

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6540407号
(P6540407)

(45) 発行日 令和1年7月10日 (2019. 7. 10)

(24) 登録日 令和1年6月21日 (2019. 6. 21)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04119 (2016. 01)	HO 1 M 8/04119
HO 1 M 8/04746 (2016. 01)	HO 1 M 8/04746
HO 1 M 8/04 (2016. 01)	HO 1 M 8/04 J
HO 1 M 8/10 (2016. 01)	HO 1 M 8/10

請求項の数 14 (全 94 頁)

(21) 出願番号	特願2015-179991 (P2015-179991)	(73) 特許権者	000003997
(22) 出願日	平成27年9月11日 (2015. 9. 11)		日産自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2017-54788 (P2017-54788A)		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(43) 公開日	平成29年3月16日 (2017. 3. 16)	(74) 代理人	110002468
審査請求日	平成30年1月26日 (2018. 1. 26)		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	100187137
			弁理士 小澤 和敏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池システムの湿潤制御装置及び湿潤制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

燃料電池の発電のための酸化剤が流れる酸化剤系に備えられ、前記燃料電池に酸化剤を供給する酸化剤供給手段により前記燃料電池の電解質膜で発生した水を排出する排水手段と、

前記酸化剤系の流れと対向する方向に燃料が流れ、前記電解質膜で発生した水を留保する燃料系に備えられ、前記燃料系に燃料を循環させる燃料循環手段と、

前記燃料系の圧力を調整する燃料系圧力調整手段と、

前記電解質膜の湿潤状態を示す信号を取得する取得手段と、

前記取得手段により取得される前記信号により、少なくとも前記燃料循環手段と前記燃料系圧力調整手段とを操作して前記電解質膜の湿潤状態を制御する制御手段と、を備え、

前記制御手段は、少なくとも前記電解質膜の水分を減らすドライ操作時には、前記燃料循環手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御を前記燃料系圧力調整手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御よりも優先して実行する、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作時に前記燃料循環手段の動作を優先して制御する場合において、当該燃料循環手段の動作により前記電解質膜の水分が減少しないときは、当該減少しない部分を補完するように前記燃料系圧力調整手段の動作を制御する、

10

20

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、

前記電解質膜の湿潤度と前記燃料系の圧力とに基づいて、前記燃料系を循環する燃料の流量を制御する流量制御部と、

前記電解質膜の湿潤度と前記燃料の流量とに基づいて、前記燃料系の圧力を制御する圧力制御部と、

少なくとも前記ドライ操作時には、前記流量制御部に対して前記電解質膜を現在よりも高い湿潤状態にするときの燃料の圧力を設定し、前記圧力制御部に対して前記燃料の流量を設定する優先設定部と、を含む、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

10

【請求項4】

請求項3に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記電解質膜を現在よりも高い湿潤状態にするときの燃料の圧力は、前記燃料電池の性能を確保できる範囲で最も低い圧力に設定される、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項5】

請求項3又は請求項4に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、前記ドライ操作時において、前記燃料系圧力調整手段が作動しない場合には、前記流量制御部に設定される燃料の圧力を、前記電解質膜を現在よりも高い湿潤状態にするときの燃料の圧力から、前記燃料電池における燃料の圧力に切り替える、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

20

【請求項6】

請求項1から請求項5までのいずれか1項に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記燃料電池は、

前記電解質膜の一方の面に対して酸化剤を通す酸化剤流路と、

前記電解質膜の他方の面に対して前記酸化剤流路に流れる酸化剤の向きとは反対の向きに燃料を通す燃料流路と、を含み、

前記燃料循環手段は、

前記燃料流路の一端から排出される燃料を前記燃料流路の他端に導入して循環させる循環通路と、前記循環通路に設けられ、燃料を含むガスの循環流量を調整するアクチュエータと、を含み、

前記アクチュエータの回転速度を変化させることにより前記循環通路を流れる前記ガスの循環流量を増減し、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作時において、前記循環通路を循環する水量を減らす場合には、前記ガスの循環流量を減少させる、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

30

【請求項7】

請求項6に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記燃料系圧力調整手段は、前記燃料電池に供給される燃料の圧力を調整する調圧弁を含み、前記調圧弁の開度を変化させることにより前記燃料流路に供給される前記ガスの圧力を昇降し、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作時において、前記循環通路を循環する水量を減らす場合には、前記ガスの圧力を上昇させる、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

40

【請求項8】

請求項7に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作時には、前記ガスの循環流量が増加するほ

50

ど、前記ガスの圧力の上昇を抑制し、かつ、前記電解質膜の湿潤度が大きくなるほど、前記ガスの圧力を上昇させる、
ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作時には、前記燃料系の流量、前記燃料系の圧力、前記酸化剤系の圧力、前記酸化剤系の流量の順に優先して各状態量を制御する、
ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 10】

10

請求項 1 から請求項 9 までのいずれか 1 項に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作を実施する場合において、前記燃料電池の出力を確保する必要があるときには、前記燃料系の流量を前記燃料系の圧力よりも優先して制御する、
ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、少なくとも前記ドライ操作を実施する場合において、前記電解質膜の水分を速やか減らす必要があるときには、前記燃料電池の出力を確保する必要がある否か
に関わらず、前記酸化剤系の流量を前記燃料系の圧力よりも優先して制御する、
ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

20

【請求項 12】

請求項 11 に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

前記制御手段は、前記電解質膜の水分を速やか減らす必要がない場合において、前記燃料電池システムの消費電力を抑える必要があるときには、前記酸化剤系の圧力を前記燃料系の流量よりも優先して制御する、
ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 13】

請求項 1 から請求項 12 までのいずれか 1 項に記載の燃料電池システムの湿潤制御装置であって、

30

前記燃料電池は、積層電池により構成され、

前記燃料電池システムは、前記積層電池に接続されて当該積層電池に交流電流を出力する測定装置をさらに含み、

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、前記燃料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、交流電流を調整する交流調整部と、

前記交流調整部で調整された交流電流、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、前記積層電池のインピーダンスを演算する演算部と、を含み、

前記取得手段では、前記演算部で演算される前記積層電池のインピーダンスを、前記信号として取得する、

40

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御装置。

【請求項 14】

燃料電池に酸化剤を流す酸化剤系に備えられた酸化剤供給手段により供給される酸化剤により前記燃料電池の電解質膜で発生した水を排出する排水手段と、

前記酸化剤系の流れと対向する方向に燃料を流し、前記電解質膜で発生した水を留保する燃料系に備えられ、前記燃料系に燃料を循環させる燃料循環手段と、

前記燃料系の圧力を調整する燃料系圧力調整手段と、

前記電解質膜の湿潤状態を示す信号を取得する取得手段と、

前記取得手段により取得される前記信号により、少なくとも前記燃料循環手段と前記燃

50

料系圧力調整手段とを操作して前記電解質膜の湿潤状態を制御する制御手段と、を備える燃料電池システムの湿潤制御方法であって、

少なくとも前記電解質膜の水分を減らすドライ操作時には、前記燃料循環手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御を前記燃料系圧力調整手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御よりも優先して実行する、

ことを特徴とする燃料電池システムの湿潤制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、電解質膜の湿潤状態を制御する燃料電池システムの湿潤制御装置及び湿潤制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、電解質膜の含水量を増やすウェット操作を実施する場合に、燃料電池に供給される燃料ガスの圧力と、燃料電池を循環する燃料ガスの流量とを制御する燃料電池システムが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5104950号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のような燃料電池システムでは、電解質膜の含水量を減らすドライ操作を実施する場合に、燃料電池を循環する燃料の流量よりも先に、燃料電池に供給される燃料の圧力を制御すると、電解質膜の含水量が減少しないことがある。このような状況では、ドライ操作を開始してから燃料の圧力が目標値に達するまでの間は、燃料の流量が無用に維持されることになるため、ドライ操作に要する時間が長くなってしまうという問題がある。

【0005】

本発明は、このような問題点に着目してなされたものであり、効率良く燃料電池の湿潤状態を制御する燃料電池システム及び燃料電池システムの湿潤制御装置及び湿潤制御方法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】

【0006】

本発明は以下のような解決手段によって上述の課題を解決する。

【0007】

本発明のある態様によれば、燃料電池システムの湿潤制御装置は、燃料電池の発電のための酸化剤が流れる酸化剤系に備えられ、前記燃料電池に酸化剤を供給する酸化剤供給手段により前記燃料電池の電解質膜で発生した水を排出する排水手段を含む。また、燃料電池システムの湿潤制御装置は、前記酸化剤系の流れと対向する方向に燃料が流れ、前記電解質膜で発生した水を留保する燃料系に備えられ、前記燃料系に燃料を循環させる燃料循環手段と、前記燃料系の圧力を調整する燃料系圧力調整手段とを含む。そして、燃料電池システムの湿潤制御装置は、前記電解質膜の湿潤状態を示す信号を取得する取得手段と、前記取得手段により取得される前記信号により、少なくとも前記燃料循環手段と前記燃料系圧力調整手段とを操作して前記電解質膜の湿潤状態を制御する制御手段を備える。前記制御手段は、少なくとも前記電解質膜の水分を減らすドライ操作時には、前記燃料循環手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御を前記燃料系圧力調整手段の操作による前記電解質膜の湿潤状態の制御よりも優先して実行する。

【発明の効果】

【0008】

10

20

30

40

50

本発明のある態様によれば、燃料系圧力調整手段を燃料循環手段よりも先に制御しても電解質膜の水分が減り難いような状況では、燃料系圧力調整手段に対する制御を抑制することができる。このように無駄な制御を抑制することにより、ドライ操作に要する時間が短くなるので、効率よく燃料電池の湿潤状態を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、本発明の実施形態における燃料電池システムの構成を示す図である。

【図2】図2は、燃料電池の構成の一例を示す斜視図である。

【図3】図3は、図2に示した燃料電池のII-II断面図である。

【図4】図4は、アノードガス流量制御とアノードガス圧力制御による電解質膜の水分の変化を示す図である。 10

【図5】図5は、燃料電池システムを制御するコントローラの機能構成の一例を示すブロック図である。

【図6】図6は、アノード循環ポンプの回転速度と、燃料電池を循環するアノードガスの流量との関係を示すマップである。

【図7】図7は、電解質膜の湿潤状態を示す信号を取得する膜湿潤状態取得部の機能構成の一例を示す図である。

【図8】図8は、燃料電池の出力と、電解質膜の目標とする湿潤状態との関係を示すマップである。

【図9】図9は、本実施形態における燃料電池システムの湿潤制御方法の一例を示すフローチャートである。 20

【図10】図10は、電解質膜の水分を減らすドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図11】図11は、本発明の第2実施形態における燃料電池の湿潤状態を制御する湿潤制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図12】図12は、燃料電池システムの出力を重視する出力重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図13】図13は、燃料電池を循環するアノードガスの目標流量を演算するアノード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図14】図14は、燃料電池に供給されるアノードガス及びカソードガスの流量比と、燃料電池のカソード出口におけるカソードガス相対湿度との関係を示すマップである。 30

【図15】図15は、アノードガス及びカソードガスの流量比の補正係数と極間差圧との関係を示すマップである。

【図16】図16は、燃料電池に供給されるアノードガスの目標圧力を演算するアノード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図17】図17は、燃料電池に供給されるカソードガスの目標圧力を演算するカソード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図18】図18は、燃料電池に供給されるカソードガスの目標流量を演算するカソード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図19】図19は、第2実施形態における燃料電池システムの湿潤制御方法の一例を示すフローチャートである。 40

【図20】図20は、湿潤制御方法で実行される出力重視ドライ操作処理に関するフローチャートである。

【図21】図21は、出力重視ドライ操作処理で実行されるガス状態調整処理に関するフローチャートである。

【図22】図22は、出力重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図23】図23は、出力重視ドライ操作において、アノードガス目標流量の代わりにアノードガス推定流量を用いてアノードガス圧力を制御したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。 50

【図 2 4】図 2 4 は、燃料電池の目標湿潤状態の変更に伴って出力重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 2 5】図 2 5 は、本発明の第 3 実施形態における燃費重視ドライ操作時の湿潤制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 2 6】図 2 6 は、燃費重視ドライ操作時におけるカソード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 2 7】図 2 7 は、燃費重視ドライ操作時におけるアノード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 2 8】図 2 8 は、燃費重視ドライ操作時におけるカソード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

10

【図 2 9】図 2 9 は、燃費重視ドライ操作時におけるアノード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 3 0】図 3 0 は、湿潤制御方法で実行される燃費重視ドライ操作処理に関するフローチャートである。

【図 3 1】図 3 1 は、燃費重視ドライ操作処理で実行されるガス状態調整処理に関するフローチャートである。

【図 3 2】図 3 2 は、燃費重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 3 3】図 3 3 は、ドライ操作におけるアノードガス流量制御とカソードガス圧力制御との関係を示す図である。

20

【図 3 4】図 3 4 は、燃費重視ドライ操作において、カソードガス目標圧力の代わりにカソードガス圧力の計測値を用いてアノードガス流量を制御したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 3 5】図 3 5 は、燃料電池の目標湿潤状態の変更に伴って燃費重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 3 6】図 3 6 は、本発明の第 4 実施形態における速乾性重視ドライ操作時の湿潤制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 3 7】図 3 7 は、速乾性重視ドライ操作時におけるカソード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 3 8】図 3 8 は、速乾性重視ドライ操作時におけるアノード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

30

【図 3 9】図 3 9 は、速乾性重視ドライ操作時におけるカソード目標流量演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 4 0】図 4 0 は、速乾性重視ドライ操作時におけるアノード目標圧力演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 4 1】図 4 1 は、湿潤制御方法で実行される速乾性重視ドライ操作処理に関するフローチャートである。

【図 4 2】図 4 2 は、速乾性重視ドライ操作処理で実行されるガス状態調整処理に関するフローチャートである。

【図 4 3】図 4 3 は、速乾性重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

40

【図 4 4】図 4 4 は、ドライ操作におけるカソードガス流量制御とアノードガス圧力制御との関係を示す図である。

【図 4 5】図 4 5 は、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス目標流量の代わりにカソードガス流量の計測値を用いてアノードガス圧力を制御したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 4 6】図 4 6 は、燃料電池の目標湿潤状態の変更に伴って燃費重視ドライ操作を実施したときの燃料電池システムの状態変化の一例を示すタイムチャートである。

【図 4 7】図 4 7 は、電解質膜の湿潤状態と相関のある燃料電池のインピーダンスを測定する測定装置の構成例を示す図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

【0011】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態における燃料電池システム100の構成の一例を示す構成図である。

【0012】

燃料電池システム100は、燃料電池の発電に必要なとなる燃料を含むアノードガス、及び酸化剤を含むカソードガスをそれぞれ燃料電池スタック1に供給し、電気負荷に応じて燃料電池を発電させる電源システムを構成する。

10

【0013】

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、スタック冷却装置4と、負荷装置5と、インピーダンス測定装置6と、コントローラ200とを含む。

【0014】

燃料電池スタック1は、上述のとおり、複数の燃料電池が積層された積層電池である。燃料電池スタック1は、負荷装置5に接続される電源であり、負荷装置5に電力を供給する。燃料電池スタック1は、例えば数百V（ボルト）の直流の電圧を生じる。

20

【0015】

カソードガス給排装置2は、カソードガスに含まれる酸化剤が流れる酸化剤系（空気系）を構成する。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共に、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大気に排出する装置である。

【0016】

カソードガス給排装置2は、カソードガス供給通路21と、コンプレッサ22と、流量センサ23と、カソード圧力センサ24と、カソードガス排出通路25と、カソード調圧弁26とを含む。

【0017】

カソードガス供給通路21は、燃料電池スタック1にカソードガスを供給するための通路である。カソードガス供給通路21の一端は開口しており、他端は、燃料電池スタック1のカソードガス入口孔に接続される。

30

【0018】

コンプレッサ22は、燃料電池の電解質膜に酸化剤を供給する酸化剤供給手段を構成すると共に、酸化剤供給手段により燃料電池の電解質膜で発生した水を排出する排水手段を構成する。コンプレッサ22は、酸化剤を含む空気を燃料電池に供給するアクチュエータである。コンプレッサ22は、大気から燃料電池までの経路であるカソードガス供給通路21の途中に設けられる。

【0019】

コンプレッサ22は、カソードガス供給通路21の開口端から酸素を含有する空気を取り込み、その空気をカソードガスとして燃料電池スタック1に供給する。コンプレッサ22の回転速度はコントローラ200によって制御される。コンプレッサ22の回転速度を変化させることにより、カソードガス流路113を流れるカソードガスの流量を増減する。

40

【0020】

流量センサ23は、コンプレッサ22と燃料電池スタック1との間のカソードガス供給通路21に設けられる。流量センサ23は、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの流量を検出する。以下では、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの流量のことを単に「カソードガス流量」という。流量センサ23は、カソードガス流量を検出した信号をコントローラ200に出力する。

50

【0021】

カソード圧力センサ24は、コンプレッサ22と燃料電池スタック1との間のカソードガス供給通路21に設けられる。カソード圧力センサ24は、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検出する。以下では、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの圧力のことを単に「カソードガス圧力」という。カソード圧力センサ24は、カソードガス圧力を検出した信号をコントローラ200に出力する。

【0022】

カソードガス排出通路25は、燃料電池スタック1からカソードオフガスを排出するための通路である。カソードガス排出通路25の一端は、燃料電池スタック1のカソードガス出口孔に接続され、他端は開口している。

10

【0023】

カソード調圧弁26は、酸化剤系の圧力を調整する酸化剤系圧力調整手段を構成する。カソード調圧弁26は、カソードガス排出通路25に設けられる。カソード調圧弁26としては、例えば弁の開度を段階的に変更可能な電磁弁が用いられる。カソード調圧弁26はコントローラ200によって開閉制御される。この開閉制御によってカソードガス圧力が所望の圧力に調節される。カソード調圧弁26の開度が大きくなるほど、カソード調圧弁26が開き、カソード調圧弁26の開度が小さくなるほど、カソード調圧弁26が閉じる。

【0024】

アノードガス給排装置3は、酸化剤系の流れと対向する方向にアノードガスが流れ、燃料電池スタック1内の電解質膜で発生した水を留保する燃料系（水素系）を構成する。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すると共に、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燃料電池スタック1に導入して循環させる装置である。

20

【0025】

アノードガス給排装置3は、高圧タンク31と、アノードガス供給通路32と、アノード調圧弁33と、エゼクタ34と、アノードガス循環通路35と、アノード循環ポンプ36と、アノード圧力センサ37と、パージ弁38とを含む。

【0026】

高圧タンク31は、燃料電池スタック1に供給される燃料である水素を高圧状態に保って貯蔵する。

30

【0027】

アノードガス供給通路32は、高圧タンク31に貯蔵された燃料をアノードガスとして燃料電池スタック1に供給するための通路である。アノードガス供給通路32の一端は、高圧タンク31に接続され、他端は、燃料電池スタック1のアノードガス入口孔に接続される。

【0028】

アノード調圧弁33は、燃料系を構成するアノードガス供給通路32の圧力を調整する燃料系圧力調整手段を構成する。アノード調圧弁33は、燃料電池スタック1に供給されるアノードガス中の燃料の圧力を調整する。アノード調圧弁33は、高圧タンク31とエゼクタ34との間のアノードガス供給通路32に設けられる。アノード調圧弁33の開度を変化させることにより、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの圧力は上昇又は降下する。

40

【0029】

アノード調圧弁33としては、例えば弁の開度を段階的に変更可能な電磁弁が用いられる。アノード調圧弁33は、コントローラ200によって開閉制御される。この開閉制御によって、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの圧力が調節される。

【0030】

エゼクタ34は、アノード調圧弁33と燃料電池スタック1との間のアノードガス供給通路32に設けられる。エゼクタ34は、アノードガス供給通路32においてアノードガ

50

ス循環通路 3 5 が合流する部分に設けられる機械式ポンプである。

【0031】

アノードガス循環通路 3 5 は、燃料電池スタック 1 からのアノードオフガスをアノードガス供給通路 3 2 に導入して燃料電池スタック 1 に循環させる通路である。アノードガス循環通路 3 5 の一端は、燃料電池スタック 1 のアノードガス出口孔に接続され、他端は、エゼクタ 3 4 の吸引口に接続される。

【0032】

アノード循環ポンプ 3 6 は、アノードガスに含まれる燃料を燃料系のアノードガ循環通路 3 5 で循環させる燃料循環手段を構成する。アノード循環ポンプ 3 6 は、燃料を含むアノードガスの循環流量を調整するアクチュエータである。アノード循環ポンプ 3 6 の回転速度を変化させることにより、アノードガス循環通路 3 5 を流れるアノードガスの循環流量は増加又は減少する。

【0033】

アノード循環ポンプ 3 6 は、アノードガス循環通路 3 5 に設けられる。アノード循環ポンプ 3 6 は、エゼクタ 3 4 を介してアノードオフガスを燃料電池スタック 1 に循環させる。アノード循環ポンプ 3 6 の回転速度はコントローラ 2 0 0 によって制御される。これにより、アノードガス循環通路 3 5 を循環するアノードガスの流量が調整される。以下では、アノードガス循環通路 3 5 を循環するアノードガスの流量のことを単に「アノードガス循環流量」という。

【0034】

アノード圧力センサ 3 7 は、エゼクタ 3 4 と燃料電池スタック 1 との間のアノードガス供給通路 3 2 に設けられる。アノード圧力センサ 3 7 は、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検出する。以下では、燃料電池スタック 1 に供給されるアノードガスの圧力のことを単に「アノードガス圧力」という。アノード圧力センサ 3 7 は、アノードガス圧力を検出した信号をコントローラ 2 0 0 に出力する。

【0035】

パージ弁 3 8 は、アノードガス循環通路 3 5 から分岐した不図示のアノードガス排出通路に設けられる。パージ弁 3 8 は、アノードオフガスに含まれる不純物を外部に排出する。不純物とは、燃料電池のカソード極から電解質膜を介してアノード極に透過してきた空気中の窒素ガスや、発電に伴う生成水などのことである。パージ弁 3 8 の開度はコントローラ 2 0 0 によって制御される。

【0036】

なお、アノードガス排出通路は、図示していないが、カソード調圧弁 2 6 よりも下流側のカソードガス排出通路 2 5 に合流する。これにより、パージ弁 3 8 から排出されるアノードオフガスは、カソードガス排出通路 2 5 のカソードオフガスにより希釈されるので、希釈後のカソードオフガス中の水素濃度は規定値以下に維持される。

【0037】

スタック冷却装置 4 は、燃料電池 1 0 の温度を冷却する装置である。スタック冷却装置 4 は、冷却水循環通路 4 1 と、冷却水ポンプ 4 2 と、ラジエータ 4 3 と、バイパス通路 4 4 と、三方弁 4 5 と、入口水温センサ 4 6 と、出口水温センサ 4 7 とを含む。

【0038】

冷却水循環通路 4 1 は、燃料電池スタック 1 に冷却水を循環させる通路である。冷却水循環通路 4 1 の一端は、燃料電池スタック 1 の冷却水入口孔に接続され、他端は、燃料電池スタック 1 の冷却水出口孔に接続される。

【0039】

冷却水ポンプ 4 2 は、冷却水循環通路 4 1 に設けられる。冷却水ポンプ 4 2 は、ラジエータ 4 3 を介して燃料電池スタック 1 に冷却水を供給する。冷却水ポンプ 4 2 の回転速度は、コントローラ 2 0 0 によって制御される。

【0040】

ラジエータ 4 3 は、冷却水ポンプ 4 2 よりも下流の冷却水循環通路 4 1 に設けられる。

ラジエータ４３は、燃料電池スタック１の内部で温められた冷却水をファンによって冷却する。

【００４１】

バイパス通路４４は、ラジエータ４３をバイパスする通路であって、燃料電池スタック１から排出される冷却水を燃料電池スタック１に戻して循環させる通路である。バイパス通路４４の一端は、冷却水ポンプ４２とラジエータ４３との間の冷却水循環通路４１に接続され、他端は、三方弁４５の一端に接続される。

【００４２】

三方弁４５は、燃料電池スタック１に供給される冷却水の温度を調整する。三方弁４５は、例えばサーモスタットにより実現される。三方弁４５は、ラジエータ４３と燃料電池スタック１の冷却水入口孔との間の冷却水循環通路４１においてバイパス通路４４が合流する部分に設けられる。

10

【００４３】

入口水温センサ４６及び出口水温センサ４７は、冷却水の温度を検出する。入口水温センサ４６及び出口水温センサ４７によって検出される冷却水の温度は、燃料電池スタック１の温度、又は燃料電池スタック１内のカソードガス及びアノードガスの温度として用いられる。以下では、燃料電池スタック１の温度のことを「スタック温度」ともいう。

【００４４】

入口水温センサ４６は、燃料電池スタック１に形成された冷却水入口孔の近傍に位置する冷却水循環通路４１に設けられる。入口水温センサ４６は、燃料電池スタック１の冷却水入口孔に流入する冷却水の温度を検出する。以下では、燃料電池スタック１の冷却水入口孔に流入する冷却水の温度のことを「スタック入口水温」という。入口水温センサ４６は、スタック入口水温を検出した信号をコントローラ２００に出力する。

20

【００４５】

出口水温センサ４７は、燃料電池スタック１に形成された冷却水出口孔の近傍に位置する冷却水循環通路４１に設けられる。出口水温センサ４７は、燃料電池スタック１から排出された冷却水の温度を検出する。以下では、燃料電池スタック１から排出された冷却水の温度のことを「スタック出口水温」という。出口水温センサ４７は、スタック出口水温を検出した信号をコントローラ２００に出力する。

【００４６】

30

負荷装置５は、燃料電池スタック１からの発電電力を受けて駆動する。負荷装置５としては、例えば、車両を駆動する電動モータや、電動モータを制御する制御ユニット、燃料電池スタック１の発電を補助する補機などが含まれる。燃料電池スタック１の補機としては、例えば、コンプレッサ２２や、アノード循環ポンプ３６、冷却水ポンプ４２などが挙げられる。

【００４７】

なお、負荷装置５を制御する制御ユニットは、燃料電池スタック１に対して要求する要求電力をコントローラ２００に出力する。例えば、燃料電池システム１００を搭載した車両では、アクセルペダルの踏込み量が大きくなるほど、負荷装置５の要求電力は大きくなる。

40

【００４８】

負荷装置５と燃料電池スタック１の間には、電流センサ５１と電圧センサ５２とが配置される。

【００４９】

電流センサ５１は、燃料電池スタック１の正極端子１ｐと負荷装置５の正極端子との間の電源線に接続される。電流センサ５１は、燃料電池スタック１から負荷装置５に出力される電流を検出する。以下では、燃料電池スタック１から負荷装置５に出力される電流のことを「スタック出力電流」という。電流センサ５１は、スタック出力電流を検出した信号をコントローラ２００に出力する。

【００５０】

50

電圧センサ 52 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 1 p と負極端子 1 n との間に接続される。電圧センサ 52 は、正極端子 1 p と負極端子 1 n との間の電圧である端子間電圧を検出する。以下では、燃料電池スタック 1 の端子間電圧のことを「スタック出力電圧」という。電圧センサ 52 は、スタック出力電圧を検出した信号をコントローラ 200 に出力する。

【0051】

インピーダンス測定装置 6 は、電解質膜 111 の湿潤状態を検出する装置である。インピーダンス測定装置 6 は、電解質膜 111 の湿潤状態と相関のある燃料電池スタック 1 の内部インピーダンスを測定する。

【0052】

一般に、電解質膜の含水量（水分）が少なくなるほど、すなわち電解質膜が乾き気味になるほど、内部インピーダンスの電気抵抗成分は大きくなる。一方、電解質膜の含水量が多くなるほど、すなわち電解質膜が濡れ気味になるほど、内部インピーダンスの電気抵抗成分は小さくなる。このため、電解質膜 111 の湿潤状態を示すパラメータとして、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が用いられる。

【0053】

燃料電池スタック 1 には、正極端子 1 p と直列に接続された正極タブと、負極端子 1 n と直列に接続された負極タブとが設けられており、正極タブ及び負極タブの各々にインピーダンス測定装置 6 が接続される。インピーダンス測定装置 6 は、電解質膜 111 の電気抵抗を検出するのに適した周波数を有する交流電流を正極端子 1 p に供給する。電解質膜の電気抵抗を検出するのに適した周波数のことを以下では「電解質膜応答周波数」という。インピーダンス測定装置 6 は、電解質膜応答周波数の交流電流によって正極端子 1 p と負極端子 1 n との間に生じる交流電圧を検出し、検出した交流電圧の振幅を、正極端子 1 p に供給した交流電流の振幅で除算することにより、内部インピーダンスを算出する。

【0054】

本実施形態では、燃料電池スタック 1 に積層された燃料電池の中途に位置する燃料電池に中途タブが設けられ、その中途タブはインピーダンス測定装置 6 において接地される。インピーダンス測定装置 6 は、電解質膜応答周波数の交流電流を正極端子 1 p 及び負極端子 1 n の双方に供給する。インピーダンス測定装置 6 は、正極端子 1 p と中途タブとの間の交流電圧の振幅を、正極端子 1 p に供給した交流電流の振幅で除算して正極側の内部インピーダンスを算出する。インピーダンス測定装置 6 は、負極端子 1 n と中途タブとの間の交流電圧の振幅を、負極端子 1 n に供給した交流電流の振幅で除算して負極側の内部インピーダンスを算出する。

【0055】

以下では、電解質膜応答周波数によって測定された内部インピーダンスのことを計測 HFR (High Frequency Resistance; 高周波数抵抗) という。インピーダンス測定装置 6 は、算出した計測 HFR をコントローラ 200 に出力する。

【0056】

コントローラ 200 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。

【0057】

コントローラ 200 には、流量センサ 23、カソード圧力センサ 24、アノード圧力センサ 37、入口水温センサ 46、出口水温センサ 47、電流センサ 51、電圧センサ 52 及びインピーダンス測定装置 6 の各出力信号と負荷装置 5 の要求電力とが入力される。これらの入力信号は、燃料電池システム 100 の運転状態に関するパラメータとして用いられる。

【0058】

コントローラ 200 は、燃料電池システム 100 における燃料電池スタック 1 の湿潤状態を制御する湿潤制御装置を構成する。コントローラ 200 は、燃料電池スタック 1 の発

10

20

30

40

50

電状態に応じて、少なくともアノード調圧弁 33 及びアノード循環ポンプ 36 を操作して燃料電池スタック 1 の電解質膜の湿潤状態を制御する制御手段を構成する。また、コントローラ 200 は、燃料電池システム 100 の運転状態に応じて、コンプレッサ 22 及びカソード調圧弁 26 を操作して、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を制御する。さらにコントローラ 200 は、燃料電池システム 100 の運転状態に応じて、冷却水ポンプ 42 及び三方弁 45 を操作して、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を制御する。

【0059】

例えば、コントローラ 200 は、負荷装置 5 の要求電力に基づいて、カソードガス流量及び圧力の目標値、並びにアノードガスの流量及び圧力の目標値を演算する。コントローラ 200 は、カソードガスの流量及び圧力の目標値に基づいて、コンプレッサ 22 の回転速度とカソード調圧弁 26 の開度とを制御し、アノードガスの流量及び圧力の目標値に基づいて、アノード循環ポンプ 36 の回転速度とアノード調圧弁 33 の開度とを制御する。

10

【0060】

図 2 及び図 3 は、燃料電池スタック 1 に形成される燃料電池 10 の構成の一例を示す図である。図 2 は、燃料電池 10 の斜視図であり、図 3 は、図 2 に示した燃料電池 10 の I-I 断面図である。

【0061】

燃料電池 10 は、燃料極としてのアノード電極と、酸化剤極としてのカソード電極と、これら電極に挟まれるように配置される電解質膜とから構成されている。燃料電池のアノード電極には、燃料である水素を含有するアノードガスが供給される。燃料電池のカソード電極には、酸化剤である酸素を含有するカソードガスが供給される。

20

【0062】

燃料電池 10 は、アノードガス中の水素及びカソードガス中の酸素を用いて発電する電池である。アノード電極及びカソード電極の両電極において進行する電極反応は、以下の通りである。

【0063】

アノード電極： $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad \dots (A)$

カソード電極： $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad \dots (B)$

これら (A) 及び (B) の電極反応によって、燃料電池 10 は 1 V (ボルト) 程度の起電力を生じる。

30

【0064】

図 2 及び図 3 に示すように、燃料電池 10 は、膜電極接合体 (MEA) 11 と、MEA 11 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、を備えている。

【0065】

MEA 11 は、電解質膜 111 と、アノード電極 112 と、カソード電極 113 とから構成されている。MEA 11 は、電解質膜 111 の一方の面側にアノード電極 112 を有しており、他方の面側にカソード電極 113 を有している。

【0066】

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、適度な湿潤度で良好な電気伝導性を示す。ここにいう電解質膜 111 の湿潤度とは、電解質膜 111 に含まれる水分の量である含水量に相当する。電解質膜 111 の湿潤度が高くなるほど、電解質膜 111 の水分が増加して湿った状態となり、電解質膜 111 の湿潤度が低くなるほど、電解質膜 111 の水分が減少して乾いた状態となる。

40

【0067】

アノード電極 112 は、触媒層 112A とガス拡散層 112B とを備えている。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ている。ガス拡散層 112B は、触媒層 112A の外側に配置されている。ガス拡散層 112B は、ガス拡散性及び導電性を有す

50

るカーボ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ている。

【0068】

カソード電極 113 についても、アノード電極 112 と同様に、触媒層 113A とガス拡散層 113B とを備えている。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 との間に配置されている。

【0069】

アノードセパレータ 12 は、ガス拡散層 112B の外側に配置されている。アノードセパレータ 12 は、アノード電極 112 にアノード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。すなわち、アノードガス流路 121 は、電解質膜 111 の他方の面に対して燃料を通す燃料流路を構成する。

【0070】

カソードセパレータ 13 は、ガス拡散層 113B の外側に配置されている。カソードセパレータ 13 は、カソード電極 113 にカソードガス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る。すなわち、カソードガス流路 131 は、電解質膜 111 の一方の面に対して酸化剤を通す酸化剤流路を構成する。

【0071】

また、カソードセパレータ 13 は、燃料電池 10 の冷却水を供給するための複数の冷却水流路 141 を備えている。冷却水流路 141 は、溝状に形成されている。

【0072】

図 2 に示すように、カソードセパレータ 13 は、冷却水流路 141 を流れる冷却水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同じ向きとなるように構成されている。なお、これらの流れ方向が互いに逆向きとなるように構成してもよく、所定の角度をもつように構成してもよい。

【0073】

また、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。また、これらの流れ方向が所定の角度をもつように構成してもよい。

【0074】

このような燃料電池 10 においては、電解質膜 111 の含水量を示す湿潤度が高くなり過ぎたり低くなり過ぎたりすると、燃料電池スタック 1 の発電性能が低下する。燃料電池スタック 1 を効率的に発電させるには、電解質膜 111 を適度な湿潤度に維持することが重要である。そのため、コントローラ 200 は、負荷装置 5 の要求電力を確保できる範囲内で、燃料電池スタック 1 の湿潤状態が発電に適した状態に維持されるように、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を制御する。

【0075】

以下では、燃料電池スタック 1 の湿潤状態が発電に適した状態に維持されるように、アノードガスの流量及び圧力やカソードガスの流量及び圧力などの状態を制御することを「湿潤制御」という。そして、電解質膜 111 の余剰な水分を減らすために、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を乾燥（ドライ）側に遷移させる湿潤制御のことを「ドライ操作」という。また、電解質膜 111 の水分を増やすために、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を湿潤（ウェット）側に遷移させる湿潤制御のことを「ウェット操作」という。

【0076】

燃料電池スタック 1 の湿潤制御において、コントローラ 200 は、主に、カソードガス流量、カソードガス圧力、アノードガス流量、及びアノードガス圧力の 4 つのパラメータを制御する。

【0077】

コントローラ200によるカソードガス流量制御は、主にコンプレッサ22を用いて実行され、カソードガス圧力制御は、主にカソード調圧弁26を用いて実行される。

【0078】

ドライ操作では、コントローラ200は、燃料電池スタック1から排出される水分が増加するように、カソードガス流量を大きくしたり、カソードガス圧力を低くしたりする。反対に、ウェット操作では、コントローラ200は、カソードガス流量を小さくしたり、カソードガス圧力を高くしたりする。

【0079】

コントローラ200によるアノードガス流量制御は、主にアノード循環ポンプ36を用いて実行される。

10

【0080】

図2に示したアノードガス流路121の上流側を流れるアノードガスは、カソードガス流路131の下流側から電解質膜111を介してリーク（透過）してきた水蒸気によって加湿される。このため、アノードガス循環流量が増加すると、アノードガス流路121の上流側で加湿されたアノードガスが下流側の電解質膜111まで行き渡りやすくなると共に、アノードガス流路121及びアノードガス循環通路35を循環するアノードガスに混入する水蒸気の総量が増加する。その結果、電解質膜111の水分が増加しやすくなる。

【0081】

それゆえ、ウェット操作では、コントローラ200は、アノードガス流路121の上流側で加湿されたアノードガスが燃料電池スタック1の全体に行き渡るように、アノードガス循環流量を増加させる。反対に、ドライ操作では、コントローラ200は、アノードガス循環流量を減少させる。以下では、アノードガス循環流量を減少させる湿潤制御のことを「減量制御」という。

20

【0082】

コントローラ200によるアノードガス圧力制御は、主にアノード調圧弁33を用いて実行される。

【0083】

ドライ操作では、コントローラ200は、カソードガス流路131からアノードガス流路121へリークしてくる水蒸気のリーク量が減少するように、アノードガス圧力を上昇させ、ウェット操作では、反対にアノードガス圧力を低下させる。以下では、アノードガス圧力を上昇させる湿潤制御のことを「昇圧制御」という。

30

【0084】

このような湿潤制御において、コントローラ200は、ドライ操作を実施する場合には、アノードガス循環流量を減少させる減量制御と、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御とを実行する。しかしながら、ドライ操作において、アノードガスの減量制御の実行よりも先にアノードガスの昇圧制御を実行すると、電解質膜111の水分が減少しない、又は殆ど減少しないことがあるということを発明者らは知見した。

【0085】

図4は、ドライ操作におけるアノードガス流量制御とアノードガス圧力制御との関係を説明するための図である。図4では、縦軸が燃料電池スタック1の湿潤状態を示し、横軸がアノードガス圧力の変化量を示す。ここでは、「大」、「中」及び「小」のアノードガス循環流量ごとに、アノードガス圧力を高くしたときの燃料電池スタック1の湿潤状態が示されている。

40

【0086】

図4に示すように、ドライ操作1においては、アノードガス圧力が低い状態で、アノードガス循環流量を「大」から「中」に減らしたときには、燃料電池スタック1の湿潤状態がドライ側に遷移する。すなわち、アノードガスの減量制御によってドライ操作が効率よく行われる。

【0087】

50

一方、ドライ操作2においては、アノードガス循環流量が「大」のときにアノードガス圧力を高くしても、燃料電池スタック1の湿潤状態は変化しない。すなわち、アノードガス循環流量が大きい状態のままアノードガスの昇圧制御を実行しても、電解質膜111の水分は減少しない。このように、アノードガスの減量制御の実行よりも先にアノードガスの昇圧制御を実行してしまうと、ドライ操作の完了までに要する時間が長くなってしまうことがある。

【0088】

これに対して、図4に示したドライ操作1のように、アノードガスの昇圧制御よりも優先してアノードガスの減量制御を実行することにより、ドライ操作が効率よく行われる。

【0089】

そこで、本発明の実施形態では、コントローラ200は、少なくともドライ操作を実施する場合には、アノードガス圧力制御よりも優先してアノードガス流量制御を実行する。すなわち、コントローラ200は、少なくともドライ操作時には、アノード循環ポンプ36の動作をアノード調圧弁33の動作よりも優先して制御する。

【0090】

図5は、本実施形態におけるコントローラ200の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0091】

コントローラ200は、膜湿潤状態取得部210と、スタック目標電流演算部220と、アノードガス循環流量推定部230と、カソード系指令部240と、アノード系指令部250と、湿潤制御部300とを含む。

【0092】

膜湿潤状態取得部210は、燃料電池スタック1における電解質膜111の湿潤状態を示す信号を取得する取得手段を構成する。本実施形態では、膜湿潤状態取得部210は、電解質膜111の湿潤度を示す湿潤状態情報として、インピーダンス測定装置6から出力される計測HFRを取得する。

【0093】

膜湿潤状態取得部210は、インピーダンス測定装置6からの計測HFRに基づいて、電解質膜111の湿潤状態を発電に適した状態に維持するための目標水収支を演算する。目標水収支は、電解質膜111の目標とする湿潤状態からの水分の過不足を表わすパラメータであり、電解質膜111の湿潤度と相関のあるパラメータである。

【0094】

例えば、膜湿潤状態取得部210は、計測HFRが目標とする値よりも小さい場合には、電解質膜111の水分が多いと判定し、目標水収支としてマイナス（負）の値を算出する。電解質膜111の水分が多いと判定された場合には、湿潤制御部300により電解質膜111の余剰の水分を減らすためのドライ操作が実施される。

【0095】

一方、計測HFRが目標とする値よりも大きい場合には、膜湿潤状態取得部210は、電解質膜111の水分が少ないと判定し、目標水収支としてプラス（正）の値を算出する。電解質膜111の水分が少ないと判定された場合には、湿潤制御部300により電解質膜111の水分を増やすためのウェット操作が実施される。

【0096】

膜湿潤状態取得部210は、算出した目標水収支を湿潤制御部300に出力する。

【0097】

なお、膜湿潤状態取得部210は、計測HFRの代わりに、燃料電池スタック1の温度を用いて湿潤状態情報を生成するものであってもよい。この場合には、膜湿潤状態取得部210は、スタック入口水温とスタック出口水温の平均値を燃料電池スタック1の温度として算出する。そして膜湿潤状態取得部210は、予め定められた湿潤推定マップを参照し、算出した燃料電池スタック1の温度に対応付けられた湿潤状態情報を特定し、特定した湿潤状態情報に基づいて目標水収支を算出する。

10

20

30

40

50

【0098】

あるいは、膜湿潤状態取得部210は、負荷装置5の要求電力に基づいて湿潤状態情報を生成するものであってもよい。この場合には、膜湿潤状態取得部210は、負荷装置5の制御ユニットから要求電力を取得すると、予め定められた湿潤推定マップを参照し、取得した要求電力に対応付けられた湿潤状態情報を生成する。例えば、膜湿潤状態取得部210は、負荷装置5の要求電力が大きくなるほど、発電に伴う生成水の発生量が増加するため、湿潤状態情報に示される電解質膜111の湿潤度を大きくする。

【0099】

スタック目標電流演算部220は、負荷装置5の要求電力に基づいて、燃料電池スタック1から出力されるべき電流の目標値を示すスタック目標電流を演算する。

10

【0100】

例えば、燃料電池スタック1のIV（電流－電圧）特性がスタック目標電流演算部220に予め記録される。スタック目標電流演算部220は、負荷装置5から要求電力を取得すると、予め記憶されたIV特性を参照し、取得した要求電力に関係付けられた電流値をスタック目標電流として算出する。なお、燃料電池スタック1のIV特性は、燃料電池スタック1の出力電流を変化させたときのスタック出力電流とスタック出力電圧との関係から推定したものであってもよい。

【0101】

スタック目標電流演算部220は、算出したスタック目標電流を湿潤制御部300に出力する。

20

【0102】

アノードガス循環流量推定部230は、アノードガス給排装置3の運転状態に基づいて、燃料電池スタック1を循環するアノードガスの循環流量を推定する。本実施形態では、アノード循環ポンプ36の回転速度とアノードガス循環流量との関係を示す流量推定マップがアノードガス循環流量推定部230に予め記録される。流量推定マップについては図6を参照して後述する。

【0103】

アノードガス循環流量推定部230は、例えばアノード循環ポンプ36に設けられた回転速度センサから、アノード循環ポンプ36の回転速度を取得する。アノードガス循環流量推定部230は、アノード循環ポンプ36の回転速度を取得すると、流量推定マップを参照し、取得した回転速度に関係付けられたアノードガス循環流量 Q_a を算出する。さらに、アノードガス循環流量推定部230は、アノード圧力センサ37からアノードガス圧力 P を取得し、入口水温センサ46からスタック入口水温 T_{in} を取得する。

30

【0104】

そして、アノードガス循環流量推定部230は、次式(1)のとおり、アノードガス循環流量 Q_a とアノードガス圧力 P_{a_sens} とスタック入口水温 T_{in} とに基づいて、標準状態でのアノードガス循環流量 Q_{a_nl} を算出する。アノードガス循環流量推定部230は、算出したアノードガス循環流量 Q_{a_nl} をアノードガス流量の計測値として湿潤制御部300に出力する。

【0105】

40

【数1】

$$Q_{a_nl} = Q_a \times \frac{273.15 \times P_{a_sens}}{101.33(T_{in} + 273.15)} \quad \dots (1)$$

【0106】

なお、本実施形態ではアノードガス循環流量を推定したが、アノードガス循環通路35にアノードガス循環流量を検出する流量センサを設け、その流量センサの検出信号を用いてもよい。

【0107】

湿潤制御部300は、湿潤状態取得部210から出力される信号に応じて、少なくとも

50

アノード調圧弁 33 とアノード循環ポンプ 36 とを操作して燃料電池 10 の湿潤状態を制御する制御手段を構成する。

【0108】

湿潤制御部 300 は、目標水収支と、スタック目標電流と、カソードガスの流量及び圧力と、アノードガスの流量及び圧力とに基づいて、カソードガスの流量及び圧力の各目標値と、アノードガスの流量及び圧力の各目標値とを演算する。

【0109】

本実施形態では、湿潤制御部 300 は、ドライ操作を実施する場合には、カソードガスの流量制御及び圧力制御によるドライ操作よりも優先して、アノードガスの流量制御及び圧力制御によるドライ操作を実施する。アノードガスの流量制御及び圧力制御によるドライ操作を実施する場合には、湿潤制御部 300 は、アノードガス循環流量を優先して減らし、目標水収支の大きさに応じてアノードガス圧力を上げる。

10

【0110】

すなわち、湿潤制御部 300 は、膜湿潤状態取得部 210 からの信号に基づいて電解質膜 111 の水分を減らす必要があると判断した場合には、アノードガス循環流量を減少させる。これと共に湿潤制御部 300 は、膜湿潤状態取得部 210 からの出力信号に応じて、燃料電池スタック 1 にのアノードガス圧力を上昇させる。

【0111】

湿潤制御部 300 は、アノードガス循環流量の目標値を示すアノード目標流量と、アノードガス圧力の目標値を示すアノード目標圧力とをアノード系指令部 250 に出力する。そして、湿潤制御部 300 は、カソードガス流量の目標値を示すカソード目標流量と、カソードガス圧力の目標値を示すカソード目標圧力とをカソード系指令部 240 に出力する。

20

【0112】

カソード系指令部 240 は、カソード目標流量、及びカソード目標圧力に基づいて、コンプレッサ 22 の回転速度、及びカソード調圧弁 26 の開度のうちの少なくとも一方を制御する。

【0113】

本実施形態では、カソード系指令部 240 は、カソードガス流量がカソード目標流量に収束するように、コンプレッサ 22 の回転速度を制御する。また、カソード系指令部 240 は、カソードガス圧力がカソード目標圧力に収束するように、カソード調圧弁 26 の開度を制御する。

30

【0114】

アノード系指令部 250 は、アノード目標流量、及びアノード目標圧力に基づいて、アノード循環ポンプ 36 の回転速度、及びアノード調圧弁 33 の開度のうちの少なくとも一方を制御する。

【0115】

本実施形態では、アノード系指令部 250 は、アノードガス循環流量がアノード目標流量に収束するように、アノード循環ポンプ 36 の回転速度を制御する。また、アノード系指令部 250 は、アノードガス圧力がアノード目標圧力に収束するように、アノード調圧弁 33 の開度を制御する。

40

【0116】

図 6 は、アノードガス循環流量推定部 230 に設定される流量推定マップの一例を示す概念図である。ここでは、横軸がアノード循環ポンプ 36 の回転速度を示し、縦軸がアノードガス循環流量を示す。図 6 に示すように、アノード循環ポンプ 36 の回転速度が高くなるほど、アノードガス循環流量が大きくなる。

【0117】

図 7 は、膜湿潤状態取得部 210 の詳細構成の一例を示すブロック図である。膜湿潤状態取得部 210 は、目標 HFR 演算部 211 と目標水収支演算部 212 とを含む。

【0118】

50

目標HFR演算部211は、燃料電池スタック1の運転状態に応じて、電解質膜111の湿潤状態を目標とする状態に操作するための目標HFRを演算する。

【0119】

本実施形態では、スタック出力電流と目標HFRとの関係を示す膜湿潤制御マップが目標HFR演算部211に予め記録される。目標HFR演算部211は、電流センサ51からスタック出力電流 I_s を取得すると、膜湿潤制御マップを参照し、取得したスタック出力電流 I_s に関係付けられた目標HFRを算出する。膜湿潤制御マップについては図8を参照して後述する。目標HFR演算部211は、算出した目標HFRを目標水収支演算部212に出力する。

【0120】

なお、目標HFR演算部211は、予め定められた演算式を用いてスタック出力電流 I_s に基づき目標HFRを演算するものであってもよい。また、目標HFR演算部211は、スタック出力電流 I_s の代わりに負荷装置5の要求電力を用いて目標HFRを算出するものであってもよい。

【0121】

目標水収支演算部212は、電解質膜111の湿潤状態が目標とする状態になるように、電解質膜111の水分を増減させるための目標水収支 Q_{w_t} を演算する。

【0122】

本実施形態では、目標水収支演算部212は、目標HFR演算部211から目標HFRを取得し、インピーダンス測定装置6から計測HFRを取得する。そして目標水収支演算部212は、計測HFRと目標HFRとの偏差がゼロに収束するように目標水収支 Q_{w_t} を演算する。

【0123】

例えば、目標水収支演算部212は、計測HFRから目標HFRを減算して計測HFRと目標HFRとの偏差を求め、その偏差に基づいてPI制御を実行して目標水収支 Q_{w_t} を算出する。目標水収支演算部212は、算出した目標水収支 Q_{w_t} を湿潤制御部300に出力する。

【0124】

図8は、目標HFR演算部211に設定される膜湿潤制御マップの一例を示す概念図である。ここでは、横軸がスタック出力電流を示し、縦軸が目標HFRを示す。目標HFRが大きくなるほど、電解質膜111が乾き易くなり、また目標HFRが小さくなるほど、電解質膜111が湿り易くなる。

【0125】

膜湿潤制御マップの目標HFRは、燃料電池スタック1の発電に伴って生成される液水が、カソードガス流路131に滞留してカソードガスの流れが阻害されないように設定される。

【0126】

膜湿潤制御マップでは、スタック出力電流が所定の電流値 I_1 よりも大きい大電流範囲内にあるときには、カソードガス流量が十分に大きくなるため、燃料電池スタック1内に滞留する液水の影響が小さい。そのため、膜湿潤制御マップでは、大電流範囲内の目標HFRは、小電流範囲内の目標HFRよりも小さく、且つ、一定の値に設定される。

【0127】

一方、スタック出力電流がゼロから電流値 I_1 までの小電流範囲内にあるときには、スタック出力電流が小さくなるほど、目標HFRが大きくなる。このように設定される理由は、カソードガス流量が少なくなるほど、カソードガス流路131に滞留する液水によってカソードガスの流れが阻害され易くなるからである。そのため、小電流範囲内の目標HFRは、大電流範囲内の目標HFRに比べて高く設定される。

【0128】

図9は、本実施形態におけるコントローラ200の湿潤制御方法に関する処理手順の一例を示すフローチャートである。この湿潤制御方法の処理手順は、所定の制御周期、例え

10

20

30

40

50

ば数m s e c（ミリセカンド）で繰り返し実行される。

【0129】

ステップS1においてコントローラ200は、燃料電池スタック1の運転状態を検出する。本実施形態では、コントローラ200の指示に従って、図1に示したインピーダンス測定装置6が燃料電池スタック1のHFRを検出し、流量センサ23がカソードガス流量を検出し、カソード圧力センサ24がカソードガス圧力を検出する。

【0130】

ステップS2においてコントローラ200のスタック目標電流演算部220は、負荷装置5から要求電力を取得し、その負荷装置5の要求電力に基づいて、スタック目標電流を演算する。

10

【0131】

ステップS3においてコントローラ200は、流量センサ23からカソードガス流量を取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力を取得し、アノード圧力センサ37からアノードガス圧力を取得する。さらにコントローラ200のアノードガス循環流量推定部230は、式(1)のように、アノード循環ポンプ36の回転速度に基づいて、アノードガス循環流量を推定する。

【0132】

ステップS4においてコントローラ200の膜湿潤状態取得部210は、インピーダンス測定装置6から、電解質膜111の湿潤状態と関連のある計測HFRを取得する。

【0133】

20

ステップS5においてコントローラ200の目標HFR演算部211は、燃料電池スタック1の発電性能を維持するための目標HFRを演算する。具体的には、目標HFR演算部211は、電流センサ51からスタック出力電流を取得すると、図8に示した膜湿潤制御マップを用いて、電流センサ51からのスタック出力電流に関係付けられた目標HFRを算出する。

【0134】

ステップS6においてコントローラ200の目標水収支演算部212は、計測HFRが目標HFRに収束するように、電解質膜111の水分の過不足を補うための目標水収支を演算する。

【0135】

30

ステップS7においてコントローラ200の湿潤制御部300は、電解質膜111の湿潤状態に基づいて、ドライ操作を実施する必要があるか否かを判断する。本実施形態では、湿潤制御部300は、計測HFRが所定の下限值に達したか否かを判断し、計測HFRが下限値に達した場合にドライ操作を実施する必要があると判定する。

【0136】

ステップS8において湿潤制御部300は、ドライ操作を実施する場合には、アノード調圧弁33及びアノード循環ポンプ36のうちアノード循環ポンプ36の動作を優先して制御する。すなわち、湿潤制御部300は、ドライ操作時にアノード調圧弁33の負荷に対するアノード循環ポンプ36の負荷の割合を示す負荷割合を高くする。これにより、アノード循環ポンプ36の回転速度が優先して下げられるので、アノードガス循環流量が減少する。これにより、図4に示したように、アノードガス圧力を上げることにより電解質膜111の湿潤状態がドライ側に遷移する状態を確保することができる。

40

【0137】

ステップS9において湿潤制御部300は、ステップS6で算出された目標水収支を達成するため、アノード循環ポンプ36の負荷制御によるドライ操作を補完するようにアノード調圧弁33の動作を制御する。これにより、アノード調圧弁33の開度が大きくなるので、燃料電池スタック1のアノードガス圧力が上昇する。したがって、図4に示したように、電解質膜111の湿潤状態がさらにドライ側に遷移する。この後、コンプレッサ22及びカソード調圧弁26の動作が制御される。

【0138】

50

ステップS10において湿潤制御部300は、ドライ操作を実施しない場合には、通常の湿潤制御処理を実行する。例えば、湿潤制御部300は、目標水収支に基づいて、コンプレッサ22、カソード調圧弁26、アノード調圧弁33及びアノード循環ポンプ36の優先順位を定めずに各アクチュエータを制御する。なお、湿潤制御部300は、燃料電池スタック1の湿潤状態によってはステップS8及びS9の一連の処理を実行するものであってもよい。

【0139】

ステップS9及びステップS10の処理が終了すると、コントローラ200の湿潤制御方法に関する一連の処理手順が終了する。

【0140】

図10は、本実施形態の湿潤制御部300により実施されるドライ操作の一例を示すタイムチャートである。

【0141】

図10(A)は、燃料電池スタック1における水収支の変化を示す図である。燃料電池スタック1の水収支とは、燃料電池スタック1の発電に伴って生成される生成水量と、燃料電池スタック1から燃料電池システム100の外部に排出される排水量との収支のことである。図10(B)は、アノードガス循環流量の変化を示す図である。図10(C)は、燃料電池スタック1のアノードガス圧力の変化を示す図である。

【0142】

図10(D)は、アノード循環水量の変化を示す図である。アノード循環水量とは、アノードガス流路121及びアノードガス循環通路35内に留保する水の総量のことである。すなわちアノード循環水量は、アノードガス流路121及びアノードガス循環通路35内に保管される水量である。図10(A)から図10(D)までの各図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0143】

図10の各図面では、アノードガスの減量制御を実行した後にアノードガスの減量制御を実行したときの本実施形態によるドライ操作が実線により示され、アノードガスの昇圧制御を実行した後にアノードガスの減量制御を実行したときのドライ操作が点線により示されている。

【0144】

時刻t0では、図10(A)に示すように、燃料電池スタック1の水収支の目標値を示す目標水収支が大幅に低下し、ドライ操作が実施される。例えば、車両のアクセルペダルが踏まれて負荷装置5の要求電力が大幅に上昇すると、燃料電池スタック1の発電に伴い発生する多量の生成水によって電解質膜111が加湿され、その後に負荷装置5の要求電力が低下したときに目標水収支が大幅に低下する。

【0145】

本実施形態では、図10(B)の実線で示すように、アノード循環ポンプ36の回転速度が下げられてアノードガス循環流量が低下する。これに伴って、図10(D)の実線で示すようにアノード循環水量が低下し、その結果、図10(A)の実線で示すように、燃料電池スタック1の水収支が低下する。すなわち、電解質膜111の水分が減少する。

【0146】

時刻t1において、アノードガス循環流量がドライ操作の下限値に到達し、図10(C)の実線で示すように、アノード調圧弁33の開度が徐々に上げられてアノードガス圧力が上昇する。これに伴って、アノードガス流路121内の水蒸気分圧が上昇し、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流量する水蒸気量が減少するので、図10(D)の実線で示すようにアノード循環水量が減少する。これに伴って、図10(A)の実線で示すように燃料電池スタック1の水収支が低下する。

【0147】

時刻t2において、燃料電池スタック1の水収支が目標値に到達してドライ操作が終了する。

【0148】

ここで、図10(C)の点線で示すように、時刻 t_0 においてアノードガス流量制御よりも先にアノードガス圧を上昇させると、図10(D)の点線で示すようにアノード循環水量は殆ど減少しない。その結果、図10(A)の点線で示すように燃料電池スタック1の水収支は下らない。時刻 t_0 から時刻 t_1 までの期間は、図10(B)の点線で示すようにアノードガス循環流量は一定に維持されるため、アノード循環ポンプ36の電力が無用に消費されてしまう。さらに、図10(A)の点線で示すように、時刻 t_2 を経過しても燃料電池スタック1の水収支が目標値に到達しないため、ドライ操作に要する時間が長くなってしまう。

【0149】

これに対し、本実施形態の湿潤制御部300は、アノード調圧弁33によるアノードガスの昇圧制御よりも優先して、アノード循環ポンプ36によるアノードガスの減量制御を実行する。これにより、アノード循環ポンプ36の消費電力を低減しつつ、早期にドライ操作を完了することができる。

【0150】

本発明の第1実施形態によれば、燃料電池システム100は、酸化剤を含むカソードガスが流れるカソードガス給排装置(酸化剤系)2と、カソードガス給排装置2の流れと対向する方向に燃料を含むアノードガスが流れるアノードガス給排装置(燃料系)3とを備える。カソードガス給排装置(酸化剤系)2は、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスにより燃料電池10の電解質膜111で発生した水を排出する排水手段を構成するコンプレッサ22及びカソード調圧弁26を備える。アノードガス給排装置3は、アノードガスを循環させるアクチュエータであるアノード循環ポンプ(燃料循環手段)36と、アノードガス給排装置3の圧力を調整するアノード調圧弁(燃料系圧力調整手段)とを備え、電解質膜111で発生した水を留保する。

【0151】

そして、燃料電池システム100を制御するコントローラ(湿潤制御装置)200は、燃料電池スタック1に積層された電解質膜111の湿潤状態を示す信号を取得する膜湿潤状態取得部(取得手段)210を備える。さらにコントローラ200は、膜湿潤状態取得部210からの信号に応じて、少なくともアノード循環ポンプ36とアノード調圧弁33とを操作して電解質膜111の湿潤状態を制御する湿潤制御部(制御手段)300を備える。湿潤制御部300は、少なくとも電解質膜111の水分を減らすドライ操作時には、アノード循環ポンプ36の動作をアノード調圧弁33の動作よりも優先して制御する。

【0152】

このため、ドライ操作を実施する場合には、アノード循環ポンプ36の動作に比べてアノード調圧弁33の動作が抑制されるので、アノード循環ポンプ36を先に動作させることができる。これにより、図4に示したように、アノード調圧弁33の開度を制御しても電解質膜111の水分が減り難いような状態では、ドライ操作の開始と共にアノード循環ポンプ36の動作が制御される。このため、少なくともドライ操作において、アノード調圧弁33に対する無駄な制御が抑制されるので、無用な待ち時間を削減することができる。したがって、効率よく燃料電池スタック1の湿潤状態を制御することができる。

【0153】

また、本実施形態によれば、図2に示したように、燃料電池10は、電解質膜111の一方の面に対してカソードガスを通すカソードガス流路131と、電解質膜111の他方の面に対してカソードガス流路131に流れるカソードガスの向きとは反対の向きにアノードガスを通すアノードガス流路121とにより構成される。アノードガス給排装置3は、アノードガス流路121の一端から排出されるアノードガスをアノードガス流路121の他端に導入して循環させるアノードガス循環通路(燃料循環手段)35をさらに含む。アノードガス循環通路35に設けられたアノード循環ポンプ36の回転速度を変化させることにより、アノードガス循環通路35を流れるアノードガスの循環流量は増減する。そして、湿潤制御部300は、図10(D)及び図10(B)に示したように、少なくとも

ドライ操作時において、アノードガス循環通路 35 を循環する水量であるアノード循環水量を減らす場合には、アノードガスの循環流量を減少させる。

【0154】

このため、ドライ操作を実施する場合には、アノードガスの循環流量を減少させるためにアノード循環ポンプ 36 の回転速度が下げられるので、アノード循環ポンプ 36 の消費電力を低減することができる。

【0155】

このように、アノード循環ポンプ 36 の動作をアノード調圧弁 33 の動作よりも優先して制御することで、ドライ操作の開始と同時にアノード循環ポンプ 36 の回転速度が下げられるので、燃料電池システム 100 の消費電力を低減することができる。このため、ドライ操作に要する時間の短縮と、燃料電池システム 100 の消費電力の低減とを両立できる。

10

【0156】

また、本実施形態によれば、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アノード調圧弁 33 の開度を変化させることにより、アノードガス流路 121 のアノードガス圧力は昇降する。そして、湿潤制御部 300 は、図 10 (C) 及び図 10 (D) に示したように、少なくともドライ操作時において、アノード循環水量を減らす場合には、アノードガス流路 121 に供給されるアノードガスの圧力を上昇させる。

【0157】

このように、ドライ操作を実施する場合には、燃料電池スタック 1 のアノードガス圧力が上昇するので、電解質膜 111 にアノードガスを十分に供給できる状態が確保される。これにより、負荷装置 5 の要求電力が急峻に高くなったとしても迅速に燃料電池スタック 1 の発電電力を増加させることができる。すなわち、ドライ操作を実施しつつ、燃料電池スタック 1 の出力を確保することができる。

20

【0158】

これに加えて、アノード調圧弁 33 によるアノードガスの昇圧制御は、アノード循環ポンプ 36 によるアノードガスの減量制御の実行中又は実行後に行われる。このため、図 4 に示したように、アノードガス循環流量が減少してドライ操作への寄与度が得られる状態になってからアノードガスの昇圧制御が行われることになるので、ドライ操作をより効果的に実施することができる。このため、燃料電池スタック 1 の発電の応答性を確保しつつ、ドライ操作を効果的に実行することができる。

30

【0159】

以上のように、本実施形態によれば、燃料電池スタック 1 の発電性能を確保しつつ、早期、かつ、効果的にドライ操作を完了することができるので、効率よく電解質膜 111 の湿潤状態を制御することができる。

【0160】

(第 2 実施形態)

次に、ドライ操作を実施するときの湿潤制御部 300 の構成例について詳細に説明する。

【0161】

図 11 は、本発明の第 2 実施形態における湿潤制御部 300 の機能構成の一例を示すブロック図である。

40

【0162】

湿潤制御部 300 は、燃料電池スタック 1 の湿潤制御で実行される複数のガス状態量の制御に関する優先順位を設定する優先順位設定部 301 を含む。優先順位設定部 301 は、DRY 操作モード切替部 310 と、出力重視 DRY 操作設定部 311 と、燃費重視 DRY 操作設定部 312 と、速乾性重視 DRY 操作設定部 313 とを含む。

【0163】

優先順位設定部 301 は、燃料電池スタック 1 の湿潤状態に応じて、アノードガス及びカソードガスの各状態量を制御する制御順位を設定する。すなわち、優先順位設定部 30

50

1は、コンプレッサ22、カソード調圧弁26、アノード調圧弁33及びアノード循環ポンプ36の各動作を制御する優先順位を設定する。このように、優先順位設定部301は、燃料電池スタック1の湿潤制御に用いられる複数のアクチュエータの各動作の負荷割合を設定する。

【0164】

D R Y操作モード切替部310は、インピーダンス測定装置6からの計測H F Rが、目標H F R演算部211からの目標H F R以上である場合には、ウェット操作を実施する必要があると判断する。D R Y操作モード切替部310は、ドライ操作を実施する必要があると判断した場合には、燃料電池スタック1の発電状態に応じて、出力重視モード、速乾性重視モード、及び燃費重視モードの中から1つのドライ操作モードを選択する。

10

【0165】

出力重視モードは、第1実施形態のドライ操作に対応するものであり、燃料電池スタック1の出力（発電電力）を確保しつつ電解質膜111の水分を減らすドライ操作モードである。

【0166】

速乾性重視モードは、電解質膜111の余剰の水分を速やかに減らすドライ操作モードである。燃費重視モードは、燃料電池システム100の消費電力の増加を低減しつつ電解質膜111の水分を減らすドライ操作モードである。

【0167】

D R Y操作モード切替部310は、電解質膜111の余剰の水分を速やかに減らす必要があるか否かを判断する。本実施形態では、D R Y操作モード切替部310は、計測H F Rと目標H F Rとの差分が所定の速乾要求閾値を超えるか否かを判断する。D R Y操作モード切替部310は、その差分が速乾要求閾値を超えた場合には、電解質膜111の水分を速やかに減らす必要があると判断し、速乾性重視モードを示す選択信号を速乾性重視D R Y操作設定部313に出力する。

20

【0168】

D R Y操作モード切替部310は、電解質膜111の余剰の水分を速やかに減らす必要がないと判断した場合には、燃料電池スタック1の出力を確保する必要があるか否かを判断する。本実施形態では、D R Y操作モード切替部310は、スタック目標電流演算部220からのスタック目標電流が所定の高負荷要求閾値を超えるか否かを判断する。D R Y操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値を超えた場合には、燃料電池スタック1の出力を確保する必要があると判断し、出力重視モードを示す選択信号を出力重視D R Y操作設定部311に出力する。

30

【0169】

また、D R Y操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値未満である場合には、燃料電池システム100の消費電力を抑制可能であると判断し、燃費重視モードを示す選択信号を燃費重視D R Y操作設定部312に出力する。

【0170】

出力重視D R Y操作設定部311は、出力重視モードを示す選択信号を受信すると、出力重視ドライ操作を実施するための各制御に関する優先順位を設定する。

40

【0171】

燃費重視D R Y操作設定部312は、燃費重視モードを示す選択信号を受信すると、燃費重視ドライ操作を実施するための各制御に関する優先順位を設定する。

【0172】

速乾性重視D R Y操作設定部313は、速乾性重視モードを示す選択信号を受信すると、速乾性重視ドライ操作を実施するための各制御に関する優先順位を設定する。

【0173】

なお、本実施形態では計測H F Rに基づいてドライ操作を実施する必要があるか否かを判定したが、D R Y操作モード切替部310は、目標水収支が所定の閾値よりも大きい場合にはドライ操作を実施する必要があると判定するものであってもよい。あるいは、D R

50

Y 操作モード切替部 310 は、所定のサンプリング周期で目標水収支を取得し、目標水収支の今回値が前回値よりも小さい場合にドライ操作が開始する必要があると判定するものであってもよい。

【0174】

図12は、出力重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部300の詳細構成の一例を示すブロック図である。

【0175】

湿潤制御部300は、出力重視DRY操作設定部311と、アノード目標流量演算部320aと、アノード目標圧力演算部330aと、カソード目標圧力演算部340aと、カソード目標流量演算部350aとを含む。

10

【0176】

出力重視DRY操作設定部311は、DRY操作モード切替部310から選択信号を受信すると、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス流量制御、及びカソードガス圧力制御の各制御についての優先順位を設定する。

【0177】

例えば、出力重視DRY操作設定部311は、計測HFRが目標HFR以上である場合には、ウェット操作を実施するためのウェット操作パラメータとして、カソードガス圧力、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の各計測値を出力する。

【0178】

一方、出力重視DRY操作設定部311は、計測HFRが目標HFRよりも低い場合には、各制御の優先順位を設定するためのドライ操作パラメータとして、各計測値の代わりに、電解質膜111を現在よりもウェット状態にするときのWET操作値を出力する。

20

【0179】

例えば、出力重視ドライ操作においては、カソードガス流量制御のWET操作値としては、カソードガス流量の計測値よりも小さな値が用いられ、カソードガス圧力制御のWET操作値としては、カソードガス圧力の計測値よりも大きな値が用いられる。また、アノードガス圧力制御のWET操作値としては、アノードガス圧力の計測値よりも小さな値が用いられる。

【0180】

本実施形態では、出力重視DRY操作設定部311は、ドライ操作パラメータとして、カソード下限流量、カソード上限圧力、及びアノード下限圧力を出力する。これらのドライ操作パラメータは、電解質膜111を最も湿った状態に遷移させる場合に用いられるWET操作値である。

30

【0181】

カソード下限流量は、燃料電池スタック1においてフラッディングが発生しないように定められたカソードガス流量の下限値である。すなわち、カソード下限流量は、燃料電池スタック1の発電性能を確保できる範囲で最も低いカソードガス流量に設定される。カソード下限流量は、実験データやシミュレーションなどを用いて予め設定される。なお、フラッディングとは、燃料電池スタック1の発電に伴う液水が電解質膜111に詰まり、燃料電池スタック1の発電が不安定になる状態のことをいう。

40

【0182】

カソード上限圧力は、燃料電池スタック1の運転状態に応じて定められるカソードガス圧力の上限値である。例えば、カソード上限圧力は、負荷装置5の要求電力に基づいて算出されるカソードガス圧力の上限値や、アノードガス圧力と電解質膜111の許容差圧とに基づいて設定されるカソードガス圧力の上限値などの中から最も値が小さいカソードガス圧力に設定される。すなわち、カソード上限圧力は、燃料電池スタック1の発電性能を確保できる範囲で最も高いカソードガス圧力値に設定される。

【0183】

アノード下限圧力は、燃料電池スタック1の運転状態に応じて定められるアノードガス圧力の下限値である。例えば、アノード下限圧力は、負荷装置5の要求電力に基づいて算

50

出されるアノードガス圧力の下限值や、カソードガス圧力と電解質膜 1 1 1 の許容差圧とに基づいて設定されるアノードガス圧力の下限值などの中で値が最も大きいアノードガス圧力に設定される。すなわち、アノード下限圧力は、燃料電池スタック 1 の発電性能を確保できる範囲で最も低いアノードガス圧力値に設定される。

【0184】

このように、出力重視 D R Y 操作設定部 3 1 1 は、少なくともドライ操作時において、電解質膜 1 1 1 を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス圧力をアノード目標流量演算部 3 2 0 a に設定し、アノードガス流量の計測値又は推定値をアノード目標圧力演算部 3 3 0 a に設定する優先設定部を構成する。

【0185】

アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、電解質膜 1 1 1 の湿潤度と、燃料電池スタック 1 のアノードガス圧力とに基づいて、アノードガス循環通路 3 5 を循環するアノードガスの流量を制御する第 1 の流量制御部を構成する。

【0186】

本実施形態では、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、目標水収支演算部 2 1 2 からの目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス圧力とに基づいて、アノード目標流量を演算する。アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、演算したアノード目標流量をアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

【0187】

アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、目標水収支が大きくなるほど、電解質膜 1 1 1 の水分が増加するように、アノード目標流量を大きくする。一方、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、目標水収支が小さくなるほど、電解質膜 1 1 1 の水分が減少するように、アノード目標流量を小さくする。

【0188】

ドライ操作において、カソードガス流量が小さくなるほど、又はカソードガス圧力が大きくなるほど、カソードガスによって燃料電池スタック 1 から持ち出される水蒸気が減少して電解質膜 1 1 1 の水分が増加する。このため、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、カソードガス流量が小さくなるほど、又はカソードガス圧力が大きくなるほど、アノード目標流量を小さくする。また、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、アノードガス圧力が小さくなるほど、アノードガス流路 1 2 1 からカソードガス流路 1 3 1 に押し出される水蒸気が減少して電解質膜 1 1 1 の水分が増加するため、アノード目標流量を小さくする。

【0189】

本実施形態では、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、出力重視 D R Y 操作設定部 3 1 1 から、カソード下限流量、カソード上限圧力、及びアノード下限圧力を取得する。このため、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、カソードガス流量、カソードガス圧力、及びアノードガス圧力の各計測値を取得した場合に比べて、アノード目標流量を小さくすることができる。このように、出力重視 D R Y 操作設定部 3 1 1 は、ドライ操作において、アノード流量制御の優先順位を、カソードガス流量制御、カソードガス圧力制御、及びアノードガス圧力制御の優先順位よりも高くすることができる。

【0190】

アノード目標圧力演算部 3 3 0 a は、電解質膜 1 1 1 の湿潤度と、アノードガス循環通路 3 5 を循環するアノードガスの流量とに基づいて、燃料電池スタック 1 のアノードガス圧力を制御する第 1 の圧力制御部を構成する。

【0191】

アノード目標圧力演算部 3 3 0 a は、目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス流量とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。アノード目標圧力演算部 3 3 0 a は、演算したアノード目標圧力をアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

【0192】

アノード目標圧力演算部 3 3 0 a は、目標水収支が大きくなるほど、電解質膜 1 1 1 の

10

20

30

40

50

水分が増加するように、アノード目標圧力を小さくする。一方、アノード目標圧力演算部 330a は、目標水収支が小さくなるほど、電解質膜 111 の水分が減少するように、アノード目標圧力を大きくする。

【0193】

ドライ操作において、アノード目標圧力演算部 330a は、カソードガス流量が小さくなるほど、又はカソードガス圧力が大きくなるほど、カソードガスによって燃料電池スタック 1 から持ち出される水蒸気が減少するため、アノード目標圧力を大きくする。また、アノード目標圧力演算部 330a は、アノードガス循環流量が大きくなるほど、アノード循環水量が増加して電解質膜 111 の水分が増加するため、アノード目標圧力を大きくする。

10

【0194】

本実施形態では、アノード目標圧力演算部 330a は、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、カソード下限流量、及びカソード上限圧力を取得し、アノードガス循環流量推定部 230 から、アノードガス流量の推定値を取得する。このため、アノード目標圧力演算部 330a は、カソードガス流量、カソードガス圧力の各計測値を取得した場合に比べて、アノード目標圧力を大きくすることができる。このように、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、ドライ操作において、アノード圧力制御の優先順位を、カソードガス流量制御及び圧力制御の優先順位よりも高くすることができる。

【0195】

カソード目標圧力演算部 340a は、目標水収支と、カソードガス流量と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。カソード目標圧力演算部 340 は、演算したカソード目標圧力をカソード系指令部 240 に出力する。

20

【0196】

カソード目標圧力演算部 340a は、目標水収支が大きくなるほど、電解質膜 111 の水分が増加するように、カソード目標圧力を大きくする。一方、カソード目標圧力演算部 340 は、目標水収支が小さくなるほど、電解質膜 111 の水分が減少するように、カソード目標圧力を小さくする。

【0197】

ドライ操作において、カソード目標圧力演算部 340a は、カソードガス流量が小さくなるほど、カソードガスによって燃料電池スタック 1 から持ち出される水蒸気が減少して電解質膜 111 の水分が増加するため、カソード目標圧力を小さくする。また、カソード目標圧力演算部 340 は、アノードガス循環流量が大きくなるほど、又は、アノードガス圧力が小さくなるほど、アノード循環水量が増加して電解質膜 111 の水分が増加するため、カソード目標圧力を小さくする。

30

【0198】

本実施形態では、カソード目標圧力演算部 340a は、出力重視 DRY 操作設定部 311 からカソード下限流量を取得し、アノードガス循環流量推定部 230 からアノードガス循環流量の推定値を取得し、アノード圧力センサ 37 からアノードガス圧力の計測値を取得する。このため、カソード目標圧力演算部 340 は、カソードガス流量の計測値を取得する場合に比べて、カソード目標圧力を小さくすることができる。このように、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、ドライ操作において、カソード圧力制御の優先順位をカソードガス流量制御よりも高くすることができる。

40

【0199】

カソード目標流量演算部 350a は、目標水収支と、カソードガス圧力と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。カソード目標圧力演算部 340 は、演算したカソード目標圧力をカソード系指令部 240 に出力する。

【0200】

カソード目標流量演算部 350a は、目標水収支が大きくなるほど、電解質膜 111 の水分が増加するように、カソード目標流量を小さくする。一方、カソード目標流量演算部 350a は、目標水収支が小さくなるほど、電解質膜 111 の水分が減少するように、カ

50

ソード目標流量を大きくする。

【0201】

ドライ操作において、カソード目標流量演算部350aは、カソードガス圧力が大きくなるほど、カソードガスによって燃料電池スタック1から持ち出される水分が減少して電解質膜111の水分が増加するため、カソード目標流量を大きくする。また、カソード目標流量演算部350aは、アノードガス循環流量が大きくなるほど、又はアノードガス圧力が小さくなるほど、アノード循環水量が増加するため、カソード目標流量を大きくする。

【0202】

本実施形態では、カソード目標流量演算部350aは、アノードガス循環流量推定部230からアノードガス循環流量の推定値を取得し、アノード圧力センサ37からアノードガス圧力の計測値を取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力の計測値を取得する。このため、カソード目標流量演算部350aは、カソードガス圧力、アノードガス流量、及びアノードガス圧力の計測値に従ってカソード目標圧力を適切に増減させることができる。

【0203】

以上のように、出力重視DRY操作設定部311は、ドライ操作時に、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス圧力制御、カソードガス流量制御の順に優先順位を設定する。これにより、アノードガス圧力制御よりも優先してアノードガス流量制御が実行されるので、図10(B)に示したように、アノードガス循環流量が下がり、アノード循環ポンプ36の消費電力の低減しつつ、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

【0204】

また、ドライ操作ではカソードガス流量制御を実行する際にはコンプレッサ22の回転速度を高くするので、コンプレッサ22の消費電力が増加する。本実施形態では、出力重視ドライ操作において最後にカソードガス流量制御が実行されるので、コンプレッサ22の消費電力の増加を抑制することができる。

【0205】

また、アノード調圧弁33の異常などが原因でアノード調圧弁33が作動しない場合には、アノードガス圧力を上昇させる圧力制御が不能となることが懸念される。このような場合には出力重視DRY操作設定部311は、電解質膜111を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノード下限圧力に代えて、アノードガス圧力の計測値を出力する。すなわち、出力重視DRY操作設定部311は、ドライ操作時において、アノード調圧弁33が作動しない場合には、アノード目標流量演算部320aに設定されるアノードガス圧力を、アノードガス圧力のWET操作値からアノードガス圧力の計測値に切り替える。

【0206】

このようにアノードガス圧力が制御不能な場合には、アノード目標流量演算部320aは、燃料電池スタック1に供給されている実際のアノードガス圧力を用いてアノード目標流量を算出するので、アノード圧力制御系の異常状態に適したドライ操作を実施することができる。なお、アノードガス圧力制御不能時には、出力重視DRY操作設定部311での演算を停止するようにしてもよい。

【0207】

図13は、出力重視ドライ操作を実施するときのアノード目標流量演算部320aの詳細構成の一例を示すブロック図である。

【0208】

アノード目標流量演算部320aは、飽和水蒸気圧演算部321と、発電生成水量演算部322と、目標排水量算出部323とを含む。さらにアノード目標流量演算部320aは、カソード相対湿度演算部324と、An/Ca流量比演算部325と、アノード湿潤要求流量演算部326と、アノード下限流量演算部327と、アノード目標流量設定部328とを含む。

【0209】

飽和水蒸気圧演算部321は、燃料電池スタック1内の飽和水蒸気圧 P_{sat} を演算する。本実施形態では、飽和水蒸気圧演算部321は、入口水温センサ46及び出口水温センサ47から、それぞれスタック入口水温 T_{in} 及びスタック出口水温 T_{out} を取得し、両者を平均した値を、スタック温度 T として算出する。そして、飽和水蒸気圧演算部321は、スタック温度 T に基づいて、次式(2)のように、飽和水蒸気圧 P_{sat} を算出する。

【0210】

【数2】

$$P_{sat} = \frac{1}{7.5} \times 10^{8.02754 - \frac{1705.616}{231.405 + T}} \quad \dots (2) \quad 10$$

【0211】

発電生成水量演算部322は、燃料電池スタック1の出力に基づいて、各燃料電池10の発電により生成される生成水の総量を示す発電生成水量を演算する。

【0212】

本実施形態では、発電生成水量演算部322は、電流センサ51からスタック出力電流 I_s を取得し、スタック出力電流 I_s に基づいて、次式(3)のように、発電生成水量 Q_{w_in} を算出する。

【0213】

【数3】

$$Q_{w_in} = \frac{N \cdot I_s}{2F} \times 60 \times 22.4 \quad \dots (3) \quad 20$$

【0214】

なお、 N は、燃料電池スタック1に積層される燃料電池10の枚数であり、 F [C/mol]は、ファラデー定数(=96485.39)である。また、「60」は、単位時間あたりの発電生成水量を秒単位[s]から分単位[min]に変換するための換算値である。「22.4」は、標準状態の理想気体1モル[mol]の体積である。

【0215】

発電生成水量演算部322は、算出した発電生成水量 Q_{w_in} を目標排水量算出部323 30に出力する。

【0216】

目標排水量算出部323は、発電生成水量 Q_{w_in} と目標水収支 Q_{w_t} との差分に基づいて、燃料電池スタック1から排出すべき水分を示す目標排水量 Q_{w_out} を算出する。本実施形態では、目標排水量算出部323は、次式(4)のように、発電生成水量 Q_{w_in} から目標水収支 Q_{w_t} を減算して目標排水量 Q_{w_out} を算出する。

【0217】

【数4】

$$Q_{w_out} = Q_{w_in} - Q_{w_t} \quad \dots (4) \quad 40$$

【0218】

目標排水量算出部323は、算出した目標排水量 Q_{w_out} をカソード相対湿度演算部324に出力する。

【0219】

カソード相対湿度演算部324は、目標排水量 Q_{w_out} に基づき、目標とするカソード出口相対湿度 RH_{c_out} を演算する。カソード出口相対湿度 RH_{c_out} は、カソードガス流路131の出口(下流)側のカソードガス湿度をアノードガス流路121の入口(上流)側のアノードガス湿度で除算した値である。

【0220】

本実施形態では、カソード相对湿度演算部 324 は、目標排水量 Q_{w_out} と、飽和水蒸気圧 P_{sat} と、カソードガス流量と、カソードガス圧力とを用いて、燃料電池スタック 1 のカソード出口相对湿度 RH_{c_out} を演算する。

【0221】

出力重視ドライ操作においては、カソード相对湿度演算部 324 は、出力重視 DRY 操作設定部 311 から、カソード下限流量 Q_{c_min} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} を取得する。そして、カソード相对湿度演算部 324 は、次式 (5) のように、飽和水蒸気圧 P_{sat} とカソード上限圧力 P_{c_max} とカソード下限流量 Q_{c_min} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、目標とするカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ を算出する。

【0222】

【数 5】

$$RH_{c_out_min} = \frac{P_{c_max}}{P_{sat}} \times \frac{Q_{w_out}}{Q_{c_min} + Q_{w_out}} \quad \dots (5)$$

【0223】

式 (5) に示したように、カソードガス圧力が大きくなるほど、又はカソードガス流量が小さくなるほど、目標とするカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ は高くなる。したがって、カソード上限圧力 P_{c_max} 及びカソード下限流量 Q_{c_min} を用いることにより、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ が最も高くなる。これは、カソード側で電解質膜 111 が最も湿り易い状態であることを意味する。

【0224】

カソード相对湿度演算部 324 は、算出したカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ を A_n / C_a 流量比演算部 325 に出力する。

【0225】

A_n / C_a 流量比演算部 325 は、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ に基づいて、カソードガス流量に対するアノードガス流量の比率を示す A_n / C_a 流量比 K_{ac_min} を演算する。

【0226】

本実施形態では、アノードガス圧力とカソードガス圧力との差圧を示す極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときのカソード出口相对湿度と A_n / C_a 流量比との関係を示す相对湿度／流量比マップが、 A_n / C_a 流量比演算部 325 に予め記録される。相对湿度／流量比マップについては、図 14 を参照して後述する。

【0227】

A_n / C_a 流量比演算部 325 は、カソード相对湿度演算部 324 からカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ を取得すると、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの流量比マップを参照し、取得したカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_min}$ に関係付けられた A_n / C_a 流量比 $K_{ac_min_0}$ を算出する。

【0228】

一般に、 A_n / C_a 流量比は、極間差圧の大きさに応じて変化する。そのため、 A_n / C_a 流量比演算部 325 は、極間差圧 ΔP_{ac} に応じて A_n / C_a 流量比 $K_{ac_min_0}$ を補正する。

【0229】

本実施形態では、アノードガス圧力とカソードガス圧力との極間差圧と A_n / C_a 流量比の補正係数との関係を示す流量比補正マップが A_n / C_a 流量比演算部 325 に予め記録される。なお、流量比補正マップについては図 15 を参照して後述する。

【0230】

A_n / C_a 流量比演算部 325 は、出力重視 DRY 操作設定部 311 からアノード下限圧力 P_{a_min} 及びカソード上限圧力 P_{a_max} を取得し、カソード上限圧力 P_{c_max} をアノード下限圧力 P_{a_min} から減算して極間差圧 ΔP_{ac_min} を算出する。

【0231】

10

20

30

40

50

A n / C a 流量比演算部 3 2 5 は、極間差圧 ΔP_{ac_min} を算出すると、流量比補正マップを参照し、算出した極間差圧 ΔP_{ac_min} に関係付けられた補正係数 E_{ac_min} を算出する。A n / C a 流量比演算部 3 2 5 は、次式 (6) のように、算出した補正係数 E_{ac_min} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの A n / C a 流量比 $K_{ac_min_0}$ に乗算することにより、極間差圧 ΔP_{ac_min} に応じた A n / C a 流量比 K_{ac_min} を算出する。

【0 2 3 2】

【数 6】

$$K_{ac_min} = E_{ac_min} \times K_{ac_min_0} \quad \dots (6)$$

10

【0 2 3 3】

A n / C a 流量比演算部 3 2 5 は、算出した A n / C a 流量比 K_{ac_min} をアノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 に出力する。

【0 2 3 4】

アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、A n / C a 流量比 K_{ac_min} に基づいて、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を目標とする状態にするためのアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を演算する。

【0 2 3 5】

出力重視ドライ操作において、アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、出力重視 D R Y 操作設定部 3 1 1 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得する。そして、アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、次式 (7) のように、A n / C a 流量比 K_{ac_min} をカソード下限流量 Q_{c_min} に乗算することにより、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を算出する。

20

【0 2 3 6】

【数 7】

$$Q_{a_rw} = K_{ac_min} \times Q_{c_min} \quad \dots (7)$$

【0 2 3 7】

アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、算出したアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} をアノード目標流量設定部 3 2 8 に出力する。

30

【0 2 3 8】

アノード下限流量演算部 3 2 7 は、燃料電池システム 1 0 0 の運転状態に応じて、アノード下限流量を演算する。アノード下限流量は、電解質膜 1 1 1 の湿潤要求とは異なる要求によって設定されるアノードガス流量の下限値である。電解質膜 1 1 1 の湿潤要求とは異なる要求としては、例えば、負荷装置 5 の発電要求や、電解質膜 1 1 1 の保護要求、フラidding防止要求などが挙げられる。

【0 2 3 9】

例えば、アノード下限流量演算部 3 2 7 は、負荷装置 5 の要求電力に基づいて、燃料電池スタック 1 の発電に必要なアノードガス循環流量を示すアノード負荷要求流量を演算する。この例では、スタック目標電流とアノード負荷要求流量との関係を示す負荷要求流量マップがアノード下限流量演算部 3 2 7 に予め記録される。アノード下限流量演算部 3 2 7 は、スタック目標電流演算部 2 2 0 からスタック目標電流を取得すると、負荷要求流量マップを参照し、取得したスタック目標電流に関連付けられたアノード負荷要求流量を算出する。アノード下限流量演算部 3 2 7 は、算出したアノード負荷要求流量を、アノード下限流量としてアノード目標流量設定部 3 2 8 に出力する。

40

【0 2 4 0】

アノード目標流量設定部 3 2 8 は、アノード下限流量とアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} とのうち大きい方の値を、アノード目標流量としてアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

【0 2 4 1】

図 1 4 は、A n / C a 流量比演算部 3 2 5 に設定される相対湿度／流量比マップの一例

50

を示す観念図である。ここでは、横軸が、カソードガス流量に対するアノードガス流量の比率を示す A_n / C_a 流量比 K_{ac} を示し、縦軸が、カソードガス流路 131 の出口でのカソードガス相対湿度であるカソード出口相対湿度 RH_{c_out} を示す。

【0242】

カソード出口相対湿度 RH_{c_out} は、アノードガス流量が極めて少なく、発電に伴う生成水のほぼ全てがカソードガス流路 131 から外部に排出されている状態を「100%」としている。相対湿度／流量比マップは、カソードガス流量とアノードガス流量とを互いに变化させたときの実験データなどを用いて予め設定される。例えば、相対湿度／流量比マップは、スタック温度や、水素濃度などを变化させたときの平均値や、誤差が小さくなるように算術処理された統計値などにより設定される。

10

【0243】

相対湿度／流量比マップには、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの A_n / C_a 流量比 K_{ac_0} の特性が設定される。ここでは、 A_n / C_a 流量比 K_{ac_0} が実線により示されている。また、理解を容易にするために極間差圧 ΔP_{ac} がゼロよりも大きいときの A_n / C_a 流量比と、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロよりも小さいときの A_n / C_a 流量比とが破線により示されている。なお、破線により示された A_n / C_a 流量比の特性は、図 15 に示す流量比補正マップの補正係数 E_{ac} を A_n / C_a 流量比 K_{ac_0} に掛け合わせることで求めることができる。

【0244】

相対湿度／流量比マップでは、 A_n / C_a 流量比 K_{ac} が小さくなるほど、カソードガスによって燃料電池スタック 1 から持ち出される水蒸気の排水量が増加するため、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} は大きくなる。また、極間差圧 ΔP_{ac} が大きくなるほど、カソードガス流路 131 からアノードガス流路 121 へ押し出される水蒸気の流量が減少するため、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} は大きくなる。

20

【0245】

図 15 は、 A_n / C_a 流量比演算部 325 に設定される流量比補正マップの一例を示す観念図である。ここでは、横軸が、アノードガス圧力 P_a からカソードガス圧力 P_c を減算した極間差圧 $\Delta P_{ac} (= P_a - P_c)$ を示し、縦軸が、 A_n / C_a 流量比を補正するための補正係数 E_{ac} を示す。補正係数 E_{ac} は、極間差圧 ΔP_{ac} が 0 のときに「1」となるように規格化されている。流量比補正マップは、カソードガス圧力とアノードガス圧力とを互いに变化させたときの実験データ等により予め設定される。

30

【0246】

流量比補正マップでは、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロよりも大きくなるほど、アノードガス流路 121 からカソードガス流路 131 へリークするアノードガスの流量が増加するため、補正係数 E_{ac} は「1」よりも大きくなる。一方、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロよりも小さくなるほど、カソードガス流路 131 からアノードガス流路 121 へリークするカソードガスの流量が増加するため、補正係数 E_{ac} は「1」よりも小さくなる。

【0247】

このように、燃料電池スタック 1 では、極間差圧 ΔP_{ac} に応じてアノードガス流量に対するカソードガス流量の A_n / C_a 流量比 K_{ac} が変化するため、補正係数 E_{ac} を用いて A_n / C_a 流量比 K_{ac} が補正される。

40

【0248】

以上のように、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を大きくするには、上記の式 (5) の関係から、カソードガス流量を計測値よりも小さくし、カソードガス圧力を計測値よりも大きくすればよい。また、極間差圧 ΔP_{ac} を小さくするには、アノードガス圧力を計測値よりも小さくするか、カソードガス圧力を計測値よりも大きくすればよい。

【0249】

このため、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、アノードガス循環流量を速やかに減少させるために、カソード下限流量 Q_{c_min} 、カソード上限圧力 P_{c_max} 及びアノード下限圧力 P_{c_min} を、計測値の代わりにアノード目標流量演算部 320a に出力する。

50

【0250】

これにより、出力重視ドライ操作において、単にカソードガスの流量及び圧力の計測値を用いる場合に比べて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ が大きくなるので、 An/Ca 流量比 K_{ac_min} を小さくすることができる。さらにアノード下限圧力 P_{c_max} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} を用いることにより、極間差圧 ΔP_{ac_min} が小さくなるので、 An/Ca 流量比 K_{ac_min} をより一層小さくすることができる。したがって、出力重視ドライ操作におけるアノードガス流量制御の優先度（負荷）が最も高くなるので、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を早期に下げることができる。

【0251】

図16は、出力重視ドライ操作を実施するときのアノード目標圧力演算部330aの機能構成の一例を示すブロック図である。

【0252】

アノード目標圧力演算部330aは、アノード上限圧力演算部331と、カソード相対湿度演算部332と、 An/Ca 流量比演算部333と、アノード湿潤要求圧力演算部334と、アノード目標圧力設定部335とを含む。

【0253】

アノード上限圧力演算部331は、燃料電池システム100の運転状態に応じて、アノード上限圧力を演算する。アノード上限圧力は、電解質膜111の湿潤要求とは異なる要求により設定されるアノードガス圧力の上限值である。

【0254】

例えば、アノード上限圧力演算部331は、予め定められた電解質膜111の許容圧力をカソード圧力センサ24からのカソードガス圧力に加算して電解質膜111を保護するためのアノードガス圧力の上限值を示すアノード膜保護要求圧力を算出する。また、アノード上限圧力演算部331は、負荷装置5の要求電力に基づいて、燃料電池スタック1の発電に必要となるアノードガス圧力を示すアノード負荷要求圧力を算出する。そして、アノード上限圧力演算部331は、算出したアノード負荷要求圧力やアノード膜保護要求圧力などを、アノード上限圧力としてアノード目標圧力設定部335に出力する。

【0255】

カソード相対湿度演算部332は、出力重視DRY操作設定部311から、カソード下限流量 Q_{c_min} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} を取得する。カソード相対湿度演算部332は、上述の式(5)のように、カソード下限流量 Q_{c_min} とカソード上限圧力 P_{c_max} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、目標とするカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ を算出する。カソード相対湿度演算部332は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ を An/Ca 流量比演算部333に出力する。

【0256】

An/Ca 流量比演算部333は、図13に示したものと同様の機能を有する。 An/Ca 流量比演算部333は、目標とするカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ に基づいて、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_min_0}$ を演算する。

【0257】

本実施形態では、 An/Ca 流量比演算部333は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ を取得すると、図14の相対湿度／流量比マップを参照し、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ に関係付けられた An/Ca 流量比 $K_{ac_min_0}$ を算出する。

【0258】

さらに、 An/Ca 流量比演算部333は、出力重視DRY操作設定部311からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、アノードガス循環流量推定部230からアノードガス流量 Q_{a_sens} を取得する。 An/Ca 流量比演算部333は、カソード下限流量 Q_{c_min} をアノードガス流量 Q_{a_sens} により除算して、 An/Ca 流量比 K_{ac_qcmin} を算出する。

【0259】

An/Ca 流量比演算部333は、次式(8)のように、 An/Ca 流量比 K_{ac_qcmin} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_min_0}$ により除算して、補正係

数 E_{ac_3max} を算出する。

【0260】

【数8】

$$E_{ac_3max} = \frac{K_{ac_qcmin}}{K_{ac_min_0}} \quad \dots (8)$$

【0261】

An/Ca 流量比演算部 333 は、補正係数 E_{ac_3max} を算出すると、図 15 の流量比補正マップを参照し、補正係数 E_{ac_3max} に関係付けられた極間差圧 ΔP_{ac_3max} を算出する。An/Ca 流量比演算部 333 は、算出した極間差圧 ΔP_{ac_3max} をアノード湿潤要求圧力演算部 334 に出力する。

10

【0262】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、極間差圧 ΔP_{ac_3max} に基づいて、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を目標とする状態にするためのアノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を演算する。

【0263】

本実施形態では、アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、出力重視 DRY 操作設定部 311 からカソード上限圧力 P_{c_max} を取得すると、次式 (9) のように、極間差圧 ΔP_{ac_3max} にカソード上限圧力 P_{c_max} を加算することにより、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を算出する。

20

【0264】

【数9】

$$P_{a_rw} = \Delta P_{ac_3max} + P_{c_max} \quad \dots (9)$$

【0265】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} をアノード目標圧力設定部 335 に出力する。

【0266】

アノード目標圧力設定部 335 は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} とアノード上限圧力演算部 331 からのアノード上限圧力とのうち小さい方の値を、アノード目標圧力としてアノード系指令部 250 に出力する。

30

【0267】

以上のように、出力重視ドライ操作においてアノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を速やかに大きくするには、式 (8) の関係から、極間差圧 ΔP_{ac_3max} を大きくして補正係数 E_{ac_3max} を大きくする必要がある。補正係数 E_{ac_3max} を大きくするには、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ を大きくすればよい。

【0268】

このため、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、出力重視ドライ操作時に、上式 (5) の関係から、カソードガス流量及び圧力の計測値の代わりに、カソード下限流量 Q_{c_min} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} をアノード目標圧力演算部 330a に出力する。これにより、出力重視ドライ操作時において、単にカソードガスの流量及び圧力の計測値を用いる場合に比べて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ が大きくなるので、An/Ca 流量比 $K_{ac_min_0}$ が小さくなる。そして、式 (8) の関係から補正係数 E_{ac_3max} が大きくなり、これに伴い、図 15 に示したように極間差圧 ΔP_{ac_3max} が大きくなるので、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を大きくすることができる。

40

【0269】

例えば、図 10 (B) に示したように、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} が低下してアノードガス循環流量の計測値 Q_{a_sens} が低下するほど、アノード目標圧力演算部 330a では、An/Ca 流量比 K_{ac_qcmin} が低下する。An/Ca 流量比 K_{ac_qcmin} が低下するほど

50

、式（８）の関係から、 A_n/C_a 流量比の補正係数 E_{ac_3max} が小さくなり、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} は小さくなる。すなわち、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} が低下するほど、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} は小さくなる。

【０２７０】

一方、式（５）の関係から、目標水収支 Q_{w_t} が小さくなって目標排水量 Q_{w_out} が大きくなるほど、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ は大きくなるので、 A_n/C_a 流量比の比率 E_{ac} が大きくなり、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} が大きくなる。

【０２７１】

このように、アノード目標圧力演算部 ３３０ａは、出力重視ドライ操作において、アノードガス流量を下げている状況であっても、目標排水量 Q_{w_out} が減少しなければ、アノード目標圧力を上昇させることができる。すなわち、湿潤制御部 ３００は、出力重視ドライ操作時には、アノードガス循環流量が増加するほど、アノードガス圧力の上昇を抑制し、かつ、電解質膜 １１１の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス圧力を上昇させることができる。

【０２７２】

図１７は、出力重視ドライ操作を実施するときのカソード目標圧力演算部 ３４０ａの機能構成の一例を示すブロック図である。

【０２７３】

カソード目標圧力演算部 ３４０ａは、 A_n/C_a 流量比演算部 ３４１と、カソード相対湿度演算部 ３４２と、カソード湿潤要求圧力演算部 ３４３と、カソード下限圧力演算部 ３４４と、カソード目標圧力設定部 ３４５とを含む。

【０２７４】

出力重視ドライ操作において、 A_n/C_a 流量比演算部 ３４１は、出力重視 DRY 操作設定部 ３１１からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、アノードガス循環流量推定部 ２３０からのアノードガス循環流量を計測値 Q_{a_sens} として取得する。 A_n/C_a 流量比演算部 ３４１は、アノードガス流量 Q_{a_sens} をカソード下限流量 Q_{c_min} により除算して、 A_n/C_a 流量比 K_{ac_qcmin} を算出する。

【０２７５】

カソード相対湿度演算部 ３４２は、アノード圧力センサ ３７からアノードガス圧力 P_{a_sens} を取得し、アノードガス圧力 P_{a_sens} から暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} を減算して暫定極間差圧 ΔP_{ac_pr} を算出する。暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} は、所定の範囲で変化するパラメータである。

【０２７６】

カソード相対湿度演算部 ３４２は、 A_n/C_a 流量比 K_{ac_qcmin} を取得すると、図１５の流量比補正マップを参照し、暫定極間差圧 ΔP_{ac_pr} に関係付けられた暫定補正係数 E_{ac_pr} を算出する。カソード相対湿度演算部 ３４２は、その暫定補正係数 E_{ac_pr} により A_n/C_a 流量比 K_{ac_qcmin} を除算して、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの暫定 A_n/C_a 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ を算出する。

【０２７７】

カソード相対湿度演算部 ３４２は、暫定 A_n/C_a 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ を算出すると、図１４の相対湿度／流量比マップを参照し、暫定 A_n/C_a 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ に関係付けられた暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pr}$ として算出する。

【０２７８】

カソード相対湿度演算部 ３４２は、暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pr}$ と暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} とをカソード湿潤要求圧力演算部 ３４３に出力する。

【０２７９】

カソード湿潤要求圧力演算部 ３４３は、目標排水量算出部 ３２３からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、燃料電池スタック １の湿潤状態を目標とする状態にするためのカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を演算する。

【０２８０】

10

20

30

40

50

カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、カソード相対湿度演算部 342 から暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pr}$ を取得し、出力重視 DRY 操作設定部 311 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。そして、カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、次式 (10) のように、暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pr}$ と、カソード下限流量 Q_{c_min} と、飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、暫定カソード湿潤要求圧力 $P_{c_rw_pr}$ を算出する。

【0281】

【数10】

$$P_{c_rw_pr} = P_{sat} \times RH_{c_out_pr} \frac{Q_{c_min} + Q_{w_out}}{Q_{w_out}} \quad \dots (10) \quad 10$$

【0282】

カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} の圧力値を段階的に変更するようにカソード相対湿度演算部 342 に指示する。そして、カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} と暫定カソード湿潤要求圧力 $P_{c_rw_pr}$ とが一致したときの圧力値をカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} として設定する。

【0283】

カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、設定したカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} をカソード目標圧力設定部 345 に出力する。

【0284】

20

カソード下限圧力演算部 344 は、燃料電池システム 100 の運転状態に応じて、カソード下限圧力を演算する。カソード下限圧力は、電解質膜 111 の湿潤要求とは異なる要求によって設定されるカソードガス圧力の下限值である。

【0285】

例えば、カソード下限圧力演算部 344 は、アノード圧力センサ 37 からのアノードガス圧力から電解質膜 111 の許容圧力を減算することにより、電解質膜 111 を保護するためのカソードガス圧力の下限值を示すカソード膜保護要求圧力を算出する。また、カソード下限圧力演算部 344 は、負荷装置 5 の要求電力に基づいて、燃料電池スタック 1 の発電に必要なカソードガスの圧力を示すカソード負荷要求圧力を算出する。カソード下限圧力演算部 344 は、算出したカソード負荷要求圧力やカソード膜保護要求圧力などを、

30

カソード下限圧力としてカソード目標圧力設定部 345 に出力する。

【0286】

カソード目標圧力設定部 345 は、カソード下限圧力とカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} とのうち大きい方の値を、カソード目標圧力としてカソード系指令部 240 に出力する。

【0287】

図 18 は、出力重視ドライ操作を実施するときのカソード目標流量演算部 350a の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0288】

カソード目標流量演算部 350a は、カソード上限流量演算部 351 と、An/Ca 流量比演算部 352 と、カソード相対湿度演算部 353 と、カソード湿潤要求流量演算部 354 と、カソード目標流量設定部 355 と、遅延回路 356 とを含む。

40

【0289】

カソード上限流量演算部 351 は、燃料電池システム 100 の運転状態に応じて、カソード上限流量を演算する。カソード上限流量は、電解質膜 111 の湿潤要求とは異なる要求によって設定されるカソードガス流量の上限値である。

【0290】

例えば、カソード上限流量演算部 351 は、負荷装置 5 の要求電力に基づいて、燃料電池スタック 1 の発電に必要なカソードガス流量を示すカソード負荷要求流量を演算する。この例では、スタック目標電流とカソード負荷要求流量との関係を示す負荷要求流量マップがカソード上限流量演算部 351 に予め記録される。カソード上限流量演算部 35

50

1 は、スタック目標電流演算部 220 からスタック目標電流を取得すると、負荷要求流量マップを参照し、取得したスタック目標電流に関連付けられたカソード負荷要求流量を算出する。カソード上限流量演算部 351 は、算出したカソード負荷要求流量を、カソード上限流量としてカソード目標流量設定部 355 に出力する。

【0291】

An/Ca 流量比演算部 352 は、アノードガス循環流量推定部 230 からのアノードガス循環流量を計測値 Q_{a_sens} として取得し、遅延回路 356 からのカソード目標流量の前回値 $Q_{c_t_dly}$ を取得する。An/Ca 流量比演算部 352 は、カソード目標流量の前回値 $Q_{c_t_dly}$ によりアノードガス流量 Q_{a_sens} を除算して、An/Ca 流量比 K_{ac_qct} を算出し、An/Ca 流量比 K_{ac_qct} をカソード相対湿度演算部 353 に出力する。

10

【0292】

カソード相対湿度演算部 353 は、アノード圧力センサ 37 からのアノードガス圧力 P_{a_sens} と、カソード圧力センサ 24 からのカソードガス圧力 P_{c_sens} との極間差圧 ΔP_{ac_sens} を算出する。カソード相対湿度演算部 353 は、極間差圧 ΔP_{ac_sens} を算出すると、図 15 の流量比マップを参照し、極間差圧 ΔP_{ac_sens} に関係付けられた補正係数 E_{ac_sens} を算出する。

【0293】

そして、カソード相対湿度演算部 353 は、補正係数 E_{ac_sens} により An/Ca 流量比 K_{ac_qct} を除算して、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_qct_0}$ を算出する。カソード相対湿度演算部 353 は、An/Ca 流量比 $K_{ac_qct_0}$ を算出すると、図 14 の相対湿度/流量比マップを参照し、An/Ca 流量比 $K_{ac_qct_0}$ に関連付けられたカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を算出する。カソード相対湿度演算部 353 は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ をカソード湿潤要求流量演算部 354 に出力する。

20

【0294】

カソード湿潤要求流量演算部 354 は、目標排水量算出部 323 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、燃料電池スタック 1 の湿潤状態を目標とする状態にするためのカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を演算する。

【0295】

カソード湿潤要求流量演算部 354 は、カソード圧力センサ 24 からカソードガス圧力 Q_{c_sens} を取得し、飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得し、カソード相対湿度演算部 353 からカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を取得する。

30

【0296】

カソード湿潤要求流量演算部 354 は、次式 (11) のように、目標排水量 Q_{w_out} と、カソードガス流量 Q_{c_sens} と、飽和水蒸気圧 P_{sat} と、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ とに基づいて、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を算出する。

【0297】

【数 11】

$$Q_{c_rw} = Q_{w_out} \frac{P_{c_sens} - RH_{c_out_sens} \times P_{sat}}{RH_{c_out_sens} \times P_{sat}} \quad \dots (11)$$

40

【0298】

カソード湿潤要求流量演算部 354 は、算出したカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} をカソード目標流量設定部 355 に出力する。

【0299】

カソード目標流量設定部 355 は、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} とカソード上限流量とのうち小さい方の値を、カソード目標流量としてカソード系指令部 240 に出力する。

【0300】

図 19 は、本実施形態における湿潤制御方法についての処理手順の一例を示すフローチ

50

ャートである。この湿潤制御方法の処理手順は、所定の制御周期で繰り返し実行される。

【0301】

本実施形態の湿潤制御方法では、ステップS1～S7、S10の一連の処理は、図9に示したものと同様であるため、ここでは、ステップS7以降の処理手順について説明する。なお、ステップS3aでは、図9に示したステップ3の処理に加えて、湿潤制御部300の飽和水蒸気圧演算部321が、入口水温センサ46及び出口水温センサ47からそれぞれスタック入口水温 T_{in} 及びスタック出口水温 T_{out} を取得し、両者の平均値をスタック温度 T として算出する。スタック温度 T は、燃料電池スタック1内の飽和水蒸気圧 P_{sat} の算出に用いられる。

【0302】

ステップS7において湿潤制御部300のDRY操作モード切替部310は、計測HFRが所定の下限値に達したか否かを判断し、計測HFRが下限値に達した場合にドライ操作を実施する必要があると判定する。DRY操作モード切替部310は、ドライ操作を実施する必要があると判定した場合には、図9で示したステップS10の処理に進む。

【0303】

ステップS71においてDRY操作モード切替部310は、ドライ操作を実施する必要があると判定した場合には、電解質膜111の水分を速やかに減らす必要があるか否かを判断する。本実施形態では、DRY操作モード切替部310は、目標HFRから計測HFRを減算した値であるHFR偏差が所定の速乾要求閾値よりも大きいと判断する。

【0304】

速乾要求閾値は、早期に電解質膜111の湿潤状態を乾燥状態に遷移させる必要性が高いか否かを判定するための閾値である。速乾要求閾値は、例えば $15 [\Omega \cdot \text{cm}^2]$ に設定される。

【0305】

ステップS40においてDRY操作モード切替部310は、HFR偏差が速乾要求閾値よりも大きい場合には、電解質膜111の水分を速やかに減らす必要があると判断し、速乾性重視ドライ操作処理を実行する。速乾性重視ドライ操作処理については第4実施形態で説明する。

【0306】

ステップS72においてDRY操作モード切替部310は、HFR偏差が速乾要求閾値以下である場合には、電解質膜111の水分を速やかに減らす必要がないと判断し、燃料電池スタック1の出力を確保する必要があるか否かを判断する。本実施形態では、DRY操作モード切替部310は、スタック目標電流が所定の高負荷要求閾値よりも大きいと判断する。

【0307】

高負荷要求閾値は、燃料電池スタック1の出力を増加させる必要性が高いか否かを判定するための閾値である。例えば、高負荷要求閾値は、車両が加速する際に必要となる燃料電池スタック1の出力電流値に基づいて設定される。あるいは、高負荷要求閾値は、高負荷運転が所定時間以上継続した場合に限り設定されるものであってもよい。

【0308】

ステップS30においてDRY操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値以下である場合には、燃料電池システム100の消費電力を抑制可能であると判断し、燃費重視ドライ操作処理を実行する。燃費重視ドライ操作処理については第3実施形態で説明する。

【0309】

ステップS20においてDRY操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値よりも大きい場合には、燃料電池スタック1の出力を確保する必要があると判断し、本実施形態の出力重視ドライ操作処理を実行する。出力重視ドライ操作処理については図20を参照して説明する。

【0310】

ステップS10からステップS40までのいずれかの処理が終了すると、燃料電池システム100の湿潤制御方法の一連の処理が終了する。次にステップS20で実行される出力重視ドライ操作処理について詳細に説明する。

【0311】

図20は、本実施形態における湿潤制御部300の出力重視ドライ操作処理についての処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0312】

ステップS21において湿潤制御部300の出力重視DRY操作設定部311は、出力重視ドライ操作で実行される各制御の優先順位を設定する優先制御パラメータ（WET操作値）として、カソード下限流量、カソード上限圧力、及びアノード下限圧力を演算する。

10

【0313】

ステップS22において湿潤制御部300のアノード目標流量演算部320aは、図12で述べたとおり、優先制御パラメータであるカソード下限流量、カソード上限圧力、及びアノード下限圧力と、目標水収支とに基づいて、アノード目標流量を演算する。3つの優先制御パラメータをアノード目標流量演算部320aに設定することにより、アノードガス循環流量を減少させる減量制御の優先順位が最も高くなる。

【0314】

このため、アノード目標流量演算部320aは、出力重視ドライ操作において、カソードガス流量制御、カソードガス圧力制御、及びアノードガス圧力制御の3つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもアノード目標流量を迅速に下げる。

20

【0315】

ステップS23において湿潤制御部300のアノード目標圧力演算部330aは、図16で述べたとおり、優先制御パラメータであるカソード下限流量及びカソード上限圧力と、アノードガス流量と、目標水収支とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。2つの優先制御パラメータをアノード目標圧力演算部330aに設定することにより、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御の優先順位が2番目に高くなる。

【0316】

このため、アノード目標圧力演算部330aは、出力重視ドライ操作において、カソードガス流量制御及びカソードガス圧力制御の2つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもアノード目標圧力を迅速に上げる。

30

【0317】

ステップS24において湿潤制御部300のカソード目標圧力演算部340は、図17で述べたとおり、優先制御パラメータであるカソード下限流量、アノードガス流量、及びアノードガス圧力と、目標水収支とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。1つの優先制御パラメータをカソード目標圧力演算部340に設定することにより、カソードガス圧力を降下させる降圧制御の優先順位が3番目に高くなる。

【0318】

このため、カソード目標圧力演算部340は、出力重視ドライ操作においてカソードガス流量制御のみが全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもカソード目標圧力を迅速に下げる。

40

【0319】

ステップS25において湿潤制御部300のカソード目標流量演算部350aは、図17で述べたとおり、カソードガス圧力、アノードガス流量、及びアノードガス圧力と、目標水収支とに基づいて、カソード目標流量を演算する。優先制御パラメータが用いられていないため、カソード目標流量演算部350aは、通常どおり、カソード目標流量を上げる。したがって、カソードガス流量を増加させる増量制御の優先順位が4番目になる。

【0320】

ステップS200においてコントローラ200のカソード系指令部240及びアノード系指令部250は、アノード目標流量、アノード目標圧力、カソード目標圧力、及びカソ

50

ード目標流量に基づいて、ガス状態調整処理を実行する。ガス状態調整処理については次図を参照して詳細に説明する。ガス状態調整処理が終了すると、図19に示した出力重視ドライ操作処理についての一連の処理手順が終了する。

【0321】

図21は、ステップS200で実行されるガス状態調整処理に関する処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0322】

ステップS211においてコントローラ200は、アノードガス循環流量がアノード目標流量に収束するように、アノード循環ポンプ36の回転速度を下げる。これにより、アノードガス循環流量が減少する。

10

【0323】

ステップS212においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0324】

ステップS213においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、アノードガス循環流量がアノード下限流量に達しているか否かを判断し、アノード下限流量に達していない場合には、ステップS211の処理に戻る。

【0325】

ステップS221においてコントローラ200は、アノードガス流量がアノード下限流量に達した場合には、アノードガス圧力がアノード目標圧力に収束するように、アノード調圧弁33の開度を大きくする。これにより、アノードガス圧力が上昇する。

20

【0326】

ステップS222においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0327】

ステップS223においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、アノードガス圧力がアノード上限圧力に達しているか否かを判断し、アノード上限圧力に達していない場合には、ステップS221の処理に戻る。

30

【0328】

ステップS231においてコントローラ200は、アノードガス圧力がアノード上限圧力に達した場合には、カソードガス圧力がカソード目標圧力に収束するように、カソード調圧弁26の開度を小さくする。これにより、カソードガス圧力が低下する。

【0329】

ステップS232においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0330】

ステップS233においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達したか否かを判断し、カソード下限圧力に達していない場合には、ステップS231の処理に戻る。

40

【0331】

ステップS241においてコントローラ200は、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達した場合には、カソードガス流量がカソード目標流量に収束するように、コンプレッサ22の回転速度を上げる。これにより、カソードガス流量が増加する。

【0332】

ステップS242においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

50

【0333】

ステップS243においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス流量がカソード上限流量に達したか否かを判断する。カソードガス流量がカソード上限流量に達していない場合には、コントローラ200は、ステップS241の処理に戻り、カソードガス流量を増加させる。そして、ステップS242で計測HFRが目標HFRに達した場合、又は、ステップS243でカソードガス流量がカソード上限流量に達した場合に、ガス状態調整処理が終了する。

【0334】

図22は、本実施形態の出力重視ドライ操作における燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

10

【0335】

図22(A)は、燃料電池スタック1の計測HFRの変化を示す図である。図22(B)及び図22(C)は、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの流量及び圧力の変化を示す図である。図22(D)及び図22(E)は、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの圧力及び流量の変化を示す図である。図22(F)は、燃料電池スタック1の目標電流を示す図である。図22(A)から図22(F)までの各図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0336】

時刻t10では、図22(A)に示すように、例えば、加速後に負荷装置5の要求電力の大幅な低下に伴って目標HFRが大幅に上昇する。これに伴って、DRY操作モード切替部310は、計測HFRが目標HFRよりも低くなるため、ドライ操作を実施する必要があると判定する。

20

【0337】

そして、DRY操作モード切替部310は、計測HFRと目標HFRとの差分が速乾要求閾値よりも小さいため、電解質膜111の水分を迅速に減らす必要はないと判断する。次にDRY操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値よりも高いか否かを判断する。図22(F)に示すように、スタック目標電流が高負荷要求閾値よりも高いため、DRY操作モード切替部310は、燃料電池スタック1の出力を確保する必要があると判断し、3つのドライ操作モードの中から出力重視ドライ操作モードを選択する。

30

【0338】

このため、出力重視DRY操作設定部311は、アノード目標流量演算部320aに対し、カソード下限流量、カソード上限圧力、アノード下限圧力を各計測値に代えて設定する。さらに出力重視DRY操作設定部311は、アノード目標圧力演算部330aに対し、計測値に代えてカソード下限流量、及びカソード上限圧力を設定すると共に、カソード目標圧力演算部340に対し、計測値に代えてカソード下限流量を設定する。すなわち、出力重視DRY操作設定部311は、出力重視ドライ操作時に、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス圧力制御、カソードガス流量制御の順に各制御に関する優先順位を設定する。

【0339】

40

これにより、図22(B)に示すように、アノード目標流量演算部320aにより、他の制御よりも優先してアノード循環ポンプ36の回転速度が下げられてアノードガス循環流量が減少する。これに伴い、アノードガス循環通路35に保管されるアノード循環水量が減少するため、電解質膜111の水分が減少し、図22(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かって上昇する。このように、出力重視ドライ操作において、1番目に、アノードガス循環流量を減少させる減量制御を実行することにより、アノード循環ポンプ36の消費電力を早期に低減させることができる。

【0340】

時刻t11では、図22(B)及び図22(C)に示すように、アノードガス循環流量がドライ操作の下限値に到達する。このため、アノードガス流量制御を補完するようにア

50

ノード目標圧力演算部 330a によりアノード調圧弁 33 が開かれてアノードガス圧力が上昇する。これに伴って、アノードガス流路 121 中の水蒸気分圧が上昇し、カソードガス流路 131 からアノードガス流路 121 に流入する水蒸気の流量が減少し、アノード循環水量が減少するので、図 22 (A) に示すように計測 HFR が目標 HFR に向かってさらに上昇する。また、アノードガス圧力を上昇させることにより、燃料電池スタック 1 の発電に必要な水素を十分に確保することができるようになる。

【0341】

このように、出力重視ドライ操作において、2 番目に、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御を実行することにより、電解質膜 111 の水分を減らしつつ、燃料電池スタック 1 の高負荷運転時ににおける水素不足を回避することができる。

10

【0342】

時刻 t_{12} において、図 22 (C) 及び図 22 (D) に示すように、アノードガス圧力がドライ操作の上限値に到達する。このため、アノードガス圧力制御を補完するようにカソード目標圧力演算部 340 によりカソード調圧弁 26 が開かれてカソードガス圧力が低下する。これに伴って、アノード循環水量が減少するので、図 22 (A) に示すように計測 HFR が目標 HFR に向かってさらに上昇する。

【0343】

このように、出力重視ドライ操作において、3 番目に、カソードガス圧力を降下させる降圧制御を実行することにより、コンプレッサ 22 によるカソードガス流量制御よりも優先してカソード調圧弁 26 によるカソードガス圧力制御が実行されることになる。このため、カソード調圧弁 26 の応答性がコンプレッサ 22 の応答性よりも良いので、カソードガス流量よりも迅速に、カソードガス圧力をドライ操作の限界値に収束させることができる。

20

【0344】

時刻 t_{13} において、図 22 (D) 及び図 22 (E) に示すように、カソードガス圧力がドライ操作の下限値に到達する。このため、カソードガス圧力制御を補完するようにカソード目標流量演算部 350a によりコンプレッサ 22 の回転速度が上げられてカソードガス流量が増加する。これに伴って、燃料電池スタック 1 からカソードガスによって持ち出される水蒸気の排出量も増加するので、図 22 (A) に示すように計測 HFR が目標 HFR に向かってさらに上昇する。

30

【0345】

このように、出力重視ドライ操作において、4 番目に、カソードガス流量を増加させる増量制御を実行することにより、コンプレッサ 22 の消費電力を増加させる機会を減らすことができる。

【0346】

時刻 t_{14} において、図 22 (E) に示すように、カソードガス流量がドライ操作の上限値に到達し、図 22 (A) に示すように、計測 HFR が目標 HFR に到達する。

【0347】

以上のように、出力重視ドライ操作において、アノードガス流量、アノードガス圧力、カソードガス圧力、カソードガス流量の順にそれぞれを制御することで、アノード循環ポンプ 36 の消費電力を低減しつつ、燃料電池スタック 1 の出力を確保することができる。

40

【0348】

なお、図 22 (B) では出力重視ドライ操作においてカソードガス循環流量が電解質膜 111 の湿潤要求によって設定される DRY 操作の下限値まで下げられたが、電解質膜 111 の湿潤要求とは異なる要求により設定される下限値により制限されることもある。

【0349】

図 23 は、出力重視ドライ操作において、アノードガスの減量制御が湿潤要求とは異なる要求によって制限されたときの燃料電池システム 100 の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

【0350】

50

図 2 3 (A) は、燃料電池スタック 1 の目標 H F R を示す図である。図 2 3 (B) 及び図 2 3 (C) は、それぞれアノードガス循環流量及びアノードガス圧力を示す図である。図 2 3 (D) は、アノード循環水量を示す図である。これらの図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0 3 5 1】

ここでは、本実施形態の出力重視ドライ操作が実線により示され、図 1 2 に示したアノード目標圧力演算部 3 3 0 a がアノードガス流量の計測値の代わりにアノード湿潤要求流量を用いてアノード目標圧力を算出したときのドライ操作が点線により示されている。

【0 3 5 2】

時刻 t 2 0 において、図 2 3 (A) に示すように、目標 H F R が大幅に上昇する。そして、図 2 3 (B) に示すように、アノードガス循環流量が減少する。

10

【0 3 5 3】

時刻 t 2 1 において、湿潤要求とは別の要求により設定された下限流量にアノードガス循環流量が到達したため、ドライ操作におけるアノードガス流量制御が制限される。この下限流量は、例えば、図 1 3 に示したアノード下限流量演算部 3 2 7 の演算結果である。

【0 3 5 4】

本実施形態では、アノード目標圧力演算部 3 3 0 a がアノードガス循環流量の推定値を用いてアノード目標圧力を演算するので、アノードガス流量制御が制限された直後にアノードガス圧力が上昇する。すなわち、アノードガスの減量制御によって電解質膜 1 1 1 の湿潤状態を操作しきれない部分を補完するようにアノードガスの昇圧制御が実行される。このため、図 2 3 (A) の実線で示すように、アノードガス流量制御が制限されたとしても計測 H F R を継続して上昇させることができる。

20

【0 3 5 5】

一方、アノード目標圧力演算部 3 3 0 a が、図 1 3 で示したアノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 の演算結果を用いてアノード目標圧力を演算したとすると、図 2 3 (C) の点線で示すように、時刻 t 3 1 から時刻 t 3 2 までの間、アノードガスの昇圧制御が実行されない。その結果、図 2 3 (A) の点線で示すように、ドライ操作が完了するのに要する時間が長くなってしまう。

【0 3 5 6】

このように、本実施形態では、アノード目標圧力演算部 3 3 0 a が、アノードガス流量として推定値を用いてアノード目標圧力を演算するので、アノード湿潤要求流量を用いる場合に比べて、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

30

【0 3 5 7】

図 2 4 は、目標 H F R が急峻に上昇したときのドライ操作における燃料電池システム 1 0 0 の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

【0 3 5 8】

図 2 4 (A) は、目標 H F R の変化を示す図である。図 2 4 (B) から図 2 4 (D) までの各図面の縦軸は、図 2 3 (B) から図 2 3 (D) までの各図面の縦軸と同じであり、図 2 4 (A) から図 2 4 (D) までの各図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。また、図 2 4 (B) には、アノードガス循環流量が実線により示され、アノード目標流量が破線により示されている。

40

【0 3 5 9】

時刻 t 3 0 において、図 2 4 (A) に示すように目標 H F R がパルス状に上昇する。例えば、車両が加速状態から減速状態に切り替わることで負荷装置 5 の要求電力が極端に下った場合に、図 8 の特性から目標 H F R が大幅に上昇する。

【0 3 6 0】

図 2 4 (B) に示すように、アノード目標流量演算部 3 2 0 a は、目標 H F R を達成できるアノード目標流量を算出する。しかしながら、アノードガス循環流量は、アノード循環ポンプ 3 6 の応答遅れが原因でアノード目標流量よりも遅れて低下する。

【0 3 6 1】

50

時刻 t_{30} の直後は、アノードガス循環流量とアノード目標流量との乖離が大きいため、アノード循環ポンプ 36 によるドライ操作が十分に行われず。そのため、アノード目標圧力演算部 330a が、アノードガス循環流量とアノード目標流量との差分を補完するようにアノード目標圧力を高くするので、図 24 (C) に示すようにアノードガス圧力が過渡的に上昇する。

【0362】

時刻 t_{30} から時間が経過するにつれて、アノードガス循環流量とアノード目標流量との差分が小さくなるため、アノード目標圧力演算部 330a は、過渡的に高くした分だけアノード目標圧力を下げる。このため、図 24 (C) に示すように、過渡的に上昇した後アノードガス圧力が低下する。

10

【0363】

時刻 t_{31} において、図 24 (B) に示すようにアノードガス循環流量がアノード目標流量に到達し、図 24 (C) に示すようにアノードガス圧力が定常状態となる。

【0364】

このように、湿潤制御部 300 は、目標 HFR が大幅に上昇する場合には、アノード循環ポンプ 36 による減量制御に遅れが生じるため、その遅れた分だけアノードガスの昇圧制御を実行する。すなわち、湿潤制御部 300 は、過渡状態での出力重視ドライ操作時には、アノードガス循環流量を減少させると共に、目標 HFR と計測 HFR との差分が小さくなるようにアノードガス圧力を上昇させる。

20

【0365】

以上のように、出力重視ドライ操作を実施するときには、アノードガス循環流量を減らす減量制御で調整しきれない部分を補完するように、アノードガス圧力を高くする昇圧制御が実行される。すなわち、出力重視ドライ操作では、電解質膜 111 の湿潤状態に応じて、アノードガスの減量制御及び昇圧制御のうち少なくとも減量制御が実行される。これにより、燃料電池スタック 1 の発電性能を維持しつつ、電解質膜 111 の水分を減らすことができる。

【0366】

本発明の第 2 実施形態によれば、湿潤制御部 300 は、少なくともドライ操作時には、アノードガス循環流量が増加するほど、アノードガス圧力の上昇を抑制し、かつ、電解質膜 111 の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス圧力を上昇させる。これにより、アノードガス循環流量を減少させる減量制御を実行しても電解質膜 111 の水分が減らないときには、その減らない部分を補完するようにアノードガス圧力を上昇させることができる。したがって、図 23 に示したように、ドライ操作に要する時間の増加を低減することができる。

30

【0367】

また、本実施形態によれば、湿潤制御部 300 のアノード目標流量演算部 320a は、電解質膜 111 の湿潤度と相関のある計測 HFR とアノードガス圧力の計測値とに基づいて、アノード循環ポンプ 36 を用いてアノードガス循環流量を制御する。そして、湿潤制御部 300 のアノード目標圧力演算部 330a は、計測 HFR とアノードガス流量の計測値とに基づいて、アノード調圧弁 33 を用いてアノードガス圧力を制御する。

40

【0368】

そして、ドライ操作を実施する場合には、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、計測 HFR に基づく目標水収支と、電解質膜 111 を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス圧力である WET 操作値とをアノード目標流量演算部 320a に設定する。さらに、出力重視 DRY 操作設定部 311 は、計測 HFR とアノードガス流量とをアノード目標圧力演算部 330a に設定する。これにより、ドライ操作において、アノードガス循環流量を減少させる減量制御の優先順位、すなわち負荷割合を、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御よりも高くすることができる。

【0369】

また、本実施形態によれば、ドライ操作において電解質膜 111 を現在よりも高い湿潤

50

状態にするときのアノードガス圧力は、燃料電池１０の性能を確保できる範囲で最も低い圧力値に設定される。これにより、アノードガスの昇圧制御に比べて、アノードガスの減量制御をより一層迅速に実行することができる。

【０３７０】

また、本実施形態によれば、湿潤制御部３００は、出力重視ドライ操作を実行する場合には、図２２に示したように、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス圧力制御、カソードガス流量制御の順に各制御を実行する。

【０３７１】

このため、アノードガスの昇圧制御よりも優先してアノードガスの減量制御が実行されるので、図４に示したように、ドライ操作に寄与しない状況でのアノードガスの昇圧制御の実行を抑制することができる。また、カソードガスの降圧制御よりも優先してアノードガスの昇圧制御が実行されるので、応答性の良いアノード調圧弁３３を駆動してアノードガス圧力を迅速に高くするので、アノードガス流量制御で調整しきれない分を早期に補完することができる。さらに、カソードガスの降圧制御よりも優先してアノードガスの昇圧制御が実行されるので、燃料電池スタック１の発電性能の確保を優先することができる。また、カソードガスの降圧制御がカソードガスの増量制御よりも優先して実行されるので、出力重視ドライ操作におけるコンプレッサ２２の消費電力の増加を抑制することができる。

【０３７２】

また、本実施形態によれば、湿潤制御部３００は、少なくともドライ操作を実施する場合において、燃料電池スタック１の出力を確保する必要があるときに限り、アノードガス循環流量をアノードガス圧力よりも優先して制御する。これにより、ドライ操作を実施しつつ、燃料電池スタック１の発電性能の低下を抑制することができる。

【０３７３】

（第３実施形態）

第２実施形態では出力重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部３００の構成について説明したが、次の実施形態では、燃費重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部３００の構成について詳細に説明する。

【０３７４】

図２５は、本発明の第３実施形態における湿潤制御部３００の詳細構成の一例を示すブロック図である。

【０３７５】

湿潤制御部３００は、燃費重視ＤＲＹ操作設定部３１２と、カソード目標圧力演算部３４０ｂと、アノード目標流量演算部３２０ｂと、カソード目標流量演算部３５０ｂと、アノード目標圧力演算部３３０ｂとを含む。

【０３７６】

なお、アノード目標流量演算部３２０ｂ、アノード目標圧力演算部３３０ｂ、カソード目標圧力演算部３４０ｂ、及びカソード目標流量演算部３５０ｂの各構成は、図１２に示したものと基本的に同様の構成である。本実施形態の各構成は、第２実施形態に比べて入力パラメータの一部又は全部が相違し、また、各制御の優先順位も相違している。

【０３７７】

燃費重視ＤＲＹ操作設定部３１２は、ＤＲＹ操作モード切替部３１０から選択信号を受信すると、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス流量制御、及びカソードガス圧力制御の各制御に関する優先順位を設定する。すなわち、燃費重視ＤＲＹ操作設定部３１２は、アノード循環ポンプ３６、アノード調圧弁３３、コンプレッサ２２、及びカソード調圧弁２６の各動作を制御する順番を、電解質膜１１１の湿潤状態に応じて調整する。

【０３７８】

燃費重視ＤＲＹ操作設定部３１２は、計測ＨＦＲが目標ＨＦＲ以上である場合には、ウェット操作パラメータとして、カソードガス圧力、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の各計測値を出力する。一方、燃費重視ＤＲＹ操作設定部３１２は、計測ＨＦＲが目

10

20

30

40

50

標HFRよりも低い場合には、各制御の優先順位を設定するためのドライ操作パラメータとして、各計測値の代わりに、電解質膜111を現在よりもウェット状態にするときのWET操作値を出力する。

【0379】

燃費重視DRY操作設定部312は、燃料電池スタック1の計測HFRが目標HFR以上である場合には、ウェット操作パラメータとして、カソードガス流量、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の各計測値を出力する。

【0380】

一方、燃費重視DRY操作設定部312は、計測HFRが目標HFRよりも低い場合には、各計測値の代わりに、ドライ操作パラメータとして、電解質膜111をウェット状態にするときのWET操作値をそれぞれ出力する。

10

【0381】

例えば、燃費重視ドライ操作において、カソードガス流量制御のWET操作値としては、カソードガス流量の計測値よりも小さな値が用いられ、アノードガス流量制御のWET操作値としては、アノードガス流量の計測値よりも大きな値が用いられる。また、アノードガス圧力制御のWET操作値としては、アノードガス圧力の計測値よりも小さな値が用いられる。

【0382】

本実施形態では、燃費重視DRY操作設定部312は、ドライ操作パラメータとして、カソード下限流量、アノード上限流量、及びアノード下限圧力を出力する。これらのドライ操作パラメータは、電解質膜111を最も湿った状態に遷移させる場合に用いられるWET操作値である。

20

【0383】

カソード下限流量、及びアノード下限圧力は、それぞれ、図12で述べたとおり、燃料電池スタック1の発電性能を確保できる範囲で最も小さな値に設定される。

【0384】

アノード上限流量は、アノード循環ポンプ36の動作特性により定められたアノードガス循環流量の上限値である。具体的には、アノード上限流量は、アノード循環ポンプ36のP-Q特性と、アノードガス循環系の圧力損失と、アノード循環ポンプ36の回転速度が上限値に達したときのアノードガス流量と、に基づいて設定される。すなわち、アノード上限流量は、燃料電池スタック1の発電性能を確保できる範囲で最も大きなアノードガス流量に設定される。

30

【0385】

カソード目標圧力演算部340bは、電解質膜111の湿潤度と、燃料電池スタック1のアノードガス循環流量とに基づいて、燃料電池スタック1のカソードガス圧力を制御する第2の圧力制御部を構成する。

【0386】

本実施形態では、カソード目標圧力演算部340bは、目標水収支演算部212からの目標水収支と、カソードガス流量と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。カソード目標圧力演算部340bは、演算したカソード目標圧力をカソード系指令部240に出力する。

40

【0387】

燃費重視ドライ操作においては、カソード目標圧力演算部340bは、燃費重視DRY操作設定部312から、アノード上限流量、アノード下限圧力、及びカソード下限流量をWET操作値として取得する。このため、カソード目標圧力演算部340bは、アノードガス流量、アノードガス圧力、及びカソードガス流量の各計測値を取得する場合に比べて、カソード目標圧力を小さくすることができる。このように、燃費重視DRY操作設定部312は、ドライ操作において、カソード圧力制御の優先順位を、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、及びカソードガス流量制御の優先順位よりも高くすることができる。

50

【0388】

アノード目標流量演算部320bは、電解質膜111の湿潤度と、燃料電池スタック1のカソードガス圧力とに基づいて、燃料電池スタック1のアノードガス循環流量を制御する第2の流量制御部を構成する。

【0389】

本実施形態では、アノード目標流量演算部320bは、目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス圧力とに基づいて、アノード目標流量を演算する。アノード目標流量演算部320bは、演算したアノード目標流量をアノード系指令部250に出力する。

【0390】

燃費重視ドライ操作において、アノード目標流量演算部320bは、燃費重視DRY操作設定部312から、カソード下限流量、及びアノード下限圧力をWET操作値として取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力の計測値を取得する。このため、アノード目標流量演算部320bは、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の各計測値を取得した場合に比べて、アノード目標流量を小さくすることができる。したがって、燃費重視DRY操作設定部312は、ドライ操作において、アノード流量制御の優先順位を、カソードガス流量制御、及びアノードガス圧力制御の優先順位よりも高くすることができる。

【0391】

カソード目標流量演算部350bは、目標水収支と、カソードガス圧力と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標流量を演算する。カソード目標流量演算部350bは、演算したカソード目標流量をアノード系指令部250に出力する。

【0392】

燃費重視ドライ操作では、カソード目標流量演算部350bは、燃費重視DRY操作設定部312からアノード下限圧力をWET操作値として取得する。そして、カソード目標流量演算部350bは、アノードガス循環流量推定部230からアノードガス循環流量の推定値を計測値として取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力の計測値を取得する。このため、カソード目標流量演算部350bは、アノードガス圧力の計測値を取得した場合に比べて、カソード目標流量を大きくすることができる。したがって、燃費重視DRY操作設定部312は、ドライ操作において、カソードガス流量制御の優先順位を、アノードガス圧力制御の優先順位よりも高くすることができる。

【0393】

アノード目標圧力演算部330bは、目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス流量とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。アノード目標圧力演算部330bは、演算したアノード目標圧力をアノード系指令部250に出力する。

【0394】

燃費重視ドライ操作では、アノード目標圧力演算部330bは、流量センサ23及びカソード圧力センサ24から、それぞれカソードガス流量及びカソードガス圧力の計測値を取得し、アノードガス循環流量推定部230から計測値としてアノードガス循環流量を取得する。このため、アノード目標圧力演算部330bは、カソードガス流量、カソードガス圧力、及びアノードガス流量の各計測値に従ってアノード目標圧力を適切に増減させることができる。

【0395】

以上のように、燃費重視DRY操作設定部312は、燃費重視ドライ操作を実施する時に、カソードガス圧力制御、アノードガス流量制御、カソードガス流量制御、アノードガス圧力制御の順に各制御の優先順位を設定する。これにより、アノードガス流量制御よりも優先してカソードガス圧力制御が実行されることになるので、早期にコンプレッサ22の消費電力を低減することができる。

10

20

30

40

50

【0396】

また、ドライ操作においてカソードガス流量制御を実行すると、コンプレッサ22の回転速度が高くなるため、コンプレッサ22の消費電力が増加する。上述のように、アノードガス流量制御がカソードガス流量制御よりも先に実行されるので、コンプレッサ22の消費電力の増加を抑制することができる。

【0397】

さらに、アノード循環ポンプ36の異常などによりアノード循環ポンプ36が作動しない場合には、アノードガス循環流量を減少させる減量制御が不能となる。このような場合には、燃費重視DRY操作設定部312は、アノード上限流量に代えて、アノードガス流量の計測値を出力する。

10

【0398】

このように、アノードガス流量が制御不能な場合には、カソード目標圧力演算部340bは、燃料電池スタック1に供給されている実際のアノードガス流量を用いてカソード目標圧力を算出するので、アノード流量制御系の異常状態に適したドライ操作を実行することができる。なお、アノードガス流量制御の不能時には、燃費重視DRY操作設定部312での演算を停止するようにしてもよい。

【0399】

次に、本実施形態におけるカソード目標圧力演算部340b、アノード目標流量演算部320b、カソード目標流量演算部350b、及びアノード目標圧力演算部330bの各構成について説明する。なお、本実施形態の各構成については、第2実施形態の構成と基本的に同じであるため、同一符号を付して説明する。

20

【0400】

図26は、燃費重視ドライ操作を実施するときのカソード目標圧力演算部340bの詳細構成の一例を示すブロック図である。

【0401】

カソード目標圧力演算部340bは、An/Ca流量比演算部341と、カソード相対湿度演算部342と、カソード湿潤要求圧力演算部343と、カソード下限圧力演算部344と、カソード目標圧力設定部345とを含む。

【0402】

An/Ca流量比演算部341は、燃料電池スタック1内のカソードガス流量に対するアノードガス流量の比率を示すAn/Ca流量比 K_{ac_max} を演算する。

30

【0403】

本実施形態では、An/Ca流量比演算部341は、燃費重視DRY操作設定部312から、アノード上限流量 Q_{a_max} 及びカソード下限流量 Q_{c_min} を取得する。An/Ca流量比演算部341は、次式(12)のように、An/Ca流量比 K_{ac_max} を演算する。

【0404】

【数12】

$$K_{ac_max} = \frac{Q_{a_max}}{Q_{c_min}} \quad \dots (12)$$

40

【0405】

An/Ca流量比演算部341は、演算したAn/Ca流量比 K_{ac_max} を、アノードガス圧力とアノードガス圧力との極間差圧 ΔP_{ac} に応じて補正する。

【0406】

本実施形態では、An/Ca流量比演算部341は、燃費重視DRY操作設定部312からアノード下限圧力 P_{a_min} を取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力の計測値 P_{c_sens} を取得する。そして、An/Ca流量比演算部341は、アノード下限圧力 P_{a_min} からカソードガス圧力 P_{c_sens} を減算して、極間差圧 ΔP_{ac_amin} を算出する。

【0407】

50

A_n/C_a 流量比演算部 341 は、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} を算出すると、図 15 の流量比補正マップを参照し、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} に関係付けられた補正係数 E_{ac_pamin} を算出する。A_n/C_a 流量比演算部 341 は、次式 (13) のように、算出した補正係数 E_{ac_pamin} に基づいて、A_n/C_a 流量比 K_{ac_max} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの A_n/C_a 流量比 $K_{ac_3max_0}$ に補正する。

【0408】

【数13】

$$K_{ac_3max_0} = \frac{K_{ac_max}}{E_{ac_pamin}} \quad \dots (13)$$

10

【0409】

A_n/C_a 流量比演算部 341 は、補正後の A_n/C_a 流量比 $K_{ac_3max_0}$ をカソード相対湿度演算部 342 に出力する。

【0410】

カソード相対湿度演算部 342 は、補正後の A_n/C_a 流量比 $K_{ac_3max_0}$ に基づいて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min}$ を演算する。

【0411】

本実施形態では、カソード相対湿度演算部 342 は、補正後の A_n/C_a 流量比 $K_{ac_3max_0}$ を取得すると、図 14 の相対湿度／流量比マップを参照し、A_n/C_a 流量比 $K_{ac_3max_0}$ に関連付けられたカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min}$ を算出する。

20

【0412】

カソード相対湿度演算部 342 は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min}$ をカソード湿潤要求圧力演算部 343 に出力する。

【0413】

カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、図 13 に示した目標排水量算出部 323 からの目標排水量 Q_{w_out} と、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min}$ とに基づいて、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を演算する。

【0414】

燃費重視ドライ操作において、カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、燃費重視 DRY 操作設定部 312 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、図 13 に示した飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。そして、カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、次式 (14) のように、カソード下限流量 Q_{c_min} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min}$ とに基づいて、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を算出する。

30

【0415】

【数14】

$$P_{c_rw} = P_{sat} \times RH_{c_out_3min} \frac{Q_{c_min} + Q_{w_out}}{Q_{w_out}} \quad \dots (14)$$

40

【0416】

式 (14) に示したように、カソード下限流量 Q_{c_min} が小さくなるほど、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} は小さくなる。したがって、カソードガス流量の計測値 Q_{c_sens} の代りにカソード下限流量 Q_{c_min} を用いることにより、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を早期に下げることができる。

【0417】

カソード湿潤要求圧力演算部 343 は、算出したアノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} をカソード目標圧力設定部 345 に出力する。

【0418】

カソード下限圧力演算部 344 は、図 17 に示したカソード下限圧力演算部と同一の構

50

成である。カソード下限圧力演算部 344 は、燃料電池スタック 1 の運転状態に応じてカソード下限圧力を演算し、演算したカソード下限圧力をカソード目標圧力設定部 345 に出力する

カソード目標圧力設定部 345 は、カソード下限圧力とカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} とのうち大きい方の値を、カソード目標圧力としてカソード系指令部 240 に出力する。

【0419】

このように、カソード目標圧力演算部 340b において、燃費重視ドライ操作を実施する場合にカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を速やかに小さくするには、式 (14) の関係から、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を小さくすると共にカソードガス流量 Q_c を小さくする必要がある。

10

【0420】

カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を小さくするには、図 14 に示した相対湿度／流量比マップの関係から An/Ca 流量比 K_{ac_0} を大きくすればよい。 An/Ca 流量比 K_{ac_0} を大きくするには、カソードガス流量 Q_c を小さくし、アノードガス流量 Q_a を大きくすると共に、図 15 に示した流量比補正マップの関係から補正係数 E_{ac} が小さくなるようにアノードガス圧力 P_a を小さくすればよい。

【0421】

本実施形態では、燃費重視 DRY 操作設定部 312 は、燃費重視ドライ操作において、WET 操作値として、カソード下限流量 Q_{c_min} 、アノード上限流量 Q_{a_max} 及びアノード下限圧力 P_{a_min} を計測値の代わりにカソード目標圧力演算部 340b に出力する。これにより、カソードガス流量及びアノードガス流量の計測値を用いる場合に比べて、式 (12) 中の An/Ca 流量比 K_{ac_max} が大きくなるので、式 (13) 中の An/Ca 流量比 $K_{ac_3max_0}$ を大きくすることができる。さらに、アノード下限圧力 P_{a_min} を用いることにより、 An/Ca 流量比の補正係数 E_{ac_pamin} が小さくなるので、 An/Ca 流量比 $K_{ac_3max_0}$ をより一層大きくすることができる。

20

【0422】

このため、 An/Ca 流量比 $K_{ac_3max_0}$ が最も大きくなり、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ が最も小さくなる。したがって、燃費重視ドライ操作におけるカソードガス圧力制御の優先度が最も高くなるので、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を早期に下げることができる。

30

【0423】

図 27 は、燃費重視ドライ操作を実施するときのアノード目標流量演算部 320b の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0424】

アノード目標流量演算部 320b は、カソード相対湿度演算部 324 と、 An/Ca 流量比演算部 325 と、アノード湿潤要求流量演算部 326 と、アノード下限流量演算部 327 と、アノード目標流量設定部 328 とを含む。

【0425】

カソード相対湿度演算部 324 は、目標排水量算出部 323 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、目標とするカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ を演算する。

40

【0426】

本実施形態では、カソード相対湿度演算部 324 は、燃費重視 DRY 操作設定部 312 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、カソード圧力センサ 24 からカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得し、飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。

【0427】

そして、カソード相対湿度演算部 324 は、次式 (15) のように、カソード下限流量 Q_{c_min} とカソードガス圧力 P_{c_sens} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ を算出する。

【0428】

【数 1 5】

$$RH_{c_out_qcmin} = \frac{P_{c_sens}}{P_{sat}} \times \frac{Q_{w_out}}{Q_{c_min} + Q_{w_out}} \quad \dots (15)$$

【0 4 2 9】

カソード相対湿度演算部 3 2 4 は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ を An/Ca 流量比演算部 3 2 5 に出力する。

【0 4 3 0】

An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ に基づいて 10
、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ を演算する。

【0 4 3 1】

本実施形態では、 An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ を取得すると、図 1 4 の相対湿度／流量比マップを参照し、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ に関係付けられた An/Ca 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ を算出する。

【0 4 3 2】

また、 An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、燃費重視 DRY 操作設定部 3 1 2 からアノード下限圧力 P_{a_min} を取得し、カソード圧力センサ 2 4 からカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得する。 An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、アノード下限圧力 P_{a_min} からカソードガス圧力 P_{c_sens} を減算して極間差圧 ΔP_{ac_pamin} を算出すると、図 1 5 の流量比補正マップを参照し、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} に関係付けられた補正係数 E_{ac_pamin} を算出する。 20

【0 4 3 3】

An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、次式 (1 6) のように、算出した補正係数 E_{ac_pamin} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_qcmin_0}$ に乗算して、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} のときの An/Ca 流量比 K_{ac_2min} を算出する。

【0 4 3 4】

【数 1 6】

$$K_{ac_2min} = E_{ac_pamin} \times K_{ac_qcmin_0} \quad \dots (16)$$

【0 4 3 5】

An/Ca 流量比演算部 3 2 5 は、算出した An/Ca 流量比 K_{ac_2min} をアノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 に出力する。 30

【0 4 3 6】

アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、 An/Ca 流量比 K_{ac_2min} に基づいて、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を演算する。

【0 4 3 7】

本実施形態では、アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、燃費重視 DRY 操作設定部 3 1 2 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得する。そして、アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、次式 (1 7) のように、カソード下限流量 Q_{c_min} と An/Ca 流量比 K_{ac_2min} とに基づいて、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を算出する。 40

【0 4 3 8】

【数 1 7】

$$Q_{a_rw} = K_{ac_2min} \times Q_{c_min} \quad \dots (17)$$

【0 4 3 9】

アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 は、算出したアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} をアノード目標流量設定部 3 2 8 に出力する。

【0 4 4 0】

アノード下限流量演算部 3 2 7 は、図 1 3 に示したアノード下限流量演算部と同一の構 50

成である。アノード下限流量演算部 3 2 7 は、燃料電池スタック 1 の運転状態に応じてアノード下限流量を演算し、演算したアノード下限流量をアノード目標流量設定部 3 2 8 に出力する。

【0 4 4 1】

アノード目標流量設定部 3 2 8 は、アノード下限流量とアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} とのうち大きい方の値を、アノード目標流量としてアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

【0 4 4 2】

このように、アノード目標流量演算部 3 2 0 b において、ドライ操作時にアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を速やかに小さくするには、式 (1 7) の関係から、 A_n / C_a 流量比 K_{ac} を小さくすると共にカソードガス流量 Q_c を小さくする必要がある。

10

【0 4 4 3】

A_n / C_a 流量比 K_{ac} を小さくするには、補正係数 E_{ac} を小さくし、図 1 4 に示した相对湿度／流量比マップの関係からカソード出口相对湿度 RH_{c_out} を大きくすればよい。補正係数 E_{ac} を小さくするには、カソードガス圧力 P_c 、又はアノードガス圧力 P_a を小さくすればよく、カソード出口相对湿度 RH_{c_out} を小さくするには、カソードガス流量 Q_c を小さくすればよい。

【0 4 4 4】

本実施形態では、燃費重視 DRY 操作設定部 3 1 2 は、燃費重視ドライ操作において、WET 操作値であるカソード下限流量 Q_{c_min} 、及びアノード下限圧力 P_{a_min} を計測値の代わりにアノード目標流量演算部 3 2 0 b に出力する。これにより、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の計測値を用いる場合に比べて、式 (1 6) 中のカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ が大きくなるので、式 (1 7) 中の A_n / C_a 流量比 K_{ac_2min} を小さくすることができる。さらに、アノード下限圧力 P_{a_min} を用いることにより、 A_n / C_a 流量比の補正係数 E_{ac_min} が小さくなるので、 A_n / C_a 流量比 K_{ac_2min} がより一層小さくなる。

20

【0 4 4 5】

このように、 A_n / C_a 流量比 K_{ac_2min} を小さくすると共に、式 (1 7) 中のカソードガス流量にカソード下限流量 Q_{c_min} を設定することにより、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を早期に下げることができる。

【0 4 4 6】

30

以上のように、アノード目標流量演算部 3 2 0 b では、式 (1 5) の関係から、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} が低下してカソードガス圧力 P_{c_sens} が低下するほど、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ が小さくなる。カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ が小さくなるほど、図 1 4 に示した相对湿度／流量比マップの関係から A_n / C_a 流量比 K_{ac_2min} が大きくなり、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} は大きくなる。すなわち、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} が低下するほど、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} は大きくなるため、アノードガス循環流量を減少させる減量制御は抑制される。

【0 4 4 7】

一方、目標水収支 Q_{w_t} が小さくなって目標排水量 Q_{w_out} が大きくなるほど、式 (1 5) の関係から、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_qcmin}$ は大きくなるので、 A_n / C_a 流量比 K_{ac_2min} が小さくなり、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} は小さくなる。

40

【0 4 4 8】

このように、アノード目標流量演算部 3 2 0 b は、燃費重視ドライ操作において、カソードガス圧力を下げている状況であっても、目標排水量 Q_{w_out} が減少しなければ、アノード目標流量を減少させることができる。すなわち、湿潤制御部 3 0 0 は、燃費重視ドライ操作時には、カソードガス圧力が低下するほど、アノードガス循環流量の減少を抑制し、かつ、電解質膜 1 1 1 の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス循環流量を減少させることができる。

【0 4 4 9】

図 2 8 は、燃費重視ドライ操作を実施するときのカソード目標流量演算部 3 5 0 b の機

50

能構成の一例を示すブロック図である。

【0450】

カソード目標流量演算部350bは、カソード上限流量演算部351と、 A_n/C_a 流量比演算部352と、カソード相対湿度演算部353と、カソード湿潤要求流量演算部354と、カソード目標流量設定部355と、遅延回路356とを含む。

【0451】

カソード上限流量演算部351は、図18に示したカソード上限流量演算部と同一の構成である。カソード上限流量演算部351は、燃料電池システム100の運転状態に応じてカソード上限流量を演算し、演算したカソード上限流量をカソード目標流量設定部355に出力する。

10

【0452】

A_n/C_a 流量比演算部352は、アノードガス循環流量推定部230からのアノードガス循環流量を計測値 Q_{a_sens} として取得し、遅延回路356からカソード目標流量の前回値 $Q_{c_t_dly}$ を取得する。 A_n/C_a 流量比演算部352は、カソード目標流量 $Q_{c_t_dly}$ とアノードガス流量 Q_{a_sens} とに基づいて、 A_n/C_a 流量比 K_{ac_ct} を算出する。

【0453】

そして、 A_n/C_a 流量比演算部352は、燃費重視DRY操作設定部312からアノード下限圧力 P_{a_min} を取得し、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得する。 A_n/C_a 流量比演算部352は、アノード下限圧力 P_{a_min} からカソードガス圧力 P_{c_sens} を減算して極間差圧 ΔP_{ac_pamin} を算出する。

20

【0454】

A_n/C_a 流量比演算部352は、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} を算出すると、図15の流量比補正マップを参照し、極間差圧 ΔP_{ac_pamin} に関係付けられた補正係数 E_{ac_pamin} を算出する。 A_n/C_a 流量比演算部352は、 A_n/C_a 流量比 K_{ac_ct} を補正係数 E_{ac_pamin} により除算して、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの A_n/C_a 流量比 $K_{ac_pamin_0}$ を算出する。

【0455】

A_n/C_a 流量比演算部352は、算出した A_n/C_a 流量比 $K_{ac_pamin_0}$ をカソード相対湿度演算部353に出力する。

【0456】

カソード相対湿度演算部353は、 A_n/C_a 流量比演算部352から A_n/C_a 流量比 $K_{ac_pamin_0}$ を取得し、図14の相対湿度／流量比マップを参照し、 A_n/C_a 流量比 $K_{ac_pamin_0}$ に関連付けられたカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pamin}$ を算出する。

30

【0457】

カソード相対湿度演算部353は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pamin}$ をカソード湿潤要求流量演算部354に出力する。

【0458】

カソード湿潤要求流量演算部354は、図13に示した目標排水量算出部323からの目標排水量 Q_{w_out} と、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pamin}$ とに基づいて、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を演算する。

40

【0459】

カソード湿潤要求流量演算部354は、カソード圧力センサ24からカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得し、図13に示した飽和水蒸気圧演算部321から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。そして、カソード湿潤要求流量演算部354は、次式(18)のように、カソードガス圧力 P_{c_sens} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を算出する。

【0460】

【数 1 8】

$$Q_{c_rw} = Q_{w_out} \frac{P_{c_sens} - RH_{c_out_pa\ min} \times P_{sat}}{RH_{c_out_pa\ min} \times P_{sat}} \quad \dots (18)$$

【0 4 6 1】

カソード湿潤要求流量演算部 3 5 4 は、算出したカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} をカソード目標流量設定部 3 5 5 に出力する。

【0 4 6 2】

カソード目標流量設定部 3 5 5 は、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} と、カソード上限流量演算部 3 5 1 からのカソード上限流量とのうち小さい方の値を、カソード目標流量 Q_{c_t} としてカソード系指令部 2 4 0 に出力する。また、カソード目標流量設定部 3 5 5 は、カソード目標流量 Q_{c_t} を遅延回路 3 5 6 に出力する。 10

【0 4 6 3】

遅延回路 3 5 6 は、カソード目標流量設定部 3 5 5 からのカソード目標流量 Q_{c_t} を制御周期の 1 周期分だけ遅延させる。すなわち、遅延回路 3 5 6 は、カソード目標流量 Q_{c_t} を取得すると、前回のカソード目標流量 $Q_{c_t_dly}$ を $A n / C a$ 流量比演算部 3 5 2 に出力する。

【0 4 6 4】

図 2 9 は、燃費重視ドライ操作を実施するときのアノード目標圧力演算部 3 3 0 b の機能構成の一例を示すブロック図である。 20

【0 4 6 5】

アノード目標圧力演算部 3 3 0 b は、アノード上限圧力演算部 3 3 1 と、カソード相对湿度演算部 3 3 2 と、 $A n / C a$ 流量比演算部 3 3 3 と、アノード湿潤要求圧力演算部 3 3 4 と、アノード目標圧力設定部 3 3 5 とを含む。

【0 4 6 6】

アノード上限圧力演算部 3 3 1 は、図 1 6 に示したアノード上限圧力演算部と同一の構成である。アノード上限圧力演算部 3 3 1 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上限圧力を演算し、演算したアノード上限圧力をアノード目標圧力設定部 3 3 5 に出力する 30

カソード相对湿度演算部 3 3 2 は、図 1 3 に示した目標排水量算出部 3 2 3 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、目標とするカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_sens}$ を演算する。

【0 4 6 7】

本実施形態では、カソード相对湿度演算部 3 3 2 は、カソード圧力センサ 2 4 及び流量センサ 2 3 からそれぞれカソードガス圧力 P_{c_sens} 及びカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得し、図 1 3 に示した飽和水蒸気圧演算部 3 2 1 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。

【0 4 6 8】

そして、カソード相对湿度演算部 3 3 2 は、次式 (1 9) のように、カソードガス圧力 P_{c_sens} とカソードガス流量 Q_{c_sens} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_sens}$ を算出する。 40

【0 4 6 9】

【数 1 9】

$$RH_{c_out_sens} = \frac{P_{c_sens}}{P_{sat}} \times \frac{Q_{w_out}}{Q_{c_sens} + Q_{w_out}} \quad \dots (19)$$

【0 4 7 0】

カソード相对湿度演算部 3 3 2 は、算出したカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_sens}$ を $A n / C a$ 流量比演算部 3 3 3 に出力する。 50

【0471】

An/Ca 流量比演算部 333 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ に基づいて、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ を演算する。

【0472】

本実施形態では、An/Ca 流量比演算部 333 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を取得すると、図 14 の相対湿度／流量比マップを参照し、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ に関係付けられた An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ を算出する。

【0473】

そして、An/Ca 流量比演算部 333 は、アノードガス循環流量推定部 230 からのアノードガス循環流量を計測値 Q_{a_sens} として取得し、流量センサ 23 からカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得する。An/Ca 流量比演算部 333 は、アノードガス流量 Q_{a_sens} をカソードガス流量 Q_{c_sens} により除算して、An/Ca 流量比 K_{ac_sens} を算出する。

【0474】

An/Ca 流量比演算部 333 は、An/Ca 流量比 K_{ac_sens} と、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ とをアノード湿潤要求圧力演算部 334 に出力する。

【0475】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、An/Ca 流量比 K_{ac_sens} と、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ とに基づいて、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を演算する。

【0476】

本実施形態では、アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、次式 (20) のように、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ と、実際の An/Ca 流量比 K_{ac_sens} とに基づいて、補正係数 E_{ac_sens} を算出する。

【0477】

【数 20】

$$E_{ac_sens} = \frac{K_{ac_sens}}{K_{ac_sens_0}} \quad \dots (20)$$

【0478】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、補正係数 E_{ac_sens} を算出すると、図 15 の流量比補正マップを参照し、補正係数 E_{ac_sens} に関係付けられた極間差圧 ΔP_{ac_sens} を算出する。アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、次式 (21) のように、極間差圧 ΔP_{ac_sens} と、カソードガス圧力 P_{c_sens} とに基づいて、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を算出する。

【0479】

【数 21】

$$P_{a_rw} = \Delta P_{ac_sens} + P_{c_sens} \quad \dots (21)$$

【0480】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} をアノード目標圧力設定部 335 に出力する。

【0481】

アノード目標圧力設定部 335 は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} と、アノード上限圧力演算部 331 からのアノード上限圧力とのうち小さい方の値を、アノード目標圧力としてアノード系指令部 250 に出力する。

【0482】

図 30 は、本実施形態における湿潤制御部 300 の燃費重視ドライ操作処理についての

10

20

30

40

50

処理手順の一例を示すフローチャートである。本実施形態の燃費重視ドライ操作処理は、図19に示したステップS30の処理に対応する。

【0483】

ステップS31において湿潤制御部300の燃費重視DRY操作設定部312は、アノードガス及びカソードガスの各制御に関する優先順位を設定する優先制御パラメータとして、カソード下限流量、カソード上限圧力、及びアノード下限圧力を演算する。これらのパラメータは、電解質膜111を最も湿った状態にするときのWET操作値である。

【0484】

ステップS32において湿潤制御部300のカソード目標圧力演算部340bは、図26で述べたとおり、優先制御パラメータであるアノード上限流量、アノード下限圧力、及びカソード下限流量と、目標水収支とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。3つの優先制御パラメータをカソード目標圧力演算部340bに設定することにより、カソードガス圧力を降下させる降圧制御の優先順位が最も高くなる。

10

【0485】

このため、カソード目標圧力演算部340bは、燃費重視ドライ操作において、カソードガス流量制御、アノードガス流量制御、及びアノードガス圧力制御の3つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもカソード目標圧力を迅速に下げる。

【0486】

ステップS33において湿潤制御部300のアノード目標流量演算部320bは、図27で述べたとおり、優先制御パラメータであるカソード下限流量及びアノード上限流量と、カソードガス圧力と、目標水収支とに基づいて、アノード目標流量を演算する。2つの優先制御パラメータをアノード目標流量演算部320bに設定することにより、アノードガス循環流量を減少させる減量制御の優先順位が2番目に高くなる。

20

【0487】

このため、アノード目標流量演算部320bは、燃費重視ドライ操作において、カソードガス流量制御及びアノードガス圧力制御の2つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもアノード目標流量を迅速に下げる。

【0488】

ステップS34において湿潤制御部300のカソード目標流量演算部350bは、図28で述べたとおり、優先制御パラメータであるアノード下限圧力と、カソードガス圧力、及びアノードガス流量と、目標水収支とに基づいて、カソード目標流量を演算する。1つの優先制御パラメータをカソード目標流量演算部350bに設定することにより、カソードガス流量を増加させる増量制御の優先順位が3番目に高くなる。

30

【0489】

このため、カソード目標流量演算部350bは、燃費重視ドライ操作においてアノードガス圧力制御のみが全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもカソード目標流量を迅速に上げる。

【0490】

ステップS35において湿潤制御部300のアノード目標圧力演算部330bは、図29で述べたとおり、カソードガス流量、カソードガス圧力、及びアノードガス流量と、目標水収支とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。優先制御パラメータが用いられていないため、アノード目標圧力演算部330bは、通常の湿潤制御どおり、アノード目標圧力を上げる。したがって、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御の優先順位が4番目になる。

40

【0491】

ステップS300においてコントローラ200のカソード系指令部240及びアノード系指令部250は、カソード目標圧力、アノード目標流量、カソード目標流量、及びアノード目標圧力に基づいて、ガス状態調整処理を実行する。ガス状態調整処理については次図を参照して詳細に説明する。ステップS300でガス状態調整処理が終了すると、図19に示したステップS30の燃費重視ドライ操作処理に戻る。

50

【0492】

図31は、ステップS300で実行されるガス状態調整処理に関する処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0493】

ステップS311においてコントローラ200は、カソードガス圧力がカソード目標圧力に収束するように、カソード調圧弁26の開度を大きくする。これにより、カソードガス圧力が低下する。

【0494】

ステップS312においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

10

【0495】

ステップS313においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達したか否かを判断し、カソード下限圧力に達していない場合には、ステップS211の処理に戻る。

【0496】

ステップS321においてコントローラ200は、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達した場合には、アノードガス循環流量がアノード目標流量に収束するように、アノード循環ポンプ36の回転速度を下げる。これにより、アノードガス循環流量が減少する。

20

【0497】

ステップS322においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0498】

ステップS323においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、アノードガス循環流量がアノード下限流量に達したか否かを判断し、アノード下限流量に達していない場合には、ステップS321の処理に戻る。

【0499】

ステップS331においてコントローラ200は、アノードガス循環流量がアノード下限流量に達した場合には、カソードガス流量がカソード目標流量に収束するように、コンプレッサ22の回転速度を上げる。これにより、カソードガス流量が上昇する。

30

【0500】

ステップS332においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0501】

ステップS333においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス流量がカソード上限流量に達したか否かを判断し、カソード上限流量に達していない場合には、ステップS231の処理に戻る。

40

【0502】

ステップS341においてコントローラ200は、カソードガス流量がカソード上限流量に達した場合には、アノードガス圧力がアノード目標圧力に収束するように、アノード調圧弁33の開度を大きくする。これにより、アノードガス圧力が上昇する。

【0503】

ステップS342においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0504】

ステップS343においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達してい

50

ない場合には、アノードガス圧力がアノード上限圧力に達したか否かを判断する。アノードガス圧力がアノード上限圧力に達していない場合には、コントローラ200は、ステップS341の処理に戻り、アノードガス圧力を上昇させる。

【0505】

そして、ステップS342で計測HFRが目標HFRに達した場合、又は、ステップS343でアノードガス圧力がアノード上限圧力に達した場合には、ガス状態調整処理が終了し、図30に示したステップS300の燃費重視ドライ操作処理に戻る。

【0506】

図32は、本実施形態の燃費重視ドライ操作における燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

10

【0507】

図32(A)は、燃料電池スタック1の計測HFRの変化を示す図である。図32(B)及び図32(D)は、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの圧力及び流量の変化を示す図である。図32(C)及び図32(E)は、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの流量及び圧力の変化を示す図である。図32(F)は、燃料電池スタック1の目標電流を示す図である。図32(A)から図32(E)までの各図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0508】

時刻t40では、図32(A)に示すように、例えば、加速後に負荷装置5の要求電力の大幅な低下に伴って目標HFRが大幅に上昇する。これに伴って、計測HFRが目標HFRよりも低くなるため、図11に示したDRY操作モード切替部310は、ドライ操作を実施する必要があると判定する。

20

【0509】

また、計測HFRと目標HFRとの差分が速乾要求閾値よりも小さいため、DRY操作モード切替部310は、電解質膜111の水分を迅速に減らす必要はないと判断する。次にDRY操作モード切替部310は、スタック目標電流が高負荷要求閾値よりも高いか否かを判断する。図32(F)に示すように、スタック目標電流は高負荷要求閾値よりも低いいため、DRY操作モード切替部310は、燃料電池システム100の消費電力を低減可能であると判断し、ドライ操作モードの中から燃費重視ドライ操作を選択する。

【0510】

30

そして、燃費重視DRY操作設定部312は、カソード目標圧力演算部340bに対し、測定値に代えてWET操作値であるカソード下限流量、アノード上限流量、及びアノード下限圧力を設定する。さらに燃費重視DRY操作設定部312は、アノード目標流量演算部320bに対し、カソード下限流量、及びアノード下限圧力を設定すると共に、カソード目標流量演算部350bに対し、アノード下限圧力を設定する。すなわち、燃費重視DRY操作設定部312は、燃費重視ドライ操作において、カソードガス圧力制御、アノードガス流量制御、カソードガス流量制御、アノードガス圧力制御の順に各制御に関する優先順位を設定する。

【0511】

これにより、図32(B)に示すように、カソード目標圧力演算部340bにより、他の制御よりも優先してカソード調圧弁26が開かれてカソードガス圧力が低下する。これに伴い、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水量が減少し、アノード循環水量が減少するので、図32(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かって上昇する。

40

【0512】

このように、燃費重視ドライ操作において、1番目に、カソードガス圧力を降下させる降圧制御を実行することにより、応答遅れの小さいカソード調圧弁26が作動するので、電解質膜111の水分を迅速に減らすことができる。さらにカソードガス圧力を降下させることにより、コンプレッサ22のトルクが低下するので、コンプレッサ22の消費電力を低減することができる。

50

【0513】

時刻 t_41 において、図32（B）及び図32（C）に示すように、カソードガス圧力がドライ操作の下限值に到達する。このため、カソードガス降圧制御を補完するようにアノード目標流量演算部320bによりアノード循環ポンプ36の回転速度が下げられてアノードガス循環流量が減少する。これに伴って、アノード循環水量が減少するので、電解質膜111の水分が減り易くなり、図32（A）に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

【0514】

このように、燃費重視ドライ操作において、2番目に、アノードガス循環流量を減少させる減量制御を実行することにより、アノード循環ポンプ36の消費電力を低減することができる。このため、カソードガス圧力を下げた後にアノードガス循環流量を下げることで、湿潤制御の応答性を確保しつつ、燃料電池システム100の消費電力を抑制することができる。

10

【0515】

さらに、カソードガス圧力をアノードガス循環流量よりも優先して制御することにより、ドライ操作時においてアノードガス循環流量を先に下げたことが原因となり、反って電解質膜111がウェット状態になってしまうという事態を回避することができる。

【0516】

時刻 t_42 において、図32（C）及び図32（D）に示すように、アノードガス循環流量がドライ操作の上限値に到達する。このため、アノードガス減量制御を補完するように、カソード目標流量演算部350bによりコンプレッサ22の回転速度が上げられてカソードガス流量が増加する。これに伴って、カソードガスによってカソードガス流路131から外部に持ち出される水蒸気の排水量が増加するため、アノード循環水量が減少し、図20（A）に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

20

【0517】

このように、燃費重視ドライ操作において、3番目に、カソードガス流量を増加させる増量制御を実行することにより、コンプレッサ22の消費電力が増加する機会を極力減らしつつ、迅速に電解質膜111の水分を減少させることができる。

【0518】

時刻 t_43 において、図32（D）及び図32（E）に示すように、カソードガス流量がドライ操作の上限値に到達する。このため、カソードガス増量制御を補完するようにアノード目標圧力演算部330bによりアノード調圧弁33が開かれてアノードガス圧力が上昇する。これに伴って、アノードガス流路121中の水蒸気分圧が上昇してカソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水量が減少するので、アノード循環水量が減少し、図32（A）に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

30

【0519】

このように、燃費重視ドライ操作において、4番目に、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御を実行することにより、応答性の良いアノード調圧弁33が作動するので、コンプレッサ22によるカソードガス増量制御の応答性の悪さを迅速に補うことができる。

40

【0520】

時刻 t_44 において、図32（E）に示すように、アノードガス圧力がドライ操作の上限値に到達し、図32（A）に示すように、計測HFRが目標HFRに到達する。

【0521】

以上のように、燃費重視ドライ操作において、カソードガス圧力、アノードガス循環流量、カソードガス流量、アノードガス圧力の順に物理量を制御することで、燃料電池システム100の消費電力を抑制しつつ迅速に電解質膜111の水分を減らすことができる。

【0522】

ここで、燃費重視ドライ操作において、アノードガス循環流量よりも優先してカソードガス圧力を制御することによる効果について説明する。

50

【0523】

図33は、ドライ操作におけるアノードガス流量制御とカソードガス圧力制御との関係を説明するための図である。図33においては、縦軸が燃料電池スタック1の湿潤状態を示し、横軸がアノードガス循環流量を示す。ここでは、「大」、「中」及び「小」の各々のカソードガス圧力ごとに、アノードガス循環流量を大きくしたときの燃料電池スタック1の湿潤状態が示されている。

【0524】

図33に示すように、ドライ操作1においては、アノードガス循環流量が多い状態で、カソードガス圧力を「大」から「中」に下げると、燃料電池スタック1の湿潤状態がドライ側に遷移する。すなわち、カソードガスの降圧制御によってドライ操作が効率よく行われる。

10

【0525】

一方、ドライ操作2においては、カソードガス圧力が「大」のときにアノードガス循環流量を減らすと、燃料電池スタック1の電解質膜111は反って湿ってしまう。すなわち、ドライ操作において、カソードガス圧力が高い状態でアノードガスの減量制御を実行すると、電解質膜111の水分が減少せずに増加してしまう。

【0526】

このように、カソードガスの降圧制御の実行よりも先にアノードガスの減量制御を実行してしまうと、ドライ操作に要する時間が長くなる可能性がある。これに対して、図33に示したドライ操作1のように、アノードガス循環流量を下げる前にカソードガス圧力を下げることにより、ドライ操作を効率よく実施することができる。

20

【0527】

このため、燃費重視ドライ操作を実施する場合において、アノードガスの減量制御よりも優先してカソードガスの降圧制御を実行することにより、迅速、かつ、効率よく、電解質膜111を乾燥させることができる。

【0528】

図34は、燃費重視ドライ操作時において、湿潤要求とは異なる要求によりカソードガス降圧制御が制限されたときの燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

【0529】

30

図34(A)は、燃料電池スタック1の目標HFRの変化を示す図である。図34(B)及び図34(C)は、それぞれ、カソードガス圧力及びアノードガス循環流量の変化を示す図である。図34(D)は、アノード循環水量の変化を示す図である。これらの図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0530】

ここでは、本実施形態のドライ操作が実線により示され、図25に示したアノード目標流量演算部320bがカソードガス圧力の計測値 P_{c_sens} の代わりにカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を用いてアノード目標流量を算出したときのドライ操作が点線により示されている。

【0531】

40

時刻 t_{50} において、図34(A)に示すように目標HFRが大幅に上昇する。そして、図34(B)に示すようにカソードガス圧力が低下する。

【0532】

時刻 t_{51} において、湿潤要求とは別の要求により設定された下限圧力にカソードガス圧力が到達したため、図34(B)の実線で示すように、燃費重視ドライ操作におけるカソードガスの降圧制御が制限される。この下限圧力は、例えば、図26に示したカソード下限圧力演算部344の演算結果である。

【0533】

本実施形態では、アノード目標流量演算部320bがカソードガス圧力の計測値 P_{c_sens} を用いてアノード目標流量を演算するので、図34(C)の実線で示すように、カソード

50

ガスの降圧制御が制限された直後にアノードガス循環流量が減少する。すなわち、カソードガスの降圧制御によって電解質膜 1 1 1 の湿潤状態を操作しきれない部分を補完するようにアノードガスの減量制御が実行される。このため、図 3 4 (A) の実線で示すように、カソードガスの降圧制御が制限された直後であっても計測 H F R を上昇させることができる。

【0 5 3 4】

仮にアノード目標流量演算部 3 2 0 b が、図 2 6 で示したカソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 の演算結果を用いてアノード目標流量を演算したとすると、図 3 4 (C) の点線で示すように時刻 t 5 1 から時刻 t 5 2 までの間、アノードガスの減量制御が実行されない。その結果、図 3 4 (A) の点線で示すように、時刻 t 5 3 では目標 H F R に到達しないため、ドライ操作が完了するのに要する時間が長くなってしまう。

10

【0 5 3 5】

このように、本実施形態では、アノード目標流量演算部 3 2 0 b が、カソードガス圧力の測定値を用いてアノード目標流量を演算するので、カソード湿潤要求圧力を用いる場合に比べて、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

【0 5 3 6】

図 3 5 は、目標 H F R が急峻に上昇したときのドライ操作における燃料電池システム 1 0 0 の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

【0 5 3 7】

図 3 5 (A) は、目標 H F R の変化を示す図である。図 3 5 (B) から図 3 5 (D) までの各図面の縦軸は、図 3 3 (B) から図 3 3 (D) までの各図面の縦軸と同じであり、図 3 5 (A) から図 3 5 (D) までの図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

20

【0 5 3 8】

図 3 5 (B) には、カソードガス圧力の計測値が実線により示され、カソード目標圧力が破線により示されている。

【0 5 3 9】

時刻 t 4 0 において、図 3 5 (A) に示すように目標 H F R がパルス状に上昇する。このような状況としては、例えば、車両が加速状態から減速状態に切り替わることで負荷装置 5 の要求電力が極端に小さくなったときに、図 8 の特性に起因して目標 H F R が大幅に上昇する。

30

【0 5 4 0】

図 3 5 (B) の破線で示すように、カソード目標圧力演算部 3 4 0 b は、目標 H F R を達成できるカソード目標圧力を算出する。一方、カソードガス圧力は、燃料電池スタック 1 の容積や配管抵抗などが原因でカソード目標圧力に比べて緩やかに低下する。

【0 5 4 1】

時刻 t 6 0 の直後は、カソードガス圧力とカソード目標圧力との乖離が大きいため、カソードガスの降圧制御によるドライ操作が十分に行われなない。その結果、アノード目標流量演算部 3 2 0 b が、カソードガス圧力とカソード目標圧力との差分を補完するようにアノード目標流量を下げるので、図 3 5 (C) に示すようにアノードガス循環流量が減少する。

40

【0 5 4 2】

時刻 t 6 0 から時間が経過するにつれて、カソードガス圧力とカソード目標圧力との差分が小さくなるため、図 3 5 (C) に示すように、アノード目標流量演算部 3 2 0 b は、減らし過ぎた分だけアノード目標流量を上げる。このように、過渡的に減少したアノードガス循環流量は上昇し始める。

【0 5 4 3】

時刻 t 6 1 において、図 3 5 (B) に示すようにカソードガス圧力がカソード目標圧力に到達し、図 3 5 (C) に示すようにアノードガス循環流量は若干上昇してから定常状態となる。

【0 5 4 4】

50

このように、湿潤制御部 300 は、目標 HFR が大幅に上昇する場合には、カソードガスの降圧制御に若干の遅れが生じるため、その遅れた分だけアノードガスの減量制御を実行する。すなわち、過渡状態における燃費重視ドライ操作では、湿潤制御部 300 は、カソードガス圧力を降下させると共に、目標 HFR と計測 HFR との差分が小さくなるようにアノードガス循環流量を減少させる。

【0545】

このため、燃費重視ドライ操作時に電解質膜 111 の水分を速やかに減らす必要があるときには、カソードガスの降圧制御を実行しても電解質膜 111 の水分が減少しない部分を補完するように、アノードガスの減量制御が実行される。これにより、効率的、かつ、早期に、電解質膜 111 の水分を減らすことができる。

10

【0546】

本発明の第 3 実施形態によれば、湿潤制御部 300 は、燃費重視ドライ操作時において、カソードガス圧力を降下させる降圧制御を実行しても電解質膜 111 の水分が減らないときには、その減らない部分を補完するようにアノードガス循環流量を減少させる減量制御を実行する。これにより、図 32 (C) に示したように、カソードガスの降圧制御を補完するようにアノードガスの減量制御が実行されるので、図 33 で述べたとおり、電解質膜 111 がウェット側に遷移することを回避することができる。したがって、電解質膜 111 の水分を効率よく減らすことができる。

【0547】

また、本実施形態によれば、燃費重視ドライ操作時において、燃費重視 DRY 操作設定部 312 は、計測 HFR と、電解質膜 111 を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス流量を示す WET 操作値とをカソード目標圧力演算部 340b に設定する。そして、燃費重視 DRY 操作設定部 312 は、計測 HFR とカソードガス圧力の計測値とをアノード目標流量演算部 320b に設定する。これにより、燃費重視ドライ操作において、カソードガスの降圧制御の優先順位を、アノードガスの減量制御の優先順位よりも高くすることができる。

20

【0548】

また、本実施形態によれば、燃費重視ドライ操作において、電解質膜 111 を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス流量は、燃料電池 10 の性能を確保できる範囲で最も大きい流量に設定される。これにより、燃費重視ドライ操作において、カソードガス圧力をより一層迅速に下げることができる。

30

【0549】

また、本実施形態によれば、アノード目標流量演算部 320b は、燃費重視ドライ操作を実施する場合には、カソードガス圧力が低下するほど、アノードガス循環流量の減少を抑制しつつ、電解質膜 111 の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス循環流量を減少させる。これにより、アノードガスの減量制御において、カソードガスの降圧制御によるドライ操作を早期に補完することができる。

【0550】

また、本実施形態によれば、図 32 に示したように、燃費重視 DRY 操作設定部 312 は、ドライ操作を実行する場合には、カソードガスの降圧制御、アノードガスの減量制御、カソードガスの増量制御、アノードガスの昇圧制御の順に各制御を実行する。

40

【0551】

このため、アノードガスの減量制御よりも優先してカソードガスの降圧制御が実行されるので、迅速にドライ操作を開始できると共に、ドライ操作に寄与しない状況でアノードガスの減量制御が実行されるのを抑制することができる。また、カソードガスの増量制御よりも優先してアノードガスの減量制御が実行されるので、アノード循環ポンプ 36 の消費電力を低減しつつ、コンプレッサ 22 の消費電力の増加を抑制することができる。すなわち、燃料電池システム 100 の消費電力を抑制しつつ、迅速、かつ、的確にドライ操作を実施することができる。さらに、アノードガスの昇圧制御よりも優先してカソードガスの増量制御が実行されるので、効果的に電解質膜 111 の水分を減らすことができる。

50

【0552】

また、本実施形態によれば、湿潤制御部300は、速乾性重視ドライ操作を実施する必要がある場合において、燃料電池システム100の消費電力を抑える必要があるときには、燃料電池スタック1のカソードガス圧力をアノードガス循環流量よりも優先して制御する。これにより、ドライ操作を実施しつつ、燃料電池システム100の消費電力を低減することができる。

【0553】

(第4実施形態)

第3実施形態では燃費重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部300の構成について説明したが、次の実施形態では、速乾性重視ドライ操作を実施するときの湿潤制御部300の構成について詳細に説明する。

10

【0554】

図36は、本発明の第4実施形態における湿潤制御部300の詳細構成の一例を示すブロック図である。

【0555】

湿潤制御部300は、速乾性重視DRY操作設定部313と、カソード目標流量演算部350cと、アノード目標圧力演算部330cと、カソード目標圧力演算部340cと、アノード目標流量演算部320cとを含む。

【0556】

なお、アノード目標流量演算部320c、アノード目標圧力演算部330c、カソード目標圧力演算部340c、及びカソード目標流量演算部350cの各構成は、図12に示したものと基本的に同様の構成である。本実施形態の各構成は、第1実施形態に比べて入力パラメータの一部又は全部が相違している。

20

【0557】

速乾性重視DRY操作設定部313は、DRY操作モード切替部310から選択信号を受信すると、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス流量制御、及びカソードガス圧力制御の各制御に関する優先順位を設定する。すなわち、速乾性重視DRY操作設定部313は、アノード循環ポンプ36、アノード調圧弁33、コンプレッサ22、及びカソード調圧弁26の各動作を制御する順番を、電解質膜111の湿潤状態に応じて調整する。

30

【0558】

速乾性重視DRY操作設定部313は、計測HFRが目標HFR以上である場合には、ウェット操作パラメータとして、カソードガス圧力、カソードガス流量、及びアノードガス圧力の各計測値を出力する。一方、速乾性重視DRY操作設定部313は、計測HFRが目標HFR未満である場合には、各制御の優先順位を設定するためのドライ操作パラメータとして、電解質膜111を現在よりもウェット状態にするときのWET操作値を各計測値の代わりに出力する。

【0559】

例えば、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量制御のWET操作値としては、カソードガス流量の計測値よりも小さな値が用いられ、アノードガス流量制御のWET操作値としては、アノードガス流量の計測値よりも大きな値が用いられる。また、アノードガス圧力制御のWET操作値としては、アノードガス圧力の計測値よりも小さな値が用いられる。

40

【0560】

本実施形態では、速乾性重視DRY操作設定部313は、ドライ操作パラメータとして、カソード上限圧力、アノード上限流量、及びアノード下限圧力を出力する。これらのドライ操作パラメータは、電解質膜111を最も湿った状態に遷移させる場合に用いられるWET操作値である。

【0561】

カソード上限圧力、アノード上限流量、及びアノード下限圧力は、図12の出力重視D

50

R Y操作設定部 3 1 1、及び図 2 5 の燃費重視 D R Y操作設定部 3 1 2 で用いられる W E T 操作値と同じものである。

【0 5 6 2】

カソード目標流量演算部 3 5 0 c は、電解質膜 1 1 1 の湿潤度と、燃料電池スタック 1 のアノードガス圧力とに基づいて、カソードガス流量を制御する第 3 の流量制御部を構成する。

【0 5 6 3】

本実施形態では、カソード目標流量演算部 3 5 0 c は、図 7 に示した目標水収支演算部 2 1 2 からの目標水収支と、カソードガス圧力と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標流量を演算する。カソード目標流量演算部 3 5 0 c は、演算したカソード目標流量をカソード系指令部 2 4 0 に出力する。

10

【0 5 6 4】

速乾性重視ドライ操作において、カソード目標流量演算部 3 5 0 c は、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 から、アノード上限流量、アノード下限圧力、及びカソード上限圧力を W E T 操作値として取得する。このため、カソード目標流量演算部 3 5 0 c は、アノードガス流量、アノードガス圧力、及びカソードガス圧力の各計測値を取得する場合に比べて、カソード目標流量を小さくすることができる。このように、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 は、速乾性ドライ操作において、カソード流量制御の優先順位を、アノードガス流量制御、アノードガス圧力制御、及びカソードガス圧力制御の優先順位よりも高くすることができる。

20

【0 5 6 5】

アノード目標圧力演算部 3 3 0 c は、電解質膜 1 1 1 の湿潤度と、燃料電池スタック 1 のカソードガス流量とに基づいて、燃料電池スタック 1 のアノードガス圧力を制御する第 3 の圧力制御部を構成する。

【0 5 6 6】

本実施形態では、アノード目標圧力演算部 3 3 0 c は、目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス流量とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。アノード目標圧力演算部 3 3 0 c は、演算したアノード目標圧力をアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

【0 5 6 7】

速乾性重視ドライ操作において、アノード目標圧力演算部 3 3 0 c は、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 から、カソード上限圧力、及びアノード上限流量を W E T 操作値として取得し、流量センサ 2 3 からカソードガス流量の計測値を取得する。このため、アノード目標圧力演算部 3 3 0 c は、カソードガス圧力、及びアノードガス流量の各計測値を取得した場合に比べて、アノード目標圧力を大きくすることができる。このように、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 は、ドライ操作において、アノードガス圧力制御の優先順位を、カソードガス圧力制御、及びアノードガス流量制御の優先順位よりも高くすることができる。

30

【0 5 6 8】

カソード目標圧力演算部 3 4 0 c は、目標水収支と、カソードガス流量と、アノードガス流量と、アノードガス圧力とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。カソード目標圧力演算部 3 4 0 c は、演算したカソード目標圧力をアノード系指令部 2 5 0 に出力する。

40

【0 5 6 9】

速乾性重視ドライ操作において、カソード目標圧力演算部 3 4 0 c は、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 からアノード上限流量を W E T 操作値として取得し、流量センサ 2 3 からカソードガス流量の計測値を取得し、アノード圧力センサ 3 7 からアノードガス圧力の計測値を取得する。このため、カソード目標圧力演算部 3 4 0 c は、アノードガス流量の計測値を取得した場合に比べて、カソード目標圧力を小さくすることができる。このように、速乾性重視 D R Y操作設定部 3 1 3 は、ドライ操作において、カソードガス圧力制

50

御の優先順位を、アノードガス流量制御の優先順位よりも高くすることができる。

【0570】

アノード目標流量演算部320cは、目標水収支と、カソードガス流量と、カソードガス圧力と、アノードガス圧力とに基づいて、アノード目標流量を演算する。アノード目標流量演算部320cは、演算したアノード目標流量をアノード系指令部250に出力する。

【0571】

速乾性重視ドライ操作において、アノード目標流量演算部320cは、流量センサ23及びカソード圧力センサ24からそれぞれカソードガス流量及びカソードガス圧力の計測値を取得し、アノード圧力センサ37からアノードガス圧力の計測値を取得する。このため、アノード目標流量演算部320cは、カソードガス流量、カソードガス圧力、及びアノードガス圧力の計測値に従ってアノード目標流量を適切に増減させることができる。

【0572】

以上のように、速乾性重視ドライ操作において、速乾性重視DRY操作設定部313は、カソードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス圧力制御、アノードガス流量制御の順に各制御の優先順位を設定する。これにより、アノードガス圧力制御よりも優先してカソードガス流量制御が実行されるので、アノード循環ポンプ36の消費電力の増加を抑制することができると共に、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

【0573】

また、アノード調圧弁33の異常などが原因でアノード調圧弁33が作動しない場合には、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御が不能となる。このような場合には、速乾性重視DRY操作設定部313は、アノード下限圧力に代えて、アノードガス圧力の計測値を出力する。

【0574】

このように、アノードガス圧力が制御不能な場合には、カソード目標流量演算部350cは、燃料電池スタック1に供給されている実際のアノードガス圧力を用いてカソード目標流量を算出するので、アノードガス圧力制御系の異常状態に適したドライ操作を実行することができる。なお、アノードガス圧力制御の不能時には、速乾性重視DRY操作設定部313での演算を停止するようにしてもよい。

【0575】

次に、本実施形態におけるカソード目標流量演算部350c、アノード目標圧力演算部330c、カソード目標圧力演算部340c及びアノード目標流量演算部320cの各構成について説明する。なお、本実施形態の各構成については、第2実施形態の構成と基本的に同じであるため、同一符号を付して説明する。

【0576】

図37は、速乾性重視ドライ操作を実施するときのカソード目標流量演算部350cの詳細構成の一例を示すブロック図である。

【0577】

カソード目標流量演算部350cは、カソード上限流量演算部351と、An/Ca流量比演算部352と、カソード相対湿度演算部353と、カソード湿潤要求流量演算部354と、カソード目標流量設定部355と、遅延回路356とを含む。

【0578】

カソード上限流量演算部351は、図18に示したカソード上限流量演算部と同じ構成である。カソード上限流量演算部351は、燃料電池システム100の運転状態に応じて、カソード上限流量を演算し、演算したカソード上限流量をカソード目標流量設定部355に出力する。

【0579】

An/Ca流量比演算部352は、燃料電池スタック1内のカソードガス流量に対するアノードガス流量の比率を示すAn/Ca流量比 $K_{ac-q_{amax}}$ を演算する。

【0580】

10

20

30

40

50

本実施形態では、A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、速乾性重視 D R Y 操作設定部 3 1 3 からアノード上限流量 Q_{a_max} を取得し、遅延回路 3 5 6 からのカソード目標流量の前回値 $Q_{c_t_dly}$ を取得する。A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、次式 (5) のように、アノード上限流量 Q_{a_max} とカソード目標流量 $Q_{c_t_dly}$ とに基づいて、A n / C a 流量比 K_{ac_qamax} を算出する。

【0 5 8 1】

【数 2 2】

$$K_{ac_qamax} = \frac{Q_{a_max}}{Q_{c_t_dly}} \quad \dots (22)$$

10

【0 5 8 2】

A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、アノードガス圧力及びカソードガス圧力の極間差圧 ΔP_{ac} に応じて A n / C a 流量比 K_{ac_qamax} を補正する。

【0 5 8 3】

本実施形態では、A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、速乾性重視 D R Y 操作設定部 3 1 3 から、アノード下限圧力 P_{a_min} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} を取得し、アノード下限圧力 P_{a_min} からカソード上限圧力 P_{c_max} を減算して、極間差圧 ΔP_{ac_min} を算出する。

【0 5 8 4】

A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、極間差圧 ΔP_{ac_min} を算出すると、図 1 5 の流量比補正マップを参照し、極間差圧 ΔP_{ac_min} に関係付けられた補正係数 E_{ac_min} を算出する。A n / C a 流量比演算部 3 2 5 は、次式 (23) のように、算出した補正係数 E_{ac_min} に基づいて、A n / C a 流量比 K_{ac_qamax} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの A n / C a 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ に補正する。

20

【0 5 8 5】

【数 2 3】

$$K_{ac_3max2_0} = \frac{K_{ac_qamax}}{E_{ac_min}} \quad \dots (23)$$

【0 5 8 6】

30

A n / C a 流量比演算部 3 5 2 は、補正後の A n / C a 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ をカソード相对湿度演算部 3 5 3 に出力する。

【0 5 8 7】

カソード相对湿度演算部 3 5 3 は、補正後の A n / C a 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ に基づいて、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_3min2}$ を演算する。

【0 5 8 8】

本実施形態では、カソード相对湿度演算部 3 5 3 は、補正後の A n / C a 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ を取得すると、図 1 4 の相对湿度 / 流量比マップを参照し、A n / C a 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ に関連付けられたカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_3min2}$ を算出する。

【0 5 8 9】

40

カソード相对湿度演算部 3 5 3 は、算出したカソード出口相对湿度 $RH_{c_out_3min2}$ をカソード湿潤要求流量演算部 3 5 4 に出力する。

【0 5 9 0】

カソード湿潤要求流量演算部 3 5 4 は、カソード出口相对湿度 $RH_{c_out_3min2}$ と、図 1 3 に示した目標排水量算出部 3 2 3 からの目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を演算する。

【0 5 9 1】

速乾性重視ドライ操作において、カソード湿潤要求流量演算部 3 5 4 は、速乾性重視 D R Y 操作設定部 3 1 3 からカソード上限圧力 P_{c_max} を取得し、図 1 3 に示した飽和水蒸気圧演算部 3 2 1 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。そして、カソード湿潤要求流量演

50

算部 354 は、次式 (24) のように、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_min}$ とカソード上限圧力 P_{c_max} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を算出する。

【0592】

【数24】

$$Q_{c_rw} = Q_{w_out} \frac{P_{c_max} - RH_{c_out_3min2} \times P_{sat}}{RH_{c_out_3min2} \times P_{sat}} \quad \dots (24)$$

【0593】

式 (24) に示したように、カソード上限圧力 P_{c_max} が大きくなるほど、又は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min2}$ が小さくなるほど、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} は大きくなる。このように、WET 操作値であるアノード上限流量 Q_{a_max} 、アノード下限圧力 P_{a_min} 、及びカソード上限圧力 P_{c_max} を用いることにより、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を早期に上げることができる。

10

【0594】

カソード湿潤要求流量演算部 354 は、算出したカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} をカソード目標流量設定部 355 に出力する。

【0595】

カソード目標流量設定部 355 は、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} と、カソード上限流量演算部 351 からのカソード上限流量とのうち小さい方の値を、カソード目標流量 Q_{c_t} としてカソード系指令部 240 及び遅延回路 356 に出力する。

20

【0596】

遅延回路 356 は、カソード目標流量設定部 355 からのカソード目標流量 Q_{c_t} を制御周期の 1 周期分だけ遅延させる。すなわち、遅延回路 356 は、カソード目標流量 Q_{c_t} を取得すると、前回のカソード目標流量 $Q_{c_t_dly}$ を An/Ca 流量比演算部 352 に出力する。

【0597】

以上のように、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を小さくするには、図 14 に示した相対湿度／流量比マップの関係から An/Ca 流量比 K_{ac_0} を大きくすればよい。 An/Ca 流量比 K_{ac_0} を大きくするには、アノードガス流量 Q_a を大きくすると共に、図 15 に示した流量比補正マップの関係から補正係数 E_{ac} が小さくなるように、アノードガス圧力 P_a を小さくし、カソードガス圧力 P_c を大きくすればよい。

30

【0598】

本実施形態では、速乾性重視 DRY 操作設定部 313 は、速乾性重視ドライ操作において、WET 操作値であるカソード上限圧力 P_{c_max} 、アノード上限流量 Q_{a_max} 及びアノード下限圧力 P_{a_min} をカソード目標流量演算部 350c に出力する。これにより、アノードガス圧力の計測値を用いる場合に比べて、式 (22) 中の An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} が大きくなるので、式 (6) 中の An/Ca 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ を大きくすることができる。さらに、アノード下限圧力 P_{a_min} 及びカソード上限圧力 P_{c_max} を用いることにより、 An/Ca 流量比の補正係数 E_{ac_min} が小さくなるので、 An/Ca 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ をより一層大きくすることができる。

40

【0599】

このため、 An/Ca 流量比 $K_{ac_3max2_0}$ が最も大きくなるので、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_3min2}$ が最も小さくなる。これにより、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量制御の優先度が最も高くなるので、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を早期に下げることができる。

【0600】

図 38 は、速乾性重視ドライ操作を実施するときのアノード目標圧力演算部 330c の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0601】

50

アノード目標圧力演算部 330c は、アノード上限圧力演算部 331 と、カソード相対湿度演算部 332 と、An/Ca 流量比演算部 333 と、アノード湿潤要求圧力演算部 334 と、アノード目標圧力設定部 335 とを含む。

【0602】

アノード上限圧力演算部 331 は、図 16 に示したアノード上限圧力演算部と同一の構成である。アノード上限圧力演算部 331 は、燃料電池システム 100 の運転状態に応じてアノード上限圧力を演算し、演算したアノード上限圧力をアノード目標圧力設定部 335 に出力する

カソード相対湿度演算部 332 は、図 13 に示した目標排水量算出部 323 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、目標とするカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ を演算する

10

【0603】

本実施形態では、カソード相対湿度演算部 332 は、速乾性重視 DRY 操作設定部 313 からカソードガス圧力 P_{c_max} を取得し、流量センサ 23 からカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得し、図 13 に示した飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する

【0604】

そして、カソード相対湿度演算部 332 は、次式 (25) のように、カソード上限圧力 P_{c_max} とカソードガス流量 Q_{c_sens} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ を算出する。

20

【0605】

【数 25】

$$RH_{c_out_pcmax} = \frac{P_{c_max}}{P_{sat}} \times \frac{Q_{w_out}}{Q_{c_sens} + Q_{w_out}} \quad \dots (25)$$

【0606】

カソード相対湿度演算部 332 は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ を An/Ca 流量比演算部 333 に出力する。

【0607】

An/Ca 流量比演算部 333 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ に基づいて、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ を演算する。

30

【0608】

本実施形態では、An/Ca 流量比演算部 333 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ を取得すると、図 14 の相対湿度／流量比マップを参照し、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ に関係付けられた An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ を算出する。

【0609】

そして、An/Ca 流量比演算部 333 は、速乾性重視 DRY 操作設定部 313 からアノード上限流量 Q_{a_max} を取得し、流量センサ 23 からカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得する。An/Ca 流量比演算部 333 は、アノード上限流量 Q_{a_max} をカソードガス流量 Q_{c_sens} により除算して、An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} を算出する。

40

【0610】

An/Ca 流量比演算部 333 は、An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} と、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ とをアノード湿潤要求圧力演算部 334 に出力する。

【0611】

アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} と、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ とに基づいて、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を演算する。

【0612】

本実施形態では、アノード湿潤要求圧力演算部 334 は、次式 (26) のように、極間

50

差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ と、 An/Ca 流量比 $K_{ac_qamax_ax}$ とに基づいて、補正係数 E_{ac_2max} を算出する。

【0613】

【数26】

$$E_{ac_2max} = \frac{K_{ac_qamax}}{K_{ac_pcmax_0}} \quad \dots (26)$$

【0614】

アノード湿潤要求圧力演算部334は、補正係数 E_{ac_2max} を算出すると、図15の流量比補正マップを参照し、補正係数 E_{ac_2max} に関係付けられた極間差圧 ΔP_{ac_2max} を算出する。アノード湿潤要求圧力演算部334は、次式(27)のように、極間差圧 ΔP_{ac_2max} と、カソード上限圧力 P_{c_max} とに基づいて、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を算出する。

10

【0615】

【数27】

$$P_{a_rw} = \Delta P_{ac_2max} + P_{c_max} \quad \dots (27)$$

【0616】

アノード湿潤要求圧力演算部334は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} をアノード目標圧力設定部335に出力する。

20

【0617】

アノード目標圧力設定部335は、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} と、アノード上限圧力演算部331からのアノード上限圧力とのうち小さい方の値を、アノード目標圧力としてアノード系指令部250に出力する。

【0618】

このように、アノード目標圧力演算部330cにおいて、速乾性重視ドライ操作時にアノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} を速やかに大きくするには、式(27)の関係から、極間差圧 ΔP_{ac} を大きくすると共に、カソードガス圧力 P_c を大きくする必要がある。

【0619】

30

極間差圧 ΔP_{ac} を大きくするには、 An/Ca 流量比 K_{ac} を大きくして補正係数 E_{ac} を大きくすればよい。 An/Ca 流量比 K_{ac} を大きくするには、アノードガス流量 Q_a を大きくし、カソードガス流量 Q_c を小さくすればよい。

【0620】

また、補正係数 E_{ac} を大きくするには、カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を大きくして極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 K_{ac_0} を小さくすればよい。カソード出口相対湿度 RH_{c_out} を大きくするには、カソードガス圧力 P_c を大きくすればよい。

【0621】

本実施形態では、速乾性重視DRY操作設定部313は、ドライ操作において、WET操作値として、カソード上限圧力 P_{c_max} 及びアノード上限流量 Q_{c_max} をアノード目標圧力演算部330cに出力する。カソード上限圧力 P_{c_max} を用いることより、カソードガス圧力の計測値を用いる場合に比べて、式(25)中のカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ が大きくなるので、図14に示した相対湿度/流量比の関係から An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ を小さくすることができる。それゆえ、式(26)の補正係数 E_{ac_2max} を大きくすることができる。

40

【0622】

さらに、アノード上限流量 Q_{a_max} を用いることにより、アノードガス流量の計測値を用いる場合に比べて、 An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} が大きくなるので、補正係数 E_{ac_2max} をより一層大きくすることができる。これにより、極間差圧 ΔP_{ac_2max} が大きくなると共に、式(27)中のカソードガス圧力にカソード上限圧力 P_{c_max} が設定されるので、

50

アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を早期に下げることができる。

【0623】

以上のように、アノード目標圧力演算部 330c では、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} が増加してカソードガス流量 Q_{c_sens} が増加するほど、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ が小さくなる。カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_ps}$ が小さくなるほど、 An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ が大きくなるので、補正係数 E_{ac_2max} が大きくなってカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} が大きくなる。すなわち、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} が低下するほど、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} は小さくなるため、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御が抑制される。

【0624】

10

一方、目標水収支 Q_{w_t} が小さくなって目標排水量 Q_{w_out} が大きくなるほど、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_pcmax}$ は大きくなるので、 An/Ca 流量比 $K_{ac_pcmax_0}$ が小さくなり、アノード湿潤要求圧力 P_{a_rw} は大きくなる。

【0625】

このように、アノード目標圧力演算部 330c は、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量を上げている状況であっても、目標排水量 Q_{w_out} が減少しなければ、アノード目標圧力を上昇させることができる。すなわち、湿潤制御部 300 は、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量が増加するほど、アノードガス圧力の上昇を抑制し、かつ、電解質膜 111 の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス圧力を上昇させることができる。

20

【0626】

図39は、速乾性重視ドライ操作を実施するときのカソード目標圧力演算部 340c の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0627】

カソード目標圧力演算部 340c は、 An/Ca 流量比演算部 341 と、カソード相対湿度演算部 342 と、カソード湿潤要求圧力演算部 343 と、カソード下限圧力演算部 344 とを含む。

【0628】

An/Ca 流量比演算部 341 は、燃料電池スタック 1 内のカソードガス流量に対するアノードガス流量の比率を示す An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} を演算する。

30

【0629】

本実施形態において、 An/Ca 流量比演算部 341 は、速乾性重視 DRY 操作設定部 313 からアノード上限流量 Q_{a_max} を取得し、流量センサ 23 からカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得する。 An/Ca 流量比演算部 341 は、アノード上限流量 Q_{a_max} をカソードガス流量 Q_{c_sens} により除算して、 An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} を算出する。

【0630】

An/Ca 流量比演算部 341 は、算出した An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} をカソード相対湿度演算部 342 に出力する。

【0631】

カソード相対湿度演算部 342 は、アノード圧力センサ 37 からアノードガス圧力 P_{a_sens} を取得し、アノードガス圧力 P_{a_sens} から暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} を減算して暫定極間差圧 ΔP_{ac_pr} を算出する。暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} は、所定の範囲で変化するパラメータである。

40

【0632】

カソード相対湿度演算部 342 は、 An/Ca 流量比演算部 341 から An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} を取得すると、図15の流量比補正マップを参照し、暫定極間差圧 ΔP_{ac_pr} に関係付けられた暫定補正係数 E_{ac_pr} を算出する。カソード相対湿度演算部 342 は、その暫定補正係数 E_{ac_pr} により An/Ca 流量比 K_{ac_qamax} を除算して、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの暫定 An/Ca 流量比 $K_{ac_qamax_0}$ を算出する。

【0633】

50

カソード相対湿度演算部 3 4 2 は、暫定 A_n / C_a 流量比 $K_{ac_qamax_0}$ を算出すると、図 1 4 の相対湿度／流量比マップを参照し、暫定 A_n / C_a 流量比 $K_{ac_qamax_0}$ に関係付けられた暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qamax_pr}$ を算出する。

【0 6 3 4】

カソード相対湿度演算部 3 4 2 は、暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qamax_pr}$ と暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} とをカソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 に出力する。

【0 6 3 5】

カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、目標排水量算出部 3 2 3 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} を演算する。

【0 6 3 6】

速乾性重視ドライ操作において、カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、速乾性重視 DRY 操作設定部 3 1 3 からカソード下限流量 Q_{c_min} を取得し、カソード相対湿度演算部 3 4 2 から暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qamax_pr}$ を取得する。さらに、カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、図 1 3 に示した飽和水蒸気圧演算部 3 2 1 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、次式 (2 8) のように、暫定カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_qamax_pr}$ と、カソード下限流量 Q_{c_min} と、飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、暫定カソード湿潤要求圧力 $P_{c_rw_pr2}$ を算出する。

【0 6 3 7】

【数 2 8】

$$P_{c_rw_pr2} = P_{sat} \times RH_{c_out_qamax_pr} \frac{Q_{c_min} + Q_{w_out}}{Q_{w_out}} \quad \dots (28)$$

【0 6 3 8】

カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} の圧力値を変化させるようにカソード相対湿度演算部 3 4 2 に指示する。そして、カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、暫定カソードガス圧力 P_{c_pr} と暫定カソード湿潤要求圧力 $P_{c_rw_pr2}$ とが一致したときの圧力値をカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} として設定する。

【0 6 3 9】

カソード湿潤要求圧力演算部 3 4 3 は、カソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} をカソード目標圧力設定部 3 4 5 に出力する。

【0 6 4 0】

カソード下限圧力演算部 3 4 4 は、図 1 7 に示したカソード下限圧力演算部と同一の構成である。カソード下限圧力演算部 3 4 4 は、燃料電池システム 1 0 0 の運転状態に応じてカソード下限圧力を演算し、演算したカソード下限圧力をカソード目標圧力設定部 3 4 5 に出力する

カソード目標圧力設定部 3 4 5 は、カソード下限圧力とカソード湿潤要求圧力 P_{c_rw} とのうち大きい方の値を、カソード目標圧力としてカソード系指令部 2 4 0 に出力する。

【0 6 4 1】

図 4 0 は、速乾性重視ドライ操作を実施するときのアノード目標流量演算部 3 2 0 c の機能構成の一例を示すブロック図である。

【0 6 4 2】

アノード目標流量演算部 3 2 0 c は、カソード相対湿度演算部 3 2 4 と、 A_n / C_a 流量比演算部 3 2 5 と、アノード湿潤要求流量演算部 3 2 6 と、アノード下限流量演算部 3 2 7 と、アノード目標流量設定部 3 2 8 とを含む。

【0 6 4 3】

カソード相対湿度演算部 3 2 4 は、図 1 3 に示した目標排水量算出部 3 2 3 からの目標排水量 Q_{w_out} に基づいて、目標とするカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を演算する。

【0 6 4 4】

10

20

30

40

50

速乾性重視ドライ操作において、カソード相対湿度演算部 324 は、流量センサ 23 及びカソード圧力センサ 24 からそれぞれカソードガス流量 Q_{c_sens} 及びカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得し、飽和水蒸気圧演算部 321 から飽和水蒸気圧 P_{sat} を取得する。そして、カソード相対湿度演算部 324 は、次式 (29) のように、カソードガス流量 Q_{c_sens} とカソードガス圧力 P_{c_sens} と飽和水蒸気圧 P_{sat} と目標排水量 Q_{w_out} とに基づいて、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を算出する。

【0645】

【数29】

$$RH_{c_out_sens} = \frac{P_{c_sens}}{P_{sat}} \times \frac{Q_{w_out}}{Q_{c_sens} + Q_{w_out}} \quad \dots (29) \quad 10$$

【0646】

カソード相対湿度演算部 324 は、算出したカソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を An/Ca 流量比演算部 325 に出力する。

【0647】

An/Ca 流量比演算部 325 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ に基づいて、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ を演算する。

【0648】

本実施形態では、 An/Ca 流量比演算部 325 は、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ を取得すると、図 14 の相対湿度／流量比マップを参照し、カソード出口相対湿度 $RH_{c_out_sens}$ に関係付けられた An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ を算出する。 20

【0649】

また、 An/Ca 流量比演算部 325 は、アノード圧力センサ 37 からのアノードガス圧力 P_{a_sens} を取得し、カソード圧力センサ 24 からカソードガス圧力 P_{c_sens} を取得する。 An/Ca 流量比演算部 325 は、アノードガス圧力 P_{a_sens} からカソードガス圧力 P_{c_sens} を減算して、極間差圧 ΔP_{ac_sens} を算出する。 An/Ca 流量比演算部 325 は、極間差圧 ΔP_{ac_sens} を算出すると、図 15 の流量比補正マップを参照し、算出した極間差圧 ΔP_{ac_sens} に関係付けられた補正係数 E_{ac_sens} を算出する。

【0650】

そして、 An/Ca 流量比演算部 325 は、式 (30) のように、補正係数 E_{ac_sens} を、極間差圧 ΔP_{ac} がゼロのときの An/Ca 流量比 $K_{ac_sens_0}$ に乗算することにより、極間差圧 ΔP_{ac_sens} に応じた An/Ca 流量比 K_{ac_sens} を算出する。 30

【0651】

【数30】

$$K_{ac_sens} = E_{ac_sens} \times K_{ac_sens_0} \quad \dots (30)$$

【0652】

An/Ca 流量比演算部 325 は、算出した An/Ca 流量比 K_{ac_sens} をアノード湿潤要求流量演算部 326 に出力する。

【0653】

アノード湿潤要求流量演算部 326 は、 An/Ca 流量比 K_{ac_sens} に基づいて、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を演算する。 40

【0654】

本実施形態では、アノード湿潤要求流量演算部 326 は、流量センサ 23 からカソードガス流量 Q_{c_sens} を取得し、次式 (31) のように、カソードガス流量 Q_{c_sens} と An/Ca 流量比 K_{ac_sens} とに基づいて、アノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} を算出する。

【0655】

【数31】

$$Q_{a_rw} = K_{ac_sens} \times Q_{c_sens} \quad \dots (31) \quad 50$$

【0656】

アノード湿潤要求流量演算部326は、算出したアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} をアノード目標流量設定部328に出力する。

【0657】

アノード下限流量演算部327は、図13に示したアノード下限流量演算部と同一の構成である。アノード下限流量演算部327は、燃料電池システム100の運転状態に応じてアノード下限流量を演算し、演算したアノード下限流量をアノード目標流量設定部328に出力する。

【0658】

アノード目標流量設定部328は、アノード下限流量とアノード湿潤要求流量 Q_{a_rw} とのうち小さい方の値を、アノード目標流量としてアノード系指令部250に出力する。

10

【0659】

図41は、本実施形態における湿潤制御部300の速乾性重視ドライ操作処理に関する処理手順の一例を示すフローチャートである。本実施形態の速乾性重視ドライ操作処理は、図19に示したステップS40の処理に対応する。

【0660】

ステップS41において湿潤制御部300の速乾性重視DRY操作設定部313は、アノードガス及びカソードガスに対する各制御の優先順位を設定する優先制御パラメータとして、カソード上限圧力、アノード上限流量、及びアノード下限圧力を演算する。これらのパラメータは、電解質膜111を最も湿った状態にするときのWET操作値である。

20

【0661】

ステップS42において湿潤制御部300のカソード目標流量演算部350cは、図37で述べたとおり、優先制御パラメータであるアノード上限流量、アノード下限圧力、及びカソード上限圧力と、目標水収支とに基づいて、カソード目標流量を演算する。3つの優先制御パラメータをカソード目標流量演算部350cに設定することにより、カソードガス流量を増量させる増量制御の優先順位を最も高くすることができる。

【0662】

このため、カソード目標流量演算部350cは、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス圧力制御、アノードガス流量制御、及びアノードガス圧力制御の3つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもカソード目標流量を迅速に上げる。

30

【0663】

ステップS43において湿潤制御部300のアノード目標圧力演算部330cは、図38で述べたとおり、優先制御パラメータであるカソード上限圧力及びアノード上限流量と、カソードガス流量と、目標水収支とに基づいて、アノード目標圧力を演算する。2つの優先制御パラメータをアノード目標圧力演算部330cに設定することにより、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御の優先順位を2番目に高くすることができる。

【0664】

このため、アノード目標圧力演算部330cは、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス圧力制御、及びアノードガス流量制御の2つの制御が全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもアノード目標圧力を迅速に上げる。

40

【0665】

ステップS44において湿潤制御部300のカソード目標圧力演算部340cは、図39で述べたとおり、優先制御パラメータであるアノード上限流量と、アノードガス圧力及びカソードガス流量と、目標水収支とに基づいて、カソード目標圧力を演算する。1つの優先制御パラメータをカソード目標圧力演算部340cに設定することにより、カソードガス圧力を降下させる降圧制御の優先順位を3番目に高くすることができる。

【0666】

カソード目標圧力演算部340cは、速乾性重視ドライ操作において、アノードガス流量制御のみが全く行われていないと判断し、通常の湿潤制御よりもカソード目標圧力を迅速に下げる。

50

【0667】

ステップS45において湿潤制御部300のアノード目標流量演算部320cは、図40で述べたとおり、カソードガス流量、カソードガス圧力、及びアノードガス圧力と、目標水収支とに基づいて、アノード目標流量を演算する。優先制御パラメータが用いられていないため、アノードガス循環流量を減少させる減量制御の優先順位は4番目になり、アノード目標流量演算部320cは、通常の湿潤制御どおり、アノード目標流量を増減させる。

【0668】

ステップS400においてコントローラ200のカソード系指令部240及びアノード系指令部250は、カソード目標流量、アノード目標圧力、カソード目標圧力、及びアノード目標流量に基づいて、ガス状態調整処理を実行する。このガス状態調整処理については次図を参照して詳細に説明する。

10

【0669】

ステップS400で実行されるガス状態調整処理が終了すると、図19に示したステップS40の速乾性重視ドライ操作処理に戻る。

【0670】

図42は、ステップS400で実行されるガス状態調整処理に関する処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0671】

ステップS411においてコントローラ200は、カソードガス流量がカソード目標流量に収束するように、コンプレッサ22の回転速度を上げる。これにより、カソードガス流量が増加する。

20

【0672】

ステップS412においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0673】

ステップS413においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス流量がカソード上限流量に達したか否かを判断し、カソード上限流量に達していない場合には、ステップS411の処理に戻る。

30

【0674】

ステップS421においてコントローラ200は、カソードガス流量がカソード上限流量に達した場合には、アノードガス圧力がアノード目標圧力に収束するように、アノード調圧弁33の開度を上げる。これにより、アノードガス圧力が上昇する。

【0675】

ステップS422においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0676】

ステップS423においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、アノードガス圧力がアノード上限圧力に達したか否かを判断し、アノード上限圧力に達していない場合には、ステップS421の処理に戻る。

40

【0677】

ステップS431においてコントローラ200は、アノードガス圧力がアノード上限圧力に達した場合には、カソードガス圧力がカソード目標圧力に収束するように、カソード調圧弁26の開度を下げる。これにより、カソードガス圧力が低下する。

【0678】

ステップS432においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

50

【0679】

ステップS433においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達したか否かを判断し、カソード下限圧力に達していない場合には、ステップS431の処理に戻る。

【0680】

ステップS441においてコントローラ200は、カソードガス圧力がカソード下限圧力に達した場合には、アノードガス循環流量がアノード目標流量に収束するように、アノード循環ポンプ36の回転速度を下げる。これにより、アノードガス循環流量が減少する。

【0681】

10

ステップS442においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達したか否かを判断する。計測HFRが目標HFRに達した場合には、ガス状態調整処理を終了する。

【0682】

ステップS443においてコントローラ200は、計測HFRが目標HFRに達していない場合には、アノードガス流量がアノード下限流量に達したか否かを判断する。アノードガス流量がアノード下限流量に達していない場合には、コントローラ200は、ステップS241の処理に戻り、アノードガス循環流量を減少させる。

【0683】

そして、ステップS442で計測HFRが目標HFRに達した場合、又は、ステップS243でアノードガス循環流量がアノード下限流量に達した場合には、ガス状態調整処理が終了し、図41に示したステップS40の速乾性重視ドライ操作処理に戻る。

20

【0684】

図43は、本実施形態の速乾性重視ドライ操作における燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

【0685】

図43(A)は、燃料電池スタック1に関する計測HFRの変化を示す図である。図43(B)及び図43(D)は、それぞれ、燃料電池スタック1に供給されるカソードガスの流量及び圧力の変化を示す図である。図43(C)及び図43(E)は、それぞれ、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの圧力及び流量の変化を示す図である。図43(A)から図43(E)までの各図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

30

【0686】

時刻t70では、例えば車両の加速後に負荷装置5の要求電力が大幅に低下して、図43(A)に示すように目標HFRが大幅に上昇する。これに伴って、計測HFRが目標HFRよりも低くなり、計測HFRと目標HFRとの差分が速乾要求閾値よりも大きくなるため、DRY操作モード切替部310は、電解質膜111の水分を迅速に減らす必要があると判断する。これにより、DRY操作モード切替部310は、速乾性重視DRY操作設定部313に対し速乾性重視ドライ操作の実施を指示する。

【0687】

速乾性重視DRY操作設定部313は、カソード目標流量演算部350cに対し、測定値に代えてWET操作値であるカソード上限圧力、アノード上限流量、及びアノード下限圧力を設定する。さらに速乾性重視DRY操作設定部313は、アノード目標圧力演算部330cに対し、WET操作値であるカソード上限圧力、及びアノード上限流量を設定すると共に、カソード目標圧力演算部340cに対し、WET操作値であるアノード上限流量を設定する。すなわち、速乾性重視DRY操作設定部313は、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量制御、アノードガス圧力制御、カソードガス圧力制御、アノードガス流量制御の順に、各制御の優先順位を設定する。

40

【0688】

これにより、図43(B)に示すように、カソード目標流量演算部350cにより、他の制御よりも優先してコンプレッサ22の回転速度が上げられてカソードガス流量が増加

50

する。これに伴って、カソードガス流路131から排出される排水量が増加し、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水量が減少してアノード循環水量が減少するので、図43(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かって上昇する。

【0689】

このように、ドライ操作において、1番目に、カソードガス流量を増加させる増量制御を実行することにより、燃料電池スタック1から排出される排水量が他の制御に比べて短時間で増加するので、電解質膜111の水分を迅速に減らすことができる。また、アノードガスの増量制御を1番目に実行することにより、その後に行われるアノードガスの昇圧制御、及びカソードガスの降圧制御によるドライ操作の効果を高めることができる。

10

【0690】

時刻 t_71 において、図43(B)及び図43(C)に示すように、カソードガス流量がドライ操作の上限値に到達する。このとき、カソードガスの増量制御を補完するようにアノード目標圧力演算部330cによりアノード調圧弁33が開かれてアノードガス圧力が上昇する。これに伴って、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水量が減少してアノード循環水量が減少するので、図43(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

【0691】

このように、速乾性ドライ操作において、2番目に、アノードガス圧力を上昇させる昇圧制御を実行することにより、カソードガス流量が多い状態でアノードガス圧力が上げられるので、効率よく電解質膜111の水分を下げることができる。

20

【0692】

また、カソードガスの増量制御の実行後に、コンプレッサ22よりも応答性の良いアノード調圧弁33を作動させるので、コンプレッサ22の応答遅れに起因する計測HFRの上昇量の低下を迅速に補完することができる。このように、カソードガス流量を上げた後にアノードガス圧力を上げることで、電解質膜111の湿潤状態を迅速に乾いた状態に移させることができる。

【0693】

時刻 t_72 において、図43(C)及び図43(D)に示すように、アノードガス圧力がドライ操作の上限値に到達する。このとき、アノードガスの昇圧制御を補完するようにカソード目標圧力演算部340cによりカソード調圧弁26が開かれてカソードガス圧力が低下する。これに伴って、カソードガスによってカソードガス流路131から外部に持ち出される排水量が増加すると共に、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水蒸気の流量が減少する。その結果、アノード循環水量が減少するので、図43(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

30

【0694】

このように、速乾性重視ドライ操作において、3番目に、カソードガス圧力を降下させる降圧制御を実行することにより、排水量が増加しやすい状態で応答性の良いカソード調圧弁26を駆動するので、迅速に電解質膜111の水分を除去することができる。

【0695】

40

時刻 t_73 において、図43(D)及び図43(E)に示すように、カソードガス圧力がドライ操作の下限値に到達する。このとき、カソードガス降圧制御を補完するようにアノード目標流量演算部320cによりアノード循環ポンプ36の回転速度が下げられてアノードガス循環流量が減少する。これに伴って、カソードガス流路131からアノードガス流路121に流入する水量が減少するので、アノード循環水量が減少し、図43(A)に示すように計測HFRが目標HFRに向かってさらに上昇する。

【0696】

このように、速乾性重視ドライ操作において、4番目に、アノードガス循環流量を減少させる減量制御を実行することにより、アノード循環水量が減少して電解質膜111の水分を減らすことができる。

50

【0697】

時刻 t 74において、図43(E)に示すように、アノードガス循環流量がドライ操作の下限值に到達し、図43(A)に示すように、計測HFRが目標HFRに到達する。

【0698】

以上のように、速乾性重視ドライ操作において、カソードガス流量、アノードガス圧力、カソードガス圧力、アノードガス循環流量の順に各物理量を制御することで、迅速に電解質膜111の水分を減らすことができる。

【0699】

具体的には、燃料電池スタック1の排水量が最も増やししやすいカソードガス流量制御を1番目に実行することにより、迅速に電解質膜111の水分を減らすことができる。またカソードガス流量を増加させることにより、アノードガス圧力制御、及びカソードガス圧力制御によるドライ操作の効果が得られやすくなる。アノードガス圧力制御は圧力の操作幅をカソードガス圧力制御に比べて確保しやすいので、アノードガス圧力制御を2番目に実行することにより、迅速にカソードガス流量制御の応答遅れを補完しつつ、より確実に電解質膜111の水分を減らすことができる。そして、カソードガス圧力制御を3番目に実行することにより、効果的に電解質膜111の水分を除去しつつ、4番目に実行されるアノードガス流量制御による効果が得られやすい状態にすることができる。

10

【0700】

ここで、速乾性重視ドライ操作においてアノードガス圧力よりも優先してカソードガス流量を制御することによる効果について説明する。

20

【0701】

図44は、ドライ操作における燃料電池スタック1の湿潤状態とカソードガス流量との関係、及び燃料電池スタック1の湿潤状態とアノードガス圧力との関係を説明するための図である。図44では、縦軸が、燃料電池スタック1の湿潤状態を示し、横軸が、アノードガス圧力の変化量を示す。ここでは、「大」、「中」及び「小」の各々のカソードガス流量ごとに、カソードガス圧力を一定にした状態でアノードガス圧力を高くしたときの燃料電池スタック1の湿潤状態が示されている。

【0702】

図44に示すように、ドライ操作1においては、アノードガス圧力が低い状態で、カソードガス流量を「小」から「中」に上げると、燃料電池スタック1の湿潤状態がドライ側に遷移する。すなわち、カソードガスの増量制御によってドライ操作が効率よく行われる。

30

【0703】

一方、ドライ操作2においては、カソードガス流量が「小」のときにアノードガス圧力を上げても、燃料電池スタック1の電解質膜111の湿潤状態は殆ど変化しない。すなわち、ドライ操作において、コンプレッサ22から燃料電池スタック1に供給されるカソード流量が少ない状態では、アノードガスの昇圧制御を実行しても、ドライ操作が効率よく行われない。

【0704】

このように、カソードガスの増量制御よりも先にアノードガスの昇圧制御を実行すると、ドライ操作に要する時間が長くなる可能性がある。これに対して、図44に示したドライ操作1のように、アノードガス圧力を上げる前にカソードガス流量を上げることにより、ドライ操作を効率よく実施することができる。

40

【0705】

このため、速乾性重視ドライ操作を実施する場合において、アノードガスの昇圧制御よりも優先してカソードガスの増量制御を実行することにより、迅速、かつ、効率よく、電解質膜111を乾燥させることができる。

【0706】

図44は、速乾性重視ドライ操作において、湿潤要求とは異なる要求によりカソードガスの増量制御が制限されたときの燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイム

50

チャートである。

【0707】

図44(A)は、燃料電池スタック1の目標HFRの変化を示す図である。図44(B)及び図44(C)は、それぞれ、カソードガス流量及びアノードガス圧力の変化を示す図である。図44(D)は、アノード循環水量の変化を示す図である。これらの図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0708】

ここでは、本実施形態の速乾性重視ドライ操作が実線により示されている。さらに、図12に示したアノード目標圧力演算部330cがカソードガス流量の計測値 Q_{c_sens} の代わりにカソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を用いてアノード目標圧力を算出したときのドライ操作が点線により示されている。

10

【0709】

時刻t80において、図44(A)に示すように、目標HFRが大幅に上昇する。そして、図44(B)に示すように、カソードガス流量が増加する。

【0710】

時刻t81において、湿潤要求とは別の要求により設定された上限流量にカソードガス流量が到達したため、図44(B)の実線で示すように、ドライ操作におけるカソードガスの増量制御が制限される。この上限流量は、例えば、図37に示したカソード上限流量演算部351の演算結果である。

【0711】

20

本実施形態では、アノード目標圧力演算部330cがカソードガス流量の計測値 Q_{c_sens} を用いてアノード目標圧力を演算するので、図44(C)の実線で示すように、カソードガスの増量制御が制限された直後にアノードガス圧力が上昇する。すなわち、カソードガスの増量制御でも電解質膜111の湿潤状態を操作しきれない部分については、その部分が補完されるようにアノードガスの昇圧制御が実行される。このため、カソードガスの降圧制御が制限されたタイミングにおいて、直ぐにアノードガスの昇圧制御が実行されるので、図44(A)の実線で示すように、計測HFRを継続して上昇させることができる。

【0712】

仮にアノード目標圧力演算部330cが、図37で示したカソード湿潤要求流量演算部354の演算結果を用いてアノード目標圧力を演算したとすると、図44(C)の点線で示すように時刻t81から時刻t82までの間は、アノードガスの昇圧制御が停止状態となる。その結果、図44(A)の点線で示すように、時刻t83を経過しても計測HFRが目標HFRに到達しないので、ドライ操作が完了するのに要する時間が長くなってしまふ。

30

【0713】

このように、本実施形態では、アノード目標圧力演算部330cが、カソードガス流量の測定値を用いてアノード目標圧力を演算するので、カソード湿潤要求流量 Q_{c_rw} を用いる場合に比べて、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

【0714】

図46は、目標HFRが急峻に上昇したときの速乾性重視ドライ操作における燃料電池システム100の運転状態の変化を示すタイムチャートである。

40

【0715】

図46(A)は、目標HFRの変化を示す図である。図46(B)から図46(D)までの各図面の縦軸は、図44(B)から図44(D)までの各図面の縦軸と同じであり、図46(A)から図46(D)までの図面の横軸は、互いに共通の時間軸である。

【0716】

図46(B)には、カソードガス流量の計測値が実線により示され、カソード目標流量が破線により示されている。

【0717】

時刻t90において、図46(A)に示すように目標HFRがパルス状に上昇する。

50

【0718】

図46(B)の破線で示すように、カソード目標流量演算部350cは、目標HFRを達成できるカソード目標流量を算出する。一方、実際のカソードガス流量は、コンプレッサ22の応答遅れなどが原因でカソード目標流量に比べて緩やかに増加する。

【0719】

時刻t90の直後は、実線のカソードガス流量と破線のカソード目標流量との乖離が大きいため、カソードガスの増量制御によるドライ操作が十分に行われず。その結果、アノード目標圧力演算部330cが、カソードガス流量とカソード目標流量との差分を補完するようにアノード目標圧力を上げるので、図46(C)に示すようにアノードガス圧力が上昇する。

10

【0720】

時刻t90から時間が経過するにつれて、カソードガス流量とカソード目標流量との差分が小さくなるため、図46(C)に示すように、アノード目標圧力演算部330cは、アノードガス圧力を上げ過ぎた分だけアノード目標圧力を下げる。このため、アノードガス圧力は過渡的に上昇した後により下がり始める。

【0721】

時刻t91において、図46(B)に示すようにカソードガス流量がカソード目標流量に到達し、図46(C)に示すようにアノードガス圧力は若干低下してから定常状態となる。

【0722】

このように、湿潤制御部300は、目標HFRが大幅に上昇する場合には、カソードガスの増量制御に若干の遅れが生じるため、その遅れた分をアノードガスの昇圧制御により補完する。すなわち、過渡状態における速乾性重視ドライ操作では、湿潤制御部300は、カソードガス流量を増加させると共に、目標HFRと計測HFRとの差分が小さくなるようにアノードガス圧力を上昇させる。

20

【0723】

すなわち、電解質膜111の水分を速やかに減らす必要があるときには、カソードガスの増量制御を実行しても電解質膜111の水分が減少しない部分を補完するように、アノードガスの昇圧制御が実行される。これにより、効率的、かつ、早期に、電解質膜111の水分を減らすことができる。

30

【0724】

本発明の第4実施形態によれば、湿潤制御部300は、速乾性重視ドライ操作時において、カソードガス流量を増加させる増量制御を実行しても電解質膜111の水分が減らないときには、その減らない部分を補完するようにアノードガス圧力を上昇させる昇圧制御を実行する。これにより、図44(C)に示したように、カソードガスの増量制御を補完するようにアノードガスの昇圧制御が実行されるので、ドライ操作に要する時間を短縮することができる。

【0725】

また、本実施形態によれば、速乾性重視ドライ操作においては、カソード目標流量演算部350cは、計測HFRと、電解質膜111を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス圧力を示すWET操作値とを用いてカソードガス流量を増加させる。これと共に、アノード目標圧力演算部330cは、計測HFRとカソードガス流量の計測値とを用いてアノードガス圧力を制御する。これにより、速乾性重視ドライ操作において、カソードガスの増量制御の優先順位を、アノードガスの昇圧制御の優先順位よりも高くすることができる。

40

【0726】

また、本実施形態によれば、速乾性重視ドライ操作において電解質膜111を現在よりも高い湿潤状態にするときのアノードガス圧力は、燃料電池10の性能を確保できる範囲で最も小さい圧力に設定される。これにより、ドライ操作において、カソードガス流量をより一層迅速に増加させることができる。

50

【0727】

また、本実施形態によれば、ドライ操作を実施する場合において、アノード目標圧力演算部330cは、カソードガス流量が増加するほど、アノードガス圧力の上昇を抑制しつつ、電解質膜111の湿潤度が大きくなるほど、アノードガス圧力を上昇させる。これにより、アノードガスの昇圧制御において、カソードガスの増量制御によるドライ操作を迅速に補完することができる。

【0728】

さらに、本実施形態によれば、湿潤制御部300は、速乾性重視ドライ操作において、図43に示したように、カソードガスの増量制御、アノードガスの昇圧制御、カソードガスの降圧制御、アノードガスの減量制御の順に各制御を実行する。

10

【0729】

このため、アノードガスの昇圧制御よりも優先してカソードガスの増量制御が実行されるので、燃料電池スタック1からの排水量を増やしつつ、ドライ操作に寄与しない状況でアノードガスの昇圧制御が実行されるのを抑制することができる。また、カソードガスの降圧制御よりも優先してアノードガスの昇圧制御が実行されるので、極間差圧 ΔP_{ac} を早期に確保でき、かつ、効果的に燃料電池スタック1の排水量を増加させることができる。すなわち、効率よく電解質膜111を乾燥状態に遷移させることができる。さらに、アノードガスの減量制御よりも優先してカソードガスの降圧制御が実行されるので、電解質膜111の水分を減らしつつ、アノードガスの減量制御によるドライ操作の効果を高めることができる。

20

【0730】

また、本実施形態によれば、湿潤制御部300は、少なくともドライ操作を実施する場合において、電解質膜111の水分を速やか減らす必要があるときには、燃料電池スタック1の出力を確保する必要がある否かに関わらず、カソードガス流量をアノードガス圧力よりも優先して制御する。これにより、電解質膜111の水分を早期に減らすことができる。

【0731】

次に、上記実施形態におけるインピーダンス測定装置6の構成例について説明する。

【0732】

図47は、インピーダンス測定装置6の構成の一例を示すブロック図である。

30

【0733】

インピーダンス測定装置6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アースされている。

【0734】

インピーダンス測定装置6は、中途端子1Cに対する正極端子1Bの正極側交流電位差V1を測定する正極側電圧測定センサ61と、中途端子1Cに対する負極端子1Aの負極側交流電位差V2を測定する負極側電圧測定センサ62と、を含む。

【0735】

さらに、インピーダンス測定装置6は、正極端子1Bと中途端子1Cからなる回路に交流電流I1を印加する正極側交流電源部63と、負極端子1Aと中途端子1Cからなる回路に交流電流I2を印加する負極側交流電源部64と、これら交流電流I1及び交流電流I2の振幅や位相を調整するコントローラ65と、正極側交流電位差V1、V2及び交流電流I1、I2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を演算するインピーダンス演算部66と、を含む。

40

【0736】

コントローラ65は、正極側交流電位差V1と負極側交流電位差V2が等しくなるように、交流電流I1と交流電流I2の振幅及び位相を調節する。

【0737】

インピーダンス演算部66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

50

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む。

【0738】

インピーダンス演算部66は、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、インピーダンス演算部66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の全インピーダンス Z を算出する。

【0739】

本実施形態によれば、インピーダンス測定装置6は、燃料電池スタック1に接続されて、該燃料電池スタック1に交流電流 I_1 、 I_2 を出力する交流電源部63、64と、燃料電池スタック1の正極側1Bの電位から中途部分1C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の負極側1Aの電位から中途部分1C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 を調整する交流調整部としてのコントローラ65と、調整された交流電流 I_1 、 I_2 並びに正極側交流電位差 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のインピーダンス Z を演算するインピーダンス演算部66と、を有する。

【0740】

コントローラ65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63により印加される交流電流 I_1 及び負極側交流電源部64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 の振幅と負極側交流電位差 V_2 の振幅とが等しくなるので、正極端子1Bと負極端子1Aが実質的に等電位となる（以下ではこれを等電位制御と記載する）。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 が負荷装置5に流れることが防止されるので、燃料電池10による発電に影響を与えることが防止される。

【0741】

また、燃料電池スタック1が発電状態であっても、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 の値自体は大きくなるが、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10が発電状態ではない場合と同様に高精度なインピーダンス計測を実行することができる。

【0742】

さらに、インピーダンス Z の測定のための回路構成等も種々の変更が可能である。例えば、燃料電池スタック1に所定の電流源から交流電流を供給するようにして、出力される交流電圧を測定し、当該交流電流と出力交流電圧に基づきインピーダンスを計算するようにしても良い。

【0743】

以上、本発明の各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。

【0744】

例えば、本実施形態では膜湿潤状態取得部210において、目標水収支 Q_{w_t} を演算して湿潤制御部300に出力したが、演算した目標水収支 Q_{w_t} に基づいて目標排水量 Q_{w_out} を算出し、目標排水量 Q_{w_out} を目標水収支 Q_{w_t} の代りに出力してもよい。

【0745】

なお、上記実施形態は、適宜組み合わせ可能である。

【符号の説明】

【0746】

1 燃料電池スタック（燃料電池）

10

20

30

40

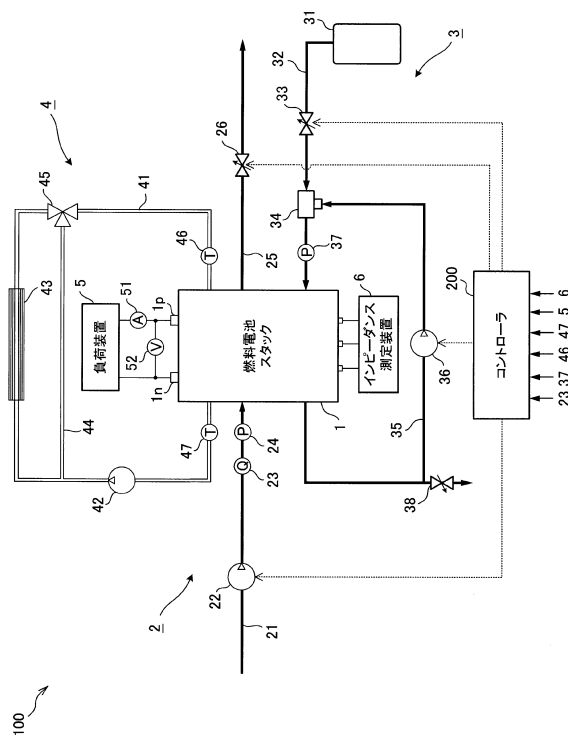
50

- 2 カソードガス給排装置（酸化剤系）
- 3 アノードガス給排装置（燃料系）
- 10 燃料電池
- 22 コンプレッサ（酸化剤供給手段、排水手段）
- 26 カソード調圧弁（排水手段）
- 33 アノード調圧弁（燃料系圧力調圧手段、調圧弁）
- 36 アノード循環ポンプ（燃料循環手段、アクチュエータ）
- 37 アノード循環通路（燃料循環手段、循環通路）
- 65 コントローラ
- 66 インピーダンス演算部（演算部）
- 100 燃料電池システム
- 111 電解質膜
- 121 アノードガス流路（燃料流路）
- 131 カソードガス流路（酸化剤流路）
- 200 コントローラ（湿潤制御装置）
- 210 湿潤状態取得部（取得手段）
- 300 湿潤制御部（制御手段）
- 311 出力重視ドライ操作設定部（優先設定部）
- 320 アノード目標流量演算部（流量制御部）
- 330 アノード目標圧力演算部（圧力制御部）

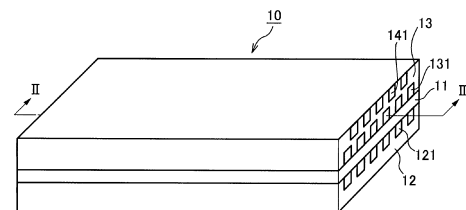
10

20

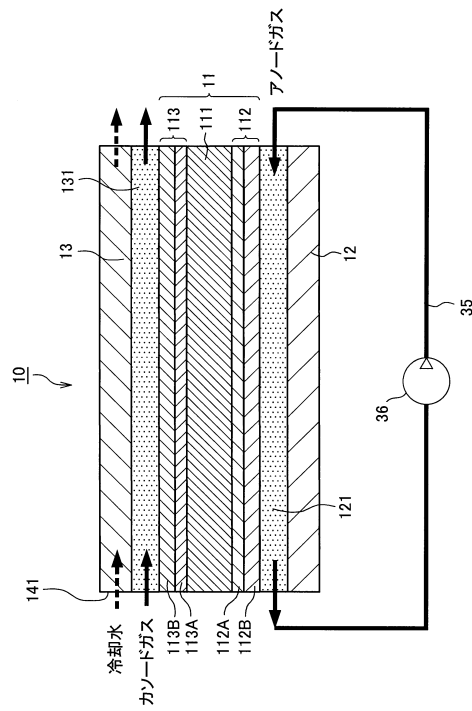
【図 1】



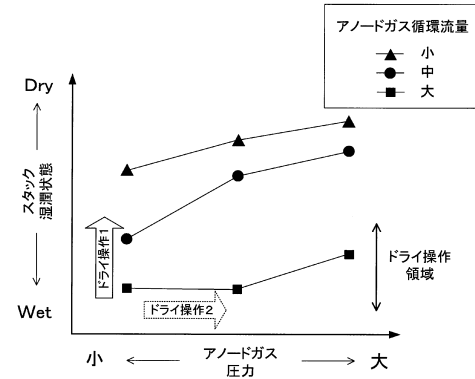
【図 2】



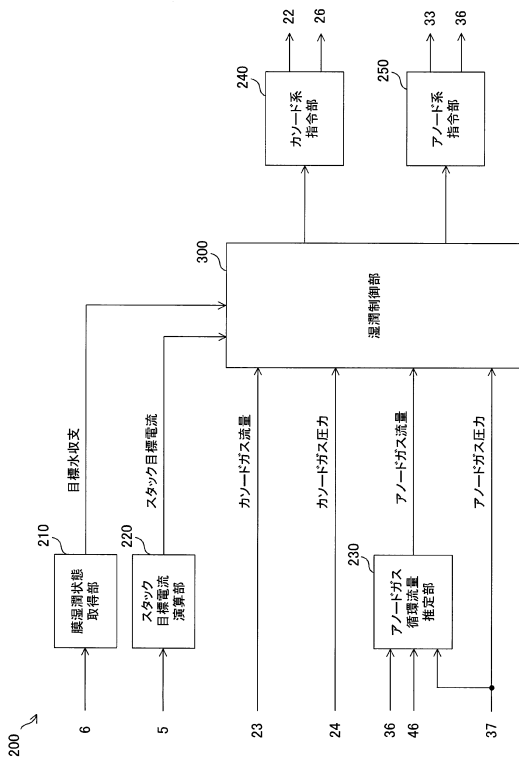
【図 3】



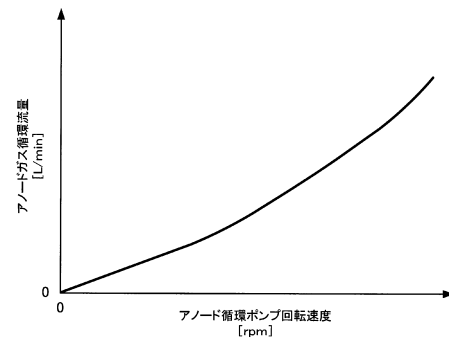
【図 4】



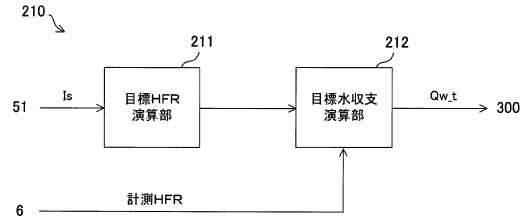
【図 5】



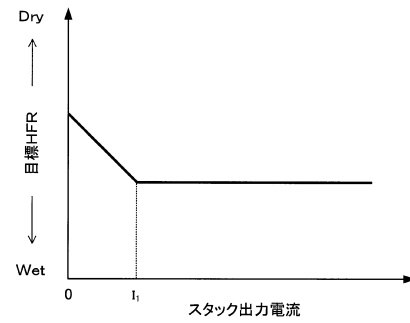
【図 6】



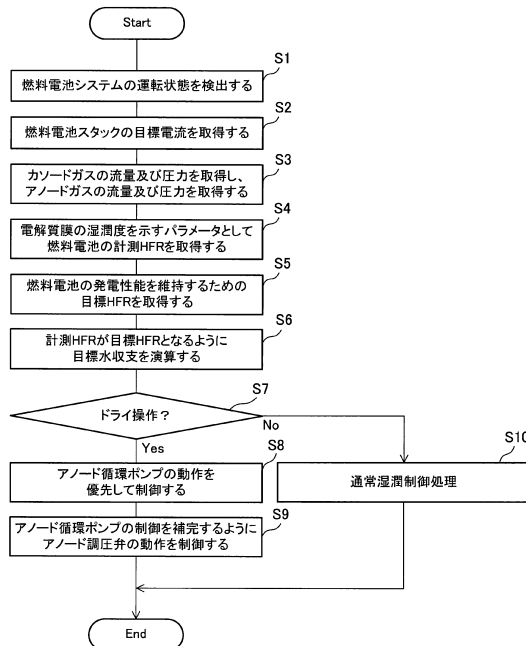
【図 7】



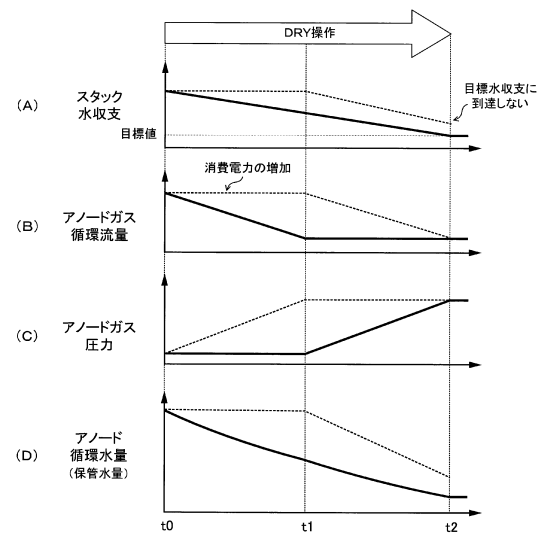
【図 8】



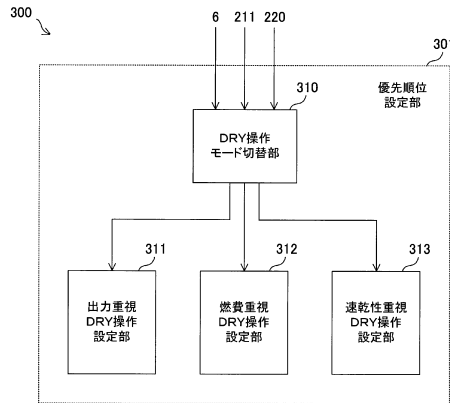
【図 9】



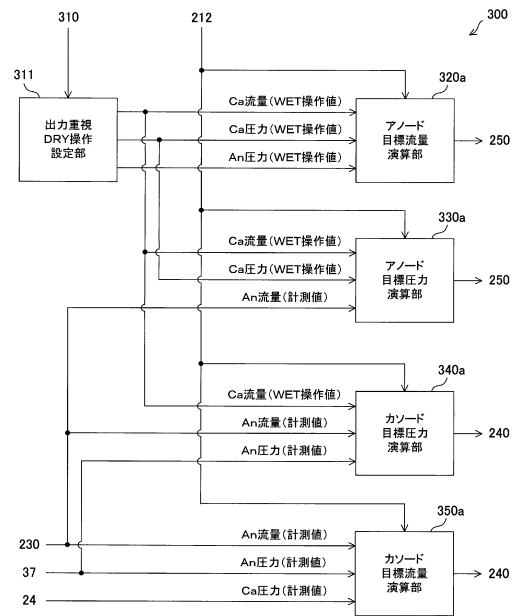
【図 10】



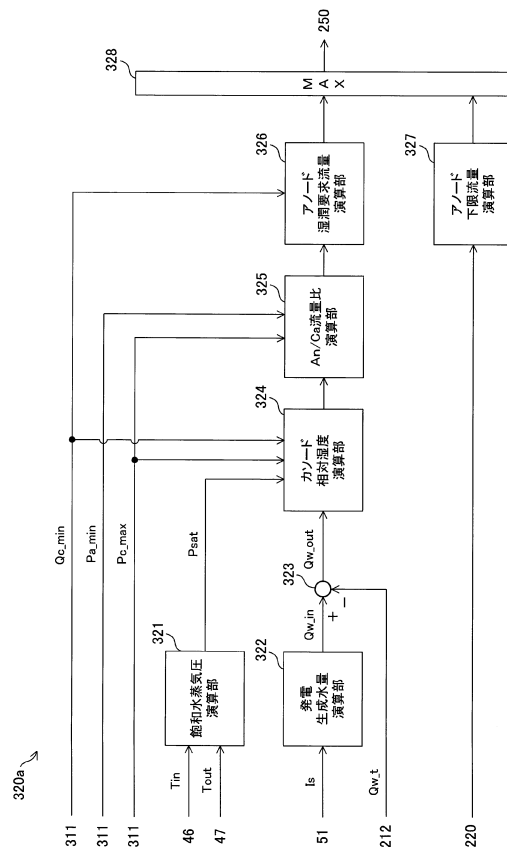
【図 1 1】



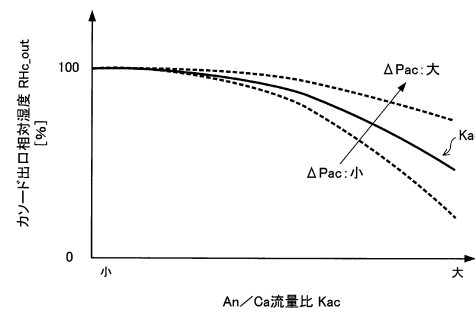
【図 1 2】



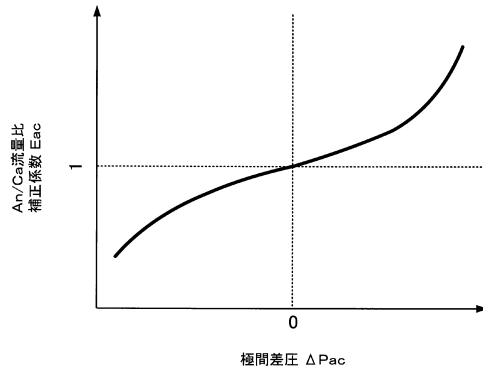
【図 1 3】



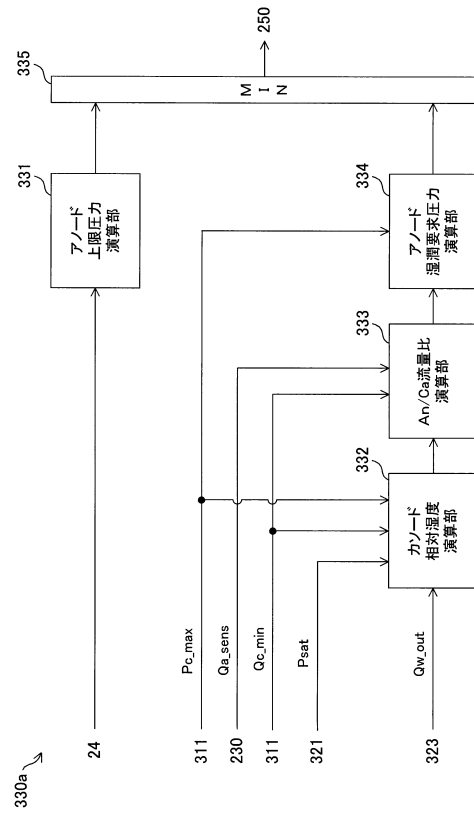
【図 1 4】



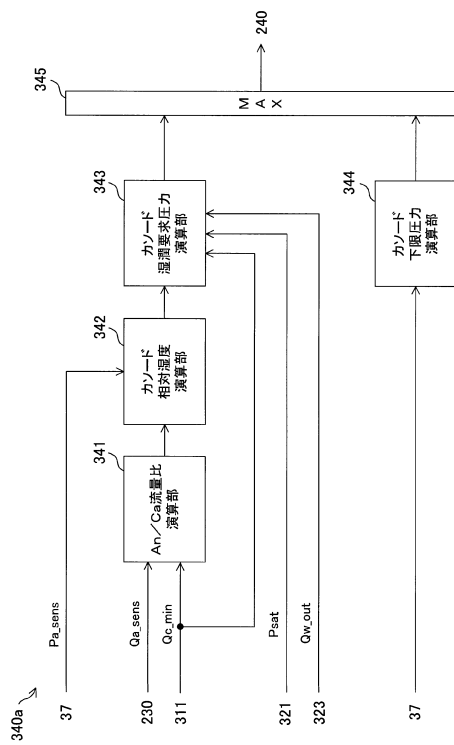
【図 15】



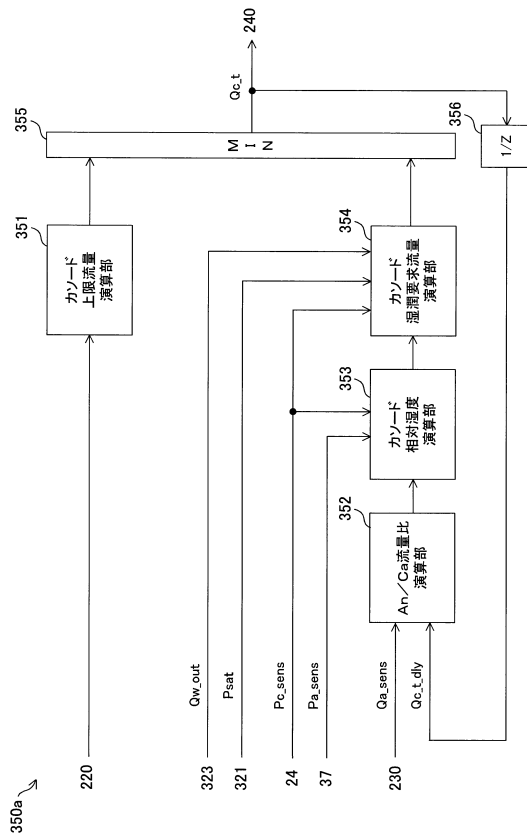
【図 16】



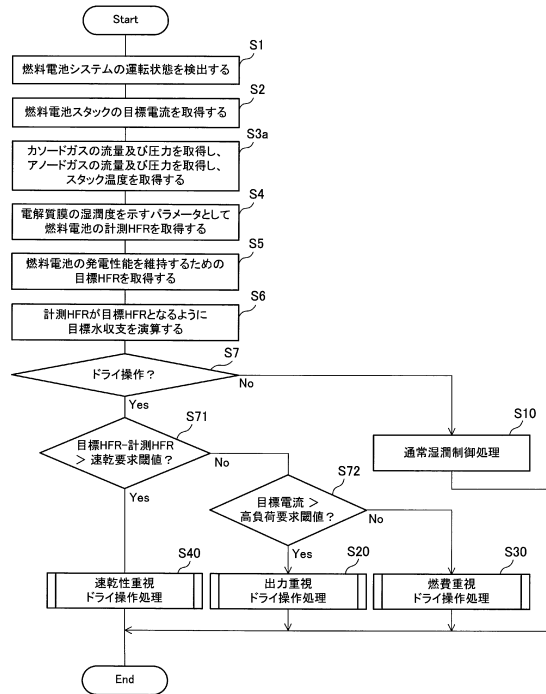
【図 17】



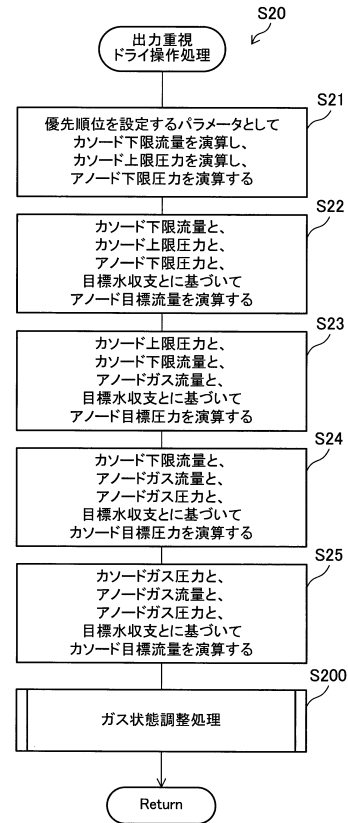
【図 18】



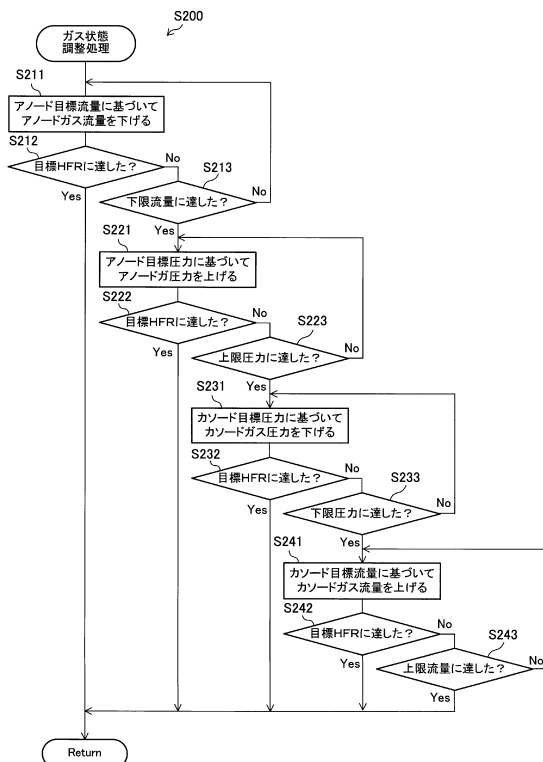
【図 19】



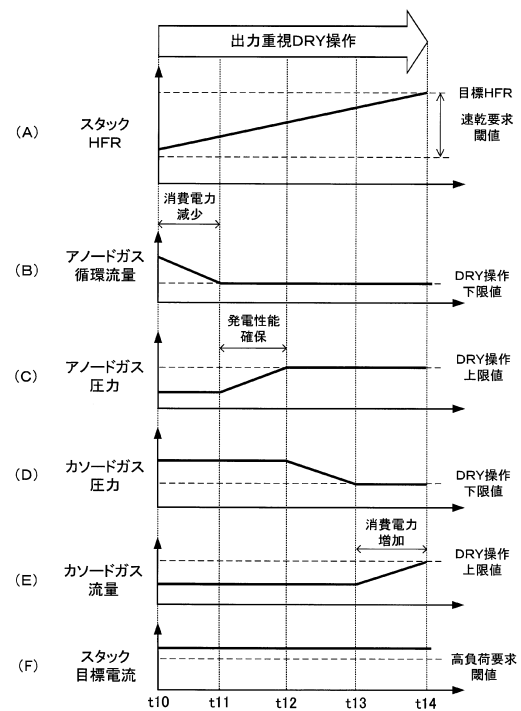
【図 20】



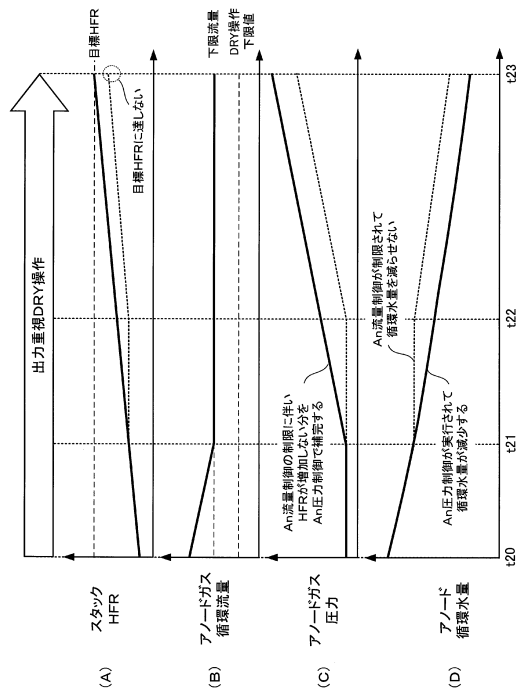
【図 21】



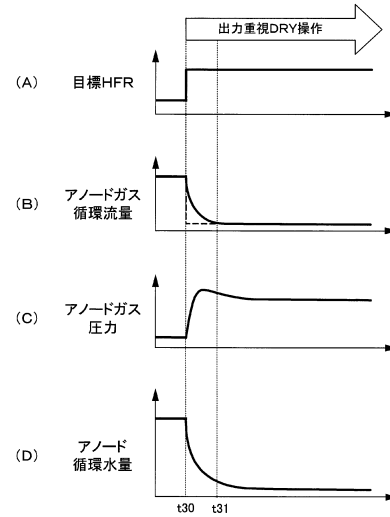
【図 22】



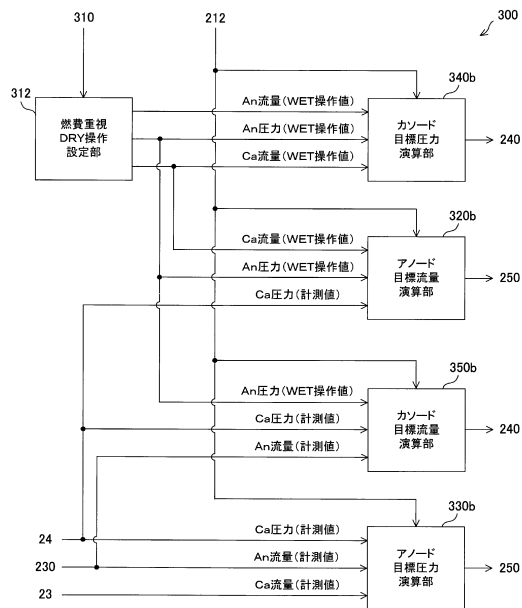
【図 2 3】



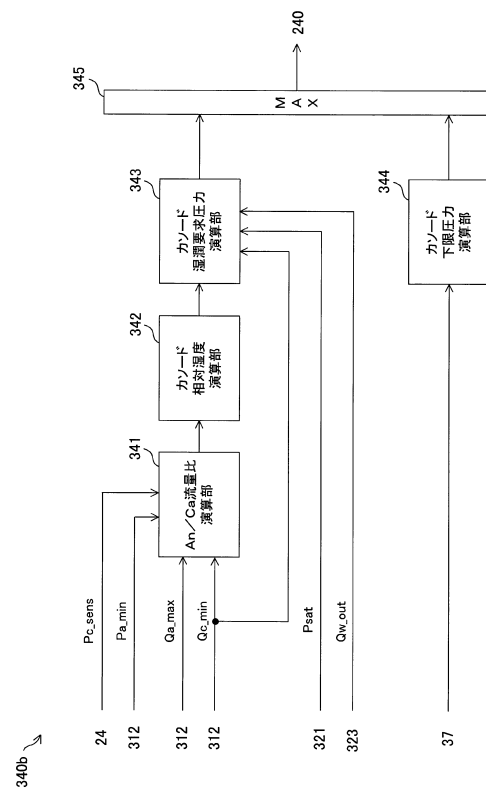
【図 2 4】



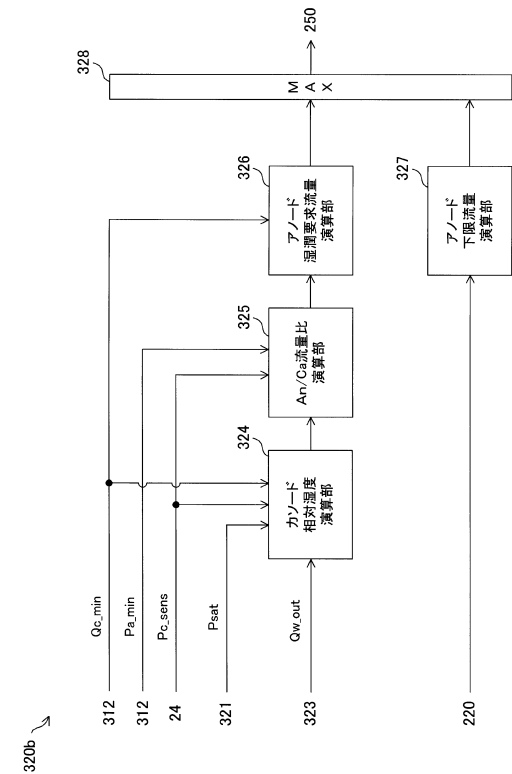
【図 2 5】



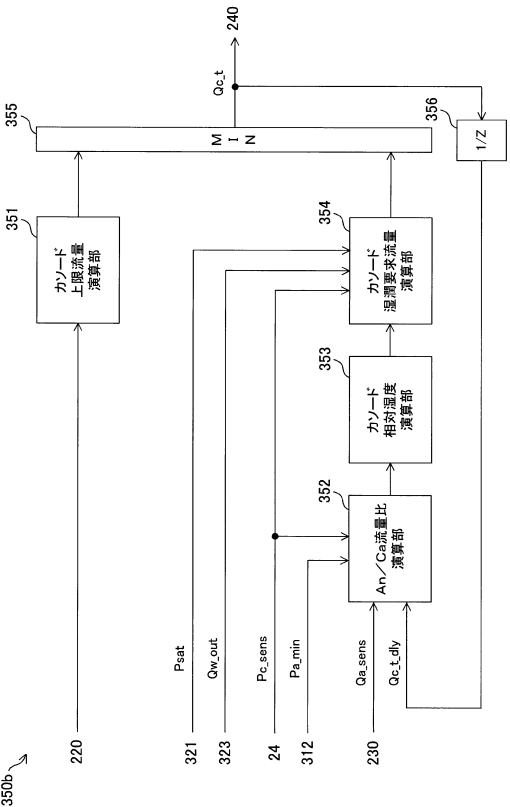
【図 2 6】



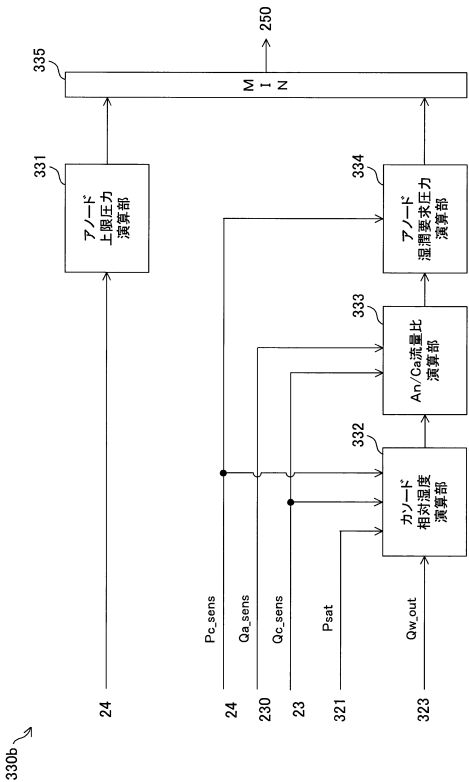
【図 27】



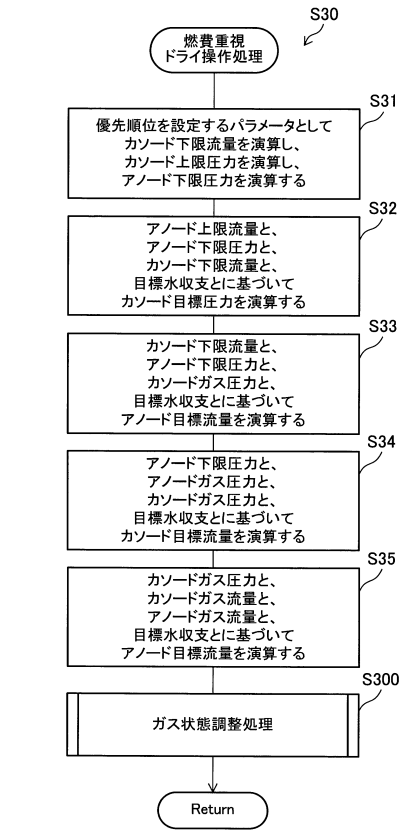
【図 28】



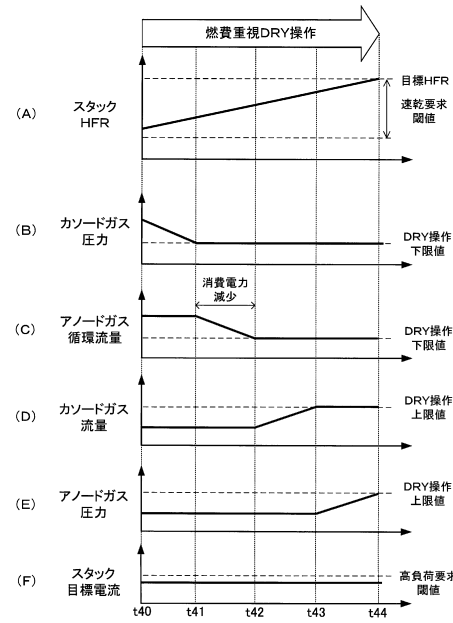
【図 29】



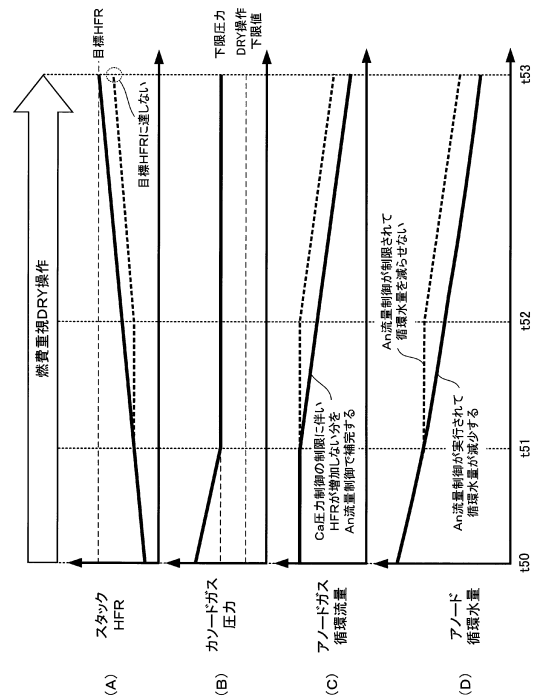
【図 30】



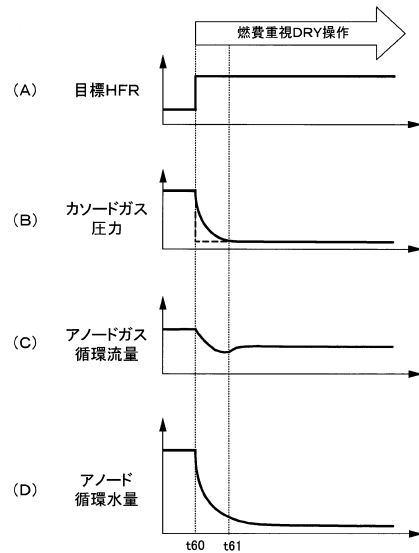
【図 3 2】



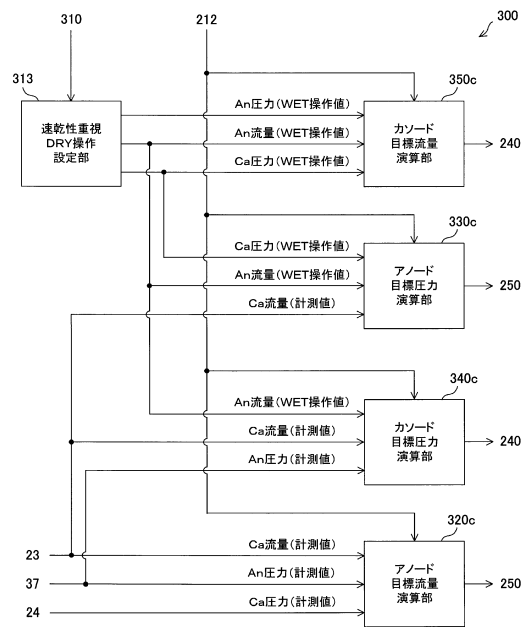
【図 3 4】



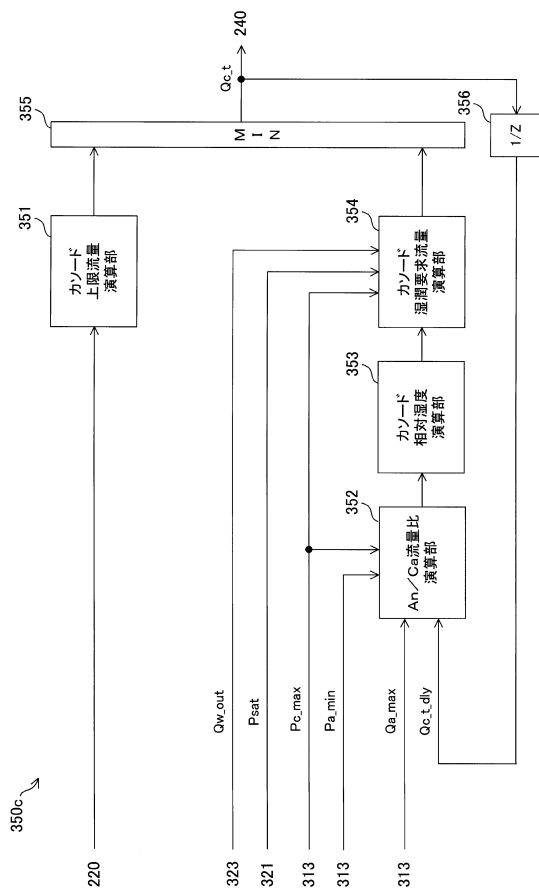
【図 35】



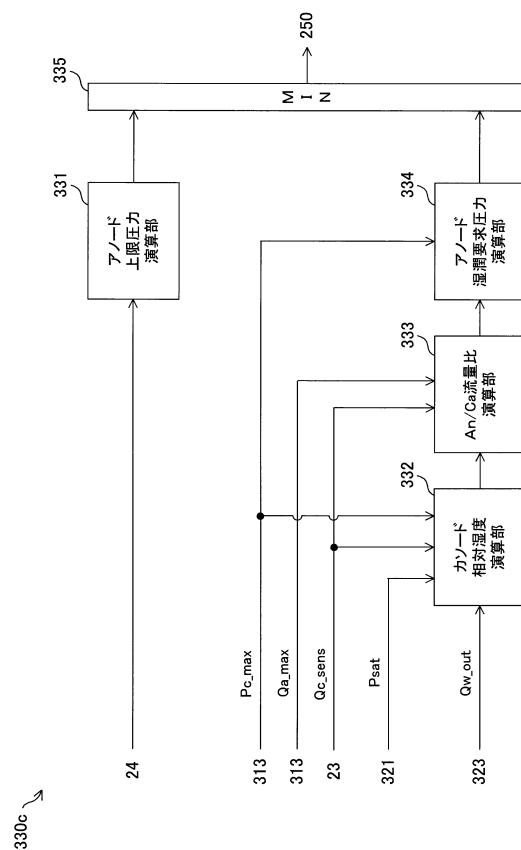
【図 36】



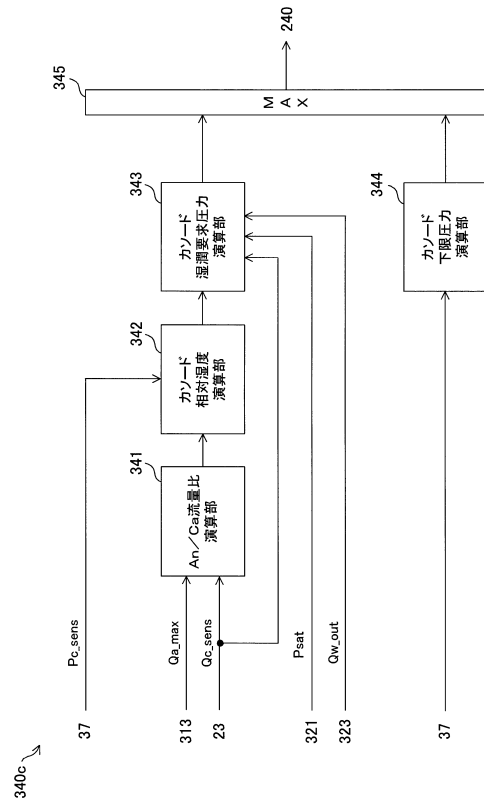
【図 37】



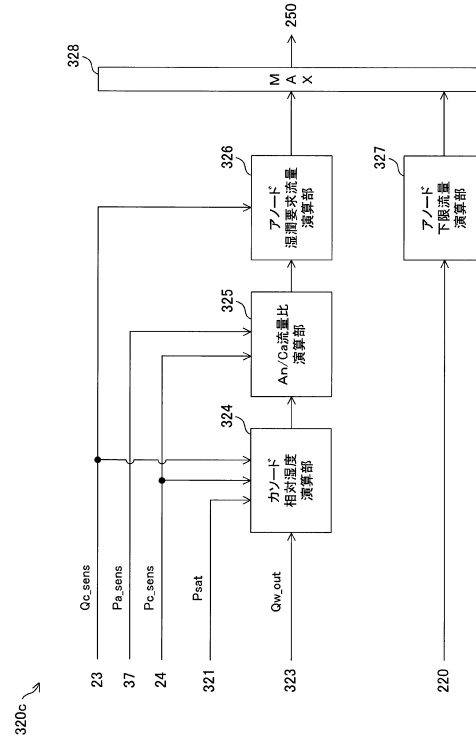
【図 38】



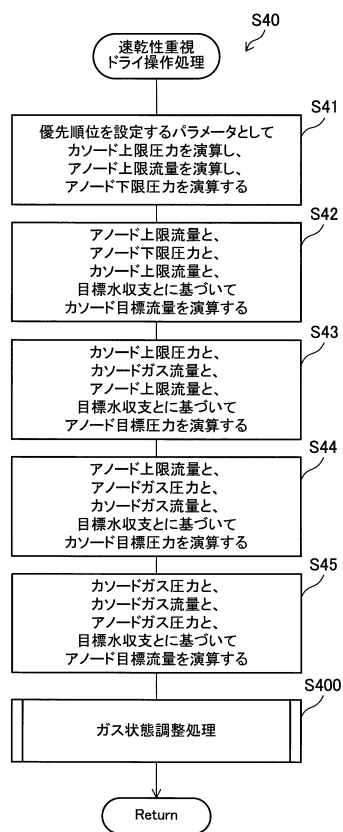
【図 39】



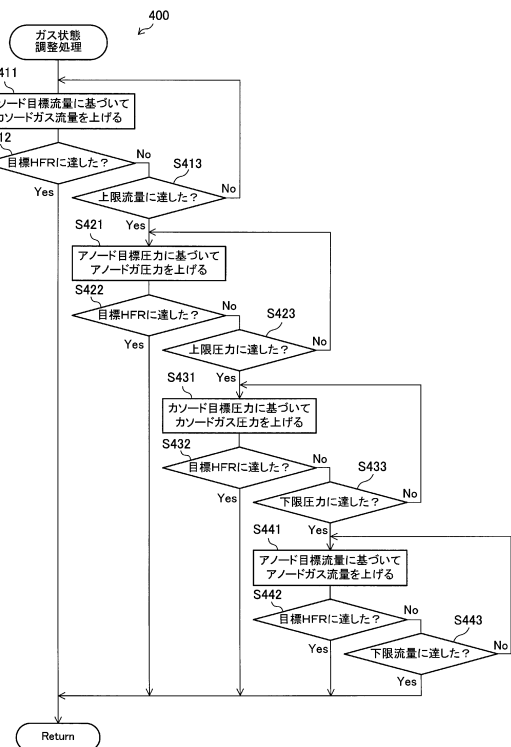
【図 40】



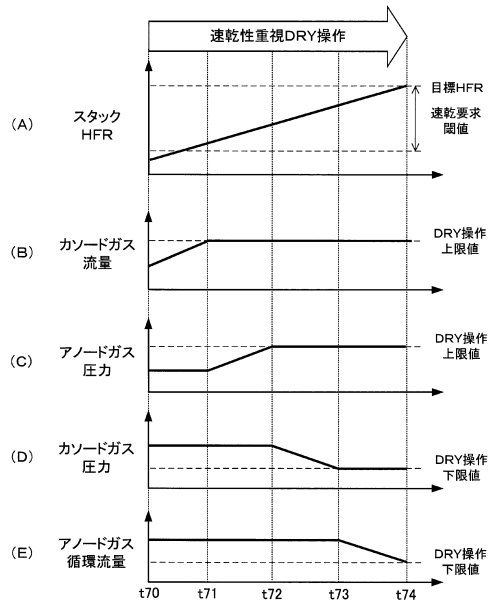
【図 41】



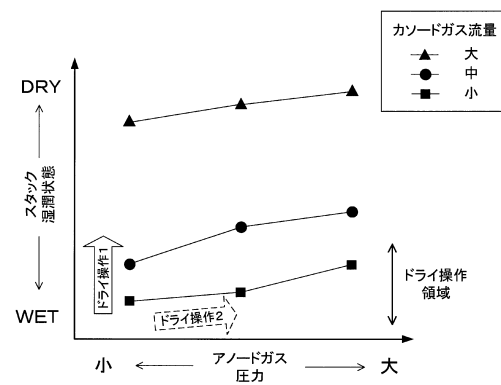
【図 42】



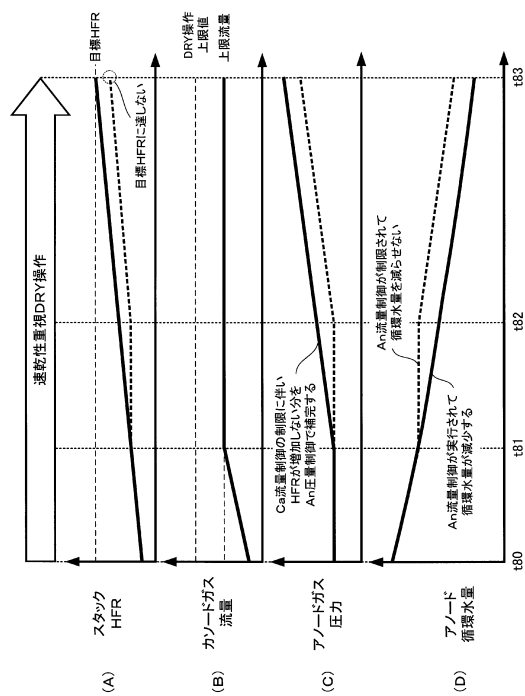
【図 4 3】



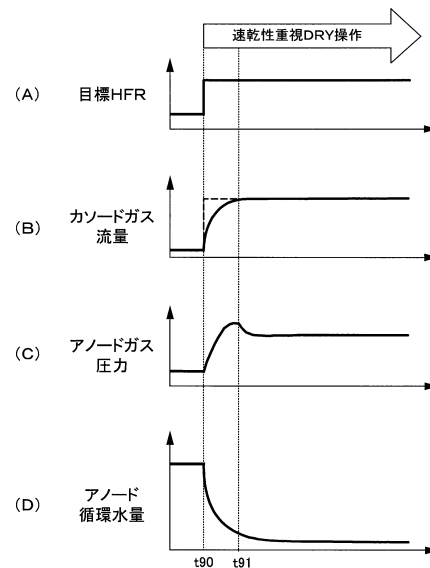
【図 4 4】



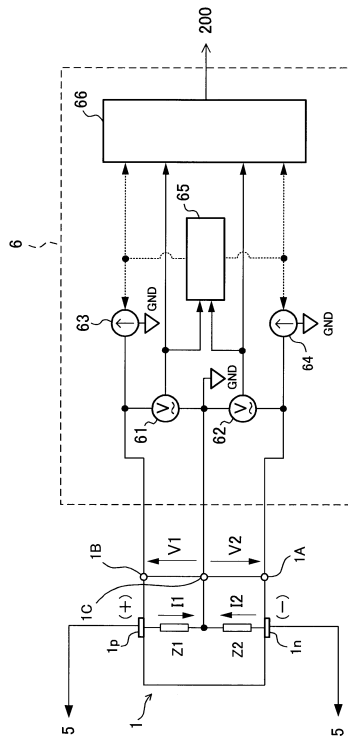
【図 4 5】



【図 4 6】



【図 47】



フロントページの続き

- (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
- (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

審査官 笹岡 友陽

- (56)参考文献 特開2016-018650 (JP, A)
特開2012-043677 (JP, A)
特開2012-109182 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/00- 8/2495