(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5332139号
(P5332139)

(45)発行日　平成25年11月6日(2013.11.6)　(24)登録日　平成25年8月9日(2013.8.9)

(51)Int.Cl.			F I		
H01M	***8/04***	***(2006.01)***	H01M	8/04	Z
H01M	***8/06***	***(2006.01)***	H01M	8/04	J
H01M	*8/10*	*(2006.01)*	H01M	8/04	A
			H01M	8/06	W
			H01M	8/10	

請求項の数 6　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願2007-162250 (P2007-162250)
(22)出願日　平成19年6月20日 (2007.6.20)
(65)公開番号　特開2009-4151 (P2009-4151A)
(43)公開日　平成21年1月8日 (2009.1.8)
審査請求日　平成22年4月21日 (2010.4.21)

(73)特許権者　000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町１番地
(74)代理人　100100549
弁理士　川口　嘉之
(74)代理人　100106622
弁理士　和久田　純一
(74)代理人　100085006
弁理士　世良　和信
(74)代理人　100089244
弁理士　遠山　勉
(74)代理人　100123319
弁理士　関根　武彦
(74)代理人　100123098
弁理士　今堀　克彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】燃料電池システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
燃料電池の膜電極接合体の表面を流れるガスの湿度から、該膜電極接合体の表面をガスの流れによって移動する水滴の大きさを推定する水滴状態推定手段と、
前記膜電極接合体の表面を流れる前記ガスの流速と前記水滴状態推定手段が推定した前記水滴の大きさとに基づいて該水滴の移動速度を推定する移動速度推定手段と、
複数の単位区域に分割されたガスの流れに沿った膜電極接合体の表面の各区域において、前記移動速度推定手段が推定した前記水滴の移動速度から、一の区域に残留する生成水の量とその上流側から流入する生成水の量とを算出し、前記膜電極接合体の表面の水分布を推定する水分布推定手段と、
前記水分布推定手段が推定した前記水分布に基づいて前記膜電極接合体の発電を制御する制御手段と、を備える
燃料電池システム。
【請求項２】
前記水分布推定手段は、
前記区域当たりに発電する電気量を示すマップと、
一の区域で生成され該一の区域に残留する生成水の量を前記マップが示す電気量に基づいて算出し、該一の区域よりもガスの流れ方向で上流側の区域から該一の区域に流入する生成水の量を前記移動速度に基づいて算出し、算出した該残留する生成水の量と該流入する生成水の量とを各区域毎に合算することにより、該膜電極接合体の水分布を推定する演

算手段と、を有する
請求項１に記載の燃料電池システム。
【請求項３】
前記移動速度推定手段は、前記水滴が移動する流路の進行方向における曲率を含む形状特性に応じた移動速度を推定する、
請求項１または２に記載の燃料電池システム。
【請求項４】
前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面とアノード側の表面との何れにも制御目標値を超える量の水が分布している場合に、該カソード側を流れるガスの流量を上げる又は圧力を下げる、
請求項１から３の何れか１項に記載の燃料電池システム。
【請求項５】
前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面に分布している水の量が制御目標値を超え且つ該膜電極接合体のアノード側の表面に分布している水の量が制御目標値よりも下回っている場合に、該アノード側の表面を流れるガスの流量を上げる、
請求項１から４の何れか１項に記載の燃料電池システム。
【請求項６】
前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面に分布している水の量が制御目標値を超え且つ該膜電極接合体のアノード側の表面に分布している水の量が制御目標値よりも下回っており、更にカソード側の膜電極接合体表面のうち少なくとも２点間の水の量の差が所定の値を超えている場合に、該カソード側の表面を流れるガスの流量を上げ又は圧力を下げた後、該アノード側の表面を流れるガスの流量を上げる、
請求項１から５の何れか１項に記載の燃料電池システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、燃料電池システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
燃料電池は、燃料ガスである水素と酸化剤ガスである酸素との電気化学反応によって発電を行う。水素と酸素との電気化学反応は、膜電極接合体やガス拡散層を担持した燃料電池セルで行われる。
【０００３】
燃料電池セルには、電気化学反応によって生成される生成水が付着する。燃料電池セルに生成水が付着すると、燃料ガスや酸化剤ガスの流れが変化し、電気化学反応に様々な影響を及ぼす。よって、燃料電池セルの運転において、生成水の分布を制御する技術が開発されている。例えば、特許文献１～４には、セル面内の水量を推定し、燃料電池の水量や水分布を制御する技術が記載されている。
【特許文献１】特開２００４－１４６２３６号公報
【特許文献２】特開２００５－１０８６７３号公報
【特許文献３】特開２００４－１４６２６７号公報
【特許文献４】特開２００４－３３５４４４号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
燃料電池システムは、燃料電池セルの劣化を防ぐため、負荷に応じて燃料電池に供給するガスや冷媒を制御したり、発電電圧に応じて負荷を制限したりしている。また、燃料電池システムは、燃料電池の製品ばらつきを補償するために余剰なガス供給やガス排気を行っているため、発電効率の低下を生じている。これにより燃料電池スタックや補機類の部品点数、及び処理容量の増加による高コスト化を招いている。

【０００５】
これらの問題点を解消しつつ安定的に且つ高効率に発電を行うには、燃料電池セルの表面にできるだけ均一に且つ最小量のガスを供給することが望ましい。燃料電池セルの表面のガス等の分布のバラつきが大きいと、発電効率が低下するだけでなく、燃料電池セルの劣化を促進するからである。ここで、燃料電池セルの表面にできるだけ均一に且つ最小量のガスを供給するには、燃料電池セルの電流や湿度等の分布をセンサで検出する必要がある。しかしながら、燃料電池セルの表面のガス等の分布を精密に把握するには多数のセンサが必要となり、発電有効面積の減少やシステムの複雑化、高コスト化を招く。この問題を解消する方法として、演算による状態推定を行うことでセンサを減らす方法がある。しかし、要求される演算能力や推定結果の精度とセンサの数とは相反する関係にある。

【０００６】
本発明は、上記した問題に鑑み、コスト増加を抑制しつつ水分布の推定精度を向上させる技術を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】
本発明は、上記の課題を解決するため、燃料電池セルの状態推定に際し、膜電極接合体に付着している水滴の移動速度を考慮する。

【０００８】
詳細には、燃料電池システムであって、燃料電池の膜電極接合体の表面を流れるガスの湿度から、該膜電極接合体の表面の水滴の大きさを推定する水滴状態推定手段と、前記膜電極接合体の表面を流れる前記ガスの流速と前記水滴状態推定手段が推定した前記水滴の大きさとに基づいて該水滴の移動速度を推定する移動速度推定手段と、前記移動速度推定手段が推定した前記水滴の移動速度から、前記膜電極接合体の表面の水分布を推定する水分布推定手段と、前記水分布推定手段が推定した前記水分布に基づいて前記膜電極接合体の発電を制御する制御手段と、を備える。

【０００９】
本発明に係る燃料電池システムは、膜電極接合体の表面の水分布を推定し、推定結果に基づいて運転制御するシステムであることを前提としている。ここで、膜電極接合体の表面を流れる水は、水滴の大きさによって移動速度が大きく変化する。すなわち、膜電極接合体の表面を流れる水の移動速度は、水蒸気の状態であればガスの流速とほぼ同一であるし、水滴の状態であればガスの流速よりも遅くなる。

【００１０】
本発明は、水滴の大きさとガスの流速との関係に着目し、水滴の状態に応じた解析を行うことで精度の高い状態推定結果を得る。すなわち、本発明に係る燃料電池システムは、膜電極接合体の表面の水滴の大きさを推定し、水滴の大きさとガスの流速との関係に基づいて水滴の移動速度を推定し、推定した移動速度に基づいて膜電極接合体の表面の水分布の変化を推定する。なお、本願において、水滴の移動速度とは、水滴が単位時間内に移動する実際の移動距離を示すもののみならず、任意の速度と正比例する係数を示すものであってもよい。

【００１１】
水滴の大きさは、水滴状態推定手段によって推定される。水滴状態推定手段は、水滴の大きさ零、すなわち、水滴無し、という推定結果も推定し得る。水滴状態推定手段が「水滴無し」を推定する場合とは、すなわち、膜電極接合体の表面を流れるガスの湿度が１００％ＲＨ未満の場合である。また、水滴状態推定手段は、膜電極接合体の表面を流れるガスの湿度が１００％ＲＨ以上の場合、この湿度の度合いに応じて水滴の大きさを推定する。水滴の大きさは、予め作成された湿度の度合いと水滴の大きさとの関係を示すマップから推定してもよいし、予め作成したシミュレーション式に湿度を代入して演算することにより推定してもよい。

【００１２】
水滴の移動速度は、移動速度推定手段によって推定される。水滴の移動速度は、水滴の

大きさとガスの流速、膜電極接合体の表面と水との間の親和性等に基づいて物理的に定まる。そこで、移動速度推定手段は、予め作成されたシミュレーション式あるいはマップ等に基づいて水滴の移動速度を推定する。

【００１３】

水分布推定手段は、移動速度推定手段から水滴の移動速度の推定結果を取得することにより、水蒸気と水滴との移動速度の違い等を加味した膜電極接合体の表面の水分布の推定を行うことが可能となる。制御手段は、水分布推定手段によって推定された精度の高い推定結果に基づいて動作することにより、燃料電池システムを適切に制御することができる。

【００１４】

以上、本発明に係る燃料電池システムによれば、コスト増加を抑制しつつ水分布の推定精度を向上させることが可能となる。

【００１５】

また、前記水分布推定手段は、前記膜電極接合体が単位区域当たりに発電する電気量を示すマップと、一の区域で生成される生成水の量を前記マップが示す電気量に基づいて算出し、該一の区域よりもガスの流れ方向で上流側の区域から該一の区域に流入する水滴の量を前記移動速度に基づいて算出し、算出した該生成水の量と該水滴の量とを各区域毎に合算することにより、該膜電極接合体の水分布を推定する演算手段と、を有するようにしてもよい。

【００１６】

上記水分布推定手段は、ガス流路の上流側で発生した生成水が下流側に順次流れていくことに着目し、水分布の推定を行っている。すなわち、水分布推定手段は、各区域で生成される生成水の水量と、その区域よりも上流側からの区域から流入する水の量とを合算することにより各区域の水量を算出し、膜電極接合体の水分布を推定する。

【００１７】

生成される生成水の量は、電気化学反応によって発生する水の量であるから、発電した電気量によって物理的に定まる。そこで、水分布推定手段は、各区域が発電する電気量を示すマップを参照し、各区域で生成される生成水の量をこのマップが示す電気量から推定する。なお、単位区域とは、膜電極接合体の表面をガスの流路に沿って複数に分割することで形成される複数の区域のうち一の区域をいう。

【００１８】

以上、上記水分布推定手段を備えた燃料電池システムによれば、水分布の推定精度を向上させることが可能となる。

【００１９】

また、前記移動速度推定手段は、前記水滴が移動する流路の進行方向における曲率を含む形状特性に応じた移動速度を推定するようにしてもよい。水滴の移動速度は、流路の勾配や移動方向の変化に伴って変動する。従って、燃料電池セルの表面の水分布を推定するにあたり、これら流路の進行方向における形状特性に応じた移動速度を加味して解析を行うことにより、水分布の推定精度を高めることが可能となる。なお、ここで、流路の進行方向における曲率とは、流路がカーブしている部分の流路の形状の曲率であり、水滴の溜まりやすさに比例する値である。

【００２０】

また、前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面とアノード側の表面との何れにも制御目標値を超える量の水が分布している場合に、該カソード側を流れるガスの流量を上げる又は圧力を下げるようにしてもよい。

【００２１】

膜電極接合体のカソード側およびアノード側の何れの側にも生成水が多量に付着していると、膜電極接合体とガスとの接触が阻害されて電気化学反応が低下する。そこで、制御手段は、何れの側にも制御目標値を超える湿度が分布している場合、カソード側とアノード側の両方にある生成水を系外に排出する。これにより、電気化学反応の状態を良好にす

ることができる。
【００２２】
なお、制御手段は、生成水を系外に排出するに際し、カソード側の生成水を排出する。アノード側は水素であるため、生成水を系外に排出するのに適さないためである。カソード側のガスの流量を上げるか又は圧力を下げることでカソード側の生成水を系外に排出すると、アノード側の水がカソード側に透過し、アノード側の水の量も合わせて減らすことができる。
【００２３】
また、前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面に分布している水の量が制御目標値を超え且つ該膜電極接合体のアノード側の表面に分布している水の量が制御目標値よりも下回っている場合に、該アノード側の表面を流れるガスの流量を上げるようにしてもよい。
【００２４】
膜電極接合体の水分が少ないと電気化学反応が弱まる。ここで、膜電極接合体は、アノード側のガスの流量を増加させるとカソード側の水がアノード側に浸透する性質を有する。そこで、アノード側が乾いている場合にアノード側のガスの流量を上げることにより、アノード側に水分を与えて電気化学反応の状態を良好にすることができる。
【００２５】
また、前記制御手段は、前記膜電極接合体のカソード側の表面に分布している水の量が制御目標値を超え且つ該膜電極接合体のアノード側の表面に分布している水の量が制御目標値よりも下回っており、更にカソード側の膜電極接合体表面のうち少なくとも２点間の水の量の差が所定の値を超えている場合に、該カソード側の表面を流れるガスの流量を上げ又は圧力を下げた後、該アノード側の表面を流れるガスの流量を上げるようにしてもよい。
【００２６】
膜電極接合体の表面の２点間の水の量の差が所定の値を超えている場合（すなわち、膜電極接合体の表面の水分布が略均一でなく、例えば、ガス流路が途中で曲がっており、ターン部分等に水が溜まっているような場合）、水量が高い部分の水を膜電極接合体を介して反対側に透過させるには多くの時間を要する。そこで、アノード側のガスの流量を上げてカソード側の水をアノード側に透過させる前に、カソード側のガスの流量を上げ又は圧力を下げることでカソード側の水分布を略均一にする。これにより、カソード側の水を効率よくアノード側に透過させることが可能となる。なお、所定の値とは、膜電極接合体の表面に分布している水の量の２点間の差分であり、例えば、カソード側の水をアノード側に透過させる前にカソード側の水分布を略均一にしておくことが望ましい場合の差分である。
【発明の効果】
【００２７】
コスト増加を抑制しつつ水分布の推定精度を向上させることが可能となる。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２８】
以下、本発明の一実施形態を例示的に説明する。以下に示す実施形態は例示であり、本発明はこれらに限定されるものではない。
【００２９】
＜実施形態の構成＞
図１Ａは、本実施形態に係る燃料電池システム１の構成図である。図１Ａにおいて示すように、燃料電池システム１は、燃料電池スタック２、燃料電池スタック２のアノード側に燃料ガスである水素を供給する水素貯蔵タンク３、及び燃料電池スタック２のカソード側に酸化剤ガスである酸素を含む空気を供給する空気圧縮機４を備えている。また、燃料電池システム１は、各機器を制御する制御装置５（ＥＣＵ）を備えている。なお、本実施形態に係る燃料電池システム１は、電気モータで走行する燃料電池自動車に搭載されるこ

とを前提としている。しかし、本発明はこれに限定されるものでなく、本発明に係る燃料電池システムは、地上に設置したり、自動車以外の移動媒体に搭載したりしてもよい。

【００３０】

燃料電池スタック２は、燃料電池自動車等の移動媒体に適する高分子電解質形燃料電池（ＰＥＦＣ）であり、水素と酸素の供給を受けて発電する。燃料電池スタック２は、燃料ガスである水素と酸化剤ガスである酸素との電気化学反応によって発電する膜電極接合体（ＭＥＡ）を多数備えており、これら膜電極接合体を有する燃料電池セルが積層されていることにより、所望の電圧を出力するように構成されている。

【００３１】

燃料電池システム１は、水素貯蔵タンク３から燃料電池スタック２へ水素を供給する通路の途中に、水素入口弁６を備えている。水素入口弁６は、制御装置５の指令で開度を調整可能なコントロールバルブであり、水素貯蔵タンク３から燃料電池スタック２に流れる水素を制御する。

【００３２】

また、燃料電池システム１は、燃料電池スタック２のアノード側から大気へ水素オフガスを放出する通路の途中に水素出口弁７を備えている。水素出口弁７は、制御装置５の指令で開度を調整可能なコントロールバルブであり、大気へ放出するオフガスを制御する。

【００３３】

また、燃料電池システム１は、空気圧縮機４から燃料電池スタック２へ空気を供給する通路の途中に、加湿器８を備えている。加湿器８は、制御装置５の指令に応じて空気圧縮機４から燃料電池スタック２へ流れる空気の湿度を制御する。

【００３４】

また、燃料電池システム１は、燃料電池スタック２のカソード側から大気へ空気オフガスを放出する通路の途中に空気出口弁９を備えている。空気出口弁９は、制御装置５の指令で開度を調整可能なコントロールバルブであり、大気へ放出するオフガスを制御する。

【００３５】

制御装置５は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、及び入出力インターフェース等で構成されており、空気圧縮機４、加湿器８、空気出口弁９、水素入口弁６、及び水素出口弁７を制御する。なお、制御装置５は、ＲＯＭの内部に電流密度マップや水移動量マップ、抵抗値マップが格納されている。これらマップについては後述する。図１Ｂにおいて、制御装置５の機能ブロック図を示す。図１Ｂにおいて示すように、制御装置５は、ＣＰＵやＲＡＭ等によって所定の演算処理が実行されることにより、水滴の状態を推定する状態推定部５Ａ、水滴の移動速度を推定する移動速度推定部５Ｂ、膜電極接合体の表面の水分布を推定する水分布推定部５Ｃ、および発電を制御する制御部５Ｄとしての諸機能を実現する。

【００３６】

なお、制御装置５は、水素入口弁６と燃料電池スタック２との間の通路に設けられた水素流量センサ１０から燃料電池セルのアノード側を流れる水素の流量を検知する。また、制御装置５は、加湿器８と燃料電池スタック２との間の通路に設けられた空気流量センサ１１および湿度センサ１２から、燃料電池セルのアノード側に流入する空気の流量および湿度を検知する。

【００３７】

＜実施形態の制御フロー＞

次に、本実施形態に係る燃料電池システム１の運転制御について説明する。図２は、燃料電池システム１の制御フロー図である。以下、図２に示す制御フロー図を参照しながら、燃料電池システム１の運転制御について説明する。

【００３８】

（ステップＳ１０１：状態推定シミュレーション）燃料電池自動車に乗車した運転者によって燃料電池システム１が起動されると、制御装置５（制御部５Ｄ）は、水素入口弁６および水素出口弁７を開いて燃料電池スタック２に燃料ガスである水素を供給すると共に

、空気出口弁９を開いて空気圧縮機４を起動することで燃料電池スタック２に酸化剤ガスである酸素を含む空気を供給する。制御装置５は、燃料電池スタック２への水素と酸素の供給を開始したら、燃料電池スタック２に電気的負荷（燃料電池自動車を走行させるモータや補機類）を接続する。これにより、燃料電池スタック２内の膜電極接合体で水素と酸素の電気化学反応による発電が開始される。

【００３９】

そして、制御装置５（状態推定部５Ａ）は、発電の開始と同時に膜電極接合体の表面の状態推定シミュレーションを開始する。図３において、状態推定シミュレーションのモデルを示す。本実施形態に係る制御装置５は、膜電極接合体の表面の状態推定シミュレーションを行うに当たり、膜電極接合体の表面をガスの流路に沿って複数個の区域に分割した図３に示すモデルに基づいて状態推定シミュレーションを行う。すなわち、一つの区域内の状態（例えば、湿度や電流密度等）は均一とみなし、各区域で発生する生成水の量や水の収支量を計算することで、膜電極接合体の表面の水分布の推定を行う。本実施形態に係る制御装置５は、図３において示すように、膜電極接合体の表面を３０の区域（これらの各区域を、以下、ガスの流れ方向に沿って上流側から順に区域１、区域２、・・・区域３０と呼ぶ）に分割したモデル（以下、分割モデルという）で状態推定シミュレーションを行うことを前提としている。なお、本発明は３０の区域に分割されたモデルに限定されるものでなく、如何なる数の区域に分割されたモデルであっても状態推定可能であることは言うまでもない。

【００４０】

制御装置５は、膜電極接合体の表面の状態をシミュレーションするにあたり、区域内で電気化学反応により生成される生成水の量、上流側の区域で生成され、ガスの流れによって流入してくる生成水の量、および区域内に残留している生成水の量を区域毎にそれぞれ合算する。制御装置５は、区域毎の生成水量を算出することにより、膜電極接合体の表面の水分布をシミュレートする。また、制御装置５は、水分布から電流密度や抵抗値をシミュレートする。

【００４１】

以下、状態推定シミュレーションについて、詳細に説明する。なお、説明の便宜上、膜電極接合体のカソード側の表面の状態推定シミュレーションのみ説明するが、アノード側の表面の状態推定シミュレーションも同様の方法で行う。

【００４２】

制御装置５は、状態推定シミュレーションを行うにあたり、まず、燃料電池スタック２に供給している空気の湿度と流量を湿度センサ１２および空気流量センサ１１で取得する。ここで、区域１は空気圧縮機４によって送られる空気が最初に流れる区域であるから、制御装置５は、湿度センサ１２で検出した湿度を区域１の湿度として取得する。

【００４３】

次に、制御装置５は、区域２の湿度をシミュレーションする。制御装置５は、区域２の湿度をシミュレーションするにあたり、まず、電流密度マップを参照して区域１の電流密度を取得する。図４において、電流密度マップの一例を示す。図４において示すように、電流密度マップは、湿度と酸素濃度に応じた単位区域あたりの電流密度を示している。制御装置５は、上述した処理により取得した区域１の湿度と電流密度マップとから区域１の電流密度を取得する。例えば、湿度センサ１２で湿度４０％を検出していれば、区域１の電流密度１．４８５７６９を取得する。なお、区域１は空気圧縮機４によって送られる空気が最初に流れる区域であるから、酸素濃度は２１％である。

【００４４】

次に、制御装置５は、取得した電流密度と空気の流量とを以下の式（１）に代入し、区域１で消費される酸素の量を演算する。なお、ここで、演算しようとしている区域は区域１であるからｎ＝１である。区域２～３０を演算する場合は、ｎ＝２，３，・・・３０と順次繰り上げる。また、Ｉ（ｎ）は電流密度、Ｆ（ｔ）は空気の流量である。ここでは１回目の演算であるため、ｔ＝１である。

【００４５】
O_2＿ｏｆｆ（ｎ，ｔ）＝Ｉ（ｎ）／４／Ｆ（ｔ）＊２２．４＊６０／０．２０８・・・式（１）
【００４６】
次に、制御装置５は、取得した電流密度と空気の流量とを以下の式（２）に代入し、区域１で生成される生成水の量を演算する。
【００４７】
H_2O（ｎ，ｔ）＝Ｉ（ｎ）／２／Ｆ（ｔ）＊２２．４＊６０・・・式（２）
【００４８】
次に、制御装置５は、区域１の酸素濃度から、上記の式（１）から算出した区域１で消費される酸素の量を減算し、区域２の酸素濃度を算出する。すなわち、制御装置５は、以下の式（３）に基づいて区域２の酸素濃度を算出する。なお、算出する酸素濃度は区域２であるから、ｎ＝２である。以下の式（３）は、ある区域内の酸素濃度を、上流側の区域の酸素濃度から上流側の区域で消費された酸素の量を減算することで算出している。
【００４９】
O_2（ｎ，ｔ）＝O_2（ｎ－１，ｔ－１）－O_2＿ｏｆｆ（ｎ－１，ｔ－１）・・・式（３）
【００５０】
次に、制御装置５は、区域内に残留していた生成水の量に上流側から流入する生成水の量を加算し、区域内の水の量を算出する。なお、これら残留していた生成水の量や流入してくる生成水の量は水の状態に応じた移動速度係数が加味される。すなわち、制御装置５は、以下の式（４）に基づいて区域２の湿度を算出する。
【００５１】
H_2O＿Ｃａ（ｎ，ｔ）＝｛１－ｋ（ｎ，ｔ－１）｝＊H_2O＿Ｃａ（ｎ，ｔ－１）＋ｋ（ｎ－１，ｔ）＊｛H_2O＿Ｃａ（ｎ－１，ｔ）＋H_2O（ｎ－１，ｔ）－H_2O＿ｍ（ｎ－１）｝・・・式（４）
【００５２】
但し、ｋ（ｎ，ｔ）は水滴の大きさに応じた移動速度係数である。ここでは、１回目の計算（ｔ＝１）なのでＲＨ％＜１００と仮定し、ｋ（ｎ，１）＝１として演算する。
【００５３】
なお、ここで、区域１が上流側から取得した水の量は、空気圧縮機４から送られる空気に含まれる水の量であるから、H_2O＿Ｃａ（１，１）は湿度センサ１２で測定された値となる。また、区域１に残留する水の量、すなわち、H_2O＿ｍ（１）は、ＲＯＭに記憶された水移動量マップから決定される。図５において、水移動量マップの一例を示す。図５において示すように、水移動量マップは、湿度と酸素濃度に応じた単位区域あたりの水の吸収量（残留量）を示している。制御装置５は、この水移動量マップからH_2O＿ｍ（ｎ－１）を取得する。すなわち、例えば区域１の湿度が４０％で酸素濃度２１％であれば、区域１に残留する水の量H_2O＿ｍ（１）＝－０．００７６１が取得される。
【００５４】
なお、上記式（１）～（４）は、カソード側の状態をシミュレーションする際の式であり、アノード側の状態をシミュレーションする際は、上記の式（３）および式（４）を以下の式に置き換える。
【００５５】
H_2（ｎ，ｔ）＝H_2（ｎ－１，ｔ－１）＋H_2＿ｏｆｆ（ｎ－１，ｔ－１）・・・式（３’）
【００５６】
H_2O＿Ａｎ（ｎ）＝｛１－ｋ（ｎ，ｔ－１）｝＊H_2O＿Ａｎ（ｎ，ｔ－１）＋ｋ（ｎ＋１，ｔ）＊｛H_2O＿Ａｎ（ｎ＋１，ｔ）－H_2O＿ｍ（ｎ＋１）｝・・・式（４’）
【００５７】
制御装置５（水分布推定部５Ｃ）は、上記の式（１）～（４）を用いた演算処理をｎ＝

１からｎ＝３０まで繰り返すことで区域１から区域３０までの各区域の湿度を取得し、膜電極接合体の表面の状態をシミュレーションする。図６において、状態推定シミュレーションの結果の一例を示す。図６において示すように、カソード側の水分布は、上流側（ｎ＝１）から下流側（ｎ＝３０）になるに従って徐々に湿度が高くなる。なお、図６において示す抵抗値のグラフは、ＲＯＭに記憶された抵抗値マップに基づいてプロットされたものである。図７において、抵抗値マップの一例を示す。図７において示すように、抵抗値マップは、湿度と酸素濃度に応じた単位区域あたりの抵抗値を示している。制御装置５は、各区域の湿度（H_2O＿Ｃａ（ｎ，ｔ））と酸素濃度（O_2（ｎ，ｔ））とから各区域の抵抗値を取得し、膜電極接合体の表面の抵抗値の分布をシミュレーションする。

【００５８】

（ステップＳ１０２：セル面内状態推定結果）次に、制御装置５は、膜電極接合体の表面の状態推定シミュレーション結果に基づいて空気圧縮機４、加湿器８、空気出口弁９、水素入口弁６、及び水素出口弁７を制御する。

【００５９】

（パターン１）

すなわち、制御装置５は、状態推定シミュレーションの結果、膜電極接合体のカソード側およびアノード側の何れにも制御目標値を超える量の水が分布している場合（図８参照）、空気出口弁９の開度を上げる。これにより、膜電極接合体のカソード側の空気の流量が増加または圧力が低下し、カソード側の湿度が低下する。カソード側の水の量が低下することによりアノード側の水がカソード側にクロスリークし、膜電極接合体の両極の水分布が全体的に低下する。これにより、カソード側とアノード側の両方の水が減少し、燃料電池スタック２の運転状態が良好になる。

【００６０】

（パターン２）

また、制御装置５は、状態推定シミュレーションの結果、膜電極接合体のカソード側の水の量が制御目標値よりも高く、アノード側の水の量が制御目標値よりも低い場合（図９参照）、水素入口弁６あるいは水素出口弁７の開度を上げる。これにより、膜電極接合体のアノード側の水素の流量が増加するのでカソード側からアノード側にクロスリークする水の移動速度が速くなり、アノード側の水の量が増加する。これにより、燃料電池スタック２の運転状態が良好になる。

【００６１】

なお、制御装置５は、膜電極接合体のカソード側の水の量が制御目標値よりも高く、アノード側の水の量が制御目標値よりも低い場合に、水素の流量を増やしてカソード側の水をアノード側にクロスリークさせたのち、水素入口弁６あるいは水素出口弁７の開度を更に上げてアノードの出口側に水を移動させてもよい。あるいは、水素入口弁６の開度を上げ且つ水素出口弁７の開度を下げることでアノード側の出口に水が留まるようにしてもよい。このように、弁の開度を調整して水が溜まる位置を移動させることで、膜電極接合体の表面の水分布を所望の状態（例えば、水分布が均一な状態）にすることが可能になる。

【００６２】

また、制御装置５は、膜電極接合体のカソード側の湿度が制御目標値よりも高く、アノード側の湿度が制御目標値よりも低い場合であって、任意に抽出される２つの区域の水の量の差が所定の値を超えている場合に、空気出口弁９の開度を上げてカソード側の空気の流量を増加させてカソード側の水の分布を略均一にしたのち（例えば、流路がターンしている部分に溜まっている水を流路が直線になっている部分に移動させたのち）、水素入口弁６あるいは水素出口弁７の開度を上げることでアノード側の水素の流量を増やし、カソード側の水をアノード側にクロスリークさせてもよい。これによれば、カソード側に局部的に溜まっている水をアノード側に素早く移動させることが可能になる。

【００６３】

以上、制御装置５は、上記のパターン１やパターン２の処理を行うことにより、燃料電池スタック２の運転状態を良好にする。

【００６４】
（ステップＳ１０３：条件分岐）次に、制御装置５は、状態推定シミュレーション結果において湿度が１００％ＲＨを超えている区域があるか否かを判別する。制御装置５は、状態推定シミュレーション結果において１００％ＲＨを超えている区域が無ければ、ｔに１を加算し、再びステップＳ１０１の処理を実行する。一方、制御装置５は、状態推定シミュレーション結果において湿度が１００％ＲＨを超えている区域があれば、ステップＳ１０４の処理を実行する。
【００６５】
（ステップＳ１０４：移動速度係数算出ロジック）制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域を索出したら、この区域に発生している水滴の大きさを求める。すなわち、制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域に発生する水滴の大きさを、ＲＯＭに記憶されている水滴マップから取得する。図１０において、水滴マップの一例を示す。図１０において示すように、水滴マップは、湿度と水滴（液滴）の大きさとの関係を示している。制御装置５は、この水滴マップを参照することにより、１００％ＲＨを超えている全ての区域について、区域毎に水滴の大きさを取得する。
【００６６】
（ステップＳ１０５：移動速度係数推定）制御装置５（移動速度推定部５Ｂ）は、ステップＳ１０４の処理によって水滴の大きさを取得したら、次に、この水滴の移動速度係数ｋを推定する。すなわち、制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域の水滴の移動速度係数ｋを、ＲＯＭに記憶されている移動速度マップから取得する。図１１において、移動速度マップの一例を示す。図１１において示すように、移動速度マップは、ガスの流量Ｆ（ｔ）と移動速度係数ｋとの関係を、水滴の大きさ毎に示している。制御装置５は、この移動速度マップを参照することにより、１００％ＲＨを越えている区域の移動速度係数ｋを取得する。
【００６７】
制御装置５は、本ステップＳ１０５の処理の終了後、ｔに１を加算し、再びステップＳ１０１の処理を実行する。本ステップＳ１０５において水滴の大きさに応じた移動速度係数ｋ（ｎ，ｔ）が取得されることにより、再びステップＳ１０１に戻ってシミュレーション式による状態推定を行う際、水滴の移動速度を加味した状態推定結果が得られる。
【００６８】
＜実施形態の効果＞
以上、本実施形態に係る燃料電池システムによれば、膜電極接合体の表面の状態推定シミュレーションを行うにあたって水滴の移動速度を考慮しているので、水滴の移動速度を考慮しない場合に比べて精度の高い状態推定シミュレーションを行うことが可能となる。これにより、膜電極接合体の表面の水分布等の状態に応じた燃料電池スタックの運転制御を行うことが可能となる。すなわち、本実施形態に係る燃料電池システムによれば、膜電極接合体の表面の状態推定の精度が高いので、従来技術に比べてより最小量のガスで発電等を行うことが可能となる。
【００６９】
＜変形例１＞
なお、上記実施形態において、制御装置５は、水滴の大きさを水滴マップから取得しているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、制御装置５は、基準となる水滴の大きさから過飽和度に応じて水滴の大きさを算出するようにしてもよい。以下、上記実施形態の変形例について説明する。
【００７０】
制御装置５は、例えば、１２０％ＲＨの時の水滴の大きさの初期値ｒをＲＯＭ等に予め記憶しておき、過飽和度に応じた水滴の半径の増加割合から所望の湿度における水滴の大きさを取得する。すなわち、以下の式（５）に基づいて積分を行い、経過時間と過飽和度とから任意の湿度における水滴の大きさを取得する。なお、Ｋは定数であり、湿度に応じた水滴の半径の増加割合を示す。

【００７１】
ｄｒ／ｄｔ＝Ｋ＊（％ＲＨ－１００）／ｒ・・・式（５）
【００７２】
制御装置５は、上記の式（５）を時間積分することにより、任意の湿度における水滴の大きさを取得する。本変形例によれば、水滴マップが無い場合であっても水滴の大きさを取得することが可能になる。
【００７３】
＜変形例２＞
なお、上記実施形態では、水素と酸素とが互いに逆方向に流れる流路（カウンター流路）の場合のモデルをシミュレーションしていた。しかし、本発明はこれに限定されるものでなく、水素と酸素とが互いに同じ方向に流れる流路（コフロー流路）の場合のモデルをシミュレーションしてもよい。この場合、上記の式（３’）、および式（４’）を以下の式に置き換える。
【００７４】
H_2（ｎ，ｔ）＝H_2（ｎ－１，ｔ－１）－H_2＿ｏｆｆ（ｎ－１，ｔ－１）・・・式（３”）
【００７５】
H_2O＿Ａｎ（ｎ）＝｛１－ｋ（ｎ，ｔ－１）｝＊H_2O＿Ａｎ（ｎ，ｔ－１）＋ｋ（ｎ－１，ｔ）＊｛H_2O＿Ａｎ（ｎ－１，ｔ）＋H_2O＿ｍ（ｎ－１）｝・・・式（４”）
【００７６】
本変形例によれば、水素と酸素とが互いに同じ方向を流れるタイプの燃料電池スタックについても状態推定シミュレーションを行うことができる。
【００７７】
＜変形例３＞
上記実施形態および各変形例に係る燃料電池システムは、ガス流路が曲がっている部分（例えば、図３に示すＵ字状のターン部分）についても、ガス流路の直線部分と同じ移動速度係数ｋを用いてシミュレーションしていた。しかし、直線部分と曲線部分のガスの流速が同じであっても、水滴の移動速度は、直線部分より曲線部分の方が遅くなる。水滴の進行方向を変更するために運動エネルギーが消費されるためである。そこで、本変形例に係る燃料電池システムは、燃料電池セルの状態推定シミュレーションに際し、ガス流路の形状に応じた移動速度係数ｋを適用する。以下、本変形例に係る燃料電池システムについて詳述する。なお、説明の便宜上、上述した実施形態との相違点についてのみ説明する。
【００７８】
＜変形例３の制御フロー＞
本変形例に係る燃料電池システム１は、流路マップがＲＯＭに記憶されており、移動速度係数推定（ステップＳ１０５）を実行する際に流路マップを参照して流路の進行方向における曲率を含む形状特性に応じた移動速度係数ｋを取得し、これに基づいて状態推定シミュレーションを行う点が上記実施形態と異なる。図１２において、本変形例に係る燃料電池システム１の制御フローを示す。以下、図１２の制御フロー図を参照しつつ、本変形例に係る燃料電池システム１の制御フローを説明する。
【００７９】
（ステップＳ２０１：条件分岐）制御装置５は、ステップＳ１０４までの処理を実行し、１００％ＲＨを超えている全ての区域について、区域毎に水滴の大きさを取得したら、ＲＯＭに記憶されている流路マップを参照する。図１３において、ＲＯＭに記憶されている流路マップの一例を示す。図１３において示すように、流路マップには、膜電極接合体の表面の分割モデルのうち流路がターンしている部分について、１よりも低い、流路の進行方向に対する曲率に応じた補正係数がマッピングされている。制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域が流路マップの補正係数１の区域にのみ該当しているのであれば、移動速度係数ｋを補正する必要なしと判断し、ステップＳ２０３の処理を実行する。一方、制御装置５は、１００％ＲＨを越えている区域が流路マップの補正係数１以外の区域に

含まれていれば、移動速度係数ｋを補正する必要ありと判断し、流路曲がり考慮ロジック（ステップＳ２０２）の処理を実行する。

【００８０】

（ステップＳ２０２：流路曲がり考慮ロジック）制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域が流路マップの補正係数１以外の区域に含まれていれば、その区域の補正係数をＲＯＭの流路マップから取得する。

【００８１】

（ステップＳ２０３：移動速度係数推定）制御装置５は、上述した実施形態のステップＳ１０５と同様、ステップＳ１０４の処理によって取得された水滴の大きさからこの水滴の移動速度係数ｋを推定する。すなわち、制御装置５は、１００％ＲＨを超えている区域に発生する水滴の移動速度係数ｋを、ＲＯＭに記憶されている移動速度マップから取得する。ここで、制御装置５は、本ステップＳ２０３の処理を実行する前にステップＳ２０２を実行していた場合、ＲＯＭの流路マップから取得した補正係数を対応する区域の移動速度係数ｋに乗算する。その他の処理は、上述した実施形態のステップＳ１０５と同様である。本ステップＳ２０３が実行されることにより、１００％ＲＨを超えている全ての区域について、流路曲がりによる水滴の移動速度の低下を加味した水滴の移動速度係数ｋが区域毎に取得される。

【００８２】

以上、本変形例によれば、流路がターンしていることにより、水滴の移動速度が場所によって変化するような膜電極接合体の状態をシミュレーションする場合であっても、精度の高いシミュレーション結果を取得することが可能になる。よって、より適切な運転制御を行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【００８３】

【図１Ａ】実施形態に係る燃料電池システムの構成図。
【図１Ｂ】実施形態に係る燃料電池システムの制御装置の機能ブロック図。
【図２】実施形態に係る燃料電池システムの制御フロー図。
【図３】状態推定シミュレーションのモデルを示す図。
【図４】電流密度マップの一例を示す図。
【図５】水移動量マップの一例を示す図。
【図６】状態推定シミュレーションの結果の一例を示す図。
【図７】抵抗値マップの一例を示す図。
【図８】状態推定シミュレーションの結果の一例を示す図。
【図９】状態推定シミュレーションの結果の一例を示す図。
【図１０】水滴マップの一例を示す図。
【図１１】移動速度マップの一例を示す図。
【図１２】変形例に係る燃料電池システムの制御フロー図。
【図１３】流路マップの一例を示す図。

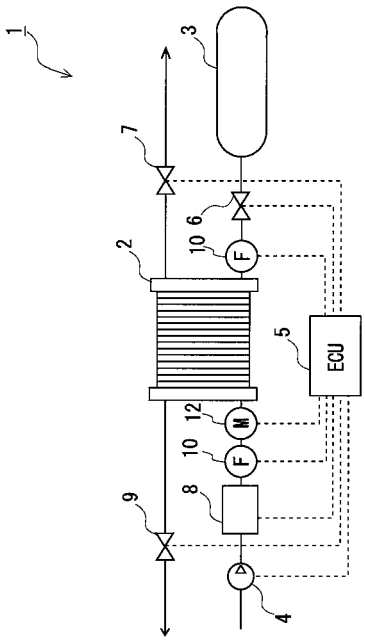
【符号の説明】

【００８４】

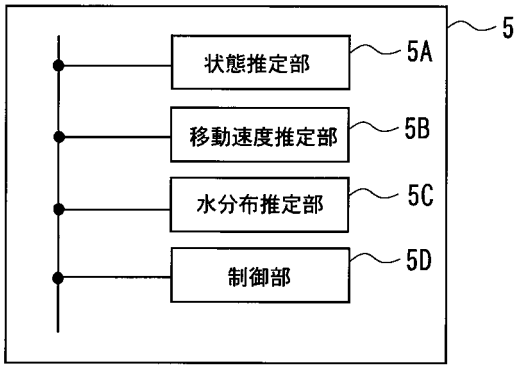
１・・・・・・・・・・・・・燃料電池システム
２・・・・・・・・・・・・・燃料電池スタック
３・・・・・・・・・・・・・水素貯蔵タンク
４・・・・・・・・・・・・・空気圧縮機
５・・・・・・・・・・・・・制御装置
５Ａ・・・・・・・・・・・・状態推定部
５Ｂ・・・・・・・・・・・・移動速度推定部
５Ｃ・・・・・・・・・・・・水分布推定部
５Ｄ・・・・・・・・・・・・制御部
６・・・・・・・・・・・・・水素入口弁

７・・・・・・・・・・・・・水素出口弁
８・・・・・・・・・・・・・加湿器
９・・・・・・・・・・・・・空気出口弁
１０・・・・・・・・・・・・水素流量センサ
１１・・・・・・・・・・・・空気流量センサ
１２・・・・・・・・・・・・湿度センサ

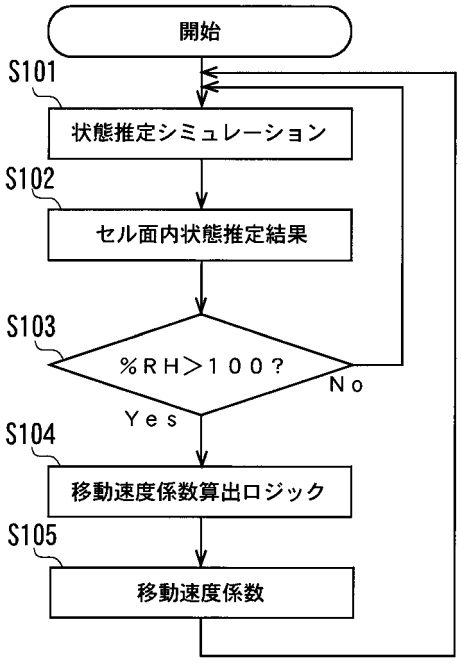
【図１Ａ】



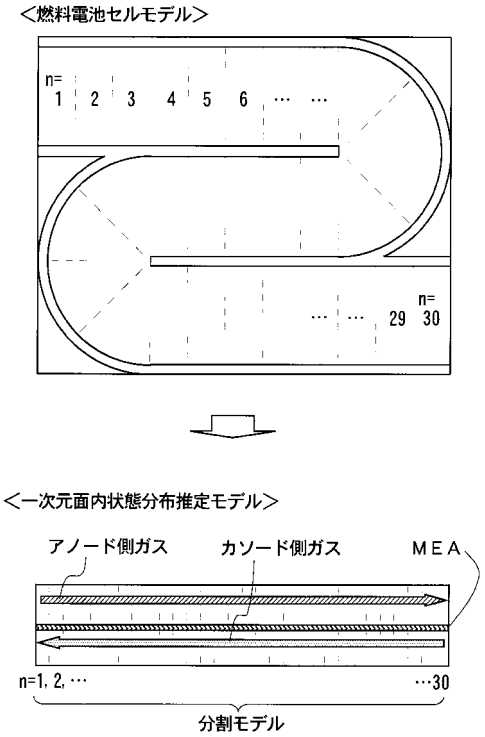
【図１Ｂ】



【図２】



【図３】



【図４】

＜電流密度マップ＞

Ah_RH=120　0.6V　横軸　Ca_RH　温度80℃、圧力140kPa　の時

湿度 / O2濃度	0%	20%	40%	70%	90%	120%	160%
0%	0	0	0	0	0	0	0
6%	0	0.649231	0.63	0.66962	0.51962	0.44462	0.38
21%	0	1.4977	1.485769	1.6396	1.4454	1.3008	1.19

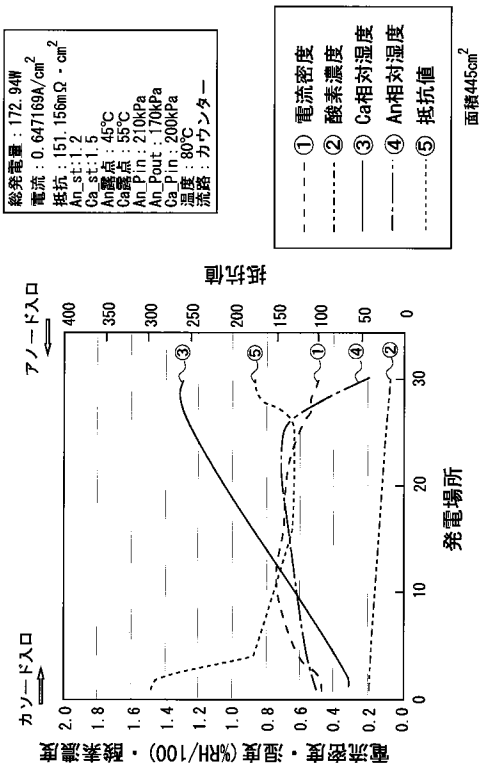
【図５】

＜水移動量マップ＞

Ah_RH=120　0.6V　横軸　Ca_RH　温度80℃、圧力140kPa　の時

湿度 / O2濃度	0%	20%	40%	70%	90%	120%	160%
0%	0	0	0	0	0	0	0
6%	0	-0.00698	-0.01123	-0.00627	-0.00269	-0.0037	-0.001458
21%	0	-0.00639	-0.00761	-0.00694	-0.002627	-0.00335	-0.00229

【図６】

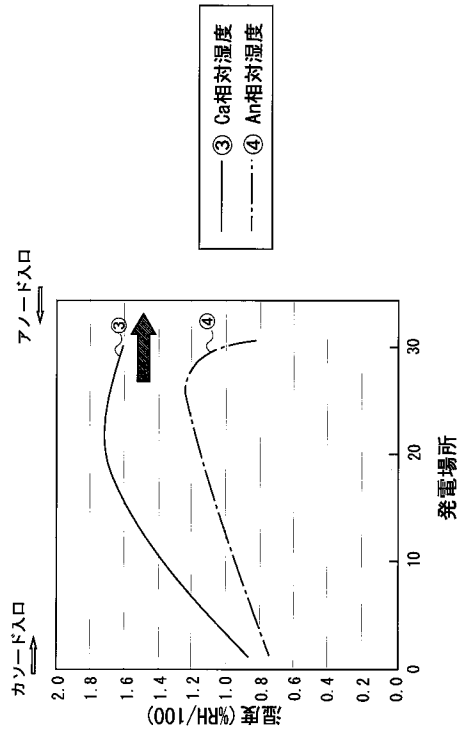


【図７】

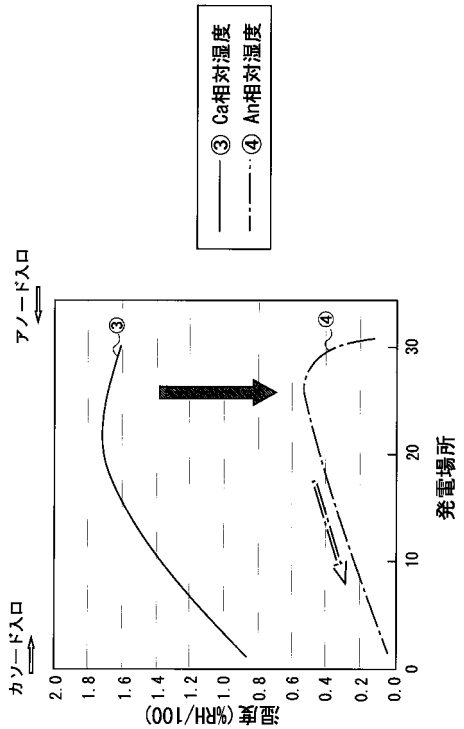
<抵抗値マップ>

An_RH=120　0.6V	横軸　Ca_RH				温度80℃、圧力140kPa　Øの時		
O2濃度＼湿度	0%	20%	40%	70%	90%	120%	160%
0%	0	0	0	0	0	0	0
6%	0	75.71398	7534754	65.6526	62.6054	61.7799	61.0506
21%	0	74.4289	72.55593	64.3994	61.1455	60.1939	60.4474

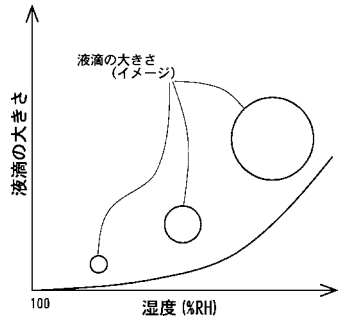
【図８】



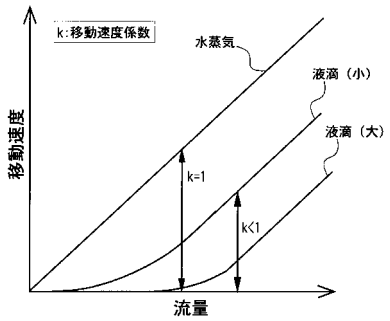
【図９】



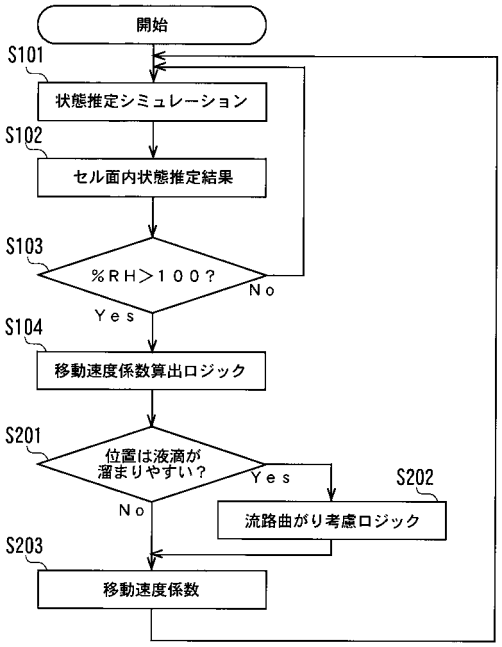
【図１０】



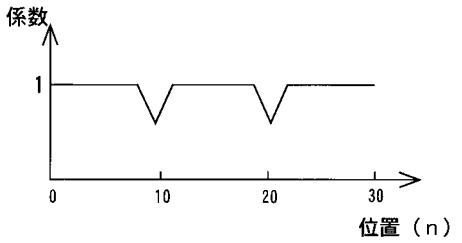
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

(72)発明者　松末　真明
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内

審査官　清水　康

(56)参考文献　特開２００７－１１５４６０（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－１４６２３６（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１２８７５８（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２０５７６３（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２２３８５９（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－３３５４４４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｍ　　８／０４
Ｈ０１Ｍ　　８／０６
Ｈ０１Ｍ　　８／１０