

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4821962号
(P4821962)

(45) 発行日 平成23年11月24日(2011.11.24)

(24) 登録日 平成23年9月16日(2011.9.16)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 M 8/04 (2006.01)	H O 1 M 8/04 Z
	H O 1 M 8/04 K
	H O 1 M 8/04 J

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2005-191377 (P2005-191377)	(73) 特許権者	000003207
(22) 出願日	平成17年6月30日 (2005.6.30)		トヨタ自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2007-12419 (P2007-12419A)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(43) 公開日	平成19年1月18日 (2007.1.18)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成19年12月19日 (2007.12.19)		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
		(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	木崎 幹士
			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】

燃料電池と、

前記燃料電池について低周波領域及び高周波領域を含む2種以上の周波数領域におけるインピーダンスを測定する測定手段と、

各周波数領域におけるインピーダンスの測定結果に基づいて、前記燃料電池に対する燃料ガスの供給状態と前記燃料電池の電解質膜の湿潤状態を含む、当該燃料電池の内部状態に係わる2以上のパラメータを判断する第1判断手段とを具備し、

前記測定手段は、低周波領域におけるインピーダンス及び高周波領域におけるインピーダンスを測定し、

前記第1判断手段は、前記低周波領域におけるインピーダンスの測定結果と前記高周波領域におけるインピーダンスの測定結果の組み合わせに基づいて、前記燃料電池に対する燃料ガスの供給状態と前記燃料電池の電解質膜の湿潤状態を判断することを特徴とする燃料電池システム。

【請求項2】

前記第1判断手段には、前記燃料ガスの供給状態が良好であるか不良であるかを判断するための第1インピーダンス閾値、及び前記電解質膜の湿潤状態が良好であるか不良であるかを判断するための第2インピーダンス閾値が設定され、

前記第1判断手段は、前記低周波領域におけるインピーダンスの測定結果が第1インピーダンス閾値よりも大きい場合に前記燃料ガスの供給状態は不良であると判断する一方、

前記高周波領域におけるインピーダンスの測定結果が第2インピーダンス閾値よりも大きい場合に前記電解質膜の湿潤状態は不良であると判断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】

前記燃料電池内部の水分状態を検出する第1の検出手段と、前記燃料電池内部の燃料ガス純度を検出する第2の検出手段と、前記第1判断手段によって燃料ガスの供給状態が不良であると判断された場合に、前記各検出手段の検出結果に基づいて前記不良の要因を判断する第2判断手段とをさらに具備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】

前記第2判断手段は、前記各検出手段による検出結果の組み合わせに基づいて、前記不良の要因が、前記燃料ガスの供給不良であるか、酸化ガスの供給不良であるか、フラットティングによる燃料到達不良であるかを判断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】

前記第1の検出手段は、前記水分状態が正常であるか過剰であるかを検出し、
前記第2の検出手段は、前記燃料ガス純度が低いか高いかを検出し、
前記第2判断手段は、前記第1の検出手段によって前記水分状態が過剰であると判断された場合に前記不良の要因はフラットティングによる燃料到達不良であると判断し、
前記第2判断手段は、前記第2の検出手段によって前記燃料ガス純度が低いと判断された場合に前記不良の要因は燃料ガスの供給不良であると判断し、
前記第2判断手段は、前記第2の検出手段によって前記燃料ガス純度が高いと判断された場合に前記不良の要因は酸化ガスの供給不良であると判断することを特徴とする請求項4に記載の燃料電池システム。

【請求項6】

前記不良の要因が酸化ガスの供給不良であると判断された場合に、前記酸化ガスの供給量を上げることで当該不良を解消する酸化ガス供給制御手段をさらに具備することを特徴とする請求項5に記載の燃料電池システム。

【請求項7】

前記不良の要因が燃料ガスの供給不良であると判断された場合に、前記燃料ガスの供給量を上げることで当該不良を解消する燃料ガス供給制御手段をさらに具備することを特徴とする請求項5に記載の燃料電池システム。

【請求項8】

前記不良の要因がフラットティングであると判断された場合に、前記燃料電池からの排気ガスによる持ち去り水量を増加させることで当該不良を解消する一方、前記電界質膜の湿潤状態が不良であると判断された場合に前記持ち去り水量を低下させることで当該湿潤状態の不良を解消する水分バランス制御手段をさらに具備することを特徴とする請求項5に記載の燃料電池システム。

【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、特に交流インピーダンス法を用いてインピーダンス測定を行う燃料電池システムに関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池の内部抵抗は、燃料電池内部の電解質膜の湿潤度に影響することが知られており、燃料電池内部の水分量が少なく電解質膜が乾燥している場合には（いわゆるドライアップ）、内部抵抗が大きくなり燃料電池の出力電圧が低下する。一方、燃料電池の内部水分量が過剰である場合には（いわゆるフラットティング）、燃料電池の電極が水分で覆われ

10

20

30

40

50

てしまうため、反応物質である酸素、水素の拡散が阻害され、出力電圧が低下する。

【 0 0 0 3 】

燃料電池を高効率で運転させるためには、燃料電池の内部水分量の管理を最適に行う必要がある。燃料電池の内部水分量は、燃料電池のインピーダンスと相関関係があり、現在では交流インピーダンス法により燃料電池のインピーダンスを測定し、間接的に燃料電池内部の水分状態を把握することが行われている。

【 0 0 0 4 】

例えば、下記特許文献 1 には、燃料電池の出力信号に任意の周波数を有する正弦波信号（インピーダンス測定用信号）を印加（重畳）し、その場合のインピーダンスを測定することで燃料電池内部の水分状態をリアルタイムに把握する方法が開示されている。

10

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 8 6 2 2 0 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

ところで、燃料電池の安定的な運転を実施するためには、燃料電池内部の水分状態のほか、他のパラメータ（燃料ガスや酸化ガスの供給状態など）を把握して燃料電池の内部状態を総合的に判断する必要がある。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、上記従来技術においては、測定したインピーダンスを利用して燃料電池内部の水分状態のみを把握していたため、燃料電池内部の水分状態の異常（ドライアップやフラットニング）を検出することはできても、他のパラメータの異常を検出することはできず、燃料電池の内部状態を正確に判断することができないという問題があった。

20

【 0 0 0 8 】

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、燃料電池の内部状態を正確に把握することができる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】

【 0 0 0 9 】

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、燃料電池と、前記燃料電池について 2 種以上の周波数領域におけるインピーダンスを測定する測定手段と、各周波数領域におけるインピーダンスの測定結果に基づいて、燃料電池の内部状態に係わる 2 以上のパラメータを判断する第 1 判断手段とを具備することを特徴とする。

30

【 0 0 1 0 】

かかる構成によれば、2 種以上の周波数領域（高周波領域、低周波領域など）におけるインピーダンスを測定し、この測定結果をもとに燃料電池の電解質膜の湿潤状態や燃料ガスの供給状態といった燃料電池の内部状態に係わる 2 以上のパラメータを判断する。かかる判断を行うことで、従来に比して燃料電池の内部状態を正確に把握することができ、高効率でロバスト性の高い燃料電池システムの制御が可能となる。

【 0 0 1 1 】

ここで、上記構成にあつては、前記 2 種以上の周波数領域は、低周波領域（第 1 周波数領域）及び高周波領域（第 1 周波数領域よりも周波数が高い第 2 周波数領域）を含む 2 種以上の周波数領域であり、前記 2 以上のパラメータには、前記燃料電池に対する燃料ガスの供給状態と前記燃料電池の電解質膜の湿潤状態が含まれる態様が好ましい。

40

【 0 0 1 2 】

また、前記測定手段は、低周波領域におけるインピーダンス及び高周波領域におけるインピーダンスを測定し、前記第 1 判断手段は、前記低周波領域におけるインピーダンスの測定結果と前記高周波領域におけるインピーダンスの測定結果の組み合わせに基づいて、前記燃料電池に対する燃料ガスの供給状態と前記燃料電池の電解質膜の湿潤状態を判断する態様も好ましい。

【 0 0 1 3 】

50

また、前記第 1 判断手段には、前記燃料ガスの供給状態が良好であるか不良であるかを判断するための第 1 インピーダンス閾値、及び前記電解質膜の湿潤状態が良好であるか不良であるかを判断するための第 2 インピーダンス閾値が設定され、前記第 1 判断手段は、前記低周波領域におけるインピーダンスの測定結果が第 1 インピーダンス閾値よりも大きい場合に前記燃料ガスの供給状態は不良であると判断する一方、前記高周波領域におけるインピーダンスの測定結果が第 2 インピーダンス閾値よりも大きい場合に前記電解質膜の湿潤状態は不良であると判断する態様も好ましい。

【 0 0 1 4 】

また、前記燃料電池内部の水分状態を検出する第 1 の検出手段と、前記燃料電池内部の燃料ガス純度を検出する第 2 の検出手段と、前記第 1 判断手段によって燃料ガスの供給状態が不良であると判断された場合に、前記各検出手段の検出結果に基づいて前記不良の要因を判断する第 2 判断手段とをさらに具備する態様も好ましい。

10

【 0 0 1 5 】

また、前記第 2 判断手段は、前記各検出手段による検出結果の組み合わせに基づいて、前記不良の要因が、前記燃料ガスの供給不良であるか、酸化ガスの供給不良であるか、フラットニングによる燃料到達不良であるかを判断する態様も好ましい。

【 0 0 1 6 】

また、前記第 1 の検出手段は、前記水分状態が正常であるか過剰であるかを検出し、前記第 2 の検出手段は、前記燃料ガス純度が低いか高いかを検出し、前記第 2 判断手段は、前記第 1 の検出手段によって前記水分状態が過剰であると判断された場合に前記不良の要因はフラットニングによる燃料到達不良であると判断し、前記第 2 判断手段は、前記第 2 の検出手段によって前記燃料ガス純度が低いと判断された場合に前記不良の要因は燃料ガスの供給不良であると判断し、前記第 2 判断手段は、前記第 2 の検出手段によって前記燃料ガス純度が高いと判断された場合に前記不良の要因は酸化ガスの供給不良であると判断する態様も好ましい。

20

また、前記不良の要因が酸化ガスの供給不良であると判断された場合に、前記酸化ガスの供給量を上げることで当該不良を解消する酸化ガス供給制御手段をさらに具備する態様や、前記不良の要因が燃料ガスの供給不良であると判断された場合に、前記燃料ガスの供給量を上げることで当該不良を解消する燃料ガス供給制御手段をさらに具備する態様も好ましい。

30

【 0 0 1 7 】

また、前記不良の要因がフラットニングであると判断された場合に、前記燃料電池からの排気ガスによる持ち去り水量を増加させることで当該不良を解消する一方、前記電界質膜の湿潤状態が不良であると判断された場合に前記持ち去り水量を低下させることで当該湿潤状態の不良を解消する水分バランス制御手段をさらに具備する態様も好ましい。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

以上説明したように、本発明によれば、燃料電池の内部状態を正確に把握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 】

40

【 0 0 1 9 】

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。

【 0 0 2 0 】

A . 本実施形態

A - 1 . 全体構成

図 1 は本実施形態に係わ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、船舶や飛行機など) にも適用可能である。

【 0 0 2 1 】

50

燃料電池（セルスタック）２０は、供給される燃料ガス及び酸化ガスから負荷を駆動する電力を発生する手段であり、複数の単セルを直列に積層したスタック構造を有している。

燃料電池システム１０は、燃料電池２０に接続された燃料ガス循環供給系と酸化ガス供給系とを備えている。燃料電池２０の燃料ガス循環供給系は、燃料ガス供給源３０、燃料ガス供給路３１、燃料電池２０、燃料ガス循環路３２、及びアノードオフガス流路３３を含んで構成されている。

【００２２】

燃料ガス供給源３０は、例えば高圧水素タンク又は水素貯蔵タンク等の水素貯蔵源によって構成される。燃料ガス供給路３１は燃料ガス供給源３０から供給される燃料ガスを燃料電池２０のアノード極に導くためのガス流路であり、そのガス流路には上流から下流にかけてタンクバルブＨ２０１、高圧レギュレータＨ９、低圧レギュレータＨ１０、水素供給バルブＨ２００、及びＦＣ入口バルブＨ２１が各々配設されている。高圧に圧縮された燃料ガスは高圧レギュレータＨ９にて中圧に減圧され、更に低圧レギュレータＨ１０にて低圧（通常運転圧力）に減圧される。減圧された燃料ガスは、ＦＣ入口バルブＨ２１を介して燃料電池２０に供給される。燃料電池２０に供給される燃料ガスの圧力は、圧力センサＰ１によって検出される。

【００２３】

燃料ガス循環路３２は未反応燃料ガスを燃料電池２０に還流させるための帰還ガス流路であり、そのガス流路には上流から下流にかけてＦＣ出口バルブＨ２２、水素ポンプ（燃料ポンプ）６３、及び逆止弁Ｈ５２が各々配設されている。水素ポンプ６３は燃料電池２０から排出される未反応燃料ガスの流量を制御する手段であり、該燃料電池２０から排出される未反応燃料ガスを適度に加圧し、燃料ガス供給路３１に供給する。逆止弁Ｈ５２は燃料ガス供給路３１から燃料ガス循環路３２への燃料ガスの逆流を抑制する。アノードオフガス流路３３は燃料電池２０から排出された水素オフガスをシステム外（外部）に排出するためのガス流路であり、そのガス流路にはパージバルブ（パージ弁）Ｈ５１が配設されている。

【００２４】

上述したタンクバルブＨ２０１、水素供給バルブＨ２００、ＦＣ入口バルブＨ２１、ＦＣ出口バルブＨ２２、及びパージバルブＨ５１は、後述する制御部５０による制御のもと、各ガス流路３１～３３又は燃料電池２０へ供給、排出等される燃料ガス量を制御するためのシャットバルブであり、例えば、電磁弁によって構成されている。このような電磁弁として、例えば、オンオフ弁、或いはＰＷＭ制御で弁開度をリニアに調整できるリニア弁等が好適である。

【００２５】

燃料電池２０の酸化ガス供給系は、エアコンプレッサ４０、酸化ガス供給路４１、及びカソードオフガス流路４２を含んで構成されている。エアコンプレッサ４０はエアフィルタ６１を介して外気から取り込んだ空気を圧縮し、その圧縮エアを酸化ガスとして燃料電池２０のカソード極に供給する。燃料電池２０の電池反応に供した後の酸化オフガスはカソードオフガス流路４２を流れてシステム外に排気される。酸素オフガスは燃料電池２０での電池反応により生成された水分を含むため高湿潤状態になっている。

【００２６】

加湿モジュール６２は、酸化ガス供給路４１を流れる低湿潤状態の酸化ガスとカソードオフガス流路４２を流れる高湿潤状態の酸素オフガスとの間で水分交換を行い、燃料電池２０に供給される酸化ガスを適度に加湿する。燃料電池２０に供給される酸化ガスの背圧はカソードオフガス流路４２のカソード出口付近に配設された圧力調整弁Ａ４によって調圧される。なお、カソードオフガス流路４２を介して外部に排出される酸素オフガスの流量はエアコンプレッサ４０によって制御される。

【００２７】

バッテリー（蓄電器）５４は、充放電可能な二次電池であり、例えばニッケル水素バッテ

10

20

30

40

50

りなどにより構成されている。その他、種々のタイプの二次電池を適用することができる。また、バッテリー５４に代えて、二次電池以外の充放電可能な蓄電器、例えばキャパシタを用いても良い。このバッテリー５４は、燃料電池２０の放電経路に介挿され、燃料電池２０と並列接続されている。

【００２８】

バッテリー５４とインバータ５１の間にはＤＣ／ＤＣコンバータ（電圧変換装置）５３が設けられている。ＤＣ／ＤＣコンバータ５３は、直流の電圧変換器であり、バッテリー５４から入力されたＤＣ電圧を調整して燃料電池２０側に出力する機能、燃料電池２０または同期モータＭ３から入力されたＤＣ電圧を調整してバッテリー５４側に出力する機能を備えている。このＤＣ／ＤＣコンバータ５３の機能により、バッテリー５４の充放電が実現される。

10

【００２９】

バッテリー２０とＤＣ／ＤＣコンバータ５３の間には、図示せぬ車両補機（例えば照明機器、空調機器など）やＦＣ補機（例えば燃料ガスや改質原料を供給するためのポンプなど）が接続され、バッテリー２０はこれら補機の電源となる。

【００３０】

上述した各要素の運転は、制御ユニット５０によって制御される。制御ユニット５０は、内部にＣＰＵ、ＲＡＭ、ＲＯＭを備えたマイクロコンピュータとして構成されている。制御ユニット５０は、インバータ５１のスイッチングを制御して要求動力に応じた三相交流を同期モータＭ３に出力する。また、制御ユニット５０は、要求動力に応じた電力が供給されるよう、燃料電池２０及びＤＣ／ＤＣコンバータ５３の運転を制御する。この制御ユニット５０には、種々のセンサ信号が入力される。例えば、燃料電池２０に供給される燃料ガスの圧力を検出する圧力センサＰ１、燃料電池２０の温度を検出する温度センサＴ１、バッテリー２０の充電状態ＳＯＣ（State Of Charge）を検出するＳＯＣセンサ２１、計時用のタイマＴＭなどから、種々のセンサ信号が制御ユニット１０に入力される。

20

【００３１】

A - 2 . インピーダンス測定の説明

図２は、交流インピーダンス法によるインピーダンス測定の結果を複素平面にあらわした図である。

所定条件のもと、燃料電池の各周波数における内部インピーダンスを測定し、周波数変化に伴うインピーダンスの軌跡を複素平面上にプロット（コールコールプロット）すると、図２に示すようなインピーダンス曲線が得られる。ここで、図２に点線で示す高周波領域のインピーダンスと一点鎖線で示す低周波領域のインピーダンスは、それぞれ燃料電池２０の特性を端的にあらわす情報である。本実施形態では、かかる高周波領域のインピーダンス及び低周波領域のインピーダンスを測定し、この測定結果とともに、これを補助するシステムパラメータ（燃料電池の内部状態に係わるパラメータ；後述）を利用して燃料電池２０の内部状態を推定することで燃料電池２０の最適な運転を実現する。

30

【００３２】

図３は、インピーダンス測定を説明するための機能ブロック図である。

図３に示すように、制御ユニット５０は、目標電圧決定部１１０、重畳信号生成部１２０、電圧指令信号生成部１３０、インピーダンス演算部１４０、第１状態判定部１５０、第２状態判定部１６０、水分バランス制御部１７０、エア供給制御部１８０、燃料ガス供給制御部１９０を備えている。

40

【００３３】

目標電圧決定部１１０は、アクセルペダルセンサ（図示略）やＳＯＣセンサ２１などから入力される各センサ信号に基づいて出力目標電圧（例えば３００Ｖなど）を決定し、これを電圧指令信号生成部１３０に出力する。

【００３４】

重畳信号生成部１２０は、出力目標電圧に重畳すべきインピーダンス測定用信号（例えば振幅値２Ｖの特定周波数のサイン波など）を生成し、これを電圧指令信号生成部１３０

50

に出力する。このインピーダンス測定用信号の振幅値は、重畳信号振幅制御部（図示略）によって適宜変更（例えば振幅値 2 V、4 V など）される。なお、出力目標電圧やインピーダンス測定用信号の各パラメータ（波形の種類、周波数、振幅値）は、システム設計などに応じて適宜設定すれば良い。

【0035】

電圧指令信号生成部 130 は、出力目標電圧にインピーダンス測定用信号を重畳し、電圧指令信号 $V_{fc r}$ として DC / DC コンバータ 53 に出力する。DC / DC コンバータ 53 は、与えられる電圧指令信号 $V_{fc r}$ に基づき燃料電池 20 等の電圧制御を行う。

【0036】

インピーダンス演算部 140 は、電圧センサ 141 によって検出される燃料電池 20 の電圧（FC 電圧） V_f 及び電流センサ 142 によって検出される燃料電池 20 の電流（FC 電流） I_f を所定のサンプリングレートでサンプリングし、フーリエ変換処理（FFT 演算処理や DFT 演算処理）などを施す。インピーダンス演算部（測定手段）140 は、フーリエ変換処理後の FC 電圧信号をフーリエ変換処理後の FC 電流信号で除するなどして燃料電池 20 のインピーダンスを求めた後、低周波領域のインピーダンス測定値と高周波領域のインピーダンス測定値を抽出して第 1 状態判定部 150 に出力する。

【0037】

ここで、低周波とは例えば 0.1 ~ 10 Hz 程度の周波数であり、かかる低周波領域のインピーダンス測定値によって燃料電池 20 の電解質膜への燃料供給状態を判断することができる（詳細は後述）。一方、高周波とは例えば 250 ~ 500 Hz 程度の周波数であり、かかる高周波領域のインピーダンス測定値によって燃料電池 20 の電解質膜の湿潤状態を判断することができる（詳細は後述）。なお、インピーダンス測定に利用する周波数は上記に限定する趣旨ではなく、いずれの周波数を採用するかは任意である。

【0038】

第 1 状態判定部（第 1 判断手段）150 は、燃料電池 20 の内部状態の概略を判断する手段であり、インピーダンスメモリ M1 を備えている。インピーダンスメモリ M1 には、様々な条件のもと、実験などによって求めた複数種類のインピーダンス曲線が格納されている。具体的には、燃料電池 20 の温度、燃料電池 20 の負荷状態、燃料電池 20 の電解質膜の状態、供給ガスの過剰率など、インピーダンスに係わるパラメータを変えたときの各インピーダンス曲線がインピーダンスメモリ M1 に格納されている。

【0039】

第 1 状態判定部 150 は、インピーダンス演算部 140 から各周波数領域におけるインピーダンス測定値を受け取ると、まず、温度センサ T1、圧力センサ P1 などから得られる検出結果に基づいて、当該時点におけるインピーダンス測定の条件に最も適合したインピーダンス曲線をインピーダンスメモリ M1 から抽出する。そして、第 1 状態判定部 150 は、各周波数領域におけるインピーダンス測定値と抽出したインピーダンス曲線とを比較して燃料電池 20 の内部状態の概略を判断する。

【0040】

図 4 は、燃料電池 20 の内部状態の概略を判断するための説明図である。

まず、第 1 状態判定部 150 は、低周波領域のインピーダンス測定値（以下、低周波インピーダンス）がインピーダンス曲線上の第 1 インピーダンス閾値以下であるか否かを判断する。低周波インピーダンスが第 1 インピーダンス閾値以下である場合には、低周波インピーダンスは「小」とであると判断する一方、低周波インピーダンスが第 1 インピーダンス閾値よりも大きい場合には、低周波インピーダンスは「大」とであると判断する。

【0041】

同様に、第 1 状態判定部 150 は、高周波領域のインピーダンス測定値（以下、高周波インピーダンス）がインピーダンス曲線上の第 2 インピーダンス閾値以下であるか否かを判断する。高周波インピーダンスが第 2 インピーダンス閾値以下である場合には、高周波インピーダンスは「小」とであると判断する一方、高周波インピーダンスが第 2 インピーダンス閾値よりも大きい場合には、高周波インピーダンスは「大」とであると判断する。

【 0 0 4 2 】

第 1 状態判定部 1 5 0 は、これらの判断結果を組み合わせることにより、図 4 及び以下に示すように燃料電池 2 0 の内部状態の概略を判断する。

(1) 「低周波インピーダンス；小」かつ「高周波インピーダンス；小」 良好 (状態 A)

(2) 「低周波インピーダンス；大」かつ「高周波インピーダンス；小」 燃料状態不良 (状態 B)

(3) 「低周波インピーダンス；小」かつ「高周波インピーダンス；大」 ドライアップ (状態 C)

(4) 「低周波インピーダンス；大」かつ「高周波インピーダンス；大」 ドライアップ及び燃料状態不良 (状態 D) 10

【 0 0 4 3 】

ここで、状態 A は、燃料電池 2 0 の電解質膜の湿潤状態及び燃料電池 2 0 への燃料ガスの供給状態がいずれも良好であることを意味し、状態 B は、燃料電池 2 0 への燃料ガスの供給状態が不良 (燃料状態不良) であることを意味し、状態 C は、電解質膜の湿潤状態が不良 (ドライアップ) であることを意味し、状態 D は、電解質膜の湿潤状態が不良 (ドライアップ) であって燃料状態不良であることを意味する。

【 0 0 4 4 】

第 1 状態判定部 1 5 0 は、燃料状態不良 (状態 B または状態 D) と判断した場合には、その旨を第 2 の状態検出部 1 6 0 に通知する一方、ドライアップ (状態 C または状態 D) と判断した場合は、その旨を水分バランス制御部 1 7 0 に通知する。 20

【 0 0 4 5 】

第 2 状態判定部 (第 2 判断手段) 1 6 0 は、第 1 状態判定部 1 5 0 によって燃料状態不良であると判断された場合に、その要因が何であるか (すなわち、燃料電池 2 0 の内部状態の詳細) を判断する。詳述すると、第 2 状態判定部 1 6 0 は、第 1 状態判定部 1 5 0 から燃料状態不良である旨の通知を受け取ると、以下に示す水分バランスモニタ 1 6 1、燃料ガス純度モニタ 1 6 2 を利用して燃料電池 2 0 の内部状態の詳細を判断する。

【 0 0 4 6 】

< 水分バランスモニタ >

水分バランスモニタ (第 1 の検出手段) 1 6 1 は、燃料電池内部の水分状態を検出する手段であり、下記式 (A) を利用して燃料電池内部の残留水分量を求め、求めた残留水分量と基準水分量 (後述) とを比較することにより、燃料電池内部の水分量 (水分状態) が過剰であるか、正常であるかを判断する。 30

$$W r e = W c o + W h u - W e o - W e h \quad \cdot \cdot \cdot (A)$$

W r e ; 燃料電池内部の残留水分量

W c o ; 燃料電池の発電による生成水量

W h u ; 加湿モジュールによる加湿水量

W e o ; 燃料電池の排気ガス (アノード側) による持ち去り水量

W f o ; 燃料電池の排気ガス (カソード側) による持ち去り水量

【 0 0 4 7 】

詳述すると、水分バランスモニタ 1 6 1 は、各センサから供給される燃料電池 2 0 の温度、排気ガスの温度、ガス流量、加湿モジュール 6 2 の加湿能力などに基づいて各パラメータ値を求め、求めたパラメータ値を式 (A) に代入することにより燃料電池内部の残留水分量 W r e を求める。水分バランスモニタ 1 6 1 は、求めた残留水分量 W r e と第 1 データベース 1 6 1 a に登録されている基準水分量とを比較することにより、燃料電池内部の水分量が過剰であるか、正常であるかを判断する。具体的には、求めた残留水分量 W r e が基準水分量以下である場合には、燃料電池内部の水分量は「正常」とであると判断する一方、求めた残留水分量 W r e が基準水分量を上回っている場合には燃料電池内部の水分量は「過剰」とであると判断する (図 5 参照)。なお、水分バランスモニタ 1 6 1 の検出精度を確保するためには、インピーダンス計測値が所定の値になったとき等に水分量の積算 40 50

値をリセットすれば良い。

【0048】

< 燃料ガス純度モニタ >

燃料ガス純度モニタ（第2の検出手段）162は、燃料電池内部の燃料ガス純度を検出する手段であり、下記式（B）を利用して燃料電池内部の燃料ガス純度を求め、求めた燃料ガス純度と基準ガス純度（後述）とを比較することにより、燃料電池内部の燃料ガス純度が高いか、低いかを判断する。

$$G_{pr} = 100 - G_{ea} - G_{su} + G_{re} \quad \dots (B)$$

G_{pr} ；燃料ガス純度（%）

G_{ea} ；初期状態における不純ガス濃度

G_{su} ；燃料ガス供給源から供給される不純ガス濃度

G_{re} ；パージバルブから放出される不純ガス濃度

10

【0049】

詳述すると、燃料ガス純度モニタ162は、ガス流路31、32や燃料電池20に設置されている不純ガス濃度センサ（図示略）が検出する不純ガス（窒素など）の濃度を式（B）に代入し、燃料電池内部の燃料ガス純度 G_{pr} を求める。ここで、初期状態における不純ガス濃度 G_{ea} は、燃料電池20を停止してからの放置時間、燃料電池20の温度、燃料ガスの圧力に大きく依存するため、タイマTMや温度センサT1、圧力センサP1などを利用してこれらのパラメータ値を求め、これらパラメータ値を考慮して不純ガス濃度を推定しても良い。また、不純ガス濃度センサの代わりに燃料ガス濃度センサを利用し、検出される各燃料ガス濃度から各不純ガス濃度を求めるようにしても良い。

20

【0050】

燃料ガス純度モニタ162は、燃料ガス純度 G_{pr} を求めると、求めた燃料ガス純度 G_{pr} と第2データベース162aに登録されている基準ガス純度とを比較することにより、燃料電池内部の燃料ガス純度が高いか、低いかを判断する。具体的には、求めた燃料ガス純度 G_{pr} が基準ガス純度以下である場合には、燃料電池内部の燃料ガス純度は「低」とであると判断する一方、求めた燃料ガス純度 G_{pr} が基準ガス純度 G_{ba} を上回っている場合には燃料電池内部の燃料ガス純度は「高」とであると判断する（図5参照）。

【0051】

第2状態判定部160は、以上説明した水分バランスモニタ161、燃料ガス純度モニタ162による判断結果を組み合わせることにより、図5及び以下に示すように燃料電池20の内部状態の詳細を判断する。

30

（5）「水分バランスモニタ；過剰」かつ「燃料ガス純度モニタ；低」 燃料ガス供給不良及びフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良（状態E）

（6）「水分バランスモニタ；過剰」かつ「燃料ガス純度モニタ；高」 フラットニングによる電解質膜への燃料到達不良（状態F）

（7）「水分バランスモニタ；正常」かつ「燃料ガス純度モニタ；低」 燃料ガス供給不良（状態G）

（8）「水分バランスモニタ；正常」かつ「燃料ガス純度モニタ；高」 エア供給不良（状態H）

40

【0052】

ここで、状態Eは、第1状態判定部150によって燃料状態不良と判断された要因が燃料ガスの供給不良及びフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良であることを意味し、状態Fは、上記要因がフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良であることを意味し、状態Gは、上記要因が燃料ガスの供給不良であることを意味し、状態Hは、上記要因がエア（酸化ガス）の供給不良であることを意味する。

【0053】

第2状態判定部160は、エア供給不良（状態H）と判断した場合には、その旨をエア供給制御部180に通知する一方、燃料ガス供給不良（状態Eまたは状態G）と判断した場合には、その旨を燃料ガス供給制御部190に通知する。さらに、第2状態判定部16

50

0 は、フラットニングによる電解質膜への燃料到達不良（状態 E または状態 F）と判断すると、その旨を水分バランス制御部 170 に通知する。

【0054】

エア供給制御部（酸化ガス供給制御手段）180 は、第 2 状態判定部 160 からエア供給不良である旨の通知を受け取ると、エアストイキ比マップ（図示略）などを利用してエアストイキ比を上昇させるか、あるいは燃料電池 20 の出力を制限して発電量に対する相対的な燃料ガス供給量を上げる制御を行う。かかる制御を行うことにより、エア供給不良は解消され、燃料電池システム 10 は正常な運転状態に復帰する。

【0055】

燃料ガス供給制御部（燃料ガス供給制御手段）190 は、第 2 状態判定部 160 から燃料ガス供給不良である旨の通知を受け取ると、燃料ガストイキ比マップ（図示略）などを利用して燃料ガスエアストイキ比を上昇させるか、パージバルブ H51 の開度等を上げて燃料ガスのパージ量を増やすか、あるいは燃料電池 20 の出力を制限して発電量に対する相対的な燃料ガス供給量を上げる制御を行う。かかる制御を行うことにより、燃料ガス供給不良は解消され、燃料電池システム 10 は正常な運転状態に復帰する。

【0056】

水分バランス制御部（水分バランス制御手段）170 は、第 1 状態判定部 150 からドライアップである旨の通知を受け取るか、あるいは第 2 状態判定部 160 からフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良である旨の通知を受け取ると、以下に示す制御を行う。

水分バランス制御部 190 は、第 1 状態判定部 150 からドライアップである旨の通知を受け取ると、燃料電池 20 の排気ガスによる持ち去り水量を低下させるべく、燃料電池 20 を冷却する冷媒（水など）の温度を低下させるか、上述したエアストイキ比を低下させるか、圧力調整弁 A4 を調整してエア背圧を上昇させる制御を行う。その他として燃料電池 20 からバッテリー 54 に充電することで燃料電池 20 による生成水量を増加させても良い。かかる制御を行うことにより、ドライアップは解消され、燃料電池システム 10 は正常な運転状態に復帰する。

【0057】

一方、水分バランス制御部 190 は、第 2 状態判定部 150 からフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良である旨の通知を受け取ると、上記持ち去り水量を増加させるべく、燃料電池 20 の冷媒の温度を上昇させるか、上述したエアストイキ比を上昇させるか、圧力調整弁 A4 を調整してエア背圧を低下させる制御を行う。その他として燃料電池 20 の出力を制限することで生成水量を減少させるか、上述した燃料ガスエアストイキ比を上昇させるか、パージバルブ H51 の開度等を上げて燃料ガスのパージ量を増やす制御を行う。かかる制御を行うことにより、フラットニングによる電解質膜への燃料到達不良は解消され、燃料電池システム 10 は正常な運転状態に復帰する。

【0058】

以上説明したように、本実施形態によれば、燃料電池の内部状態を把握するために、2 種類以上のインピーダンス（高周波領域のインピーダンス及び低周波領域のインピーダンス）を測定するとともに、これを補助するシステムパラメータ（燃料電池の内部水分量や燃料ガス純度など）についても測定を行う。かかる測定結果を利用することで、従来に比して燃料電池の内部状態を正確に把握することができ、高効率でロバスト性の高い燃料電池システムの制御が可能となる。

【0059】

また、図 3 に示すシステムにおいては、上記方法にてインピーダンス測定用信号を燃料電池出力に重畳したが、本発明は 2 種類以上のインピーダンス測定値を利用して燃料電池の状態把握を実現するものであるから、上記構成に限定されるものではない。例えば、高周波で負荷を変動させることのできる装置を燃料電池出力端に接続することにより、インピーダンス計測用信号の重畳を実現してもよい。さらに、個別にインピーダンス測定のできる装置をシステムに接続することにより、インピーダンス計測値をシステム制御装置（

10

20

30

40

50

制御ユニット 50) が受け取ることのできる構成を採ることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本実施形態に係る燃料電池システムの構成を示す図である。

【図2】同実施形態に係るインピーダンス測定の結果を示す図である。

【図3】同実施形態に係るインピーダンス測定を説明するための機能ブロック図である。

【図4】同実施形態に係る燃料電池の内部状態の概略を判断するための説明図である。

【図5】同実施形態に係る燃料電池の内部状態の詳細を判断するための説明図である。

【符号の説明】

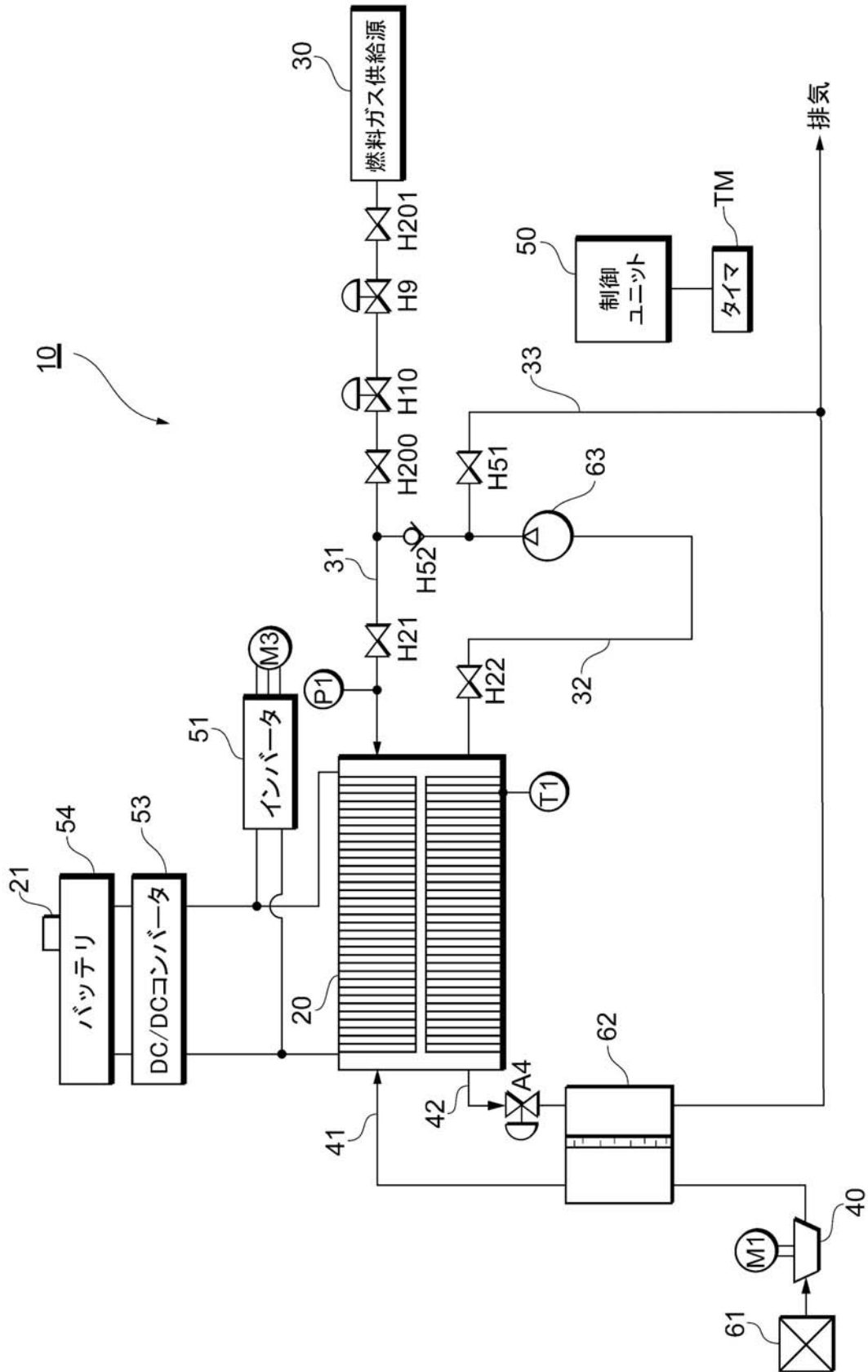
【0061】

10・・・燃料電池システム、20・・・燃料電池、30・・・燃料ガス供給源、40・・・エアコンプレッサ、50・・・制御ユニット、51・・・インバータ、53・・・DC/DCコンバータ、54・・・バッテリー、P1・・・圧力センサ、T1・・・温度センサ、21・・・SOCセンサ、TM・・・タイマ、H51・・・パージバルブ、62・・・加湿モジュール、110・・・目標電圧決定部、120・・・重畳信号生成部、130・・・電圧指令信号生成部、140・・・インピーダンス演算部、141・・・電圧センサ、142・・・電流センサ、150・・・第1状態判定部、M1・・・インピーダンスメモリ、160・・・第2状態判定部、161・・・水分バランスモニタ、161a・・・第1データベース、162・・・燃料ガス純度モニタ、162a・・・第2データベース、170・・・水分バランス制御部、180・・・エア供給制御部、190・・・燃料ガス供給制御部。

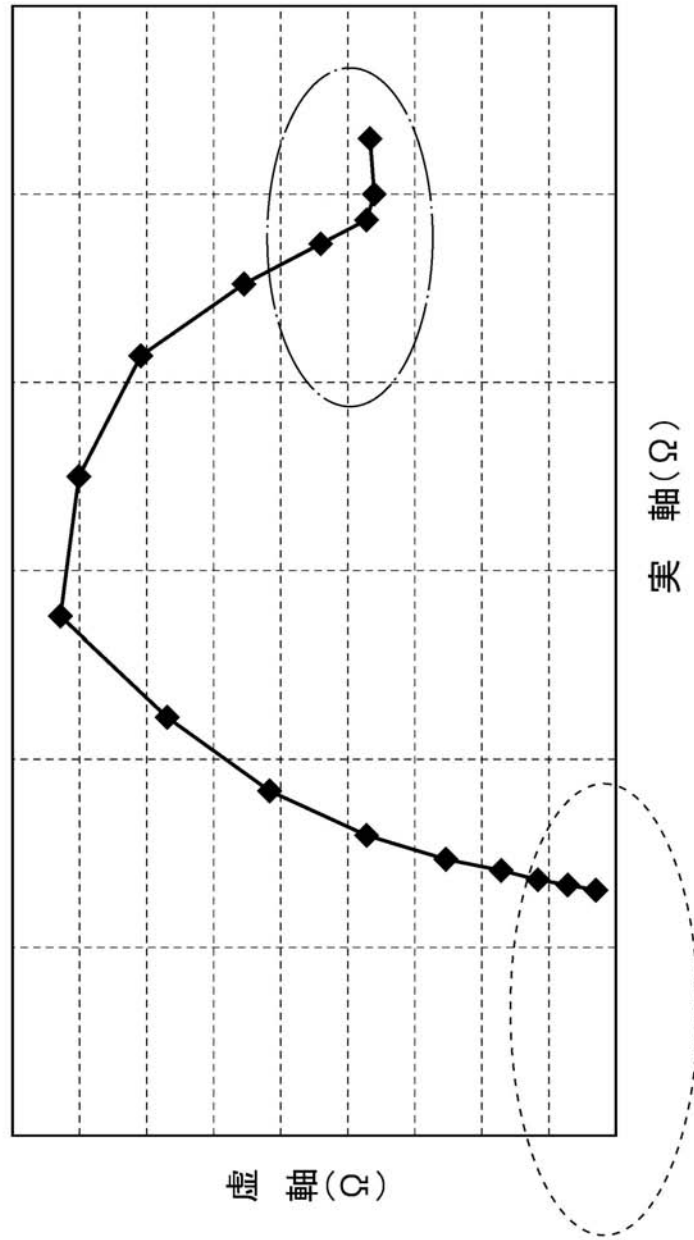
10

20

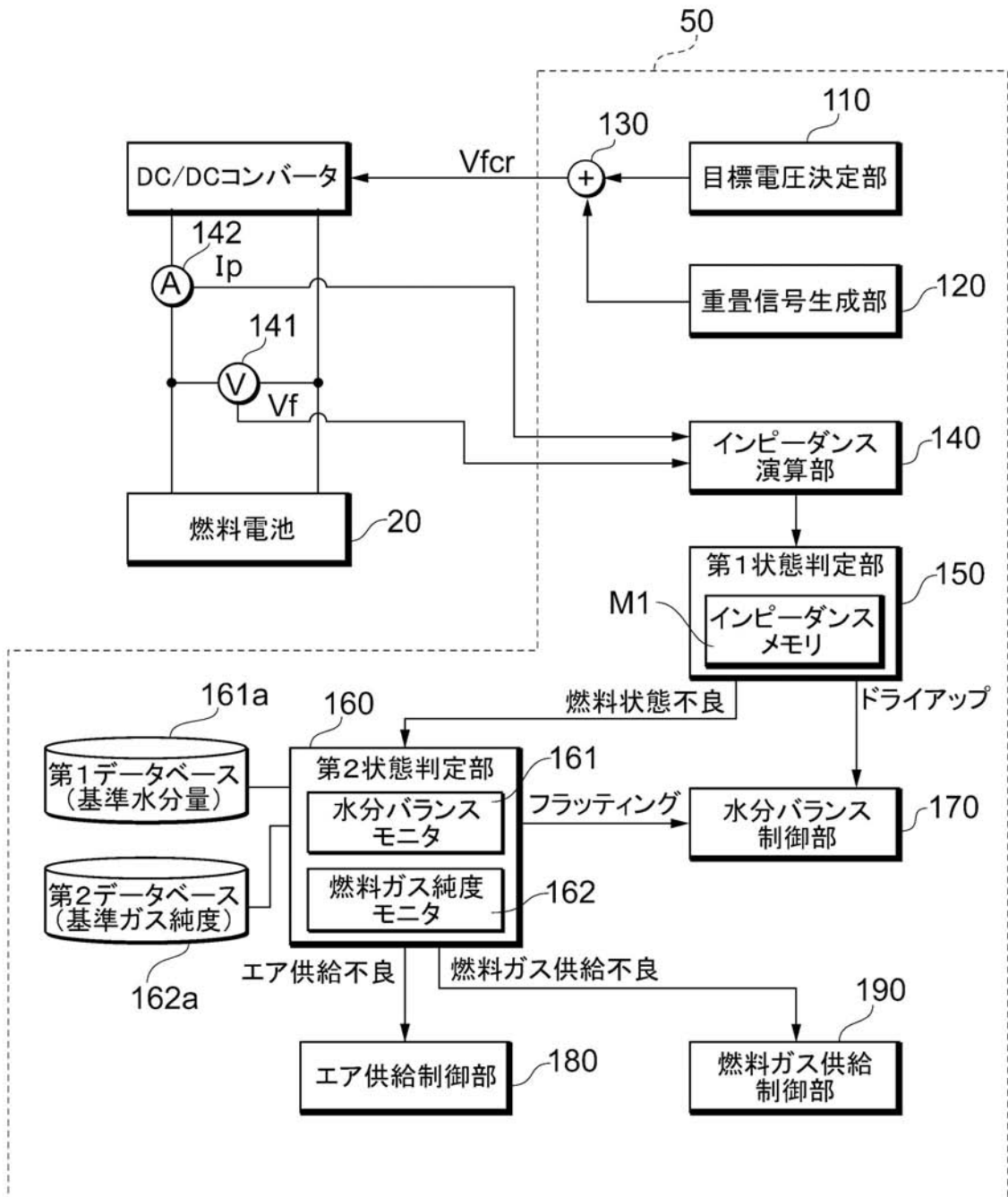
【図 1】



【図 2】



【図3】



【図 4】

	高周波インピーダンス 小	高周波インピーダンス 大
低周波インピーダンス 小	状態A	状態C
低周波インピーダンス 大	状態B	状態D

状態A: 良好

状態B: 燃料状態不良

状態C: ドライアップ

状態D: ドライアップ及び燃料状態不良

【図 5】

	水分バランスモニタ 過剰	水分バランスモニタ 正常
燃料ガス純度モニタ 低	状態E	状態G
燃料ガス純度モニタ 高	状態F	状態H

状態E: 燃料ガス供給不良及びフラットニングによる電解質膜への燃料到達不良

状態F: フラットニングによる電解質膜への燃料到達不良

状態G: 燃料ガス供給不良

状態H: エア供給不良

フロントページの続き

- (72)発明者 折橋 信行
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 濱田 成孝
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 繁 雅裕
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 守安 太郎

- (56)参考文献 特開2005-285614(JP,A)
特開2005-108674(JP,A)
特開2002-367650(JP,A)
国際公開第2003/098769(WO,A2)
特開2004-509446(JP,A)
特開2003-086220(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/04