

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-41202  
(P2020-41202A)

(43) 公開日 令和2年3月19日(2020.3.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 5 B 15/02 (2006.01)	C 2 5 B 15/02 3 0 2	4 K O 2 1
C 2 5 B 1/04 (2006.01)	C 2 5 B 1/04	
C 2 5 B 15/00 (2006.01)	C 2 5 B 15/00 3 0 3	
C 2 5 B 9/00 (2006.01)	C 2 5 B 9/00 A	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2018-171366 (P2018-171366)  
(22) 出願日 平成30年9月13日 (2018.9.13)

(出願人による申告) 平成29年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「水素利用等先導研究開発事業／高効率水素製造技術の研究／高温水蒸気電解システムの研究」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 317015294  
東芝エネルギーシステムズ株式会社  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34

(74) 代理人 110001380  
特許業務法人東京国際特許事務所

(72) 発明者 竹島 徳幸  
東京都港区芝一丁目12番7号 東芝テクニカルサービスインターナショナル株式会社内

(72) 発明者 吉村 良治  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内

(72) 発明者 藤原 斉二  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内  
最終頁に続く

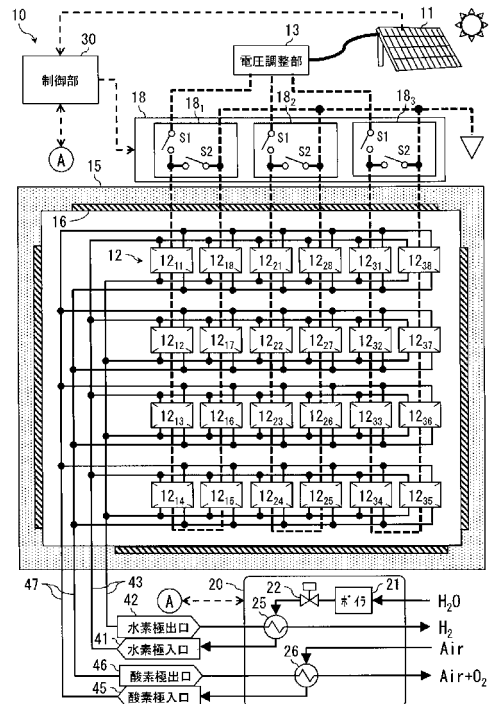
(54) 【発明の名称】 水素製造装置及び水素製造方法

(57) 【要約】

【課題】 供給電力が変動する電源を用いて高効率で安定的に水素を製造する技術を提供する。

【解決手段】 水素製造装置10は、電力を発電する電源11と、この電力の発電量に基づいて水蒸気を発生する水蒸気発生部20と、この電力の供給により水蒸気を水素と酸素に電解するセルスタック12と、予め定めたセル温度に設定されたセルスタック12における吸熱と発熱とがバランスする熱中立点に電力の電圧を調整する電圧調整部13と、電圧が熱中立点に調整された電力を水蒸気の流量に基づきパルス幅制御してセルスタック12に供給する電力供給部18と、を備えている。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

電力を発電する電源と、  
前記電力の発電量に基づいて水蒸気を発生する水蒸気発生部と、  
前記電力の供給により前記水蒸気を水素と酸素に電解するセルスタックと、  
予め定めたセル温度に設定された前記セルスタックにおける吸熱と発熱とがバランスする熱中立点に、前記電力の電圧を調整する電圧調整部と、  
電圧が前記熱中立点に調整された前記電力を、前記水蒸気の流量に基づきパルス幅制御して、前記セルスタックに供給する電力供給部と、を備えることを特徴とする水素製造装置。

10

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の水素製造装置において、  
前記電力供給のために複数の前記セルスタックを互いに直列接続させたグループを形成し、  
複数のグループに対し、前記電力の供給 / 停止をそれぞれ独立に切り替える第 1 切替部と、  
前記電力が供給される前記グループに対し前記水蒸気を供給し、前記電力が停止される前記グループに対し前記水蒸気を停止するように切り替える第 2 切替部と、を備える水素製造装置。

20

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載の水素製造装置において、  
前記第 1 切替部及び前記第 2 切替部は、前記電源の発電量に基づいて、前記電力及び前記水蒸気の供給をする前記グループの数を変更する水素製造装置。

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載の水素製造装置において、  
前記電力供給のために複数の前記セルスタックを互いに直列接続させたグループを形成し、  
隣接する前記グループを横断するように前記セルスタックのそれぞれの水素極が直列に接続され、それぞれの酸素極が直列に接続される水素製造装置。

**【請求項 5】**

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の水素製造装置において、  
前記電力は、再生可能エネルギーを変換して発電されたものである水素製造装置。

30

**【請求項 6】**

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の水素製造装置において、  
前記電源の発電量に基づく設定値を入力する機能と、  
前記設定値に基づいて前記水蒸気の目標流量を演算し、この目標流量に対応する流量調節弁の操作信号を前記水蒸気発生部に出力する機能と、  
前記水蒸気の流量の測定値を入力し、この測定値に基づいて前記セルスタックへの目標電流を演算し、この目標電流に対応するパルス幅の設定信号を前記電力供給部に出力する機能と、  
を有する制御部を備える水素製造装置。

40

**【請求項 7】**

請求項 6 に記載の水素製造装置において、  
前記水蒸気の目標流量の演算及び前記セルスタックへの目標電流の演算の少なくとも一方に遅れ要素が組み込まれる水素製造装置。

**【請求項 8】**

電源が電力を発電するステップと、  
水蒸気発生部が前記電力の発電量に基づいて水蒸気を発生するステップと、  
前記電力の供給により前記水蒸気を水素と酸素に電解するセルスタックが、予め定めたセル温度に設定されるステップと、

50

電圧調整部が、前記セルスタックにおける吸熱と発熱とがバランスする熱中立点に、前記電力の電圧を調整するステップと、

電力供給部が、電圧が前記熱中立点に調整された電力を、前記水蒸気の流量に基づきパルス幅制御して、前記セルスタックに供給するステップと、を含むことを特徴とする水素製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、供給電力が変動する電源を用いて水素を製造する技術に関する。

【背景技術】

10

【0002】

水素を主たるエネルギー媒体として用いる水素エネルギー社会の実現が注目されている。水素を効率よく製造する技術として、高温水蒸気電解法が広く知られている。この高温水蒸気電解法は、固体酸化物電解セル(SOEC: solid oxide electrolysis cells)を用いて、500以上(通常は700程度)の高温にて水蒸気を電気分解することにより水素及び酸素を生成する。

【0003】

この方法の特徴は、高温環境下で水蒸気を電解することにより、常温下での水電解に比べて電気分解に必要な電力を低減させることができることである。さらに、高温であるので電極の反応活性が高く電極過電圧が小さい、さらに、環境の熱を利用して電解反応が進む。この特性のために、電解時に固体酸化物電解セルで発生する電解損失熱を、電解反応に利用することができる特徴がある。このため固体酸化物電解セルは、電解時にエネルギー損失なく水蒸気を電解できる有利な特徴を持つ。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2002-348694号公報

【特許文献2】特開2005-281716号公報

【特許文献3】特開2013-49600号公報

【特許文献4】特開2016-37643号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

SOEC電解装置における主な消費エネルギーは、電解電力の他に、電気炉や配管に設置する電気ヒータの保温電力、及び水を加熱して水蒸気を作るためのボイラ電力がある。ここで、電解電力は水素製造量に比例するので製造効率[kWh/Nm<sup>3</sup>]は一定である。また保温電力は、水素製造量とは関係なく一定であり、電源からの供給電力の変動との関連性はない。

【0006】

そして、ボイラ電力は、水蒸気の利用効率(電解に使われた水蒸気量/供給した水蒸気量)が一定であれば、電源からの供給電力に依存することなく水素製造効率[kWh/Nm<sup>3</sup>]を変動させることはない。しかし、ボイラ電力は、電源からの供給電力の変動に伴い水蒸気利用効率が低下すると、電解されない余剰水蒸気を生成した電力が損失となり水素製造効率[kWh/Nm<sup>3</sup>]を低下させる。このことから、電源からの供給電力の変動に関わりなく高い水素製造効率を維持するために、余剰水蒸気の生成を削減するSOEC電解装置の構造と制御方法が求められる。

40

【0007】

さらに、SOECの水素ライン下流における流体成分は、水蒸気と水素という分子量の大きく異なるガス成分からなる。このため、水蒸気と水素の成分率が大きく変化すると、水素ライン下流側の圧損も大きく変化する。一方、酸素ラインの圧力は生成した酸素の量

50

にのみ関係する。この結果、水蒸気と水素の成分率の変化が、水素極と酸素極に圧力差を生じさせてSOECにダメージを与え、水素の製造を不安定化させることになる。このことから、電源からの供給電力の変動に関わりなく、SOECの水素ライン下流側における水蒸気と水素の成分率は、変化しないことが望ましい。

【0008】

本発明の実施形態はこのような事情を考慮してなされたもので、供給電力が変動する電源を用いて高効率で安定的に水素を製造する技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

実施形態に係る水素製造装置において、電力を発電する電源と、前記電力の発電量に基づいて水蒸気を発生する水蒸気発生部と、前記電力の供給により前記水蒸気を水素と酸素に電解するセルスタックと、予め定めたセル温度に設定された前記セルスタックにおける吸熱と発熱とがバランスする熱中立点に前記電力の電圧を調整する電圧調整部と、電圧が前記熱中立点に調整された前記電力を前記水蒸気の流量に基づきパルス幅制御して前記セルスタックに供給する電力供給部と、を備えている。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明の実施形態により、供給電力が変動する電源を用いて高効率で安定的に水素を製造する技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

20

【0011】

【図1】本発明の第1実施形態に係る水素製造装置の構成図。

【図2】固体酸化物電解セル(SOEC)の吸発熱特性を示すグラフ。

【図3】固体酸化物電解セル(SOEC)の電流-電圧特性を示すグラフ。

【図4】電力供給部におけるパルス幅制御(PWM制御)を説明するグラフ。

【図5】セルスタックを構成する単位セルの内部を流れる水素と水蒸気の成分の推定分布を示すグラフ。

【図6】第2実施形態に係る水素製造装置の構成図。

【図7】第3実施形態に係る水素製造装置の構成図。

【図8】(A)(B)各実施形態に適用される制御部の回路図。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

(第1実施形態)

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。図1に示すように第1実施形態に係る水素製造装置10は、電力を発電する電源11と、この電力の発電量に基づいて水蒸気を発生する水蒸気発生部20と、この電力の供給により水蒸気を水素と酸素に電解するセルスタック12と、予め定めたセル温度に設定されたセルスタック12における吸熱と発熱とがバランスする熱中立点に電力の電圧を調整する電圧調整部13と、電圧が熱中立点に調整された電力を水蒸気の流量に基づきパルス幅制御してセルスタック12に供給する電力供給部18と、を備えている。

40

【0013】

電源11は、太陽光や風力等の再生可能エネルギーを変換した電力を発電するものが例示される。しかし電源11は、このような再生可能エネルギーを利用するものに限定されることは特に無く、化石エネルギーを利用するものであってもよい。

【0014】

水蒸気発生部20は、電源11における電力の発電量に基づいて水蒸気を発生する。水蒸気発生部20は、水蒸気を供給して水素を回収する水蒸気-水素ライン43と、空気を流して生成した酸素を排気する空気-酸素ライン47に接続している。

【0015】

水蒸気-水素ライン43の一端の水素極入口41の側には、熱回収のための熱交換器2

50

5を介して水蒸気を発生するボイラ21が設置されている。そしてボイラ21で発生した水蒸気は、流量調節弁22により流量が調整される。さらに水蒸気は、電気炉15の雰囲気中で高温となって水素極出口42から排気される流体(水素)の熱によって熱交換器25において加熱された後に、水素極入口41に入力される。なお、後述するが流量調節弁22の調整量は、電源11の発電量の情報に基づいて決定される。

【0016】

空気-酸素ライン47の酸素極出口46の下流側には、熱回収のための熱交換器26が設置されている。そして空気-酸素ライン47の酸素極入口45の上流側には、圧縮空気を出力するコンプレッサ(図示略)が熱交換器26を介して設置されている。

【0017】

そして、酸素極入口45に圧縮空気が入力されることで、SOECで生成した酸素ガスが酸素極出口46から排出される。さらに酸素極入口45への供給流体(空気)は、電気炉15の雰囲気中で高温となって酸素極出口46から排気される流体(空気+酸素)の熱によって熱交換器26において加熱される。

【0018】

セルスタック12は、平板形状の固体酸化物電解セル(SOEC: solid oxide electrolysis cells)(図示略)が、その厚み方向に積層して構成されている。このSOECは、流動する水蒸気( $H_2O$ )を還元して水素ガス( $H_2$ )及び酸素イオン( $O^{2-}$ )を生成する水素極(図示略)と、この水素極が片面に設けられ生成した酸素イオン( $O^{2-}$ )を反対面に輸送する電解質(図示略)と、この電解質の反対面に設けられ輸送された酸素イオン( $O^{2-}$ )を酸化して酸素ガス( $O_2$ )を生成する酸素極(図示略)と、から構成されている。

【0019】

第1実施形態においてセルスタック12<sub>mn</sub>は、電力供給のために複数(図示はn=8)のものが互いに直列接続された、複数(図示はm=3)のグループを形成している。そして、隣接するグループを横断するようにセルスタック12<sub>mn</sub>のそれぞれの水素極を並列に接続した水蒸気-水素ライン43、それぞれの酸素極を並列に接続した空気-酸素ライン47が設けられている。

【0020】

そして、水蒸気-水素ライン43の両端には、原料としての水蒸気を入力するための水素極入口41と電気分解により生成した水素ガスを出力するための水素極出口42とが設けられている。さらに、空気-酸素ライン47の両端には、パージ目的の空気を入力するための酸素極入口45とこの空気及び電気分解により生成した酸素ガスを排出するための酸素極出口46とが設けられている。このように、全てのセルスタック12<sub>mn</sub>が水蒸気-水素ライン43及び空気-酸素ライン47に対し、並列に接続されていることにより、圧損を小さくすることができる。

【0021】

そして、セルスタック12を構成する全ての固体酸化物電解セル(SOEC)は、電気炉15の内部に収容され、電気ヒータ16により700程度の高温に保持されている。このように高温環境下で水蒸気を電解することにより、常温下での水電解に比べて電気分解に必要な電力を低減させることができる。

【0022】

図2は固体酸化物電解セル(SOEC)の吸発熱特性を示すグラフである。水の電解は吸熱反応であるため、電流密度の増加に伴いセル温度が低下していく。更に電流密度を増加するとセルのオーム損による発熱反応が吸熱を上回り、セル温度は上昇に転じる。そして、丸印の部分が吸熱と発熱がバランスする熱中立点となる。

【0023】

この吸熱と発熱がバランスする熱中立点においては、SOECは発熱も吸熱もしないが、これ以下のセル温度では吸熱して温度が低下する。逆に熱中立点以上のセル温度ではSOECは発熱して温度が上昇する。したがって、熱中立点に相当するセル温度及びセル電

10

20

30

40

50

圧で水電解することは、エネルギーを新規投入することなくセル温度を維持でき、水素の生成効率の観点から望ましい。また、セル温度が熱中立点に固定されて水電解がなされることにより、セラミックスで構成されるSOECの温度変化が小さくなり、耐久性の観点からも望ましい。

【0024】

電圧調整部13(図1)は、電源11からの供給電力が交流である場合、電圧調整部13は、整流器(図示略)で直流に変換後、DC/DCコンバータ(図示略)で所定の中立点電圧に変換する。電源11からの供給電力が直流の場合には整流器は不要である。

【0025】

図3は固体酸化物電解セル(SOEC)の電流-電圧特性を示すグラフである。SOECにおいて、熱中立点における単セル電圧は、理論的に約1.3Vである。そして電流が流れ始める単セルの開回路電圧は約0.9Vである。SOECの電流-電圧特性は、この開回路電圧(0.9V)を超えたところで、セル電圧の増加に伴い電流密度が増加する。

10

【0026】

図4は電力供給部18におけるパルス幅制御(PWM:Pulse Width Modulation)を説明するグラフである。電力供給部18(図1)は、水蒸気発生部20で発生した水蒸気の流量に基づいて、電圧が熱中立点に調整された電力をパルス幅制御し、セルスタック12に供給する。矩形波電圧は、熱中立電圧と0Vを繰り返す。平均電解電圧は熱中立電圧を保つ時間と矩形波の発生周期の比(デューティ比)で決まる。

【0027】

20

電源11が大きな電力を供給しているとき、すなわち水蒸気発生部20で発生した水蒸気の流量が大きいときはデューティ比を大きくして平均電解電圧を大きくする。逆に、水蒸気の流量が小さいときにはデューティ比を小さくして平均電解電圧を小さくする。これにより、電源11の供給電力の変動に合わせた電解が可能となる。

【0028】

図4に示すPWM制御では、低位電圧は電流が0Aとなる0V状態としているが、図3に示すように低位電圧を開回路電圧(約0.9V)まで低下すれば電解電流は0Aとなるため、低位電圧を開回路電圧(約0.9V)にしてPWM制御してもよい。PWM制御によれば、矩形波状の電解電圧を印加する場合には、吸発熱のバランスがとれた2点でON-OFFを繰り返すことにより、外部からの加熱、冷却がない一定温度の状態の水素ガスの生成量の調整を行うことができる。

30

【0029】

図1に示すように電力供給部18(18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, 18<sub>3</sub>)は、電気的に直列接続されたn個のセルスタック12が、m個の別々のグループにまとめられて、合計m×n個(図中、3×8=24個)接続されている。それぞれのグループには、電力供給部18(18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, 18<sub>3</sub>)からそれぞれ独立に電解を行うための電力が供給される。これは、複数のセルスタック12を電気的に並列接続すると、各々のセルスタック12を熱中立点電圧に維持することが難しくなる場合があるからである。

【0030】

それぞれのグループに接続する電力供給部18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, 18<sub>3</sub>は、電圧調整部13から供給される電力の電圧を半導体スイッチS1, S2により矩形波状に加工する。スイッチS1, S2の両方が同時にONになることはなく、電圧の+側に接続されたスイッチS1は、ONのときにプラス電圧をセルスタック12に供給する。グラウンド(0V)に接続されたスイッチS2がONのときには0Vをセルスタック12に供給する。電圧調整部13が出力する電圧Vは、グループで直列接続されるセルスタック12の数nに、このセルスタック12に積層されるSOECの数pを積算し、さらに熱中立点電圧(1.3V)を積算した次式で表される。

40

$$V = n \times p \times 1.3 \text{ [V]}$$

【0031】

図5はセルスタックを構成する単位セルの内部を流れる水素と水蒸気の成分の推定分布

50

を示すグラフである。横軸はSOEC内部の水素極のフローチャネルの流れに沿って20分割したときの、チャネル上の位置を示す。左端が入口、右端が出口である。縦軸は水素ガス及び水蒸気の各々の流量を示す。

#### 【0032】

図5の例では、矩形波電圧の周期は、このフローチャネルの通過時間の1/10、デューティ=0.5である。流れに沿って10ステップの階段状に水蒸気が電解され、水素が生成していく様子が観測される。矩形波電圧ONにおいては、水蒸気の電解が行われて水素が増加する。矩形波電圧OFFにおいては電解が行われないため、水蒸気と水素は水平となる。

#### 【0033】

このように電解電圧が矩形波状に印加されることになるが、全体としては滑らかに水蒸気の電解が進んでいく。ここで、矩形波電圧のパルス幅は、水蒸気がSOECを通過するのに必要とする時間(通過時間)より十分に小さな値とする必要がある。高位電位ONの時間が長いと、その間電解が継続するため、例えばデューティが規定値であってもSOEC右端の出口で水蒸気枯れが起きる恐れがある。従って、矩形波電圧のパルス幅は水蒸気のSOEC通過時間より十分に小さな値、例えば一桁以上ということで10分の1より短い時間となるように周期を定める必要がある。

#### 【0034】

このように、再生可能エネルギーを利用する電源11からの供給電力が変動しても、セルスタック12を構成するSOECは熱中立点にあるので、SOECは発熱も吸熱もしない。この結果、SOECスタック全体を均一な温度に保つことができる。また、半導体スイッチのデューティ比により電解電圧を制御するので、応答時間がミリ秒単位の高速度出力制御が可能である。

#### 【0035】

(第2実施形態)

図6は第2実施形態に係る水素製造装置10の構成図である。なお、図6において図1と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。第2実施形態の水素製造装置10には、第1切替部17及び第2切替部19が設けられている。

#### 【0036】

第1切替部17(17<sub>1</sub>, 17<sub>2</sub>, 17<sub>3</sub>, 17<sub>4</sub>)は、電力供給のために複数のセルスタック12を互いに直列接続させたグループに対し、この電力の供給/停止をそれぞれ独立に切り替えるものである。第2切替部19は、電力が供給されるセルスタック12のグループに対し水蒸気を供給し、電力が停止されるグループに対し水蒸気を停止するように切り替えるものである。そして、第1切替部17及び第2切替部19は、電源11の発電量に基づいて、電力供給及び水蒸気供給をするグループの数を変更する。

#### 【0037】

なお、第1切替部17及び第2切替部19の設定は、制御部30(図1)で行うことができる。なお電力の供給/停止を行う第1切替部17は、別個に設ける必要はなく、電力供給部18(18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, 18<sub>3</sub>, 18<sub>4</sub>)のスイッチS1(図1)をON/OFFすることにより第1切替部17の機能を兼務させることができる。

#### 【0038】

図6の例示は、電氣的に直列接続した6個のセルスタック12で一つのグループが形成され、4つのグループのそれぞれに対し、水素極入口41(41<sub>1</sub>, 41<sub>2</sub>, 41<sub>3</sub>, 41<sub>4</sub>)、水素極出口42(42<sub>1</sub>, 42<sub>2</sub>, 42<sub>3</sub>, 42<sub>4</sub>)、酸素極入口45(45<sub>1</sub>, 45<sub>2</sub>, 45<sub>3</sub>, 45<sub>4</sub>)、酸素極出口46(46<sub>1</sub>, 46<sub>2</sub>, 46<sub>3</sub>, 46<sub>4</sub>)が設けられている。なお、水素極入口41(41<sub>1</sub>, 41<sub>2</sub>, 41<sub>3</sub>, 41<sub>4</sub>)の各々は、水蒸気発生部20(図1)に対して並列に接続されている。その他の水素極出口42(42<sub>1</sub>, 42<sub>2</sub>, 42<sub>3</sub>, 42<sub>4</sub>)、酸素極入口45(45<sub>1</sub>, 45<sub>2</sub>, 45<sub>3</sub>, 45<sub>4</sub>)、酸素極出口46(46<sub>1</sub>, 46<sub>2</sub>, 46<sub>3</sub>, 46<sub>4</sub>)についても同様である。そして、第2切替部19は、電力供給されて

10

20

30

40

50

いるグループの水素極入口 4 1、水素極出口 4 2、酸素極入口 4 5、酸素極出口 4 6 を開放し、それ以外を遮断する。

【 0 0 3 9 】

これにより 4 つのグループの S O E C は、水蒸気供給及び電力供給が独立に行なわれる。なお水蒸気の供給 / 停止は、各々のグループに設けられた流量調節弁（図示略）で行う。このような構成により、例えば、第 1、第 2、第 3 グループの運転を行って第 4 グループを停止することにより 7 5 % 運転を実現でき、第 1、第 2 グループの運転を行って第 3、第 4 グループを停止することにより 5 0 % 運転を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

電気炉 1 5 は 7 0 0 程度の高温に保持されているため、電気炉 1 5 の内部にスイッチ等を設置して電氣的な切替を行うことは困難である。また、電気炉 1 5 の内部に弁等を設置して水蒸気の流路切替を行うことも困難である。また、電気炉 1 5 の外部の常温雰囲気にはスイッチや弁を置くことは可能であるが、電気炉 1 5 に多数の配管貫通部や電線貫通部を設けることになり、保温構造が成立しない。第 2 実施形態においては、電源 1 1 の供給電力が大きく変動しても、それぞれのグループを独立に運転 / 停止して水素を生成するグループの数を調整することで、高効率で安定的な水素製造が実現される。

【 0 0 4 1 】

（第 3 実施形態）

図 7 は第 3 実施形態に係る水素製造装置の構成図である。なお、図 7 において図 1 と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【 0 0 4 2 】

第 3 実施形態においてセルスタック 1 2<sub>mn</sub> は、電力供給のために複数（図示は n = 8）のものが互いに直列接続された、複数（図示は m = 3）のグループを形成している。そして、隣接するグループを横断するようにセルスタック 1 2<sub>mn</sub> のそれぞれの水素極を直列に接続した水蒸気 - 水素ライン 4 3、それぞれの酸素極を直列に接続した空気 - 酸素ライン 4 7 が設けられている。第 1 実施形態と第 3 実施形態の相違点は、グループを横断する水素極及び酸素極が第 1 実施形態では並列接続されているのに対し第 3 実施形態では直列接続されている点である。

【 0 0 4 3 】

図 7 の例示においては、8 個のセルスタック 1 2<sub>mn</sub> が電氣的に直列接続してなるグループが 3 つ形成されている。電源 1 1 の発電量が大きい場合には、第 1、第 2、第 3 グループ全てを運転状態として水素の製造能力を最大化する。そして電源 1 1 の発電量が減少した場合には例えば第 1、第 2 グループのみ運転状態として、第 3 グループを停止する。更に減少した場合には例えば第 1 グループのみ運転状態として、第 2、第 3 グループを停止する等の方法で、水素の製造能力を調節する。

【 0 0 4 4 】

それぞれのグループの運転 / 停止は、対応する電力供給部 1 8 の S 1 スwitch の ON / OFF することで実現できるが、別個に第 1 切替部 1 7（図 6）を設けて実現してもよい。第 3 実施形態では、水素極ガスが全てのセルスタック 1 2 を通過するので、全ての水素極において平等に水蒸気の電解がなされ、水蒸気 - 水素ライン 4 3 の合流点において水素分圧と水蒸気分圧が等しい状態で合流し水素極出口から出力される。

【 0 0 4 5 】

この構成をとることにより、電解電流によらず水蒸気利用率を一定に保つことができ、運転しているグループの数にかかわらず、生成する水素ガスと未反応の水蒸気の成分比を一定に保つことができる。また、全ての水素極ガスが平等に電解を受けるために、一部のセルスタック 1 2 で水蒸気枯れを起こしたり、逆に水蒸気を多く含んだまま S O E C から排出されたりすることがない。この結果、S O E C の下流側の水素極ガスの成分比が一定なので、S O E C の水素極と酸素極の圧力差が大きくなることはなく、S O E C にダメージを与えることがない。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

図 8 ( A ) ( B ) は、各実施形態に適用される制御部 3 0 ( 図 1 参照 ) の回路図である。なお、図 8 において図 1 と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【 0 0 4 7 】

このように制御部 3 0 は、電源 1 1 ( 図 1 ) の発電量に基づく設定値 3 1 を入力する機能と、この設定値 3 1 に基づいて水蒸気の目標流量を演算し、この目標流量と流量計 2 7 で測定された水蒸気流量の測定値 3 6 が加算器 3 4 に入力され、目標流量と測定値 3 6 の偏差が P I 制御器 3 2 に入力され、この P I 制御器 3 2 で演算された流量調節弁 2 2 の操作信号 3 5 を水蒸気発生部 2 0 に出力する機能と、この水蒸気発生部 2 0 の流量計 2 7 で測定された水蒸気流量の測定値 3 6 を入力しこの測定値 3 6 に基づいてセルスタック 1 2 ( S O E C ) への目標電流 ( 電解電流設定値 ) を演算し、この目標電流と電流計 2 8 で測定された電流値 3 9 が加算器 4 0 に入力され、目標電流と電流値 3 9 の偏差が P I 制御器 3 7 に入力され、この P I 制御器 3 7 で演算されたパルス幅の設定信号 3 8 を電力供給部 1 8 に出力する機能と、を有している。

10

【 0 0 4 8 】

そして、水蒸気の目標流量の演算は水蒸気流量の測定値 3 6 をフィードバックさせて実行され、設定値 S V > 測定値 P V であればプラス偏差が P I 制御器 3 2 に入力され、流量調節弁 2 2 を所定量開とする操作信号 M V が出力され、設定値 S V < 測定値 P V であればマイナス偏差が P I 制御器 3 2 に入力され、流量調節弁 2 2 を所定量閉とする操作信号 M V が出力され、設定値 S V = 測定値 P V となると偏差 0 であるため、P I 制御器 3 2 から

20

【 0 0 4 9 】

さらに、水蒸気のセルスタック 1 2 ( S O E C ) の目標電流の演算は電力供給部 1 8 の下流で電流計 2 8 が測定した電流値 3 9 をフィードバックさせて実行され、上記水蒸気流量の制御と同様に、設定値 S V > 測定値 P V であればプラス偏差が P I 制御器 3 7 に入力され、電力供給部 1 8 を電解電流が増加する方向にパルス幅の設定をする操作信号 M V が出力され、設定値 S V < 測定値 P V であればマイナス偏差が P I 制御器 3 7 に入力され、電力供給部 1 8 にパルス幅を電解電流が減少する方向に設定する操作信号 M V が出力され、設定値 S V = 測定値 P V となると偏差 0 であるため、P I 制御器 3 7 からの操作信号 M V は変わらずパルス幅の設定は維持される。

30

【 0 0 5 0 】

そして、図 8 ( A ) においては、水蒸気の目標流量がフィードバック演算される直前に遅れ要素 3 3 a が組み込まれている。そして、図 8 ( B ) においては、セルスタック 1 2 ( S O E C ) の目標電流がフィードバック演算される直前に遅れ要素 3 3 b が組み込まれている。なお、これら遅れ要素 3 3 a , 3 3 b は、両方設けられる場合もあり、両方設けられない場合もある。

【 0 0 5 1 】

電源 1 1 の発電量を表す設定値 3 1 は、比例ゲイン K で定数倍される。この定数倍した設定値 3 1 と蒸気流量計 2 7 で計測した蒸気流量の測定値 3 6 とを比較し、蒸気流量の目標流量を P I 制御で演算し対応する操作信号 3 5 で蒸気の流量調節弁 2 2 を開閉してセルスタック 1 2 に供給する蒸気流量を調整する。

40

【 0 0 5 2 】

また、この蒸気流量の測定値 3 6 を比例ゲイン K で定数倍し、電流計 2 8 で計測した電流値 3 9 と比較し、セルスタック 1 2 ( S O E C ) への目標電流を P I 制御で演算し対応するパルス幅の設定信号 3 8 を電力供給部 1 8 に出力する。この電力供給部 1 8 は、電気炉 1 5 内で高温に保持されたセルスタック 1 2 に、P W M 制御された直流電流を供給し水蒸気の電気分解を行わせる。

【 0 0 5 3 】

ボイラ 2 1 は、圧力制御と水位制御の組み合わせで蒸気発生量を調節している ( ボイラのローカル制御 ) 。セルスタック 1 2 への水蒸気供給量を増加するために蒸気流量調節弁

50

22を開とすると、ボイラ圧力が低下する。これを検知して圧力制御で電気ヒータをONとして蒸気発生量を増加させる。蒸気発生量が増加してボイラ水位が低下すると、水位制御で給水ポンプをONとしてボイラに水を供給する。

【0054】

以上の構成により、電源11から供給される電力に対応し電気分解に必要な適切量の水蒸気を、ボイラ21からセルスタック12に供給することができる。そして、蒸気流量が変化したことを、蒸気流量計27の測定値36で確認する。そのうえで、この水蒸気流量の測定値36に対応した電圧パルス幅制御を電力供給部18が実行し、セルスタック12に適切量の電解電流を供給して、セルスタック12における水蒸気枯れを防止する。

【0055】

余剰の水蒸気を発生させればボイラエネルギーが無駄になり水素製造効率が低下する。逆に、発生水蒸気量が不足すれば、電源11の発電量に追従した電解運転ができなくなるだけでなく水蒸気枯れによるダメージをセルスタック12に与えてしまう。各実施形態によれば、セルスタック12にて水蒸気枯れを起こさず、かつ、水蒸気の利用度を適切に保つように、蒸気流量及び電解電流を制御することができる。

【0056】

次に、SOECによる電解の制御性を改善する方策を説明する。図8(A)に示すように、追加した遅れ要素33aを介して、設定値31に基づき水蒸気目標流量を演算する。遅れ要素33aとしては一次遅れ等のフィルタを設置する。水素製造プロセスは水蒸気が流れている状態であり、ステップ状に水蒸気目標流量が変更されると圧力が変動してセルスタック12に悪影響を及ぼす。そこで、適当な一次遅れ時定数をもつ遅れ要素33aが設置されることで、水蒸気目標流量がゆっくりと変更されるように制御演算される。

【0057】

図8(B)に示すように、追加した遅れ要素33bを介して、水蒸気流量の測定値36に基づきセルスタック12(SOEC)への目標電流を演算する。水蒸気流量の測定値36は蒸気流量調節弁22の下流に設置した蒸気流量計27で計測される。このため、セルスタック12までの蒸気輸送に遅れがあることを鑑みると、電源11の発電量が上昇して水蒸気流量の測定値36が増加しても、その時点ではセルスタック12における蒸気流量は直前の値のままである。このため、パルス幅の設定信号38を応答良く調整すると、電解電流が瞬時に増加してしまい、蒸気枯れが発生してセルスタック12にダメージを与える恐れがある。

【0058】

遅れ要素33bが設置されることにより、水蒸気流量の測定値36の増加時は、水蒸気がセルスタック12に輸送される相当の期間において、現状のパルス幅の設定信号38が保持される。そして、水蒸気流量の測定値36の減少時は、電解電流が減少する方向に、即座にパルス幅の設定信号38を演算する。

【0059】

以上説明した制御部30の機能は、専用のチップ、PLC(Programmable Logic Controller)、FPGA(Field Programmable Gate Array)、GPU(Graphics Processing Unit)、又はCPU(Central Processing Unit)などのプロセッサを高集積化させた制御装置と、ROM(Read Only Memory)やRAM(Random Access Memory)などの記憶装置と、HDD(Hard Disk Drive)やSSD(Solid State Drive)などの外部記憶装置と、ディスプレイなどの表示装置と、マウスやキーボードなどの入力装置と、通信I/Fとを、備えたハードウェア構成で実現できる。

【0060】

以上述べた少なくともひとつの実施形態の水素製造装置によれば、電圧が熱中立点に調整された電力を電源の発電量に基づきパルス幅制御してセルスタックに供給することにより、供給電力が変動する電源を用いて高効率で安定的に水素を製造することが可能となる。

10

20

30

40

50

【0061】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

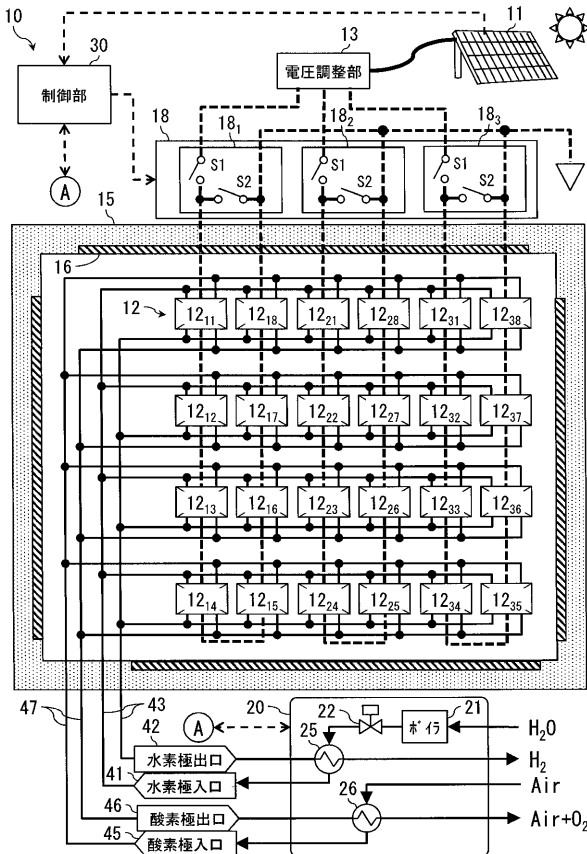
【符号の説明】

【0062】

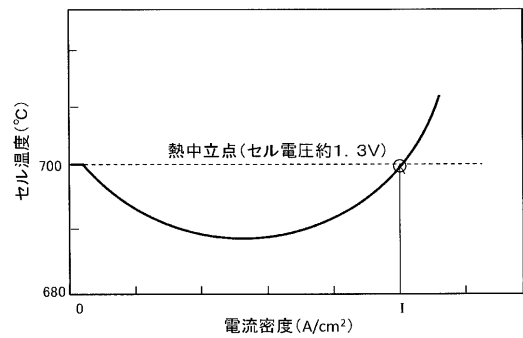
10 ... 水素製造装置、11 ... 電源、12 ... セルスタック、13 ... 電圧調整部、15 ... 電気炉、16 ... 電気ヒータ、17 ... 切替部、18 ... 電力供給部、19 ... 切替部、20 ... 水蒸気発生部、21 ... ボイラ、22 ... 流量調節弁、25, 26 ... 熱交換器、27 ... 流量計、28 ... 電流計、30 ... 制御部、31 ... 設定値、32 ... PI制御器、33a, 33b ... 遅れ要素、34 ... 加算器、35 ... 操作信号、36 ... 測定値、37 ... PI制御器、38 ... 設定信号、39 ... 電流値、40 ... 加算器、41 ... 水素極入口、42 ... 水素極出口、43 ... 水素ライン、45 ... 酸素極入口、46 ... 酸素極出口、47 ... 酸素ライン。

10

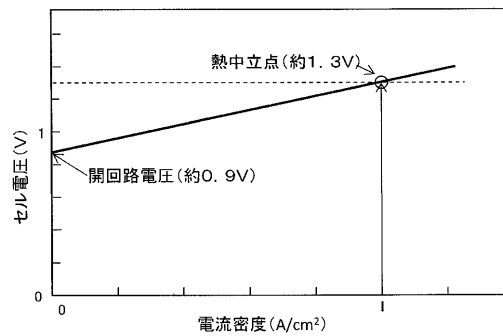
【図1】



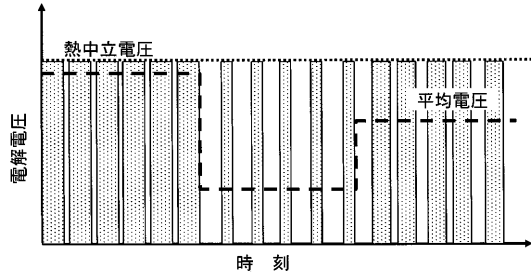
【図2】



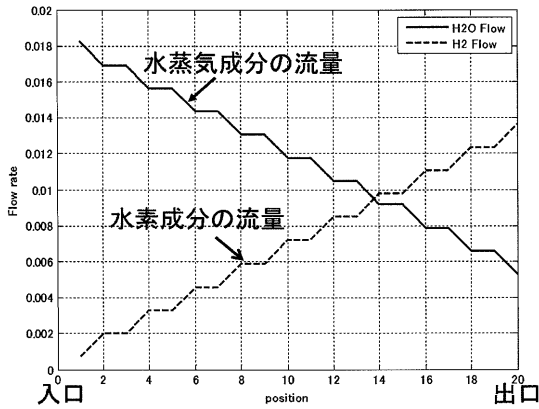
【図3】



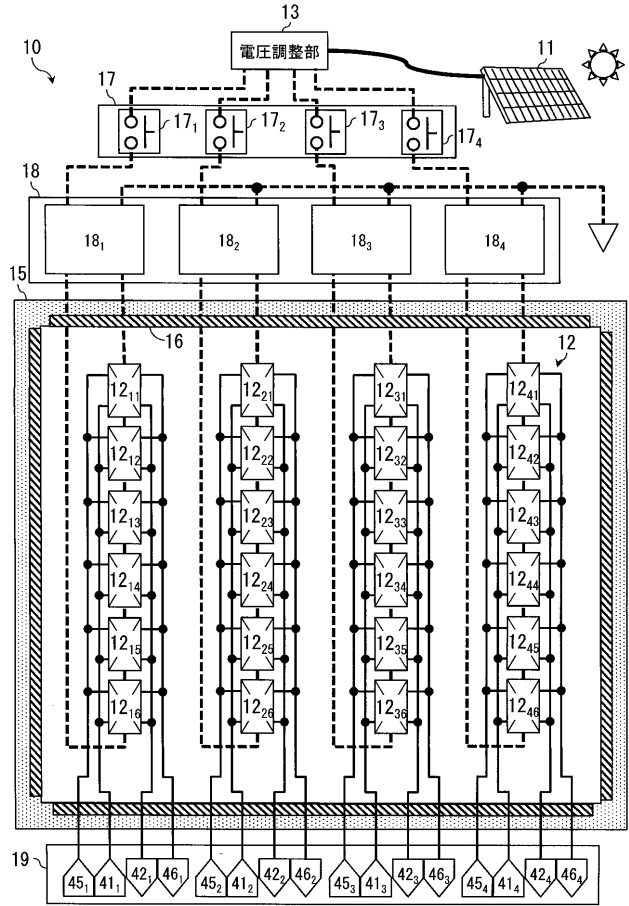
【図4】



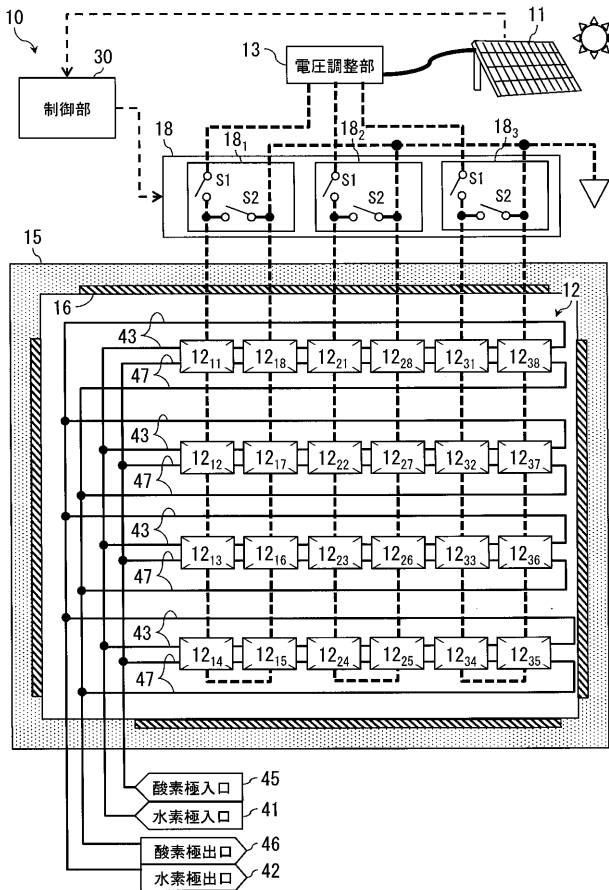
【図5】



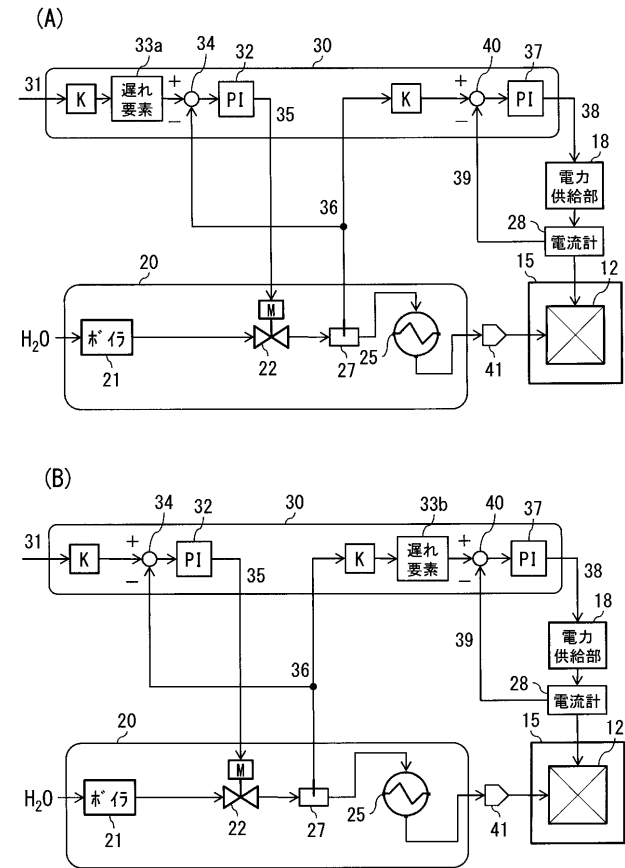
【図6】



【図7】



【図8】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 山田 正彦  
神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 亀田 常治  
神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 高木 康夫  
愛知県名古屋市南区滝春町10番地3 学校法人 大同大学内
- Fターム(参考) 4K021 AA01 BB03 BC05 CA06 CA09 DC03