

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-84451
(P2017-84451A)

(43) 公開日 平成29年5月18日(2017.5.18)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO 1M	8/04	(2016.01)	HO 1M	8/04	Z	5H018		
HO 1M	4/86	(2006.01)	HO 1M	4/86	Z	5H026		
HO 1M	4/88	(2006.01)	HO 1M	4/88	Z	5H127		
HO 1M	8/02	(2016.01)	HO 1M	8/02	E			
HO 1M	8/10	(2016.01)	HO 1M	8/10				

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2015-208236 (P2015-208236)
(22) 出願日 平成27年10月22日 (2015.10.22)

(71) 出願人 000003997
日産自動車株式会社
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(74) 代理人 110002468
特許業務法人後藤特許事務所
(74) 代理人 100075513
弁理士 後藤 政喜
(74) 代理人 100120260
弁理士 飯田 雅昭
(74) 代理人 100148231
弁理士 村瀬 謙治
(74) 代理人 100194940
弁理士 高山 昇一

最終頁に続く

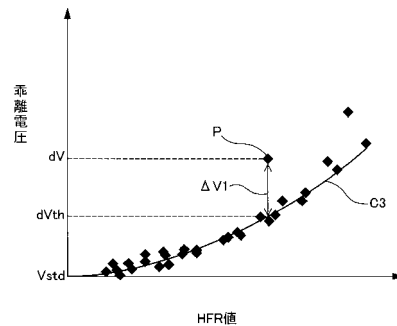
(54) 【発明の名称】 燃料電池の触媒劣化判定方法及び触媒劣化判定装置

(57) 【要約】

【課題】より高精度に触媒被毒の検出し得る燃料電池の触媒劣化判定方法及び触媒劣化判定装置を提供すること

。【解決手段】燃料電池の触媒層に係る触媒劣化前における、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得し、燃料電池の現在における、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の関係である現在電圧 - 湿潤状態関係を取得し、劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、触媒が触媒劣化しているか否かを判定する触媒劣化判定方法。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電解質膜及び前記電解質膜の両面に電気化学反応を促進する触媒層を含む電極からなる膜電極接合体を含む燃料電池において、前記触媒層における触媒劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定方法であって、

前記触媒劣化前における、前記燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、前記燃料電池の湿潤状態と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得し、

前記燃料電池の現在における、前記燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、前記燃料電池の湿潤状態と、の関係である現在電圧 - 湿潤状態関係を取得し、

前記劣化前電圧 - 湿潤状態関係と前記現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、前記触媒が触媒劣化しているか否かを判定する燃料電池の触媒劣化判定方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記触媒劣化前における前記燃料電池の電圧を基準電圧として取得し、

前記触媒が触媒劣化しているか否かの判定では、前記燃料電池の現在の電圧と前記基準電圧の差である乖離電圧を算出し、前記乖離電圧が所定値より大きくなると、前記触媒劣化が生じていると判定する触媒劣化判定方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記触媒劣化が生じていると判定されると、前記触媒劣化を回復する触媒劣化回復操作を実行する触媒劣化判定方法。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記触媒劣化回復操作を実行した後に、再度、前記触媒劣化が生じているか否かの判定を行い、

前記再度の判定によっても前記触媒劣化が生じていると判定されると、前記触媒劣化が不可逆触媒劣化であると判定する触媒劣化判定方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記触媒劣化が不可逆触媒劣化であると判定されると、前記燃料電池の出力電力を決定するパラメータに前記不可逆触媒劣化の影響による補正を行う触媒劣化判定方法。

30

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 5 の何れか 1 項に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記燃料電池の内部インピーダンスを計測し、

前記内部インピーダンスに基づいて前記湿潤状態を推定する触媒劣化判定方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記内部インピーダンスを、HFR 取得用の周波数帯の周波数を用いて計測する触媒劣化判定方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記内部インピーダンスから前記燃料電池の触媒層内における電解質成分に由来するアイオノマ抵抗を算出し、

前記アイオノマ抵抗に基づいて前記湿潤状態を求める触媒劣化判定方法。

40

【請求項 9】

請求項 6 に記載の触媒劣化判定方法であって、

前記内部インピーダンスから前記燃料電池の電気二重層容量値を算出し、

前記電気二重層容量値に基づいて前記湿潤状態を求める触媒劣化判定方法。

【請求項 10】

請求項 6 ~ 請求項 9 の何れか 1 項に記載の燃料電池の触媒劣化判定方法において、

50

前記燃料電池が積層電池として構成され、
 前記積層電池に交流電流を出力し、
 前記積層電池の正極側の電位から該積層電池の中途部分の電位を引いて求めた電位差である正極側交流電位差と、前記積層電池の負極側の電位から前記中途部分の電位を引いて求めた電位差である負極側交流電位差と、に基づいて前記交流電流を調整し、
 前記調整された前記交流電流、前記正極側交流電位差、及び前記負極側交流電位差に基づいて前記積層電池の前記内部インピーダンスを演算する燃料電池の触媒劣化判定方法。

【請求項 1 1】

電解質膜及び前記電解質膜の両面に電気化学反応を促進する触媒層を含む電極からなる膜電極接合体を含む燃料電池において、前記触媒層における触媒劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

10

前記触媒劣化前における、前記燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、前記燃料電池の湿潤状態と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得する劣化前電圧 - 湿潤状態関係取得装置と、

前記燃料電池の現在における、前記燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、前記燃料電池の湿潤状態と、の関係である現在電圧 - 湿潤状態関係を取得する現在電圧 - 湿潤状態関係取得装置と、

前記劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、前記触媒劣化が生じているか否かを判定する判定装置と、

を有する燃料電池の触媒劣化判定装置。

20

【請求項 1 2】

燃料電池の電解質膜に配置された触媒層の劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

前記燃料電池の電流密度を検出する電流密度検出装置と、

前記燃料電池の電圧を検出する電圧検出装置と、

前記燃料電池の湿潤状態を検出する湿潤状態検出装置と、

前記燃料電池の電流密度が所定値以下である触媒劣化前の湿潤状態と、前記燃料電池の所定の基準電圧からの乖離電圧として許容される許容乖離電圧との関係を記憶する記憶装置と、

前記燃料電池の電流密度が前記所定値以下であるか否かを判定する電流密度判定装置と

30

前記電流密度判定装置により前記燃料電池の電流密度が前記所定値以下であると判定された際の前記乖離電圧が、前記記憶装置に記憶された許容乖離電圧より大きいことを検出すると、前記触媒層が劣化していると判定する劣化判定装置と、

を有することを特徴とする燃料電池の触媒劣化判定装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

前記湿潤状態検出装置は、前記燃料電池の内部インピーダンスに基づいて前記湿潤状態を推定する触媒劣化判定装置。

【請求項 1 4】

40

請求項 1 3 に記載の燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

前記湿潤状態検出装置は、前記燃料電池の内部インピーダンスとしての HFR 値に基づいて前記湿潤状態を推定する燃料電池の触媒劣化判定装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載の燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

前記湿潤状態検出装置は、前記内部インピーダンスから前記燃料電池の触媒層内における電解質成分に由来するアイオノマ抵抗を算出し、

前記アイオノマ抵抗に基づいて前記湿潤状態を求める触媒劣化判定装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 2 ~ 請求項 1 5 の何れか 1 項に記載の燃料電池の触媒劣化判定装置であって、

50

前記電流密度判定装置は、前記燃料電池の電流密度が、前記燃料電池の湿潤状態以外の要因による前記燃料電池の電圧のばらつきを回避する観点から定められた前記所定値以下であるか否かを判定する燃料電池の触媒劣化判定装置。

【請求項 17】

請求項 12 ~ 請求項 16 の何れか 1 項に記載の燃料電池の触媒劣化判定装置であって、前記記憶装置は、前記燃料電池の電流密度が所定値以下である触媒劣化前の理論乖離電圧を記憶し、

前記劣化判定装置は、前記燃料電池の電流密度が前記所定値以下であると判定された際の前記乖離電圧と、前記記憶装置に記憶された前記理論乖離電圧と、の差である乖離電圧差を算出し、前記乖離電圧差が、所定の許容乖離電圧差よりも大きいと前記触媒層が劣化していると判定する燃料電池の触媒劣化判定装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池の触媒劣化判定方法及び触媒劣化判定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、電解質膜の両面に配置された電極に、燃料電池反応を促進するための白金 (Pt) などの触媒が配置されて構成されている。燃料電池では、触媒の表面に触媒毒が吸着されて、触媒活性が低下してしまう触媒被毒が発生することで触媒劣化が生じる場合がある。触媒被毒による触媒劣化は、燃料電池の発電性能を低下させる原因となる。一般に、触媒被毒による燃料電池の発電性能の低下は、触媒に吸着している触媒毒を除去することによって回復が可能である。したがって、燃料電池の発電性能の維持を図るために、触媒被毒を高精度に検出して、適宜回復操作を実行することが重要である。

20

【0003】

特許文献 1 には、燃料電池の発電特性における所定の電流範囲において、電流の増大量に対する電圧の低下量を求め、この値が所定の閾値よりも大きいときに、触媒劣化であると判定する燃料電池システムが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 206647 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、電流の増大量に対する電圧の低下量は、例えば燃料ガスの供給圧力や流量が変化する等の燃料電池車両の運転状態の変化によっても変動し得るので、特許文献 1 の方法では触媒劣化を高精度に判定することができないという問題があった。

【0006】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、より高精度に触媒劣化を判定し得る燃料電池の触媒劣化判定方法及び触媒劣化判定装置を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明のある態様によれば、電解質膜及び電解質膜の両面に電気化学反応を促進する触媒層を含む電極からなる膜電極接合体を含む燃料電池において、触媒層における触媒劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定方法が提供される。この触媒劣化判定方法では、触媒劣化前における燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得する。そして、燃料電池の現在における、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の

50

関係である現在電圧 - 湿潤状態関係を取得する。さらに、劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、触媒が触媒劣化しているか否かを判定する。

【0008】

また、本発明のある態様によれば、電解質膜及び前記電解質膜の両面に電気化学反応を促進する触媒層を含む電極からなる膜電極接合体を含む燃料電池において、触媒層における触媒劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定装置が提供される。この触媒劣化判定装置は、触媒劣化前における、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得する劣化前電圧 - 湿潤状態関係取得装置と、燃料電池の現在における、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合の電圧と、燃料電池の湿潤状態と、の関係である現在電圧 - 湿潤状態関係を取得する現在電圧 - 湿潤状態関係取得装置と、劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、触媒劣化が生じているか否かを判定する判定装置と、を有する。

10

【0009】

さらに、本発明のある態様によれば、燃料電池の電解質膜に配置された触媒層の劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定装置が提供される。この触媒劣化判定装置は、燃料電池の電流密度を検出する電流密度検出装置と、燃料電池の電圧を検出する電圧検出装置と、燃料電池の湿潤状態を検出する湿潤状態検出装置と、燃料電池の電流密度が所定値以下である触媒劣化前の湿潤状態と、燃料電池の所定の基準電圧からの乖離電圧として許容される許容乖離電圧との関係を記憶する記憶装置と、燃料電池の電流密度が所定値以下であるか否かを判定する電流密度判定装置と、電流密度判定装置により燃料電池の電流密度が所定値以下であると判定された際の乖離電圧が、記憶装置に記憶された許容乖離電圧より大きいことを検出すると、触媒層が劣化していると判定する劣化判定装置と、を有する。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、燃料電池の電流密度が所定値以下である場合におけるセル電圧と燃料電池の湿潤状態との間の関係に基づいて、触媒劣化をより高精度に判定することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0011】

【図1】図1は、本発明の一実施形態による燃料電池の構成を説明する図である。

【図2】図2は、一実施形態による燃料電池システムの概略図である。

【図3】図3は、HFR値と湿潤度の関係を示すマップである。

【図4】図4は、触媒劣化判定方法の流れを説明するフローチャートである。

【図5】図5は、乖離電圧を算出する流れを示すフローチャートである。

【図6】図6は、HFR値とIV特性の関係を示すグラフである。

【図7】図7は、HFR値、理論的な剥離電圧、及び実際の乖離電圧の関係を説明するグラフである。

40

【図8】図8は、回復処理の流れを示すフローチャートである。

【図9】図9は、セル電圧ごとの回復操作に必要な時間と回復率との関係を示すグラフである。

【図10A】図10Aは、不可逆触媒劣化前後の燃料電池セルのIV特性を示すグラフである。

【図10B】図10Bは、不可逆触媒劣化前後の燃料電池セルにおける要求出力電力と必要な出力電流との関係を示すグラフである。

【図11】図11は、一実施形態による燃料電池スタックの内部インピーダンスのナイキスト線図である。

【図12】図12は、燃料電池スタックの等価回路の一例を示す。

【図13】図13は、アイオノマ抵抗値 - 湿潤度マップを示す。

50

【図 1 4】図 1 4 は、一実施形態による燃料電池スタックの電気二重層容量値を算出する流れを示すフローチャートである。

【図 1 5 A】図 1 5 A は、燃料電池スタックの等価回路の一例を示す図である。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、燃料電池スタックの等価回路の一例を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、湿潤度と電気二重層容量値の関係を表すマップを示す。

【図 1 7】図 1 7 は、一実施形態によるインピーダンス計測装置の構成を概略的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

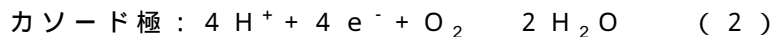
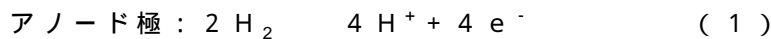
以下、図面等を参照して本発明の実施形態について説明する。

10

【0013】

燃料電池セルは、燃料極としてのアノード極と酸化剤極としてのカソード極とによって電解質膜を挟んで構成されている。燃料電池セルでは、水素を含有するアノードガスがアノード極に供給される一方で、酸素を含有するカソードガスがカソード極に供給されて、これらガスを用いることで発電が行われる。アノード極及びカソード極の両電極において発電時に進行する主な電極反応は、以下の通りである。

【0014】



これら(1)及び(2)の電極反応によって、燃料電池セルは1V(ボルト)程度の起電力を生じる。

20

【0015】

図1は、本発明の一実施形態における燃料電池セル10の断面図である。

【0016】

図1に示すように、燃料電池セル10は、膜電極接合体(MEA)11と、MEA11を挟むように配置されるアノードセパレータ12及びカソードセパレータ13と、を備える。

【0017】

MEA11は、電解質膜111と、アノード極112と、カソード極113とから構成されている。MEA11は、電解質膜111の一方の面側にアノード極112を有しており、他方の面側にカソード極113を有している。

30

【0018】

電解質膜111は、フッ素系樹脂により形成されたプロトン伝導性のイオン交換膜である。電解質膜111は、湿潤状態で良好な電気伝導性を示す。

【0019】

アノード極112は、触媒層112Aとガス拡散層112Bとを備える。触媒層112Aは、白金又は白金等が担持されたカーボンブラック粒子により形成された部材であって、電解質膜111と接するように設けられる。ガス拡散層112Bは、触媒層112Aの外側に配置される。ガス拡散層112Bは、ガス拡散性及び導電性を有するカーボンクロスで形成された部材であって、触媒層112A及びアノードセパレータ12と接するように設けられる。

40

【0020】

アノード極112と同様に、カソード極113も触媒層113Aとガス拡散層113Bとを備える。触媒層113Aは電解質膜111とガス拡散層113Bとの間に配置され、ガス拡散層113Bは触媒層113Aとカソードセパレータ13との間に配置される。なお、本実施形態における「触媒被毒」とは、アノード極112の触媒層112Aやカソード極113の触媒層113Aにおいて、これらの表面に触媒作用を低下させる硫黄酸化物等の触媒毒が吸着されることを言う。

【0021】

アノードセパレータ12は、ガス拡散層112Bの外側に配置される。アノードセパレ

50

ータ12は、アノード極112にアノードガス（水素ガス）を供給するための複数のアノードガス流路121を備えている。アノードガス流路121は、溝状通路として形成されている。

【0022】

カソードセパレータ13は、ガス拡散層113Bの外側に配置される。カソードセパレータ13は、カソード極113にカソードガス（空気）を供給するための複数のカソードガス流路131を備えている。カソードガス流路131は、溝状通路として形成されている。

【0023】

アノードセパレータ12及びカソードセパレータ13は、アノードガス流路121を流れるアノードガスの流れ方向とカソードガス流路131を流れるカソードガスの流れ方向とが互いに逆向きとなるように構成されている。なお、アノードセパレータ12及びカソードセパレータ13は、これらガスの流れ方向が同じ向きに流れるように構成されてもよい。

【0024】

このような燃料電池セル10を自動車用電源として使用する場合には、要求される電力が大きいため、数百枚の燃料電池セル10を積層した燃料電池スタック1として使用する。そして、燃料電池スタック1にアノードガス及びカソードガスを供給する燃料電池システム100を構成して、車両を駆動させるための電力を取り出す。

【0025】

図2は、本発明の一実施形態による燃料電池システム100の概略図である。

【0026】

燃料電池システム100は、燃料電池スタック1と、カソードガス給排装置2と、アノードガス給排装置3と、電力システム4と、インピーダンス計測装置5と、コントローラ6と、を備える。

【0027】

燃料電池スタック1は、アノードガス及びカソードガスの供給を受けて、車両の走行に必要な電力を発電する。燃料電池スタック1は、電力を取り出す出力端子として、アノード極側端子1Aと、カソード極側端子1Bと、を有している。

【0028】

カソードガス給排装置2は、カソードガス供給通路21と、カソードガス排出通路22と、フィルタ23と、エアフローセンサ24と、カソードコンプレッサ25と、水分回収装置（WRD；Water Recovery Device）27と、カソード調圧弁28と、を備える。カソードガス給排装置2は、燃料電池スタック1にカソードガスを供給するとともに、燃料電池スタック1から排出されるカソードオフガスを外部に排出する。

【0029】

カソードガス供給通路21は、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスが流れる通路である。カソードガス供給通路21の一端はフィルタ23に接続され、他端は燃料電池スタック1のカソードガス入口に接続される。

【0030】

カソードガス排出通路22は、燃料電池スタック1から排出されるカソードオフガスが流れる通路である。カソードガス排出通路22の一端は燃料電池スタック1のカソードガス出口部に接続され、他端は開口端として形成される。カソードオフガスは、カソードガスや電極反応によって生じた水蒸気等を含む混合ガスである。

【0031】

フィルタ23は、カソードガス供給通路21に取り込まれるカソードガスに含まれる塵や埃等を除去する部材である。

【0032】

エアフローセンサ24は、フィルタ23とカソードコンプレッサ25との間のカソードガス供給通路21に設けられる。エアフローセンサ24は、燃料電池スタック1に供給さ

10

20

30

40

50

れるカソードガスの流量を検出する。なお、カソードガス供給通路 2 1 には、圧力センサ等の図示しない他のセンサ類が設けられても良い。

【 0 0 3 3 】

カソードコンプレッサ 2 5 は、エアフローセンサ 2 4 よりも下流側のカソードガス供給通路 2 1 に設けられる。カソードコンプレッサ 2 5 は、カソードガス供給通路 2 1 内のカソードガスを圧送して燃料電池スタック 1 に供給する。

【 0 0 3 4 】

WRD 2 7 は、カソードガス供給通路 2 1 とカソードガス排出通路 2 2 とに跨って接続される。WRD 2 7 は、カソードガス排出通路 2 2 を流れるカソードオフガス中の水分を回収し、その回収した水分を用いてカソードガス供給通路 2 1 を流れるカソードガスを加湿する。

10

【 0 0 3 5 】

カソード調圧弁 2 8 は、WRD 2 7 よりも下流のカソードガス排出通路 2 2 に設けられる。カソード調圧弁 2 8 は、コントローラ 6 によって開閉制御され、燃料電池スタック 1 に供給されるカソードガスの圧力を調整する。

【 0 0 3 6 】

次に、アノードガス給排装置 3 について説明する。

【 0 0 3 7 】

アノードガス給排装置 3 は、燃料電池スタック 1 にアノードガスを供給して循環させつつ、燃料電池スタック 1 から排出されるアノードオフガスをカソードガス排出通路 2 2 に排出する。アノードガス給排装置 3 は、高圧タンク 3 1 と、アノードガス供給通路 3 2 と、アノード調圧弁 3 3 と、エゼクタ 3 4 と、アノードガス循環流路 3 5 と、パージ通路 3 6 と、水素循環ポンプ 3 7 と、パージ弁 3 8 と、を備える。

20

【 0 0 3 8 】

高圧タンク 3 1 は、燃料電池スタック 1 に供給するアノードガスを高圧状態に保って貯蔵する容器である。

【 0 0 3 9 】

アノードガス供給通路 3 2 は、高圧タンク 3 1 から排出されるアノードガスを燃料電池スタック 1 に供給する通路である。アノードガス供給通路 3 2 の一端は高圧タンク 3 1 に接続され、他端はエゼクタ 3 4 に接続される。なお、アノードガス供給通路 3 2 には、例えばアノードガスの圧力を検出するアノード圧力センサ等の計測装置を設けられていても良い。

30

【 0 0 4 0 】

アノード調圧弁 3 3 は、高圧タンク 3 1 よりも下流のアノードガス供給通路 3 2 に設けられる。アノード調圧弁 3 3 は、コントローラ 6 によって開閉制御され、燃料電池スタック 1 に供給されるアノードガスの圧力を調整する。

【 0 0 4 1 】

エゼクタ 3 4 は、アノードガス供給通路 3 2 とアノードガス循環流路 3 5 の連結部に設けられる。エゼクタ 3 4 は、高圧タンク 3 1 からのアノードガス、及び燃料電池スタック 1 のアノード極 1 1 2 から排出されるアノードガスをアノードガス循環流路 3 5 で再循環させる。

40

【 0 0 4 2 】

アノードガス循環流路 3 5 は、燃料電池スタック 1 のアノード極入口とアノード極出口の間でアノードガスを循環させる通路である。

【 0 0 4 3 】

パージ通路 3 6 は、アノードガス循環流路 3 5 からアノードオフガスを排出する通路である。パージ通路 3 6 の一端はアノードガス循環流路 3 5 に接続され、他端はカソードガス排出通路 2 2 に接続されている。なお、パージ通路 3 6 とアノードガス循環流路 3 5 の接続部にアノードオフガス等を一時的に貯留するパuffアタンクを設けても良い。

【 0 0 4 4 】

50

水素循環ポンプ 37 は、アノードガス循環流路 35 内でアノードガスを循環させる動力源として機能する。

【0045】

パーズ弁 38 は、パーズ通路 36 に設けられる。パーズ弁 38 は、コントローラ 6 によって開閉制御され、アノードガス循環流路 35 からカソードガス排出通路 22 に排出するアノードオフガスのパーズ流量を制御する。

【0046】

パーズ弁 38 が開弁状態となるパーズ制御が実行されると、アノードオフガスは、パーズ通路 36 及びカソードガス排出通路 22 を通じて外部に排出される。この時、アノードオフガスは、カソードガス排出通路 22 内でカソードオフガスと混合される。このようにアノードオフガスとカソードオフガスを混合させて外部に排出することで、混合ガス中の水素濃度が排出許容濃度以下の値に設定される。

10

【0047】

電力システム 4 は、電流センサ 51 と、電圧センサ 52 と、走行モータ 53 と、インバータ 54 と、バッテリー 55 と、DC/DCコンバータ 56 と、補機類 57 と、を備える。

【0048】

電流センサ 51 は、燃料電池スタック 1 を構成する各燃料電池セル 10 の電流密度を検出する。本実施形態では、燃料電池セル 10 ごとに検出される電流密度の平均値を「セル電流密度 I_{cell} 」とする。なお、平均値ではなく、中央値や任意の代表値を「セル電流密度 I_{cell} 」としても良い。また、電流センサ 51 は、この「セル電流密度 I_{cell} 」に基づき、燃料電池スタック 1 の出力電流を算出する。

20

【0049】

電圧センサ 52 は、燃料電池スタック 1 の出力電圧、つまりアノード極側端子 1A とカソード極側端子 1B の間の端子間電圧を検出する。特に、電圧センサ 52 は、各燃料電池セル 10 の電圧を検出するように構成されている。本実施形態では、燃料電池セル 10 ごとに検出される電圧の平均値を「セル電圧 V_{cell} 」とする。なお、平均値ではなく、中央値や任意の代表値を「セル電圧 V_{cell} 」としても良い。また、燃料電池セル 10 ごとの電圧の検出値の総和が、燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st} となる。

【0050】

走行モータ 53 は、三相交流同期モータであって、車輪を駆動するため駆動源である。走行モータ 53 は、燃料電池スタック 1 及びバッテリー 55 から電力の供給を受けて回転駆動する電動機としての機能と、外力によって回転駆動されることで発電する発電機としての機能と、を有する。

30

【0051】

インバータ 54 は、IGBT 等の複数の半導体スイッチから構成される。インバータ 54 の半導体スイッチは、コントローラ 6 によってスイッチング制御され、これにより直流電力が交流電力に、又は交流電力が直流電力に変換される。走行モータ 53 を電動機として機能させる場合、インバータ 54 は、燃料電池スタック 1 の出力電力とバッテリー 55 の出力電力との合成直流電力を三相交流電力に変換し、走行モータ 53 に供給する。これに対して、走行モータ 53 を発電機として機能させる場合、インバータ 54 は、走行モータ 53 の回生電力（三相交流電力）を直流電力に変換し、バッテリー 55 に供給する。

40

【0052】

バッテリー 55 は、燃料電池スタック 1 の出力電力の余剰分及び走行モータ 53 の回生電力が充電されるように構成されている。バッテリー 55 に充電された電力は、必要に応じてカソードコンプレッサ 25 等の補機類や走行モータ 53 に供給される。

【0053】

DC/DCコンバータ 56 は、燃料電池スタック 1 の出力電圧を昇降圧させる双方向性の電圧変換機である。DC/DCコンバータ 56 によって燃料電池スタック 1 の出力電圧を制御することで、燃料電池スタック 1 の出力電流等が調整される。

【0054】

50

補機類 5 7 は、カソードコンプレッサ 2 5、カソード調圧弁 2 8、アノード調圧弁 3 3、及びパージ弁 3 8 等の燃料電池スタック 1 の発電電力やバッテリー 5 5 の電力を消費する機器である。

【 0 0 5 5 】

インピーダンス計測装置 5 は、燃料電池スタック 1 の出力電圧及び出力電流に基づいて燃料電池スタック 1 の内部インピーダンス Z を計測する装置である。具体的に、インピーダンス計測装置 5 は、燃料電池スタック 1 の出力電流及び出力電圧が所定周波数を有する交流信号を含むように燃料電池スタック 1 の出力を制御し、この時検出される出力電圧値及び出力電流値に基づいて内部インピーダンス Z を算出する。さらに、インピーダンス計測装置 5 は、計測した内部インピーダンス Z をコントローラ 6 に出力する。

10

【 0 0 5 6 】

コントローラ 6 は、中央演算装置 (CPU)、読み出し専用メモリ (ROM)、ランダムアクセスメモリ (RAM) 及び入出力インタフェース (I/Oインタフェース) を備えたマイクロコンピュータで構成される。コントローラ 6 には、インピーダンス計測装置 5、エアフローセンサ 2 4、電流センサ 5 1、及び電圧センサ 5 2 等の各種センサからの信号の他、図示しないアクセルペダルの踏み込み量を検出するアクセルストロークセンサ等のセンサからの信号が入力される。

【 0 0 5 7 】

さらに、コントローラ 6 は、燃料電池システム 1 0 0 の運転状態に応じて、アノード調圧弁 3 3 の開度、カソード調圧弁 2 8 の開度、及びカソードコンプレッサ 2 5 の出力等を制御し、燃料電池スタック 1 に供給されるアノードガスやカソードガスの圧力や流量を調節する。

20

【 0 0 5 8 】

また、コントローラ 6 は、走行モータ 5 3 の要求電力や補機類 5 7 の要求電力、バッテリー 5 5 の充放電要求等に基づいて、目標出力電力を算出する。さらに、コントローラ 6 は、燃料電池スタック 1 内の湿潤状態等に応じた電圧と電流の関係を規定する $I-V$ 特性を記憶しており、この $I-V$ 特性を参照して目標出力電力に基づき燃料電池スタック 1 の目標出力電流を算出する。そして、コントローラ 6 は、燃料電池スタック 1 の出力電流が目標出力電流となるように、DC/DCコンバータ 5 6 によって燃料電池スタック 1 の出力電圧を制御し、走行モータ 5 3 や補機類に必要な電流を供給する制御を行う。

30

【 0 0 5 9 】

さらに、本実施形態でコントローラ 6 は、触媒被毒が生じている場合に、燃料電池スタック 1 の出力電圧やカソードコンプレッサ 2 5 の空気流量を調節することで触媒被毒からの回復操作を行う。

【 0 0 6 0 】

(第 1 実施形態)

以下、第 1 実施形態について説明する。本実施形態に係る触媒劣化判定方法では、特に、あるセル電流密度 I_{cell} 範囲において、セル電圧 V_{cell} と、いわゆる HFR (High Frequency Resistance) 値と、の間の相関関係に基づいて、触媒被毒等に起因する触媒劣化を判定する。特に、HFR 値は、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を示す湿潤度 w との間に図 3 のマップに示す相関関係があることが知られている。具体的には、HFR 値が増加するほど、湿潤度 w が低下する (燃料電池スタック 1 内の電解質膜 1 1 1 が乾燥する) 関係にある。すなわち、本実施形態では、セル電圧 V_{cell} と HFR 値の関係に基づいて触媒劣化を判定することで、実質的に、燃料電池スタック 1 の湿潤状態に応じて触媒劣化を判定することとなる。

40

【 0 0 6 1 】

図 4 は、本実施形態による触媒劣化判定方法の流れを説明するフローチャートである。なお、コントローラ 6 は、本フローチャートで示すルーチンを任意に定められた所定時間ごとに繰り返す。

【 0 0 6 2 】

50

ステップ S 1 0 において、コントローラ 6 は、電圧センサ 5 2 により検出される現在のセル電圧 V_{cell} 、及び現在の燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st} 、及び電流センサ 5 1 により検出される現在のセル電流密度 I_{cell} を取得する。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 0 において、コントローラ 6 は、エアフローセンサ 2 4 で検出された空気流量を取得する。

【 0 0 6 4 】

ステップ S 3 0 において、コントローラ 6 は、燃料電池スタック 1 の HFR 値を取得する。具体的には、インピーダンス計測装置 5 は、燃料電池スタック 1 の出力電流及び出力電圧に数 kHz 以上の十分に大きな周波数 H の交流信号を含むように、燃料電池スタック 1 の出力電流を制御する DC / DC コンバータ 5 6 を制御し、検出される出力電流及び出力電圧に基づいて内部インピーダンス $Z(H)$ を HFR 値として算出する。そして、コントローラ 6 は、この HFR 値をインピーダンス計測装置 5 から受信する。

【 0 0 6 5 】

ステップ S 4 0 において、コントローラ 6 は、ステップ S 1 0 で取得したセル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 より大きいかが否かを判定する。ここで、所定値 I_0 は、本実施形態に係る触媒劣化判定方法を実行することが可能なセル電流密度 I_{cell} の上限値として設定される値である。より詳細には、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 よりも大きくなると、燃料電池スタック 1 に相対的に高い負荷が生じている状態となり、セル電圧 V_{cell} を変化させる要因が増える。これにより、意図しないセル電圧 V_{cell} のばらつきが生じ、本実施形態において想定されるセル電圧 V_{cell} と HFR 値の間の相関関係が得られにくくなる。したがって、上記所定値 I_0 は、このような事態を防止する観点から定める。なお、所定値 I_0 は、燃料電池セル 1 0 の個体差など要因に応じても変わるので、特定の値に限定されるものではないが、一例として 0.3 A/cm^2 程度に設定することができる。

【 0 0 6 6 】

したがって、コントローラ 6 は、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 より大きいと判定した場合には、触媒劣化の推定を行うことなく、本ルーチンを終了する。一方で、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下であると判定された場合には、ステップ S 5 0 に進む。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 5 0 において、コントローラ 6 は、乖離電圧 dV を算出する。以下、この乖離電圧差 V の算出について詳細を説明する。

【 0 0 6 8 】

図 5 は、乖離電圧 dV を算出する流れを示すフローチャートである。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 5 1 において、コントローラ 6 は、燃料電池システム 1 0 0 の初回起動時等の燃料電池スタック 1 の触媒劣化前における基準運転時の $I-V$ 曲線を読み出す。なお、この $I-V$ 曲線は、ある特定の HFR 値を仮定した場合の曲線である。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 5 2 において、コントローラ 6 は、ステップ S 5 1 で取得した基準運転時の $I-V$ 曲線に、ステップ S 1 0 において取得したセル電流密度 I_{cell} を適用することで、基準電圧 V_{std} を求める。

【 0 0 7 1 】

さらに、ステップ S 5 3 において、コントローラ 6 は、ステップ S 5 3 で求めた基準電圧 V_{std} と上記ステップ S 1 0 で取得した現在のセル電圧 V_{cell} との差の絶対値を乖離電圧 dV として算出する。

【 0 0 7 2 】

ここで、上記乖離電圧 dV を算出する意義について説明する。

【 0 0 7 3 】

10

20

30

40

50

図6は、HFR値と燃料電池セル10のIV特性との関係を示すグラフである。なお、上記基準運転時のIV曲線C1は、図6において破線で示している。また、図に実線で示すIV曲線C2は、触媒劣化が生じていないと仮定した場合において、基準運転時からHFR値が増加した場合（燃料電池セル10がより乾燥した場合）における燃料電池セル10のIV特性を示している。

【0074】

図示のように、燃料電池スタック1のIV特性は、燃料電池スタック1のHFR値の大小に応じて変化する。具体的に、HFR値が増加するほど、燃料電池スタック1のIV特性を示す曲線における同じセル電流密度に対するセル電圧の値が小さくなる傾向にある。

【0075】

具体的に、セル電流密度 I_{cell} を固定すると、基準運転時におけるIV曲線C1のセル電圧は基準電圧 V_{std} をとり、HFR増加後のIV曲線C2のセル電圧は、基準電圧 V_{std} よりも小さいセル電圧 V_{cell}' を取っている。

【0076】

そして、図6を参照すると、上記セル電圧 V_{cell}' と基準電圧 V_{std} の差として定義される理論的な乖離電圧 dV_{th} は、HFR値が増加するにつれて大きくなるのがわかる。

【0077】

ここで、本発明者らは、特に所定値 I_0 以下の電流密度領域においては、セル電圧の変動をもたらす要因であるガス圧力変化等の影響を無視でき、乖離電圧 dV が実質的にHFR値より強く相関することを見出している。したがって、燃料電池スタック1の現在の運転状態におけるセル電圧 V_{cell} に基づいてHFR値ごとの乖離電圧 dV を算出すれば、当該算出された乖離電圧 dV を、理論的な乖離電圧 dV_{th} と対比することで、セル電圧の低下をもたらす触媒劣化を判定することができる。この点の詳細は後述する。したがって、コントローラ6は、上記乖離電圧 dV と併せて、上記理論的な乖離電圧 dV_{th} も算出しておく。

【0078】

図4に戻り、ステップS60において、コントローラ6は、所定時間前から現在までの間に回復処理が行われたかどうかを判定する。ここで、回復処理とは、触媒劣化により燃料電池スタック1の特性が低下した場合に、当該触媒劣化を回復して燃料電池スタック1の特性の回復を図る処理である。この回復処理については、後に詳細に説明する。なお、回復処理が行われたかどうかの判定は、後述する回復操作フラグの有無を確認することにより行われる。

【0079】

上記回復処理が行われていないと判定されると、ステップS70において、上記ステップS54で算出した乖離電圧 dV と理論的な乖離電圧 dV_{th} との差 $|dV - dV_{th}|$ が、所定の許容値 V_1 よりも大きいか否かが判定される。この許容値 V_1 は、計測誤差や回復処理の頻度等の種々の要素を考慮して、触媒劣化が生じていないと判定するための閾値として、理論的な乖離電圧 dV_{th} からの実際の乖離電圧 dV のずれを加味した最大の値として設定される。この許容値 V_1 は、例えばコントローラ6の記憶装置に記憶されている。

【0080】

ここで、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ と許容値 V_1 を比較する意義について説明する。

【0081】

図7は、HFR値、理論的な乖離電圧 dV_{th} 、及び実際の乖離電圧 dV の関係を説明するグラフである。なお、図においては、曲線C3は、HFR値と理論的な乖離電圧 dV_{th} との関係を表しており、各プロットは、各HFR値に応じた実際の乖離電圧 dV を表している。

【0082】

10

20

30

40

50

図示のように、各プロットが表す実際の乖離電圧 dV は、基本的には HFR 値と理論的な乖離電圧 dV_{th} との関係を表す曲線 C3 に沿っている。しかしながら、触媒劣化が生じると、燃料電池スタック 1 がある HFR 値をとった場合に、乖離電圧 dV が曲線 C3 上の乖離電圧 dV_{th} から大きく外れる（図 7 のプロット P を参照）。したがって、このときの理論的な乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ と、触媒劣化が生じているかどうかの指標として定めた許容値 V_1 とを比較することで、触媒劣化を高精度に検出することができる。

【0083】

したがって、本実施形態では、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が許容値 V_1 以下である場合には、触媒劣化は生じていないと判定して本ルーチンを終了する。一方で、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が許容値 V_1 よりも大きい場合には、ステップ S80 においてコントローラ 6 は、触媒劣化が生じていると判定する。

10

【0084】

なお、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ と許容値 V_1 の大小を比較して触媒劣化を判定することに代えて、乖離電圧 V と、触媒劣化の観点から乖離電圧 V の大きさとして許容される最大の値である許容乖離電圧 $dV_{th} + V_1$ を、コントローラ 6 の記憶装置等に記憶させておき、乖離電圧 V と許容乖離電圧 $dV_{th} + V_1$ の大小を比較して触媒劣化判定を行うようにしても良い。

【0085】

図 4 に戻り、ステップ S80 において、触媒劣化が生じていると判定されると、ステップ S90 の回復処理に進む。

20

【0086】

図 8 は、本実施形態に係る回復処理の流れを示すフローチャートである。

【0087】

ステップ S91 において、コントローラ 6 は、燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st} 、セル電流密度 I_{cell} 、及び走行モータ 53 による要求電力等の要素に基づいて、燃料電池システム 100 が、アイドルストップが可能な状態であるかどうかを判定する。ここで、アイドルストップとは、燃料ガスを効率的に利用するために、例えば低負荷走行時等に、燃料電池スタック 1 による発電を停止するか又は発電量を大幅に低減してバッテリー 55 を走行モータ 53 の主駆動源とするか、又は減速時等で走行モータ 53 を回生モードとする運転状態を意味する。

30

【0088】

アイドルストップが可能ではないと判定されると、触媒劣化の回復操作が行われることなく、本処理を終了する。すなわち、この場合は、次回、燃料電池スタック 1 にアイドルストップが可能な状態となった際に回復操作が持ち越されることとなる。一方、アイドルストップが可能であると判定されると、ステップ S92 に進む。

【0089】

ステップ S92 において、コントローラ 6 は、所定時間の間、燃料電池スタック 1 の高電位運転を行う。具体的に、コントローラ 6 は、燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st} を上昇させるべく、DC/DC コンバータ 56 により出力電流（セル電流密度 I_{cell} ）を維持した状態で、カソードコンプレッサ 25 の出力を向上させる等して供給空気流量を増加させ発電量を増加させる。

40

【0090】

すなわち、このように発電量を増加させることによって、燃料電池スタック 1 内における電気化学反応（式（1）及び式（2））がより進行し、燃料電池スタック 1 内の生成水が増加することとなる。したがって、上記電気化学反応の進行に伴い触媒毒が酸化されるとともに、生成水の増加により触媒層 112A、113A における触媒表面に吸着された触媒毒が洗い流され、触媒被毒が解消される効果が得られる。

【0091】

ここで、燃料電池スタック 1 の発電量、すなわち燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st}

50

を高くするほど、回復操作に必要な時間が減少することとなる。したがって、触媒劣化の回復操作を行う時間は、燃料電池スタック 1 の出力電圧 V_{st} (セル電圧 V_{cell}) の高さに応じて決定される。

【0092】

図 9 は、セル電圧 V_{cell} の値ごとの回復操作に必要な時間と回復率との関係の一例を示したグラフである。なお、図 9 においては、セル電圧 V_{cell} が 0.95 V、0.9 V、0.85 V、及び 0.8 V であるときにおける回復操作に必要な時間と回復率との関係を、それぞれグラフ G 1、グラフ G 2、グラフ G 3、及びグラフ G 4 として表している。図 9 から明らかなように、設定されるセル電圧 V_{cell} が高いほど、所望の回復率に至るまでの回復操作時間が短くなることわかる。

10

【0093】

したがって、セル電圧 V_{cell} は、燃料電池スタック 1 の構成部品が許容できる限り高く設定することが好ましい。また、このセル電圧 V_{cell} の増加に応じて、燃料電池スタック 1 への供給空気流量をカソードコンプレッサ 25 の出力を向上させるなどして適宜、調節する。

【0094】

なお、燃料電池スタック 1 内の生成水を増加させる方法は、上述した供給空気流量を増加させることに限られず、例えば、燃料電池スタック 1 内の温度を減少させること、アノードガス循環流路 35 内の水素濃度を上昇させること、又はガス圧力を上昇させること、などが挙げられる。

20

【0095】

図 8 に戻り、ステップ S 93 において、コントローラ 6 は、ステップ S 92 の回復操作が実行されることを示す回復操作フラグを設定する。なお、コントローラ 6 は、この回復操作フラグを、予め設定された所定時間の経過によって消滅させる。すなわち、回復操作フラグは所定時間のみ維持されることとなる。

【0096】

図 4 に戻り、上記ステップ S 60 において所定時間以内、すなわち回復操作フラグが維持されている間に回復処理が実行されたと判定されると、ステップ S 100 においてコントローラ 6 は、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が、閾値 V_2 よりも大きいかが否かを判定する。この閾値 V_2 は、所定時間以内に行った回復操作に対して乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が、想定よりも高くなっているか否かという観点から定められる値である。すなわち、閾値 V_2 は、触媒に回復不能な不逆的触媒劣化が生じているかどうかを判定するための乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ の閾値である。

30

【0097】

したがって、コントローラ 6 は、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が閾値 V_2 以下である場合には、不可逆的触媒劣化は生じていないと判定して本ルーチンを終了する。一方で、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が閾値 V_2 よりも大きい場合には、ステップ S 110 において、不可逆的触媒劣化が生じていると判定する。なお、この閾値 V_2 は、上述したステップ S 80 で行われる触媒劣化判定で用いられる許容値 V_1 と同じ値に設定しても良いし、異なる値に設定しても良い。

40

【0098】

そして、ステップ S 110 において不可逆的触媒劣化が生じていると判定されると、ステップ S 120 において、コントローラ 6 は、上記不可逆的触媒劣化によるセル電圧 V_{cell} の触媒劣化幅 V_{deg} を算出する。

【0099】

図 10 A は、不可逆触媒劣化前後の燃料電池セル 10 の I V 特性の一例を示すグラフである。図において、不可逆触媒劣化前の燃料電池セル 10 の I V 特性 C 4 を破線で示しており、不可逆触媒劣化後の燃料電池セル 10 の I V 特性 C 5 を実線で示している。

【0100】

図示のように、不可逆触媒劣化後の燃料電池セル 10 の I V 特性 C 5 は、不可逆触媒劣

50

化前の燃料電池セル10のIV特性C4と比較して発電電力(電流密度×セル電圧)が低下している。したがって、セル電流密度 I_{cell} の値をある値に固定した場合、セル電圧 V_{cell} の値に差が生じることとなる。本実施形態では、この差をセル電圧触媒劣化幅 V_{deg} として算出する。

【0101】

なお、図10Aから理解されるように、セル電流密度 I_{cell} がある電流密度 I_1 以上の領域においては、セル電流密度 I_{cell} の値にかかわらず、不可逆触媒劣化前後においてセル電圧触媒劣化幅 V_{deg} は略一定である。すなわち、特性C5は、特性C4を縦軸に沿って略平行移動したグラフになっている。これは、不可逆触媒劣化前後で燃料電池セル10のセル抵抗が略等しいことを意味する。したがって、電流密度 I_1 以上の任意のセル電流密度 I_{cell} において、不可逆触媒劣化前後のセル電圧 V_{cell} の差をセル電圧触媒劣化幅 V_{deg} とすることができる。

10

【0102】

さらに、本実施形態においては、上記ステップS110において触媒の不可逆触媒劣化が生じている場合に、走行モータ53等の燃料電池スタック1に対する負荷による要求出力電力と、当該要求出力電力に基づいて定まる発電電流(出力電流)と、の間にずれが生じることが想定される。

【0103】

より詳細には、走行モータ53等の負荷に応じて要求出力電力が定まると、その要求出力電力に基づいてDC/DCコンバータにより燃料電池スタック1から取り出される電流である出力電流が定まることとなる。しかしながら、触媒の不可逆触媒劣化が生じていることで、図10Aにおいて説明したように燃料電池セル10のIV特性が低下していると、燃料電池スタック1の所望の要求出力電力に対して、本来必要となる燃料電池スタック1の出力電流の値が変わってしまうことが想定される。

20

【0104】

図10Bは、不可逆触媒劣化前後の燃料電池セル10における要求出力電力と必要な出力電流との関係を示すグラフである。なお、図10Bに示すグラフは、実質的に図10Aに示す特性C4、C5を積分して得られるグラフである。そして、図において、不可逆触媒劣化前の燃料電池スタック1における要求出力電力と出力電流との関係を表す曲線C6を破線で示しており、不可逆触媒劣化後の燃料電池スタック1における要求出力電力と出力電流との関係を表す曲線C7を実線で示している。

30

【0105】

図の例において、走行モータ53等の燃料電池スタック1に対する負荷により定まるある要求出力電力 P_{req} に対して、不可逆触媒劣化前の燃料電池スタック1では出力電流 I_{out1} を取り出す必要があるのに対して、不可逆触媒劣化後の燃料電池スタック1では出力電流 I_{out1} よりも大きい出力電流 I_{out2} を取り出す必要がある。

【0106】

このように、不可逆触媒劣化によって所望の要求出力電力 P_{req} に対して、必要な出力電流の値が変わる事態が生じるので、本実施形態では、上記ステップS110において不可逆的触媒劣化が生じていると判定された場合には、ある要求出力電力 P_{req} に対応する出力電流(目標出力電流)を、その値が増大(図の例では I_{out1} から I_{out2})するように補正する。これにより、触媒の不可逆的触媒劣化が生じた場合であっても、所望の要求出力電力 P_{req} を実現するように、適切に出力電流を定めることができる。

40

【0107】

以上のように説明した触媒劣化判定方法により、高精度に触媒劣化が生じていることを判定することができるとともに、それが回復可能な触媒被毒による触媒劣化である場合には、適切に回復処理を行うことができる。さらに、不可逆触媒劣化によって所望の要求出力電力 P_{req} に対して、必要な出力電流の値が変わる事態が生じる場合には、当該出力電流を補正して、所望の要求出力電力 P_{req} を実現することができる。

【0108】

50

以上、説明した本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【0109】

本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、コントローラ6は、電解質膜111及び電解質膜111の両面に電気化学反応を促進する触媒層112A、113Aを含む電極112、113からなる膜電極接合体11を含む燃料電池（燃料電池セル）において、触媒層112A、113Aにおける触媒劣化を検出する。そして、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、コントローラ6は、触媒劣化前における、燃料電池セル10の電流密度（セル電流密度 I_{cell} ）が所定値 I_0 以下である場合における電圧（セル電圧の基準電圧 V_{std} ）と、燃料電池セル10の湿潤状態（HFR値）と、の関係である劣化前電圧 - 湿潤状態関係（図6、図7）を取得する。また、コントローラ6は、燃料電池セル10の現在における、燃料電池セル10のセル電流密度 I_{cell} が所定電流密度 I_0 以下である場合の電圧（セル電圧 V_{cell} ）と、燃料電池セル10の湿潤状態（HFR値）と、の関係である現在電圧 - 湿潤状態関係（図6、図7）を取得する。さらに、コントローラ6は、劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、触媒が触媒劣化しているか否かを判定する。

10

【0110】

すなわち、コントローラ6は、上記劣化前電圧 - 湿潤状態関係を取得する劣化前電圧 - 湿潤状態関係取得装置、上記現在電圧 - 湿潤状態関係を取得する現在電圧 - 湿潤状態関係取得装置、及び劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係との比較の結果に基づいて、触媒が触媒劣化しているか否かを判定する判定装置として機能する。

20

【0111】

特に、本実施形態の燃料電池システム100では、燃料電池セル10の電解質膜に配置された触媒層の劣化を検出する燃料電池の触媒劣化判定装置が構成される。具体的に、コントローラ6及び電流センサ51が燃料電池セル10の電流密度（セル電流密度 I_{cell} ）を検出する電流密度検出装置として機能し、コントローラ6及び電圧センサ52が燃料電池セル10の電圧（セル電圧 V_{cell} ）を検出する電圧検出装置として機能する。また、コントローラ6及びインピーダンス計測装置5が、燃料電池セル10の湿潤状態（HFR値）を検出する湿潤状態検出装置として機能する。さらにコントローラ6は、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下である触媒劣化前のHFR値と、燃料電池セル10の基準電圧 V_{std} からの乖離電圧 dV として許容される許容乖離電圧 $dV_{th} + V_1$ との関係記憶する記憶装置と、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下であるか否かを判定する電流密度判定装置と、電流密度判定装置によりセル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下であると判定された際の乖離電圧 dV が、記憶装置に記憶された許容乖離電圧 $dV_{th} + V_1$ より大きいことを検出すると、触媒層が劣化していると判定する劣化判定装置として機能することが可能である。

30

【0112】

これにより、セル電流密度 I_{cell} が所定値以下である場合におけるセル電圧 V_{cell} と、燃料電池セル10の湿潤状態との間の相関を利用して、触媒被毒に起因する触媒劣化が判定されることとなるので、触媒被毒に起因する触媒劣化をより高精度に判定することができる。

40

【0113】

また、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、上記触媒劣化前における燃料電池セル10の電圧を基準電圧 V_{std} として取得し、上記触媒が触媒劣化しているかの判定（図4のステップS70）では、現在のセル電圧 V_{cell} と基準電圧 V_{std} の差である乖離電圧 dV を算出し、乖離電圧 dV が所定値（ $dV_{th} + V_1$ ；図7参照）より大きい場合に、触媒劣化が生じていると判定する。

【0114】

これにより、触媒劣化を判定するための劣化前電圧 - 湿潤状態関係と現在電圧 - 湿潤状態関係の比較を、現在のセル電圧 V_{cell} と基準電圧 V_{std} の差である乖離電圧 dV

50

と所定値の大小を比較するという簡易な方法で実行することができる。

【0115】

さらに、本実施形態でコントローラ6は、セル電流密度 I_{cell} が、燃料電池セル10の湿潤度 w 以外の要因によるセル電圧 V_{cell} のばらつきを回避する観点から定められた所定値 I_0 以下であるか否かを判定する電流密度判定装置として機能する。これにより、本実施形態に係る触媒劣化の判定において、湿潤度 w 以外にセル電圧 V_{cell} に相關する因子によるセル電圧 V_{cell} 検出値のばらつきが抑制され、より高精度な触媒劣化の判定に資することとなる。

【0116】

また、本実施形態のコントローラ6は、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下である触媒劣化前の理論乖離電圧 dV_{th} を記憶する記憶装置と、セル電流密度 I_{cell} が所定値 I_0 以下であると判定された際の乖離電圧 dV と、上記記憶装置に記憶された理論乖離電圧 dV_{th} と、の差である乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ を算出し、乖離電圧差 $|dV - dV_{th}|$ が、所定の許容乖離電圧差 V_1 よりも大きいと触媒層が劣化していると判定する劣化判定装置として機能している。これにより、触媒層の劣化判定に係る演算をより簡素化することができる。

10

【0117】

さらに、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、触媒劣化が生じていると判定されると、触媒劣化を回復する触媒劣化回復操作（図8のステップS92）を実行する。これにより、たとえ触媒劣化が生じていると判定された場合であっても、当該触媒劣化が、回復可能な触媒劣化（可逆的触媒劣化）である場合には、これを回復することができる。

20

【0118】

また、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、触媒劣化回復操作（図8のステップS92）を実行した後、再度、触媒劣化が生じているか否かの判定を行い（図4のステップS100）、この再度の判定によっても触媒劣化が生じていると判定されると、触媒劣化が不可逆触媒劣化であると判定する（図4のステップS110）。

【0119】

このように、触媒劣化回復操作を行ったにもかかわらず、触媒劣化が生じていると判定される場合に、当該触媒劣化は不可逆触媒劣化であると判定するので、触媒の不可逆触媒劣化の発生及びこれによる燃料電池10の特性の低下をより確実に検出し、これに対する種々の処置を講ずることができる。

30

【0120】

さらに、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、触媒劣化が不可逆触媒劣化であると判定されると、燃料電池スタック1の出力電力を決定するパラメータ（出力電流）に不可逆触媒劣化の影響による補正を行う。

【0121】

これにより、不可逆触媒劣化の影響を加味して所望の燃料電池スタック1の出力電力を実現するための出力電流、セル抵抗値、及び空気流量等の種々のパラメータを補正し、燃料電池スタック1の出力電力制御をより高精度に行うことができる。

40

【0122】

なお、本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、インピーダンス計測装置5は燃料電池10の内部インピーダンス Z を計測し、コントローラ6が内部インピーダンス Z に基づいて湿潤度 w を推定する。すなわち、コントローラ6が、内部インピーダンス Z に基づいて湿潤度 w を推定する湿潤状態計測装置として機能する。

【0123】

より詳細には、内部インピーダンス Z は、HFR取得用の高周波数帯の周波数 H を用いて計測したHFR値である。すなわち、コントローラ6が、内部インピーダンス Z としてのHFR値 $Z(H)$ に基づいて湿潤度 w を推定する湿潤状態計測装置として機能する。このように、燃料電池スタック1内の湿潤度 w と強く相関しているHFR値を湿潤度 w

50

の算出に用いることで、当該湿潤度 w をより高精度に求めることができる。

【0124】

(第2実施形態)

以下、第2実施形態について説明する。以下に示す各実施形態では前述した第1実施形態と同様の機能を果たす部分には、同一の符号を用いて重複する説明を適宜省略する。

【0125】

本実施形態では、上記湿潤度 w を求めるにあたり、上記 HFR 値に代えて、燃料電池セル10の触媒層112A、113A内における電解質成分に由来するアイオノマ抵抗 R_{ion} を用いる。以下では、アイオノマ抵抗 R_{ion} の算出方法について説明する。

【0126】

図11は、本実施形態にかかる燃料電池スタック1の内部インピーダンス Z のナイキスト線図である。特に、図11では、所定の簡易等価回路に燃料電池スタック1の状態量(反応抵抗値及び電気二重層容量値)の計測値を当てはめて定まるインピーダンス曲線(等価回路インピーダンス曲線 $C1$ とも記載する)、及び予め所定条件の下で測定された内部インピーダンスの実測値に基づくインピーダンス曲線(実測インピーダンス曲線 $C2$ とも記載する)が示されている。

【0127】

なお、図においては、等価回路インピーダンス曲線 $C1$ を破線、及び実測インピーダンス曲線 $C2$ を実線で示す。ここで、各インピーダンス曲線は、図面の簡略化のため一部分のみしか示していない。

【0128】

図12は、燃料電池スタック1の簡易等価回路の一例を示す。図示のように、簡易等価回路では、燃料電池スタック1の電解質膜抵抗成分、電極(カソード極及びアノード極)における反応抵抗、及び電極の電気二重層容量成分が含まれている。当該簡易等価回路に基づいて得られる内部インピーダンス Z の式は、

【数1】

$$Z = R_{mem} + \frac{R_{act} (1 - j\omega C_{dl} R_{act})}{1 + \omega^2 C_{dl}^2 R_{act}^2} \quad (1)$$

となる。

【0129】

ただし、 ω は周波数、 R_{mem} は電解質膜抵抗値、 R_{act} は反応抵抗値、 C_{dl} は電気二重層容量、及び j は虚数単位を意味する。

【0130】

ここで、内部インピーダンス計測装置5は、所定の低周波数帯に属する2つの周波数1、2において内部インピーダンス $Z(1)$ 及び $Z(2)$ を計測する。そして、コントローラ6は、これらの周波数1、2及び内部インピーダンス $Z(1)$ 及び $Z(2)$ を上記式(1)に適用して反応抵抗値 R_{act} 及び電気二重層容量値 C_{dl} を得る。

【0131】

具体的には、反応抵抗値 R_{act} 及び電気二重層容量値 C_{dl} は、上記2点の周波数1及び2におけるインピーダンス計測値 $Z(1)$ 及び $Z(2)$ を式(1)に代入し、得られた式を実部と虚部に分離してなる4つの式から、電気二重層容量値 C_{dl} 、反応抵抗 R_{act} 、及び電解質膜抵抗値 R_{mem} を求める。

【 0 1 3 2 】

このように求めた反応抵抗値 R_{act} 及び電気二重層容量値 C_{dl} を式 (1) に適用すると、図 1 1 の破線に示す円弧状形状の等価回路インピーダンス曲線 C_1 が得られる。

【 0 1 3 3 】

一方、実測インピーダンス曲線 C_2 は、燃料電池スタック 1 に対し、複数の周波数においてインピーダンス計測を行い、得られた複数のインピーダンス計測値を複素平面上にプロットして描いた曲線である。なお、この実測インピーダンス曲線 C_2 は、通常、多数の周波数における内部インピーダンスの計測値を必要とするため、燃料電池スタック 1 を車載した状態で作成することは難しい。したがって、この実測インピーダンス曲線 C_2 としては、例えば燃料電池スタック 1 と同種の燃料電池スタックに対して予め実験的にインピーダンス計測を行うことで作成したデータを用いる。ここで、十分大きな周波数 H における内部インピーダンスの計測値 (図では曲線 C_2 と実軸との交点) が HFR 値である。

10

【 0 1 3 4 】

実測インピーダンス曲線 C_2 は、相対的に低周波数の円弧領域においては、上記等価回路インピーダンス曲線 C_1 に略一致している。しかしながら、実測インピーダンス曲線 C_2 は、相対的に高周波数の非円弧領域 L_1 においては、直線状部分を形成しており、等価回路インピーダンス曲線 C_1 からずれている。

【 0 1 3 5 】

このような非円弧領域 L_1 が形成される理由として、上述のように簡易等価回路に基づいて設定された等価回路インピーダンス曲線 C_1 では、燃料電池セルの厚さ方向における分布に基づくアイオノマ抵抗の影響が考慮されていないため、当該アイオノマ抵抗の影響に起因する誤差が高周波数の領域において大きくなったために生じたものである。

20

【 0 1 3 6 】

以上のことから、周波数 H を最も大きくした実軸上の部分において、等価回路インピーダンス曲線 C_1 と実軸との交点の値である電解質膜抵抗値 R_{mem} と実測インピーダンス曲線 C_2 と実軸との交点の値である HFR 値との差をとることで、アイオノマ抵抗値 R_{ion} を求めることができる。このようにして求められたアイオノマ抵抗値 R_{ion} は、バルク抵抗や接触抵抗等の電子輸送抵抗成分が含まれておらず、 HFR 値と比較して燃料電池スタック 1 の湿潤度 w に対する感度がより高くなる。すなわち、このアイオノマ抵抗値 R_{ion} を湿潤度 w の算出に用いることで、得られる湿潤度 w がより高精度となる。

30

【 0 1 3 7 】

図 1 3 は、アイオノマ抵抗値 R_{ion} と燃料電池スタック 1 の内部の湿潤度 w の関係を示すアイオノマ抵抗値 - 湿潤度マップを表す。なお、このアイオノマ抵抗値 - 湿潤度マップは、予めコントローラ 6 に記憶されている。図示のように、アイオノマ抵抗値 R_{ion} と湿潤度 w は、アイオノマ抵抗値 R_{ion} が増加するほど湿潤度 w が減少し、アイオノマ抵抗値 R_{ion} が定まれば湿潤度 w が一意に定まる関係にある。したがって、コントローラ 6 は、算出されたアイオノマ抵抗値 R_{ion} からこの HFR - 湿潤度マップに基づき、湿潤度 w を算出することができる。

【 0 1 3 8 】

以上、説明した本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法によれば、以下の効果を得ることができる。

40

【 0 1 3 9 】

本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、内部インピーダンス Z から燃料電池スタック 1 の触媒層内における電解質成分に由来するアイオノマ抵抗値 R_{ion} を算出し、アイオノマ抵抗値 R_{ion} に基づいて湿潤度 w を求める。

【 0 1 4 0 】

すなわち、コントローラ 6 が、内部インピーダンス Z から燃料電池セル 1 0 の触媒層内における電解質成分に由来するアイオノマ抵抗値 R_{ion} を算出し、アイオノマ抵抗値 R_{ion} に基づいて湿潤度 w を求める湿潤状態検出装置として機能する。

【 0 1 4 1 】

50

このように、燃料電池スタック 1 の湿潤度 w に対してより高い感度を持つアイオノマ抵抗値 R_{ion} を用いて、当該湿潤度 w を算出することで、より高精度の湿潤度 w の推定値を得ることができる。したがって、この高精度の湿潤度 w に基づいて行われる触媒劣化の検出精度もより向上されることとなる。

【0142】

(第3実施形態)

以下、第3実施形態について説明する。

【0143】

本実施形態では、湿潤度 w を求めるにあたり、上記 HFR 値に代えて、燃料電池スタック 1 の電気二重層容量値 C_{dl} を用いる。以下では、電気二重層容量値 C_{dl} の算出方法について説明する。

10

【0144】

図 14 は、カソード極の反応抵抗値 $R_{act, c}$ の算出の流れを示すフローチャートである。

【0145】

ステップ S31 において、コントローラ 6 は、図 15 A に示す燃料電池スタック 1 の等価回路モデルを設定する。本実施形態では、この等価回路には、アノード極の反応抵抗値 $R_{act, a}$ 及び電気二重層容量値 $C_{dl, a}$ 、カソード極の反応抵抗値 $R_{act, c}$ 及び電気二重層容量値 $C_{dl, c}$ 、並びに電解質膜抵抗値 R_{mem} が含まれている。

20

【0146】

ここで、アノード極の反応抵抗値 $R_{act, a}$ は、アノード極におけるアノードガスの反応に応じて増減し、例えばアノードガスが不足している等の当該反応の進行が円滑に行われない要因で反応抵抗値 $R_{act, a}$ は上昇する。したがって、アノード極に十分な量のアノードガスが供給されており、水素が不足していない状態では、アノード極の反応抵抗値 $R_{act, a}$ の値は、カソード極の反応抵抗値 $R_{act, c}$ に比べて小さい。したがって、アノード極の反応抵抗成分は無視することができる。

【0147】

さらに、アノード極の電気二重層容量値 $C_{dl, a}$ は、燃料電池スタック 1 においてアノード極が有する電気容量を表すようにモデル化したものである。従って、電気二重層容量値 $C_{dl, a}$ はアノード極を構成する材料や大きさ等の種々の要素に基づいて決定されることとなる。ここで、アノード極の電気二重層容量値 $C_{dl, a}$ は、カソード極の電気二重層容量値 $C_{dl, c}$ と比べて低周波数(数百 Hz 以下)に対する感度が低いことが知られている。特に、本実施形態において想定される上記特定周波数帯に属する周波数においては、電気二重層容量値 $C_{dl, c}$ の内部インピーダンスの値に対する寄与は非常に小さい。したがって、アノード極の電気二重層容量成分は無視することができる。

30

【0148】

このように、アノード極の反応抵抗成分及びアノード極の電気二重層容量成分を無視することができるので、燃料電池スタック 1 の等価回路モデルは、実質的に図 14 B に示すような、カソード極の反応抵抗値 $R_{act, c}$ 、電気二重層容量値 $C_{dl, c}$ 、及び電解質膜抵抗値 R_{mem} のみが含まれる回路とみなすことができる。

40

【0149】

したがって、以下では符号の簡略化のため、カソード極の反応抵抗値 $R_{act, c}$ の符号を単に「 R_{act} 」と記載し、カソード極の電気二重層容量値 $C_{dl, c}$ の符号を単に「 C_{dl} 」と記載する。

【0150】

図 14 に戻り、ステップ S32 において、コントローラ 6 は、図 15 B に示す等価回路に基づき、内部インピーダンス Z の式を設定する。したがって得られる内部インピーダンス Z の式は、上記式(1)と一致する。

【0151】

ステップ S33 において、コントローラ 6 は、上記式(1)の虚部 Z_{im} を抽出する。

50

虚部 Z_{im} は以下のとおりである。

【 0 1 5 2 】

【 数 2 】

$$Z_{im} = \frac{-\omega C_{dl} R_{act}^2}{1 + \omega^2 C_{dl}^2 R_{act}^2} \quad (2)$$

10

【 0 1 5 3 】

ステップ S 3 4 において、コントローラ 6 は、抽出した内部インピーダンスの虚部 Z_{im} から、カソード極の電気二重層容量値 C_{dl} を演算する。具体的には、上記式 (2) に対して、周波数 1 及び 2 (数 Hz ~ 数十 Hz)、及びこれら周波数 1 及び 2 に基づきインピーダンス計測装置 5 が計測した内部インピーダンス Z の虚部 Z_{im} (1) 及び Z_{im} (2) を代入し、未知数を C_{dl} 及び R_{act} をする 2 つの方程式を得てこれを解いて電気二重層容量値 C_{dl} を求める。

【 0 1 5 4 】

特に、上記式 (2) は、下記の式 (3) のように変形することができる。

20

【 0 1 5 5 】

【 数 3 】

$$-\frac{1}{\omega Z_{im}} = \frac{1}{\omega^2 C_{dl} R_{act}^2} + C_{dl} \quad (3)$$

30

【 0 1 5 6 】

したがって、縦軸が $-1 / Z_{im}$ 、横軸が $1 / \omega^2$ である座標平面上において、2 つの周波数 1 及び 2 とインピーダンスの虚部 Z_{im} (1) 及び Z_{im} (2) をプロットして直線を描き、この直線の切片を求めれば、この切片が C_{dl} に等しくなる。これにより、カソード極の電気二重層容量値 C_{dl} を容易に算出することができる。

【 0 1 5 7 】

図 1 6 には、燃料電池スタック 1 の湿潤度 w とカソード極の電気二重層容量値 C_{dl} の関係を示す湿潤状態 - 電気二重層容量値マップを表す。なお、この湿潤状態 - 電気二重層容量値マップは、予めコントローラ 6 に記憶されている。図示のように、カソード極の電気二重層容量値 C_{dl} と湿潤度 w は、電気二重層容量値 C_{dl} が増加するほど湿潤度 w が増加し、電気二重層容量値 C_{dl} が定まれば湿潤度 w が一意に定まる関係にある。したがって、コントローラ 6 は、算出された電気二重層容量値 C_{dl} からこの電気二重層容量値 - 湿潤度マップに基づき、湿潤度 w を算出する。特に、燃料電池スタック 1 の電極材料にケッチェンブラック等の非晶質炭素材料を用いると、電気二重層容量値 C_{dl} と湿潤度 w の相関がより明確に現れる。

40

【 0 1 5 8 】

以上、説明した本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【 0 1 5 9 】

本実施形態に係る燃料電池の触媒劣化判定方法では、内部インピーダンス Z から燃料電

50

池スタック1の電気二重層容量値 C_{dl} を算出し、電気二重層容量値 C_{dl} に基づいて湿潤状態を求める。

【0160】

これにより、HFR値やアイオノマ抵抗値 R_{ion} 以外にも、燃料電池スタック1の湿潤度 w を算出する方法を提供することができるので、燃料電池スタック1の運転条件等に応じて、HFR値やアイオノマ抵抗値 R_{ion} よりも電気二重層容量値 C_{dl} を求めることが容易である状況下において、湿潤度 w を求めることができる。

【0161】

なお、本実施形態において、カソード極の電気二重層容量値 C_{dl} を用いて湿潤度 w を求めたが、例えばアノード極の電気二重層容量値も考慮して、燃料電池スタック1全体の電気二重層容量と湿潤度 w の関係から湿潤度 w を求めるようにしても良い。

10

【0162】

(第4実施形態)

以下、第4の実施形態について説明する。なお、既に説明した実施形態の要素と同様の要素には同一の符号を付す。

【0163】

本実施形態では、燃料電池スタック1の内部インピーダンスの計測にあたり、出力電流 I 及び出力電圧 V に交流信号を重畳する構成に代えて、燃料電池スタック1に所定の計測用電流源から電流 I を供給し、当該供給電流 I と出力される出力電圧 V とに基づいて内部インピーダンス $Z = V / I$ を算出するいわゆる励起電流印加法が行われる。

20

【0164】

図17は、本実施形態に係るインピーダンス計測装置5の概略構成に示したブロック図である。

【0165】

図示のように、インピーダンス計測装置5は、燃料電池スタック1の正極端子(カソード極側端子)1B及び負極端子(アノード極側端子)1Aの他に、中途端子1Cに接続されている。なお、中途端子1Cに接続された部分は図に示すようにアースされている。

【0166】

そして、インピーダンス計測装置5は、中途端子1Cに対する正極端子1Bの正極側交流電位差 V_1 を検出する正極側電圧検出センサ210と、中途端子1Cに対する負極端子1Aの負極側交流電位差 V_2 を検出する負極側電圧検出センサ212と、を有している。

30

【0167】

さらに、インピーダンス計測装置5は、正極端子1Bと中途端子1Cからなる回路に交流電流 I_1 を印加する正極側交流電源部214と、負極端子1Aと中途端子1Cからなる回路に交流電流 I_2 を印加する負極側交流電源部216と、これら交流電流 I_1 及び交流電流 I_2 の振幅や位相を調整するコントローラ218と、正極側交流電位差 V_1 、 V_2 及び交流電流 I_1 、 I_2 に基づいて燃料電池スタック1の内部インピーダンス Z の演算を行う演算部220と、を有している。

【0168】

本実施形態では、コントローラ218は、正極側交流電位差 V_1 と負極側交流電位差 V_2 が等しくなるように、交流電流 I_1 と交流電流 I_2 の振幅及び位相を調節する。なお、このコントローラ218は、図1に示すコントローラ6により構成されても良い。

40

【0169】

また、演算部220は、図示しないAD変換器やマイコンチップ等のハードウェア、及びインピーダンスを算出するプログラム等のソフトウェア構成を含み、正極側交流電位差 V_1 を交流電流 I_1 で除して、中途端子1Cから正極端子1Bまでの内部インピーダンス Z_1 を算出し、負極側交流電位差 V_2 を交流電流 I_2 で除して、中途端子1Cから負極端子1Aまでの内部インピーダンス Z_2 を算出する。さらに、演算部220は、内部インピーダンス Z_1 と内部インピーダンス Z_2 の和をとることで、燃料電池スタック1の全内部インピーダンス Z を算出する。

50

【 0 1 7 0 】

上記した本実施形態に係る燃料電池の状態推定方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【 0 1 7 1 】

本実施形態に係る燃料電池の状態推定方法では、コントローラ 2 1 8 は、積層電池として構成された燃料電池スタック 1 に交流電流 I_1 、 I_2 を出力し、燃料電池スタック 1 の正極端子 1 B の電位から中途端子 1 C の電位を引いて求めた電位差である正極側交流電位差 V_1 と、燃料電池スタック 1 の負極端子 1 A の電位から中途端子 1 C の電位を引いて求めた電位差である負極側交流電位差 V_2 と、に基づいて交流電流 I_1 、 I_2 を調整し、調整された交流電流 I_1 及び I_2 、正極側交流電位差 V_1 及び負極側交流電位差 V_2 に基づいて燃料電池スタック 1 の内部インピーダンス Z を演算する。

10

【 0 1 7 2 】

特に、コントローラ 2 1 8 は、燃料電池スタック 1 の正極側の正極側交流電位差 V_1 が負極側の負極側交流電位差 V_2 と実質的に一致するように、正極側交流電源部 2 1 4 により印加される交流電流 I_1 及び負極側交流電源部 2 1 6 により印加される交流電流 I_2 の振幅及び位相を調節する。これにより、正極側交流電位差 V_1 と負極側交流電位差 V_2 とが等しくなるので、正極端子 1 B と負極端子 1 A が実質的に等電位となる。したがって、インピーダンス計測のための交流電流 I_1 、 I_2 が走行モータ等の負荷に流れることが防止されるので、燃料電池スタック 1 による発電によるインピーダンス計測への影響が防止される。

20

【 0 1 7 3 】

また、燃料電池スタック 1 が発電状態の下で内部インピーダンス Z の計測を実行する場合、当該発電により生じた電圧に計測用交流電位が重畳されることとなるので、正極側交流電位差 V_1 及び負極側交流電位差 V_2 の値自体が大きくなるが、正極側交流電位差 V_1 及び負極側交流電位差 V_2 の位相や振幅自体が変わるわけではないので、燃料電池スタック 1 が発電状態ではない場合と同様に高精度に内部インピーダンス Z を計測することができる。

【 0 1 7 4 】

以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を上記実施形態の具体的構成に限定する趣旨ではない。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 7 5 】

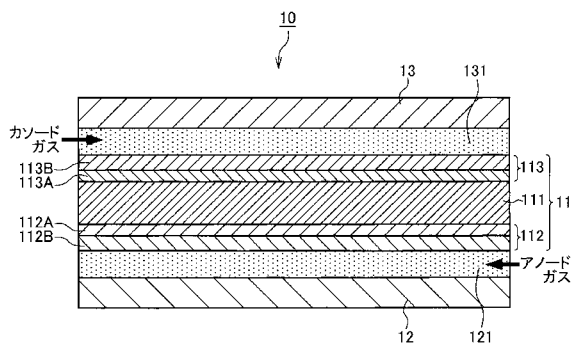
- 1 燃料電池スタック
- 1 A アノード極側端子（負極端子）
- 1 B カソード極側端子（正極端子）
- 1 C 中途端子
- 4 電力システム
- 5 インピーダンス計測装置
- 6 コントローラ
- 1 0 燃料電池セル
- 1 1 膜電極接合体（MEA）
- 2 4 エアフローセンサ
- 2 5 カソードコンプレッサ
- 5 1 電流センサ
- 5 2 電圧センサ
- 5 3 走行モータ
- 5 4 インバータ
- 5 5 バッテリ
- 5 6 DC / DC コンバータ

40

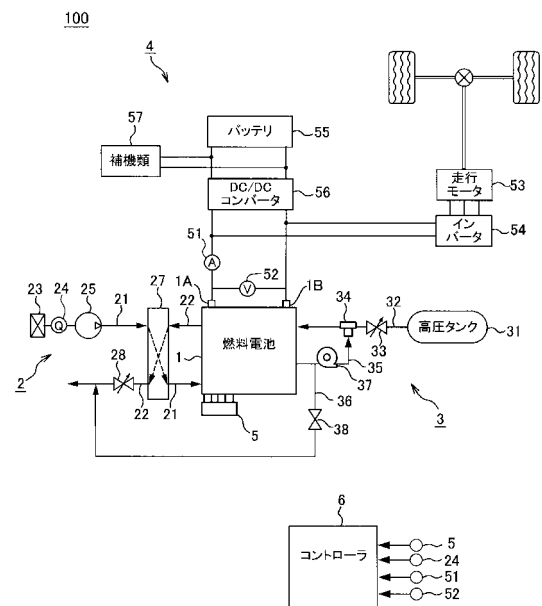
50

- 5 7 補機類
- 1 0 0 燃料電池システム
- 1 1 1 電解質膜
- 1 1 2 アノード極
- 1 1 2 A 触媒層
- 1 1 2 B ガス拡散層
- 1 1 3 カソード電極
- 1 1 3 A 触媒層
- 1 1 3 B ガス拡散層
- 2 1 0 正極側電圧検出センサ
- 2 1 2 負極側電圧検出センサ
- 2 1 4 正極側交流電源部
- 2 1 6 負極側交流電源部
- 2 1 8 コントローラ
- 2 2 0 演算部

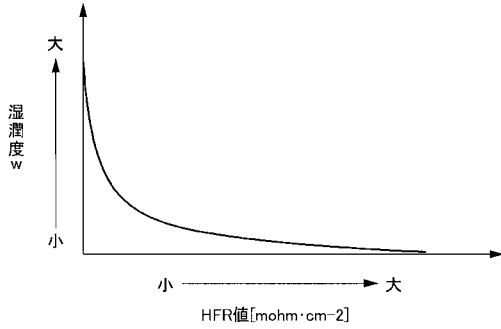
【図1】



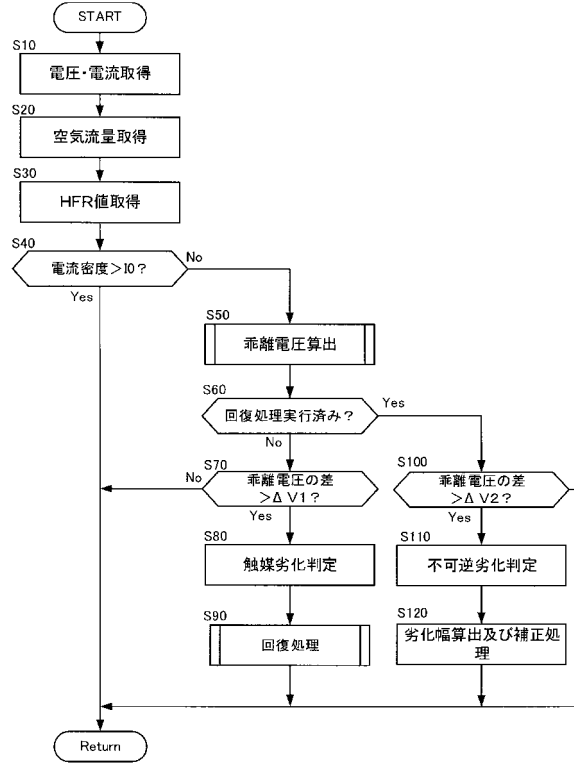
【図2】



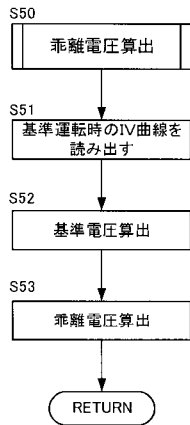
【 図 3 】



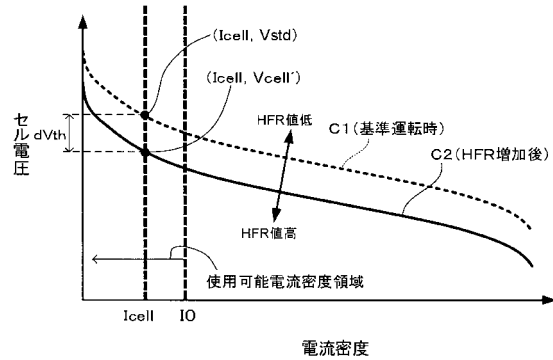
【 図 4 】



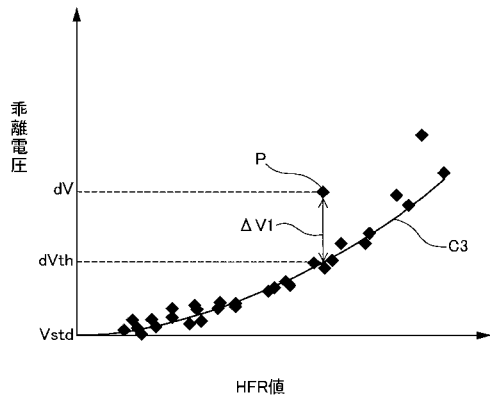
【 図 5 】



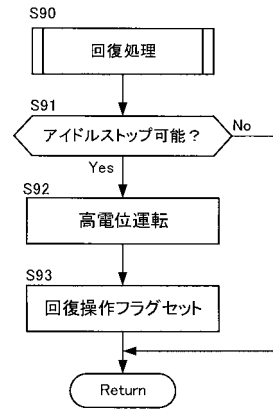
【 図 6 】



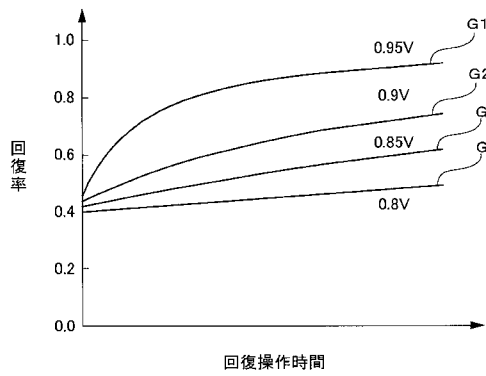
【 図 7 】



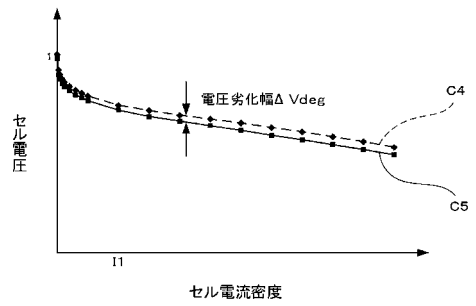
【 図 8 】



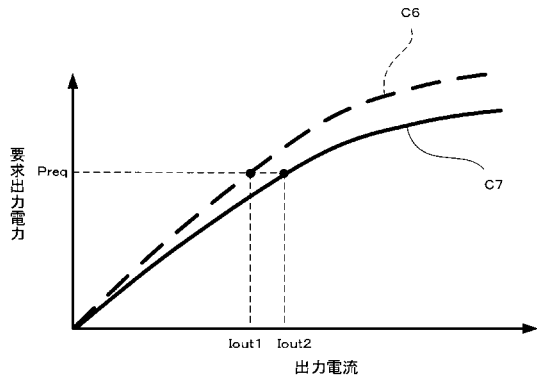
【 図 9 】



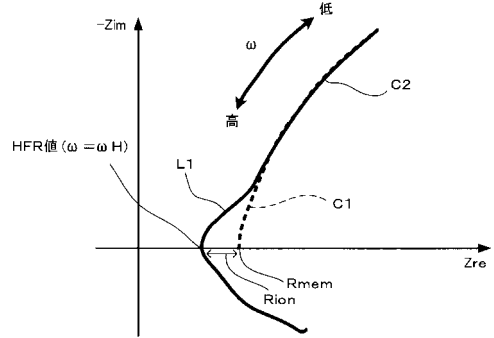
【 図 10 A 】



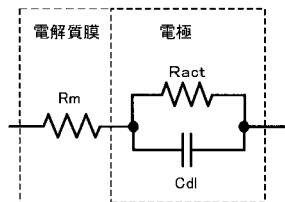
【図 10 B】



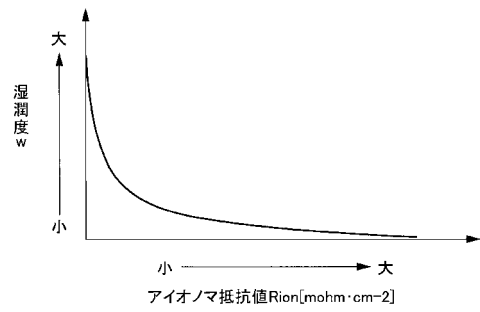
【図 1 1】



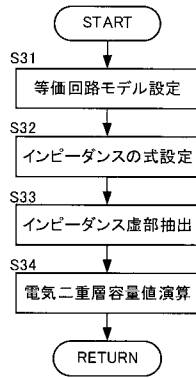
【図 1 2】



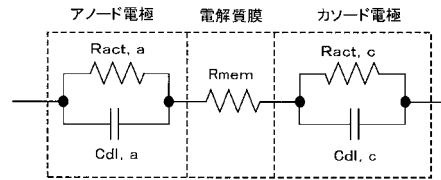
【図 1 3】



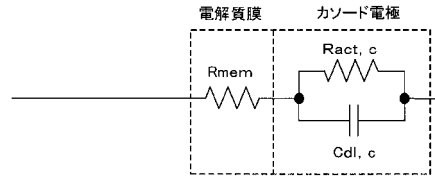
【 図 1 4 】



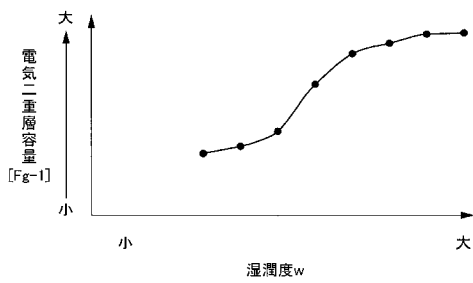
【 図 1 5 A 】



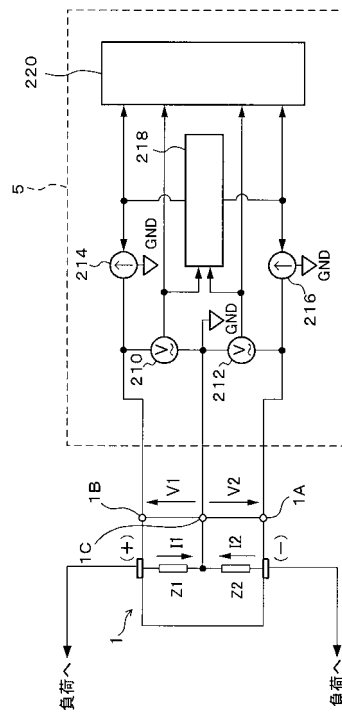
【 図 1 5 B 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 小高 敏和
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 青木 哲也
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 池田 修久
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- Fターム(参考) 5H018 AA06 AS02 AS03 HH06
5H026 AA06 CC03
5H127 AA06 AB04 AB29 AC05 BA02 BA22 BA28 BA39 BA57 BA58
BA59 BA60 BB02 BB07 BB12 BB34 BB37 BB40 DB48 DB49
DB52 DB55 DB64 DB68 DC04 DC05 DC22 DC44 DC72 FF04