

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年3月15日(15.03.2018)



(10) 国際公開番号
WO 2018/047259 A1

- (51) 国際特許分類:
H01M 8/04119 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/076349
- (22) 国際出願日: 2016年9月7日(07.09.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日産自動車株式会社(NISSAN MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2210023 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 各務文雄(KAGAMI, Fumio); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 後藤 政喜, 外 (GOTO, Masaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目3番1号 尚友会館 後藤特許事務所 Tokyo (JP).

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

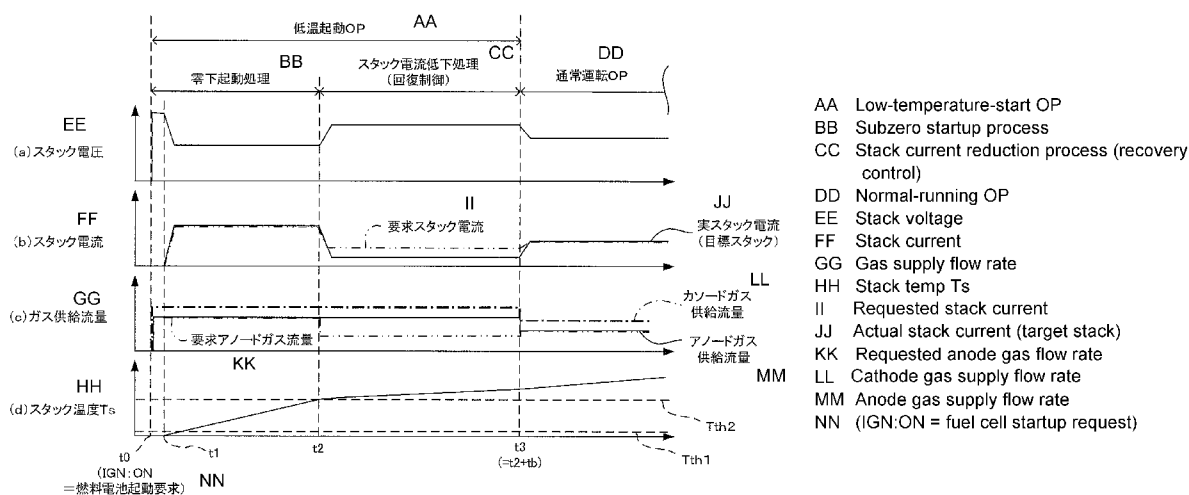
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: FUEL CELL SYSTEM AND METHOD FOR CONTROLLING SAME

(54) 発明の名称: 燃料電池システム及びその制御方法



(57) Abstract: An assessment is made as to whether a fuel cell system having a fuel cell is in low-temperature-start operation or normal-running operation, and when it is assessed that said system is in low-temperature-start operation, recovery control is executed for increasing the concentration gradient of water in an electrolyte film of the fuel cell to be greater than that of normal-running operation.

(57) 要約: 燃料電池を有する燃料電池システムにおいて、低温起動時のオペレーションであるか、通常運転時のオペレーションであるかを判定し、低温起動時のオペレーションであると判定されると、燃料電池の電解質膜の水の濃度勾配を通常運転時のオペレーションより増大させる回復制御を実行する。

WO 2018/047259 A1

明 細 書

発明の名称：燃料電池システム及びその制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、燃料電池の低温起動時の制御を実行する燃料電池システム及びその制御方法に関する。

背景技術

[0002] 氷点下環境等の低温環境における燃料電池の起動時においては、燃料電池の発電による生成熱等によって燃料電池を昇温させる昇温制御、及び燃料電池内部（特に、カソード極内）の水分を除去する回復操作を含む低温起動オペレーションが行われる。この回復操作は、燃料電池がいわゆるフラッディング状態となって出力性能が低下することを抑制すべく実行するものである。

[0003] このような低温起動オペレーションにおける回復操作として、JP4575693B2には、燃料電池の低温起動時にカソード極にドライエアを供給する（以下、「ドライエア供給処理」とも記載する）ことで、カソード極内の水分を蒸発させてカソード排出流路に排出する燃料電池システムが提案されている。

発明の概要

[0004] 上記従来技術では、周囲環境温度（燃料電池の温度やドライエア温度）を昇温させることで、ドライエアにより水分をカソード極から外部に排出する構成であるため、回復操作を実行するには、周囲環境温度をある程度の温度まで昇温させる必要がある。

[0005] また、周囲環境温度を一定温度以上に昇温させないと回復操作が完了したと判断しないため、回復操作を始めてから完了させるまでにも時間がかかることとなり、低温起動オペレーションの時間が長くなる。

[0006] 本発明は、このような問題点に着目してなされたものであり、燃料電池の低温起動オペレーションの時間を短縮することのできる燃料電池システム及

びその制御方法の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明のある態様によれば、燃料電池を有する燃料電池システムにおいて、低温起動時のオペレーションであるか、通常運転時のオペレーションであるかを判定し、低温起動時のオペレーションであると判定されると、燃料電池の電解質膜の水の濃度勾配を通常運転時のオペレーションより増大させる回復制御を実行する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図1は、本発明の第1実施形態における燃料電池システムの構成を示す図である。

[図2]図2は、燃料電池セルの斜視図である。

[図3]図3は、図2の燃料電池のII-II断面図である。

[図4]図4は、燃料電池システムの起動時の処理の流れを説明するフローチャートである。

[図5]図5は、第1実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。

[図6]図6は、第1実施形態の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートである。

[図7]図7は、回復制御による作用効果を説明する図である。

[図8]図8は、スタック温度に応じた、電解質膜への水分移動量とカソード流路への水分蒸発量の優位性の関係を説明するグラフである。

[図9]図9は、本実施形態の回復制御による出力性能の回復効果を説明するグラフである。

[図10]図10は、第2実施形態の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートである。

[図11]図11は、第3実施形態の低温起動オペレーションの経時変化を説明するタイミングチャートである。

[図12]図12は、第4実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明する

フローチャートである。

[図13]図13は、第4実施形態の低温起動オペレーションの経時変化を説明するタイミングチャートである。

[図14]図14は、出力性能の回復前後におけるセル電圧の時間変化の相違を示すグラフである。

[図15]図15は、第5実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。

[図16]図16は、出力性能の回復前後におけるセル電圧微分値の時間変化を示すグラフである。

[図17]図17は、第6実施形態における燃料電池システムの構成を示す図である。

[図18]図18は、スタック内部抵抗とスタック含水量の関係を示すグラフである。

[図19]図19は、第6実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。

[図20]図20は、第7実施形態におけるスタック温度とスタック内部抵抗の関係を示すグラフである。

[図21]図21は、スタック内部抵抗、スタック温度、及びスタック含水量の間の関係を示すマップである。

[図22]図22は、第8実施形態における燃料電池システムの構成を示す図である。

[図23]図23は、背景技術を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面等を参照して本発明の実施形態について説明する。

[0010] (第1実施形態)

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

[0011] 図に示す燃料電池システム100は、燃料ガスとしてのアノードガス（水

素)及び酸化ガス(空気)としのカソードガスを燃料電池スタック1に供給して発電を実行させる。

[0012] 燃料電池システム100は、燃料電池スタック1と、カソードガス給排装置2と、アノードガス給排装置3と、スタック冷却装置4と、電力システム5と、コントロールユニット200と、を有している。

[0013] 燃料電池スタック1は、複数の燃料電池セルが積層された積層電池である。

[0014] 燃料電池セルは、アノード極(燃料極)とカソード極(酸化剤極)によって電解質膜を挟んで構成されている。燃料電池セルでは、アノードガスがアノード極に供給される一方で、カソードガスがカソード極に供給されて、これらガスを用いることで発電が行われる。アノード極及びカソード極の両電極において発電時に進行する主な電気化学反応は、以下の通りである。

[0015] アノード極： $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (1)

カソード極： $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (2)

[0016] 以下、単セルとしての燃料電池セルの具体的な構成について説明する。

[0017] 図2及び図3は、燃料電池セルの構成を説明する図である。図2は燃料電池セルの斜視図であり、図3は図2の燃料電池セルのII-II断面図である。

[0018] 図示のように、燃料電池セル10は、膜電極接合体(MEA: Membrane Electrode Assembly)11と、膜電極接合体11を挟むように配置されるアノードセパレータ12及びカソードセパレータ13と、を備える。

[0019] 膜電極接合体11は、電解質膜111、アノード極112、及びカソード極113から構成されている。膜電極接合体11は、電解質膜111の一方の面側にアノード極112を有しており、他方の面側にカソード極113を有している。

[0020] 電解質膜111は、フッ素系樹脂により形成されたプロトン伝導性のイオン交換膜である。電解質膜111は、湿潤状態で良好な電気伝導性を示す。

[0021] アノード極112は、アノード触媒層112Aとガス拡散層112Bとを備える。アノード触媒層112Aは、白金等が担持されたカーボンブラック

粒子（カーボン担体）からなる触媒物質と、触媒物質の間に存在する電解質（以下では、「アノード電解質」とも記載する）と、によって構成され、これら触媒物質及びアノード電解質が存在しない部分に空孔（以下では、「アノード空孔」とも記載する）が形成される。さらに、アノード触媒層 1 1 2 A は、電解質膜 1 1 1 と接するように設けられる。

[0022] ガス拡散層 1 1 2 B は、アノード触媒層 1 1 2 A の外側に配置される。ガス拡散層 1 1 2 B は、ガス拡散性及び導電性を有するカーボクロスで形成された部材であって、アノード触媒層 1 1 2 A 及びアノードセパレータ 1 2 と接するように設けられる。

[0023] アノード極 1 1 2 と同様に、カソード極 1 1 3 もカソード触媒層 1 1 3 A とガス拡散層 1 1 3 B とを備える。カソード触媒層 1 1 3 A は電解質膜 1 1 1 とガス拡散層 1 1 3 B との間に配置され、ガス拡散層 1 1 3 B はカソード触媒層 1 1 3 A とカソードセパレータ 1 3 との間に配置される。

[0024] 特に、カソード触媒層 1 1 3 A においても、アノード触媒層 1 1 2 A と同様に、白金等が担持されたカーボンブラック粒子（カーボン担体）からなる触媒物質と、触媒物質の間に存在する電解質（以下では、「カソード電解質」とも記載する）と、によって構成され、これら触媒物質及びカソード電解質が存在しない部分に空孔（以下では、「カソード空孔」とも記載する）が形成される。

[0025] アノードセパレータ 1 2 は、ガス拡散層 1 1 2 B の外側に配置される。アノードセパレータ 1 2 は、アノード極 1 1 2 にアノードガスを供給するための複数のアノード流路 1 2 1 を備えている。アノード流路 1 2 1 は、溝状通路として形成されている。

[0026] カソードセパレータ 1 3 は、ガス拡散層 1 1 3 B の外側に配置される。カソードセパレータ 1 3 は、カソード極 1 1 3 にカソードガスを供給するための複数のカソード流路 1 3 1 を備えている。カソード流路 1 3 1 は、溝状通路として形成されている。

[0027] アノードセパレータ 1 2 及びカソードセパレータ 1 3 は、アノード流路 1

21を流れるアノードガスの流れ方向とカソード流路131を流れるカソードガスの流れ方向とが互いに逆向きとなるように構成されている。なお、アノードセパレータ12及びカソードセパレータ13は、これらガスの流れ方向が同じ向きに流れるように構成されてもよい。

[0028] そして、燃料電池スタック1は、上記燃料電池セル10を複数積層することで構成される。

[0029] 図1に戻り、酸化ガス調整装置としてのカソードガス給排装置2は、燃料電池スタック1にカソードガスを供給するとともに、燃料電池スタック1から排出されるカソードオフガスを大気に排出する装置である。

[0030] カソードガス給排装置2は、カソードガス供給通路21と、コンプレッサ22と、エアフローメータ23と、水分回収装置（Water Recovery Device：以下「WRD」という。）25と、カソードオフガス排出通路26と、カソードガス調圧弁27と、を有している。

[0031] カソードガス供給通路21は、燃料電池スタック1内のカソード流路131にカソードガスを供給するための通路である。カソードガス供給通路21の一端は開口しており、他端は、燃料電池スタック1のカソード極113の入口に接続される。

[0032] コンプレッサ22は、燃料電池システム100内にカソードガスを吸入する。コンプレッサ22は、カソードガス供給通路21の一端の開口端に設けられる。

[0033] コンプレッサ22は、コンプレッサモータ22aにより駆動されるターボ式コンプレッサや容積式コンプレッサである。コンプレッサ22は、カソードガス供給通路21の開口端からカソードガスとしての空気を吸入し、カソードガス供給通路21を介して燃料電池スタック1に供給する。また、コンプレッサモータ22aの回転速度、すなわちコンプレッサ22の出力はコントロールユニット200によって制御される。

[0034] エアフローメータ23は、コンプレッサ22の入り口に設けられる。エアフローメータ23は、コンプレッサ22により吸入されるカソードガスの流

量、すなわち燃料電池スタック 1 に供給するカソードガスの流量を検出する。

[0035] 以下では、この燃料電池スタック 1 に供給されるカソードガスの流量を「カソードガス供給流量」とも記載する。また、エアフローメータ 23 は、カソードガス供給流量の検出値をコントロールユニット 200 に出力する。

[0036] 水分回収装置 25 は、カソードガス供給通路 21 とカソードオフガス排出通路 26 に跨って設けられる。水分回収装置 25 は、カソードオフガス排出通路 26 のカソードオフガス中の水分を回収し、その回収した水分でカソードガス供給通路 21 内のカソードガスを加湿する。すなわち、水分回収装置 25 で加湿されたカソードガスが燃料電池スタック 1 に供給される。

[0037] カソードオフガス排出通路 26 は、燃料電池スタック 1 内のカソード流路 131 から排出されるカソードオフガスを外部へ放出するための通路である。カソードオフガス排出通路 26 の一端は、燃料電池スタック 1 のカソード極 113 の出口に接続され、他端は開口している。

[0038] カソードガス調圧弁 27 は、燃料電池スタック 1 に供給されるカソードガスの圧力を調節する。カソードガス調圧弁 27 は、カソードオフガス排出通路 26 において水分回収装置 25 の下流に設けられる。カソードガス調圧弁 27 は、コントロールユニット 200 によって開閉制御され、これにより燃料電池スタック 1 に供給されるカソードガスの圧力が所望の圧力に調節される。

[0039] アノードガス給排装置 3 は、高圧タンク 31 と、アノードガス供給通路 32 と、アノードガス調圧弁 33 と、エゼクタ 34 と、アノードガス循環通路 35 と、アノードガス循環ブロワ 36 と、アノードガス圧力センサ 37 と、を含む。

[0040] 高圧タンク 31 は、燃料電池スタック 1 に供給されるアノードガスを高圧状態に保って貯蔵する。

[0041] アノードガス供給通路 32 は、高圧タンク 31 に貯蔵されたアノードガスを燃料電池スタック 1 に供給するための通路である。アノードガス供給通路

32の一端は、高圧タンク31に接続され、他端は、エゼクタ34を介してアノードガス循環通路35に接続される。

[0042] アノードガス調圧弁33は、高圧タンク31とエゼクタ34との間のアノードガス供給通路32に設けられる。そして、アノードガス調圧弁33は、コントロールユニット200により開度が調節され、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの圧力を調節する。

[0043] エゼクタ34は、アノードガス調圧弁33と燃料電池スタック1との間のアノードガス供給通路32に設けられる。エゼクタ34は、アノードガスを図示しないノズルで増速して供給した際の負圧を利用して、当該アノードガスをアノードガス循環通路35内で循環させる装置である。

[0044] アノードガス循環通路35は、アノードガス供給通路32にエゼクタ34の吸引口を介して接続され、燃料電池スタック1内のアノード流路121に連通してアノードガスを循環させる循環路である。

[0045] アノードガス循環ブロワ36は、アノードガス循環通路35内でエゼクタ34の上流に設けられる。アノードガス循環ブロワ36は、エゼクタ34を介してアノードガスをアノードガス循環通路35内で循環させる。アノードガス循環ブロワ36の回転速度はコントロールユニット200によって制御される。

[0046] アノードガス圧力センサ37は、エゼクタ34と燃料電池スタック1との間のアノードガス循環通路35に設けられる。アノードガス圧力センサ37は、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの圧力を検出する。アノードガス圧力センサ37は、アノードガス圧力の検出値をコントロールユニット200に出力する。

[0047] なお、図1には示していないが、アノードガス循環通路35内で循環するアノードガス中の不純物（窒素ガスや発電による生成水等）を外部に排出するパージ通路を設けていても良い。

[0048] スタック冷却装置4は、燃料電池スタック1の温度を制御する装置である。スタック冷却装置4は、冷却水循環通路41と、冷却水ポンプ42と、ラ

ラジエータ４３と、冷却水バイパス通路４４と、三方弁４５と、水温センサ４７と、を有している。

[0049] 冷却水循環通路４１は、燃料電池スタック１に冷却水を循環させる通路である。冷却水循環通路４１の一端は、燃料電池スタック１の冷却水入口孔に接続され、他端は、燃料電池スタック１の冷却水出口孔に接続される。

[0050] 冷却水ポンプ４２は、冷却水循環通路４１に設けられる。冷却水ポンプ４２は、ラジエータ４３を介して燃料電池スタック１に冷却水を供給する。なお、冷却水ポンプ４２の回転速度は、コントロールユニット２００によって制御される。

[0051] ラジエータ４３は、冷却水ポンプ４２よりも下流の冷却水循環通路４１に設けられる。ラジエータ４３は、燃料電池スタック１の内部で温められた冷却水をファンによって冷却する。

[0052] 冷却水バイパス通路４４は、ラジエータ４３をバイパスする通路であって、燃料電池スタック１から排出される冷却水を燃料電池スタック１に戻して循環させる。冷却水バイパス通路４４の一端は、冷却水循環通路４１において冷却水ポンプ４２とラジエータ４３との間で接続され、他端は、三方弁４５に接続される。

[0053] 三方弁４５は、例えばサーモスタットにより実現される。三方弁４５は、その開度が調節されることでラジエータ４３をバイパスさせる冷却水の流量を調節する。三方弁４５は、ラジエータ４３と燃料電池スタック１の冷却水入口孔との間の冷却水循環通路４１において冷却水バイパス通路４４が合流する部分に設けられる。

[0054] 水温センサ４７は、冷却水循環通路４１において、燃料電池スタック１の冷却水出口の近傍に設けられる。水温センサ４７は、燃料電池スタック１から排出された冷却水の温度を検出する。また、水温センサ４７は、この冷却水温度の検出値をコントロールユニット２００に出力する。なお、本実施形態では、この冷却水温度が燃料電池スタック１の温度であるスタック温度 T_s に相当する。

- [0055] 電力システム5は、電流／電圧測定ユニット50と、パワーユニット52と、負荷装置53と、を有している。
- [0056] 電流／電圧測定ユニット50は、パワーユニット52等によって燃料電池スタック1から取り出される電流を検出する。以下では、燃料電池スタック1から取り出される電流のことを「スタック電流」とも記載する。
- [0057] また、電流／電圧測定ユニット50は、正極端子1pと負極端子1nとの間の電圧である端子間電圧を検出する。以下では、燃料電池スタック1の端子間電圧のことを「スタック電圧」とも記載する。
- [0058] さらに、本実施形態においては、電流／電圧測定ユニット50は、燃料電池スタック1を構成する各燃料電池セル10の電圧（以下では、「セル電圧」とも記載する）も検出することができる。
- [0059] そして、電流／電圧測定ユニット50は、スタック電流の検出値、スタック電圧の検出値、及び必要に応じてセル電圧の検出値をコントロールユニット200に出力する。
- [0060] パワーユニット52は、燃料電池スタック1と負荷装置53の間に配置され、スタック電圧の調節を行う。
- [0061] 具体的に、パワーユニット52は、スタック電圧を昇降圧させる双方向性の電圧変換機としてのDC／DCコンバータ、及び燃料電池スタック1や図示しないバッテリーと負荷装置53との間で入出力される電力の直流／交流変換を行うインバータ等を有している。
- [0062] 負荷装置53は、例えば、車両を駆動する電動モータや、電動モータを制御する制御ユニット、燃料電池スタック1の発電を補助する補機、及び燃料電池スタック1の発電電力を蓄電するバッテリーなどが挙げられる。なお、燃料電池スタック1の補機としては、例えば、コンプレッサ22、アノードガス循環ブロワ36、及び冷却水ポンプ42などが挙げられる。
- [0063] また、負荷装置53を制御する図示しない制御ユニットは、負荷装置53の作動に必要な電力を燃料電池スタック1に対する要求電力（要求負荷）としてコントロールユニット200に出力する。例えば、制御ユニットは、車

両に設けられたアクセルペダルの踏込み量が大きくなるほど、燃料電池スタック1に対する要求負荷は高くなる。

[0064] コントロールユニット200は、中央演算装置(CPU)、読み出し専用メモリ(ROM)、ランダムアクセスメモリ(RAM)、及び入出力インタフェース(I/Oインタフェース)を備えたマイクロコンピュータで構成され、コントローラとして機能する。

[0065] 特に、本実施形態においてコントロールユニット200は、エアフローメータ23、アノードガス圧力センサ37と、水温センサ47、電流/電圧測定ユニット50等の各種センサや負荷装置53からの入力信号、及び燃料電池システム100が搭載される車両のイグニションスイッチのオン信号が入力される。

[0066] また、コントロールユニット200は、負荷装置53の制御ユニットから要求負荷の信号を受信したコントロールユニット200が、燃料電池スタック1のIV特性に基づいて、当該要求負荷から燃料電池スタック1に対して要求される出力電流である要求出力電流(以下、「負荷要求電流」とも記載する)を演算する。

[0067] そして、コントロールユニット200は、基本的に、電流/電圧測定ユニット50で得られたスタック電流の検出値が上記負荷要求電流に近づくようにパワーユニット52を制御する電流調節部として機能する。

[0068] さらに、コントロールユニット200は、アノードガス圧力センサ37からのアノードガス圧力検出値やアノードガス循環ブロワ36の回転数検出値から、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの流量であるアノードガス供給流量を推定する。

[0069] そして、コントロールユニット200は、基本的に、推定されるアノードガス供給流量が、上記負荷要求電流に応じた要求アノードガス供給流量に近づくように、アノードガス給排装置3のアノードガス調圧弁33の開度やアノードガス循環ブロワ36の出力等を制御するアノードガス流量調節部として機能する。

- [0070] また、コントロールユニット200は、基本的に、エアフローメータ23で得られたカソードガス供給流量の検出値が、上記負荷要求電流に応じた要求カソードガス供給流量に近づくように、カソードガス給排装置2のコンプレッサ22の出力等を制御する。
- [0071] そして、本実施形態のコントロールユニット200は、燃料電池システム100の運転状態が、低温起動時のオペレーション（以下では、「低温起動オペレーション」とも記載する）であるか、通常運転時のオペレーション（以下では、「通常運転オペレーション」とも記載する）であるかを判定するオペレーション判定部として機能する。
- [0072] さらに、本実施形態のコントロールユニット200は、後に詳細に説明する低温起動オペレーションの回復制御中においては、スタック電流の目標値として、上記負荷要求電流に代えて回復制御時目標出力電流を設定する。そして、コントロールユニット200は、回復制御中においては、電流／電圧測定ユニット50で得られたスタック電流検出値が回復制御時目標出力電流に近づくようにパワーユニット52を制御する。なお、本実施形態では、回復制御時目標出力電流は負荷要求電流よりも低い値に設定される。
- [0073] また、コントロールユニット200は、低温起動オペレーションの回復制御中においては、アノードガス供給流量の目標値として、上記要求アノードガス供給流量に代えて回復制御時目標アノードガス供給流量を設定する。そして、コントロールユニット200は、回復制御中においては、アノードガス供給流量の推定値が回復制御時目標アノードガス供給流量に近づくようにアノードガス給排装置3を制御する。
- [0074] 本実施形態のコントロールユニット200は、燃料電池スタック1の起動要求（IGNのオン信号）を受信する。コントロールユニット200は、IGNのオン信号を受信した際に、低温起動オペレーションが要求される低温環境であるか否かを判断し、低温環境であると判断するとパワーユニット52等のアクチュエータに、燃料電池スタック1の低温起動オペレーションを実行させる。すなわち、コントロールユニット200は、IGNオン信号の

受信及び低温環境であるとの判断によって、燃料電池システム100の状態が低温起動オペレーションであると判定する。

[0075] 特に、本実施形態において、コントロールユニット200は、上記低温起動オペレーションとして、パワーユニット52等のアクチュエータを制御し、電解質膜111の水の濃度勾配を通常運転オペレーションにおける水の濃度勾配よりも増大させる回復制御を実行する。

[0076] 以下、本実施形態の燃料電池システム100による回復制御の背景技術について説明する。

[0077] 図23は、本実施形態の背景技術について説明する図である。

[0078] 具体的に、図23には、燃料電池スタック1の低温起動時の低温起動オペレーションとして、燃料電池スタック1を昇温させることを目的とする零下起動処理（解凍運転）から、車両が走行可能な状態とされる通常運転オペレーションに移行すべく、燃料電池スタック1の負荷（スタック電流）を増加させるプロセスにおけるスタック電圧の変化を示している。なお、図23に示す例では、回復制御は実行されていない。

[0079] 図23のグラフにおいては、カソード極113内の水分量が相対的に多い場合のスタック電圧の変化を実線で示す。一方、カソード極113内の水分量が相対的に少ない場合のスタック電圧の変化を破線で示す。

[0080] ここで、零下起動処理とは、低温環境下において燃料電池スタック1に一定程度の負荷を与えて発電を実行させ、発電による生成熱で燃料電池スタック1を昇温させる処理である。なお、必要とされる昇温速度に応じてPTCヒータ等の熱源を燃料電池加熱装置として用いることもできる。

[0081] そして、図23においては、時刻 t_a においてスタック温度 T_s は約 0°C まで上昇し、燃料電池スタック1の零下起動処理が終了する。したがって、時刻 t_a で通常運転オペレーションに移行することとなる。通常運転オペレーションに移行する時刻 t_a においては、特に走行モータへの電力供給が開始されるので、スタック電圧が瞬間的に低下する。

[0082] ここで、図から理解されるように、カソード極113内の水分量が相対的

に多い場合にはカソード極 113 内の水分量が相対的に少ない場合に比べて、通常運転オペレーションに移行する時刻 t_a における電圧降下が大きくなっている。

[0083] これにより、カソード極 113 内の水分量が相対的に多い場合には、通常運転オペレーションに移行した時刻 t_a 以降に燃料電池スタック 1 が目標出力性能に回復するまでに、より長い時間がかかることとなる（図 23 の回復時間差 ΔT 参照）。

[0084] 本実施形態の燃料電池システム 100 は、このような状況において燃料電池スタック 1 を所望の出力性能に速やかに回復させる回復制御を提供する。

[0085] 以下では、本実施形態における燃料電池システム 100 の制御をより詳細に説明する。

[0086] 図 4 は、本実施形態における燃料電池システム 100 の起動時の処理の流れを説明するフローチャートである。

[0087] ステップ S100 において、コントロールユニット 200 は、燃料電池システム 100 を起動させるにあたり、燃料電池スタック 1 に対して低温起動オペレーションを実行する必要があるか否かを判断すべく、スタック温度 T_s が、低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} 未満であるか否かを判定する。

[0088] なお、低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} は、燃料電池スタック 1 内の水分の凍結状態などを考慮し、燃料電池スタック 1 の低温起動オペレーションを行う判断基準となる温度として実験等により予め定められる。低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} は、例えば 0°C に設定することができる。また、スタック温度 T_s と低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} の大小判定に代えて、燃料電池システム 100 に設けた図示しない外気温センサ等の温度検出値と低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} との大小を判定しても良い。

[0089] そして、コントロールユニット 200 は、スタック温度 T_s が低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} 未満であると判定すると、ステップ S1

10において低温起動オペレーションを実行する。

[0090] 図5は、本実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。

[0091] ステップS111において、コントロールユニット200は先ず零下起動処理を実行する。零下起動処理は、既に説明したように、燃料電池スタック1を所定負荷の下発電させて燃料電池スタック1を昇温させる処理である。

[0092] ステップS112において、コントロールユニット200は、スタック温度 T_s が回復制御実行基準温度 T_{th2} より大きいか否かを判定する。ここで、回復制御実行基準温度 T_{th2} は、上記零下起動処理によって燃料電池スタック1内の解凍がある程度進行することによって、後述する回復制御を実行するために適切な状態になっているか否かという観点から定められる温度である。

[0093] 回復制御実行基準温度 T_{th2} は、燃料電池スタック1内の解凍がある程度進行する 0°C 以上の温度であって、且つ低温起動オペレーションの長期化を防止する観点から高すぎない温度に設定されることが好ましい。例えば、回復制御実行基準温度 T_{th2} は 0°C に設定される。

[0094] そして、コントロールユニット200は、スタック温度 T_s が回復制御実行基準温度 T_{th2} より大きいと判定すると、ステップS113において、本実施形態の回復制御であるスタック電流低下処理を実行する。

[0095] スタック電流低下処理では、零下起動時における要求負荷が維持されるか、それよりも低い要求負荷が設定される。さらに、スタック電流低下処理では、スタック電流が、設定された要求負荷に応じた負荷要求電流よりも低くなるように調節される。すなわち、スタック電流低下処理中の目標出力電流（回復制御時目標出力電流）は、燃料電池スタック1の通常運転オペレーション等において採用される基本的な目標値（負荷要求電流）よりも低くなるように設定される。

[0096] 具体的に、コントロールユニット200は、負荷装置53の要求に相当する負荷要求電流よりも低い回復制御時目標出力電流を設定し、スタック電流

が回復制御時目標出力電流に近づくようにパワーユニット52を制御する。これにより、パワーユニット52によってスタック電流が当該回復制御時目標出力電流まで低下するように調節される。

[0097] 一方、本実施形態では、コントロールユニット200は、負荷要求電流に基づいた要求アノードガス供給流量よりも高い回復制御時目標アノードガス供給流量を設定し、アノードガス供給流量が回復制御時目標アノードガス供給流量に近づくようにアノードガス給排装置3を制御する。

[0098] したがって、スタック電流低下処理中においては、スタック電流が負荷要求電流よりも小さくなる一方で、アノードガス供給流量は負荷要求電流に応じた要求アノードガス供給流量よりも高く設定されるので、アノードガス供給流量は、実スタック電流に対して過剰となる。

[0099] 一方で、スタック電流が負荷要求電流よりも小さくなることにより、負荷に要求すべき電力が不足することが考えられる。しかしながら、この負荷の要求に対して不足する分の電力は、図示しないバッテリー等により補填することができる。

[0100] 次に、ステップS114において、コントロールユニット200は、図示しないタイマ等でカウントする回復制御の継続時間 t_{re} が、所定時間 t_b を越えたか否かを判定する。ここで、所定時間 t_b は、燃料電池スタック1の出力性能を所望の性能に回復することができる程度にスタック電流低下処理を継続すべき時間の下限値として、予め実験等により定められる。

[0101] そして、コントロールユニット200は、回復制御の継続時間 t_{re} が所定時間 t_b を越えたと判断すると回復制御を終了し、ステップS120に進む。なお、コントロールユニット200は、スタック電流低下処理の継続時間 t_{re} が所定時間 t_b を越えていないと判定した場合には、引き続き回復制御を継続する。

[0102] 図4に戻り、ステップS120において、コントロールユニット200は、燃料電池スタック1を通常運転オペレーションに移行させる。具体的に、通常運転オペレーションにおいては、車両の走行モータへの電力の供給が開

始され、車両が走行可能な状態に移行する。

[0103] 図6は、上述した燃料電池システム100の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートの一例である。なお、図6(a)のグラフはスタック電圧の変化を表しており、図6(b)のグラフはスタック電流の変化を表している。また、図6(c)のグラフはアノードガス供給流量及びカソードガス供給流量の変化を表す。さらに、図6(d)のグラフはスタック温度 T_s の変化を表している。

[0104] 時刻 t_0 において、コントロールユニット200はイグニションスイッチのオン信号（燃料電池スタック1の起動要求）を受信し、スタック温度 T_s が低温起動オペレーション実行基準温度 T_{th1} を下回っていることを検知する（ステップS100のYes及び図6(d)参照）。これにより、コントロールユニット200は、燃料電池システム100が低温起動オペレーションであると判断する。

[0105] そして、コントロールユニット200は、低温起動オペレーションの零下起動処理を実行するべく、コンプレッサ22等のカソードガス給排装置2やアノードガス循環ブロワ36等のアノードガス給排装置3を制御して燃料電池スタック1へのアノードガス及びカソードガスの供給を開始する（ステップS110、ステップS111、及び図6(c)参照）。これに伴い、スタック電圧が上昇する（図6(a)）。

[0106] 次に、スタック電圧が安定する時刻 t_1 において、コントロールユニット200は、パワーユニット52を制御して燃料電池スタック1からの電流の取り出しを開始する。すなわち、要求負荷に応じた燃料電池スタック1の発電が開始され、スタック電流が増加する（ステップS111、及び図6(b)参照）。これに伴い、スタック電圧は減少する（図6(a)参照）。そして、燃料電池スタック1の発電で生成される発熱により、スタック温度 T_s が増加していく。

[0107] 次に、時刻 t_2 では、スタック温度 T_s が回復制御実行基準温度 T_{th2} に到達する。したがって、コントロールユニット200は、回復制御として

の上述のスタック電流低下処理を開始する（ステップS 1 1 2、ステップS 1 1 3、及び図6（b）参照）。既に述べたように、スタック電流低下処理では、実際のスタック電流が負荷要求電流よりも小さくなるにもかかわらず、実際のアノードガス供給流量は要求アノードガス供給流量よりも高い状態となるので、スタック電圧は上昇する（図6（a）参照）。

[0108] 特に図6に示すスタック電流低下処理の例では、零下起動処理から回復制御に移行して負荷要求電流自体は低下しているものの、実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）は、零下起動処理時における要求アノードガス供給流量と同一の値に調節されている。すなわち、零下起動処理からスタック電流低下処理に移行しても、アノードガス供給流量は変化させることなく維持されている（図6（c）の実線参照）。

[0109] これにより、アノードガス供給流量が、スタック電流低下処理中の要求アノードガス供給流量（図6（c）の二点鎖線参照）を上回る。すなわち、零下起動処理からスタック電流低下処理に移行すると、実際のスタック電流（回復制御時目標出力電流）を実現するために必要とされるアノードガス供給流量に対する実際のアノードガス供給流量の比として定義されるアノードガスストイキ比が増大することとなる。

[0110] したがって、本実施形態では、このスタック電流低下処理によって、燃料電池スタック1のアノード触媒層1 1 2 Aの含水量を低下させることができ、アノード触媒層1 1 2 Aとカソード触媒層1 1 3 Aの間の電解質膜1 1 1における水の濃度勾配を増大させ、カソード触媒層1 1 3 Aから電解質膜1 1 1への水分移動を促進することができる。これにより、カソード触媒層1 1 3 A内の水分を除去して、燃料電池スタック1の出力性能を回復させることができる。なお、この作用効果の原理については後に詳細に説明する。

[0111] なお、図6（c）に示すタイムチャートでは、カソードガス供給流量はアノードガス供給流量に合わせた値に設定されている。すなわち、実際のカソードガス供給流量は、回復制御時目標出力電流を実現するために必要とされるカソードガス供給流量と比べて高く設定されており、カソードガスストイ

キ比も相対的に増大している。しかしながら、実際のカソードガス供給流量については、例えば回復制御時目標出力電流を実現するために必要とされる値に設定するなどのように、より低く調節するようにしても良い。

[0112] そして、時刻 t_3 では、回復制御の継続時間 t_{re} ($= t_3 - t_2$) が、所定時間 t_b に達する。したがって、コントロールユニット 200 は、時刻 t_3 で回復制御を終了し、燃料電池スタック 1 を通常運転オペレーションに移行させる（ステップ S 114 及びステップ S 120 参照）。具体的に、コントロールユニット 200 は、スタック電流低下処理を終了させて、スタック電流の目標値及びアノードガス供給流量の目標値をそれぞれ、負荷要求電流及び要求アノードガス供給流量に復帰させる。同様にカソードガス供給流量も負荷要求に応じた要求カソードガス供給流量に設定する。

[0113] なお、図 6 の例においては、通常運転オペレーションに移行して負荷要求電流が増加するので（図 6 (b) の二点鎖線参照）、基本的な出力電流の制御にしてこの負荷要求電流が目標出力電流に設定されることでスタック電流が増加する。これにより、スタック電圧は減少する（図 6 (a) 参照）。また、通常運転オペレーションでは、アノードガス供給流量及びカソードガス供給流量についても、基本的な流量制御に従い、負荷要求電流に合わせて、アノードガスストイキ比及びカソードガスストイキ比を 1 以上にするように調節される。

[0114] 次に、本実施形態における回復制御としてのスタック電流低下処理により、燃料電池スタック 1 の出力性能が回復する原理について説明する。なお、以下で説明する原理は、必ずしも本発明の技術的範囲を拘束するものではない。

[0115] 図 7 は、本実施形態の回復制御による作用効果を説明する図である。具体的に、図 7 には、燃料電池セル 10 における触媒層 112 A, 113 A や電解質膜 111 の構成を模式的に示している。

[0116] 本実施形態の燃料電池システム 100 による作用効果を、JP 4575693 B 2 等で提案されていた従来のドライエア供給処理と対比しつつ説明す

る。

- [0117] 一般に、カソード触媒層 1 1 3 A には、水分回収装置 2 5 の加湿分や発電の生成水に由来する水分が含まれる。特に、発電の生成水に由来する水分が主としてカソード空孔中やカソード電解質中に含まれる。そして、カソード空孔中に含まれる水分が多いと、カソード極 1 1 3 内におけるガス拡散が阻害されるいわゆるフラッディングが発生し、燃料電池スタック 1 の出力性能が低下する恐れがある。
- [0118] したがって、このようなカソード空孔中の水分を除去すべく、従来のドライエア供給処理においては、ドライエアをカソード流路 1 3 1 に供給してカソード空孔中の水分の蒸発を促し、蒸発した水分をカソード流路 1 3 1 中に排出させるようにしていた。
- [0119] しかし、低温起動オペレーションは低温環境下で実行されるので、スタック温度 T_s が低くカソード空孔中に存在する水分も低温であるとともに、供給されるドライエアの温度も低温である。したがって、カソード空孔中に存在する水分の蒸気圧が低く、ドライエア自体の飽和水蒸気圧も低いため、水分を蒸発させる効果が低い。
- [0120] また、ドライエアを構成する分子は主として窒素分子や酸素分子等であり分子量が比較的大きいため、カソード触媒層 1 1 3 A 中における拡散効果が低い。したがって、カソード流路 1 3 1 にドライエアを供給しても、ドライエアがカソード空孔中に十分に行き渡らないため、当該カソード空孔中の水分を除去する効果が低いと考えられる。
- [0121] このような従来の問題点を鑑み、本発明者らは、鋭意研鑽の結果、上述のドライエア供給処理のようにカソード空孔中の水分をカソード流路 1 3 1 に排出するという思想に代えて、カソード空孔中の水分を電解質膜 1 1 1 側へ移動させることによってカソード空孔中の水分を除去するという新規な着想に至った。
- [0122] 具体的に、本発明者らは、カソード空孔中の水分を除去するにあたり、アノード触媒層 1 1 2 A とカソード触媒層 1 1 3 A の水の濃度勾配の相違に起

因してカソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水分が移動する現象である逆拡散現象（図 7 における太線矢印参照）に着目した。

- [0123] 逆拡散現象についてより詳細に説明する。
- [0124] 図 7 に示すように、アノード触媒層 1 1 2 A には、アノード流路 1 2 1 及びガス拡散層 1 1 2 B を介してアノードガスが供給される。アノード触媒層 1 1 2 A には、このアノードガス中の水分に由来した水分が若干含まれているものの、発電による生成水はほぼ含まれていない。
- [0125] また、アノード触媒層 1 1 2 A のアノード空孔中の水分は、一般的に燃料電池セル 1 0 の電気化学反応に伴い、プロトン H^+ とともに電解質膜 1 1 1 側に移動する。したがって、アノード極 1 1 2 では、実質的にアノード電解質中にのみ水分が存在するのみである。すなわち、アノード触媒層 1 1 2 A に含まれる水分は、カソード触媒層 1 1 3 A に含まれる水分に比べて少ない。
- [0126] 一方、カソード極 1 1 3 では発電による生成水が発生するため、アノード極 1 1 2 よりも多量の水分を含み、この水分はカソード触媒層 1 1 3 A のカソード空孔などに蓄積する。
- [0127] 上述したアノード触媒層 1 1 2 A とカソード触媒層 1 1 3 A の水分量の差によって、アノード触媒層 1 1 2 A とカソード触媒層 1 1 3 A の間には水の濃度勾配が生じる（図 7 の一点鎖線グラフ参照）。ここで、本実施形態における水の濃度勾配は、アノード触媒層 1 1 2 A に含まれる水分量に対するカソード触媒層 1 1 3 A に含まれる水分量の比として与えられる。これにより、カソード空孔中の水分が電解質膜 1 1 1 側へ移動する逆拡散現象が起こる（図の太線矢印参照）。
- [0128] 本発明者らは、この逆拡散現象に着目し、燃料電池スタック 1 の低温起動オペレーションにおいてこの逆拡散現象を促進し、低温起動オペレーションにおける水の濃度勾配を通常運転オペレーションにおける水の濃度勾配よりも増大させる回復制御を実行することで、カソード空孔中の水分を電解質膜 1 1 1 側へ移動させて効率的に除去するという思想に至った。
- [0129] 本実施形態では、このような逆拡散現象を促進する一手段として、アノー

ド極 1 1 2 内の含水量を低下させる処理を実行する。より、具体的には、コントロールユニット 2 0 0 は、負荷要求電流よりも低い回復制御時目標出力電流を設定し、回復制御中においてスタック電流がこの回復制御時目標出力電流に近づくようにパワーユニット 5 2 を制御するスタック電流低下処理（図 5 のステップ S 1 1 3 及び図 6（b）の時刻 t 2 ~ 時刻 t 3 参照）を実行する。

[0130] このような回復制御を実行することで、実アノードガス供給流量が、スタック電流に対して過剰な状態となる。すなわち、アノード流路 1 2 1 からガス拡散層 1 1 2 B を介してアノード触媒層 1 1 2 A へ供給されるアノードガスの流量が発電の要求に対して高くなり、発電で消費されることなく残留する余剰のアノードガスが増加することとなる。したがって、余剰分のアノードガスがアノード電解質中へ拡散することとなるので、アノードガスによるアノード電解質中から水分が除去されることとなる。

[0131] これにより、アノード触媒層 1 1 2 A 内の水分量が減少することとなるので、アノード触媒層 1 1 2 A とカソード触媒層 1 1 3 A の間の水の濃度勾配が増大する（図 7 の実線グラフ参照）。したがって、上記逆拡散現象の作用が促進される。

[0132] 特に、アノードガスの主成分は分子量が小さい水素であるため、窒素や酸素を主成分とするカソードガスと比べて、アノード触媒層 1 1 2 A 内における拡散効果が高い。その上、アノード触媒層 1 1 2 A には上述のようにアノード空孔中に水分がほぼ含まれていないので、アノードガスはアノード空孔中を水分によって阻害されることなく拡散する。

[0133] 結果として、アノードガスがアノード電解質中へ拡散する効果が高く、アノード電解質中の水分は効率的に除去され得る。さらに、上述のように、そもそもアノード触媒層 1 1 2 A 内に含まれる水分の量は、カソード触媒層 1 1 3 A 内に含まれる水分の量と比較して少ない。したがって、回復制御によるアノード電解質中の水分の除去は、カソード触媒層 1 1 3 A 内の水分の除去を行う場合と比較的より効果的に実行することができる。

- [0134] 次に、従来のドライエア供給処理によるカソード触媒層 1 1 3 A からカソード流路 1 3 1 へ水分の蒸発、及び上記回復制御によるカソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 へ水分の移動の間の、スタック温度 T_s に応じた優位性の大小について説明する。
- [0135] 図 8 は、スタック温度 T_s に応じた、カソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への移動水分量（以下では、「移動水分量 W_m 」とも記載する）とカソード触媒層 1 1 3 A からカソード流路 1 3 1 へ蒸発する水分量（以下では、「蒸発水分量 W_c 」とも記載する）の関係を説明するグラフである。
- [0136] 図 8 において、横軸はスタック温度 T_s であり、縦軸は $(W_m - W_c) / W_c$ で定義される無次元量である。すなわち、この縦軸の値は蒸発水分量 W_c に対して移動水分量 W_m がどの程度大きいかを表す値である。
- [0137] 上記値が正であるとき、すなわち図 8 のグラフにおける縦軸 > 0 の領域は、移動水分量 W_m が蒸発水分量 W_c よりも大きい領域（以下、「水移動優位領域」とも記載する）となる。したがって、この水移動優位領域では、カソード触媒層 1 1 3 A からカソード流路 1 3 1 への水蒸発に比べて、カソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水移動が優位に発生する。
- [0138] また、上記値が負であるとき、すなわち図 8 のグラフにおける縦軸 < 0 の領域は、移動水分量 W_m が蒸発水分量 W_c よりも小さい状態（以下、「流路蒸発優位領域」とも記載する）となる。したがって、この流路排出優位領域では、カソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水移動に対して、カソード触媒層 1 1 3 A からカソード流路 1 3 1 への水蒸発が優位に発生する。
- [0139] なお、上記値がゼロであるとき、すなわち図 8 のグラフにおける縦軸 $= 0$ の領域では、移動水分量 W_m と蒸発水分量 W_c は同じになる。この場合、カソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水移動量と、カソード触媒層 1 1 3 A からカソード流路 1 3 1 への水蒸発量はほぼ同等になる。
- [0140] 図 8 を参照すると、スタック温度 $T_s > T_1$ では流路蒸発優位領域であるものの、スタック温度 $T_s < T_1$ では水移動優位領域であることがわかる。

ここで、 T_1 の値は実験条件等により若干の幅はあるものの、ほぼ 25°C 近傍の値であることがわかっている。したがって、以下では $T_1 \doteq 25^{\circ}\text{C}$ とみなして説明を行う。

[0141] 図8に示すように、低温起動オペレーションの実行環境として想定されるスタック温度 $T_s < 25^{\circ}\text{C}$ の領域は、水移動優位領域となっている。したがって、従来のドライエア供給処理によって、本実施形態の回復制御と同等程度の水除去効果を得るには、少なくともスタック温度 T_s を 25°C まで昇温させる必要がある。しかしながら、スタック温度 T_s をここまで上昇させるには、燃料電池スタック1の発電による生成熱に加えてヒータ等を用いて加熱を行うとしても相応の時間がかかる。

[0142] これに対して、既に述べたように、低温起動オペレーションの実行環境下におけるスタック温度 $T_s < 25^{\circ}\text{C}$ の領域は水移動優位領域にあるため、本実施形態の回復制御にかかるカソード触媒層113Aから電解質膜111への水移動は、カソード流路131への蒸発による水分の排出と比べ、明らかに効果的なカソード触媒層113Aからの水分除去を実現することができる。

[0143] 以上説明したように、本発明者らは、カソード触媒層113Aから電解質膜111へ水が移動する現象である逆拡散現象に着目し、低温環境下においてこの逆拡散現象による水移動がカソード流路131への蒸発による水分の排出に比べて優位であることを見出した。

[0144] さらに、本発明者らは、本実施形態の回復制御によって、電解質膜の水の濃度勾配を通常運転オペレーションより増大させることで、低温環境下においても逆拡散現象が促進され、結果として、カソード触媒層113Aからの水分の除去を従来の方法よりも効率的に実行することができ、燃料電池スタック1の出力性能の効率的な回復に寄与することができるという画期的な思想に想到した。

[0145] 図9には、本実施形態の回復制御による出力性能の回復効果を説明するグラフを示している。具体的に、図9は、低温起動オペレーション中のセル電

圧の時間変化を示している。

[0146] また、図9の破線グラフは、本実施形態の回復制御を実行しない場合のセル電圧の変化を表している。一方、図9の実線グラフは、本実施形態の回復制御を実行する場合のセル電圧の変化を表している。

[0147] 既に説明したように、本実施形態の回復制御は、スタック電流を低下させつつも、実際のアノードガス供給流量を要求アノードガス流量以上にする処理である。したがって、図9から明らかなように、回復制御を実行していない破線グラフと比べて、回復制御中の実線グラフのセル電圧は高くなる。

[0148] そして、回復制御が終了すると燃料電池スタック1の通常運転オペレーションに移行する。ここで、通常運転オペレーションでは、回復制御を実行する場合も実行しない場合も通常運転オペレーションの負荷要求電流を目標出力電流として制御されるにもかかわらず、回復制御を実行した場合のセル電圧は、回復制御を実行しない場合のセル電圧と比べて明らかに高くなっている。すなわち、これは、本実施形態の回復制御により、燃料電池スタック1の出力性能が回復したことを示している。

[0149] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。

[0150] 本実施形態の燃料電池システム100は、アノード極とカソード極の両面に触媒層112A、113Aを備える電解質膜111と、アノード極側に燃料ガスとしてのアノードガスを供給するアノード流路121と、カソード極側に酸化ガスとしてのカソードガスを供給するカソード流路131と、からなる単セルとしての燃料電池セル10を複数積層した燃料電池スタック1を有する。また、燃料電池システム100は、アノード流路121のアノードガスを調整する燃料ガス調整装置としてのアノードガス給排装置3と、カソード流路131のカソードガスを調整する酸化ガス調整装置としてのカソードガス給排装置2と、燃料電池スタック1の状態（負荷要求電流等）に応じてアノードガス給排装置3とカソードガス給排装置2を制御するコントロールユニット200と、を備える。

- [0151] また、コントロールユニット200は、低温起動時のオペレーション（低温起動オペレーション）であるか通常運転時のオペレーション（通常運転オペレーション）であるかを判定するオペレーション判定部と、オペレーション判定部により低温起動オペレーションであると判定されると（IGNのオン信号が受信されると）、濃度勾配調整装置により電解質膜111の水の濃度勾配を通常運転オペレーションより増大させる回復制御を実行する回復制御部として機能する（図5のステップS113及び図7参照）。
- [0152] したがって、本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御により、燃料電池スタック1の低温起動時にカソード触媒層113A中の水分を電解質膜111に移動させる。
- [0153] これによれば、低温起動オペレーション中に行われる回復制御によって、電解質膜111の水の濃度勾配を通常運転オペレーションにおける水の濃度勾配より増大させることによって、カソード触媒層113Aに含まれている水分を電解質膜111側に移動させて除去することができる。
- [0154] すなわち、本実施形態では、従来のドライエア供給処理のように、カソード触媒層113A内の水分をカソード流路131へ蒸発させる方法に代えて、カソード触媒層113Aに含まれている水分を電解質膜111側に移動させるという手法によって除去し、燃料電池スタック1の出力性能を回復させることができる。
- [0155] 特に、図8において既に説明したように、低温環境下における温度領域は、カソード触媒層113Aから電解質膜111への水分移動（逆拡散現象）が、カソード触媒層113A内の水分の蒸発によるカソード流路131への排出と比べて優位となる水移動優位領域に属する。したがって、低温環境下で実行される低温起動オペレーション中に上記回復制御を行って逆拡散現象を助長することで、カソード触媒層113A内の水分をより効果的に除去することができる。
- [0156] すなわち、本実施形態の回復制御によれば、スタック温度等の周囲環境温度を従来のドライエア処理において要求されるような高い温度まで昇温させ

ずとも、カソード触媒層 113A 内の水分を効果的に除去することができる。したがって、零下起動処理及び回復制御を含む低温起動オペレーションの時間を短縮させつつ、燃料電池スタック 1 の出力性能を所望の性能に回復することができる。

[0157] さらに、本実施形態の燃料電池システム 100 では、上記濃度勾配調整装置は、燃料電池スタック 1 の出力電流であるスタック電流を調節する出力電流調節装置としてのパワーユニット 52 を有する。また、回復制御部としてのコントロールユニット 200 は、パワーユニット 52 によりスタック電流を要求負荷に基づいた要求出力電流（負荷要求電流）よりも低下させることで、電解質膜 111 の水の濃度勾配を増大させる（図 6（b）の時刻 t_2 ~ 時刻 t_3 及び図 7 参照）。

[0158] これにより、回復制御としてのスタック電流低下処理中においてスタック電流を負荷要求電流よりも小さくするので、低下したスタック電流を実現するために必要とされるアノードガス供給流量が低下する。したがって、実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）がスタック電流を実現するために要求されるアノードガス供給流量に対して過剰となる。これにより、回復制御では、通常起動オペレーション中などと比較してアノードガスストイキが増加することとなる。

[0159] したがって、アノード流路 121 からガス拡散層 112B を介してアノード触媒層 112A へ供給されるアノードガスの流量が、発電で消費される理論的な量に対して過剰となり、アノード触媒層 112A 内に残留するアノードガス流量が増加することとなる。これにより、余剰分のアノードガスがアノード電解質中へ拡散することとなるので、アノードガスによるアノード電解質中からの水分の除去が助長されることとなる。

[0160] 特に、アノードガスの主成分は分子量が小さい水素であるため、窒素や酸素を主成分とするカソードガスと比べて、拡散効果が高い。その上、アノード触媒層 112A には、アノード空孔中に水分がほぼ含まれていないので、アノードガスはアノード空孔中を阻害されることなく拡散する。したがって

、上記回復制御によって、アノード電解質中の水分はより好適に除去されることとなる。

[0161] 結果として、アノード触媒層 1 1 2 A 内の水分量がより減少することとなり、アノード触媒層 1 1 2 A とカソード触媒層 1 1 3 A の間の水の濃度勾配の増大がより促進される（図 7 の実線グラフ参照）。したがって、カソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水分移動（逆拡散現象）がより助長されることとなる。

[0162] すなわち、スタック電流を負荷要求電流よりも低下させるという簡易な制御によってカソード触媒層 1 1 3 A から電解質膜 1 1 1 への水分移動の促進を実現することができる。したがって、低温起動オペレーション時におけるより速やかな燃料電池スタック 1 の出力性能の回復に資することとなる。

[0163] さらに、本実施形態では、上述のようにスタック電流を負荷要求電流よりも低下させるので、負荷の要求に応じた燃料電池スタック 1 の発電量に対して、実際の燃料電池スタック 1 の発電量が低くなる。したがって、発電による生成水の発生が抑制される。すなわち、カソード触媒層 1 1 3 A 中への生成水の蓄積が抑制されるので、回復制御においてより速やかにカソード触媒層 1 1 3 A から水分を除去することができ、低温起動オペレーションの時間のさらなる短縮化に資することとなる。

[0164] 以上説明したように、本実施形態における燃料電池スタック 1 を有する燃料電池システム 1 0 0 の制御方法では、コントロールユニット 2 0 0 は、低温起動オペレーションであるか、通常運転オペレーションであるかを判定し、低温起動オペレーションであると判定されると（IGN のオン信号が受信されると）、燃料電池としての燃料電池セル 1 0 の電解質膜 1 1 1 の水の濃度勾配を通常運転オペレーションの水の濃度勾配より増大させる回復制御を実行する（図 5 のステップ S 1 1 3）。

[0165] このように、従来のドライエア供給処理のように、カソード触媒層 1 1 3 A 内の水分をカソード流路 1 3 1 へ蒸発させる方法に代えて、カソード触媒層 1 1 3 A に含まれている水分を電解質膜 1 1 1 側に移動させるという手法

によって除去し、燃料電池スタック 1 の温度を従来のドライエア処理において要求されるような高い温度まで昇温させることなく、カソード極 1 1 3 内の水分をより効果的に除去することができる。したがって、燃料電池スタック 1 の出力性能を所望の性能に回復低温起動オペレーションの時間の短縮を図ることができる。

[0166] なお、本実施形態では、零下起動処理後（燃料電池スタック 1 の昇温後）に回復制御を実行する例を説明したが、零下起動処理中（燃料電池スタック 1 の昇温中）に回復制御を実行するようにしても良い。

[0167] また、本実施形態の図 6 のタイムチャートでは、実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）は、零下起動処理時における要求アノードガス供給流量と同一の値に調節される例を説明している。すなわち、この例では、実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）は、回復制御中における要求アノードガス供給流量よりも大きく設定されている。

[0168] しかしながら、実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）を回復制御中における要求アノードガス供給流量（図 6（c）の二点鎖線参照）と同一の値に設定しても良い。すなわち、本実施形態における回復制御中においては、アノードガス供給流量を、通常の流量制御に従って回復制御中における要求アノードガス供給流量に調節するように制御し、スタック電流のみを負荷要求電流よりも低く設定しても良い。この場合でも、アノード触媒層 1 1 2 A 内においてアノードガス流量が余剰となる状態を実現できるので、既に説明したアノード触媒層 1 1 2 A 中の水分を除去する効果は得ることができる。

[0169] （第 2 実施形態）

以下、本発明の第 2 実施形態について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態においては、特に、回復制御部として機能するコントロールユニット 2 0 0 が、回復制御中におけるスタック電流を略ゼロに設定する。

[0170] 図10は、本実施形態における燃料電池システム100の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートの一例である。なお、図10(a)のグラフはスタック電圧の変化を表しており、図10(b)のグラフはスタック電流の変化を表している。また、図10(c)のグラフはアノードガス供給流量及びカソードガス供給流量の変化を表す。さらに、図10(d)のグラフはスタック温度 T_s の変化を表している。

[0171] 図示のように、本実施形態では、コントロールユニット200は、回復制御を開始する時刻 t_2 において、燃料電池スタック1の回復制御時目標出力電流を略ゼロに設定し、回復制御中においてスタック電流がこの回復制御時目標出力電流に近づくようにパワーユニット52を制御するスタック電流低下処理(図10(b)の時刻 t_2 ~時刻 t_3 参照)を実行する。すなわち、スタック電流を略ゼロに設定する。なお、このように、燃料電池スタック1からの電流の取り出しを制限したことによって起こりうる負荷への電力供給の不足分は、第1実施形態と同様に図示しないバッテリー等の電力で補填する。

[0172] 一方、コントロールユニット200は、第1実施形態と同様に、アノードガス供給流量(回復制御時目標アノードガス供給流量)を、零下起動処理時における要求アノードガス供給流量と同一の値に調節する。これにより、スタック電流低下処理中における実際のアノードガス供給流量が、スタック電流低下処理中の要求アノードガス供給流量(図6(c)の二点鎖線参照)を上回る。すなわち、零下起動処理からスタック電流低下処理に移行すると、アノードガスストイキ比が増大することとなる。

[0173] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。

[0174] 本実施形態では、回復制御部としてのコントロールユニット200は、パワーユニット52により、スタック電流を略ゼロに設定する(図10(c)の時刻 t_2 ~時刻 t_3 参照)。

- [0175] これにより、理論上、実際のスタック電流を実現するために必要とされるアノードガス供給流量は実質的にゼロとなる。したがって、実際のスタック電流（回復制御時目標出力電流）を実現するために必要とされるアノードガス供給流量に対する実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）の比として定義されるアノードガスstoiキ比は、実際のアノードガス供給流量がどのように設定されたとしても、通常運転オペレーションなどにおけるアノードガスstoiキ比と比べて増大することとなる。
- [0176] これにより、低温起動オペレーション時において、既に説明した電解質膜 1 1 1 の水の濃度勾配の増大を実現させ得るアノードガスstoiキ比の増大を、より容易に実現することができる。
- [0177] 特に、本実施形態のように回復制御中の実際のスタック電流を実質的にゼロとすれば、燃料電池スタック 1 の発電が実質的に実行されていない状態となる。したがって、回復制御中のカソード触媒層 1 1 3 A 内における生成水の発生を略ゼロとすることができる。すなわち、カソード触媒層 1 1 3 A 内における新たな水分の発生がより一層抑制されるので、カソード触媒層 1 1 3 A 内から水分の除去を目的とする回復制御の効果がより一層向上することとなる。
- [0178] なお、既に説明したように、アノードガスstoiキ比は、実際のスタック電流を実現するために必要とされるアノードガス供給流量に対する実際のアノードガス供給流量として定義される。したがって、実際のスタック電流が実質的にゼロとなることによって当該スタック電流を実現するために必要とされるアノードガス供給流量が実質的にゼロとなるならば、理論上、実際のアノードガス供給流量の大きさにかかわらず、アノードガスstoiキ比は 1 を大幅に超える値をとる。
- [0179] つまり、本実施形態のように、回復制御中の実際のスタック電流を実質的にゼロまで低下させる場合には、例えば、実際のアノードガス供給流量をゼロとならない範囲で大きく低下させたとしても、アノードガスstoiキ比を 1 よりも高い値に維持することができる。

[0180] したがって、アノードガス供給流量を零下起動処理から回復制御の間に亘って維持する態様（図10（c）の時刻t1～時刻t3参照）に代えて、例えば実際のアノードガス供給流量を実質的にゼロとまらない範囲で回復制御中の要求アノードガス供給流量より低下させても良い。また、回復制御中においても通常のアノードガス供給流量の制御ロジックと同様に、回復制御時目標アノードガス供給流量を要求アノードガス供給流量と同一の値に設定しつつ、負荷の要求そのものを低下させて回復制御中の要求アノードガス供給流量自体を低下させることで実際のアノードガス供給流量を減少させるように制御しても良い。

[0181] これにより、低温起動オペレーション時におけるカソード触媒層113Aから電解質膜111への水分移動の促進効果を確保しつつも、回復制御中におけるアノードガス消費量を低減することができる。

[0182] （第3実施形態）

以下、本発明の第3実施形態について説明する。なお、第1実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態においては、回復制御部としてのコントロールユニット200は、アノードガス給排装置3を制御して、回復制御中のアノードガス供給流量を要求アノードガス供給流量よりも増大させることで、電解質膜111の水の濃度勾配を増大させる。

[0183] 図11は、本実施形態における燃料電池システム100の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートの一例である。なお、図11（a）のグラフはスタック電圧の変化を表しており、図11（b）のグラフはスタック電流の変化を表している。また、図11（c）のグラフはアノードガス供給流量及びカソードガス供給流量の変化を表す。さらに、図11（d）のグラフはスタック温度 T_s の変化を表している。

[0184] 特に、本実施形態では、コントロールユニット200は、上記回復制御として、スタック電流を低下させるスタック電流低下処理に代えて、アノード

ガス供給流量を要求アノードガス供給流量（図 1 1（c）の破線参照）よりも増加させるアノードガス供給流量増加処理を実行する（図 1 1（c）の時刻 t_2 ～時刻 t_3 参照）。

[0185] 具体的に、コントロールユニット 200 は、零下起動処理から回復制御に移行すると、アノードガス供給流量増加処理として、要求アノードガス供給流量よりも高い値の回復制御時目標アノードガス供給流量を設定し、アノードガス供給流量が回復制御時目標アノードガス供給流量に近づくようにアノードガス給排装置 3 を制御する。

[0186] 一方で、本実施形態では、コントロールユニット 200 は、零下起動処理から回復制御に移行しても負荷による負荷要求電流を維持し、スタック電流を維持している（時刻 t_2 ～時刻 t_3 参照）。すなわち、零下起動処理中と回復制御中において要求負荷を同一とし、コントロールユニット 200 は回復制御時目標出力電流をこの要求負荷に基づく負荷要求電流と同一の値に設定する。

[0187] これにより、零下起動処理から回復制御に移行する過程でスタック電流が維持されたままアノードガス供給流量が増加することとなる。したがって、アノードガスストイキ比が上昇する。これにより、バッテリー等の電力を用いずとも、燃料電池スタック 1 の発電によって負荷の要求電力を満たす状態を保ちつつ、アノードガスストイキ比を増加させることができる。

[0188] なお、本実施形態では、回復制御を終了させる時刻 t_3 において燃料電池スタック 1 を通常運転オペレーションに移行させるにあたり、スタック電流を通常運転オペレーションの初期の相対的に低い負荷要求電流に合わせるべく、アノードガス供給流量を第 1 実施形態の場合と比べてより減少させている。

[0189] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム 100 によれば、以下の作用効果を奏する。

[0190] 本実施形態の燃料電池システム 100 では、上記濃度勾配調整装置は、燃料ガス調整装置としてのアノードガス給排装置 3 を含む。そして、回復制御

部としてのコントロールユニット200は、アノードガス給排装置3によりアノードガス供給流量を、要求負荷に基づいた要求アノードガス供給流量よりも増大させることで、電解質膜111の水の濃度勾配を増大させる（図11(c)の時刻t2～時刻t3及び図7参照）。

[0191] これにより、回復制御中においてスタック電流を低下させることなく、電解質膜111の水の濃度勾配の増大を実現させ得るアノードガスストイキ比の増大状態を実現することができる。すなわち、燃料電池スタック1の発電電力で負荷の要求電力を満たす状態を保って、バッテリー等からの電力の補填を行うことなく、第1実施形態のスタック電流低下処理を行った場合と同様に、カソード触媒層113Aから電解質膜111への水分移動を促進することができる。

[0192] なお、本実施形態では、零下起動処理から回復制御に移行する過程（図11の時刻t2参照）でスタック電流を変化させることなく、アノードガス供給流量を増加させることでアノードガスストイキ比を増加させている。

[0193] しかしながら、これに限られず、例えば、第1実施形態のように、零下起動処理における負荷要求電流に対して回復制御における負荷要求電流を低下させるようにして、回復制御時目標出力電流をこの回復制御中の負荷要求電流と同一の値に設定しても良い。すなわち、零下起動処理から回復制御に移行した際の負荷要求電流の減少に合わせてスタック電流を減少させるようにしても良い。

[0194] この場合においては、零下起動処理から回復制御に移行する過程における負荷要求電流の低下に応じてスタック電流が低下するものの、回復制御中の実際のアノードガス供給流量（回復制御時目標アノードガス供給流量）は回復制御中の要求アノードガス供給流量よりも高い状態となるので、アノードガスストイキ比の増加は実現される。

[0195] また、回復制御中においてアノードガス供給流量を要求アノードガス供給流量よりも高く維持しつつ、スタック電流を負荷要求電流よりも低くしても良い。すなわち、回復制御として、第1実施形態のスタック電流低下処理と

本実施形態のアノードガス供給流量増加処理を組み合わせても良い。これにより、回復制御中においてより効果的にアノードガスストイキ比を増大させることができ、カソード触媒層 113A から電解質膜 111 への水分移動効果をより高めることができる。

[0196] (第4実施形態)

以下、本発明の第4実施形態について説明する。なお、第1実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。特に、本実施形態におけるコントロールユニット200は、ステップS113で説明した回復制御(スタック電流低下処理)の終了時期を判断し、この終了時期に達すると回復制御を終了する回復制御終了判断部として機能する。

[0197] 具体的に本実施形態では、回復制御中にカソードガス供給流量を減少させた後に増加させるカソードガス増減処理を複数回実行し、カソードガス増減処理中のセル電圧の挙動に基づいて回復制御の終了時期の判断を行う。

[0198] また、本実施形態では、回復制御中においては、カソードガス供給流量の目標値として、負荷要求電流に基づく要求カソードガス供給流量に代えて回復制御時目標カソードガス供給流量を設定する。そして、コントロールユニット200は、回復制御中においては、エアフローメータ23で得られたカソードガス供給流量の検出値が、回復制御時目標カソードガス供給流量に近づくようにカソードガス給排装置2のコンプレッサ22の出力等を制御する。

[0199] 図12は、本実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。図示のように、本実施形態においてコントロールユニット200は、第1実施形態と同様にステップS111～ステップS113の処理を実行する。

[0200] そして、コントロールユニット200は、第1実施形態のステップS114(図5参照)におけるスタック電流低下処理の継続時間 t_{re} が所定時間 t_b より大きいか否かの判定に代えて、ステップS214のカソードガス増減処理及びステップS215における回復制御の終了時期判断を実行する。

- [0201] 例えば、ステップS 2 1 4のカソードガス増減処理において、コントロールユニット2 0 0は、上記回復制御時目標カソードガス供給流量を、回復制御時目標アノードガス供給流量に合わせたカソードガス供給流量（以下では、「アノードガス消費理論カソードガス供給流量」とも記載する）とゼロの間で切り替えるように、コンプレッサ2 2の出力を増減させる。これにより、回復制御中のカソードガス増減処理においてカソードガス供給流量が増減する。
- [0202] 特に、本実施形態において、コントロールユニット2 0 0は、回復制御時目標カソードガス供給流量がゼロに設定されているとき、すなわちカソードガス増減処理のカソードガス供給流量の減少操作時においては、カソードガスストイキ比を1以下となるように、コンプレッサ2 2の出力を低下させる。
- [0203] なお、本実施形態においてカソードガスストイキ比は、負荷要求電流に基づく要求カソードガス供給流量に対する実際のカソードガス供給流量（ゼロ又はアノードガス消費理論カソードガス供給流量に相当）の比として定義される。
- [0204] したがって、回復制御時目標カソードガス供給流量がアノードガス消費理論カソードガス供給流量に設定されているときには、カソードガスストイキ比が1を超える一方で回復制御時目標カソードガス供給流量がゼロに設定されているときにはカソードガスストイキ比が1以下となる。すなわち、コントロールユニット2 0 0は、カソードガス増減処理において、カソードガスストイキ比が1を跨ぐように、カソードガス供給流量を増減させる。
- [0205] そして、ステップS 2 1 5において、コントロールユニット2 0 0は、回復制御の終了時期の判断として、回復制御時目標カソードガス供給流量がゼロからアノードガス消費理論カソードガス供給流量に切り替わりコンプレッサ2 2の出力が増加している状態、すなわちカソードガス供給流量の増加操作時における所定時間 Δt の間のセル電圧の変化量 ΔV_{cell} が、閾値 α よりも大きくなったか否かの判定を行う。

- [0206] 具体的に、コントロールユニット200は、カソードガス増減処理中のカソードガス供給流量の増加時において、電流／電圧測定ユニット50でセル電圧の検出値を継続的に複数取得し、メモリ等に格納する。さらに、コントロールユニット200は、メモリからカソードガス増減処理中のカソードガス供給流量の増加時におけるセル電圧検出値を複数抽出し、このセル電圧検出値の時間 Δt の間における変化量 ΔV_{cell} を演算する。
- [0207] そして、コントロールユニット200は、セル電圧の変化量 ΔV_{cell} が所定の閾値 α より大きいと判断した場合には、燃料電池スタック1の出力性能が所望の領域まで回復したと判断し、回復制御としてのスタック電圧低下処理を終了させる（すなわち、通常運転に移行する）。
- [0208] 一方、コントロールユニット200が、セル電圧の変化量 ΔV_{cell} が所定の閾値 α より大きくないと判断した場合には、燃料電池スタック1の出力性能が所望の程度に至っていないと判断して、引き続きステップS113のスタック電圧低下処理、ステップS214のカソードガス増減処理、及びステップS215の判定を繰り返す。
- [0209] 図13は、本実施形態の燃料電池システム100の低温起動オペレーションから通常運転オペレーションまでの経時変化を説明するタイミングチャートの一例である。なお、図13(a)のグラフはスタック電圧の変化を表しており、図13(b)のグラフはスタック電流の変化を表している。また、図13(c)のグラフはアノードガス供給流量及びカソードガス供給流量の変化を表す。さらに、図13(d)のグラフはスタック温度 T_s の変化を表している。
- [0210] 図示のように、本実施形態では、回復制御を開始する時刻 t_2 から所定時間経過した時刻 t_d においてカソードガス増減処理を開始する（図13(c)参照）。図においては、カソードガス供給流量を減少させた後に増加させる操作を1サイクルとするカソードガス増減処理を3回実行している。
- [0211] そして、このカソードガス増減処理において、コントロールユニット200は、上述のように、カソードガスストイキ比が1を跨ぐように、カソード

ガス供給流量を増減させるので、燃料電池スタック1へのカソードガス供給流量が発電の要求に対して不足する状態と足りている状態が繰り返されることとなる。これにより、スタック電圧も増減する（図13(a)参照）。

[0212] 本実施形態は、特に、カソードガス増減処理においてカソードガス供給流量を増加させるタイミングにおけるセル電圧の変化量 ΔV_{cell} の増加量に基づいて、適切な回復制御の終了時期であるかを判断することとなる。

[0213] そして、時刻 t_3' において、コントロールユニット200は、カソードガス増減処理中のカソードガス供給流量の増加時におけるセル電圧の変化量 ΔV_{cell} が、所定の閾値 α よりも大きいと判断すると、燃料電池スタック1を通常運転オペレーションに移行させる。

[0214] 以下では、カソードガス供給流量の増加時におけるセル電圧の変化量 ΔV_{cell} と閾値 α との大小比較に基づいて、燃料電池スタック1の性能回復の判断を行うことの妥当性について説明する。

[0215] 図14は、本実施形態において、燃料電池スタック1の出力性能の回復前後におけるセル電圧の時間変化の相違を示すグラフである。より具体的に、図14は、回復制御を行っていない燃料電池スタック1と回復制御を実行した後の燃料電池スタック1のそれぞれに対して、上記カソードガス増減処理を実行する場合において、カソードガス供給流量の増加時のそれぞれのセル電圧の時間変化を示している。

[0216] なお、図14において一点鎖線グラフは、燃料電池スタック1に対して回復制御を行っておらずカソード触媒層113Aに水分が含まれており、出力性能が相対的に低い場合のセル電圧の時間変化を示している。また、図14の実線グラフは、本実施形態の回復制御を実行した後のセル電圧の時間変化を示している。

[0217] 図14から理解されるように、回復制御を実行した場合には、所定時間 Δt のセル電圧の変化量 ΔV_{cell} が閾値 α を上回っているのに対して、回復制御を行っていない場合には閾値 α を下回っている。すなわち、回復制御を実行すると、カソードガス供給流量の増加を開始してからの所定時間 Δt

におけるセル電圧の増加率（立ち上がり率）が高くなる。

[0218] したがって、本実施形態のように、カソードガス供給流量の増加時における所定時間 Δt 内のセル電圧の変化量 ΔV_{cell} が閾値 α より大きい場合に回復制御の終了時期であると判断することで、燃料電池スタック1の出力性能が回復するタイミングと回復制御の実際の終了タイミングを適合させることができる。

[0219] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。

[0220] 本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御部としてのコントロールユニット200は、回復制御の終了時期である否かを判断し（図12のステップS215）、回復制御の終了時期であると判断すると、回復制御を終了する回復制御終了判断部として機能する（図12のステップS215のYes）。

[0221] これにより、燃料電池スタック1の出力性能が所望の領域まで回復するタイミングで回復制御を終了させることができ、燃料電池スタック1の出力性能が回復しているにもかかわらず回復制御が継続されてしまうことを抑制できる。結果として、低温起動オペレーションの時間の短縮化に資することとなる。

[0222] また、本実施形態の燃料電池システム100は、燃料電池の出力電圧としてのセル電圧を検出する出力電圧検出部である電流／電圧測定ユニット50をさらに有する。そして、回復制御終了判断部としてのコントロールユニット200は、回復制御中にカソードガス給排装置2を制御して、燃料電池スタック1へのカソードガス供給流量の減少させた後に増加させる酸化ガス増減処理としてのカソードガス増減処理（図12のステップS214）を少なくとも1回実行させ、カソードガス増減処理中のセル電圧の挙動に基づいて、回復制御の終了時期を判断する（図12のステップS215）。

[0223] 既に説明したように、回復制御が進行して燃料電池スタック1の出力性能が回復すると、水分が残留して出力性能が相対的に低い回復前と比べて

、カソードガス増減処理中におけるセル電圧の挙動が相違する（図14参照）。

[0224] したがって、カソードガス増減処理中におけるセル電圧の挙動に基づいて、回復制御の終了時期を判断することで、燃料電池スタック1の出力性能が回復するタイミングと実際の回復制御の終了時期をより確実に適合させることができる。結果として、より確実に燃料電池スタック1の出力性能を回復させつつも、無駄な回復制御の継続をより確実に防止して低温起動オペレーションの時間の短縮化により資することとなる。

[0225] さらに、本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御終了判断部としてのコントロールユニット200は、カソードガス増減処理のカソードガス供給流量の減少操作時において、要求負荷に基づいた要求酸化ガス供給流量（要求カソードガス供給流量）に対するカソードガス供給流量の比であるカソードガスストイキ比が1以下となるようにカソードガス給排装置2を制御する。

[0226] これにより、カソードガス増減処理中のカソードガス供給流量を減少させる操作によって、発電の要求に対してカソードガス供給流量が不足する状態を生じさせて、セル電圧をより確実に減少させることができる。したがって、このカソードガス供給流量の減少操作の後にカソードガス供給流量を増加させる操作を実行したときに、セル電圧の変化をより確実に検出することができ、回復制御の終了時期の判断精度がより向上することとなる。

[0227] また、本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御終了判断部としてのコントロールユニット200は、カソードガス増減処理中のカソードガス供給流量の増加操作時において、セル電圧が所定時間 Δt 以内に所定閾値 α に到達した場合に、回復制御の終了時期であると判断する（図12のステップS215及び図14）。

[0228] これにより、セル電圧が所定時間以内に閾値 α に到達したか否かを判断するという容易な方法で、回復制御の終了時期の判断を実行することができる。

[0229] なお、上述の閾値 α については状況に応じて適宜予め設定することができるが、燃料電池スタック1の出力性能が所望の領域まで回復したかどうかという観点から定まるセル電圧の変化量 ΔV_{ce11} の下限値を閾値 α とすることが好ましい。

[0230] なお、図13のタイムチャートでは、カソードガス増減処理を3回行っている例を示しているが、当該処理を行う回数は1回以上であれば何回であっても良い。しかしながら、回復制御の終了時期をより速やかに判断する観点から、コンプレッサ20等のアクチュエータの応答が可能な時間間隔で複数回実行することが好ましい。また、セル電圧の変化量 ΔV_{ce11} に代えて、所定時間 Δt の間のスタック電圧の変化量と所定の閾値の大小判定によって回復制御の終了時期を判断するようにしても良い。

[0231] さらに、本実施形態では、回復制御の終了時期の判断にあたり、カソードガス増減処理においてカソードストイキ比を1を跨いで増減させ、これに伴うセル電圧の変化量 ΔV_{ce11} を演算しているが、これに限られず、例えば、カソード供給流量自体は変化させずに、スタック電流を所定周期で増減させることで、これに伴うセル電圧の変化量 ΔV_{ce11} を演算するようにしても良い。

[0232] また、回復制御の終了時期の判断に関し、セル電圧の変化量 ΔV_{ce11} が閾値 α より大きい場合に回復制御の終了時期であることに代えて他の判断方法を採用しても良い。例えば、燃料電池スタック1の出力性能の回復の度合いとスタック温度 T_s の上昇の関係を予めテーブルとして記録しておき、当該テーブルに基づいてスタック温度 T_s から回復制御の終了時期を判断するようにしても良い。

[0233] (第5実施形態)

以下、本発明の第5実施形態について説明する。なお、第4実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態では、カソード増減処理中のセル電圧の挙動として、第4実施形態におけるセル電圧の変化量 ΔV_{ce11} に代えて、セル電圧の時間微分値であるセル電圧微分

値 DV_{cell} に基づいて回復制御の終了時期の判断を実行する。

[0234] 図15は、本実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。図示のように、コントロールユニット200は、第1実施形態と同様にステップS111～ステップS113の処理を実行し、第4実施形態と同様にステップS214のカソードガス増減処理を実行する。

[0235] そして、本実施形態においてコントロールユニット200は、ステップS215において、セル電圧微分値 DV_{cell} と所定の閾値 β との間の大小判定を行う。

[0236] 具体的に、コントロールユニット200は、回復制御中において電流／電圧測定ユニット50の計測周期に応じて検出される複数のセル電圧の検出値を取得し、メモリ等に格納する。そして、コントロールユニット200は、カソードガス増減処理中のカソードガス供給流量の増加操作時において、隣接する計測周期における2つのセル電圧検出値の差を、当該計測時間で除算することによりセル電圧微分値 DV_{cell} を演算する。

[0237] そして、コントロールユニット200は、セル電圧微分値 DV_{cell} と所定の閾値 β の大小を判定する。コントロールユニット200は、セル電圧微分値 DV_{cell} が所定の閾値 β より大きいと判断した場合には、燃料電池スタック1の出力性能が所望の領域まで回復したものとして、回復制御としてのスタック電圧低下処理を終了させる（すなわち、通常運転オペレーションに移行する）。

[0238] 一方、コントロールユニット200は、セル電圧微分値 DV_{cell} が閾値 β より大きくないと判断した場合には、燃料電池スタック1の出力性能が所望の領域に至っていないものとして、引き続きステップS113のスタック電圧低下処理、ステップS214のカソードガス増減処理、及びステップS215の判定を繰り返す。

[0239] 図16は、本実施形態において、燃料電池スタック1の出力性能の回復前後におけるセル電圧微分値 DV_{cell} の時間変化を示すグラフである。より具体的に、図16は、回復制御を行っていない燃料電池スタック1と回復

制御を実行した後の燃料電池スタック1のそれぞれについて、上記カソードガス増減処理のカソードガス供給流量の増加時のセル電圧微分値 DV_{ce1} の時間変化を示している。

[0240] なお、図16において一点鎖線グラフは、燃料電池スタック1に対して回復制御を行う前のセル電圧微分値 DV_{ce1} の時間変化を示している。また、図16の実線グラフは、本実施形態の回復制御を実行した後のセル電圧微分値 DV_{ce1} の時間変化を示している。

[0241] 図16から理解されるように、回復制御を実行した場合には回復制御を行っていない場合と比べて、カソードガス供給流量の増加時のセル電圧微分値 DV_{ce1} が明らかに高い値になっている。

[0242] 特に、回復制御を行っていない場合のセル電圧微分値 DV_{ce1} は、閾値 β を大きく下回っているのに対して、回復制御を実行した後は閾値 β を超えている。したがって、セル電圧微分値 DV_{ce1} には、燃料電池スタック1の出力性能が回復されているか否かの情報がより明確に反映されると言える。

[0243] したがって、本実施形態のように、カソードガス供給流量の増加時にセル電圧微分値 DV_{ce1} が閾値 β より大きい場合に回復制御の終了時期であると判断することで、燃料電池スタック1の出力性能が回復するタイミングと回復制御の実際の終了タイミングをより確実に適合させることができる。

[0244] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。

[0245] 本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御終了判断部としてのコントロールユニット200は、カソードガス増減処理中のセル電圧の挙動としてカソードガス供給流量の増加操作時のセル電圧の時間微分値であるセル電圧微分値 DV_{ce1} を演算し、セル電圧微分値 DV_{ce1} が所定値としての閾値 β より大きい場合に回復制御の終了時期であると判断する（図15のステップS215'のYes）。

[0246] これにより、燃料電池スタック1の出力性能の回復度の情報が明確に表れ

るセル電圧微分値 DV_{cell} に基づいて、回復制御の終了時期が判断されることとなるので、燃料電池スタック1の出力性能が回復するタイミングと実際の回復制御の終了時期をより一層確実に適合させることができる。また、セル電圧微分値 DV_{cell} の演算自体も簡便であり、コントロールユニット200の処理負担も軽減される。

[0247] (第6実施形態)

以下、本発明の第6実施形態について説明する。なお、第1実施形態～第5実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。特に、本実施形態では、低温起動オペレーションにおいて、燃料電池スタック1内の含水量であるスタック含水量 W_{st} を燃料電池スタック1の内部抵抗であるスタック内部抵抗 R_{st} に基づいて推定し、推定したスタック含水量 W_{st} に基づいて、回復制御を実行するか否かを判断する。

[0248] なお、本実施形態において、スタック含水量 W_{st} とは、アノード極112、カソード極113、及び電解質膜111等の燃料電池スタック1を構成する要素に含まれる全水分量を意味する。

[0249] 図17は、第6実施形態における燃料電池システム100の構成を示す図である。図示のように、本実施形態の燃料電池システム100は、燃料電池スタック1の内部抵抗を計測する内部抵抗計測装置6を有している。

[0250] 内部抵抗計測装置6は、燃料電池スタック1に接続される。内部抵抗計測装置6は、適切な計測周波数に基づいて、燃料電池スタック1の内部インピーダンスを計測し、これをスタック内部抵抗 R_{st} として検出する。内部抵抗計測装置6は、検出したスタック内部抵抗 R_{st} をコントロールユニット200に送信する。

[0251] 図18には、スタック内部抵抗 R_{st} とスタック含水量 W_{st} の関係を表すグラフを示している。図から理解されるように、一般にスタック内部抵抗 R_{st} とスタック含水量 W_{st} の間には、スタック内部抵抗 R_{st} が高いほど、スタック含水量 W_{st} が低いという関係がある。

[0252] 本実施形態のコントロールユニット200は、上記グラフで表されるスタ

ック内部抵抗 R_{st} とスタック含水量 W_{st} の関係を予めメモリ等に格納している。そして、コントロールユニット200は、この関係に基づいて、内部抵抗計測装置6から受信したスタック内部抵抗 R_{st} からスタック含水量 W_{st} を推定する。

[0253] 特に、コントロールユニット200は、後述するように、燃料電池スタック1の出力性能に実質的な影響を与えない許容される程度のスタック含水量 W_{st} の下限値を回復制御実行閾値 γ として予め設定しておく。そして、スタック内部抵抗 R_{st} から演算されたスタック含水量 W_{st} と回復制御実行閾値 γ との大小関係に基づいて、回復制御を実行するか否かを判断する。

[0254] 本実施形態の回復制御を実行するか否かの判断についてより詳細に説明する。

[0255] 図19は、本実施形態の低温起動オペレーションの流れを説明するフローチャートである。図示のように、コントロールユニット200は、第1実施形態と同様にステップS111～ステップS112の処理を実行する。

[0256] そして、本実施形態においては、コントロールユニット200は、ステップS112においてスタック温度 T_s が回復制御実行基準温度 T_{th2} より大きいと判定すると、ステップS613において回復制御を実行するか否かの判断を行う。

[0257] 具体的に、ステップS613においてコントロールユニット200は、上述のように、スタック内部抵抗 R_{st} からスタック含水量 W_{st} を演算し、スタック含水量 W_{st} と回復制御実行閾値 γ の大小を比較する。

[0258] すなわち、コントロールユニット200は、演算したスタック含水量 W_{st} が回復制御実行閾値 γ より大きい場合には、回復制御の実行が必要と判断して、ステップS113以降の処理を実行する。

[0259] 一方で、演算したスタック含水量 W_{st} が回復制御実行閾値 γ 以下である場合には、回復制御の実行は不要と判断して低温起動オペレーションを終了する。すなわち、この場合は、低温起動オペレーションとして零下起動処理（解凍運転）のみが実行されることとなる。

- [0260] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。
- [0261] 本実施形態の燃料電池システム100では、回復制御部としてのコントロールユニット200は、燃料電池スタック1の含水量であるスタック含水量 W_{st} を推定する燃料電池内含水量推定部（図19のステップS613）と、推定されたスタック含水量 W_{st} が所定値としての回復制御実行閾値 γ より大きい場合に回復制御を実行する回復制御実行判断部（図19のステップS613のYes）として機能する。
- [0262] これにより、スタック含水量 W_{st} が相対的に高くカソード触媒層113A内に水分が多く残留していると考えられることによって燃料電池スタック1の出力性能に影響を与える可能性がある場合に、適切に回復制御を実行することができる。一方で、スタック含水量 W_{st} が相対的に低く、回復制御を実行せずとも燃料電池スタック1の出力性能への影響が無いか小さいと考えられる場合には、回復制御を実行することなく低温起動オペレーションを終了することができる。したがって、回復制御を必要とされる状況を的確に判断してこれを実行することができる一方で、回復制御が不要な場合にはこれを実行しないようにして低温起動オペレーションの時間短縮に寄与することができる。
- [0263] また、本実施形態の燃料電池システム100は、燃料電池スタック1の内部抵抗であるスタック内部抵抗 R_{st} を検出する内部抵抗検出部としての内部抵抗計測装置6をさらに有する。そして、燃料電池内含水量推定部としてのコントロールユニット200は、スタック内部抵抗 R_{st} に基づいてスタック含水量 W_{st} を推定する。
- [0264] すなわち、スタック含水量 W_{st} に強い相関を示すスタック内部抵抗 R_{st} に基づいてスタック含水量 W_{st} を推定し、これを回復制御実行の判断に用いるので、回復制御を実行するか否かの判断を簡単な演算でより精度良く行うことができる。
- [0265] なお、本実施形態では、スタック含水量 W_{st} をスタック内部抵抗 R_{st}

から推定する例を説明したが、これに限ることなく、例えば、カソードガス供給圧力やカソードガス供給流量等の他の任意のパラメータに基づいてスタック含水量 W_{st} を推定するようにしても良い。

[0266] また、本実施形態でスタック内部抵抗 R_{st} とみなした内部インピーダンスの計測周波数は、当該内部インピーダンスが燃料電池スタック1内のアノード極112、カソード極113、及び電解質膜111に含まれる水分と好適に相関する周波数帯が選択されることが好ましい。特に、内部インピーダンスがカソード極113内の含水量と強く相関するような周波数帯から計測周波数を選択することが最も好ましい。これにより、選択された周波数で計測される内部インピーダンスに基づくスタック内部抵抗 R_{st} が、燃料電池スタック1の出力性能に大きく影響するカソード触媒層113A内の水分の量により高精度に相関することとなる。

[0267] さらに、スタック含水量 W_{st} （電解質膜111の湿潤度）と強い相関を示す高周波数の内部インピーダンス（HFR：High Frequency Resistance）を計測し、これをスタック内部抵抗 R_{st} とみなしてスタック含水量 W_{st} を推定するようにしても良い。

[0268] （第7実施形態）

以下、本発明の第7実施形態について説明する。なお、第6実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。特に、本実施形態では、第6実施形態におけるスタック含水量 W_{st} の推定にあたり、スタック内部抵抗 R_{st} に加えてスタック温度 T_s を考慮する。

[0269] 図20は、スタック温度 T_s とスタック内部抵抗 R_{st} の関係を表すグラフである。図から理解されるように、一般にスタック温度 T_s とスタック内部抵抗 R_{st} の間には、スタック温度 T_s が高いほど、スタック内部抵抗 R_{st} が低いという関係がある。

[0270] そして、既に説明したように、スタック内部抵抗 R_{st} とスタック含水量 W_{st} の間には、図18のグラフで現される相関がある。すなわち、スタック内部抵抗 R_{st} が高いほどスタック含水量 W_{st} が低いという関係がある

- 。
- [0271] したがって、これらスタック内部抵抗 R_{st} 、スタック温度 T_s 、及びスタック含水量 W_{st} の関係を示すスタック含水量推定マップを定めることができる。
- [0272] 図21は、本実施形態で定めたスタック含水量推定マップを示している。このスタック含水量推定マップにおいては、第6実施形態と同様に、スタック内部抵抗 R_{st} が高いほどスタック含水量 W_{st} が低くなっている。その上で、スタック温度 T_s が高くなるほどスタック含水量 W_{st} が低くなる補正がかかるように、スタック温度 T_s に応じた複数の曲線群Cが設定されている。
- [0273] 本実施形態において、このスタック含水量推定マップは、コントロールユニット200のメモリ等に格納される。
- [0274] 以下では、上記スタック含水量推定マップを用いた本実施形態におけるスタック含水量 W_{st} の推定の流れを説明する。
- [0275] 先ず、コントロールユニット200は、水温センサ47で検出されたスタック温度 T_s を取得して、スタック含水量推定マップの曲線群Cの中から、当該スタック温度 T_s の検出値に対応する曲線を選択する。そして、コントロールユニット200は、内部抵抗計測装置6で計測されたスタック内部抵抗 R_{st} の計測値から、選択された曲線に基づいてスタック含水量 W_{st} を推定する。
- [0276] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。
- [0277] 本実施形態の燃料電池システム100は、燃料電池スタック1の温度であるスタック温度 T_s を検出する燃料電池温度検出部としての水温センサ47を有する。そして、燃料電池内含水量推定部としてのコントロールユニット200は、スタック内部抵抗 R_{st} 及びスタック温度 T_s に基づいてスタック含水量 W_{st} を推定する。
- [0278] すなわち、スタック内部抵抗 R_{st} に加えて、当該スタック内部抵抗 R_s

t に影響を与えるスタック温度 T_s も加味して、スタック含水量 $W_{s,t}$ を推定する。したがって、より高精度にスタック含水量 $W_{s,t}$ を推定することができるので、推定されたスタック含水量 $W_{s,t}$ に基づく回復制御の実行判断をより適切に行うことができる。

[0279] (第8実施形態)

以下、本発明の第8実施形態について説明する。なお、第1実施形態と同様の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。本実施形態においては、特に、第1実施形態で説明した回復制御として、スタック電流低下処理に加えて、アノードガス循環通路35内のガス中の不純物（窒素や水等）を外部に排出するパージ処理を実行する。

[0280] 図22は、第8実施形態における燃料電池システム100の構成を示す図である。

[0281] 図示のように、本実施形態では、アノードガス給排装置3は、燃料電池スタック1のアノード出口近傍に気液分離装置38を介して設けられたパージ通路39を有している。

[0282] 気液分離装置38は例えば遠心分離式の装置である。気液分離装置38は、上記不純物を液体成分と気体成分に分離する。なお、分離された液体成分は図示しない排出系統から燃料電池システム100の外部に排出され、気体成分はパージ通路39に放出される。

[0283] パージ通路39は、気液分離装置38を介してアノードガス循環通路35に連通して設けられており、カソードガス調圧弁27よりも下流側のカソードオフガス排出通路26に合流する。パージ通路39は、アノードガス循環通路35内のガス中に含まれる窒素ガスや発電の生成水等に由来する水分などの不純物を外部に排出する通路である。

[0284] なお、パージ通路39を介して排出される不純物には若干濃度の水素が含まれるが、この不純物はカソードオフガス排出通路26でカソードオフガスと混合され、水素濃度が規定値以下になった状態で燃料電池システム100の外部に放出される。

- [0285] また、パージ通路39には、パージ弁40が設けられている。パージ弁40は、その開放状態においてパージ通路39を介してカソードオフガス排出通路26に不純物を排出する。なお、パージ弁40の開閉はコントロールユニット200によって制御される。
- [0286] 上記構成を有する燃料電池システム100において、本実施形態では、回復制御として、パージ弁40を開弁するパージ弁開弁処理を実行する。これにより、アノードガス循環通路35内から水分がパージ通路39を介して排出されるので、燃料電池スタック1に供給されるアノードガスの水分含有量を低下させることができる。
- [0287] 以上説明した本実施形態にかかる燃料電池システム100によれば、以下の作用効果を奏する。
- [0288] 本実施形態の燃料電池システム100では、アノードガス給排装置3は、アノード流路121に連通し燃料電池スタック1に供給するアノードガスを循環させる循環路としてのアノードガス循環通路35と、アノードガス循環通路35に連通するパージ通路39と、パージ通路49に設けられたパージ弁40と、を有している。
- [0289] そして、回復制御部としてのコントロールユニット200は、上記回復制御として、アノードガス循環通路35から水分を排出させるようにパージ弁40の開閉制御を行う。
- [0290] これにより、回復制御中において、水分がアノードガス循環通路35内からパージ通路39を介して排出されるので、燃料電池スタック1に供給されるアノードガス中の水分含有量を低下させることができる。したがって、アノード触媒層112A内の水分量の低下が促進され、アノード触媒層112Aとカソード触媒層113Aの間の水の濃度勾配がより大きくなる方向に助長される。これにより、カソード触媒層113Aから電解質膜111への水分移動がより促進されるので、低温起動オペレーションにおける燃料電池スタック1の出力性能の回復をより速やかに行うことができる。結果として、低温起動オペレーションのさらなる短縮化に資することとなる。

- [0291] なお、本実施形態における回復制御としてのパーズ弁開弁処理は、第1実施形態や第2実施形態のスタック電流低下処理及び第3実施形態のアノードガス供給流量増加処理の少なくとも一方とともに実行するようにしても良い。
- [0292] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を上記実施形態の具体的な構成に限定する趣旨ではない。
- [0293] 例えば、回復制御は上記各実施形態で説明した態様に限られない。回復制御の他の例として、アノード極112にアノードガス以外の比較的拡散効果の高い任意の不活性ガスを供給するなどしてアノード触媒層112A中の水分を除去する処理を実行し、電解質膜111の水の濃度勾配を高くするようにしても良い。
- [0294] また、上記各実施形態では零下起動処理を実行した後に回復制御を行うようにしている。しかしながら、スタック温度 T_s が 0°C 未満であっても、燃料電池スタック1内の水分の解凍を必ずしも必要としない場合には、低温起動オペレーションとして、零下起動処理を実行することなく回復制御のみを実行するようにしても良い。
- [0295] さらに、零下起動処理を実行する場合において、スタック温度 T_s が 0°C 未満であるにもかかわらず回復制御が可能な温度（逆拡散現象が起こりうる温度）に到達したならば、零下起動処理を終了させて又は零下起動処理とともに回復制御を実行するようにしても良い。これにより、可能な限り回復制御を開始するタイミングを早めて低温起動オペレーションの時間をより短縮化することができる。
- [0296] また、上記実施形態は任意に組み合わせが可能である。例えば、第1～第3及び第8実施形態は、それぞれ、低温起動オペレーション中の回復制御の具体的な実行態様を示している。さらに、第4及び第5実施形態は、上記回復制御の終了判断の具体的な実行態様を示している。また、第6及び第7実施形態は、上記回復制御を実行するか否かの判断について具体的な態様を示し

ている。

[0297] したがって、少なくとも、第1～第3及び第8実施形態に示された回復制御の各実行態様、第4及び第5実施形態に示された回復制御の終了判断の各実行態様、及び第6及び第7実施形態に示された回復制御を実行するか否かの判断を実行する各態様は、本実施形態の開示範囲に基づいて考えられる全ての組み合わせにおいて組み合わせることが可能である。

請求の範囲

[請求項1]

アノード極とカソード極の両面に触媒層を備える電解質膜と、アノード極側に燃料ガスを供給するアノード流路と、カソード極側に酸化ガスを供給するカソード流路と、からなる単セルを複数積層した燃料電池スタックと、

前記アノード流路の燃料ガスを調整する燃料ガス調整装置と、

前記カソード流路の酸化ガスを調整する酸化ガス調整装置と、

前記燃料電池スタックの状態に応じて前記燃料ガス調整装置と前記酸化ガス調整装置を制御するコントロールユニットと、を備えた燃料電池システムにおいて、

前記アノード極と前記カソード極の間の前記電解質膜における水の濃度勾配を調整する濃度勾配調整装置を有し、

前記コントロールユニットは、

低温起動時のオペレーションであるか通常運転時のオペレーションであるかを判定するオペレーション判定部と、

前記オペレーション判定部により前記低温起動時のオペレーションであると判定されると、前記濃度勾配調整装置により前記電解質膜の水の濃度勾配を通常運転時のオペレーションより増大させる回復制御を実行する回復制御部と、を備え、

前記低温起動時にカソード触媒中の水分を前記電解質膜に移動させる、

燃料電池システム。

[請求項2]

請求項1に記載の燃料電池システムであって、

前記濃度勾配調整装置は、前記燃料電池スタックの出力電流を調節する出力電流調節装置を有し、

前記回復制御部は、前記出力電流調節装置により前記出力電流を要求負荷に基づいた要求出力電流よりも低下させることで、前記電解質膜の水の濃度勾配を増大させる、

燃料電池システム。

[請求項3]

請求項2に記載の燃料電池システムであって、
前記回復制御部は、
前記出力電流調節装置により前記出力電流を略ゼロに調節する、
燃料電池システム。

[請求項4]

請求項1～3の何れか1項に記載の燃料電池システムであって、
前記濃度勾配調整装置は、前記燃料ガス調整装置を含み、
前記回復制御部は、前記燃料ガス調整装置により燃料ガス供給流量を要求負荷に基づいた要求燃料ガス供給流量よりも増大させることで、
前記電解質膜の水の濃度勾配を増大させる、
燃料電池システム。

[請求項5]

請求項1～4の何れか1項に記載の燃料電池システムであって、
前記回復制御部は、
前記回復制御の終了時期であるか否かを判断し、前記回復制御の終了時期であると判断すると前記回復制御を終了する回復制御終了判断部を有する、
燃料電池システム。

[請求項6]

請求項5に記載の燃料電池システムであって、
前記燃料電池スタック及び単セルの少なくとも何れか一方の出力電圧を検出する出力電圧検出部をさらに有し、
前記回復制御終了判断部は、
前記回復制御中に前記酸化ガス調整装置を制御して、前記カソード流路への酸化ガス供給流量を減少させた後に増加させる酸化ガス増減処理を少なくとも1回実行させ、
前記酸化ガス増減処理中の前記出力電圧の挙動に基づいて、前記回復制御の終了時期を判断する、
燃料電池システム。

[請求項7]

請求項6に記載の燃料電池システムであって、

前記回復制御終了判断部は、

前記酸化ガス増減処理中の前記酸化ガス供給流量の減少操作時において、要求負荷に基づいた要求酸化ガス供給流量に対する前記酸化ガス供給流量の比が1以下となるように前記酸化ガス調整装置を制御する、

燃料電池システム。

[請求項8]

請求項6又は7に記載の燃料電池システムであって、

前記回復制御終了判断部は、

前記酸化ガス増減処理中の前記酸化ガス供給流量の増加操作時において、前記出力電圧が所定時間以内に所定閾値に到達した場合に前記回復制御の終了時期であると判断する、

燃料電池システム。

[請求項9]

請求項6又は7に記載の燃料電池システムであって、

前記回復制御終了判断部は、

前記酸化ガス増減処理中の前記出力電圧の挙動として前記酸化ガス供給流量の増加操作時の前記出力電圧の時間微分値を演算し、

前記時間微分値が所定値より大きい場合に前記回復制御の終了時期であると判断する、

燃料電池システム。

[請求項10]

請求項1～9の何れか1項に記載の燃料電池システムであって、

前記回復制御部は、

前記燃料電池スタック内の含水量を推定する燃料電池内含水量推定部と、

推定された前記含水量が所定値より大きい場合に前記回復制御を実行する回復制御実行判断部と、を有する、

燃料電池システム。

[請求項11]

請求項10に記載の燃料電池システムであって、

前記燃料電池スタックの内部抵抗を検出する内部抵抗検出部をさら

に有し、

前記燃料電池内含水量推定部は、前記燃料電池スタックの内部抵抗に基づいて前記含水量を推定する、

燃料電池システム。

[請求項12]

請求項11に記載の燃料電池システムであって、

前記燃料電池スタックの温度を検出する燃料電池温度検出部をさらに有し、

前記燃料電池内含水量推定部は、前記燃料電池スタックの内部抵抗及び前記燃料電池スタックの温度に基づいて前記含水量を推定する、

燃料電池システム。

[請求項13]

請求項1～12の何れか1項に記載の燃料電池システムであって、

前記燃料ガス調整装置は、

前記アノード流路に連通し前記燃料電池スタックに供給する燃料ガスを循環させる循環路と、前記循環路に連通するパージ通路と、前記パージ通路に設けられたパージ弁と、を有し、

前記回復制御部は、

前記回復制御として、前記循環路から水分を排出させるように前記パージ弁の開閉制御を行う、

燃料電池システム。

[請求項14]

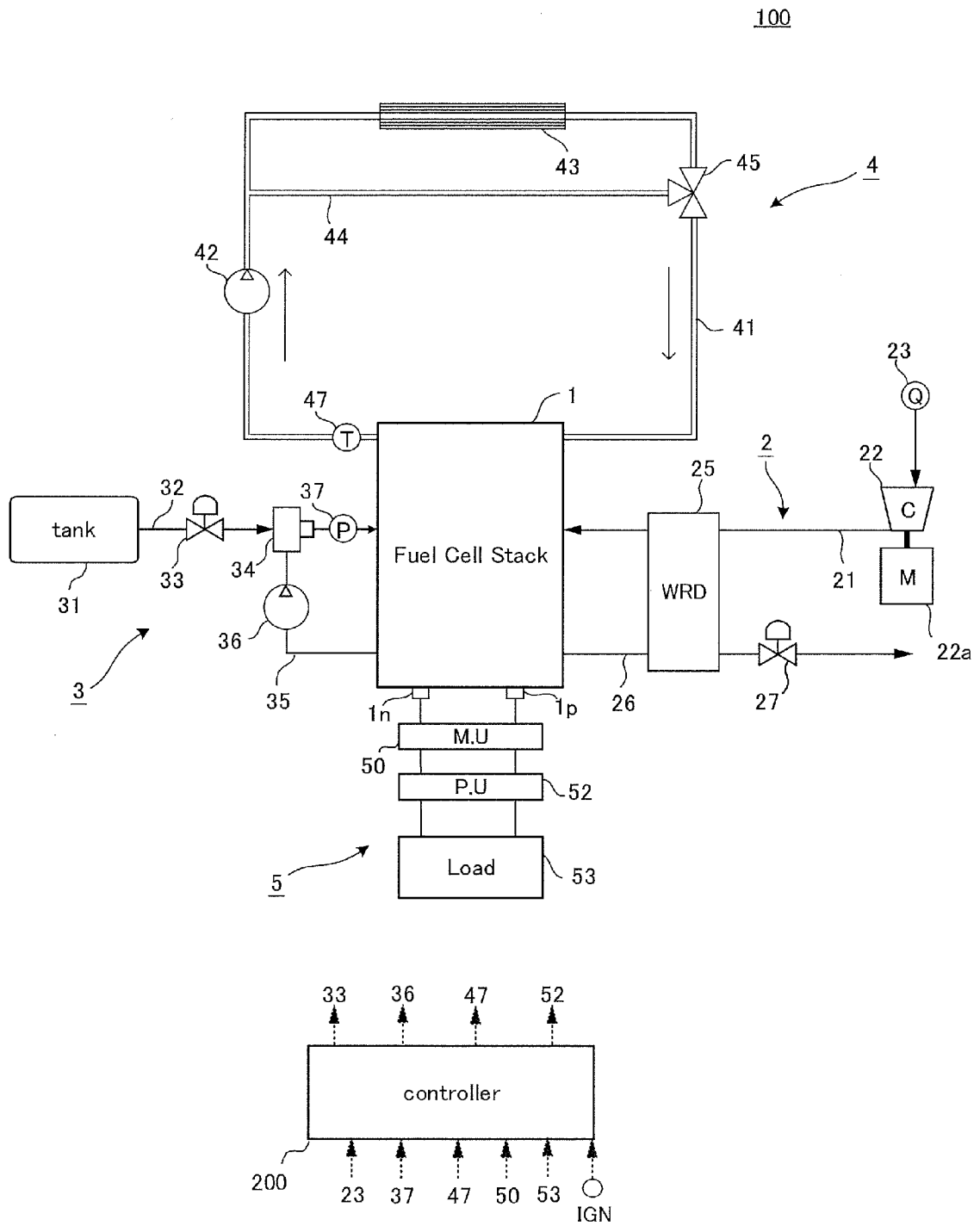
燃料電池を有する燃料電池システムの制御方法であって、

低温起動時のオペレーションであるか、通常運転時のオペレーションであるかを判定し、

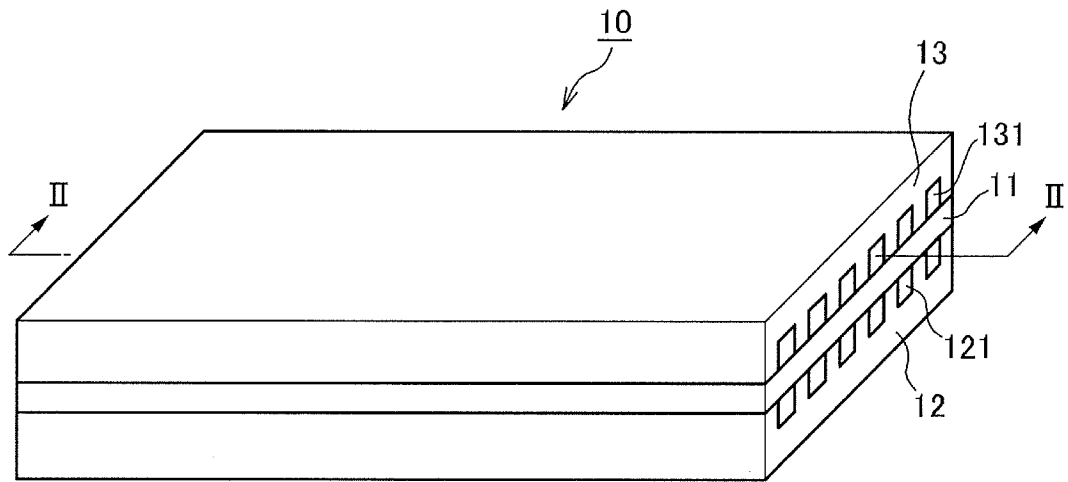
低温起動時のオペレーションであると判定されると、前記燃料電池の電解質膜の水の濃度勾配を通常運転時のオペレーションより増大させる回復制御を実行する、

燃料電池システムの制御方法。

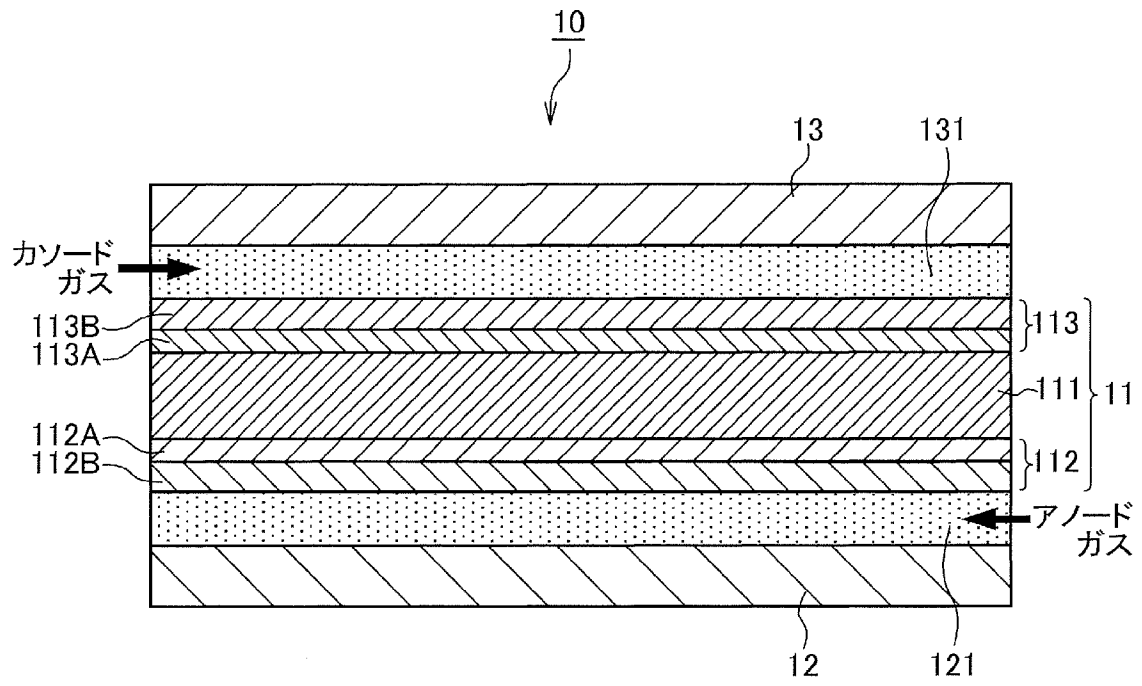
[図1]



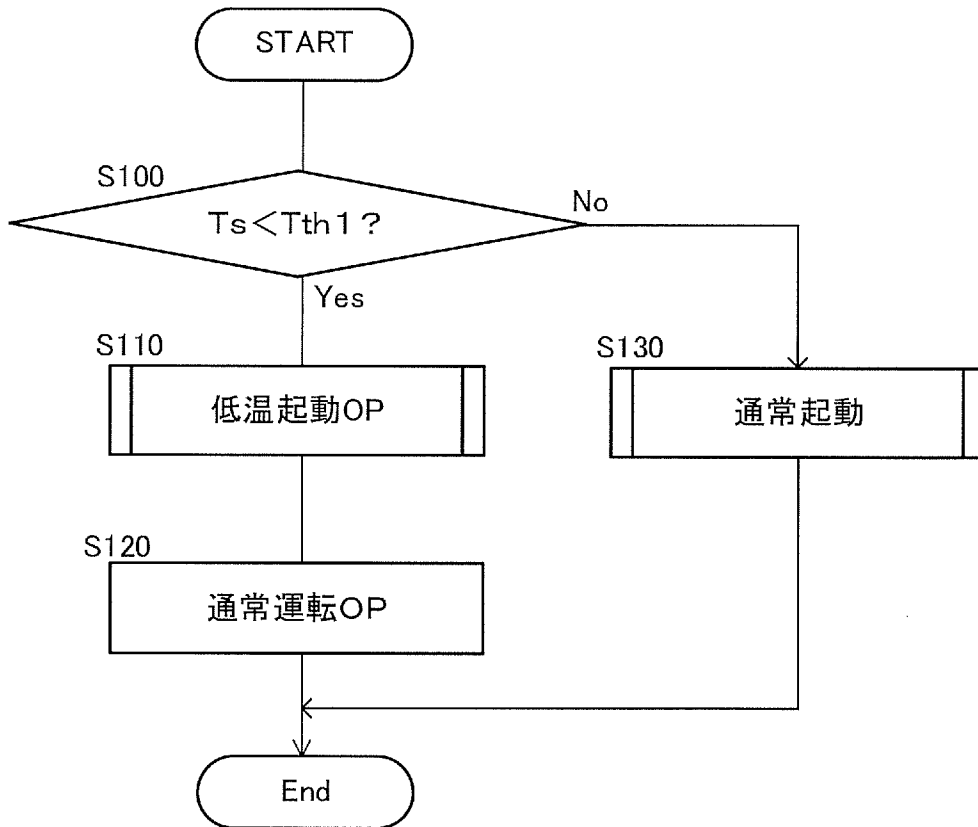
[図2]



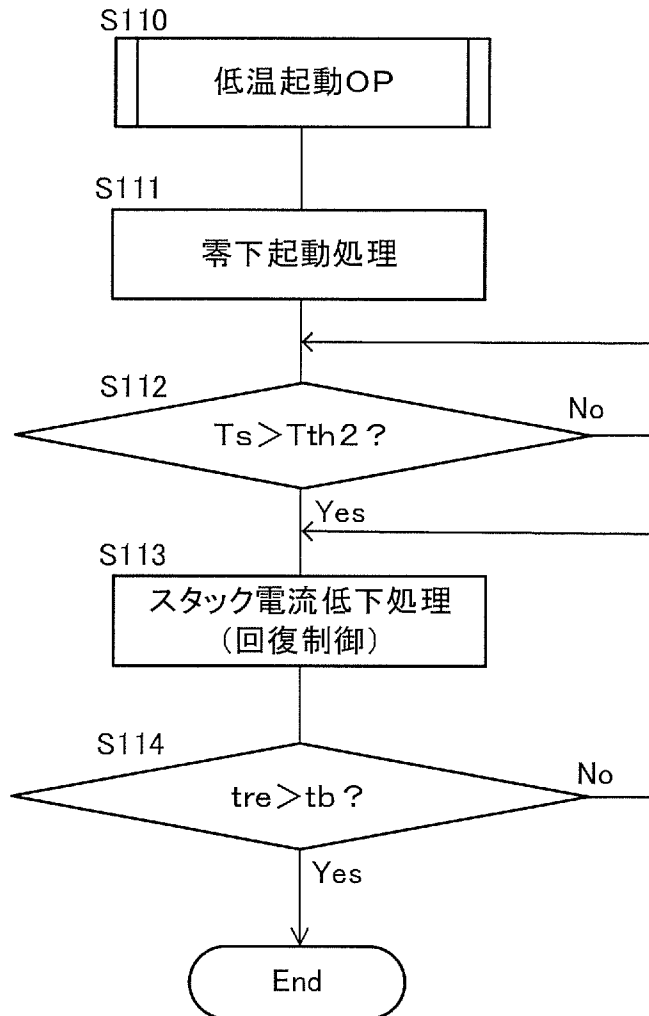
[図3]



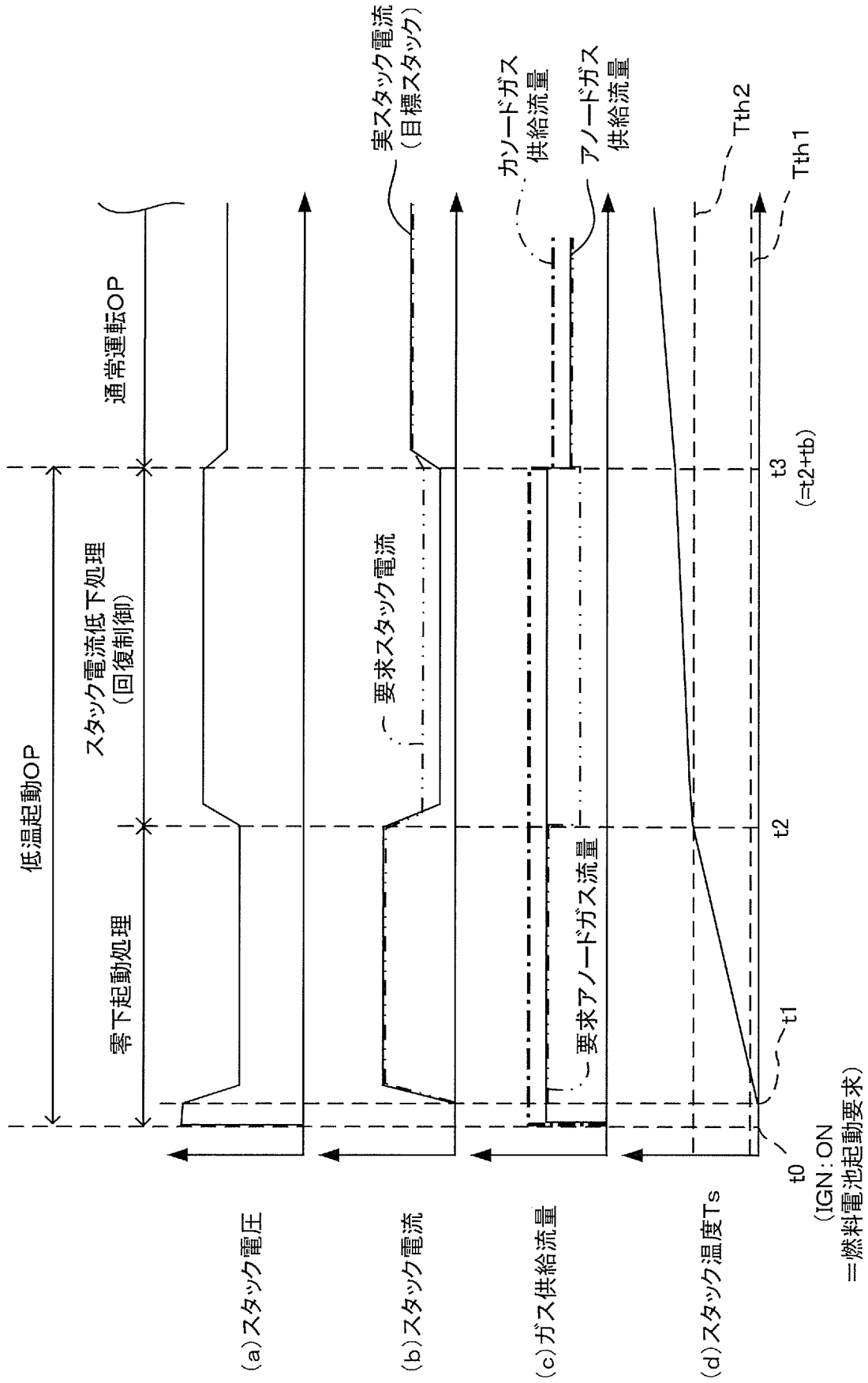
[図4]



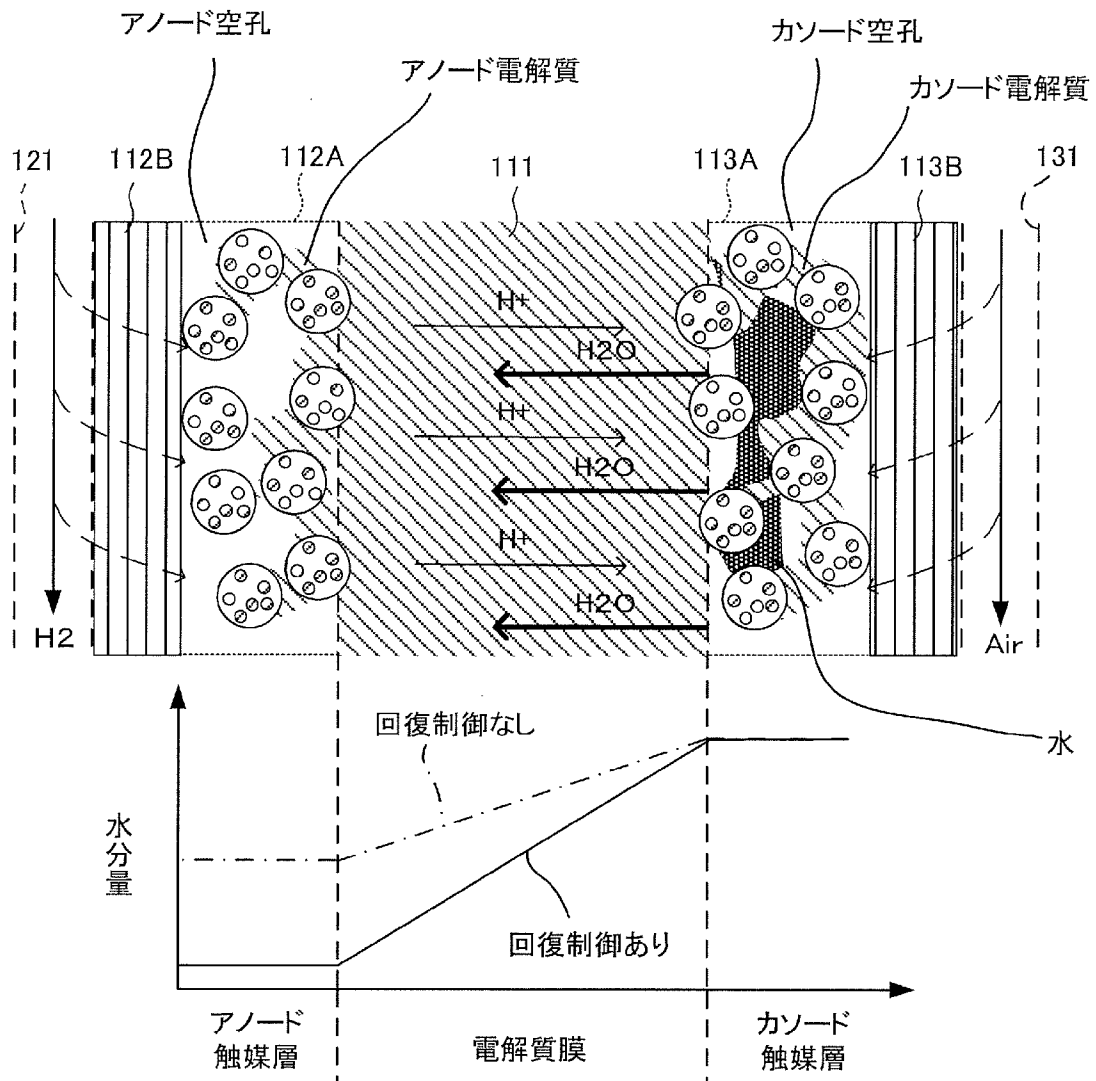
[図5]



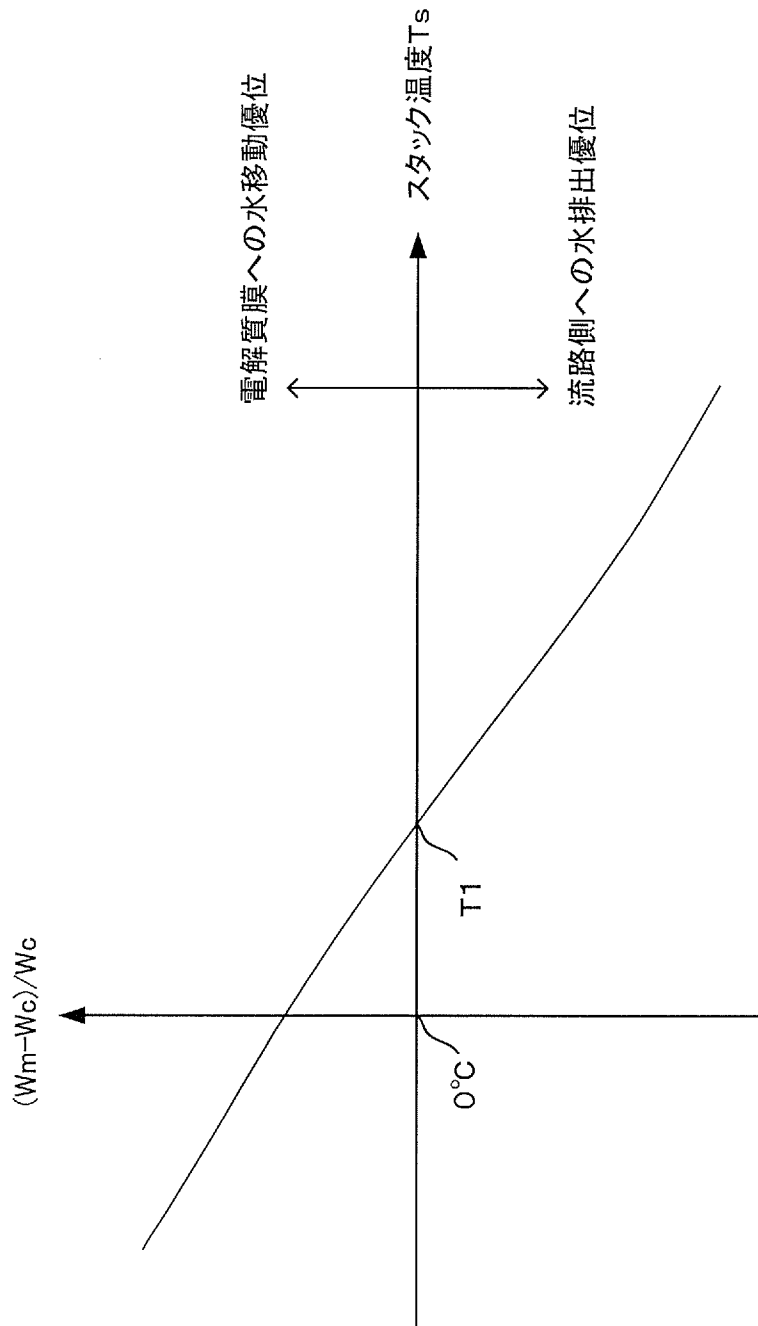
[図6]



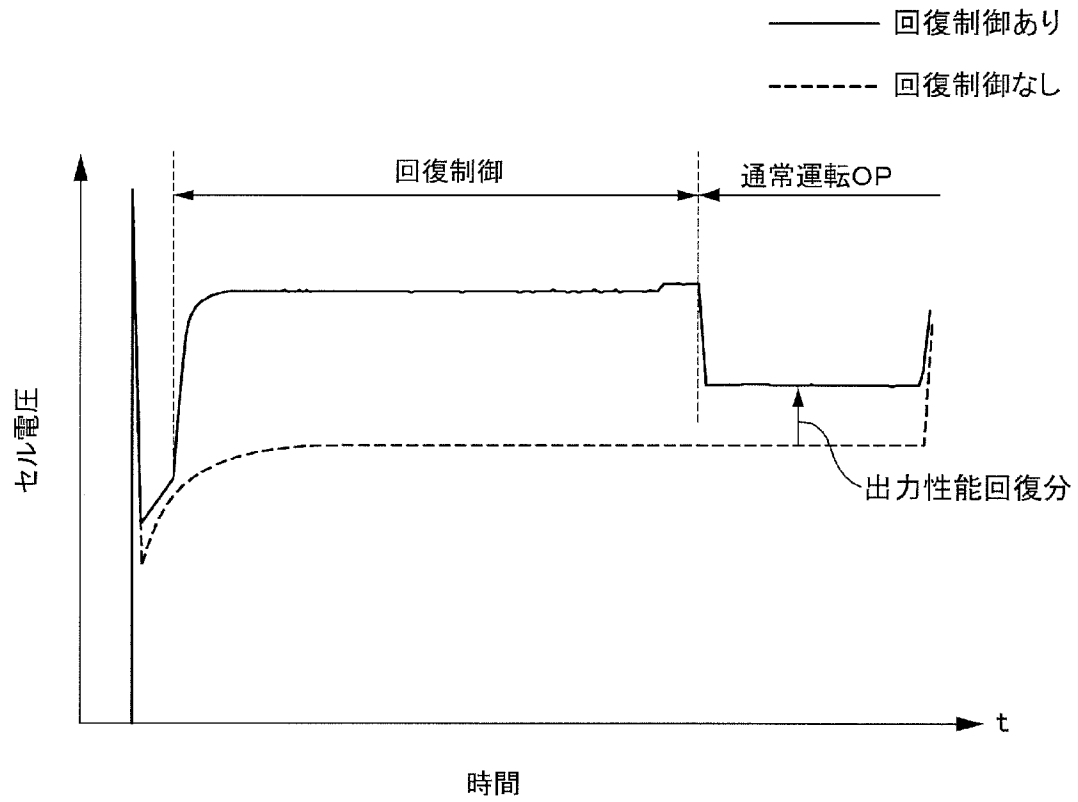
[図7]



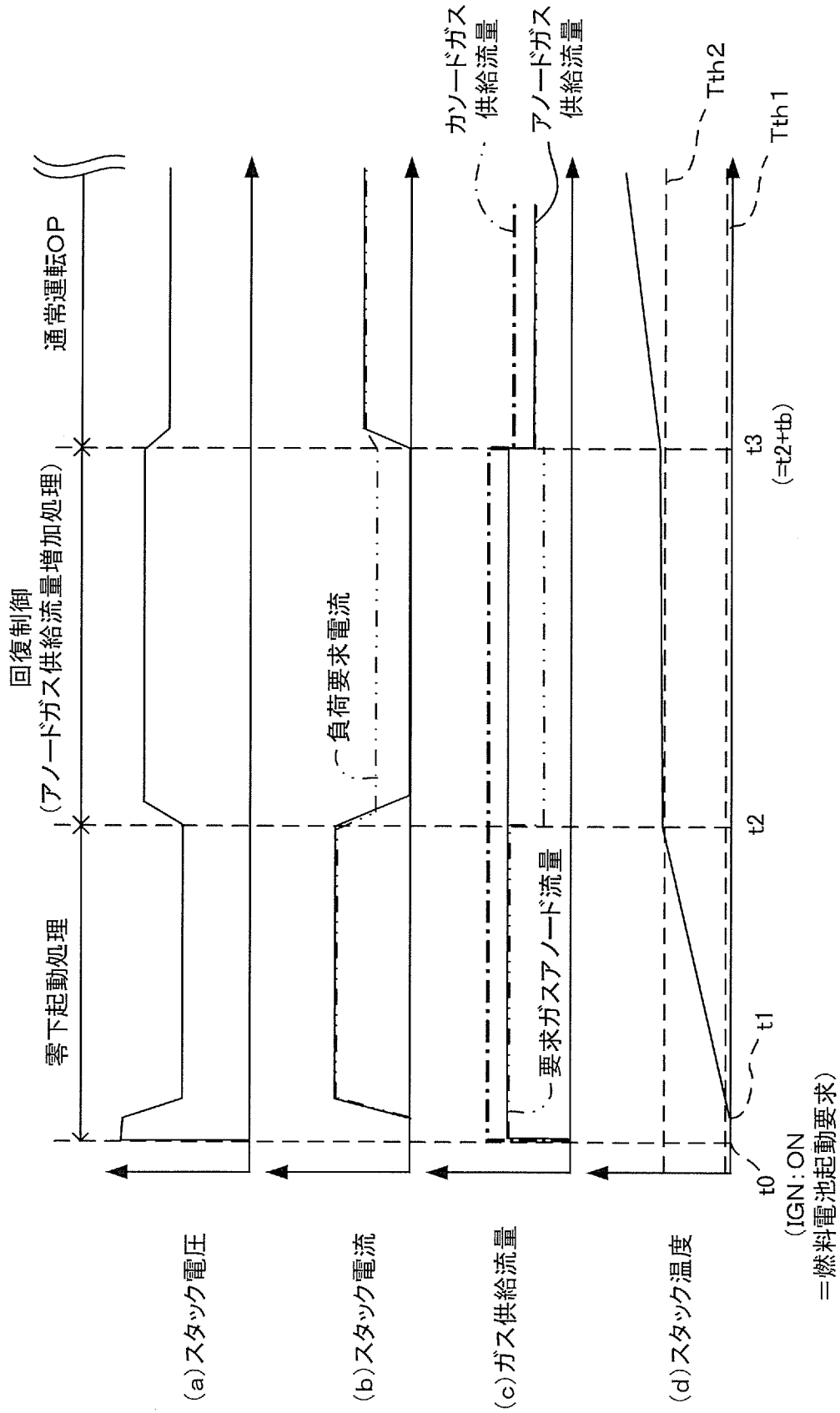
[図8]



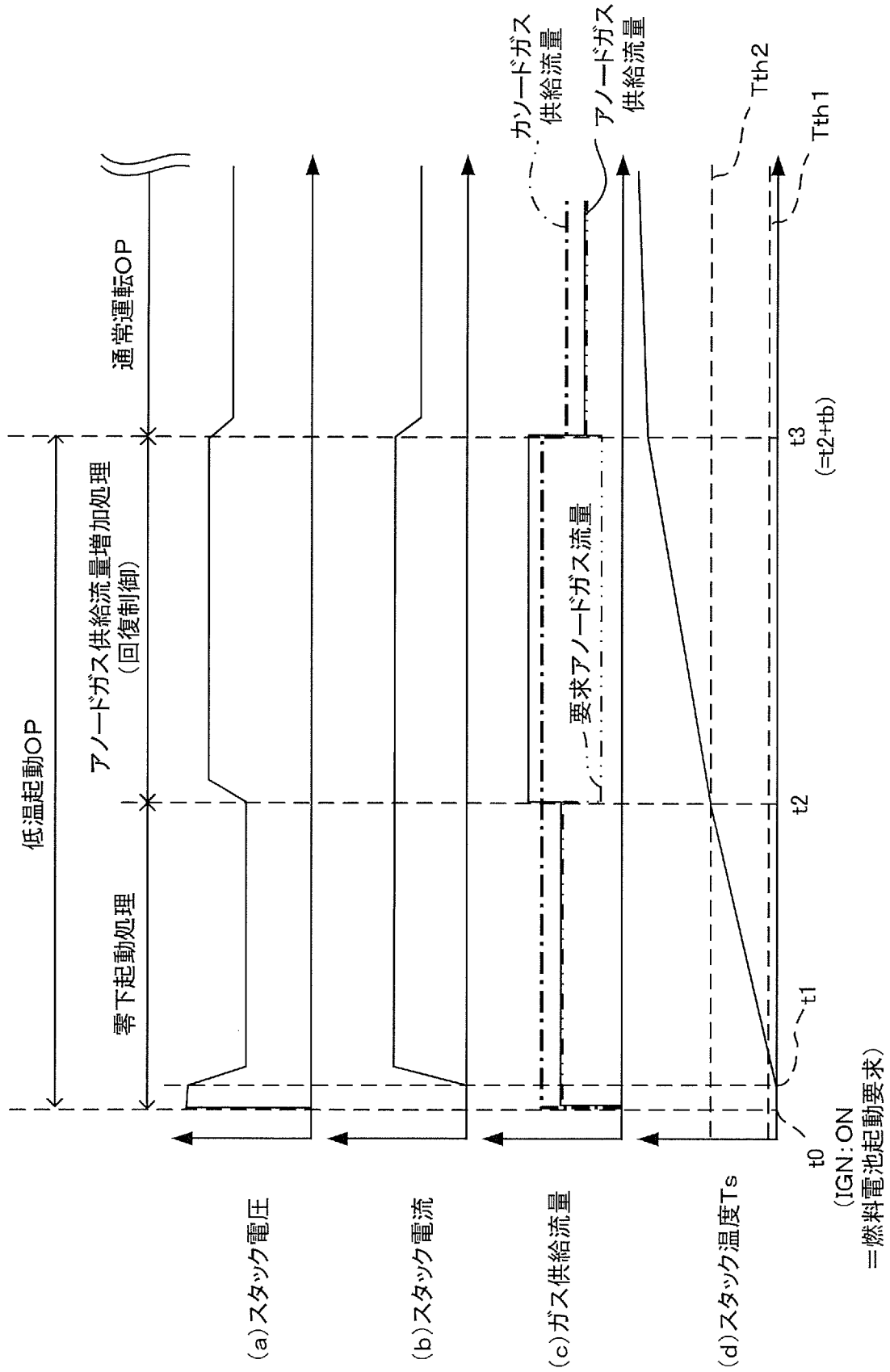
[図9]



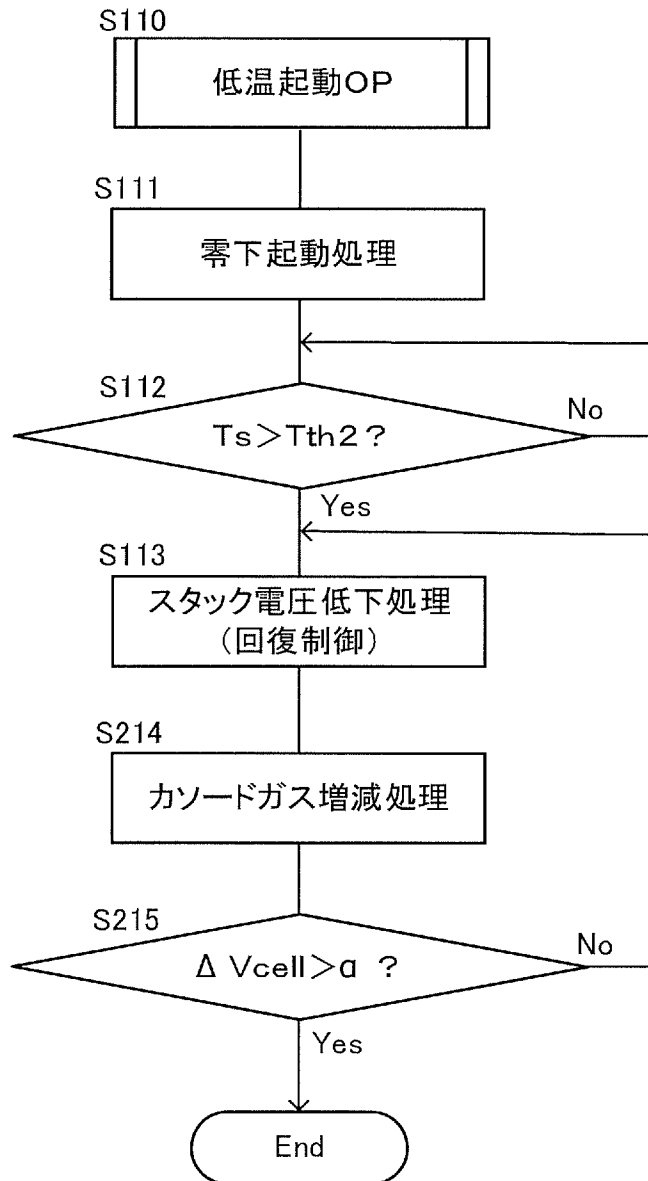
[図10]



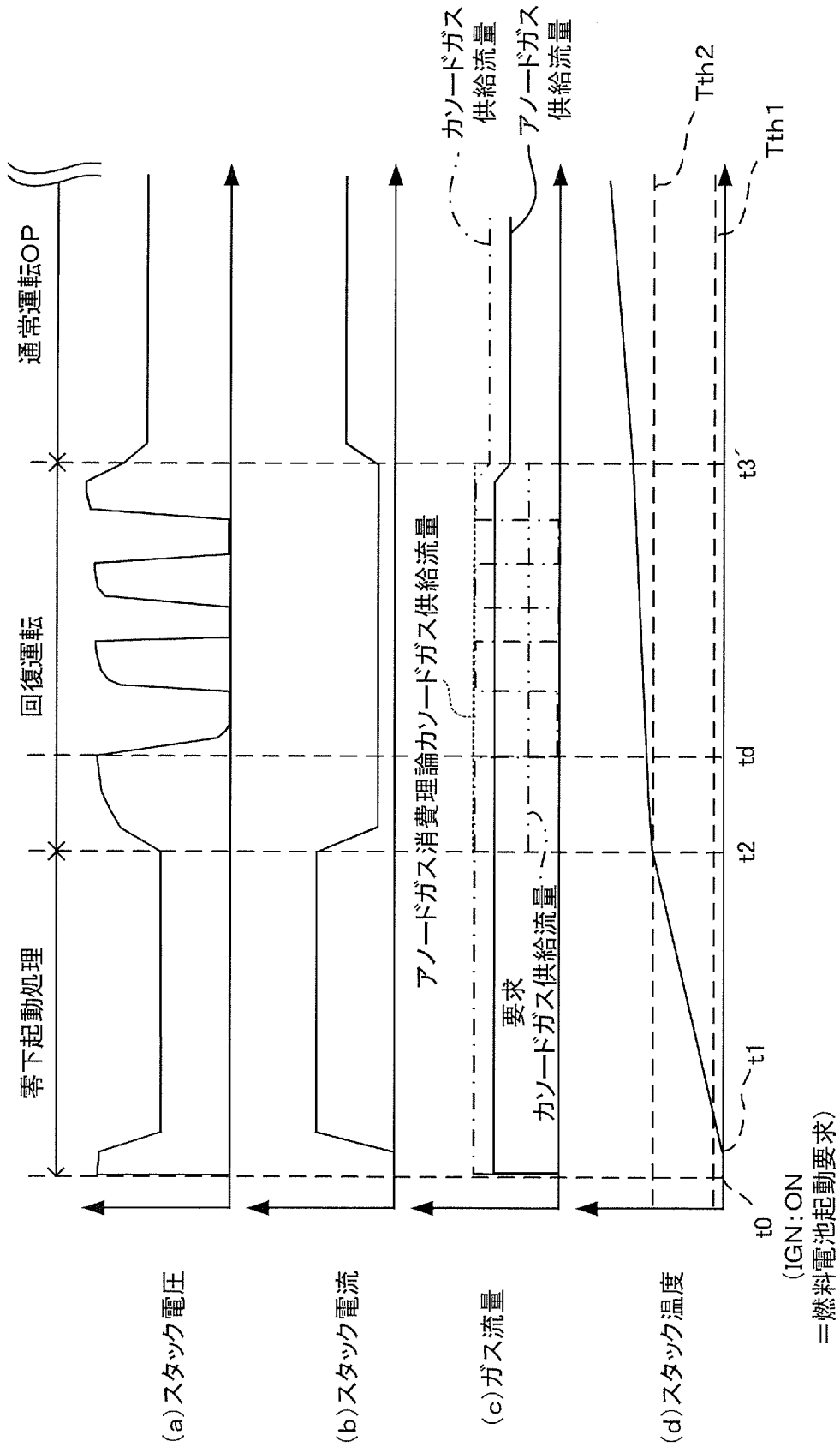
[図11]



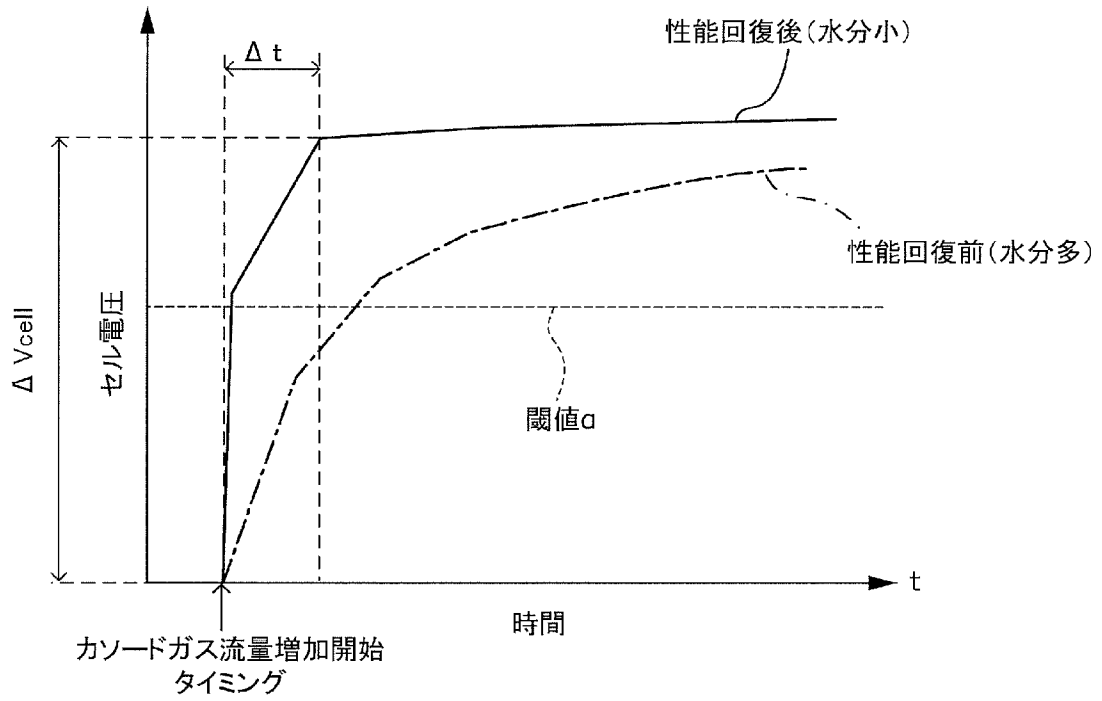
[図12]



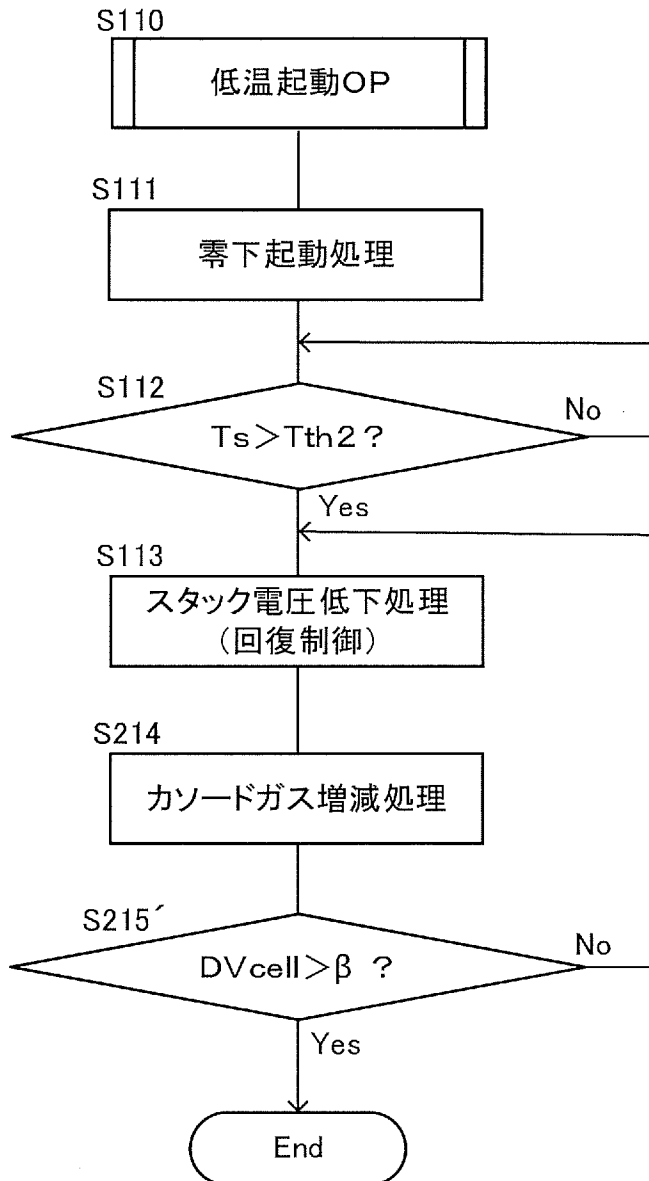
[図13]



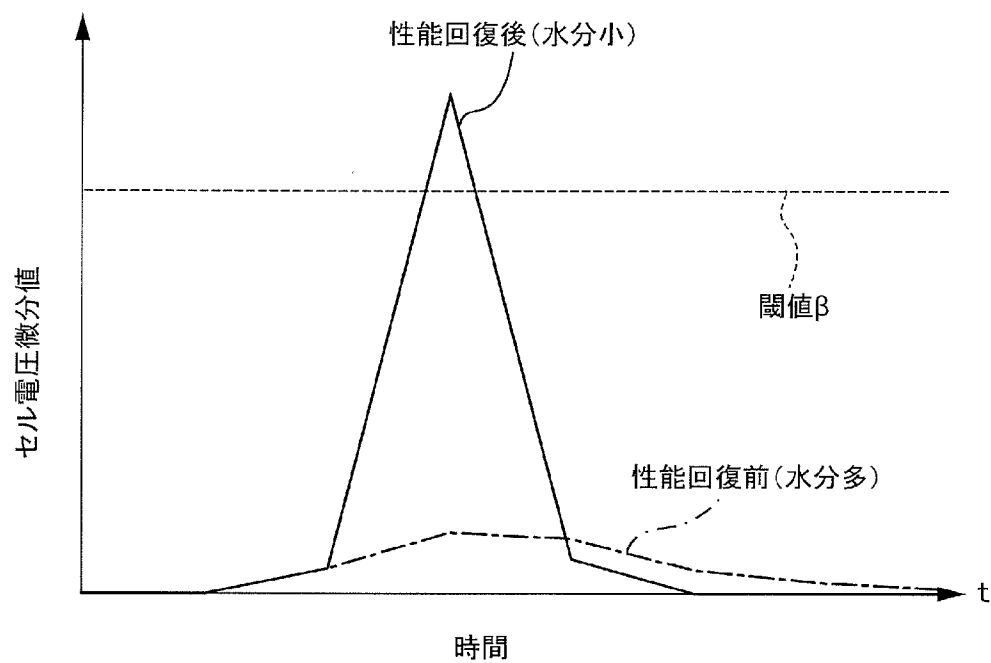
[図14]



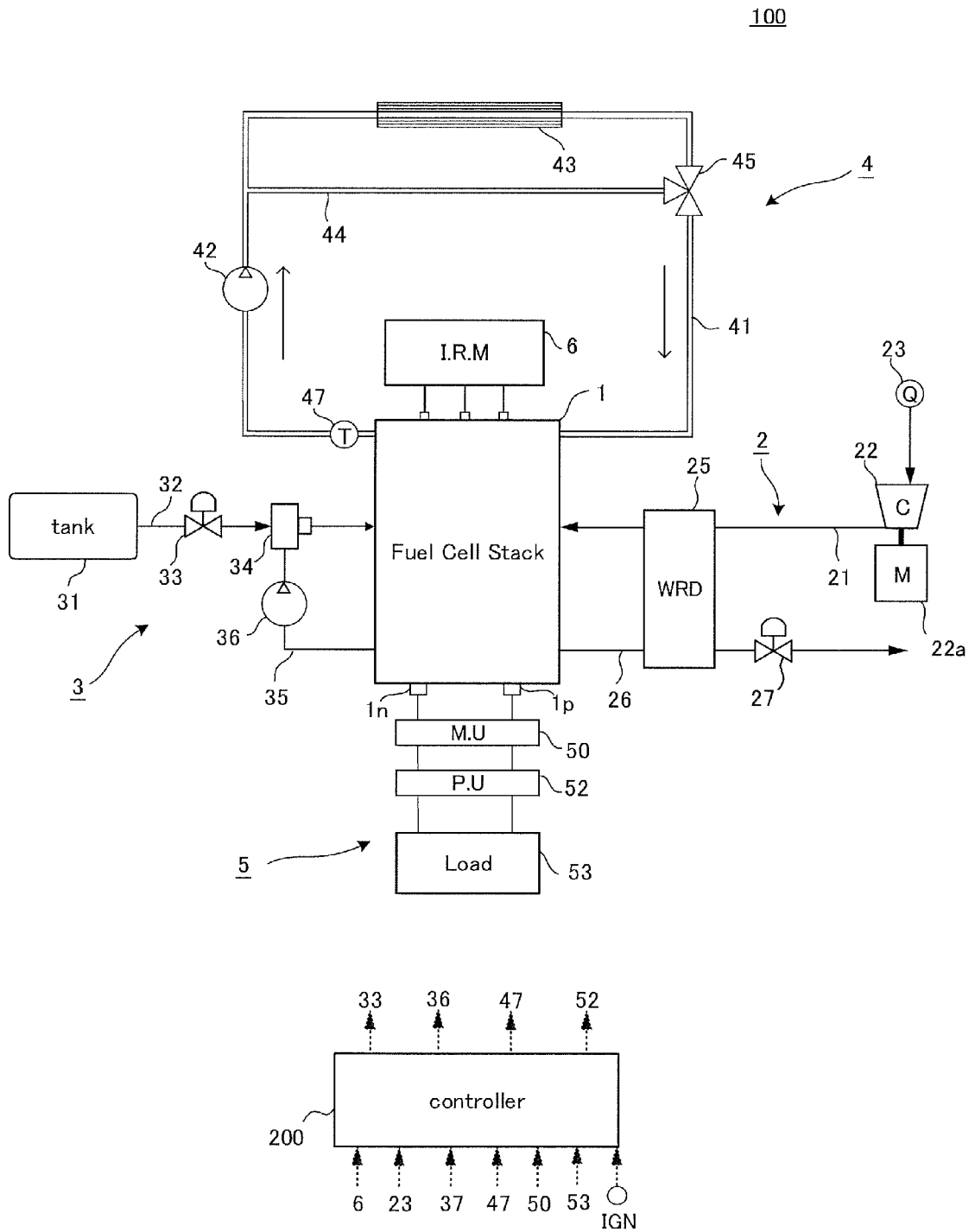
[図15]



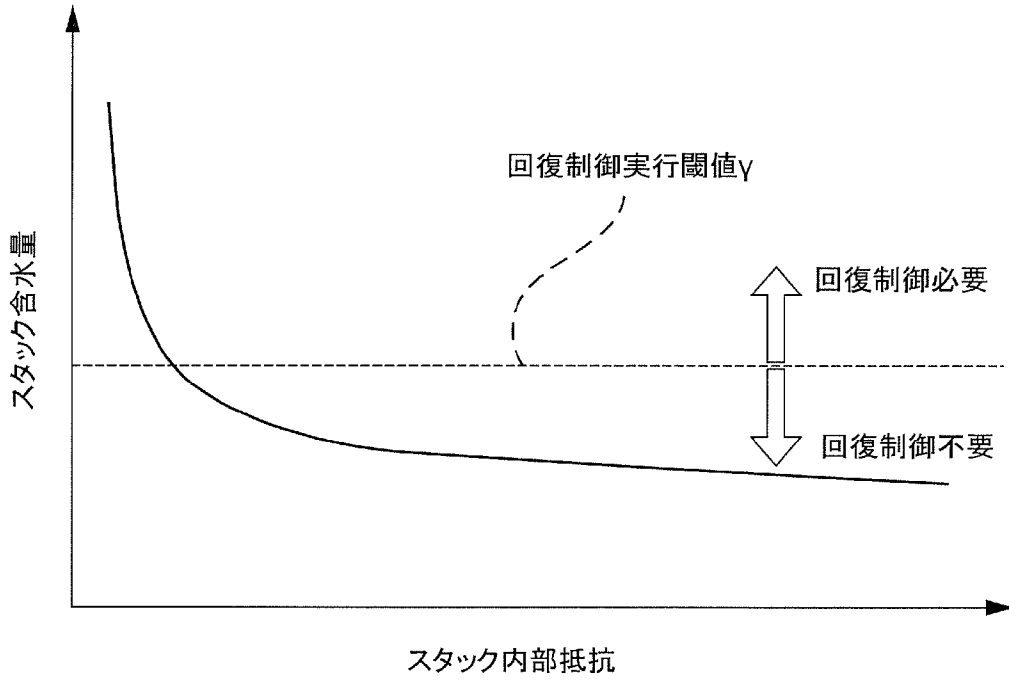
[図16]



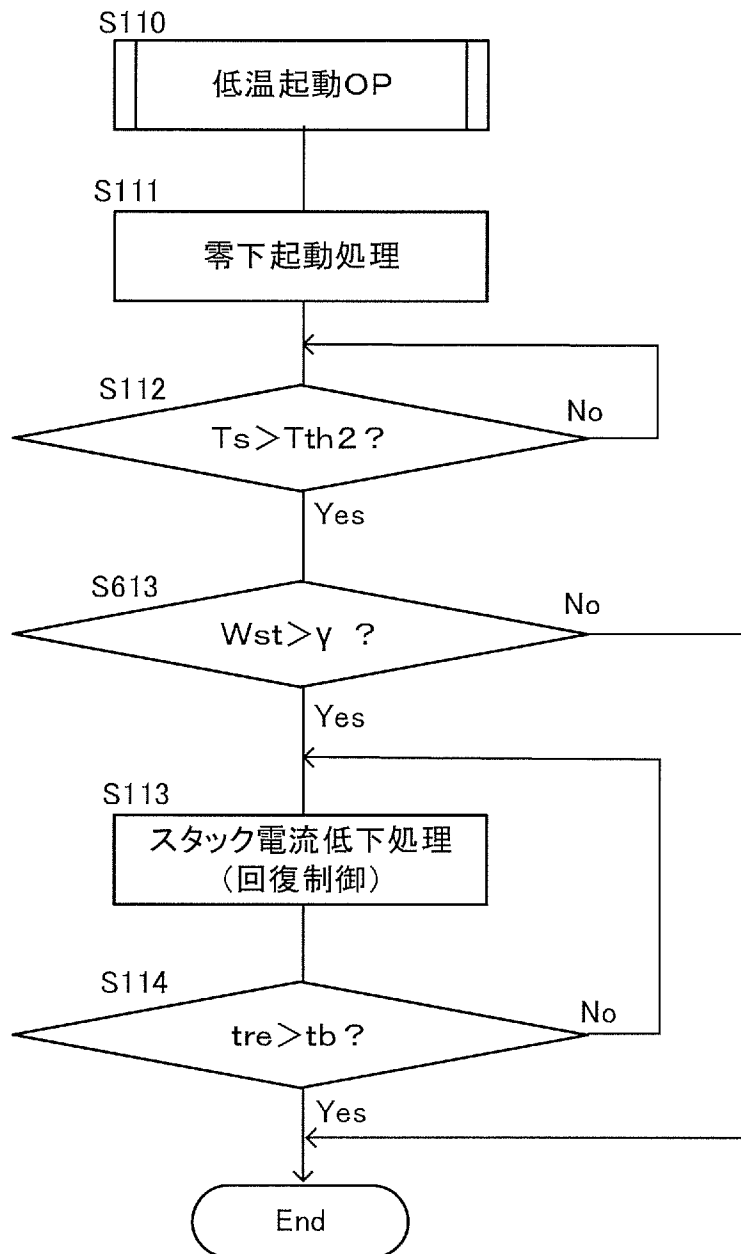
[図17]



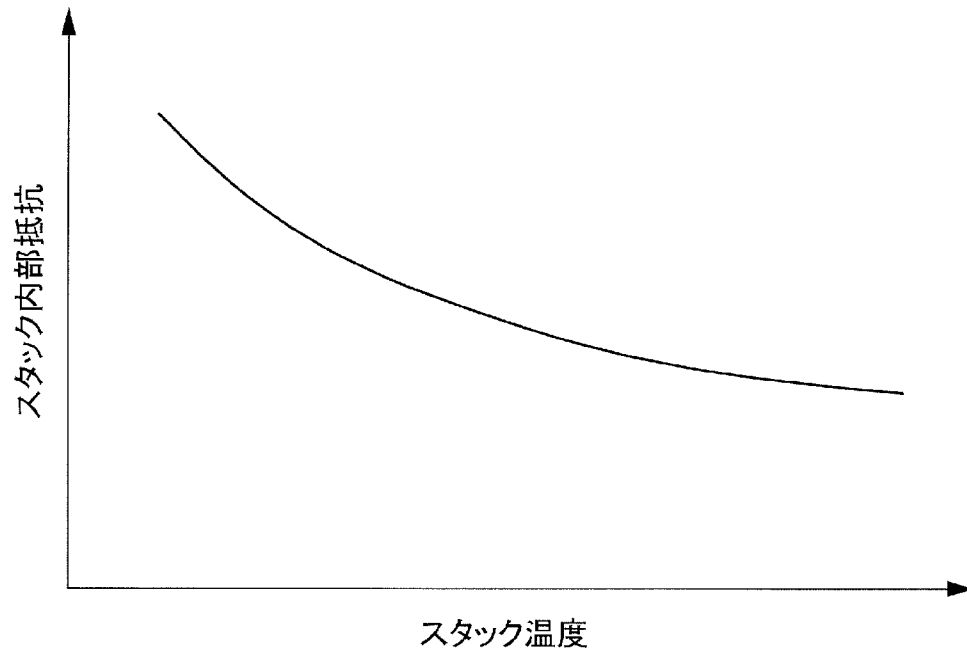
[図18]



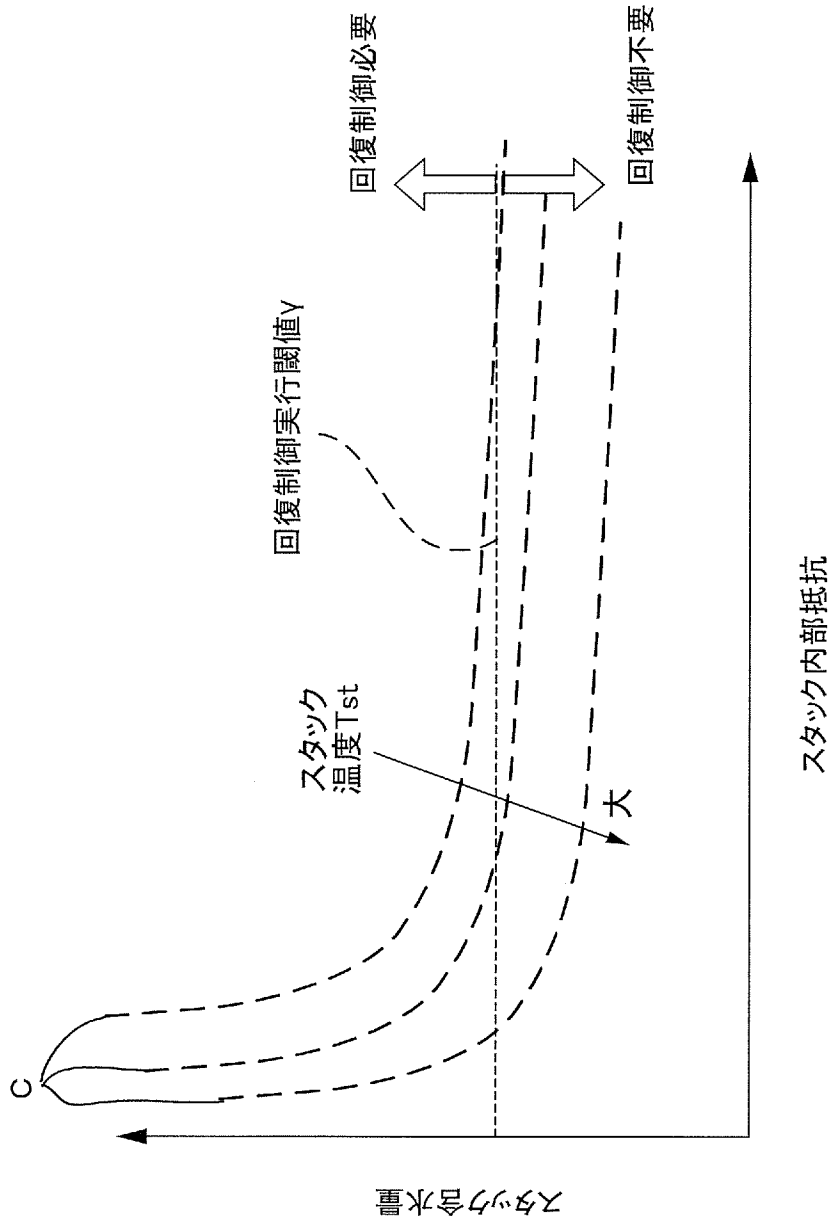
[図19]



[図20]

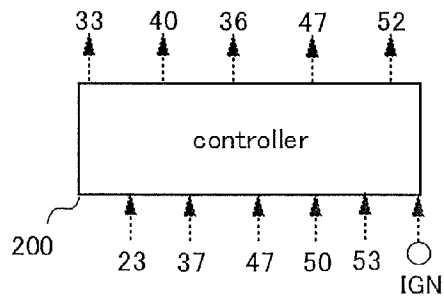
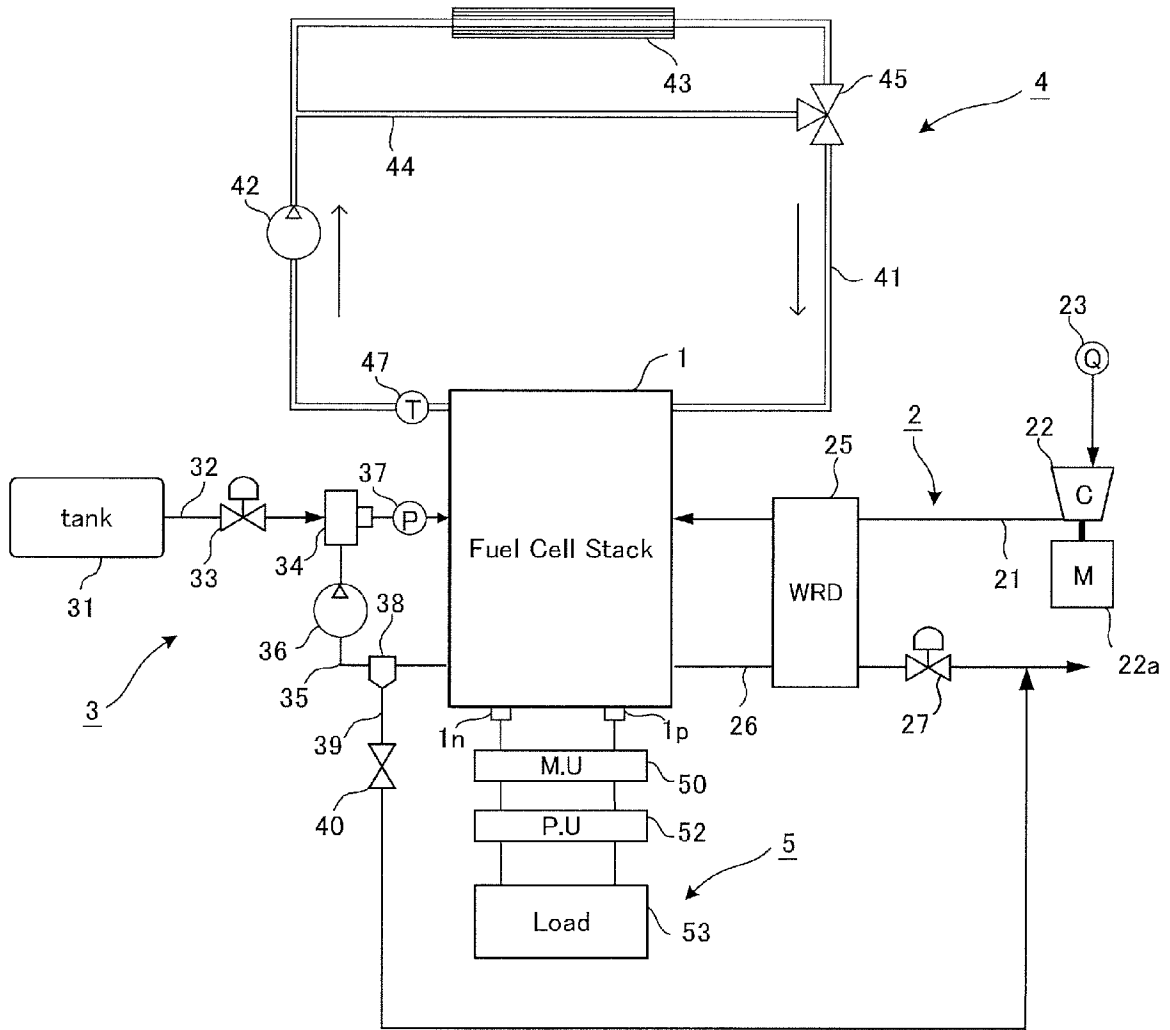


[図21]



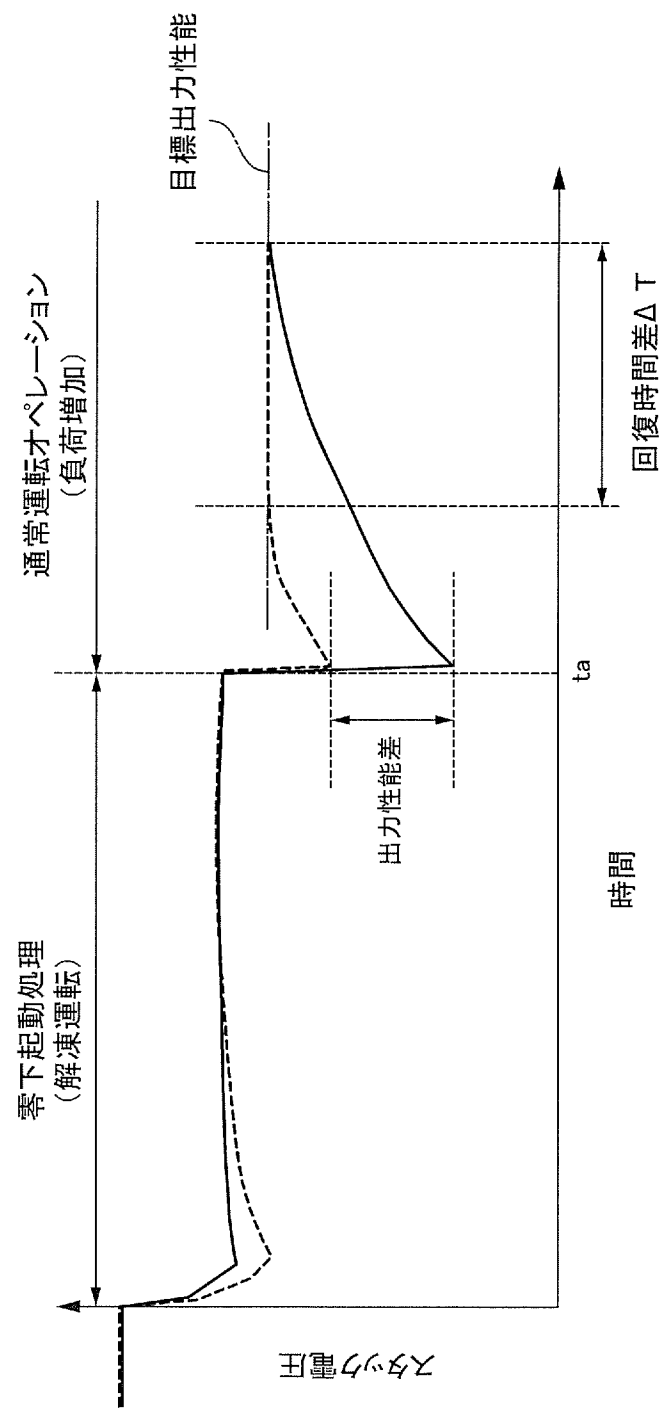
[図22]

100



[図23]

— 水分量 多
 - - - 水分量 少



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/076349

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01M8/04119(2016.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01M8/04119		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-4291 A (Honda Motor Co., Ltd.), 08 January 2009 (08.01.2009), paragraphs [0011], [0020], [0022] to [0043], [0053] to [0060]; fig. 1, 2, 4 (Family: none)	1-3, 5, 10-14 4, 6-9
Y	JP 2012-216365 A (Eneos Celltech Co., Ltd.), 08 November 2012 (08.11.2012), paragraph [0018] & EP 2693543 A1 paragraph [0017] & US 2014/0017589 A1 & WO 2012/133545 A1 & CN 103460468 A	1-3, 5, 10-14
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 November 2016 (29.11.16)		Date of mailing of the international search report 13 December 2016 (13.12.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/076349

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-294199 A (Canon Inc.), 08 November 2007 (08.11.2007), paragraph [0053]; fig. 7 & US 2007/0248870 A1 paragraph [0064]; fig. 7	2, 3, 5, 10-13
Y	JP 2012-54153 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 15 March 2012 (15.03.2012), paragraph [0042] (Family: none)	10-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01M8/04119(2016.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01M8/04119		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2016年 日本国実用新案登録公報 1996-2016年 日本国登録実用新案公報 1994-2016年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2009-4291 A（本田技研工業株式会社）2009.01.08, 段落[0011], [0020], [0022]-[0043], [0053]-[0060], 図1, 2, 4（ファミリーなし）	1-3, 5, 10-14 4, 6-9
Y	JP 2012-216365 A（株式会社ENEOSセルテック）2012.11.08, 段落[0018] & EP 2693543 A1, 段落[0017] & US 2014/0017589 A1 & WO 2012/133545 A1 & CN 103460468 A	1-3, 5, 10-14
Y	JP 2007-294199 A（キヤノン株式会社）2007.11.08, 段落[0053], 図7 & US 2007/0248870 A1, 段落[0064], 図7	2, 3, 5, 10-13
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 29.11.2016	国際調査報告の発送日 13.12.2016	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 大内 俊彦 電話番号 03-3581-1101 内線 3316	3H 9824

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-54153 A (日産自動車株式会社) 2012.03.15, 段落[0042] (ファミリーなし)	10-13