

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7002044号
(P7002044)

(45)発行日 令和4年2月4日(2022.2.4)

(24)登録日 令和4年1月4日(2022.1.4)

(51)国際特許分類	F I
C 2 5 B 15/027 (2021.01)	C 2 5 B 15/027
C 2 5 B 15/00 (2006.01)	C 2 5 B 15/00 3 0 2 Z
C 2 5 B 1/02 (2006.01)	C 2 5 B 1/02
C 2 5 B 9/00 (2021.01)	C 2 5 B 9/00 Z

請求項の数 5 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-531738(P2021-531738)	(73)特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区域見2丁目1番61号
(86)(22)出願日	令和2年10月28日(2020.10.28)	(74)代理人	110000556 特許業務法人 有古特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/040479	(72)発明者	鎌田 智也 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(87)国際公開番号	WO2021/131312	(72)発明者	可児 幸宗 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(87)国際公開日	令和3年7月1日(2021.7.1)	審査官	萩原 周治
審査請求日	令和3年6月3日(2021.6.3)		
(31)優先権主張番号	特願2019-232399(P2019-232399)		
(32)優先日	令和1年12月24日(2019.12.24)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気化学式水素ポンプ及びその制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電解質膜、前記電解質膜の一方の主面に設けられたアノードおよび前記電解質膜の他方の主面に設けられたカソードを含むセルと、前記アノードと前記カソードとの間に電圧を印加する電圧印加器と、を備え、
前記電圧印加器が前記電圧を印加することで、前記アノードに供給された水素含有ガス中の水素を、前記カソードに移動させ、かつ昇圧する電気化学式水素ポンプであって、
前記アノードに供給される水素含有ガスの露点が所定の閾値以上になると、前記電圧印加器の印加電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間を流れる電流を増加させ、
前記アノードに供給される水素含有ガスの露点が前記所定の閾値未満であるとき、前記電圧印加器の印加電圧を制御して、前記電流を増加させない制御器を備える電気化学式水素ポンプ。

【請求項2】

前記アノードに供給される水素含有ガスの露点を調整する露点調整器を備え、
前記制御器は、前記露点調整器を制御して、前記アノードに供給される水素含有ガスの露点を前記セルの温度以下にする請求項1に記載の電気化学式水素ポンプ。

【請求項3】

前記制御器は、前記電圧印加器の印加電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間に流れる電流を0から所定値まで上昇させる期間において、前記電流が低いほど、前記電流の上昇率を高くする請求項1または2に記載の電気化学式水素ポンプ。

【請求項 4】

前記アノードに供給される水素含有ガスの露点を調整する露点調整器を備え、前記制御器は、前記露点調整器を制御して、前記セルの温度の上昇に応じて、前記アノードに供給する水素含有ガスの露点を上昇させる請求項 1 - 3 のいずれか 1 項に記載の電気化学式水素ポンプ。

【請求項 5】

一対の主面を有する電解質膜のそれぞれの主面に設けられた、アノードとカソードとの間に電圧を印加することにより、前記アノードに供給された水素含有ガス中の水素を前記カソードに移動させ、圧縮された水素を生成するステップと、前記アノードに供給される水素含有ガスの露点が所定の閾値以上になると、前記アノードと前記カソードとの間に印加する電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間を流れる電流を増加させ、前記アノードに供給される水素含有ガスの露点が前記所定の閾値未満であるとき、前記電流を増加させないステップを備える、電気化学式水素ポンプの制御方法。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は電気化学式水素ポンプ及びその制御方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、地球温暖化などの環境問題、石油資源の枯渇などのエネルギー問題から、化石燃料に代わるクリーンな代替エネルギー源として、水素が注目されている。水素は燃焼しても基本的に水しか放出せず、地球温暖化の原因となる二酸化炭素が排出されずかつ窒素酸化物などもほとんど排出されないので、クリーンエネルギーとして期待されている。また、水素を燃料として高効率に利用する装置として、例えば、燃料電池があり、自動車用電源向け、家庭用自家発電向けに開発および普及が進んでいる。

20

【0003】

来るべき水素社会では、水素を製造することに加えて、水素を高密度で貯蔵し、小容量かつ低コストで輸送または利用することが可能な技術開発が求められている。特に、分散型のエネルギー源となる燃料電池の普及促進には、水素供給インフラを整備する必要がある。また、水素を安定的に供給するために、高純度の水素を製造、精製、高密度貯蔵する様々な検討が行われている。

30

【0004】

例えば、一般的に、燃料電池車などの燃料ガスに使用される水素ガスは、数十 MPa に圧縮されている。水素ガスは、水電解装置などにより水から電気化学反応を用いて生成されることが多い。

【0005】

また、例えば、特許文献 1 には、アノードおよびカソード間に電解質膜が設けられ、アノードおよびカソード間に電圧を印加することによって、水素の精製および昇圧が行われる水素精製昇圧システムが記載されている。なお、アノード、電解質膜およびカソードの積層構造体を膜 - 電極接合体（以下、MEA：Membrane Electrode Assembly を略す場合がある）という。このとき、アノードに供給される水素は、不純物が混入していてもよい。例えば、水素は、製鉄工場などからの副次生成の水素ガスでもよいし、都市ガスを改質した改質ガスでもよい。

40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】**

【文献】特許第 6299027 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

50

本開示は、一例として、セルの劣化を従来よりも抑制し得る電気化学式水素ポンプ及びその制御方法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】

【0008】

上記課題を解決するため、本開示の一態様(aspect)の電気化学式水素ポンプは、電解質膜、前記電解質膜の一方の主面に設けられたアノードおよび前記電解質膜の他方の主面に設けられたカソードを含むセルと、前記アノードと前記カソードとの間に電圧を印加する電圧印加器と、を備え、前記電圧印加器が前記電圧を印加することで、前記アノードに供給された水素含有ガス中の水素を、前記カソードに移動させ、かつ昇圧する電気化学式水素ポンプであって、

10

前記アノードに供給される水素含有ガスの露点および前記セルの温度の少なくとも一方が上昇すると、前記電圧印加器の印加電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間を流れる電流を増加させる制御器を備える。

【0009】

また、本開示の一態様(aspect)の電気化学式水素ポンプの制御方法は、一对の主面を有する電解質膜のそれぞれの主面に設けられた、アノードとカソードとの間に電圧を印加することにより、前記アノードに供給された水素含有ガス中の水素を前記カソードに移動させ、圧縮された水素を生成するステップと、前記アノードに供給される水素含有ガスの露点および前記セルの温度の少なくとも一方が上昇すると、前記アノードと前記カソードとの間に印加する電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間を流れる電流を増加させるステップを備える。

20

【発明の効果】

【0010】

本開示の一態様の電気化学式水素ポンプは、セルの劣化を従来よりも抑制し得るという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】図1Aは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 1.0 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

30

【図1B】図1Bは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 1.5 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【図1C】図1Cは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 2.0 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【図1D】図1Dは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 2.5 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【図2】図2は、第1実施形態の電気化学式水素ポンプの一例を示す図である。

40

【図3】図3は、セルの温度と、電解質膜のプロトン伝導度(導電率)およびセルのIR損失との間の相関関係の一例を示す図である。

【図4】図4は、第1実施形態の第3実施例の電気化学式水素ポンプにおけるアノードおよびカソード間を流れる電流の制御の一例を示す図である。

【図5】図5は、第2実施形態の電気化学式水素ポンプの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

特許文献1では、電気化学式水素ポンプのセルが劣化する可能性について十分に検討されていない。

【0013】

50

一般的に、セルの温度が低い程、および、電解質膜の含水率が低い程、セルの電解質膜のプロトン伝導度が低い。つまり、電解質膜のプロトン伝導度は、電解質膜内のプロトンの移動度と電解質膜内を移動するプロトン量との積で表される。そして、セルの温度と電解質膜内のプロトンの移動度とは正の相関関係がある。また、電解質膜中の含水率と電解質膜内を移動するプロトン量とは正の相関関係がある。このため、例えば、電気化学式水素ポンプの起動時、セルの温度および電解質膜の含水率の両方が低いことが多いので、このような電解質膜のプロトン伝導度が低い状態のまま、アノードおよびカソード間に流れる電流を増加すると、電解質膜のプロトン伝導度が高くなってから、かかるアノードおよびカソード間に流れる電流を増加する場合に比べて、セルの過電圧が所定の電圧以上になる現象が起こりやすいと考えられる。

10

【0014】

なお、セルの過電圧が、例えば、所定の電圧以上になるとき、セルの触媒中のカーボン担体の腐食が進み、セルの触媒が劣化しやすくなることが一般的に知られている。

【0015】

本開示者らは、以上の視点から、アノードに供給される水素含有ガスの露点およびセルの温度の少なくとも一方に基づいて、アノードおよびカソード間を流れる電流を適切に制御することで、電気化学式水素ポンプのセルの劣化を抑制し得ることを見出した。そして、かかる知見を以下の実験により検証した。

【0016】

本実験で使用したMEA（セル）は、以下の実施形態で説明する電気化学式水素ポンプのMEAの各層を模擬することで作製した。よって、かかるセルの詳細な構成の説明は省略する。

20

【0017】

また、本実験は、アノードおよびカソード間に流れる電流として、電流密度換算で、4つの代表値（ 1.0 A/cm^2 、 1.5 A/cm^2 、 2.0 A/cm^2 、 2.5 A/cm^2 ）をパラメータに取って、セルの温度（以下、セル温度 T_c ）およびセルのアノードに供給する低圧の水素含有ガスの露点（以下、ガス露点 T_g ）のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧を測定することで行われた。

【0018】

このとき、カソード側のガス圧を約 1 MPaG に固定するとともに、アノード側のガス圧を、所定の流量の水素含有ガスがアノードを循環するのに必要な圧力に固定した。なお、セルの過電圧は、コンパクト・ワイドレンジ直流電源（菊水電子工業株式会社製、PWR1201L）で測定した。

30

【0019】

ただし、本実験では、ガス露点 T_g がセル温度 T_c 以下（ $T_g < T_c$ ）という、前提条件を付与した。これは、以下の理由による。

【0020】

ガス露点 T_g がセル温度 T_c よりも高いと（ $T_g > T_c$ ）、セルのアノードで、水素含有ガス中の水蒸気が凝縮することによって、凝縮水による流路の閉塞（フラディング）が発生する可能性がある。そして、アノードのフラディングによって水素含有ガスの拡散性が阻害されることで、セルの過電圧の上昇を招く可能性がある。すると、セルの過電圧が、所定の電圧（本実験では、 500 mV に設定）以上になるとき、セルの触媒中のカーボン担体の腐食が進み、セルの触媒が劣化しやすくなる。

40

【0021】

図1Aは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 1.0 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【0022】

図1Bは、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 1.5 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示す

50

テーブルである。

【 0 0 2 3 】

図 1 C は、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 2.0 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【 0 0 2 4 】

図 1 D は、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が 2.5 A/cm^2 であるとき、セル温度およびガス露点のそれぞれが変化する場合におけるセルの過電圧の一例を示すテーブルである。

【 0 0 2 5 】

各テーブルでは、セル温度 T_c として、7つの代表温度 ($T_c = 20$ 、 30 、 40 、 50 、 60 、 70 、 80) が取られ、ガス露点 T_g として、7つの代表温度 ($T_g = 0$ 、 10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60) が取られ、これらの組合せのそれぞれにおけるセルの過電圧 (mV) の測定結果が示されている。

【 0 0 2 6 】

なお、各テーブルにおいて、セルの過電圧の測定結果が 500 mV 以上である領域には、「X」印を付した。また、この「X」印の領域から、ガス露点を上昇させずに、セル温度 T_c を上げる、または、セル温度を減少させずに、ガス露点を下げると、セルの電解質膜のドライアップが進行する。これにより、セルの触媒中のカーボン担体の腐食が進み、セルの触媒が劣化しやすくなるので、セルの過電圧測定を中止した。各テーブルでは、この

【 0 0 2 7 】

なお、以上の実験条件などは、例示であって、本例に限定されない。

【 0 0 2 8 】

ここで、各テーブルの測定結果から理解できるとおり、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が低い条件 (例えば、図 1 A または図 1 B) では、ガス露点 T_g およびセル温度 T_c が低い場合でも、セルの過電圧は、セルの触媒が劣化する領域 (本実験では、 500 mV 以上の領域) に至りにくいことが分かった。

【 0 0 2 9 】

これに対して、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が高い条件 (例えば、図 1 C または図 1 D) では、ガス露点 T_g およびセル温度 T_c が低いと、セルの過電圧は、セルが劣化する領域に至りやすいことが分かった。

【 0 0 3 0 】

この実験結果は、上記のとおり、電解質膜のプロトン伝導度とセル温度 T_c および電解質膜の含水率 (ガス露点 T_g) との間における正の相関性から推察することができる。つまり、ガス露点 T_g およびセル温度 T_c が低いときは、電解質膜の抵抗が高くなる。しかし、電流と抵抗の積に相当する IR 損失を含むセルの過電圧は、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が低い条件では、セルの触媒が劣化する領域に至らない場合が多い。逆に、アノードおよびカソード間に流れる電流の密度が高い条件では、上記のセルの過電圧は、セルの触媒が劣化する領域に至る場合が多い。

【 0 0 3 1 】

このように、セル温度 T_c およびガス露点 T_g が低いほど、アノードおよびカソード間に流れる電流を増加させると、セルの過電圧がセルの触媒が劣化する領域に至りやすい。換言すると、セル温度 T_c およびガス露点 T_g が高いほど、アノードおよびカソード間に流れる電流を増加させても、セルの過電圧がセルの触媒が劣化する領域に至りにくい。

【 0 0 3 2 】

以上の測定結果によれば、セル温度 T_c およびガス露点 T_g の少なくとも一方が低い状態から高い状態に上昇してから、アノードおよびカソード間に流れる電流を増加させる方が、これらが低い状態のまま、上記の電流を増加させる場合よりも、セルの触媒劣化を抑制する視点で適当であると考えられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

すなわち、本開示の第 1 態様の電気化学式水素ポンプは、電解質膜、電解質膜の一方の主面に設けられたアノードおよび電解質膜の他方の主面に設けられたカソードを含むセルと、アノードとカソードとの間に電圧を印加する電圧印加器と、を備え、電圧印加器が、アノードとカソードとの間に電圧を印加することで、アノードに供給された水素含有ガス中の水素を、カソードに移動させ、かつ昇圧する電気化学式水素ポンプであって、アノードに供給される水素含有ガスの露点およびセルの温度の少なくとも一方が上昇すると、電圧印加器の印加電圧を制御して、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させる制御器を備える。

【 0 0 3 4 】

かかる構成によると、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの劣化を従来よりも抑制し得る。

【 0 0 3 5 】

例えば、電解質膜中の含水率と電解質膜内を移動するプロトン量とは正の相関関係があるので、アノードに供給される水素含有ガスの露点が高い状態のまま、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させると、セルの過電圧上昇によって、セルの触媒が劣化する可能性が高くなる。また、セルの温度と電解質膜内のプロトンの移動度とは正の相関関係があるので、セルの温度が高い状態のまま、上記の電流を増加させると、セルの過電圧上昇によって、セルの触媒が劣化する可能性が高くなる。

【 0 0 3 6 】

そこで、本態様の電気化学式水素ポンプは、アノードに供給される水素含有ガスの露点およびセルの温度の少なくとも一方が上昇してから、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させることで、これらが低い状態のまま、上記の電流を増加させる場合に比べて、セルの過電圧が、セルの触媒が劣化する領域に至る可能性を低減することができる。

【 0 0 3 7 】

本開示の第 2 態様の電気化学式水素ポンプは、第 1 態様の電気化学式水素ポンプにおいて、制御器は、アノードに供給される水素含有ガスの露点が第 1 の閾値以上になると、電圧印加器の印加電圧を制御して、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させ、アノードに供給される水素含有ガスの露点が第 1 の閾値未満であるとき、電圧印加器の印加電圧を制御して、この電流を増加させない。

【 0 0 3 8 】

かかる構成によると、本態様の電気化学式水素ポンプは、アノードに供給される水素含有ガスの露点と第 1 の閾値との比較に基づいて、アノードおよびカソード間を流れる電流の増減を適切に制御することで、セルの劣化を起りにくく構成することができる。

【 0 0 3 9 】

本開示の第 3 態様の電気化学式水素ポンプは、第 1 態様または第 2 態様の電気化学式水素ポンプにおいて、制御器は、セルの温度が、第 2 の閾値以上になると、電圧印加器の印加電圧を制御して、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させ、セルの温度が、第 2 の閾値未満であるとき、電圧印加器の印加電圧を制御して、この電流を増加させない。

【 0 0 4 0 】

電気化学式水素ポンプでは、例えば、電解質膜の相対湿度およびアノードおよびカソード間を流れる電流の密度が一定であるようにポンプを制御するとき、セルの温度が上昇するに連れて、電解質膜のプロトン伝導度（電電率）が上がる。具体的には、セルの温度が所定の温度以上において、セルの I R 損失が十分に低下する。なお、詳細は第 2 実施例で説明する。

【 0 0 4 1 】

よって、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの I R 損失が十分に低下する第 2 の閾値以上において、アノードおよびカソード間を流れる電流を増加させることで、水素昇圧動作の効率を向上させることができる。

【 0 0 4 2 】

10

20

30

40

50

また、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの温度と第2の閾値との比較に基づいて、アノードおよびカソード間を流れる電流の増減を適切に制御することで、セルの劣化を起りにくく構成することができる。

【0043】

本開示の第4態様の電気化学式水素ポンプは、第1態様から第3態様のいずれか一つの電気化学式水素ポンプにおいて、アノードに供給される水素含有ガスの露点を調整する露点調整器を備え、制御器は、露点調整器を制御して、アノードに供給される水素含有ガスの露点をセルの温度以下にしてもよい。

【0044】

かかる構成によると、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの劣化を従来よりも抑制し得る。

10

【0045】

具体的には、アノードに供給される水素含有ガスの露点がセルの温度よりも高いと、アノードで、水素含有ガス中の水蒸気が凝縮することによって、凝縮水による流路の閉塞（フラディング）が発生する可能性がある。そして、アノードのフラディングによって水素含有ガスの拡散性が阻害されることで、セルの過電圧の上昇を招く可能性がある。すると、セルの過電圧が、所定の電圧以上になるとき、セルの触媒中のカーボン担体の腐食が進み、セルが劣化しやすくなる。

【0046】

そこで、本態様の電気化学式水素ポンプは、アノードに供給される水素含有ガスの露点をセルの温度以下に制御することで、アノードのフラディング発生が抑制される。

20

【0047】

本開示の第5態様の電気化学式水素ポンプは、第1態様から第4態様のいずれか一つの電気化学式水素ポンプにおいて、制御器は、電圧印加器の印加電圧を制御して、アノードおよびカソード間に流れる電流を0から所定値まで上昇させる期間において、上記の電流が低いほど、電流の上昇率を高くしてもよい。

【0048】

かかる電圧制御の理由は、アノードおよびカソード間に流れる電流が低いほど、この電流の上昇率が高くても、セルの過電圧（IR損失分）が、セルの触媒が劣化する領域に至る可能性が低くなるからである。

30

【0049】

よって、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの劣化の適当な抑制およびセルの迅速な電流上昇を行うことができる。例えば、電気化学式水素ポンプの起動時に、セルの温度および電解質膜の含水率の両方が低いことが多い。しかし、この場合でも、アノードおよびカソード間に流れる電流が低いときは、セルの劣化を伴わずに電流の上昇率を高くすることができる。その結果、電気化学式水素ポンプを効率的に起動させることができる。

【0050】

本開示の第6態様の電気化学式水素ポンプは、第1態様から第5態様のいずれか一つの電気化学式水素ポンプにおいて、アノードに供給される水素含有ガスの露点を調整する露点調整器を備え、制御器は、露点調整器を制御して、セルの温度の上昇に応じて、アノードに供給する水素含有ガスの露点を上昇させてもよい。

40

【0051】

かかる構成によると、本態様の電気化学式水素ポンプは、セルの温度の上昇に応じて、アノードに供給する水素含有ガスの露点を上昇させない場合に比べて、電解質膜がドライアップする可能性を低減することができる。

【0052】

すなわち、本開示の第7態様の電気化学式水素ポンプの制御方法は、一对の主面を有する電解質膜のそれぞれの主面に設けられた、アノードとカソードとの間に電圧を印加することにより、前記アノードに供給された水素含有ガス中の水素を前記カソードに移動させ、圧縮された水素を生成するステップと、前記アノードに供給される水素含有ガスの露点お

50

よび前記セルの温度の少なくとも一方が上昇すると、前記アノードと前記カソードとの間に印加する電圧を制御して、前記アノードおよび前記カソード間を流れる電流を増加させるステップを備える。

【0053】

かかる構成によると、本態様の電気化学式水素ポンプの制御方法では、セルの劣化を従来よりも抑制し得る。

【0054】

以下、添付図面を参照しながら、本開示の実施形態について説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも上記の各態様の一例を示すものである。よって、以下で示される形状、材料、構成要素、および、構成要素の配置位置および接続形態などは、あくまで一例であり、請求項に記載されていない限り、上記の各態様を限定するものではない。また、以下の構成要素のうち、上記の各態様の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、図面において、同じ符号が付いたものは、説明を省略する場合がある。図面は理解しやすくするために、それぞれの構成要素を模式的に示したもので、形状および寸法比などについては正確な表示ではない場合がある。

10

【0055】

(第1実施形態)

[装置構成]

図2は、第1実施形態の電気化学式水素ポンプの一例を示す図である。

20

【0056】

図2に示す例では、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、セル70と、電圧印加器102と、制御器60と、を備える。

【0057】

なお、電気化学式水素ポンプ100は、複数のセル70を積層したスタックを含んでもよい。詳細は後で説明する。

【0058】

セル70は、電解質膜11と、アノードANと、カソードCAと、を備える。

【0059】

アノードANは、電解質膜11の一方の主面に設けられている。アノードANは、アノード触媒層およびアノードガス拡散層を含む電極である。カソードCAは、電解質膜11の他方の主面に設けられている。カソードCAは、カソード触媒層およびカソードガス拡散層を含む電極である。これにより、電解質膜11は、アノード触媒層およびカソード触媒層のそれぞれと接触するようにして、アノードANとカソードCAとによって挟持されている。

30

【0060】

電解質膜11はプロトン伝導性を備える膜であれば、どのような構成であってもよい。例えば、電解質膜11として、フッ素系高分子電解質膜、炭化水素系電解質膜などを挙げることができる。具体的には、電解質膜11として、例えば、Nafion(登録商標、デュポン社製)、Aciplex(登録商標、旭化成株式会社製)などを用いることができるが、これらに限定されない。

40

【0061】

アノード触媒層は、電解質膜11の一方の主面に設けられている。アノード触媒層は、触媒金属(例えば、白金)を分散状態で担持することができるカーボンを含むが、これに限定されない。

【0062】

カソード触媒層は、電解質膜11の他方の主面に設けられている。カソード触媒層は、触媒金属(例えば、白金)を分散状態で担持することができるカーボンを含むが、これに限定されない。

【0063】

50

カソード触媒層もアノード触媒層も、触媒の調製方法としては、種々の方法を挙げることができるが、特に限定されない。例えば、カーボン系粉末としては、黒鉛、カーボンブラック、導電性を有する活性炭などの粉末を挙げることができる。カーボン担体に、白金若しくは他の触媒金属を担持する方法は、特に限定されない。例えば、粉末混合または液相混合などの方法を用いてもよい。後者の液相混合としては、例えば、触媒成分コロイド液にカーボンなどの担体を分散させ、吸着させる方法などが挙げられる。白金などの触媒金属のカーボン担体への担持状態は、特に限定されない。例えば、触媒金属を微粒子化し、高分散で担体に担持してもよい。

【 0 0 6 4 】

カソードガス拡散層は、カソード触媒層上に設けられている。カソードガス拡散層は、多孔性材料で構成され、導電性およびガス拡散性を備える。カソードガス拡散層は、電気化学式水素ポンプ 1 0 0 の動作時にカソード C A およびアノード A N 間の差圧で発生する構成部材の変位、変形に適切に追従するような弾性を備える方が望ましい。カソードガス拡散層の基材として、例えば、カーボン繊維焼結体などを使用することができるが、これに限定されない。

10

【 0 0 6 5 】

アノードガス拡散層は、アノード触媒層上に設けられている。アノードガス拡散層は、多孔性材料で構成され、導電性およびガス拡散性を備える。アノードガス拡散層は、電気化学式水素ポンプ 1 0 0 の動作時に、上記の差圧による電解質膜 1 1 の押し付けに耐え得る程度の剛性を備える方が望ましい。アノードガス拡散層の基材として、例えば、カーボン粒子焼結体などを使用することができるが、これに限定されない。

20

【 0 0 6 6 】

電圧印加器 1 0 2 は、アノード A N とカソード C A との間に電圧を印加する装置である。電圧印加器 1 0 2 は、アノード A N とカソード C A との間に電圧を印加することができれば、どのような構成であってもよい。図 2 に示す例では、電圧印加器 1 0 2 の高電位側端子が、アノード A N に接続され、電圧印加器 1 0 2 の低電位側端子が、カソード C A に接続されている。これにより、電圧印加器 1 0 2 を用いて、アノード A N およびカソード C A の間で通電が行われる。すると、本実施形態の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、電圧印加器 1 0 2 が、アノード A N とカソード C A との間に電圧を印加することで、アノード A N に供給された水素含有ガス中の水素を、カソード C A に移動させ、かつ昇圧する。

30

【 0 0 6 7 】

なお、電圧印加器 1 0 2 として、例えば、D C / D C コンバータ、A C / D C コンバータなどを挙げることができる。D C / D C コンバータは、電圧印加器 1 0 2 が、太陽電池、燃料電池、バッテリーなどの直流電源と接続された場合に用いられる。A C / D C コンバータは、電圧印加器 1 0 2 が、商用電源などの交流電源と接続された場合に用いられる。

【 0 0 6 8 】

また、電圧印加器 1 0 2 は、例えば、セル 7 0 に供給する電力が所定の設定値となるように、アノード A N およびカソード C A 間に印加される電圧、アノード A N およびカソード C A 間に流れる電流が調整される電力型電源であってもよい。

【 0 0 6 9 】

制御器 6 0 は、アノード A N に供給される水素含有ガスの露点およびセル 7 0 の温度の少なくとも一方が上昇すると、電圧印加器 1 0 2 の印加電圧を制御して、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流を増加させる。

40

【 0 0 7 0 】

制御器 6 0 は、例えば、演算回路（図示せず）と、制御プログラムを記憶する記憶回路（図示せず）と、を備える。演算回路として、例えば、M P U、C P Uなどを挙げることができる。記憶回路として、例えば、メモリなどを挙げることができる。制御器 6 0 は、集中制御を行う単独の制御器で構成されていてもよいし、互いに協働して分散制御を行う複数の制御器で構成されていてもよい。

【 0 0 7 1 】

50

なお、図 1 には示されていないが、電気化学式水素ポンプ 100 の水素昇圧動作において必要となる部材および機器は適宜、設けられる。

【0072】

例えば、一对のセパレータのそれぞれが、セル 70 のアノード AN およびカソード CA のそれぞれを外側から挟んでいてもよい。この場合、アノード AN に接触するセパレータは、アノード AN に水素含有ガスを供給するための導電性の板状の部材である。この板状の部材は、アノード AN に供給する水素含有ガスが流れるガス流路を備える。カソード CA に接触するセパレータは、カソード CA から水素を導出するための導電性の板状の部材である。この板状の部材は、カソード CA から導出した水素が流れるガス流路を備える。これらのガス流路は、セパレータと別に設けることもできるが、セパレータの表面にガス流路の溝を、例えば、サーペントイン状に形成することが一般的である。

10

【0073】

また、電気化学式水素ポンプ 100 では、通常、高圧の水素が外部へリークしないように、セル 70 の両側からガスケットなどのシール材が設けられ、セル 70 と一体化して予め組み立てられる。そして、セル 70 の外側には、これを機械的に固定するとともに、隣接するセル 70 同士を互いに電氣的に直列に接続するための上記のセパレータが配置されている。

【0074】

セル 70 とセパレータを交互に重ねて、セル 70 を 10 ~ 200 個程度、積層して、その積層体（スタック）を、集電板および絶縁板を介して端板で挟み、両端板を締結ロッドで締め付けるのが一般的な積層構造である。なお、この場合、セパレータのそれぞれのガス流路に適量の水素含有ガスを供給するには、セパレータのそれぞれにおいて、適宜の管路から溝状の分岐経路を分岐させ、これらの下流端が、セパレータのそれぞれのガス流路に連結するように構成する必要がある。このような管路のことをマニホールドといい、このマニホールドは、セパレータのそれぞれの適所に設けられた貫通孔の連なりにより構成されている。

20

【0075】

また、電気化学式水素ポンプ 100 には、セル 70 の温度を検知する温度検知器、セル 70 の温度を調整する温度調整器、アノード AN に供給される水素含有ガスの露点を調整する露点調整器などが設けられていてもよい。なお、露点調整器の詳細は、第 2 実施形態で説明する。

30

【0076】

温度検知器として、例えば、熱電対、サーミスタなどを挙げることができるが、これらに限定されない。

【0077】

また、温度調整器として、例えば、セパレータに形成された流路に適温の熱媒体を循環させる装置などを挙げることができるが、これに限定されない。温度調整器は、セル 70 を加熱する加熱器（例えば、電気ヒータ）とセル 70 を冷却する冷却器（例えば、冷却ファン）との組合せであってもよい。

【0078】

なお、以上の図示しない部材および機器は例示であって、本例に限定されない。

40

【0079】

[動作]

以下、電気化学式水素ポンプ 100 の水素昇圧動作の一例について、図面を参照しながら説明する。

【0080】

以下の動作は、例えば、制御器 60 の演算回路が、制御器 60 の記憶回路から制御プログラムを読み出すことにより行われてもよい。ただし、以下の動作を制御器 60 で行うことは、必ずしも必須ではない。操作者が、その一部の動作を行ってもよい。

【0081】

50

まず、電気化学式水素ポンプ100のアノードANに低圧の水素含有ガスが供給されるとともに、電圧印加器102の電圧が電気化学式水素ポンプ100に給電される。

【0082】

すると、アノードANのアノード触媒層において、水素分子がプロトンと電子とに分離する(式(1))。プロトンは電解質膜11内を伝導してカソード触媒層に移動する。電子は電圧印加器102を通じてカソード触媒層に移動する。

【0083】

そして、カソード触媒層において、水素分子が再び生成される(式(2))。なお、プロトンが電解質膜11中を伝導する際に、所定水量の水が、電気浸透水としてアノードANからカソードCAにプロトンと同伴して移動することが知られている。

10

【0084】

このとき、図示しない流量調整器を用いて、水素導出経路の圧損を増加させることにより、カソードCAで生成された水素(H₂)を昇圧することができる。なお、流量調整器として、例えば、水素導出経路に設けられた背圧弁、調整弁などを挙げることができる。この場合、水素導出経路の圧損を増加させるとは、水素導出経路に設けられた背圧弁、調整弁の開度を小さくすることに対応する。

【0085】

アノード：H₂(低圧) → 2H⁺ + 2e⁻ ……(1)

カソード：2H⁺ + 2e⁻ → H₂(高圧) ……(2)

このようにして、電圧印加器102が上記の電圧を印加することで、アノードANに供給される水素含有ガス中の水素がカソードCAにおいて昇圧される電気化学式水素ポンプ100の水素昇圧動作が行われる。そして、この水素昇圧動作では、アノードANに供給される水素含有ガスの露点およびセル70の温度の少なくとも一方が上昇すると、アノードANおよびCAカソード間を流れる電流を増加させるように、電圧印加器102の印加電圧が制御される。

20

【0086】

なお、カソードCAで昇圧された水素は、例えば、図示しない水素貯蔵器に一時的に貯蔵される。また、水素貯蔵器で貯蔵された水素は、適時に、水素需要体に供給される。水素需要体として、例えば、水素を用いて発電する燃料電池などを挙げることができる。

【0087】

以上のとおり、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、セル70の劣化を従来よりも抑制し得る。

30

【0088】

例えば、電解質膜11中の含水率と電解質膜11内を移動するプロトン量とは正の相関関係があるので、アノードANに供給される水素含有ガスの露点が高い状態のまま、アノードANおよびCAカソード間を流れる電流を増加させると、セル70の過電圧上昇によって、セル70の触媒が劣化する可能性が高くなる。また、セル70の温度と電解質膜11内のプロトンの移動度とは正の相関関係があるので、セル70の温度が高い状態のまま、上記の電流を増加させると、セル70の過電圧上昇によって、セル70の触媒が劣化する可能性が高くなる。

40

【0089】

そこで、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、アノードANに供給される水素含有ガスの露点およびセル70の温度の少なくとも一方が上昇してから、アノードANおよびカソードCA間を流れる電流を増加させることで、これらが低い状態のまま、上記の電流を増加させる場合に比べて、セルの過電圧が、セル70の触媒が劣化する領域に至る可能性を低減することができる。

【0090】

(第1実施例)

第1実施例の電気化学式水素ポンプ100は、以下に説明する制御器60の制御内容以外は、第1実施形態の電気化学式水素ポンプ100と同様である。

50

【 0 0 9 1 】

制御器 6 0 は、アノード A N に供給される水素含有ガスの露点が第 1 の閾値以上になると、電圧印加器 1 0 2 の印加電圧を制御して、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流を増加させ、アノード A N に供給される水素含有ガスの露点が第 1 の閾値未満であるとき、電圧印加器 1 0 2 の印加電圧を制御して、この電流を増加させない。

【 0 0 9 2 】

なお、第 1 の閾値は、例えば、電気化学式水素ポンプが昇圧する水素量などの運転条件をもとに、図 1 A - 図 1 D に記載のテーブルなどを参酌することにより、電気化学式水素ポンプのセルの劣化が起りにくい適宜の値に設定することができる。

【 0 0 9 3 】

以上により、本実施例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、アノード A N に供給される水素含有ガスの露点と第 1 の閾値との比較に基づいて、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流の増減を適切に制御することで、セル 7 0 の劣化を起りにくく構成することができる。

【 0 0 9 4 】

本実施例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、上記の特徴以外は、第 1 実施形態の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 と同様であってもよい。

【 0 0 9 5 】

(第 2 実施例)

第 2 実施例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、以下に説明する制御器 6 0 の制御内容以外は、第 1 実施形態の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 と同様である。

【 0 0 9 6 】

図 3 は、セルの温度と、電解質膜のプロトン伝導度(導電率)およびセルの I R 損失との間の相関関係の一例を示す図である。図 3 の横軸に、セル 7 0 の温度が取られている。また、図 3 の左側の縦軸に、電解質膜 1 1 のプロトン伝導度が取られ、右側の縦軸に、セル 7 0 の I R 損失が取られている。なお、図 3 には、電解質膜 1 1 の相対湿度およびアノード A N およびカソード C A 間を流れる電流の密度が一定である場合における上記の相関関係が示されている。例えば、セル 7 0 の温度が増減するに連れて、水素含有ガスの露点を増減させることで、電解質膜 1 1 の相対湿度を一定に維持することができる。

【 0 0 9 7 】

図 3 から理解できるとおり、電気化学式水素ポンプ 1 0 0 では、例えば、電解質膜 1 1 の相対湿度およびアノード A N およびカソード C A 間を流れる電流の密度が一定であるようにポンプを制御するとき、セル 7 0 の温度が上昇するに連れて、電解質膜 1 1 のプロトン伝導度(電率)が上がる。具体的には、セル 7 0 の温度が所定の温度以上において、セル 7 0 の I R 損失が十分に低下することが分かる。

【 0 0 9 8 】

そこで、制御器 6 0 は、セル 7 0 の温度が、第 2 の閾値以上になると、電圧印加器 1 0 2 の印加電圧を制御して、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流を増加させ、セル 7 0 の温度が、第 2 の閾値未満であるとき、電圧印加器 1 0 2 の印加電圧を制御して、この電流を増加させない。

【 0 0 9 9 】

以上により、本実施例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、セル 7 0 の I R 損失が十分に低下する第 2 の閾値以上において、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流を増加させることで、水素昇圧動作の効率を向上させることができる。この場合、第 2 の閾値は、例えば、電気化学式水素ポンプが昇圧する水素量などの運転条件をもとに、セル 7 0 の温度とセル 7 0 の I R 損失との間の相関関係などを参酌することにより、電気化学式水素ポンプ 1 0 0 の水素昇圧動作の効率が向上する適宜の値に設定することができる。

【 0 1 0 0 】

また、本実施例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、セル 7 0 の温度と第 2 の閾値との比較に基づいて、アノード A N およびカソード C A 間を流れる電流の増減を適切に制御するこ

10

20

30

40

50

とで、セル70の劣化を起こりにくく構成することができる。この場合、第2の閾値は、例えば、電気化学式水素ポンプが昇圧する水素量などの運転条件をもとに、図1A - 図1Dに記載のテーブルなどを参照することにより、電気化学式水素ポンプのセルの劣化が起こりにくい適宜の値に設定することができる。

【0101】

本実施例の電気化学式水素ポンプ100は、上記の特徴以外は、第1実施形態または第1実施形態の第1実施例の電気化学式水素ポンプ100と同様であってもよい。

【0102】

(第3実施例)

第3実施例の電気化学式水素ポンプ100は、以下に説明する制御器60の制御内容以外は、第1実施形態の電気化学式水素ポンプ100と同様である。

【0103】

図4は、第1実施形態の第3実施例の電気化学式水素ポンプにおけるアノードおよびカソード間を流れる電流の制御の一例を示す図である。

【0104】

本実施例の電気化学式水素ポンプでは、一例として、図4に示す如く、起動時におけるアノードANおよびカソードCA間に流れる電流を0から所定値まで上昇させる期間を、 n 個のサブ期間(s_1 、 s_2 、 \dots 、 s_n ： n は自然数)に区分し、 n 個のサブ期間それぞれにおける電流の増分を f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_n (n は自然数)とする。そして、このような n 個のサブ期間から選ばれたサブ期間(s_x)に対応する電流の増分(f_x)と、選ばれたサブ期間(s_x)とから求まる n 個の比率を r_x ($r_x = f_x / s_x$ ： x は $1 \times n$ で示される自然数)とする。そして、 n 個の比率 r_x から選ばれた任意の2つの比率のうち、電流が低い方を第1比率、電流が高い方を第2比率と定義するとき、第2比率が第1比率よりも小さくなるように、電圧印加器102の印加電圧を制御する。つまり、比率 r を、 $r = f_1 / s_1 \quad f_2 / s_2 \quad f_3 / s_3 \quad f_4 / s_4 \dots$ と設定することで、電流の時間変化が、起動の開始時からの時間の経過とともに緩やかになるように、電圧印加器102の印加電圧を制御する。

【0105】

このように、本実施例の電気化学式水素ポンプ100では、制御器60は、電圧印加器102の印加電圧を制御して、アノードANおよびカソードCA間に流れる電流を0から所定値まで上昇させる期間において、上記の電流が低いほど、電流の上昇率を高くする。

【0106】

かかる電圧制御の理由は、アノードANおよびカソードCA間に流れる電流が低いほど、この電流の上昇率が高くても、セル70の過電圧(IR損失分)が、セル70の触媒が劣化する領域に至る可能性が低くなるからである。

【0107】

これにより、本実施例の電気化学式水素ポンプ100は、セル70の劣化の適当な抑制およびセル70の迅速な電流上昇を行うことができる。例えば、電気化学式水素ポンプ100の起動時に、セル70の温度および電解質膜11の含水率の両方が低いことが多い。しかし、この場合でも、アノードANおよびカソードCA間に流れる電流が低いときは、セル70の劣化を伴わずに電流の上昇率を高くすることができ、その結果、電気化学式水素ポンプ100を効率的に起動させることができる。

【0108】

本実施例の電気化学式水素ポンプ100は、上記の特徴以外は、第1実施形態および第1実施形態の第1実施例 - 第2実施例のいずれかの電気化学式水素ポンプ100と同様であってもよい。

【0109】

(第2実施形態)

図5は、第2実施形態の電気化学式水素ポンプの一例を示す図である。

【0110】

10

20

30

40

50

図5に示す例では、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、セル70と、電圧印加器102と、露点調整器110と、制御器60と、を備える。

【0111】

ここで、セル70および電圧印加器102は第1実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0112】

露点調整器110は、アノードANに供給される水素含有ガスの露点を調整する装置である。露点調整器110は、このような水素含有ガスの露点を調整することができれば、どのような構成であってもよい。

【0113】

例えば、露点調整器110は、水素含有ガスを加湿する加湿器を備えてもよい。加湿器として、例えば、水素含有ガスを温水に通気して加湿するバブラー構成の加湿器、水素含有ガスを透湿膜で加湿する構成の加湿器などを挙げることができる。なお、露点調整器110が、上記のバブラー構成の加湿器を備える場合、温水の温度により、水素含有ガスの露点を適宜、調整することができる。

【0114】

また、露点調整器110は、アノードANから排出される高加湿状態の水素含有ガスと、外部の水素供給源から供給される低加湿状態の水素含有ガスとを混合することで、混合ガスの露点を調整する混合器であってもよい。このとき、外部の水素供給源の水素含有ガスは、例えば、水電解装置で生成されてもよい。

【0115】

制御器60は、露点調整器110を制御して、アノードANに供給される水素含有ガスの露点をセル70の温度以下にする。

【0116】

以上により、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、セル70の劣化を従来よりも抑制し得る。具体的には、アノードANに供給される水素含有ガスの露点がセル70の温度よりも高いと、アノードANで、水素含有ガス中の水蒸気が凝縮することによって、凝縮水による流路の閉塞（フラディング）が発生する可能性がある。そして、アノードANのフラディングによって水素含有ガスの拡散性が阻害されることで、セル70の過電圧の上昇を招く可能性がある。すると、セル70の過電圧が、所定の電圧以上になるとき、セル70の触媒中のカーボン担体の腐食が進み、セル70が劣化しやすくなる。

【0117】

そこで、本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、アノードANに供給される水素含有ガスの露点をセル70の温度以下に制御することで、アノードANのフラディング発生が抑制される。

【0118】

本実施形態の電気化学式水素ポンプ100は、上記の特徴以外は、第1実施形態および第1実施形態の第1実施例 - 第3実施例のいずれかの電気化学式水素ポンプ100と同様であってもよい。

【0119】

（変形例）

本変形例の電気化学式水素ポンプ100は、以下に説明する制御器60の制御内容以外は、第2実施形態の電気化学式水素ポンプ100と同様である。

【0120】

制御器60は、露点調整器110を制御して、セル70の温度の上昇に応じて、アノードANに供給する水素含有ガスの露点を上昇させる。

【0121】

以上により、本変形例の電気化学式水素ポンプ100は、セル70の温度の上昇に応じて、アノードANに供給する水素含有ガスの露点を上昇させない場合に比べて、電解質膜11がドライアップする可能性を低減することができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 2 】

本変形例の電気化学式水素ポンプ 1 0 0 は、上記の特徴以外は、第 1 実施形態、第 1 実施形態の第 1 実施例 - 第 3 実施例および第 2 実施形態のいずれかの電気化学式水素ポンプ 1 0 0 と同様であってもよい。

【 0 1 2 3 】

なお、第 1 実施形態、第 1 実施形態の第 1 実施例 - 第 3 実施例、第 2 実施形態および第 2 実施形態の変形例は、互いに相手を排除しない限り、互いに組み合わせても構わない。

【 0 1 2 4 】

上記説明から、当業者にとっては、本開示の多くの改良および他の実施形態が明らかである。従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本開示を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本開示の精神を逸脱することなく、その構造および/または機能の詳細を実質的に変更することができる。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 1 2 5 】

本開示の一態様は、セルの劣化を従来よりも抑制し得る電気化学式水素ポンプに利用することができる。

【符号の説明】

【 0 1 2 6 】

- 1 1 : 電解質膜
- 6 0 : 制御器
- 7 0 : セル
- 1 0 0 : 電気化学式水素ポンプ
- 1 0 2 : 電圧印加器
- 1 1 0 : 露点調整器
- A N : アノード
- C A : カソード

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

電流密度：1.0A/cm²

セル ガス 露点 温度	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
0℃	221mV	250mV	-	-	-	-	-
10℃	173mV	189mV	450mV	-	-	-	-
20℃	161mV	157mV	159mV	181mV	-	-	-
30℃		143mV	139mV	156mV	315mV	-	-
40℃			131mV	135mV	123mV	146mV	473mV
50℃				124mV	120mV	124mV	270mV
60℃					124mV	125mV	185mV

【図 1 B】

電流密度：1.5A/cm²

セル ガス 露点 温度	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
0℃	455mV	x	-	-	-	-	-
10℃	286mV	322mV	x	-	-	-	-
20℃	239mV	229mV	267mV	306mV	-	-	-
30℃		206mV	195mV	237mV	x	-	-
40℃			183mV	185mV	170mV	323mV	x
50℃				167mV	165mV	172mV	394mV
60℃					163mV	163mV	246mV

10

【図 1 C】

電流密度：2.0A/cm²

セル ガス 露点 温度	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
0℃	x	x	-	-	-	-	-
10℃	436mV	x	x	-	-	-	-
20℃	376mV	311mV	390mV	x	-	-	-
30℃		286mV	256mV	328mV	x	-	-
40℃			242mV	234mV	261mV	x	x
50℃				216mV	208mV	238mV	x
60℃					199mV	189mV	294mV

【図 1 D】

電流密度：2.5A/cm²

セル ガス 露点 温度	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
0℃	x	x	-	-	-	-	-
10℃	x	x	x	-	-	-	-
20℃	x	496mV	x	x	-	-	-
30℃		427mV	330mV	428mV	x	-	-
40℃			324mV	297mV	336mV	x	x
50℃				271mV	252mV	295mV	x
60℃					244mV	236mV	340mV

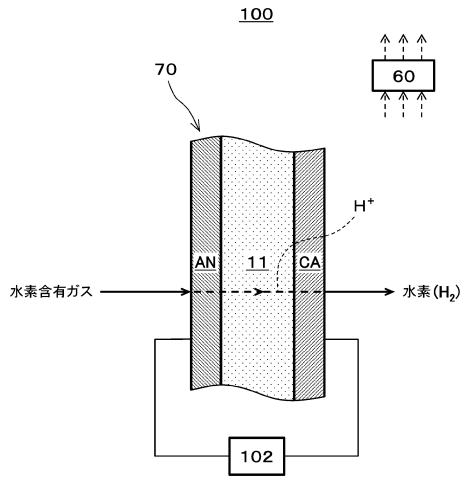
20

30

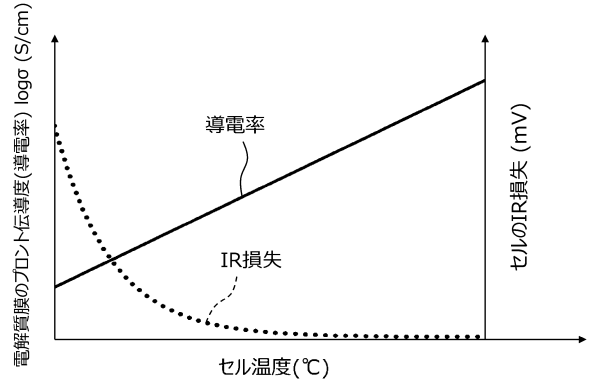
40

50

【 図 2 】

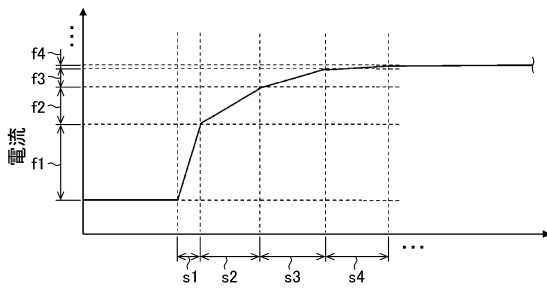


【 図 3 】

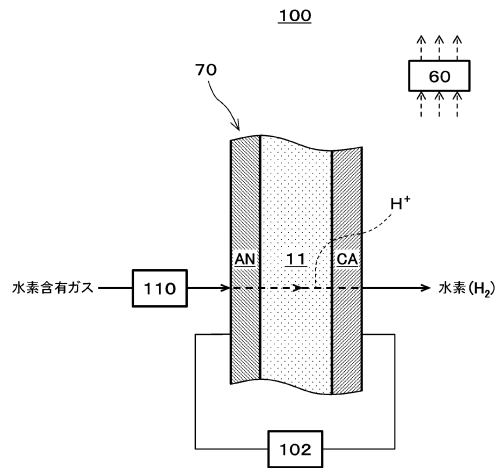


10

【 図 4 】



【 図 5 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2019 - 031700 (JP, A)
特表 2017 - 530921 (JP, A)
特開 2019 - 183258 (JP, A)
特開昭 59 - 074288 (JP, A)
特開昭 62 - 007886 (JP, A)
特開 2018 - 165386 (JP, A)
特開 2019 - 014644 (JP, A)
米国特許出願公開第 2009 / 0136790 (US, A1)
特表 2017 - 529460 (JP, A)
国際公開第 2018 / 033948 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C 25 B 1 / 00 - 15 / 08