

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4863171号
(P4863171)

(45) 発行日 平成24年1月25日 (2012. 1. 25)

(24) 登録日 平成23年11月18日 (2011. 11. 18)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 M 8/04 (2006. 01)

H O 1 M 8/04 X

H O 1 M 8/12 (2006. 01)

H O 1 M 8/12

H O 1 M 8/06 (2006. 01)

H O 1 M 8/04 Y

H O 1 M 8/06 G

H O 1 M 8/04 G

請求項の数 2 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2009-87413 (P2009-87413)
 (22) 出願日 平成21年3月31日 (2009. 3. 31)
 (65) 公開番号 特開2010-238623 (P2010-238623A)
 (43) 公開日 平成22年10月21日 (2010. 10. 21)
 審査請求日 平成22年9月6日 (2010. 9. 6)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000010087
 T O T O 株式会社
 福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100088694
 弁理士 弟子丸 健
 (74) 代理人 100103609
 弁理士 井野 砂里
 (74) 代理人 100095898
 弁理士 松下 満
 (74) 代理人 100098475
 弁理士 倉澤 伊知郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体電解質型燃料電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

燃料ガスと酸化剤ガスを電気化学的に反応させることにより発電する固体電解質型燃料電池であって、

固体電解質型の燃料電池モジュール内に配置された固体電解質型の燃料電池セルと、

燃料ガスを改質して上記燃料電池セルに供給する改質器であって、所定の温度帯域に応じて燃料ガスと酸化剤ガスを化学反応させることにより燃料ガスを部分酸化改質する改質反応である P O X、及び、燃料ガスと水蒸気を化学反応させることにより燃料ガスを水蒸気改質する改質反応である S R、及び、上記 P O X と上記 S R とを併用させることにより燃料ガスをオートサーマル改質する改質反応である A T R のいずれかの改質反応によって燃料ガスを水素に改質する上記改質器と、

上記改質器による改質状態を変更するための改質器温度を検出する改質器温度検出手段と、

上記燃料電池モジュールの運転を制御する制御手段と、を有し、

上記制御手段は、上記燃料電池モジュールの運転の起動を制御する起動制御手段と、上記燃料電池モジュールの運転の停止を制御する停止制御手段と、を備え、

上記起動制御手段は、燃料ガスを着火して燃焼させた後、上記改質器温度検出手段が検出した上記改質器温度が、上記 P O X が開始する P O X 開始温度よりも低い場合には、燃料ガスと酸化剤ガスとの燃焼により生じる燃焼熱によって上記改質器を昇温させる燃焼運転を実行し、

上記改質器温度が上記 P O X 開始温度以上であり且つ上記水蒸気改質が可能な温度未満の P O X 温度帯域内にある場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の P O X を実行し、

上記改質器温度が上記水蒸気改質が可能な温度以上であり且つ所定の定常温度未満の A T R 温度帯域内にある場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の A T R を実行し、

上記改質器温度が、上記所定の定常温度以上である場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の S R を実行し、

上記起動制御手段は、更に、上記燃料電池モジュールが高温状態からの停止に伴って上記停止制御手段による停止処理が実行され、上記通常起動時の P O X 温度帯域内で運転の再起動が実行された場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止し、上記通常起動時の P O X 温度帯域から、この通常起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも低い下限値を備えた再起動時の P O X 温度帯域に変更すると共に、上記通常起動時の A T R 温度帯域から、この通常起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低く且つ上記通常起動時の P O X 温度帯域内にある下限値を備えた再起動時の A T R 温度帯域に変更することにより、上記通常起動時の P O X による通常起動制御とは異なる再起動制御を実行し、この再起動制御は、再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值以上である場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記再起動時の A T R 温度帯域に基づいた A T R による再起動を実行し、上記再起動制御は、この再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低い場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記改質器温度が上記再起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも高い所定温度に低下するまで上記停止制御手段による運転の停止を継続した後に、上記再起動時の P O X 温度帯域に基づいた P O X による再起動を実行することを特徴とする固体電解質型燃料電池。

【請求項 2】

上記再起動制御で行われる P O X は、上記通常起動時の P O X よりも酸化剤ガスの供給量を少なくするように構成されている請求項 1 記載の固体電解質型燃料電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体電解質型燃料電池に係わり、特に、燃料ガスと酸化剤ガスを電気化学的に反応させることにより発電する固体電解質型燃料電池に関する。

【背景技術】

【0002】

固体電解質型燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell : 以下「S O F C」とも言う) は、電解質として酸化物イオン導電性固体電解質を用い、その両側に電極を取り付け、一方の側に燃料ガスを供給し、他方の側に酸化剤 (空気、酸素等) を供給して、比較的高温で動作する燃料電池である。

【0003】

この S O F C においては、酸化物イオン導電性固体電解質を通過した酸素イオンと燃料との反応によって水蒸気又は二酸化炭素を生成し、電気エネルギー及び熱エネルギーが発生する。電気エネルギーは、S O F C 外部に取り出されて、各種電氣的用途に使用される。一方、熱エネルギーは、改質器、燃料、酸化剤等に伝達され、これらの温度上昇に使用される。

【0004】

従来 S O F C においては、運転中に燃料ガスの供給系統のマイコンメータが異常を検知したり、地震等に伴う異常が発生した際、或いは補機類のメンテナンスなどを行う際には、運転を一時的に停止させる必要がある。そして、これらの異常などの一時的な要因が解消した後、或いは、メンテナンスが終了した後は、安定した発電に向けて、できるだ

け短い時間での迅速な運転の再起動が要求される。

そこで、燃料電池システムにおける運転の再起動の迅速化を図るために、従来のSOFCにおいては、例えば、特許文献1に記載されているように、燃料電池システムの所定の制御処理中に再起動要求がなされた場合には、燃料電池システムの停止処理ルーチンをすべて実行した後に最初の起動処理ルーチンから起動処理を実行するのではなく、起動処理を再起動要求がなされた時点の制御処理と同条件の時点に移行して実行するようにしたものが提案されている。

【0005】

一方、例えば、特許文献2に記載されている従来のSOFCでは、燃料電池セルスタックを収容している収容容器内に配置することによって熱効率を高めると共に、余剰ガスを収容容器内で燃焼させることによって従来よりも高温の燃焼ガスで加熱でき、低負荷運転時にも水蒸気改質に必要な熱量を得ることができるものが提案されている。この従来のSOFCにおいては、迅速な起動を行うために、起動時に燃料改質器の温度が部分酸化反応開始温度未満の場合には燃焼ガスによる燃焼熱によって燃料改質器を加熱する加熱運転を行い、燃料改質器の温度が部分酸化反応開始温度以上で水蒸気改質可能温度未満の温度帯域内の温度まで上昇すると、部分酸化反応の反応熱と燃焼ガスによる燃焼熱によって燃料改質器を加熱して部分酸化改質反応（以下「POX」と呼ぶ）を行うようになっている。さらに、燃料改質器の温度が水蒸気改質可能温度以上で定常温度未満の温度帯域まで上昇すると、部分酸化反応の反応熱と燃焼ガスによる燃焼熱と水蒸気改質反応の吸熱を制御して燃料改質器を加熱し、部分酸化改質と水蒸気改質とを併用したオートサーマル改質反応（以下「ATR」と呼ぶ）を行い、燃料改質器の温度が定常状態になると、燃焼ガスによる燃焼熱により燃料改質器を加熱し、水蒸気改質反応（以下「SR」と呼ぶ）を行うようになっている。すなわち、このような従来のSOFCにおいては、起動時の燃料改質器の温度上昇に伴ってPOX、ATR、SRという順序を踏まえて燃料の改質を行いながら起動を実行するため、安定した迅速な起動ができるようになっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-269196号公報

【特許文献2】特開2004-319420号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述した特許文献1及び特許文献2のSOFCにおいては、運転の再起動時には、停止中の燃料電池セルやスタックに残存している余熱も考慮すると燃料電池セルやスタックの一部が高温状態になっていることが少なくない。

これに関し、本発明者らは、このような燃料電池セルやスタックが高温状態にあるときに、特にPOXによって再起動を行うとセルに大きな負担を与えてしまうという重要な新たな課題を見出した。

より具体的には、制御上の改質器温度はPOX運転が可能な状態に見えても、停止運転制御中からの再起動では燃料電池セルやスタックの一部が高温状態となることがあるため、燃料改質器の温度が部分酸化反応開始温度以上で水蒸気改質可能温度未満の温度帯域内にあるとしてPOXを行ってしまうと、POXは空気を投入して部分酸化を伴う発熱反応であるため、セルに酸化影響を与えたり、異常な高温状態になることがあり、これがセル自身の耐久性や発電能力を除々に低下させてしまうという重要な課題を見出した。この課題を解決し、さらに再起動に要する時間をも大幅に短縮させることをも実現すべく

【0008】

一方、上述した特許文献1及び特許文献2においては、再起動時にセルを保護しつつ、再起動の更なる迅速化を図るために高温からの温度低下時における再起動時にあつては、

通常起動時の P O X 温度帯域であるとしても通常起動時の P O X を禁止して、通常起動時の P O X とは異なる再起動制御を実行するという思想については何ら開示も示唆もされておらず、上述した新たな課題を解決するものではない。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、上述した新たな課題を解決するためになされたものであり、高温からの温度低下を伴った停止時にあっては、通常起動時の P O X とは異なる再起動制御を代わりに実行することにより、セルへの負担を軽減して耐久性を向上させると共に、再起動用に設定された再起動用制御によって再起動を行うため起動時間をセルへの影響を防止しつつ短縮することができる固体電解質型燃料電池 (S O F C) を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

上記の目的を達成するために、本発明は、燃料ガスと酸化剤ガスを電気化学的に反応させることにより発電する固体電解質型燃料電池であって、固体電解質型の燃料電池モジュール内に配置された固体電解質型の燃料電池セルと、燃料ガスを改質して上記燃料電池セルに供給する改質器であって、所定の温度帯域に応じて燃料ガスと酸化剤ガスを化学反応させることにより燃料ガスを部分酸化改質する改質反応である P O X、及び、燃料ガスと水蒸気を化学反応させることにより燃料ガスを水蒸気改質する改質反応である S R、及び、上記 P O X と上記 S R とを併用させることにより燃料ガスをオートサーマル改質する改質反応である A T R のいずれかの改質反応によって燃料ガスを水素に改質する上記改質器と、上記改質器による改質状態を変更するための改質器温度を検出する改質器温度検出手段と、上記燃料電池モジュールの運転を制御する制御手段と、を有し、上記制御手段は、上記燃料電池モジュールの運転の起動を制御する起動制御手段と、上記燃料電池モジュールの運転の停止を制御する停止制御手段と、を備え、上記起動制御手段は、燃料ガスを着火して燃焼させた後、上記改質器温度検出手段が検出した上記改質器温度が、上記 P O X が開始する P O X 開始温度よりも低い場合には、燃料ガスと酸化剤ガスとの燃焼により生じる燃焼熱によって上記改質器を昇温させる燃焼運転を実行し、上記改質器温度が上記 P O X 開始温度以上であり且つ上記水蒸気改質が可能な温度未満の P O X 温度帯域内にある場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の P O X を実行し、上記改質器温度が上記水蒸気改質が可能な温度以上であり且つ所定の定常温度未満の A T R 温度帯域内にある場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の A T R を実行し、上記改質器温度が、上記所定の定常温度以上である場合には、上記改質器を昇温させるために通常起動時の S R を実行し、上記起動制御手段は、更に、上記燃料電池モジュールが高温状態からの停止に伴って上記停止制御手段による停止処理が実行され、上記通常起動時の P O X 温度帯域内で運転の再起動が実行された場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止し、上記通常起動時の P O X 温度帯域から、この通常起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも低い下限値を備えた再起動時の P O X 温度帯域に変更すると共に、上記通常起動時の A T R 温度帯域から、この通常起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低く且つ上記通常起動時の P O X 温度帯域内にある下限値を備えた再起動時の A T R 温度帯域に変更することにより、上記通常起動時の P O X による通常起動制御とは異なる再起動制御を実行し、この再起動制御は、再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值以上である場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記再起動時の A T R 温度帯域に基づいた A T R による再起動を実行し、上記再起動制御は、この再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低い場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記改質器温度が上記再起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも高い所定温度に低下するまで上記停止制御手段による運転の停止を継続した後に、上記再起動時の P O X 温度帯域に基づいた P O X による再起動を実行することを特徴している。

このように構成された本発明においては、燃料電池モジュールが高温の状態から停止さ

10

20

30

40

50

れ停止制御手段によって停止処理が実行されている際に、通常起動時の P O X 温度帯域内で再起動が発生した際には、改質器温度が通常起動時の P O X 温度帯域内にあっても、通常起動時の P O X による起動を禁止して、通常起動時の P O X 温度帯域から、この通常起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも低い下限値を備えた再起動時の P O X 温度帯域に変更すると共に、通常起動時の A T R 温度帯域から、この通常起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低く且つ通常起動時の P O X 温度帯域内にある下限値を備えた再起動時の A T R 温度帯域に変更することにより、通常起動時の P O X による通常起動制御とは異なる再起動制御を実行するようにしている。この結果、本発明によれば、通常起動時の P O X をそのまま実行した場合に比べて、見かけ上の温度が低くても燃料電池セルや改質器の一部などに蓄えられた大きな余熱に起因して燃料電池セルに酸化の影響を与えたり、予期しない高温状態にしてしまうことによるセルへの負担を軽減することができ、セルの耐久性を向上させることができる。また、燃料電池セルや改質器に残存している余熱を積極的に利用した再起動制御を実行するように工夫したことにより、セルに影響を与えることなく燃料電池モジュールの温度回復を早めて起動時間を短縮することができる。

10

また、本発明においては、この再起動制御は、再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值以上である場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記再起動時の A T R 温度帯域に基づいた A T R による再起動を実行し、上記再起動制御は、この再起動制御開始時の改質器温度が上記通常起動時の P O X 温度帯域内の温度であり且つ上記再起動時の A T R 温度帯域の下限值よりも低い場合には、上記通常起動時の P O X による起動を禁止すると共に、上記改質器温度が上記再起動時の P O X 温度帯域の下限值よりも高い所定温度に低下するまで上記停止制御手段による運転の停止を継続した後に、上記再起動時の P O X 温度帯域に基づいた P O X による再起動を実行するようにしたので、高温状態で P O X を実行することによるセルへのダメージを抑制しつつ、P O X による発熱反応によって迅速に燃料電池モジュールの温度回復を図り速やかに通常運転に移行させることができる。

20

【 0 0 1 4 】

本発明において、好ましくは、上記再起動制御で行われる P O X は、上記通常起動時の P O X よりも酸化剤ガスの供給量を少なくするように構成されている。

このように構成された本発明においては、固体電解質型燃料電池セルや改質器に残存している余熱を積極的に利用することにより迅速な起動を可能にする一方で、酸化剤ガスが多く投入されることによって余熱の影響で燃料電池セルに酸化影響を与えることを防止できる。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明の固体電解質型燃料電池 (S O F C) によれば、高温状態からの停止時における再起動時にあっては、通常起動時の P O X を禁止する代わりに、この通常起動時の P O X とは異なる再起動制御を実行することにより、セルへの負担を軽減して耐久性を向上させることができる共に、余熱を積極的に利用した運転によって再起動時の起動時間を大幅に短縮することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) を示す全体構成図である。

【図 2】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の燃料電池モジュールを示す正面断面図である。

【図 3】図 2 の I I I - I I I 線に沿った断面図である。

【図 4】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の燃料電池セルユニットを示す部分断面図である。

【図 5】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の燃料電池セルス

50

タックを示す斜視図である。

【図 6】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）を示すブロック図である。

【図 7】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の起動時の動作を示すタイムチャートである。

【図 8】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の運転停止時の動作を示すタイムチャートである。

【図 9】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の通常起動時と再起動時の動作の各運転状態における燃料流量、改質用空気流量、発電用空気流量、水流量、及び、改質器及びスタックの移行温度条件を示すデータテーブルである。

【図 10】本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）において再起動を行うための再起動制御フローを示すフローチャートである。

【図 11】図 10 に示す本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の再起動制御フローに基づいて再起動を実行した場合の動作を示すタイムチャートについて、通常起動時の動作を示すタイムチャートと比較した図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

次に、添付図面を参照して、本発明の実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）を説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）を示す全体構成図である。この図 1 に示すように、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）1 は、燃料電池モジュール 2 と、補機ユニット 4 を備えている。

【0018】

燃料電池モジュール 2 は、ハウジング 6 を備え、このハウジング 6 内部には、断熱材（図示せず但し断熱材は必須の構成ではなく、なくても良いものである。）を介して密封空間 8 が形成されている。なお、断熱材は設けないようにしても良い。この密閉空間 8 の下方部分である発電室 10 には、燃料ガスと酸化剤（空気）とにより発電反応を行う燃料電池セル集合体 12 が配置されている。この燃料電池セル集合体 12 は、10 個の燃料電池セルスタック 14（図 5 参照）を備え、この燃料電池セルスタック 14 は、16 本の燃料電池セルユニット 16（図 4 参照）から構成されている。このように、燃料電池セル集合体 12 は、160 本の燃料電池セルユニット 16 を有し、これらの燃料電池セルユニット 16 の全てが直列接続されている。

【0019】

燃料電池モジュール 2 の密封空間 8 の上述した発電室 10 の上方には、燃焼室 18 が形成され、この燃焼室 18 で、発電反応に使用されなかった残余の燃料ガスと残余の酸化剤（空気）とが燃焼し、排気ガスを生成するようになっている。

また、この燃焼室 18 の上方には、燃料ガスを改質する改質器 20 が配置され、前記残余ガスの燃焼熱によって改質器 20 を改質反応が可能な温度となるように加熱している。さらに、この改質器 20 の上方には、燃焼熱を受けて空気を加熱するための空気用熱交換器 22 が配置されている。

【0020】

次に、補機ユニット 4 は、水道等の水供給源 24 からの水を貯水してフィルターにより純水とする純水タンク 26 と、この貯水タンクから供給される水の流量を調整する水流量調整ユニット 28（モータで駆動される「水ポンプ」等）を備えている。また、補機ユニット 4 は、都市ガス等の燃料供給源 30 から供給された燃料ガスを遮断するガス遮断弁 32 と、燃料ガスから硫黄を除去するための脱硫器 36 と、燃料ガスの流量を調整する燃料流量調整ユニット 38（モータで駆動される「燃料ポンプ」等）を備えている。さらに、補機ユニット 4 は、空気供給源 40 から供給される酸化剤である空気を遮断する電磁弁 42 と、空気の流量を調整する改質用空気流量調整ユニット 44 及び発電用空気流量調整ユニット 45（モータで駆動される「空気ブロア」等）と、改質器 20 に供給される改質用

空気を加熱する第１ヒータ４６と、発電室に供給される発電用空気を加熱する第２ヒータ４８とを備えている。これらの第１ヒータ４６と第２ヒータ４８は、起動時の昇温を効率よく行うために設けられているが、省略しても良い。

【００２１】

次に、燃料電池モジュール２には、排気ガスが供給される温水製造装置５０が接続されている。この温水製造装置５０には、水供給源２４から水道水が供給され、この水道水が排気ガスの熱により温水となり、図示しない外部の給湯器の貯湯タンクへ供給されるようになっている。

また、燃料電池モジュール２には、燃料ガスの供給量等を制御するための制御ボックス５２が取り付けられている。

10

さらに、燃料電池モジュール２には、燃料電池モジュールにより発電された電力を外部に供給するための電力取出部（電力変換部）であるインバータ５４が接続されている。

【００２２】

次に、図２及び図３により、本発明の実施形態による固体電解質型燃料電池（ＳＯＦＣ）の燃料電池モジュールの内部構造を説明する。図２は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（ＳＯＦＣ）の燃料電池モジュールを示す側面断面図であり、図３は、図２のⅢⅢ-ⅢⅢ線に沿って断面図である。

図２及び図３に示すように、燃料電池モジュール２のハウジング６内の密閉空間８には、上述したように、下方から順に、燃料電池セル集合体１２、改質器２０、空気用熱交換器２２が配置されている。

20

【００２３】

改質器２０は、その上流端側に純水を導入するための純水導入管６０と改質される燃料ガスと改質用空気を導入するための被改質ガス導入管６２が取り付けられ、また、改質器２０の内部には、上流側から順に、蒸発部２０ａと改質部２０ｂを形成され、改質部２０ｂには改質触媒が充填されている。この改質器２０に導入された水蒸気（純水）が混合された燃料ガス及び空気は、改質器２０内に充填された改質触媒により改質される。改質触媒としては、アルミナの球体表面にニッケルを付与したものや、アルミナの球体表面にルテニウムを付与したものが適宜用いられる。

【００２４】

この改質器２０の下流端側には、燃料ガス供給管６４が接続され、この燃料ガス供給管６４は、下方に延び、さらに、燃料電池セル集合体１２の下方に形成されたマニホールド６６内で水平に延びている。燃料ガス供給管６４の水平部６４ａの下方面には、複数の燃料供給孔６４ｂが形成されており、この燃料供給孔６４ｂから、改質された燃料ガスがマニホールド６６内に供給される。

30

【００２５】

このマニホールド６６の上方には、上述した燃料電池セルスタック１４を支持するための貫通孔を備えた下支持板６８が取り付けられており、マニホールド６６内の燃料ガスが、燃料電池セルユニット１６内に供給される。

【００２６】

次に、改質器２０の上方には、空気用熱交換器２２が設けられている。この空気用熱交換器２２は、上流側に空気集約室７０、下流側に２つの空気分配室７２を備え、これらの空気集約室７０と空気分配室７２は、６個の空気流路管７４により接続されている。ここで、図３に示すように、３個の空気流路管７４が一組（７４ａ，７４ｂ，７４ｃ，７４ｄ，７４ｅ，７４ｆ）となっており、空気集約室７０内の空気が各組の空気流路管７４からそれぞれの空気分配室７２へ流入する。

40

【００２７】

空気用熱交換器２２の６個の空気流路管７４内を流れる空気は、燃焼室１８で燃焼して上昇する排気ガスにより予熱される。

空気分配室７２のそれぞれには、空気導入管７６が接続され、この空気導入管７６は、下方に延び、その下端側が、発電室１０の下方空間に連通し、発電室１０に余熱された空

50

気を導入する。

【 0 0 2 8 】

次に、マニホール 66 の下方には、排気ガス室 78 が形成されている。また、図 3 に示すように、ハウジング 6 の長手方向に沿った面である前面 6a と後面 6b の内側には、上下方向に延びる排気ガス通路 80 が形成され、この排気ガス通路 80 の上端側は、空気用熱交換器 22 が配置された空間と連通し、下端側は、排気ガス室 78 と連通している。また、排気ガス室 78 の下面のほぼ中央には、排気ガス排出管 82 が接続され、この排気ガス排出管 82 の下流端は、図 1 に示す上述した温水製造装置 50 に接続されている。

図 2 に示すように、燃料ガスと空気との燃焼を開始するための点火装置 83 が、燃焼室 18 に設けられている。

10

【 0 0 2 9 】

次に図 4 により燃料電池セルユニット 16 について説明する。図 4 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (SOFC) の燃料電池セルユニットを示す部分断面図である。

図 4 に示すように、燃料電池セルユニット 16 は、燃料電池セル 84 と、この燃料電池セル 84 の上下方向端部にそれぞれ接続された内側電極端子 86 とを備えている。

燃料電池セル 84 は、上下方向に延びる管状構造体であり、内部に燃料ガス流路 88 を形成する円筒形の内側電極層 90 と、円筒形の外側電極層 92 と、内側電極層 90 と外側電極層 92 との間にある電解質層 94 とを備えている。この内側電極層 90 は、燃料ガスが通過する燃料極であり、(-) 極となり、一方、外側電極層 92 は、空気と接触する空気極であり、(+) 極となっている。

20

【 0 0 3 0 】

燃料電池セル 16 の上端側と下端側に取り付けられた内側電極端子 86 は、同一構造であるため、ここでは、上端側に取り付けられた内側電極端子 86 について具体的に説明する。内側電極層 90 の上部 90a は、電解質層 94 と外側電極層 92 に対して露出された外周面 90b と上端面 90c とを備えている。内側電極端子 86 は、導電性のシール材 96 を介して内側電極層 90 の外周面 90b と接続され、さらに、内側電極層 90 の上端面 90c とは直接接触することにより、内側電極層 90 と電氣的に接続されている。内側電極端子 86 の中心部には、内側電極層 90 の燃料ガス流路 88 と連通する燃料ガス流路 98 が形成されている。

30

【 0 0 3 1 】

内側電極層 90 は、例えば、Ni と、Ca や Y、Sc 等の希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたジルコニアとの混合体、Ni と、希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたセリアとの混合体、Ni と、Sr、Mg、Co、Fe、Cu から選ばれる少なくとも一種をドーブしたランタンガレートとの混合体、の少なくとも一種から形成される。

【 0 0 3 2 】

電解質層 94 は、例えば、Y、Sc 等の希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたジルコニア、希土類元素から選ばれる少なくとも一種をドーブしたセリア、Sr、Mg から選ばれる少なくとも一種をドーブしたランタンガレート、の少なくとも一種から形成される。

40

【 0 0 3 3 】

外側電極層 92 は、例えば、Sr、Ca から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンマンガナイト、Sr、Co、Ni、Cu から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンフェライト、Sr、Fe、Ni、Cu から選ばれた少なくとも一種をドーブしたランタンコバルタイト、銀、などの少なくとも一種から形成される。

【 0 0 3 4 】

次に図 5 により燃料電池セルスタック 14 について説明する。図 5 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (SOFC) の燃料電池セルスタックを示す斜視図である。

50

図 5 に示すように、燃料電池セルスタック 1 4 は、1 6 本の燃料電池セルユニット 1 6 を備え、これらの燃料電池セルユニット 1 6 の下端側及び上端側が、それぞれ、セラミック製の下支持板 6 8 及び上支持板 1 0 0 により支持されている。これらの下支持板 6 8 及び上支持板 1 0 0 には、内側電極端子 8 6 が貫通可能な貫通穴 6 8 a 及び 1 0 0 a がそれぞれ形成されている。

【 0 0 3 5 】

さらに、燃料電池セルユニット 1 6 には、集電体 1 0 2 及び外部端子 1 0 4 が取り付けられている。この集電体 1 0 2 は、燃料極である内側電極層 9 0 に取り付けられた内側電極端子 8 6 と電氣的に接続される燃料極用接続部 1 0 2 a と、空気極である外側電極層 9 2 の外周面全体と電氣的に接続される空気極用接続部 1 0 2 b とにより一体的に形成されている。空気極用接続部 1 0 2 b は、外側電極層 9 2 の表面を上下方向に延びる鉛直部 1 0 2 c と、この鉛直部 1 0 2 c から外側電極層 9 2 の表面に沿って水平方向に延びる多数の水平部 1 0 2 d とから形成されている。また、燃料極用接続部 1 0 2 a は、空気極用接続部 1 0 2 b の鉛直部 1 0 2 c から燃料電池セルユニット 1 6 の上下方向に位置する内側電極端子 8 6 に向って斜め上方又は斜め下方に向って直線的に延びている。

【 0 0 3 6 】

さらに、燃料電池セルスタック 1 4 の端（図 5 では左端の奥側及び手前側）に位置する 2 個の燃料電池セルユニット 1 6 の上側端及び下側端の内側電極端子 8 6 には、それぞれ外部端子 1 0 4 が接続されている。これらの外部端子 1 0 4 は、隣接する燃料電池セルスタック 1 4 の端にある燃料電池セルユニット 1 6 の外部端子 1 0 4（図示せず）に接続され、上述したように、1 6 0 本の燃料電池セルユニット 1 6 の全てが直列接続されるようになっている。

【 0 0 3 7 】

次に図 6 により本実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）に取り付けられたセンサ類等について説明する。図 6 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）を示すブロック図である。

図 6 に示すように、固体電解質型燃料電池 1 は、制御部 1 1 0 を備え、この制御部 1 1 0 には、使用者が操作するための「O N」や「O F F」等の操作ボタンを備えた操作装置 1 1 2、発電出力値（ワット数）等の種々のデータを表示するための表示装置 1 1 4、及び、異常状態のとき等に警報（ワーニング）を発する報知装置 1 1 6 が接続されている。なお、この報知装置 1 1 6 は、遠隔地にある管理センタに接続され、この管理センタに異常状態を通知するようなものであっても良い。

【 0 0 3 8 】

次に、制御部 1 1 0 には、以下に説明する種々のセンサからの信号が入力されるようになっている。

まず、可燃ガス検出センサ 1 2 0 は、ガス漏れを検知するためのもので、燃料電池モジュール 2 及び補機ユニット 4 に取り付けられている。

C O 検出センサ 1 2 2 は、本来排気ガス通路 8 0 等を経て外部に排出される排気ガス中の C O が、燃料電池モジュール 2 及び補機ユニット 4 を覆う外部ハウジング（図示せず）へ漏れたかどうかを検知するためのものである。

貯湯状態検出センサ 1 2 4 は、図示しない給湯器におけるお湯の温度や水量を検知するためのものである。

【 0 0 3 9 】

電力状態検出センサ 1 2 6 は、インバータ 5 4 及び分電盤（図示せず）の電流及び電圧等を検知するためのものである。

発電用空気流量検出センサ 1 2 8 は、発電室 1 0 に供給される発電用空気の流量を検出するためのものである。

改質用空気流量センサ 1 3 0 は、改質器 2 0 に供給される改質用空気の流量を検出するためのものである。

燃料流量センサ 1 3 2 は、改質器 2 0 に供給される燃料ガスの流量を検出するためのもの

10

20

30

40

50

のである。

【 0 0 4 0 】

水流量センサ 1 3 4 は、改質器 2 0 に供給される純水（水蒸気）の流量を検出するためのものである。

水位センサ 1 3 6 は、純水タンク 2 6 の水位を検出するためのものである。

圧力センサ 1 3 8 は、改質器 2 0 の外部の上流側の圧力を検出するためのものである。

排気温度センサ 1 4 0 は、温水製造装置 5 0 に流入する排気ガスの温度を検出するためのものである。

【 0 0 4 1 】

発電室温度センサ 1 4 2 は、図 3 に示すように、燃料電池セル集合体 1 2 の近傍の前面側と背面側に設けられ、燃料電池セルスタック 1 4 の近傍の温度を検出して、燃料電池セルスタック 1 4（即ち燃料電池セル 8 4 自体）の温度を推定するためのものである。

燃焼室温度センサ 1 4 4 は、燃焼室 1 8 の温度を検出するためのものである。

排気ガス室温度センサ 1 4 6 は、排気ガス室 7 8 の排気ガスの温度を検出するためのものである。

改質器温度センサ 1 4 8 は、改質器 2 0 の温度を検出するためのものであり、改質器 2 0 の入口温度と出口温度から改質器 2 0 の温度を算出する。

外気温度センサ 1 5 0 は、固体電解質型燃料電池（S O F C）が屋外に配置された場合、外気の温度を検出するためのものである。また、外気の湿度等を測定するセンサを設けるようにしても良い。

【 0 0 4 2 】

これらのセンサ類からの信号は、制御部 1 1 0 に送られ、制御部 1 1 0 は、これらの信号によるデータに基づき、水流量調整ユニット 2 8、燃料流量調整ユニット 3 8、改質用空気流量調整ユニット 4 4、発電用空気流量調整ユニット 4 5 に、制御信号を送り、これらのユニットにおける各流量を制御するようになっている。

また、制御ユニット 1 1 0 は、インバータ 5 4 に、制御信号を送り、電力供給量を制御するようになっている。

【 0 0 4 3 】

次に図 7 により本実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）による起動時の動作を説明する。図 7 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の起動時の動作を示すタイムチャートである。

最初は、燃料電池モジュール 2 を温めるために、無負荷状態で、即ち、燃料電池モジュール 2 を含む回路を開いた状態で、運転を開始する。このとき、回路に電流が流れないので、燃料電池モジュール 2 は発電を行わない。

【 0 0 4 4 】

まず、改質用空気流量調整ユニット 4 4 から改質用空気を第 1 ヒータ 4 6 を経由して燃料電池モジュール 2 の改質器 2 0 へ供給する。また、同時に、発電用空気流量調整ユニット 4 5 から発電用空気を第 2 ヒータ 4 8 を経由して燃料電池モジュール 2 の空気用熱交換器 2 2 へ供給し、この発電用空気が、発電室 1 0 及び燃焼室 1 8 に到達する。

この直ぐ後、燃料流量調整ユニット 3 8 から燃料ガスが供給され、改質用空気が混合された燃料ガスが、改質器 2 0 及び燃料電池セルスタック 1 4、燃料電池セルユニット 1 6 を通過して、燃焼室 1 8 に到達する。

【 0 0 4 5 】

次に、点火装置 8 3 により着火して、燃焼室 1 8 にある燃料ガスと空気（改質用空気及び発電用空気）とを燃焼させる。この燃料ガスと空気との燃焼により排気ガスが生じ、この排気ガスにより、発電室 1 0 が暖められ、また、排気ガスが燃料電池モジュール 2 の密封空間 8 内を上昇する際、改質器 2 0 内の改質用空気を含む燃料ガスを暖めると共に、空気熱交換器 2 2 内の発電用空気も暖める。

【 0 0 4 6 】

このとき、燃料流量調整ユニット 3 8 及び改質用空気流量調整ユニット 4 4 により、改

10

20

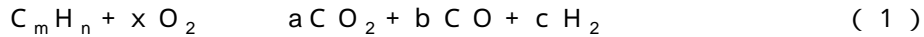
30

40

50

質用空気が混合された燃料ガスが改質器 20 に供給されているので、改質器 20 において、式 (1) に示す部分酸化改質反応 P O X が進行する。この部分酸化改質反応 P O X は、発熱反応であるので、起動性が良好となる。また、この昇温した燃料ガスが燃料ガス供給管 64 により燃料電池セルスタック 14 の下方に供給され、これにより、燃料電池セルスタック 14 が下方から加熱され、また、燃焼室 18 も燃料ガスと空気が燃焼して昇温されているので、燃料電池セルスタック 14 は、上方からも加熱され、この結果、燃料電池セルスタック 14 は、上下方向において、ほぼ均等に昇温可能となっている。この部分酸化改質反応 P O X が進行しても、燃焼室 18 では継続して燃料ガスと空気との燃焼反応が持続される。

【 0 0 4 7 】



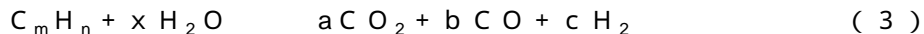
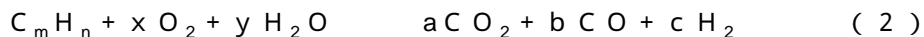
【 0 0 4 8 】

部分酸化改質反応 P O X の開始後、改質器温度センサ 148 により改質器 20 が所定温度 (例えば、600) になったことを検知したとき、水流量調整ユニット 28、燃料流量調整ユニット 38 及び改質用空気流量調整ユニット 44 により、燃料ガスと改質用空気と水蒸気とを予め混合したガスを改質器 20 に供給する。このとき、改質器 20 においては、上述した部分酸化改質反応 P O X と後述する水蒸気改質反応 S R とが併用されたオートサーマル改質反応 A T R が進行する。このオートサーマル改質反応 A T R は、熱的に内部バランスが取れるので、改質器 20 内では熱的に自立した状態で反応が進行する。即ち、酸素 (空気) が多い場合には部分酸化改質反応 P O X による発熱が支配的となり、水蒸気が多い場合には水蒸気改質反応 S R による吸熱反応が支配的となる。この段階では、既に起動の初期段階は過ぎており、発電室 10 内がある程度の温度まで昇温されているので、吸熱反応が支配的であっても大幅な温度低下を引き起こすことはない。また、オートサーマル改質反応 A T R が進行中も、燃焼室 18 では燃焼反応が継続して行われている。

【 0 0 4 9 】

式 (2) に示すオートサーマル改質反応 A T R の開始後、改質器温度センサ 146 により改質器 20 が所定温度 (例えば、700) になったことを検知したとき、改質用空気流量調整ユニット 44 による改質用空気の供給を停止すると共に、水流量調整ユニット 28 による水蒸気の供給を増加させる。これにより、改質器 20 には、空気を含まず燃料ガスと水蒸気のみを含むガスが供給され、改質器 20 において、式 (3) の水蒸気改質反応 S R が進行する。

【 0 0 5 0 】



【 0 0 5 1 】

この水蒸気改質反応 S R は吸熱反応であるので、燃焼室 18 からの燃焼熱と熱バランスをとりながら反応が進行する。この段階では、燃料電池モジュール 2 の起動の最終段階であるため、発電室 10 内が十分高温に昇温されているので、吸熱反応が進行しても、発電室 10 が大幅な温度低下を招くこともない。また、水蒸気改質反応 S R が進行しても、燃焼室 18 では継続して燃焼反応が進行する。

【 0 0 5 2 】

このようにして、燃料電池モジュール 2 は、点火装置 83 により点火した後、部分酸化改質反応 P O X、オートサーマル改質反応 A T R、水蒸気改質反応 S R が、順次進行することにより、発電室 10 内の温度が徐々に上昇する。次に、発電室 10 内及び燃料電池セル 84 の温度が燃料電池モジュール 2 を安定的に作動させる定格温度よりも低い所定の発電温度に達したら、燃料電池モジュール 2 を含む回路を閉じ、燃料電池モジュール 2 による発電を開始し、それにより、回路に電流が流れる。燃料電池モジュール 2 の発電により、燃料電池セル 84 自体も発熱し、燃料電池セル 84 の温度も上昇する。この結果、燃料電池モジュール 2 を作動させる定格定格温度、例えば、600 ~ 800 になる。

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

この後、定格温度を維持するために、燃料電池セル 8 4 で消費される燃料ガス及び空気の量よりも多い燃料ガス及び空気を供給し、燃焼室 1 8 での燃焼を継続させる。なお、発電中は、改質効率の高い水蒸気改質反応 S R で発電が進行する。

【 0 0 5 4 】

次に、図 8 により本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の運転停止時の動作を説明する。図 8 は、本実施形態により固体電解質型燃料電池 (S O F C) の運転停止時の動作を示すタイムチャートである。

図 8 に示すように、燃料電池モジュール 2 の運転停止を行う場合には、先ず、燃料流量調整ユニット 3 8 及び水流量調整ユニット 2 8 を操作して、燃料ガス及び水蒸気の改質器 2 0 への供給量を減少させる。

【 0 0 5 5 】

また、燃料電池モジュール 2 の運転停止を行う場合には、燃料ガス及び水蒸気の改質器 2 0 への供給量を減少させると同時に、改質用空気流量調整ユニット 4 4 による発電用空気の燃料電池モジュール 2 内への供給量を増大させて、燃料電池セル集合体 1 2 及び改質器 2 0 を空気により冷却し、これらの温度を低下させる。その後、発電室の温度が所定温度、例えば、4 0 0 まで低下したとき、燃料ガス及び水蒸気の改質器 2 0 への供給を停止し、改質器 2 0 の水蒸気改質反応 S R を終了する。この発電用空気の供給は、改質器 2 0 の温度が所定温度、例えば、2 0 0 まで低下するまで、継続し、この所定温度となったとき、発電用空気流量調整ユニット 4 5 からの発電用空気の供給を停止する。

【 0 0 5 6 】

このように、本実施形態においては、燃料電池モジュール 2 の運転停止を行うとき、改質器 2 0 による水蒸気改質反応 S R と発電用空気による冷却とを併用しているので、比較的短時間に、燃料電池モジュールの運転を停止させることができる。

【 0 0 5 7 】

次に、図 9 ~ 図 1 1 を参照して、本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) による再起動時の動作を説明する。図 9 は、本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の通常起動時と再起動時の動作の各運転状態における燃料流量、改質用空気流量、発電用空気流量、水流量、及び、改質器及びスタックの移行温度条件を示すデータテーブルである。

【 0 0 5 8 】

まず、図 9 に示すように、本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) は、上述した図 7 に示す本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の起動時の動作と同一の動作を運転の通常起動時の動作として実行する制御モード (以下「通常起動モード」) を備えている。

また、本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) は、図 8 に示す本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の停止動作が実行されている状態で運転の起動 (いわゆる「再起動」) が要求された場合にこの運転の再起動を実行する再起動制御モード (以下「再起動モード」) を備え、これらの再起動モードのそれぞれは、対応する再起動制御フローに基づいて実行されるようになっている。

なお、図 9 における通常起動モード及び再起動モードの詳細については後述する。

【 0 0 5 9 】

つぎに、図 1 0 により、本実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) の再起動制御フローを具体的に説明する。図 1 0 は、本発明の一実施形態による固体電解質型燃料電池 (S O F C) において再起動を行うための再起動制御フローを示すフローチャートである。図 1 0 において、S は各ステップを示している。

まず、S 1 において、燃料電池モジュール 2 が停止運転中か否かを判定し、停止運転中である場合には、S 2 に進み、再起動を要求するか否かを判定する。

【 0 0 6 0 】

S 2 において、再起動を要求すると判定した場合には、S 3 に進み、改質器 2 0 による改質状態を変更するための改質状態温度を検出する改質状態温度検出手段の一部である改

10

20

30

40

50

質器温度センサ 148 により改質器 20 の温度（以下「改質器温度 T_r 」）を測定した後、S4 に進み、改質器 20 による改質状態を変更するための改質状態温度を検出する改質状態温度検出手段の一部である発電室温度センサ 142 により燃料電池セルスタック 14（即ち燃料電池セル 84 自体）の近傍の温度であるスタック温度 T_s を測定する。

つぎに、S5 に進み、改質器温度 T_r が 500 以上であるか否かを判定する。

【0061】

S5 において、改質器温度 T_r が 500 以上でないとは判定した場合には、S6 に進み、改質器温度 T_r が 200 未満であるか否かを判定する。

S6 において、改質器温度 T_r が 200 未満でない、すなわち、改質器温度 T_r が 200 以上 500 未満であると判定した場合には、S7 に進み、改質器温度 T_r が 200 以上 230 未満であるか否かを判定する。

10

【0062】

S7 において、改質器温度 T_r が 200 以上 230 未満でない、すなわち、改質器温度 T_r が 230 以上 500 未満であると判定した場合には、S8 に進み、点火装置 83 による燃料ガスの着火を禁止して再起動を保留し、停止運転を継続させる。

そして、改質器温度 T_r が 200 以上 230 未満の温度帯域内まで低下した時点で、S7 から S9 に進み、点火装置 83 による燃料ガスの着火を開始し、この着火直後に図 9 に示すデータテーブル中の「再起動モード」による「再起動 P O X」を実行する。

【0063】

また、S5 において、改質器温度 T_r が 500 以上であると判定した場合には、S10 に進み、改質器温度 T_r が 600 以上であるか否かを判定する。

20

S10 において、改質器温度 T_r が 600 以上でない、すなわち、改質器温度 T_r が 500 以上 600 未満であると判定した場合には、S11 に進み、図 9 に示すデータテーブル中の「再起動モード」による「通常起動 A T R」を実行する。

【0064】

一方、S10 において、改質器温度 T_r が 600 以上であると判定した場合には、S12 に進み、発電室温度センサ 142 により測定されたスタック温度 T_s が 600 以上であるか否かを判定する。

S12 において、スタック温度 T_s が 600 以上であると判定した場合には、S13 に進み、図 9 に示すデータテーブル中の「再起動モード」による「通常起動 S R」を実行する。一方、S12 において、スタック温度 T_s が 600 以上でない、すなわち、改質器温度 T_r が 600 以上であるにもかかわらず、スタック温度 T_s が 600 未満であると判定した場合には、S11 に進み、図 9 に示すデータテーブル中の「再起動モード」による「通常起動 A T R」を実行する。

30

【0065】

つぎに、S1 において、燃料電池モジュール 2 が停止運転中か否かを判定し、停止運転中でない場合には、S14 に進み、起動中の失火に基づく再起動の要求があるか否かを判定する。

S14 において、失火に基づく再起動の要求があると判定した場合、及び、S6 において、改質器温度 T_r が 200 未満であると判定した場合には、温度センサーの値は見かけ上高くても燃料電池モジュール全てが長時間高温状態になっているわけではないので満遍なく蓄熱されている状況にないことから余熱に基く再起動制御が実行できる状況にはないので S15 に進み、図 9 に示すデータテーブル中の「通常起動モード」に基いて再起動を実行する。

40

【0066】

つぎに、図 9 ~ 図 11 を参照しながら、図 10 に示す本実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の再起動制御フローに基づいて再起動を実行した場合の動作をより具体的に説明する。

図 11 は、図 10 に示す本実施形態による固体電解質型燃料電池（S O F C）の再起動制御フローに基づいて再起動を実行した場合の動作を示すタイムチャートについて、通常

50

起動時の動作を示すタイムチャートと比較した図である。

なお、図 11 の上段のタイムチャートは、図 9 に示すデータテーブル中の「通常起動モード」を実行した場合における固体電解質型燃料電池 (SOFC) の通常起動の動作を示すタイムチャートであり、図 11 の下段のタイムチャートは、図 9 に示すデータテーブル中の「再起動モード」を実行した場合における固体電解質型燃料電池 (SOFC) の再起動の動作を示すタイムチャートである。

【0067】

また、以下の本実施形態による固体電解質型燃料電池 (SOFC) の再起動制御フローに基づく再起動の動作の説明については、図 9 に示す「通常起動モード」と「再起動モード」に関するデータテーブルのみを参照すると共に、図 11 に示す本実施形態の固体電解質型燃料電池 (SOFC) の「再起動モード」による再起動時の動作について、「通常起動モード」による通常起動時の動作と比較しながら説明する。

10

【0068】

まず、図 9 に示す「通常起動モード」のデータテーブルの見方について説明する。

図 9 に示す「通常起動モード」の「状態」という欄は、上段から下段に向かって時系列順に通常起動時の各運転状態をそれぞれ表したものであり、各運転状態について、「着火時」、「燃焼運転」、「通常起動 POX」、「通常起動 ATR」、「通常起動 SR」と略記して区別している。

ちなみに、図 11 における「通常起動モード」のタイムチャートの横軸である時間 t については、「着火時」の時間を t_1 とし、順次「通常起動 POX」、「通常起動 ATR」、及び、「通常起動 SR」へと移行するときの時間をそれぞれ t_2 、 t_3 、及び、 t_4 とし、時間 t において改質器温度センサ 148 が検出した改質器 20 の温度を $T_r(t)$ とし、時間 t において発電室温度センサ 142 により測定されたスタック温度を $T_s(t)$ とする。

20

【0069】

図 9 に示す「通常起動モード」の「着火時」という運転状態は、点火装置 83 を点火し、燃料ガスが着火して燃焼を開始した状態であり、この着火時 ($t = t_1$) に改質器温度センサ 148 が検出した改質器 20 の温度を「着火時温度 $T_r(t_1)$ 」とすると、この着火時温度 $T_r(t_1)$ は、POX が開始するとき ($t = t_2$) の改質器 20 の温度 (以下「POX 開始温度 $T_r(t_2)$ 」) ($= 300$) よりも低くなっている。

30

【0070】

つぎに、「通常起動モード」の「燃焼運転」という運転状態は、燃料ガスの着火後に燃焼を開始してから、この燃料ガスの燃焼熱によって改質器 20 を加熱して燃焼運転を実行する制御帯域 (以下「燃焼運転制御帯域 B1」) で起動を制御しており、改質器温度センサ 148 が検出した改質器 20 の温度が着火時温度 $T_r(t_1)$ から POX 開始温度 $T_r(t_2)$ ($= 300$) 未満までの温度帯域 W1 で実行されるものである。

【0071】

つぎに、「通常起動モード」の「通常起動 POX」という運転状態は、改質器温度センサ 148 が検出した改質器 20 の温度 $T_r(t)$ が POX 開始温度 $T_r(t_2)$ ($= 300$) 以上であり且つ SR が可能な SR 可能温度 (以下「SR 可能温度 $T_r(t_3)$ 」) ($= 600$) 未満までの温度帯域 (以下「通常起動 POX 温度帯域 W2」) 内にあるとき ($300 < T_r(t) < 600$)、POX による反応熱と燃料ガスの燃焼熱によって改質器 20 を加熱して POX を実行する制御帯域 (以下「通常起動モード POX 制御帯域 B2」) で起動を制御している。

40

【0072】

つぎに、「通常起動モード」の「通常起動 ATR」という運転状態は、改質器温度センサ 148 が検出した改質器 20 の温度 $T_r(t)$ が SR 可能温度 $T_r(t_3)$ ($= 600$) 以上であり且つ所定の定常温度 $T_r(t_4)$ ($= 650$) 未満までの温度帯域 ($600 < T_r(t) < 650$) (以下「通常起動 ATR 温度帯域 W3」) にあり、且つ、発電室温度センサ 142 により測定されたスタック温度 T_s が 250 以上 600 未

50

満までの温度帯域（ $250 \leq T_s < 600$ ）にあるとき、POXによる反応熱と燃料ガスの燃焼熱とSRによる吸熱を制御して改質器20を加熱し、ATRを実行する制御帯域（以下「通常起動モードATR制御帯域B3」）で起動を制御している。

【0073】

つぎに、「通常起動モード」の「通常起動SR」という運転状態は、改質器温度センサ148が検出した改質器20の温度 $T_r(t)$ が 650 以上の所定の定常温度 $T_r(t_4)$ であり、且つ、発電室温度センサ142により測定されたスタック温度 T_s が 600 以上にある場合にSRを実行する制御帯域（以下「通常起動モードSR制御帯域B4」）で起動を制御している。

【0074】

なお、図9に示す「燃料流量」という欄は、補機ユニット4の燃料ガス供給手段である燃料流量調整ユニット38から改質器20に供給される燃料ガスの流量 $[L/min]$ を示している。

また、図9に示す「改質用空気流量」という欄は、各運転状態において、補機ユニット4の酸化剤ガス供給手段である空気流量調整ユニット44から、酸化剤ガス加熱手段である第1ヒータ46を経て改質器20に供給される酸化剤ガス（改質用空気）の流量 $[L/min]$ を示している。

【0075】

さらに、図9に示す「発電用空気流量」という欄は、各運転状態において、補機ユニット4の発電用空気流量調整ユニット45から第2ヒータ48を経て発電室10に供給される発電用空気の流量 $[L/min]$ を示している。

また、図9に示す「水流量」という欄は、各運転状態において、補機ユニット4の純水を生成して改質器20に供給する水供給手段である水流量調整ユニット28から改質器20に供給される純水の流量 $[cc/min]$ を示している。

【0076】

さらに、図9に示す「移行温度条件」の「改質器温度」及び「スタック温度」という欄については、運転状態が次の運転状態に移行する際の改質器20の温度及び燃料電池セルスタック14の温度を示している。

より具体的に説明すると、例えば、「通常起動モード」の「燃焼運転」の状態欄における「移行温度条件」の「改質器温度」は「 300 以上」と示されているが、このことは、改質器温度センサ148が検出した改質器20の温度 $T_r(t)$ が 300 以上になると、「燃焼運転」の運転状態が「通常起動POX」の運転状態へ移行されることを意味している。

同様に、「通常起動モード」の「通常起動POX」の状態欄における「移行温度条件」の「改質器温度」は「 600 以上」と示されており、「スタック温度」は「 250 以上」と示されているが、このことは、改質器温度センサ148が検出した改質器20の温度 $T_r(t)$ が 600 以上になり、発電室温度センサ142により測定されたスタック温度 T_s が 250 以上になると、「通常起動POX」の運転状態から「通常起動ATR」の運転状態へ移行されることを意味している。

【0077】

つぎに、図9に示す「再起動モード」のデータテーブルの見方について説明するが、上述した「通常起動モード」のデータテーブルの見方と基本的には同様であるため、「通常起動モード」のデータテーブルとの相違点や特徴的な点に着目して説明する。

まず、図9に示す「再起動モード」の「状態」という欄は、上段から下段に向かって時系列順に再起動時の各運転状態をそれぞれ表したものであり、各運転状態について、「着火時」、「再起動POX」、「着火禁止」、「通常起動ATR」、「通常起動SR」と略記している。

ちなみに、図11における「再起動モード」のタイムチャートの横軸である時間 t については、「着火時」の時間を t_{11} とし、順次「再起動POX」、「通常起動ATR」、及び、「通常起動SR」へと移行するときの時間をそれぞれ t_{12} 、 t_{13} 、及び、 t_{14}

10

20

30

40

50

4 とする。

【0078】

つぎに、図9に示す「再起動モード」の「着火時」という運転状態は、燃料電池モジュール2の停止運転中に再起動が要求された場合に、改質器温度センサ148が検出した改質器20の温度 $T_r(t)$ が、上述した「通常起動モード」の通常起動モードPOX制御帯域B2のPOX開始温度 $T_r(t_2)$ ($=300$)よりも低い所定温度 $T_r(t_{11})$ ($=200$)未満である場合には、「通常起動モード」に基づく通常起動が「通常起動モード」の着火後の「燃焼運転」から実行されるようになっている(図10のS6及びS15参照)。

一方、改質器20の温度 $T_r(t_{11})$ が所定温度($=200$)以上である場合には、点火装置83を点火し、燃料ガスの着火後、直ちに「再起動モード」の「再起動POX」の運転状態に移行される(図10のS7及びS9参照)。

なお、図9に示す「再起動モード」の「着火時」の「燃料流量」は $5.5 [L/min]$ であり、「通常起動モード」の「着火時」の「燃料流量」($6.0 [L/min]$)よりも少なくなっている。

【0079】

つぎに、図9及び図10のS9に示す「再起動モード」の「再起動POX」という運転状態は、改質器温度センサ148が検出した改質器20の温度 $T_r(t_{11})$ が所定温度($=200$)以上である場合に、点火装置83を点火し、燃料ガスの着火後、直ちに移行してPOXを実行する制御帯域(以下「再起動モードPOX制御帯域B12」)で再起動を制御している。

この「再起動モード」の再起動モードPOX制御帯域B12で実行される「再起動POX」の運転状態は、「通常起動モード」の通常起動モードPOX制御帯域B2で実行される「通常起動POX」とは異なる運転状態となっている。

【0080】

より具体的に説明すると、「再起動モード」の再起動モードPOX制御帯域B12で「再起動POX」が実行される改質器20の温度帯域(以下「再起動POX温度帯域W12」)は、「通常起動モード」の通常起動モードPOX制御帯域B2で「通常起動POX」が実行される通常起動POX温度帯域W2($300 < T_r(t) < 600$)よりも低温側の温度帯域($200 < T_r(t) < 500$)となっている。

また、「再起動モード」の「再起動POX」の運転状態における「燃料流量」は $5.5 [L/min]$ であり、「通常起動モード」の「着火時」及び「燃焼運転」の運転状態における「燃料流量」($6.0 [L/min]$)よりは少ないが、「通常起動モード」の「通常起動POX」の運転状態における「燃料流量」($5.0 [L/min]$)よりは多くなっている。

【0081】

さらに、「再起動モード」の「再起動POX」の運転状態における「改質用空気流量」は $17.0 [L/min]$ であり、「通常起動モード」の「通常起動POX」の運転状態における「改質用空気流量」($18.0 [L/min]$)よりは少なくなっている。

【0082】

つぎに、図9に示す「再起動モード」の「着火禁止」という運転状態は、点火装置83による燃料ガスの着火を禁止して再起動を禁止し、停止運転を継続させている制御帯域(以下「再起動モード着火禁止制御帯域」)で再起動を制御している(図10のS8参照)。

より具体的に説明すると、「再起動モード」の再起動モード着火禁止制御帯域で「着火禁止」が実行される改質器20の温度帯域(以下「着火禁止温度帯域」)は、「再起動モード」の再起動POX温度帯域W12よりも高温側にある 230 以上 500 未満の温度帯域となっている。

【0083】

また、「再起動モード」の再起動モード着火禁止制御帯域においては、特に、「再起動

10

20

30

40

50

モード」の着火禁止温度帯域内の 230 以上 500 未満の部分が「通常起動モード」の通常起動 POX 温度帯域 $W2$ ($300 < Tr(t) < 600$)内の一部份の温度帯域と重複しているにもかかわらず、「通常起動モード」の「通常起動 POX 」は実行されない。

【0084】

さらに、「再起動モード」の再起動モード着火禁止制御帯域においては、改質器温度 Tr が着火禁止温度帯域内($230 < Tr < 500$)から 230 未満に低下した時点で、点火装置 83 による燃料ガスの着火を開始し、この着火直後に図9に示すデータテーブル中の「再起動モード」による「再起動 POX 」を実行するようになっている(図10の $S7$ 及び $S9$ 参照)。

10

【0085】

つぎに、図9及び図10の $S11$ に示す「再起動モード」の「通常起動 ATR 」という運転状態は、改質器 20 の温度 $Tr(t)$ が「通常起動モード」の通常起動 POX 温度帯域 $W2$ に相当する温度帯域内にあり、且つ「再起動モード」の着火禁止温度帯域よりも高温側にある 500 以上 600 未満の温度帯域(以下「再起動 ATR 温度帯域 $W13$ 」内にあるときに、「通常起動モード」の「通常起動 ATR 」と同一の ATR を実行する制御帯域(以下「再起動モード ATR 制御帯域 $B13$ 」)で再起動を制御している。

【0086】

つぎに、図9及び図10の $S13$ に示す「再起動モード」の「通常起動 SR 」という運転状態は、「通常起動モード」の「通常起動 SR 」の「移行温度条件」と同一の条件によって「通常起動モード」の「通常起動 SR 」と同一の SR を実行する制御帯域(以下「再起動モード SR 制御帯域 $B14$ 」)で再起動を制御している。

20

【0087】

また、図11に示すように、「再起動モード」の「再起動 POX 」から「通常起動 ATR 」に移行するときの時間 $t13$ は、「通常起動モード」の「通常起動 POX 」から「通常起動 ATR 」に移行するときの時間 $t3$ よりも少ない時間となっている。

【0088】

さらに、「再起動モード」の「通常起動 ATR 」から「通常起動 SR 」に移行するときの時間 $t14$ についても、「通常起動モード」の「通常起動 ATR 」から「通常起動 SR 」に移行するときの時間 $t4$ よりも少ない時間となっており、再起動による起動時間が通常起動による起動時間に比べて短くなっている。

30

【0089】

上述した本実施形態の固体電解質型燃料電池(SOC)における再起動制御フローによる再起動制御によれば、燃料電池モジュール2の運転の停止により改質器 20 の温度 $Tr(t)$ が「通常起動モード」の通常起動 POX 温度帯域 $W2$ に相当する温度帯域内にあるときには、燃料電池セルスタック 14 や改質器 20 に残存している余熱を積極的に利用することにより、たとえ改質器 20 の温度 $Tr(t)$ が通常起動 POX 温度帯域 $W2$ 内にあっても、「通常起動モード」による通常起動モード POX 制御帯域 $B2$ の「通常起動 POX 」の実行を禁止し、この禁止した「通常起動モード」の「通常起動 POX 」の代わりに、この「通常起動 POX 」とは異なる再起動制御を実行することができる。

40

この結果、再起動時に「通常起動モード」による通常起動モード POX 制御帯域 $B2$ の通常起動 POX の実行を禁止することなくそのまま通常起動 POX を実行した場合に比べて、燃料電池セル 84 の酸化や異常高温による燃料電池セル 84 への負担を軽減することができ、燃料電池セル 84 の耐久性を向上させることができる。

【0090】

また、燃料電池セル 84 や改質器 20 に残存している余熱を積極的に利用して「通常起動モード」の「通常起動 POX 」とは異なる再起動制御を実行することにより、起動時間を大幅に短縮することができる。

さらに、例えば、起動時の失火に基づいて再起動を行った場合(図10の $S14$ 及び $S15$ 参照)には、「再起動モード」による再起動を禁止して、「通常起動モード」による

50

起動を実行することができるため、燃料電池セルユニット１６のダメージを抑制することができる。

【００９１】

また、本実施形態の固体電解質型燃料電池（ＳＯＦＣ）における再起動制御フローによる再起動制御によれば、「再起動モード」の着火禁止温度帯域（ $230 \leq T_r < 500$ ）よりも高温側にある「再起動モード」の再起動ＡＴＲ温度帯域 $W13$ （ $500 \leq T_r < 600$ ）においては、「通常起動モード」の通常起動モードＡＴＲ制御帯域 $B3$ の通常起動ＡＴＲと同一のＡＴＲによる再起動を実行する一方で、「再起動モード」の着火禁止温度帯域（ $230 \leq T_r < 500$ ）では「通常起動モード」の「通常起動ＰＯＸ」による再起動を禁止すると共に、改質器２０の温度 $T_r(t)$ が 230 未満に低下するのを待った後に、「再起動モード」の「再起動ＰＯＸ」による再起動を実行するため、高温状態でＰＯＸを実行することによる燃料電池セル８４へのダメージを抑制しつつ、ＰＯＸによる発熱反応によって迅速に燃料電池モジュールの温度回復を図り、速やかに再起動を行うことができる。

10

【００９２】

さらに、本実施形態の固体電解質型燃料電池（ＳＯＦＣ）における再起動制御フローによる再起動制御によれば、再起動時に燃料電池セル８４や改質器２０に残存している余熱を積極的に利用して、「再起動モード」の「通常起動ＡＴＲ」を実行する温度範囲を「通常起動モード」の「通常起動ＰＯＸ」のＰＯＸ温度帯域 $W2$ 内の所定温度以上の範囲（ $500 \leq T_r < 600$ ）まで拡大することにより、燃料電池セル８４への影響を抑えながら安定した状態で、かつ短時間で温度上昇を図ることができる。

20

すなわち、再起動時に改質器２０や燃料電池セルスタック１４に残存している余熱が積極的に利用できる「通常起動モード」のＰＯＸの温度帯域 $W2$ （ $300 \leq T_r < 600$ 、 $T_s < 250$ ）では、「再起動モード」の「通常起動ＡＴＲ」を実行するように「通常起動モード」のＰＯＸの温度帯域 $W2$ （ $300 \leq T_r < 600$ 、 $T_s < 250$ ）内の所定温度以上（ $500 \leq T_r < 600$ 、 $500 \leq T_r < 600$ ）まで「再起動モード」の「通常起動ＡＴＲ」の運転範囲を拡大し、酸化影響のない所定温度以下（ $200 \leq T_r < 230$ ）では「再起動モード」の「再起動ＰＯＸ」による再起動を図り、中間温度（ $230 \leq T_r < 500$ ）では再起動を禁止して停止処理制御によって温度降下を図った上で再起動を行うことによって、燃料電池セルスタック１４への影響を抑えながら安定した状態でかつ短時間で温度上昇を図ることができる。

30

【００９３】

また、本実施形態の固体電解質型燃料電池（ＳＯＦＣ）における再起動制御フローによる再起動制御によれば、「再起動モード」の「再起動ＰＯＸ」が実行される再起動モードＰＯＸ制御帯域 $B12$ においては、燃料電池セル８４や改質器２０に残存している余熱を積極的に利用することにより迅速な起動を可能にする一方で、「通常起動モード」の「通常起動ＰＯＸ」が実行される通常起動モードＰＯＸ制御帯域 $B2$ で酸化剤ガス供給手段である改質用空気流量調整ユニット４４から改質器２０に供給される酸化剤ガス（改質用空気）の供給量よりも少ない酸化剤ガス（改質用空気）によって「再起動ＰＯＸ」を実行することができ、酸化剤ガスが多く投入されることによって余熱の影響で燃料電池セルスタック１４に酸化影響を与えることを防止することができる。

40

【符号の説明】

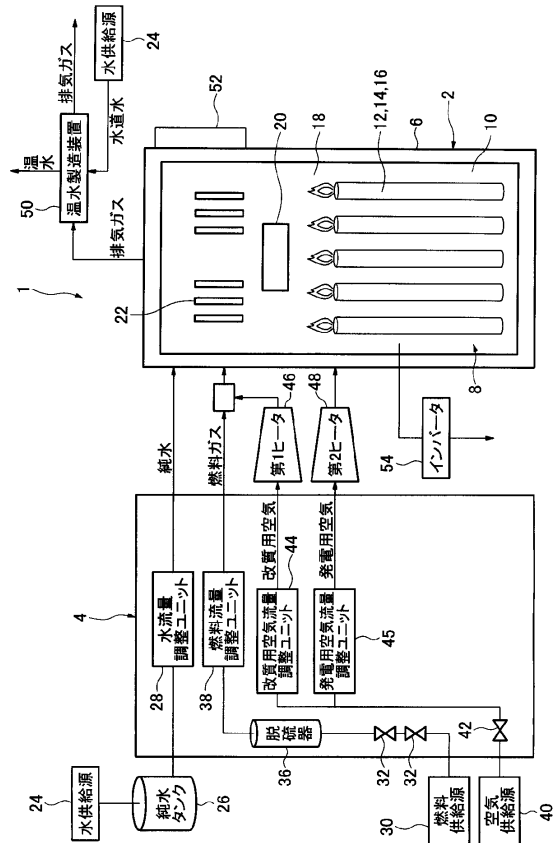
【００９４】

- １ 固体電解質型燃料電池
- ２ 燃料電池モジュール
- ４ 補機ユニット
- ８ 密封空間
- １０ 発電室
- １２ 燃料電池セル集合体
- １４ 燃料電池セルスタック

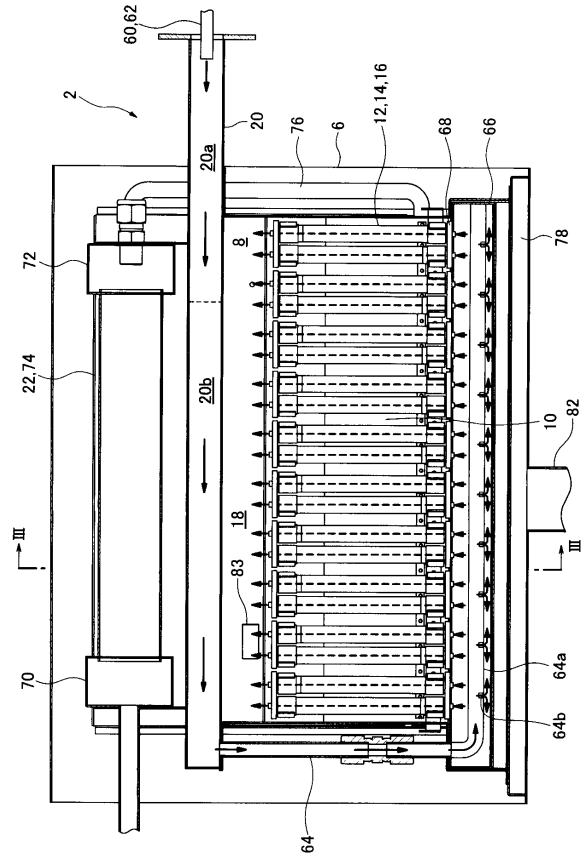
50

1 6	燃料電池セルユニット	
1 8	燃焼室	
2 0	改質器	
2 2	空気用熱交換器	
2 4	水供給源	
2 6	純水タンク	
2 8	水流量調整ユニット	
3 0	燃料供給源	
3 8	燃料流量調整ユニット	
4 0	空気供給源	10
4 4	改質用空気流量調整ユニット	
4 5	発電用空気流量調整ユニット	
4 6	第 1 ヒータ	
4 8	第 2 ヒータ	
5 0	温水製造装置	
5 2	制御ボックス	
5 4	インバータ	
8 3	点火装置	
8 4	燃料電池セル	
1 1 0	制御部	20
1 1 2	操作装置	
1 1 4	表示装置	
1 1 6	警報装置	
1 2 6	電力状態検出センサ	
1 4 2	セル温度センサ	
1 5 0	外気温度センサ	

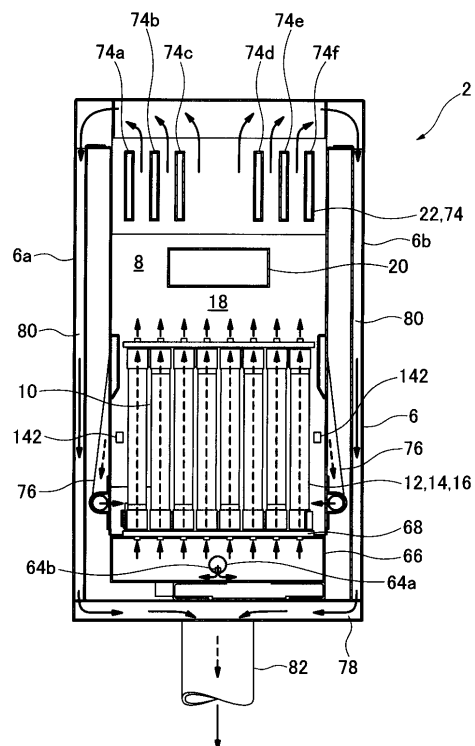
【 図 1 】



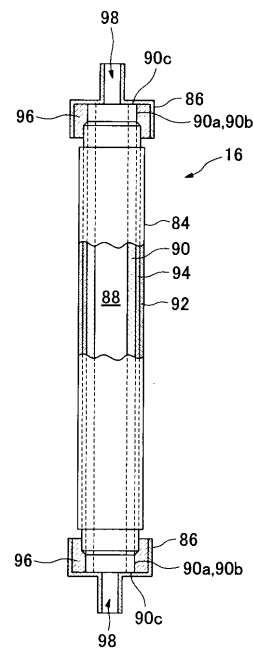
【 図 2 】



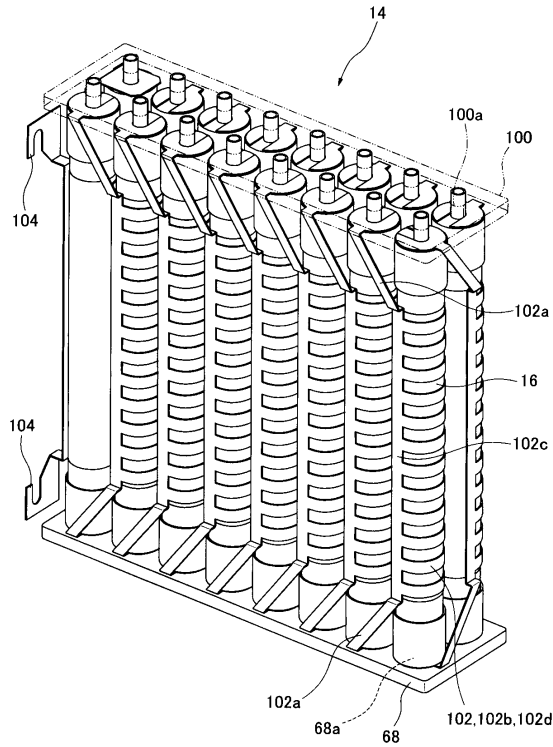
【 図 3 】



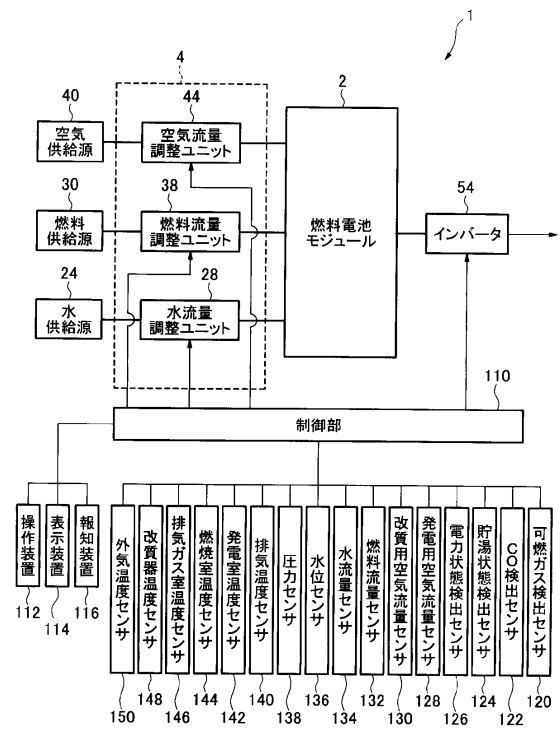
【圖 4】



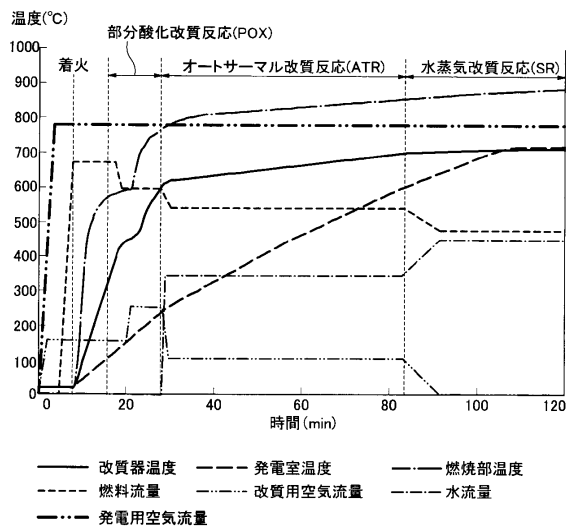
【図 5】



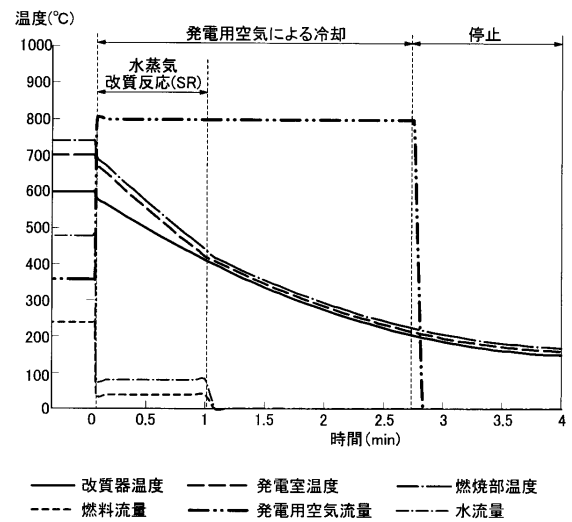
【図 6】



【図 7】



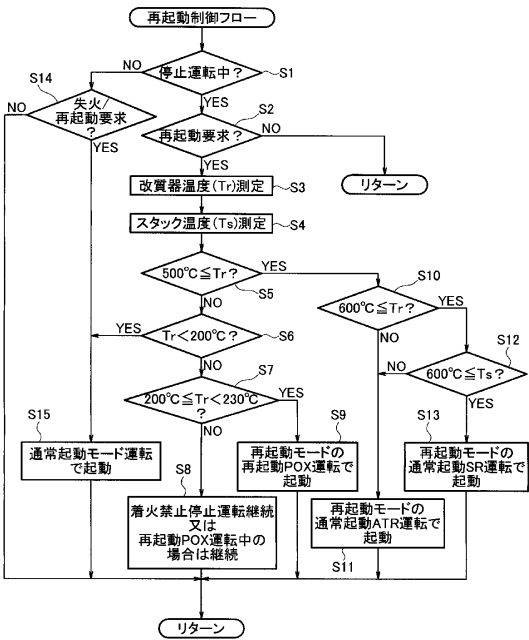
【図 8】



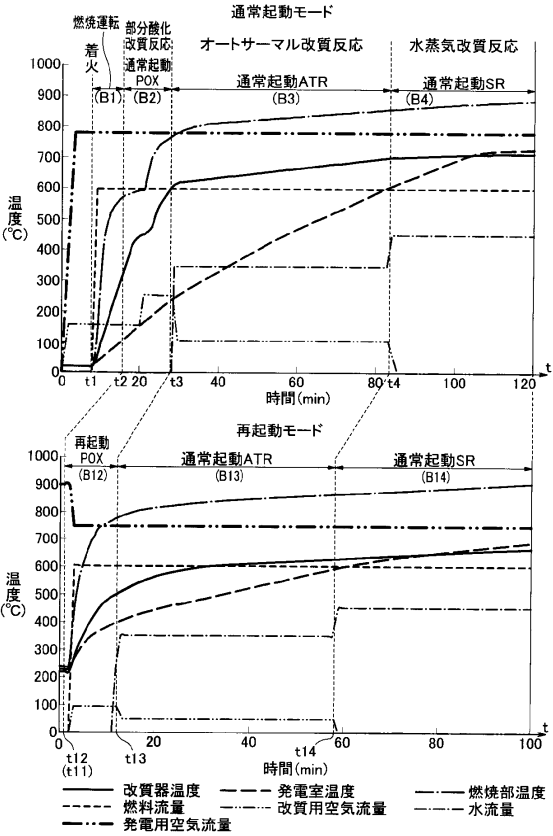
【図 9】

モード	状態	燃料流量 (L/min)	改質用 空気流量 (L/min)	発電用 空気流量 (L/min)	水流量 (cc/min)	移行温度条件(°C)	
						改質器温度Tr	スタック温度Ts
通常起動 モード	着火時	6.0	10.0	100.0	0.0	—	—
	燃焼運転	6.0	10.0	100.0	0.0	300°C以上	—
	通常起動POX	5.0	18.0	100.0	0.0	600°C以上	250°C以上
	通常起動ATR	4.0	4.0	100.0	3.0	650°C以上	600°C以上
	通常起動SR	3.0	0.0	100.0	8.0	650°C以上	700°C以上
再起動 モード	着火時	5.5	10.0	100.0	0.0	200°C以上であれば着火。着火後直ちに再起動POX移行	—
	再起動POX	5.5	17.0	100.0	0.0	500°C以上	—
	着火禁止	230°C≦改質器温度<500°Cの範囲は着火禁止。停止を継続。230°C以下になった時点で着火後再起動POXへ移行	4.0	100.0	3.0	600°C以上	600°C以上
	通常起動ATR	4.0	4.0	100.0	8.0	650°C以上	700°C以上
	通常起動SR	3.0	0.0	100.0	8.0	650°C以上	700°C以上

【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 赤木 陽祐
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内
- (72)発明者 渡邊 直樹
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内
- (72)発明者 西願 修一郎
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内
- (72)発明者 井坂 暢夫
福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 TOTO株式会社内

審査官 原 賢一

- (56)参考文献 特開2004-319420(JP,A)
特開2008-243597(JP,A)
特開2004-338975(JP,A)
特開2003-095611(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/04 - 8/06, 8/12