

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5736282号  
(P5736282)

(45) 発行日 平成27年6月17日 (2015. 6. 17)

(24) 登録日 平成27年4月24日 (2015. 4. 24)

(51) Int. Cl.

F 1

HO 1 M 8/04 (2006. 01)

HO 1 M 8/04 X

HO 1 M 8/00 (2006. 01)

HO 1 M 8/00 Z

B 6 O L 11/18 (2006. 01)

HO 1 M 8/04 Z

HO 1 M 8/10 (2006. 01)

B 6 O L 11/18 G

HO 1 M 8/10

請求項の数 2 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2011-196604 (P2011-196604)  
 (22) 出願日 平成23年9月9日 (2011. 9. 9)  
 (65) 公開番号 特開2013-58416 (P2013-58416A)  
 (43) 公開日 平成25年3月28日 (2013. 3. 28)  
 審査請求日 平成25年11月28日 (2013. 11. 28)

(73) 特許権者 000005326  
 本田技研工業株式会社  
 東京都港区南青山二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100077665  
 弁理士 千葉 剛宏  
 (74) 代理人 100116676  
 弁理士 宮寺 利幸  
 (74) 代理人 100149261  
 弁理士 大内 秀治  
 (74) 代理人 100136548  
 弁理士 仲宗根 康晴  
 (74) 代理人 100136641  
 弁理士 坂井 志郎  
 (74) 代理人 100169225  
 弁理士 山野 明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池車両

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

燃料電池の起動時に前記燃料電池の放熱量を段階的に切り替える段階的暖機制御を行う燃料電池車両であって、

前記段階的暖機制御では、

前記燃料電池の温度に応じて判定される前記燃料電池の発電可能電圧が、補機の最低駆動電圧である補機作動最低電圧以上になると、又は前記燃料電池の温度が、前記補機作動最低電圧に対応する第1温度以上になると、前記燃料電池の出力電圧を前記補機作動最低電圧に設定して前記補機の作動を許可し、

その後、前記発電可能電圧が、前記補機作動最低電圧より高く且つ駆動力発生源の最低作動電圧である駆動力発生最低電圧以上になると、又は前記燃料電池の温度が、前記駆動力発生最低電圧に対応する第2温度以上になると、前記燃料電池の出力電圧を前記駆動力発生最低電圧に設定して前記駆動力発生源の作動を許可し、

前記発電可能電圧が、前記補機作動最低電圧から前記駆動力発生最低電圧になるまで、又は前記燃料電池の温度が、前記第1温度から前記第2温度になるまで、前記燃料電池の出力電圧を前記補機作動最低電圧に固定し続ける

ことを特徴とする燃料電池車両。

【請求項 2】

請求項1記載の燃料電池車両において、

前記段階的暖機制御中は、前記燃料電池の要求電力に追従するように反応ガス流量を変

10

20

化させる

ことを特徴とする燃料電池車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、燃料電池の暖機を行う燃料電池車両に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池の暖機を行う燃料電池システムが提案されている（特許文献1）。特許文献1では、負荷動力源（走行モータ等）の駆動と、低効率運転による暖機との両方を実現させることができる燃料電池システムの提供を目的としている（2頁1～3行目）。この目的を達成するため、特許文献1の燃料電池システムは、発電を行う燃料電池と、前記燃料電池の低効率運転を実現させながら前記燃料電池からの出力電力を所定の負荷動力源（走行モータ等）に供給して、前記負荷動力源を駆動制御する制御手段を備える。前記制御手段は、低効率運転時における燃料電池の出力電圧を、負荷動力源の最低駆動電圧以上に設定する（要約、2頁4～9行目）。これにより、燃料電池の出力電圧を所定の負荷動力源の最低駆動電圧以上に設定した状態で、燃料電池の低効率運転を実現させ、負荷動力源の駆動と、低効率運転による暖機の双方を実現することを企図している（2頁15～18行目）。

10

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2008/047603号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記のように、特許文献1では、低効率運転時における燃料電池の出力電圧を、負荷動力源の最低駆動電圧以上に設定することで、負荷動力源の駆動と低効率運転による暖機の双方を行うことを図っている。

【0005】

30

特許文献1の制御では、燃料電池の出力可能電圧が、負荷動力源の最低駆動電圧以上になることを要し、それまでは、燃料電池の出力電圧を、負荷動力源の最低駆動電圧以上に設定することができない。このため、燃料電池の暖機にかかる時間が比較的長くなるという問題があった。

【0006】

この発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、低温時における燃料電池の起動時間を短縮することが可能な燃料電池車両を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係る燃料電池車両は、燃料電池の起動時に前記燃料電池の放熱量を段階的に切り替える段階的暖機制御を行うものであって、前記段階的暖機制御では、前記燃料電池の温度に応じて判定される前記燃料電池の発電可能電圧が、補機の最低駆動電圧である補機作動最低電圧以上になると、又は前記燃料電池の温度が、前記補機作動最低電圧に対応する第1温度以上になると、前記燃料電池の出力電圧を前記補機作動最低電圧に設定して前記補機の作動を許可し、その後、前記発電可能電圧が、前記補機作動最低電圧より高く且つ駆動力発生源の最低作動電圧である駆動力発生最低電圧以上になると、又は前記燃料電池の温度が、前記駆動力発生最低電圧に対応する第2温度以上になると、前記燃料電池の出力電圧を前記駆動力発生最低電圧に設定して前記駆動力発生源の作動を許可することを特徴とする。

40

【0008】

50

この発明によれば、低温時における燃料電池の起動時間を短縮することが可能となる。すなわち、この発明によれば、燃料電池の発電可能電圧が補機作動最低電圧以上になると、又は燃料電池の温度が、補機作動最低電圧に対応する第1温度以上になると、燃料電池の出力電圧を補機作動最低電圧に設定して補機の作動を許可する。このため、補機の作動を許可しつつ、出力電圧を補機作動最低電圧にした状態で燃料電池を暖機することができる。また、燃料電池の発電可能電圧が、補機作動最低電圧より高い駆動力発生最低電圧以上になると、又は燃料電池の温度が、駆動力発生最低電圧に対応する第2温度以上になると、燃料電池の出力電圧を駆動力発生最低電圧に設定して駆動力発生源の作動を許可する。このため、駆動力発生源の作動を許可しつつ、出力電圧を駆動力発生最低電圧にした状態で燃料電池を暖機することができる。従って、燃料電池の出力可能電圧が駆動力発生最低電圧以上になる前であっても、出力可能電圧が補機作動最低電圧以上になれば、燃料電池の暖機を行うことができる。よって、より早い段階で燃料電池の暖機を開始し、燃料電池の起動時間を短縮することが可能となる。また、一般に、燃料電池の出力電圧が低いほど、燃料電池の放熱量は多くなる。従って、駆動力発生最低電圧よりも低い補機作動最低電圧で暖機をすることにより、燃料電池の放熱量を増加させることが可能となり、この点からも燃料電池の起動時間を短縮することが可能となる。

10

#### 【0009】

前記段階的暖機制御では、前記発電可能電圧が、前記補機作動最低電圧から前記駆動力発生最低電圧になるまで、又は前記燃料電池の温度が、前記第1温度から前記第2温度になるまで、前記燃料電池の出力電圧を前記補機作動最低電圧に固定し続けてもよい。

20

前記段階的暖機制御中は、前記燃料電池の要求電力に追従するように反応ガス流量を変化させてもよい。これにより、燃料電池の出力電圧を補機作動最低電圧又は駆動力発生最低電圧に維持した状態で、燃料電池の出力を要求電力に追従することが可能となる。このため、補機又は駆動力発生源に十分な電力を供給することが可能となり、補機又は駆動力発生源を良好に作動させることができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

この発明によれば、低温時における燃料電池の起動時間を短縮することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0011】

30

【図1】この発明の一実施形態に係る燃料電池車両の概略全体構成図である。

【図2】前記燃料電池車両の電力系のブロック図である。

【図3】前記実施形態における燃料電池ユニットの概略構成図である。

【図4】前記実施形態におけるDC/DCコンバータの詳細を示す図である。

【図5】電子制御装置(ECU)における基本的な制御のフローチャートである。

【図6】システム負荷を計算するフローチャートである。

【図7】現在のモータ回転数とモータ予想消費電力との関係を示す図である。

【図8】燃料電池を構成する燃料電池セルの電位とセルの劣化量との関係の一例を示す図である。

【図9】燃料電池セルの電位の変動速度が異なる場合の酸化の進行と還元の進行の様子の例を示すサイクリックボルタンメトリ図である。

40

【図10】前記実施形態における複数の電力供給モードの説明図である。

【図11】前記ECUが、前記燃料電池車両のエネルギーマネジメントを行う第1フローチャートである。

【図12】前記ECUが、前記燃料電池車両のエネルギーマネジメントを行う第2フローチャートである。

【図13】図11及び図12のフローチャートで用いる補機作動可能最低電圧、モータ駆動可能最低電圧及びモータ性能保証最低電圧の説明図である。

【図14】カソードストイキ比とセル電流との関係を示す図である。

【図15】セル電圧と燃料電池の放熱量との関係を示す図である。

50

【図 16】第 1 ～ 第 6 暖機モードのフローチャートである。

【図 17】第 1 ～ 第 6 暖機モードにおける目標 F C 電流と目標酸素濃度との関係を示す図である。

【図 18】第 1 ～ 第 6 暖機モードにおける目標酸素濃度及び目標 F C 電流と目標エアポンプ回転数及び目標ウォータポンプ回転数との関係を示す図である。

【図 19】第 1 ～ 第 6 暖機モードにおける目標酸素濃度及び目標 F C 電流と目標背圧弁開度との関係を示す図である。

【図 20】第 1 ～ 第 6 暖機モードにおける目標 F C 電流と空気流量との関係を示す図である。

【図 21】第 1 ～ 第 6 暖機モードにおける循環弁の開度と循環ガス流量との関係を示す図である。 10

【図 22】モータのトルク制御のフローチャートである。

【図 23】前記実施形態に係る各種制御を用いた場合のタイムチャートの例である。

【図 24】前記実施形態に係る燃料電池車両の第 1 変形例の概略構成を示すブロック図である。

【図 25】前記実施形態に係る燃料電池車両の第 2 変形例の概略構成を示すブロック図である。

【図 26】前記実施形態に係る燃料電池車両の第 3 変形例の概略構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】 20

【0012】

1. 全体的な構成の説明

[1-1. 全体構成]

図 1 は、この発明の一実施形態に係る燃料電池車両 10（以下「F C 車両 10」又は「車両 10」という。）の概略全体構成図である。図 2 は、F C 車両 10 の電力系のブロック図である。図 1 及び図 2 に示すように、F C 車両 10 は、燃料電池システム 12（以下「F C システム 12」という。）と、走行モータ 14（以下「モータ 14」という。）と、インバータ 16 とを有する。

【0013】

F C システム 12 は、燃料電池ユニット 18（以下「F C ユニット 18」という。）と 30、高電圧バッテリー 20（以下「バッテリー 20」ともいう。）（蓄電装置）と、D C / D C コンバータ 22 と、電子制御装置 24（以下「E C U 24」という。）とを有する。

【0014】

[1-2. 駆動系]

モータ 14 は、F C ユニット 18 及びバッテリー 20 から供給される電力に基づいて駆動力を生成し、当該駆動力によりトランスミッション 26 を通じて車輪 28 を回転させる。また、モータ 14 は、回生を行うことで生成した電力（回生電力 P r e g）[W] をバッテリー 20 等に出力する（図 2 参照）。

【0015】

インバータ 16 は、3 相ブリッジ型の構成とされて、直流 / 交流変換を行い、直流を 3 40 相の交流に変換してモータ 14 に供給する一方、回生動作に伴う交流 / 直流変換後の直流を D C / D C コンバータ 22 を通じてバッテリー 20 等に供給する。

【0016】

なお、モータ 14 とインバータ 16 を併せて負荷 30 という。負荷 30 には、後述するエアポンプ 60、ウォータポンプ 80、エアコンディショナ 90 等の構成要素を含めることもできる。

【0017】

[1-3. F C 系]

(1-3-1. 全体構成)

図 3 は、F C ユニット 18 の概略構成図である。F C ユニット 18 は、燃料電池スタッ 50

ク４０（以下「ＦＣスタック４０」又は「ＦＣ４０」という。）と、ＦＣスタック４０のアノードに対して水素（燃料ガス）を給排するアノード系と、ＦＣスタック４０のカソードに対して酸素を含む空気（酸化剤ガス）を給排するカソード系と、ＦＣスタック４０を冷却する冷却系と、セル電圧モニタ４２とを備える。

【００１８】

（１－３－２．ＦＣスタック４０）

ＦＣスタック４０は、例えば、固体高分子電解質膜をアノード電極とカソード電極とで両側から挟み込んで形成された燃料電池セル（以下「ＦＣセル」という。）を積層した構造を有する。

【００１９】

（１－３－３．アノード系）

アノード系は、水素タンク４４、レギュレータ４６、エゼクタ４８及びパージ弁５０を有する。水素タンク４４は、燃料ガスとしての水素を収容するものであり、配管４４ａ、レギュレータ４６、配管４６ａ、エゼクタ４８及び配管４８ａを介して、アノード流路５２の入口に接続されている。これにより、水素タンク４４の水素は、配管４４ａ等を介してアノード流路５２に供給可能である。なお、配管４４ａには、遮断弁（図示せず）が設けられており、ＦＣスタック４０の発電の際、当該遮断弁は、ＥＣＵ２４により開とされる。

【００２０】

レギュレータ４６は、導入される水素の圧力を所定値に調整して排出する。すなわち、レギュレータ４６は、配管４６ｂを介して入力されるカソード側の空気の圧力（パイロット圧）に応じて、下流側の圧力（アノード側の水素の圧力）を制御する。従って、アノード側の水素の圧力は、カソード側の空気の圧力に連動し、後記するように、酸素濃度を变化させるべくエアポンプ６０の回転数等を変化させると、アノード側の水素の圧力も変化する。

【００２１】

エゼクタ４８は、水素タンク４４からの水素をノズルで噴射することで負圧を発生させ、この負圧によって配管４８ｂのアノードオフガスを吸引する。

【００２２】

アノード流路５２の出口は、配管４８ｂを介して、エゼクタ４８の吸気口に接続されている。そして、アノード流路５２から排出されたアノードオフガスは、配管４８ｂを通過して、エゼクタ４８に再度導入されることでアノードオフガス（水素）が循環する。

【００２３】

なお、アノードオフガスは、アノードにおける電極反応で消費されなかった水素及び水蒸気を含んでいる。また、配管４８ｂには、アノードオフガスに含まれる水分（凝縮水（液体）、水蒸気（気体））を分離・回収する気液分離器（図示せず）が設けられている。

【００２４】

配管４８ｂの一部は、配管５０ａ、パージ弁５０及び配管５０ｂを介して、後記する配管６４ｂに設けられた希釈ボックス５４に接続されている。パージ弁５０は、ＦＣスタック４０の発電が安定していないと判定された場合、ＥＣＵ２４からの指令に基づき所定時間、開となる。希釈ボックス５４は、パージ弁５０からのアノードオフガス中の水素を、カソードオフガスで希釈する。

【００２５】

（１－３－４．カソード系）

カソード系は、エアポンプ６０、加湿器６２、背圧弁６４、循環弁６６、流量センサ６８、７０及び温度センサ７２を有する。

【００２６】

エアポンプ６０は、外気（空気）を圧縮してカソード側に送り込むものであり、その吸気口は、配管６０ａを介して車外（外部）と連通している。エアポンプ６０の吐出口は、配管６０ｂ、加湿器６２及び配管６２ａを介して、カソード流路７４の入口に接続されて

10

20

30

40

50

いる。エアポンプ 60 が ECU 24 の指令に従って作動すると、エアポンプ 60 は、配管 60 a を介して車外の空気を吸気して圧縮し、この圧縮された空気が配管 60 b 等を通してカソード流路 74 に圧送される。

【0027】

加湿器 62 は、水分透過性を有する複数の中空系膜 62 e を備えている。そして、加湿器 62 は、中空系膜 62 e を介して、カソード流路 74 に向かう空気とカソード流路 74 から排出された多湿のカソードオフガスとの間で水分交換させ、カソード流路 74 に向かう空気を加湿する。

【0028】

カソード流路 74 の出口側には、配管 62 b、加湿器 62、配管 64 a、背圧弁 64 及び配管 64 b が配置されている。カソード流路 74 から排出されたカソードオフガス（酸化剤オフガス）は、配管 62 b 等を通して、車外に排出される。

【0029】

背圧弁 64 は、例えば、バタフライ弁で構成され、その開度が ECU 24 によって制御されることで、カソード流路 74 における空気の圧力を制御する。より具体的には、背圧弁 64 の開度が小さくなると、カソード流路 74 における空気の圧力が上昇し、体積流量当たりにおける酸素濃度（体積濃度）が高くなる。逆に、背圧弁 64 の開度が大きくなると、カソード流路 74 における空気の圧力が下降し、体積流量当たりにおける酸素濃度（体積濃度）が低くなる。

【0030】

配管 64 b は、配管 66 a、循環弁 66 及び配管 66 b を介して、エアポンプ 60 の上流側の配管 60 a に接続されている。これにより、排気ガス（カソードオフガス）の一部が、循環ガスとして、配管 66 a、循環弁 66 及び配管 66 b を通って、配管 60 a に供給され、車外からの新規空気に合流し、エアポンプ 60 に吸気される。

【0031】

循環弁 66 は、例えば、バタフライ弁で構成され、その開度が ECU 24 によって制御されることで循環ガスの流量を制御する。

【0032】

流量センサ 68 は、配管 60 b に取り付けられ、カソード流路 74 に向かう空気の流量  $[g/s]$  を検出して ECU 24 に出力する。流量センサ 70 は、配管 66 b に取り付けられ、配管 60 a に向かう循環ガスの流量  $Q_c [g/s]$  を検出して ECU 24 に出力する。

【0033】

温度センサ 72 は、配管 64 a に取り付けられ、カソードオフガスの温度を検出して ECU 24 に出力する。ここで、循環ガスの温度は、カソードオフガスの温度と略等しいため、温度センサ 72 の検出するカソードオフガスの温度に基づいて、循環ガスの温度を検知することができる。

【0034】

（1-3-5. 冷却系）

冷却系は、ウォーターポンプ 80、ラジエータ 82、ラジエータファン 84 及び温度センサ 86 等を有する。ウォーターポンプ 80 は、FC 40 内に冷却水（冷媒）を循環させることで FC 40 を冷却する。FC 40 を冷却して温度が上昇した冷却水は、ラジエータファン 84 による送風を受けるラジエータ 82 で放熱される。温度センサ 86 は、冷却水の温度（以下「水温  $T_w$ 」という。）を検出し、ECU 24 に出力する。

【0035】

（1-3-6. セル電圧モニタ 42）

セル電圧モニタ 42 は、FC スタック 40 を構成する複数の単セル毎のセル電圧  $V_{cel}$  を検出する機器であり、モニタ本体と、モニタ本体と各単セルとを接続するワイヤハーネスとを備える。モニタ本体は、所定周期で全ての単セルをスキャンし、各単セルのセル電圧  $V_{cel}$  を検出し、平均セル電圧及び最低セル電圧を算出する。そして、平

10

20

30

40

50

均セル電圧及び最低セル電圧をECU24に出力する。

【0036】

(1-3-7. 電力系)

図2に示すように、FC40からの電力(以下「FC電力 $P_{fc}$ 」という。)は、インバータ16及びモータ14(力行時)とDC/DCコンバータ22及び高電圧バッテリー20(充電時)に加え、前記エアポンプ60、前記ウォーターポンプ80、前記エアコンディショナ90、ダウンバータ92(降圧型DC-DCコンバータ)、低電圧バッテリー94、アクセサリ96、ECU24及びラジエータファン84に供給される。なお、図1に示すように、FCユニット18(FC40)とインバータ16及びDC/DCコンバータ22との間には、逆流防止ダイオード98が配置されている。また、FC40の発電電圧(以下「FC電圧 $V_{fc}$ 」という。)は、電圧センサ100(図4)により検出され、FC40の発電電流(以下「FC電流 $I_{fc}$ 」という。)は、電流センサ102により検出され、いずれもECU24に出力される。

10

【0037】

[1-4. 高電圧バッテリー20]

バッテリー20は、複数のバッテリーセルを含む蓄電装置(エネルギーストレージ)であり、例えば、リチウムイオン2次電池、ニッケル水素2次電池又はキャパシタ等を利用することができる。本実施形態ではリチウムイオン2次電池を利用している。バッテリー20の出力電圧(以下「バッテリー電圧 $V_{bat}$ 」という。)[V]は、電圧センサ104(図2)により検出され、バッテリー20の出力電流(以下「バッテリー電流 $I_{bat}$ 」という。)[A]は、電流センサ106により検出され、それぞれECU24に出力される。ECU24は、バッテリー電圧 $V_{bat}$ とバッテリー電流 $I_{bat}$ とに基づいて、バッテリー20の残容量(以下「SOC」という。)[%]を算出する。

20

【0038】

[1-5. DC/DCコンバータ22]

DC/DCコンバータ22は、FCユニット18からのFC電力 $P_{fc}$ と、バッテリー20から供給された電力(以下「バッテリー電力 $P_{bat}$ 」という。)[W]と、モータ14からの回生電力 $P_{reg}$ との供給先を制御する。

【0039】

図4には、本実施形態におけるDC/DCコンバータ22の詳細が示されている。図4に示すように、DC/DCコンバータ22は、一方がバッテリー20のある1次側1Sに接続され、他方が負荷30とFC40との接続点である2次側2Sに接続されている。

30

【0040】

DC/DCコンバータ22は、1次側1Sの電圧(1次電圧 $V_1$ )[V]を2次側2Sの電圧(2次電圧 $V_2$ )[V]( $V_1 > V_2$ )に昇圧するとともに、2次電圧 $V_2$ を1次電圧 $V_1$ に降圧する昇降圧型且つチョッパ型の電圧変換装置である。

【0041】

図4に示すように、DC/DCコンバータ22は、1次側1Sと2次側2Sとの間に配される相アームUAと、リアクトル110とから構成される。

【0042】

相アームUAは、上アーム素子(上アームスイッチング素子112と逆並列ダイオード114)と下アーム素子(下アームスイッチング素子116と逆並列ダイオード118)とで構成される。上アームスイッチング素子112と下アームスイッチング素子116には、それぞれ例えば、MOSFET又はIGBT等が採用される。

40

【0043】

リアクトル110は、相アームUAの midpoint (共通接続点)とバッテリー20の正極との間に挿入され、DC/DCコンバータ22により1次電圧 $V_1$ と2次電圧 $V_2$ との間で電圧を変換する際に、エネルギーを蓄積及び放出する作用を有する。

【0044】

上アームスイッチング素子112は、ECU24から出力されるゲート駆動信号(駆動

50

電圧) U<sub>H</sub>のハイレベルによりオンにされ、下アームスイッチング素子 116 は、ゲートの駆動信号(駆動電圧) U<sub>L</sub>のハイレベルによりオンにされる。

【0045】

なお、ECU24は、1次側の平滑コンデンサ122に並列に設けられた電圧センサ120により1次電圧V<sub>1</sub>を検出し、電流センサ124により1次側の電流(1次電流I<sub>1</sub>) [A]を検出する。また、ECU24は、2次側の平滑コンデンサ128に並列に設けられた電圧センサ126により2次電圧V<sub>2</sub>を検出し、電流センサ130により2次側の電流(2次電流I<sub>2</sub>) [A]を検出する。

【0046】

[1-6. ECU24]

ECU24は、通信線140(図1等)を介して、モータ14、インバータ16、FCユニット18、バッテリー20及びDC/DCコンバータ22を制御する。当該制御に際しては、メモリ(ROM)に格納されたプログラムを実行し、また、セル電圧モニタ42、流量センサ68、70、温度センサ72、86、電圧センサ100、104、120、126、電流センサ102、106、124、130等の各種センサの検出値を用いる。

【0047】

ここでの各種センサには、上記センサに加え、開度センサ150及びモータ回転数センサ152(図1)が含まれる。開度センサ150は、アクセルペダル154の開度 p[度]を検出する。回転数センサ152は、モータ14の回転数(以下「モータ回転数N<sub>m</sub>」又は「回転数N<sub>m</sub>」という。)[rpm]を検出する。ECU24は、回転数N<sub>m</sub>を用いてFC車両10の車速V[km/h]を検出する。さらに、ECU24には、メインスイッチ156(以下「メインSW156」という。)が接続される。メインSW156は、FCユニット18及びバッテリー20からモータ14への電力供給の可否を切り替えるものであり、ユーザにより操作可能である。

【0048】

ECU24は、マイクロコンピュータを含み、必要に応じて、タイマ、A/D変換器、D/A変換器等の入出力インタフェースを有する。なお、ECU24は、1つのECUのみからなるのではなく、モータ14、FCユニット18、バッテリー20及びDC/DCコンバータ22毎の複数のECUから構成することもできる。

【0049】

ECU24は、FCスタック40の状態、バッテリー20の状態及びモータ14の状態の他、各種スイッチ及び各種センサからの入力(負荷要求)に基づき決定したFC車両10全体としてFCシステム12に要求される負荷から、FCスタック40が負担すべき負荷と、バッテリー20が負担すべき負荷と、回生電源(モータ14)が負担すべき負荷の配分(分担)を調停しながら決定し、モータ14、インバータ16、FCユニット18、バッテリー20及びDC/DCコンバータ22に指令を送出する。

【0050】

## 2. 本実施形態の制御

次に、ECU24における制御について説明する。

【0051】

[2-1. 基本制御]

図5には、ECU24における基本的な制御のフローチャートが示されている。ステップS1において、ECU24は、メインSW156がオンであるかどうかを判定する。メインSW156がオンでない場合(S1:NO)、ステップS1を繰り返す。メインSW156がオンである場合(S1:YES)、ステップS2に進む。ステップS2において、ECU24は、FCシステム12に要求される負荷(システム負荷P<sub>sys</sub>) [W]を計算する。

【0052】

ステップS3において、ECU24は、FCシステム12のエネルギー管理を行う。ここにいうエネルギー管理は、主として、FC40の発電量(FC電力P<sub>fc</sub>

10

20

30

40

50



）及びバッテリー 20 の出力（バッテリー電力  $P_{bat}$ ）を算出する処理であり、FC スタック 40 の劣化を抑制しつつ、FC システム 12 全体の出力を効率化することを企図している。

【0053】

ステップ S4 において、ECU 24 は、FC スタック 40 の周辺機器、すなわち、エアポンプ 60、背圧弁 64、循環弁 66 及びウォーターポンプ 80 の制御（FC 発電制御）を行う。ステップ S5 において、ECU 24 は、モータ 14 のトルク制御を行う。

【0054】

ステップ S6 において、ECU 24 は、メイン SW 156 がオフであるかどうかを判定する。メイン SW 156 がオフでない場合（S6：NO）、ステップ S2 に戻る。メイン SW 156 がオフである場合（S6：YES）、今回の処理を終了する。

10

【0055】

〔2-2．システム負荷  $P_{sys}$  の計算〕

図 6 には、システム負荷  $P_{sys}$  を計算するフローチャートが示されている。ステップ S11 において、ECU 24 は、開度センサ 150 からアクセルペダル 154 の開度  $p$  を読み込む。ステップ S12 において、ECU 24 は、回転数センサ 152 からモータ 14 の回転数  $N_m$  を読み込む。

【0056】

ステップ S13 において、ECU 24 は、開度  $p$  と回転数  $N_m$  に基づいてモータ 14 の予想消費電力  $P_m$  [W] を算出する。具体的には、図 7 に示すマップにおいて、開度  $p$  毎に回転数  $N_m$  と予想消費電力  $P_m$  の関係を記憶しておく。例えば、開度  $p$  が  $p_1$  であるとき、特性 160 を用いる。同様に、開度  $p$  が  $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ 、 $p_5$ 、 $p_6$  であるとき、それぞれ特性 162、164、166、168、170 を用いる。そして、開度  $p$  に基づいて回転数  $N_m$  と予想消費電力  $P_m$  との関係を示す特性を特定した上で、回転数  $N_m$  に応じた予想消費電力  $P_m$  を特定する。

20

【0057】

ステップ S14 において、ECU 24 は、各補機から現在の動作状況を読み込む。ここでの補機には、例えば、エアポンプ 60、ウォーターポンプ 80 及びエアコンディショナ 90 を含む高電圧系の補機や、低電圧バッテリー 94、アクセサリ 96、ECU 24 及びラジエータファン 84 を含む低電圧系の補機が含まれる。例えば、エアポンプ 60 及びウォーターポンプ 80 であれば、回転数  $N_{ap}$ 、 $N_{wp}$  [rpm] を読み込む。エアコンディショナ 90 であれば、その出力設定を読み込む。

30

【0058】

ステップ S15 において、ECU 24 は、各補機の現在の動作状況に応じて補機の消費電力  $P_a$  [W] を算出する。ステップ S16 において、ECU 24 は、モータ 14 の予想消費電力  $P_m$  と補機の消費電力  $P_a$  の和を FC 車両 10 全体での予想消費電力（すなわち、システム負荷  $P_{sys}$ ）として算出する。

【0059】

〔2-3．エネルギーマネジメント〕

上記のように、本実施形態におけるエネルギーマネジメントでは、FC スタック 40 の劣化を抑制しつつ、FC システム 12 全体の出力を効率化することを企図している。

40

【0060】

（2-3-1．前提事項）

図 8 は、FC スタック 40 を構成する FC セルの電位（セル電圧  $V_{cell}$ ）[V] とセルの劣化量  $D$  との関係の一例を示している。すなわち、図 8 中の曲線 180 は、セル電圧  $V_{cell}$  と劣化量  $D$  との関係を示す。

【0061】

図 8 において、電位  $v_1$ （例えば、0.5 V）を下回る領域（以下「白金凝集増加領域 R1」又は「凝集増加領域 R1」という。）では、FC セルに含まれる白金（酸化白金）について還元反応が激しく進行し、白金が過度に凝集する。電位  $v_1$  から電位  $v_2$ （例え

50

ば、 $0.8\text{ V}$  ) までは、還元反応が安定的に進行する領域 ( 以下「白金還元領域 R 2 」又は「還元領域 R 2 」という。 ) である。

【 0 0 6 2 】

電位  $v_2$  から電位  $v_3$  ( 例えば、 $0.9\text{ V}$  ) までは、白金について酸化還元反応が進行する領域 ( 以下「白金酸化還元進行領域 R 3 」又は「酸化還元領域 R 3 」という。 ) である。電位  $v_3$  から電位  $v_4$  ( 例えば、 $0.95\text{ V}$  ) までは、白金について酸化反応が安定的に進行する領域 ( 以下「白金酸化安定領域 R 4 」又は「酸化領域 R 4 」という。 ) である。電位  $v_4$  から  $OCV$  ( 開回路電圧 ) までは、セルに含まれるカーボンの酸化が進行する領域 ( 以下「カーボン酸化領域 R 5 」という。 ) である。

【 0 0 6 3 】

上記のように、図 8 では、セル電圧  $V_{cell}$  が白金還元領域 R 2 又は白金酸化安定領域 R 4 にあれば、隣り合う領域と比較して FC セルの劣化の進行度合が小さい。一方、セル電圧  $V_{cell}$  が白金凝集増加領域 R 1、白金酸化還元進行領域 R 3、又はカーボン酸化領域 R 5 にあれば、隣り合う領域と比較して FC セルの劣化の進行度合が大きい。

【 0 0 6 4 】

なお、図 8 では、曲線 180 を一義的に定まるような表記としているが、実際は、単位時間当たりにおけるセル電圧  $V_{cell}$  の変動量 ( 変動速度  $A_{cell}$  ) [  $\text{V} / \text{sec}$  ] に応じて曲線 180 は変化する。

【 0 0 6 5 】

図 9 には、変動速度  $A_{cell}$  が異なる場合の酸化の進行と還元の進行の様子を示すサイクリックボルタンメトリ図である。図 9 において、曲線 190 は、変動速度  $A_{cell}$  が高い場合を示し、曲線 192 は、変動速度  $A_{cell}$  が低い場合を示す。図 9 からわかるように、変動速度  $A_{cell}$  に応じて酸化又は還元の進行度合が異なるため、必ずしも各電位  $v_1 \sim v_4$  は一義的に特定されない。また、FC セルの個体差によっても各電位  $v_1 \sim v_4$  は変化し得る。このため、電位  $v_1 \sim v_4$  は、理論値、シミュレーション値又は実測値に誤差分を反映させたものとして設定することが好ましい。

【 0 0 6 6 】

また、FC セルの電流 - 電圧 (  $I-V$  ) 特性は、一般的な燃料電池セルと同様、セル電圧  $V_{cell}$  が下がるほど、セル電流  $I_{cell}$  [  $\text{A}$  ] が増加する ( 図 10 参照 )。加えて、FC スタック 40 の発電電圧 ( FC 電圧  $V_{fc}$  ) は、セル電圧  $V_{cell}$  に FC スタック 40 内の直列接続数  $N_{fc}$  を乗算したものである。直列接続数  $N_{fc}$  は、FC スタック 40 内で直列に接続される FC セルの数であり、以下、単に「セル数」ともいう。

【 0 0 6 7 】

以上を踏まえ、本実施形態では、DC / DC コンバータ 22 が、電圧変換動作を行っている際、FC スタック 40 の目標電圧 ( 目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  ) [  $\text{V}$  ] を、主として、白金還元領域 R 2 内に設定しつつ、必要に応じて白金酸化安定領域 R 4 内に設定する ( 具体例は、図 10 等を用いて説明する。 )。このような目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  の切替えを行うことにより、FC 電圧  $V_{fc}$  が、領域 R 1、R 3、R 5 ( 特に、白金酸化還元進行領域 R 3 ) 内にある時間を極力短縮し、FC スタック 40 の劣化を防止することができる。

【 0 0 6 8 】

なお、上記の処理では、FC スタック 40 の供給電力 ( FC 電力  $P_{fc}$  ) と、システム負荷  $P_{sys}$  が等しくならない場合が存在する。この点、FC 電力  $P_{fc}$  がシステム負荷  $P_{sys}$  を下回っている場合、その不足分は、バッテリー 20 から供給する。また、FC 電力  $P_{fc}$  がシステム負荷  $P_{sys}$  を上回っている場合、その余剰分は、バッテリー 20 に充電する。

【 0 0 6 9 】

なお、図 8 では、電位  $v_1 \sim v_4$  を具体的な数値として特定したが、これは、後述する制御を行うためであり、当該数値は、あくまで制御の便宜を考慮して決定するものである。換言すると、曲線 180 からわかるように、劣化量  $D$  は連続的に変化するため、制御

10

20

30

40

50

の仕様に応じて、電位  $v_1 \sim v_4$  は、適宜設定することができる。

【0070】

但し、白金還元領域  $R_2$  は、曲線 180 の極小値（第 1 極小値  $V_{1mi1}$ ）を含む。白金酸化還元進行領域  $R_3$  では、曲線 180 の極大値（極大値  $V_{1mx}$ ）を含む。白金酸化安定領域  $R_4$  は、曲線 180 の別の極小値（第 2 極小値  $V_{1mi2}$ ）を含む。

【0071】

（2-3-2. エネルギマネジメントで用いる電力供給制御及び電力供給モード）

図 10 は、本実施形態における複数の電力供給モードの説明図である。本実施形態では、エネルギマネジメントで用いる電力供給の制御方法（電力供給モード）として、7 つの制御方法（電力供給モード）を用いる。すなわち、本実施形態では、エネルギマネジメン  
10  
トで用いる電力供給モード（動作モード）として、通常モード及び第 1 ～ 第 6 暖機モードを切り替えて用いる。通常モードは、目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  及び FC 電流  $I_{fc}$ （FC 電力  $P_{fc}$ ）がいずれも可変である電圧可変・電流可変制御（電圧可変・出力可変制御）である。第 1 ～ 第 6 暖機モードは、目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  が一定であり FC 電流  $I_{fc}$ （FC 電力  $P_{fc}$ ）が可変である電圧固定・電流可変制御（電圧固定・出力可変制御）である。

【0072】

通常モード（電圧可変・電流可変制御）は、FC 40 の暖機完了後に用いられるものであり、目標酸素濃度  $C_{o t g t}$  を固定（或いは、酸素を豊潤な状態に維持）した状態で、目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  を調整することにより FC 電流  $I_{fc}$  を制御する。これにより  
20  
、基本的に、FC 電力  $P_{fc}$  によりシステム負荷  $P_{s y s}$  をまかなうことが可能となる。

【0073】

第 1 ～ 第 6 暖機モード（電圧固定・電流可変制御）は、FC 40 の暖機時に用いられるものであり、目標セル電圧  $V_{c e l l t g t}$ （＝目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  / セル数）を、所定の電位 { 第 1 ・ 第 2 暖機モードでは、補機作動可能最低電圧  $V_{a m i n}$ 、第 3 ・ 第 4 暖機モードでは、モータ駆動可能最低電圧  $V_{m o t m i n 1}$ 、第 5 ・ 第 6 暖機モードでは、モータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$  } に固定すると共に、目標酸素濃度  $C_{o t g t}$  を基本的に可変とすることにより、FC 電流  $I_{fc}$  を可変とする。これにより、FC システム 12 を暖機しつつ、基本的に、FC 電力  $P_{fc}$  によりシステム負荷  $P_{s y s}$  をま  
30  
かなうことが可能となる（詳細は後述する。）。FC 電力  $P_{fc}$  の不足分は、バッテリー 20 からアシストする。

【0074】

（2-3-3. エネルギマネジメントの全体フロー）

図 11 及び図 12 は、ECU 24 が、FC システム 12 のエネルギマネジメント（図 5 の S3）を行う第 1 及び第 2 フローチャートである。図 13 は、図 11 及び図 12 のフローチャートで用いる補機作動可能最低電圧  $V_{a m i n}$ 、モータ駆動可能最低電圧  $V_{m o t m i n 1}$  及びモータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$  の説明図である。

【0075】

図 11 のステップ S21 において、ECU 24 は、FC ユニット 18 の暖機が必要であるか否かを判定する。具体的には、温度センサ 86 からの水温  $T_w$  が、暖機の必要性を判断するための閾値（以下「暖機判定閾値  $T_{H T w}$ 」又は「閾値  $T_{H T w}$ 」という。）以下であるか否かを判定する。閾値  $T_{H T w}$  は、例えば、0 ～ 10 までのいずれかの値から選択することができる。暖機が必要でない場合（S21：NO）、ステップ S22 において、ECU 24 は、通常モードを選択して FC 40 を発電させる。この際、ECU 24 は、目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$ （図 13）以上に設定する。暖機が必要である場合（S21：YES）、ステップ S23 に進む。  
40

【0076】

ステップ S23 において、ECU 24 は、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  を判定する。FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  は、FC 40 が発電することが可能な電圧を示す。本実施形態において、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  は、温度センサ 86 からの水温  $T_w$  に応じて判定する。  
50

より具体的には、水温  $T_w$  が低いほど、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が低く、水温  $T_w$  が高いほど、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が高い。水温  $T_w$  と FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  との関係は、ECU 24 の図示しない記憶部に予め記憶しておく。

【0077】

ステップ S 24 において、ECU 24 は、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  以上であるか否かを判定する。モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  は、モータ 14 の性能を保証することができる最低電圧（性能保証電圧の最低値）であり（図 13 参照）、モータ 14 の仕様に応じて決まる。なお、FC 電圧  $V_{fc}$  は、セル電圧  $V_{cell}$  × セル数に近似するため、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  / セル数により、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  を求めることができる。本実施形態では、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  が、図 8 の還元領域 R 2 となるように、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$ （モータ 14 の仕様）又はセル数を設定する。FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、モータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  以上でない場合（S 24：NO）、ステップ S 25 に進む。

10

【0078】

ステップ S 25 において、ECU 24 は、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  以上であるか否かを判定する。モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  は、モータ 14 を駆動することができる最低電圧（駆動可能電圧の最低値）であり（図 13 参照）、モータ 14 の仕様に応じて決まる。なお、上記のように、FC 電圧  $V_{fc}$  は、セル電圧  $V_{cell}$  × セル数に近似するため、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  / セル数により、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  を求めることができる。本実施形態では、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  が、図 8 の還元領域 R 2 となるように、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$ （モータ 14 の仕様）又はセル数を設定する。FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  以上でない場合（S 25：NO）、ステップ S 26 に進む。

20

【0079】

ステップ S 26 において、ECU 24 は、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  以上であるか否かを判定する。補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  は、補機を作動させることができる最低電圧（作動可能電圧の最低値）であり（図 13 参照）、補機の仕様に応じて決まる。ここでの補機は、本実施形態では、エアポンプ 60 を指す。しかし、FC 40 の発電に用いるもの（例えば、エアポンプ 60、ウォータポンプ 80、循環弁 64）及び FC 40 の発電に用いないもの（例えば、エアコンディショナ 90）のいずれも含むことができる。また、後述するように、複数の補機の補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  を用いることも可能である。

30

【0080】

なお、上記のように、FC 電圧  $V_{fc}$  は、セル電圧  $V_{cell}$  × セル数に近似するため、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  / セル数により、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  を求めることができる。本実施形態では、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に対応するセル電圧  $V_{cell}$  が、図 8 の還元領域 R 2 となるように、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$ （補機の仕様）又はセル数を設定する。

40

【0081】

FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  以上でない場合（S 26：NO）、ステップ S 27 において ECU 24 は、バッテリー 20 からの電力（バッテリー電力  $P_{bat}$ ）により、補機（エアポンプ 60、ウォータポンプ 80 等）を作動させ、FC 40 を暖機する。この際、FC 40 に酸素及び水素を供給するものの、FC 電力  $P_{fc}$  の出力は行わない。図示しないコンタクト（スイッチ）を、FC 40 側の配線に設けておき、当該コンタクトを閉じておくことにより、FC 電力  $P_{fc}$  の出力を停止してもよい。

【0082】

50

ＦＣ発電可能電圧 $V_{fc p}$ が、補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ 以上である場合（Ｓ２６：ＹＥＳ）、ステップＳ２８において、ＥＣＵ２４は、バッテリー２０のＳＯＣに余分があるか否かを判定する。具体的には、ＳＯＣが閾値 $TH_{soc1}$ 以上であるか否かを判定する。閾値 $TH_{soc1}$ は、バッテリー２０のＳＯＣに余分があるか否かを判定するための閾値である。

【００８３】

バッテリー２０のＳＯＣに余分がない場合（Ｓ２８：ＮＯ）、ステップＳ２９において、ＥＣＵ２４は、第１暖機モードを選択する。第１暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標ＦＣ電圧 $V_{fc t g t}$ を補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ で一定としつつ、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ を可変とすることにより、ＦＣ電流 $I_{fc}$ を可変とする。この際、ＥＣＵ２４は、ＦＣ電力 $P_{fc}$ による補機（エアポンプ６０等）の作動を許可する。バッテリーＳＯＣに余分がないため、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ は、システム負荷 $P_{sys}$ に相当する値に設定される（詳細は後述する。）。

10

【００８４】

バッテリー２０のＳＯＣに余分がある場合（Ｓ２８：ＹＥＳ）、ステップＳ３０において、ＥＣＵ２４は、第２暖機モードを選択する。第２暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標ＦＣ電圧 $V_{fc t g t}$ を補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ で一定とし、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ を可変とすることにより、ＦＣ電流 $I_{fc}$ を可変とする。この際、ＥＣＵ２４は、ＦＣ電力 $P_{fc}$ による補機（エアポンプ６０等）の作動を許可する。バッテリーＳＯＣに余分があるため、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ は、システム負荷 $P_{sys}$ に相当する値よりも低い値に設定される（詳細は後述する。）。

20

【００８５】

ステップＳ２５に戻り、ＦＣ発電可能電圧 $V_{fc p}$ が、モータ駆動可能最低電圧 $V_{mot min1}$ 以上である場合（Ｓ２５：ＹＥＳ）、図１２のステップＳ３１において、ＥＣＵ２４は、バッテリー２０のＳＯＣに余分があるか否かを判定する。具体的には、ＳＯＣが閾値 $TH_{soc2}$ 以上であるか否かを判定する。閾値 $TH_{soc2}$ は、バッテリー２０のＳＯＣに余分があるか否かを判定するための閾値であり、閾値 $TH_{soc1}$ と同じ値又は異なる値にすることができる。

30

【００８６】

バッテリーＳＯＣに余分がない場合（Ｓ３１：ＮＯ）、ステップＳ３２において、ＥＣＵ２４は、第３暖機モードを選択する。第３暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標ＦＣ電圧 $V_{fc t g t}$ をモータ駆動可能最低電圧 $V_{mot min1}$ で一定とし、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ を可変とすることにより、ＦＣ電流 $I_{fc}$ を可変とする。この際、ＥＣＵ２４は、ＦＣ電力 $P_{fc}$ による補機（エアポンプ６０等）の作動及びモータ１４の駆動を許可する。バッテリーＳＯＣに余分がないため、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ は、システム負荷 $P_{sys}$ に相当する値に設定される（詳細は後述する。）。

【００８７】

バッテリー２０のＳＯＣに余分がある場合（Ｓ３１：ＹＥＳ）、ステップＳ３３において、ＥＣＵ２４は、第４暖機モードを選択する。第４暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標ＦＣ電圧 $V_{fc t g t}$ をモータ駆動可能最低電圧 $V_{mot min1}$ で一定とし、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ を可変とすることにより、ＦＣ電流 $I_{fc}$ を可変とする。この際、ＥＣＵ２４は、ＦＣ電力 $P_{fc}$ による補機（エアポンプ６０等）の作動及びモータ１４の駆動を許可する。バッテリーＳＯＣに余分があるため、目標ＦＣ電流 $I_{fc t g t}$ 及び目標酸素濃度 $C_{o t g t}$ は、システム負荷 $P_{sys}$ に相当する値よりも低い値に設定される（詳細は後述する。）。

40

【００８８】

図１１のステップＳ２４に戻り、ＦＣ発電可能電圧 $V_{fc p}$ が、モータ性能保証最低電

50

圧  $V_{motmin2}$  以上である場合 (S24: YES)、図12のステップS34において、ECU24は、バッテリー20のSOCに余分があるか否かを判定する。具体的には、SOCが閾値  $TH_{soc3}$  以上であるか否かを判定する。閾値  $TH_{soc3}$  は、バッテリー20のSOCに余分があるか否かを判定するための閾値であり、閾値  $TH_{soc1}$  又は閾値  $TH_{soc2}$  と同じ値又は異なる値にすることができる。

【0089】

バッテリーSOCに余分がない場合 (S34: NO)、ステップS35において、ECU24は、第5暖機モードを選択する。第5暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  で一定とし、目標FC電流  $I_{fc tgt}$  及び目標酸素濃度  $C_{ot tgt}$  を可変とすることにより、FC電流  $I_{fc}$  を可変とする。この際、ECU24は、FC電力  $P_{fc}$  による補機（エアポンプ60等）の作動及びモータ14の駆動を許可する。バッテリーSOCに余分がないため、目標FC電流  $I_{fc tgt}$  及び目標酸素濃度  $C_{ot tgt}$  は、システム負荷  $P_{sys}$  に相当する値に設定される（詳細は後述する。）。

【0090】

バッテリー20のSOCに余分がある場合 (S34: YES)、ステップS36において、ECU24は、第6暖機モードを選択する。第6暖機モードは、電圧固定・電流可変制御の一種であり、目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  で一定とし、目標FC電流  $I_{fc tgt}$  及び目標酸素濃度  $C_{ot tgt}$  を可変とすることにより、FC電流  $I_{fc}$  を可変とする。この際、ECU24は、FC電力  $P_{fc}$  による補機（エアポンプ60等）の作動及びモータ14の駆動を許可する。バッテリーSOCに余分があるため、目標FC電流  $I_{fc tgt}$  及び目標酸素濃度  $C_{ot tgt}$  は、システム負荷  $P_{sys}$  に相当する値よりも低い値に設定される（詳細は後述する。）。

【0091】

(2-3-4. 通常モード)

上記のように、通常モードは、FC40の暖機完了後に用いられるものであり、目標酸素濃度  $C_{ot tgt}$  を固定（或いは、酸素を豊潤な状態に維持）した状態で、目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  を調整することによりFC電流  $I_{fc}$  を制御する。

【0092】

すなわち、図10に示すように、通常モードでは、FC40の電流 - 電圧特性 ( $I-V$  特性) が通常のもの (図10中、実線で表されるもの) を用いる。通常の燃料電池と同様、FC40の  $I-V$  特性は、セル電圧  $V_{cell}$  (FC電圧  $V_{fc}$ ) が低くなるほど、セル電流  $I_{cell}$  (FC電流  $I_{fc}$ ) が大きくなる。このため、通常モードでは、システム負荷  $P_{sys}$  に応じて目標FC電流  $I_{fc tgt}$  を算出し、さらに目標FC電流  $I_{fc tgt}$  に対応する目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  を算出する。そして、FC電圧  $V_{fc}$  が目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  となるように、ECU24は、DC/DCコンバータ22を制御する。すなわち、2次電圧  $V_2$  が目標FC電圧  $V_{fc tgt}$  となるように1次電圧  $V_1$  をDC/DCコンバータ22により昇圧することで、FC電圧  $V_{fc}$  を制御してFC電流  $I_{fc}$  を制御する。

【0093】

なお、酸素が豊潤な状態にあるとは、例えば、図14に示すように、カソードストイキ比を上昇させても、セル電流  $I_{cell}$  が略一定となり、実質的に飽和した状態となる通常ストイキ比以上の領域における酸素を意味する。水素が豊潤であるという場合も、同様である。なお、カソードストイキ比とは、カソード流路74に供給するエアの流量/FC40の発電により消費されたエアの流量であり、カソード流路74における酸素濃度に近似する。また、カソードストイキ比の調整は、例えば、酸素濃度の制御により行う。

【0094】

以上のような通常モードによれば、基本的にシステム負荷  $P_{sys}$  の全てをFC電力  $P_{fc}$  によりまかなうことが可能となる。

【0095】

10

20

30

40

50

( 2 - 3 - 5 . 第 1 ~ 第 6 暖機モードの全体 )

上記のように、第 1 ~ 第 6 暖機モードは、F C 4 0 の暖機時に用いられるものであり、目標 F C 電圧  $V_{fc t g t}$  ( = 目標セル電圧  $V_{c e l l t g t} \times$  セル数 ) を、所定の電位 { 第 1 ・第 2 暖機モードでは、補機作動可能最低電圧  $V_{a m i n}$ 、第 3 ・第 4 暖機モードでは、モータ駆動可能最低電圧  $V_{m o t m i n 1}$ 、第 5 ・第 6 暖機モードでは、モータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$  } に固定すると共に、目標酸素濃度  $C o t g t$  を基本的に可変とすることにより、F C 電流  $I_{f c}$  を可変とする。

【 0 0 9 6 】

すなわち、図 1 0 に示すように、第 1 ~ 第 6 暖機モードでは、F C 電圧  $V_{f c}$  を一定に保った状態で目標酸素濃度  $C o t g t$  を変化させることで酸素濃度  $C o$  を調整する。

10

【 0 0 9 7 】

より具体的には、第 1 ・第 2 暖機モードでは、F C 電圧  $V_{f c}$  ( 又は目標 F C 電圧  $V_{f c t g t}$  ) を補機作動可能最低電圧  $V_{a m i n}$  に保った状態で、目標酸素濃度  $C o t g t$  を変化させることで酸素濃度  $C o$  を調整する。F C 電圧  $V_{f c}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{a m i n}$  に保つには、D C / D C コンバータ 2 2 により 2 次電圧  $V_2$  を制御する。この際、E C U 2 4 は、補機 ( エアポンプ 6 0 等 ) の作動を許可する。すなわち、F C 4 0 の発電に用いる補機に対する F C 4 0 からの電力供給を許可すると共に、当該補機に対して動作指令を出す。上記のように、第 2 暖機モードでは、バッテリー電力  $P_{b a t}$  も用いる。このため、目標 F C 電流  $I_{f c t g t}$  が等しい場合、第 2 暖機モードの方が第 1 暖機モードよりも目標酸素濃度  $C o t g t$  が低くなる。

20

【 0 0 9 8 】

第 3 ・第 4 暖機モードでは、F C 電圧  $V_{f c}$  ( 又は目標 F C 電圧  $V_{f c t g t}$  ) をモータ駆動可能最低電圧  $V_{m o t m i n 1}$  に保った状態で、目標酸素濃度  $C o t g t$  を変化させることで酸素濃度  $C o$  を調整する。F C 電圧  $V_{f c}$  をモータ駆動可能最低電圧  $V_{m o t m i n 1}$  に保つには、D C / D C コンバータ 2 2 により 2 次電圧  $V_2$  を制御する。この際、E C U 2 4 は、補機 ( エアポンプ 6 0 等 ) の作動に加え、モータ 1 4 の駆動を許可する。すなわち、F C 4 0 の発電に用いる補機及びモータ 1 4 に対する F C 4 0 からの電力供給を許可すると共に、当該補機及びモータ 1 4 に対して動作指令を出す。上記のように、第 4 暖機モードでは、バッテリー電力  $P_{b a t}$  も用いる。このため、目標 F C 電流  $I_{f c t g t}$  が等しい場合、第 4 暖機モードの方が第 3 暖機モードよりも目標酸素濃度  $C o t g t$

30

【 0 0 9 9 】

第 5 ・第 6 暖機モードでは、F C 電圧  $V_{f c}$  ( 又は目標 F C 電圧  $V_{f c t g t}$  ) をモータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$  に保った状態で、目標酸素濃度  $C o t g t$  を変化させることで酸素濃度  $C o$  を調整する。F C 電圧  $V_{f c}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{m o t m i n 2}$  に保つには、D C / D C コンバータ 2 2 により 2 次電圧  $V_2$  を制御する。この際、E C U 2 4 は、補機 ( エアポンプ 6 0 等 ) の作動に加え、モータ 1 4 の駆動を許可する。すなわち、F C 4 0 の発電に用いる補機及びモータ 1 4 に対する F C 4 0 からの電力供給を許可すると共に、当該補機及びモータ 1 4 に対して動作指令を出す。上記のように、第 6 暖機モードでは、バッテリー電力  $P_{b a t}$  も用いる。このため、目標 F C 電流  $I_{f c t g t}$  が等しい場合、第 6 暖機モードの方が第 5 暖機モードよりも目標酸素濃度  $C o t g t$

40

【 0 1 0 0 】

図 1 4 に示すように、カソードストイキ比 ( 酸素濃度  $C o$  ) が低下するとセル電流  $I_{c e l l}$  ( F C 電流  $I_{f c}$  ) も低下する。このため、セル電圧  $V_{c e l l}$  を一定に保った状態で目標酸素濃度  $C o t g t$  を増減させることで、セル電流  $I_{c e l l}$  ( F C 電流  $I_{f c}$  ) 及び F C 電力  $P_{f c}$  を制御することが可能となる。なお、F C 電力  $P_{f c}$  の不足分は、バッテリー 2 0 からアシストする。

【 0 1 0 1 】

図 1 5 は、セル電圧  $V_{c e l l}$  と F C 4 0 ( 単位セル ) の放熱量  $H_{f c}$  [ k W ] との関

50

係を示す図である。図 15 に示すように、FC40 の放熱量  $H_{fc}$  は、セル電圧  $V_{cell}$  に依存し、セル電流  $I_{cell}$  には依存しない。従って、第 1 ~ 第 6 暖機モードにおいて、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  を一定にすると、放熱量  $H_{fc}$  も一定に維持することが可能となる。

#### 【0102】

上記のように、第 1・第 2 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に設定し、第 3・第 4 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  をモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  に設定し、第 5・第 6 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  に設定する。また、補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  はモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  よりも低く、モータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  はモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  よりも低い。このため、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  であるときの放熱量  $H_{fc}$  は、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  がモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  であるときよりも高く、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  がモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  であるときの放熱量  $H_{fc}$  は、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  がモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  であるときよりも高い。

#### 【0103】

従って、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  及び FC 電圧  $V_{fc}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に設定することにより、放熱量  $H_{fc}$  を大きくし、迅速に暖機をすることが可能となる。

#### 【0104】

図 16 には、第 1 ~ 第 6 暖機モード（電圧固定・電流可変制御）に共通のフローチャートが示されている。ステップ S41 において、ECU24 は、DC/DC コンバータ 22 の昇圧率を調整することにより、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  を所定の電位に固定する。すなわち、第 1・第 2 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に固定し、第 3・第 4 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  をモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  に固定し、第 5・第 6 暖機モードでは、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  をモータ性能保証最低電圧  $V_{motmin2}$  に固定する。

#### 【0105】

ステップ S42 において、ECU24 は、目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$  を算出する。すなわち、第 1・第 3・第 5 暖機モードでは、システム負荷  $P_{sys}$  に相当する目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$  を算出し、第 2・第 4・第 6 暖機モードでは、システム負荷  $P_{sys}$  よりも低い負荷に相当する目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$  を算出する。

#### 【0106】

ステップ S43 において、ECU24 は、目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$  に対応する目標酸素濃度  $C_{ot\_tgt}$  を算出する（図 10 及び図 17 参照）。なお、図 17 は、目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$  と目標酸素濃度  $C_{ot\_tgt}$  との関係の一例を示す。図 17 のような関係は、目標 FC 電圧  $V_{fc\_tgt}$  に応じて変化する。

#### 【0107】

ステップ S44 において、ECU24 は、目標酸素濃度  $C_{ot\_tgt}$ （又は目標 FC 電流  $I_{fc\_tgt}$ ）に応じて各部への指令値を算出及び送信する。ここで算出される指令値には、エアポンプ 60 の回転数（以下「エアポンプ回転数  $N_{ap}$ 」又は「回転数  $N_{ap}$ 」という。）、ウォータポンプ 80 の回転数（以下「ウォータポンプ回転数  $N_{wp}$ 」又は「回転数  $N_{wp}$ 」という。）、背圧弁 64 の開度（以下「背圧弁開度  $b_p$ 」又は「開度  $b_p$ 」という。）及び循環弁 66 の開度（以下「循環弁開度  $c$ 」又は「開度  $c$ 」という。）が含まれる。

#### 【0108】

すなわち、図 18 及び図 19 に示すように、目標酸素濃度  $C_{ot\_tgt}$  に応じて目標エアポンプ回転数  $N_{ap\_tgt}$ 、目標ウォータポンプ回転数  $N_{wp\_tgt}$  及び目標背圧弁開度  $b_{p\_tgt}$  が設定される。また、循環弁 66 の目標開度  $c_{tgt}$  は、初期値（例えば

10

20

30

40

50



、循環ガスがゼロとなる開度)に設定される。

【0109】

ステップS45において、ECU24は、FC40による発電が安定しているか否かを判定する。当該判定として、ECU24は、セル電圧モニタ42から入力される最低セル電圧が、平均セル電圧から所定電圧を減算した電圧よりも低い場合{最低セル電圧<(平均セル電圧-所定電圧)}、FC40の発電が不安定であると判定する。なお、前記所定電圧は、例えば、実験値、シミュレーション値等を用いることができる。

【0110】

発電が安定している場合(S45: YES)、今回の処理を終える。発電が安定していない場合(S45: NO)、ステップS46において、ECU24は、流量センサ70を介して循環ガスの流量 $Q_c$  [g/s]を監視しながら、循環弁66の開度 $c$ を大きくし、流量 $Q_c$ を一段階増加する(図20参照)。なお、図20では、循環弁66を全開とした場合、流量 $Q_c$ が4段階目の増加となり、最大流量となる場合を例示している。

10

【0111】

但し、循環弁66の開度 $c$ が増加すると、エアポンプ60に吸気される吸気ガスにおいて、循環ガスの割合が増加する。すなわち、吸気ガスについて、新規空気(車外から吸気される空気)と、循環ガスとの割合において、循環ガスの割合が増加するように変化する。従って、全単セルへの酸素の分配能力が向上する。ここで、循環ガス(カソードオフガス)の酸素濃度 $C_o$ は、新規空気の酸素濃度 $C_o$ に対して低い。このため、循環弁66の開度 $c$ の制御前後において、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ 及び背圧弁64の開度 $b_p$ が同一である場合、カソード流路74を通流するガスの酸素濃度 $C_o$ が低下することになる。

20

【0112】

そこで、ステップS46では、ステップS43で算出した目標酸素濃度 $C_{otgt}$ が維持されるように、循環ガスの流量 $Q_c$ の増加に連動して、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ の増加及び背圧弁64の開度 $b_p$ の減少の少なくとも一方を実行することが好ましい。

【0113】

例えば、循環ガスの流量 $Q_c$ を増加した場合、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ を増加させ、新規空気の流量を増加することが好ましい。そして、このようにすれば、カソード流路74に向かうガス(新規空気と循環ガスとの混合ガス)全体の流量が増加するので、全単セルへの酸素の分配能力がさらに向上し、FC40の発電性能が回復し易くなる。

30

【0114】

このようにして、目標酸素濃度 $C_{otgt}$ を維持しつつ、循環ガスを新規空気に合流させるので、カソード流路74を通流するガスの体積流量 $[L/s]$ が増加する。これにより、目標酸素濃度 $C_{otgt}$ が維持されつつ体積流量の増加したガスが、FC40内で複雑に形成されたカソード流路74全体に行き渡り易くなる。したがって、各単セルに前記ガスが同様に供給され易くなり、FC40の発電の不安定が解消され易くなる。また、MEA(膜電極接合体)の表面やカソード流路74を囲む壁面に付着する水滴(凝縮水等)も除去され易くなる。

40

【0115】

ステップS47において、ECU24は、流量センサ70を介して検出される循環ガスの流量 $Q_c$ が上限値以上であるか否かを判定する。判定基準となる上限値は、循環弁66の開度 $c$ が全開となる値に設定される。

【0116】

この場合において、循環弁開度 $c$ が同一であっても、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ が増加すると、流量センサ70で検出される循環ガスの流量 $Q_c$ が増加するので、前記上限値は、エアポンプ回転数 $N_{ap}$ に関連付けて、つまり、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ が大きくなると、前記上限値が大きくなるように設定されることが好ましい。

【0117】

循環ガスの流量 $Q_c$ が上限値以上でないと判定した場合(S47: NO)、ステップS

50

45に戻る。循環ガスの流量 $Q_c$ が上限値以上であると判定した場合(S47: YES)、ステップS48に進む。

【0118】

ここで、ステップS46、S47では、流量センサ70が直接検出する循環ガスの流量 $Q_c$ に基づいて処理を実行したが、循環弁開度 $c$ に基づいて処理を実行してもよい。すなわち、ステップS46において、循環弁開度 $c$ を開方向に一段階(例えば $30^\circ$ )にて増加する構成とし、ステップS47において、循環弁66が全開である場合(S47: YES)、ステップS48に進む構成としてもよい。

【0119】

また、この場合において、循環弁66の開度 $c$ と、循環ガスの温度と、図21のマップとに基づいて、循環ガスの流量 $Q_c$  [g/s]を算出することもできる。図21に示すように、循環ガスの温度が高くなるにつれて、その密度が小さくなるので、流量 $Q_c$  [g/s]が小さくなる関係となっている。

【0120】

ステップS48において、ECU24は、ステップS45と同様に、発電が安定しているか否かを判定する。発電が安定している場合(S48: YES)、今回の処理を終える。発電が安定していない場合(S48: NO)、ステップS49において、ECU24は、目標酸素濃度 $C_{otgt}$ を1段増加させる(通常濃度に近づける)。具体的には、エアポンプ60の回転数 $N_{ap}$ の増加及び背圧弁64の開度 $b_p$ の減少の少なくとも一方を1段階行う。

【0121】

ステップS50において、ECU24は、目標酸素濃度 $C_{otgt}$ が通常のIV特性における目標酸素濃度(通常酸素濃度 $C_{onml}$ )以下であるか否かを判定する。目標酸素濃度 $C_{otgt}$ が通常酸素濃度 $C_{onml}$ 以下である場合(S50: YES)、ステップS48に戻る。目標酸素濃度 $C_{otgt}$ が通常酸素濃度 $C_{onml}$ 以下でない場合(S50: NO)、ステップS51において、ECU24は、FCユニット18を停止する。すなわち、ECU24は、FC40への水素及び空気の供給を停止し、FC40の発電を停止する。そして、ECU24は、図示しない警告ランプを点灯させ、運転者にFC40が異常であることを通知する。なお、ECU24は、バッテリー20からモータ14に電力を供給し、FC車両10の走行は継続させる。

【0122】

以上のような第1～第6暖機モードによれば、セル電圧 $V_{cell}$ を一定にした状態で、酸素濃度 $C_o$ (カソードストイキ比)を調整することにより、FCシステム12を暖機しつつ、基本的にシステム負荷 $P_{sys}$ の全てをFC電力 $P_{fc}$ によりまかなうことが可能となる。特に、第1・第2暖機モードでは、モータ駆動可能最低電圧 $V_{motmin1}$ よりも低い補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ に目標FC電圧 $V_{fc tgt}$ を設定するため、より速やかに暖機することが可能となる。

【0123】

[2-4. FC発電制御]

上記のように、FC発電制御(図5のS4)として、ECU24は、FCスタック40の周辺機器、すなわち、エアポンプ60、背圧弁64、循環弁66及びウォータポンプ80を制御する。具体的には、ECU24は、エネルギーマネジメント(図5のS3)で算出したこれらの機器の指令値(例えば、図16のS44)を用いてこれらの機器を制御する。

【0124】

[2-5. モータ14のトルク制御]

図22には、モータ14のトルク制御のフローチャートが示されている。ステップS61において、ECU24は、回転数センサ152からモータ回転数 $N_m$ を読み込む。ステップS62において、ECU24は、開度センサ150からアクセルペダル154の開度 $p$ を読み込む。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 2 5 】

ステップ S 6 3 において、E C U 2 4 は、モータ回転数  $N_m$  と開度 に基づいてモータ 1 4 の仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  [ N ・ m ] を算出する。具体的には、図示しない記憶手段に回転数  $N_m$  と開度 と仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  を関連付けたマップを記憶しておき、当該マップと、回転数  $N_m$  及び開度 とに基づいて仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  を算出する。

## 【 0 1 2 6 】

ステップ S 6 4 において、E C U 2 4 は、F C システム 1 2 からモータ 1 4 に供給可能な電力の限界値 ( 限界供給電力  $P_{s\_lim}$  ) [ W ] に等しいモータ 1 4 の限界出力 ( モータ限界出力  $P_{m\_lim}$  ) [ W ] を算出する。具体的には、限界供給電力  $P_{s\_lim}$  及びモータ限界出力  $P_{m\_lim}$  は、F C スタック 4 0 からの F C 電力  $P_{fc}$  とバッテリー 2 0 から供給可能な電力の限界値 ( 限界出力  $P_{bat\_lim}$  ) [ W ] との和から補機の消費電力  $P_a$  を引いたものである (  $P_{m\_lim} = P_{s\_lim} - P_{fc} + P_{bat\_lim} - P_a$  ) 。

10

## 【 0 1 2 7 】

ステップ S 6 5 において、E C U 2 4 は、モータ 1 4 のトルク制限値  $T_{lim}$  [ N ・ m ] を算出する。具体的には、モータ限界出力  $P_{m\_lim}$  を車速  $V$  で除したものをトルク制限値  $T_{lim}$  とする (  $T_{lim} = P_{m\_lim} / V$  ) 。

## 【 0 1 2 8 】

一方、ステップ S 6 4 において、E C U 2 4 は、モータ 1 4 が回生中であると判定した場合には、限界供給回生電力  $P_{s\_reglim}$  を算出する。限界供給回生電力  $P_{s\_reglim}$  は、バッテリー 2 0 に充電可能な電力の限界値 ( 限界充電  $P_{bat\_chgli m}$  ) と F C スタック 4 0 からの F C 電力  $P_{fc}$  との和から補機の消費電力  $P_a$  を引いたものである (  $P_{m\_reglim} = P_{bat\_chgli m} + P_{fc} - P_a$  ) 。回生中である場合、ステップ S 6 5 において、E C U 2 4 は、モータ 1 4 の回生トルク制限値  $T_{reglim}$  [ N ・ m ] を算出する。具体的には、限界供給回生電力  $P_{s\_reglim}$  を車速  $V_s$  で除したものをトルク制限値  $T_{lim}$  とする (  $T_{lim} = P_{s\_reglim} / V_s$  ) 。

20

## 【 0 1 2 9 】

ステップ S 6 6 において、E C U 2 4 は、目標トルク  $T_{tgt}$  [ N ・ m ] を算出する。具体的には、E C U 2 4 は、仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  に対してトルク制限値  $T_{lim}$  による制限を加えたものを目標トルク  $T_{tgt}$  とする。例えば、仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  がトルク制限値  $T_{lim}$  以下である場合 (  $T_{tgt\_p} \leq T_{lim}$  ) 、仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  をそのまま目標トルク  $T_{tgt}$  とする (  $T_{tgt} = T_{tgt\_p}$  ) 。一方、仮目標トルク  $T_{tgt\_p}$  がトルク制限値  $T_{lim}$  を超える場合 (  $T_{tgt\_p} > T_{lim}$  ) 、トルク制限値  $T_{lim}$  を目標トルク  $T_{tgt}$  とする (  $T_{tgt} = T_{lim}$  ) 。

30

## 【 0 1 3 0 】

そして、算出した目標トルク  $T_{tgt}$  を用いてモータ 1 4 を制御する。

## 【 0 1 3 1 】

## 3 . 各種制御の例

40

図 2 3 には、本実施形態に係る各種制御を用いた場合のタイムチャートの例が示されている。図示していないが、図 2 3 では、バッテリー 2 0 の S O C には余分がない状況が続くものとする。従って、第 2 ・ 第 4 ・ 第 6 暖機モードは選択されない ( 図 1 1 の S 2 8 : Y E S 、図 1 2 の S 3 1 : Y E S 、S 3 4 : Y E S 参照 ) 。

## 【 0 1 3 2 】

時点  $t_1$  では、既に F C ユニット 1 8 の暖機が行われている最中であり、温度センサ 8 6 が検出した水温  $T_w$  が閾値  $T_{HTw}$  以下であると共に ( S 2 1 : Y E S ) 、F C 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  以上 ( S 2 6 : Y E S ) 且つモータ駆動可能最低電圧  $V_{motmin1}$  未満 ( S 2 5 : N O ) となっている。このため、E C U 2 4 は、第 1 暖機モード ( S 2 9 ) を選択し、F C 電圧  $V_{fc}$  ( 及び目標 F C 電圧  $V_{fc}$  )

50

t g t) が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  となるように DC / DC コンバータ 22 を制御する。

【 0 1 3 3 】

時点  $t_2$  から時点  $t_3$  までは、水温  $T_w$  が閾値  $TH_{Tw}$  以下であると共に ( S 2 1 : Y E S )、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  がモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  以上 ( S 2 5 : Y E S ) 且つモータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  未満 ( S 2 4 : N O ) となる。そこで、ECU 24 は、第 3 暖機モード ( S 3 2 ) を選択し、FC 電圧  $V_{fc}$  ( 及び目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  ) がモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  となるように DC / DC コンバータ 22 を制御する。

【 0 1 3 4 】

時点  $t_3$  から時点  $t_4$  までは、水温  $T_w$  が閾値  $TH_{Tw}$  以下であると共に ( S 2 1 : Y E S )、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  がモータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  以上となる ( S 2 4 : Y E S )。そこで、ECU 24 は、第 5 暖機モード ( S 3 5 ) を選択し、FC 電圧  $V_{fc}$  ( 及び目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  ) がモータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  となるように DC / DC コンバータ 22 を制御する。なお、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  がモータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  以上となる場合、FC 電圧  $V_{fc}$  ( 及び目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  ) を FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  に一致させるように目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  を設定してもよい。

【 0 1 3 5 】

時点  $t_4$  において、水温  $T_w$  が暖機判定閾値  $TH_{Tw}$  を上回る ( S 2 1 : N O )。従って、ECU 24 は、FC 40 の暖機を終了し、通常モードを選択する ( S 2 2 )。

【 0 1 3 6 】

#### 4 . 本実施形態の効果

以上説明したように、本実施形態によれば、低温時における FC 40 の起動時間を短縮することが可能となる。

【 0 1 3 7 】

すなわち、本実施形態によれば、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  以上になると、FC 電圧  $V_{fc}$  ( 又は目標 FC 電圧  $V_{fc t g t}$  ) を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  に設定して補機 ( エアポンプ 60 等 ) の作動を許可する。このため、補機の作動を許可しつつ、FC 電圧  $V_{fc}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  にした状態で FC 40 を暖機することができる。また、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  よりも高いモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  以上になると、FC 電圧  $V_{fc}$  をモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  に設定してモータ 14 の駆動を許可する。このため、モータ 14 の作動を許可しつつ、FC 電圧  $V_{fc}$  をモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  にした状態で FC 40 を暖機することができる。従って、FC 発電出力可能電圧  $V_{fc p}$  がモータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  以上になる前であっても、FC 発電可能電圧  $V_{fc p}$  が補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  以上になれば、FC 40 の暖機を行うことができる。よって、より早い段階で FC 40 の暖機を開始し、FC 40 の起動時間を短縮することが可能となる。

【 0 1 3 8 】

また、一般に、燃料電池の出力電圧が低いほど、燃料電池の放熱量は多くなる ( 図 1 5 参照 )。従って、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  よりも低い補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$  で暖機をすることにより、FC 40 の放熱量  $H_{fc}$  を増大させることが可能となり、この点からも FC 40 の起動時間を短縮することが可能となる。

【 0 1 3 9 】

本実施形態では、第 1 ~ 第 6 暖機モードの選択中は、システム負荷  $P_{sys}$  に追従するように酸素濃度  $C_o$  を変化させる。これにより、FC 電圧  $V_{fc}$  を補機作動可能最低電圧  $V_{amin}$ 、モータ駆動可能最低電圧  $V_{mot min 1}$  又はモータ性能保証最低電圧  $V_{mot min 2}$  に維持した状態で、FC 電力  $P_{fc}$  をシステム負荷  $P_{sys}$  に追従することが可能となる。このため、補機又はモータ 14 に十分な電力を供給することが可能となり

10

20

30

40

50

、補機又はモータ 14 を良好に作動させることができる。

【 0 1 4 0 】

#### 5 . 変形例

なお、この発明は、上記実施形態に限らず、この明細書の記載内容に基づき、種々の構成を採り得ることはもちろんである。例えば、以下の構成を採用することができる。

【 0 1 4 1 】

#### [ 5 - 1 . 搭載対象 ]

上記実施形態では、FCシステム 12 をFC車両 10 に搭載したが、これに限らず、FC 40 の暖機を要する別の対象に搭載してもよい。例えば、FCシステム 12 を船舶や航空機等の移動体に用いることもできる。或いは、FCシステム 12 を、ロボット、製造装置、家庭用電力システム又は家電製品に適用してもよい。

【 0 1 4 2 】

#### [ 5 - 2 . FCシステム 12 の構成 ]

上記実施形態では、FC 40 と高電圧バッテリー 20 を並列に配置し、バッテリー 20 の手前にDC / DCコンバータ 22 を配置する構成としたが、これに限らない。例えば、図 24 に示すように、FC 40 とバッテリー 20 を並列に配置し、昇圧式、降圧式又は昇降圧式のDC / DCコンバータ 22 をFC 40 の手前に配置する構成であってもよい。或いは、図 25 に示すように、FC 40 とバッテリー 20 を並列に配置し、FC 40 の手前に昇圧式、降圧式又は昇降圧式のDC / DCコンバータ 22 a を、バッテリー 20 の手前にDC / DCコンバータ 22 を配置する構成であってもよい。或いは、図 26 に示すように、FC 40 とバッテリー 20 を直列に配置し、バッテリー 20 とモータ 14 の間にDC / DCコンバータ 22 を配置する構成であってもよい。

【 0 1 4 3 】

#### [ 5 - 3 . ストイキ比 ]

上記実施形態では、ストイキ比を調整する手段又は方法として、目標酸素濃度  $C_{O\ t\ g}$  を調整するものを用いたが、これに限らず、目標水素濃度を調整することも可能である。また、目標濃度の代わりに、目標流量又は目標濃度と目標流量の両方を用いることもできる。

【 0 1 4 4 】

上記実施形態では、酸素を含む空気を供給するエアポンプ 60 を備える構成を例示したが、これに代えて又は加えて、水素を供給する水素ポンプを備える構成としてもよい。

【 0 1 4 5 】

#### [ 5 - 4 . 電力供給モード ]

上記実施形態では、電力供給モードとして、通常モード及び第 1 ~ 第 6 暖機モードを用いたが、少なくとも第 1 ・第 2 暖機モードの一方さえ用いれば、本発明を適用可能である。また、通常モード及び第 1 ~ 第 6 暖機モードに加え、更なる電力供給モードを設けることもできる。例えば、暖機を終了した後であっても、電圧固定・電流可変モードを実行してもよい。

【 0 1 4 6 】

上記実施形態では、電力供給モードの選択に際し、ウォータポンプ 80 の水温  $T_w$  からFC発電可能電圧  $V_{f\ c\ p}$  を算出し、FC発電可能電圧  $V_{f\ c\ p}$  と、補機作動可能最低電圧  $V_{a\ m\ i\ n}$ 、モータ駆動可能最低電圧  $V_{m\ o\ t\ m\ i\ n\ 1}$  及びモータ性能保証最低電圧  $V_{m\ o\ t\ m\ i\ n\ 2}$  とを比較した。しかしながら、FC 40 の温度（暖機状態）に基づいて電力供給モードを選択するものであれば、これに限らない。例えば、補機作動可能最低電圧  $V_{a\ m\ i\ n}$ 、モータ駆動可能最低電圧  $V_{m\ o\ t\ m\ i\ n\ 1}$  及びモータ性能保証最低電圧  $V_{m\ o\ t\ m\ i\ n\ 2}$  それぞれに対応する水温  $T_w$  を、水温  $T_{w\ 1}$ 、水温  $T_{w\ 2}$  及び水温  $T_{w\ 3}$  として設定し、水温  $T_w$  と比較することで電力供給モードを選択することもできる。

【 0 1 4 7 】

上記実施形態では、補機作動可能最低電圧  $V_{a\ m\ i\ n}$  として、エアポンプ 60 の作動可能最低電圧を用いたが（図 13）、補機作動可能最低電圧  $V_{a\ m\ i\ n}$  は他の補機（特に、

ＦＣ４０の発電に用いる補機）とすることも可能である。例えば、アノード側に水素ポンプを設ける場合、水素ポンプの作動可能最低電圧を用いてもよい。また、複数の補機の作動可能最低電圧を対象とする場合、個別に作動させる意味のある複数の補機（例えば、エアポンプ６０とエアコンディショナ９０）であれば、補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ を複数設定し、段階的に目標ＦＣ電圧 $V_{fc\_tgt}$ とすることもできる。或いは、複数の補機の作動可能最低電圧を対象とする場合、最も高い作動可能最低電圧を補機作動可能最低電圧 $V_{amin}$ とすることも可能である。

#### 【０１４８】

上記実施形態では、第１～第６暖機モードにおいて酸素濃度 $C_o$ を制御するために、循環弁開度 $c$ 、エアポンプ回転数 $N_{ap}$ 及び背圧弁開度 $b_p$ を可変としたが、酸素濃度 $C_o$ を制御できるものであれば、これに限らない。例えば、エアポンプ回転数 $N_{ap}$ は一定とし、循環弁開度 $c$ を可変とすることもできる。これにより、エアポンプ６０の出力音が一定となるため、当該出力音が可変となることにより乗員に与える違和感を防止することが可能となる。

#### 【符号の説明】

#### 【０１４９】

１０…燃料電池車両

１４…走行モータ（駆動力発生源）

４０…燃料電池スタック

８６…温度センサ

１２…燃料電池システム

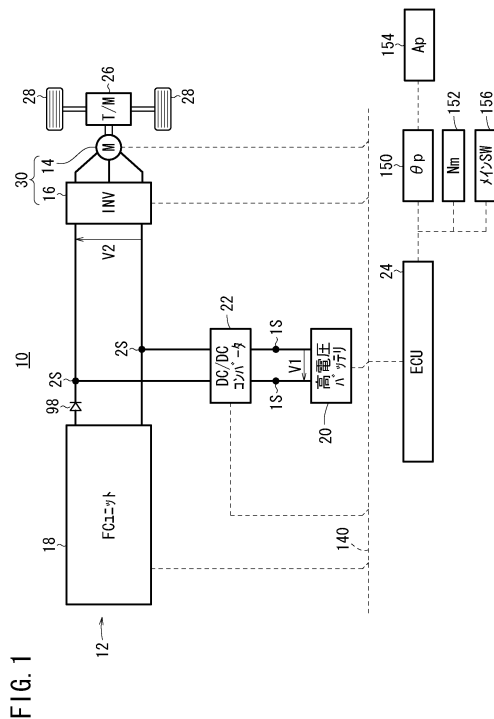
２４…ＥＣＵ

６０…エアポンプ（補機）

10

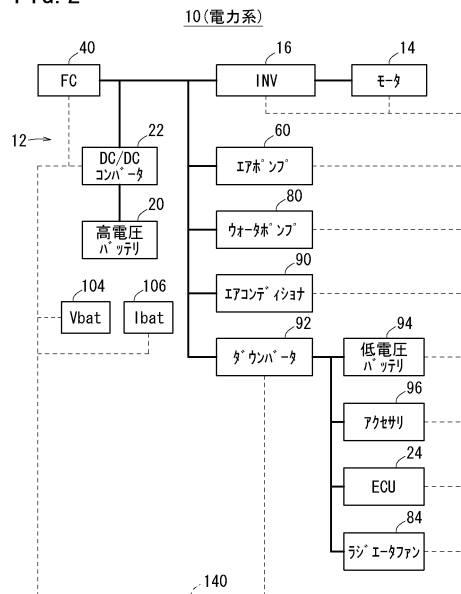
20

【図１】

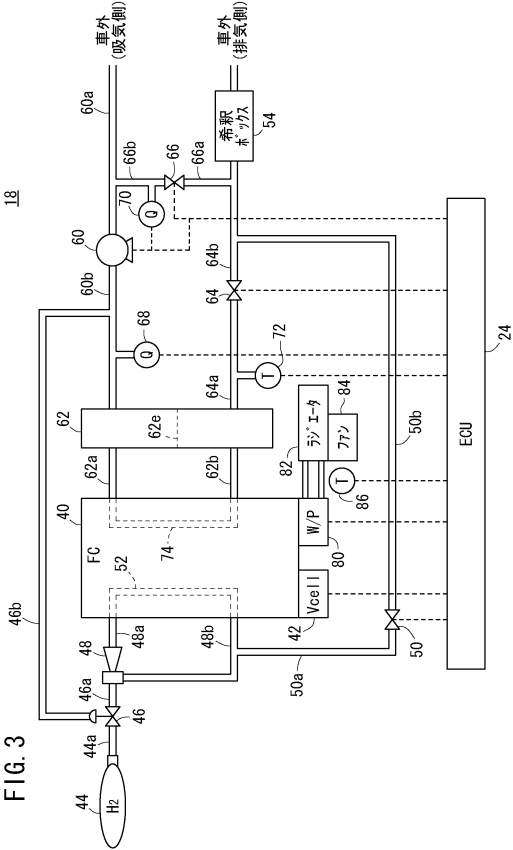


【図２】

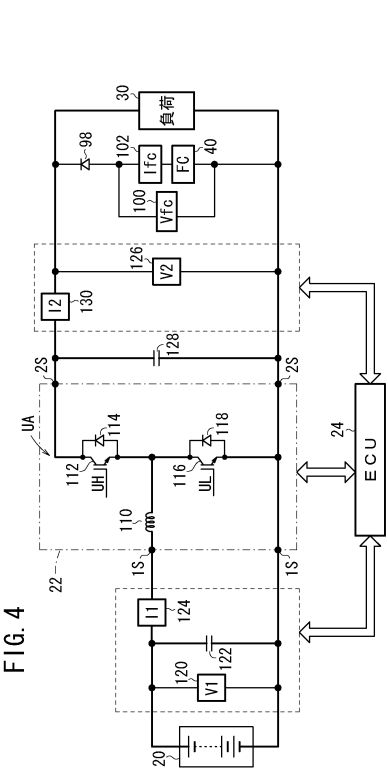
FIG. 2



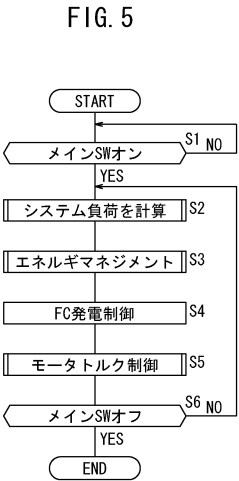
【図 3】



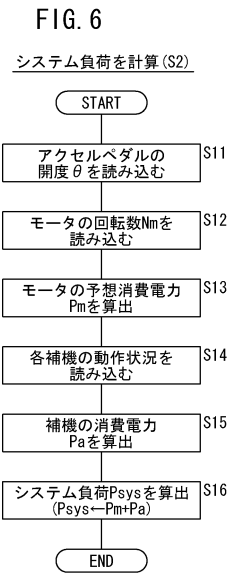
【図 4】



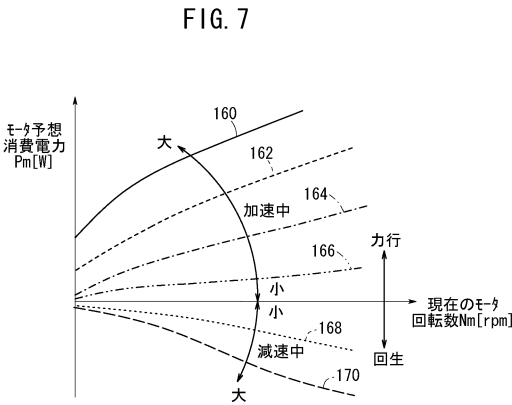
【図 5】



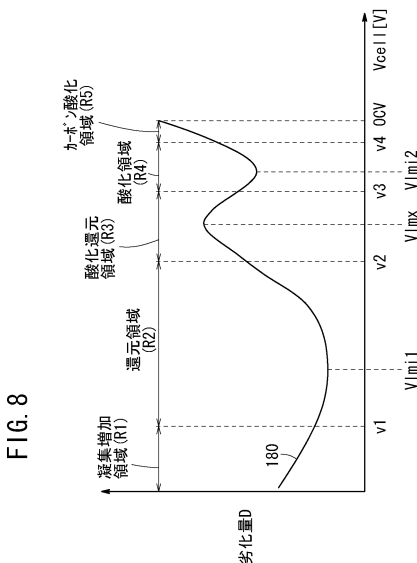
【図 6】



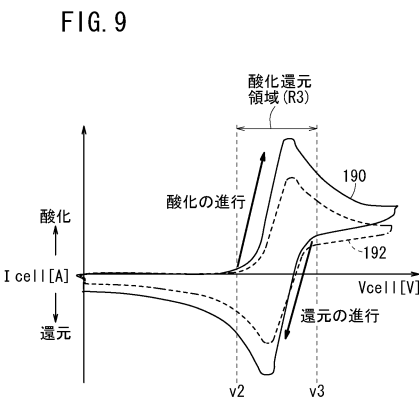
【図 7】



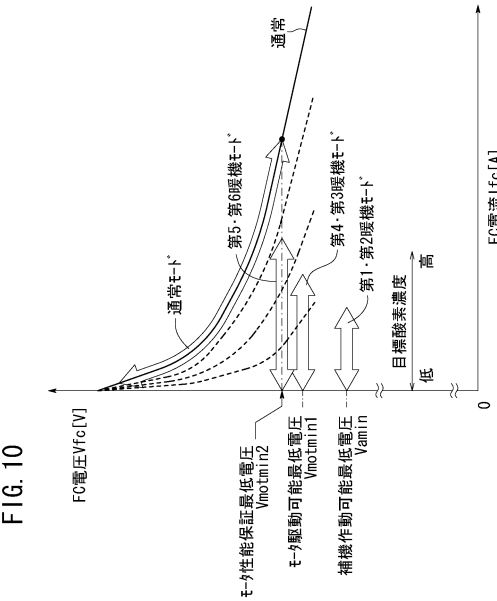
【図 8】



【図 9】

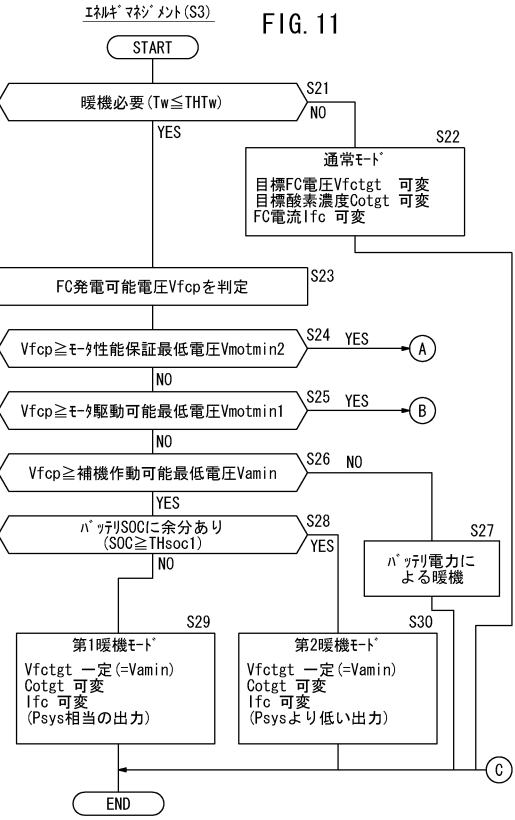


【図 10】

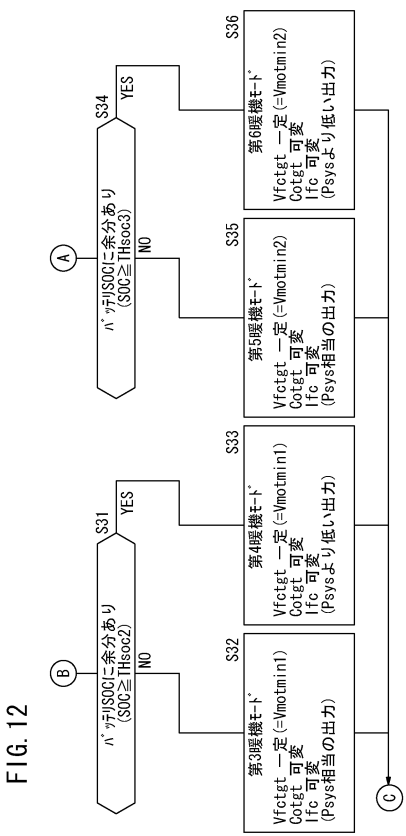




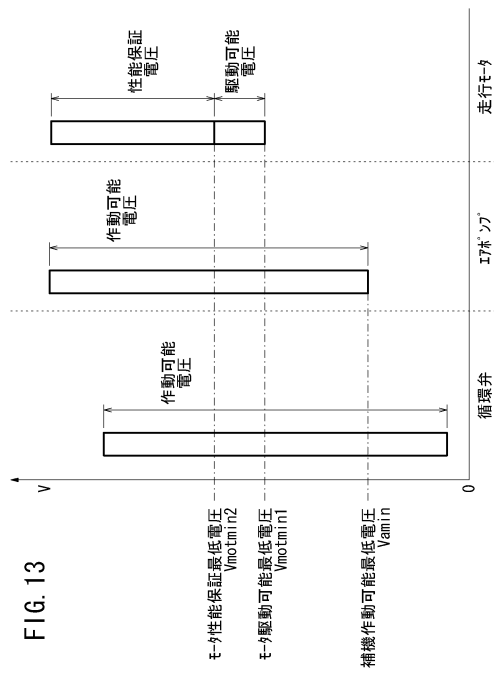
【図 1 1】



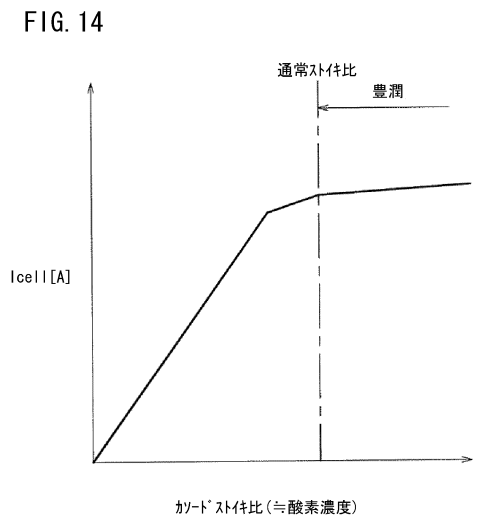
【図 1 2】



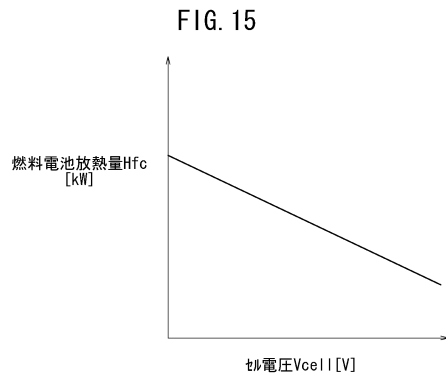
【図 1 3】



【図 1 4】

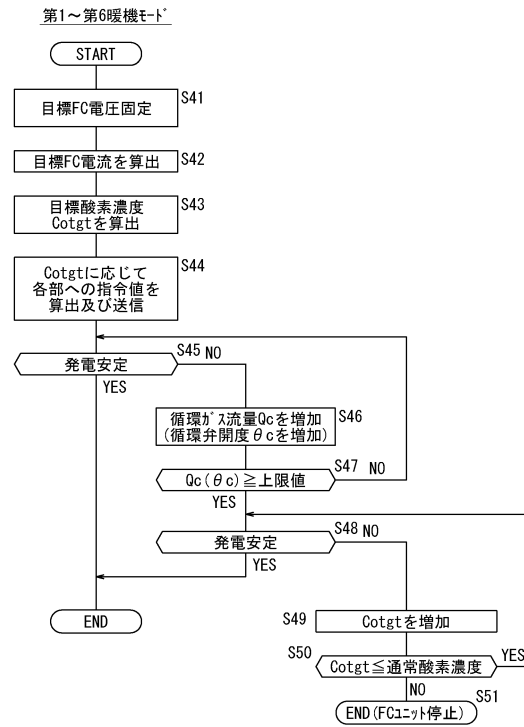


【図 15】



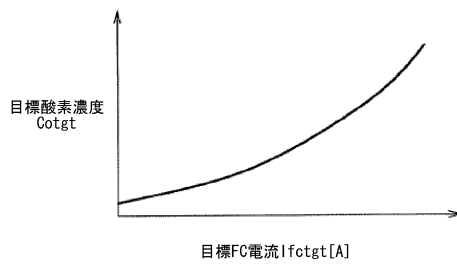
【図 16】

FIG. 16



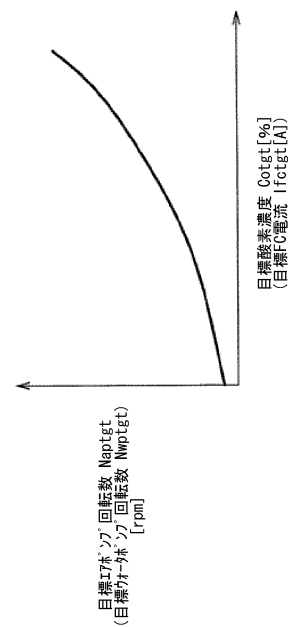
【図 17】

FIG. 17



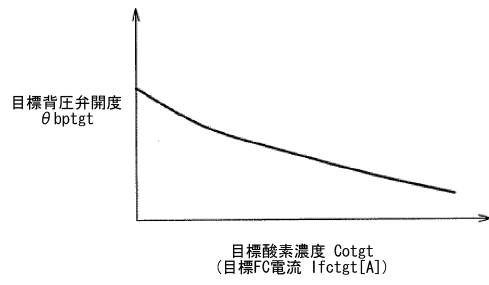
【図 18】

FIG. 18



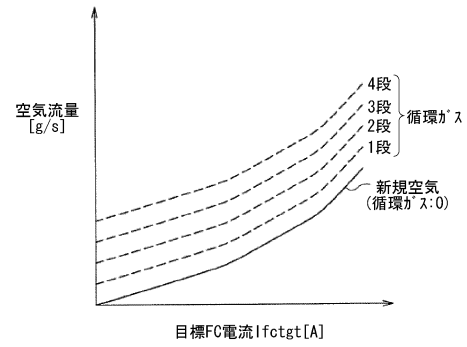
【図 19】

FIG. 19



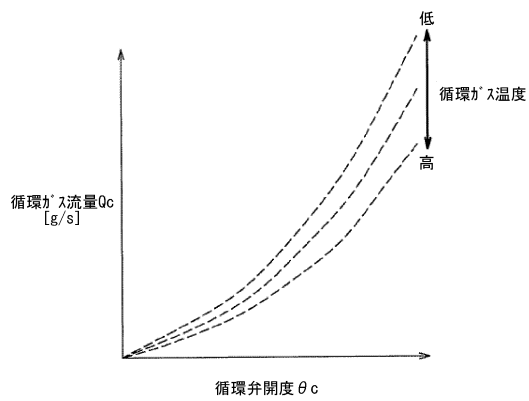
【図 20】

FIG. 20



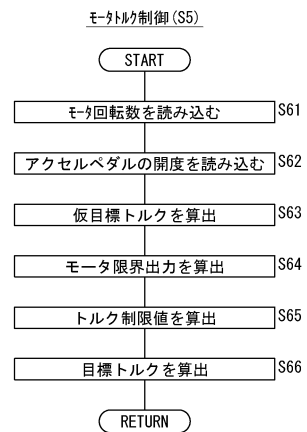
【図 21】

FIG. 21



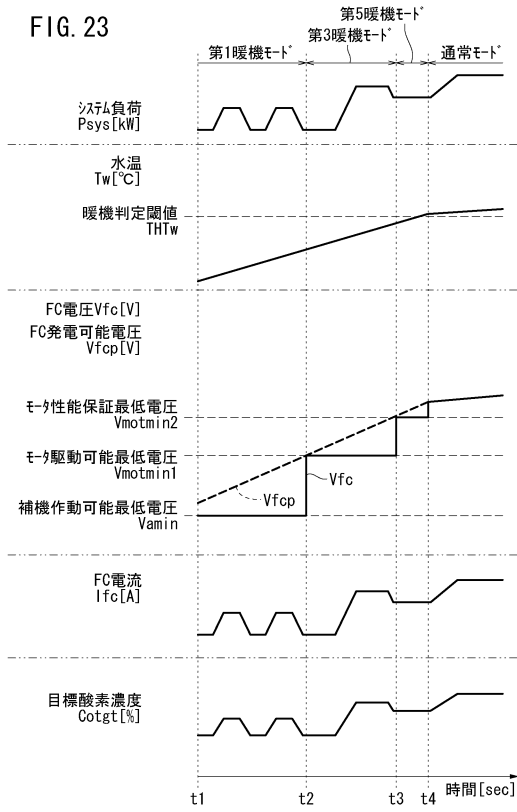
【図 22】

FIG. 22



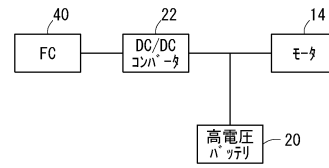
【図 2 3】

FIG. 23



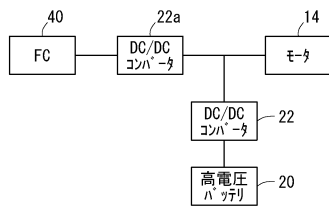
【図 2 4】

FIG. 24



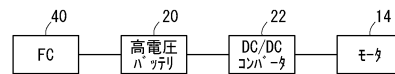
【図 2 5】

FIG. 25



【図 2 6】

FIG. 26



---

フロントページの続き

- (72)発明者 数野 修一  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 佐伯 響  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 白坂 卓也  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 渡邊 和典  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

審査官 前原 義明

- (56)参考文献 特開2009-238660(JP,A)  
特開2004-178998(JP,A)  
特開2009-032605(JP,A)  
特開2004-296338(JP,A)  
特開2007-188825(JP,A)  
特開2007-188826(JP,A)  
特開2009-200005(JP,A)  
特開2009-070574(JP,A)  
特開平09-231991(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 8/00 - 8/24  
B60L 11/18