

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7443487号
(P7443487)

(45)発行日 令和6年3月5日(2024.3.5)

(24)登録日 令和6年2月26日(2024.2.26)

(51)国際特許分類		F I	
H O 1 M	8/04 (2016.01)	H O 1 M	8/04 N
H O 1 M	8/04014(2016.01)	H O 1 M	8/04014
H O 1 M	8/0668(2016.01)	H O 1 M	8/0668
H O 1 M	8/12 (2016.01)	H O 1 M	8/12 1 0 1
請求項の数 15 (全26頁)			
(21)出願番号 特願2022-502142(P2022-502142)		(73)特許権者 514116578	
(86)(22)出願日 令和2年7月15日(2020.7.15)		ブルーム エネルギー コーポレイション	
(65)公表番号 特表2022-541429(P2022-541429 A)		アメリカ合衆国 9 5 1 3 4 カリフォルニア州 サンノゼ ノース ファースト ストリート 4 3 5 3	
(43)公表日 令和4年9月26日(2022.9.26)		(74)代理人 110002354	
(86)国際出願番号 PCT/US2020/042035		弁理士法人平和国際特許事務所	
(87)国際公開番号 WO2021/011591		(72)発明者 エドモンストン, デイビッド	
(87)国際公開日 令和3年1月21日(2021.1.21)		アメリカ合衆国 9 5 1 3 4 カリフォルニア州 サンノゼ ノース ファースト ストリート 4 3 5 3	
審査請求日 令和5年7月11日(2023.7.11)		コーポレイション内	
(31)優先権主張番号 62/874,039		(72)発明者 ウェインガートナー, デイビッド	
(32)優先日 令和1年7月15日(2019.7.15)		アメリカ合衆国 9 5 1 3 4 カリフォルニア州 サンノゼ ノース ファースト ス	
(33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)		最終頁に続く	
早期審査対象出願			

(54)【発明の名称】 A T Oインジェクタを含む燃料電池システムとその作動方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料電池スタックと、
前記燃料電池スタックからアノード排気を受け入れるように構成されたアノード復熱式熱交換器と、
前記アノード復熱式熱交換器から前記アノード排気を受け入れるように構成されたアノード排気導管と、
前記燃料電池スタックからカソード排気を受け入れるように構成されたカソード排気導管と、
前記アノード復熱式熱交換器を包囲し、前記カソード排気導管から前記カソード排気を受け入れるように構成されたアノードテールガス酸化器（A T O）と、
前記A T Oと前記アノード排気導管との間に配置されたA T Oインジェクタと、を備える燃料電池システムであって、前記A T Oインジェクタは、
前記カソード排気導管から供給された前記カソード排気を旋回させるように構成された羽根と、
前記アノード排気導管と前記A T Oとの間に配置された弧状体であって、前記アノード排気の少なくとも一部が前記弧状体を通して前記アノード排気導管から流れるように構成されており、前記弧状体は、前記アノード排気の少なくとも一部を前記A T Oへ流れる前記旋回カソード排気に注入するように構成された注入開口を備える弧状体とを含み、
前記弧状体はトロイダル導管を含み、該トロイダル導管は、トロイダル導管の外面に沿

って360°の円弧寸法を有し、

前記トロイダル導管は、前記アノード排気導管からの前記アノード排気の前記一部を前記トロイダル導管内に向かわせるように構成された内側開口をさらに備える、燃料電池システム。

【請求項2】

前記内側開口は前記注入開口よりも大きい、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

燃料電池スタックと、

前記燃料電池スタックからアノード排気を受け入れるように構成されたアノード復熱式熱交換器と、

前記アノード復熱式熱交換器から前記アノード排気を受け入れるように構成されたアノード排気導管と、

前記燃料電池スタックからカソード排気を受け入れるように構成されたカソード排気導管と、

前記アノード復熱式熱交換器を包囲し、前記カソード排気導管から前記カソード排気を受け入れるように構成されたアノードテールガス酸化器（ATO）と、

前記ATOと前記アノード排気導管との間に配置されたATOインジェクタと、を備える燃料電池システムであって、前記ATOインジェクタは、

前記カソード排気導管から供給された前記カソード排気を旋回させるように構成された羽根と、

前記アノード排気導管と前記ATOとの間に配置された弧状体であって、前記アノード排気の少なくとも一部が前記弧状体を通して前記アノード排気導管から流れるように構成されており、前記弧状体は、前記アノード排気の少なくとも一部を前記ATOへ流れる前記旋回カソード排気に注入するように構成された注入開口を備える弧状体とを含み、

前記弧状体はトロイダル導管を含み、該トロイダル導管は、トロイダル導管の外面に沿って360°の円弧寸法を有し、

前記アノード排気導管からの前記アノード排気を前記トロイダル導管の内部に供給するように構成された供給管と、

前記供給管を通る前記アノード排気流を制御するように構成された弁とをさらに備える、燃料電池システム。

【請求項4】

前記弁は、前記アノード復熱式熱交換器と、前記アノード排気導管と、前記ATOと、前記ATOインジェクタとを含むホットボックスの外側に配置されている、請求項3に記載のシステム。

【請求項5】

前記アノード排気導管及び前記供給管に流体接続された二酸化炭素分離器をさらに備え、前記二酸化炭素分離器は、前記アノード排気から二酸化炭素を分離するように構成された、請求項3に記載のシステム。

【請求項6】

前記二酸化炭素分離器は電気化学的二酸化炭素分離器を含む、請求項5に記載のシステム。

【請求項7】

前記アノード排気を使用して空気吸入流を加熱するように構成されたアノード排気冷却式熱交換器と、

前記アノード排気の一部を、前記アノード復熱式熱交換器に流れる燃料吸入流と混合するように構成された混合器と

をさらに備える、請求項5に記載のシステム。

【請求項8】

前記アノード排気導管は迂回して前記トロイダル導管に直接的には流体接続されておらず、

10

20

30

40

50

前記トロイダル導管の内側表面は、前記アノード排気導管に露出される開口部を有しておらず、

前記二酸化炭素分離器は、前記アノード排気の経路において前記アノード排気冷却式熱交換器と前記混合器との間に配置されており、

前記アノード排気導管は、前記アノード排気冷却式熱交換器の出口を前記二酸化炭素分離器の入口に接続している、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記二酸化炭素分離器の第 1 の出口に接続された精製後アノード排気導管と、

前記二酸化炭素分離器の第 2 の出口に接続された二酸化炭素出口導管と、

前記精製後アノード排気導管に流体接続されたスプリッタと、

前記スプリッタを前記混合器に流体接続している混合器導管と

をさらに備え、

前記供給管は、前記スプリッタを前記トロイダル導管に流体接続している、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記燃料電池スタックは固体酸化物形燃料電池スタックを含む、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 11】

ホットボックス内に配置されている燃料電池スタックからのカソード排気の少なくとも一部を、注入管と羽根とを含むトロイダル導管を備え、ホットボックス内に配置されているアノードテールガス酸化器（ATO）インジェクタに供給するステップと、

前記羽根を使用して前記 ATO インジェクタ内の前記カソード排気を巡回させるステップと、

前記燃料電池スタックからのアノード排気のすべてを、前記 ATO インジェクタを通り越して前記ホットボックスの外側に供給するステップと、

前記ホットボックスの外側からの前記アノード排気の少なくとも第 1 の部分を、前記 ATO インジェクタに供給するステップと、

前記アノード排気の少なくとも前記第 1 の部分を、前記トロイダル導管から、注入開口を通して、前記巡回カソード排気に注入するステップと、

前記アノード排気の前記少なくとも前記第 1 の部分と前記巡回カソード排気との混合物をアノードテールガス酸化器（ATO）に供給するステップと、を含む、燃料電池システムを作動させる方法。

【請求項 12】

前記ホットボックスの外側からの前記アノード排気の少なくとも第 1 の部分を、複数の導管を通して前記 ATO インジェクタの前記トロイダル導管に供給するステップと、

前記ホットボックスの外側に位置する弁を用いて前記複数の導管を通る前記アノード排気の少なくとも第 1 の部分の流れを制御するステップと、

をさらに含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記燃料電池スタックからの前記アノード排気をアノード復熱式熱交換器に供給するステップと、

前記アノード排気と燃料吸入流との間で熱交換するステップと、

をさらに含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記燃料吸入流は、純粋な水素燃料吸入流又は炭化水素燃料吸入流を含み、

前記 ATO は前記アノード復熱式熱交換器を囲み、

前記 ATO インジェクタは、前記 ATO 及び前記アノード復熱式熱交換器の上側に配置され、

前記 ATO インジェクタは前記 ATO の上側に配置される、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記アノード復熱式熱交換器からのすべてのアノード排気を、前記トロイダル導管を通り越して通過させて、前記ホットボックスの外側に配置されている二酸化炭素分離器に通し、前記アノード排気から二酸化炭素を分離するステップと、

前記アノード排気の前記第１の部分、前記二酸化炭素分離器から前記トロイダル導管へ通すステップと、

前記アノード排気の第２の部分、前記二酸化炭素分離器から前記燃料電池スタックに供給される燃料吸入流に再循環させるステップと

をさらに含む、請求項１４に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明の態様は、アノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）インジェクタ及びそれを含む燃料電池システムに関する。

【背景技術】

【０００２】

固体酸化物形燃料電池等の燃料電池は、燃料に蓄えられたエネルギーを電気エネルギーに高効率で変換できる電気化学装置である。高温燃料電池には、固体酸化物形燃料電池と熔融炭酸塩形燃料電池が含まれる。これらの燃料電池は、水素及び／又は炭化水素燃料を使用して作動することができる。燃料電池には、固体酸化物形再生燃料電池など、逆の動作も可能な部類があり、供給電気エネルギーを使用して、酸化された燃料を還元して未酸化燃料に戻すことができる。

【発明の概要】

【０００３】

様々な実施形態によると、燃料電池システムは、燃料電池スタック、アノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）、燃料電池スタックからのアノード排気の第１部分を燃料電池スタックからのカソード排気と混合して、アノード排気の第１部分とカソード排気との混合物をＡＴＯに供給するように構成されたＡＴＯインジェクタ、アノード排気の第１部分をＡＴＯインジェクタに供給するように構成されたアノード排気導管、及び、燃料電池スタックからのカソード排気の少なくとも一部をＡＴＯインジェクタに供給するように構成されたカソード排気導管を含む。ＡＴＯインジェクタは、中空円筒体と、中空円筒体の外面から延び、アノード排気の第１部分を、旋回カソード排気に注入するように構成された注入管とを含む。

【０００４】

本開示の様々な実施形態によると、燃料電池システムを作動させる方法は、燃料電池スタックからのアノード排気を、アノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）インジェクタの中空円筒体の外面から延びる注入管を通して該アノード排気の第１部分を供給することによって分割するステップ、燃料電池スタックからのカソード排気の少なくとも一部をＡＴＯインジェクタに供給するステップ、前記中空円筒体の外面に配置された羽根を使用してＡＴＯインジェクタ内のカソード排気を旋回させるステップ、旋回カソード排気をアノード排気の第１部分と混合するステップ、アノード排気の第１部分と旋回カソード排気との混合物をアノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）に供給するステップ、アノード排気の第２部分を、注入管を通り越して通過させるステップ、及び、アノード排気の第２部分を燃料電池スタックに供給される燃料吸入流に再循環させるステップを含む。

【０００５】

一実施形態において、上記方法はまた、燃料電池スタックからのアノード排気をアノード復熱式熱交換器に供給するステップ、アノード排気を第１部分と第２部分に分割する前に、アノード排気と燃料吸入流との間で熱交換するステップ、及び、アノード復熱式熱交換器からのアノード排気をＡＴＯインジェクタに供給するステップを含む。

【０００６】

本開示の様々な実施形態によれば、燃料電池システムを作動させる方法は、燃料電池ス

10

20

30

40

50

タックからのカソード排気の少なくとも一部をアノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）インジェクタに供給するステップ、羽根を使用してＡＴＯインジェクタ内のカソード排気を旋回させるステップ、燃料電池スタックからのアノード排気の少なくとも第１の部分、注入開口を備える弧状体を含むＡＴＯインジェクタを通して供給するステップ、アノード排気の少なくとも第１の部分、弧状体から注入開口を通して前記旋回カソード排気に注入するステップ、及び、アノード排気の少なくとも前記第１の部分と前記旋回カソード排気との混合物をアノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）に供給するステップを含む。

【０００７】

本開示の様々な実施形態によれば、燃料電池システムは、燃料電池スタック、燃料電池スタックからアノード排気を受け入れるように構成されたアノード復熱式熱交換器、アノード復熱器からアノード排気を受け入れるように構成されたアノード排気導管、燃料電池スタックからカソード排気を受け入れるように構成されたカソード排気導管、アノード復熱器を包囲し、カソード排気導管からカソード排気を受け入れるように構成されたアノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）、ＡＴＯとアノード排気導管との間に配置されたＡＴＯインジェクタ、アノード排気導管とＡＴＯインジェクタとに流体接続される二酸化炭素分離器を含む。前記二酸化炭素分離器は、アノード排気から二酸化炭素を分離するように構成され、アノード排気導管は迂回してＡＴＯインジェクタに直接的には流体接続されない。

【０００８】

本開示の様々な実施形態によれば、燃料電池システムは、燃料電池スタック、燃料電池スタックからアノード排気を受け入れるように構成されたアノード復熱式熱交換器、アノード復熱器からアノード排気を受け入れるように構成されたアノード排気導管、燃料電池スタックからカソード排気を受け入れるように構成されたカソード排気導管、アノード復熱器を包囲し、カソード排気導管からカソード排気を受け入れるように構成されたアノードテールガス酸化器（ＡＴＯ）、及び、ＡＴＯとアノード排気導管との間に配置されたＡＴＯインジェクタを含む。ＡＴＯインジェクタは、カソード排気導管から供給されたカソード排気を旋回させるように構成された羽根、及び、アノード排気導管とＡＴＯとの間に配置された弧状体を含み、該弧状体を通して、アノード排気の少なくとも一部がアノード排気導管から流れるように構成され、該弧状体は、アノード排気の少なくとも一部をＡＴＯへ流れる旋回カソード排気に注入するように構成された注入開口を含む。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

本明細書に組み込まれ、本明細書の一部を構成する添付の図面は、本発明の例示の実施形態を示し、上記の全体的な説明及び以下に述べる詳細な説明とともに、本発明の特徴を説明するのに役立つ。

【００１０】

【図１Ａ】図１Ａは、本開示の実施形態による、ＳＯＦＣ燃料電池システムの概略図である。

【図１Ｂ】図１Ｂは、本開示の実施形態による、ＳＯＦＣ燃料電池システムの概略図である。

【図１Ｃ】図１Ｃは、本開示の実施形態による、ＳＯＦＣ燃料電池システムの概略図である。

【図１Ｄ】図１Ｄは、本開示の実施形態による、ＳＯＦＣ燃料電池システムの概略図である。

【図２ＡＢ】図２Ａは、本開示の様々な実施形態による、図１Ａのシステムのホットボックスの構成要素を示す断面図であり、図２Ｂは、図２Ａの拡大部分を示す。

【図２Ｃ】図２Ｃは、本開示の様々な実施形態による、図２Ａのシステムの中央カラムの三次元切欠き図である。

【図２Ｄ】図２Ｄは、本開示の様々な実施形態による、図２Ａの中央カラムの下に配置されたアノードハブ構造の斜視図である。

【図３Ａ】図３Ａは、本開示の様々な実施形態による、図２Ａの中央カラムを通る燃料及

10

20

30

40

50

び空気の流れを示す断面図である。

【図 3 B】図 3 B は、本開示の様々な実施形態による、図 2 A の中央カラムを通る燃料及び空気の流れを示す断面図である。

【図 3 C】図 3 C は、本開示の様々な実施形態による、図 2 A の中央カラムを通る燃料及び空気の流れを示す断面図である。

【図 4】図 4 は、従来の A T O インジェクタの部分斜視図である。

【図 5】図 5 は、本開示の一実施形態による、図 2 A の中央カラムに含まれる A T O インジェクタの部分斜視図である。

【図 6】図 6 は、本開示の代替の実施形態による、図 5 の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの部分斜視図である。

10

【図 7】図 7 は、本開示の代替の実施形態による、図 5 の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの部分斜視図である。

【図 8 A】図 8 A は、本開示の代替の実施形態による、図 5 の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの部分斜視図である。

【図 8 B】図 8 B は、本開示の代替の実施形態による、図 5 の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの部分斜視図である。

【図 9 A】図 9 A は、本開示の代替の実施形態による、図 5 の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの部分斜視図である。

【図 9 B】図 9 B は、図 9 A の A T O インジェクタの外面を示す写真である。

【図 9 C】図 9 C は、図 9 A の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの平面図である。

20

【図 9 D】図 9 D は、図 9 C に示されるインジェクタの側面及び底面の斜視図である。

【図 9 E】図 9 E は、図 9 C に示されるインジェクタの側面及び底面の斜視図である。

【図 9 F】図 9 F は、図 9 A の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの平面図である。

【図 9 G】図 9 G は、図 9 A の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの平面図である。

【図 9 H】図 9 H は、図 9 A の A T O インジェクタに含まれ得る代替のインジェクタの平面図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0011】

添付の図面を参照して、様々な実施形態を詳細に説明する。同じ又は同様の部品への言及には、可能な限り、図面全体で同じ参照番号を使用する。特定の実施例及び実施形態への言及は、例示を目的とするものであり、本発明又は特許請求の範囲を限定することを意図するものではない。

【0012】

図 1 A は、本開示の一実施形態による、固体酸化物形燃料電池（S O F C）システム 10 の概略図である。図 1 A を参照すると、システム 10 は、ホットボックス 100 と、その中に又はそれに隣接して配置された各種構成要素を含む。

【0013】

40

ホットボックス 100 は、固体酸化物形燃料電池スタック（ここでは、スタックの 1 つの固体酸化物形燃料電池は、イットリア安定化ジルコニア（Y S Z）又はスカンジウム安定化ジルコニア（S S Z）などのセラミック電解質と、ニッケル－Y S Z 又はニッケル－S S Z サーメットなどのアノード電極と、ランタンストロンチウムマンガナイト（L S M）などのカソード電極とを含む）などの燃料電池スタック 102 を含むことができる。スタック 102 は、互いの上に重ねて複数の列に配置することができる。

【0014】

ホットボックス 100 はまた、アノード復熱器 110、カソード復熱器 120、アノードテールガス酸化器（A T O）130、アノード排気冷却器 140、スプリッタ 510 とボルテックスジェネレータ 550 とを含む A T O 混合器／インジェクタ（簡潔のため本明

50

細書ではA T Oインジェクタと呼ぶ) 5 0 0、及び、蒸気発生器 1 6 0を含むことができる。システム 1 0はまた、接触部分酸化 (C P O x) 反応器 2 0 0、混合器 2 1 0、C P O xブロワ 2 0 4 (例えば、エアブロワ)、システムブロワ 2 0 8 (例えばエアブロワ)、及び、アノードリサイクルブロワ 2 1 2を含むことができ、これらは、ホットボックス 1 0 0の外側に配置することができる。しかしながら、本開示は、ホットボックス 1 0 0に対する各構成要素の位置を特定の位置に限定するものではない。

【0015】

C P O x 反応器 2 0 0は、燃料導管 3 0 0 Aを介して、燃料入口 3 0 0から燃料吸入流を受け入れる。燃料入口 3 0 0は、C P O x 反応器 2 0 0に供給される燃料の量を制御するための弁を含むユーティリティガスラインであってよい。C P O xブロワ 2 0 4は、システム 1 0の起動時にC P O x 反応器 2 0 0に空気を供給し、その後、燃料電池スタック 1 0 2が7 5 0〜9 0 0℃等の7 0 0℃を超える定常状態動作温度に達する定常状態動作モード中には、停止することができる。定常状態での燃料及び／又は起動時の燃料と空気の混合物は、燃料導管 3 0 0 Bによって混合器 2 1 0に供給することができる。燃料は、混合器 2 1 0から燃料導管 3 0 0 Cを通過してアノード復熱器 1 1 0に流れる。燃料は、アノード復熱器 1 1 0から燃料導管 3 0 0 Dを通過してスタック 1 0 2に流れる。システム 1 0はまた、アノード復熱器 1 1 0内の1つ又は複数の燃料改質触媒 1 1 2、1 1 4、及び 1 1 6を含み得る。

【0016】

メインエアブロワ 2 0 8は、空気流 (例えば、空気吸入流) を、空気導管 3 0 2 Aを介してアノード排気冷却器 1 4 0に供給するように構成され得る。空気は、アノード排気冷却器 1 4 0から空気導管 3 0 2 Bを通過してカソード復熱器 1 2 0へと流れる。空気は、カソード復熱器 1 2 0から空気導管 3 0 2 Cを通過してスタック 1 0 2へと流れる。

【0017】

スタック 1 0 2で発生したアノード排気 (すなわち、燃料排気) は、アノード排気出口導管 3 0 8 Aを通過してアノード復熱器 1 1 0に供給される。アノード排気には未反応の燃料が含まれ得る。アノード排気は、本明細書では燃料排気と呼ぶこともある。アノード排気は、アノード復熱器 1 1 0からアノード排気導管 3 0 8 Bによってスプリッタ 5 1 0に供給することができる。アノード排気の第1の部分は、スプリッタ 5 1 0からアノード排気出口導管 3 0 8 Dを介してA T O 1 3 0に供給され得る。アノード排気の第2の部分は、スプリッタ 5 1 0から第1のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 Cによってアノード排気冷却器 1 4 0に供給され得る。アノード排気は、第2のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 Eによって、アノード排気冷却器 1 4 0から混合器 2 1 0に供給され得る。アノードリサイクルブロワ 2 1 2は、以下で論じられるように、アノード排気を、第2のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 Eを通過して移動させるように構成することができる。

【0018】

スタック 1 0 2で発生したカソード排気 (例えば、空気排気) は、カソード排気導管 3 0 4 Aを通過してA T O 1 3 0へと流れる。カソード排気は、本明細書において空気排気と呼ばれることもある。ボルテックスジェネレータ 5 5 0は、カソード排気導管 3 0 4 A内に配置することができ、カソード排気を旋回させるように構成することができる。導管 3 0 8 Dは、カソード排気導管 3 0 4 Aに、ボルテックスジェネレータ 5 5 0の下流側で流体接続され得る。ボルテックスジェネレータ 5 5 0を出る旋回カソード排気は、A T O 1 3 0に供給される前に、スプリッタ 5 1 0によって供給されるアノード排気と混合することができる。この混合物は、A T O 1 3 0内で酸化されてA T O排気を生成し得る。A T O排気は、A T O 1 3 0から排気導管 3 0 4 Bを通過してカソード復熱器 1 2 0へと流れる。排気は、カソード復熱器 1 2 0から排気導管 3 0 4 Cを通過して蒸気発生器 1 6 0へと流れる。排気は、蒸気発生器 1 6 0から排気導管 3 0 4 Dを通過してホットボックス 1 0 0の外へと流れ出る。

【0019】

水は、水タンク又は水道管などの水源 2 0 6から、水導管 3 0 6 Aを通過して蒸気発生器

10

20

30

40

50

160に流れる。蒸気発生器160は、この水を、排気導管304Cによって供給されるATO排気からの熱を使用して蒸気に変換する。蒸気は、蒸気発生器160から水導管306Bを通して混合器210に供給される。あるいは、必要に応じて、蒸気を燃料吸入流に直接供給することができ、及び／又は、アノード排気流を燃料吸入流に直接供給し、続いて、混合された燃料流を加湿することができる。混合器210は、蒸気をアノード排気及び燃料と混合するように構成されている。次に、この燃料混合物は、スタック102に供給される前に、アノード復熱器110内で加熱され得る。

【0020】

システム10はさらに、システム10の各種要素（例えば、ブロワ208及び212、及び燃料制御弁）を制御するように構成されたシステムコントローラ225を備えることができる。コントローラ225は、記憶された命令を実行するように構成された中央処理装置を含み得る。例えば、コントローラ225は、燃料組成データに従って、システム10を通る燃料及び／又は空気の流れを制御するように構成することができる。

【0021】

図1Bは、本開示の別の実施形態による固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム10の概略図である。図1Aのシステム10の要素と同じ図1Bのシステム10の要素については、簡潔のため再度説明はしない。

【0022】

図1Bのシステム10は、天然ガス、メタン、ペンタン、ブタン、バイオガスなどの炭化水素燃料と共に使用することができる。図1Bのシステム10は、アノード排気経路内のアノード排気冷却器140と混合器210との間に配置された追加の二酸化炭素分離器170、第2の混合器610、及び追加の導管308F、308G、309及び544を含む。導管544は、任意選択の弁546を含み得る。この実施形態では、ATOインジェクタ500は、以下でより詳細に説明される図8Bに示されるインジェクタ540を含むことができる。さらに、この実施形態では、導管308Bは迂回してインジェクタ540に直接的には流体接続されない。具体的には、導管308B及び308Cは、迂回してインジェクタ540に直接的には流体接続されないアノード排気導管（これはまた、アノード排気冷却器140から下流側に配置された導管308Eも含む）の単一の連続部分に統合される。

【0023】

二酸化炭素分離器170は、二酸化炭素をアノード排気の他の成分（例えば、水素、メタン、一酸化炭素など）から分離することができる任意の機械的（例えば、キャニスタートラップ）、吸着的（例えば、1つ又は選択的吸着床）又は電気化学的分離器を含むことができる。好ましくは、二酸化炭素分離器170は、2015年11月17日に発行され、参照により本明細書にその全体が組み込まれる、米国特許第9,190,658B2号に記載されるような、プロトン交換膜（PEM）セル又はPEMセルのスタックなどの電気化学的分離器を含む。

【0024】

二酸化炭素分離器170のアノード排気入口は、導管308Eに接続される。二酸化炭素分離器170は、任意選択で、スweepガス入口（例えば、空気入口、明示的には示されない）をも含み得る。二酸化炭素分離器170は、精製後アノード排気導管308F及び二酸化炭素出口導管309を含む。

【0025】

図1Bのシステム10は、次のように作動する。アノード排気導管（308B、308C及び308E）は迂回してインジェクタ540に直接的には流体接続されないため、アノード排気流全体（すなわち、100%）が、インジェクタ540を通して流れずに、アノード復熱器110からアノード排気冷却器140に供給される。アノード排気は、アノード排気冷却器140から、導管308Eを通して二酸化炭素分離器170のアノード排気入口に、アノードリサイクルブロワ212によって供給される。一実施形態では、導管308E内のアノード排気が、アノードリサイクルブロワ212又は二酸化炭素分離器1

10

20

30

40

50

70にとってまだ熱すぎる場合には、空気又は水などの任意の外部冷却流体を使用する追加の冷却器を、必要に応じてアノードリサイクルブロワ212の前又は後の、導管308E内に配置して、アノード排気を適切な温度に冷却することができる。二酸化炭素は、二酸化炭素分離器170内でアノード排気から分離される。分離された二酸化炭素は、システム10の外部での貯蔵又は工業的使用（例えば、化学又は工業プロセスにおいて）のために、導管309を介して二酸化炭素分離器170から除去される。二酸化炭素の全部又は一部が除去された精製後アノード排気は、二酸化炭素分離器170から、精製後アノード排気導管308Fに供給される。

【0026】

一実施形態では、精製後アノード排気導管308Fは、第2のスプリッタ610で終端する。第2のスプリッタ610は、T字形導管（例えば、パイプ）接続部又は別のタイプのスプリッタであってよい。精製後アノード排気の第1の部分は、精製後アノード排気導管308Fから、第2のスプリッタ610を通して混合器導管308Gに供給される。この精製後アノード排気は、その後、混合器導管308Gから、混合器210に供給され、そこで、図1Aに関して上述したように、燃料吸入流と混合される。

【0027】

精製後アノード排気の第2の部分は、精製後アノード排気導管308Fから、第2のスプリッタ610を通して導管544に供給される。弁546は、導管544を通して流れる精製後アノード排気の量を制御するために、導管544上に配置することができる。弁546は、システムコントローラ225によって制御されるコンピュータ制御弁であってよい。この精製後アノード排気は、導管544からインジェクタ540に供給され、これについては、図8A及び図8Bに関して以下でより詳細に説明する。このプロセスは、その後、図1Aに関して上述したものと同じように進む。

【0028】

図1Cは、本開示の別の実施形態による固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム10の概略図である。図1Aのシステム10の要素と同じ図1Cのシステム10の要素については、簡潔のため再度説明はしない。

【0029】

図1Cのシステム10は、炭化水素燃料ではなく、純粋な水素燃料と共に使用できる。この実施形態では、水源206、蒸気発生器160、CPOx反応器200、CPOxブロワ204及び導管306Bを排除することができる。あるいは、電力調整システムの接触器を閉じて電力調整システム構成要素に電流を流すことを可能とする目的で開回路電圧を下げるために、CPOxブロワ204を、短期間燃料電池のアノード側に少量の空気を加えるように保持することができる。あるいは、接触器を閉じる目的で開回路電圧を下げるために、水を導管308E及び／又は導管308Cに注入することができる。この実施形態では、導管300A及び300Bは、単一の導管に統合される。同様に、導管304C及び304Dは単一の導管に統合される。図1Cのシステム10は、燃料入口300からの水素燃料吸入流がCPOx反応器200を通過せず、蒸気発生器160及び導管306Bが排除されるために意図的に加湿されないことを除いて、図1Aのシステム10と同じように作動する。

【0030】

図1Dは、本開示の別の実施形態による固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム10の概略図である。図1Cのシステム10の要素と同じ図1Dのシステム10の要素については、簡潔のため再度説明はしない。

【0031】

図1Dのシステム10は、炭化水素燃料ではなく、純粋な水素燃料とともに使用できる。この実施形態では、アノード排気冷却器140、アノードリサイクルブロワ212、混合器210、及び導管308Eを排除することができる。この実施形態では、導管300A、300B、及び300Cは、単一の導管に統合される。さらに、図7及び図9Aに関して以下でより詳細に説明するように、アノード排気導管308Cは排除されてもよいし

10

20

30

40

50

、又はキャップ３１０で終端になっていてもよい。

【００３２】

図１Ｄのシステム１０は、混合器２１０の排除により、燃料吸入流へと再循環されるアノード排気流が一部たりともないことを除いて、図１Ｃのシステム１０と同じように作動する。代わりに、アノード排気流のすべて（すなわち、１００％）が、アノード復熱器１１０からＡＴＯ１３０に、導管３０８Ｂ、３０８Ｄ及びスプリッタ（例えば、スプリッタ５１０）を介して供給される。さらに、アノード排気流は、アノード排気冷却器１４０の排除により、空気吸入流と熱交換しない。

【００３３】

図２Ａ～図２Ｄ及び図３Ａ～図３Ｃは、図１Ａ～図１Ｄのシステム１０のホットボックス１００の構成要素を示すが、但し、図２Ａ、図２Ｂ、図２Ｃ、図３Ａ及び図３Ｂには、図１Ａ～図１Ｄに関して上述した本開示の実施形態のスプリッタ５１０及びボルテックスジェネレータ５５０を含むＡＴＯインジェクタ５００（これについては図５～図９Ｈに関して以下でより詳細に説明する）の代わりに、図４の従来技術のスプリッタ５１１とボルテックスジェネレータ５５１を含む従来技術のＡＴＯインジェクタ５０１が示されている。図２Ａは、図１Ａのシステム１０のホットボックス１００の構成要素を示す断面図であり、図２Ｂは、図２Ａの拡大部分を示す。図２Ｃは、本開示の様々な実施形態による、システム１０の中央カラム４００の三次元切欠き図であり、図２Ｄは、カラム４００を上配置することができるホットボックススペース１０１に配置されたアノードハブ構造６００の斜視図である。

【００３４】

図２Ａ～図２Ｄを参照すると、燃料電池スタック１０２は、ホットボックス１００内のカラム４００の周囲に配置され得る。例えば、スタック１０２は、中央カラム４００の周囲にリング状の構成で配置することができ、ホットボックススペース１０１上に置くことができる。カラム４００は、中央プレナム４０１、アノード復熱器１１０、ＡＴＯ１３０、及びアノード排気冷却器１４０を含むことができる。特に、アノード復熱器１１０は、ＡＴＯ１３０の半径方向内側に配置され、アノード排気冷却器１４０は、アノード復熱器１１０及びＡＴＯ１３０の上方に取り付けられる。酸化触媒１１２及び／又は水素化触媒１１４は、アノード復熱器１１０内に配置され得る。アノード復熱器１１０の底部に、水蒸気メタン改質（ＳＭＲ）インサートとして、改質触媒１１６を配置することもできる。

【００３５】

ＡＴＯ１３０は、内側ＡＴＯ断熱材１３０Ｂ／アノード復熱器１１０の外壁の周囲に配置された外側円筒１３０Ａを備える。任意選択で、断熱材１３０Ｂは、内側ＡＴＯ円筒１３０Ｃによって囲まれてもよい。したがって、断熱材１３０Ｂは、アノード復熱器１１０とＡＴＯ１３０との間に配置することができる。外側円筒１３０ＡとＡＴＯ断熱材１３０Ｂとの間の空間に、ＡＴＯ酸化触媒を配置することができる。アノード排気冷却器１４０を通過してＡＴＯ１３０の上部まで、ＡＴＯ熱電対フィードスルー１６０１が延在する。それにより、このフィードスルー１６０１を通して１つ又は複数の熱電対（図示せず）を挿入することによって、ＡＴＯ１３０の温度を監視することができる。

【００３６】

アノードハブ構造６００は、アノード復熱器１１０及びＡＴＯ１３０の下で、ホットボックススペース１０１の上方に配置することができる。アノードハブ構造６００は、ＡＴＯスカート１６０３によって覆われる。ボルテックスジェネレータ５５１及びアノード排気スプリッタ５１１を含むＡＴＯインジェクタ５０１は、アノード復熱器１１０及びＡＴＯ１３０の上方で、アノード冷却器１４０の下に配置される。ＡＴＯグロープラグ１６０２は、起動時にＡＴＯ内のスタックアノード排気の酸化を開始するが、ＡＴＯ１３０の底部近くに配置することができる。

【００３７】

アノードハブ構造６００は、中央プレナムから中央カラム４００の周囲に配置された燃料電池スタックに、燃料を均一に分配するために使用される。アノード流ハブ構造６００

は、溝付きキャストベース602、及び、燃料入口導管300Dと流出導管308Aからなる「スパイダー」ハブを含む。導管の各対300D、308Aは、燃料電池スタックに接続する。次に、アノード側円筒（例えば、アノード復熱器110の内側及び外側円筒ならびにATO外側円筒130A）が、ベース602の溝に溶接又はろう付けされ、以下で説明する流れ分布のための均一な体積断面を作り出す。

【0038】

図2Cに示されるように、ホットボックススペース101の下に、昇降台1604が配置される。一実施形態では、昇降台1604は2つの中空アームを含み、修理又は整備のためにキャビネット（図示せず）から燃料電池ユニットを取り外すようなときに、中空アームを用いてフォークリフトのフォークを挿入し、燃料電池ユニットを持ち上げて移動させることができる。

10

【0039】

図2A及び図2Bの矢印で示されるように、空気はホットボックス100の上部に入り、その後カソード復熱器120へと流れて、そこでスタック102からのカソード排気によって加熱される。加熱された空気は、その後、入口121を通過してカソード復熱器120内部を流れる。空気は、次に、スタック102を通過して流れ、アノードハブ構造600から供給される燃料と反応する。カソード排気は、出口123を通過してスタック102から流れる。次に、空気排気は、ボルテックスジェネレータ551の羽根を通り、ATO130に入る前に旋回される。

20

【0040】

スプリッタ511は、アノード復熱器110の上部を出るアノード排気の一部を旋回空気排気へと向かわせることができる。アノード排気とカソード排気は、ATO130に入る前に、ATOインジェクタ501内で混合することができる。

【0041】

図3A及び図3Bは、中央カラム400を通る流れ分布を示す垂直断面図であり、図3Cは、アノード復熱器110の水平断面図である。図2A、図2B、図3A、及び図3Cを参照すると、アノード復熱器110は、内側円筒110A、波形プレート110B、及びATO断熱材130Bで被覆され得る外側円筒110Cを含む。燃料導管300Cからの燃料は、中央カラム400の上部に入る。次に、燃料は、アノード冷却器140の、中空コアを通過して流れることによってアノード冷却器140を迂回し、次に、アノード復熱器110の外側円筒110Cと波形プレート110Bとの間を通過して流れる。その後、燃料は、アノードハブ構造600（図3B）のハブベース602及び導管300Dを通過してスタック102に流れる。

30

【0042】

図2A、図2B、図3A及び図3Bを参照すると、アノード排気は、スタック102から導管308Aを通過してハブベース602に流れ込み、ハブベース602からアノード復熱器110の、内筒110Aと波形プレート110Bとの間を通り、導管308Bを通過してスプリッタ511へと流れる。アノード排気の一部が、スプリッタ511から導管308Cを通過してアノード冷却器140へ流れる一方で、別の部分は、スプリッタ511から導管308Dを通過してATO130に流れる（図1A参照）。導管308Cは、図3A及び図3Cに示されるように、アノード冷却器140とボルテックスジェネレータ551との間に配置されたベローズ852及び支持円筒854によって少なくとも部分的に画定され得る。燃料導管300Cと導管308Cとの間に、アノード冷却器内部コア断熱材140Aが配置され得る。この断熱材は、アノード冷却器140に向かう途中の導管308C内のアノード排気流からの熱移動及び熱損失を最小限に抑える。断熱材140Aはまた、導管300C内の燃料吸入流とアノード冷却器140内の流れとの間での熱移動を回避するために、導管300Cとアノード冷却器140との間に配置することもできる。ベローズ852と支持円筒854は、アノード冷却器140とスプリッタ511の間に配置することができる。

40

【0043】

50

図3Bはまた、空気導管302Aからアノード冷却器140（ここで、空気はアノード排気流と熱交換する）へと流れ、導管302Bに入ってカソード復熱器120へと流れる空気を示す。図2A及び図3Bに示されるように、アノード排気は、アノード復熱器110を出て、導管308Bを通してスプリッタ511に供給される。スプリッタ511は、アノード排気を第1及び第2のアノード排気流に分割する。第1の流れは、導管308Dを通してATO130に供給される。第2の流れは、導管308Cを通してアノード冷却器140に供給される。

【0044】

ATO130及びアノード排気冷却器140に供給されるアノード排気の相対量は、アノードリサイクルブロワ212によって制御される。ブロワ212の速度が速いほど、アノード排気流のより多くの部分が導管308Cへと供給され、アノード排気流のより少ない部分がATO130に供給される。ブロワ212の速度が遅い場合は、この逆となる。ATO130に供給されるアノード排気流は、カソード排気によって酸化され、導管304Bを通してカソード復熱器120に供給され得る。

【0045】

図4は、一体化されたスプリッタ511とボルテックスジェネレータ551を含む従来のATOインジェクタ501の部分斜視図である。従来のATOインジェクタ501は、スプリッタ511及びボルテックスジェネレータ551が一体化されて単一の部分になるように、鋼等の金属材料を鑄造することによって成形される。したがって、鑄造ATOインジェクタ501は製造するのが高価で時間がかかる。

【0046】

図5は、本開示の一実施形態のATOインジェクタ500の部分斜視図であり、これは、図2A、図2C、図3A及び図3Bの中央カラム400内に、従来技術のATOインジェクタ501の代わりに設けられる。図5を参照すると、ATOインジェクタ500は、スプリッタ510及びボルテックスジェネレータ550を含む。スプリッタ510は、環状形状を有する弧状体512を含み得る。この環状形状は、水平面に位置する環状軸を中心とする曲率半径を有することができる（図4に示される従来のATOインジェクタ501の垂直軸を中心とする曲率半径とは対照的に）。いくつかの実施形態では、スプリッタ510は、金属管を切断して弧を形成し、弧を曲げて環状形状にし、その対向する端部を接続することによって形成することができる。他の実施形態では、複数の弧を切断し、曲げて、端部と端部を接続して、スプリッタ510の弧状体512を形成することができる。弧状体512の外表面（すなわち、中央カラム400の中心軸に面していない側の表面）は、弧状体512の外表面とATO130の外側円筒130Aとの間の最小距離が、ATO130の内側円筒130Cと外側円筒130Aとの間の最小距離よりも小さくなるように、凸状であってよい。

【0047】

様々な実施形態では、弧状体512は、約180°以下、例えば、約180°～約130°、約175°～約150°、又は約170°～約160°の円弧寸法（弧状体512の外側表面に沿って計った）を有し得る。したがって、スプリッタ510のATO130への突出を、カソード排気の流れへの妨害を最小限にするように制御して、それにより、再循環ゾーンの生成を低減及び／又は排除し、中の圧力損失を最小限にすることができる。

【0048】

いくつかの実施形態では、スプリッタ510は、任意選択で、弧状体512を強化するように構成された支持円弧518を含むことができる。特に、支持円弧518は、弧状体512を形成するために用いられる管の未切断部分から形成されてもよい。例えば、弧状体512を形成するために用いられる管の長さの約10%から約30%、例えば約20%を、未切断のままにして支持円弧518を形成することができる。言い換えれば、支持円弧518と弧状体512を足すと、360°の円弧寸法と等しくなり得る。

【0049】

弧状体512の上縁は、支持円筒854に取り付けることができ、弧状体512の下縁

10

20

30

40

50

は、ＡＴＯ１３０の内側ＡＴＯ円筒１３０Ｃに取り付けることができる。例えば、弧状体５１２は、内側ＡＴＯ円筒１３０Ｃの一部に溶接することができる。いくつかの実施形態では、弧状体５１２は、隅肉溶接５１６を用いて、支持円筒８５４及び内側ＡＴＯ円筒１３０Ｃに接続することができる。

【００５０】

スプリッタ５１０は、弧状体５１２を穿孔するとともに、カソード排気導管３０４ＡからＡＴＯ１３０に流入するカソード排気にアノード排気を注入するように構成された、注入開口５１４を含むことができる。注入開口５１４は、スプリッタ５１０に沿ってほぼ等間隔に配置され得る。いくつかの実施形態では、注入開口５１４は、例えば、レーザー又はウォータージェットを使用して切断され得る。注入開口５１４は、各開口５１４の周囲が、弧状体５１２の外面でよりも内面で大きくなるように、傾斜カットされ得る。開口５１４は、アノード排気流を内側ＡＴＯ円筒１３０の軸（すなわち、中央垂直軸）に垂直に注入することができ、又は、アノード排気流をＡＴＯ１３０へのカソード排気流の方向へ下向きの角度（例えば、３０～６０度等の１～８９度の角度）で注入できる。

【００５１】

ボルテックスジェネレータ５５０は、溶接等によってスプリッタ５１０の外面に取り付けられた複数の羽根５５２を含むことができる。図５には示されていないが、羽根５５２は、スプリッタ５１０の周囲に環状構成で配置することができる。羽根５５２は、アノード及び／又はカソード排気など、そのそばを流れる流体を旋回させる（例えば、中に渦を発生させる）ように構成することができる。したがって、羽根５５２は、アノード排気とカソード排気との混合を増加させるように構成することができる。他の実施形態では、羽根５５２は、内側円筒１３０Ｃ又は支持円筒８５４の外面に取り付けることができる。

【００５２】

図６及び図７は、本開示の代替の実施形態による、スプリッタ５１０の代わりに図５のＡＴＯインジェクタ５００に含まれ得る代替のスプリッタ５２０を含む中央カラム４００の、異なる角度で見た部分透視図である。図６及び図７を参照すると、スプリッタ５２０は、トロイダル導管（例えば、パイプなどの管状体）５２２であってよい。いくつかの実施形態において、スプリッタ５２０は、パイプ５２２を円形に曲げて、その対向する端部を溶接等で接続することによって形成することができる。したがって、この実施形態では、スプリッタ５２０は、その全周の周りに、３６０°の円弧寸法を有する。トロイダル導管の垂直中心軸は、中央カラム４００の垂直中心軸に平行である。さらに、トロイダル導管の外側凸面は、垂直中心軸に垂直な水平軸を中心に湾曲している。

【００５３】

スプリッタ５２０は、アノード排気をスプリッタ５２０の内部に注入するように構成された内側注入開口５２４と、アノード排気をスプリッタ５２０の内部からＡＴＯ１３０に注入するように構成された外側注入開口５１４とを含むことができる。注入開口５１４、５２４は、スプリッタ５２０のそれぞれ内側部分及び外側部分に沿ってほぼ等間隔に配置することができ、例えば、レーザー又はウォータージェットを使用して切断することができる。

【００５４】

いくつかの実施形態では、注入開口５１４、５２４は、ほぼ同じサイズであってよい。しかしながら、他の実施形態では、スプリッタ５２０へのアノード排気の注入を容易にするために、内側注入開口５２４は、外側注入開口５１４よりも大きく（例えば、高さがより大きい）てもよい。いくつかの実施形態では、内側注入開口５２４及び／又は外側注入開口５１４は、上記のように傾斜カットされ得る。

【００５５】

図１Ｄ及び図７に示される一実施形態において、導管３０８Ｃは、キャップ３１０でふたすることができる。水素燃料で作動する場合、キャップ３１０は、ガスが導管３０８Ｃを通過するのを遮断する固体金属プレートを含むことができる。

【００５６】

図8Aは、本開示の別の代替の実施形態による、スプリッタ510の代わりに図5のATOインジェクタ500内に含まれ得る代替のインジェクタ540を含む中央カラム400Aの部分斜視図である。図8Aを参照すると、インジェクタ540はトロイダル導管を含むことができる。いくつかの実施形態では、インジェクタ540は、パイプを円形に曲げ、その対向する端部を溶接等によって接続することによって形成することができる。

【0057】

インジェクタ540は、その外側表面に配置され且つインジェクタ540を穿孔する注入開口514を含むことができる。注入開口514は、インジェクタ540の内部からATO130にアノード排気を注入するように構成することができる。インジェクタ540のトロイダル導管522の内側表面には、開口は配置されない。

10

【0058】

少なくとも1つの導管（例えば、供給管）544が、中央カラム400Aの内部に配置され、インジェクタ540に流体接続され得る。弁546が、供給管544上に配置され得る。供給管544は、燃料導管300Cに沿って延在することができる。供給管544は、導管（例えば、マニホールド）308Cに露出し、導管308Cを介してアノード排気冷却器140の内部からアノード排気を受け入れるように構成された開放第1端部と、トロイダル（例えば、管状）導管522に流体接続される第2端部とを有し得る。したがって、供給管544は、インジェクタ540の内部にアノード排気を供給するように構成することができる。

【0059】

弁546は、供給管544を通してインジェクタ540に入るアノード排気流を制御するように構成され得る。したがって、弁546はまた、注入開口514を通してATO130に入るアノード排気流を制御することができる。弁546は、ホットボックス100の外側に延在する中央カラム400Aの一部の表面で露出される供給管544の一部分の上に配置され得る。したがって、弁546は、ホットボックス内部の高温への露出から保護され得る。弁546の1つの目的は、アノード及びカソード排気流を分離することであり、これは、システム組立プロセス中の接合部及び／又は溶接部の漏れのチェックに有用である。別の目的は、任意選択で、アノード排気流から燃料供給を分離させることである。図8Aには、1つの供給管544と1つの弁546だけが示されているが、代替の実施形態では、単一の弁546又は複数の弁546に対し、共にマニホールド化された複数の入口管及び／又は出口管544などの複数の管があってもよい。例えば、2つの供給管544を、トロイダル本体522の対向する両側に接続することができる。

20

30

【0060】

図8Bは、中央カラム400Bの代替の実施形態の部分斜視図である。図8Bの中央カラム400Bの要素は、図8Aの中央カラム400Aの要素と同じであり、簡潔のために再度説明しない。図8Bの中央カラム400Bは、図1Bの固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム10と共に使用することができる。

【0061】

図1Bに関して上で論じたように、アノード排気導管（308B、308C、308E）は、インジェクタ540のトロイダル導管522の内側表面が、アノード排気導管（例えば、導管308B及び308C）へ露出される開口部（例えば開口）を有しないため、インジェクタ540を迂回して直接的には流体接続されない。アノード排気導管の下部となる導管308B及び308Cは、燃料導管300Cの外壁とATO内側円筒130C及び支持円筒854の内壁との間に位置する内側プレナム又はマニホールドを含む。アノード排気導管の上部は、アノード排気冷却器140と二酸化炭素分離器170との間に延在する導管308Eを含む。したがって、アノード排気流全体（すなわち、100%）は、インジェクタ540を通して流れずに、導管308B及び308Cを介して、アノード復熱器110からアノード排気冷却器140へ供給される。アノード排気は、アノード排気冷却器内の空気吸入流と熱交換する。アノード排気は、アノード排気冷却器140から、導管（例えば、パイプ）308Eを通して二酸化炭素分離器170のアノード排気入口に

40

50

供給される。二酸化炭素は、二酸化炭素分離器 170 でアノード排気から分離される。分離された二酸化炭素は、システム 10 の外部で貯蔵又は工業的使用（例えば、化学又は工業プロセス）のために、導管 309 を介して二酸化炭素分離器 170 から除去される。二酸化炭素の全部又は一部が除去された精製後アノード排気は、二酸化炭素分離器 170 から精製後アノード排気導管 308 F に供給される。

【0062】

一実施形態では、精製後アノード排気導管 308 F は、導管 308 F、308 G、及び 544 の交差点の T 字形導管（例えば、パイプ）接続部であり得る第 2 のスプリッタ 610 で終端する。この精製後アノード排気の第 1 の部分は、精製後アノード排気導管 308 F から第 2 のスプリッタ 610 を通って混合器導管 308 G に供給される。次に、精製後アノード排気は、混合器導管 308 G から混合器 210 に供給され、そこで、図 1 A 及び図 1 B に関して上で述べたように、燃料吸入流と混合される。

【0063】

精製後アノード排気の第 2 の部分は、精製後アノード排気導管 308 F から第 2 のスプリッタ 610 を通って導管 544 に供給される。導管 544 上に位置する弁 546 は、導管 544 を通ってインジェクタ 540 のトロイダル導管 522 に流入する精製後アノード排気の量を制御する。精製後アノード排気は、導管 544 からインジェクタ 540 に供給される。アノード排気は、その後、インジェクタ 540 から、インジェクタ 540 のトロイダル導管 522 内の開口 541 を介して、そしてボルテックスジェネレータ 550 を介して、ATO130 に供給される。

【0064】

したがって、図 5 ～図 8 B の実施形態において、燃料電池システム 10 は、燃料電池スタック 102、燃料電池スタック 102 からアノード排気を受け入れるように構成されたアノード復熱式熱交換器 110、アノード復熱器 110 からアノード排気を受け入れるように構成されたアノード排気導管 308 B、燃料電池スタックからカソード排気を受け入れるように構成されたカソード排気導管 304 A、アノード復熱器 110 を包囲し、カソード排気導管 304 A からカソード排気を受け入れるように構成されたアノードテールガス酸化器（ATO）130、及び、ATO130 とアノード排気導管 308 B との間に配置された ATO インジェクタ 500 を含む。ATO インジェクタ 500 は、カソード排気導管から供給されたカソード排気を旋回させるように構成されたボルテックスジェネレータ 550 の羽根 552 と、アノード排気導管 308 B と ATO130 との間に配置された弧状体 512 又は 522 とを含み、この弧状体を通して、アノード排気の少なくとも一部がアノード排気導管から流れるように構成され、前記弧状体は、アノード排気の少なくとも一部を ATO130 へ流れる旋回カソード排気に注入するように構成された注入開口 514 を備える。

【0065】

図 5 に示される一実施形態では、弧状体 512 は、弧状体の外面に沿って、約 130° から約 180° の円弧寸法を有する。図 6 ～図 8 B に示される他の実施形態では、弧状体 522 はトロイダル導管を含み、トロイダル導管の外面に沿って 360° の円弧寸法を有する。

【0066】

図 6 及び図 7 に示される実施形態では、トロイダル導管 522 は、アノード排気導管 308 B からのアノード排気の第 1 の部分をトロイダル導管に向かわせるように構成された内側開口 524 をさらに備える。一実施形態では、内側開口 524 は、注入開口 514 よりも大きい。

【0067】

図 8 A 及び図 8 B に示される実施形態では、システム 10 はまた、アノード排気導管 308 B からのアノード排気をトロイダル導管 522 の内部に供給するように構成された供給管 544 と、供給管 544 を通るアノード排気流を制御するように構成された弁 546 とを含む。弁 546 は、アノード復熱式熱交換器 110、アノード排気導管 308 B、A

ＴＯ１３０、及びＡＴＯインジェクタ５００を含むホットボックス１００の外側に配置することができる。

【００６８】

図８Ｂの実施形態では、二酸化炭素分離器１７０は、二酸化炭素分離器１７０が、アノード排気から二酸化炭素を分離するように構成されるように、アノード排気導管（３０８Ｂ、３０８Ｃ、３０８Ｆ）及び供給管５４４に流体接続される。一実施形態では、二酸化炭素分離器１７０は、電気化学的二酸化炭素分離器を含む。

【００６９】

一実施形態では、図１Ｂ及び図８Ｂのシステム１０はまた、アノード排気導管内のアノード排気を使用して空気ブロー２０８からの空気吸入流を加熱するように構成されたアノード排気冷却式熱交換器１４０、及び、アノード排気の一部を、燃料導管３００Ｃ内をアノード復熱式熱交換器１１０へと流れる燃料吸入流と混合するように構成された混合器２１０を含む。

【００７０】

一実施形態では、アノード排気導管（３０８Ｂ、３０８Ｃ、３０８Ｅ）は迂回してインジェクタ５４０のトロイダル導管５２２に直接的には流体接続されない。トロイダル導管５２２の内側表面は、アノード排気導管（３０８Ｂ、３０８Ｃ、３０８Ｅ）に露出される開口部を有さない。二酸化炭素分離器１７０は、アノード排気の経路において、アノード排気冷却式熱交換器１４０と混合器２１０との間に配置される。アノード排気導管（例えば、導管３０８Ｂ、３０８Ｃ、３０８Ｅのうち３０８Ｅの部分）は、アノード排気冷却式熱交換器１４０の出口を二酸化炭素分離器１７０の入口に接続する。

【００７１】

一実施形態では、図１Ｂ及び図８Ｂのシステムはまた、二酸化炭素分離器１７０の第１の出口に接続される精製後アノード排気導管３０８Ｆと、二酸化炭素分離器１７０の第２の出口に接続される二酸化炭素出口導管３０９とを含む。二酸化炭素排出導管３０８Ｆには、スプリッタ（すなわち、第２のスプリッタ）６１０が流体接続される。混合器導管３０８Ｇが、スプリッタ６１０を混合器２１０に流体接続し、一方、導管（すなわち、供給管）５４４が、スプリッタ６１０をトロイダル導管５２２に流体接続する。

【００７２】

図９Ａは、本開示の別の代替の実施形態による、スプリッタ５１０の代わりに図５のＡＴＯインジェクタ５００内に含まれ得る代替のスプリッタ５６０を含む、４００Ｃの中央カラムの部分斜視図である。図９Ｂは、図９ＡのＡＴＯインジェクタ５００の外面を示す写真である。図９Ａ及び図９Ｂを参照すると、ＡＴＯインジェクタ５００は、上縁が支持円筒８５４に取り付けられ（例えば、溶接され）、下縁がＡＴＯ１３０の内側円筒１３０Ｃ（図８Ａに示す）に取り付けられる（例えば、溶接される）か、内側円筒１３０Ｃの上部を含むことのできる中空円筒体５６２を含むスプリッタ５６０を含み得る。

【００７３】

いくつかの実施形態では、円筒体５６２は、金属管から切り取られてもよく、又は平らな金属薄板を曲げて溶接して中空の円筒形に形成されてもよい。例えば、円筒体５６２は、垂直方向に延在することができ、水平方向に単一の曲率半径を有することができる。言い換えれば、円筒体５６２は、一貫した水平断面及び／又は円周を有し得、内側円筒１３０Ｃを通り越えて内側円筒１３０Ａに向かって延びる凸状の弧状体を有さない。

【００７４】

スプリッタ５６０は、円筒体５６２を通り抜けて延びる（先の実施形態のスリットの代わりに）注入管５６４を含む。注入管５６４は、円筒体５６２の内側からのアノード排気を、円筒体５６２の外側をＡＴＯ１３０へと流れるカソード排気に注入するように構成され得る。特に、注入管５６４は、約０．５ｃｍから約３ｃｍの範囲の距離、例えば、約１ｃｍから約２．５ｃｍ、又は約１．２５ｃｍから約２．２５ｃｍの距離、円筒体５６２の外側から延在することができる。したがって、注入管５６４は、円筒体５６２と外側円筒１３０Ａとの間に形成される環状空間にアノード排気を注入するように構成され得る。

【0075】

図9A及び図9Bは、軸（すなわち、円筒体562の中心垂直軸）に垂直な注入管を示す。代替の実施形態では、注入管は、カソード排気流の方向に（例えば、ATOの方向に）下へと傾斜させることができる。下向きの角度は、円筒体562の軸の垂直方向に対して1〜89度、例えば、30〜60度であってよい。図9Bは、任意選択の羽根552の最下部と同じ水平面にある注入管564を示す。代替の構成では、注入管564は、羽根552の最下部水平面の下側に配置され得る。

【0076】

図1D及び図9Aに示される一実施形態において、導管308Cは、キャップ310でふたすることができる。キャップ310は、システム10が水素燃料で作動される場合に、ガスが導管308Cを通過するのを遮断する固体金属板を含み得る。

【0077】

図9A及び図9Bに示される構成では、ATOインジェクタ500は、ボルテックスジェネレータ550の任意選択の羽根552を含む。図9C、図9D及び図9Eに示される代替の構成では、羽根552を省くことができ、渦は、円筒体562に対して注入管564を半径方向に角度付けすることによって形成され得る。例えば、図9Cに示されるように、注入管564は、円筒体の外面に垂直な仮想線「N」とそれぞれの注入管564のそれぞれの長手方向軸「A」との間の角度 α がゼロでない角度で円筒体562から延びる。角度 α は、すべての注入管564に対して同じであってもよいし、又は、同じATOインジェクタ500の異なる注入管564に対して異なってもよい。例えば、角度 α は1と75度の間の範囲、例えば30〜60度など、とすることができる。任意選択で、注入管564は、図9C〜図9Eに示されるように半径方向に角度を付けて、同時に上記のように下向きに傾斜させてもよい。別の任意選択の構成では、図9C〜図9EのATOインジェクタ500に、羽根552が含まれてもよい。

【0078】

図9C〜図9EのATOインジェクタ500の1つの任意選択の態様において、注入管564は、図9Eに示されるように、及び、図9C及び図9Dの1つの注入管564の一部切欠き図に示されるように、それらの周囲に開口部566（例えば、円筒形の開口部又は細長いスリット）を含むことができる。したがって、ATOインジェクタ500は、シャワーヘッドタイプのインジェクタを含む。開口部566は、注入管564の円周の下半分（例えば、90度と270度の間）など、注入管564の円周の下側部分に設けることができる。例えば、開口部566は、ATO130へと真っ直ぐ下向きにすることができ（例えば、円周上の180度に対応する6時の位置に）、又は、注入管564の円周上の5時又は7時の位置に、及び／又はその間に配置することができる。

【0079】

図9Cに示される1つの任意選択の構成では、注入管564の端部はキャップ568でふたすることができる。この構成では、アノード排気流は、円筒体562から離れる水平方向よりむしろ、ATO130へと下向きに向けられる。開口部566及び／又はキャップ568はまた、任意選択で、図9A及び図9Bに示される注入管564上に形成することもできる。

【0080】

他の代替の実施形態では、円筒体562を穿孔する注入管564がより少なくなるように、上述の注入管564のいずれかを「フラクタル化」して円筒体562への穿孔を最小限に抑えることができる。これらの実施形態では、注入管964は、注入管964の長手方向軸「A」からゼロでない角度で離れて延びる少なくとも1つの分岐（964T、964H、964C）を含む。図9Fに示される1つの代替の実施形態では、単一の注入管を使用する代わりに、2つの管964、964Tが「T」字形を形成する。図9Gに示される別の代替の実施形態では、単一の管964が、「H」形の組になった管964Hの真ん中の管に、管964Hと同じ水平面から、又は上から管964Hの真ん中の管へと下向きに向けられて、接続され得る。管964T及び964Hの端部は、キャップ968でふた

することができ、管 9 6 4 T 及び 9 6 4 H は、それらの円周の下部に開口部 9 6 6 を含むことができる。

【0081】

図 9 H に示されるさらに別の代替の実施形態では、少数の注入管 9 6 4（例えば、2～10 本、4～6 本等の管）が、開口部 9 6 6（図 9 H の平面図には示されない）がその円周の下部に配置されたトロイダル管（例えば、円筒）9 6 4 C に接続される。注入管 9 6 4、9 6 4 T、9 6 4 H、9 6 4 C は、円形の断面形状を有する（すなわち、円筒形を有する）として示されるが、これら管は、楕円形又は多角形（例えば、長方形）の断面形状など、別の断面形状を有してもよい。

【0082】

言い換えれば、図 9 A～図 9 H の上記構成のすべてにおいて、注入管 5 6 4 は、先の実施形態の円筒体に直接形成される注入開口又は穿孔と比較して、円筒体 5 6 2 の外面からさらに遠くにアノード排気を注入するように、円筒体 5 6 2 から半径方向外向きに延びる。結果として、比較的高温のアノード排気は、円筒体 5 6 2 の外面に接触する前に比較的低温のカソード排気と混合される。したがって、円筒体 5 6 2 は、注入開口が使用された場合よりも低い温度に維持され得る。したがって、円筒体 5 6 2 及び隣接する支持円筒 8 5 4 及び内側円筒 1 3 0 C は、システム作動中、実質的に同じ温度に維持することができ、熱膨張変動からの応力を最小限に抑える又は防ぐことができる。

【0083】

さらに、注入管 5 6 4 の延長部はまた、アノード排気を、ボルテックスジェネレータ 5 5 0 の任意選択の羽根 5 5 2 によって形成される渦の中により深く注入する。図 9 B に示されるように、渦を発生させ、及び／又はアノード排気とカソード排気の混合を増加させるために、羽根 5 5 2 は、そこに供給されるカソード排気の流れ方向に対して（例えば、中央カラム 4 0 0 C の垂直軸に対して）、約 30° から約 60° まで、例えば、約 35° から約 55° まで、又は約 40° から約 50° までの範囲の角度で配置することができる。

【0084】

さらに、図 5～図 8 B に示される湾曲した弧又は円筒などの 2 つの曲率半径を含む設計と比較して、円筒体 5 6 2 は、単一の曲率半径のみを含む。結果として、スプリッタ 5 6 0 は、製造するのがより安価となり得る。さらに、円筒体 5 6 2 が A T O 1 3 0 の上の環状空間に突出しないので、スプリッタ 5 6 0 によって発生するカソード排気の圧力損失を最小限に抑えることができる。

【0085】

図 9 A～図 9 H に示される実施形態では、燃料電池システム 1 0 は、燃料電池スタック 1 0 2、アノードテールガス酸化器（A T O）1 3 0、燃料電池スタック 1 0 2 からのアノード排気の第 1 の部分を燃料電池スタックからのカソード排気と混合し、アノード排気の第 1 の部分とカソード排気との混合物を A T O 1 3 0 に供給するように構成された A T O インジェクタ 5 0 0、アノード排気の第 1 の部分を A T O インジェクタ 5 0 0 に供給するように構成されたアノード排気導管 3 0 8 B、及び、燃料電池スタック 1 0 2 からのカソード排気の少なくとも一部を A T O インジェクタ 5 0 0 に供給するように構成されたカソード排気導管 3 0 4 A を含む。A T O インジェクタ 5 0 0 は、中空円筒体 5 6 2 と、中空円筒体 5 6 2 の外面から延び、アノード排気の第 1 の部分を巡回カソード排気に注入するように構成された注入管 5 6 4 とを含む。

【0086】

一実施形態では、システム 1 0 はまた、アノード排気と燃料吸入流との間で熱交換するように構成されたアノード復熱式熱交換器 1 1 0、及び、燃料電池セルスタック 1 0 2 からのアノード排気をアノード復熱式熱交換器 1 1 0 に供給するように構成されたアノード排気出口導管 3 0 8 A を含むことができ、アノード排気導管 3 0 8 B は、アノード復熱式熱交換器 1 1 0 からのアノード排気を A T O インジェクタ 5 0 0 に供給するように構成されている。

【0087】

10

20

30

40

50

一実施形態では、羽根 5 5 2 が、中空円筒体 5 6 2 の外面に配置され、カソード排気を旋回するように構成され、A T O 1 3 0 は、アノード復熱式熱交換器 1 1 0 を包囲し、A T O インジェクタ 5 0 0 は、A T O 1 3 0 の上流側（例えば、トップダウン流れの上方）及びアノード復熱式熱交換器 1 1 0 の下流側（及び上側）に配置され、中空円筒体 5 6 2 は、カソード排気導管 3 0 4 A の内側表面と、アノード排気導管 3 0 8 B の外側表面とを含み、注入管 5 6 4 は、A T O 1 3 0 の上流側（例えば、トップダウン流れの上方）及び羽根 5 5 2 とカソード排気導管 3 0 4 A の下流側（例えば、下側）に配置される。一実施形態では、羽根 5 2 2 は、カソード排気導管 3 0 4 A 内のカソード排気の流れ方向に対して約 3 0 ° から約 6 0 ° までの範囲の角度で配置される。

【 0 0 8 8 】

一実施形態では、システム 1 0 はまた、アノード排気導管 3 0 8 B、A T O インジェクタ 5 0 0 及びアノード復熱式熱交換器 1 1 0 の上側に配置された第 1 のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 C と、第 1 のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 C の上側に配置され、第 1 のアノード排気リサイクル導管から供給されるアノード排気の第 2 の部分を用いて燃料電池スタック 1 0 2 に供給される空気吸入流を加熱するように構成されたアノード冷却式熱交換器 1 4 0 と、アノード冷却式熱交換器 1 4 0 からのアノード排気の第 2 の部分を燃料吸入流へと再循環させるように構成された第 2 のアノード排気リサイクル導管 3 0 8 E とを含む。

【 0 0 8 9 】

一実施形態では、注入管 5 6 4 は、中空円筒体 5 6 2 の外面から約 0 . 5 c m から約 3 c m までの範囲の距離だけ半径方向に延び、注入管 5 6 4 は、アノード排気を第 1 の部分と第 2 の部分とに分割するように構成されたスプリッタ 5 1 0 を備える。円筒体 5 6 2 は、アノード排気導管 3 0 8 B と A T O 1 3 0 との間に垂直に延び、水平方向に単一の曲率半径を有する。A T O 1 3 0 は、カソード排気とアノード排気の第 1 の部分との混合物を酸化するように構成された燃料酸化触媒を含む。

【 0 0 9 0 】

開示された態様の前述の説明は、当業者が本発明を作成又は使用することを可能にするために提供される。これらの態様に対する様々な修正は、当業者には容易に明らかであり、本明細書で定義される一般的な原理は、本発明の範囲から逸脱することなく、他の態様に適用することができる。したがって、本発明は、本明細書に示される態様に限定されることを意図されるものではなく、本明細書に開示される原理及び新規の特徴と一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

10

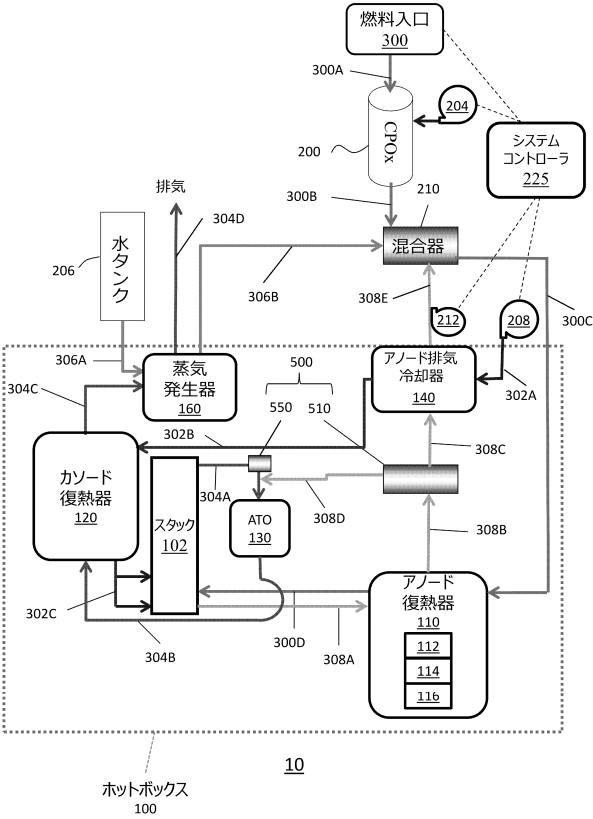
20

30

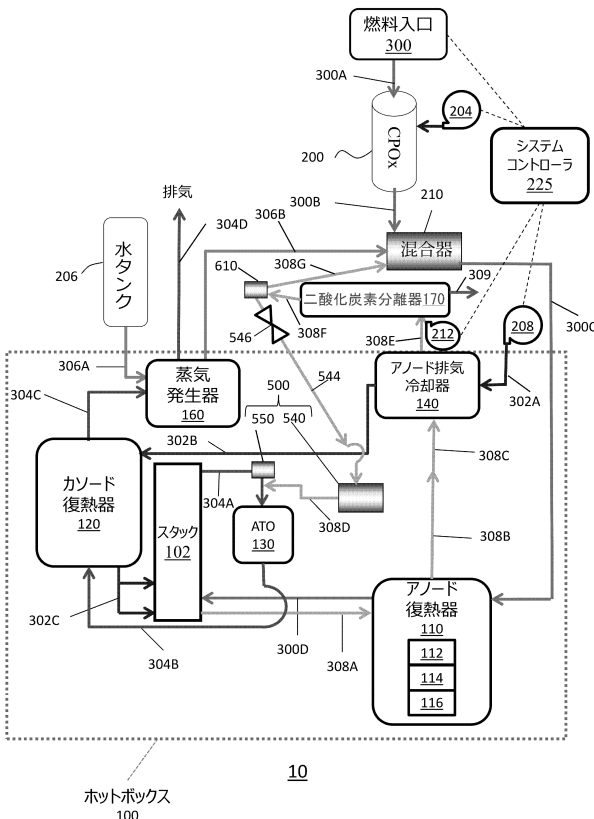
40

50

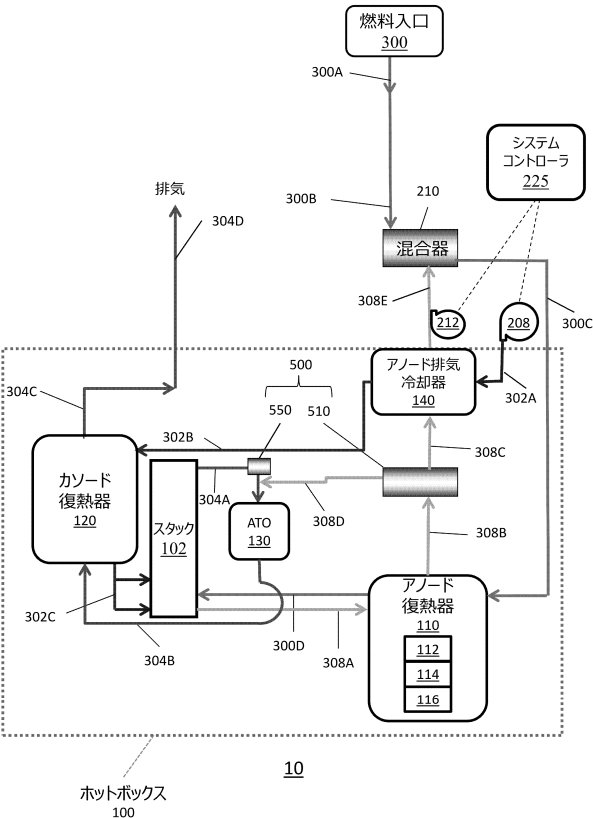
【図面】
【図 1 A】



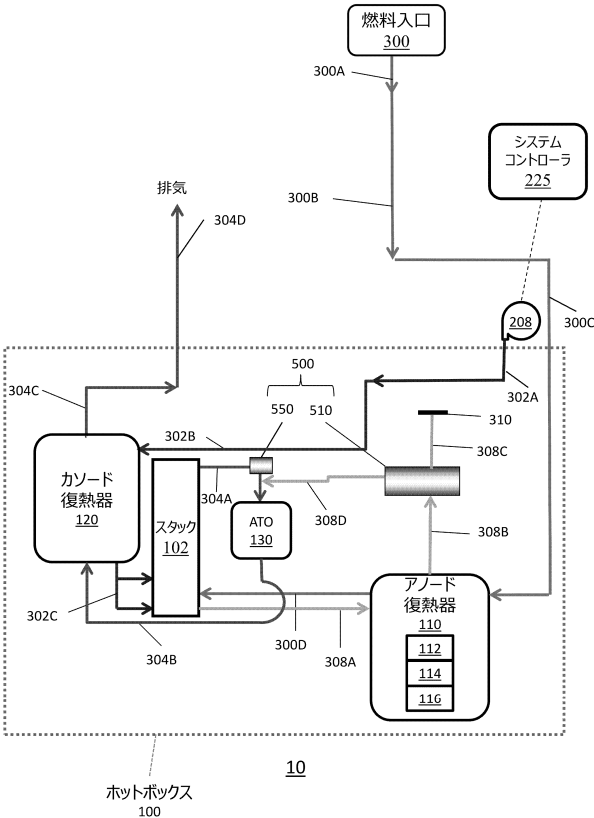
【図 1 B】



【図 1 C】



【図 1 D】



10

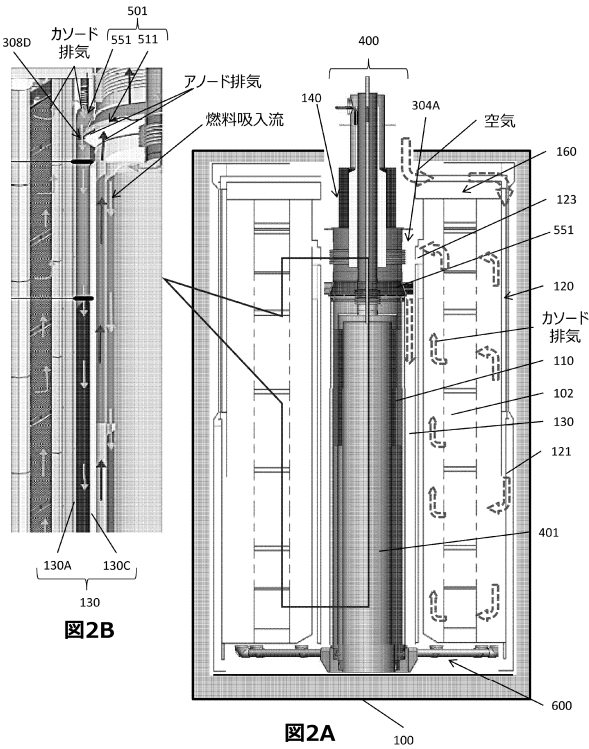
20

30

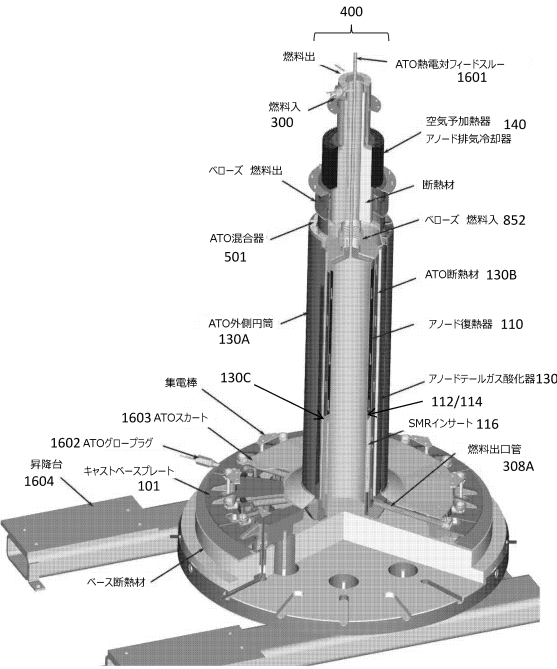
40

50

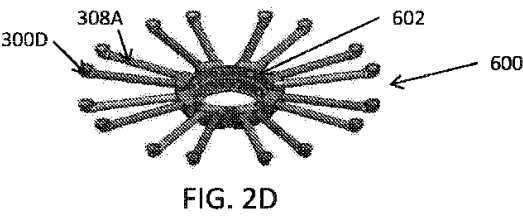
【図 2 A B】



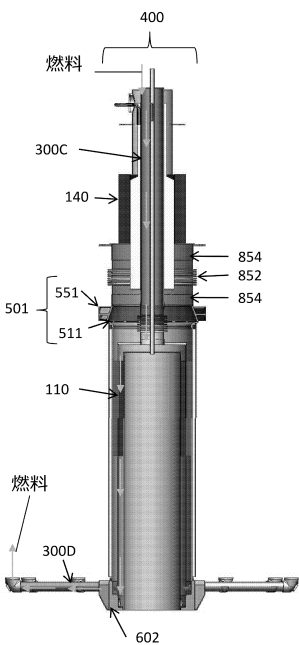
【図 2 C】



【図 2 D】



【図 3 A】



10

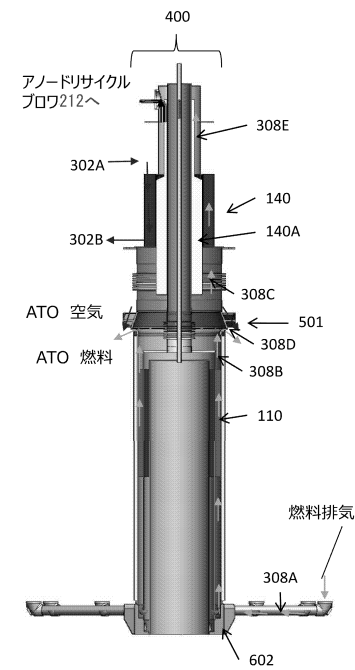
20

30

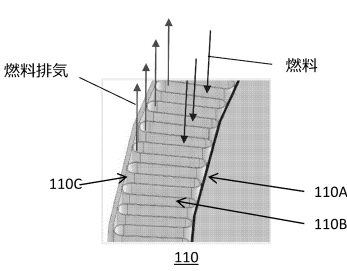
40

50

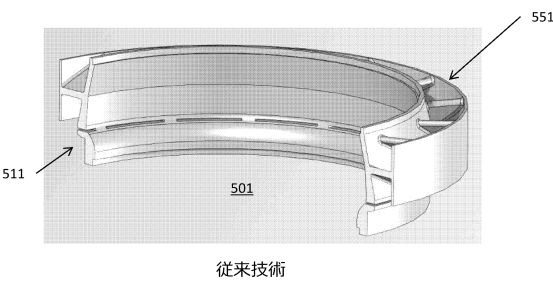
【図 3 B】



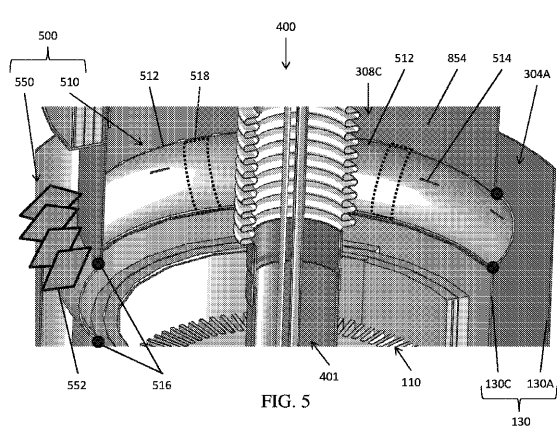
【図 3 C】



【図 4】



【図 5】



10

20

30

40

50

【図 6】

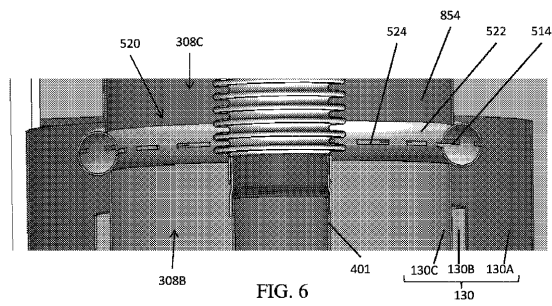


FIG. 6

【図 7】

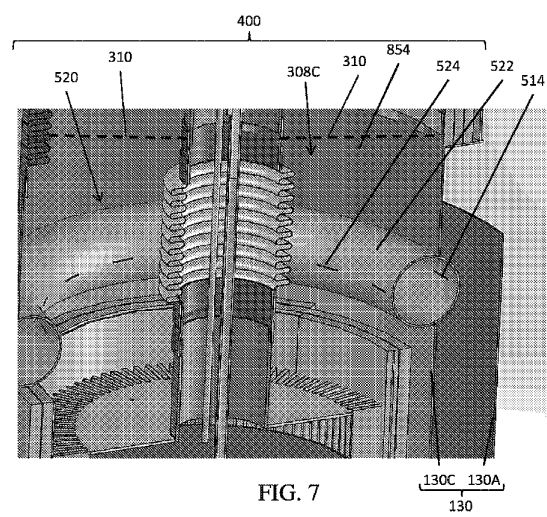
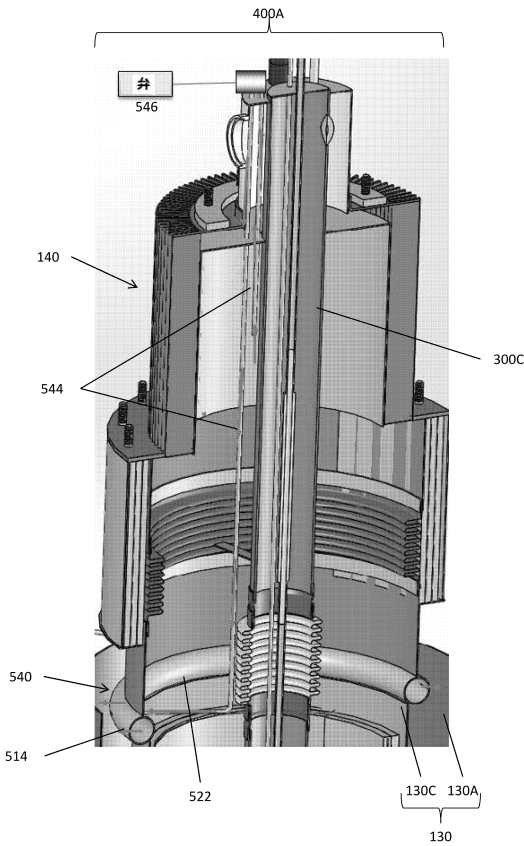
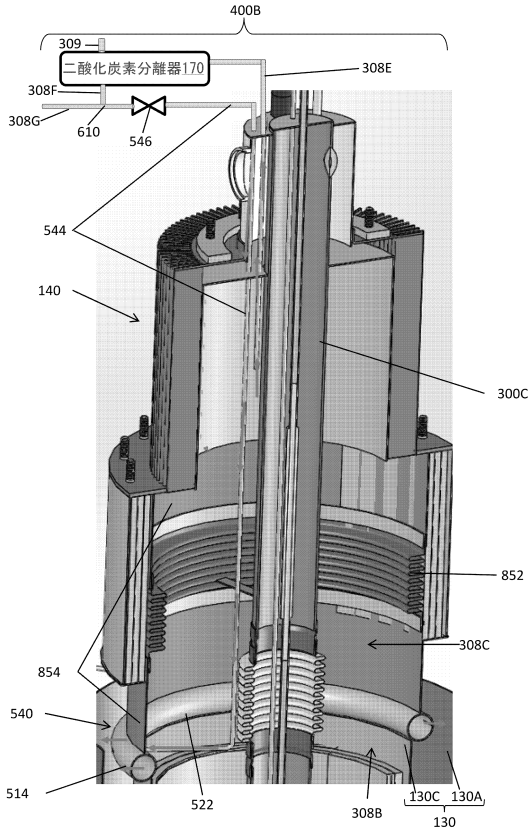


FIG. 7

【図 8 A】



【図 8 B】



10

20

30

40

50

【図 9 A】

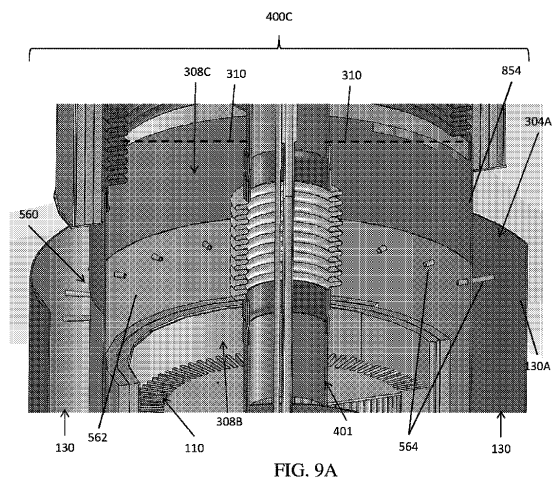


FIG. 9A

【図 9 B】

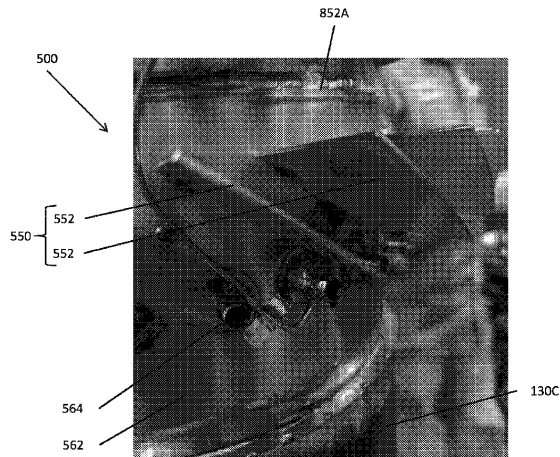


FIG. 9B

【図 9 C】

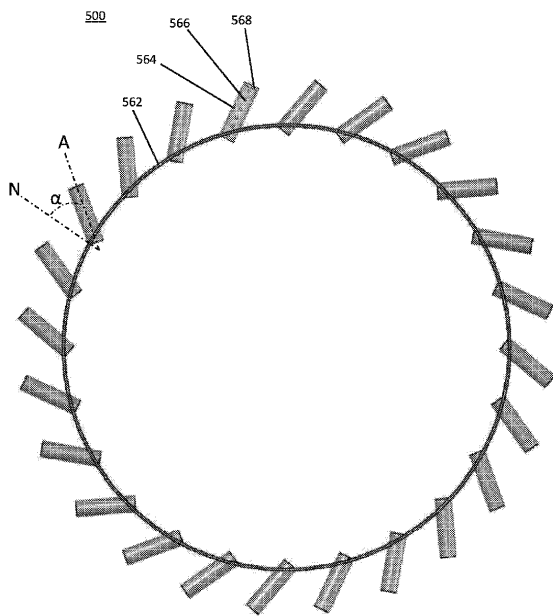


FIG. 9C

【図 9 D】

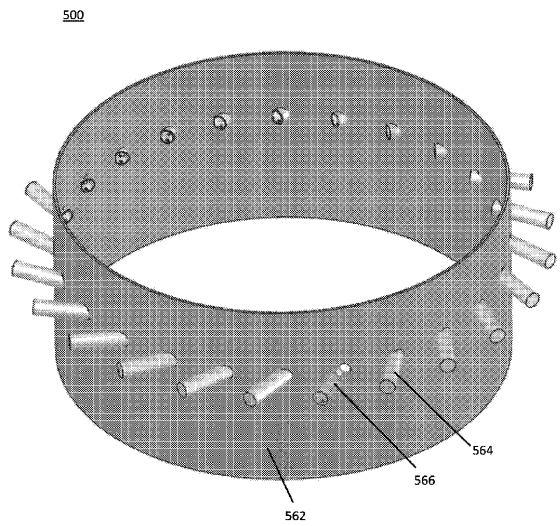


FIG. 9D

10

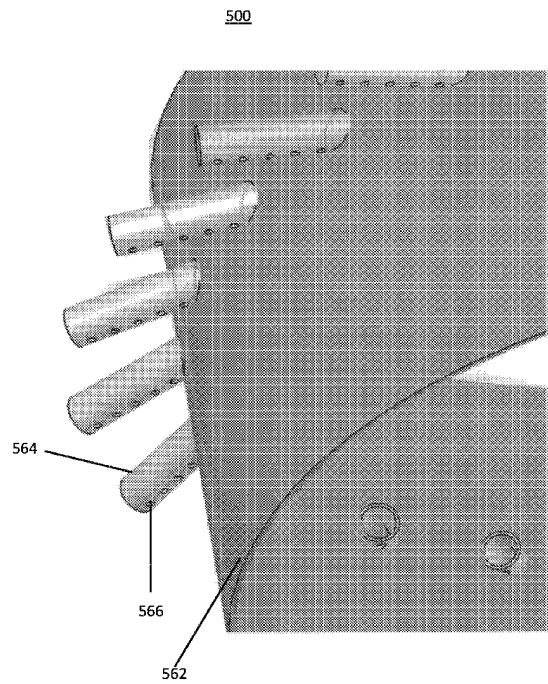
20

30

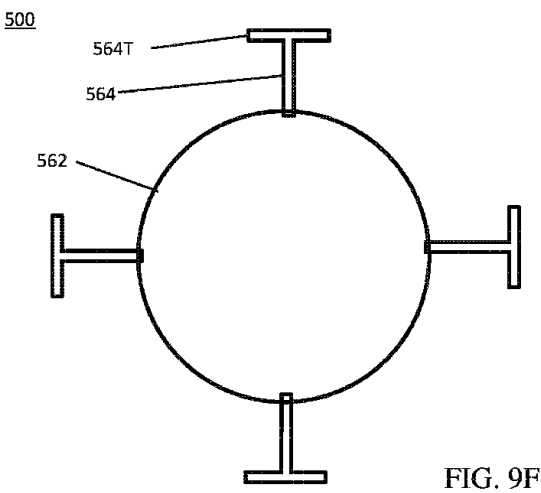
40

50

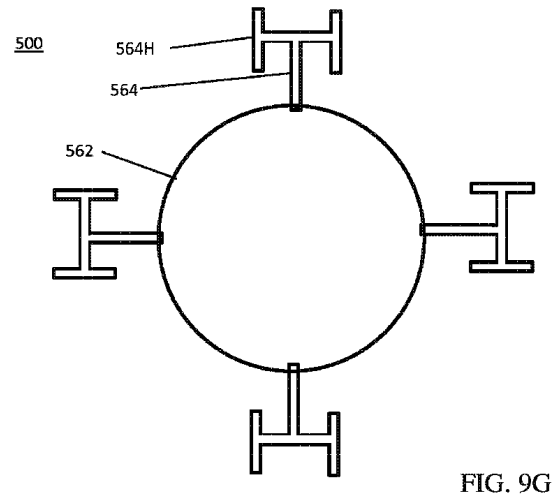
【図 9 E】



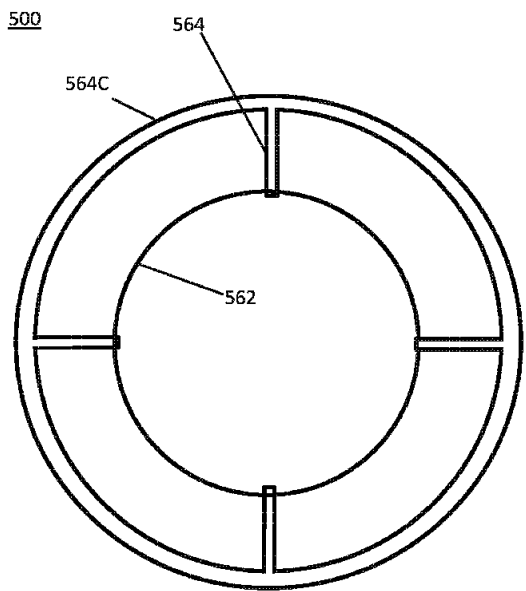
【図 9 F】



【図 9 G】



【図 9 H】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

トリート 4353 ブルーム エネルギー コーポレーション内
(72)発明者 ペトルチャ, マイケル
アメリカ合衆国 95134 カリフォルニア州 サンノゼ ノース ファースト ストリート 435
3 ブルーム エネルギー コーポレーション内
(72)発明者 ハータナ, アイヴァン
アメリカ合衆国 95134 カリフォルニア州 サンノゼ ノース ファースト ストリート 435
3 ブルーム エネルギー コーポレーション内
審査官 藤森 一真
(56)参考文献 特表2014-507759 (JP, A)
特表2019-515442 (JP, A)
特開2018-181840 (JP, A)
特開2014-086180 (JP, A)
米国特許出願公開第2010/0009221 (US, A1)
特開2019-103965 (JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01M 8/04 - 8/0668