

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5437446号
(P5437446)

(45) 発行日 平成26年3月12日 (2014. 3. 12)

(24) 登録日 平成25年12月20日 (2013. 12. 20)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04 (2006. 01)	HO 1 M 8/04 X
HO 1 M 8/10 (2006. 01)	HO 1 M 8/10
HO 1 M 8/00 (2006. 01)	HO 1 M 8/04 J
	HO 1 M 8/04 P
	HO 1 M 8/00 Z

請求項の数 19 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2012-149381 (P2012-149381)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成24年7月3日 (2012. 7. 3)		本田技研工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2007-228223 (P2007-228223) の分割		東京都港区南青山二丁目1番1号
原出願日	平成15年9月8日 (2003. 9. 8)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(65) 公開番号	特開2012-212683 (P2012-212683A)	(74) 代理人	100146835 弁理士 佐伯 義文
(43) 公開日	平成24年11月1日 (2012. 11. 1)	(74) 代理人	100175802 弁理士 寺本 光生
審査請求日	平成24年7月3日 (2012. 7. 3)	(74) 代理人	100094400 弁理士 鈴木 三義
		(74) 代理人	100126664 弁理士 鈴木 慎吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両用燃料電池システムの氷点下起動方法と、車両用燃料電池システムの氷点下起動システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固体高分子電解質膜および電極を備えた膜電極構造体とセパレータとを複数積層してなる車両用の固体高分子型燃料電池スタックを用いた車両用燃料電池システムの氷点下における起動方法であって、

前記燃料電池システムは、

前記セパレータが金属製で断面波形構造をなし、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路にされた固体高分子型燃料電池スタックを用い、

前記燃料電池スタックの空気通路全体に空気を供給し、

前記燃料電池スタックの燃料通路全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、摂氏マイナス10度を下回る温度に予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0℃以上となる所定値であり、

氷点下において前記冷媒通路に冷媒が充填された状態で前記燃料電池スタックに反応ガ

10

20

ス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給して起動し、

前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御して、該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱により該燃料電池スタックを前記予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から 0°C 以上に昇温することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 2】

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、電極部分を積層方向に重ねてできる立体の範囲において単セル当たり単位面積当たり、 $0.04 \sim 0.33 \text{ J/K cm}^2$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の車両用燃料電池システム

10

【請求項 3】

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基づいて決まる最大熱容量よりも小さく、前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 4】

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と、該起動開始温度から前記発電を開始したときに膜電極構造体が発電不能となる起動制限時間とに基づいて決まる最大熱容量よりも小さいことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

20

【請求項 5】

前記燃料電池スタックの出力電流が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 6】

予め設定された出力電流マップに従って前記燃料電池スタックの出力電流が制御されることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

30

【請求項 7】

前記燃料電池スタックの出力電圧が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 8】

前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成された空間が冷媒通路にされており、前記冷媒通路の断面積は前記反応ガス通路の断面積よりも小さいことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

40

【請求項 9】

前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成される複数の空間のうち一部は冷媒通路とされ、他は空気層とされていることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 10】

前記燃料電池スタックは、互いに隣接する膜電極構造体の間に複数のセパレータを積層してなる第 1 流体通路部と、互いに隣接する膜電極構造体の間に単一のセパレータを配置してなる第 2 流体通路部とを有し、前記第 1 流体通路部および第 2 流体通路部において前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間は反応ガス通路とされ、前記第

50

1 流体通路部において積層されたセパレータ間に形成される空間は冷媒通路とされていることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 1 1】

固体高分子電解質膜および電極を備えた膜電極構造体と断面波形構造の金属製のセパレータとを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路にされている車両用の燃料電池スタックに、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態で反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給し、該燃料電池スタックを予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から 0 ° C 以上に昇温するように車両用燃料電池システムを起動する方法であって、

10

前記燃料電池システムは、

前記燃料電池スタックの空気通路全体に空気を供給し、

前記燃料電池スタックの燃料通路全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、

前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス 10 度を下回る温度であり、

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量が、前記予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が 0 ° C 以上となる所定値である燃料電池スタックを用いて、

20

前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 1 2】

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、電極部分を積層方向に重ねてできる立体の範囲において単セル当たり単位面積当たり、0.04 ~ 0.33 J / K c m²であることを特徴とする請求項 1 1 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

30

【請求項 1 3】

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基づいて決まる最大熱容量よりも小さく、前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であることを特徴とする請求項 1 1 または請求項 1 2 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項 1 4】

固体高分子電解質膜および電極を備えた膜電極構造体と断面波形構造の金属製のセパレータとを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路にされている車両用の燃料電池スタックを、予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から 0 ° C 以上に昇温するように車両用燃料電池システムを起動する方法であって、

40

前記燃料電池システムは、

前記燃料電池スタックの空気通路全体に空気を供給し、

前記燃料電池スタックの燃料通路全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、

前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス 10 度を下回る温度であり、

50

前記冷媒通路に冷媒がない状態で前記予め設定された起動開始温度から前記燃料電池スタックの前記発電を行い該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0℃以上となるよう、前記冷媒通路に冷媒がない状態での該燃料電池スタックの熱容量を、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基いて決まる最大熱容量よりも小さい所定値に設定し、

前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であり、

前記冷媒通路に冷媒がない状態で前記燃料電池スタックに反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給して該燃料電池スタックを起動し、

前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項15】

前記燃料電池スタックの出力電圧が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする請求項11から請求項14のいずれか1項に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動方法。

【請求項16】

固体高分子電解質膜および電極を備えた膜電極構造体と断面波形構造の金属製セパレータとを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路にされている車両用の燃料電池スタックと、

前記燃料電池スタックに導入する反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）の流量および圧力と、前記燃料電池スタックの出力電流と出力電圧の少なくともいずれか一方とを制御しつつ該燃料電池スタックを予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から昇温する低温起動制御手段と、

を備えた車両用燃料電池システムの氷点下起動システムにおいて、

前記燃料電池システムは、

前記燃料電池スタックの空気通路全体に空気を供給し、

前記燃料電池スタックの燃料通路全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、

前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス10度を下回る温度であり、

前記低温起動制御手段は、前記膜電極構造体の温度を検出する温度検出手段と、前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて低温起動発電モードか通常発電モードかを判別する発電モード判別手段と、前記発電モード判別手段により低温起動発電モードであると判別された場合に前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御する低温起動時出力制御手段とを備え、

前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0℃以上となる所定値であることを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動システム。

【請求項17】

前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成された空間が冷媒通路にされており、前記冷媒通路の断面積は前記反応ガス通路の断面積よりも小さいことを特徴とする請求項16に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動システ

10

20

30

40

50

ム。

【請求項 18】

前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成される複数の空間のうち一部は冷媒通路とされ、他は空気層とされていることを特徴とする請求項 16 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動システム。

【請求項 19】

前記燃料電池スタックは、互いに隣接する膜電極構造体の間に複数のセパレータを積層してなる第 1 流体通路部と、互いに隣接する膜電極構造体の間に単一のセパレータを配置してなる第 2 流体通路部とを有し、前記第 1 流体通路部および第 2 流体通路部において前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間は反応ガス通路とされ、前記第 1 流体通路部において積層されたセパレータ間に形成される空間は冷媒通路とされていることを特徴とする請求項 16 に記載の車両用燃料電池システムの氷点下起動システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、車両用燃料電池システムの氷点下起動方法と、車両用燃料電池システムの氷点下起動システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

燃料電池の中には、固体高分子電解質膜をアノード電極とカソード電極とで挟持して、膜電極構造体を形成し、この膜電極構造体を一对のセパレータで挟持して単セル（単位燃料電池）とするものがあり、この種の燃料電池では、一般に、単セルを複数積層して燃料電池スタックとして用いる。

【0003】

この燃料電池は、アノード電極の発電面に燃料ガス（例えば、水素ガス）を、カソード電極の発電面に酸化剤ガス（例えば、酸素を含む空気）を供給して化学反応を行い、この間に生じた電子が外部回路に取り出され、直流の電気エネルギーとして利用される。カソード電極においては酸化剤ガス（例えば、酸素を含む空気）が供給されているため、水素イオン、電子、および酸素が反応して水が生成される。このように燃料電池は環境に与える影響が少ないため車両の駆動源として注目されている。

【0004】

また、一般に、この種の燃料電池の作動温度は 70℃～80℃程度とされており、発電に伴う発熱により燃料電池が前記作動温度を超えないように、前記セパレータに設けられた冷媒通路に冷媒を流通させて温度制御を行っている。

【0005】

ところで、この種の燃料電池は、低温時においては発電効率が低下するため低温時ににおける始動性が大きな課題となっている。したがって、燃料電池を車両用として用いた場合に、外気温が低い状態、例えば、氷点下で起動しようとする場合、始動までに時間がかかるという問題がある。

この低温始動対策として、例えば、特許文献 1 に記載されているように、燃料電池の外部負荷に電力を供給することで反応を促進し、自己発熱により温度を上昇させて始動性を向上させるものがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特表 2000-512068 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

10

20

30

40

50

このように自己発熱により燃料電池スタックを暖機する場合に、暖機時間を短縮するために燃料電池スタックに大電流を流して発熱を促進する方法がある。

しかしながら、暖機時間の短縮を図って出力電流を増大させると、発熱量が増大すると同時に、発電に伴ってセル内部で発生する生成水の量も増加し、この生成水が拡散電極層、触媒層内で凍結する結果、反応ガスが固体高分子電解質膜に到達できなくなって急激な電圧降下を招き、結果的に電圧降下を早めるという問題がある。

つまり、いくら出力電流を増大したとしても、自己発熱による温度上昇よりも生成水の凍結の方が速いと、燃料電池スタックが温度上昇する前にセル内の生成水凍結により発電不能になってしまい、目的を達成することはできない。

また、いくら出力電流を増大させようとしても、燃料電池を構成する膜電極構造体には出力可能な最大電流密度が温度に応じて決まっており、それ以上流すことができない。

【0008】

そして、拡散電極層および触媒層において生成水の凍結が生じ、起動に失敗した場合、再び起動動作を行うのは非常に難しい。一般に、燃料電池停止時には、ガスを流すなどのパージが行われており、生成水が拡散電極層等に残らないようになっている。したがって、氷点下であっても、初回の起動時には反応ガスを燃料電池スタックに供給することにより、燃料電池スタックから一時的に電力を取出すことが可能である。しかしながら、一度、生成水の凍結により、拡散電極層および触媒層の空孔が閉塞し、反応ガスが通過できなくなった場合には、反応ガスを燃料電池スタックに供給しても、反応ガスが固体高分子電解質膜に到達せず、燃料電池スタックから電力を取出すことが出来ない。燃料電池スタックから電力を取出すことができなければ、燃料電池スタックの自己発熱により暖機することができない。したがって、燃料電池スタックを氷点下から起動する場合は、初回の起動動作が非常に重要であり、初回の起動動作において暖機に失敗すると、燃料電池スタックは再起動不能の状態に陥る場合がある。

【0009】

そこで、この発明は、予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から燃料電池スタックの発電を開始して、生成水凍結による電圧降下が発生する前に速やかに0℃以上に昇温し発電維持可能にすることができる車両用燃料電池システムの氷点下起動方法と、車両用燃料電池システムの氷点下起動システムを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、請求項1に係る発明は、固体高分子電解質膜（例えば、後述する実施例における固体高分子電解質膜51）および電極（例えば、後述する実施例におけるアノード電極52、カソード電極53）を備えた膜電極構造体（例えば、後述する実施例における膜電極構造体54）とセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55、56、64）とを複数積層してなる車両用の固体高分子型燃料電池スタック（例えば、後述する実施例における燃料電池スタック1）を用いた車両用燃料電池システムの氷点下における起動方法であって、前記燃料電池システムは、前記セパレータが金属製で断面波形構造をなし、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされた固体高分子型燃料電池スタックを用い、前記燃料電池スタックの空気通路（例えば、後述する実施例における空気通路59）全体に空気を供給し、前記燃料電池スタックの燃料通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58）全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、摂氏マイナス10度を下回る温度に予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構

造体の温度が 0°C 以上となる所定値であり、氷点下において前記冷媒通路に冷媒が充填された状態で前記燃料電池スタックに反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給して起動し、前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御して、該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱により該燃料電池スタックを前記予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から 0°C 以上に昇温することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法である。

このように構成することにより、金属製のセパレータは熱容量が小さいので、燃料電池スタックが暖まり易くなり、氷点下起動時の暖機時間を短縮することができる。

ここで、断面波形構造とは、金属板をプレス加工により成形した場合のように、セパレータの表裏で凹凸が対応している構造を意味する。セパレータの表裏で凹凸が対応していれば、断面形状が曲線の場合には限られず、略直角に曲げた矩形の場合も含まれる。

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の発明において、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、電極部分を積層方向に重ねてできる立体の範囲において単セル当たり単位面積当たり、 $0.04 \sim 0.33 \text{ J/K cm}^2$ であることを特徴とする。

請求項3に係る発明は、請求項1または請求項2に記載の発明において、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基づいて決まる最大熱容量よりも小さく、前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であることを特徴とする。

請求項4に係る発明は、請求項1または請求項2に記載の発明において、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と、該起動開始温度から前記発電を開始したときに膜電極構造体が発電不能となる起動制限時間とに基づいて決まる最大熱容量よりも小さいことを特徴とする。

請求項5に係る発明は、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックの出力電流が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする。

請求項6に係る発明は、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の発明において、予め設定された出力電流マップに従って前記燃料電池スタックの出力電流が制御されることを特徴とする。

請求項7に係る発明は、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックの出力電圧が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする。

請求項8に係る発明は、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成された空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされており、前記冷媒通路の断面積は前記反応ガス通路の断面積よりも小さいことを特徴とする。

請求項9に係る発明は、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成される複数の空間のうち一部は冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）とされ、他は空気層（例えば、後述する実施例における空気層62）とされていることを特徴とする。

請求項10に係る発明は、請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、互いに隣接する膜電極構造体の間に複数のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55、56）を積層してなる第1流体通路部（例えば、後述する実施例における第1流体通路部63）と、互いに隣接する膜電極構造体の

10

20

30

40

50

間に単一のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ64）を配置してなる第2流体通路部（例えば、後述する実施例における第2流体通路部65）とを有し、前記第1流体通路部および第2流体通路部において前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間は反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、前記第1流体通路部において積層されたセパレータ間に形成される空間は冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）とされていることを特徴とする。

【0011】

請求項11に係る発明は、固体高分子電解質膜（例えば、後述する実施例における固体高分子電解質膜51）および電極（例えば、後述する実施例におけるアノード電極52、カソード電極53）を備えた膜電極構造体（例えば、後述する実施例における膜電極構造体54）と断面波形構造の金属製のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55、56、64）とを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされている車両用の燃料電池スタック（例えば、後述する実施例における燃料電池スタック1）に、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態で反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給し、該燃料電池スタックを予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から0℃以上に昇温するように車両用燃料電池システムを起動する方法であって、前記燃料電池システムは、前記燃料電池スタックの空気通路（例えば、後述する実施例における空気通路59）全体に空気を供給し、前記燃料電池スタックの燃料通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58）全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス10度を下回る温度であり、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量が、前記予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0℃以上となる所定値である燃料電池スタックを用いて、前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法である。

【0012】

従来、燃料電池スタックに用いるセパレータとしては、カーボン製のセパレータと、金属製のセパレータがあった。カーボン製のセパレータの場合、冷媒通路は切削加工、或いはモールド加工により設けられるため、反応ガス通路と冷媒通路がセパレータの表裏に設けられる場合であっても、反応ガス通路の影響を受けることなく冷媒通路を形成することが可能である。したがって、カーボン製のセパレータの場合、冷媒通路は、冷却性能に合わせて必要最小限に設けることが可能であり、冷媒の熱容量が始動時暖機の特性に与える影響は小さい。しかしながら、カーボン製のセパレータの場合には、カーボン材料の比熱が大きい点と、カーボン製のセパレータの厚さが比較的厚い点とが相俟って、セパレータ自体の熱容量が大きくなるという問題がある。

一方、金属製のセパレータは、熱容量が小さいため、氷点下からの暖機を行う場合に、優れた特性を有する。

氷点下から燃料電池スタックを起動する場合、昇温速度の観点からは燃料電池スタックの熱容量は小さいほど望ましい。ところが、金属製のセパレータは、プレス加工により形成されるため、セパレータ片面に設けられる冷媒通路の形状は、反対面に設けられる反応ガス通路の形状と対応することになる。したがって、冷媒熱容量が小さくなるような冷媒流路形状を設計すると、裏面の反応ガス流路形状にも影響してしまうという問題があった

。

【0013】

本願発明者は、実験を繰り返し、拡散電極層および触媒層の空孔が、生成水の凍結によって閉塞するまでの起動制限時間、燃料電池発電による発熱量、燃料電池から外部への放熱量、および燃料電池スタックの熱容量の間に一定の関係があることを見出した。この相互関係に基づいて、本願発明者は、請求項11に係る発明を完成させた。

請求項11に係る発明は、予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の特性に基づいて、燃料電池スタックが再起動不能状態に陥らないための熱容量を設定している。起動成功のために要求される最大熱容量よりも小さい熱容量のスタックを用いると、昇温速度の観点からは有利であるが、冷媒熱容量を過度に小さくすることになり、反応ガス流路の設計の自由度を制限し、延いては、暖機終了後の定常運転時の性能にも影響を与えてしまう。一方、スタックの熱容量が最大熱容量を超えていると、発電不能状態となり、さらに再起動もできない状態に陥る。

即ち、請求項11に係る発明は、氷点下起動時に陥り易かった再起動不能状態を回避し、さらに、反応ガス流路設計の自由度を最大限確保できる氷点下起動方法を提供する。

【0014】

請求項12に係る発明は、請求項11に記載の発明において、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、電極部分を積層方向に重ねてできる立体の範囲において単セル当たり単位面積当たり、 $0.04 \sim 0.33 \text{ J/K cm}^2$ であることを特徴とする。

ここで、「単セル当たり」とは、電極部分を積層方向に重ねて出きる立体部分の熱容量を、膜電極接合体の積層数で割ることを意味する。こうして得られた単セル当たりの熱容量を、さらに電極部分の面積で割ることにより、請求項13記載の数値を得る。

電極部分を積層方向に重ねて出きる立体の範囲において、単セル当たり単位面積当たりの熱容量が 0.04 から $0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ とされた燃料電池スタックを用いることにより、氷点下起動時に陥る可能性のある再起動不能状態を確実に回避することが可能となる。

請求項13に係る発明は、請求項11または請求項12に記載の発明において、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基づいて決まる最大熱容量よりも小さく、前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であることを特徴とする。

【0015】

請求項14に係る発明は、固体高分子電解質膜（例えば、後述する実施例における固体高分子電解質膜51）および電極（例えば、後述する実施例におけるアノード電極52、カソード電極53）を備えた膜電極構造体（例えば、後述する実施例における膜電極構造体54）と断面波形構造の金属製のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55, 56, 64）とを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされている車両用の燃料電池スタック（例えば、後述する実施例における燃料電池スタック1）を、予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から 0°C 以上に昇温するように車両用燃料電池システムを起動する方法であって、前記燃料電池システムは、前記燃料電池スタックの空気通路（例えば、後述する実施例における空気通路59）全体に空気を供給し、前記燃料電池スタックの燃料通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58）全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス 10 度を下回る温度であり、前記冷媒通路に冷媒がない状態で前記予め設定された起動開始温度から前記燃料電池スタックの前記発電を行い該

燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0 °C以上となるよう、前記冷媒通路に冷媒がない状態での該燃料電池スタックの熱容量を、前記予め設定された起動開始温度と膜電極構造体の氷点下起動特性に基いて決まる最大熱容量よりも小さい所定値に設定し、前記氷点下起動特性は前記予め設定された起動開始温度から前記発電を開始したときに電圧降下が起こるまでの時間であり、前記冷媒通路に冷媒がない状態で前記燃料電池スタックに反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）を供給して該燃料電池スタックを起動し、前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御することを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動方法である。

10

【0016】

金属製のセパレータを用い、さらに氷点下起動時に冷媒を抜き取ることにより、燃料電池スタックの熱容量は飛躍的に小さくなる。

カーボン製セパレータの場合、切削加工若しくはモールド加工により、冷媒通路が形成されるため、冷媒通路は比較的小さく形成される。そのため、カーボン製セパレータにおいて、冷媒を抜き取っても燃料電池スタックの熱容量低減効果は少なかった。これに対し、プレス加工により形成された断面波形構造の金属製セパレータを用いると、セパレータ自体の熱容量がもともと小さいこと、および断面波形構造であるため、冷媒通路も大きく設けられており、冷媒の熱容量が大きく影響することから、冷媒除去により、燃料電池スタックの熱容量が飛躍的に小さくなる。

20

したがって、請求項14記載の構成とすることにより、氷点下起動時における膜電極接合体の昇温速度が著しく速くなり、生成水の凍結に起因して燃料電池スタックが再起動不能に陥るのを防止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができる。

【0017】

請求項15に係る発明は、請求項11から請求項14のいずれか1項に記載の発明において、前記燃料電池スタックの出力電圧が所定の値に維持されるように制御することを特徴とする。

燃料電池の出力電流を所定値に維持する場合と、燃料電池の出力電圧を所定値に維持する場合とでは、熱容量の違いによる昇温速度の違いが異なっている。燃料電池の出力電圧を所定値に維持する制御を行い、さらに燃料電池スタックの熱容量を低減することにより、燃料電池スタックの昇温速度を著しく速くすることができ、暖機時間を短縮することができる。

30

【0018】

請求項16に係る発明は、固体高分子電解質膜（例えば、後述する実施例における固体高分子電解質膜51）および電極（例えば、後述する実施例におけるアノード電極52、カソード電極53）を備えた膜電極構造体（例えば、後述する実施例における膜電極構造体54）と断面波形構造の金属製セパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55, 56, 64）とを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと、該セパレータに隣接して設置されたセパレータとによって挟まれた空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされている車両用の燃料電池スタック（例えば、後述する実施例における燃料電池スタック1）と、前記燃料電池スタックに導入する反応ガス（改質反応により生成され加熱された改質ガスを除く）の流量および圧力と、前記燃料電池スタックの出力電流と出力電圧の少なくともいずれか一方とを制御しつつ該燃料電池スタックを予め設定された起動開始温度以上の氷点下温度から昇温する低温起動制御手段（例えば、後述する実施例における低温起動制御手段100）と、を備えた車両用燃料電池システムの氷点下起動システムにおいて、前記燃料電池システムは、前記燃料電池スタックの空気通路（例えば、後述する実施例における空気通路59）全体に空気を供給し、前記燃料電池スタックの燃料通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58）

40

50

全体に高圧水素タンクから放出された水素ガスを供給するとともに、前記燃料電池スタックから排出される未反応水素ガスを高圧水素タンクから供給される水素ガスに合流させて再び前記燃料電池スタックの前記燃料通路全体に供給して前記燃料電池スタックの発電を行うシステムであって、前記予め設定された起動開始温度は、摂氏マイナス10度を下回る温度であり、前記低温起動制御手段は、前記膜電極構造体の温度を検出する温度検出手段（例えば、後述する実施例における温度検出手段110）と、前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて低温起動発電モードか通常発電モードかを判別する発電モード判別手段（例えば、後述する実施例における発電モード判別手段120）と、前記発電モード判別手段により低温起動発電モードであると判別された場合に前記燃料電池スタックの出力電流が放熱分を補いながら前記発電を継続するために必要な最低必要電流より大となるように該燃料電池スタックの出力を制御する低温起動時出力制御手段（例えば、後述する実施例における低温起動時出力制御手段130）とを備え、前記冷媒通路に冷媒が充填された状態での前記燃料電池スタックの熱容量は、前記予め設定された起動開始温度から該燃料電池スタックの前記発電を開始して該燃料電池スタックの前記発電に伴う自己発熱のみにより該燃料電池スタックを昇温した場合に、前記膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度が0℃以上となる所定値であることを特徴とする車両用燃料電池システムの氷点下起動システムである。

10

このように構成することにより、氷点下起動時に陥り易かった再起動不能状態を回避することができ、さらに、反応ガス流路設計の自由度も最大限確保することができる。

【0019】

20

請求項17に係る発明は、請求項16に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成された空間が冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）にされており、前記冷媒通路の断面積は前記反応ガス通路の断面積よりも小さいことを特徴とする。

このように構成することにより、氷点下起動時における燃料電池スタック内部の冷媒保有量を少なくすることができ、燃料電池スタックの熱容量を低減することができる。

【0020】

請求項18に係る発明は、請求項16に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間が反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、互いに隣接して配置された前記セパレータ同士の間形成される複数の空間のうち一部は冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）とされ、他は空気層（例えば、後述する実施例における空気層62）とされていることを特徴とする。

30

このように構成することにより、氷点下起動時における燃料電池スタック内部の冷媒保有量を少なくすることができ、燃料電池スタックの熱容量を低減することができる。

【0021】

請求項19に係る発明は、請求項16に記載の発明において、前記燃料電池スタックは、互いに隣接する膜電極構造体の間に複数のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ55、56）を積層してなる第1流体通路部（例えば、後述する実施例における第1流体通路部63）と、互いに隣接する膜電極構造体の間に単一のセパレータ（例えば、後述する実施例におけるセパレータ64）を配置してなる第2流体通路部（例えば、後述する実施例における第2流体通路部65）とを有し、前記第1流体通路部および第2流体通路部において前記膜電極構造体と前記セパレータとの間に形成される空間は反応ガス通路（例えば、後述する実施例における燃料通路58、空気通路59）とされ、前記第1流体通路部において積層されたセパレータ間に形成される空間は冷媒通路（例えば、後述する実施例における冷媒通路60）とされていることを特徴とする。

40

このように構成することにより、前記第2流体通路部には冷媒通路が存在しないので、氷点下起動時における燃料電池スタック内部の冷媒保有量を少なくすることができ、燃料

50

電池スタックの熱容量を低減することができる。

【発明の効果】

【0022】

請求項1から請求項10に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法の発明によれば、熱容量の小さい金属製のセパレータを採用したことにより、氷点下起動時の暖機時間を短縮することができる。また、燃料電池スタックを氷点下で起動したときにも、膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度を0℃以上にすることができるので、生成水の凍結に起因して燃料電池スタックが発電不能の状態に陥るのを防止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができるとともに、反応ガス流路設計の自由度も最大限確保することができるという優れた効果が奏される。

10

特に、請求項8または請求項9または請求項10に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法の発明によれば、氷点下起動時における燃料電池スタック内部の冷媒保有量を少なくすることができ、燃料電池スタックの熱容量を低減することができる。

請求項11または請求項12または請求項13に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法の発明によれば、燃料電池スタックを氷点下で起動したときにも、膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度を0℃以上にすることができるので、生成水の凍結に起因して燃料電池スタックが発電不能の状態に陥るのを防止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができるとともに、反応ガス流路設計の自由度も最大限確保することができるという優れた効果が奏される。

【0023】

20

請求項14に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法の発明によれば、燃料電池スタックの熱容量が著しく小さくなり、氷点下起動時における膜電極接合体の昇温速度が著しく速くなるので、生成水の凍結に起因して燃料電池スタックが再起動不能に陥るのを防止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができるという効果がある。

【0024】

請求項15に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法の発明によれば、燃料電池スタックの出力電圧が所定の値に維持されるように制御するとともに、燃料電池スタックの熱容量を低減することにより、氷点下起動時における燃料電池スタックの昇温速度をより速めることができ、暖機時間を短縮することができるという効果がある。

30

【0025】

請求項16に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動システムの発明によれば、燃料電池スタックを氷点下で起動したときにも、膜電極構造体が発電不能となる前に該膜電極構造体の温度を0℃以上にすることができるので、生成水の凍結に起因して燃料電池スタックが発電不能の状態に陥るのを防止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができるとともに、反応ガス流路設計の自由度も最大限確保することができるという優れた効果が奏される。

請求項17または請求項18または請求項19に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動システムの発明によれば、氷点下起動時における燃料電池スタック内部の冷媒保有量を少なくすることができ、燃料電池スタックの熱容量を低減することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】この発明に係る氷点下起動方法を実施可能な車両用燃料電池システムの概略構成図である。

【図2】前記車両用燃料電池システムに使用される燃料電池スタックの単セルの積層状態を示す断面図（第1の例）である。

【図3】燃料電池スタックの概略斜視図である。

【図4】固体高分子型の燃料電池における最大取出可能電流密度特性図である。

【図5】膜電極構造体の温度特性図である。

【図6】前記車両用燃料電池システムに使用される燃料電池スタックの単セルの積層状態

50

を示す断面図（第２の例）である。

【図７】前記車両用燃料電池システムに使用される燃料電池スタックの単セルの積層状態を示す断面図（第３の例）である。

【図８】前記車両用燃料電池システムに使用される燃料電池スタックの単セルの積層状態を示す断面図（第４の例）である。

【図９】前記車両用燃料電池システムに使用される燃料電池スタックの単セルの積層状態を示す断面図（第５の例）である。

【図１０】膜電極構造体の温度特性図である。

【図１１】氷点下起動時における燃料電池スタックの取出電流密度の設定例を示す図である。

10

【図１２】燃料電池スタックの取出電流密度が起動制限時間に与える影響を説明するための膜電極構造体の温度特性図である。

【図１３】氷点下起動時における燃料電池スタックの取出電流密度の別の設定例を示す図である。

【図１４】燃料電池スタックの取出電流密度が起動制限時間に与える影響を説明するための膜電極構造体の温度特性図である。

【図１５】起動開始温度を変えたときの膜電極構造体の温度特性図である。

【図１６】起動開始温度を変えたときの燃料電池スタックの取出電流密度が起動制限時間に与える影響を説明するための膜電極構造体の温度特性図である。

【図１７】起動開始温度を変えたときの燃料電池スタックの取出電流密度が起動制限時間に与える影響を説明するための膜電極構造体の温度特性図である。

20

【図１８】燃料電池スタックを氷点下で起動させるときの取出電流の変化を示す図である。

【図１９】この発明に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法を示す制御ブロック図である。

【図２０】前記車両用燃料電池システムの氷点下起動制御を示すフローチャート（制御例１）である。

【図２１】前記車両用燃料電池システムの氷点下起動制御を示すフローチャート（制御例２）である。

【図２２】前記車両用燃料電池システムの氷点下起動制御を示すフローチャート（制御例３）である。

30

【図２３】前記制御例３の氷点下起動制御における燃料電池スタックの出力電流と出力電圧の変化を示す図である。

【図２４】前記制御例１と制御例３による氷点下起動時の燃料電池スタックの内部温度変化を示す図である。

【図２５】車両用の燃料電池スタックの設計方法を示す設計工程図である。

【発明を実施するための形態】

【００２７】

以下、この発明に係る車両用燃料電池システムの氷点下起動方法と、車両用燃料電池システムの氷点下起動システムの実施例を図１から図２５の図面を参照して説明する。

40

【００２８】

図１は車両用燃料電池システムの概略構成図であり、図２は燃料電池スタック１の積層構造を説明するための断面図である。なお、この実施例における燃料電池スタックは、燃料電池車両に搭載された態様である。

初めに、図２を参照して燃料電池スタック１について説明する。燃料電池スタック１は固体高分子型の燃料電池であり、例えば固体ポリマーイオン交換膜等からなる固体高分子電解質膜５１をアノード電極５２とカソード電極５３とで両側から挟み込んで膜電極構造体５４を形成し、膜電極構造体５４の両側にセパレータ５５、５６を配置して単セル（単位燃料電池）５７を構成し、この単セル５７を複数積層して燃料電池スタック１が構成されている。なお、図１では、膜電極構造体を「MEA」と略記し、セパレータ５５、５６

50

を一つにまとめて「セパレータ」と記している。

【0029】

この燃料電池スタック1ではセパレータ55、56に金属製のセパレータを採用している。詳述すると、セパレータ55、56は金属板をプレス成形して製造されたものであり、第1平坦部55a、56aと第2平坦部55b、56bを交互に有する断面波形をなしている。セパレータ55、56は、セパレータ55の第1平坦部55aを膜電極構造体54のアノード電極52に当接させ、セパレータ56の第1平坦部56aを膜電極構造体54のカソード電極53に当接させ、互いに隣接して配置されたセパレータ55、56の第2平坦部55b、56b同士を当接させて、積層されている。

金属製のセパレータは、カーボン製のセパレータよりも薄くでき燃料電池スタック1の積層方向寸法を短くすることができるとともに、カーボン製のセパレータよりも熱容量が小さくでき暖め易いという特徴を有している。金属製セパレータの材質としては、プレス加工に適する種々の金属を用いることができ、より好ましくは、耐食性と接触抵抗を向上させるために表面処理を施したステンレス系材料を用いる。

【0030】

このように単セル57を複数積層してなる燃料電池スタック1においては、セパレータ55とアノード電極52との間に形成される空間は水素ガス（アノードガス、反応ガス）が流通する燃料通路（反応ガス通路）58とされ、セパレータ56とカソード電極53との間に形成される空間は空気（カソードガス、反応ガス）が流通する空気通路（反応ガス通路）59とされ、互いに隣接して配置された両セパレータ55、56間に形成される空間は冷媒が流通する冷媒通路60とされている。

つまり、セパレータ55、56は、アノードガスとカソードガスを分離する機能を有するとともに、反応ガス通路と冷媒通路とを分離する機能を有している。

【0031】

したがって、燃料電池スタック1は、固体高分子電解質膜51および電極52、53を備えた膜電極構造体54と、セパレータ55、56とを複数積層してなる固体高分子型燃料電池スタックとすることができる。

また、燃料電池スタック1は、固体高分子電解質膜51および電極52、53を備えた膜電極構造体54と、断面波形構造の金属製のセパレータ55、56とを複数積層してなり、少なくとも一部の前記セパレータと該セパレータに隣接して設置されたセパレータによって挟まれた空間が冷媒通路60にされている燃料電池スタックとすることができる。さらに、燃料電池スタック1は、固体高分子電解質膜51および電極52、53を備えた膜電極構造体54と、隣接する膜電極構造体54間に設置されるセパレータ55、56とを複数積層してなる燃料電池スタックとすることができる。

【0032】

この燃料電池スタック1では、アノード電極52で触媒反応により発生した水素イオンが、固体高分子電解質膜51を透過してカソード電極53まで移動し、カソード電極53で酸素と電気化学反応を起こして発電する。この発電に伴う発熱により燃料電池スタック1が作動温度を越えないように、冷媒通路60を流れる冷媒で熱を奪い冷却する。

【0033】

また、この燃料電池スタック1においては、各単セル57の出力電圧を検出するための電圧センサ21が各単セル55のセパレータ55、56に接続されており、電圧センサ21の出力信号は電子制御装置（以下、ECUと略す）20に入力される。なお、図2では、図示の都合上、一つの電圧センサ21を図示するに留めている。

さらに、この燃料電池スタック1においては、複数ある単セル57の代表とされる一つの単セル57に、膜電極構造体54の温度を検出するための温度センサ22が設けられており（図1参照）、温度センサ22の出力信号はECU20に入力される。

【0034】

次に、図1を参照して、車両用燃料電池システム（以下、燃料電池システムと略す）について説明する。

空気はコンプレッサ 2 によって加圧されて燃料電池スタック 1 の空気通路 5 9（図 2 参照）に供給され、この空気中の酸素が酸化剤として発電に供された後、燃料電池スタック 1 からカソードオフガスとして排出され、圧力制御弁 4 を介して大気に放出される。コンプレッサ 2 は、燃料電池スタック 1 に要求されている出力に応じた質量の空気が燃料電池スタック 1 に供給されるように ECU 2 0 によって回転数制御され、また、圧力制御弁 4 は、燃料電池スタック 1 への空気の供給圧が燃料電池スタック 1 の運転状態に応じた圧力値となるように ECU 2 0 によって開度制御される。

【0035】

なお、燃料電池スタック 1 へ供給される空気は、燃料電池スタック 1 の要求発電量が大きいほど、燃料電池スタック 1 への空気供給量が多くなるように制御されるとともに、空気供給圧が大きくなるように制御される。

10

【0036】

一方、図示しない高圧水素タンクから放出された水素ガスは燃料供給制御弁 5 により減圧された後、エゼクタ 6 を通り、燃料電池スタック 1 の燃料通路 5 8（図 2 参照）に供給される。燃料電池スタック 1 において発電に供されなかった水素ガス、すなわち未反応の水素ガスは燃料電池スタック 1 からアノードオフガスとして排出され、アノードオフガス回収通路 8 を通ってエゼクタ 6 に吸引され、前記高圧水素タンクから供給される水素ガスと合流して再び燃料電池スタック 1 に供給されるようになっている。

【0037】

燃料供給制御弁 5 は、例えば空気式の比例圧力制御弁からなり、コンプレッサ 2 から供給される空気の圧力を信号圧（基準圧力）として空気信号導入路 9 を介して入力され、燃料供給制御弁 5 出口の水素ガスの圧力が前記信号圧に応じた所定圧力範囲となるように制御する。なお、燃料電池スタック 1 への供給空気は、前述したように、燃料電池スタック 1 の要求電力が大きいほど空気供給圧が大きくなるように制御されるので、この空気供給圧を基準圧力として制御される水素ガスも、燃料電池スタック 1 の要求電力が大きいほど水素ガス供給圧が大きくなるように制御されるとともに、水素ガス供給量が多くなるように制御されることとなる。

20

【0038】

また、燃料電池スタック 1 を冷却するための冷媒は、ウォーターポンプ 1 1 によって昇圧されてラジエータ 1 2 に供給され、ラジエータ 1 2 において外部に放熱することにより冷媒は冷却され、その後、燃料電池スタック 1 に供給され、燃料電池スタック 1 内の冷媒通路 6 0（図 2 参照）を通る際に燃料電池スタック 1 から熱を奪って燃料電池スタック 1 を冷却し、これにより熱せられた冷媒はウォーターポンプ 1 1 を介して再びラジエータ 1 2 に戻り冷却される。ECU 2 0 は、燃料電池スタック 1 の運転状態に応じた冷媒流量となるようにウォーターポンプ 1 1 の作動を制御し、また、冷媒が所定温度よりも低い場合にはウォーターポンプ 1 1 を停止する。

30

【0039】

燃料電池スタック 1 には外部負荷 3 1 を備えた電気回路 3 0 が接続されている。外部負荷 3 1 は可変であり、電気回路 3 0 は、燃料電池スタック 1 の出力電流（すなわち、取出電流）を検出するための電流センサ 3 2 と、燃料電池スタック 1 の端子電圧（以下、スタック電圧と略す）を検出するための電圧センサ 3 3 とを備えている。電流センサ 3 2 と電圧センサ 3 3 の出力信号は ECU 2 0 に入力される。

40

なお、図示を省略するが、燃料電池スタック 1 の発電により得られた電力は補助バッテリーにも充電可能になっており、コンプレッサ 2 やウォーターポンプ 1 1 等の燃料電池スタック 1 を作動するために必要な補機類は、燃料電池スタック 1 または前記補助バッテリーから電力供給されるように構成されている。

【0040】

この車両用燃料電池システムの氷点下起動システムにおいては、氷点下での起動時にも燃料電池スタック 1 を確実に迅速に起動することができるよう、燃料電池スタック 1 の発電部における熱容量を所定に設定するとともに、燃料電池スタック 1 の発電状態を所

50

定に制御する。以下、これらについて詳述する。

【0041】

初めに、燃料電池スタック1の発電部における熱容量について説明する。

まず、燃料電池スタック1の発電部について定義する。燃料電池スタック1の発電部50とは実質的に発電が行われている範囲をいい、具体的には、電極52、53を積層方向に重ねてできる立体の範囲をいう。図3に示すように、燃料電池スタック1は、電極52、53を積層方向に重ねてできる立体の範囲である発電部50の周囲にヘッダー部70を備えており、このヘッダー部70に、燃料分配通路71、アノードオフガス集合通路72、空気分配通路73、カソードオフガス集合通路74、冷媒分配通路75、冷媒集合通路76がそれぞれ各単セル57の積層方向に貫通して設けられ、ヘッダー部70に貫通して取り付けたスタッドボルト（図示せず）によって単セル57の積層状態を維持している。つまり、この出願において、燃料電池スタック1の発電部50という場合にはヘッダー部70を除いた部分をいう。

10

なお、燃料分配通路71とアノードオフガス集合通路72は各単セル57の燃料通路58に連通し、空気分配通路73とカソードオフガス集合通路74は各単セル57の空気通路59に連通し、冷媒分配通路75と冷媒集合通路76は各単セル57の冷媒通路60に連通している。

【0042】

固体高分子型の燃料電池スタック1では、固体高分子電解質膜51の材料であるイオン導電を司る電解質材料の温度特性から、安定して発電できる電流密度（以下、最大取出可能電流密度という）がセル内部温度に応じて決まっている。図4は、最大取出可能電流密度特性の一例を示しており、この例の場合では、例えば、セル内部温度が -30°C 付近の条件下では、最大取出可能電流密度は $0.1\text{ A}/\text{cm}^2$ 程度である。

20

【0043】

また、図2では図示を省略しているが、膜電極構造体54は電極52、53の外側に反応ガスを拡散させるための多孔質な拡散層を備えている。この拡散層の空孔（以下、膜電極構造体54の空孔と略す）の大きさは、通常作動条件でのセル電圧や、氷点下の起動開始温度から発電を開始した時に電圧降下が起こるまでの時間（以下、起動制限時間と称す）に影響を及ぼすことが、発明者の実験により判明した。

【0044】

表1は、セル内部温度 70°C 、電流密度 $0.5\text{ A}/\text{cm}^2$ を通常作動条件としたときの、膜電極構造体の空孔の大きさとセル電圧の関係を示した一例である。表1の場合には、膜電極構造体54の空孔の大きさが「小」～「大」の単セルは実用上十分なセル電圧を得られるが、空孔の大きさが「極小」の単セルはセル電圧が小さ過ぎて実用的でない。

30

【0045】

【表1】

通常作動条件でのセル電圧
(70°C , $0.5\text{ A}/\text{cm}^2$)

膜電極構造体の 空孔の大きさ	セル電圧 (V)
小	0.71
中	0.71
大	0.70
極小	0.2

40

【0046】

表2は、表1の場合と同じ空孔の大きさの膜電極構造体54を備えた単セルに対して、起動開始温度を -30°C とし、該起動開始温度での最大取出可能電流密度（ $0.1\text{ A}/$

50

cm^2) で定電流発電したときの、膜電極構造体 54 の空孔の大きさと起動制限時間との関係を示した一例である。ただし、空孔の大きさが「極小」の膜電極構造体 54 は通常作動条件でのセル電圧が小さ過ぎて実用的でないので、省略している。

【0047】

【表 2】

単セルの起動制限時間
 (起動開始温度: -30°C
 電流密度: $0.1\text{A}/\text{cm}^2$)

膜電極構造体の 空孔の大きさ	起動制限時間 (sec)
小	180
中	340
大	720

10

【0048】

表 2 から、膜電極構造体 54 の空孔の大きさが小さいほど起動制限時間が短くなり、空孔の大きさが大きいほど起動制限時間が長くなることがわかる。この理由は、空孔に付着した反応生成水が凍結して空孔を塞ぐと、固体高分子電解質膜 51 に反応ガスが到達できなくなるため発電不能になるが、空孔が小さいほど凍結による閉塞が起こるのが速く、反

20

対に空孔が大きいほど凍結による閉塞が起こりにくいからと推測される。
 このように、膜電極構造体 54 の空孔の大きさによって起動開始温度に応じた起動制限時間が決定される。換言すると、膜電極構造体 54 は起動開始温度に応じた固有の起動制限時間を有している。

【0049】

次に、単セル 57 の発電部 50 における熱容量が膜電極構造体 54 の温度上昇に与える影響について考察する。

図 5 は、表 2 において空孔の大きさが「大」の膜電極構造体 54 を備えた単セルであって発電部 50 における単位面積当たりの熱容量が異なる単セル 57 に対して、起動開始温度を -30°C として発電を行ったときの膜電極構造体 54 の温度特性を実験的に求めた結果をグラフ化したものである。なお、図中、「CC モード」は定電流発電モードの略であり、「CV モード」は定電圧発電モードの略である。比較した単セル 57 の単位面積当たりの熱容量は、熱容量 A = $0.092\text{J}/\text{K} \cdot \text{cm}^2$ 、熱容量 B = $0.33\text{J}/\text{K} \cdot \text{cm}^2$ 、熱容量 C = $0.55\text{J}/\text{K} \cdot \text{cm}^2$ 、熱容量 D = $1.32\text{J}/\text{K} \cdot \text{cm}^2$ 、熱容量 E = $1.94\text{J}/\text{K} \cdot \text{cm}^2$ であった ($A < B < C < D < E$)。熱容量 B ~ E の単セル 57 については、起動開始温度 (-30°C) での最大取出可能電流密度 ($0.1\text{A}/\text{cm}^2$) で定電流発電を行った結果であり、熱容量 A の単セル 57 については起動開始温度 (-30°C) から定電圧発電を行った結果である。

30

【0050】

この温度特性から次のことが言える。

40

(1) 膜電極構造体 54 の昇温速度は単セル 57 の発電部 50 における熱容量と相関があり、発電部 50 の単位面積当たりの熱容量が小さいほど昇温速度が速く、発電部 50 の単位面積当たりの熱容量が大きいほど昇温速度が遅い。これは、発電条件が同じ熱容量 B ~ E の単セル 57 の比較から明らかであり、この中で単位面積当たりの熱容量が一番小さい熱容量 B の昇温速度が一番速く、一番大きい熱容量 E の昇温速度が一番遅い。

(2) 発電部 50 の単位面積当たりの熱容量には、起動制限時間内に膜電極構造体 54 を 0°C 以上に昇温してその後の発電を維持させるための上限値 (以下、最大熱容量という) が存在する。これは、発電条件が同じ熱容量 D, E の単セル 57 の比較から明らかである。図 5 の例では、熱容量 D の単セル 57 は、起動制限時間の経過と同時に膜電極構造体 54 の温度が 0°C となり、熱容量 D よりも大きい熱容量 E の単セル 57 では、起動制限

50

時間が経過しても膜電極構造体 5 4 の温度が 0 ° C に達するどころか、温度低下していく。この場合、熱容量 D が最大熱容量となる。

したがって、発電に伴う自己発熱だけで発電維持可能にするためには、単セル 5 7 の発電部 5 0 における単位面積当たりの熱容量を前記最大熱容量以下に設定する必要がある。なお、この最大熱容量は、起動開始温度や使用する膜電極構造体によって特定される。

【0051】

表 3 は、前記熱容量 A ～ E の各単セル 5 7 における各部の寸法データであり、金属製セパレータ 5 5, 5 6 の厚さ（即ち、板厚）と、膜電極構造体 5 4 の厚さと、冷媒通路 6 0 の深さ（図 2 における「h」）を比較している。表 3 における冷媒通路 6 0 の深さの欄で「無し」と記されているのは、冷媒通路 6 0 から冷媒を抜き取って空気と置換した場合を表している。表 3 の結果から、単セル 5 7 の発電部 5 0 における熱容量は、冷媒通路 6 0 の高さによる影響が極めて大きく、すなわち単セル 5 7 における冷媒の保有量が発電部 5 0 の熱容量に大きく影響することがわかる。そこで、単セル 5 7 の発電部 5 0 における単位面積当たりの熱容量を小さく設定するには、冷媒通路 6 0 の容量をいかに小さくして単セル 5 7 を設計するかが重要なポイントとなる。

【0052】

【表 3】

熱容量 (J/k・cm ²)	熱容量 A (0.092)	熱容量 B (0.33)	熱容量 C (0.55)	熱容量 D (1.32)	熱容量 E (1.94)
セパレータ厚さ (mm)	0.1	0.15	0.45	1.3	2.0
膜電極構造体厚さ (mm)	0.09	0.13	0.13	1.4	1.4
冷媒通路深さ (mm)	無し	0.5	0.5	0.8	1.0

【0053】

ここで、この実施例における氷点下起動システムに好適な燃料電池スタック 1 の設計方法をまとめると次のようになる。

図 2 5 に示す燃料電池スタック 1 の設計工程図にしたがって説明すると、まず初めに、第 1 の工程 S 1 0 1 において、氷点下の所定温度（例えば、－3 0 ° C）を起動開始温度として設定する。起動開始温度は設計基準となる温度であり適宜に設定可能である。

次に、第 2 の工程 S 1 0 2 において、使用される膜電極構造体 5 4 の最大取出可能電流密度特性（図 4 参照）に基づいて、前記起動開始温度における最大取出可能電流密度を求め、燃料電池スタック 1 の発電部 5 0 の大きさから該起動開始温度における最大取出可能電流を決定する。

【0054】

次に、第 3 の工程 S 1 0 3 において、使用される膜電極構造体 5 4 の起動制限時間を算出する。すなわち、使用される膜電極構造体 5 4 を備えた単セルに対して、第 1 の工程 S 1 0 1 で設定した起動開始温度から該起動開始温度での最大取出可能電流密度で定電流発電したときの起動制限時間を、予め収集しておいた実験データ等を参照して算出する。

次に、第 4 の工程 S 1 0 4 において、第 1 の工程 S 1 0 1 で設定した起動開始温度と、第 3 の工程 S 1 0 3 で算出した起動制限時間に基づき、燃料電池スタック 1 の発電部 5 0 における単セル当たり単位面積当たりの最大熱容量を算出する。これから、燃料電池スタック 1 の発電部 5 0 における最大熱容量を算出する。

ここで、「単セル当たり」とは、電極部分を積層方向に重ねて出きる立体部分（すなわち、発電部 5 0）の熱容量を、膜電極接合体 5 4 の積層数で割ることを意味する。こうして得られた単セル当たりの熱容量を、さらに電極部分（発電部 5 0）の面積で割ることにより「単セル当たり単位面積当たりの熱容量」を得ることができる。

【0055】

ここで、単セル当たり単位面積当たりの最大熱容量を算出する際には、発電部50における発熱量と、発電部50からヘッダ部70に放熱される放熱量を考慮し、発熱量から放熱量を差し引いた熱量が発電部50の昇温に実質的に使用される熱量として算出する。発電部50における発熱量は、起動開始温度から該起動開始温度に応じた最大取出可能電流密度で定電流発電して0℃まで昇温したときに発生する熱量として算出することができ、放熱量は実験的（または経験的）に算出することができる。なお、起動時に冷媒を循環させる場合には、冷媒通路の冷媒に奪われる熱量を放熱量に含める。

【0056】

次に、第5の工程S105において、第4の工程S104で算出した単セル当たり単位面積当たりの最大熱容量以下となるように、金属製のセパレータ55、56を用いた単セル57の細部の設計を行う。前述したように、冷媒の保有量が発電部50の熱容量に大きな影響を及ぼすので、冷媒通路60に冷媒が保有されている状態で燃料電池スタック1を起動することを前提とする場合には、冷媒の保有量が少なくなるように単セル57を設計することは、単セル当たり単位面積当たりの熱容量を小さくするのに極めて効果的である。

10

【0057】

このようにして燃料電池スタック1を設計すると、燃料電池スタック1の熱容量を、予め設定した起動開始温度における最大取出可能電流を維持して発電をしたときの自己発熱により燃料電池スタック1を昇温した場合に、膜電極構造体54が発電不能となる前に膜電極構造体54の温度が0℃以上となる熱容量に設定することができる。

20

なお、起動開始温度が-30℃のときにも3分以内に暖機を完了させる設計条件とする場合には、単セル当たり単位面積当たりの熱容量を0.04~0.33 J/Kcm²にするのが望ましい。

【0058】

冷媒の保有量を減少するための燃料電池スタック1の設計方法は種々考えられるが、以下の方法を例示することができる。

(1) 図2に示す例のように、セパレータ55、56は、短寸法の第1平坦部55a、56aと長寸法の第2平坦部55b、56bを交互に有する断面形状とし、セパレータ55の第1平坦部55aを膜電極構造体54のアノード電極52に当接させ、セパレータ56の第1平坦部56aを膜電極構造体54のカソード電極53に当接させ、互いに隣接して配置されたセパレータ55、56の第2平坦部55b、56b同士を当接させることにより、燃料通路58や空気通路59に比較して冷媒通路60の断面積を小さくし、これにより冷媒の保有量を少なくする。

30

【0059】

(2) 図6に示す例のように、セパレータ55、56には特に細工をせず、互いに隣接して配置されたセパレータ55、56の間に形成される空間にインナー61を設け、セパレータ55、56とインナー61との間に形成される空間を冷媒通路60とすることにより、冷媒通路60の断面積を小さくし、これにより冷媒の保有量を少なくする。なお、冷媒保有量が少なくなっても、冷媒通路60を流通する冷媒が直接にセパレータ55、56と接触するので、膜電極構造体54に対する冷却能力は十分に確保することができる。なお、インナー61は図6に示すような中空パイプ状のものであってもよいし、あるいは中実棒状のものであってもよく、いずれの形態のものを採用する場合であっても、冷媒が染み込まず軽量で熱容量が小さい材料で形成する。金属は重量が大きくなり結果的に熱容量が大きくなるため、インナー61の素材としては好ましくない。また、インナー61はセパレータ55、56に対して移動不能に取り付けるものとする。

40

【0060】

(3) 図7に示す例のように、互いに隣接して配置されたセパレータ55、56の間に形成される空間を総て冷媒通路60としないで、例えば一つおきに冷媒通路60として、冷媒通路60としないセパレータ55、56間の空間を空気層62とすることにより、燃料電池スタック1全体としての冷媒通路60の断面積を小さくし、燃料電池スタック1全

50

体としての冷媒の保有量を少なくする。

すなわち、この燃料電池スタック 1 においては、膜電極構造体 5 4 とセパレータ 5 5, 5 6 との間に形成される空間が反応ガス通路（燃料通路 5 8, 空気通路 5 9）とされ、互いに隣接して配置されたセパレータ 5 5, 5 6 の間に形成される複数の空間のうち一部は冷媒通路 6 0 とされ、他は空気層 6 2 とされる。

なお、このように冷媒通路 6 0 を間引いて配置し空気層 6 2 を設ける場合にも、同じ断面形状のセパレータ 5 5, 5 6 を用いて冷媒通路 6 0 および空気層 6 2 を区画することができるので、部品の共通化を図ってコストダウンを実現することができる。

【0061】

(4) 図 8 に示す例のように、互いに隣接する膜電極構造体 5 4, 5 4 の間に一対のセパレータ 5 5, 5 6 が積層されてなる第 1 流体通路部 6 3 と、互いに隣接する膜電極構造体 5 4, 5 4 の間に単一のセパレータ 6 4 を配置してなる第 2 流体通路部 6 5 とを交互に形成し、第 1 流体通路部 6 3 では、膜電極構造体 5 4 とセパレータ 5 5 との間に形成される空間を燃料通路 5 8 とし、膜電極構造体 5 4 とセパレータ 5 6 との間に形成される空間を空気通路 5 9 とし、両セパレータ 5 5, 5 6 の間に形成される空間を冷媒通路 6 0 とし、また、第 2 流体通路部 6 5 では、膜電極構造体 5 4 のカソード電極 5 3 とセパレータ 6 4 との間に形成される空間を空気通路 5 9 とし、膜電極構造体 5 4 のアノード電極 5 2 とセパレータ 6 4 との間に形成される空間を燃料通路 5 8 とする。

つまり、冷媒通路 6 0 を有する第 1 流体通路部 6 3 と冷媒通路 6 0 を有さない第 2 流体通路部 6 5 を交互に設けることにより、燃料電池スタック 1 全体としての冷媒の保有量を少なくする。

なお、この場合には、セパレータ 5 5, 5 6, 6 4 の第 1 平坦部 5 5 a, 5 6 a, 6 4 a と第 2 平坦部 5 5 b, 5 6 b, 6 4 b を同一寸法に設定し、セパレータ 5 5 の第 1 平坦部 5 5 a とセパレータ 6 4 の第 1 平坦部 6 4 a とを膜電極構造体 5 4 を挟んで突き合わせ、セパレータ 5 6 の第 1 平坦部 5 6 a とセパレータ 6 4 の第 2 平坦部 6 4 b とを膜電極構造体 5 4 を挟んで突き合わせるように配置すると、膜電極構造体 5 4 に剪断力が発生し難くすることができるので好ましい。

【0062】

(5) 図 9 に示す例のように、セパレータ 5 5, 5 6 の高さ H を低く設定することにより冷媒通路 6 0 の深さ h を低減し、これにより冷媒通路 6 0 の断面積を小さくして、冷媒の保有量を少なくする。

なお、(1) ~ (5) 以外の方法で冷媒通路 6 0 の断面積を小さくし、冷媒の保有量を減少させても構わない。

【0063】

次に、単セル 5 7 の熱容量を前記最大熱容量以下に設定したときの、起動開始温度と取出電流密度と起動制限時間との関係について考察する。

図 10 は、起動開始温度を -30°C と設定し、該起動開始温度における最大取出可能電流密度が 0.1 A/cm^2 の膜電極構造体 5 4 を用いて、前記最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったときの起動制限時間が例えば 3 分である単セル 5 7 の昇温特性を示す。この単セル 5 7 の発電部 5 0 における単位面積当たりの最大熱容量が $0.33\text{ J/K}\cdot\text{cm}^2$ であるとする、最大熱容量よりも小さい熱容量（例えば、 $0.29\text{ J/K}\cdot\text{cm}^2$ ）の単セル 5 7 の場合には昇温速度が最大熱容量のものよりも速くなる。

このときの昇温特性を基準にして、これら熱容量の単セル 5 7 を用いて取出電流密度や起動開始温度を変えたときの昇温特性を調べた。

【0064】

起動開始温度は -30°C で同じにし、図 11 に示すように、取出電流密度を最大取出可能電流密度よりも小さく（例えば 0.05 A/cm^2 ）して定電流発電を行った場合には、昇温特性は図 12 に示すようになる。

すなわち、取出電流密度を小さくすると単セル 5 7 の発熱量は少なくなるので、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図 10 に示す温度特性のとき）よ

10

20

30

40

50

りも発電部50の昇温速度は遅くなるが、取出電流密度を小さくすると発電により生じる生成水の量が少なくなるため、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図10に示す温度特性のとき）よりも起動制限時間が延びる。その結果、最大熱容量（ $0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、あるいは、最大熱容量よりも小さい熱容量（ $0.29 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、延長された起動制限時間内に膜電極構造体54の発電部50を 0°C 以上に昇温することができる。

【0065】

また、起動開始温度は -30°C で同じにし、図13に示すように、取出電流密度を最大取出可能電流密度よりも大きく（例えば 0.2 A/cm^2 ）して定電流発電を行った場合には、昇温特性は図14に示すようになる。

10

すなわち、取出電流密度を大きくすると単セル57の発熱量は多くなるので、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図10に示す温度特性のとき）よりも発電部50の昇温速度は速くなるが、取出電流密度を大きくすると発電により生じる生成水の量が多くなるため、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図10に示す温度特性のとき）よりも起動制限時間が短くなる。その結果、最大熱容量（ $0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、あるいは、最大熱容量よりも小さい熱容量（ $0.29 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、短縮された起動制限時間内に膜電極構造体54の発電部50を 0°C 以上に昇温することができる。

【0066】

また、起動開始温度を -30°C よりも高くし（例えば -15°C ）、取出電流密度は最大取出可能電流密度として定電流発電を行った場合には、昇温特性は図15に示すようになる。

20

すなわち、取出電流密度を最大取出可能電流密度としているので、起動制限時間は図10の温度特性の場合と同じになり、また、単セル57の発熱量も同じであるので発電部50の昇温速度も図10の温度特性の場合と同じになる。つまり、図15の温度特性は、ちょうど図10の温度特性を温度の高い側に平行移動したようになる。

したがって、最大熱容量（ $0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、あるいは、最大熱容量よりも小さい熱容量（ $0.29 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、起動制限時間内に膜電極構造体54の発電部50を 0°C 以上に昇温することができる。

30

【0067】

また、起動開始温度を -30°C よりも高くし（例えば -15°C ）、図11に示すように、取出電流密度を最大取出可能電流密度よりも小さく（例えば 0.05 A/cm^2 ）して定電流発電を行った場合には、昇温特性は図16に示すようになる。

すなわち、取出電流密度を小さくすると単セル57の発熱量は少なくなるので、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図15に示す温度特性のとき）よりも発電部50の昇温速度は遅くなるが、取出電流密度を小さくすると発電により生じる生成水の量が少なくなるため、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図15に示す温度特性のとき）よりも起動制限時間が延びる。その結果、最大熱容量（ $0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、あるいは、最大熱容量よりも小さい熱容量（ $0.29 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$ ）に設定した単セル57の場合も、延長された起動制限時間内に膜電極構造体54の発電部50を 0°C 以上に昇温することができる。

40

【0068】

また、起動開始温度を -30°C よりも高くし（例えば -15°C ）、図13に示すように取出電流密度を最大取出可能電流密度よりも大きく（例えば 0.2 A/cm^2 ）して定電流発電を行った場合には、昇温特性は図17に示すようになる。

すなわち、取出電流密度を大きくすると単セル57の発熱量は多くなるので、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、図15に示す温度特性のとき）よりも発電部50の昇温速度は速くなるが、取出電流密度を大きくすると発電により生じる生成水の量が多くなるため、最大取出可能電流密度で定電流発電を行ったとき（すなわち、

50

図15に示す温度特性のとき)よりも起動制限時間が短くなる。その結果、最大熱容量($0.33 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$)に設定した単セル57の場合も、あるいは、最大熱容量よりも小さい熱容量($0.29 \text{ J/K} \cdot \text{cm}^2$)に設定した単セル57の場合も、短縮された起動制限時間内に膜電極構造体54の発電部50を 0°C 以上に昇温することができる。

【0069】

このように、単セル57の発電部50における単位面積当たり熱容量を最大熱容量以下に設定しておけば、熱容量を決定する際に予め設定した起動開始温度を下回らない限り、取出電流密度を最大取出可能電流密度に対して増減させても、単セル57における膜電極構造体54の発電部50を起動制限時間内に 0°C 以上に昇温させることができる。

【0070】

ただし、取出電流密度を小さくし過ぎると、発電部50からヘッダ部70および外部に放熱される放熱量が発電部50における発熱量を上回り、膜電極構造体54を起動制限時間内に 0°C 以上に昇温させることができなくなり、発電を維持することができなくなるので、放熱分を補うため最低限必要な電流密度を取出電流密度の下限值とすべきであり、取出電流密度をこの下限値以上に保持するように制御しなければならない。

そこで、前述の如く発電部50の熱容量を最大熱容量以下に設定された燃料電池スタック1を氷点下起動する場合においても、燃料電池スタック1の出力電流が放熱分を補うために必要な最低必要電流以上となるように燃料電池スタック1の出力を制御することにした。

【0071】

図18は、燃料電池スタック1を氷点下で起動させたときの取出電流制御の具体例を示したものである。図18において縦軸は燃料電池スタック1の取出電流を示し、取出電流を発電部50の面積で除した値が取出電流密度である。また、図18において一点鎖線は、昇温過程の温度における最大取出可能電流を結んだ線であり、燃料電池スタック1をどのように運転したとしても取出電流がこれを越えることはない。さらに、図18において二点鎖線は、放熱分を補うために最低限必要な電流値(すなわち、最低必要電流)の平均を示し、図18において破線は、単セル57の最大熱容量を設定する際に基準とした起動開始温度(例えば -30°C)における最大取出可能電流密度に対応する最大取出可能電流を示す。

【0072】

図18において(a)～(f)は燃料電池スタック1の氷点下起動に好適な取出電流の制御例を示している。

(a)～(c)に示す取出電流の制御例は、いずれも設計基準の起動開始温度(-30°C)から燃料電池スタック1の起動を開始した場合であって、取出電流を最低必要電流以上の所定の定電流に維持する制御方法を採用した例を示す。以下、この制御方法を定電流発電と称す。

(d)に示す取出電流の制御例は、設計基準の起動開始温度(-30°C)よりも高い温度(例えば -15°C)を起動開始温度として燃料電池スタック1の起動を開始して、取出電流を最低必要電流以上に設定して定電流発電を行う制御方法を採用した例を示す。

【0073】

(e)に示す取出電流の制御例は、取出電流が一時的に短期間だけ最低必要電流を下回ったときに、直ぐに最低必要電流以上に回復させるように制御した例を示している。この場合には、最低必要電流を下回っている間に放熱により膜電極構造体54が温度低下しても、取出電流が最低必要電流以上に回復した後の発熱量を急増させることで、膜電極構造体54の温度回復が可能であり、起動制限時間内に膜電極構造体54を 0°C 以上に昇温することが可能である。

【0074】

(f)に示す取出電流の制御例は、燃料電池スタック1の出力電圧を所定の電圧値に維持する制御方法を採用した例を示す。以下、この制御方法を定電圧発電と称す。なお、この(f)に示す取出電流の制御例は、取出電流が昇温過程における各温度での最大取出可

10

20

30

40

50

能電流に近い値を採るように制御した例を示している。

【0075】

これに対して、図18において（g）に示すように起動開始から取出電流を最低必要電流以下に維持し続けた場合や、（h）に示すように起動開始からしばらくは取出電流を最低必要電流以上に維持しているが、ある時点以降については最低必要電流以下に維持した場合には、膜電極構造体54の発電部50を起動制限時間内に0℃以上に昇温することができず、燃料電池スタック1は発電不能となってしまう。したがって、氷点下起動する場合には、取出電流が（g）や（h）に示すように推移する燃料電池スタック1の運転は避けるべきである。

【0076】

次に、燃料電池スタック1を氷点下起動する場合の制御例を、図19の制御ブロック図と図20～図22のフローチャートに従って具体的に説明する。なお、以下に説明する制御例において、「燃料電池スタック1の出力電流」とは、前述した「燃料電池スタック1からの取出電流」と同義である。

【0077】

初めに、図19の制御ブロック図を参照して氷点下起動制御の概要を説明する。

燃料電池スタック1は低温起動制御手段100を備え、低温起動制御手段100は温度検出手段110と、発電モード判別手段120と、低温起動時出力制御手段130とを備えて構成されている。

温度検出手段110は、温度センサ22の出力信号に基づいて燃料電池スタック1の内部温度（膜電極構造体54の温度）を検出し、発電モード判別手段120は、検出された燃料電池スタック1の内部温度に基づいて通常発電モードで起動すべきか低温起動発電モードで起動すべきかを判定する。

【0078】

そして、発電モード判別手段120が低温起動発電モードで起動すべきと判定した場合には、低温起動時出力制御手段130は、電流センサ32から入力される燃料電池スタック1の出力電流と、電圧センサ33から入力されるスタック電圧を監視しながら、以下に詳述するいずれかの制御方法により、燃料電池スタック1の出力電流が放熱分を補うために必要な最低必要電流以上となるように燃料電池スタック1の出力を制御する。燃料電池スタック1の出力制御は、圧力制御弁4の開度とコンプレッサ2の作動を制御して反応ガス（水素ガスと空気）の供給を制御するとともに、外部負荷31の負荷量を制御することにより行う。

したがって、低温起動制御手段100は、燃料電池スタック1に導入する反応ガスの流量および圧力と、燃料電池スタック1の出力電流と出力電圧の少なくともいずれか一方とを制御しつつ燃料電池スタック1を氷点下の起動開始温度から昇温する制御手段である。

以下、氷点下起動制御について具体例を挙げて説明する。

【0079】

<制御例1：定電流発電>

図20に示すフローチャートは、氷点下時に燃料電池スタック1を前述した定電流発電で起動する場合の起動制御ルーチンを示すものであり、この起動制御ルーチンはECU20によって実行される。

【0080】

まず、燃料電池車両のイグニッションスイッチがONされると（ステップS201）、燃料電池スタック1に反応ガスを供給する（ステップS202）。すなわち、コンプレッサ2を作動するとともに圧力制御弁4と燃料供給制御弁5を開いて、燃料電池スタック1の各単セル57の空気通路59に空気を供給するとともに燃料通路58に水素ガスを供給する。

次に、各電圧センサ21により各単セル57のセル電圧を検出し（ステップS203）、検出されたセル電圧のなかで最も低いセル電圧（最低セル電圧）が予め設定された第1の閾値電圧V1よりも大きいか否かを判定する（ステップS204）。ここで、第1の閾

10

20

30

40

50

値電圧 V_1 は、反応ガスが各単セル 57 における膜電極構造体 54 の電極 52, 53 に行き渡ったと判断される開回路電圧値に設定する。

【0081】

ステップ S204 における判定結果が「NO」（最低セル電圧 $\leq V_1$ ）である場合は、反応ガスが未だ各単セル 57 における膜電極構造体 54 の電極 52, 53 に行き渡っていないので、所定の時間 ΔT を保持した後（ステップ S205）、ステップ S203 に戻る。つまり、最低セル電圧が第 1 の閾値電圧 V_1 を越えるまでステップ S203～S205 の処理を繰り返し実行する。

なお、ステップ S205 における所定の時間 ΔT 、および、後述するステップ S211 における所定の時間 ΔT は、いずれも制御可能な範囲でできるだけ短い時間に設定するのが望ましい。

10

【0082】

ステップ S204 における判定結果が「YES」（最低セル電圧 $> V_1$ ）である場合は、ステップ S206 に進んで、燃料電池スタック 1 の内部温度を検出する。ここで、燃料電池スタック 1 の内部温度とは、温度センサ 22 により検出される単セル 57 における膜電極構造体 54 の温度である。

そして、ステップ S206 で検出した燃料電池スタック 1 の内部温度が予め設定された基準温度よりも小さいか否かを判定する（ステップ S207）。この基準温度は、燃料電池スタック 1 が通常モードマップに基づいて設定される反応ガス流量・圧力で安定して発電が可能な温度（すなわち、暖機完了温度）に設定しておく。

20

【0083】

ステップ S207 における判定結果が「NO」（スタック内部温度 $\geq$ 基準温度）である場合は、通常発電モードでの起動が可能であるので、通常モードマップに基づいて要求電力に応じた反応ガス流量・圧力を設定し（ステップ S208）、設定した反応ガス流量・圧力となるようにコンプレッサ 2 の回転数と圧力制御弁 4 の開度を制御して、本ルーチンの実行を一旦終了する。

【0084】

一方、ステップ S207 における判定結果が「YES」（スタック内部温度 $<$ 基準温度）である場合は、低温起動発電モードでの起動を行う必要があるので、燃料電池スタック 1 からの出力電流を一定値に設定した後（ステップ S209）、低温モードマップに基づいて反応ガス流量・圧力を設定し（ステップ S210）、設定した反応ガス流量・圧力となるようにコンプレッサ 2 の回転数と圧力制御弁 4 の開度を制御する。なお、ステップ S209 で設定される一定電流値は前記最低必要電流以上とし、起動開始温度にかかわらず常に一定値に設定するようにしてもよいし、起動開始温度に応じて一定電流値を変更するようにしてもよい。起動開始温度に応じて一定電流値を変更すると図 18 において（d）に示すような制御が可能になる。また、低温モードマップは、同一要求電力で比較した場合、通常モードマップよりも反応ガス流量および圧力が大きく設定されている。

30

【0085】

次に、ステップ S210 で設定した反応ガス流量・圧力での運転を所定の時間 ΔT 保持した後（ステップ S211）、各電圧センサ 21 により各単セル 57 のセル電圧を検出し（ステップ S212）、検出されたセル電圧のなかで最も低いセル電圧（最低セル電圧）が予め設定された第 2 の閾値電圧 V_2 よりも小さいか否かを判定する（ステップ S213）。ここで、第 2 の閾値電圧 V_2 は、この電圧を下回ると膜電極構造体 54 にダメージが加わる電圧（セル電圧下限値）に設定する。

40

【0086】

ステップ S213 における判定結果が「YES」（最低セル電圧 $< V_2$ ）である場合は、出力電流 I を ΔI だけ減少させた後（ステップ S214）、ステップ S211 に戻る。出力電流 I を減少させることにより電圧を増加させることができる。そして、最低セル電圧が第 2 の閾値電圧 V_2 よりも小さいときには、最低セル電圧が第 2 の閾値電圧 V_2 以上になるまでステップ S211～S214 の処理を繰り返し実行することとなる。

50

【0087】

ステップS213における判定結果が「NO」（最低セル電圧 $\geq$ V2）である場合は、出力電流Iを増減することなく、ステップS206に戻る。つまり、燃料電池スタック1の内部温度が基準温度以上になるまで、ステップS206、S207、S209～S214の処理を繰り返し実行する。

【0088】

このように制御することにより、氷点下起動時には、燃料電池スタック1からの出力電流IをステップS209で設定した電流値にほぼ一定させて燃料電池スタック1を運転することができる。ここで、出力電流Iは最低必要電流以上に設定しているため、燃料電池スタック1からの放熱分を補うことができ、燃料電池スタック1の発電に伴う自己発熱だけで発電部50を起動制限時間内に0℃以上に確実に昇温することができ、発電を維持しながら通常発電モードに確実に移行させることができる。したがって、生成水の凍結に起因して起動途中で燃料電池スタック1が発電不能に陥るのを阻止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができる。

10

【0089】

なお、この制御例1においては、温度センサ22およびECU20がステップS206の処理を実行することにより温度検出手段110が構成され、ECU20がステップS207の処理を実行することにより発電モード判別手段120が実現され、ECU20がステップS209～S211の処理を実行することにより低温起動時出力制御手段130が実現される。そして、制御例1において、温度検出手段110と発電モード判別手段120と低温起動時出力制御手段130は、燃料電池スタック1に導入する反応ガスの流量および圧力と、燃料電池スタック1の出力電流とを制御しつつ燃料電池スタック1を氷点下の起動開始温度から昇温する低温起動制御手段100を構成する。

20

【0090】

<制御例2>

図21に示すフローチャートは、氷点下時に燃料電池スタック1の出力電流を最低必要電流から最大取出可能電流の間で設定した適宜の電流値で制御して起動する場合の起動制御ルーチンを示すものであり、この起動制御ルーチンはECU20によって実行される。

図21に示すフローチャートは基本的に図20に示すフローチャートと同じであり、相違点は図20のフローチャートにおけるステップS209に対応するステップS219だけである。制御例3において制御例1と同じ処理については同一ステップ番号を付して説明を省略し、ステップS219についてだけ説明する。

30

【0091】

この制御例2では、ステップS219において、例えば燃料電池スタック1の内部温度をパラメータとする出力電流マップ（図示せず）を参照して、燃料電池スタック1の出力電流を設定する。なお、出力電流マップは実験データ等に基づいて予め作成しておく。出力電流マップは、出力電流がステップ的に増大するように設定してもよく、マップの作り方によっては、出力電流を、昇温過程中的温度における最大取出可能電流に近い値で推移させることも可能である。

【0092】

この制御例2の場合には、氷点下起動時に、予め作成しておいた出力電流マップにしたがって出力電流を変化させながら燃料電池スタック1を運転することができ、出力電流マップにおいて出力電流をステップ的に増大するように設定しておくこと、制御例1の定電流発電よりも迅速に発電部50を昇温させることができる。

40

【0093】

なお、この制御例2においては、温度センサ22およびECU20がステップS206の処理を実行することにより温度検出手段110が構成され、ECU20がステップS207の処理を実行することにより発電モード判別手段120が実現され、ECU20がステップS219、S210、S211の処理を実行することにより低温起動時出力制御手段130が実現される。そして、制御例2において、温度検出手段110と発電モード判

50

別手段 120 と低温起動時出力制御手段 130 は、燃料電池スタック 1 に導入する反応ガスの流量および圧力と、燃料電池スタック 1 の出力電流を制御しつつ燃料電池スタック 1 を氷点下の起動開始温度から昇温する低温起動制御手段 100 を構成する。

【0094】

＜制御例 3：定電圧発電＞

図 22 に示すフローチャートは、氷点下時に燃料電池スタック 1 を前述した定電圧発電で起動する場合の起動制御ルーチンを示すものであり、この起動制御ルーチンは ECU 20 によって実行される。

【0095】

まず、燃料電池車両のイグニッションスイッチが ON されると（ステップ S301）、燃料電池スタック 1 に反応ガスを供給する（ステップ S303）。すなわち、コンプレッサ 2 を作動するとともに圧力制御弁 4 と燃料供給制御弁 5 を開いて、燃料電池スタック 1 の各単セル 57 の空気通路 59 に空気を供給するとともに燃料通路 58 に水素ガスを供給する。

次に、各電圧センサ 21 により各単セル 57 のセル電圧を検出し（ステップ S303）、検出されたセル電圧のなかで最も低いセル電圧（最低セル電圧）が予め設定された第 1 の閾値電圧 V_1 よりも大きいか否かを判定する（ステップ S304）。ここで、第 1 の閾値電圧 V_1 は、反応ガスが各単セル 57 における膜電極構造体 54 の電極 52, 53 に行き渡ったと判断される開回路電圧値に設定する。

【0096】

ステップ S304 における判定結果が「NO」（最低セル電圧 $\leq V_1$ ）である場合は、反応ガスが未だ各単セル 57 における膜電極構造体 54 の電極 52, 53 に行き渡っていないので、所定の時間 ΔT を保持した後（ステップ S305）、ステップ S303 に戻る。つまり、最低セル電圧が第 1 の閾値電圧 V_1 を越えるまでステップ S303～S305 の処理を繰り返し実行する。

なお、ステップ S305 における所定の時間 ΔT 、および、後述するステップ S311 における所定の時間 ΔT は、いずれも制御可能な範囲でできるだけ短い時間に設定するのが望ましい。

【0097】

ステップ S304 における判定結果が「YES」（最低セル電圧 $> V_1$ ）である場合は、燃料電池スタック 1 の出力電流 I に ΔI を設定し（ステップ S306）、燃料電池スタック 1 の内部温度を検出する（ステップ S307）。燃料電池スタック 1 の内部温度とは、温度センサ 22 により検出される単セル 57 における膜電極構造体 54 の温度である。

そして、ステップ S307 で検出した燃料電池スタック 1 の内部温度が予め設定された基準温度よりも小さいか否かを判定する（ステップ S308）。この基準温度は、燃料電池スタック 1 が通常モードマップに基づいて設定される反応ガス流量・圧力で安定して発電が可能な温度（すなわち、暖機完了温度）に設定しておく。

【0098】

ステップ S308 における判定結果が「NO」（スタック内部温度 $\geq$ 基準温度）である場合は、通常発電モードでの起動が可能であるので、通常モードマップに基づいて要求電力に応じた反応ガス流量・圧力を設定し（ステップ S309）、設定した反応ガス流量・圧力となるようにコンプレッサ 2 の回転数と圧力制御弁 4 の開度を制御して、本ルーチンの実行を一旦終了する。

【0099】

一方、ステップ S308 における判定結果が「YES」（スタック内部温度 $<$ 基準温度）である場合は、低温起動発電モードでの起動を行う必要があるため、低温モードマップに基づいて反応ガス流量および反応ガス圧力を設定し（ステップ S310）、設定した反応ガス流量・圧力となるようにコンプレッサ 2 の回転数と圧力制御弁 4 の開度を制御する。低温モードマップは、同一要求電力で比較した場合、通常モードマップよりも反応ガス流量および圧力が大きく設定されている。

【0100】

次に、ステップS310で設定した反応ガス流量・圧力での運転を所定の時間 ΔT 保持した後（ステップS311）、各電圧センサ21により各単セル57のセル電圧を検出し（ステップS312）、検出されたセル電圧のなかで最も低いセル電圧（最低セル電圧）が予め設定された第2の閾値電圧 V_2 よりも小さいか否かを判定する（ステップS313）。ここで、第2の閾値電圧 V_2 は、この電圧を下回ると膜電極構造体54にダメージが加わる電圧（セル電圧下限値）に設定する。

【0101】

ステップS313における判定結果が「YES」（最低セル電圧 $<V_2$ ）である場合は、出力電流 I を ΔI だけ減少させた後（ステップS314）、ステップS310に戻る。出力電流 I を減少させることにより電圧を増加させることができる。そして、最低セル電圧が第2の閾値電圧 V_2 よりも小さいときには、最低セル電圧が第2の閾値電圧 V_2 以上になるまでステップS310～S314の処理を繰り返し実行することとなる。

10

【0102】

ステップS313における判定結果が「NO」（最低セル電圧 $\geq V_2$ ）である場合は、出力電流 I の設定を現状維持して、電圧センサ33により燃料電池スタック1のスタック電圧を検出し（ステップS315）、検出されたスタック電圧が所定電圧 V_3 以上で且つ「 $V_3 + \Delta V$ 」以下の範囲内であるか否かを判定する。

ここで、 V_3 は予め設定しておいた所定の電圧値であり、燃料電池システムを作動する上で必要な最低電圧を下限値として、この下限値よりも大きい値に設定する。また、 ΔV は、燃料電池スタック1の電流・電圧特性に基づき電流が ΔI 変化したときの電圧の変化分として設定する。

20

【0103】

起動初期の段階では、出力電流 I が極めて小さい（ステップS306における初期設定では $I = \Delta I$ ）ので電圧が極めて大きく、スタック電圧は「 $V_3 + \Delta V$ 」よりも十分に大きくなる。したがって、起動初期には、ステップS316において「NO」と判定され、ステップS317に進む。

【0104】

ステップS317では、スタック電圧が「 $V_3 + \Delta V$ 」よりも大きいかなんかを判定する。起動初期の段階ではスタック電圧は「 $V_3 + \Delta V$ 」よりも十分に大きいので、ステップS317において「YES」と判定される。この場合には、ステップS318に進み、出力電流 I を ΔI だけ増大して（ $I = I + \Delta I$ ）、ステップS310に戻る。

30

したがって、図23に示すように、起動初期において、スタック電圧が「 $V_3 + \Delta V$ 」以下に低下するまでの間は、ステップS318の処理が繰り返し実行されて、出力電流 I の増加制御が連続して行われることとなる。

【0105】

そして、スタック電圧が「 $V_3 + \Delta V$ 」以下に低下し、且つ所定電圧 V_3 以上である場合には、ステップS316において「YES」と判定される。

ステップS316における判定結果が「YES」（ $V_3 \leq$ スタック電圧 $\leq V_3 + \Delta V$ ）である場合は、スタック電圧の変化が許容範囲内であり、ほぼ一定電圧とみなすことができるので、出力電流を変化させることなくステップS307に戻る。

40

【0106】

一方、スタック電圧が所定電圧 V_3 よりも低下した場合には、ステップS316において「NO」と判定され、さらにステップS317において「NO」と判定される。

ステップS317における判定結果が「NO」である場合は、ステップS319に進み、出力電流 I を ΔI だけ減少して（ $I = I - \Delta I$ ）、ステップS310に戻る。

したがって、図23に示すように、スタック電圧が初めて「 $V_3 + \Delta V$ 」より低下した以後は、スタック電圧が「 $V_3 + \Delta V$ 」に達する毎に出力電流 I を ΔI ずつ増加する制御が行われることになる。ただし、実際には、 ΔT 、 ΔI 、 ΔV を微少に設定するため、図23に示すような階段状になることはなく、なめらかな曲線状に変化する。

50

【0107】

このように制御することにより、氷点下起動時には、燃料電池スタック1からの出力電圧を所定電圧V3にほぼ一定させて燃料電池スタック1を運転することができる。そして、燃料電池スタック1の発電に伴う自己発熱だけで発電部50を起動制限時間内に0℃以上に確実に昇温することができ、発電を維持しながら通常発電モードに確実に移行させることができる。したがって、生成水の凍結に起因して起動途中で燃料電池スタック1が発電不能に陥るのを阻止することができ、燃料電池スタックの発電を維持し続けることができる。

【0108】

なお、この制御例3においては、温度センサ22およびECU20がステップS307の処理を実行することにより温度検出手段110が構成され、ECU20がステップS308の処理を実行することにより発電モード判別手段120が実現され、ECU20がステップS306、S310、S311、S315、S316、S318の処理を実行することにより低温起動時出力制御手段130が実現される。そして、制御例3において、温度検出手段110と発電モード判別手段120と起動時出力制御手段130は、燃料電池スタック1に導入する反応ガスの流量および圧力と、燃料電池スタック1の出力電圧を制御しつつ燃料電池スタック1を氷点下の起動開始温度から昇温する低温起動制御手段100を構成する。

【0109】

図24は、起動開始温度を同一条件としたときに前述した制御例1（定電流発電）と制御例3（定電圧発電）による氷点下起動時の燃料電池スタック1の内部温度変化を比較して示す一実験結果であり、燃料電池スタック1における発電部50の熱容量が大きい場合と小さい場合についてそれぞれの制御例で実験を行った。

この実験結果から、同一熱容量で比較すると、定電流発電による氷点下起動方法よりも定電圧発電による氷点下起動方法の方が、昇温効果（昇温速度）が大きいことがわかる。そして、その傾向は熱容量が小さい場合の方が熱容量が大きい場合よりも顕著であることもわかる。

したがって、燃料電池スタック1の氷点下起動には、発電部50の熱容量を小さくして、定電圧発電で燃料電池スタック1を運転制御するのがより好ましい。

【0110】

ところで、今まで説明した車両用燃料電池システムの氷点下起動方法では、燃料電池スタック1を構成する単セル57の冷媒通路60に冷媒が充填された状態で燃料電池スタック1を起動することを前提としており、それゆえ、単セル57の発電部50における単位面積当たりの熱容量を最大熱容量以下に設定する際にも、冷媒通路60に保有される冷媒の熱容量を含んだ値として設定している。この場合、前述したように、単セル57における冷媒の保有量が発電部50の熱容量に大きく影響する。

【0111】

そこで、車両用燃料電池システムの氷点下起動方法として、起動時には燃料電池スタック1の冷媒通路60に冷媒がない状態にすることにより、起動時における単セル57の発電部50における単位面積当たりの熱容量を最大熱容量以下にし、この状態で、前述した各制御例1～3と同様の制御により、燃料電池スタック1の出力電流が放熱分を補うために必要な最低必要電流以上となるように燃料電池スタック1の出力を制御して、燃料電池スタック1を起動することも可能である。

つまり、燃料電池スタック1のセパレータ55、56、64に金属製のセパレータを用い、さらに氷点下起動時に冷媒通路60から冷媒を抜き取ることにより、燃料電池スタック1の熱容量は飛躍的に小さくなる。

このように氷点下起動した場合にも、燃料電池スタック1の発電に伴う自己発熱だけで発電部50を起動制限時間内に0℃以上に確実に昇温することができ、発電を維持しながら通常発電モードに確実に移行させることができる。したがって、生成水の凍結に起因して起動途中で燃料電池スタック1が発電不能に陥るのを阻止することができ、燃料電池

10

20

30

40

50

スタックの発電を維持し続けることができる。

【0112】

この場合には、起動時には燃料電池スタック1の冷媒通路60に冷媒がない状態を前提とするので、冷媒通路60に冷媒を保有していない状態での単セル57の発電部50における単位面積当たりの熱容量が最大熱容量以下であれば、冷媒通路60に冷媒を保有している状態での単セル57の発電部50における単位面積当たりの熱容量は最大熱容量を越えていてもよいので、単セル57の設計自由度が大きくなる。

【0113】

なお、冷媒通路60から冷媒を抜き取る時期については、燃料電池システムの停止時に過ぎるものではなく、外気温を検知可能にし、検知された外気温が冷媒凝固点直前になった時点で冷媒を自動的に抜き出すように燃料電池システムを構成してもよい。また、冷媒を冷媒通路60に再注入する時期については、燃料電池スタック1の内部温度やその温度上昇速度に応じて決定することが可能である。

10

【0114】

〔他の実施例〕

なお、この発明は前述した実施例に限られるものではない。

例えば、セパレータの断面波形は前述した実施例の形状に限るものではなく、曲線状の波形であってもよいし、略直角に曲げた矩形断面形であってもよい。

また、前述した実施例は、自己発熱による燃料電池スタックの昇温を中心に説明してきたが、起動時にヒータ等の外部加熱を併用することを妨げるものではない。

20

【産業上の利用可能性】

【0115】

本発明は、車両に搭載される燃料電池システムに利用が可能である。

【符号の説明】

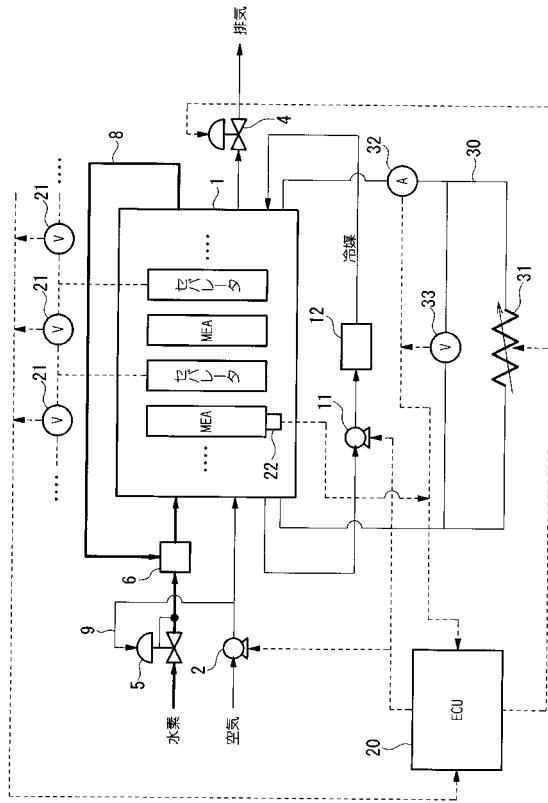
【0116】

- 1 燃料電池スタック
- 2 2 温度センサ（温度検出手段）
- 5 1 固体高分子電解質膜
- 5 2 アノード電極
- 5 3 カソード電極
- 5 4 膜電極構造体
- 5 5, 5 6, 6 4 セパレータ
- 5 7 単セル
- 5 8 燃料通路（反応ガス通路）
- 5 9 空気通路（反応ガス通路）
- 6 0 冷媒通路
- 6 2 空気層
- 6 3 第1流体通路部
- 6 5 第2流体通路部
- 1 0 0 低温起動制御手段
- 1 1 0 温度検出手段
- 1 2 0 発電モード判別手段
- 1 3 0 低温起動時出力制御手段

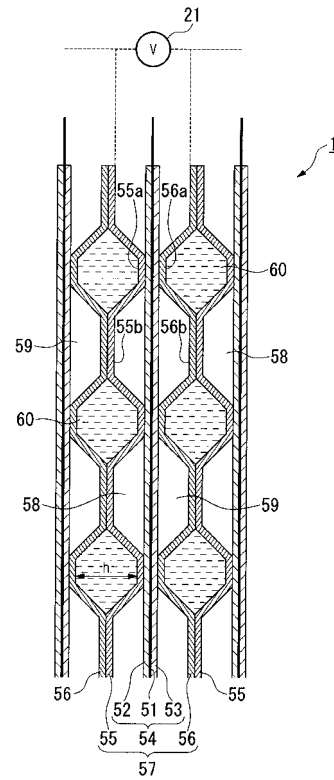
30

40

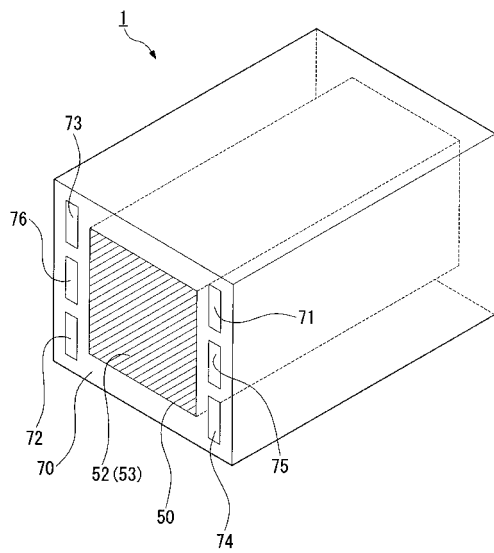
【図 1】



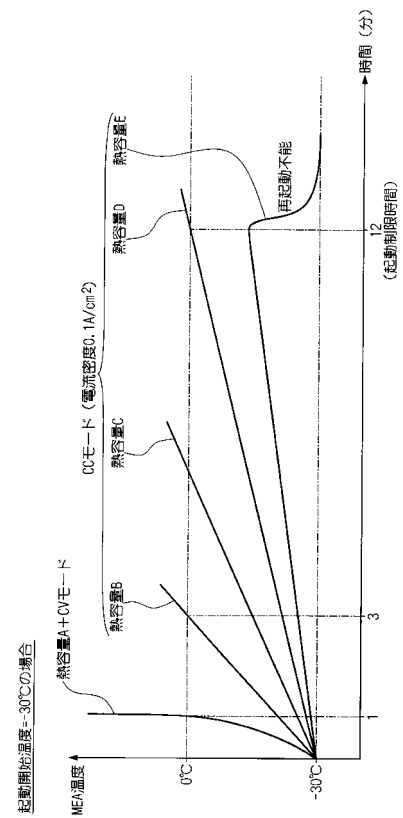
【図 2】



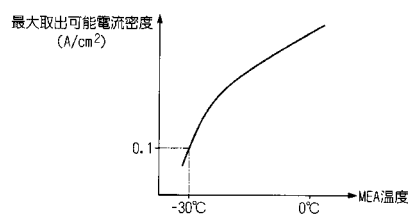
【図 3】



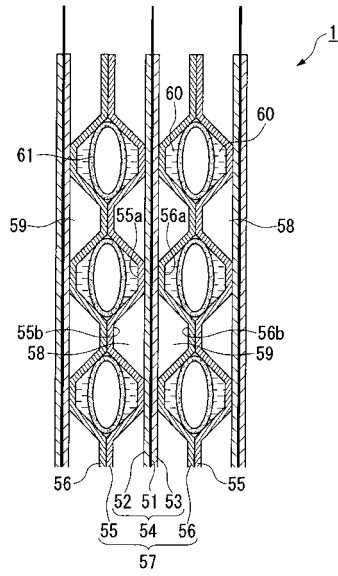
【図 5】



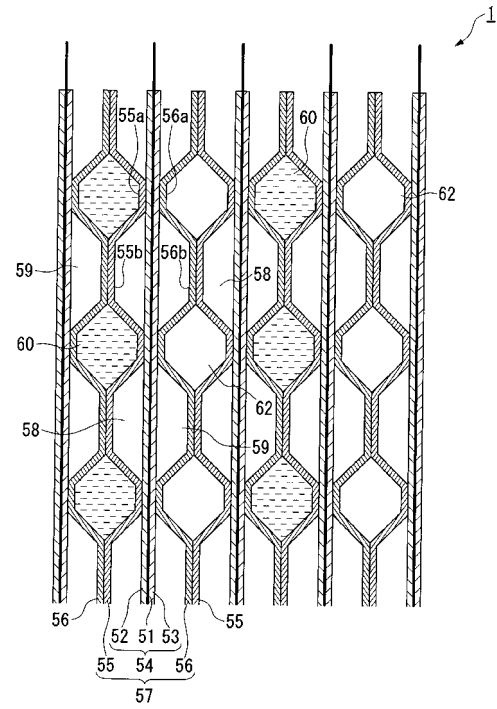
【図 4】



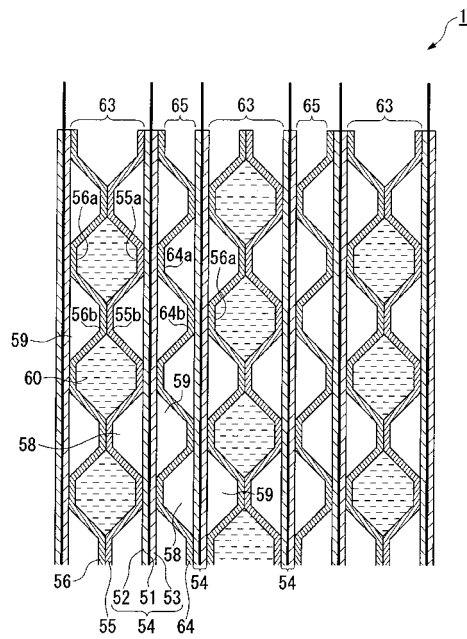
【図 6】



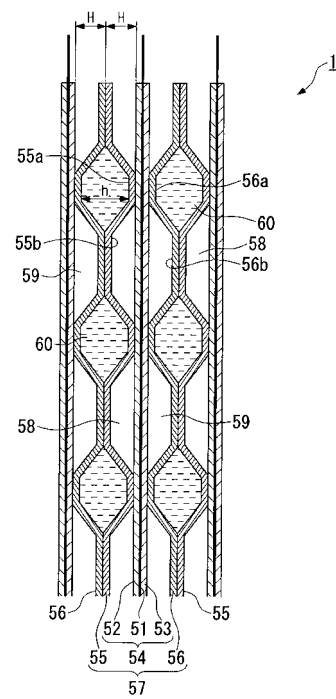
【図 7】



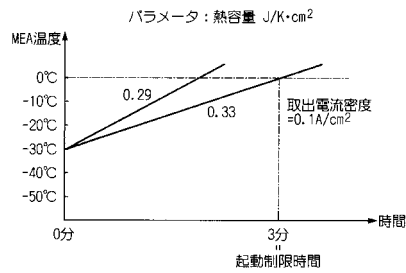
【図 8】



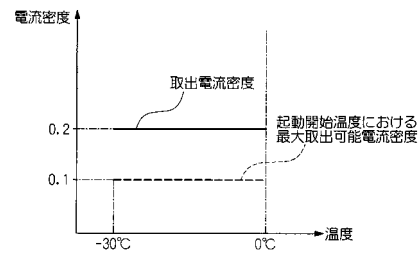
【図 9】



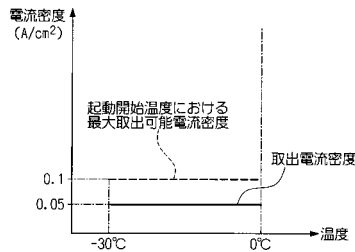
【図 10】



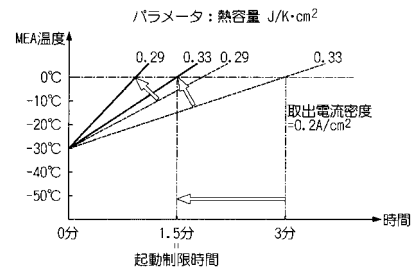
【図 13】



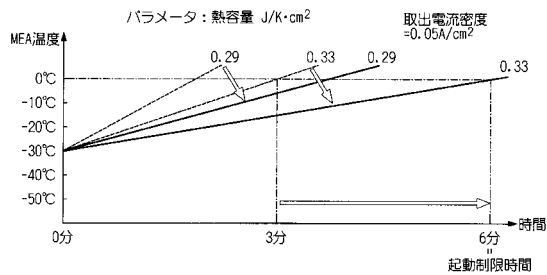
【図 11】



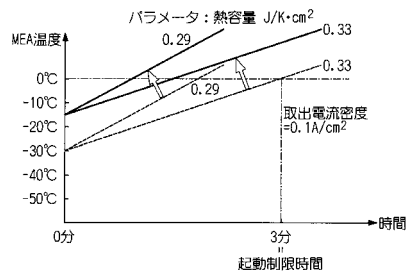
【図 14】



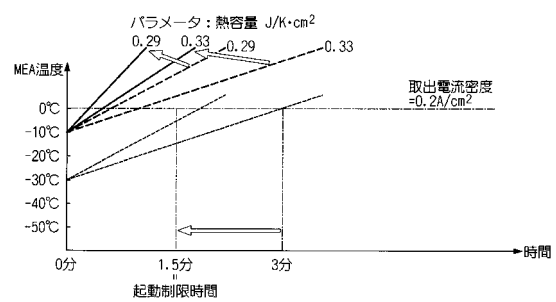
【図 12】



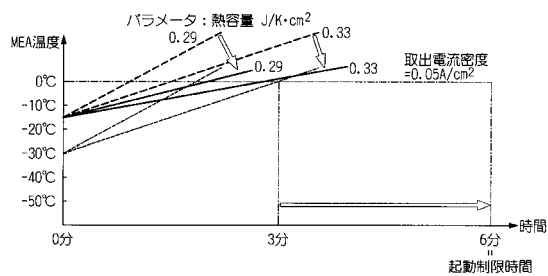
【図 15】



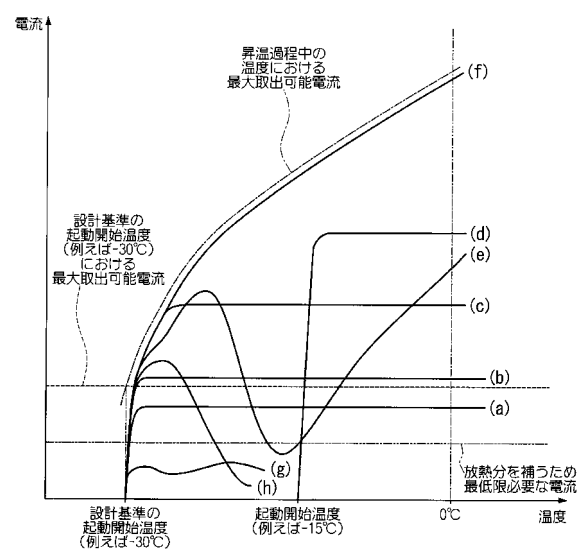
【図 17】



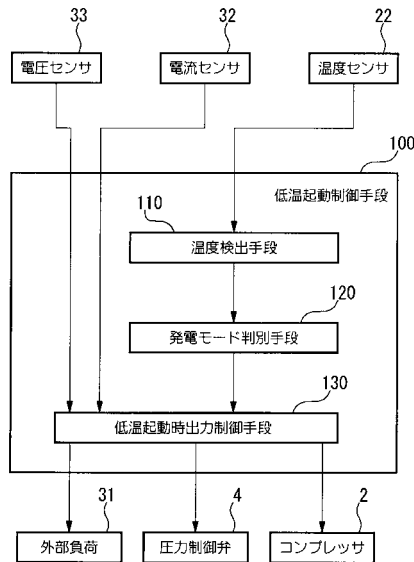
【図 16】



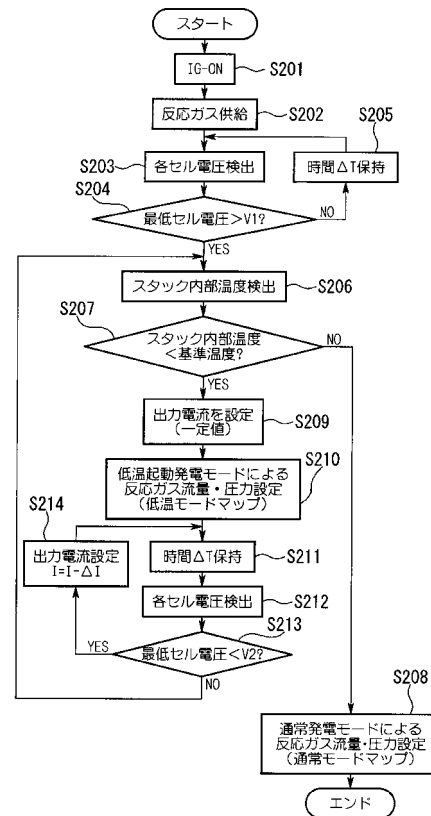
【図 18】



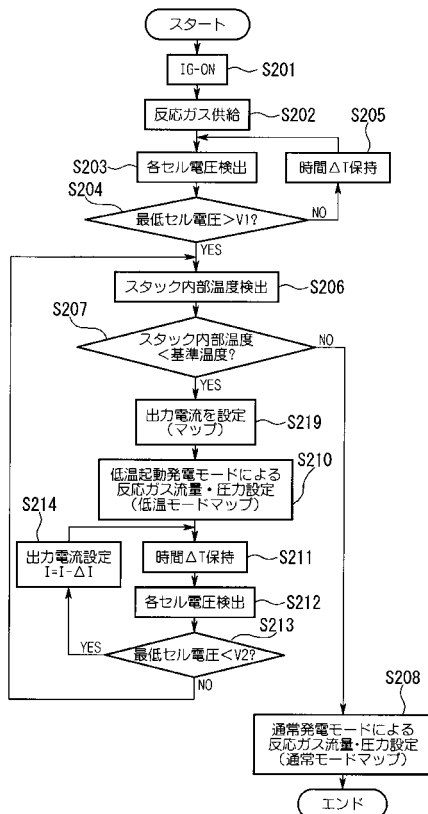
【図 19】



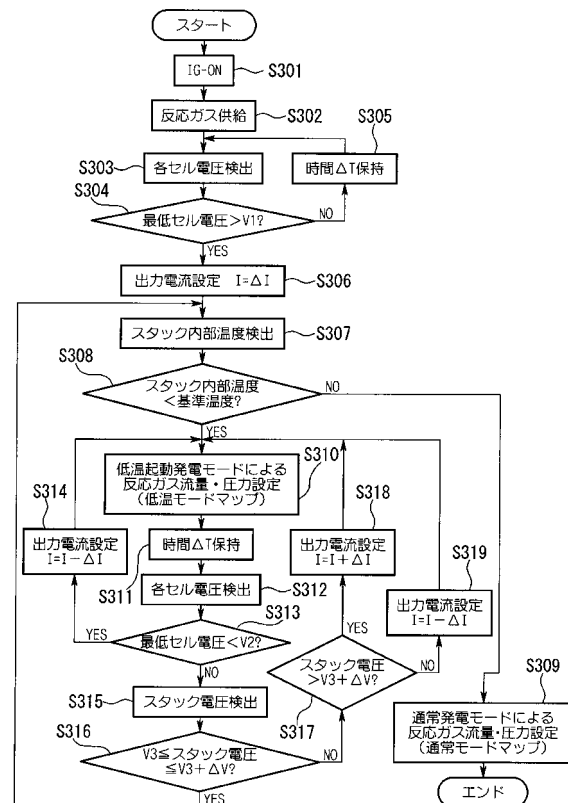
【図 20】



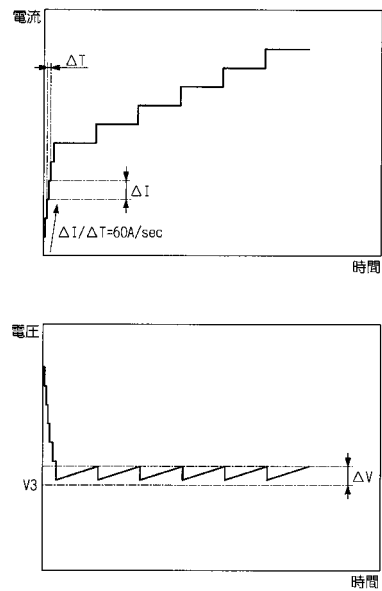
【図 21】



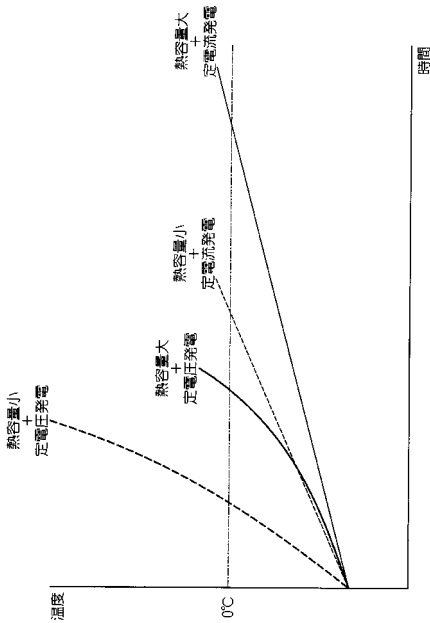
【図 22】



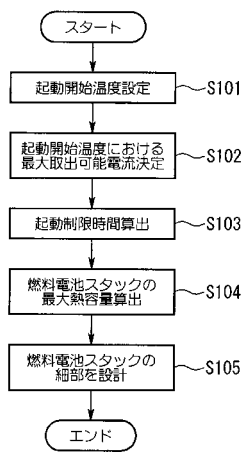
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 加藤 英男
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 稲井 滋
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 林 勝美
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 神馬 亮
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

審査官 上野 力

- (56)参考文献 特開2002-313392 (JP, A)
特開2002-305014 (JP, A)
特開2002-313391 (JP, A)
特開2000-208153 (JP, A)
特開2002-313393 (JP, A)
特開2000-208156 (JP, A)
特開2003-243013 (JP, A)
特開2004-288509 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|------|
| H01M | 8/04 |
| H01M | 8/00 |
| H01M | 8/10 |