

(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
2014年7月17日(17.07.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/109239 A1

- (51) 国際特許分類:
H01M 8/04 (2006.01) H01M 8/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/084807
- (22) 国際出願日: 2013年12月26日(26.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-002134 2013年1月9日(09.01.2013) JP
- (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: 星 聖 (HOSHI, Kiyoshi); 〒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).
- (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, 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, LT, 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.

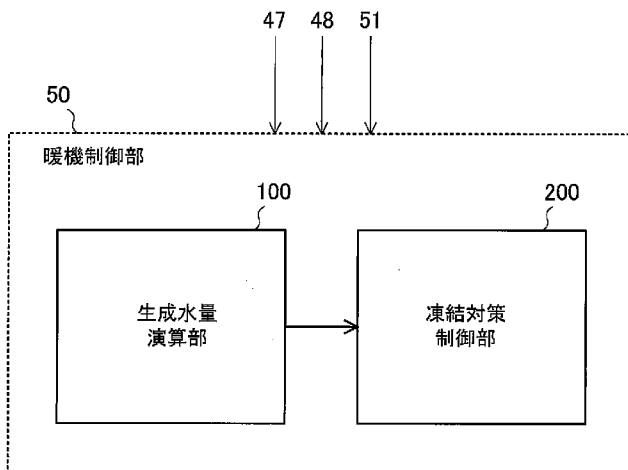
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

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



50 Warming-up control unit
100 Generated water quantity-computing unit
200 Freezing prevention control unit

(57) Abstract: In the present invention, a fuel cell system is provided with a warming-up control unit for warming up a fuel cell by supplying power to auxiliary devices and a heater when the fuel cell is started below zero. The warming-up control unit comprises a water quantity-computing unit for computing the quantity of water generated in an electrolyte film while the temperature of the fuel cell is increased up to the freezing point on the basis of the wettability and temperature of the fuel cell and the generated power during warming up. The present invention also comprises a freezing prevention control unit for increasing the ratio of power supplied to the heater relative to the auxiliary devices when the quantity of water generated exceeds the threshold value.

(57) 要約: 燃料電池システムは、燃料電池の零下起動時に補機とヒーターへの電力供給によって燃料電池自身を暖機する暖機制御部を備える。暖機制御部は、燃料電池の湿潤度と温度と暖機時の発電電力とに基づいて、燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水量を演算する水量演算部を含む。さらに、生成水量が閾値を超えるとときには、補機に対するヒーターへの電力

割合を高くする凍結対策制御部を含む。

WO 2014/109239 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] この発明は、低温起動時の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] 車両に搭載される燃料電池は、一般的に70℃前後が発電に適した温度域とされている。このため、車両の起動時には、燃料電池を発電に適した温度域に速く昇温させる必要がある。JP2009-4243Aには、燃料電池自身を発電させることで生じる自己発熱を利用して燃料電池の暖機時間を短くする燃料電池システムが開示されている。

発明の概要

[0003] 前述した燃料電池システムは、車両の使用環境によっては、例えばマイナス30℃の低温時に起動される場合がある。このような場合、燃料電池の自己発熱に伴い、電解質膜で生成された生成水が電解質膜の保水量を超えて溢れ出すことがあり、氷点下では溢れ出した生成水は凍ってしまう。このため、氷点下で燃料電池システムを起動するときには、生成水の凍結によって電解質膜を通るガスの拡散性が悪くなり、発電ができなくなるおそれがある。

[0004] 本発明は、このような問題点に着目してなされた。本発明の目的は、氷点下において燃料電池の暖機時に生成水が凍結するのを抑制することにある。

[0005] 本発明による燃料電池システムのひとつの態様は、燃料電池に電氣的に接続されて燃料電池の電力で駆動される補機と、燃料電池に電氣的に接続されて、燃料電池に供給される冷却水を加熱するヒーターと、を有する燃料電池システムである。この燃料電池システムは、燃料電池の零下起動時に補機とヒーターへの電力供給によって燃料電池自身を暖機する暖機制御部を備える。暖機制御部は、燃料電池の湿潤度と温度と暖機時の発電電力とに基づいて、燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水量を演算する水量演算部を含む。さらに、水量演算部により算出された生成

水量が閾値を超えるとときには、暖機時に補機に対するヒーターへの電力割合を高くする凍結対策制御部を含むことを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図1は、本発明の実施形態における燃料電池システムを示す構成図である。

[図2]図2は、コントローラーにおける暖機制御部の構成を示す図である。

[図3]図3は、生成水量演算部の詳細を示す構成図である。

[図4]図4は、凍結対策制御部の詳細を示す構成図である。

[図5]図5は、暖機制御部による制御方法を示すフローチャートである。

[図6]図6は、凍結対策制御による生成水の凍結回避手法を示す図である。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

[0008] (第1実施形態)

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を示す概略図である。

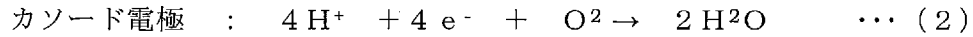
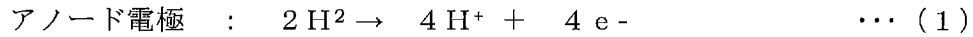
[0009] 燃料電池システム10は、燃料電池スタック1を起動するときに、燃料電池スタック自身の発電により生じる自己発熱を利用して燃料電池スタック1を暖機するシステムである。燃料電池システム10は、燃料電池スタック1と、カソードガス給排装置2と、アノードガス給排装置3と、スタック冷却装置4と、コントローラー5と、を備える。カソードガス給排装置2と、アノードガス給排装置3と、スタック冷却装置4とは、燃料電池スタック1の補機として用いられる。

[0010] 燃料電池スタック1は、数百枚の燃料電池を積層したものである。燃料電池スタック1は、本実施形態では自動車用動力源として使用される。

[0011] 燃料電池は、電解質膜を、アノード電極（燃料極）とカソード電極（酸化剤極）とによって挟んで構成される。燃料電池は、アノード電極に水素を含有するアノードガス（燃料ガス）と、カソード電極に酸素を含有するカソードガス（酸化剤ガス）とが供給されることによって発電する。アノード電極

及びカソード電極の両電極で進行する電極反応は、それぞれ（１）及び（２）の通り表わされる。

[0012] [化1]



[0013] 燃料電池は、上記（１）及び（２）の電極反応によって、起電力を生じるとともに水が生成される。このような燃料電池が多数積層されているため、燃料電池スタック１では、数百ボルトの電圧が発生する。燃料電池スタック１は、アノードガス及びカソードガスの供給を受けて、例えば、車両の駆動に必要な電力を供給する。燃料電池スタック１には、例えば、抵抗検出部５１が設けられている。

[0014] 抵抗検出部５１は、燃料電池の湿潤度を求めるために、電解質膜のインピーダンス（抵抗値）を検出する。電解質膜の湿潤度が小さいほど（電解質膜中の水分が少なく乾き気味であるほど）インピーダンスが大きくなる。電解質膜の湿潤度が大きいほど（電解質膜中の水分が多く濡れ気味であるほど）インピーダンスが小さくなる。

[0015] 抵抗検出部５１は、例えば、HFR（High Frequency Resistance）測定手法によってインピーダンスを求める。抵抗検出部５１は、燃料電池スタック１の発電電流を1kHz（キロヘルツ）の正弦波で変動させて燃料電池スタック１の電圧の変動を検出する。そして抵抗検出部５１は、1kHzの交流電圧振幅を交流電流振幅で除算することで抵抗値を求める。抵抗検出部５１は、抵抗値を示す電池抵抗信号をコントローラ５に出力する。

[0016] 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から流れ出すカソードオフガスを外気に排出する装置である。カソードガス給排装置２は、カソードガス供給通路２１と、フィルター２２と、カソードコンプレッサー２３と、カソードガス排出通路２４と、カソード調圧弁２５と、エアフローセンサー２６と、圧力セン

サー２７と、を備える。

- [0017] カソードガス供給通路２１は、燃料電池スタック１にカソードガスを供給する通路である。カソードガス供給通路２１の一端はフィルター２２に接続され、他端はカソードガス入口孔１１に接続される。
- [0018] フィルター２２は、カソードガス供給通路２１に取り込むカソードガスの中に含まれている異物を除去する。
- [0019] カソードコンプレッサー２３は、カソードガス供給通路２１に設けられる。カソードコンプレッサー２３は、フィルター２２を介して外気からの空気をカソードガス供給通路２１に取り込み、カソードガスとして燃料電池スタック１に供給する。
- [0020] カソードガス排出通路２４は、燃料電池スタック１からカソードオフガスを排出する通路である。カソードガス排出通路２４の一端はカソードガス出口孔１２に接続され、他端は開口している。
- [0021] カソード調圧弁２５は、カソードガス排出通路２４に設けられる。カソード調圧弁２５は、コントローラー５によって開閉制御される。この開閉制御によって、カソード調圧弁２５よりも上流側の通路を流れるカソードガスの圧力（以下「カソード圧」という。）が所望の圧力に調節される。
- [0022] エアフローセンサー２６は、カソードコンプレッサー２３よりも上流のカソードガス供給通路２１に設けられる。エアフローセンサー２６は、カソードガス供給通路２１を流れるカソードガスの流量を検出する。
- [0023] 圧力センサー２７は、カソードガス入口孔１１の近傍のカソードガス供給通路２１に設けられる。圧力センサー２７は、カソード圧を検出する。コントローラー５は、圧力センサー２７の検出値に基づいてカソード調圧弁２５の開度を調整する。これにより、カソード圧を所望の圧力が調節される。
- [0024] アノードガス給排装置３は、燃料電池スタック１にアノードガスを供給するとともに、燃料電池スタック１から排出されるアノードオフガスを、カソードガス排出通路２４に排出する装置である。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、アノード調圧弁３３と、

アノードガス排出通路 3 4 と、パーズ弁 3 5 と、を備える。

[0025] 高圧タンク 3 1 は、燃料電池スタック 1 に供給するアノードガスを高圧状態に保って貯蔵する。

[0026] アノードガス供給通路 3 2 は、高圧タンク 3 1 から燃料電池スタック 1 にアノードガスを供給する通路である。アノードガス供給通路 3 2 の一端は、高圧タンク 3 1 に接続され、他端はアノードガス入口孔 1 3 に接続される。

[0027] アノード調圧弁 3 3 は、アノードガス供給通路 3 2 に設けられる。アノード調圧弁 3 3 は、コントローラー 5 によって開閉制御される。この開閉制御によって、高圧タンク 3 1 からアノードガス供給通路 3 2 に流れるアノードガスの圧力が調節される。

[0028] アノードガス排出通路 3 4 は、燃料電池スタック 1 から流れ出るアノードオフガスを排出する通路である。アノードガス排出通路 3 4 の一端は、燃料電池スタック 1 のアノードガス出口孔 1 4 に接続され、他端はカソードガス排出通路 2 4 に接続される。

[0029] パーズ弁 3 5 は、アノードガス排出通路 3 4 に設けられる。パーズ弁 3 5 は、コントローラー 5 によって開閉制御される。パーズ弁 3 5 の開閉制御によって、カソードガス排出通路 2 4 に合流させるアノードオフガスの流量が制御される。

[0030] スタック冷却装置 4 は、燃料電池スタック 1 を冷却して燃料電池スタック 1 を発電に適した温度に保つ装置である。スタック冷却装置 4 は、冷却水循環通路 4 1 と、ラジエーター 4 2 と、バイパス通路 4 3 と、サーモスタット 4 4 と、循環ポンプ 4 5 と、ヒーター 4 6 と、第 1 水温センサー 4 7 と、第 2 水温センサー 4 8 と、を備える。

[0031] 冷却水循環通路 4 1 は、燃料電池スタック 1 を冷却する冷却水を循環させる通路である。

[0032] ラジエーター 4 2 は、冷却水循環通路 4 1 に設けられる。ラジエーター 4 2 は、燃料電池スタック 1 から排出された冷却水を冷却する。

[0033] バイパス通路 4 3 は、ラジエーター 4 2 をバイパスさせる通路である。バ

イパス通路４３の一端は、冷却水循環通路４１に接続され、他端はサーモスタット４４に接続される。

[0034] サーモスタット４４は、ラジエーター４２よりも下流側の冷却水循環通路４１に設けられる。サーモスタット４４は開閉弁である。サーモスタット４４は、内部を流れる冷却水の温度によって自動的に開閉する。

[0035] サーモスタット４４は、内部を流れる冷却水の温度が所定のサーモスタット開弁温度よりも低いときは、閉じた状態となり、バイパス通路４３を経由してきた相対的に高温な冷却水のみを燃料電池スタック１に供給する。

[0036] 一方、サーモスタット４４は、内部を流れる冷却水の温度がサーモスタット開弁温度以上になると、徐々に開き始める。そしてサーモスタット４４は、バイパス通路４３を経由してきた冷却水と、ラジエーター４２を経由してきた相対的に低温な冷却水と、を内部で混合して燃料電池スタック１に供給する。

[0037] 循環ポンプ４５は、サーモスタット４４よりも下流側の冷却水循環通路４１に設けられる。循環ポンプ４５は、燃料電池スタック１を流れる冷却水を循環させる。循環ポンプ４５の吐出流量は、コントローラー５によって制御される。

[0038] ヒーター４６は、サーモスタット４４と循環ポンプ４５との間の冷却水循環通路４１に設けられる。ヒーター４６は、燃料電池スタック１の暖機時に通電され、冷却水の温度を上昇させる。ヒーター４６としては、例えばＰＴＣヒーターが使用される。

[0039] 第１水温センサー４７は、冷却水循環通路４１とバイパス通路４３との分岐点よりも上流側の冷却水循環通路４１に設けられる。第１水温センサー４７は、燃料電池スタック１から排出された冷却水の温度（以下「スタック出口水温」という。）を検出する。第１水温センサー４７は、検出されたスタック出口温度をコントローラー５に出力する。

[0040] 第２水温センサー４８は、循環ポンプ４５よりも下流側の冷却水循環通路４１に設けられる。第２水温センサー４８は、燃料電池スタック１に流入す

る冷却水の温度（以下「スタック入口水温」という。）を検出する。第2水温センサー48は、スタック入口水温をコントローラー5に出力する。

[0041] コントローラー5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る。

[0042] コントローラー5には、第1水温センサー47からスタック出口水温が入力され、第2水温センサー48からスタック入口水温が入力され、抵抗検出部51から電池抵抗信号が入力される。

[0043] コントローラー5は、スタック入口水温、スタック出口水温、及び電池抵抗信号などに基づいて、燃料電池スタック1を発電させる。コントローラー5は、通常、カソードコンプレッサー23とカソード調圧弁25とアノード調圧弁33とパージ弁35とを制御して、発電に最低限必要な流量のカソードガス及びアノードガスを燃料電池スタック1に供給する。

[0044] コントローラー5は、燃料電池システム10の起動時においては、燃料電池スタック1を発電に適した発電温度、例えば60℃まで暖機する制御（以下「暖機促進運転」という）を実行する。

[0045] 暖機促進運転時において、燃料電池スタック1の暖機に必要な流量でカソードガスとアノードガスを燃料電池スタック1にそれぞれ供給する。これにより燃料電池スタック1は発電し、発電に伴う自己発熱によって燃料電池スタック1自体が温められる。

[0046] コントローラー5は、燃料電池スタック1で発電した発電電力を、カソードコンプレッサー23、循環ポンプ45や、ヒーター46などに分配する。このとき、コントローラー5は、カソードコンプレッサー23及びヒーター46に対して、燃料電池スタック1の発電電力のうち、通常よりも大きな電力を割り当てる。

[0047] 具体的には、コントローラー5は、カソード調圧弁25の開度を、燃料電池スタック1の発電に最低限必要な空気圧力よりも高くなるように設定するとともに、カソードコンプレッサー23から吐出する空気流量を可変範囲の

上限値に設定する。

[0048] さらにコントローラー５は、ヒーター４６の加熱温度（出力）を可変範囲の上限値に設定する。このため、ヒーター４６による冷却水の加熱と自己発熱との双方によって、燃料電池スタック１の温度は、早期に発電に適した温度に到達して燃料電池スタック１の暖機が完了する。

[0049] このように、暖機促進運転においてカソードコンプレッサー２３及びヒーター４６の双方で消費される発電電力を増やすことによって、燃料電池スタック１の発熱量を高めている。これにより、燃料電池スタック１を起動してから燃料電池スタック１の暖機が完了するまでの起動時間を短縮することができる。

[0050] しかしながら、燃料電池システムは、車両の使用環境によって、例えば氷点下マイナス３０℃の低温時に起動される場合がある。このような場合、燃料電池スタックの発電に伴い電解質膜で生成される生成水が電解質膜から溢れ出すと、溢れ出した生成水は氷点下のため凍ってしまう。その結果、燃料電池システムの零下起動時に燃料電池スタックを暖機するときには、生成水の凍結によって電解質膜を通るガスの拡散性が悪くなり、発電ができなくなるおそれがある。

[0051] そこで、本実施形態では、氷点温度まで上昇したときの燃料電池の生成水量を事前に推定し、その生成水量が電解質膜で保水できる保水量の上限値を超えるときには、生成水の増加量あたりの燃料電池の温度上昇量を高くする暖機制御に切り替える。

[0052] 図２は、コントローラー５における暖機制御部の機能を示す構成図である。

[0053] 暖機制御部５０は、燃料電池システム１０の零下起動時において、カソードコンプレッサー２３や、ヒーター４６などへ供給される電力を制御することによって燃料電池スタック１を暖機する。暖機制御部５０は、生成水量演算部１００と凍結対策制御部２００とを備える。

[0054] 生成水量演算部１００は、燃料電池スタック１に対する起動命令を受ける

と、燃料電池の湿潤度と、燃料電池の温度と、暖機時の発電電力とに基づいて、燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水の量（以下「生成水量」という。）を演算する。なお、具体的な構成については図3を参照して後述する。

[0055] 生成水量演算部100は、演算した生成水量を、電解質膜で生成される生成水量の超過の有無を判定するための判定信号として、凍結対策制御部200に出力する。

[0056] なお、生成水量演算部100は、凍結対策制御部200に生成水量を出力する代わりに、生成水量が保水量閾値を超える否かを判断してその結果を凍結対策制御部200に出力するようにしてもよい。例えば、生成水量演算部100は、生成水量が保水量閾値を超えると判断した場合には、凍結対策運転指令を出力し、生成水量が保水量閾値を超えないと判断した場合には、通常の暖機促進運転指令を出力する。保水量閾値は、電解質膜から生成水が漏れ出すことを検出するための閾値であり、実験データ等により設定される。

[0057] 凍結対策制御部200は、生成水量演算部100で演算された生成水量が保水量閾値を超えないときには、通常の暖機促進運転を実行する。暖機促進運転では、凍結対策制御部200は、燃料電池スタック1の発電に必要な電力よりも大きな電力（以下「暖機電力」という）をカソードコンプレッサー23へ供給するとともに、ヒーター46に対して可変範囲内の最大電力を暖機に必要な所定の電力として供給する。

[0058] 一方、凍結対策制御部200は、生成水量が保水量閾値を超えているときには、凍結対策運転を実行する。すなわち、凍結対策制御部200は、暖機促進運転時と比較して、カソードコンプレッサー23に対するヒーター46への電力割合を高くする。

[0059] 図3は、本実施形態における生成水量演算部100の詳細を示す構成図である。

[0060] 生成水量演算部100は、第1水温センサー47からのスタック出口水温と、第2水温センサー48からのスタック入口水温との平均値である平均温

度を、燃料電池温度として算出する。また、生成水量演算部100は、抵抗検出部51から燃料電池の抵抗値を取得する。

[0061] 生成水量演算部100には、燃料電池抵抗値と燃料電池温度とが保持されている。この燃料電池抵抗値と燃料電池温度とは、共に燃料電池スタック1の前回停止時に検出された検出値である。零下起動時では、一般的に燃料電池スタック1の凍結が原因で燃料電池の抵抗値が高くなることがある。この場合には、燃料電池の湿潤度と抵抗値との相関関係のズレが大きくなり、燃料電池の湿潤度の誤差が大きくなる可能性がある。そのため、相関関係のズレが比較的小さい前回停止時の燃料電池の抵抗値と温度を用いることによって、起動時の燃料電池の湿潤度の算出精度を高めることができる。

[0062] 生成水量演算部100は、燃料電池保水量演算部（以下「保水量演算部」という。）110と、燃料電池発電生成水量演算部（以下「発電生成水量演算部」という。）111と、燃料電池保水量算出部112と、時間算出部120と、生成速度算出部130と、積算量推定部140と、生成水量算出部150と、を備える。

[0063] 保水量演算部110は、燃料電池スタック1に対する起動命令を受けると、前回停止時の燃料電池温度と燃料電池抵抗値とに基づいて、電解質膜（燃料電池）の保水量を初期値として算出する。そして保水量演算部110は、燃料電池保水量の初期値を積算部113に出力する。

[0064] 本実施形態では、保水量演算部110には、燃料電池の温度ごとに、燃料電池抵抗値と湿潤度との関係を示す相関データが予め記憶されている。保水量演算部110は、前回停止時の燃料電池温度と燃料電池抵抗値とを取得すると、燃料電池温度の相関データを参照して燃料電池の湿潤度を演算する。そして保水量演算部110は、燃料電池の湿潤度と保水量への換算係数とを用いて初期値を算出する。

[0065] 発電生成水量演算部111は、演算周期中の発電状態に基づいて発電生成水量を演算する。例えば、発電生成水量は式(3)で表すことができる。式(3)では、発電生成水量を W_v [g/sec]、発電電流を I [A]、ファラデー定

数を F [C/mol]、反応物1モルあたりに生成（もしくは消費）する電子の数を n 、燃料電池1のセル枚数を N_c [cell]、水の分子量を M_w [g/mol]で表す。

[0066] [数1]

$$W_v = \frac{I}{nF} \cdot N_c \cdot M_w \quad \dots (3)$$

[0067] 発電生成水量演算部111は、式3を用いて単位時間あたりの発電生成水量を算出して演算周期乗算部1111に出力する。演算周期乗算部1111は、単位時間あたりの発電生成量に演算周期の値を乗算して演算周期ごとの発電生成水量を演算結果として燃料電池保水量算出部112に出力する。

[0068] 上記以外の方法でも例えば、抵抗検出部51で抵抗値を検出できる条件が成立したときは、保水量演算部110によって、演算周期ごとに燃料電池温度と燃料電池抵抗値を新たに取得して相関データを用いて保水量を順次算出し、その算出した値を燃料電池保水量算出部112の演算結果として用いてもよい。なお、保水量演算部110に、燃料電池の温度に応じて抵抗値を補正する補正値を示す補正データを予め記録しておき、その補正データに示された補正値に基づいて保水量を算出するようにしてもよい。

[0069] 燃料電池保水量算出部112は、燃料電池保水量算出部112の演算結果の前回値に、発電生成水量演算部111の演算結果を加算することで、現在の燃料電池の保水量を算出する。

[0070] 時間算出部120は、予め設定された凍結対策運転（暖機）時の発電電力に基づいて、零下で燃料電池スタック1が起動してから0（ゼロ）℃近傍に到達するまでの時間（以下「発電昇温時間」という。）を算出する。発電電力の設定値は、暖機促進運転時の発電電力よりも小さく、生成水量演算部100に予め記録されている。

[0071] ここで、時間算出部120には、暖機促進運転時の発電電力を入力してもよい。しかし、燃料電池のIV特性は一般的に燃料電池温度が低いほど、損失（発熱量）が大きくなるため、本実施形態では、生成水量SWOが保水量

閾値を超えない範囲では先に暖機促進運転を実施してより多くの発熱量を発生させ、生成水量SWOが保水量閾値を超える前に凍結対策運転に移行する。この方が、早期に燃料電池温度が上昇して生成水量SWOの推定精度が高くなり、燃料電池スタック1内の水の凍結によって発電不能になることを防止でき、かつ、暖機時間を最短にできるため、凍結対策運転時の発電電力を入力とした。

[0072] 時間算出部120は、目標昇温幅算出部121と、目標発熱量算出部122と、燃料電池システム発熱量演算部（以下、単に「発熱量演算部」という）123と、昇温時間算出部124と、を備える。

[0073] 目標昇温幅算出部121は、燃料電池スタック1が目標氷点温度に到達するまでに生成される生成水量を求めるため、冷却水温度を目標氷点温度から減算した値を、目標昇温幅として算出する。

[0074] 目標氷点温度としては、例えば0℃近傍の温度が設定される。また、冷却水温度は、燃料電池スタック1の温度として用いられる。本実施形態では、冷却水温度としてスタック入口水温が用いられる。通常、スタック入口水温は、スタック出口水温よりも低い値を示すことになることから、スタック出口水温を用いるよりも生成水量を多く見積もることができる。このため、生成水量の推定誤差が原因で、零下で電解質膜から生成水が漏れ出すことを防ぐことができる。すなわち、生成水の凍結防止のために安全側の温度としてスタック入口水温が用いられる。

[0075] 目標発熱量算出部122は、燃料電池システム容量と目標昇温幅とを乗算した値を、目標発熱量として昇温時間算出部124に出力する。なお、燃料電池システム容量は、燃料電池スタック1と冷却水循環通路41と冷却水の熱容量を考慮して決定される。また、生成水量の推定精度を上げるためには、外部に放熱する熱量を加味するのが望ましい。

[0076] 発熱量演算部123は、暖機時の発電電力の設定値に基づいて、燃料電池スタック1の昇温に寄与する燃料電池システム10の発熱量を算出する。発熱量演算部123は、算出された発熱量を昇温時間算出部124に出力する

- 。
- [0077] 本実施形態では、発熱量演算部 1 2 3 には、目標氷点温度での電池特性情報が予め記録されている。電池特性情報には、燃料電池スタック 1 の発電電流に応じた電池電圧、すなわち電流電圧 (I V) 特性が示されている。発熱量演算部 1 2 3 は、電池特性情報を参照して、暖機時の発電電力に基づいて電池電圧を特定し、その電池電圧と理論電圧との差分に基づいて、燃料電池スタック 1 の発電による発熱量を算出する。
- [0078] 一般に、燃料電池温度が低いほど、電池特性は悪くなり、燃料電池の発電効率が悪くなるので燃料電池スタック 1 の出力電圧と理論電圧との差が大きくなる。すなわち、燃料電池温度が低くなるほど、燃料電池スタック 1 の発熱量が大きくなり、その結果として電解質膜で生成される生成水量は多くなる。したがって、0℃近傍での電池特性情報を用いることで、零下起動時に見積もられる生成水量は、実際の生成水量よりも安全サイドの値を示すことになる。
- [0079] 昇温時間算出部 1 2 4 は、目標発熱量算出部 1 2 2 からの目標発熱量を、発熱量演算部 1 2 3 からの燃料電池システム 1 0 の発熱量で除算し、除算した値を発熱昇温時間として、積算量推定部 1 4 0 に出力する。
- [0080] 生成速度算出部 1 3 0 は、暖機時の発電電力の設定値に基づいて単位時間あたりの生成水の増加量、すなわち生成水量の増加速度を算出する。
- [0081] 本実施形態では、生成速度算出部 1 3 0 に、目標氷点温度での電池特性情報が予め記録されている。電池特性情報には、上述のとおり、燃料電池スタック 1 の発電電流と電池電圧との関係が示されている。
- [0082] 生成速度算出部 1 3 0 は、暖機時の発電電力の設定値を取得すると、電池特性情報を参照して、発電電力の設定値に関連付けられた発電電流の値を特定する。そして生成速度算出部 1 3 0 は、特定した発電電流と換算係数とに基づいて単位時間あたりの生成水量を算出する。また生成速度算出部 1 3 0 は、単位時間あたりの生成水量を積算量推定部 1 4 0 に出力する。
- [0083] 積算量推定部 1 4 0 は、生成速度算出部 1 3 0 からの単位時間あたりの生

成水量と、昇温時間算出部 124 からの発電昇温時間と、に基づいて生成水の積算量を推定する。この推定値は、燃料電池システム 10 を起動してから目標氷点温度に達するまでに暖機促進運転によって電解質膜で生成される生成水量である。

[0084] 本実施形態では積算量推定部 140 は、単位時間あたりの生成水量に発電昇温時間を乗算した値を、生成水の積算量として生成水量算出部 150 に出力する。

[0085] 生成水量算出部 150 は、生成水の積算量と保水量演算部 110 からの保水量とを加算した値を、燃料電池が氷点温度まで到達した時点の電解質膜全体の生成水量の推定値として算出する。

[0086] このように、生成水量演算部 100 は、燃料電池システム 10 の熱容量と、暖機時の発電電力の設定値とに基づいて、起動時の冷却水温度から目標氷点温度までの昇温に必要な発電昇温時間を算出する。そして生成水量演算部 100 は、I-V 特性を用いて暖機時の発電電力から単位時間あたりの発熱量を算出し、その単位時間あたりの発熱量に発熱昇温時間を乗算して生成水の積算量を推定する。

[0087] さらに生成水量演算部 100 は、起動時の電解質膜の保水量を、前回停止時の燃料電池の温度と抵抗値を用いて算出し、起動時の電解質膜の保水量と生成水の積算量とを合計して、燃料電池が氷点温度まで昇温したときの電解質膜全体の生成水量を推定する。さらに生成水量演算部 100 は、暖機促進運転中に発電電流に応じて現在の燃料電池の保水量を更新し、現在の燃料電池保水量と生成水の積算量を合計して、燃料電池が氷点温度まで昇温したときの電解質膜全体の生成水量を推定する。これにより、燃料電池が氷点温度まで暖機されるまでに電解質膜全体の生成水量が、電解質膜の保水量の上限値を超えるか否を判断することが可能となる。

[0088] 図 4 は、凍結対策制御部 200 の詳細を示す構成図である。

[0089] 凍結対策制御部 200 は、燃料電池の発電に最低限必要な発電電流の値として、燃料電池目標電流を取得する。また、凍結対策制御部 200 は、生成

水量演算部 100 から生成水量を示す制御信号を受け付ける。

- [0090] 凍結対策制御部 200 は、生成水量演算部 100 からの制御信号に基づいて暖機促進運転を凍結対策運転に切り替え、燃料電池目標電流に基づいてカソードコンプレッサー 23 の目標空気流量と目標空気圧力を決定する。
- [0091] 凍結対策制御部 200 は、発電空気流量演算部 210 と、暖機空気流量保持部 220 と、無効情報保持部 221 と、暖機切替部 230 と、目標空気流量算出部 240 とを備える。そして凍結対策制御部 200 は、発電空気圧力演算部 310 と、暖機空気圧力保持部 320 と、無効情報保持部 321 と、暖機切替部 330 と、目標空気圧力算出部 340 とを備える。
- [0092] 発電空気流量演算部 210 は、燃料電池スタック 1 の発電に最低限必要な燃料電池目標値と換算係数とに基づいて発電空気流量を算出する。
- [0093] 暖機空気流量保持部 220 は、暖機促進運転に必要な暖機空気流量を保持する。暖機空気流量は、発電空気流量よりも大きな値である。例えば、暖機空気流量保持部 220 には、カソードコンプレッサー 23 の空気流量を設定できる範囲の上限値が保持される。
- [0094] 無効情報保持部 221 は、暖機促進運転を無効にして運転状態を凍結対策運転に切り替えるための無効情報を保持する。無効情報保持部 221 には、例えば、発電空気流量よりも小さな値として 0（ゼロ）を示す無効情報が保持される。
- [0095] 暖機切替部 230 は、生成水量演算部 100 からの制御信号に応じて、暖機空気流量保持部 220 又は無効情報保持部 221 のいずれかの情報を、目標空気流量算出部 240 に出力する。暖機切替部 230 は、例えばスイッチ回路により実現される。
- [0096] 暖機切替部 230 は、制御信号により示される生成水量が保水量閾値よりも大きい場合には、氷点温度に達する前に電解質膜から生成水が漏れ出すと判断し、無効情報保持部 221 から空気流量についてゼロを示す無効情報を出力する。
- [0097] 一方、暖機切替部 230 は、生成水量が保水量閾値よりも小さい場合には

、氷点温度に達しても生成水が電解質膜から漏れ出ないと判断し、暖機空気流量保持部 220 からの暖機空気流量を出力する。

[0098] 目標空気流量算出部 240 は、発電空気流量と暖機切替部 230 からの情報のうちいずれか大きい方の値を、目標空気流量として出力する。

[0099] 例えば、目標空気流量算出部 240 は、生成水量が保水量閾値を超えていないときには、暖機空気流量と発電空気流量とのうち、大きい方の暖機空気流量を目標空気流量として出力する。すなわち、目標空気流量算出部 240 は、電解質膜から生成水が漏れ出さないときは、燃料電池スタック 1 の暖機に必要な空気流量をカソードコンプレッサー 23 に設定する。

[0100] 一方、目標空気流量算出部 240 は、生成水量が保水量閾値を超えるときには、空気流量についてゼロを示す無効情報と発電空気流量とのうち、大きい方の発電空気流量を目標空気流量として出力する。すなわち、目標空気流量算出部 240 は、生成水が電解質膜から漏れ出すときは、事前に、発電に最低限必要な空気流量をカソードコンプレッサー 23 に設定する。これによって、燃料電池システム 10 の暖機運転状態は、凍結対策運転に移行するため、電解質膜での生成水の増加量（増加速度）が抑制される。

[0101] 次にカソードコンプレッサー 23 の目標空気圧力の設定について説明する。

[0102] 発電空気圧力演算部 310 は、燃料電池スタック 1 の発電に最低限必要な燃料電池目標値と換算係数とに基づいて発電空気圧力を算出する。

[0103] 暖機空気圧力保持部 320 は、暖機促進運転に必要な暖機空気圧力を保持する。暖機空気圧力は、発電空気圧力よりも大きな値である。例えば、暖機空気圧力保持部 320 には、カソードコンプレッサー 23 及びカソード調圧弁 25 によって定まる空気圧力設定範囲の上限値が保持される。

[0104] 無効情報保持部 321 は、暖機促進運転を無効にして運転状態を凍結対策運転に切り替えるための無効情報を保持する。無効情報保持部 321 には、発電空気圧力よりも小さな値として 0（ゼロ）を示す無効情報が保持される。

- [0105] 暖機切替部 330 は、生成水量演算部 100 からの制御信号に応じて、暖機空気圧力保持部 320 又は無効情報保持部 321 のいずれかの情報を、目標空気圧力算出部 340 に出力する。暖機切替部 330 は、例えばスイッチ回路により実現される。
- [0106] 暖機切替部 330 は、制御信号により示された生成水量が保水量閾値よりも大きい場合には、氷点温度に達する前に電解質膜から生成水が漏れ出すと判断し、無効情報保持部 321 から空気圧力についてゼロを示す無効情報を出力する。
- [0107] 一方、暖機切替部 330 は、生成水量が保水量閾値よりも小さい場合には、氷点温度に達しても生成水が電解質膜から漏れ出ないと判断し、暖機空気圧力保持部 320 からの暖機空気圧力を出力する。
- [0108] 目標空気圧力算出部 340 は、発電空気圧力と暖機切替部 330 からの情報のうちいずれか大きい方の値を、目標空気圧力として出力する。
- [0109] 例えば、目標空気圧力算出部 340 は、生成水量が保水量閾値を超えていないときには、暖機空気圧力と発電空気圧力とのうち、大きい方の暖機空気圧力を目標空気圧力として出力する。すなわち、目標空気圧力算出部 340 は、電解質膜から生成水が漏れ出さないときは、燃料電池スタック 1 の暖機に必要な空気圧力に基づいて、カソードコンプレッサー 23 とカソード調圧弁 25 に設定する。
- [0110] 一方、目標空気圧力算出部 340 は、生成水量が保水量閾値を超えるときには、空気圧力についてゼロを示す無効情報と発電空気圧力とのうち、大きい方の発電空気圧力を目標空気流量として出力する。すなわち、目標空気圧力算出部 340 は、生成水が電解質膜から漏れ出すときは、燃料電池スタック 1 の発電に最低限必要な空気圧力に基づいてカソードコンプレッサー 23 とカソード調圧弁 25 とを制御する。これによって、燃料電池システム 10 の運転状態が凍結対策運転に移行するため、電解質膜で生成される生成水の単位時間あたりの増加量が抑制される。
- [0111] このように、燃料電池が 0℃ になる前に生成水量が電解質膜から溢れ出す

と予測されたときには、凍結対策制御部200が、燃料電池スタック1の発電に最低限必要な発電電流に基づいてカソードコンプレッサー23とカソード調圧弁25とを調整する。これにより、空気流量及び空気圧力が小さくなるので、燃料電池スタック1の発熱量を抑えることができる。一方、暖機制御部50はヒーター46への供給電力を一定に維持している。

[0112] このため、暖機制御部50は、凍結対策運転に切り替えることで、燃料電池スタック1からヒーター46への供給電力を一定にした状態で、カソードコンプレッサー23への供給電力を下げる。これにより、カソードコンプレッサー23への供給電力に対するヒーター46への供給電流の電力割合を高くすることができる。

[0113] したがって、電解質膜の生成水量の発生を低減しつつ、ヒーター46による燃料電池スタック1への放熱量は一定に維持される。このように、暖機制御部50は、生成水量の増加速度を下げつつ、燃料電池への放熱量は変えないので、単位生成水量あたりの温度上昇量を高くすることができる。

[0114] 次にコントローラ5における暖機制御部50の動作の詳細について説明する。

[0115] 図5は、暖機制御部50の制御方法を示すフローチャートである。

[0116] まず、ステップS901において保水量演算部110は、燃料電池スタック1の起動命令を受けると、予め定められた相関データを用いて前回停止時の燃料電池温度と燃料電池抵抗値とに基づいて、燃料電池の湿潤度を算出する。

[0117] ステップS902において保水量演算部110は、第2水温センサー48からのスタック入口温度を取得する。

[0118] ステップS903において保水量演算部110は、燃料電池の湿潤度と換算係数とを用いて電解質膜の保水量を初期値として算出する。そして燃料電池保水量算出部112は、保水量の初期値と、燃料電池発電生成水量演算部111からの演算結果とを用いて現在の電解質膜の保水量を算出する。すなわち、燃料電池保水量算出部112は、暖機促進運転中に発電電流に応じて

現在の電解質膜の保水量を更新する。

- [0119] ステップS904において生成水量算出部150は、電解質膜の保水量と凍結対策運転時の発電電力の設定値とスタック入口温度とに基づいて、暖機促進運転により電解質膜で生成される生成水の積算量と保水量とを合計した生成水量SWOを算出する。
- [0120] 具体的には、昇温時間算出部124は、凍結対策運転時の発電電力の設定値と、燃料電池システム10の熱容量と、スタック入口温度とに基づいて、スタック入口温度から0℃に昇温されるまでの発電昇温時間を算出する。また、生成速度算出部130は、IV特性情報を用いて発電電力の設定値から単位時間あたりの燃料電池スタック1の発熱量を算出し、積算量推定部140は、単位時間あたりの燃料電池スタック1の発熱量に対し発電昇温時間を乗算して生成水の積算量を算出する。そして生成水量算出部150は、積算量推定部140からの生成水の積算量と、燃料電池保水量算出部112からの保水量と、を加算して生成水量SWOを算出する。
- [0121] ステップS905において暖機制御部50は、生成水量SWOが保水量閾値を超えるか否かを判断する。そして暖機制御部50は、生成水量SWOが保水量閾値を超えると判断したときは、ステップS908に進む。
- [0122] ステップS908において、暖機制御部50は、スタック入口温度が0℃を超えているか否かを判断する。暖機制御部50は、スタック入口温度が0℃を超えていると判断したときは、ステップS906に進み、暖機促進運転を実行する。
- [0123] 一方、ステップS908でスタック入口温度が0℃を超えていないと判断した場合は、ステップS909に進み、凍結対策運転を実行する。ステップS909では、暖機制御部50は、カソードコンプレッサー23に対するヒーター46への電力割合を高くする凍結対策運転を実行する。本実施形態では、暖機制御部50は、燃料電池スタック1からヒーター46への供給電力を変更せずに、カソードコンプレッサー23とカソード調圧弁25を制御して、燃料電池スタック1に供給される空気流量と空気圧力を発電に最低限必

要な値にまで低下させる。

- [0124] そして、暖機制御部50は、所定の演算周期（例えば、100ms）でステップS902からの一連の処理を実行し、燃料電池1が暖機完了するまで繰り返す。
- [0125] 一方、ステップS905において暖機制御部50は、生成水量SWOが保水量閾値を超えていないと判断したときは、ステップS906に進む。
- [0126] 一方、ステップS905で生成水量SWOが保水量閾値を超えないと判断したときは、ステップS906において、暖機制御部50は、スタック入口温度が、例えば60℃の発電温度に達するまで暖機促進運転を実行する。本実施形態では、暖機制御部50は、ヒーター46とカソードコンプレッサー23を可変範囲の上限値に設定する。そして暖機制御部50は、燃料電池の温度が発電に適した温度に達した場合には暖機が完了したと判断して暖機促進運転を終了する。
- [0127] そして暖機制御部50は、所定の演算周期（例えば100ms）で、ステップS902からの一連の処理を実行し、燃料電池1が暖機完了するまで繰り返す。
- [0128] そして暖機制御部50は、冷却水温度が0℃以上、又は、生成水量SWOが保水閾値未満になると、燃料電池システム10の暖機運転状態を、凍結対策運転から通常の暖機促進運転に移行する。そして燃料電池の温度が発電に適した温度に達した場合には暖機を終了する。
- [0129] 図6は、凍結対策運転による燃料電池システムの状態変化の一例を示す図である。図6（a）は、燃料電池スタック1の保水量の変化を示す図である。図6（b）は、スタック入口温度の変化を示す図である。図6（c）は、燃料電池スタック1から補機への供給電力に対するヒーター46への供給電力の割合の変化を示す図である。図6（d）は、スタック供給空気量の変化を示す図である。図6（e）は、スタック入口空気圧力の変化を示す図である。
- [0130] 図6（a）～図6（e）には、暖機促進運転から凍結対策運転へ移行した

ときの変化が実線で示され、暖機促進運転のみで起動したときの変化が点線で示されている。また、横軸が時間であり、縦軸が燃料電池保水量 W 、スタック入口温度、ヒータ電力/補機電力、スタック供給空気流量、スタック入口空気圧力である。

[0131] 図6(a)に示すように、暖機促進運転によって起動時の保水量 W_0 から、スタック入口温度（冷却水温度）が上昇するにつれて保水量が上昇する。

[0132] 暖機制御部50は、起動時の保水量 W_0 を取得するとともに、暖機促進運転によって燃料電池が零下温度 T_0 から 0°C に到達するまでに電解質膜で生成される生成水の積算量を推定し、保水量 W_0 と積算量を合計して生成水量を算出する。そして暖機制御部50は、生成水量が上限値 W_{max} を超えるか否かを判断する。

[0133] 実線で示した運転状態では、凍結対策運転時の発電電力を継続した場合に、燃料電池が 0°C に達したときの生成水量が保水量の上限値 W_{max} を超えるかを逐次判断し、保水量の上限値 W_{max} を超えると判断した時点で、暖機促進運転から凍結対策運転に切り替えている。すなわち、暖機制御部50は、燃料電池スタック1からヒーター46への供給電力を一定にした状態で、カソードコンプレッサー（補機）23への供給電力を下げた燃料電池スタック1に供給される空気流量と空気圧力を低くする。これにより、図6(c)に示すように補機に対するヒーターの電力割合は高くなる。

[0134] この結果、燃料電池スタック1の発電電流が低下し、燃料電池で生成される生成水量が減少する。一方、ヒーター46への供給電力は一定に維持しているため、ヒーター46による燃料電池スタック1への放熱量は変わらない。

[0135] したがって、生成水量の発生量を低減しつつ、燃料電池の温度上昇量の低下を最小限とすることができる。このため、図6に示すように、暖機運転中に暖機促進運転から凍結対策運転に切り替えると、単位生成水あたりの燃料電池への加熱量が大きくなるので、 0°C に達する前に生成水が電解質膜から溢れ出して凍結することを回避できる。

- [0136] なお、本実施形態では、凍結対策運転において、燃料電池スタック1から、ヒーター46への供給電力は一定に維持し、カソードコンプレッサー23への供給電力を下げること、カソードコンプレッサー23に対するヒーター46への電力割合を高くしている。しかし、ヒーター46への供給電力をさらに上がることが可能な場合には、燃料電池スタック1からカソードコンプレッサー23への供給電力を下げた分をヒーター46への電力供給に割り当てるようにしてもよい。この場合には、単位生成水あたりの燃料電池の昇温速度を速くすることができるとともに、暖機時間をより短くすることができる。
- [0137] 本実施形態によれば、生成水量演算部100は、燃料電池の湿潤度と温度と暖機時の発電電力とに基づいて、燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水量を演算する。凍結対策制御部200は、算出された生成水量が保水量閾値を超えるときには、燃料電池の暖機時においてカソードコンプレッサー23に対するヒーター46への電力割合を高くする。
- [0138] 燃料電池の暖機は、発電による自己発熱によって行われるところ、ヒーター46の場合は冷却水に供給した熱量によっても暖機される。このため、ヒーター46とカソードコンプレッサー23とで燃料電池を暖機する場合、ヒーター46の電力割合を増やした方が、発電量(≒生成水量)に対する燃料電池の温度上昇量が多くなる。
- [0139] このため、暖機時に生成水量が保水量閾値を超えて生成水が凍結する可能性があるときは、カソードコンプレッサー23に対するヒーター46の電力割合を高くすることで、生成水量が電解質膜から溢れ出す前に燃料電池の暖機(氷点以上)を完了できる。したがって、燃料電池スタック1で生成水が凍結することを防止できる。
- [0140] また、本実施形態では、暖機制御部50は、暖機促進運転において、燃料電池スタック1から、カソードコンプレッサー23に対し、発電に最低限必要な電力よりも大きな暖機電力を供給するとともに、暖機に必要な所定電力

をヒーター４６へ供給する。そして凍結対策制御部２００は、暖機電力の低減によってヒーター４６への電力割合を高くする。

[0141] このため、ヒーター４６から冷却水に供給される熱量を維持しつつ、カソードコンプレッサー２３から燃料電池スタック１への空気量を抑えて発電に伴う生成水量の増加速度を低下させることができる。したがって、生成水量の低減と暖機時間の遅れを最小限にすることができる。

[0142] また、本実施形態では、凍結対策制御部２００は、生成水量が保水量閾値を超えるとときには、カソードコンプレッサー２３への暖機電力の供給を停止し、燃料電池スタック１の発電に最低限必要な発電電流に基づく空気量でカソードコンプレッサー２３を制御する。

[0143] このように、凍結対策制御部２００は、カソードコンプレッサー２３への供給電力の下げ幅を、燃料電池スタック１の発電に最低限必要な電力値に設定する。これにより、燃料電池スタック１への空気量の供給不足が原因で、燃料電池スタック１の発電状態が不安定になることを回避できる。

[0144] また、本実施形態では、積算量推定部１４０は、燃料電池の温度と暖機時の発電電力の設定値とに基づいて、燃料電池スタック１を起動してから０℃近傍に到達するまでの発電昇温時間を算出して生成水の積算量を推定する。生成水量算出部１５０は、燃料電池の湿潤度に基づく保水量と生成水の積算量との合計を生成水量として算出する。

[0145] このように、生成水量演算部１００は、発電昇温時間に基づく生成水の積算量に加えて、燃料電池の湿潤度に基づく保水量を求めることによって、燃料電池スタック１が起動してから０℃近傍に到達するタイミングでの生成水量を精度よく推定することができる。したがって、零下で電解質膜から生成水が溢れ出すか否かを正確に判定することが可能となる。

[0146] また、本実施形態では、暖機制御部５０は、燃料電池スタック１の停止時に燃料電池の抵抗値を検出する。生成水量演算部１００は、零下起動時に停止時の抵抗値に基づいて燃料電池の湿潤度を算出する。

[0147] これにより、生成水量演算部１００は、燃料電池の凍結が原因で抵抗値が

大きくなっても、前回停止時の抵抗値を用いて湿潤度を算出するので、燃料電池の凍結による湿潤度の誤差の変動を防ぐことができる。したがって、生成水量の推定精度を高めることができる。

[0148] また、本実施形態では、発熱量演算部 123 には、燃料電池の発電電流に応じた電池電圧を示す電池特性情報が予め記憶されている。そして発熱量演算部 123 は、電池特性情報を用いて、暖機時の発電電力の設定値に基づいて電池電圧を特定し、その電池電圧と理論電圧との差分に基づいて燃料電池スタック 1 の発熱量を算出する。

[0149] これにより、発熱量演算部 123 は、暖機時の発電電力による燃料電池スタック 1 の発熱量を精度よく求めることができる。したがって、生成水量の推定精度をより高めることができる。

[0150] また、本実施形態では、生成速度算出部 130 は、暖機時の発電電力の設定値に基づいて電池特性情報により発電電流を特定し、その発電電流に変換係数を乗算して単位時間あたりの生成水量を算出する。そして積算量推定部 140 は、単位時間あたりの生成水量と発電昇温時間とに基づいて、燃料電池温度が 0℃ 近傍に到達するまでに生成される積算量を算出する。

[0151] このように生成水量演算部 100 は、燃料電池の I-V 特性から、暖機時の発電電力に対応する発電電流を求め、その発電電流によって生成水の積算量を算出する。このため、I-V 特性を考慮して発電電流が求められるので、積算量の推定精度を高めることができる。

[0152] また、本実施形態では、生成水の積算量を推定するための燃料電池の温度として、燃料電池スタック 1 に流入する冷却水の温度（スタック入口温度）が用いられる。スタック入口水温は、実際の燃料電池スタック 1 の温度よりも低いので、生成水量演算部 100 での生成水量は多めに見積もられる。このため、安全サイドで、燃料電池スタック 1 の運転状態を凍結対策運転に切り替えることができる。

[0153] 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

構成に限定する趣旨ではない。

[0154] 例えば、本実施形態では、ヒーター46への電力割合を高くするために、燃料電池スタック1への空気流量および空気圧力を、暖機要求から発電に必要な空気流量および空気圧力に同時に切替える構成としたが、切替える方法は、同時に限らず、どちらかを先行して切替えるようにしてもよいし、暖機要求から発電要求の間で可変にしてもよい。このようにして、スタック入口冷却水温度が氷点に到達したときに燃料電池保水量が W_{max} になるように制御することで、暖機時間が最小時間になるようにすることができる。

[0155] また、本実施形態では冷却水の入口温度が 0°C であるかに基づいて、冷却水の入口温度が氷点温度であるか否かを判断したが、氷点温度は 0°C に限定されるものではなく、本発明の効果を得られるならば、 0°C 以外であってもよい。

[0156] なお、上記実施形態は、適宜組み合わせ可能である。

[0157] 本願は、2013年1月9日に日本国特許庁に出願された特願2013-002134に基づく優先権を主張し、この出願の全ての内容は参照により本明細書に組み込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 燃料電池に電氣的に接続されて前記燃料電池の電力で駆動される補機と、当該燃料電池に電氣的に接続されて、当該燃料電池に供給される冷却水を加熱するヒーターと、を有する燃料電池システムであって、
- 前記燃料電池の零下起動時に前記補機と前記ヒーターへの電力供給によって燃料電池自身を暖機する暖機制御部を備え、
- 前記暖機制御部は、
- 前記燃料電池の湿潤度と温度と暖機時の発電電力とに基づいて、当該燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水量を演算する水量演算部と、
- 前記演算された生成水量が閾値を超えると判断したとき、前記暖機時における前記補機に対する前記ヒーターへの電力割合を高くする凍結対策制御部と、
- を含む燃料電池システム。
- [請求項2] 請求項1に記載の燃料電池システムであって、
- 前記凍結対策制御部は、前記零下起動時の補機への電力を低減することで前記零下起動時の前記ヒーターへの電力割合を高くする、
- 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、
- 前記補機は、コンプレッサーであり、
- 前記凍結対策制御部は、前記生成水量が閾値を超えると判断したとき、燃料電池の発電に必要な発電電流に基づく空気量で前記コンプレッサーを制御することで、前記零下起動時の前記ヒーターへの電力割合を高くする、
- 燃料電池システム。
- [請求項4] 請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の燃料電池システムであって、

前記水量演算部は、

前記燃料電池の温度と暖機時の発電電力に基づいて、零下起動時の前記燃料電池が起動してから0℃近傍に到達するまでの発電昇温時間を算出して生成水の積算量を推定する積算量推定部と、

前記燃料電池の湿潤度に基づく保水量と前記生成水の積算量との合計を前記生成水量として算出する生成水量算出部と、を含む、
燃料電池システム。

[請求項5] 請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載の燃料電池システムであって、

前記暖機制御部は、前記燃料電池の停止時に前記燃料電池の抵抗値を検出し、

前記水量演算部は、零下起動時に前記停止時の抵抗値に基づいて前記燃料電池の湿潤度を算出する、
燃料電池システム。

[請求項6] 請求項4又は請求項5に記載の燃料電池システムであって、

前記水量演算部は、

前記燃料電池の発電電流に応じた電池電圧を示す電池特性情報を用いて、前記暖機時の発電電力に基づいて電池電圧を特定し、当該電池電圧と理論電圧との差分に基づいて前記燃料電池の発熱量を演算する発熱量演算部と、

前記燃料電池の温度と熱容量とに基づいて、前記燃料電池の温度が0℃近傍に到達するまでに必要な発熱量を算出する目標発熱量算出部と、

前記必要な発熱量から前記燃料電池の発熱量を除算して前記発電昇温時間を算出する昇温時間算出部と、を含む、
燃料電池システム。

[請求項7] 請求項5又は請求項6に記載の燃料電池システムであって、

前記水量演算部は、

前記暖機時の発電電力に基づいて電池特性情報により発電電流を特定し、当該発電電流に応じて単位時間あたりの生成水量を算出する生成速度算出部と、

前記算出された単位時間あたりの生成水量と発電昇温時間とに基づいて、前記燃料電池の温度が0℃近傍に到達するまでに生成される前記積算量を算出する積算量算出部と、を含む、
燃料電池システム。

[請求項8] 請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の燃料電池システムであって、

前記燃料電池の温度は、前記燃料電池に流入する冷却水の入口温度である、
燃料電池システム。

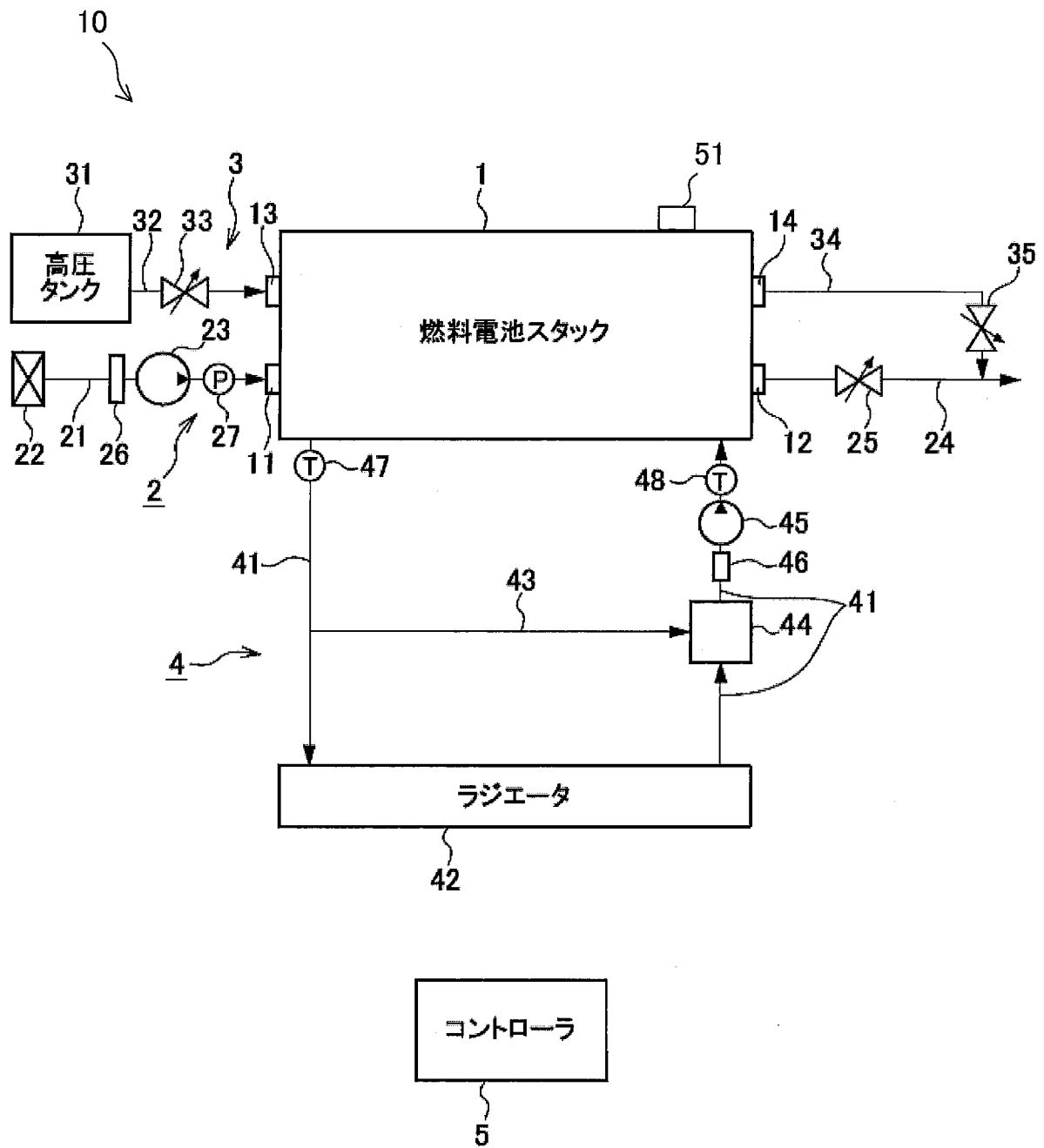
[請求項9] 燃料電池に電氣的に接続されて前記燃料電池の電力で駆動される補機と、当該燃料電池に電氣的に接続されて、当該燃料電池に供給される冷却水を加熱するヒーターと、を有する燃料電池システムの制御方法であって、

前記燃料電池の零下起動時に前記補機と前記ヒーターへの電力供給によって燃料電池自身を暖機する暖機制御ステップでは、

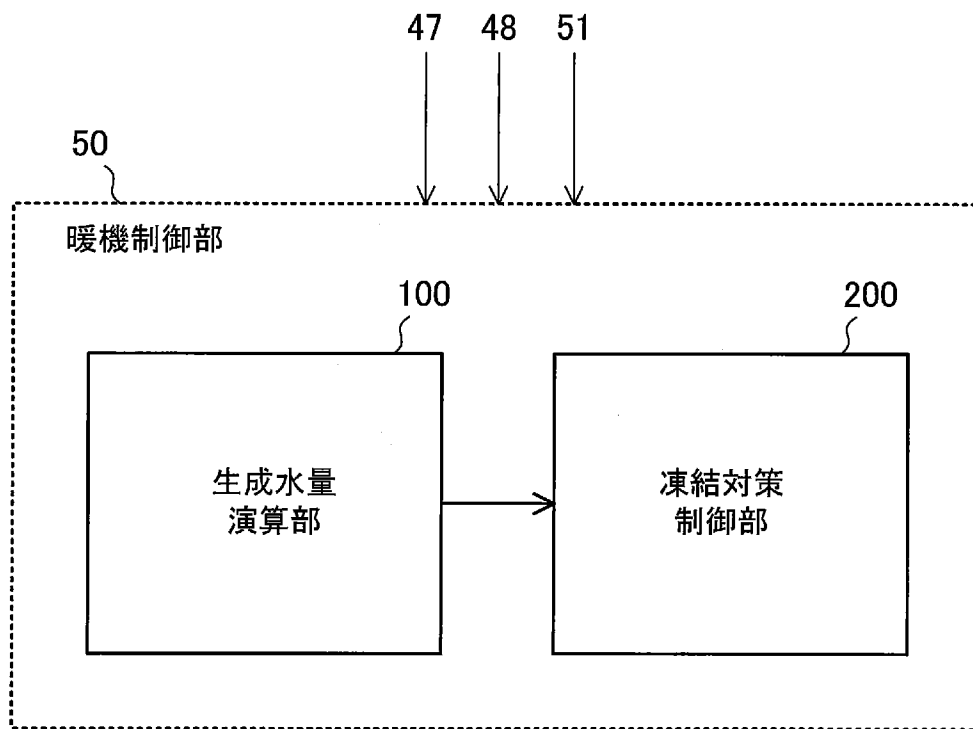
前記燃料電池の湿潤度と温度と暖機時の発電電力とに基づいて、当該燃料電池の温度が氷点温度まで上昇する間に電解質膜で生成される生成水量を演算する水量演算ステップと、

前記暖機時に前記演算された生成水量が閾値を超えると判断したときは、前記補機に対する前記ヒーターへの電力割合を高くする凍結対策制御ステップと、を含む、
燃料電池システムの制御方法。

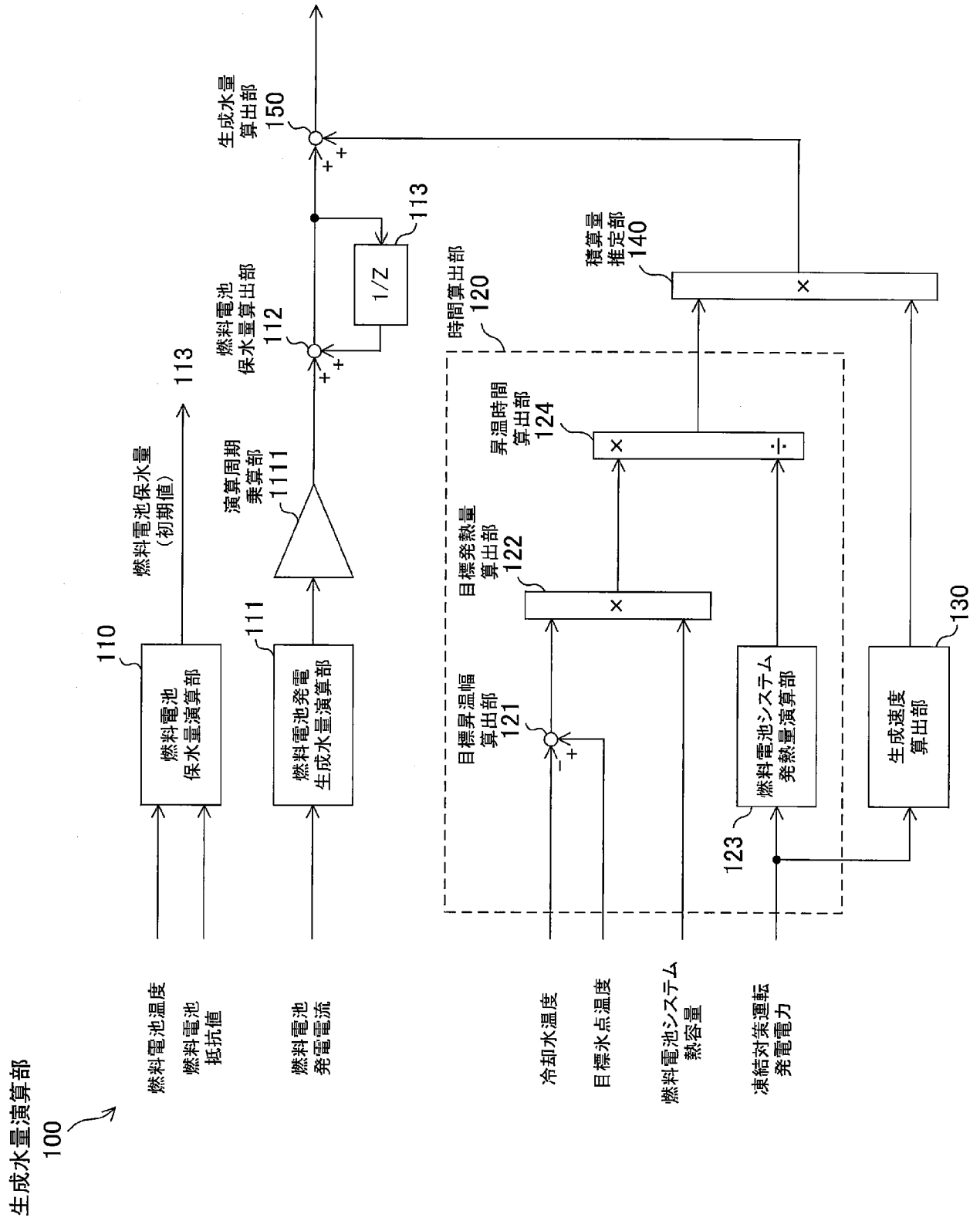
[図1]



[図2]

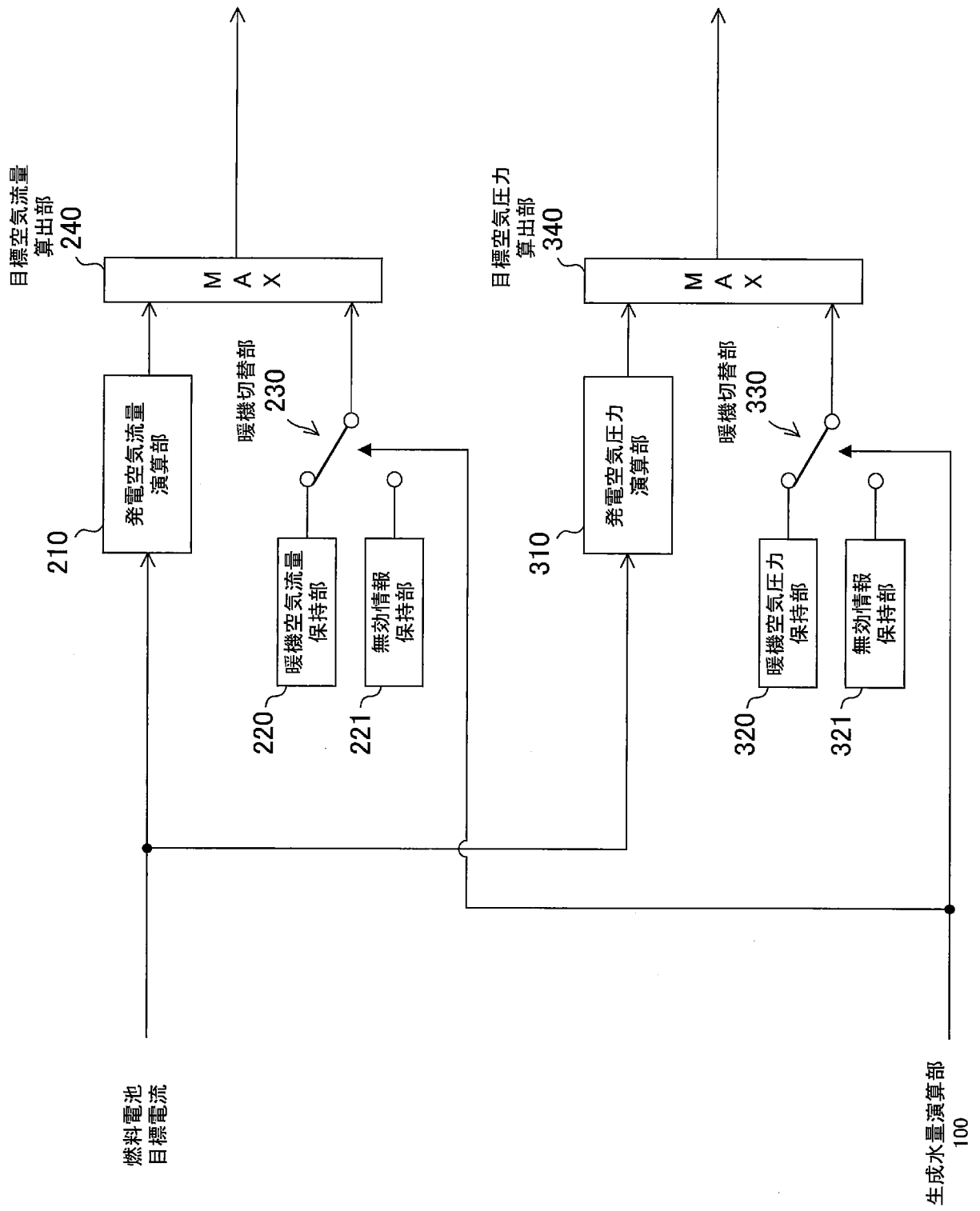


[図3]

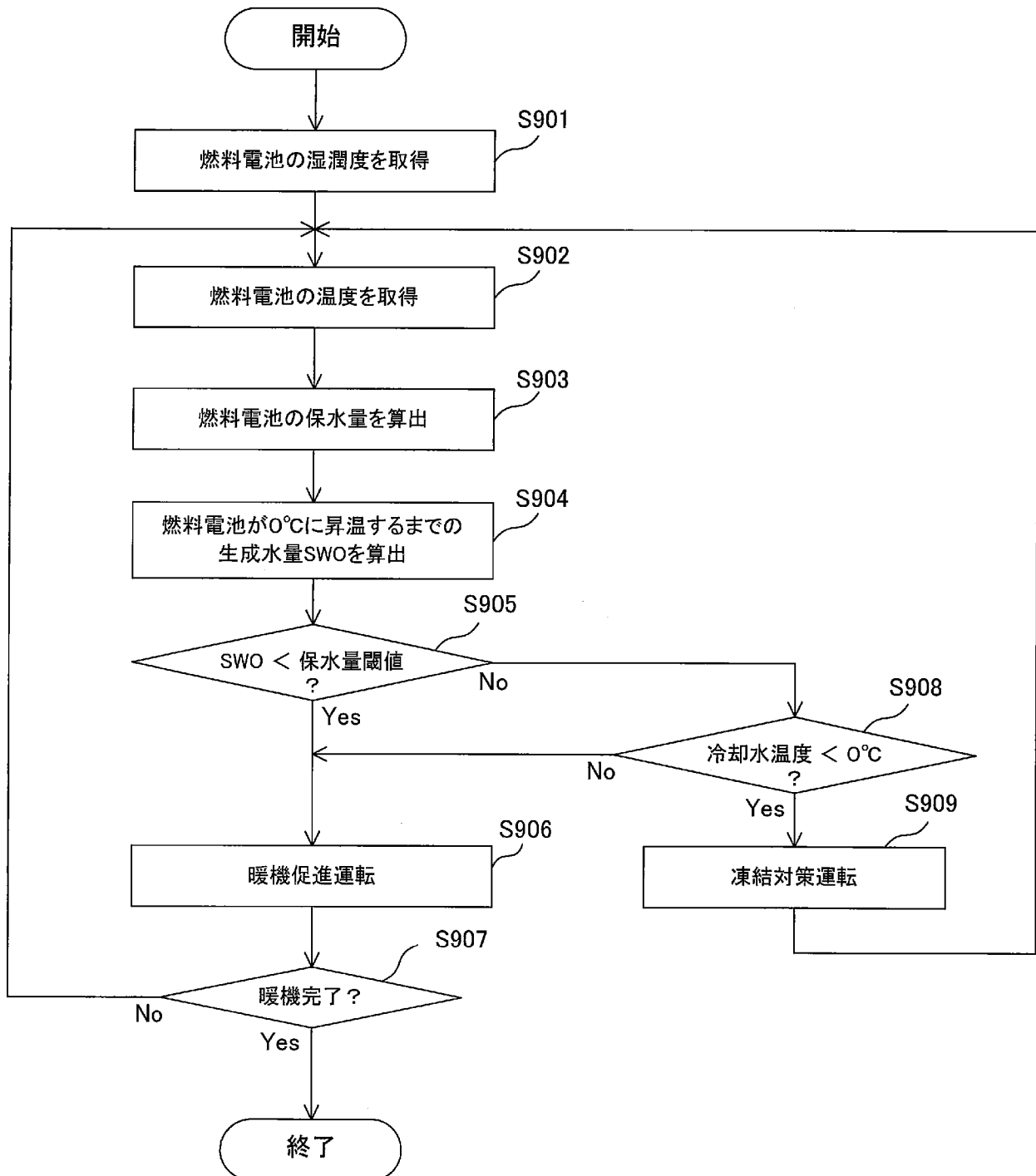


[図4]

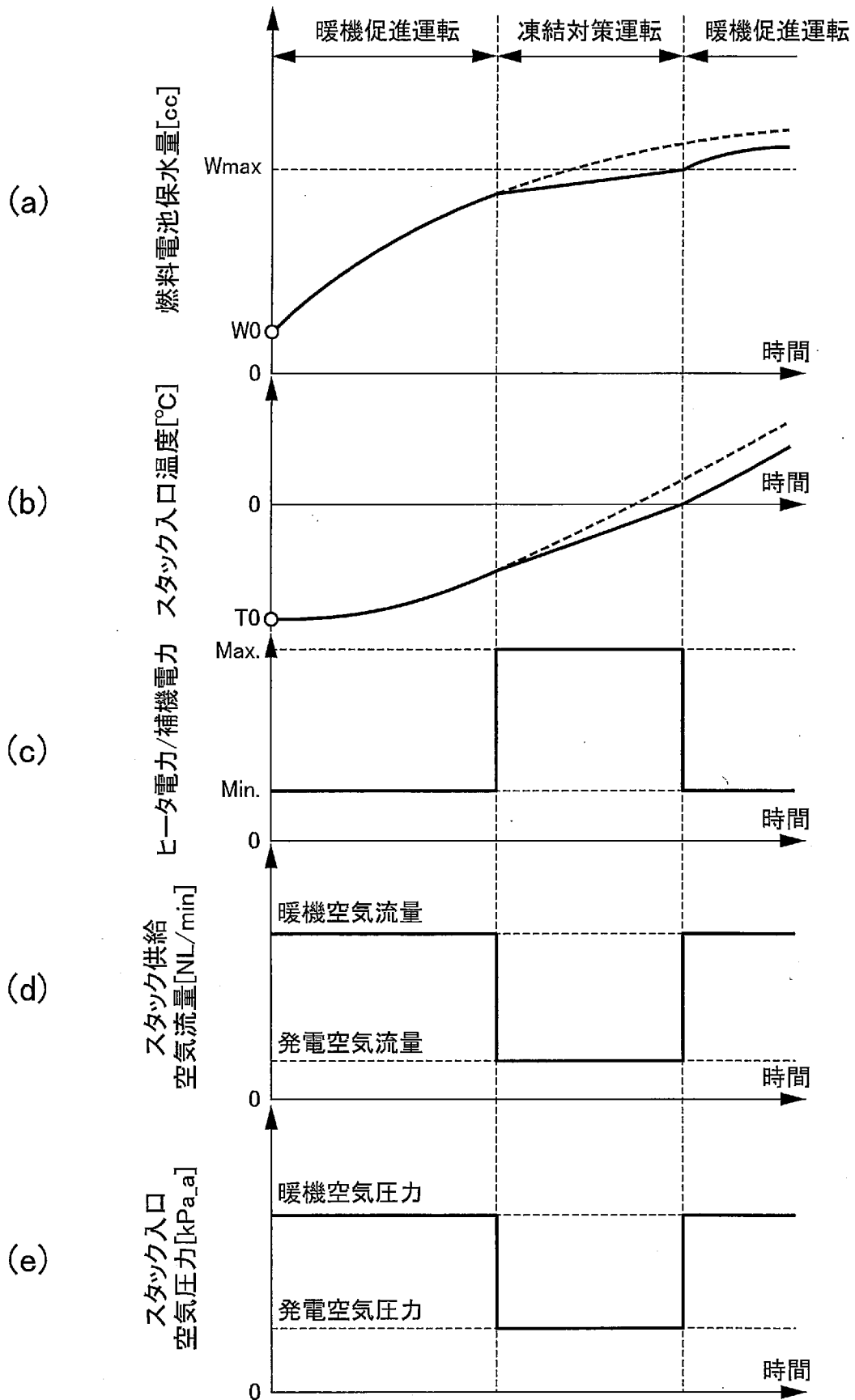
凍結対策制御部
200



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/084807

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01M8/04(2006.01)i, H01M8/10(2006.01)n

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)
H01M8/04, H01M8/10

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	JP 2009-123613 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0032], [0034] (Family: none)	1-9
A	JP 2006-351280 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 28 December 2006 (28.12.2006), paragraphs [0024] to [0026] (Family: none)	1-9
A	JP 2004-192973 A (Sony Corp.), 08 July 2004 (08.07.2004), paragraphs [0046] to [0061] (Family: none)	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 03 February, 2014 (03.02.14)	Date of mailing of the international search report 10 February, 2014 (10.02.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084807

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-283244 A (Toyota Motor Corp.), 03 December 2009 (03.12.2009), paragraphs [0026] to [0029] (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01M8/04(2006.01)i, H01M8/10(2006.01)n										
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. H01M8/04, H01M8/10										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2014年									
日本国実用新案登録公報	1996-2014年									
日本国登録実用新案公報	1994-2014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								
A	JP 2009-123613 A (日産自動車株式会社) 2009.06.04, 段落 0032, 0034 (ファミリーなし)	1-9								
A	JP 2006-351280 A (日産自動車株式会社) 2006.12.28, 段落 0024-0026 (ファミリーなし)	1-9								
<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 03.02.2014	国際調査報告の発送日 10.02.2014									
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) 前原 義明 電話番号 03-3581-1101 内線 3316	3H 4851								

C (続き) . 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
A	JP 2004-192973 A (ソニー株式会社) 2004.07.08, 段落 0046-0061 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2009-283244 A (トヨタ自動車株式会社) 2009.12.03, 段落 0026-0029 (ファミリーなし)	1-9