にシステム全体の要求電力を求める。

【 0 0 3 4 】

システム全体の要求電力は、車両走行電力と補機電力との合計値である。補機電力には車載補機類（加湿器、エアコンプレッサ、水素ポンプ、及び冷却水循環ポンプ等）で消費される電力、車両走行に必要な装置（変速機、車輪制御装置、操舵装置、及び懸架装置等）で消費される電力、乗員空間内に配設される装置（空調装置、照明器具、及びオーディオ等）で消費される電力などが含まれる。

30

【 0 0 3 5 】

そして、コントローラ70は、燃料電池スタック20とバッテリー52とのそれぞれの出力電力の配分を決定し、発電指令値を演算するとともに、燃料電池スタック20の発電量が目標電力（要求電力）に一致するように、酸化ガス供給系30及び燃料ガス供給系40を制御する。更にコントローラ70は、DC/DCコンバータ51を制御して、燃料電池スタック20の出力電圧を調整することにより、燃料電池スタック20の運転動作点（出力電圧、出力電流）を制御する。コントローラ70は、アクセル開度に応じた目標車速が得られるように、例えば、スイッチング指令として、U相、V相、及びW相の各交流電圧指令値をトラクションインバータ53に出力し、トラクションモータ54の出力トルク、及び回転数を制御する。

40

【 0 0 3 6 】

< 燃料電池スタック20のC-V特性 >

燃料電池スタック20のC-V特性（サイクリックボルタログラム）は、燃料電池スタック20の動的な電気特性を示すものであり、燃料電池スタック20の電圧を一定の速度で昇圧させていくと、外部から燃料電池スタック20へ流れ込む方向（マイナス方向）に

50

電流が流れ、燃料電池スタックの電圧を一定の速度で降圧させていくと、燃料電池スタック20から外部へ流れる方向（プラス方向）に電流が流れる。このような動的な電気特性は、燃料電池スタック20の触媒担持体の電気二重層容量成分と触媒の酸化還元反応による見かけ上の容量成分によるものであることが知られている。

【0037】

ここで、図2は燃料電池スタック20の動的な電気特性をモデル化した等価回路図である。

燃料電池スタック20は、理想燃料電池28とキャパシタ29とが並列接続されてなる回路構成を有している。理想燃料電池28は、上述のC-V特性を有しない仮想的な燃料電池をモデル化したものであり、電気特性上、可変電源と等価な振る舞いをする。キャパシタ29は、上記界面に形成される電気二重層の電気的な振る舞いを容量素子としてモデル化したものである。外部負荷56は電力系50をモデル化した等価回路である。理想燃料電池28から流れ出す電流を I_{fc} 、理想燃料電池28の出力電圧（燃料電池スタック20の出力電圧）を V_{fc} 、キャパシタ29に流れ込む電流を I_c 、燃料電池スタック20から外部負荷56に流れ出す電流を I_s 、キャパシタ29の容量をC、時間をtとすると、以下に示す(4)~(5)式が成立する。

【0038】

$$I_{fc} = I_c + I_s \quad \dots (4)$$

$$I_c = C \cdot V_{fc} / t \quad \dots (5)$$

【0039】

(4)~(5)式に示すように、出力電圧 V_{fc} を昇圧すると、単位時間あたりの変化量 V_{fc}/t に応じて、キャパシタ29に流れこむ電流 I_c が増加するので、燃料電池スタック20から外部負荷56に流れ出す電流 I_s は減少する。一方、出力電圧 V_{fc} を降圧すると、単位時間あたりの変化量 V_{fc}/t に応じて、キャパシタ29に流れ込む電流 I_c が減少するので、燃料電池スタック20から外部負荷56に流れ出す電流 I_s は増加する。このように、出力電圧 V_{fc} の単位時間あたりの昇降圧量を制御することにより、燃料電池スタック20から外部負荷56に流れ出す電流 I_s を加減することができる（以下、便宜上、 V 制御という）。

【0040】

本実施形態では、当該車両の運転を停止している状態（すなわち、車両走行前の起動準備段階；以下、起動準備状態という）において、スタック温度が所定温度（例えば0℃）未満であることが検知されると、低効率運転を開始し（すなわち起動準備状態から低効率運転状態へ移行し）、燃料電池スタック20の急速暖機を行う。

【0041】

ここで、低効率運転とは、通常運転に比してエアの供給量を絞る（例えば、エアストイキ比を1.0付近に設定する）ことにより、発電損失を高めて低い発電効率で運転することをいう。エアストイキ比を低く設定して低効率運転を実施すると、通常運転時よりも濃度過電圧が大きくなるので、水素と酸素との反応によって取り出せるエネルギーのうち熱損失（発電損失）が増大する。

【0042】

なお、低効率運転は低温起動時において熱損失を意図的に増大させることによって燃料電池スタック20を迅速に暖機するために、車両走行前（起動準備状態 低効率運転状態）だけでなく、車両走行中（通常運転状態 低効率運転状態）などにも実行される。また、低効率運転時のエアストイキ比（すなわち酸素余剰率）は1.0付近に限定する趣旨ではなく、通常運転に比して小さい値であれば任意に設定・変更可能である。

【0043】

本実施形態では、燃料電池スタック20を起動準備状態から低効率運転状態へ移行する際、燃料電池スタック20に供給する酸化ガス流量を一定値に固定しつつ、燃料電池スタック20の出力電圧を要求電力に応じて可変制御する。(4)~(5)式で示したように、燃料電池スタック20の出力電圧を変化させると、燃料電池スタック20の容量特性に

10

20

30

40

50

よりキャパシタ 29 からの電力の充放電が生じ、燃料電池スタック 20 から外部負荷 56 へ供給される電力(すなわち出力電力)に変化が生じる。

【0044】

図3は、状態遷移したときの燃料電池スタック20のIV特性を示す図であり、電圧変化速度 $Sch1 = 25 V/s$ の場合のIV特性を実線で示し、電圧変化速度 $Sch2 = 50 V/s$ の場合のIV特性を一点鎖線で示す。なお、図3に示すIV特性は、燃料電池スタック20に供給する酸化ガス量を一定に制御した場合を想定する。

【0045】

図3に示すように、燃料電池スタック20を起動準備状態から低効率運転状態へ移行する際、燃料電池スタック20の出力電圧を降下させると、出力電流が大きく変化する領域(具体的には、触媒還元領域)A1が存在する。かかる触媒還元領域A1において燃料電池スタック20から取り出せる電流(すなわち出力電流)は、燃料電池スタック20の出力電圧の電圧変化速度によって変化し、図3に示すように電圧変化速度が大きいほど、瞬間的な出力電流の変化量は大きくなる(図3に示す電圧変化速度 $Sch1$ 、 $Sch2$ 参照)。周知のとおり、燃料電池スタック20の出力電力は、出力電流に出力電圧を乗ずることと求めることができるため、燃料電池スタック20に対する要求電力に応じて燃料電池スタック20の出力電圧の電圧変化速度を逐次変化させて出力電流を制御することにより、所望の出力電力を得ることができる。

【0046】

図4は、暖機制御処理を実現するコントローラ70の機能ブロック図である。

コントローラ70は、暖機タイミング判定部70aと、遷移目標電圧決定部70bと、電圧変化速度決定部70cと、電圧降下処理実行部70dとを備えている。

【0047】

暖機タイミング判定部(判断手段)70aは、温度センサ74によって検知される燃料電池スタック20の温度(FC温度)に基づき、暖機タイミングが到来したか否かを判定する。なお、FC温度の代わりに、燃料電池スタック20の周囲の環境温度や周囲の部品温度(燃料電池の関連温度)を検出しても良いのはもちろんである。ここで、暖機タイミング判定部70aには、暖機運転を開始すべきか否かを判定するためのFC温度閾値(例えば0)が登録されている。暖機タイミング判定部70aは、温度センサ74から検知されたFC温度を受け取ると、このFC温度とFC温度閾値とを比較する。暖機タイミング判定部70aは、FC温度がFC温度閾値を下回っていることを検知すると、低効率運転による暖機運転の開始タイミングが到来した旨を遷移目標電圧決定部70b、電圧変化速度決定部70cに出力する。

【0048】

遷移目標電圧決定部70bは、暖機タイミング判定部70aからの通知に従って、燃料電池スタック20に対する要求電力などに基づき、暖機運転時の燃料電池スタック20の出力目標電圧 V_{o1} (すなわち、起動準備状態から低効率運転状態へと遷移したときの燃料電池スタック20の遷移目標電圧; 図4参照)を決定する。遷移目標電圧決定部(設定手段)70bは、暖機運転時の燃料電池スタック20の出力目標電圧(暖気目標電圧) V_{o1} を決定(設定)すると、これを電圧変化速度決定部70cに出力する。なお、暖機運転時の燃料電池スタック20の出力目標電圧 V_{o1} は、FC温度や燃料電池スタック20に対する要求発熱量、要求電力などに応じて適宜設定しても良いが、固定値としても良い。

【0049】

電圧変化速度決定部(決定手段)70cは、暖機タイミング判定部70aからの通知に従って、燃料電池スタック20に対する要求電力、遷移目標電圧決定部70bから出力される暖機運転時の燃料電池スタック20の出力目標電圧 V_{o1} 、電圧センサ(検知手段)71によって検出される現時点での出力電圧(例えば、図4に示す V_{p1} 参照)に基づき、電圧変化速度(ここでは、電圧降下速度)を決定し、決定した電圧変化速度を電圧降下処理実行部70dに通知する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

上述したように、燃料電池スタック 2 0 を起動準備状態から低効率運転状態へ移行する場合には、燃料電池スタック 2 0 の出力電圧の電圧変化速度を変化させることで所望の出力電力を得ることができる。従って、電圧変化速度決定部 7 0 c は、燃料電池スタック 2 0 に対する要求電力が得られるよう、この要求電力と出力目標電圧 V_{o1} と現時点での出力電圧とに基づき電圧変化速度を決定する。なお、電圧変化速度については、例えば電圧センサ（検知手段）の出力電圧の検知タイミングにあわせて所定時間毎（4 m S 毎など）に電圧変化速度を決定しても良いが、電圧変化速度を一度決定した後は固定しても良く、どのようなタイミングで電圧変化速度を決定するかは任意である。

【 0 0 5 1 】

電圧降下処理実行部（制御手段）7 0 d は、電圧変化速度決定部 7 0 c から通知される電圧変化速度に従って、所望の要求電力が得られるよう、燃料電池スタック 2 0 の出力電圧を降下させる処理（以下、電圧降下処理）を実行する。詳述すると、電圧降下処理実行部 7 0 d は、DC / DC コンバータ 5 1 を用いて、下記式（6）～（7）に従い燃料電池スタック 2 0 の出力電圧を出力目標電圧まで降圧させる。

$$\text{電流偏差} = \text{電流指令値} - \text{電流実測値} \quad \dots (6)$$

$$\text{電圧指令値} = \text{電圧指令値（前回値）} - (\text{電流偏差} \times \text{比例ゲイン} + \text{電流偏差積分項} \times \text{積分ゲイン}) \quad \dots (7)$$

【 0 0 5 2 】

この際、電圧降下処理実行部 7 0 d は、電圧変化速度決定部 7 0 c において決定された電圧変化速度を維持するように、DC / DC コンバータ 5 1 の降圧動作を制御する。これにより、出力要求電力を満たしつつ、燃料電池スタック 2 0 を迅速に暖機することができる。なお、電圧降下処理実行部 7 0 d は、FC 温度が設定された通常運転切換温度（例えば 5 ）まで昇温したことを検知すると、燃料電池スタック 2 0 の暖機を終了し、低効率運転から通常運転への切換えを行う。以下、暖機制御処理について図 5 を参照しながら説明する。

【 0 0 5 3 】

A - 2 . 動作説明

図 5 はコントローラ 7 0 によって実行される暖機制御処理を示すフローチャートである。

暖機タイミング判定部 7 0 a は、温度センサ 7 4 によって検知される燃料電池スタック 2 0 の温度（FC 温度）に基づき、暖機タイミングが到来したか否かを判定する。詳述すると、暖機タイミング判定部 7 0 a は、温度センサ 7 4 によって検知される FC 温度と予め設定されている FC 温度閾値とを比較し、FC 温度が FC 温度閾値を下回っているか否かを判定する。暖機タイミング判定部 7 0 a は、FC 温度が FC 温度閾値以上である場合には（ステップ S 1 0 0 ; N O）、以下に示すステップを実行することなく処理を終了する。

【 0 0 5 4 】

一方、暖機タイミング判定部 7 0 a は、FC 温度が FC 温度閾値を下回っていることから、暖機タイミングが到来したと判断すると（ステップ S 1 0 0 ; Y E S）、低効率運転による暖機運転の開始タイミングが到来した旨を遷移目標電圧決定部 7 0 b、電圧変化速度決定部 7 0 c に対して出力する。

【 0 0 5 5 】

遷移目標電圧決定部 7 0 b は、暖機タイミング判定部 7 0 a からの通知に従って、燃料電池スタック 2 0 に対する要求電力などに基づき、暖機運転時の燃料電池スタック 2 0 の出力目標電圧 V_{o1} （すなわち、起動準備状態から低効率運転状態へと遷移したときの燃料電池スタック 2 0 の遷移目標電圧；図 4 参照）を決定する（ステップ S 2 0 0）。遷移目標電圧決定部 7 0 b は、暖機運転時の燃料電池スタック 2 0 の出力目標電圧 V_{o1} を決定すると、これを電圧変化速度決定部 7 0 c に出力する。

【 0 0 5 6 】

10

20

30

40

50

電圧変化速度決定部 70c は、暖機タイミング判定部 70a からの通知に従って、燃料電池スタック 20 に対する要求電力、遷移目標電圧決定部 70b から出力される暖機運転時の燃料電池スタック 20 の出力目標電圧 V_{o1} 、電圧センサ 71 によって検出される現時点での出力電圧に基づき、電圧変化速度（ここでは、電圧降下速度）を決定し、決定した電圧変化速度を電圧降下処理実行部 70d に通知する（ステップ S300）。

【0057】

電圧降下処理実行部 70d は、電圧変化速度決定部 70c から通知される電圧変化速度に従って、所望の要求電力が得られるよう、燃料電池スタック 20 の電圧降下処理を実行する（ステップ S400）。詳述すると、電圧降下処理実行部 70d は、DC/DC コンバータ 51 を用いて、上述した式（6）～（7）に従い燃料電池スタック 20 の出力電圧を出力目標電圧まで降下させる。この際、電圧降下処理実行部 70d は、電圧変化速度決定部 70c において決定された電圧変化速度を維持するように、DC/DC コンバータ 51 の降下動作を制御する。これにより、出力要求電力を満たしつつ、燃料電池スタック 20 を迅速に暖機することができる。なお、電圧降下処理実行部 70d は、FC 温度が設定された通常運転切換温度（例えば 5 ）まで昇温したことを検知すると、以上説明した暖機制御処理を終了し、低効率運転から通常運転へと移行する。

10

【0058】

以上説明したように、本実施形態によれば、暖機運転を行う際、燃料電池スタックに対する要求電力、暖機運転時の燃料電池スタックの出力目標電圧、現時点での出力電圧に基づき、電圧変化速度を決定し、決定した電圧変化速度で燃料電池スタックの出力電圧を出力目標電圧まで変化させる。

20

【0059】

ここで、燃料電池スタックから取り出せる出力電流は、燃料電池スタックの出力電圧の電圧変化速度によって変化し、電圧変化速度が大きいほど、瞬間的な出力電流の変化量は大きくなるため（図 4 参照）、燃料電池スタックに対する要求電力に応じて燃料電池スタックの出力電圧の電圧変化速度を逐次変化させて出力電流を制御することにより、出力要求電力を満たしつつ、燃料電池スタックを迅速に暖機することが可能となる。

【0060】

B. 第 2 実施形態

図 6 は、第 2 実施形態に係る暖機制御処理を実現するコントローラ 70' の機能ブロック図であり、前掲図 4 に対応する図である。よって、対応する部分には同一符号を付し、詳細な説明は割愛する。

30

【0061】

電圧降下処理実行部（閾値設定手段）70d' には、遷移可能閾値電圧 V_{a1} が登録されている（図 3 参照）。遷移可能閾値電圧（閾値電圧） V_{a1} は、燃料電池スタック 20 の出力電圧を急激に変化（ここでは降下）させることが可能か否かを判断するための閾値であり、出力目標電圧よりも大きな値である。図 3 に示すように、遷移可能閾値電圧 V_{a1} を越える電圧領域では、燃料電池スタック 20 の出力電圧の変化に応じて出力電流は大きな変動を示す一方（図 3 に示す触媒還元領域 A1 参照）、遷移可能閾値電圧 V_{a1} を下回る電圧領域では、出力電圧を急激に変動させても、燃料電池スタック 20 の出力電流は大きな変動を示さない。

40

【0062】

そこで、本実施形態では、燃料電池スタック 20 の出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} 以上である場合には、既に設定された電圧変化速度（ここでは電圧変化速度 S1）で燃料電池スタック 20 の出力電圧を変化させる一方、燃料電池スタック 20 の出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} を下回っている場合には、既に設定された電圧変化速度 S1 よりも速い電圧変化速度 S2 で、燃料電池スタック 20 の出力電圧を変化させる。

【0063】

詳述すると、電圧降下処理実行部（決定手段）70d' は、電圧センサ 71 によって検出される現時点での出力電圧と遷移可能閾値電圧 V_{a1} とを比較する。電圧降下処理実行

50

部 70 d' は、現時点での出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} 以上である場合には、電圧変化速度決定部 70 c によって既に設定された電圧変化速度 S_1 で燃料電池スタック 20 の出力電圧を変化させる。一方、電圧降下処理実行部 70 d' は、現時点での出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} を下回ったことを検知すると、既に設定された電圧変化速度 S_1 よりも速い電圧変化速度 S_2 ($> S_1$) で、燃料電池スタック 20 の出力電圧を出力目標電圧まで変化させる。なお、電圧変化速度 S_2 については、固定値としても良いが、適宜変化させても良く、どのように設定するかは任意である。

【0064】

C. 第3実施形態

図7は、第3実施形態に係る暖機制御処理を実現するコントローラ70''の機能ブロック図であり、前掲図6に対応する図である。よって、対応する部分には同一符号を付し、詳細な説明を割愛する。

10

【0065】

電圧降下処理実行部70 d''には、タイマ70 eが接続されている。タイマ(計測手段)70 eは、電圧降下処理を開始してからの時間を計測するための手段である。さらに、電圧降下処理実行部70 d''には、閾値処理時間 T_1 が登録されている。閾値処理時間 T_1 は、燃料電池スタック20の出力電圧を急激に変化(ここでは降下)させることが可能か否かを判断するための閾値である。

【0066】

電圧降下処理実行部70 d''は、電圧降下処理を開始すると、タイマ70 eを利用して電圧降下処理を開始してからの経過時間(以下、電圧降下処理時間)を計測する。そして、電圧降下処理実行部70 d''は、現時点での出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} を下回ったことを検知すると、タイマ70 eを参照し、現時点での電圧降下処理時間を把握する。

20

【0067】

電圧降下処理実行部70 d''は、タイマ70 eによって計測される現時点での電圧降下処理時間が閾値処理時間 T_1 を下回っている場合には既に設定された電圧変化速度 S_1 で燃料電池スタック20の出力電圧を変化させる。一方、電圧降下処理実行部70 d''は、閾値処理時間 T_1 を越えたことを検知すると、既に設定された電圧変化速度 S_1 よりも速い電圧変化速度 S_2 ($> S_1$) で、燃料電池スタック20の出力電圧を出力目標電圧まで変化させる。

30

【0068】

このように、電圧降下処理実行部(決定手段)70 d''は、現時点での出力電圧が遷移可能閾値電圧 V_{a1} を下回り、かつ、現時点での電圧降下処理時間が閾値処理時間 T_1 を越えた場合に、既に設定された電圧変化速度 S_1 よりも速い電圧変化速度 S_2 ($> S_1$) で、燃料電池スタック20の出力電圧を出力目標電圧まで変化させる。このような制御を行うのは、電流センサ72等に異常等が生じて実際の電流値よりも大きな値が計測値(電流実測値)として検知されてしまうと、式(6)から明らかなように電流偏差が小さくなり、式(7)に示す電圧指令値が前回の電圧指令値とほとんど変わらず、燃料電池スタック20の出力電圧が下がらずに滞留してしまうためである。

40

【0069】

そこで、本実施形態では、現時点での電圧降下処理時間が閾値処理時間 T_1 を越えても燃料電池スタック20の出力電圧が出力目標電圧まで下がり切らない場合には、電流センサ72等に何らかの異常等が生じていると判断し、強制的に燃料電池スタック20の出力電圧を出力目標電圧まで下げる処理を行う。かかる構成によれば、電流センサ72等に異常が生じている場合でも、燃料電池スタック20を迅速に暖機することが可能となる。なお、閾値処理時間 T_1 については、予め実験などによって燃料電池スタック20の出力電圧が出力目標電圧まで下がり切る正常時間範囲を求めておき、この正常時間範囲に基づいて適宜設定すれば良い。

【図面の簡単な説明】

50

【0070】

【図1】第1実施形態に係る燃料電池システムの要部構成を示す図である。

【図2】燃料電池システムの等価回路を示す図である。

【図3】状態遷移したときの燃料電池スタックのIV特性を示す図である。

【図4】暖機制御処理を実現するコントローラの機能ブロック図である。

【図5】暖機制御処理を示すフローチャートである。

【図6】第2実施形態に係るコントローラの機能ブロック図である。

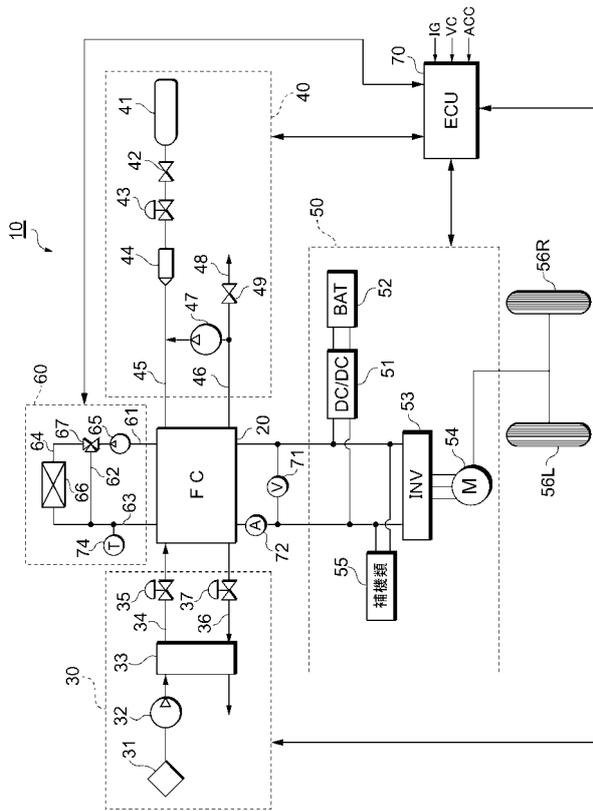
【図7】第3実施形態に係るコントローラの機能ブロック図である。

【符号の説明】

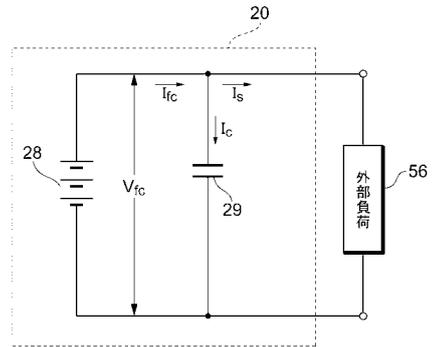
【0071】

10・・・燃料電池システム、20・・・燃料電池スタック、30・・・酸化ガス供給系、40・・・燃料ガス供給系、50・・・電力系、60・・・冷却系、70,70',70''・・・コントローラ、70a・・・暖機タイミング判定部、70b・・・遷移目標電圧決定部、70c・・・電圧変化速度決定部、70d,70d',70d''・・・電圧降下処理実行部、70e・・・タイマ。

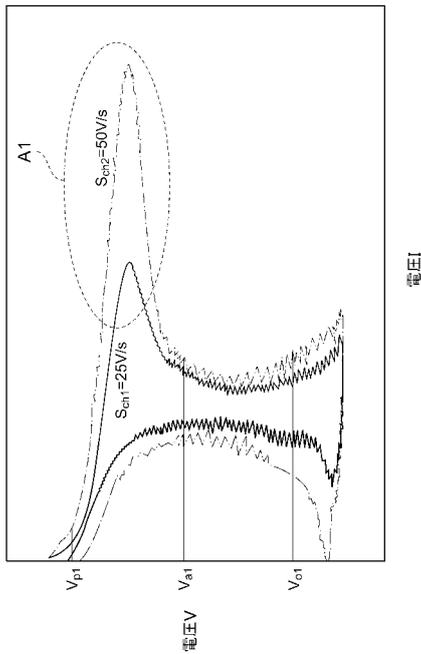
【図1】



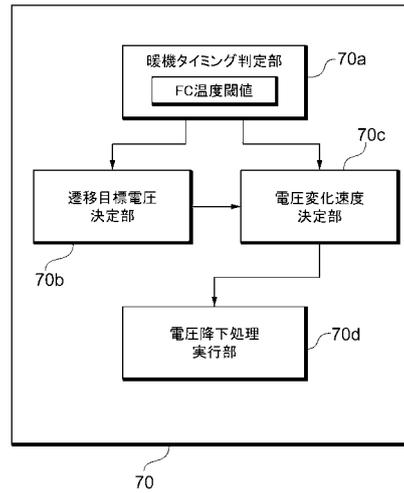
【図2】



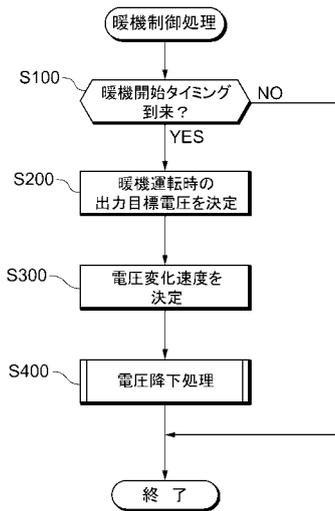
【図3】



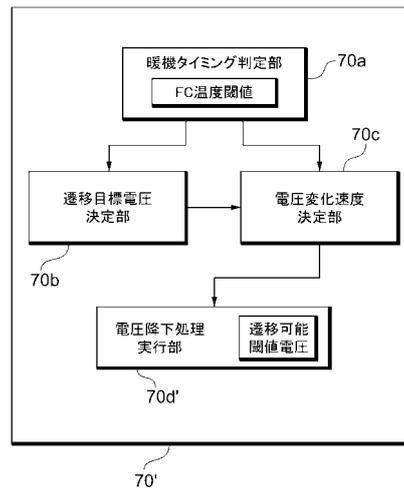
【図4】



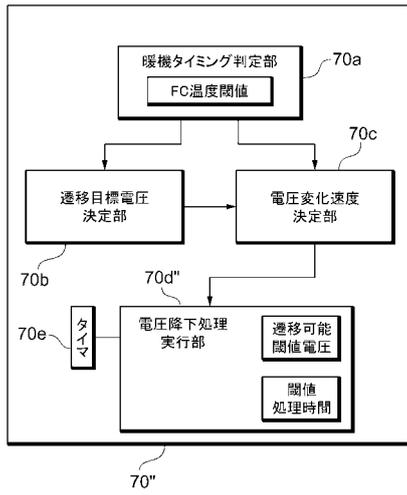
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

- (72)発明者 真鍋 晃太
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 小川 朋也
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 小川 進

- (56)参考文献 特開2007-026933(JP,A)
特開2004-296338(JP,A)
特開2007-149595(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|------|
| H01M | 8/04 |
| H01M | 8/10 |