

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4963373号
(P4963373)

(45) 発行日 平成24年6月27日 (2012. 6. 27)

(24) 登録日 平成24年4月6日 (2012. 4. 6)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 M 8/04 (2006. 01)

HO 1 M 8/10 (2006. 01)

HO 1 M 8/04 Z

HO 1 M 8/10

請求項の数 14 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-115479 (P2006-115479)	(73) 特許権者	000004695
(22) 出願日	平成18年4月19日 (2006. 4. 19)		株式会社日本自動車部品総合研究所
(65) 公開番号	特開2007-287547 (P2007-287547A)		愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地
(43) 公開日	平成19年11月1日 (2007. 11. 1)	(73) 特許権者	000003207
審査請求日	平成21年2月3日 (2009. 2. 3)		トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町 1 番地
		(74) 代理人	110000028
			特許業務法人明成国際特許事務所
		(72) 発明者	外村 孝直
			愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地 株式
			会社日本自動車部品総合研究所内
		審査官	長馬 望
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池内部状態観測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電解質と前記電解質を挟持する複数のセパレータとを有する燃料電池の内部状態を観測する内部状態観測装置であって、

前記燃料電池の所定の接触点において、接触によって前記複数のセパレータの 1 つが有する平面上の複数の領域と導通するための複数の電極と、

前記複数の電極に流れる電流を合流させて同一電位とする合流部と、

前記複数の電極の各々に流れる電極電流を計測するセンサと、

前記合流部と前記複数のセパレータの他の 1 つとを介して前記燃料電池に接続され、可変の周波数で周期的に負荷を変動可能に制御する負荷部と、

前記計測された各電極電流に含まれる前記負荷の変動に応じて発生する交流成分を抽出し、前記抽出された各々の交流成分に基づいて前記燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測する抽出観測部と、

を備え、

前記抽出観測部は、

前記複数の電極で計測された各電極電流を前記各電極が接触する接触点で出力された電流とみなすように構成されており、

前記燃料電池における前記所定の接触点間の抵抗値である接触点間抵抗値 R b と、前記所定の接触点と前記合流部との間の合成抵抗値である回路抵抗値 R c と、前記計測された各電極電流と、に応じて前記各々の交流成分を計測し、

10

20

前記所定の接触点間の抵抗と、前記所定の接触点と前記合流部との間の合成抵抗は、前記所定の接触点間において想定される前記燃料電池の電流出力比の最大値を最大出力比 P_r とし、許容される誤差を E_r とするとき、下記の式を満たすように構成されていることを特徴とする、内部状態観測装置。

前記許容誤差 $E_r > A B S \left(1 - \left(\left(\text{前記最大出力比 } P_r + 1 \right) \times \text{前記回路抵抗値 } R_c + \text{前記接触点間抵抗値 } R_b \right) / \left(2 \times \text{前記回路抵抗値 } R_c + \text{前記接触点間抵抗値 } R_b \right) \right)$

ただし、前記 $A B S$ (引数) は、前記引数の絶対値を返す関数であることを意味する。

【請求項 2】

請求項 1 記載の内部状態観測装置であって、

前記燃料電池は、膜電極接合体を備え、

前記抽出観測部は、前記観測された抵抗分極の状態量の分布状態に基づいて前記膜電極接合体の含水分布状態を推定する、内部状態観測装置。

10

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の内部状態観測装置であって、

前記抽出観測部は、前記合流部を介することなく直接的に前記燃料電池の出力電圧を測定し、前記出力電圧に基づいて各出力状態における前記燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測する、内部状態観測装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載の内部状態観測装置であって、

前記回路抵抗値 R_c は、前記接触点間抵抗値 R_b の 5 分の 1 以下となるように構成されており、

前記内部状態観測装置は、前記複数の電極で計測された各電極電流を、前記各電極が接触する接触点で出力された電流とみなすように構成されている、内部状態観測装置。

20

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 に記載の内部状態観測装置であって、

前記回路抵抗値 R_c は、前記燃料電池の所定の接触点と前記電極との間の接触抵抗と、前記電極と前記合流部との間の接触抵抗と、の合成抵抗であるとみなして前記電流密度分布を計測する、内部状態観測装置。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、

前記複数の電極および前記合流部は、一体として構成されており、

前記回路抵抗値 R_c は、前記燃料電池の所定の接触点と前記電極との間の接触抵抗とみなして前記電流密度分布を計測する、内部状態観測装置。

30

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、

前記複数の電極の各々と前記燃料電池との間に液体金属を塗布することによって、前記複数の電極の各々と前記燃料電池との間の接触抵抗が小さくなるように構成されている、内部状態観測装置。

【請求項 8】

請求項 7 記載の内部状態観測装置であって、

前記液体金属は、ガリウムとインジウムとを含む合金である、内部状態観測装置。

40

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、

前記燃料電池は、反応ガス流路を備えた燃料電池の電池電極であり、

前記複数の電極の各々と前記燃料電池との間の各接触面の間の間隔は、前記反応ガス流路の幅方向のピッチの 2 倍以下となるように構成されている、内部状態観測装置。

【請求項 10】

請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、

前記センサを前記複数の電極の軸方向に相互にずらすことによって、前記複数の電極間のピッチを前記センサの前記複数の電極の流れる方向に垂直な方向の大きさよりも小さく

50

するように構成されている、内部状態観測装置。

【請求項 1 1】

請求項 1 ないし 1 0 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、
前記燃料電池は、反応ガス流路を備えた燃料電池の電池電極であり、
前記複数の電極は、
前記合流部に電流を導く電極ロッドと、
前記燃料電池の所定の接触点において、前記電極ロッドの断面積より広い面積で接触するための接触端子と、
を備え、

前記抽出観測部は、さらに、前記接触端子の各々を一体として前記燃料電池に押しつける圧力板を備えている、内部状態観測装置。 10

【請求項 1 2】

請求項 1 1 記載の内部状態観測装置であって、さらに、
前記圧力板と、前記接触端子の各々の間に付勢部を備えている、内部状態観測装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 ないし 1 2 のいずれかに記載の内部状態観測装置であって、さらに、
前記複数の電極は、接触による導通が可能な中央領域と、前記中央領域を囲む閉じた周辺領域とを備えた接触面を有し、
前記周辺領域は、絶縁されている、内部状態観測装置。

【請求項 1 4】

電解質と前記電解質を挟持する複数のセパレータとを有する燃料電池の内部状態を観測する状態観測方法であって、

前記燃料電池の所定の接触点において、接触によって前記複数のセパレータの 1 つが有する平面上の複数の領域と導通するための複数の電極と、前記複数の電極に流れる電流を合流させて同一電位とする合流部とを準備する工程と、

前記複数の電極の各々に流れる電極電流を計測する工程と、

前記合流部と前記複数のセパレータの他の 1 つとを介して前記燃料電池に接続され、可変の周波数で周期的に負荷を変動可能に制御する工程と、

前記計測された各電極電流に含まれる前記負荷の変動に応じて発生する交流成分を抽出し、前記抽出された各々の交流成分に基づいて前記燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測する工程と、
を備え、 30

前記燃料電池の分布を観測する工程は、

前記複数の電極で計測された各電極電流を前記各電極が接触する接触点で出力された電流とみなすように構成されており、

前記燃料電池における前記所定の接触点間の抵抗値である接触点間抵抗値 R_b と、前記所定の接触点と前記合流部との間の合成抵抗値である回路抵抗値 R_c と、前記計測された各電極電流と、に応じて前記各々の交流成分を計測することを含み、

前記所定の接触点間の抵抗と、前記所定の接触点と前記合流部との間の合成抵抗は、前記所定の接触点間において想定される前記燃料電池の電流出力比の最大値を最大出力比 P_r とし、許容される誤差を E_r とするとき、下記の式を満たすように構成されていることを特徴とする、状態観測方法。 40

前記許容誤差 $E_r > A B S \left(1 - \left(\left(\text{前記最大出力比 } P_r + 1 \right) \times \text{前記回路抵抗値 } R_c + \text{前記接触点間抵抗値 } R_b \right) / \left(2 \times \text{前記回路抵抗値 } R_c + \text{前記接触点間抵抗値 } R_b \right) \right)$

ただし、前記 $A B S$ (引数) は、前記引数の絶対値を返す関数であることを意味する。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池内部状態を観測する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、燃料電池の流路設計評価や故障検知、品質保証といった種々の目的のために燃料電池の内部状態を観測する技術が求められている。たとえば固体高分子型燃料電池では、膜電極接合体が備える電解質の含水率が、燃料電池の内部状態量として重要な意味を有する。電解質の含水率の低下に応じて出力電力が顕著に低下するからである。

【0003】

【特許文献1】特開2003-77515号公報

【特許文献2】特開平9-223512号公報

【特許文献3】特開2004-152501号公報

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、出力電力の低下は、電解質の含水率が十分であっても起こり得る。通常、電解質に発生した水は、電解質近傍に配置されているガス流路を通して排出されるが、このガス流路の通気が悪いなどの原因によって、流路が水により閉塞される状態が生じる場合がある。このような状態はフラiddینگと呼ばれ、流路内をガスが円滑に流れなくなるため、電解質へのガスの供給量が少なくなって出力電力が低下することになる。このようにフラiddینگが生じたときには、電解質の含水率が高いにも拘わらず、出力電力が低下することになる。このように、固体高分子型燃料電池において出力低下が発生した場合においては、その原因が電解質の含水率低下に起因するのか、あるいは水過剰によるフラiddینگに起因するのか、という分析が困難であるという問題を生じさせていた。この問題は、電解質の含水率低下と、水過剰によるフラiddینگとでは、対応すべき措置が正反対であるため重大な問題となっていた。さらに、このような問題は、固体高分子型燃料電池に限られず、「活性化分極」や「拡散分極」、「抵抗分極」といった相違する内部状態量に応じて変化する損失要素を有する燃料電池に共通する課題であった。

20

【0005】

本発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、燃料電池の内部状態を観測する内部状態観測装置において、抵抗分極の状態量の分布状態を観測する技術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】

30

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するために、電解質と前記電解質を挟持する複数のセパレータとを有する燃料電池の内部状態を観測する内部状態観測装置であって、

前記燃料電池の所定の接触点において、接触によって前記複数のセパレータの1つが有する平面上の複数の領域と導通するための複数の電極と、

前記複数の電極に流れる電流を合流させて同一電位とする合流部と、

前記複数の電極の各々に流れる電極電流を計測するセンサと、

前記合流部と前記複数のセパレータの他の1つとを介して前記燃料電池に接続され、負荷を変動可能に制御する負荷部と、

40

前記計測された各電極電流に含まれる前記負荷の変動に応じて発生する交流成分を抽出し、前記抽出された各々の交流成分に基づいて前記燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測する抽出観測部と、

を備えることを特徴とする。

【0007】

本発明の計測装置では、測定対象に負荷を変動可能に制御する負荷部が接続されるとともに、この負荷の変動に応じて発生する交流成分を抽出し、抽出された各々の交流成分に基づいて燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測することができるので、たとえば抵抗分極の観測による電解質の状態の推定を実現することができる。

【0008】

50

上記内部状態観測装置において、
前記燃料電池は、膜電極接合体を備え、
前記内部状態観測装置は、前記分離して観測された抵抗分極の状態量の分布状態に基づいて前記膜電極接合体の含水分布状態を推定するようにしても良い。

【0009】

膜電極接合体は電解質と電極間において電気2重層容量を形成して極めて大きな静電容量を有するので、反応抵抗からの電解質抵抗の分離が容易で顕著な効果を奏することができるという利点を有する。さらに、流路閉塞状態から分離した電解質の含水量推定は、流路閉塞と、電解質の含水量過多と、で対応すべき措置（たとえば流路設計や制御操作）が正反対なので極めて重要である。

10

【0010】

上記内部状態観測装置において、
前記抽出観測部は、前記合流部を介することなく直接的に前記燃料電池の出力電圧を測定し、前記出力電圧に基づいて各出力状態における前記燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を観測するようにしても良い。

【0011】

こうすれば、合流部を含む計測治具に起因する抵抗を排除して燃料電池の出力を正確に計測できるとともに、燃料電池の種々の出力状態に応じた内部状態の推定を実現することができる。

【0012】

20

上記内部状態観測装置において、前記燃料電池における前記所定の接触点間の抵抗値である接触点間抵抗値 R_b と、前記所定の接触点と前記合流部との間の合成抵抗値である回路抵抗値 R_c と、前記計測された各電極電流と、に応じて前記各々の交流成分を計測し、

前記各々の交流成分は、前記所定の接触点間において想定される前記燃料電池の電流出力比の最大値を最大出力比 P_r とし、許容される誤差を E_r とするとき、下記の式を満たすように構成されているとともに、前記複数の電極で計測された各電極電流を前記各電極が接触する接触点で出力された電流とみなすように構成されていても良い。ここで、前記許容誤差 $E_r > ABS(1 - ((前記最大出力比 $P_r + 1) \times 前記回路抵抗値 $R_c + 前記接触点間抵抗値 $R_b) / (2 \times 前記回路抵抗値 $R_c + 前記接触点間抵抗値 $R_b))$ 。ただし、前記 ABS （引数）は、前記引数の絶対値を返す関数であることを意味する。$$$$$

30

【0013】

こうすれば、複数の電極間に流れる漏洩電流に起因する計測誤差を、予め想定された許容範囲内とすることができるので、計測の信頼性を高めることができる。

【0014】

このような構成は、「接触点間抵抗値 R_b の増加」と「回路抵抗値 R_c の減少」の少なくとも一方によって実現することができる。「接触点間抵抗値 R_b の増加」は、たとえば接触点を有する測定対象や測定治具の抵抗値の増加あるいは接触点間ピッチの増加によって実現することができる。一方、「回路抵抗値 R_c の減少」は、たとえば後述する計測装置の回路の一体化による接触抵抗の排除や、接触面への液体金属の塗布による接触抵抗の低減によって実現することができる。

40

【0015】

上記計測装置において、前記回路抵抗値 R_c は、前記接触点間抵抗値 R_b の5分の1以下となるように構成されており、

前記計測装置は、前記複数の電極で計測された各電極電流を、前記各電極が接触する接触点で出力された電流とみなすような簡易な構成としても良い。

【0016】

こうすれば、複数の電極間に流れる漏洩電流に起因する計測誤差を、電流密度分布において要求される一般的な精度とすることができるので、簡易に計測の信頼性を高めることができる。

【0017】

50

上記計測装置において、前記回路抵抗値 R_c は、前記測定対象の所定の接触点と前記電極との間の接触抵抗と、前記電極と前記合流部との間の接触抵抗と、の合成抵抗であるとみなして前記電流密度分布を計測するようにしても良い。

【0018】

回路抵抗値 R_c はその殆どが接触抵抗で占められるので、こうすれば、接触抵抗の和を回路抵抗値 R_c とみなすことによって簡易かつ実用的な計測装置を実現することができる。

【0019】

上記計測装置において、前記複数の電極および前記合流部は、一体として構成されており、

10

前記回路抵抗値 R_c は、前記所定の接触点と前記電極との間の接触抵抗とみなして前記電流密度分布を計測するようにしても良い。

【0020】

このように、電極と合流部を一体として構成して、電極と合流部との間の接触抵抗を排除することによって回路抵抗値 R_c を低減させることができる。

【0021】

上記計測装置において、前記複数の電極の各々と前記測定対象との間に液体金属を塗布することによって、前記複数の電極の各々と前記測定対象との間の接触抵抗が小さくなるように構成されているようにしても良い。

【0022】

20

このように、接触面への液体金属の塗布による接触抵抗の低減によっても回路抵抗値 R_c を小さくすることができる。

【0023】

上記計測装置において、前記液体金属は、ガリウムとインジウムとを含む合金であるようにすることが好ましい。ガリウムとインジウムとを含む合金は、毒性が小さく抵抗値も小さいという点でかかる目的に対して好ましい性質を有しているからである。

【0024】

上記計測装置において、前記測定対象は、反応ガス流路を備えた燃料電池の電池電極であり、

前記複数の電極の各々と前記測定対象との間の各接触面の間の間隔は、前記反応ガス流路の幅方向のピッチの2倍以下となるように構成されているようにしても良い。

30

【0025】

こうすれば、電池電極が反応ガス流路に対する圧力の不均一に起因する電池電極と反応ガス流路の接触抵抗の増大を抑制することができる。

【0026】

上記計測装置において、前記センサを前記複数の電極の軸方向に相互にずらすことによって、前記複数の電極間のピッチを前記センサの前記複数の電極の軸に垂直な方向の大きさよりも小さくするように構成されているようにしても良い。

【0027】

こうすれば、センサの大きさを確保してセンシング精度を維持しつつ、測定点の密度を高くすることができる。

40

【0028】

上記計測装置において、前記測定対象は、反応ガス流路を備えた燃料電池の電池電極であり、

前記複数の電極は、

前記合流部に電流を導く電極ロッドと、

前記測定対象の所定の接触点において、前記電極ロッドの断面積より広い面積で接触するための接触端子と、

を備え、

前記計測装置は、さらに、前記接触端子の各々を一体として前記測定対象に押しつける

50

圧力板を備えるようにしても良い。

【0029】

こうすれば、電池電極が反応ガス流路の山部に対する圧力の不均一に起因する電池電極と反応ガス流路の接触抵抗や集電電極とセパレータとの間の接触抵抗のばらつきを抑制することができる。

【0030】

上記計測装置において、さらに、

前記圧力板と、前記接触端子の各々の間に付勢部を備えるようにしても良い。

【0031】

こうすれば、電池電極と反応ガス流路の間や集電電極とセパレータとの間の接触抵抗のばらつきをさらに抑制して、計測精度を高めることができる。

【0032】

上記計測装置において、さらに、

前記複数の電極は、接触による導通が可能な中央領域と、前記中央領域を囲む閉じた周辺領域とを備えた接触面を有し、

前記周辺領域は、絶縁されているようにしても良い。

【0033】

こうすれば、接触点間隔を小さくしつつ接触点間抵抗値 R_b を増加させることができる。

【0034】

なお、本発明は、電流密度分布計測方法や、この内部状態観測装置を搭載した燃料電池制御装置や燃料電池システムなどの装置その他の種々の態様で実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、本発明の実施の形態について、実施例に基づき以下の順序で説明する。

A. 本発明の第1実施例における内部状態観測装置の構成：

B. 本発明の第1実施例における状態観測：

C. 本発明の第2実施例における状態観測：

D. 変形例：

【0036】

A. 本発明の第1実施例における内部状態観測装置の構成：

図1は、本発明の第1実施例における内部状態観測装置100と観測対象の概略構成図である。内部状態観測装置100は、複数の測定用電極120と、電流集合板111と、計測治具としてのエンドプレート109およびターミナルプレート107と、電子負荷装置110と、電力密度分布計測装置210とを備えている。内部状態観測装置100は、本実施例では、燃料電池セル201を観測対象としている。

【0037】

燃料電池セル201は、本実施例では、膜電極接合体202と、膜電極接合体202を両側から挟むカーボン製の2つのセパレータ203、204と、を備えた固体高分子型燃料電池である。2つのセパレータ203、204には、膜電極接合体202側に反応ガスが流れるガス流路（図示せず）が形成されている。燃料電池セル201は、かかる反応ガスの反応によって電力を生成し、2つのセパレータ203、204を介して外部に出力する。

【0038】

電子負荷装置110は、可変の周波数で周期的に負荷を変動させることができるように構成されている。電子負荷装置110は、電流集合板111とターミナルプレート107との間に電氣的に接続されている。電力密度分布計測装置210は、2つのセパレータ203、204の間の電位差と、測定用電極120の各々に流れる電流とに基づいて電力密度分布を計測する。各測定用電極120に流れる電流は、各測定用電極120に備えられた電流センサ126の出力に応じて計測される。

【0039】

本実施例では、電力密度分布に基づいて2つのセパレータ203、204に挟まれた膜電極接合体202が有する図示しない電解質の各部分における含水率（あるいは含水分布）が推定される。なお、測定方法詳細については後述する。電力密度分布に基づいて計測しているのは、各電力出力状態における含水分布を推定するためであり、電流密度分布から直接的に含水分布を推定するようにしても良い。

【0040】

図2は、セパレータ204の各部分から出力される電流値を測定する複数の測定用電極120の拡大図である。測定用電極120の各々は、ロッド128と、ロッド128の両端に接続された2つの集電電極124、125と、電流センサ126と、を備えている。

10

【0041】

電流センサ126は、本実施例では、磁場の変化を高感度で計測可能なホール素子を利用したセンサである。電流センサ126は、ロッド128に流れる電流に応じて変化する磁場に応じた電気信号を出力する。

【0042】

図3は、本発明の第1実施例における集電電極125のセパレータ204上における配列状態を示す説明図である。本実施例では、集電電極125の間隔は、3mmに設定されている。かかる設定は、集電電極125の間隔がセパレータ204に形成された流路の幅方向のピッチの2倍以下となるように設定することが好ましい。こうすれば、複数の集電電極125による押し付け圧力が各流路に均等に伝わるからである。

20

【0043】

図4は、内部状態観測装置100と観測対象の燃料電池セル201とで構成される電気回路の等価回路を示している。この等価回路は、電力を発生させる燃料電池セル201と、抵抗 R_b と、接触抵抗 R_{c1} と、配線抵抗 R_{c2} と、電子負荷装置110とで構成されている。抵抗 R_b は、隣接する集電電極125の間におけるセパレータ204の内部の抵抗である。接触抵抗 R_{c1} は、集電電極125とセパレータ204の接触に起因して生ずる接触抵抗である。配線抵抗 R_{c2} は、内部状態観測装置100全体の配線抵抗である。

【0044】

図5は、説明をわかりやすくするために等価回路の一部を抜き出して示した説明図である。前述のように、本実施例では、膜電極接合体202の各部分Fc1、Fc2における反応ガスの反応状態を推定するためにセパレータ204の各部分から出力される電流値を計測する。かかる計測は、測定用電極120に流れる電流値を測定することによって計測される。具体的には、セパレータ204の各部分で発生した電位 v_1 、 v_2 によって出力される電流値 i_1 、 i_2 は、2つの測定用電極120に流れる電流値 i_3 、 i_4 に流れる電流値を測定することによって計測される。

30

【0045】

ただし、電流値 i_1 、 i_2 は、それぞれ電流値 i_3 、 i_4 に単純に比例する関係にはない。セパレータ204の内部にも電流が流れるため、電位 v_2 を発生させた部位からも電流値 i_3 が流れる測定用電極120の側に電流が漏洩するからである。かかる漏洩についての定量分析を考慮した計測方法については後述する。

40

【0046】

図6は、観測対象の燃料電池セル201の一部分Fc1の等価回路の一例を示す説明図である。この等価回路は、説明をわかりやすくするために反応抵抗 R_{dif1} および電気2重層容量 C_{d1} とから構成される単一の並列回路と、この並列回路に直列に接続された電解質抵抗 R_{sol1} とから構成されているものとしている。ここで、「反応抵抗 R_{dif1} 」は、膜電極接合体202への反応ガスの供給や排水に起因する損失を表している。「電気2重層容量 C_{d1} 」は、膜電極接合体202の活性化分極に起因する損失を表している。「電解質抵抗 R_{sol1} 」は、膜電極接合体202が備える図示しない電解質の導電率の逆数である。この導電率は、この電解質の含水率に顕著に依存することが知られている。以下で説明する実施例では、この依存性に基づいて電解質の含水率が推定される。

50

【0047】

B. 本発明の第1実施例における状態観測：

本実施例では、電解質の各部分における含水率の分布を推定するために電解質抵抗 R_{sol1} が計測される。電解質抵抗 R_{sol1} の計測は、計測可能な抵抗値（燃料電池セル201の一部分Fc1の内部抵抗）から反応抵抗 R_{dif1} を分離することによって行われる。反応抵抗 R_{dif1} の分離は、たとえば電子負荷装置110の負荷を十分に短い所定の周期（すなわち所定の高周波）で変動させるとともに、所定の周期に合わせたバンドパスフィルタによって測定用電極120に流れる電流値から交流成分を抽出することによって行われる。この抽出処理は、電力密度分布計測装置210によって行われる。

【0048】

10

このような分離が可能な理由は、燃料電池の出力電流の交流成分は、周波数が高ければ反応抵抗 R_{dif1} でなく高周波においてインピーダンスが低い電気2重層容量 C_{d1} を流れるので、計測可能な抵抗値（燃料電池セル201の一部分Fc1の内部抵抗）が電解質抵抗 R_{sol1} に近づくからである。特に、膜電極接合体202は、電気2重層容量を構成してファラッド単位の極めて大きな静電容量を有するので好適である。変動負荷の周波数は、周波数を高くするほど電気2重層容量 C_{d1} を少ないインピーダンスで流れるが、過度に高周波とすると内部状態観測装置100の回路と観測対象のインダクタンス成分の影響が発生するので、このようなインダクタンス成分とのトレードオフとして決定することが好ましい。

【0049】

20

さらに、本実施例では、電力密度分布計測装置210は、さらに、2つのセパレータ203、204の間の電位差を用いて電力密度分布が測定されるので、観測対象となる燃料電池セル201の種々の出力状態における含水率分布を推定することができる。

【0050】

このように、第1実施例は、燃料電池セル201の出力電力に含まれる交流電力成分の分布（あるいは交流電流成分）に基づいて膜電極接合体202が有する図示しない電解質の含水分布状態を観測することができる。

【0051】

C. 本発明の第2実施例における状態観測：

本発明の第2実施例は、交流電流密度分布からセパレータ204の内部における漏洩電流の影響を以下の解析に基づいて抑制している点で第1実施例と相違する。

30

【0052】

図5の等価回路の回路方程式は以下のとおりである。ここで、回路方程式を分かりやすくするために接触抵抗 R_{c1} と配線抵抗 R_{c2} の合成抵抗を回路抵抗 R_c とするとともに、 $v_2 > v_1$ と仮定すると、キルヒホッフの法則により以下の式が導出される。

(1) 第1式： $i_1 + i_2 = i_3 + i_4$

(2) 第2式： $i_3 = i_1 + i_5$

(3) 第3式： $i_4 = i_2 - i_5$

【0053】

さらに、各部分の電位に着目すると以下の式が導出される。

40

(1) 第4式： $v_1 = v_2 - R_b \times i_5$

(2) 第5式： $v_0 = v_1 - R_c \times i_3$

(3) 第6式： $v_0 = v_2 - R_c \times i_4$

【0054】

第1式～第6式の連立方程式を解くと以下の式が導出される。

(1) 第7式： $i_1 = i_3 + R_c / R_b (i_3 - i_4)$

(2) 第8式： $i_2 = i_4 + R_c / R_b (-i_3 + i_4)$

ここで、電流 i_1 、 i_2 が測定対象の電流であり、電流 i_3 、 i_4 が電流センサ126で計測される電流である。第7式と第8式の第2項がセパレータ204の内部で漏洩する電流に相当している。

50

【0055】

第2実施例の計測方法は、第7式と第8式の第2項が内部状態観測装置100のハードウェア構成によって調整可能である点に発明者が着目して実現させた実用性の高い計測方法である。本方法によれば、簡易な構成で複数の電極間に流れる漏洩電流に起因する計測誤差を、予め想定された許容範囲内とすることができるという利点を有する。

【0056】

たとえば許容誤差 E_r を、電流値 i_5 ／電流値 i_2 （図5）として定義するとともに、想定される各測定点の電流出力比の最大値を最大出力比 P_r とすると、第1式～第6式の連立方程式を解くことによって以下の第9式を満たすように内部状態観測装置100のハードウェアを構成すれば良いことが分かる。

第9式：許容誤差 $E_r > ABS(1 - ((最大出力比P_r + 1) \times 回路抵抗値R_c + 接触点間抵抗値R_b) / (2 \times 回路抵抗値R_c + 接触点間抵抗値R_b))$ 。ただし、 ABS （引数）は、引数の絶対値を返す関数であることを意味する。

【0057】

このようなハードウェア構成は、「接触点間抵抗値 R_b の増加」と「回路抵抗値 R_c の減少」の少なくとも一方によって実現することができる。「接触点間抵抗値 R_b の増加」は、たとえば接触点を有する測定対象や測定治具の抵抗値の増加あるいは接触点間ピッチの増加によって実現することができる。一方、「回路抵抗値 R_c の減少」は、たとえば後述する計測装置の回路の一体化による接触抵抗の排除や、接触面への液体金属の塗布による接触抵抗の低減によって実現することができる。

【0058】

具体的には、「回路抵抗値 R_c の減少」は、集電電極125とセパレータ204との間に所定の金属を塗布することによって小さくすることができる。塗布可能な金属としては、インジウムや鉛といった延性金属や、ガリウム・インジウム合金や水銀、ナトリウムといった液体金属とがある。接触抵抗の低減の観点からは、液体金属が好ましく、安全性の観点からはガリウム・インジウム合金のようなガリウムとインジウムとを含む合金が好ましい。「回路抵抗値 R_c の減少」は、さらに、複数の測定用電極120と電流集合板111を一体化することによって一体型測定用電極120aを構成して（図7）、これらの間の接触抵抗を排除することによって回路抵抗値 R_c を低減させることもできる。

【0059】

ハードウェア構成時における回路抵抗値 R_c の計測は、たとえば前記回路抵抗値 R_c は、集電電極125とセパレータ204との間の接触抵抗と、測定用電極120と電流集合板111との間の接触抵抗と、の合成抵抗であるとみなすようにしても良い。回路抵抗値 R_c はその殆どが接触抵抗で占められるからである。ただし、測定用電極120と電流集合板111が一体として構成されている場合には、回路抵抗値 R_c は、集電電極125とセパレータ204との間の接触抵抗とみなすことができる。

【0060】

一方、「接触点間抵抗値 R_b の増加」は、セパレータ204を抵抗の大きな材質とする方法やセパレータ204と集電電極125との間にカーボンプレートのような抵抗値の大きなプレートを測定治具として挟む構成や後述の第4変形例における構成が実現可能である。

【0061】

なお、さらに、簡易な構成として、回路抵抗値 R_c が、接触点間抵抗値 R_b の5分の1以下となるようにハードウェアを構成すれば一般的に十分な精度で電流密度分布測定が可能であることを発明者が多数の実測例によって導き出した。

【0062】

このように、第2実施例では、内部状態観測装置100のハードウェア構成によって漏洩電流を小さくすることができるので、漏洩電流に起因する測定誤差を抑制して簡易に電流密度分布を計測することができるという利点がある。

【0063】

D. 変形例：

以上、本発明のいくつかの実施の形態について説明したが、本発明はこのような実施の形態になんら限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内において種々なる態様での実施が可能である。例えば、以下のような変形例が可能である。

【0064】

D-1. 上記実施例では、電流センサ126が測定用電極120の軸方向に同一の位置に配置されているが、たとえば図8に示されるように電流センサ126を測定用電極120の軸方向に相互にずらすことによって、測定用電極120のピッチを電流センサ126の測定用電極120に垂直な方向の大きさよりも小さくするように構成しても良い。こうすれば、センサの大きさを確保してセンシング精度を維持しつつ、測定点の密度を高くすることができる。

10

【0065】

D-2. 上記実施例では、電流集合板111が複数の測定用電極120を測定対象としての燃料電池セル201（図1）に押し当てているが、たとえば図9に示されるように集電電極125の各々を一体として測定対象に押しつける圧力板130を備えるようにしても良い。こうすれば、複数の測定用電極120の長さの製造公差に起因して生ずる測定用電極120毎の押し当て圧力のバラツキを抑制することができる。

【0066】

なお、圧力板130は、電流集合板111aよりも面圧方向の十分に剛性を大きくするように構成されていればよく、圧力板130を導電体で構成する場合には、集電電極125間の短絡防止のため集電電極125との間に絶縁体130nを装備すれば良い。

20

【0067】

また、たとえば図10に示されるように圧力板130と集電電極125との間に付勢のためのバネ125sを備えるようにしても良い。こうすれば、電池電極と反応ガス流路の間の接触抵抗のばらつきをさらに抑制して、計測精度を高めることができる。

【0068】

D-3. 上記実施例では、集電電極125の接触面の前面が導通可能に構成されているが、たとえば図11に示されるように構成しても良い。図11は、集電電極125の接触面を示す説明図である。接触面は、絶縁のためのエナメル被膜が施された絶縁領域125n（ハッチングが施された領域）と導通可能な導通領域125cとを有している。導通領域125cには、液体金属が塗布されている。絶縁領域125nは、導通領域125cの周囲を取り囲んだ閉じた領域として構成されている。

30

【0069】

この構成では、図12に示されるような経路の漏洩電流を防止することができるので、押しつけ圧力の均一化のために接触点間隔を小さくしつつ、図13に示されるような接触点間抵抗値Rbを増加させることができる。

【0070】

D-4. 上記実施例では、燃料電池セル201の単セルが出力する電力密度分布を一方から計測しているが、たとえば図14に示されるように測定用電極120を燃料電池のスタックの中間に挟むようにして構成しても良い。なお、本発明は、内部状態観測方法や、この内部状態観測装置を搭載した燃料電池などの装置その他の種々の態様で実現することができる。

40

【0071】

D-5. 上記実施例では、固体高分子型燃料電池が有する電解質の含水率を推定しているが、固体高分子型燃料電池に限られず、「活性化分極」や「拡散分極」、「抵抗分極」といった相違する内部状態パラメータに応じて変化する損失要素を有する燃料電池に適用して燃料電池の抵抗分極の状態量の分布を他の損失（たとえば「活性化分極」や「拡散分極」）から分離して観測することができる。

【0072】

本発明は、一般に、各電極電流に含まれる負荷の変動に応じて発生する交流成分を抽出

50

し、抽出された各々の交流成分に基づいて燃料電池の抵抗分極の状態を表す物理量（すなわち状態量）の分布を観測するように構成されていれば良い。ただし、固体高分子型燃料電池は、電解質と電極間において電気２重層容量を形成して極めて大きな静電容量を有し、さらに含水量や閉塞状態の推定は極めて重要である一方、それぞれに対応すべき措置が正反対なので顕著な効果を奏する。

【００７３】

なお、燃料電池は、一般に、「活性化分極」を表すキャパシタンスと、「拡散分極」を表す抵抗と、「抵抗分極」を表す抵抗とから構成されており、キャパシタンス／／抵抗の並列回路を複数直列に接続した回路と、この回路に直列に接続された抵抗とから構成される。この場合にも上述と同様に、変動負荷を使用して「抵抗分極」を「拡散分極」から分離することができる。ここで、「活性化分極」は、燃料電池の電極などが活性化のためのエネルギーを必要とすることに起因する損失である。「抵抗分極」は、電解質抵抗や電解質抵抗と電極の間の抵抗等に起因する損失である。「拡散分極」は、電解質への反応物質の補給や電解質からの生成物の除去等に起因する損失である。

【００７４】

また、特許請求の範囲における「観測する」とは、広い意味を有し、燃料電池の抵抗分極の状態量に強い相関関係を有する計測値（たとえば電流密度分布）を取得することを含む。

【図面の簡単な説明】

【００７５】

【図１】本発明の第１実施例における内部状態観測装置１００と観測対象の概略構成図。

【図２】セパレータ２０４の各部分から出力される電流値を測定する複数の測定用電極１２０の拡大図。

【図３】本発明の第１実施例における集電電極１２５のセパレータ２０４上における配列状態を示す説明図。

【図４】内部状態観測装置１００と観測対象の燃料電池セル２０１とで構成される電気回路の等価回路を示す説明図。

【図５】内部状態観測装置１００と観測対象の燃料電池セル２０１とで構成される電気回路の等価回路の一部を示す説明図。

【図６】観測対象の燃料電池セル２０１の一部分ＦＣ１の等価回路の一例を示す説明図。

【図７】複数の測定用電極１２０に電流集合板１１１が一体化された一体型測定用電極１２０ａを示す説明図。

【図８】第１変形例における複数の測定用電極１２０を示す説明図。

【図９】第２変形例における内部状態観測装置１００と観測対象の概略構成図。

【図１０】第３変形例における内部状態観測装置１００と観測対象の概略構成図。

【図１１】第４変形例における内部状態観測装置１００と観測対象の概略構成図。

【図１２】第４変形例で抑制される漏洩電流を示す説明図。

【図１３】第４変形例で漏洩電流が抑制された様子を示す説明図。

【図１４】第５変形例における内部状態観測装置１００と観測対象の概略構成図。

【符号の説明】

【００７６】

１００…内部状態観測装置

１０７…ターミナルプレート

１０９…エンドプレート

１１０…電子負荷装置

１１１、１１１ａ…電流集合板

１２０、１２０ａ…測定用電極

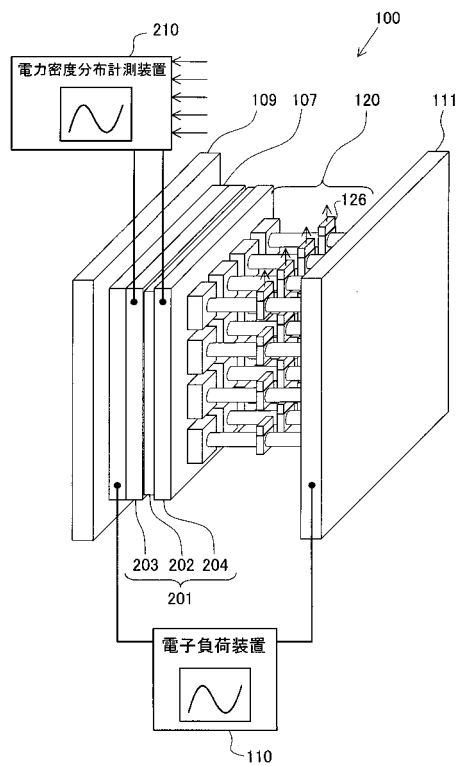
１２０…測定用電極

１２４、１２５…集電電極

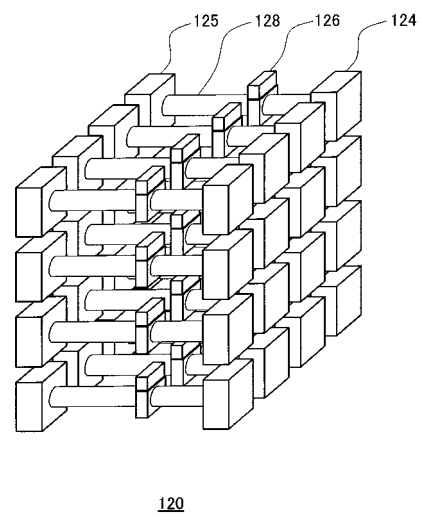
１２６…電流センサ

- 1 2 8 … ロッド
1 3 0 … 圧力板
2 0 1 … 燃料電池セル
2 0 2 … 膜電極接合体
2 0 3 … セパレータ
2 0 4 … セパレータ
2 1 0 … 電力密度分布計測装置

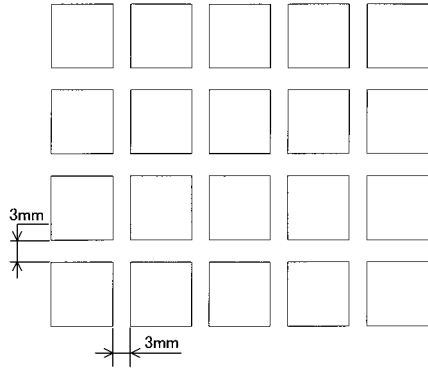
【図 1】



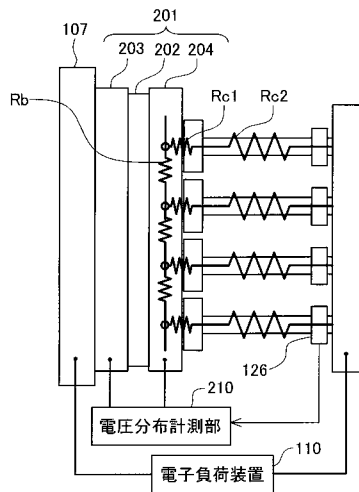
【图 2】



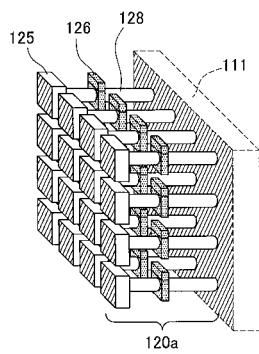
【図 3】



【図 4】

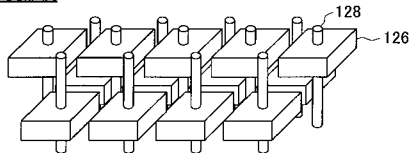


【図 7】



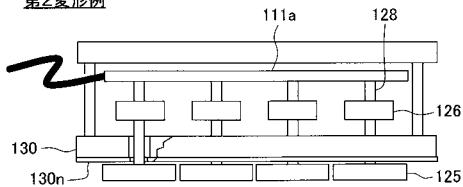
【図 8】

第1変形例

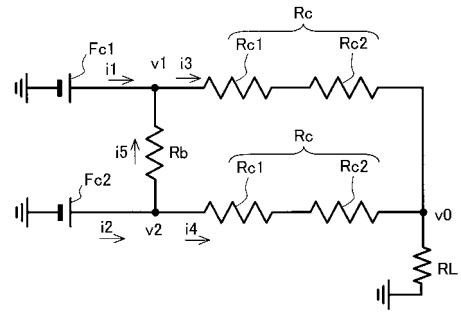


【図 9】

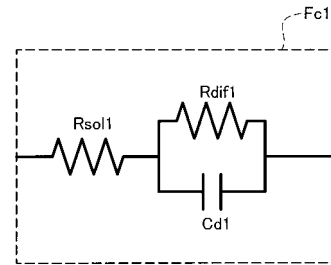
第2変形例



【図 5】

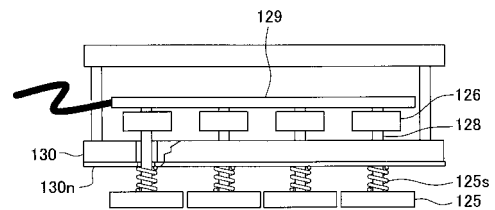


【図 6】



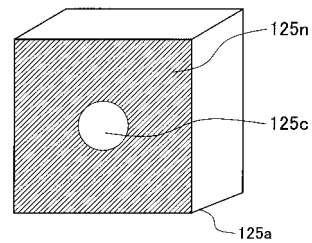
【図 10】

第3変形例

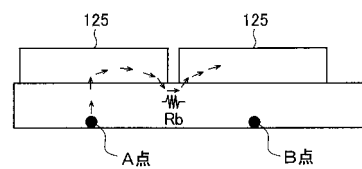


【図 11】

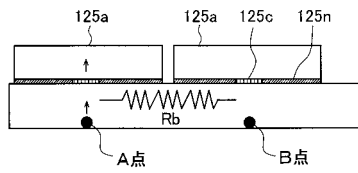
第4変形例



【図 12】

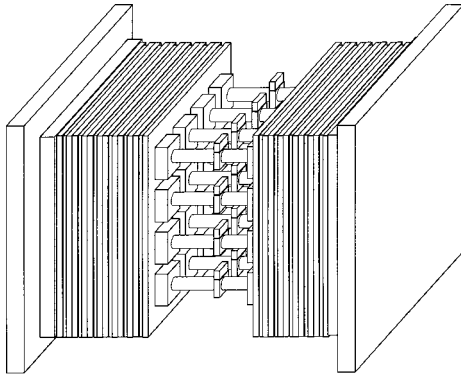


【図 1 3】



【図 1 4】

第5变形例



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-152501 (JP, A)
特開2003-086220 (JP, A)
特開2004-241325 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/00～ 8/24