

(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.

H01M 8/04 (2006.01)

F 1

H01M	8/04	Z
H01M	8/04	K
H01M	8/04	J

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願2005-191377 (P2005-191377)

(22) 出願日

平成17年6月30日 (2005.6.30)

(65) 公開番号

特開2007-12419 (P2007-12419A)

(43) 公開日

平成19年1月18日 (2007.1.18)

審査請求日

平成19年12月19日 (2007.12.19)

(73) 特許権者 000003207

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 100079108

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】

40

【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（いわゆるフラッティング）、燃料電池の電極が水分で覆われ

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。

【0003】

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。

【0004】

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（重畠）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

【0005】

【特許文献1】特開2003-86220号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

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。

【0007】

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ティング）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

【0008】

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】

【0009】

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

【0010】

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。

【0011】

ここで、上記構成にあっては、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

【0012】

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。

【0013】

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。

【0014】

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

【0015】

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、フラッティ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。

【0016】

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

【0017】

また、前記不良の要因がフラッ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態様も好ましい。

【発明の効果】

【0018】

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】

【0019】

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。

【0020】

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(FCHV; Fuel Cell Hybird 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。

【0021】

10

20

30

40

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にて低压（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、そのガス流路にはバージバルブ（バージ弁）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、及びバージバルブ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（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

リ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 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 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。

【 0 0 2 8 】

バッテリ 54 とインバータ 51との間には 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 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 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 54 の充放電が実現される。10

【 0 0 2 9 】

バッテリ 20 と DC / DC コンバータ 53との間には、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 20 はこれら補機の電源となる。

【 0 0 3 0 】

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 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

【 0 0 3 1 】

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

【 0 0 3 2 】

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、重畠信号生成部 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

【 0 0 3 3 】

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。

【 0 0 3 4 】

重畠信号生成部 120 は、出力目標電圧に重畠すべきインピーダンス測定用信号（例えば振幅値 2V の特定周波数の正弦波など）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、重畠信号振幅制御部（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畠し、電圧指令信号 V_{fcr} 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_{fcr} 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。10

【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 の電解質膜の潤湿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。20

【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、インピーダンスマモリ M1 を備えている。インピーダンスマモリ 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マモリ M1 に格納されている。30

【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マモリ 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」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」とあると判断する。40

【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」とあると判断する。50

【0042】

第1状態判定部150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20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 |

【0043】

ここで、状態Aは、燃料電池20の電解質膜の湿潤状態及び燃料電池20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20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。

【0044】

第1状態判定部150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160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170に通知する。 20

【0045】

第2状態判定部（第2判断手段）160は、第1状態判定部150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20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160は、第1状態判定部150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161、燃料ガス純度モニタ162を利用して燃料電池20の内部状態の詳細を判断する。

【0046】

<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）161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

$$W_{re} = W_{co} + W_{hu} - W_{eo} - W_{eh} \quad \dots (A)$$

W_{re} ; 燃料電池内部の残留水分量

W_{co} ; 燃料電池の発電による生成水量

W_{hu} ; 加湿モジュールによる加湿水量

W_{eo} ; 燃料電池の排気ガス（アノード側）による持ち去り水量

W_{fo} ; 燃料電池の排気ガス（カソード側）による持ち去り水量

【0047】

詳述すると、水分バランスモニタ161は、各センサから供給される燃料電池20の温度、排気ガスの温度、ガス流量、加湿モジュール62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_{re} を求める。水分バランスモニタ161は、求めた残留水分量 W_{re} と第1データベース161a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_{re} 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」と判断する一方、求めた残量水分量 W_{re} 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」であると判断する（図5参照）。なお、水分バランスモニタ161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

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。

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

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} を求めるとき、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Gba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ティ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」 フラッティ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ティ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、上記要因がフラッティ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、フラッティ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、燃料ガスストイキ比マップ（図示略）などをを利用して燃料ガスエアストイキ比を上昇させるか、バージバルブH51の開度等を拡げて燃料ガスのバージ量を増やすか、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からフラッティ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からフラッティ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、バージバルブH51の開度等を拡げて燃料ガスのバ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、フラッティ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畠したが、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畠を実現してもよい。さらに、個別にインピーダンス測定が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。

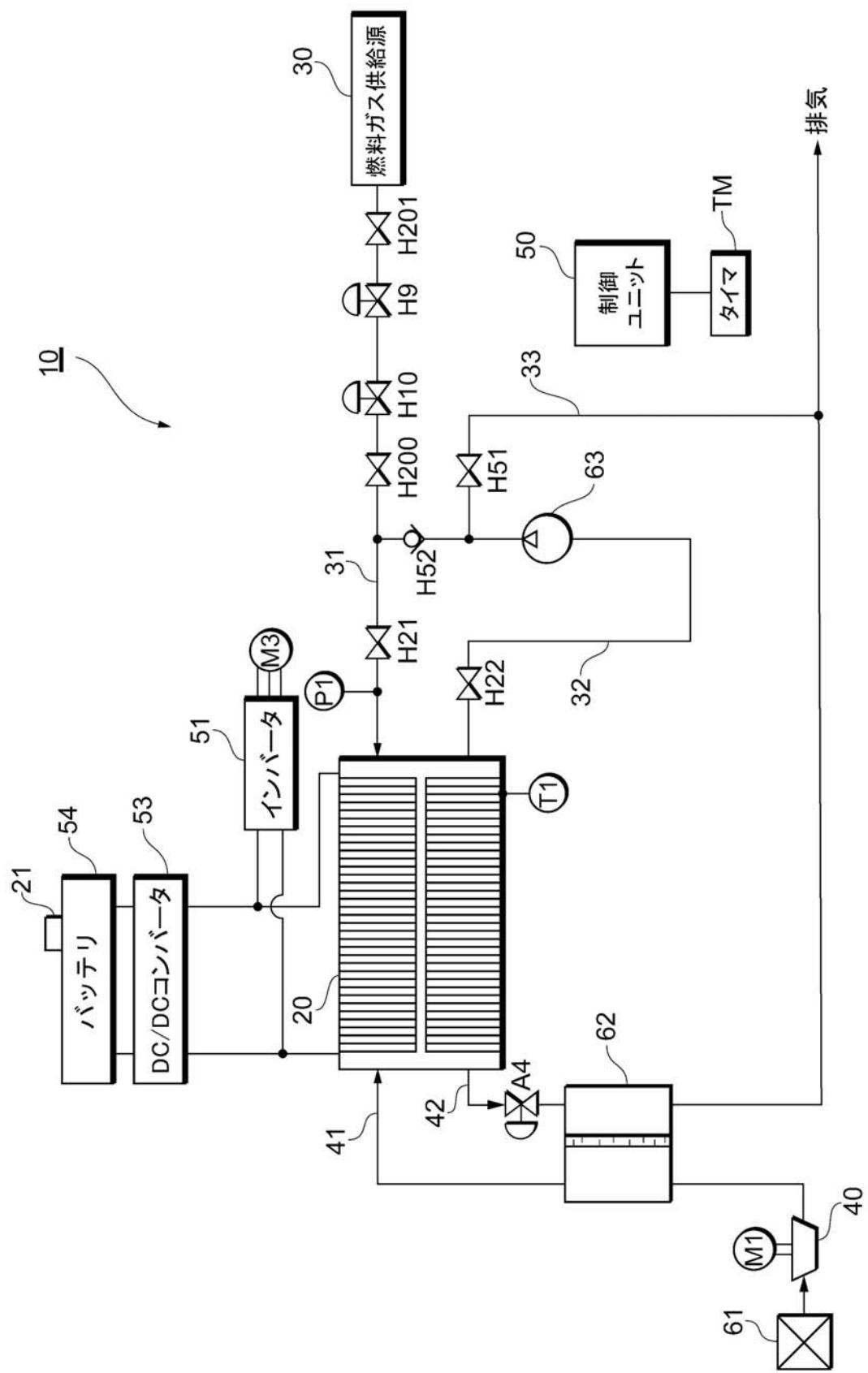
【符号の説明】

【0061】

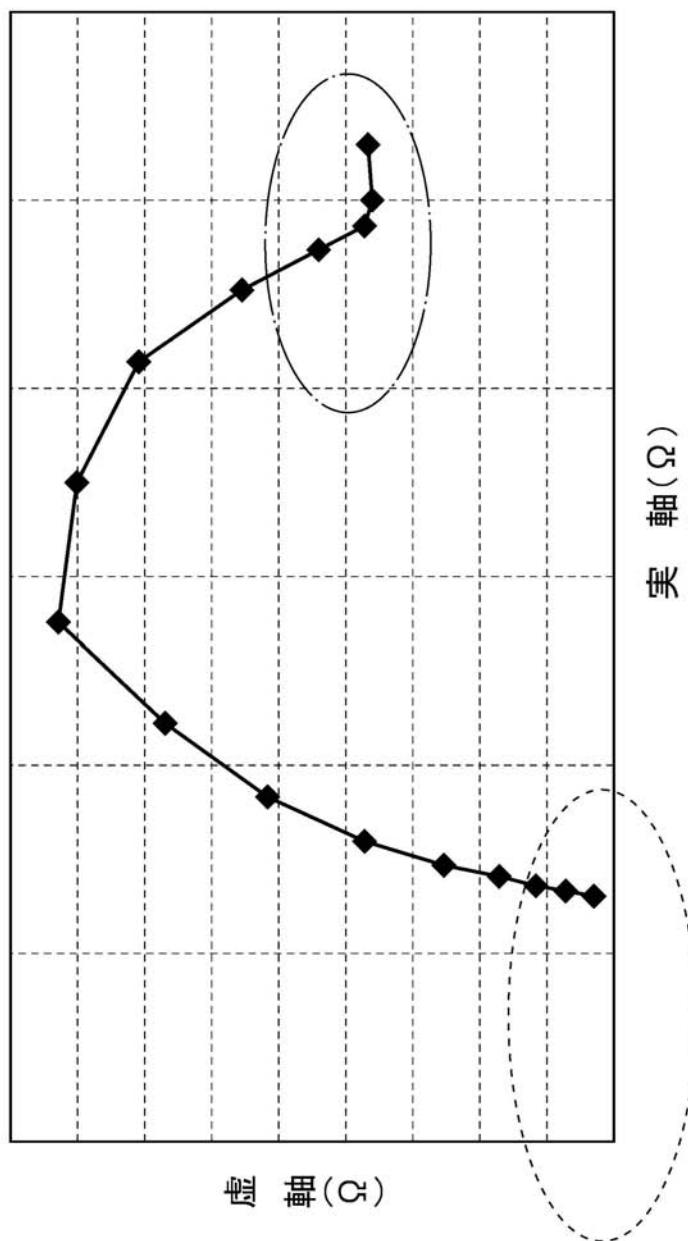
10

1000000 燃料電池システム、 2000000 燃料電池、 3000000 燃料ガス供給源、 4000000 エアコンプレッサ、 5000000 制御ユニット、 5100000 インバータ、 5300000 D C / D C コンバータ、 5400000 バッテリ、 P1000000 圧力センサ、 T1000000 温度センサ、 2100000 S O C センサ、 TM000000 タイマ、 H510000 パージバルブ、 6200000 加湿モジュール、 1100000 目標電圧決定部、 1200000 重畠信号生成部、 1300000 電圧指令信号生成部、 1400000 インピーダンス演算部、 1410000 電圧センサ、 1420000 電流センサ、 1500000 第1状態判定部、 M1000000 インピーダンスマモリ、 1600000 第2状態判定部、 1610000 水分バランスモニタ、 161a000 第1データベース、 1620000 燃料ガス純度モニタ、 162a000 第2データベース、 1700000 水分バランス制御部、 1800000 エア供給制御部、 1900000 燃料ガス供給制御部。 20

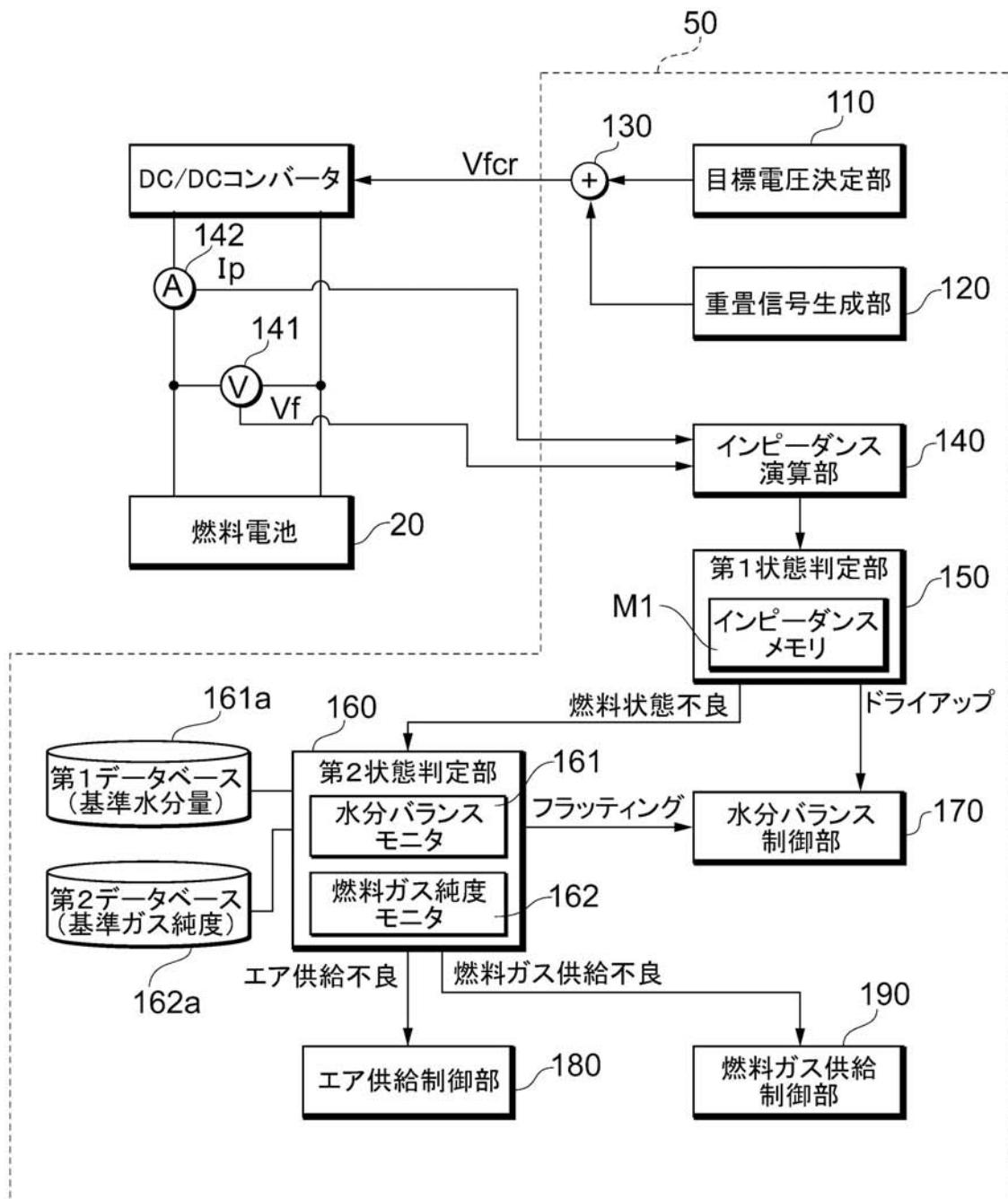
【図1】



【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ティングによる電解質膜への燃料到達不良
状態F: フラッティ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)

H 01 M 8 / 04