

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7132088号
(P7132088)

(45)発行日 令和4年9月6日(2022.9.6)

(24)登録日 令和4年8月29日(2022.8.29)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 M 8/04 (2016.01)	H 0 1 M 8/04 Z
H 0 1 M 8/04537(2016.01)	H 0 1 M 8/04537
H 0 1 M 8/04694(2016.01)	H 0 1 M 8/04694
H 0 1 M 8/04492(2016.01)	H 0 1 M 8/04492
H 0 1 M 8/04828(2016.01)	H 0 1 M 8/04828

請求項の数 7 (全16頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2018-207048(P2018-207048)	(73)特許権者	000004695 株式会社 S O K E N
(22)出願日	平成30年11月2日(2018.11.2)		愛知県日進市米野木町南山5 0 0番地2
(65)公開番号	特開2020-72052(P2020-72052A)		0
(43)公開日	令和2年5月7日(2020.5.7)	(73)特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
審査請求日	令和3年5月13日(2021.5.13)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74)代理人	110000028弁理士法人明成国際特許事務所
		(72)発明者	水谷 千晶 愛知県日進市米野木町南山5 0 0番地2 0 株式会社 S O K E N 内
		(72)発明者	長谷川 茂樹 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】

燃料電池システムであって、
燃料電池と、
前記燃料電池の出力電圧を検出する電圧検出部と、
前記燃料電池の出力電流を検出する電流検出部と、
前記燃料電池の両端の電極に交流信号を供給する交流信号供給部と、
前記電圧検出部で検出された検出交流電圧と前記電流検出部で検出された検出交流電流から、前記検出交流電圧に対する前記検出交流電流の位相差を演算する位相差演算部と、
前記燃料電池のセル面内における発電分布を表す発電分布特徴量と前記位相差との間の予め定められた関係を用いて、前記位相差に応じて前記発電分布特徴量を推定する推定部と、
を備え、
前記発電分布特徴量は、前記セル面内における局所電流密度の最大値と最小値の差分を示す値を含む、燃料電池システム。

【請求項2】

請求項1に記載の燃料電池システムであって、
前記セル面は、前記セル面内を流れるカソードガスの入口から出口までの面内カソードガス流路を有し、
前記面内カソードガス流路を前記入口に近い上流部分と前記出口に近い下流部分とに区

分したとき、前記発電分布特徴量は、前記局所電流密度の最大値が前記上流部分に存在するとともに前記局所電流密度の最小値が前記下流部分に存在する第1発電分布と、前記局所電流密度の最大値が前記下流部分に存在するとともに前記局所電流密度の最小値が前記上流部分に存在する第2発電分布と、のいずれに該当するかを示す、燃料電池システム。

【請求項3】

請求項2に記載の燃料電池システムであって、

前記発電分布特徴量は、前記第1発電分布と前記第2発電分布のいずれに該当するかを、前記発電分布特徴量の正負の符号によって区別する、燃料電池システム。

【請求項4】

請求項1～3のいずれか一項に記載の燃料電池システムであって、更に、

前記位相差により推定される前記発電分布特徴量が予め定められた許容範囲から外れている場合に、前記発電分布特徴量を前記許容範囲内に収めるように前記燃料電池システムの運転条件を変更する運転条件制御部を備える、燃料電池システム。

10

【請求項5】

請求項1～3のいずれか一項に記載の燃料電池システムであって、

前記推定部は、前記位相差に応じて、前記燃料電池の湿潤度が予め定められた湿潤度範囲よりも低い第1状態と、前記燃料電池の湿潤度が前記湿潤度範囲内にある第2状態と、前記燃料電池の湿潤度が前記湿潤度範囲よりも高い第3状態と、のいずれの状態にあるかを推定する、燃料電池システム。

【請求項6】

請求項5に記載の燃料電池システムであって、更に、

前記燃料電池が前記第1状態又は前記第3状態にあるものと推定された場合に、前記燃料電池が上記第2状態になるように前記燃料電池システムの運転条件を変更する運転条件制御部を備える、燃料電池システム。

20

【請求項7】

燃料電池システムであって、

燃料電池スタックと、

前記燃料電池スタック全体の出力電圧を検出する電圧検出部と、

前記燃料電池スタック全体の出力電流を検出する電流検出部と、

前記燃料電池スタックの両端の電極に交流信号を供給する交流信号供給部と、

前記電圧検出部で検出された検出交流電圧と前記電流検出部で検出された検出交流電流から、前記検出交流電圧に対する前記検出交流電流の位相差を演算する位相差演算部と、

前記位相差に応じて前記燃料電池システムの運転条件を変更して前記燃料電池スタックの湿潤状態を制御する運転条件制御部を備え、

前記運転条件制御部は、前記位相差が第1の値よりも大きな第2の値である場合に、前記燃料電池システムの運転条件を、前記位相差が前記第1の値である場合よりも前記燃料電池スタックの湿潤度を低下させる運転条件とする、燃料電池システム。

30

【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する。

40

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、電解質膜と電解質膜を挟む2つの電極触媒層とで構成された膜電極接合体を有し、膜電極接合体の面状の発電領域において発電が行われる。本明細書では、このような発電領域を「セル面」と呼ぶ。セル面内の発電分布に過度な偏りがある状態では発電を効率的に行うことができない。そこで、従来から、セル面内の発電分布を計測する技術が工夫されている。

【0003】

特許文献1には、燃料電池のセル面内の電流密度分布を計測する計測装置を備えた燃料

50

電池システムが開示されている。この燃料電池システムでは、セル面内の電流密度分布を計測するための専用の電流密度センサを設けておき、その電流密度センサを用いて電流密度分布を計測する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2006-318784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、従来技術では、セル面内の発電分布を知るために専用の電流密度センサを設ける必要があったので、燃料電池の構造が複雑になり、高コスト化の原因となっていた。そこで、電流密度センサを設けることなくセル面内の発電分布を推定できる技術が望まれている。

【0006】

なお、燃料電池を効率よく発電させるためには、燃料電池の湿潤度を適切に制御することが好ましい。従来は、燃料電池の水分量を推定し、推定された水分量に応じて湿潤度の制御を行っていたため、その処理や制御が複雑であった。そこで、従来に比べて簡単な処理で燃料電池の湿潤度を適切に制御できる技術が望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

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なされたものであり、以下の形態として実現することが可能である。

【0008】

(1) 本発明の一形態によれば、燃料電池システムが提供される。この燃料電池システムは、燃料電池と、前記燃料電池の出力電圧を検出する電圧検出部と、前記燃料電池の出力電流を検出する電流検出部と、前記燃料電池の両端の電極に交流信号を供給する交流信号供給部と、前記電圧検出部で検出された検出交流電圧と前記電流検出部で検出された検出交流電流から、前記検出交流電圧に対する前記検出交流電流の位相差を演算する位相差演算部と、前記燃料電池のセル面内における発電分布を表す発電分布特徴量と前記位相差との間の予め定められた関係を用いて、前記位相差に応じて前記発電分布特徴量を推定する推定部と、を備える。前記発電分布特徴量は、前記セル面内における局所電流密度の最大値と最小値の差分を示す値を含む。

本願の発明者は、燃料電池のセル面内の発電分布を表す発電分布特徴量と、検出交流電圧に対する検出交流電流の位相差との間には相関があり、特に、セル面内における局所電流密度の最大値と最小値の差分と位相差との間に所定の関係があることを見出した。上記燃料電池システムによれば、この関係を用いて位相差に応じて発電分布特徴量を推定するので、電流密度センサを設けることなく燃料電池のセル面内の発電分布を推定することができる。

(2) 上記燃料電池システムにおいて、前記セル面は、前記セル面内を流れるカソードガスの入口から出口までの面内カソードガス流路を有し、前記面内カソードガス流路を前記入口に近い上流部分と前記出口に近い下流部分とに区分したとき、前記発電分布特徴量は、前記局所電流密度の最大値が前記上流部分に存在するとともに前記局所電流密度の最小値が前記下流部分に存在する第1発電分布と、前記局所電流密度の最大値が前記下流部分に存在するとともに前記局所電流密度の最小値が前記上流部分に存在する第2発電分布と、のいずれに該当するかを示すものとしてもよい。

この燃料電池システムによれば、位相差に応じて推定される発電分布特徴量が、第1発電分布と第2発電分布のいずれに該当するかを示すので、電流密度センサを設けることなく燃料電池のセル面内の発電分布を推定することができる。

(3) 上記燃料電池システムにおいて、前記発電分布特徴量は、前記第1発電分布と前記

10

20

30

40

50

第2発電分布のいずれに該当するかを、前記発電分布特徴量の正負の符号によって区別するものとしてもよい。

この燃料電池システムによれば、発電分布特徴量の正負の符号によって第1発電分布と第2発電分布のいずれに該当するかを区別するので、発電分布特徴量から発電分布を容易に推定することができる。

(4) 上記燃料電池システムは、更に、前記位相差により推定される前記発電分布特徴量が予め定められた許容範囲から外れている場合に、前記発電分布特徴量を前記許容範囲内に収めるように前記燃料電池システムの運転条件を変更する運転条件制御部を備えるものとしてもよい。

この燃料電池システムによれば、セル面内における局所電流密度の最大値と最小値の差分を示す発電分布特徴量が許容範囲外となった場合に、許容範囲内に収めるさせるように燃料電池システムを適切な運転条件で制御することができる。

(5) 上記燃料電池システムにおいて、前記推定部は、前記位相差に応じて、前記燃料電池の湿潤度が予め定められた湿潤度範囲よりも低い第1状態と、前記燃料電池の湿潤度が前記湿潤度範囲内にある第2状態と、前記燃料電池の湿潤度が前記湿潤度範囲よりも高い第3状態と、のいずれの状態にあるかを推定するものとしてもよい。

この燃料電池システムによれば、位相差に応じて燃料電池の湿潤度に関する3つの状態のいずれかであるかを推定するので、これに応じて適切な制御を実行することができる。

(6) 上記燃料電池システムは、更に、前記燃料電池が前記第1状態又は前記第3状態にあるものと推定された場合に、前記燃料電池が上記第2状態になるように前記燃料電池システムの運転条件を変更する運転条件制御部を備えるものとしてもよい。

この燃料電池システムによれば、燃料電池が湿潤度の低い第1状態や湿潤度の高い第3状態にある場合に、燃料電池が第2状態になるように燃料電池システムを適切に制御することができる。

(7) 本発明の他の形態によれば、燃料電池システムが提供される。この燃料電池システムは、燃料電池スタックと、前記燃料電池スタック全体の出力電圧を検出する電圧検出部と、前記燃料電池スタック全体の出力電流を検出する電流検出部と、前記燃料電池スタックの両端の電極に交流信号を供給する交流信号供給部と、前記電圧検出部で検出された検出交流電圧と前記電流検出部で検出された検出交流電流から、前記検出交流電圧に対する前記検出交流電流の位相差を演算する位相差演算部と、前記位相差に応じて前記燃料電池システムの運転条件を変更して前記燃料電池スタックの湿潤状態を制御する運転条件制御部を備える。前記運転条件制御部は、前記位相差が第1の値よりも大きな第2の値である場合に、前記燃料電池システムの運転条件を、前記位相差が前記第1の値である場合よりも前記燃料電池スタックの湿潤度を低下させる運転条件とする。

上記燃料電池システムによれば、位相差に応じて燃料電池スタックの湿潤状態を制御するので、従来に比べて簡単な処理で燃料電池スタックの湿潤度を適切に制御することが可能である。

【0009】

なお、本発明は、種々の形態で実現することが可能であり、例えば、燃料電池システムの他に、燃料電池システムの制御装置や制御方法等の形態で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】一実施形態の燃料電池システムの構成を示す説明図。

【図2】セル面内の発電分布の推定に関連する装置構成を示す説明図。

【図3】検出交流電流と検出交流電圧の関係を示すタイミングチャート。

【図4】セル面内の第1発電分布の例を示すグラフ。

【図5】セル面内の第2発電分布の例を示すグラフ。

【図6】電流と電圧の間の位相差と発電分布特徴量との関係を示すグラフ。

【図7】位相差の計測と運転モードの切り換えの手順を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

図 1 は、一実施形態における燃料電池システム 1 0 0 の構成を示す説明図である。燃料電池システム 1 0 0 は、例えば、車両 1 1 0 に搭載される。燃料電池システム 1 0 0 は、運転者からの要求に応じて車両 1 1 0 の動力源となる電力を出力する。

【 0 0 1 2 】

燃料電池システム 1 0 0 は、燃料電池スタック 1 0 と、制御装置 2 0 と、カソードガス供給部 3 0 と、アノードガス供給部 5 0 と、DC / DC コンバータ 8 0 と、パワーコントロールユニット（以下、「PCU」と呼ぶ）8 1 と、負荷 8 2 と、二次電池 8 3 と、を備える。制御装置 2 0 は、CPU と、メモリ と、インターフェースと、を備える 1 以上の ECU として構成されている。制御装置 2 0 は、メモリ に記憶されたコンピュータプログラムを実行することにより、燃料電池システム 1 0 0 の制御を実行する。但し、制御装置 2 0 の機能の一部又は全部をハードウェア回路で実現しても良い。

10

【 0 0 1 3 】

燃料電池スタック 1 0 は、単セル 1 1 が積層されたスタック構造を有する。図示は省略するが、各単セル 1 1 は、電解質膜と、電解質膜の両面に配置されたアノード電極触媒層及びカソード電極触媒層と、を有する膜電極接合体と、膜電極接合体を挟持する 1 組のセパレータとを備える。電解質膜は、例えば、プロトン伝導性を有する固体高分子膜である。単セル 1 1 は、反応ガスとしてのアノードガスとカソードガスとの供給を受けて発電する。本実施形態では、アノードガスとして水素ガスを使用し、カソードガスとして空気を使用する。但し、他の種類のアノードガスやカソードガスを使用しても良い。

20

【 0 0 1 4 】

カソードガス供給部 3 0 は、カソードガス配管 3 1 と、大気圧センサ 3 7 と、エアフローメータ 3 2 と、コンプレッサ 3 3 と、第 1 開閉弁 3 4 と、分流弁 3 6 と、カソードオフガス配管 4 1 と、第 1 レギュレータ 4 2 と、を備える。

【 0 0 1 5 】

大気圧センサ 3 7 は、カソードガス配管 3 1 に設けられており、カソードガス配管 3 1 の入口圧力を測定する。エアフローメータ 3 2 は、カソードガス配管 3 1 に設けられており、取り込んだ空気の流量を測定する。コンプレッサ 3 3 は、カソードガス配管 3 1 を介して燃料電池スタック 1 0 と接続されている。コンプレッサ 3 3 は、制御装置 2 0 の制御により、外部から取り入れたカソードガスを圧縮し、燃料電池スタック 1 0 に供給する。

30

【 0 0 1 6 】

第 1 開閉弁 3 4 は、コンプレッサ 3 3 と燃料電池スタック 1 0 との間に設けられ、制御装置 2 0 の制御により開閉する。分流弁 3 6 は、コンプレッサ 3 3 とカソードオフガス配管 4 1 との間に設けられており、制御装置 2 0 の制御により、燃料電池スタック 1 0 とカソードオフガス配管 4 1 への空気の流量を分配する。

【 0 0 1 7 】

カソードオフガス配管 4 1 は、燃料電池スタック 1 0 から排出されたカソードオフガスを、燃料電池システム 1 0 0 の外部へと排出する。第 1 レギュレータ 4 2 は、燃料電池スタック 1 0 のカソードガス出口の圧力を調整する背圧調整弁である。

【 0 0 1 8 】

アノードガス供給部 5 0 は、アノードガス配管 5 1 と、アノードガスタンク 5 2 と、第 2 開閉弁 5 3 と、第 2 レギュレータ 5 4 と、インジェクタ 5 5 と、圧力センサ 5 6 と、アノードオフガス配管 6 1 と、気液分離装置 6 2 と、排出弁 6 3 と、循環配管 6 4 と、アノードガスポンプ 6 5 と、を備える。

40

【 0 0 1 9 】

アノードガス配管 5 1 は、燃料電池スタック 1 0 にアノードガスを供給するための供給流路である。アノードガスタンク 5 2 は、アノードガス配管 5 1 を介して燃料電池スタック 1 0 のアノードガス入口マニホールドと接続されており、アノードガスを燃料電池スタック 1 0 に供給する。第 2 開閉弁 5 3、第 2 レギュレータ 5 4、インジェクタ 5 5 は、アノードガス配管 5 1 に、この順序で上流側から設けられている。第 2 開閉弁 5 3 は、制御

50

装置 20 の制御により開閉する。第 2 レギュレータ 54 は、インジェクタ 55 の上流側におけるアノードガスの圧力を調整する。圧力センサ 56 は、アノードガス配管 51 のインジェクタ 55 よりも下流側に設けられている。圧力センサ 56 は、インジェクタ 55 下流の圧力値を測定する。

【 0020 】

インジェクタ 55 は、制御装置 20 によって設定された駆動周期や開弁時間に応じて、電磁的に駆動する開閉弁であり、燃料電池スタック 10 に供給されるアノードガス供給量を調整する。本実施形態では、インジェクタ 55 は、アノードガス配管 51 に複数設けられている。制御装置 20 は、圧力センサ 56 の測定値が目標圧力値を下回らないように、インジェクタ 55 の駆動周期や開弁時間を制御し、燃料電池スタック 10 へのアノードガス供給量を制御する。目標圧力値は、燃料電池スタック 10 への要求電力に応じて定められる。

10

【 0021 】

アノードオフガス配管 61 は、燃料電池スタック 10 のアノードオフガス出口とカソードオフガス配管 41 とを接続する。アノードオフガス配管 61 は、燃料電池スタック 10 からアノードオフガスを排出するための排出流路である。アノードオフガスは、発電反応に用いられなかったアノードガスや窒素ガスなどを含む。

【 0022 】

気液分離装置 62 は、アノードオフガス配管 61 に設けられている。気液分離装置 62 は、燃料電池スタック 10 から排出されたアノードオフガスから、不純物としての水を分離して貯える。

20

【 0023 】

排出弁 63 は、アノードオフガス配管 61 に設けられた開閉弁である。排出弁 63 は、気液分離装置 62 の鉛直下方に設けられている。排出弁 63 は、制御装置 20 の制御により開閉する。排出弁 63 が開かれると、排出弁 63 からは、気液分離装置 62 内の水に続いて、アノードオフガスが排出される。排出弁 63 から排出された水及びアノードオフガスは、アノードオフガス配管 61 に接続されたカソードオフガス配管 41 を通じて外部へ排出される。

【 0024 】

循環配管 64 は、アノードガス配管 51 のインジェクタ 55 よりも下流側の配管部分と気液分離装置 62 との間を接続する。循環配管 64 には、アノードガスポンプ 65 が設けられている。アノードガスポンプ 65 は、制御装置 20 の制御により駆動され、気液分離装置 62 によって水が分離されたアノードオフガスを、アノードガス配管 51 へと送り出す。この燃料電池システム 100 では、アノードガスを含むアノードオフガスを循環させて、再び燃料電池スタック 10 に供給することにより、アノードガスの利用効率を向上させている。

30

【 0025 】

DC / DC コンバータ 80 は、燃料電池スタック 10 から出力された電圧を昇圧して、PCU 81 に供給する。PCU 81 は、インバータを内蔵しており、インバータを介して車輪を駆動するためのトラクションモータ等の負荷 82 に電力を供給する。また、PCU 81 は、制御装置 20 の指令に基づいて、燃料電池スタック 10 の出力電流を制御する。

40

【 0026 】

二次電池 83 は、PCU 81 と DC / DC コンバータ 80 とを介して燃料電池スタック 10 に接続されており、燃料電池スタック 10 により発電された電力を蓄電する。また、二次電池 83 は、燃料電池スタック 10 とともに、燃料電池システム 100 における電力の供給源として機能する。二次電池 83 の電力は、負荷 82 や、コンプレッサ 33、アノードガスポンプ 65、各種弁に供給される。二次電池 83 としては、リチウムイオン電池やニッケル水素電池等を用いることができる。

【 0027 】

制御装置 20 は、要求電力に応じて燃料電池システム 100 の各部を制御し、燃料電池

50

スタック 10 や二次電池 83 の出力を制御する。要求電力には、燃料電池システム 100 が搭載される車両 110 の運転者などによる外的発電要求と、燃料電池システム 100 の補機類に対して電力を供給するための内的発電要求と、が含まれる。

【0028】

図 2 は、セル面内の発電分布の推定に関連する装置構成を示す説明図である。ここでは、単セル 11 のセル面 11s が描かれている。燃料電池スタック 10 には、複数の単セル 11 を貫通する複数のマニフォールドが形成されている。複数のマニフォールドは、アノードガス供給マニフォールド 12in と、アノードガス排出マニフォールド 12out と、カソードガス供給マニフォールド 14in と、カソードガス排出マニフォールド 14out とを有する。アノードガス供給部 50 により供給されるアノードガス AG は、アノードガス供給マニフォールド 12in から各単セル 11 に分配され、アノードガス排出マニフォールド 12out から排出される。カソードガス供給部 30 により供給されるカソードガス CG は、カソードガス供給マニフォールド 14in から各単セル 11 に分配され、カソードガス排出マニフォールド 14out から排出される。他のマニフォールドは、冷媒の供給と排出のためのマニフォールドである。

【0029】

各単セル 11 には、セル面 11s 内を流れる面内アノードガス流路 AP と面内カソードガス流路 CP とが形成されている。この例では、面内アノードガス流路 AP は、水平方向に直進する複数の直進部分と、隣接する直進部分の間に設けられた折曲部とを有し、全体として蛇行しながら上昇する形状を有している。一方、面内カソードガス流路 CP は、セル面 11s の上端から下端に向けて下降する直線状の形状をする。従って、セル面 11s 内におけるアノードガス AG とカソードガス CG の流れは、互いに直交する直交流として構成されている。但し、面内カソードガス流路 CP や面内アノードガス流路 AP は、これ以外の形状を有するように構成されていても良く、例えば、対向流となるように構成されていてもよい。図 2 のような直交流の場合も、また、対向流の場合も、面内カソードガス流路 CP の入口が面内アノードガス流路 AP の出口付近に存在し、面内カソードガス流路 CP の出口が面内アノードガス流路 AP の入口付近に存在する。

【0030】

燃料電池スタック 10 には、燃料電池スタック 10 の出力電圧を検出する電圧検出部 310 と、燃料電池スタック 10 の出力電流を検出する電流検出部 320 が接続されている。また、燃料電池スタック 10 の両端の電極には、交流信号を供給する交流信号供給部 330 が接続されている。この交流信号は、交流インピーダンス法に従って燃料電池スタック 10 のインピーダンス測定を行うための入力信号である。交流信号としては交流電流と交流電圧のいずれも使用可能であるが、本実施形態では交流電流を使用する。

【0031】

電圧検出部 310 で検出された検出交流電圧 V_d と、電流検出部 320 で検出された検出交流電流 I_d は、位相差演算部 210 に供給される。この位相差演算部 210 は、検出交流電圧 V_d に対する検出交流電流 I_d の位相差を演算する機能を有する。この演算は、例えば、高速フーリエ変換処理により実行できる。位相差は、位相差演算部 210 から推定部 220 に供給される。推定部 220 は、位相差に応じて、燃料電池スタック 10 のセル面 11s 内における発電分布を表す発電分布特徴量を推定する機能を有する。この推定機能については後述する。

【0032】

図 2 の例では、電圧検出部 310 が燃料電池スタック 10 全体の電圧を測定しているが、この代わりに、燃料電池スタック 10 の一部を構成する 1 つ以上の単セル 11 の電圧を測定するようにしてもよい。本明細書において、「燃料電池」という用語は、燃料電池スタック 10 全体と、その一部を構成する 1 つ以上の単セル 11 と、の両方を包含する広い意味で使用される。

【0033】

図 2 のシステムは、更に、運転条件制御部 230 を有する。この運転条件制御部 230

は、位相差演算部 210 で演算された位相差 θ に応じて、燃料電池システム 100 の運転条件を制御する。この制御の具体例については後述する。位相差演算部 210 と推定部 220 と運転条件制御部 230 は、図 1 に示した制御装置 20 に含まれるように構成してもよい。

【0034】

図 3 は、検出交流電流 I_d と検出交流電圧 V_d の関係を示すタイミングチャートである。ここでは、燃料電池スタック 10 の出力電流である直流電流成分 I_{const} に対して、交流電流成分 I_a が交流信号供給部 330 によって重畳され、検出交流電流 I_d と検出交流電圧 V_d が検出された様子が描かれている。交流電流成分 I_a は、周波数 f 及び角周波数 $\omega (= 2\pi f)$ を有する正弦波である。交流信号供給部 330 によって重畳される交流信号の波形としては、正弦波以外の波形を使用することも可能であり、例えば、三角波や矩形波、パルス波なども使用できる。

10

【0035】

良く知られているように、交流インピーダンス法において使用される周波数領域は、インピーダンスの実部がプロトン移動抵抗とガス反応抵抗の和に等しくなる低周波数領域と、インピーダンスの実部がプロトン移動抵抗に等しくなる高周波数領域とに分けられる。本実施形態において、交流信号の周波数 f は、低周波数領域の値とすることが好ましい。具体的には、周波数 f を 1 Hz 以上 150 Hz 以下の値とすることが好ましく、1 Hz 以上 100 Hz 未満の値とすることが更に好ましく、20 Hz 以上 80 Hz 以下の値とすることが最も好ましい。なお、本実施形態では、通常交流インピーダンス法と異なり、1 つの特定の周波数のみを使用し、その特定の周波数に対して、検出交流電圧 V_d に対する検出交流電流 I_d の位相差 θ を求めれば十分である。

20

【0036】

検出交流電圧 V_d に対する検出交流電流 I_d の位相差 θ は、位相差演算部 210 によって演算される。よく知られているように、燃料電池の等価回路は抵抗成分と容量成分とで構成されるので、通常は図 3 のように、検出交流電圧 V_d に対して検出交流電流 I_d の位相が進む位相関係が得られる。本明細書では、検出交流電圧 V_d に対して検出交流電流 I_d の位相が進んでいるときの位相差 θ をマイナス値で表現し、逆に、検出交流電圧 V_d に対して検出交流電流 I_d の位相が遅れているときの位相差 θ をプラス値で表現する。

30

【0037】

本願の発明者は、位相差 θ とセル面 11 s 内における発電分布との間に、以下の図 4 ~ 図 6 で説明する相関があることを見出した。

【0038】

図 4 は、セル面 11 s 内の第 1 発電分布 PD1 の例を示すグラフである。図 4 の横軸は面内カソードガス流路 CP の入口から出口までの位置であり、縦軸は局所電流密度である。面内カソードガス流路 CP は、その入口に近い上流部分 IP と、出口に近い下流部分 OP とに区分することができる。

【0039】

図 4 では、第 1 発電分布 PD1 として、2 つの分布 PD1a, PD1b を例示している。一方の第 1 発電分布 PD1a は、局所電流密度が、面内カソードガス流路 CP の入口において最大値 I_{max} となり、出口に向かってほぼ単調に減少して、出口において最小値 I_{min} となる分布である。他方の第 1 発電分布 PD1b は、局所電流密度が、面内カソードガス流路 CP の入口からやや下流側の位置において最大値 I_{max} となり、そこから出口に向かってほぼ単調に減少して、出口において最小値 I_{min} となる分布である。これらの第 1 発電分布 PD1a, PD1b は、いずれも、局所電流密度の最大値 I_{max} が上流部分 IP に存在するとともにその最小値 I_{min} が下流部分 OP に存在する分布である点で共通している。本願の発明者の実験によれば、単セル 11 が乾燥している場合には、このような第 1 発電分布 PD1 となる可能性が高いことを見出された。この理由は、単セル 11 が乾燥すると、電解質膜のプロトン移動度が低下するので、面内アノードガス流路 AP の入口（これは図 2 で説明したように面内カソードガス流路 CP の出口付近にある）における局

40

50

所電流密度が低下するためであると推定される。このとき、局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分は、単セル 1 1 の乾燥度が上昇するほど増大する傾向にある。

【 0 0 4 0 】

本実施形態では、第 1 発電分布 $PD 1$ を表す発電分布特徴量として、下流部分 OP における局所電流密度の極値 I_{op} である最小値 I_{min} から、上流部分 IP における局所電流密度の極値 I_{ip} である最大値 I_{max} を減算した値 I^* を使用する。従って、第 1 発電分布 $PD 1$ に対する発電分布特徴量 I^* は、負の値となる。この発電分布特徴量 I^* は、セル面 1 1 s 内における局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示している。上述したように、局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分は単セル 1 1 の乾燥度が上昇するほど増大する傾向にあるので、発電分布特徴量 I^* の絶対値も単セル 1 1 の乾燥度が上昇するほど増大する。

10

【 0 0 4 1 】

図 5 は、セル面 1 1 s 内の第 2 発電分布 $PD 2 a$, $PD 2 b$ の例を示すグラフである。一方の第 2 発電分布 $PD 2 a$ は、局所電流密度が、面内カソードガス流路 CP の入口において最小値 I_{min} となり、出口に向かってほぼ単調に増加して、出口において最大値 I_{max} となる分布である。他方の第 2 発電分布 $PD 2 b$ は、局所電流密度が、面内カソードガス流路 CP の入口において最小値 I_{min} となり、出口に向かってほぼ単調に増加して、出口からやや上流側の位置において最大値 I_{max} となる分布である。これらの第 2 発電分布 $PD 2 a$, $PD 2 b$ は、いずれも、局所電流密度の最大値 I_{max} が下流部分 OP に存在するとともにその最小値 I_{min} が上流部分 IP に存在する分布である点で共通している。本願の発明者の実験によれば、単セル 1 1 が過度に湿潤している場合には、このような第 2 発電分布 $PD 2$ となる可能性が高いことが見出された。この理由は、単セル 1 1 が過度に湿潤している場合には面内カソードガス流路 CP の入口付近で水詰まりが発生する可能性が高く、面内カソードガス流路 CP の入口付近においてカソードガスを十分に供給できずに局所電流密度が低下するためであると推定される。

20

【 0 0 4 2 】

第 2 発電分布 $PD 2$ を表す発電分布特徴量としては、下流部分 OP における局所電流密度の極値 I_{op} である最大値 I_{max} から、上流部分 IP における局所電流密度の極値 I_{ip} である最小値 I_{min} を減算した値 I^* を使用する。従って、第 2 発電分布 $PD 2$ に対する発電分布特徴量 I^* は、正の値となる。この発電分布特徴量 I^* も、セル面 1 1 s 内における局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示している。

30

【 0 0 4 3 】

上述したように、図 4 に示す第 1 発電分布 $PD 1$ では発電分布特徴量 I^* は負の値となり、図 5 に示す第 2 発電分布 $PD 2$ では発電分布特徴量 I^* は正の値となる。逆に言えば、発電分布特徴量 I^* が負の場合にはセル面 1 1 s 内の発電分布が第 1 発電分布 $PD 1$ であるものと推定でき、発電分布特徴量 I^* が正の場合にはセル面 1 1 s 内の発電分布が第 2 発電分布 $PD 2$ であるものと推定できる。

【 0 0 4 4 】

図 6 は、検出交流電圧 V_d に対する検出交流電流 I_d の位相差 θ と、発電分布特徴量 I^* との関係 R_L を示すグラフである。図 6 のプロット点は、本願の発明者により電流密度センサを用いて行った実験結果である。位相差 θ と発電分布特徴量 I^* との間には、ほぼ直線的な関係 R_L があることが理解できる。発電分布特徴量 I^* が負の場合にはセル面 1 1 s 内の発電分布が図 4 で説明した第 1 発電分布 $PD 1$ であるものと推定でき、一方、発電分布特徴量 I^* が正の場合には図 5 で説明した第 2 発電分布 $PD 2$ であるものと推定できる。また、図 4 で説明したように、第 1 発電分布 $PD 1 a$ に対する発電分布特徴量 I^* の絶対値は、単セル 1 1 の乾燥度が上昇するほど増大する。

40

【 0 0 4 5 】

燃料電池の湿潤状態としては、過度に乾燥している第 1 状態 $H 1$ と、適切に湿潤している第 2 状態 $H 2$ と、過度に湿潤している第 3 状態 $H 3$ と、の 3 つの状態が存在する。第 2 状態 $H 2$ は、予め定められた湿潤度範囲にある状態である。第 1 状態 $H 1$ は、第 2 状態 H

50

2の湿潤度範囲よりも湿潤度が低い状態であり、第3状態H3は、第2状態H2の湿潤度範囲よりも湿潤度が高い状態である。図6に示す例では、発電分布特徴量 I^* が下限値 I_{LOW} よりも小さい範囲は、燃料電池が過度に乾燥している第1状態H1に相当する。また、発電分布特徴量 I^* が下限値 I_{LOW} から上限値 I_{HIGH} までの範囲は燃料電池が適切に湿潤している第2状態H2に相当し、発電分布特徴量 I^* が上限値 I_{HIGH} を超える範囲は燃料電池が過度に湿潤している第3状態H3に相当する。この場合には、発電分布特徴量 I^* の適切な範囲は、下限値 I_{LOW} から上限値 I_{HIGH} までの範囲である。

【0046】

位相差と発電分布特徴量 I^* の間には予め定められた関係 RL があるので、位相差の値から燃料電池の湿潤状態H1, H2, H3のいずれであるかを推定できる。すなわち、位相差が適切な範囲 RR 内にある場合には、燃料電池が適切に湿潤している第2状態H2にあるものと推定できる。また、位相差が適切な範囲 RR の下限値 I_{LOW} より小さい場合には燃料電池が過度に乾燥している第1状態H1にあるものと推定でき、位相差が適切な範囲 RR の上限値 I_{HIGH} より大きい場合には燃料電池が過度に湿潤している第3状態H3にあるものと推定できる。位相差や発電分布特徴量 I^* の適切な範囲は、単セル11の構造などに依存するので、燃料電池スタック10の型式毎に実験的又は経験的に予め設定される。なお、位相差や発電分布特徴量 I^* の適切な範囲を「許容範囲」とも呼ぶ。

10

【0047】

図7は、位相差の計測と運転モードの切り換えの手順を示すフローチャートである。この手順は、燃料電池システム100が起動して通常運転が開始された後に、制御装置20によって定期的に繰り返し実行される。図7の処理の開始時には、燃料電池システム100は通常運転モードで運転されている。通常運転モードとは、ステップS160で実行される燃料電池の湿潤度を下げる第1運転モードや、ステップS170で実行される燃料電池の湿潤度を上げる第2運転モードではない運転モードである。

20

【0048】

ステップS110では、交流インピーダンス計測を実行して、検出交流電圧 V_d に対する検出交流電流 I_d の位相差が演算される。具体的には、図2に示した交流信号供給部330によって交流信号が燃料電池の両端の電極に印加され、これに応じて電圧検出部310で検出された検出交流電圧 V_d と、電流検出部320で検出された検出交流電流 I_d から、位相差演算部210が位相差を演算する。この位相差は、推定部220に供給される。

30

【0049】

ステップS120では、推定部220が、位相差が図6に示した適切な範囲 RR 内にあるか否かを判定する。この範囲 RR は、下限値 I_{LOW} から上限値 I_{HIGH} までの範囲である。位相差が適切な範囲 RR 内にある場合には、燃料電池が適切に湿潤している第2状態H2にあるものと推定できるので、ステップS130において通常運転モードが維持されて、図7の処理を終了する。一方、位相差が適切な範囲 RR 内に無い場合には、ステップS140において、位相差が適切な範囲 RR の上限値 I_{HIGH} よりも大きいか否かが判断される。

40

【0050】

位相差が適切な範囲 RR の上限値 I_{HIGH} よりも大きい場合には、燃料電池が過度に湿潤している第3状態H3にあるものと推定できるので、ステップS140からステップS150に進む。ステップS150では、運転条件制御部230が、燃料電池の湿潤度を下げる第1運転モードに従って燃料電池システム100を運転する。第1運転モードでは、以下の動作の1つ以上を利用することが可能である。

(C-1a) コンプレッサ33の回転数を増加させて燃料電池へのカソードガスの供給流量を増加させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を増加させる。

(C-1b) 第1レギュレータ42の設定値を変更して燃料電池内のカソードガス圧力を低下させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を増加させる。

50

(C - 1 c) カソードガス供給部 30 に加湿器が設けられている場合には、加湿器による加湿量を減少させる。

これらの動作を利用する第 1 運転モードでは、コンプレッサ 33 の回転数と、第 1 レギュレータ 42 の設定値と、加湿器による加湿量のうちの 1 つ以上が、運転条件制御部 230 によって制御される制御量、すなわち、燃料電池システム 10 の運転条件に相当する。

【0051】

アノードガスについても同様に、以下の動作の 1 つ以上を利用して燃料電池の湿潤度を下げないようにしてもよい。

(A - 1 a) アノードガスポンプ 65 の回転数を増加させて燃料電池へのアノードガスの供給流量を増加させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を増加させる。

10

(A - 1 b) インジェクタ 55 によるアノードガスの供給量を一時的に減少させて燃料電池内のアノードガス圧力を低下させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を増加させる。

(A - 1 c) アノードガス供給部 50 に加湿器が設けられている場合には、加湿器による加湿量を減少させる。

【0052】

一方、ステップ S 140 において、位相差 が適切な範囲 RR の上限値 HIGH よりも大きい場合には、位相差 は適切な範囲 RR の下限値 LOW よりも小さい。この場合には、燃料電池が過度に乾燥している第 1 状態 H1 にあるものと推定できるので、ステップ S 140 からステップ S 160 に進む。ステップ S 160 では、運転条件制御部 230 が、燃料電池の湿潤度を上げる第 2 運転モードに従って燃料電池システム 100 を運転する。第 2 運転モードでは、以下の動作の 1 つ以上を利用することが可能である。

20

(C - 2 a) コンプレッサ 33 の回転数を減少させて燃料電池へのカソードガスの供給流量を減少させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を減少させる。

(C - 2 b) 第 1 レギュレータ 42 の設定値を変更して燃料電池のカソードガス圧力を上昇させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を減少させる。

(C - 2 c) カソードガス供給部 30 に加湿器が設けられている場合には、加湿器による加湿量を増加させる。

【0053】

30

アノードガスについても同様に、以下の動作の 1 つ以上を利用して燃料電池の湿潤度を上げるようにしてもよい。

(A - 2 a) アノードガスポンプ 65 の回転数を減少させて燃料電池へのアノードガスの供給流量を減少させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を減少させる。

(A - 2 b) インジェクタ 55 によるアノードガスの供給量を一時的に増加させて燃料電池内のアノードガス圧力を上昇させることによって、燃料電池の内部から外部に排出される水分量を減少させる。

(A - 2 c) アノードガス供給部 50 に加湿器が設けられている場合には、加湿器による加湿量を増加させる。

40

【0054】

ステップ S 150 又はステップ S 160 の後は、前述したステップ S 110 以降の処理が再度実行される。ステップ S 150 又はステップ S 160 からステップ S 110 に戻った後に、位相差 が適切な範囲 RR 内に戻った場合には、ステップ S 130 に進み、運転条件制御部 230 が通常運転モードに切り換えて図 7 の処理を終了する。

【0055】

上述した図 7 の処理は、燃料電池が適切な湿潤状態にない第 1 状態 H1 又は第 3 状態 H3 にあるものと推定された場合に、燃料電池が適切な湿潤状態にある第 2 状態 H2 になるように燃料電池システム 100 の運転条件を変更する処理である。このような処理を実行すれば、位相角 に応じて燃料電池が適切に湿潤している第 2 状態 H2 になるように燃

50

料電池システム 100 を適切に制御することができる。

【0056】

また、図7の処理は、位相差 θ により推定される発電分布特徴量 I^* が予め定められた許容範囲から外れている場合に、発電分布特徴量 I^* をその許容範囲内に収めるように燃料電池システム 100 の運転条件を変更する処理であると考えられることも可能である。このような処理を実行すれば、セル面 11s 内における局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示す発電分布特徴量 I^* が許容範囲外となった場合に、その許容範囲内に収めるように燃料電池システム 100 を適切な運転条件で制御することができる。

【0057】

なお、図6及び図7では、位相差 θ に応じて燃料電池の湿潤状態を3つの状態 $H_1 \sim H_3$ に区分していたが、燃料電池の湿潤状態を2つに区分してもよく、或いは、4つ以上に区分してもよい。これらのいずれの場合にも、運転条件制御部 230 は、位相差 θ に応じて燃料電池システム 100 の運転条件を変更して燃料電池の湿潤状態の制御を実行することが可能である。この際、運転条件制御部 230 は、位相差 θ が大きな場合に、位相差 θ が小さな場合よりも燃料電池の湿潤度を低下させる運転条件とする制御を行うことが好ましい。この制御は、位相差 θ が第1の値よりも大きな第2の値である場合に、位相差 θ が第1の値である場合よりも燃料電池の湿潤度を低下させる運転条件とする制御であると考えられることも可能である。この制御は、例えば図7のステップ S150 の制御に相当する。この制御によれば、位相差 θ に応じて燃料電池の湿潤状態を適切に制御することが可能である。

【0058】

また、運転条件制御部 230 は、位相差 θ が小さな場合に、位相差 θ が大きな場合よりも燃料電池の湿潤度を上昇させる運転条件とする制御を行うことが好ましい。この制御は、位相差 θ が第1の値よりも小さな第3の値である場合に、位相差 θ が第1の値である場合よりも燃料電池の湿潤度を上昇させる運転条件とする制御であると考えられることも可能である。この制御は、例えば図7のステップ S160 の制御に相当する。この制御によっても、位相差 θ に応じて燃料電池の湿潤状態を適切に制御することが可能である。

【0059】

以上のように、本実施形態では、セル面 11s 内における局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示す発電分布特徴量 I^* と、位相差 θ との間に所定の関係 R_L があることを利用している。本実施形態の燃料電池システム 100 によれば、この関係 R_L を用い、位相差 θ に応じて発電分布特徴量 I^* を推定するので、電流密度センサを設けることなく燃料電池のセル面 11s 内の発電分布を推定することができる。

【0060】

なお、上記実施形態では、発電分布特徴量 I^* として、下流部分 OP における局所電流密度の極値 I_{ip} から、上流部分 IP における局所電流密度の極値 I_{op} を減算した値を使用した。これ以外の発電分布特徴量 I^* を用いることも可能である。但し、発電分布特徴量 I^* は、セル面 11s 内における局所電流密度の最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示す値を含むものとするのが好ましい。この場合に、発電分布特徴量 I^* として、セル面 11s 内の発電分布が2種類の発電分布 PD1, PD2 のいずれに該当するかを区別しないものを用いてもよい。

【0061】

また、上記実施形態では、発電分布特徴量 I^* は、2種類の発電分布 PD1, PD2 のいずれに該当するかを、発電分布特徴量 I^* の正負の符号によって区別するものとしたが、これ以外の方法で2種類の発電分布 PD1, PD2 を区別するものとしてもよい。例えば、正負の符号でなく、最大値 I_{max} と最小値 I_{min} の差分を示す値とは別の独立した1ビットを用いて第1発電分布 PD1 と第2発電分布 PD2 を区別するものとしてもよい。但し、発電分布特徴量 I^* の正負の符号によって発電分布を区別するようになれば、発電分布特徴量 I^* から発電分布を容易に推定することができるという利点がある。

【0062】

10

20

30

40

50

本発明は、上述の実施形態や実施例、変形例に限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の構成で実現することができる。例えば、発明の概要の欄に記載した各形態中の技術的特徴に対応する実施形態、実施例、変形例中の技術的特徴は、上述の課題の一部または全部を解決するために、あるいは、上述の効果の一部または全部を達成するために、適宜、差し替えや組み合わせを行うことが可能である。また、その技術的特徴が本明細書中に必須なものとして説明されていなければ、適宜、削除することが可能である。

【符号の説明】

【 0 0 6 3 】

1 0 ... 燃料電池スタック、 1 1 ... 単セル、 1 1 s ... セル面、 1 2 in... アノードガス供給
 マニフォールド、 1 2 out... アノードガス排出マニフォールド、 1 4 in... カソードガス供給
 マニフォールド、 1 4 out... カソードガス排出マニフォールド、 2 0 ... 制御装置、 3 0
 ... カソードガス供給部、 3 1 ... カソードガス配管、 3 2 ... エアフローメータ、 3 3 ... コン
 プレッサ、 3 4 ... 第 1 開閉弁、 3 6 ... 分流弁、 3 7 ... 大気圧センサ、 4 1 ... カソードオフ
 ガス配管、 4 2 ... 第 1 レギュレータ、 5 0 ... アノードガス供給部、 5 1 ... アノードガス配
 管、 5 2 ... アノードガスタンク、 5 3 ... 第 2 開閉弁、 5 4 ... 第 2 レギュレータ、 5 5 ... イ
 ンジェクタ、 5 6 ... 圧力センサ、 6 1 ... アノードオフガス配管、 6 2 ... 気液分離装置、 6
 3 ... 排出弁、 6 4 ... 循環配管、 6 5 ... アノードガスポンプ、 8 0 ... D C / D C コンバータ
 、 8 1 ... パワーコントロールユニット (P C U)、 8 2 ... 負荷、 8 3 ... 二次電池、 1 0 0
 ... 燃料電池システム、 1 1 0 ... 車両、 2 1 0 ... 位相差演算部、 2 2 0 ... 推定部、 2 3 0 ...
 運転条件制御部、 3 1 0 ... 電圧検出部、 3 2 0 ... 電流検出部、 3 3 0 ... 交流信号供給部

10

20

30

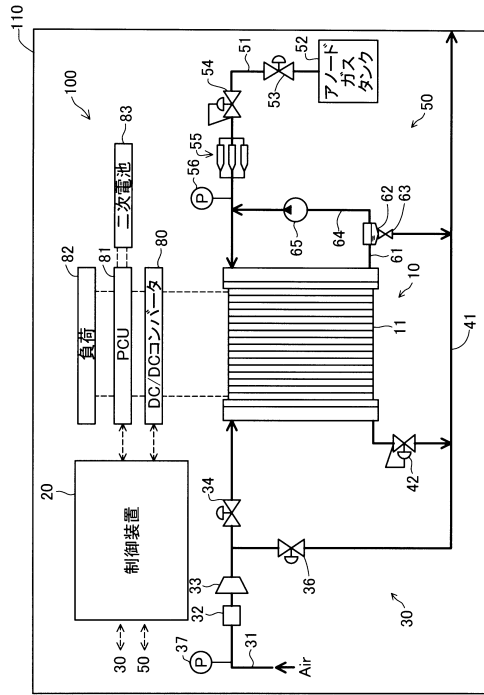
40

50

【図面】

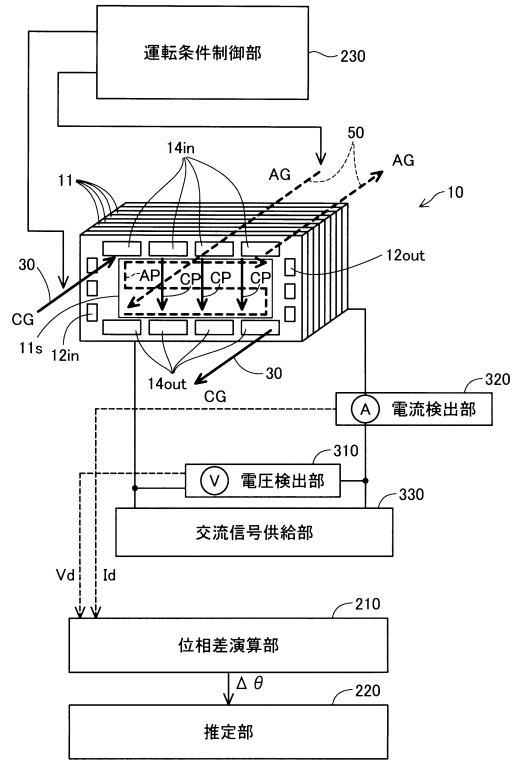
【図 1】

Fig.1



【図 2】

Fig.2

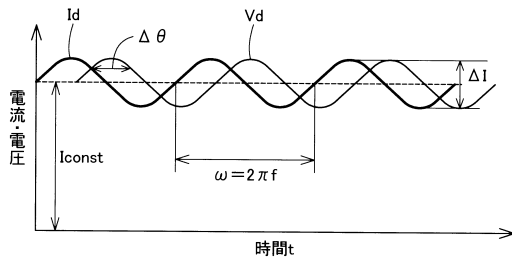


10

20

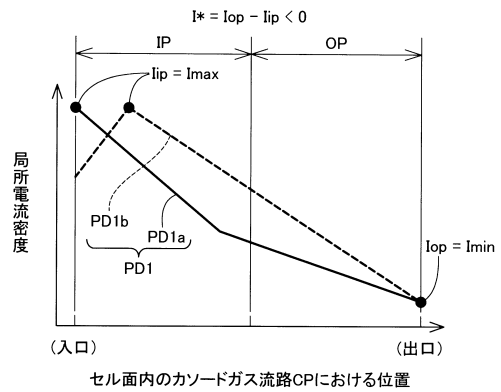
【図 3】

Fig.3



【図 4】

Fig.4



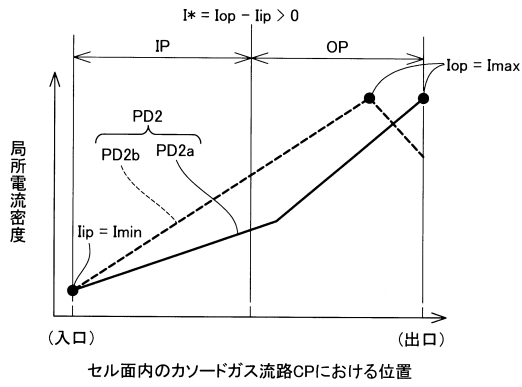
30

40

50

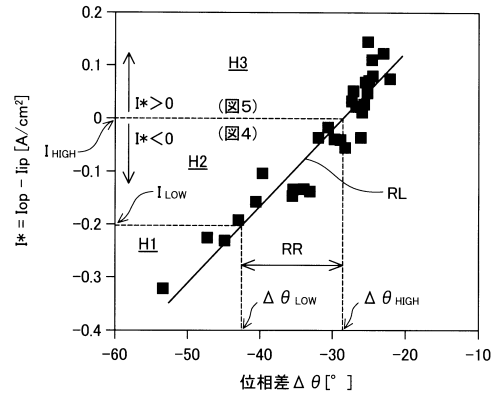
【 図 5 】

Fig.5



【 図 6 】

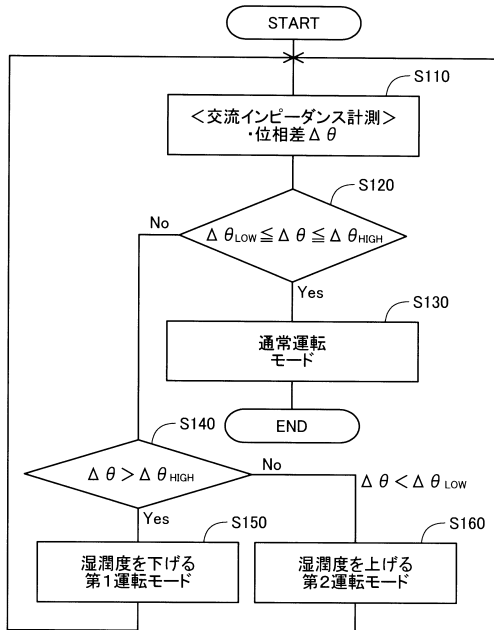
Fig.6



10

【 図 7 】

Fig.7



20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 M 8 / 1 0 (2016.01) H 0 1 M 8 / 1 0 1 0 1

(72)発明者 山本 和男
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 西井 香織

(56)参考文献 特開2008-103257(JP,A)
特開2013-109949(JP,A)
特開2008-041625(JP,A)
特開2018-181534(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H 0 1 M 8 / 0 4 - 8 / 0 6 6 8
H 0 1 M 8 / 1 0