

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6543340号
(P6543340)

(45) 発行日 令和1年7月10日 (2019.7.10)

(24) 登録日 令和1年6月21日 (2019.6.21)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/04 (2016.01)	HO 1 M 8/04 Z
HO 1 M 8/12 (2016.01)	HO 1 M 8/12
HO 1 M 8/04701 (2016.01)	HO 1 M 8/04701
HO 1 M 8/02 (2016.01)	HO 1 M 8/02

請求項の数 29 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2017-519562 (P2017-519562)	(73) 特許権者	517121711
(86) (22) 出願日	平成26年10月7日 (2014.10.7)		プロトネクス テクノロジー コーポレイ ション
(65) 公表番号	特表2017-536656 (P2017-536656A)		アメリカ合衆国 01772-1034
(43) 公表日	平成29年12月7日 (2017.12.7)		マサチューセッツ、サウスボロ、ノースボ ロ ロード 153
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/059447	(74) 代理人	110000855
(87) 国際公開番号	W02016/057026		特許業務法人浅村特許事務所
(87) 国際公開日	平成28年4月14日 (2016.4.14)	(72) 発明者	パルンボ、ネイサン
審査請求日	平成29年10月6日 (2017.10.6)		アメリカ合衆国、マサチューセッツ、ウエ スト ボイルストン、モールドデン ストリ ート 184
		(72) 発明者	オセナー、ポール
			アメリカ合衆国、マサチューセッツ、サウ スボロ、ノースボロ ロード 153
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 SOFC-伝導

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固体酸化物形燃料電池 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) システムであって、

ー内部にホットゾーンキャビティを囲うように配置されたホットゾーン囲壁と、

ー前記ホットゾーンキャビティ内部に配置された1つまたは複数の燃料電池を含む SOFC スタックと、を備え、

ー前記ホットゾーン囲壁が、 $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する1つまたは複数の第1の材料から製作され、

前記1つまたは複数の第1の材料の酸化を防ぐために前記第1の材料全体に施された、
前記1つまたは複数の第1の材料とは異なる第2の材料を含む第1の保護材料層をさらに備える、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) システム。

【請求項2】

ー前記ホットゾーン囲壁と熱伝導的に連通している、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置された少なくとも1つの熱塊要素をさらに備え、

ー前記少なくとも1つの熱塊要素が、 $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する1つまたは複数の第3の材料から製作される、請求項1に記載の SOFC システム。

【請求項3】

前記1つまたは複数の第3の材料の酸化を防ぐために前記熱塊要素の表面全体に施された、前記1つまたは複数の第3の材料とは異なる第4の材料を含む、第2の保護材料層を

10

20

さらに備える、請求項2に記載のSOFCシステム。

【請求項4】

前記1つまたは複数の第1の材料が、壁厚が0.01～0.125インチの範囲の銅を含み、前記第2の材料が、少なくとも0.0005インチの厚さに施されたニッケルメッキを含む、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項5】

前記1つまたは複数の第3の材料が、要素厚が0.01～0.375インチの範囲の銅を含み、前記第4の材料が、少なくとも0.0005の厚さに施されたニッケルメッキを含む、請求項3に記載のSOFCシステム。

【請求項6】

前記1つまたは複数の第3の材料が、要素厚が0.01～0.375インチの範囲の銅を含み、前記第2の保護材料層が、高温環境に耐えるのに適した大部分がニッケルである金属合金から形成された1つまたは複数の独立した金属要素を含み、前記1つまたは複数の独立した金属要素が、前記1つまたは複数の第3の材料の酸化を実質的に防ぐように形成され、前記1つまたは複数の第3の材料の表面に取り付けられる、請求項3に記載のSOFCシステム。

【請求項7】

前記少なくとも1つの熱塊要素が複合構造を含み、前記1つまたは複数の第3の材料が、銅、モリブデン、アルミニウムと銅、および銅とニッケルのうちのいずれか1つから形成されたコア層を含み、前記第4の材料が、前記銅コアと一体的に形成された1つまたは複数の保護層を含み、前記第4の材料が、高温強腐食環境に耐えるように調合された金属合金を含む、請求項3に記載のSOFCシステム。

【請求項8】

前記ホットゾーン囲壁の少なくとも一部が、コア層と一体的に形成された前記第2の材料から形成された前記第1の保護材料層を有する、1つまたは複数の第1の材料から製作された前記コア層を含む複合構造を含み、前記第2の材料が、高温強腐食環境に耐えるように調合された金属合金を含む、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項9】

前記ホットゾーン囲壁の内側表面によって少なくとも部分的に画定される、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置された、使用済み燃料と使用済みカソードガスとの混合気を燃焼するための排ガス燃焼器領域をさらに備える、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項10】

前記ホットゾーン囲いに入ってくるカソードガスを熱するための、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置されたレキュペレータ室をさらに備え、前記レキュペレータ室が、前記ホットゾーン囲壁の内部表面によって少なくとも部分的に画定される、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項11】

使用済み燃料と使用済みカソードガスとの混合気を燃焼するための、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置された排ガス燃焼器領域をさらに含み、前記排ガス燃焼器領域が、前記ホットゾーン囲壁の内側表面によって、さらに、対向する第1および第2の燃焼器領域端壁によって、少なくとも部分的に画定され、前記第1および第2の燃焼器領域端壁のうちの少なくとも1つが、前記少なくとも1つの熱塊要素によって部分的に形成される、請求項2に記載のSOFCシステム。

【請求項12】

前記排ガス燃焼器領域を画定する前記ホットゾーン囲壁を保護するために、前記排ガス燃焼領域内部に配置された少なくとも1つのライナー要素をさらに備え、前記ライナー要素が、高温強腐食環境に耐えるように調合された金属合金から形成され、前記ライナー要素が、前記排ガス燃焼器領域を画定する前記ホットゾーン囲壁の内部表面の酸化を実質的に防ぐように設置される、請求項9に記載のSOFCシステム。

【請求項13】

前記少なくとも1つの熱塊要素が2つの熱塊要素を含み、前記第1および第2の燃焼器領域端壁のそれぞれが、前記2つの熱塊要素のうちの1つによって部分的に形成される、請求項11に記載のSOFCシステム。

【請求項14】

前記ホットゾーン囲いに入ってくるカソードガスを熱するための、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置されたレキュペレータ室をさらに備え、前記レキュペレータ室が、前記ホットゾーン囲壁の内部表面によって少なくとも部分的に、また前記第1および第2の燃焼器領域端壁のうちの1つによって少なくとも部分的に、画定される、請求項11に記載のSOFCシステム。

【請求項15】

前記ホットゾーン囲壁を実質的に囲むように配置された断熱層をさらに備える、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項16】

前記1つまたは複数の燃料電池が、アノード材料層、カソード材料層、および前記アノード材料層を前記カソード材料層から分ける電解質材料層をそれぞれが備える、複数の燃料電池を含み、さらに前記複数の燃料電池のそれぞれが、前記ホットゾーン囲壁の内部表面によって少なくとも部分的に画定されるガス室内に囲われる、請求項1に記載のSOFCシステム。

【請求項17】

前記ホットゾーンキャビティ内部で水素および一酸化炭素のうちの少なくとも1つを含む燃料を受け取り、かつ前記複数の燃料電池のそれぞれの前記アノード材料層全体に前記燃料の一部を向けるように形成された1つまたは複数の燃料流体流導管によって形成された燃料送給システムをさらに備える、請求項16に記載のSOFCシステム。

【請求項18】

前記ホットゾーンキャビティ内部で酸素を含むカソードガスを受け取り、かつ前記複数の燃料電池のそれぞれの前記カソード材料層全体にカソードガス流の一部を向けるように形成された1つまたは複数のカソードガス流体流導管によって形成されたカソードガス送給システムをさらに備える、請求項17に記載のSOFCシステム。

【請求項19】

前記1つまたは複数のカソードガス流体流導管の露出した内部表面が、クロムを含有していない材料から形成される、請求項18に記載のSOFCシステム。

【請求項20】

前記カソードガス送給システムの露出した内部表面が、前記カソードガス送給システムの前記露出した内部表面全体を、少なくとも0.0005インチの厚さに施されたニッケルメッキ層を含む保護材料により被覆すること、および前記露出した表面をモネルから形成すること、のうちの1つによって、カソードガスのクロムへの暴露を防ぐように形成される、請求項18に記載のSOFCシステム。

【請求項21】

使用済み燃料と使用済みカソードガスとの混合気を燃焼するための、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置された排ガス燃焼器領域をさらに備え、前記排ガス燃焼器領域が、前記ホットゾーン囲壁の表面によって少なくとも部分的に画定される、請求項16に記載のSOFCシステム。

【請求項22】

前記カソードガス送給システムが、前記ホットゾーンキャビティ内部に配置されたレキュペレータ室をさらに備え、前記レキュペレータ室が、前記ホットゾーン囲壁の内部表面によって少なくとも部分的に画定され、前記ホットゾーンキャビティに入ってくるカソードガスが、前記複数の燃料電池のそれぞれの前記カソード層全体に向けられる前に、前記レキュペレータ室を通過する、請求項18に記載のSOFCシステム。

【請求項23】

前記レキュペレータ室と前記排ガス燃焼器領域が、共通の端壁を共有し、前記共通の端

10

20

30

40

50

壁が、熱塊要素によって少なくとも部分的に形成され、前記熱塊要素が、前記ホットゾーン囲壁と熱伝導的に連通しており、前記熱塊要素が、 $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する1つまたは複数の材料から製作される、請求項22に記載のSOFCシステム。

【請求項24】

前記排ガス燃焼器領域内部から前記ホットゾーン囲壁を貫通している1つまたは複数の出口をさらに備え、前記排ガス燃焼器領域からの排出ガスが、前記1つまたは複数の出口から出て、ホットゾーン出口を通して前記ホットゾーンから出る前に、前記レキュペレータ室を取り囲む前記ホットゾーン囲壁の外部表面上を通過する、請求項23に記載のSOFCシステム。

10

【請求項25】

前記複数の燃料電池のそれぞれが、内径および外径を含む開放端型環状壁として形成されたアノード支持層を備え、前記環状壁の前記内径が、それを通過するように前記燃料および前記カソードガスのうちの1つが向けられる、流体流導管を含み、前記複数の燃料電池のそれぞれの前記外径が、前記燃料および前記カソードガスのうちのその他に暴露される、請求項16に記載のSOFCシステム。

【請求項26】

前記燃料が、前記アノード材料層と反応するために前記流体流路中に向けられ、また前記複数の燃料電池のそれぞれの前記外径が、前記カソード材料層と反応するために前記カソードガスに暴露されるように、前記電解質層が、前記アノード支持層の前記外径上に形成され、また前記カソード層が、前記電解質層にわたる前記アノード支持層の前記外径上に形成される、請求項25に記載のSOFCシステム。

20

【請求項27】

固体酸化物形燃料電池(SOFC)システムであって、

－ホットゾーンキャビティを囲むように配置されたホットゾーン囲壁と、

－前記ホットゾーンキャビティの内部表面によって、また対向する上部および底部のカソード室端壁によって画定される、前記ホットゾーンキャビティ内部に形成されたカソード室と、

－前記カソード室内部に配置された複数の燃料電池を含むSOFC燃料電池スタックであって、

30

－前記複数の燃料電池のそれぞれが、燃料流体導管を形成する管状アノード支持層によって形成され、前記管状アノード支持層の外径上に施された電解質層で、また前記電解質層全体に施されたカソード層でさらに形成され、前記複数の燃料電池のそれぞれの対向する端が、前記対向する上部および底部のカソード室端壁によって支持される、SOFC燃料電池スタックと、

－前記ホットゾーン囲壁と熱伝導的に連通している、前記ホットゾーン内部に配置された少なくとも1つの熱塊要素であって、

－前記ホットゾーン囲壁および前記少なくとも1つの熱塊要素が、 $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する1つまたは複数の第1の材料から製作され、かつ

－前記ホットゾーン囲壁の露出した表面および前記熱塊要素の露出した表面が、前記第1の材料とは異なる第2の材料を含む保護材料層によって、酸素暴露から保護される、少なくとも1つの熱塊要素と、を備える、固体酸化物形燃料電池(SOFC)システム。

40

【請求項28】

前記1つまたは複数の第1の材料が銅を含み、前記第2の材料がニッケルメッキ層を含む、請求項27に記載のSOFCシステム。

【請求項29】

前記第1の材料が、銅、モリブデン、アルミニウムと銅、および銅とニッケルのうちのいずれか1つを含む金属合金を含む、請求項27に記載のSOFCシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

1 著作権表示

本特許文献の本開示の一部は、著作権保護の対象である資料を含む可能性がある。著作権所有者は、特許商標局の特許包袋または記録にあるように、本特許文献または本特許開示の完全な複写が誰によって行われようとも、差し支えないが、それ以外は、いかなる場合もすべての著作権権利を保有する。以下の表示は、本文献に適用されるものとする。(C) 2014 Protonex Technology Corporation。

【0002】

2 発明の背景

(2.1 技術分野)

本明細書における例示的、説明的なテクノロジーは、固体酸化物形燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)システム、SOFCシステムの使用方法、およびSOFCシステムの製造方法に関する。具体的には、例示的、説明的なテクノロジーは、SOFCシステム内の熱エネルギー管理用の向上したシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0003】

(2.2 背景技術)

従来のSOFCシステムは、SOFCテクノロジーに応じて、作動中、たとえば350℃または500℃を超える高めの作動温度に維持されるシステム構成要素を包含する、または少なくとも部分的に囲む、ホットゾーンを含む。ホットゾーンは、SOFCエネルギー発生器すなわち固体酸化物形燃料電池スタックを収容する。従来のSOFC燃料電池スタックは、各電池が電流を発生させる電気化学反応に関与する、1つまたは複数の燃料電池によって形成される。燃料電池は、燃料電池スタックの所望の出力電圧を供給するように、必要に応じて直列または並列に電氣的に相互接続される。各燃料電池は、3つの主要な層、アノード層すなわち燃料極、カソード層すなわち空気極、およびアノード層をカソード層から分ける電解質層を含む。

【0004】

アノード層は、水素ガス(H_2)および/または一酸化炭素(CO)を少なくとも含む、気体のまたは蒸気の燃料に暴露される。同時に、カソード層は、空気すなわちその他の気体または蒸気の酸素(O_2)源などのカソードガスに暴露される。カソード層では、カソード層に供給された酸素(空気)は、電子を受け取り酸素イオン(O^{+})になる。酸素イオンは、カソード層から、セラミック電解質層を通してアノード層に移る。三相界面において、アノード層では、燃料によってアノード層に供給された水素(H_2)および/または一酸化炭素(CO)が、酸素イオンと反応して、水と二酸化炭素を生成し、この反応中に放出された電子が、電気と熱を生成する。燃料ストリームにおける生成物によるその他の反応は、メタン、エタンまたはエチレンを含み得る。電気化学反応によって生成された電気は、電気負荷に電力供給するためにDC電源端子に引き出される。

【0005】

通常のアノード材料は、ニッケルとドーブルコニア(Ni-YSZ)、ニッケルとドーブセリア(Ni-SDCおよび/またはNi-GDC)、銅とドーブセリアなどのサーメットを含む。 $(La_{1-x}Sr_x)Cr_{1-y}MyO_{3-\delta}$ (LSCM)やその他のABO₃構造などの灰チタン石アノード材料も使用可能である。通常のカソード材料は、ランタンストロンチウムコバルト酸化物(LSC)、ランタンストロンチウムコバルト鉄複合酸化物(LSCF)、およびランタンストロンチウムマンガナイト(LSM)を含む。電解質層は、イオン伝導性セラミックであり、普通、イットリアドーブルコニアまたはガドリニウムドーブセリアなどの酸素イオン伝導体である。電解質層は、バリウムセラートまたはバリウムジルコネートなどのプロトン伝導性セラミックに変更可能である。電解質層は、燃料と空気が混合し、燃焼することを防ぐ、略気密バリア(near hermetic barrier)の働きをする。

10

20

30

40

50

【0006】

従来のSOFCシステムは、一般にレキュペレータと呼ばれる、クロスフロー（直交流）またはパラレルフロー（並交流）の熱交換器を使用し、SOFCシステムに入ってくるカソードガス（空気）を熱する。ガス流熱交換器は、ホットゾーンに入ってくる冷たい空気を熱し、冷たい流入空気とホットゾーンを出て行く熱い排出ガスとの間で熱エネルギーを交換する。

【0007】

SOFCシステム中を流れる空気および燃料を熱し、かつ燃料電池を熱する、SOFCホットゾーン内部に配置された1つまたは複数の熱エネルギーすなわち加熱源を含むことが知られている。加熱源は、使用済み燃料と排出空気が電池スタックを出るのに従って、熱い排出空気と混合された使用済み燃料を燃焼するのに使用される排ガス燃焼器を含み得る。第2の加熱源は、システム立ち上げ時に燃料を燃焼してSOFC表面を熱し、また少なくとも、SOFCシステムが定常の作動温度に達するか、またはCPOXもしくはTGCLライトが消えるまで、電池スタックに流れ込んで来る燃料を熱するように作動可能な、冷間始動燃焼器を含み得る。立ち上げ時に空気、燃料および作用面を熱するのに、冷間始動燃焼器の代わりに、またはそれに加えて発熱体も使用可能である。

【0008】

従来のSOFCシステムでは、熱エネルギーは、主に、ガス対ガスまたはガス対周囲面の熱エネルギー交換によって、すなわち、主に対流によって伝達される。これは、使用済み燃料が、燃焼囲い内部で、熱い排出空気と混合され、燃焼されると、排ガス燃焼器内で起こる。この場合、燃焼囲いに入ってくるより冷たいガスがより熱いガスと混ざり、燃焼するのに従って、対流によって熱エネルギーが交換される。さらに、対流性の熱エネルギー伝達は、ガスが熱エネルギーを囲い表面に伝えるのに従い、燃焼囲い表面も熱する。この間、熱い表面が熱エネルギーを放出し、熱い表面のすぐ近くを流れるガスが、放出された放射によって熱せられると、熱い囲壁は、熱エネルギーを、燃焼室に入ってくるより冷たいガスに戻す。

【0009】

従来のSOFCシステムでは、レキュペレータすなわちガス逆流熱交換器が、燃焼室から出て来る熱いガスを受け取り、かつ共通の壁によって分けられた独立した逆流導管内に、SOFCシステム内部に入ってくる冷たいガスを受け取るように配置される。さらに、燃焼器からの熱いガスが、それらが出口に移るのに従って導管壁を熱し、導管壁が流入空気を熱するという対流および放射が、主要な熱エネルギー伝達機構である。手短に言えば、排ガス燃焼器内部とレキュペレータ内部両方の熱エネルギー交換は、非効率的である。このため、従来のSOFCシステムは、周知のように、制御し難く、たとえば燃焼囲いでは、燃焼囲壁が熱くなり過ぎると壁中を焦がすほどに囲壁を損傷する可能性のある、ホットスポットを発生させることが多い。あるいは、SOFCシステムの温度が、たとえば燃料投入流量を調整することによって下げられると、不十分な燃料処理が、最終的には低下した電気出力とその結果としての故障につながる、アノード表面上の炭素形成をもたらす。

【0010】

ホットスポットとコールドスポットにより良く対処するのに、従来のSOFCシステムは、ホットスポットを避け、またアノード表面上の炭素形成につながるコールドスポットを防ぐために、温度をモニタし、作動を調整する、システムの様々な個所に配置された複数の熱電対またはサーミスタを含むことが多い。しかしながら、温度検知およびモニタリングシステムは、費用が掛かり、SOFCシステムの高作動温度（たとえば、350～1200℃）により故障しがちである。また、SOFCシステムへの損傷を避けるための安全対策として燃料投入を調整する必要性は、効率が悪くむらのある電力出力につながる。これにより、当技術分野では、SOFCシステムへの損傷を避けるために、また発電効率を高めて、より一貫した電力出力を送給するために、熱勾配を避けホットスポットを取り除く必要性がある。

【0011】

従来のSOFCシステムは、通常、高温での長時間稼働の影響と、絶えず金属表面を酸化させて故障に至ることもある厳しい腐食環境に耐えるために、特殊材料から製作される。従来のSOFCシステムにおいて取り組まれてきたその他の高温問題は、嵌め合い部品間の緩み、セラミック要素の亀裂または金属要素の湾曲を避けるために、異種材料の嵌め合い部品の熱膨張係数における差を適合させるまたは考慮する必要性と、高温で起こる金属クリープ率の上昇を考慮する必要性を含む。従来のSOFCシステムでは、これらの問題は、インコネルなどの特殊高温耐食ニッケルクロム合金を使用することによって対処されてきた。しかしながら、流入するカソード空気中に滲み出たクロムは、カソード材料層を被毒させる可能性があるため、クロムを含有する材料は、カソード被毒が避けられるべき場合、流入空気導管またはヒータのいずれに沿っても望ましくない。このため、当技術分野では、SOFCホットゾーン要素の製作に、耐食または耐酸化の高温金属合金を使用する必要があるが、これらの合金の多くは、クロムを含有しており、当技術分野では、クロムを含有した表面とのカソード空気の接触を避けるさらなる必要性がある。

10

【0012】

ある熱エネルギーは、熱伝導によって従来のSOFCシステムの領域間で伝達される、たとえば相互接続された金属要素にわたって伝導されるが、ホットスポットとコールドスポットが、従来のSOFCシステムにおいてなお問題を含むという事実は、熱伝導が、従来のSOFCシステムの様々な領域にわたって均一な温度になるようにするには遅すぎるかまたは不十分であることを示唆する。これは、一つには、高温腐食環境に対して、望ましい熱伝導性とは言えない特殊金属を使用する必要性のせいである。一例として、インコネルは、500℃で370W/(m・K)～1027℃で332W/(m・K)のおおよその範囲の熱伝導率を有する銅に比べて、150～875℃の温度範囲にわたって17～35W/(m・K)の範囲の熱伝導率を有する。したがって、銅は、約70%ニッケルであるインコネルの熱伝導率の10倍より高い熱伝導率を有する。銅は、大抵の場合ニッケルを含む、高温金属合金にわたって向上した熱伝導率をもたらす、SOFCシステム内の温度均一性を促進する可能性があるが、銅は、SOFC環境において酸化されやすく、これにより、SOFCを収容する材料としては、これまでは避けられてきた。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0013】

3 発明の目的

上述の従来の方法および装置に関連した問題の観点から、本発明の目的は、ホットゾーンにわたる熱勾配を低減するために、SOFCホットゾーンのある区域から別の区域に熱エネルギーを伝達するのに、熱伝導による向上した熱エネルギー伝達が使用される、SOFCシステムを提供することである。

【0014】

本発明のさらなる目的は、SOFCシステムにわたる熱勾配を低減するために、互いに機械的に接合された複数の異なる機械的要素にわたって延在する、相互接続された熱エネルギー伝導経路を提供することである。

40

【0015】

本発明のまたさらなる目的は、囲壁と、また加熱源および熱交換器と熱的に連通する、高熱伝導率の熱塊 (thermal mass) 要素を提供することによって、SOFCシステムのホットゾーンの異なる領域間の熱エネルギー交換を管理し、SOFCホットゾーンの各領域の温度を実質的に安定させることである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

(4 発明の概要)

本発明は、向上したSOFCシステムを提供することによって、従来のSOFCシステムに関連した問題を克服する。本発明の向上した固体酸化物形燃料電池 (SOFC) シス

50

テムは、ホットゾーンキャビティを囲むように配置されたホットゾーン囲壁を含む。ホットゾーン囲壁は、 350°C を超える温度での $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ よりも高い熱伝導率、好ましくは $300\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ よりも高い熱伝導率を有する、1つまたは複数の材料から製作される。ホットゾーン囲壁は、銅から製作されるのが理想的である。銅は、囲壁の炭化水素燃料および／または空気への暴露を防ぐために、囲壁の露出した表面全体を被覆する表面を形成することによって、酸化から保護される。一実施形態例では、表面被覆は、少なくとも 0.0005 インチの厚さ、しかし 0.0015 インチまで、またいくつかの用途では、 $350\sim 1200^{\circ}\text{C}$ の作動温度でのメッキ材料を通した酸素拡散を防ぐために、さらに厚く約 0.002 インチまでの範囲の厚さに、電気メッキ工程によって施されたニッケルメッキである。実際には、メッキ厚は、所望の作動寿命時間、平均および／またはピーク作動温度、ならびに、たとえば燃料またはカソードガスに使用される酸化剤によって決まる。

10

【0017】

少なくとも1つの熱塊要素は、ホットゾーン囲壁によって支持された、またはそれに取り付けられたホットゾーンキャビティ内部に配置される。具体的には、熱塊要素は、ホットゾーン囲壁と熱伝導的に連通する。熱塊要素は、 350°C を超える温度での $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ よりも高い熱伝導率、好ましくは $300\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ よりも高い熱伝導率を有する、1つまたは複数の材料から製作される。熱塊要素は、銅から製作されるのが理想的である。銅は、熱塊要素が炭化水素燃料および／または空気もしくは酸素に晒されるのを防ぐために、熱塊要素の露出した表面全体を被覆する表面を形成することによって、酸化から保護される。表面被覆は、 $350\sim 1200^{\circ}\text{C}$ の作動温度でのメッキ材料を通した酸素拡散を防ぐために、少なくとも 0.0005 インチから、 0.002 インチまでの範囲の厚さに電気メッキ工程によって施されたニッケルメッキである。囲壁と熱塊も、モリブデン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの1つまたは複数から製作され得る。

20

【0018】

排ガス燃焼器領域は、使用済み燃料と、SOFCスタックから出て来る熱い排出空気との混合気を燃焼するために、ホットゾーンキャビティ内部に配置される。別法として、排ガス燃焼器領域は、たとえばホットゾーン囲壁を取り囲んで、ホットゾーンキャビティの外側に配置され得る。燃焼領域は、燃焼からホットゾーン囲壁によって受け取られた熱エネルギーが、次にホットゾーン壁を通して、ホットゾーン囲壁のその他の領域に伝導され、ホットゾーン囲壁構造にわたる熱勾配を低減するように、ホットゾーン囲壁によって、少なくとも部分的に画定される。排ガス燃焼器領域は、ハステロイおよび／またはインコネルまたはセラミック被覆鋼などの高温、耐食の金属から形成された内壁によって内張りされる。より一般的には、ライナー材料は、その主要な構成要素として金属ニッケルを有する金属合金である。排ガス燃焼器内部のガスが、ホットゾーンキャビティの表面および／またはホットゾーンキャビティを画定するあらゆる熱塊要素の表面を酸化させる、あるいはそれに損傷を与えることを防ぐような場所に、1つまたは複数のライナーがはんだ付けされてもよい。

30

【0019】

ホットゾーンキャビティに入ってくる冷たい空気を受け取り、その冷たい空気を、それがSOFCスタックに送給される前に熱するために、レキュペレータ室がホットゾーンキャビティ内部に配置される。別法として、レキュペレータ室は、たとえばホットゾーン囲壁を取り囲むかまたは燃焼器領域を取り囲んで、ホットゾーンキャビティの外側に配置されてもよい。レキュペレータ室は、レキュペレータ室内部に熱エネルギーを放射して、流入空気を熱するホットゾーン囲壁によって、少なくとも部分的に画定される。別法としてまたは追加として、レキュペレータ室は、燃焼器領域の壁によって少なくとも部分的に画定される。熱塊要素は、熱塊要素を含む壁が排ガス燃焼器領域をレキュペレータ室から分けるように、レキュペレータ室端壁でもある、排ガス燃焼器領域端壁の一部を形成することが好ましい。排ガス燃焼領域を出る燃焼副産物は、レキュペレータ室の外表面全体に流れ

40

50

、レキュペレータ室を取り囲むホットゾーン囲壁をさらに熱する。

【0020】

燃料送給システムに入って来る燃料供給物を触媒あるいは改質するための燃料改質器が、ホットゾーン囲い内部に少なくとも部分的に配置され得る。

【0021】

S O F C システムの冷間始動中に燃料を燃焼するための冷間始動燃焼室が、ホットゾーン囲壁に囲まれてもよい。冷間始動燃焼室は、ホットゾーン囲壁に少なくとも部分的に囲まれる。冷間始動燃焼室の内壁は、ハステロイおよび／またはインコネルまたはセラミック被覆金属などの高温、耐食の金属で内張されるか、またはセラミック絶縁体から製作されることが好ましい。

10

S O F C 燃料電池スタックは、ホットゾーンキャビティ内部に配置される。燃料電池スタックは、1つの電気化学燃料電池を少なくとも含み、複数の燃料電池を含むことが好ましい。各燃料電池は、アノード支持層、アノード支持層全体に施されたセラミック電解質およびセラミック電解質層全体に形成されたカソード層を含む。アノード支持層は、炭化水素燃料に暴露される一方、カソード層は、酸素を含むカソードガスに暴露される。アノード支持層は、平板として、または管状の導管として形成されてもよい。

【0022】

(5 図面の簡単な説明)

本発明の特徴は、本発明の発明を実施するための形態、および説明目的で選択され、以下の添付図面に示されるその実施形態例から、一番よく理解されるであろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明による、第1の例示的なS O F C システムの概略図を描写する。

【図2】本発明による、S O F C システムの例示的なホットゾーンの概略図を描写する。

【図3】本発明による、S O F C システムの例示的な燃料流経路の概略図を描写する。

【図4】本発明による、S O F C システムの例示的な空気流経路の概略図を描写する。

【図5 A】本発明による、S O F C システムの第1の例示的なホットゾーン外壁から取られた断面図を描写する。

【図5 B】本発明による、S O F C システムの第2の例示的なホットゾーン外壁から取られた断面図を描写する。

30

【図5 C】本発明による、S O F C システムの熱伝導性塊 (t h e r m a l l y c o n d u c t i v e m a s s) を含む例示的な底部管支持壁から取られた断面図を描写する。

【図5 D】本発明による、S O F C システムの熱伝導性塊を含む例示的な燃焼領域端壁から取られた断面図を描写する。

【図5 E】本発明による、S O F C システムの熱伝導性塊を含む例示的な燃焼領域底壁から取られた断面図を描写する。

【図6】本発明による、2つの同心円パターンで配列された複数の棒状の燃料電池を有するS O F C システムの概略的な上部断面図を描写する。

【発明を実施するための形態】

40

【0024】

5. 1 用語定義

特に別途示されない限り、全体を通して以下の用語定義が使用される。

【表 1】

用語	定義
ハステロイ	主に、金属ニッケル＋モリブデン、クロム、コバルト、鉄、銅、マンガンチタン、ジルコニウム、アルミニウムおよびタングステンを、いくつかの合金ではゼロを含んだ様々なバセンテージで含む、合金群。ハステロイ合金は、主に、中程度から重度の腐食環境における高温および／または高ストレス下に効果的に耐えるために使用される。米国、ココモのHaynes International Inc.（ヘインズインターナショナル社）から入手可能である。
Monet	最高67%の金属ニッケルと約30%の銅、さらに少量の鉄、マンガン、炭素およびケイ素を含む合金群。モネルは、その腐食に対する耐性のために使用される。米国、ニューヨーク州、ニューハートフォードのSpecial Metals Corp. から入手可能である。
SOFc	固体酸化物形燃料電池
インコネル	ニッケル40～70%、クロム14～30%、鉄3～9%、マンガン0.3～1%＋ケイ素、炭素、硫黄、および広範な温度にわたる酸化、腐食および強度に対するその耐性のために使用されるその他の元素を含む、オーステナイト系ニッケルクロム合金。熱せられると、インコネルは、厚い安定した不動態化酸化層を形成し、表面をさらなる攻撃から保護する。高温用途でクリープを低減するのに好適。米国、ニューヨーク州、ニューハートフォードのSpecial Metals Corp. から入手可能である。
サーメット	セラミックおよび焼結金属から成る耐熱性材料クラスのうちのいずれか。セラミック酸化混合物として形成、焼結され、酸化セラミックから金属相への還元（NiO-YSZ→Ni-YSZ）を通して変換されることが多い。
灰チタン石	チタン酸カルシウム（CaTiO ₃ ）と同じ結晶構造型の一般構造A ^[12] B ^[6] X ₃ ^[6] の三元材料。

10

20

30

【0025】

項目番号リスト

特に別途示されない限り、全体を通して以下の項目番号が使用される。

【表 2】

項目番号	項目	項目番号	項目
1 0 0	S O F C システム	2 1 5 5	空隙
1 0 5	ホットゾーン	2 1 6 0	熱伝導性塊
1 1 0	コールドゾーン	2 1 6 5	ホットゾーン出口
1 1 5	囲壁	2 1 7 0	燃料投入マニホールド上壁
1 2 0	ホットゾーンキャビティ	2 1 7 5	熱伝導性塊
1 2 5	空隙	2 1 8 0	熱伝導性塊
1 3 0	断熱部	2 1 8 5	燃焼器バッフル
1 3 5	S O F C 燃料電池スタック		
1 4 0	D C 電流出力端子	2 2 0 0	流入空気
1 4 5	電解質支持部	2 2 0 5	空気投入口
1 5 0	アノード表面	2 2 1 0	レキュペレータ室
1 5 5	カソード表面	2 2 1 5	レキュペレータバッフル
1 5 7	熱電対／温度センサ	2 2 2 0	排出
1 6 0	燃料投入ライン	2 2 2 5	空気投入口
1 6 5	燃料改質器	2 2 3 0	レキュペレータ空気投入口
1 7 0	空気投入ライン	2 2 3 5	レキュペレータ空気排出口
1 7 5	レキュペレータ	2 2 4 0	カソード室空気投入口
1 8 0	燃焼器	2 2 4 5	カソード室空気排出口
1 8 5	排出口		
1 9 0	電子制御装置	2 3 0 0	冷間始動燃焼器
1 9 5	冷間始動モジュール	2 3 0 5	環状燃焼器キャビティ
1 9 7	燃料送給制御装置	2 3 1 0	燃焼器引入口
1 9 8	空気送給制御装置	2 3 1 5	燃料
		2 3 2 0	点火器
2 0 0 0	ホットゾーン	2 3 2 5	立ち上げ燃焼器排出口
2 0 0 2	ホットゾーン囲側壁		
2 0 0 4	円盤状の上壁		
2 0 0 5	S O F C 燃料電池スタック	5 0 0 5	壁 2 0 0 2 の断片
2 0 0 6	円盤状の底壁	5 0 1 0	銅コア
2 0 1 0	ホットゾーンキャビティ	5 0 1 5	ニッケル層
2 0 1 2	断熱層	5 0 2 0	ニッケル層
2 0 1 5	ホットゾーン囲壁	5 0 2 5	側壁レキュペレータ室
2 0 2 0	改質器	5 0 3 0	ハステロイライナー要素
2 0 2 5	燃料空気混合気	5 0 3 5	(なし)
2 0 3 0	改質器囲壁	5 0 4 0	底部管壁の断片
2 0 3 5	触媒キャビティ	5 0 4 5	モネルライナー要素
2 0 4 0	触媒媒体	5 0 5 0	ハステロイライナー要素
2 0 4 5	改質器投入口	5 0 5 5	壁 2 1 7 5 の断片
2 0 5 0	改質器出口	5 0 6 0	ハステロイライナー要素
2 0 5 5	燃料投入マニホールド	5 0 6 5	モネルライナー要素
2 0 6 0	長手方向軸		
2 0 6 5	環状断熱要素		
2 0 7 0	上部管支持壁		
2 0 7 5	底部管支持壁		
2 0 8 0	燃料電池		
2 0 8 5	環状管壁	7 0 0 0	S O F C システム

10

20

30

40

2090	カソード室	7010	カソード室
2095	上端キャップ	7015	ホットゾーン囲壁
2100	底端キャップ	7020	絶縁層
2105	取り付け端	7025	カソード供給管
2110	支持端	7030	中心軸
2115	電池投入口	7035	内側円形パターン
2120	電池排出口	7040	内側棒状燃料電池
		7045	外側円形パターン
2125	電気リード線	7050	外側棒状燃料電池
2130	電気リード線		
2135	排ガス燃焼器		
2140	燃焼器端壁		
2145	カソード供給管		
2150	燃焼器出口		

10

【0026】

(5. 2 発明を実施するための形態)

図1を参照すると、本発明の第1の実施形態の概略図が、固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム（100）を描写する。システム（100）は、高作動温度に維持された燃料電池スタックを形成する、少なくとも1つのSOFC燃料電池、好ましくは複数の燃料電池を含むホットゾーン（105）と、燃料投入および排出モジュール、DC電源出力モジュールならびにその他の制御要素を含むコールドゾーン（110）と、を含む。ホットゾーン囲壁（115）は、内部にホットゾーンキャビティ（120）を閉じ込めるように配置される。断熱層（130）は、ホットゾーン（105）を熱的に遮断するように囲壁（115）を取り囲む。断熱層（130）とホットゾーン囲壁（115）の側壁との間に空隙（125）が設けられ、空隙は、ガスがホットゾーンの様々な領域から排出口（185）に流れるためのガス流導管をもたらす。

20

【0027】

本発明の重要な態様によれば、ホットゾーン囲壁（115）および以下に説明される関連の熱エネルギー管理要素は、ホットゾーン囲壁（115）を通じた熱伝導によるホットゾーンの全領域への熱エネルギー伝達に対して、熱伝導性経路を提供するために、互いに熱的に連通している。より具体的には、ホットゾーン囲壁（115）と以下に説明されるあらゆる熱エネルギー管理要素は、たとえば、350～1200℃の範囲の温度において、100～300W/(m・K)、好ましくは200W/(m・K)より高い熱伝導率を有する材料を含む。したがって、外壁および以下に説明されるその他の熱エネルギー管理要素は、銅合金、モリブデン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの1つまたは複数から製作される。具体的には、ホットゾーン囲壁（115）および関連の熱エネルギー管理要素は、ホットゾーンのある区域から別の区域への熱エネルギーの素早い伝導に対して、熱伝導性経路を提供するように構成される。より具体的には、ホットゾーン囲壁（115）および関連の熱エネルギー管理要素は、ホットゾーン全体がほぼ均一な温度に確実に維持されるために、ホットゾーンの高温度区域から、ホットゾーンのそれより低い温度区域へ熱エネルギーを素早く伝導することによって、ホットゾーン内部で熱エネルギーを管理するように構成される。

30

40

【0028】

1つまたは複数の固体酸化物形燃料電池すなわち燃料電池を備える電気化学エネルギー発生器すなわち燃料電池スタック（135）は、ホットゾーン（105）内部に閉じ込められ、以下に説明される1つまたは複数の支持要素によって、囲壁（115）に対して支持される。燃料電池スタック（135）は、各電池が電流を発生させる電気化学反応に関与する、1つまたは複数の燃料電池を含む。燃料電池は、必要に応じて直列または並列に

50

電氣的に相互接続され、燃料電池スタック（１３５）の所望の出力電圧を供給する。各燃料電池は、３つの主要な層、アノード層すなわち燃料極（１５０）、カソード層すなわち空気極（１５５）、およびアノード層をカソード層から分ける電解質層（１４５）を含む。

【００２９】

アノード層（１５０）は、水素ガス（ H_2 ）および／または一酸化炭素（ CO ）を少なくとも含む、気体のまたは蒸気の燃料に暴露される。同時に、カソード層（１５５）は、空気すなわちその他の気体のまたは蒸気の酸素（ O_2 ）源に暴露される。カソード層（１５５）では、カソード層に供給された酸素（空気）は、電子を受け取り酸素イオン（ O^{2-} ）になる。カソード反応は、 $1/2 O_2 + 2 e^- = O^{2-}$ で、 O^{1-} と書かれる場合もある。

10

【００３０】

酸素イオンは、カソード層から、セラミック電解質層（１４５）を通してアノード層（１５０）に移る。アノード層では、燃料によってアノード層に供給された水素（ H_2 ）および／または一酸化炭素（ CO ）が、酸素イオンと反応し、水と二酸化炭素を生成し、この反応中に放出された電子が、電気と熱を生成する。生成物によるその他の反応は、メタン、エタンまたはエチレンを含み得る。電気化学反応によって生成された電気は、電気負荷に電力供給を行うＤＣ出力端子（１４０）に引き出される。

【００３１】

通常のアノード材料は、ニッケルとドーパジルコニア、ニッケルとドーパセリア、銅とセリアなどのサーメットを含む。 $Sr_{2}Mg_{1-x}Mn_xMoO_{6-\delta}$ または $La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-\delta}$ などの灰チタン石アノード材料も使用可能である。通常のカソード材料は、ランタンストロンチウムコバルト酸化物（ＬＳＣ）、ランタンストロンチウムコバルト鉄複合酸化物（ＬＳＣＦ）およびランタンストロンチウムマンガナイト（ＬＳＭ）を含む。電解質層は、イオン伝導性セラミックであり、普通、イットリアドーパジルコニアまたはガドリニウムドーパセリアなどの酸素イオン伝導体である。電解質層は、バリウムセラートまたはバリウムジルコネートなどのプロトン伝導性セラミックに変更可能である。電解質層は、略気密バリアの働きをし、燃料と空気が混合し、燃焼することを防ぐ。

20

【００３２】

一般に、各燃料電池は、アノード層（１５０）、カソード層（１５５）または電解質層（１４５）のうちの１つが、支持すなわち機械的構造的要素として形成され、その他の２つの層が、たとえば浸漬、吹き付けなどによって支持要素に被覆されて構成される。各燃料電池が、円筒形のガス導管を形成する中空管として構成されたアノード支持要素を備え、アノード層（１５０）が円筒形の導管の内径を形成し、セラミック電解質層（１４５）が構造的アノード層（１５０）の外径全体に被覆され、またカソード層（１５５）が電解質層（１４５）の外径全体に被覆される、図２に示された非限定的な実施形態の一例を含む、様々な支持要素構造が使用可能である。

30

【００３３】

水素（ H_2 ）および一酸化炭素（ CO ）を少なくとも含む炭化水素燃料は、アノード層に接触している中空セラミック管の中を流れ、空気は、カソード層に接触している中空管にわたってその外面を流れる。上に説明されたように電流が発生する。

40

【００３４】

図２の特定の電池スタックは、複数の管状の燃料電池を備えるが、本発明から逸脱することなく、異なる既知のフォームファクタを有する燃料電池によって形成されるその他の電池スタックが使用可能である。これらは、各電池が、その他の層が支持層上に被覆されたシート状の支持層と、その他の層が支持層上に被覆された、隣接した平らな支持層間に配置されたセパレータとを含む、積み重ねて形成された複数の平板型の燃料電池から形成された燃料電池スタック（１３５）を含み得る。

【００３５】

50

燃料投入ライン（１６０）は、コールドゾーン（１１０）内に格納された燃料容器から、またはコールドゾーン（１１０）内部に送給された外部供給物から、気体のまたは蒸気の炭化水素燃料を送給する。電子制御装置（１９０）と通信する燃料送給制御装置（１９７）が、コールドゾーン内の燃料投入ライン（１６０）に沿って配置され、必要に応じて燃料投入体積または質量流量を調整して、燃料投入量を制御する。燃料投入ライン（１６０）は、基本的に燃料から純水素を抽出する燃料処理用の燃料改質器（１６５）内部に燃料を送給する。改質燃料は、それとの電気化学反応のためにアノード表面（１５０）上を通過させられる。炭化水素燃料は、様々な燃料成分および混合気を含む場合があるが、水素（ H_2 ）および／または一酸化炭素（ CO ）を少なくとも含む。

【００３６】

10

空気すなわちカソードガス投入ライン（１７０）は、たとえば吸入ファンなどを通して、コールドゾーン（１１０）内部に、室内空気または別の酸素源などの気体のまたは蒸気の酸素を送給する。電子制御装置（１９０）と通信する空気送給制御装置（１９８）が、任意に、コールドゾーン内の空気投入ライン（１７０）に沿って配置され、必要に応じて空気投入体積または質量流量を調整して空気投入量を制御する。空気投入ライン（１７０）は、ホットゾーンを出る燃料および空気と、流入するより冷たい空気との間の熱エネルギー交換によって投入空気を熱する、レキュペレータ（１７５）内部に、室内温度空気を送給する。熱せられた流入空気は、それとの化学反応のために、カソード表面（１５５）上を通過させられる。

【００３７】

20

使用済み燃料と酸素が減少した空気との両方は、燃料電池スタック（１３５）を出て、燃焼領域すなわち排ガス燃焼器（１８０）内で混ざる。未反応燃料と未反応空気との混合気＋排ガス燃焼器（１８０）内部に送給された反応副産物は、自然発生的にそこで燃焼し、局部的に熱エネルギーを発生させる。以下に説明される燃焼器壁は、たとえば $100 \sim 300 W / (m^{\circ} K)$ 、好ましくは $200 W / (m^{\circ} K)$ を超える高い熱伝導率を有する材料を含む。また、燃焼器（１８０）内部の燃焼によって発生した熱エネルギーが、高温に燃焼器壁を熱し、ホットゾーン囲壁（１１５）を通した伝導性熱エネルギー伝達によって、ホットゾーンゾーンの全領域への熱エネルギー伝達を敏速に開始するように、燃焼器壁は、ホットゾーン囲壁（１１５）と熱的に連通している。

【００３８】

30

高温ガスを含む、排ガス燃焼器（１８０）から出る燃焼副産物は、レキュペレータ（１７５）内部に送給される。レキュペレータは、燃焼高温副産物からの熱エネルギーをより冷たい流入空気に伝達し、それにより、流入空気を、それが $SOFC$ 燃料電池スタック（１３５）に入る前に熱するように逆流導管が設けられた、クロスフロー熱交換器を備える。レキュペレータ（１７５）を通過した後、燃焼副産物は、排出口（１８５）を通過して排出される。

【００３９】

熱電対またはその他の温度センサ（１５７）は、囲壁（１１５）の表面に添着され、その温度を検知し、温度情報は、電子制御装置（１９０）に伝えられる。電子制御装置（１９０）は、燃料送給制御装置（１９７）に関連した、１つまたは複数の電氣的に作動可能なガス流弁、ガス流量検出器および／または調整器、空気送給制御装置（１９８）ならびに電力出力検出器などのその他の電子要素と通信し、その他の要素は、 $SOFC$ （１００）の様々な作動パラメータを制御するために必要とされる場合がある。電子制御装置（１９０）は、熱電対において測定された温度だけではなく DC 電流出力をモニタし、 DC 電流出力を上げるまたは下げる手段として、燃料投入量および空気量を変えるようにさらに作動する。

【００４０】

40

さらに、立ち上げ時に投入燃料を予熱するための冷間始動予熱器（１９５）が、任意に提供され得る。冷間始動予熱器（１９５）は、囲壁およびセラミック電解質構造を予熱する際に燃料供給物の一部に点火するのに使用できる燃料点火器であってもよく、または投

50

入燃料を予熱するのに使用できる電気ヒータを含んでもよく、またはその両方であってもよい。

【0041】

5. 3 例示的なホットゾーンアーキテクチャ

ここで図2を参照すると、本発明による、向上したSOFCシステムホットゾーン(2000)の第1の非限定の例示的な実施形態が、ホットゾーンキャビティ(2010)内部に囲われた、複数の個々の燃料電池を備えるSOFC燃料電池スタック(2005)を含む。ホットゾーンキャビティ(2010)は、囲壁(2015)によって取り囲まれ、この囲壁は、銅合金、モリブデン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの1つまたは複数から形成される。囲壁は、熱エネルギーがホットゾーンを出ることを防ぐ、断熱層(2012)によって取り囲まれる。ホットゾーン囲壁(2015)と断熱層(2012)との間に、空隙(2115)が配置される。空隙(2115)は、ホットゾーン出口(2165)につながる流体流導管をもたらし、ホットゾーンからの排出ガスを運ぶのに使用される。

10

【0042】

囲壁(2015)は、 $100\sim300\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ 、好ましくは $200\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する材料を含む熱伝導経路を提供するように構成される。また、熱伝導経路は、ホットゾーンの各区域の温度をより素早く均一にするために、ホットゾーンの高温ゾーンからホットゾーンのそれより低い温度ゾーンに熱エネルギーを伝導するのに適した熱エネルギー導管として働くように配置される。

20

【0043】

5. 3. 1 改質器

この非限定の例示的な実施形態のホットゾーンキャビティ(2010)は、円筒形の側壁(2002)、円盤状の上壁(2004)および円盤状の底壁(2006)を含む、ホットゾーン囲壁(2015)によって画定される缶状の円筒形体積(volume)である。ホットゾーン(2000)は、使用されているSOFC反応に応じて、 350°C を超える、または 500°C を超える温度で最も効率的に作動し、 $350\sim1200^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度で操作され得る。したがって、本発明のホットゾーンの要素のそれぞれは、 1200°C までの範囲の温度で確実に作動するように構成される。

【0044】

本発明の好適な非限定の実施形態例によれば、発熱作用を使用して燃料を改質する燃料改質器(2020)が、ホットゾーン内部に、またはその内部に部分的に提供され、燃料電池スタック(2005)の燃料電池のそれぞれの中に送給するための投入燃料を改質する。この例示的な実施形態の改質器(2020)は、それに送給された燃料空気混合気(2025)を部分的に燃焼する、接触部分酸化法(CPOX: Catalytic Partial Oxidation)を含む。燃料改質処理は、水素、一酸化炭素水、二酸化炭素、およびメタンなどのその他の小さな炭化水素を含む、水素リッチ燃料すなわち合成ガスを生み出す。CPOXリアクターは、その内部表面(2040)に被覆された、ロジウム(Rh)の金属のすなわち酸化物の相などの触媒、またはその他の適切な触媒(たとえば、Pt、Pd、Cu、Ni、RuおよびCe)を含む。CPOXリアクターを通過する燃料空気混合気(2025)は、それが触媒被覆の表面(2040)上を通過するのに従って触媒され、反応によって放出された熱は、ホットゾーン囲壁(2015)に放射され、熱伝導され、燃料電池スタックを熱するのに役立つ。

30

40

【0045】

CPOX改質器(2020)は、円筒形の触媒キャビティ(2035)を取り囲む改質器囲壁(2030)を備える。円筒形の触媒キャビティ(2035)は、内部に触媒媒体(2040)を支持する。本実施形態例では、触媒媒体は、その露出した表面が適切な触媒で被覆された、四角形セル押出モノリス(2040)である。このモノリスは、流入燃料空気混合気(2025)が、触媒用の四角形セル押出モノリスの露出した表面を通して流れるように位置付けされる。その他の適切な触媒構造には、複数の平行板もしくは同心

50

環構造、あるいはその露出した表面が触媒剤で被覆されて形成された焼結もしくは押出要素などの多孔質金属もしくは発泡セラミック構造を含み得る。別法として、触媒構造は、触媒剤で被覆された露出した表面を有する複数のメッシュスクリーンを備えてもよい。「燃料」後のそこでの主な燃料空気混合気(2025)は、改質器投入口(2045)を通過して改質器(2020)に入り、触媒された表面との接触による触媒化のために、触媒媒体(2040)中を流れる。触媒された燃料は、改質器出口(2050)を通過して改質器から流出して、燃料投入マニホールド(2055)に流入する。

【0046】

この非限定の例示的な実施形態では、改質器囲壁(2030)は、円筒形または四角形の断面の触媒キャビティ(2035)を囲む円筒形または四角形の壁を含む。触媒媒体(2040)は、流入燃料(2025)を、触媒面を通過して触媒構造中に流れさせるように配置された触媒キャビティ(2035)内部に支持される。断熱要素(2065)は、触媒キャビティ(2035)の外側表面を取り囲むように配置される。熱エネルギーが触媒キャビティ(2035)に入るまたはそこから出るのを実質的に防ぐために、断熱要素(2065)が提供される。改質器囲壁(2030)は、ニッケルクロムと鉄を含むインコネルなどの高温鋼合金、ニッケルと銅を含む、たとえばモネルの高温銅合金、またはその他の適切な高温材料を含み得る。

【0047】

5. 3. 2 SOFC燃料電池スタック

SOFC燃料電池スタック(2005)は、缶状のホットゾーン囲壁(2015)内部に支持される。複数の棒状の燃料電池(2080)は、カソード室(2090)内部に長手方向に支持される。カソード室(2090)は、ホットゾーン囲いの円筒形の側壁(2002)によって、また1組の対向する円盤状の上部管支持壁(2070)および底部管支持壁(2075)によって画定される缶状の室である。各管支持壁(2070、2075)は、溶接またはロウ付けによる、腕木を付け機械的に固定することによる、などの適切な取り付け手段によって円筒形の側壁(2002)に取り付けられるか、あるいは、必要な力、接着剤などによって、固定具なしで定位置に保持される。燃料電池スタック(2005)は、ホットゾーン囲壁(2015)内部への設置の前に組み立てられ、たとえば必要に応じて燃料電池スタックを修理または点検する際には、一単位としてホットゾーン囲壁(2015)から取り外されるのが好ましい。したがって、上部および底部管支持壁(2070、2075)は、図示されていない対向する端止め具間の所定位置に捕捉され得る。

【0048】

上部管支持壁(2070)は、複数の棒状の燃料電池(2080)のそれぞれの上部すなわち投入端と機械的に係合し、それを固定的に支持する。上部支持壁(2070)と複数の燃料電池投入端のそれぞれとの間の機械的接合部は、燃料投入マニホールド(2055)内の燃料空気混合気(2025)がカソード室(2090)に入るのを防ぐための気密接合部である。上部管支持壁(2070)は、インコネルで形成されるのが好ましい。さらに、上端キャップ(2095)のそれぞれもまた、高温環境においてクリープを避けるのに効果的な材料である、インコネルで形成される。底部管支持壁(2075)は、複数の棒状の燃料電池(2080)のそれぞれの底部すなわち排出端と機械的に係合し、それを移動可能に支持する。具体的には、各燃料電池(2080)の排出端は、燃料電池が350~1200℃の作動温度に熱せられるのに従った各燃料電池の長さにおける変化に適応するために、底部支持壁(2075)に対して長手方向に移動可能である。本発明で使用可能な管支持システムの一例が、「SOLID OXIDE FUEL CELL WITH FLEXIBLE ROD SUPPORT STRUCTURE」と題された、2013年6月26日に出願された関連の米国特許出願第13/927,418号において、Palumboによって開示されている。

【0049】

ここで図2および5Dを参照すると、底部管支持壁(2075)は、銅合金、モリブデ

10

20

30

40

50

ン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの1つまたは複数などの、 $100\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い、好ましくは $200\text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ より高い熱伝導率を有する1つまたは複数の材料を含む、円盤状の熱伝導性塊(2180)を含む。円盤状の熱伝導性塊(2180)は、図5Dに関して以下に説明される上部保護表面層(5045)および底部保護表面層(5050)によって保護される。1つの非限定の例示的な実施形態では、上部(5045)および底部(5050)の保護表面層はそれぞれ、円盤状の熱伝導性塊(2180)と熱伝導的に接触する独立した円盤状の要素を含む。具体的には、カソード室(2090)に面する上部表面層(5045)は、モネルなどの円盤状のクロムを含有していない高温金属合金を含み、燃焼領域(2135)、すなわち排ガス燃焼器に面している底部表面層(5050)は、ハステロイ合金などの円盤状の高温、耐食の金属を含む。

10

【0050】

上部保護表面層(5045)および底部保護表面層(5050)のそれぞれは、ホットゾーン囲いの円筒形の側壁(2020)とも熱伝導的に接触している、熱伝導性塊(2180)と熱伝導的に接触している。したがって、燃料空気混合気が排ガス燃焼器すなわち燃焼領域(2135)内で燃焼されるのに従い、燃焼により発生した熱エネルギーが、燃焼領域(2135)を囲んでいる壁に放射され、囲んでいる壁から、熱伝導性塊(2180)に、またホットゾーン囲壁(2015)を通してホットゾーンのその他の領域に熱伝導される。また、熱伝導性塊(2180)から放出された熱エネルギーは、カソード室(2090)内部に放射され、そこでは熱エネルギーが、カソードガス、すなわちその中を

20

【0051】

棒状の燃料電池(2080)は、アノード層が支持層である、管状の環状壁(2085)を備える。管状の環状壁(2085)は、両端が開口している。環状壁(2085)は、カソード室(2090)を貫通する燃料導管(2085)を形成し、そこを通して燃料(2025)を運ぶ。本発明から逸脱することなく、四角形、三角形、五角形、六角形などを含むその他の棒形が、使用可能である。さらに、構造上の一体性をもたらすのに、その他の支持層が使用可能である。各燃料電池は、2つの金属端キャップ(2095)および(2100)、または1つの端キャップが管状の環状壁(2085)の2つの対向する端のそれぞれに取り付けられた、管マニホールドアダプタを含む。

30

【0052】

各端キャップ(2095)および(2100)すなわち管マニホールドアダプタは、カップ状の取り付け端(2105)およびジャーナル状の支持端(2110)を備える。取り付け端(2105)は、内部に環状壁(2085)の外径を受ける大きさの止まり穴を含む。各取り付け端(2105)は、プレスすなわち推定嵌め込みによって、あるいはロウ付け、またはホットゾーンの作動温度($350\sim 1200^{\circ}\text{C}$)に適した材料を用いた接着剤などの別の固定手段によって、棒端に固定的に取り付けられる。ジャーナル状の支持端(2110)は、投入側の上部支持板(2070)を貫通している対応する貫通孔、および排出側の底部支持板(2075)を貫通している対応する貫通孔と係合する大きさの外径で形成された環状壁を含む。ジャーナル状の支持端(2110)は、棒状の燃料電池の上端における電池投入口(2115)として、または棒状の燃料電池の底端における電池排出口(2120)として、それを通して機能する、そこを貫通している貫通孔をさらに含む。端キャップ(2095&2100)すなわち管マニホールドアダプタはそれぞれ、燃料電池と熱的に適合する高温の低クロムCrの耐食金属合金を含む。キャップは、Cr汚染を避けるために、セラミック被膜された金属キャップから成り得る。

40

【0053】

図2および3を参照すると、環状壁(2085)の外径が、端キャップ(2095)を通る電気リード線(2125)を介してDC端子(140)のうちの1つと電氣的に連通するように、各燃料電池(2080)の上端キャップ(2095)が、環状壁(2085)の外径すなわちカソード層との電氣的な連通をもたらし得る。第2の電気リード線(2

50

130)は、環状壁(2085)の内径すなわちアノード層と、またDC端子(140)のうちの異なる端子と電氣的に連通する。さらに、燃料電池スタック(2005)によって発生する電流から、ホットゾーン囲壁(2015)を電氣的に遮断するために、各端キャップ(2095)、(2100)と対応する上部および底部の支持壁(2070)、(2075)との間に電気絶縁体(図示せず)が提供される。

【0054】

それぞれの棒状の燃料電池は、内径および外径で形成された構造的なアノード材料層である、アノード支持層を含む環状壁(2085)によって形成される。アノード支持層は、ニッケルとドーパジルコニア(ZrO_2)、ニッケルとドーパセリア(CeO_2)、銅とセリアまたはドーパセリア、などを含むサーメットを含み得る。アノード支持層環状壁(2085)の外径は、イットリア安定化ジルコニアまたはセリウム(Ce)もしくはランタンガレート系セラミックなどのセラミック電解質層で少なくとも部分的に被覆される。セラミック電解質層の外径は、ランタンストロンチウムコバルト酸化物(LSC)、ランタンストロンチウムコバルト鉄複合酸化物(LSCF)、ランタンストロンチウムマンガナイト(LSM)などのカソード材料層で少なくとも部分的に被覆される。

【0055】

システム(2000)の第2の非限定的な実施形態例では、ホットゾーン囲壁および内側端壁の機械的構造は、図2に示されかつ上に説明されたものと同様であるが、アノード層とカソード層が、セラミック電解質層に対して反対になる。具体的には、第2の実施形態では、アノード支持層環状壁(2085)の内径は(外径ではなく)、イットリア安定化ジルコニアまたはセリウム(Ce)もしくはランタンガレート系セラミックなどのセラミック電解質層で少なくとも部分的に被覆され、セラミック電解質層の内径は、ランタンストロンチウムコバルト酸化物(LSC)、ランタンストロンチウムコバルト酸化物(LSCF)、ランタンストロンチウムマンガナイト(LSM)などのカソード材料層で少なくとも部分的に被覆される。この実施形態例では、環状壁(2085)のアノード支持層は、各燃料電池の外径であり、各燃料電池の内径は、カソード層である。したがって、第2の実施形態例では、カソード室(2090)がアノード室になり、カソードガス、すなわち空気が棒状の燃料電池中に流される間に、燃料がアノード室内部に送給される。

【0056】

燃料混合気(2025)は、アノード材料層全体に流されるが、カソードガスである酸素(空気)は、電流の流れを発生させるためにカソード材料層全体に流される。電流の流れは、燃料電池スタックから、電気端子(2125)および(2130)を介してDC端子(140)に流れ、外部デバイスに電力供給を行うのに使用され得る。上に手短に説明された第2の実施形態などのその他の実施形態では、本発明から逸脱することなく、カソード層が燃料電池の内径上、アノード層が燃料電池の外径上で、アノード表面とカソード表面とが入れ替え可能であり、空気が燃料電池によって形成されたガス流導管を通して流れ、また燃料が燃料電池の外側表面にわたって流れる、ことが留意される。

【0057】

燃料投入マニホールド(2055)は、円盤状の上壁(2170)および対向する円盤状の上部管支持壁(2070)によって画定された円筒形の室を備える。円盤状の上壁(2170)は、熱伝導性塊(2160)を含む。熱塊(2160)は、銅合金、モリブデン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの1つまたは複数などの、 $100W/(m^{\circ}K)$ より高い、好ましくは $200W/(m^{\circ}K)$ より高い熱伝導率を有する、1つまたは複数の材料を含む。熱塊(2160)は、ホットゾーン囲壁(2015)、具体的には側壁(2002)と熱伝導的に連通する。熱伝導性塊(2160)は、立ち上げ中に冷間始動燃焼室(2305)内で燃焼される燃料から熱エネルギーを受け取り、かつそこから受け取られた熱エネルギーをホットゾーン外壁(2015)に熱伝導するために、以下に説明される環状冷間始動燃焼室(2305)に近接して位置付けられる。また、熱伝導性塊(2160)は、冷間始動室(2305)内部の燃料燃焼から受け取られた、またホットゾーン囲壁を通した熱伝導によって受け取られた熱エネルギー

ーを、燃料が燃料投入マニホールド（２０５５）を通過するのに従って、燃料（２０２５）へ放射する。

【００５８】

上部管支持壁（２０７０）は、燃料電池上端キャップ（２０９５）のそれぞれの支持端（２１１０）との気密シールを形成する。また、燃料電池（２０８０）のそれぞれの、支持端（２１１０）すなわちそこを通るマニホールドアダプタを受けるための貫通孔を含む上部支持壁（２０７０）に形成された機械的接合部によって、上部支持壁（２０７０）から固定的に吊り下げられる。さらに、燃料投入マニホールド（２０５５）は、円筒形の側壁（２００２）によって画定される。

【００５９】

この例示的な実施形態は、発熱反応を使って燃料を改質する、ＣＰＯＸ改質器（２０２０）を利用することから、改質器（２０２０）は、燃料がホットゾーンに入るのに従って流入燃料（２０２５）を熱するための、ホットゾーン（２０００）内部に有益に配置された熱エネルギー源である。しかしながら、本発明のＳＯＦＣシステムのその他の実施形態では、改質器（２０２０）は、発熱作用、たとえば水蒸気改質器または熱的に中立な反応、たとえば自己熱改質器を利用して、燃料を改質することが可能で、これらの場合、改質器（２０２０）は、ホットゾーン（２０００）の外側により有益に配置され、図１に示されるコールドゾーン（１１０）に代わることになるであろう。したがって、本発明の向上したホットゾーン（２０００）は、本発明から逸脱することなく、改質器（２０２０）なしで操作され得る。

【００６０】

５．４ 排ガス燃焼器

排ガス燃焼器すなわち燃焼器領域（２１３５）は、上に説明されかつ図５Ｄに示された熱塊（２１８０）を含む円盤状の底部管支持壁（２０７５）と、熱塊（２１７５）も含む円盤状の燃焼器端壁（２１４０）との間に配置された環状体積である。両方の熱塊（２１８０）および（２１７５）は、銅合金、モリブデン合金、アルミニウム銅合金、銅ニッケル合金またはそれらの組合せのうちの１つまたは複数などの、 $100\text{W}/(\text{m}^\circ\text{K})$ より高い、好ましくは $200\text{W}/(\text{m}^\circ\text{K})$ より高い熱伝導率を有する、１つまたは複数の材料を含む。熱塊（２１８０）および（２１４０）は、燃焼領域（２１３５）から熱エネルギーを受け取るように位置付けられ、燃焼領域から受け取られた熱エネルギーをホットゾーン囲壁（２０１５）に伝導するとともに、燃焼領域から受け取られた熱エネルギーをカソード室（２０９０）およびレキュペレータ室（２２１０）内部に放射するように構成される。

【００６１】

燃焼器領域（２１３５）を通るガス流を向け直し、燃焼器領域（２１３５）の側壁への対流性エネルギー伝達を高める乱流を生み出すために、環状燃焼器バッフル（２１８５）が環状燃焼器領域内部に設けられる。燃焼器バッフル（２１８５）は、ホットゾーン囲壁（２００２）に固定的に取り付けられてもよく、または以下に説明される燃焼室ライナーの一部を備えてもよい。

【００６２】

以下に説明されるカソード供給管（２１４５）は、中央長手方向軸（２０６０）に沿って燃焼器領域（２１３５）を貫通している。カソード供給管（２１４５）の壁は、燃焼器領域（２１３５）内部の燃焼ガスからの対流性熱エネルギー伝達によって熱せられる。カソード室（２０９０）に向かってカソード供給管（２１４５）を流れる空気は、カソード供給管（２１４５）から内部を流れる空気に放射される熱エネルギーによって熱せられる。

【００６３】

燃焼器領域（２１３５）の内部壁は、ハステロイ合金などの高温、耐食の金属で内張りされる。円盤状の底部管支持壁（２１４０）の場合、燃焼器領域に面する表面は、ハステロイを含む。燃焼器領域端壁（２１７５）の場合、燃焼器領域に面する表面は、ハステロ

イを含む。いずれの場合も、壁（２０７５）、（２１７５）は、それぞれ対応する熱塊（２１８０）、（２１４０）と熱伝導的に接触するハステロイの円盤状のライナーを有する複合構造として形成される。燃焼器領域（２１３５）の円筒形の側壁も、コバルト、クロムおよびモリブデンを少なくとも含むニッケル系合金である、ハステロイ変形形態などの高温、耐食の金属で内張りされる。１つの非限定的な実施形態例では、側壁ライナーは、燃焼器バッフル（２１８５）がそれと一体的に形成された管状の開放端型円筒形壁として形成された独立した要素を含む。また、側壁ライナーは、ホットゾーン囲側壁（２００２）にその開口端の一方から挿入され、かつ壁ライナーの表面のほぼ全体にわたって、側壁（２００２）と熱伝導的に接触するように形成される。

【００６４】

10

５．５ レキュペレータ

空気（２２００）は、投入口（２２０５）を通してカソード供給管（２１４５）に入り、レキュペレータ室（２２１０）の中に流れる。レキュペレータ室（２２１０）は、燃焼器領域（２１３５）内部で起こる使用済み燃料の燃焼によって発生した熱エネルギーを使用して流入空気（２２００）を熱するために、排ガス燃焼器領域（２１３５）に極めて近接して位置付けられる。レキュペレータ室（２２１０）は、カソード供給管（２１４５）を取り囲む環状室であり、円盤状の燃焼器端壁（２１４０）によって上面に、円盤状のホットゾーン囲底壁（２００６）によって底面に、そしてホットゾーン囲いの円筒形の側壁（２００２）によってその側面に、画定される。

【００６５】

20

熱エネルギーは、ホットゾーン囲壁（２１０５）によって、燃焼器端壁（２１４０）によって、また少ない程度でカソード供給管（２１４５）によって、レキュペレータ室（２２１０）の壁に伝導される。熱エネルギーは、レキュペレータ室壁から空気（２２００）に、それがレキュペレータ室（２２１０）を通過するのに従って、放射される。レキュペレータ室（２２１０）の外側壁は、燃焼器領域（２１３５）から出る熱い排出ガスによってさらに熱せられる。具体的には、レキュペレータ室（２２１０）は、出口（２１５０）を通して燃焼器領域（２１３５）から出る熱い排出ガスを、ホットゾーン出口（２１６５）に運ぶ空隙（２１５５）によって取り囲まれる。熱い排出ガスからの熱エネルギーは、対流性熱伝達によってレキュペレータ室壁の外側壁の部分を熱する。

【００６６】

30

レキュペレータバッフル（２２１５）は、レキュペレータ室（２２１０）内部に配置され、カソード供給管（２１４５）を貫通しており、空気流がカソード供給管（２１４５）を通るのを防ぐ。これにより、投入口（２２０５）を通してカソード供給管（２１４５）に入る空気（２２００）は、カソード供給管内部のレキュペレータバッフル（２２１５）に突き当たり、１つまたは複数の空気投入口（２２２５）を通してレキュペレータ室（２２１０）の中に押しやられる。空気投入口（２２２５）を通してレキュペレータ室（２２１０）の中に流れる投入空気（２２００）は、レキュペレータバッフル（２２１５）の周りを通り、レキュペレータ室（２２１０）内で熱せられた後、１つまたは複数の空気排出口（２２３５）を通して、カソード供給管に再び入る。

【００６７】

40

５．６ 冷間始動燃焼室

図２を参照すると、ＳＯＦＣホットゾーン（２０００）は、３５０℃を超える作動温度に、または少なくとも、排ガス燃焼器領域内で自然燃焼が起こるまで、ホットゾーンを最初に熱するために提供された冷間始動燃料燃焼器を、任意に含む。冷間始動燃料燃焼器は、環状立ち上げ燃焼室（２３０５）を含む。立ち上げ燃焼室（２３０５）は、触媒キャビティ（２０３５）と環状断熱要素（２０６５）を取り囲む。立ち上げ燃焼室（２３０５）は、円盤状のホットゾーン囲上壁（２００４）によって上面に、また環状熱塊（２１７５）を含む円盤状の燃料投入マニホールド上壁（２１７０）によって底面に、画定される。立ち上げ燃焼室（２３０５）は、ホットゾーン囲側壁（２００２）によってさらに画定される。

50

【0068】

立ち上げ燃焼室引入口（2310）は、示されていない燃料源からの無触媒の燃料をそこで受け取る。無触媒の燃料は、天然ガス、プロパン、メタン、水素アルコール、または燃料と空気との混合気などの様々な可燃性気体のまたは気化した液体の燃料を含み得る。無触媒の燃料は、燃焼器引入口（2310）を通して立ち上げ燃焼室（2305）内部に送給され、電気火花点火器（2320）によって点火される。

【0069】

立ち上げ燃焼中、立ち上げ燃焼室（2305）内部の燃料燃焼によって発生した熱エネルギーは、対流性熱エネルギー伝達によって、ホットゾーン囲上壁（2004）および側壁（2002）とともに、燃料投入マニホールド上壁（2170）に伝達される。これらの壁のそれぞれから、立ち上げ燃焼からの熱エネルギーが、熱伝導性ホットゾーン囲壁（2015）によってホットゾーンのその他の領域に熱伝導される。

10

【0070】

立ち上げ燃焼からの排出ガスは、ホットゾーン出口（2165）につながる空隙（2155）と流体連通している燃焼器排出口（2325）を通して、立ち上げ燃焼室（2305）を出る。これにより、立ち上げ燃焼室（2305）からホットゾーン出口（2165）に流れる排出ガスは、対流性熱伝導によって、ホットゾーン囲壁（2015）の外部表面をさらに熱する。

【0071】

立ち上げ燃焼室（2305）の内部壁は、コバルト、クロムおよびモリブデンを少なくとも含むニッケル系合金である、ハステロイ変形形態などの高温、耐食の金属で内張りされる。円盤状のホットゾーン囲上壁（2004）の場合、この壁は、その内側表面がハステロイ材料層で内張りされ、ハステロイライナーが、ホットゾーン囲上壁（2004）と熱伝導的に接触している。円盤状の燃料投入マニホールド上壁（2170）の場合、この壁の上面は、環状熱伝導性塊（2175）と熱伝導的に接触しているハステロイ材料層を含む。側壁の場合、ハステロイ材料を含む円筒形の壁ライナーが、ホットゾーン囲壁（2002）と熱伝導的に接触している立ち上げ燃焼室に挿入される。

20

【0072】

5. 7 ガス流図

5. 7. 1 燃料流図

30

ここで図3を参照すると、概略的な燃料流図が、空気燃料混合気（2025）の、それがホットゾーン（2000）を通過するのに従った、流路を描写する。燃料（2025）は、改質器投入口（2045）に入り、触媒用の改質器触媒ゾーン（2035）を通過する。触媒された燃料は、改質器出口（2050）を通過して改質器を出て、燃料投入マニホールド（2055）に入る。燃料投入マニホールド（2055）から、燃料は、対応する電池投入口（2115）を通過して、燃料電池すなわち管状壁（2085）のそれぞれに入り、各燃料電池の中を流れ、対応する電池排出口（2120）を通過して燃料電池を出る。燃料電池（2080）の内部で、燃料は、燃料電池環状壁（2085）の内側表面を形成するアノード材料層と反応する。燃料電池排出口（2120）を通過して燃料電池を出た後、未反応燃料および反応副産物を含む、残っている燃料空気混合気（2025）は、燃焼器領域（2135）に入り、そこでカソード室（2090）から出て来る空気と混ざり、内部で自然燃焼する混合気を形成する。上で説明されたように、燃焼器領域（2135）内の燃焼によって発生した熱エネルギーは、燃焼器領域の側壁に対流的に伝達され、ホットゾーン囲壁（2015）を通してホットゾーンのその他の領域に熱伝導される。また、燃焼器領域（2135）内の燃焼によって発生した熱エネルギーは、囲壁を通じた対流および熱伝導によるガス対表面の熱伝達によって、燃焼器領域に近接する熱伝導性塊（2175）および（2180）のそれぞれに伝達され得る。さらに、燃焼器領域に近接する熱伝導性塊（2175）、（2180）は、それぞれ、レキュペレータ室（2210）内部、カソード室（2090）内部に熱エネルギーを放射し、内部を通過する空気を熱する。

40

【0073】

50

燃焼後、燃焼された混合気からの排出ガス（灰色の矢印で示される）は、空隙（2155）への1つまたは複数の燃焼器出口（2150）を通して、燃焼器（2135）を出る。空隙（2155）から、燃焼された混合気からの排出ガスは、ホットゾーン出口（2165）を通してホットゾーンを出る。

【0074】

5. 7. 2 燃料流図の冷間始動

図3にさらに示されるように、未改質燃料（2315）が、立ち上げ燃焼室引入口（2310）を通して立ち上げ燃焼室（2305）に入り、そこで燃料が燃焼される。

【0075】

燃焼後、排出ガス（灰色の矢印で示される）は、空隙（2155）への1つまたは複数の立ち上げ燃焼器出口（2325）を通して、燃焼器（2135）を出る。空隙（2155）から、立ち上げ燃焼器からの排ガスは、ホットゾーン出口（2165）を通してホットゾーンを出る。

【0076】

5. 7. 3 空気流図

ここで図4を参照すると、概略的な空気流図が、空気（2200）の、それがホットゾーン（2000）を通過するのに従った流路を描写する。空気（2200）は、空気投入口（2205）を通してカソード供給管（2145）に入る。空気（2200）は、レキュペレータ空気投入口（2230）を通してカソード供給管を出て、レキュペレータ室（2210）に入る。空気は、レキュペレータバッフル（2215）の周りを流れ、レキュペレータ空気排出口（2235）を通してカソード供給管（2145）に再び入る。レキュペレータ室（2210）内部で、レキュペレータ室壁（2006）、（2002）と、燃焼器端壁（2140）および関連の環状熱伝導性塊（2175）から放射された熱エネルギーによって、空気（2200）が熱せられる。

【0077】

空気（2200）は、カソード供給管（2145）の中を流れるのに従って、燃焼器領域（2135）を通過する。燃焼領域では、空気は、まだカソード供給管（2145）の中を流れている間、カソード室（2090）に入る前に、カソード供給管（2145）の表面から放射する熱エネルギーによってさらに熱せられる。空気（2200）は、カソード供給管を出て、カソード室（2090）を貫通しているカソード供給管（2145）の長さの一部に沿って配置された、複数のカソード室空気投入口（2240）を通して、カソード室（2090）に入る。

【0078】

カソード室（2090）内部で、空気（2200）がカソード室に充満し、燃料電池（2080）のそれぞれの外径すなわちカソード層に突き当たると、燃料電池のそれぞれの外径の少なくとも一部にわたって被覆されたカソード材料層と反応する。燃料電池のそれぞれの内径を形成するアノード材料層上を通過する燃料の反応と結び付けられた、カソード材料層上を通過する空気間の反応は、図3に示される電気リード線（2125）および（2130）を介して、DC端子（140）に伝えられる電流の流れを発生させる。

【0079】

燃料電池のそれぞれに被覆されたカソード材料層との反応後、酸素が激減した空気（2200）は、燃焼器領域（2135）内部につながる1つまたは複数のカソード室排出口（2245）を通して、カソード室（2090）を出る（破線の流れラインで示されるように）。燃焼器領域（2135）では、酸素が激減した空気は、燃料電池から出て来る水素が激減した燃料と混ざり、その混合気が燃焼される。燃焼された混合気からの排出ガスは、空隙（2155）につながる燃焼器出口（2150）を通して燃焼器領域（2135）を出る。空隙（2155）は、排出ガスをホットゾーン出口（2165）とホットゾーンの外に運ぶ。

【0080】

図4は、2つの直径方向に対向するレキュペレータ空気投入口（2230）、2つの直

10

20

30

40

50

径方向に対向するレキュペレータ空気排出口（２２３５）、および数組の２つの直径方向に対向するカソード室空気入口（２２４０）を概略的に示すが、実際のデバイスは、空気流分散の必要に応じて、カソード供給管（２１４５）の周縁の周りに配列された１つまたは複数の孔を有する任意の孔パターンを含む可能性がある。同様に、図４は、２つの直径方向に対向するカソード室空気排出口（２２４５）と２つの直径方向に対向する燃焼器出口（２１５０）を示すが、実際のデバイスは、空気流分散の必要に応じて、円盤状の壁（２０７０）または円筒形の側壁（２００２）の周縁の周りに配列された１つまたは複数の孔を有する任意の孔パターンを含む可能性がある。別法として、上に説明されたガス口のいずれも、本発明から逸脱することなく、非円形、たとえば正方形、長方形、および楕円形または溝穴形を有し得る。

10

【００８１】

５．８ 囲壁の表面処理

本発明の一態様によれば、銅への酸化損傷を避けるために、酸素／空気に晒される銅表面はない。これは、燃料と空気の両方が酸素を含んでいるか含む可能性のあることから、燃料流経路全体を形成するすべての面および空気流経路全体を形成するすべての面を含む。燃料流または空気流に晒される可能性のある銅表面は、少なくとも、０．０００５～０．００１５インチ（１２．５～３８．１μm）の厚さに施されたニッケルメッキ層、電着メッキなどによって、保護される。ニッケルメッキの厚さは、従来のニッケル電着被覆の通常の厚さの１００倍より厚く、ニッケル被覆を通した酸素拡散を実質的に防ぐために、より厚いニッケル被覆が使用される。

20

【００８２】

本発明のこの態様が、ホットゾーンキャビティ壁（２０１５）のいずれか１つから取られた非限定の例示的な断面図を描写する、図５Ａに示される。ホットゾーンキャビティ壁断片（５００５）は、５００℃で３７０W／（m°K）～１０２７℃で３３２W／（m°K）のおおよその範囲の熱伝導率を有する銅を含む銅コア（５０１０）を含む。銅コア（５０１０）は、０．０１～０．１２５インチ（０．２５～３．２mm）の範囲の厚さを有するが、本発明から逸脱することなく、その他の厚さが使用可能である。より一般的には、ホットゾーンキャビティ壁厚は、特定の用途での必要に応じて、厚くされても薄くされてもよい。一般に、たとえば約０．２５インチまで囲壁を厚くすると、所望の作動温度に熱するのにより長く時間を要するが、いったん作動温度まで熱せられると、より厚い壁は、熱伝導に対してより高い容量を有し、熱勾配が形成されにくくなり、表面酸化が故障モードである場合、壁が使用できなくなる程度まで酸化されるのに、より厚い壁では長く時間が掛かるというだけの理由で、より薄い壁よりも長い作動寿命をもたらす、という利点を有する。

30

【００８３】

銅コア（５０１０）は、囲壁の内側および外側表面を形成する２つの対向する表面を含み、好適な実施形態では、銅コア（５０１０）の内側および外側表面は、それぞれ、内側表面上の電着ニッケル被覆層（５０１５）、外側表面上の電着ニッケル被膜層（５０２０）によって完全に覆われている。ニッケル被覆層を通した酸素拡散を防ぐのに適した厚さである、少なくとも０．０００５インチ（１２．５μm）の層厚に、各ニッケル被膜層が施される。より一般的には、０．０００５～０．００１５インチ（１２．５～３８．１μm）の範囲の所望のニッケル被膜層厚が、最長約４０、０００時間の製品寿命で、酸化からの適切な表面保護を提供し、本発明から逸脱することなく、製品寿命時間を延ばすのに、より厚いニッケル被覆が使用可能である。図２を参照すると、壁断片（５００５）は、円筒形の側壁（２００２）、円盤状の上壁（２００４）、円盤状の底壁（２００６）を含むホットゾーン囲壁（２０１５）の外側壁を少なくとも表し、改質器囲壁（２０３０）のいくつかの壁を表す場合もある。

40

【００８４】

本発明の一態様によれば、燃焼器表面は、高温、燃焼副産物および腐食要素に晒されることによる表面損傷から、燃焼室の内部表面を保護するために、ハステロイ合金などの高

50

温、耐食の金属で内張りされる。本発明から逸脱することなく、代替的なモネルまたはインコネルが使用可能である。

【0085】

本発明のこの態様が、燃焼室の円筒形の側壁から取られた非限定の例示的な断面図（5025）を描写する図5Bに示される。側壁断片（5025）は、ホットゾーン囲側壁（2002）と、上に説明されたような銅コアの対向する側面全体に施された電着ニッケル被覆層（5015）および（5020）とからなる銅コア（5010）を含む。具体的には、断面図（5025）は、図5Aに示されたのと同じホットゾーン外壁（5005）を含む。また、燃焼室側壁断片（5025）は、燃焼室の内側表面を内張りするように位置付けられたハステロイ合金ライナー（5030）をさらに含む。図2を参照すると、円筒形の側壁断片（5025）は、環状排ガス燃焼領域（2135）、および環状冷間始動燃焼領域（2035）の円筒形の外側壁を少なくとも表す。側壁断片（5025）は、ハステロイ合金ライナー要素（5030）によって保護されたホットゾーンの円筒形の壁（2002）を示す。排ガス燃焼器室（2135）の具体的な例では、ハステロイ合金ライナー要素（5030）は、それに取り付けられた、またはそれと一体的に形成された燃焼器バッフル（2185）も含む。しかしながら、燃焼器バッフル（2185）があることを除いて、断片（5025）もまた、環状冷間始動燃焼器キャビティ（2305）の上壁および側壁を表す。

10

【0086】

環状燃焼器室（2135）および（2305）のそれぞれも、燃焼器領域の内側上面および内側底面を内張りするように位置付けられた一組の対向する円盤状のハステロイ合金ライナー要素によって内張りされる。排ガス燃焼器領域（2135）の場合、その燃焼器の上壁は、図5Cに示される円盤状のハステロイ合金ライナー要素（5050）を含む、底部管支持壁（2075）によって形成される。ライナー要素（5050）は、環状排ガス燃焼器領域すなわち室（2135）の内側に面するように配置される。排ガス燃焼器領域の底壁は、環状燃焼器領域室（2135）の内側に面する円盤状のハステロイ合金ライナー（5060）も含む、燃焼器端壁（2175）によって形成される。

20

【0087】

冷間始動燃焼器の環状燃焼キャビティ（2305）の場合、その上部室壁は、環状燃焼器室（2305）の内側上壁と接触している環状のハステロイ合金ライナー要素（5030）を含む、ホットゾーン囲上壁（2004）によって形成される。具体的には、冷間始動環状燃焼キャビティ（2305）の上壁でもあるホットゾーン囲上壁（2004）は、内側表面上の電着ニッケル層（5015）および外側表面上の電着ニッケル層（5020）によって覆われた銅コア（5010）を示し、またニッケル層（5015）と接触しているハステロイ合金ライナー要素（5030）を含む、図5Bの断面図において詳しく示される。断面図（5025）は、縦向きで、またハステロイバッフル（2185）を含むが、この断面図は、バッフル（2185）のない上壁（2004）と同じであり、水平方向に回せば、上壁（2004）と同様である。

30

【0088】

環状燃焼キャビティ（2305）の底壁は、燃料投入マニホールド（2170）の上壁によって形成される。この底壁は、環状燃焼器室（2305）の内側底壁と嵌合接触している、図5Dに示されるものと同様の環状のハステロイ合金ライナー要素（5060）も含む。

40

【0089】

本発明の一態様によれば、燃料電池（2080）の外部表面に施されたカソード層の被毒を避けるために、クロムを含む材料から形成された表面に晒される流入空気（2200）はない。これは、カソード供給管（2145）の内部表面、レキュペレータ室（2210）、レキュペレータバッフル（2215）、カソード供給管（2145）の外部表面、カソード室（2090）の内部表面、さらに燃料電池の端キャップ（2095）、（2100）および上部と底部の燃料電池支持壁（2070）、（2075）を含むカソード室

50

内部に収容された要素、を含む、燃料空気流経路全体を形成するすべての面を含む。

【0090】

1つの非限定の例示的な実施形態では、カソード供給管(2145)、レキュペレータバッフル(2215)、および底端キャップ(2100)のそれぞれは、クロムを含有していない、腐食に対して耐性のある高温金属合金、たとえばモネル合金から形成される。さらに、レキュペレータ室(2210)の上面を形成する燃焼器端壁(2140)の少なくとも底面が、クロムを含有していない、腐食に対して耐性のある高温金属合金、たとえばモネル合金から形成された保護要素によって形成、または内張りされる。同様に、カソード室(2090)の底面を形成する底部管支持壁(2075)の少なくとも上面が、クロムを含有していない、腐食に対して耐性のある高温金属合金、たとえばモネルから形成された保護要素によって形成、または内張りされる。

10

【0091】

上に説明された電着ニッケルメッキ層で被覆された、流入空気流に関連した内部表面は、クロムへの暴露なく空気流に晒され得る。流入空気流と接触する可能性のあるニッケルメッキされた表面は、レキュペレータ室(2210)およびカソード室(2090)のそれぞれの側壁を形成する円筒形の側壁(2002)と、レキュペレータ室(2210)の底壁を形成する円盤状の底壁(2006)とを含む。これらの表面はそれぞれ、図5Aに示された横断面(5005)を有する。さらに、上部管支持壁(2070)や、それぞれがインコネルから形成された上端キャップ(2095)などのクロムを含有する材料によって形成された、カソード室(2090)内部のその他の表面は、クロムによる空気汚染を避けるために、電着メッキなどによって、0.0005~0.0015インチ(12.5~38.1 μ m)の厚さに施されたニッケルメッキ層によって覆われる。

20

【0092】

ここで図5Cを参照すると、詳細な断面図が、底部管支持壁(2075)から取られた断片(5040)を描写する。詳細な断面図は、500℃で370W/(m²·K)~1027℃で332W/(m²·K)のおおよその範囲の熱伝導率を有する銅塊(copper mass)を含む、熱伝導性塊(2180)を示す。銅塊(2180)は、0.01~0.375インチ(2.5~9.5mm)の範囲の厚さを有するが、本発明から逸脱することなく、その他の厚さが使用可能である。壁(2075)の上面は、カソード室(2090)の内部に面し、したがって、クロムによるカソードガスの汚染を避けるために、クロムを含有しない、腐食に対して耐性のある高温金属合金、たとえばモネル合金から形成された円盤状のライナー要素(5045)で内張りされる。壁(2075)の底面は、排ガス燃焼領域(2135)に面し、ハステロイ合金から形成された円盤状のライナー(5050)で内張りされる。

30

【0093】

ここで、図5Dを参照すると、非限定の例示的な詳細な断面図が、燃焼器端壁(2175)から取られた断片(5055)を描写する。詳細な断面図は、500℃で370W/(m²·K)~1027℃で332W/(m²·K)のおおよその範囲の熱伝導率を有する銅塊を含む、熱伝導性塊(2140)を示す。銅塊(2175)は、0.01~0.375インチ(2.5~9.5mm)の範囲の厚さを有するが、本発明から逸脱することなく、その他の厚さが使用可能である。壁(2140)の上面は、排ガス燃焼器領域(2135)の内部に面し、したがって、固体ハステロイ合金から形成された環状ライナー要素(5060)で内張りされる。壁(2140)の底面は、レキュペレータ室(2210)に面し、クロムを含有しない、腐食に対して耐性のある高温金属合金、たとえばモネル合金から形成された環状ライナー(5065)で内張りされる。

40

【0094】

ここで図5Eを参照すると、非限定の例示的な詳細な断面図が、燃料投入マニホールド上壁(2170)から取られた断片(5070)を描写する。詳細な断面図は、500℃で370W/(m²·K)~1027℃で332W/(m²·K)のおおよその範囲の熱伝導率を有する銅塊を含む、熱伝導性塊(2160)を示す。銅塊(2160)は、0.01~

50

0.375インチ(2.5~9.5mm)の範囲の厚さを有するが、本発明から逸脱することなく、その他の厚さが使用可能である。銅塊(2160)の対向する上面および底面は、任意で、電着メッキなどによる0.0005~0.0015インチ(12.5~38.1 μ m)の厚さに施されたニッケルメッキ層(5075)によって覆われる。燃料(2025)と銅塊(2160)との接触を避けて、銅塊表面の酸化を防止するために、ニッケルメッキが施される。壁(2170)の上面は、環状冷間始動燃焼キャビティ(2305)の内部に面し、したがって、固体ハステロイ合金から形成された環状ライナー要素(5080)で内張りされ、熱損傷から熱塊(2160)を保護する。

【0095】

図5Cおよび5Dに詳細に示された壁(2075)および(2175)のさらなる変形形態は、銅塊(2180)および(2175)の両側が、たとえば図5Eに関して上に説明されたように、電着メッキなどにより0.0005~0.0015インチ(12.5~38.1 μ m)の厚さに施されたニッケルメッキ層によって覆われる。銅塊表面の酸化が防止されるように、燃料(2025)および/または空気(2200)と対応する銅塊(2180)、(2175)との接触を避けるために、ニッケルメッキが含まれる。ハステロイ要素(5050)および(5060)とモネル要素(5045)および(5065)が独立した、すなわち銅塊(2180)と一体的に形成されていない、ライナー要素を含む場合、銅塊は、その対向面の両方にニッケルメッキを施されるのが好ましい(たとえば、図5Aに示されるように)。しかしながら、円盤すなわち環状のライナー要素(5045)、(5050)、(5060)、(5065)が、銅塊(2180)および/または(2175)と一体的に形成されるその他の場合、銅塊にニッケルメッキを施すことは、必要とされない可能性がある。

【0096】

一般に、様々な表面を損傷から保護するために、またはインコネル表面またはハステロイ表面などの表面を含み、クロムとの接触による流入空気の汚染を避けるために、上に説明されたハステロイ要素およびモネル要素が使用される。1つの非限定的な実施形態例では、1つまたは複数の保護要素が、ホットゾーン囲壁(2015)とは別個に製作され、保護される表面に保護材料層をロウ付けするなどによって、所定の組立位置に設置される。図5Cおよび5Dに示される銅塊(2180、2175)の例では、保護モネル層および保護ハステロイ層が、銅塊にニッケルメッキを施すことなく、銅塊の対向する表面に直接ロウ付けされる。ロウ付けステップは、銅塊を実質的にガス密閉し、空気または燃料が、銅塊の表面に接触し、それを酸化させるのを防ぐことが好ましい。

【0097】

図5Eに示される銅塊(2160)の例では、燃焼領域(2135)内部に配置された銅塊の1つの表面のニッケル層(5070)に、保護ハステロイ層が直接ロウ付けされる。この非限定的な実施形態例では、銅塊表面の燃焼要素および腐食要素への直接の露出を防ぐために、ハステロイ層が設置される。対向表面では、流入空気による酸化から銅塊表面を保護するには、ニッケル層のみが必要とされることから、レキュペレータ室(2210)内部に配置された銅塊表面には、ニッケルメッキされた保護層(5070)のみが施される。図5Eの例では、ハステロイ層(5080)は、銅表面が銅塊(2160)とハステロイ層(5080)との間に配置されたニッケル層(5075)によってすでに保護されていることから、銅表面をガス密閉する必要なく、たとえば固定具によって、機械的に取り付けられ得るか、または定位置に挟持され得る。

【0098】

したがって、特に図5B、5C、5Dおよび5Eに関して上に説明されたように、ハステロイ要素およびモネル要素は、円盤状の熱塊要素(2180)、(2175)、(2160)と嵌合接触している円盤状の要素(5040)、(5050)(5060)、(5065)(5080)などの複数の独立した要素を含んでもよく、またはハステロイ要素およびモネル要素は、ホットゾーン囲壁の円筒形の側壁(2002)などの燃焼室の内部円筒形壁表面と嵌合接触して配置された円筒形の壁の一部、たとえば(5030)を含ん

でもよい。円筒形の壁の一部が、ホットゾーン囲壁内部、たとえば冷間始動燃焼器室（２３０５）内部や排ガス燃焼器領域（２１３５）内部の適切な位置に挿入され、保護される表面と嵌合接触する定位置にロウ付けされ、溶接され、あるいは固定または挟持される。いくつかの実施形態では、ハステロイ要素およびモネル要素が、略気密シールで、伝導性コア表面に直接施され得る（たとえば、熱伝導性塊の表面に直接ロウ付けされる）。その他の実施形態では、熱伝導性塊すなわちコア壁表面が、ニッケルメッキされ、ハステロイ要素またはモネル要素が、略気密シールを提供する必要なく、ニッケルメッキ全体に施されてもよく、またガスシールを提供するために表面全体にロウ付けする代わりに、これらの要素が、挟持することによって、機械的な固定具によって、あるいは、選択された個所にロウ付けされるかまたはスポット溶接されることによって、所定位置に保持されてもよい。さらにいくつかの実施形態では、上に説明された壁構造のいずれも、メッキ、スパッタリング、吹き付け被覆、溶融メッキなどを含むよく知られた方法によって、鑄造金属の選択面に形成された様々な保護材料層で、鑄造金属として形成され得る。

10

【００９９】

しかしながら、本発明のその他の非限定的な実施形態では、ホットゾーン囲壁（２０１５）の外部および／または内部の壁の一部が、既製の多層複合材料から形成される。複合材料は、本明細書に説明された様々なホットゾーン囲壁を形成するのに使用可能な複数の異種金属層で製作された板および／または管の手持ちを含む。

【０１００】

第１のステップにおいて、異種金属板が、一般にクラディングと呼ばれる押出または圧延工程によって接合される。一実施形態例では、図５Ｃを参照すると、銅塊（２１８０）、ハステロイ合金層（５０５０）およびモネル合金層（５０４５）を含む複合板がロール溶接され、複合板を形成する。形成されると、壁（２０７５）が、複合板から切り出され、二次工程において孔とその他の特徴が加えられ得る。次に、壁（２０７５）は、ロウ付け、溶接、機械的固定、挟持、高温接着結合などによって、ホットゾーン囲壁（２０１５）に組み立てられる。また、図５Ｄに示される壁（２１７５）は、順番が逆なだけで図５Ｃに示される壁（２０７５）と同じ材料層を含み、同じ複合板から切り出され、二次工程において孔とその他の特徴が加えられ得る。次に、壁（２１７５）および（２０７５）のそれぞれが、ロウ付け、溶接、機械的固定、挟持、高温接着結合などによって、ホットゾーン囲壁（２０１５）に組み立てられる。

20

30

【０１０１】

一実施形態例では、図５Ｅを参照すると、銅塊（２１６０）およびハステロイ合金層（５０７０）を含む複合板がロール溶接され、複合板を形成する。この実施形態例では、複合板が２つの層のみ有するように、ニッケル層（５０７５）が省かれ得る。形成されると、壁（２１７０）が、複合板から切り出され、二次工程において孔とその他の特徴が加えられ得る。次に、壁（２１７０）が、ロウ付け、溶接、機械的固定、挟持、高温接着結合などによって、ホットゾーン囲壁（２０１５）に組み立てられる。さらなるステップでは、複合板は、露出した銅表面の酸化を防ぐために、少なくとも銅表面にニッケルメッキが施され得る。

【０１０２】

40

同様に図５Ｂを参照すると、銅コア（５０１０）およびハステロイ層（５０３０）を含む２層の複合板がロール溶接され、複合板を形成する。この実施形態例では、複合板が２つの層のみ有するように、ニッケル層（５０１５）および（５０２０）が省かれ得る。形成されると、孔とその他の特徴が二次工程によって形成され、次に、複合板が、円筒形の壁に形成される。円筒形の壁は、定寸に切断され、その他の円筒形の壁断片と組み立てられ、燃焼領域を囲むことに関連したホットゾーン囲側壁（２００２）の一部を形成する。円筒形の壁の一部は、ロウ付け、溶接、機械的固定、挟持、高温接着結合などによって接合され得る。さらなるステップでは、複合板は、片面または両面にニッケルメッキが施されることが可能で、組み立てられたホットゾーン囲側壁は、酸化から露出した銅表面が保護されるように、ニッケルメッキが施され得る。

50

【0103】

5. 9 さらなる SOFC 燃料電池スタック構成

ここで図6を参照すると、本発明に使用可能な SOFC システム実施形態 (7000) の非限定の例示的な実施形態の一部が、上部断面図に示される。構成 (7000) は、上断面図に示された環状ホットゾーン囲壁 (7015) によって囲まれたカソード室 (7010) を描写する。環状囲壁 (7015) は、上で説明されたようなガス流導管として使用可能な、示されていない小さな空隙によって円形囲壁から分けられた円形断熱層 (7020) によって取り囲まれる。

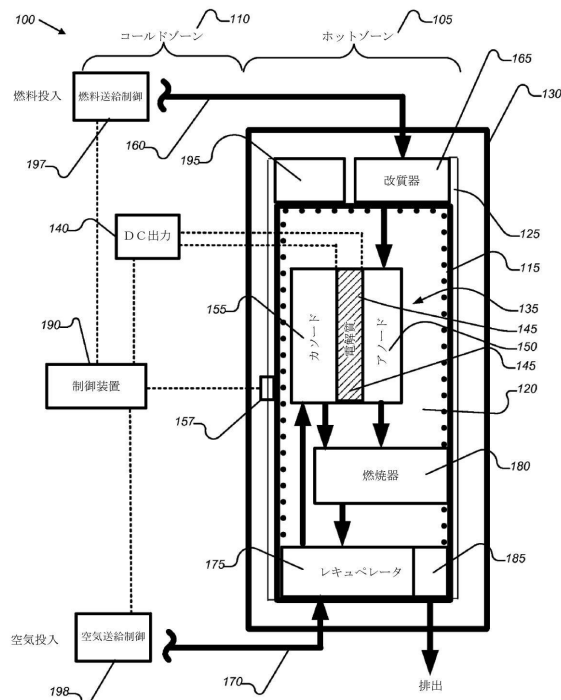
【0104】

カソード供給管 (7025) は、円形ホットゾーン囲壁 (7015) の中心に示される。複数の棒状の燃料電池が、それぞれの円形パターンが同じ中心軸 (7030) を中心とする、2つの同心円パターンで配置される。内側の円形パターン (7035) は、8個の内側の棒状の燃料電池 (7040) を含む。外側の円形パターン (7045) は、14個の外側の棒状の燃料電池 (7050) を含む。本発明から逸脱することなく、その他の囲い形状および燃料電池パターンが使用可能である。

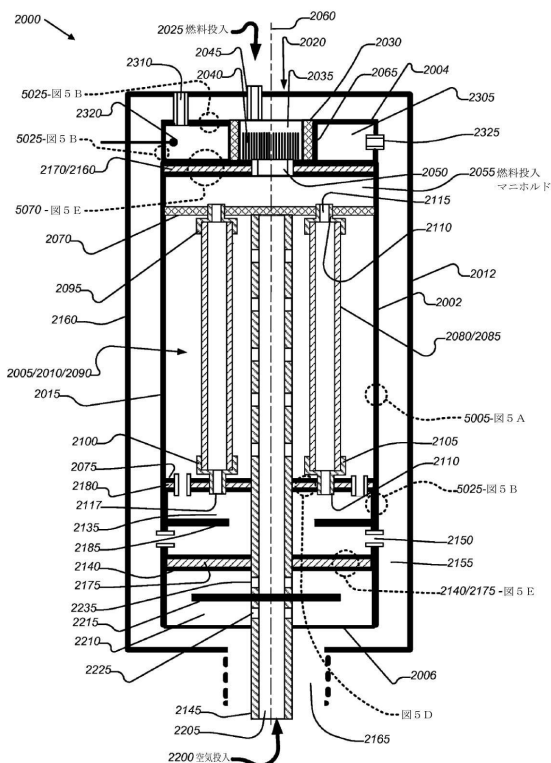
【0105】

本発明は、好適な実施形態に関して上に説明されたが、それに限定されるものではないことも、当業者には理解されるであろう。上に説明された発明の様々な特徴および態様は、個々にまたは併せて使用され得る。さらに、本発明は、特定の環境における、また特定の用途 (たとえば、固体酸化物形燃料電池システム) のためのその実装形態との関連で説明されたが、その有用性はそれに限定されるものではなく、また本発明が、高温で、また腐食環境内で高熱伝導率材料を使用した熱伝導によって熱エネルギー伝達を高めるのに望ましい、いくつかの環境および実装形態に有益に利用され得ることを、当業者は理解するであろう。したがって、以下に示される特許請求の範囲は、本明細書に開示されたような本発明の全容および趣旨を考慮して、解釈されるべきである。

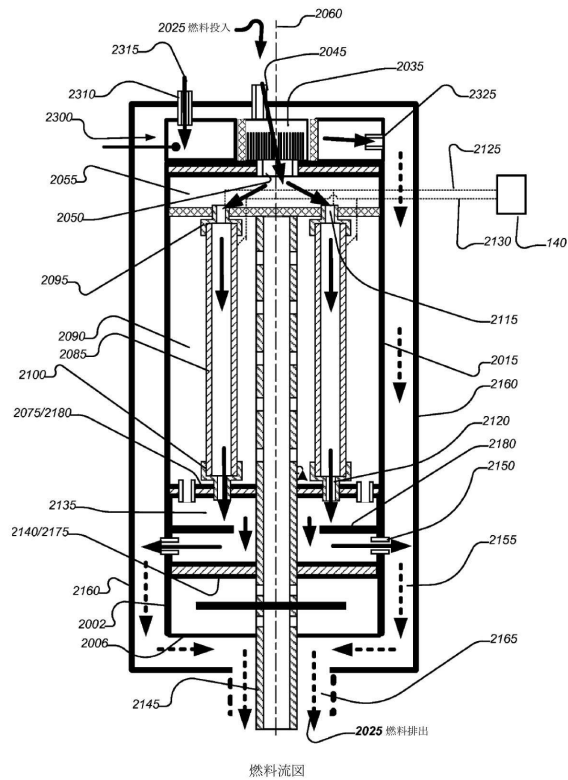
【図1】



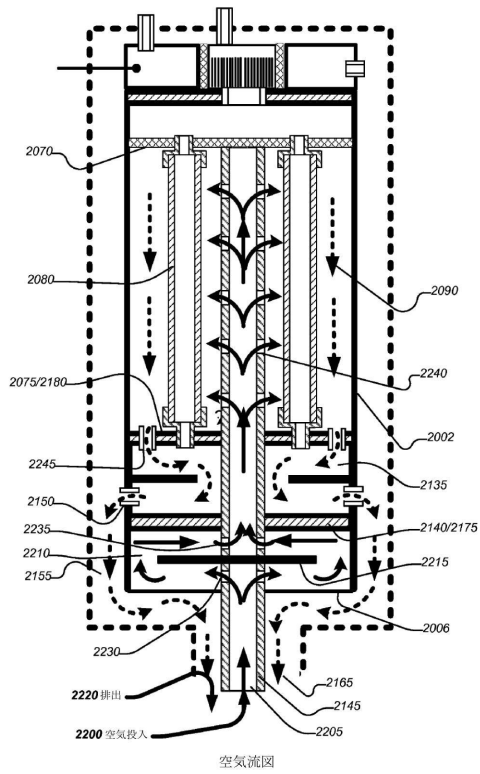
【図2】



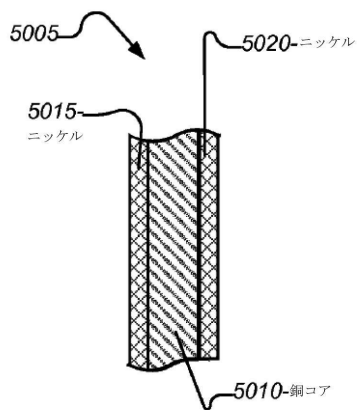
【図 3】



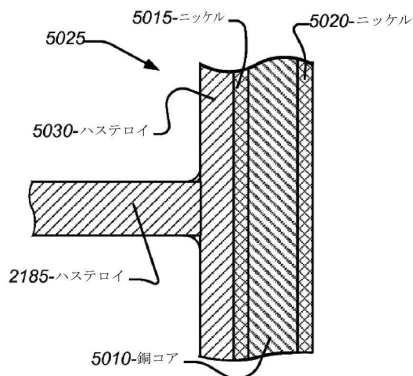
【図 4】



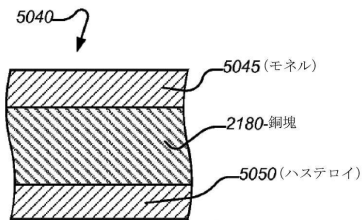
【図 5 A】



【図 5 B】

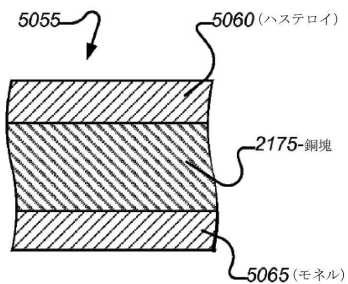


【図 5 C】



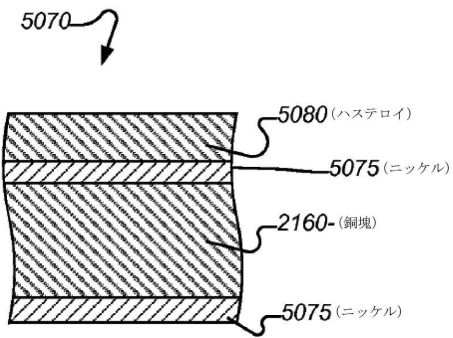
壁 2 0 7 5 の詳細

【図 5 D】



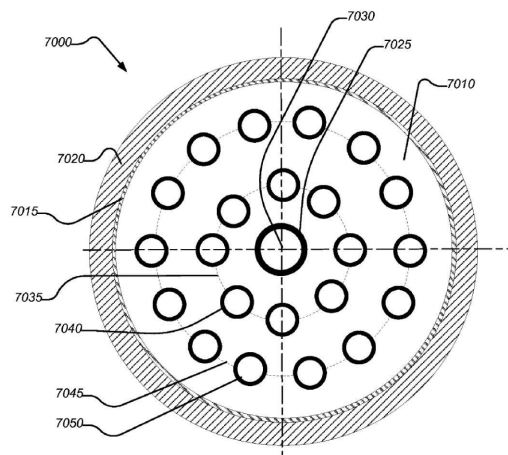
壁 2 1 7 5 の詳細

【図 5 E】



壁 2 1 7 0 の詳細

【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 パースキー、ジョシュア
アメリカ合衆国、マサチューセッツ、バーリン、セントラル アヴェニュー 72

審査官 今井 貞雄

(56)参考文献 特表2008-541410 (JP, A)
特開2013-008455 (JP, A)
特開2009-193808 (JP, A)
特開2014-179269 (JP, A)
特開2009-134928 (JP, A)
特開2011-129280 (JP, A)
特開2008-147086 (JP, A)
国際公開第2013/145674 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/04-8/0668