

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6251403号
(P6251403)

(45) 発行日 平成29年12月20日 (2017.12.20)

(24) 登録日 平成29年12月1日 (2017.12.1)

(51) Int. Cl.	F I
F 2 3 J 15/00 (2006.01)	F 2 3 J 15/00 Z
H O 1 M 8/04 (2016.01)	H O 1 M 8/04 J
F 2 2 B 1/18 (2006.01)	F 2 2 B 1/18 E

請求項の数 12 (全 44 頁)

(21) 出願番号	特願2016-545262 (P2016-545262)	(73) 特許権者	390023630
(86) (22) 出願日	平成26年9月29日 (2014.9.29)		エクソンモービル リサーチ アンド エ
(65) 公表番号	特表2016-535238 (P2016-535238A)		ンジニアリング カンパニー
(43) 公表日	平成28年11月10日 (2016.11.10)		EXXON RESEARCH AND
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/058005		ENGINEERING COMPANY
(87) 国際公開番号	W02015/048622		アメリカ合衆国, ニュージャージー州 O
(87) 国際公開日	平成27年4月2日 (2015.4.2)		8801-0900, アナンデイル, ルー
審査請求日	平成29年9月25日 (2017.9.25)		ト 22 イースト, 1545, ピー. オ
(31) 優先権主張番号	14/207, 712	(74) 代理人	100100158
(32) 優先日	平成26年3月13日 (2014.3.13)		弁理士 鮫島 睦
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100132252
(31) 優先権主張番号	61/884, 565		弁理士 吉田 環
(32) 優先日	平成25年9月30日 (2013.9.30)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱回収蒸気発生器内での燃料電池集積化

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

熱回収蒸気発生器（「H R S G」）内に位置する溶融カーボネート燃料電池を使用して、 CO_2 を低下させるために排出物ガスを処理する方法であって、

前記 H R S G のインレットを通して、 CO_2 含有排出物ガスを受け取り、受け取られたガス流を形成することと；

前記受け取られたガス流を、前記 H R S G 内に位置する、複数の溶融カーボネート燃料電池を含む燃料電池スクリーンに通過させ、前記受け取られたガス流よりも少なくとも約 50 体積% 少ない CO_2 を含むカソード排出物ガスを生じさせることであって、前記受け取られたガス流の実質的に全てを前記溶融カーボネート燃料電池のカソード部分に通過させることと；

前記カソード排出物ガスを第 1 の熱交換器に通過させることと；

前記カソード排出物ガスを排出物スタックに通過させることと

を含む、方法。

【請求項 2】

前記受け取られたガス流を前記燃料電池スクリーンに通過させる前に、前記受け取られたガス流をダクトバーナーに通過させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記受け取られたガス流を前記ダクトバーナーに通過させることが、前記受け取られたガス流を、少なくとも約 4 m / 秒の空塔速度で前記ダクトバーナーに通過させることを含

10

20

む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記受け取られたガス流を、約 1 m / 秒以下の空塔速度で前記燃料電池スクリーンに通過させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記カソード排出物ガスを、少なくとも約 4 m / 秒の空塔速度で前記第 1 の熱交換器に通過させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記 H R S G の前記インレットを通して受け取られた前記 C O ₂ 含有排出物ガスが、少なくとも約 4 m / 秒のインレットでの空塔速度を有する、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記燃料電池スクリーンが第 1 の層および第 2 の層を含み、かつ前記方法が、前記受け取られたガス流を、前記第 1 の層に通過させる少なくとも第 1 のガス流部分および前記第 2 の層に通過させる第 2 のガス流部分に分割することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記受け取られたガス流を前記燃料電池スクリーンに通過させる前に、前記受け取られたガス流を第 2 の熱交換器に通過させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記複数の溶融カーボネート燃料電池が、約 1 5 0 0 m A / m ² よりも高い電流密度で作動される、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 1 0】

前記 C O ₂ 含有排出物ガスが、ガスタービンからの排出物ガスを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記カソード排出物が、前記第 1 の熱交換器に熱を提供する流路において、前記ガスの実質的に全てを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記カソード排出物における C O ₂ 濃度を、前記受け取られたガス流と比較して、少なくとも約 6 5 % 低下させるように前記燃料電池スクリーンの大きさが設定される、請求項 1 に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

(発明の分野)

様々な態様において、本発明は、溶融カーボネート燃料電池を使用しての発電およびタービン排出物流からの C O ₂ 除去に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

(発明の背景)

40

溶融カーボネート燃料電池は、水素および/または他の燃料を利用して電気を発生させる。水素は、燃料電池の上流にあるか、または燃料電池内の蒸気改質装置においてメタンまたは他の改質可能な燃料を改質することによって提供されてもよい。改質可能燃料は、水素を含むガス生成物を生じさせるために、高温および/または高圧で蒸気および/または酸素と反応可能な炭化水素材料を包含することができる。代わりとして、または追加的に、アノードにおいて燃料を改質するために適切な条件が生じるように作動することができる溶融カーボネート燃料電池のアノード電池において燃料を改質することができる。代わりとして、または追加的に、改質は、燃料電池の外部および内部の両方で生じることができる。

【0 0 0 3】

50

Journal of Fuel Cell Science and Technologyの論文非特許文献1には、燃焼発電機を溶融カーボネート燃料電池と組み合わせる発電システムが記載されている。燃料電池および作動パラメーターの様々な組み合わせが記載されている。燃焼発電機からの燃焼アウトプットは、燃料電池のカソードのためのインプットとして部分的に使用される。非特許文献1の論文のシミュレーションの1つの目標は、 CO_2 を発電機の排出物から分離するためにMCCFCを使用することである。非特許文献1の論文で記載されるシミュレーションは、660の最大アウトレット温度を確立し、かつインレット温度は、燃料電池全体での温度増加を考慮して十分に冷却されなければならないことを示す。MCCFC燃料電池のための電気効率（すなわち、発生した電気/燃料インプット）は、ベースモデルの場合、50%である。 CO_2 分離のために最適化された試験モデルの場合の電気効率も50%である。

10

【0004】

Desideriらによる論文非特許文献2には、 CO_2 分離のために燃料電池を使用する発電システムの性能をモデル化する方法が記載される。アノードインレットへのアノード排出物およびカソードインレットへのカソード排出物の再流通は、燃料電池の性能を改善するために使用される。モデルパラメーターは、50.3%のMCCFC電気効率を記載する。

【0005】

天然ガス複合サイクル発電所において、ガスタービンからの排出物ガスを熱回収蒸気発生器(HRSG)に通過させることができる。HRSGは、タービンから排出物ガスを受け取るためのインレットと、排出物ガスから熱エネルギーが抽出された後に、タービンから受け取られた排出物ガスを排出するアウトレットとを含むことができる。インレットとアウトレットとの間は、複数の熱交換器が配置される流路である。ガスがインレットからアウトレットまで移動すると、熱交換器は排出物ガスから熱を抽出する。異なる種類のHRSGは、プロセス加熱のために蒸気タービンまたは他において使用するための蒸気を発生させる異なる種類および数の熱交換器を含むことができる。例えば、3段階HRSGは、それぞれが高圧力、中圧力または低圧力蒸気のいずれかを発生させる3つの異なる熱交換器を含むことができる。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

30

【0006】

【非特許文献1】G. Manzolini et al., J. Fuel Cell Sci. and Tech., Vol. 9, Feb 2012

【非特許文献2】Desideri et al., Intl. J. of Hydrogen Energy, Vol. 37, 2012

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

一態様において、アノードおよびカソードを含む集積化された溶融カーボネート燃料電池(integrated molten carbonate fuel cell)を使用して電気を発生するための熱回収蒸気発生器(「HRSG」)であって、ガス流を受け取るインレットと、受け取られたガス流の少なくとも一部分を排出するアウトレットとの間に延在する流路を形成するエンクロージャと；流路に延在する1つ以上の熱交換器と；エンクロージャ内に位置し、かつカソードインレットを有する複数の溶融カーボネート燃料電池を含む燃料電池スクリーンとを含み、溶融カーボネート燃料電池のカソードインレットが、受け取られたガス流の実質的に全てを受け取るように、燃料電池スクリーンが流路において配向され、複数の溶融カーボネート燃料電池が、カソード排出物を流路に放出するために流路に流動的に暴露される複数のカソードアウトレットも有する、HRSGが提供される。

40

【0008】

別の態様において、熱回収蒸気発生器(「HRSG」)内に位置する溶融カーボネート

50

燃料電池を使用して、 CO_2 を低下させるために排出物ガスを処理する方法であって、H R S Gのインレットを通して、ガスタービンからの排出物などの CO_2 含有排出物ガスを受け取り、受け取られたガス流を形成することと；受け取られたガス流を、H R S G内に位置する、複数の熔融カーボネート燃料電池を含む燃料電池スクリーンに通過させ、受け取られたガス流よりも少なくとも約50体積%少ない CO_2 を含むカソード排出物ガスを生じさせることであって、受け取られたガス流の実質的に全てを熔融カーボネート燃料電池のカソード部分に通過させることと；カソード排出物ガスを第1の熱交換器に通過させることと；カソード排出物ガスを排出物スタックに通過させることとを含む方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

10

【0009】

【図1】ダクトバーナーと熱交換器との間で熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池を概略的に示す。

【図2】第1の熱交換器の前に熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池を概略的に示す。

【図3】第1の熱交換器の後に熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池を概略的に示す。

【図4】熔融カーボネート燃料電池の作動の実施例を概略的に示す。

【図5】熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池スタックを含むスクリーンの斜視図を概略的に示す。

20

【図6】スクリーン内の複数の熔融カーボネート燃料電池スタックに連結されるアノードマニホールドの配置を概略的に示す。

【図7】熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池スタックを含むスクリーンの上面図を概略的に示す。

【図8】熱回収蒸気発生器に集積化された熔融カーボネート燃料電池スタックを含む多列スクリーンの上面図を概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0010】

（実施形態の詳細な説明）

概要

30

様々な態様において、H R S Gを出る燃焼ガスに存在する CO_2 の量を低減または最小化しながらも、電気を発生するために、熔融カーボネート燃料電池を熱回収蒸気発生システム（H R S G）に組み込むためのシステムおよび方法が提供される。H R S Gシステムへの熔融カーボネート燃料電池の集積化は、様々な利点を提供することができる。1つの考えられる利点は、H R S Gシステムに典型的に使用することができるエンクロージャの体積に関連することができる。H R S Gシステムは限られた断面領域を有するため、熔融カーボネート燃料電池のスクリーンが断面領域を実質的に満たすように、熔融カーボネート燃料電池の（多層）スクリーンまたは壁をH R S Gに挿入することができる。これによって、H R S Gを通過するガスを、H R S Gの下流を流れ続けるために、燃料電池カソードの1つに強制的に通過させる時、燃料電池スクリーンとH R S Gの壁との組み合わせが、燃料電池のカソードインレットのためのマニホールドとして作用することが可能となる。カソードインレットマニホールドを形成するために、H R S Gの壁および熔融カーボネート燃料電池のスクリーンを用いることによって、M C F Cと関連するダクトまたは流路の全体的な量を低下させることができる。いくつかの態様において、この種類の構成の利益は、M C F C装置と典型的に関連する絶縁の量を低下させることを含むことができる。追加的に、または代わりに、この種類の構成の利益は、別々のM C F Cシステムと比較して、熱損失を直接低下させることなどの他の効率向上を含むことができる。

40

【0011】

別の考えられる利点は、必要とされる追加的な装置フットプリントの量を低減または最小化させながら、タービン（または熱 CO_2 含有流の他の供給源）からの排出物を処理す

50

るために、溶融カーボネート燃料電池をプロセストレインに追加することができることである。

【 0 0 1 2 】

さらに別の利点は、溶融カーボネート燃料電池を H R S G システムに組み込むことによって、H R S G へのインプット流が、インプット流の温度が燃料電池のために適切である H R S G における位置で溶融カーボネート燃料電池のカソードに通過することができることであり得る。さらに別の利点は、M C F C によって生成または消費される熱が、独立型システムのために必要とされ得る追加の、または外部の熱交換を必要とすることなく、H R S G に集積化されることである。

【 0 0 1 3 】

さらに別の利点は、溶融カーボネート燃料電池を組み込むことによって、H R S G システムを通過するガス流における選択的触媒還元 (S C R) を実行する必要性が低減または最小化されることであり得る。いくつかの態様において、溶融カーボネート燃料電池は、燃料電池のカソードインレットを通過するガス流に存在する NO_x 化合物の含有量を低下させることができる。さらに別の利点は、構成次第で潜在的に理解されることもできる。 NO_x の低下のための溶融カーボネート燃料電池の作動に関する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 1 4 / 2 0 7 , 6 9 9 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【 0 0 1 4 】

インプットガス流の有利な観点から、燃料電池を作動させることができるため、効果的に並列な従来の溶融カーボネート燃料電池設計には、燃料電池の複数のスタックをエンクロージャに組み込むこと、次いで、様々なエンクロージャに、燃料電池のカソードインレットのためのガス流を分配するために、マニホールドを使用することが関与し得る。並列の流れ構成は、(多層スクリーンなどの) M C F C のスクリーンを形成するために使用される M C F C スタックまたはモジュールは、名目上同様のインプットガス条件 (圧力、温度、組成物、流速) を見ることができ、および / または同様のアウトプットおよび性能パラメーターを製造することができるという利点を有することができる。電池 (またはスタックまたはアレイ) 電気アウトプットを、並列、直列、または並列および直列構成の組み合わせで配置することができるため、並列の流れ構成は、燃料電池電気アウトプットがどのように組み合わせられるかということに影響を与え得ない。

【 0 0 1 5 】

タービンからの排出物流などの大規模 CO_2 含有流の処理のために溶融カーボネート燃料電池 (M C F C) を使用することの課題の 1 つは、排出物流の体積を効果的に処理するために十分な数の M C F C を提供することである。大規模の商業的なガスタービン (典型的に 1 0 0 ~ 4 0 0 M W) の径は、現在利用可能な典型的な M C F C スタック (またはスタックアレイ) (3 0 0 k W ~ 1 . 4 M W) の径より非常に大きい。ガスタービンの CO_2 含有アウトレットを処理するための M C F C システムの組合せは、多数のバルブ、相互接続、ダクトおよびマニホールドを必要とする非常に多数のスタックまたはアレイを必要とする可能性がある。例えば、商業的なタービン排出物を処理するために、排出物を多数の燃料電池エンクロージャに分配するために複雑なマニホールドが必要とされ得る。別々の M C F C システムは、発電所内での実質的な追加的なフットプリントを必要とする。

【 0 0 1 6 】

装置フットプリントを節約するための 1 つ方法は、溶融カーボネート燃料電池を熱回収蒸気発生 (H R S G) システムに組み込むことであり得る。H R S G システムに M C F C を組み込むことによって、H R S G システムの壁が、H R S G におけるガス流を、M C F C の (多層) スクリーンを通るように指示するためのマニホールドとして役立つことが可能である。H R S G システムは、従来、様々な環境で使用することができる。H R S G システムによって、蒸気を生じるために、排出物ガス流または別の燃焼排出物ガス流などのガス流における熱を使用することにより、追加的な電力発生が可能となる。この蒸気は、次いで、電力発生のために蒸気タービンを作動させるために使用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

ガスタービンからの排出物を処理することは、H R S Gシステムのための典型的な用途の一例である。従来のH R S Gシステムは、M C F Cを配置することができるH R S Gの（高温）領域で、約 $6 \text{ m} / \text{秒}$ （ $20 \text{ フィート} / \text{秒}$ ）の典型的なガス空塔速度を有することができる。従来のガスタービンは、タービン動力の 1 MW ごとに、約 600 の排出物ガスを約 $6 \text{ m}^3 / \text{秒}$ で生じることができる。これらの典型的な値に基づき、H R S Gのための典型的な流れ横断面は、ガスタービン能力の 1 MW ごとに約 1 m^2 のH R S G横断面に相当することができる。言い換えると、H R S G断面 1 m^2 につき、約 1 MW のガスタービン動力がある。そのような典型的な面積 / 動力レベルは、圧力低下および構造コストなどのH R S G設計における多くのパラメーターの最適化の結果であり、かつ所与の用途において、約 $0.5 \text{ MW} / \text{m}^2 \sim 2.0 \text{ MW} / \text{m}^2$ などのように実質的に異なってもよい。

10

【 0 0 1 8 】

また溶融カーボネート燃料電池は、製造および作動パラメーターを最適化する方法で、燃料電池スタックのために特定の動力レベル、およびこの電力レベルに相当するスタックのカソード面の断面領域をもたらす寸法にされる。ガスタービンおよびM C F Cスタックで典型的な性能パラメーターを使用すること、H R S G内で空間充填の方法で従来のM C F Cスタックの単層を配置することは、典型的に、燃焼ガスからの高（ $> 80\%$ ）レベルの CO_2 回収を達成するために、従来のH R S G設計内で十分な数のM C F Cスタックをもたらさない。高燃料利用で作動される典型的な商業的M C F Cは、カソード面領域の約 $0.05 \sim 0.10 \text{ MW} / \text{m}^2$ の動力レベルを有する。H R S G内での燃料電池の単層スクリーンとしてのM C F Cの配置のため、H R S Gの断面領域は、燃料電池のカソード表面の断面領域とほぼ同じである。したがって、「典型的な」H R S Gを考慮して、M C F Cの単層スクリーンは、ガスタービン動力の 100 MW ごとに $5 \sim 10 \text{ MW}$ の燃料電池動力を製造することができる。より一般に、H R S G設計の範囲を考慮して、単層M C F Cスクリーンは、ガスタービン動力の 100 MW ごとに $2.5 \sim 20 \text{ MW}$ の動力を製造することができる。しかしながら、メタン燃焼ガスタービンの排出物における CO_2 の 80% を利用するように設計されたM C F Cシステムに関して、H R S G設計内で単一スクリーンとして配置することができる燃料電池の $2.5 \sim 20 \text{ MW}$ と比較して、 100 MW のガスタービンにつき約 25 MW の燃料電池が必要である。言い換えると、H R S Gに配置されたM C F Cの単層スクリーンは、ガスタービンの排出物の $8\% \sim 64\%$ の CO_2 を利用することができる。これは、M C F Cおよび / またはH R S Gシステムの従来の設計を使用して実行可能な炭素捕捉の量を制限する可能性がある。

20

30

【 0 0 1 9 】

様々な態様において、ガスタービン排出 CO_2 は、M C F Cおよび / またはH R S Gの設計および / または作動を変性することによって、より高いレベルで利用することができる。これによって、受け取られたガス流と比較して、少なくとも約 65% 、例えば、少なくとも約 70% 、少なくとも約 75% 、または少なくとも約 80% 低下した CO_2 濃度を有するカソード排出物が発生することが可能となる。いくつかの態様において、燃料電池のために利用可能なカソードインレット表面領域は、燃料電池スクリーンが多層スクリーンに相当することを可能にすることによって増加させることができる。この種類の態様において、M C F Cスクリーンの初期層は、H R S G内のガス流の全てがM C F Cカソードの1つを通過することをなお実質的に強制しながら、ガス流の一部が1つ以上の上流の層を回避することを可能にするギャップを有することができる。様々な態様において、H R S G内のガス流がM C F Cカソードの1つを通過することを実質的に強制することは、少なくとも約 98.0 体積%、例えば、少なくとも約 99.0 体積%または少なくとも約 99.5 体積%のガスをカソードインレットに入れることに相当することができる。これによって、なおH R S G中のガス流をM C F Cカソードの1つのみ（または一連のみ）に通過させながら、燃料電池のより大きい横断面が、より小さな断面領域に存在することが可能となる。

40

50

【 0 0 2 0 】

この考察において、「燃料電池スクリーン (fuel cell screen)」は、H R S G 内の燃料電池スタックまたはモジュールのアレイとして定義され、ここで、H R S G を通して移動する排出物ガス (または他のガス流) のための流路によって、単一燃料電池スタックまたはモジュールのみを通過するガス流がもたらされる。言い換えると、燃料電池スクリーンにおいて燃料電池スタックまたはモジュールのカソードアウトレットから出たガスが同一燃料電池スクリーンのカソードインレットに再び入ることは実質的に (または完全に) 防がれる。カソードから出たガスの再入を実質的に防ぐことは、約 1 . 0 体積 % 未満、例えば、約 0 . 5 体積 % 未満、約 0 . 1 体積 % 未満または約 0 . 0 1 体積 % 未満のガスが同一燃料電池スクリーンのカソードインレットに再び入ることに相当することができる。燃料電池スクリーンは、図 8 に示されるような複数の層を可能にする流路を組み込んでもよいが、層は全て互いにごく近くに位置し、かつスクリーン層の間に介在する H R S G システム (例えば熱交換要素または水凝縮要素) を有してはならない。複数の層が関与する燃料電池スクリーンに関して、H R S G 内のガス流の実質的に全てが、燃料電池スクリーンから下流の位置に達するために、複数の層の 1 つにおいて燃料電池を通過するように、燃料電池スクリーンのそれぞれの層の燃料電池および流路を組織化することができる。

10

【 0 0 2 1 】

他の態様において、熔融カーボネート燃料電池および / または H R S G システムに他の種類の変性を提供することができる。これは、より低い値まで CO_2 利用を低下させること ; ガスタービン排出物と比較して、および熱交換器の 1 つ以上の断面領域と比較して、より大きい断面領域を有するように H R S G を変性すること ; 例えば、約 0 . 7 5 または約 0 . 8 0 ボルトの従来の作動電圧より低い電圧で燃料電池を作動させることによって、熔融カーボネート燃料電池の動力密度を変性すること ; 受け取られたガス流と比較して、燃料電池スタックにおけるカソードの表面の断面領域を減少させるために、および / またはカソードを通るより高い流れに適応するために、燃料電池の形状または幾何学的配列を変性すること ; あるいはそれらの組み合わせを含むことができる。

20

【 0 0 2 2 】

さらに別の態様において、H R S G は、複数の燃料電池スクリーンを含むことができる。そのような態様において、第 1 の燃料電池スクリーンは、カソードが並列に作動しており、スクリーン内で複数の層に任意に配置される第 1 の複数の熔融カーボネート燃料電池を含むことができる。第 1 の燃料電池スクリーンからのカソード排出物は、次いで、H R S G 内で下流方向に、カソードが並列に作動する第 2 の複数の熔融カーボネート燃料電池を含む第 2 の燃料電池スクリーンのカソードインレットまで通過することができる。第 2 の複数の燃料電池は、単層に、または第 2 の燃料電池スクリーン内の複数の層に配置されることができる。

30

【 実施例 】

【 0 0 2 3 】

H R S G への M C F C の組み込みに関する構成の実施例

ここで、図 1 を参照すると、本発明の態様による、熱回収蒸気発生器 1 0 0 a に集積化された (熔融カーボネート燃料電池のスタックまたはアレイなどの) 熔融カーボネート燃料電池の実施例が示される。H R S G は、蒸気タービンにおいて電気を発生するために使用することができる蒸気を生じるために、タービン排出物からの熱を使用することができる。H R S G 1 0 0 a は、タービン (図示せず) からの排出物ガス 1 0 1 が、H R S G 1 0 0 a に入ることができるインレット 1 0 2 を含むことができる。H R S G 1 0 0 a の内部は、排出物ガスのための流路を作成することができる。本明細書で使用される場合、流路は、インレット 1 0 2 で開始し、かつアウトレットベント 1 2 0 で終了してもよい。排出物ガスからの熱を加えるか、または取り出すため、あるいはタービン排出物の化学を変性するために、熱交換器などの様々な構成要素をガス流路に配置することができる。

40

【 0 0 2 4 】

図 1 に示される H R S G は、多くの H R S G の構成に見られる要素を含む構成の実施例

50

であるが、H R S Gのための他の構成は、追加的な要素、異なる要素および／またはより少ない要素を含むことができるであろう。従来のH R S G要素に加えて、図1に示されるH R S Gの実施例は、（例えば）図1に示される燃料電池スクリーン150などの熔融カーボネート燃料電池を含むこともできる。H R S G 100aはダクトバーナー104、燃料電池スクリーン150、高圧熱交換器106、選択的触媒還元部分110、中間圧熱交換器112、低圧熱交換器116およびアウトレットベント120を含むことができる。高圧熱交換器106は、高圧蒸気108を生じることができる。選択的触媒還元部分110は、排出物ガス流からの NO_x 、COおよび／または他の化合物を除去することができる。中間熱交換器112は、中間圧蒸気114を生じることができる。低圧熱交換器116は、低圧蒸気118を生じることができる。冷却されたカソード排出物ガス122は、アウトレットベント120を通して雰囲気へとH R S Gを出ることができる。排出物ガス101の実質的に全てが、図1に示される構成において、燃料電池スクリーンのカソード部分を通過するため、燃料電池スクリーンより前のタービンからの流れは、排出物ガス101と記載されてもよく、かつ燃料電池スクリーンの下流において、カソード排出物ガス122と記載されてもよい。

10

【0025】

図2を参照すると、本発明の態様による、H R S G 100bのための他の構成要素配置が例示される。H R S G 100bは、ダクトバーナー104を省略することができることを除き、H R S G 100aに関して以前に記載されるものと同様の構成要素を含むことができる。ダクトバーナー104は、全ての実施ではないが、いくつかにおいて、ダクトバーナー104中またはそれに隣接して組み込まれる熱交換器において、排出物ガスを加熱するため、および／または蒸気を過熱するため、望ましくてもよい。ダクトバーナーは、存在する場合、ダクトバーナー104と燃料電池スクリーンとの間の他の構成要素によって加えられるか、または取り出される熱を考慮に入れて、熔融カーボネート燃料電池のために適切な温度まで排出物ガスを加熱するための大きさに設定することができる。

20

【0026】

図3を参照すると、本発明の態様による、H R S G 100cのためのさらに別の他の構成要素配置が例示される。H R S G 100cは、図1のH R S G 100aに関して以前に記載されるものと同様の構成要素を含むことができる。しかしながら、図3に示される構成において、燃料電池スクリーン150は、上流の代わりに、高圧熱交換器106の下流に位置することができる。一態様において、高圧熱交換器106を通過した後の排出物ガスの温度は、約500℃を超えることができる。ダクトバーナー104は、高圧熱交換器106を出る排出物ガスが、熔融カーボネート燃料電池のために適切な温度にあることを確実にするために、高圧熱交換器106と関連する大きさに設定されてもよい。

30

【0027】

図5を参照すると、本発明の態様による燃料電池スクリーン150の斜視図が提供される。燃料電池スクリーン150は、H R S G 100と集積化することができる。図1～3に関して上記で例示されるように、燃料電池スクリーン150は、異なる構成要素と組み合わせるH R S G 100内の異なる位置で集積化されてもよい。燃料電池スクリーン150は、燃料電池202、204および206を含む複数の熔融カーボネート燃料電池を含むことができる。燃料電池スクリーン150は、H R S G エンクロージャの内部によって形成される流路の全断面領域を実質的に占有することができる。態様次第で、流路の全断面領域を実質的に占有することは、流路の断面領域の少なくとも約95%、例えば、少なくとも約98%または少なくとも約99%を占有することに相当することができる。追加的に、または代わりとして、全断面領域を実質的に占有することは、断面領域を通過する全ガス流と比較して、カソードインレットを（すなわち、カソードまで）通過するガス流の部分に基づいて定義されることができる。この種類の定義に関して、全断面領域を実質的に占有することは、ガス流の少なくとも約95%体積%、例えば、ガス流の少なくとも約98%体積%または少なくとも約99%体積%を、カソードインレットを通過して断面領域を通過させることに相当することができる。燃料電池スクリーン150は、排出物ガス流1

40

50

01に対して実質的に垂直に配置されることができる。排出物ガス流101の実質的に全ては、燃料電池スクリーン150内で溶融カーボネート燃料電池のカソード部分に通過させることができる。カソード排出物ガス122は、燃料電池スクリーン150の下流でHRSGを通る実質的に全体の流れを形成することができる。

【0028】

一態様において、HRSGエンクロージャの断面領域は、燃料電池スクリーンに到るように拡張されることができる。次いで、断面領域は、燃料電池スクリーンの下流で減少してもよい。一態様において、HRSGの断面領域は、HRSGの典型的な速度と比較して低減した速度で排出物ガスを燃料電池スクリーンに通過させるために拡張されることができる。例えば、断面領域の拡張の前に、HRSGにおいて受け取られたガス流は、少なくとも約4m/秒、例えば、少なくとも約5m/秒または少なくとも約6m/秒の空塔速度を有することができる。いくつかの態様において、燃料電池スクリーンより前のHRSGの拡張された断面領域は、燃料電池スクリーンと衝突するガスの空間速度が、約5m/秒以下、例えば、約4m/秒以下、約3m/秒以下、約2m/秒以下または約1m/秒となることを可能にすることができる。追加的に、または代わりとして、燃料電池スクリーンと衝突するガスの空間速度は、少なくとも約0.25m/秒、例えば、少なくとも約0.5m/秒、少なくとも約1m/秒、少なくとも約2m/秒または少なくとも約3m/秒または少なくとも約4m/秒であることができる。空間速度のためのそれぞれの上記の下界は、それぞれの上記の上界と組み合わせて明白に考察される。したがって、上記の上下境界によって考察される空間速度のための範囲には、限定されないが、約0.25m/秒～約5m/秒、約0.5m/秒～約5m/秒、約0.5m/秒～約4m/秒、約0.5m/秒～約3m/秒、約1m/秒～約4m/秒、約1m/秒～約3m/秒、約1m/秒～約5m/秒、約2m/秒～約5m/秒、または約2m/秒～約4m/秒が含まれる。燃料電池スクリーンを通過した後、HRSGの断面領域は、少なくとも約4m/秒、例えば少なくとも約5m/秒、少なくとも約5.5m/秒または少なくとも約6m/秒などの、カソードインレットと衝突するガス流の空間速度より高い空間速度で、カソード排出物122に熱交換器を通過させるために低減させることができる。

【0029】

図6を参照すると、本発明の態様による燃料電池スクリーン150内の燃料電池スタック202、204および206の斜視図が提供される。燃料電池スタックは、それぞれ、アノード部分およびカソード部分を有する複数の燃料電池を含むことができる。見るように、アノード流およびカソード流の方向は異なることができる。例えば、燃料電池のカソードインレット部分およびカソードアウトレット部分は、HRSG内で流路に暴露されることができる。図6に示される構成において、アノード燃料は、HRSG内の主要な流路とは別のアノードインレットマニホールド210によって燃料電池スタック206に提供されることができる。燃料電池スタック206からのアノード排出物は、アノード排出物マニホールド212で受け取られることができる。これは、アノード流が、カソード流に対して実質的に垂直であり得ることを例示する。

【0030】

アノードインレットマニホールド214は、燃料電池スタック204のアノードに燃料を提供することができ、および相当するアノード排出物は、アノード排出物マニホールド216で受け取られることができる。アノードインレットマニホールド218は、燃料を燃料電池スタック202に提供することができ、および相当するアノード排出物はアノード排出物マニホールド220で受け取られることができる。一態様において、アノードインレットマニホールドは、燃料電池スクリーン150内の複数の列の溶融カーボネート燃料電池スタックに役立つことができる。同様に、アノードアウトレットマニホールドは、燃料電池スクリーン150内の複数の列の燃料電池スタックに役立つことができる。

【0031】

図7を参照すると、本発明の態様による単層燃料電池スクリーン225の上面図が例示される。スクリーン150と同様に、スクリーン225はHRSG内にある。スクリーン

10

20

30

40

50

225は、スクリーン150で使用するアノードマニホールド配置とは異なるマニホールド配置を例示する。図7は、末端カラム(230および235)とHRS Gの境界との間で2つの追加的なアノードマニホールド(229および236)とともに、6つのアノードマニホールド(すなわち230、231、232、233、234および235)で分離された燃料電池の7つのカラム(すなわち、240、241、242、243、244、245および246)を含むスクリーン225を例示する。カラムの間に位置するアノードマニホールド(230、231、232、233、234および235)は、2つの隣接するカラムに役立つ。例えば、アノードマニホールド230は、燃料電池カラム240および241のアノードインレットに燃料を提供することができる。マニホールド229、231、233、235は、アノードインレットに役立ち、かつマニホールド230、232、234および236はアノードアウトレットに役立つことができる。

10

【0032】

上述のとおり、燃料電池スクリーンは、燃料電池および/または燃料電池スタックの1つ以上の層を含むことができる。見られることができるように、燃料電池スクリーン225は全排出物ガス流101を受け取るように向きを定められることができる。一態様において、スクリーンを通るか、またはスクリーン周囲のバイパスは、HRS Gエンクロージャ内で提供されない。

【0033】

図8を参照すると、本発明の態様による多層燃料電池スクリーン240が提供される。多層スクリーン240は、並列して排出物ガスを処理する2層の燃料電池を含むことができる。示されないが、代わりに、または追加的に、多層燃料電池スクリーンは、排出物ガスの連続処理のために配置されることができる。連続処理によって、上流の層からのカソード排出物は、下流の層で燃料電池のカソードインレットに通過する。別の構成の選択肢において、多層燃料スクリーン240は、2層以上または3層以上などの複数の層の燃料電池を含むことができる。

20

【0034】

図8に示される構成において、上流の層250は、溶融カーボネート燃料電池および/または複数の燃料電池スタックの5つのカラムを含む。燃料電池カラム252、254、256、258および260は、上流の層250内に位置することができる。下流の層270は、溶融カーボネート燃料電池カラム270、272、274、276および278を含むことができる。層270内に位置する燃料電池のカソード部分に排出物ガスが流れることを可能にするために、層250においてカラムの間に隙間が提供されることができる。例えば、隙間251によって、排出物ガス253の一部が上流の層250を回避して、燃料電池カラム272のカソードに入ることが可能となる。同様に、上流の層からのカソード排出物が下流の層を回避することを可能にするために、下流の層270において燃料電池カラムの間に隙間が提供されることができる。例えば、隙間273によって、燃料電池カラム256からのカソード排出物ガスが下流の層270を回避することが可能となる。

30

【0035】

アノードインレットマニホールドおよびアノードアウトレットマニホールドは、カラム内に、カラムの外部に、またはカラムの内部および外部の両方で提供されてもよい。燃料電池カラム256は、アノードインレットマニホールド293およびアノードアウトレットマニホールド294に流動的に連結されることができる。あるいは、または追加的に、外部アノードマニホールド280および281は、燃料電池カラム260に集積化されるアノードインレットおよびアノードアウトレットマニホールドに連結されてもよい。外部アノードインレットマニホールド282および外部アノード排出物マニホールド283は、燃料電池カラム276の集積化されたアノード供給および排出物マニホールドに役立つことができる。

40

【0036】

支持ブロック262は、燃料電池カラム278のカソードに排出物ガスを向けるために

50

バッフル 2 6 3 と組み合わせて機能することができる。他のバッフルおよびブロック（例えば、ブロック 2 6 4）は、下流の層のカソード部分に排出物ガスを導くため、および下流の層を通過した上流の層からのカソード排出物を導くために提供されることができる。

【 0 0 3 7 】

他の構成

M C F C で捕捉されるガス変換排出 CO_2 の量を増加させるための他の選択肢は、M C F C の他の態様の変性に基づくことができる。そのような他の変性は、例えば、カソードを通過するガス流の流路の長さを増加させることを含むことができる。

【 0 0 3 8 】

別の追加的な構成は、ガスタービンではなく、煮沸器または炉からなどの他の CO_2 供給源への適用のためである。これらの場合、炉または煮沸器からの全排出物流速は、 CO_2 の濃度が実質的により高くなり得るため、燃料電池で消費される CO_2 あたりよりも実質的に低い。セメント製造などの他の CO_2 供給源による熔融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 1 4 / 2 0 7 , 7 2 8 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【 0 0 3 9 】

さらに別の追加的な構成は、燃料電池のみから構成される構成である。この場合、カソードインレット空気は、ガスタービンまたは煮沸器または炉からではなく、アノードから空気および燃料を受け取るバーナーからである。5 より多いスタック、例えば、1 0 より多いスタック、または 2 0 より多いスタックの配置などの複数の燃料電池スタックを含むスタック配置に関して、本出願で記載される配置は、スタックの全てへの H R S G において受け取られたガス流の有効な分布のためのより効率的なマニホールド概念を提供することができる。より一般に、いずれかの都合のよい数の燃料スタックは、1 0 0 までのスタック、5 0 0 までのスタック、もしくは 1 0 0 0 までのスタックまたはそれを超えるスタックの場合により含む複数の燃料電池スタックに組み込まれることができる。

【 0 0 4 0 】

定義

合成ガス：本記載において、合成ガスは、いずれかの比率での H_2 と CO との混合物として定義される。任意に、 H_2O および / または CO_2 が合成ガスに存在してもよい。任意に、不活性化化合物（例えば、窒素）および残留する改質可能燃料化合物が合成ガスに存在してもよい。 H_2 および CO 以外の成分が合成ガスに存在する場合、合成ガス中の H_2 および CO の組み合わせられた体積パーセントは、合成ガスの全体積と比較して、少なくとも 2 5 体積％、例えば、少なくとも 4 0 体積％、少なくとも 5 0 体積％、または少なくとも 6 0 体積％であることができる。追加的に、または代わりとして、合成ガス中の H_2 および CO の組み合わせられた体積パーセントは、1 0 0 体積％以下、例えば、9 5 体積％以下、または 9 0 体積％以下であることができる。

【 0 0 4 1 】

改質可能燃料：改質可能燃料は、 H_2 を発生させるために改質可能炭素 - 水素結合を含有する燃料として定義される。アルコールなどの他の炭化水素化合物のように、炭化水素は改質可能燃料の例である。 CO および H_2O は、水素を形成するための水性ガスシフト反応に関与し得るが、 CO はこの定義での改質可能燃料とは考えられない。

【 0 0 4 2 】

改質可能水素含有量：燃料の改質可能水素含有量は、燃料を改質して、次いで、 H_2 生成を最大にするために水性ガスシフト反応を完了させることによって、燃料から誘導することができる H_2 分子の数として定義される。なお、本明細書においては、 H_2 自体は改質可能燃料として定義されないが、定義による H_2 は 1 の改質可能水素含有量を有する。同様に、 CO は 1 の改質可能水素含有量を有する。 CO は厳密には改質可能ではないが、水性ガスシフト反応を完了させることによって、 H_2 に対する CO の交換がもたらされる。改質可能燃料に関する改質可能水素含有量の例として、メタンの改質可能水素含有量は 4 H_2 分子であり、エタンの改質可能水素含有量は 7 H_2 分子である。より一般に、燃料

が組成 $C_xH_yO_z$ を有する場合、100%の改質および水性ガスシフトにおける燃料の改質可能水素含有量は、 $n(H_2 \text{ 最大改質}) = 2x + y / 2 - z$ である。この定義に基づいて、電池内の燃料利用は、次いで、 $n(H_2O_x) / n(H_2 \text{ 最大改質})$ として表すことができる。当然ながら、成分の混合物の改質可能水素含有量は、個々の成分の改質可能水素含有量に基づいて決定することができる。酸素、硫黄または窒素などの他のヘテロ原子を含有する化合物の改質可能水素含有量も同様の方法で算出することができる。

【0043】

酸化反応：本考察において、燃料電池のアノード内の酸化反応は、 CO_3^{2-} との反応によって H_2O および CO_2 を形成する、 H_2 の酸化に相当する反応として定義される。なお、炭素 - 水素結合を含有する化合物が、 H_2 および CO または CO_2 へと変換されるアノード内での改質反応は、アノードにおける酸化反応のこの定義から排除される。水性ガスシフト反応は、酸化反応のこの定義の他は同様である。さらになお、燃焼反応への参照は、燃焼発電機の燃焼領域などの非電気化学的バーナーにおいて、 H_2 または炭素 - 水素結合を含有する化合物が O_2 と反応して、 H_2O および酸化炭素を形成する反応への参照として定義される。

【0044】

本発明の態様は、燃料電池のための所望の作動範囲を達成するために、アノード燃料パラメーターを調節することができる。アノード燃料パラメーターは、直接、および/または1つ以上の比率の形態で他の燃料電池プロセスに関して、特徴づけることができる。例えば、アノード燃料パラメーターは、燃料利用、燃料電池発熱量利用、燃料過剰比率、改質可能燃料過剰比率、改質可能水素含有量燃料比率、およびそれらの組み合わせを含む1つ以上の比率を達成するために、制御することができる。

【0045】

燃料利用：燃料利用は、燃料電池に関する燃料利用を定義するために使用することができるインプット流の改質可能水素含有量と比較して、酸化された燃料の量に基づくアノードの作動を特徴づけるための選択肢である。本考察において、「燃料利用」は、(上記の通り) 電気の発生のためにアノードで酸化された水素の量と、アノードインプットの改質可能水素含有量(いずれかの関連する改質段階も含む)との比率として定義される。改質可能水素含有量は、上記の定義の通り、燃料を改質して、次いで、 H_2 生成を最大にするために水性ガスシフト反応を完了させることによって、燃料から誘導することができる H_2 分子の数として定義される。例えば、アノードに導入され、かつ蒸気改質条件に暴露されるそれぞれのメタンによって、最大生成で4 H_2 分子当量の発生をもたらされる(改質および/またはアノード条件次第で、改質生成物は、その代わりに H_2 分子の1つ以上が CO 分子の形態で存在する非水性ガスシフト生成物に相当することが可能である)。したがって、メタンは、4 H_2 分子の改質可能水素含有量を有するものとして定義される。他の例として、この定義において、エタンは7 H_2 分子の改質可能水素含有量を有する。

【0046】

アノードにおける燃料の利用は、アノードおよび/またはアノードと関連する改質段階まで送達される全ての燃料の低位発熱量と比較して、燃料電池アノード反応によってアノードで酸化された水素の低位発熱量の比率に基づく発熱量利用を定義することによっても特徴づけることができる。本明細書において使用される場合、「燃料電池発熱量利用」は、燃料電池アノードに出入りする燃料成分のフローレートおよび低位発熱量(LHV)を使用して計算することができる。そのようなものとして、 $(LHV(anode_in) - LHV(anode_out)) / LHV(anode_in)$ として燃料電池発熱量利用を計算することができる。式中、 $LHV(anode_in)$ および $LHV(anode_out)$ は、それぞれ、アノードインレットおよびアウトレット流またはフローにおける燃料成分(例えば、 H_2 、 CH_4 および/または CO)のLHVを指す。この定義において、流れまたはフローのLHVは、インプットおよび/またはアウトプット流の各燃料成分の値の合計として計算されてもよい。合計に対する各燃料成分の寄与は、燃料成分のLHV(例えば、ジュール/モル)を乗算した燃料成分のフローレート(例えば、モ

10

20

30

40

50

ル/時間)に相当することができる。

【0047】

低位発熱量：低位発熱量は、気相の完全に酸化された生成物（すなわち、気相の CO_2 および H_2O 生成物）への燃料成分の燃焼のエンタルピーとして定義される。例えば、アノードインプット流に存在するいずれの CO_2 も、 CO_2 はすでに完全に酸化されるため、アノードインプットの燃料含有量に寄与しない。この定義に関して、アノード燃料電池反応によってアノードにおいて生じる酸化の量は、上記で定義されるように、アノードの電気化学的反応の一部としてのアノードにおける H_2 の酸化として定義される。

【0048】

なお、アノードインプットフローにおける唯一の燃料が H_2 である特別な場合に関して、アノードにおいて生じることができる燃料成分が関与する唯一の反応は、 H_2 から H_2O への変換を表す。このような特別な場合、燃料利用は、 $(\text{H}_2\text{-レート-イン}(\text{rate-in}) - \text{H}_2\text{-レート-アウト}(\text{rate-out})) / \text{H}_2\text{-レート-イン}$ として単純化される。そのような場合、 H_2 は唯一の燃料成分であり、および H_2 のLHVは方程式から相殺される。より一般的な場合では、アノード供給は、例えば、様々な量で CH_4 、 H_2 および CO を含有してもよい。これらの種がアノードアウトレットにおいて異なる量で典型的に存在することができるため、要約は上記の通り、燃料利用を決定するために必要である。

【0049】

燃料利用の他に、または加えて、燃料電池内の他の反応物の利用を特徴づけることができる。例えば、燃料電池の作動は、追加的に、または代わりとして、「 CO_2 利用」および/または「酸化剤」利用に関して特徴づけることができる。 CO_2 利用および/または酸化剤利用のための値は、同様の方法で明示することができる。

【0050】

燃料過剰比率：熔融カーボネート燃料電池における反応を特徴づけるさらに別の方法は、燃料電池アノード反応によってアノードにおいて酸化された水素の低位発熱量と比較して、アノードおよび/またはアノードに関連する改質段階まで送達される全ての燃料の低位発熱量の比率に基づく利用を定義することによる。この量は、燃料過剰比率と呼ばれる。そのようなものとして、燃料過剰比率を、 $(\text{LHV}(\text{anode_in}) / (\text{LHV}(\text{anode_in}) - \text{LHV}(\text{anode_out})))$ として計算することができる。式中、 $\text{LHV}(\text{anode_in})$ および $\text{LHV}(\text{anode_out})$ は、それぞれ、アノードインレットおよびアウトレット流またはフローにおける燃料成分（例えば、 H_2 、 CH_4 および/または CO ）のLHVを指す。本発明の様々な態様において、熔融カーボネート燃料電池を、少なくとも約1.0、例えば少なくとも約1.5、少なくとも約2.0、少なくとも約2.5、少なくとも約3.0、または少なくとも約4.0の燃料過剰比率を有するように作動させることができる。追加的に、または代わりとして、燃料過剰比率は、約2.5以下であることができる。

【0051】

なお、アノードのためのインプット流の改質可能燃料の全てが改質され得るというわけではない。好ましくは、アノード（および/または関連する改質段階）へのインプット流の改質可能燃料の少なくとも約90%、例えば、少なくとも約95%、または少なくとも約98%がアノードを出る前に改質可能である。いくつかの別の態様において、改質される改質可能燃料の量は、約75%～約90%、例えば、少なくとも約80%であることができる。

【0052】

燃料過剰比率に関する上記の定義は、電力の発生のために燃料電池アノードにおいて消費される燃料の量と比較して、アノードおよび/または燃料電池と関連する改質段階の範囲内で生じる改質の量の特徴づける方法を提供する。

【0053】

任意に、燃料過剰比率は、燃料がアノードアウトプットからアノードインプットまでリ

10

20

30

40

50

サイクルされる状態を占めるように変更することができる。燃料（例えば、 H_2 、 CO および/または未改質もしくは部分的に改質された炭化水素）がアノードアウトプットからアノードインプットまでリサイクルされる場合、そのようなリサイクルされた燃料成分は、他の目的のために使用することができる改質可能または改質された燃料の過剰量を表さない。その代わりに、そのようなリサイクルされた燃料成分は、燃料利用を低下させることの要望を単に示すのみである。

【0054】

改質可能燃料過剰比率：改質可能燃料過剰比率を算出することは、そのようなリサイクルされた燃料成分が、改質可能燃料の LHV のみがアノードへのインプット流に含まれるように過剰燃料の定義を限定することを示す1つの選択肢である。本明細書で使用される場合、「改質可能燃料過剰比率」は、燃料電池アノード反応によってアノードにおいて酸化された水素の低位発熱量と比較して、アノードと関連するアノードおよび/またはアノードと関連する改質段階まで送達される改質可能燃料の低位発熱量として定義される。改質可能燃料過剰比率のための定義において、アノードインプットのいずれの H_2 または CO の LHV も排除される。改質可能燃料のそのような LHV は、燃料電池アノードに入る実際の組成物を特徴づけることによって、なお測定することができ、リサイクルされた成分と新たな成分との間での区別は必要とされない。いくつかの未改質または部分的に改質された燃料もリサイクルされてもよいが、ほとんどの態様において、アノードにリサイクルされる大部分の燃料は改質された生成物（例えば、 H_2 または CO ）に相当することができる。数学的に表すと、改質可能燃料過剰比率（ R_{RFS} ）= LHV_{RF} / LHV_{OH} であり、式中、 LHV_{RF} は、改質可能燃料の低位発熱量（ LHV ）であり、および LHV_{OH} は、アノードで酸化される水素の低位発熱量（ LHV ）である。アノードで酸化される水素の LHV は、アノードインレット流の LHV からアノードアウトレット流の LHV を差し引くことによって算出されてもよい（例えば、 $LHV(anode_in) - LHV(anode_out)$ ）。本発明の様々な態様において、溶融カーボネート燃料電池は、少なくとも約0.25、例えば、少なくとも約0.5、少なくとも約1.0、少なくとも約1.5、少なくとも約2.0、少なくとも約2.5、少なくとも約3.0、または少なくとも約4.0の改質可能燃料過剰比率を有するように作動させることができる。追加的に、または代わりとして、改質可能燃料過剰比率は約25.0以下であることができる。なお、アノードにおける酸化の量と比較してのアノードに送達される改質可能燃料の量に基づくこのようなより狭い定義によって、低燃料利用を有する燃料電池作動方法の2つの種類を識別することができる。いくつかの燃料電池は、アノードアウトプットからアノードインプットへの実質的な部分をリサイクルすることによって、低燃料利用を達成する。このリサイクルによって、アノードインプットにおけるいずれかの水素を、アノードにインプットとして再び使用することが可能である。これによって改質の量を低下させることができ、燃料利用が燃料電池の単回通過に関して低い場合でさえも、その後の通過において、未使用の燃料の少なくとも一部分はリサイクルされる。したがって、広範囲の種々の燃料利用値を有する燃料電池は、アノード改質段階に送達される改質可能燃料対アノード反応において酸化される水素の同一比率を有してもよい。アノードにおける酸化の量に関するアノード改質段階に送達される改質可能燃料の比率を変化させるため、非改質可能燃料の本来の含有量を有するアノード供給が識別される必要があるか、またはアノードアウトプットにおける未使用の燃料が、他の用途のために回収される必要があるか、あるいは両方である。燃料利用および CO_2 利用の様々な組み合わせにおける溶融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,691号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0055】

改質可能水素過剰比率：燃料電池の作動を特徴づけるためのさらにもう1つの選択肢は、「改質可能水素過剰比率」に基づく。上記で定義される改質可能燃料過剰比率は、改質可能燃料成分の低位発熱量に基づいて定義される。改質可能水素過剰比率は、燃料電池ア

10

20

30

40

50

ノード反応によってアノードで反応する水素と比較した、アノードおよび/またはアノードと関連する改質段階に送達される改質可能燃料の改質可能水素含有量として定義される。そのようなものとして、「改質可能水素過剰比率」は、 $(RFC(reformable_anode_in) / (RFC(reformable_anode_in) - RFC(anode_out)))$ として計算することができ、式中、 $(RFC(reformable_anode_in))$ は、アノードインレット流またはフローの改質可能燃料の改質可能水素含有量を指し、 $(RFC(anode_out))$ は、アノードインレットおよびアウトレット流またはフローの燃料成分(例えば、 H_2 、 CH_4 および/または CO)の改質可能水素含有量を指す。 RFC は、モル/秒、モル/時間などで表すことができる。アノード改質段階に送達される改質可能燃料対アノードの酸化の量の大きい比率を有する燃料電池を作動させる方法の例は、燃料電池における熱の発生および消費を釣り合わせるために、過剰の改質が実行される方法であることができる。 H_2 および CO を形成するために改質可能燃料を改質することは、吸熱性プロセスである。この吸熱性反応は、燃料電池における電流の発生によって対抗することができ、これは、アノード酸化反応およびカーボネート形成反応によって発生する熱量と流の形態で燃料電池を出るエネルギーとの差異に(おおよそ)相当する過剰量の熱を生じることでもある。アノード酸化反応/カーボネート形成反応に關与する水素のモルあたりの過剰量の熱は、改質によって水素のモルを発生されるために吸収した熱よりも大きくなることが可能である。その結果、従来条件で作動される燃料電池は、インレットからアウトレットまでの温度増加を示すことができる。この種類の従来の作動の代わりに、アノードと関連する改質段階において改質される燃料の量を増加させることができる。例えば、発熱性燃料電池反応によって発生する熱が、改質において消費される熱によって(おおよそ)釣り合うことができるように、あるいは改質によって消費される熱が、燃料酸化によって発生する過剰量の熱より大きくなることができ、燃料電池全体での温度低下がもたらされるように、追加的な燃料を改質することができる。これによって、電力発生のために必要とされる量と比較して、水素の実質的な過剰をもたらしすることができる。一例として、燃料電池のアノードインレットまたは関連する改質段階への供給は、実質的に純粋なメタン供給などの改質可能燃料から実質的に構成されることができる。そのような燃料を使用する発電のための従来の作動の間、溶融カーボネート燃料電池は約75%の燃料利用で作動することができる。これは、次いで、アノードにおいて、カーボネートイオンと反応して、 H_2O および CO_2 を形成する水素を形成するために、アノードに送達される燃料含有量の約75%(または3/4)が使用されることを意味する。従来の作動において、燃料含有量の残りの約25%は、燃料電池で H_2 に改質されることができ(または、燃料のいずれの CO または H_2 に関して未反応の燃料電池を通過することができ)、次いで、燃料電池の外側で燃焼され、 H_2O および CO_2 を形成し、燃料電池へとカソードインレットのための熱を提供する。この状態における改質可能水素過剰比率は、 $4 / (4 - 1) = 4 / 3$ であることができる。本明細書に記載される様々な改質可能過剰比率における溶融カーボネート燃料電池の作動に關連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,696号明細書に見出すことができ、その關連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0056】

電気効率：本明細書で使用される場合、「電気効率」(「EE」)という用語は、燃料電池への燃料インプットの低位発熱量(「LHV」)の率で割られる、燃料電池で生じる電気化学的動力として定義される。燃料電池への燃料インプットには、アノードに送達される燃料、ならびに燃料電池の温度を維持するために使用されるいずれの燃料、例えば、燃料電池と関連するバーナーに送達される燃料の両方が含まれる。本記載において、燃料によって生じる動力は、 $LHV(e1)$ 燃料率に關して記載されてもよい。

【0057】

電気化学的動力：本明細書で使用される場合、「電気化学的動力」または $LHV(e1)$ という用語は、燃料電池でカソードをアノードに連結する回路および燃料電池の電解質を通るカーボネートイオンの移動によって発生する動力である。電気化学的動力は、燃料

10

20

30

40

50

電池から生じるか、上流または下流装置で消費される動力を排除する。例えば、燃料電池廃棄物流における熱から生じる電気は、電気化学的動力の一部分として考えられない。同様に、燃料電池の上流のガスタービンまたは他の装置で発生する動力は、発生する電気化学的動力の一部分でない。「電気化学的動力」は、燃料電池の作動の間に消費される電力、または直流から交流への変換によって生じるいずれの損失も考慮しない。言い換えると、燃料電池作動を供給するため、または他に燃料電池を作動するために使用される電力は、燃料電池によって生じる直流動力から差し引かれない。本明細書で使用される場合、電力密度は電圧を乗算した電流密度である。本明細書で使用される場合、全燃料電池動力は、燃料電池面積を乗算した電力密度である。

【0058】

10

燃料インプット：本明細書で使用される場合、 $LHV(a_node_in)$ として示される「アノード燃料インプット」という用語は、アノードインレット流の中の燃料の量である。 $LHV(in)$ として示される「燃料インプット」という用語は、アノードインレット流内の燃料の量および燃料電池の温度を維持するために使用される燃料の量の両方を含む燃料電池に送達される燃料の全体の量である。燃料は、本明細書に提供される改質可能燃料の定義に基づいて、改質可能および非改質可能燃料を含んでもよい。燃料インプットは、燃料利用と同一ではない。

【0059】

全燃料電池効率：本明細書で使用される場合、「全燃料電池効率」($TFCE$)という用語は、燃料電池によって発生する電気化学的動力に、燃料電池によって生じる合成ガスの LHV の率を足したものを、アノードへの燃料インプットの LHV の率で割ったものとして定義される。言い換えると、 $TFCE = (LHV(el) + LHV(sg_net)) / LHV(a_node_in)$ であり、式中、 $LHV(a_node_in)$ は、燃料成分(例えば H_2 、 CH_4 および/または CO)がアノードに送達される時の LHV を指し、かつ $LHV(sg_net)$ は、合成ガス(H_2 、 CO)がアノードで生じる率を指し、これは、アノードへの合成ガスインプットとアノードからの合成ガスアウトプットとの間の差異である。 $LHV(el)$ は、燃料電池の電気化学的発電を記載する。全燃料電池効率は、燃料電池の外側で有利に使用される、燃料電池によって発生する熱を排除する。作動において、燃料電池によって発生する熱は、下流の装置において有利に使用されてもよい。例えば、熱は追加的な電気を発生させるか、または水を加熱するために使用されてもよい。これらの用途は、それらが燃料電池と離れて生じる場合、本出願で使用される用語のような全燃料電池効率の一部分でない。全燃料電池効率は、燃料電池作動のみに関し、動力発生または、上流もしくは下流での燃料電池の消費を含まない。全燃料電池効率の増加した値における溶融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,698号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

20

30

【0060】

化学効率：本明細書で使用される場合、「化学効率」という用語は、燃料インプットまたは $LHV(in)$ で割られる、燃料電池のアノード排出物における H_2 および CO の低位発熱量、または $LHV(sg_out)$ として定義される。

40

【0061】

電気効率も全システム効率も、上流または下流のプロセスの効率を考慮に入れない。例えば、燃料電池カソードのための CO_2 の供給源としてタービン排出物を使用することは有利であり得る。この配置では、タービンの効率は、電気効率または全燃料電池効率の計算の一部分として考慮されない。同様に、燃料電池からのアウトプットは、燃料電池へのインプットとしてリサイクルされてもよい。単回通過モードで電気効率または全燃料電池効率を算出する場合、リサイクルループは考慮されない。

【0062】

生成した合成ガス：本明細書で使用される場合、「生成した合成ガス」という用語は、アノードへの合成ガスインプットとアノードからの合成ガスアウトプットとの間の差異で

50

ある。合成ガスは、少なくとも部分的に、アノードのためのインプットまたは燃料として使用されてもよい。例えば、システムは、天然ガスまたは他の適切な燃料で補足されて、アノード排出物からアノードインレットまで合成ガスを戻すアノードリサイクルループを含んでもよい。生成した合成ガス $LHV(sg_{net}) = (LHV(sg_{out}) - LHV(sg_{in}))$ であり、 $LHV(sg_{in})$ および $LHV(sg_{out})$ は、アノードインレットの合成ガスの LHV およびアノードアウトレット流またはフローの合成ガスの LHV をそれぞれ指す。なお、アノード内での改質反応によって生じた合成ガスの少なくとも一部分は、典型的に、電気を生じるためにアノードで利用されることができる。電気を生じるために利用される水素は、アノードから出ないため、「生成した合成ガス」の定義に含まれない。本明細書で使用される場合、「合成ガス比率」という用語は、アノードへの燃料インプットの LHV で割られた、生成した正味の合成ガスの LHV 、または $LHV(sg_{net}) / LHV(anode_{in})$ である。合成ガスおよび燃料のモルフローレートは、 LHV の代わりに、モルベースの合成ガス比率およびモルベースの生成した合成ガスを表すために使用することができる。増加した合成ガス製造を伴う熔融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 14/207,706 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0063】

蒸気対炭素比率 (S/C) : 本明細書で使用される場合、蒸気対炭素比率 (S/C) は、フロー中の蒸気対フロー中の改質可能炭素モル比である。 CO および CO_2 の形の炭素は、この定義における改質可能炭素として含まれない。蒸気対炭素比率は、システムの異なる点で測定および/または制御することができる。例えば、アノードインレット流の組成は、アノードにおいて改質するために適切な S/C を達成するように修正することができる。 S/C は、燃料、例えば、メタン中の炭素原子の数を乗算した燃料のモルフローレートの積で割られる、 H_2O のモルフローレートとして与えられることができる。したがって、 $S/C = f_{H_2O} / (f_{CH_4} \times \#C)$ であり、式中、 f_{H_2O} は水のモルフローレートであり、 f_{CH_4} は、メタン（または他の燃料）のモルフローレートであり、かつ $\#C$ は燃料中の炭素の数である。

【0064】

燃料電池および燃料電池構成要素 : 本考察において、燃料電池は、電解質によって分離されるアノードおよびカソードを有する単電池に相当することができる。アノードおよびカソードは、電解質全体で電荷を輸送して、電気を発生させるために、それぞれのアノードおよびカソード反応を促進するためのインプットガスフローを受け取ることができる。燃料電池積層は、集積化されたユニットで複数の電池を表すことができる。燃料電池積層は複数の燃料電池を含むことができるが、燃料電池は典型的に並列に連結されることができる、かつ、それらが集合的により大きい径の単一燃料電池を表すように（ほぼ）機能することができる。インプットフローが燃料電池積層のアノードまたはカソードに送達される場合、燃料積層は、積層中のそれぞれの電池間のインプットフローを割るためのフローチャネルおよび個々の電池からアウトプットフローを組み合わせるためのフローチャネルを含むことができる。この考察において、燃料電池アレイは、直列、並列、または他のいずれかの都合のよい方法（例えば、直列および並列の組み合わせで）で配置される複数の燃料電池（例えば、複数の燃料電池積層）を指すために使用することができる。燃料電池アレイは、第 1 の段階からのアノード/カソードアウトプットは、第 2 の段階のためのアノード/カソードインプットとして役立ち得る、燃料電池および/または燃料電池積層の 1 つ以上の段階を含むことができる。なお、燃料電池アレイのアノードは、アレイのカソードと同一の方法で連結されなくてもよい。便宜のために、燃料電池アレイの第 1 のアノード段階へのインプットは、アレイのためのアノードインプットと呼ばれてもよく、および燃料電池アレイの第 1 のカソード段階へのインプットは、アレイへのカソードインプットと呼ばれてもよい。同様に、最終アノード/カソード段階からのアウトプットは、アレイからのアノード/カソードアウトプットと呼ばれてもよい。

【 0 0 6 5 】

本明細書における燃料電池の使用の言及は、典型的に、個々の燃料電池から構成される「燃料電池積層」を示し、およびより一般に、流体連絡における１つ以上の燃料電池積層の使用を指すことは理解されるべきである。個々の燃料電池要素（プレート）は、「燃料電池積層」と呼ばれる長方形アレイと一緒に典型的に「積層」されることができる。この燃料電池積層は、典型的に、全ての個々の燃料電池の間で流れを供給することができ、かつ反応物を分配することができ、次いで、これらの要素のそれぞれから生成物を収集することができる。ユニットとして見ると、作動中の燃料電池積層は、多くの（しばしば、何十または何百）の個々の燃料電池要素から構成されるとしても、一体としてみなすことができる。これらの個々の燃料電池要素は、同様の電圧（反応物および生成物濃度が同様）を典型的に有することができ、および全動力アウトプットは、要素が直列に電氣的に連結される場合、電池要素の全部の電流の合計から生じることができる。積層は、高電圧を生じるために、直列で配置されることもできる。並列の配列は、電流を高めることができる。十分に大きい体積燃料電池積層が所与の排出物フローを処理するために利用可能であれば、本明細書に記載されるシステムおよび方法は単一の熔融カーボネート燃料電池積層でを使用することができる。本発明の他の態様において、様々な理由のために、複数の燃料電池積層は望ましくあり得るか、または必要とされ得る。

10

【 0 0 6 6 】

本発明の目的のために、他に明記しない限り、「燃料電池」という用語は、燃料電池が実際に典型的に利用される方法として単一のインプットおよびアウトプットがある、１つ以上の個々の燃料電池要素から構成される燃料電池積層を指すものとしても理解されるべきであり、および／またはそれを参照することを含むものとして定義される。同様に、燃料電池（複数）という用語は、特に明記しない限り、複数の個々の燃料電池積層を指すものとしても理解されるべきであり、および／またはそれを含むものとして定義される。言い換えると、本明細書の範囲内の全ての参照は、具体的に示されない限り、「燃料電池」としての燃料電池積層の作動に交換可能に適用することができる。例えば、商業的なスケールの燃焼発電機で発生する排出物の体積は、従来の径の燃料電池（すなわち単一積層）による処理に関してあまりに大きくなり得る。完全に排出物を処理するために、それぞれの燃料電池が燃焼排出物の（ほぼ）同等の部分処理することができるように、複数の燃料電池（すなわち、２つ以上の個々の燃料電池または燃料電池積層）を並列に配置することができる。複数の燃料電池を使用することができるが、燃料電池は典型的に、一般に同様の方法で、燃焼排出物の所与のその（ほぼ）同等の部分で作動されることができる。

20

30

【 0 0 6 7 】

「内部改質」および「外部改質」：燃料電池または燃料電池積層は、１つ以上の内部改質部分を含んでもよい。本明細書で使用される場合、「内部改質」という用語は、燃料電池（燃料電池積層）の本体の範囲内で、または、その他の場合で燃料電池アセンブリ内で生じる燃料改質を指す。外部改質は、燃料電池とともにしばしば使用されるが、燃料電池積層の外側に位置する装置の個々において生じる。言い換えると、外部改質装置の本体は、燃料電池または燃料電池積層の本体との直接的な物理的接触がない。典型的な準備において、外部改質装置からのアウトプットを、燃料電池のアノードインレットに供給することができる。特に具体的に明記されない限り、本出願で記載される改質は内部改質である。

40

【 0 0 6 8 】

内部改質は、燃料電池アノード内で生じてもよい。内部改質は、燃料電池アセンブリ内で集積化される内部改質要素内で、追加的に、または代わりとして生じることができる。集積化された改質要素は、燃料電池積層内の燃料電池要素の間に位置してもよい。言い換えると、積層のトレイの１つは、燃料電池要素の代わりに改質部分であることができる。一態様において、燃料電池積層内のフロー配列は、内部改質要素に、次いで、燃料電池のアノード部分に燃料を向ける。したがって、フローの観点から、内部改質要素および燃料電池要素は、燃料電池積層内で直列に配置されることができる。本明細書で使用される場

50

合、「アノード改質」は、アノード内で生じる燃料改質である。本明細書で使用される場合、「内部改質」という用語は、アノード部分ではなく、集積化された改質要素内で生じる改質である。

【0069】

いくつかの態様において、燃料電池アセンブリに対して内部である改質段階は、燃料電池アセンブリのアノードと関連するものとして考慮することができる。いくつかの別の態様において、アノードと関連する（例えば複数のアノードと関連する）ことができる燃料電池積層の改質段階に関して、改質段階からのアウトプットフローが少なくとも1つのアノードに通過されるように、フローパスは利用可能でありえる。これは、電解質と接触しておらず、代わりに改質触媒として役立つ燃料電池プレートの初期部分を有することに相当することができる。関連する改質段階の別の選択肢は、燃料電池積層の要素の1つとして、集積化された改質段階からのアウトプットを燃料電池積層の燃料電池の1つ以上のインプットサイドに戻す、別々の集積化された改質段階を有することであり得る。

【0070】

熱集積化の観点から、燃料電池積層の特徴的な高さは、個々の燃料電池積層要素の高さであることができる。なお、別々の改質段階または別々の吸熱性反応段階は、燃料電池とは異なる積層の高さを有することができるであろう。そのようなシナリオでは、燃料電池要素の高さは、特徴的な高さとして使用されることができる。いくつかの態様において、集積化された吸熱性反応段階は、集積化された吸熱性反応段階が改質のための熱供給源として燃料電池から熱を使用することができるように、1つ以上の燃料電池と熱集積化される段階として定義されることができる。そのような集積化された吸熱性反応段階は、集積化された段階に熱を提供するいずれの燃料電池からの積層要素の高さの5倍未満の高さで配置されるものとして定義されることができる。例えば、集積化された吸熱性反応段階（例えば改質段階）は、熱集積されたいずれの燃料電池からの積層要素の高さの5倍未満、例えば、積層要素の高さの3倍未満の高さで配置されることができる。本考察において、燃料電池要素に隣接する積層要素を表す集積化された改質段階または集積化された吸熱性反応段階は、隣接する燃料電池要素から約1の積層要素高さ以下であるものとして定義されることができる。

【0071】

いくつかの態様において、燃料電池要素と熱集積化される別々の改質段階は、燃料電池要素と関連する改質段階にも相当することができる。そのような態様において、集積化された燃料電池要素は、熱の少なくとも一部分を関連する改質段階に提供することができる。および関連する改質段階は、改質段階アウトプットの少なくとも一部分を燃料流として集積化された燃料電池に提供することができる。他の態様において、別々の改質段階は、燃料電池と関連することなく、熱伝達のために燃料電池と集積化することができる。この種類の状態において、別々の改質段階は、燃料電池から熱を受け取ることができるが、改質段階のアウトプットは燃料電池へのインプットとして使用されない。その代わりに、アノード排出物流へのアウトプットの直接添加などの別の目的のため、または燃料電池アセンブリから別々のアウトプット流を形成するために、そのような改質段階のアウトプットを使用することができる。

【0072】

より一般に、集積化された燃料電池積層要素によって提供される廃熱を利用することができる吸熱性反応のいずれかの都合のよい種類を実行するために、燃料電池積層の別々の積層要素を使用することができる。炭化水素流において改質反応を実行するために適切なプレートの代わりに、別々の積層要素は、別の種類の吸熱性反応に触媒作用を及ぼすために適切なプレートを有することができる。燃料電池積層におけるマニホールドまたはインレットマニホールドの他の配列は、適切なインプットフローをそれぞれの積層要素に提供するために使用することができる。同様のマニホールドまたはアウトレットマニホールドの他の配列も、アウトプットフローをそれぞれの積層要素から回収するために使用することができる。任意に、積層の吸熱性反応段階からのアウトプットフローは、アウトプット

10

20

30

40

50

フローを燃料電池アノードに通過させることなく、燃料電池積層から回収することができる。そのような任意の態様において、発熱性反応の生成物は、したがって、燃料電池アノードに通過させることなく、燃料電池積層から出るであろう。燃料電池積層の積層要素において実行することができる他の種類の吸熱性反応の例には、エチレンおよびエタンクラッキングを形成するエタノール脱水が含まれる。

【0073】

リサイクル：本明細書に定義されるように、燃料電池インレットへの燃料電池アウトプットの一部分（例えば、アノード排出物または、アノード排出物から分離されるか、もしくは回収される流れ）のリサイクルは、直接的または間接的なリサイクル流に相当することができる。燃料電池インレットへの流れの直接的なリサイクルは、中間プロセスを通過することのない流れのリサイクルとして定義され、間接的なリサイクルには、1つ以上の中間プロセスに流れを通過させた後のリサイクルが関与する。例えば、アノード排出物がリサイクルの前にCO₂分離段階を通過する場合、これはアノード排出物の間接的なリサイクルと考えられる。アノード排出物から回収されるアノード排出物の一部分、例えば、H₂流が、燃料電池への導入のために適切な燃料へと石炭を変換するためのガス化装置を通過する場合、これもまた間接的なリサイクルと考えられる。

【0074】

アノードインプットおよびアウトプット

本発明の様々な態様において、MCFCAレイには、例えば、水素および炭化水素、例えば、メタン（または代わりに、CおよびHとは異なるヘテロ原子を含有してもよい炭化水素もしくは炭化水素様化合物）を含む、アノードインレットで受け取られる燃料が供給されることができる。アノードに供給される大部分のメタン（または他の炭化水素もしくは炭化水素様化合物）は、典型的に新しいメタンであることができる。この記載において、新しいメタンなどの新しい燃料は、別の燃料電池プロセスからリサイクルされない燃料を指す。例えば、アノードアウトレット流からアノードインレットにリサイクルされるメタンは、「新しい」メタンとは考えられず、その代わりに、回収されたメタンと記載することができる。使用された燃料供給源は、CO₂含有流をカソードインプットに提供するために燃料供給源の一部分を使用するタービンなどの他の構成要素と共有されることができる。燃料供給源インプットは、水素を発生させる改質部分において炭化水素（または炭化水素様）化合物を改質するために、燃料に対して適切な割合で、水を含むことができる。例えば、メタンがH₂を発生させるために改質するための燃料インプットである場合、水対燃料のモル比は、約1：1～約10：1、例えば少なくとも約2：1であることができる。4：1以上の比率は外部改質に関して典型的であるが、内部改質に関してはより低い値が典型的であることができる。H₂が燃料供給源の一部分である範囲まで、いくつかの任意の態様において、アノードにおけるH₂の酸化が、燃料を改質するために使用することができるH₂Oを生じる傾向があり得るため、追加的な水は燃料に必要とされなくてもよい。燃料供給源は、燃料供給源に重要ではない成分を任意に含有することもできる（例えば、天然ガス供給は、追加的な成分としてCO₂のいくつかの含有量を含有することができる）。例えば、天然ガス供給は、追加的な成分として、CO₂、N₂および/または他の不活性（不活性）ガスを含有することができる。任意に、いくつかの態様において、燃料供給源は、アノード排出物のリサイクルされた部分からのCOなどのCOを含有してもよい。燃料電池アセンブリへの燃料におけるCOのための追加的、または代替りの潜在的供給源は、燃料電池アセンブリに入る前に燃料において実行される炭化水素燃料の蒸気改質によって発生するCOであることができる。

【0075】

より一般に、様々な種類の燃料流は、熔融カーボネート燃料電池のアノードのためのインプット流としての使用のために適切であり得る。いくつかの燃料流は、CおよびHとは異なるヘテロ原子を含んでもよい炭化水素および/または炭化水素様化合物を含有する流れに相当することができる。本考察において、特に明記されない限り、MCFCAアノードのための炭化水素を含有する燃料流の参照は、そのような炭化水素様化合物を含有する燃

10

20

30

40

50

料流を含むように定義される。炭化水素（炭化水素様を含む）燃料流の例としては、天然ガス、 $C_1 \sim C_4$ 炭素化合物（例えば、メタンまたはエタン）を含有する流れ、およびより重質の $C_5 +$ 炭化水素（炭化水素様化合物を含む）を含有する流れ、ならびにそれらの組み合わせを含むことができる。アノードインプットに用いられる潜在的燃料流のさらに他の追加的または代替の例としては、生物ガス型の流れ、例えば、有機材料の天然（生物学的）分解から生じるメタンを含むことができる。

【0076】

いくつかの態様において、希釈剤化合物の存在のため、低エネルギー含有量で、天然ガスおよび/または炭化水素流などのインプット流を処理するために、溶融カーボネート燃料電池を使用することができる。例えば、メタンおよび/または天然ガスのいくつかの供給源は、 CO_2 、または窒素、アルゴンもしくはヘリウムなどの他の不活性分子の実質的な量を含むことができる供給源である。 CO_2 および/または不活性物質の高められた量の存在のために、供給源に基づく燃料流のエネルギー含有量を低下させることができる。（燃焼動力タービンに動力を供給するためなどの）燃焼反応に、低いエネルギー含有量燃料を使用することは、問題点を提起する可能性がある。しかしながら、溶融カーボネート燃料電池は、燃料電池の効率に対する影響が少ないか、または影響を最小限にして、低エネルギー含有量燃料供給源に基づいて動力を発生させることができる。追加的なガス体積の存在は、改質および/またはアノード反応のための温度まで燃料温度を高めるために追加的な熱を必要とすることができる。追加的に、燃料電池アノード内の水性ガスシフト反応の平衡性質のために、追加的な CO_2 の存在は、アノードアウトプットに存在する H_2 および CO の相対量に影響を有することができる。しかしながら、不活性化合物は、その他の場合には、改質およびアノード反応に対して最小限の直接的な影響のみを有することができる。溶融カーボネート燃料電池のための燃料流における CO_2 および/または不活性化合物の量は、存在する場合、少なくとも約1体積%、例えば、少なくとも約2体積%、少なくとも約5体積%、少なくとも約10体積%、少なくとも約15体積%、少なくとも約20体積%、少なくとも約25体積%、少なくとも約30体積%、少なくとも約35体積%、少なくとも約40体積%、少なくとも約45体積%、少なくとも約50体積%、または少なくとも約75体積%であることができる。追加的に、または代替りとして、溶融カーボネート燃料電池のための燃料流における CO_2 および/または不活性化合物の量は、約90体積%以下、例えば約75体積%以下、約60体積%以下、約50体積%以下、約40体積%以下、または約35体積%以下であることができる。 CO_2 および/または不活性化合物の増加した含有量を有するインプットガスによる溶融カーボネート燃料電池の使用に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,686号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0077】

アノードインプット流のための潜在的供給源のなお別の例は、精製装置および/または他の工業プロセスアウトプット流に相当することができる。例えば、コーキングは、より重質の化合物を、より低沸騰範囲に変換するための多くの精製装置の共通プロセスである。コーキングは、典型的に、 CO および様々な $C_1 \sim C_4$ 炭化水素を含む室温でガスである様々な化合物を含有するオフガスを生じる。このオフガスは、アノードインプット流の少なくとも一部分として使用することができる。他の精製装置オフガス流は、アノードインプット流での含有のために、追加的に、または代替りとして適切であることができ、例えば、クラッキングまたは他の精製装置プロセスの間に発生する軽質留分（ $C_1 \sim C_4$ ）である。さらに他の適切な精製装置流は、 H_2 および/または改質可能燃料化合物も含有する CO または CO_2 を含有する精製装置流を追加的に、または代替りとして含むことができる。他の精製装置流との溶融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,710号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0078】

アノードインプットのためのさらに他の潜在的供給源は、増加した含水量を有する流れ

10

20

30

40

50

を追加的に、または代わりとして含むことができる。例えば、エタノールプラント（または別の種類の発酵プロセス）からのエタノールアウトプット流は、最終的な蒸留の前に H_2O の実質的な部分を含む。そのような H_2O は、典型的に、燃料電池の作動に対して最小限の影響のみを生じることができる。したがって、アルコール（または他の発酵生成物）と水との発酵混合物を、アノードインプット流の少なくとも一部分として使用することができる。発酵を経た化合物の形成のためのプロセスとの熔融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 14 / 207,721 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0079】

生物ガスまたはダイジェスターガスは、アノードインプットのための別の追加的または代わりの潜在的供給源である。生物ガスは、メタンおよび CO_2 を主として含んでもよく、典型的に有機物質の分解または消化によって生じる。有機物質を消化し、生物ガスを生じるために、嫌気性菌が使用されてもよい。アノードインプットとしての使用の前に、不純物（例えば硫黄含有化合物）は生物ガスから除去されてもよい。

【0080】

MCFCA アノードからのアウトプット流は、 H_2O 、 CO_2 、 CO および H_2 を含むことができる。任意に、アノードアウトプット流は、追加的なアウトプット成分として、供給に未反応燃料（例えば、 H_2 もしくは CH_4 ）または不活性化化合物を有することもできるであろう。改質反応のための熱を提供するための燃料供給源として、または電池を加熱するための燃焼燃料として、このアウトプット流を使用する代わりに、別のプロセスへのインプットとして潜在的値を有する成分（例えば H_2 または CO ）から CO_2 を分離するために、1つ以上の分離をアノードアウトプット流において実行することができる。 H_2 および / または CO は、化学合成のために合成ガスとして、化学反応のための水素の供給源として、および / または減少された温室効果ガス排出を有する燃料として使用することができる。合成ガスを使用することができるプロセス、例えば、鉄鋼製造のためのプロセスとの熔融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 14 / 207,726 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。さらにまた、他の精製装置プロセスとの熔融カーボネート燃料電池のアノードアウトプットの集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第 14 / 207,710 号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0081】

様々な態様において、アノードからのアウトプット流の組成は、いくつかの因子によって影響されることができる。アノードアウトプット組成に影響することができる因子には、アノードへのインプット流の組成、燃料電池で発生する電流の量、および / またはアノードの出口の温度を含むことができる。アノード出口の温度は、水性ガスシフト反応の平衡性質のため、関連することができる。典型的なアノードにおいて、アノードの壁を形成するプレートの少なくとも1つは、水性ガスシフト反応に触媒作用を及ぼすために適切であることができる。その結果、a) アノードインプット流の組成は既知であり、b) アノードインプット流の改質可能燃料の改質の範囲は既知であり、かつ c) (発生する電流の量に相当する) カソードからアノードまで輸送されるカーボネートの量は既知である場合、アノードアウトプットの組成は、水性ガスシフト反応に関する平衡定数に基づいて決定することができる。

$$K_{eq} = \{ [CO_2] \times [H_2] \} / \{ [CO] \times [H_2O] \}$$

【0082】

上記の方程式で、 K_{eq} は、所与の温度および圧力における反応のための平衡定数であり、および $[X]$ は成分 X の分圧である。水性ガスシフト反応に基づいて、アノードインプットにおける CO_2 濃度の増加は、追加的な CO 形成 (H_2 を犠牲にして) をもたらす傾向があることができ、および H_2O 濃度の増加は、追加的な H_2 形成 (CO を犠牲にして) をもたらす傾向があることができる。

【 0 0 8 3 】

アノードアウトプットにおける組成を決定するために、アノードインプットの組成を出発点として使用することができる。この組成は、アノード内で生じることができるいずれの改質可能燃料の改質の範囲も反映するように、次いで変性することができる。そのような改質によって、水素および CO_2 の増加と引きかえに、アノードインプットの炭化水素含有量を低下させることができる。次に、発生する電流量に基づいて、アノードインプットにおける H_2 の量は、追加的な H_2O および CO_2 と引きかえに低下することができる。この組成は、次いで、 H_2 、 CO 、 CO_2 および H_2O の出口濃度を決定するために、水性ガスシフト反応のための平衡定数に基づいて調節することができる。

【 0 0 8 4 】

表 1 は、典型的な種類の燃料に関する異なる燃料利用におけるアノード排出物組成を示す。アノード排出物組成は、アノード改質反応、水性ガスシフト反応およびアノード酸化反応の組み合わせられた結果を反映することができる。表 1 のアウトプット組成値は、蒸気(H_2O)対炭素(改質可能燃料)の約 2 : 1 の比率のアノードインプット組成を仮定することによって算出された。改質可能燃料は、水素に 100 % 改質されることが仮定されたメタンであると仮定された。アノードインプットの初期の CO_2 および H_2 濃度は無視することができるものと仮定され、インプット N_2 濃度は約 0.5 % であった。燃料利用 U_f (本明細書に定義される通り)は、表に示すように、約 35 % ~ 約 70 % の間で変動可能であった。燃料電池アノードのための出口温度は、平衡定数のための正確な値を決定する目的のため、約 650 °C であることが仮定された。

【 0 0 8 5 】

【 表 1 】

表 1 - アノード排出物組成

Uf	%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
アノード排出物組成									
H_2O	%, 湿潤	32.5%	34.1%	35.5%	36.7%	37.8%	38.9%	39.8%	40.5%
CO_2	%, 湿潤	26.7%	29.4%	32.0%	34.5%	36.9%	39.3%	41.5%	43.8%
H_2	%, 湿潤	29.4%	26.0%	22.9%	20.0%	17.3%	14.8%	12.5%	10.4%
CO	%, 湿潤	10.8%	10.0%	9.2%	8.4%	7.5%	6.7%	5.8%	4.9%
N_2	%, 湿潤	0.5%	0.5%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
CO_2	%, 乾燥	39.6%	44.6%	49.6%	54.5%	59.4%	64.2%	69.0%	73.7%
H_2	%, 乾燥	43.6%	39.4%	35.4%	31.5%	27.8%	24.2%	20.7%	17.5%
CO	%, 乾燥	16.1%	15.2%	14.3%	13.2%	12.1%	10.9%	9.7%	8.2%
N_2	%, 乾燥	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
H_2/CO		2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1
$(\text{H}_2-\text{CO}_2)/(\text{CO}+\text{CO}_2)$		0.07	-0.09	-0.22	-0.34	-0.44	-0.53	-0.61	-0.69

【 0 0 8 6 】

表 1 は、特定の組み合わせの条件およびアノードインプット組成のためのアノードアウトプット組成を示す。より一般に、様々な態様において、アノードアウトプットは、約 1

0体積%～約50体積%の H_2O を含むことができる。アノードの H_2O はアノード酸化反応によって生じることができるため、 H_2O の量は非常に変動することができる。改質のために必要とされるよりも多い H_2O の過剰量がアノードに導入される場合、過剰量の H_2O は、燃料改質および水性ガスシフト反応のために、消費される（または発生する） H_2O を除き、主に未反応のまま典型的に通過することができる。アノードアウトプットにおける CO_2 濃度も広範囲に変動することができ、例えば、約20体積%～約50体積%の CO_2 であることができる。 CO_2 の量は、発生する電流の量、ならびにアノードインプットフローの CO_2 の量の両方によって影響を受けることができる。アノードアウトプットの H_2 の量は、追加的に、または代わりとして、アノードの燃料利用次第で、約10体積%の H_2 ～約50体積%の H_2 であることができる。アノードアウトプットにおいて、 CO の量は、約5体積%～約20体積%であることができる。なお、所与の燃料電池のためのアノードアウトプットの H_2 の量と比較しての CO の量は、燃料電池に存在する温度および圧力における水性ガスシフト反応のための平衡定数によって、部分的に決定可能である。アノードアウトプットは、さらに追加的に、または代わりとして、5体積%以下の様々な他の成分、例えば、 N_2 、 CH_4 （または他の未反応炭素含有燃料）、および/または他の成分を含むことができる。

【0087】

任意に、1つ以上の水性ガスシフト反応段階が、必要に応じて、アノードアウトプットにおいて CO および H_2O を CO_2 および H_2 へと変換するために、アノードアウトプットの後に含まれることができる。アノードアウトプットに存在する H_2 の量は、例えば、より低い温度で水性ガスシフト反応器を使用することによって、アノードアウトプットに存在する H_2O および CO を H_2 および CO_2 へと変換して、増加させることができる。あるいは、温度を増加させて、水性ガスシフト反応は逆にさせ、 H_2 および CO_2 からより多くの CO および H_2O を生じることができる。水は、アノードで生じる反応のアウトプットであることが予想され、アノードアウトプットは、典型的に、アノードアウトプットに存在する CO の量と比較して、過剰量の H_2O を有することができる。あるいは H_2O を、アノード出口の後であるが、水性ガスシフト反応の前に、流れに添加されることができる。 CO は、改質条件またはアノード反応の間に存在するいずれかの条件下で、改質の間の不完全な炭素変換のため、および/または H_2O 、 CO 、 H_2 および CO_2 の間での反応の釣り合いをとる平衡（すなわち、水性ガスシフト平衡）のために、アノードアウトプットに存在することができる。水性ガスシフト反応器は、 CO および H_2O を犠牲にして、 CO_2 および H_2 を形成する方向に、さらに平衡を進める条件下で作動されることができる。より高い温度は、 CO および H_2O の形成をもたらし傾向があることができる。したがって、水性ガスシフト反応器を作動するための1つの選択肢は、適切な温度、例えば、約190～約210で、酸化鉄、酸化亜鉛、酸化亜鉛上の銅などの適切な触媒にアノードアウトプット流を曝露させることであり得る。任意に、水性ガスシフト反応器は、アノードアウトプット流における CO 濃度を低下させるために、2つの段階を含むことができ、第1の高温段階は、少なくとも約300～約375の温度で作動され、および第2の低温段階は、約225以下、例えば、約122～約210の温度で作動される。アノードアウトプットに存在する H_2 の量を増加させることに加えて、水性ガスシフト反応は、 CO を犠牲にして、 CO_2 の量を追加的に、または代わりとして増加させることができる。これによって、除去が困難な一酸化炭素（ CO ）を、縮合（例えば、低温除去）、化学反応（例えば、アミン除去）および/または他の CO_2 除去方法によってより容易に除去することができる二酸化炭素と交換することができる。追加的に、または代わりとして、 H_2 対 CO の所望の比率を達成するために、アノード排出物において存在する CO 含有量を増加させることが望ましくてもよい。

【0088】

任意の水性ガスシフト反応段階を通過した後、アノードアウトプットは、アノードアウトプット流からの水および/または CO_2 の除去のために、1つ以上の分離段階を通過することができる。例えば、1つ以上の CO_2 アウトプット流は、個々に、または組み合わ

10

20

30

40

50

せで1つ以上の方法を使用して、アノードアウトプットにおいて CO_2 分離を実行することによって形成されることができる。そのような方法を使用して、90体積%以上の CO_2 含有量、例えば、少なくとも95%体積%の CO_2 、または少なくとも98体積%の CO_2 を有する CO_2 アウトプット流を発生させることができる。そのような方法は、アノードアウトプットの CO_2 含有量の少なくとも約70%、例えば、アノードアウトプットの CO_2 含有量の少なくとも約80%、または少なくとも約90%を回収することができる。あるいは、いくつかの態様において、アノードアウトプット流の CO_2 の一部分のみを回収することが望ましくあり得、 CO_2 の回収された部分は、アノードアウトプットの CO_2 の約33%~約90%、例えば、少なくとも約40%、または少なくとも約50%であり得る。例えば、所望の組成がその後の水性ガスシフト段階において達成されることができるように、アノードアウトプットフローにいくらかの CO_2 を保持することが望ましくあり得る。適切な分離方法は、物理的溶媒（例えば、S e l e x o l（商標）またはR e c t i s o l（商標））、アミンまたは他の塩基（例えば、M E AまたはM D E A）、冷凍（例えば、低温分離）、圧力スイング吸着、真空スイング吸着、およびそれらの組み合わせの使用を含んでもよい。低温 CO_2 分離器は、適切な分離器の一例であることができる。アノードアウトプットが冷却されて、アノードアウトプットの水の大部分は、凝縮された（液）相として分離することができる。アノードアウトプットフローの他の残りの成分（例えば、 H_2 、 N_2 、 CH_4 ）は、容易に凝縮された相を形成する傾向がないため、次いで、水欠乏アノードアウトプットフローのさらなる冷却および/または圧力負荷によって、高純度 CO_2 を分離することができる。低温 CO_2 分離器は、作動条件次第で、フローに存在する CO_2 の約33%~約90%を回収することができる。

【0089】

CO_2 分離実行の前、間または後の1つ以上の水のアウトプット流を形成するアノード排出物からの水の除去も有利であることができる。アノードアウトプットの水量は、選択される作動条件次第で変動することができる。例えば、アノードインレットで確立される蒸気対炭素の比率は、アノード排出物の含水量に影響を及ぼすことができ、高い蒸気対炭素の比率では典型的に大量の水が生じ、これは未反応のまま、および/またはアノードにおける水性ガスシフト平衡によってのみ反応して、アノードを通過することができる。態様次第で、アノード排出物の含水量は、アノード排出物の体積の約30%以上までに相当することができる。追加的に、または代わりとして、含水量はアノード排出物の体積の約80%以下であることができる。そのような水は圧縮および/または冷却することによって除去されて、凝縮が得られることができるが、このような水の除去は、追加の圧縮器動力および/または熱交換表面面積および過度の冷却水を必要とすることができる。この過剰量の水の一部分を除去する1つの有利な方法は、湿潤したアノード流出物から湿度をとることができる吸着剤ベッドの使用に基づくことができ、次いで、追加的な水をアノード供給に提供するために、乾燥アノード供給ガスを使用して、「再生」することができる。H V A Cスタイル（加熱、換気および空気調節）吸着ホイール設計は、アノード排出物およびインレットが圧力で同様であることができ、かつ1つの流れから他への軽度の漏れが、全体的なプロセスに対して最小限の影響を有することができるため、適用可能であることができる。 CO_2 除去が低温プロセスを使用して実行される実施形態において、 CO_2 除去の間または前の、トリエチレングリコール（T E G）系および/または乾燥剤による除去を含む水の除去は望ましくあり得る。対照的に、 CO_2 除去のためにアミン洗浄が使用される場合、水は、 CO_2 除去段階の下流でアノード排出物から除去されることができる。

【0090】

CO_2 アウトプット流れおよび/または水アウトプット流れの代わりとして、またはそれに加えて、アノードアウトプットは、所望の化学または燃料生成物を含有する1つ以上の生成物流を形成するために使用することができる。そのような生成物流は、合成ガス流、水素流または合成ガス生成物および水素生成物流の両方に相当することができる。例えば、少なくとも約70体積%の H_2 、例えば、少なくとも約90体積%の H_2 、または少

なくとも約95体積%の H_2 を含有する水素生成物流を形成することができる。追加的に、または代わりとして、組み合わせた H_2 および CO の少なくとも約70体積%、例えば、 H_2 および CO の少なくとも約90体積%を含有する合成ガス流を形成することができる。1つ以上の生成物流は、アノードアウトプットにおいて組み合わせられた H_2 および CO ガス体積の少なくとも約75%、例えば、組み合わせられた H_2 および CO ガス体積の少なくとも約85%または少なくとも約90%に相当するガス体積を有することができる。なお、生成物流の H_2 および CO の相対的な量は、生成物間で変換する水性ガスシフト反応段階の使用に基づいたアノードアウトプットの H_2 対 CO の比率とは異なってもよい。

【0091】

いくつかの態様において、アノードアウトプットに存在する H_2 の一部を除去するか、または分離することが望ましくないことがあり得る。例えば、いくつかの態様において、アノード排出物の H_2 対 CO の比率は、少なくとも約3.0:1であることができる。対照的に、フィッシャー-トロプシュ合成などの合成ガスを利用するプロセスは、異なる比率（例えば2:1により近い比率）で、 H_2 および CO を消費してもよい。1つの代替案は、アノードアウトプットの含有量を所望の合成ガス組成により近い CO 比率に H_2 を有するように変性するために、水性ガスシフト反応を使用することであり得る。別の代替案は、 H_2 および CO の所望の比率を達成するために、アノードアウトプットに存在する H_2 の一部を除去するために膜分離を使用すること、またはなお代わりとして、膜分離および水性ガスシフト反応の組み合わせを使用することであり得る。アノードアウトプットの H_2 の一部のみを除去するために膜分離を使用する1つの利点は、所望の分離を比較的穏やかな条件で実行することができるということであり得る。1つの目標は、なお実質的な H_2 含有量を有する残留物を生じることであり得るため、高純度の水素の透過が、過酷な条件を必要とすることなく、膜分離によって発生することができる。例えば、膜の透過サイドにおいて約100kPa以下（例えば、周囲の圧力）の圧力を有することよりも、透過サイドが周囲と比較して、なお膜分離を実行するために十分な推進力を有しながら、高められた圧力にあることができる。追加的に、または代わりとして、メタンなどの掃去ガスを、推進力を膜分離に提供するために使用することができる。これによって H_2 透過流の純度を低下させることができるが、透過流の所望の使用次第で有利であり得る。フィッシャートロプシュプロセスとの熔融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,705号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0092】

本発明の様々な態様において、アノード排出物流の少なくとも一部分（好ましくは、 CO_2 および/または H_2O の分離の後）を、燃料電池および関連する改質段階の外部のプロセスのための供給として使用することができる。様々な態様において、アノード排出物は、約1.5:1~約10:1、例えば、少なくとも約3.0:1、または少なくとも約4.0:1、または少なくとも約5.0:1の H_2 対 CO の比率を有することができる。合成ガス流は、アノード排出物から発生することができるか、または回収されることができる。アノード排出物ガスは、任意に CO_2 および/または H_2O の分離の後、および任意に、過剰量の水素を除去するために、水性ガスシフト反応および/または膜分離を実行した後、 H_2 および/または CO の実質的な部分を含有している流れに相当することができる。この比較的低い含有量を有する流れに関して、例えば、 H_2 対 CO の比率が少なくとも約3:1である流れにおいて、アノード排出物は、 H_2 供給として使用するために適切であることができる。 H_2 供給から利益を得ることができるプロセスの例としては、限定されないが、精製装置プロセス、アンモニア合成プラント、または（異なる）発電システムのタービン、あるいはそれらの組み合わせを含むことができる。用途次第で、なおより低い CO_2 含有量が望ましくなることができる。約2.2対1未満の、および約1.9:1を超える H_2 対 CO の比率を有する流れに関して、流れは合成ガス供給として使用するために適切であることができる。合成ガス供給から利益を得ることができるプロセス

10

20

30

40

50

の例としては、限定されないが、ガストウーリキッド (gas-to-liquid) プラント (例えば、非シフティング触媒を用いるフィッシャートロブシュプロセスを使用するプラント) および/またはメタノール合成プラントを含むことができる。外部プロセスのための供給として使用されるアノード排出物の量は、いずれかの都合のよい量であることもできる。任意に、アノード排出物の一部分が外部プロセスのための供給として使用される場合、アノード排出物の第2の部分は、アノードインプットにリサイクルされることができ、および/または燃焼動力発電機のための燃焼領域にリサイクルされることができる。メタノール合成プロセスとの溶融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,714号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

10

【0093】

異なる種類のフィッシャー-トロブシュ合成プロセスのために有用なインプット流は、アノードアウトプットから発生させるために望ましくあり得る異なる種類の生成物流の例を提供することができる。鉄をベースとする触媒などのシフティング触媒を使用するフィッシャー-トロブシュ合成反応に関して、反応系への所望のインプット流は、 H_2 および CO に加えて CO_2 を含むことができる。 CO_2 の十分な量がインプット流に存在しない場合、水性ガスシフト活性を有するフィッシャー-トロブシュ触媒は、追加的な CO_2 を発生させるために CO を消費することができ、 CO のない合成ガスが生じる。MFC燃料電池によるそのようなフィッシャートロブシュプロセスの集積化のために、アノードアウトプットのための分離段階は、合成ガス生成物における CO_2 (および任意に H_2O) の所望の量を保持するように作動させることができる。対照的に、非シフティング触媒をベースとするフィッシャー-トロブシュ触媒に関して、生成物流に存在するいずれの CO_2 も、フィッシャー-トロブシュ反応系において不活性成分として役立つことができる。フィッシャートロブシュプロセスとの溶融カーボネート燃料電池の集積化に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,708号明細書および/または同第14/207,711号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

20

【0094】

メタン掃去ガスなどの掃去ガスによって膜が掃去される態様において、メタン掃去ガスは、アノード燃料として、または異なる低圧プロセス、例えば、煮沸器、炉、ガスタービン、もしくは他の燃料消費デバイスにおいて使用されるメタン流に相当することができる。そのような態様において、膜を通しての低濃度の CO_2 透過は、最小限の結果を有することができる。膜を透過し得るそのような CO_2 は、アノード内での反応に対して最小限の影響を有することができ、およびそのような CO_2 は、アノード生成物に含有されて残ることができる。したがって、透過によって膜を通して損失した CO_2 は (存在する場合)、MFC電解質を通して再び転送される必要はない。これは、水素透過膜の分離選択性必要条件を有意に低下させることができる。これによって、例えば、より低い選択性を有する、より高い透過性の膜の使用が可能となり、これによって、より低い圧力および/または減少した膜表面面積の使用が可能となる。本発明のそのような態様において、掃去ガスの体積は、アノード排出物の水素の体積の何倍も大きいことが可能であり、これによって、透過サイドにおける有効な水素濃度をゼロ付近に維持することが可能となる。そのようにして分離された水素は、タービン供給メタンに組み込まれることができ、それによって、上記の通り、タービン燃焼特徴を向上させることができる。

30

40

【0095】

なお、アノードで生じる過剰量の H_2 は、温室効果ガスがすでに分離された燃料を表すことができる。アノードアウトプットにおけるいずれの CO_2 も、アミン洗浄、低温 CO_2 分離器、および/または圧力もしくは真空スイング吸収プロセスなどによって、アノードアウトプットから容易に分離することができる。アノードアウトプットの成分のいくつか (H_2 、 CO 、 CH_4) は容易に除去されないが、 CO_2 および H_2O は通常容易に除去することができる。実施形態次第で、アノードアウトプットの CO_2 の少なくとも約9

50

0 体積%を分離して、比較的高純度の CO_2 アウトプット流を形成することができる。したがって、アノードで発生するいずれの CO_2 も効率的に分離することができ、高純度 CO_2 アウトプット流が形成される。分離後、アノードアウトプットの残りの部分は、主として、 CO_2 および/または H_2O の量が低下して、化学および/または燃料値を有する成分に相当することができる。最初の燃料（改質前）によって発生する CO_2 の実質的な部分を分離することができるため、アノードアウトプットの残りの部分のその後の燃焼によって発生する CO_2 の量を低下させることができる。特に、アノードアウトプットの残りの部分の燃料が H_2 である範囲まで、追加的な温室効果ガスは、この燃料の燃焼によって、典型的に形成されることができない。水素タービンを作動するための溶融カーボネート燃料電池によって生じる水素の使用に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,700号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

10

【0096】

アノード排出物は、水性ガスシフトおよび互いからの成分の分離を含む、様々なガス処理の選択肢を受けることができる。

【0097】

カソードインレットおよびアウトプット

従来、溶融カーボネート燃料電池は、アノードに送達される燃料流における燃料のいくらかの部分を消費しながら、所望の負荷を引き出すことに基づいて作動されることができる。次いで、燃料電池の電圧は、負荷、アノードへの燃料インプット、カソードに提供される空気および CO_2 、ならびに燃料電池の内部抵抗によって決定することができる。カソードへの CO_2 は、従来、カソードインプット流の少なくとも一部分としてアノード排出物を使用することによって、部分的に提供されることができる。対照的に、本発明はアノードインプットおよびカソードインプットのための別々の異なる供給源を使用することができる。アノードインプットフローおよびカソードインプットフローの組成物のいずれの直接的な関連も除去することによって、追加的な選択肢は、燃料電池を作動するために利用可能になり、例えば、過剰量の合成ガスを発生させ、二酸化炭素の捕捉を改善し、および/または特に、燃料電池の全体効率（電気および化学動力）を改善する。

20

【0098】

溶融カーボネート燃料電池において、燃料電池における電解質を通るカーボネートイオンの輸送は、第1のフローパスから第2のフローパスへ CO_2 を輸送し、より低い濃度（カソード）からより高い濃度（アノード）への輸送を可能にし、したがって、 CO_2 の捕捉を促進することができる方法を提供することができる。 CO_2 分離のための燃料電池の選択性の一部分は、電池が電力を発生させることを可能にする電気化学的反応に基づくことができる。燃料電池内での電気化学的反応に効果的に関与しない非反応性種（例えば、 N_2 ）に関して、反応およびカソードからアノードまでの輸送に重要ではない量が存在することができる。対照的に、カソードとアノードとの間のポテンシャル（電圧）差は、燃料電池を通して強い推進力をカーボネートイオンの輸送に提供することができる。その結果、溶融カーボネート燃料電池中のカーボネートイオンの輸送は、比較的高選択性で、 CO_2 が、カソード（より低い CO_2 濃度）からアノード（より高い CO_2 濃度）まで輸送されることを可能にする。しかしながら、二酸化炭素除去のために溶融カーボネート燃料電池を使用することにおける課題は、燃料電池が比較的希薄なカソード供給から二酸化炭素を除去するために限られた能力を有するということであり得る。約2.0体積%未満まで CO_2 濃度が低下すると、カーボネート燃料電池によって発生する電圧および/または動力は急速に低下を開始することができる。さらに CO_2 濃度が、例えば、約1.0体積%未満まで低下すると、ある点で、燃料電池の電圧は、カーボネートの輸送がほとんど生じないか、またはもはや生じず、燃料電池が機能を停止するほど十分に低くなることができる。したがって、少なくともいくつかの CO_2 は、場合により、商業的に実行可能な作動条件で燃料電池のカソード段階からの排出物ガスに存在する。

30

40

【0099】

50

燃料電池カソードに送達される二酸化炭素の量は、カソードインレットのための供給源の CO_2 含有量に基づいて決定することができる。カソードインพุットフローとしての使用のために適切な CO_2 含有流の一例は、燃焼供給源からのアウトプットまたは排出物フローであることができる。燃焼供給源の例には、限定されないが、天然ガスの燃焼、石炭の燃焼、および／または他の炭化水素型燃料（生物学的に誘導された燃料を含む）の燃焼に基づく供給源が含まれる。追加的、または代替りの供給源には、他の種類の煮沸器、燃焼された加熱器、炉、および／または別の物質（例えば、水または空気）を加熱するために炭素含有燃料を燃焼させる他の種類のデバイスを含むことができる。第1の概算に対して、燃焼供給源からアウトプットフローの CO_2 含有量は、フローの少数部分であることができる。より高い CO_2 含有量排出物フロー、例えば、石炭燃焼供給源からのアウトプットに関して、ほとんどの商業的な石炭燃焼発電所からの CO_2 含有量は、約15体積%以下であることができる。より一般に、燃焼供給源からアウトプットまたは排出物フローの CO_2 含有量は、少なくとも約1.5体積%、例えば、少なくとも約1.6体積%、少なくとも約1.7体積%、少なくとも約1.8体積%、少なくとも約1.9体積%、少なくとも約2体積%、少なくとも約4体積%、少なくとも約5体積%、少なくとも約6体積%、または少なくとも約8体積%であることができる。追加的に、または代替りとして、燃焼供給源からアウトプットまたは排出物フローの CO_2 含有量は、約20体積%以下、例えば、約15体積%以下、約12体積%以下、約10体積%以下、約9体積%以下、約8体積%以下、約7体積%以下、約6.5体積%以下、約6体積%以下、約5.5体積%以下、約5体積%以下、または約4.5体積%以下であることができる。上記で示される濃度は、乾燥基準である。なお、より低い CO_2 含有量値は、いくつかの天然ガスまたはメタン燃焼供給源、例えば、排出物ガスリサイクルループを含んでもよいが、または含まなくてもよい発電システムの一部である発電機からの排出物において存在することができる。

10

20

【0100】

カソードインพุット流のための他の潜在的な供給源は、生物的に生じた CO_2 の供給源を追加的に、または代替りとして含むことができる。これは、例えば、バイオ誘導化合物の処理の間に発生する CO_2 、例えば、エタノール生成の間に発生する CO_2 を含むことができる。追加的または代替りの例は、生物的に生じた燃料の燃焼、例えば、リグノセルロースの燃焼によって発生する CO_2 を含むことができる。さらに他の追加的または代替りの潜在的な CO_2 供給源は、様々な工業プロセスからのアウトプットまたは排気物流、例えば、鉄鋼、セメントおよび／または紙の製造のためにプラントによって発生する CO_2 含有流に相当することができる。

30

【0101】

CO_2 のさらに別の追加的または代替りの潜在的な供給源は、燃料電池からの CO_2 含有流であることができる。燃料電池からの CO_2 含有流は、異なる燃料電池からのカソードアウトプット流、異なる燃料電池からのアノードアウトプット流、カソードアウトプットから燃料電池のカソードインพุットへのリサイクル流、および／またはアノードアウトプットから燃料電池のカソードインพุットへのリサイクル流に相当することができる。例えば、従来の条件で独立モードで作動されたMFCは、少なくとも約5体積%の CO_2 濃度を有するカソード排出物を発生させることができる。そのような CO_2 含有カソード排出物は、本発明の態様によって作動されるMFCのためのカソードインพุットとして使用することができる。より一般に、カソード排出物から CO_2 アウトプットを発生させる他の種類の燃料電池を、追加的に、または代替りとして使用することができ、ならびに他の種類の CO_2 含有流が、「燃焼」反応によって、および／または燃焼発電機によって発生しない。任意に、しかし好ましくは、別の燃料電池からの CO_2 含有流は、別の溶融カーボネート燃料電池からであることができる。例えば、カソードに関して直列に連結される溶融カーボネート燃料電池に関して、第1の溶融カーボネート燃料電池のカソードからのアウトプットを、第2の溶融カーボネート燃料電池のカソードへのインพุットとして使用することができる。

40

50

【 0 1 0 2 】

燃焼供給源以外の供給源からの様々な種類の CO_2 含有流に関して、流れの CO_2 含有量は広範囲に変動することができる。カソードへのインプット流の CO_2 含有量は、少なくとも約2体積%、例えば、少なくとも約4体積%、少なくとも約5体積%、少なくとも約6体積%、または少なくとも約8体積%の CO_2 を含有することができる。追加的に、または代わりとして、カソードへのインプット流の CO_2 含有量は、約30体積%以下、例えば、約25体積%以下、約20体積%以下、約15体積%以下、約10体積%以下、約8体積%以下、約6体積%以下、または約4体積%以下であることができる。いくつかのさらにより高い CO_2 含有量流に関して、 CO_2 含有量は、約30体積%より高いことができ、例えば、流れは、 CO_2 と、他の化合物の重要ではない量のみから実質的に構成される。一例として、排出物ガスリサイクルのないガス燃焼タービンは、約4.2体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。EGRによって、ガス燃焼タービンは、約6～8体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。メタンの化学量論的な燃焼は、約11体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。石炭の燃焼は、約15～20体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。精製装置オフガスを使用する燃焼加熱器は、約12～15体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。いずれのEGRも用いない、低BTUガスにおいて作動されるガスタービンは、約12体積%の CO_2 含有量を有する排出物流を生じることができる。

10

【 0 1 0 3 】

CO_2 に加えて、カソードインプット流は、カソード反応のために必要な成分を提供するために、 O_2 を含まなければならない。いくつかのカソードインプット流は、成分として空気を有することに基づくことができる。例えば、燃焼排出物流は、空気の下で、炭化水素燃料を燃焼させることによって形成することができる。そのような燃焼排出物流、または別の種類の空気の含有に基づく酸素含有量を有するカソードインプット流は、約20体積%以下、例えば約15体積%以下、または約10体積%以下の酸素含有量を有することができる。追加的に、または代わりとして、カソードインプット流の酸素含有量は、少なくとも約4体積%、例えば少なくとも約6体積%、または少なくとも約8体積%であることができる。より一般に、カソードインプット流は、カソード反応を実行するために適切な酸素の含有量を有することができる。いくつかの態様において、これは、約5体積%～約15体積%、例えば、約7体積%～約9体積%の酸素含有量に相当することができる。多くの種類のカソードインプット流に関して、 CO_2 および O_2 の組み合わせられた量は、インプット流の約21体積%未満、例えば、流れの約15体積%未満または流れの約10体積%未満に相当することができる。酸素を含有する空気流を、低酸素含有量を有する CO_2 供給源と組み合わせることができる。例えば、石炭を燃焼させることによって発生する排出物流は、カソードインレット流を形成するために空気と混合することができる低酸素含有量を含んでもよい。

20

30

【 0 1 0 4 】

CO_2 および O_2 に加えて、カソードインプット流は、 N_2 、 H_2O および他の典型的な酸化剤(空気)成分などの不活性/非反応性な種から構成されることもできる。例えば、燃焼反応からの排出物から誘導されるカソードインプットに関して、燃焼反応のために酸化剤供給源の一部として空気が使用される場合、排出物ガスは、空気の典型的な成分、例えば、 N_2 、 H_2O および空気に存在する少量の他の化合物を含むことができる。燃焼反応のための燃料供給源の性質次第で、燃料供給源に基づく燃焼の後に存在する追加的な種としては、 H_2O 、窒素(NO_x)および/または硫黄(SO_x)の酸化物、ならびに燃料に存在し、および/または燃料に存在する部分的もしくは完全燃焼生成物、例えば、 CO である他の化合物の1つ以上が含まれ得る。これらの種は、全体的なカソード活性を低下させ得るが、カソード触媒表面を損なわない量で存在し得る。そのような性能の低下は容認可能であり得、またはカソード触媒と相互作用する種は、既知の汚染物質除去技術によって容認可能な濃度まで低下され得る。

40

50

【 0 1 0 5 】

カソードインプット流（例えば、燃焼排出物をベースとするインプットカソード流）に存在する O_2 の量は、都合よく、燃料電池においてカソード反応のために必要とされる酸素を提供するために十分であることができる。したがって、 O_2 の体積パーセントは、都合よく、排出物の CO_2 の量の少なくとも0.5倍であることができる。任意に、必要に応じて、追加的な空気は、カソード反応のために十分な酸化剤を提供するために、カソードインプットに添加されることができる。いくつかの形態の空気が酸化剤として使用される場合、カソード排出物中の N_2 の量は、少なくとも約78体積%、例えば少なくとも約88体積%、および/または約95体積%以下であることができる。いくつかの態様において、カソードインプット流は、汚染物質として一般に見られる化合物、例えば、 H_2S または NH_3 を追加的に、または代わりとして含有することができる。他の態様において、カソードインプット流は、そのような汚染物質の含有量を低下させるか、または最小化するためにクリーン化されることができる。

10

【 0 1 0 6 】

電解質を通る輸送のためにカーボネートイオンを形成する反応に加えて、カソードにおける条件は、酸化窒素から硝酸塩および/または硝酸塩イオンへの変換のために適切であることもできる。以下、便宜のために硝酸塩イオンのみが記載される。得られる硝酸塩イオンも、アノードにおける反応のために電解質を通して輸送されることができる。カソードインプット流の NO_x 濃度は、典型的にppmのオーダーであることができるため、この硝酸塩輸送反応は、電解質を通して輸送されるカーボネートの量に対して最小限の影響を有することができる。しかしながら、 NO_x 除去のこの方法は、 NO_x 排出を低下させる機構を提供することができるため、ガスタービンからの燃焼排出物をベースとするカソードインプット流に関して有利であることができる。カソードにおける条件は、（カソードインプット流の O_2 と組み合わせて）未燃焼炭化水素から典型的な燃焼生成物、例えば、 CO_2 および H_2O への変換のために、追加的に、または代わりとして適切であることができる。

20

【 0 1 0 7 】

M C F C の作動のための適切な温度は、約450 ~ 約750、例えば、少なくとも約500、例えば、約550のインレット温度および約625のアウトレット温度であることができる。カソードに入る前に、必要に応じて、例えば、他のプロセス、例えば、アノードのために燃料インプットを改質するプロセスに熱を提供するため、熱を燃焼排出物に添加するか、またはそれから除去することができる。例えば、カソードインプット流のための供給源が燃焼排出物流である場合、燃焼排出物流は、カソードインレットのための所望の温度より高い温度を有してもよい。そのような態様において、カソードインプット流としての使用の前に、熱を燃焼排出物から除去することができる。あるいは、燃焼排出物は、例えば、石炭燃焼煮沸器の湿式ガススクラバーの後、非常に低温である可能性があり、そのような場合、燃焼排出物は約100未満であることができる。

30

【 0 1 0 8 】

溶融カーボネート燃料電池の作動

いくつかの態様において、燃料電池は、単回通過または貫流モードで作動されてよい。単回通過モードにおいては、アノード排出物の改質された生成物はアノードインレットに戻されない。したがって、アノードアウトプットから直接、アノードインレットに合成ガス、水素またはいくつかの他の生成物をリサイクルすることは、単回通過作動では行われない。より一般に、単回通過作動において、アノード排出物の改質された生成物は、例えば、その後アノードインレットに導入された燃料流を処理するために改質された生成物を用いることによって、アノードインレットに間接的にも戻されない。任意に、アノードアウトレットからの CO_2 は、単回通過モードのM C F C の作動の間、カソードインレットにリサイクルされることができる。より一般に、いくつかの別の態様において、アノードアウトレットからカソードインレットへのリサイクルは、単回通過モードで作動するM C F C に関して生じてよい。アノード排出物またはアウトプットからの熱は、単回通過モ

40

50

ードにおいて追加的に、または代わりとしてリサイクルされてもよい。例えば、アノードアウトプットフローは熱交換器を通過してもよく、そこでは、アノードアウトプットは冷却されて、別の流れ、例えばアノードおよび/またはカソードのためのインプット流が加温される。アノードから燃料電池まで熱をリサイクルすることは、単回通過または貫流モード作動における使用と調和する。任意に、しかし好ましくはないが、アノードアウトプットの成分は、単回通過モードの間、燃料電池に熱を提供するために燃焼されてもよい。

【0109】

図4は、電力の発生のためのMCFCの作動の概略的实施例を示す。図4中、燃料電池のアノード部分は、インプットとして燃料および蒸気(H_2O)を受け取ることができ、水、 CO_2 、ならびに任意に過剰量の H_2 、 CH_4 (または他の炭化水素)および/または10 CO がアウトプットである。燃料電池のカソード部分は、インプットとして CO_2 およびいくつかの酸化剤(例えば、空気/ O_2)を受け取ることができ、アウトプットは O_2 欠乏酸化剤(空気)における減少した量の CO_2 に相当する。燃料電池内で、カソードサイドで形成される CO_3^{2-} イオンは電解質を通して輸送されることができ、アノードで生じる反応のために必要とされるカーボネートイオンを提供することができる。

【0110】

図4に示される実施例の燃料電池などの溶融カーボネート燃料電池内で、いくつかの反応が生じることができる。改質反応は任意であることができ、十分な H_2 がアノードに直接提供される場合、減少させるか、または排除することができる。以下の反応は CH_4 を20 ベースとするが、他の燃料が燃料電池で使用される場合、同様の反応が生じることができる。

- (1) <アノード改質> $CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO$
- (2) <水性ガスシフト> $CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$
- (3) <組み合わせられた改質および水性ガスシフト> $CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$
- (4) <アノード H_2 酸化> $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$
- (5) <カソード> $1/2O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$

【0111】

反応(1)は、燃料電池のアノードにおける使用のために H_2 を発生させるための基本的な炭化水素改質反応を表す。反応(1)で形成される CO は、水性ガスシフト反応(2)30 によって、 H_2 に変換されることができる。反応(1)および(2)の組み合わせは、反応(3)として示される。反応(1)および(2)は、燃料電池の外部で生じることができ、および/または改質はアノードの内部で実行することができる。

【0112】

反応(4)および(5)は、それぞれアノードおよびカソードにおいて、燃料電池内で電力発生をもたらすことができる反応を表す。反応(4)は、供給に存在するか、または反応(1)および/もしくは(2)によって任意に発生する H_2 をカーボネートイオンと組み合わせ、 H_2O 、 CO_2 および回路への電子を形成する。反応(5)は、 O_2 、 CO_2 および回路からの電子を組み合わせ、カーボネートイオンを形成する。反応(5)によって発生するカーボネートイオンは、反応(4)のために必要とされるカーボネートイオン40 を提供するために、燃料電池の電解質を通して輸送されることができる。電解質を通るカーボネートイオンの輸送と組み合わせ、閉じた電流ループが、アノードとカソードとの間の電気接続を提供することによって、次いで形成されることができる。

【0113】

様々な実施形態において、燃料電池を作動する目標は、燃料電池の全体の効率、および/または燃料電池と、集積化された化学合成プロセスの全体の効率を改善することであり得る。これは、目標が、電力の発生のために電池に提供される燃料を使用するための高電気効率を有する燃料電池を作動することであり得る、従来の燃料電池の作動とは典型的に対照的である。上記で定義されるように、全体の燃料電池効率は、燃料電池の電気アウトプットおよび燃料電池アウトプットの低位発熱量を、燃料電池のためのインプット成分の50

低位発熱量によってわることによって決定され得る。言い換えると、 $TFCE = (LHV(e1) + LHV(sg out)) / LHV(in)$ であり、式中、 $LHV(in)$ および $LHV(sg out)$ は、燃料電池に送達された燃料成分（例えば、 H_2 、 CH_4 および/または CO ）、ならびにアノードアウトレット流またはフローの合成ガス（ H_2 、 CO および/または CO_2 ）の LHV を指す。これは、燃料電池および/または集積化された化学プロセスによって発生する電気エネルギーおよび化学エネルギーの尺度を提供することができる。なお、全効率のこの定義の下、燃料電池内で使用され、かつ/または集積化された燃料電池/化学合成システム内で使用される熱エネルギーは、全効率に寄与することができる。しかしながら、交換されるか、あるいはその他の場合には燃料電池または集積化された燃料電池/化学合成システムから回収されるいずれの過剰量の熱も、この定義から排除される。したがって、燃料電池からの過剰量の熱が、例えば、蒸気タービンによる発電のために蒸気を発生させるために使用される場合、そのような過剰量の熱は全効率の定義から排除される。

10

【0114】

いくつかの操作パラメーターは、過剰量の改質可能燃料によって燃料電池を作動するために修正されてもよい。いくつかのパラメーターは、燃料電池作動に現在推奨されるものと同様であることができる。いくつかの態様において、燃料電池へのカソード条件および温度インプットは、文献で推奨されるものと同様であることができる。例えば、所望の電気効率および所望の全燃料電池効率は、溶融カーボネート燃料電池のために典型的な燃料電池動作温度の範囲で達成され得る。典型的な作動において、燃料電池を通して温度を増加させることができる。

20

【0115】

他の態様において、燃料電池が、アノードインレットからアノードアウトレットへ、および/またはカソードインレットからカソードアウトレットへの温度低下を可能にするように作動されるように、燃料電池の操作パラメーターは、典型的な条件から逸脱することができる。例えば、炭化水素を H_2 および CO に変換する改質反応は、吸熱性反応である。電流を発生させる水素の酸化の量と比較して、十分な量の改質が燃料電池アノードで実行される場合、燃料電池における正味の熱バランスは吸熱性であることができる。これは、燃料電池のインレットとアウトレットとの間での温度低下を生じることができる。吸熱性作動の間、燃料電池において電解質が溶融状態で残存するように、燃料電池の温度低下は制御されることができる。燃料電池を通して温度低下がある溶融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,704号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

30

【0116】

現在推奨されるものとは異なるようにする方法で修正することができるパラメーターには、アノードに提供される燃料の量、アノードに提供される燃料の組成、ならびに/あるいはアノード排出物からアノードインプットまたはカソードインプットのいずれかへの合成ガスの有意なリサイクルを伴わないアノードアウトプットの合成ガスの分離および捕捉を含むことができる。いくつかの態様において、アノード排出物からのアノードインプットまたはカソードインプットのいずれかへの合成ガスまたは水素のリサイクルは、直接的に、または間接的に生じさせないことが可能である。追加的または別の態様において、リサイクルの限定的な量、例えば、アノード排出物の約10体積%未満、例えば、約5体積%未満、または約1体積%未満は生じることができる。

40

【0117】

追加的に、または代わりとして、燃料電池を作動する目標は、電力の発生を可能にすることに加えて、燃焼反応または CO_2 アウトプット流れを生じる別のプロセスのアウトプット流から CO_2 を分離することであり得る。そのような態様において、組み合わせられた発電機/燃料電池システムによって発生する大部分の動力を提供することができる、1つ以上の発電機またはタービンに動力を供給するために、燃焼反応を使用することができる。燃料電池による発電を最適化するために燃料電池を作動するよりも、このシステムは

50

その代わりに、二酸化炭素を捕捉するために必要とされる燃料電池の数を減少させるか、または最小化しながら、燃烧動力発電機からの二酸化炭素の捕捉を改善するために作動されることができる。燃料電池のインプットおよびアウトプット動力フローのために適切な構成を選択すること、ならびに燃料電池のために適切な作動条件を選択することによって、全効率および炭素捕捉の望ましい組み合わせを可能にすることができる。

【0118】

いくつかの実施形態において、燃料電池アレイの燃料電池は、燃料電池（例えば、燃料電池積層）の単一段階のみが存在するように配置することができる。この種類の実施形態において、単一段階の間のアノード燃料利用は、アレイのアノード燃料利用を表すことができる。別の選択肢は、燃料電池アレイが、アノードの複数段階およびカソードの複数段階を含有することができることであり、それぞれのアノード段階は同範囲内の燃料利用を有し、例えば、それぞれのアノード段階は、明示された値の10%以内、例えば、明示された値の5%以内の燃料利用を有する。さらに別の選択肢は、それぞれのアノード段階が、明示された値と同等または明示された値未満の燃料利用を有することができることであり、例えば、それぞれのアノード段階は、10%以下、例えば、5%以下だけ明示された値より大きくない。実例となる実施例として、複数のアノード段階を有する燃料電池アレイは、50%燃料利用の約10%の範囲内であるそれぞれのアノード段階を有することができ、これは、約40%～約60%の燃料利用を有するそれぞれのアノード段階に相当する。他の例として、複数の段階を有する燃料電池アレイは、最大偏差が約5%未満で、60%アノード燃料利用より高くないそれぞれのアノード段階を有することができ、これは、約55%～約60%の燃料利用を有するそれぞれのアノード段階に相当する。さらに別の実施例において、燃料電池アレイの燃料電池の1つ以上の段階は、約30%～約50%の燃料利用で作動されることができ、例えば、約30%～約50%の燃料利用でアレイにおいて複数の燃料電池段階が作動される。より一般に、上記の種類の範囲のいずれも、本明細書に明示されるアノード燃料利用値のいずれとも組み合わせることができる。

【0119】

さらに別の追加的または代わりの選択肢は、全てではないアノード段階に関する燃料利用を明示することを含むことができる。例えば、本発明のいくつかの態様において、燃料電池/積層は、1つ以上の直列配列で少なくとも部分的に配置されることができ、アノード燃料利用は、直列の第1のアノード段階、直列の第2のアノード段階、直列の最終的なアノード段階、または直列の他のいずれかの都合のよいアノード段階のために明示されることができる。本明細書で使用される場合、直列の「第1の」段階は、インプットが燃料供給源から直接供給される段階（または配列が同様に並列の段階を含有する場合、段階の組み合わせ）に相当し、その後の（「第2の」、「第3の」、「最終的な」など）段階は、それぞれの燃料供給源から直接の代わりに、1つ以上の前の段階からのアウトプットが供給される段階を表す。前の段階からのアウトプットおよび燃料供給源からの直接インプットの両方が段階に同時供給される状況において、「第1の」（組み合わせの）段階および「最後の」（組み合わせの）段階が存在することができるが、他の段階（「第2の」、「第3の」など）は、その中で順番を確立するために、より慎重を要することができる（例えば、そのような場合、順番は、複合インプット供給組成物における1つ以上の成分、例えばCO₂の濃度によって、最も高い濃度「第1」から最も低い濃度「最後」まで決定されることができ、ほぼ同様の組成差が同様の順番を表す）。

【0120】

さらに別の追加的または代わりの選択肢は、特定のカソード段階に相当するアノード燃料利用を明示することであり得る（再び、燃料電池/積層が1つ以上の直列配列で少なくとも部分的に配置されることができる）。上記の通り、アノードおよびカソード内のフローの方向に基づいて、第1のカソード段階は、（同一燃料電池膜を通して）第1のアノード段階に相当しなくてもよい。したがって、本発明のいくつかの態様において、アノード燃料利用は、直列の第1のカソード段階、直列の第2のカソード段階、直列の最終的なカ

10

20

30

40

50

ソード段階、または直列の他のいずれかの都合のよいカソード段階のために明示されることができる。

【0121】

なおさらに別の追加的または代替りの選択肢は、燃料電池アレイの全燃料電池における燃料利用の全平均を明示することであり得る。様々な態様において、燃料電池アレイのための燃料利用の全平均は、約65%以下、例えば、約60%以下、約55%以下、約50%以下または約45%以下であることができる（追加的に、または代替りとして、燃料電池アレイのための全平均燃料利用は、少なくとも約25%、例えば、少なくとも約30%、少なくとも約35%または少なくとも約40%であることができる）。そのような平均燃料利用は、燃料電池のアレイが所望の燃料利用を満たす限り、いずれかの単一段階における燃料利用を必ずしも限定する必要はない。

10

【0122】

集積化実施例（Integration Example）：燃焼タービンとの集積化のための用途

様々な態様において、ガスタービンなどの燃焼供給源からの排出物を、上記されるようなHRSGシステムの構造の一部として組み込まれるMFCに通過させることができる。好ましくは、ガスタービンは、追加的な効率のために蒸気発生および熱回収と集積化された複合サイクルモードにおいて、天然ガス、メタンガスまたは他の炭化水素ガスを燃焼させることができる。現代の天然ガス複合サイクル効率率は、最大および最新の設計に関して、約60%である。得られるCO₂含有排出物ガス流は、MFC作動との適合性を有する高温、例えば、300～700、好ましくは500～650で生成することができる。燃料ガス供給源は、任意であるが、好ましくは、タービンに入る前に、MFCに悪影響を及ぼす可能性のある硫黄などの汚染物質をクリーニングすることができる。あるいは、ガス供給源は、排出物ガスが典型的に、排出物ガスの汚染物質のより高い濃度のため、燃焼後にクリーニングされる石炭燃焼発電機であることができる。そのような代替案において、ガスへのノガスからのいくつかの熱交換は、より低い温度でのクリーンアップを可能にするために必要とされてもよい。追加的または代替りの実施形態において、CO₂含有排出物ガスの供給源は、煮沸器、燃焼室、または炭素の豊富な燃料を燃焼させる熱供給源からのアウトプットであることができる。他の追加的または代替りの実施形態において、CO₂含有排出物ガスの供給源は、他の供給源と組み合わせた生物学的に生成されたCO₂であることができる。

20

30

【0123】

燃焼供給源との集積化のために、燃料電池アノードの処理のためのいくつかの他の構成が望ましくなることができる。例えば、他の構成が、燃料電池アノードからの排出物の少なくとも一部分を燃料電池アノードのインプットにリサイクルすることであり得る。MFCアノードからのアノードアウトプット流には、主なアウトプット成分として、H₂O、CO₂、任意にCO、および任意であるが、典型的に未反応の燃料（例えば、H₂またはCH₄）が含まれることができる。別のプロセスとの集積化のための外部燃料流および/またはインプット流として、このアウトプット流を使用する代わりに、1つ以上の分離を、潜在的燃料価を有する成分、例えば、H₂またはCOからCO₂を分離するために、アノードアウトプット流において実行することができる。次いで、燃料価を有する成分は、アノードのインプットへとリサイクルすることができる。

40

【0124】

この種類の構成は、1つ以上の利点を提供することができる。第1に、低温CO₂分離器を使用することなどにより、CO₂をアノードアウトプットから分離することができる。アノードアウトプットの成分のいくつか（H₂、CO、CH₄）は容易に凝縮可能な成分ではないが、CO₂およびH₂Oは、凝縮された相として個々に分離することができる。実施形態次第で、アノードアウトプットのCO₂の少なくとも約90体積%を分離することができ、比較的高純度のCO₂アウトプット流を形成することができる。あるいは、いくつかの態様において、より少ないCO₂をアノードアウトプットから除去することができ、アノードアウトプットのCO₂の約50体積%～約90体積%、例えば約80体積

50

%以下、または約70体積%以下を分離することができる。分離後、アノードアウトプットの残りの部分は、主として燃料価を有する成分、ならびに CO_2 および/または H_2O の減少した量に相当することができる。分離後のアノードアウトプットのこの部分は、追加的な燃料に加えて、アノードインプットの一部分として使用するためにリサイクルすることができる。この種類の構成において、MFCを通る単回通過の燃料利用が低いとしても、未使用の燃料は、アノードを通る別の通過のために都合よくリサイクルされることができる。その結果、単回通過燃料利用は減少されたレベルであることができるが、一方、環境への未燃焼燃料の損失(排出)を回避することができる。

【0125】

アノード排出物の一部分をアノードインプットへリサイクルすることの追加的に、または代わりに、別の構成の選択肢は、タービン、あるいは煮沸器、炉および/または燃焼加熱器などの他の燃焼デバイスの燃焼反応のためのインプットとして、アノード排出物の一部分を使用することであり得る。アノードインプットにリサイクルされ、および/または燃焼デバイスへのインプットとしてのアノード排出物の相対的な量は、いずれかの都合のよい、または望ましい量であることができる。アノード排出物がアノードインプットおよび燃焼デバイスの1つのみにリサイクルされる場合、リサイクルの量は、いずれかの都合のよい量であることもでき、例えば、 CO_2 および/または H_2O を除去するためのいずれかの分離の後に残留するアノード排出物の100%までの部分であることができる。アノード排出物の一部分が、アノードインプットおよび燃焼デバイスにリサイクルされる場合、定義による全体のリサイクルされた量は、アノード排出物の残留部分の100%以下であることができる。その他の場合、アノード排出物のいずれの都合のよい分割も使用することができる。本発明の様々な実施形態において、アノードインプットへのリサイクルの量は、分離後に残留するアノード排出物の少なくとも約10%、例えば、少なくとも約25%、少なくとも約40%、少なくとも約50%、少なくとも約60%、少なくとも約75%、または少なくとも約90%であることができる。追加的に、または代わりとして、それらの実施形態において、アノードインプットへのリサイクルの量は、分離後に残留するアノード排出物の約90%以下、例えば、約75%以下、約60%以下、約50%以下、約40%以下、約25%以下または約10%以下であることができる。さらに追加的に、または代わりとして、本発明の様々な実施形態において、燃焼デバイスへのリサイクルの量は、分離後に残留するアノード排出物の少なくとも約10%、例えば、少なくとも約25%、少なくとも約40%、少なくとも約50%、少なくとも約60%、少なくとも約75%、または少なくとも約90%であることができる。追加的に、または代わりとして、それらの実施形態において、燃焼デバイスへのリサイクルの量は、分離後に残留するアノード排出物の約90%以下、例えば、約75%以下、約60%以下、約50%以下、約40%以下、約25%以下、または約10%以下であることができる。排出物ガスリサイクルを伴う溶融カーボネート燃料電池の作動に関連する追加的な詳細は、例えば、米国特許出願第14/207,688号明細書に見出すことができ、その関連する内容は、本明細書に参照によって組み込まれる。

【0126】

本発明のさらに他の態様において、燃焼デバイスのための燃料は、追加的に、または代わりとして、不活性であり、かつ/またはその他の場合には、燃料中で希釈剤として作用する成分の高められた量を有する燃料であることができる。 CO_2 および N_2 は、燃焼反応の間、比較的の不活性であることができる天然ガス供給の成分の一例である。燃料供給における不活性成分の量が十分なレベルに達する場合、タービンまたは他の燃焼供給源の性能に影響を与えることができる。この影響は、部分的に、燃焼反応をクエンチする傾向のある可能性がある熱を吸収する不活性成分の能力によるものであることができる。十分なレベルの不活性成分を有する燃料供給の例には、少なくとも約20体積%の CO_2 を含有する燃料供給、または少なくとも約40体積%の N_2 を含有する燃料供給、または同様のクエンチ能力を提供するために十分な不活性熱容量を有する CO_2 および N_2 の組み合わせを含有する燃料供給を含むことができる。(なお、 CO_2 は N_2 より大きい熱容量を有

し、したがって、より低濃度の CO_2 は、より高濃度の N_2 と同様の影響を有することができる。) CO_2 は、 N_2 より容易に燃焼反応に関与することもでき、その際、燃焼から H_2 を除去する。 H_2 のこのような消費は、火炎速度を低下させて、空気と燃料混合物の可燃性範囲を限定することによって、燃料の燃焼への大きい影響を有することができる。) より一般に、燃料供給の可燃性に影響を与える不活性成分を含有する燃料供給に関して、燃料供給の不活性成分は、少なくとも約20体積%、例えば、少なくとも約40体積%、少なくとも約50体積%、または少なくとも約60体積%であることができる。好ましくは、燃料供給の不活性成分の量は、約80体積%以下であることができる。

【0127】

不活性成分の十分な量が燃料供給に存在する場合、得られる燃料供給は、供給の燃料成分に関する可燃性領域の外にあることができる。この種類の状態において、アノード排出物のリサイクルされた部分から発電機のための燃焼領域への H_2 の添加は、燃料供給および H_2 の組み合わせに関する可燃性領域を拡張することができ、これによって、例えば、少なくとも約20体積%の CO_2 または少なくとも約40体積%の N_2 （または CO_2 および N_2 の他の組み合わせ）を含有する燃料供給が首尾よく燃焼されることが可能となる。

【0128】

燃焼領域に送達される燃料供給および H_2 の全容量と比較して、可燃性領域を拡張するための H_2 の量は、燃料供給および H_2 の全容量の少なくとも約5体積%、例えば、少なくとも約10体積%、および/または約25体積%以下であることができる。可燃性領域を拡張するために添加する H_2 の量を特徴づけるための別の選択肢は、 H_2 添加前に燃料供給に存在する燃料成分の量に基づくことができる。燃料成分は、メタン、天然ガス、他の炭化水素および/または従来から燃焼動力タービンもしくは他の発電機の燃料として見なされる他の成分に相当することができる。燃料供給に添加される H_2 の量は、燃料供給における燃料成分（1：3の H_2 ：燃料成分の比率）の体積の少なくとも約3分の1、例えば、燃料成分の体積の少なくとも約半分（1：2の比率）に相当することができる。追加的に、または代わりとして、燃料供給に添加される H_2 の量は、燃料供給における燃料成分の体積とほぼ同等（1：1の比率）以下である。例えば、約30体積%の CH_4 、約10体積%の N_2 および約60体積%の CO_2 を含有する供給に関して、約1：2の H_2 対 CH_4 の比率を達成するために、アノード排出物の十分な量を燃料供給に添加することができる。 H_2 のみを含有する理想的なアノード排出物に関して、1：2の比率を達成するための H_2 の添加によって、約26体積%の CH_4 、13体積%の H_2 、9体積%の N_2 および52体積%の CO_2 を含有する供給をもたらすことができる。

【0129】

追加的な実施形態

実施形態1

熱回収蒸気発生器（「HRSG」）内に位置する溶融カーボネート燃料電池を使用して、 CO_2 を低下させるために排出物ガス（又はエキゾーストガス）を処理する方法であって、前記HRSGのインレットを通して、 CO_2 含有排出物ガス（又は CO_2 含有エキゾーストガス）を受け取り、受け取られたガス流を形成することと；前記受け取られたガス流を、前記HRSG内に位置する、複数の溶融カーボネート燃料電池を含む燃料電池スクリーンに通過させ、前記受け取られたガス流よりも少なくとも約50体積%少ない CO_2 を含むカソード排出物ガス（又はカソードエキゾーストガス）を生じさせることであって、前記受け取られたガス流の実質的に全てを前記溶融カーボネート燃料電池のカソード部分に通過させることと；前記カソード排出物ガスを第1の熱交換器に通過させることと；前記カソード排出物ガスを排出物スタックに通過させることとを含む、方法。

【0130】

実施形態2

前記受け取られたガス流を前記燃料電池スクリーンに通過させる前に、前記受け取られたガス流をダクトバーナーに通過させることをさらに含み、前記受け取られたガス流を、

10

20

30

40

50

任意に少なくとも約 4 m / 秒（例えば、少なくとも約 5 m / 秒または少なくとも約 6 m / 秒）の空塔速度（superficial velocity）で前記ダクトパーナーに通過させる、実施形態 1 の方法。

【 0 1 3 1 】

実施形態 3

前記受け取られたガス流を、約 4 m / 秒以下（例えば、約 3 m / 秒以下、約 2 m / 秒以下または約 1 m / 秒以下）の空塔速度で前記燃料電池スクリーンに通過させることをさらに含むか；前記カソード排出物ガスを、少なくとも約 4 m / 秒（例えば、少なくとも約 5 m / 秒または少なくとも約 6 m / 秒）の空塔速度で前記第 1 の熱交換器に通過させることをさらに含むか；前記 H R S G の前記インレットを通して受け取られた前記 C O₂ 含有排出物ガスが、少なくとも約 4 m / 秒（例えば、少なくとも約 5 m / 秒または少なくとも約 6 m / 秒）の空塔速度を有するか；またはそれらの組み合わせを含む、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

10

【 0 1 3 2 】

実施形態 4

前記燃料電池スクリーンが第 1 の層および第 2 の層を含み、かつ前記方法が、前記受け取られたガス流を、前記第 1 の層に通過させる少なくとも第 1 のガス流部分および前記第 2 の層に通過させる第 2 のガス流部分に分割することをさらに含む、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

【 0 1 3 3 】

実施形態 5

前記受け取られたガス流を前記燃料電池スクリーンに通過させる前に、前記受け取られたガス流を第 2 の熱交換器に通過させることをさらに含む、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

20

【 0 1 3 4 】

実施形態 6

前記複数の溶融カーボネート燃料電池が、約 1 5 0 0 m A / m² よりも高い電流密度で作動される、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

【 0 1 3 5 】

実施形態 7

前記受け取られたガス流を、前記複数の溶融カーボネート燃料電池を含む前記燃料電池スクリーンに通過させることが、前記受け取られたガス流よりも少なくとも約 6 0 体積 % 少ない（例えば、少なくとも約 6 5 体積 % 少ない、少なくとも約 7 0 体積 % 少ない、少なくとも約 7 5 体積 % 少ない、または少なくとも約 8 0 体積 % 少ない）C O₂ を含むカソード排出物ガスを生じさせる、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

30

【 0 1 3 6 】

実施形態 8

前記 C O₂ 含有排出物ガスが、ガスタービンからの排出物ガスを含む、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

【 0 1 3 7 】

実施形態 9

前記カソード排出物が、前記第 1 の熱交換器に熱を提供する流路において、前記ガスの実質的に全てを含む、上記実施形態のいずれか 1 つの方法。

40

【 0 1 3 8 】

実施形態 1 0

アノードおよびカソードを含む集積化された溶融カーボネート燃料電池を使用して電気を発生するための熱回収蒸気発生器（「H R S G」）であって、ガス流を受け取るインレットと、前記受け取られたガス流の少なくとも一部分を排出するアウトレットとの間に延在する流路を形成するエンクロージャと；前記流路に延在する 1 つ以上の熱交換器と；前記エンクロージャ内に位置し、かつカソードインレットを有する複数の溶融カーボネート

50

燃料電池を含む燃料電池スクリーンとを含み、前記溶融カーボネート燃料電池の前記カソードインレットが、前記受け取られたガス流の実質的に全てを受け取るように、前記燃料電池スクリーンが前記流路において配向され、前記複数の溶融カーボネート燃料電池が、カソード排出物を前記流路に放出するために前記流路に流動的に暴露される複数のカソードアウトレットをも有する、H R S G。

【 0 1 3 9 】

実施形態 1 1

前記燃料電池スクリーンが、前記 H R S G 内に位置するダクトバーナーの下流および前記 1 つ以上の熱交換器の上流の前記流路に位置する、実施形態 1 0 の H R S G。

【 0 1 4 0 】

実施形態 1 2

前記燃料電池スクリーンが、前記 1 つ以上の熱交換器の上流の前記流路に位置する、実施形態 1 0 または実施形態 1 1 の H R S G。

【 0 1 4 1 】

実施形態 1 3

前記カソード排出物が、前記燃料電池スクリーンの下流の前記 1 つ以上の熱交換器に熱を提供する前記流路において前記ガスの実質的に全てを含む、実施形態 1 2 の H R S G。

【 0 1 4 2 】

実施形態 1 4

前記燃料電池スクリーンの前記エンクロージャの第 1 の断面領域が、前記 1 つ以上の熱交換器が位置する前記第 1 の断面領域の下流の第 2 の断面領域の少なくとも 2 倍である、実施形態 1 2 または実施形態 1 3 の H R S G。

【 0 1 4 3 】

実施形態 1 5

前記燃料電池スクリーンが、前記 1 つ以上の熱交換器の第 1 の熱交換器の下流および前記 1 つ以上の熱交換器の第 2 の熱交換器の上流の前記流路に位置する、実施形態 1 0 または実施形態 1 1 の H R S G。

【 0 1 4 4 】

実施形態 1 6

前記カソード排出物が、前記第 2 の熱交換器に熱を提供する前記流路において前記ガスの実質的に全てを含む、実施形態 1 4 の H R S G。

【 0 1 4 5 】

実施形態 1 7

前記燃料電池スクリーンの前記エンクロージャの第 1 の断面領域が、前記第 2 の熱交換器が位置する前記第 1 の断面領域の下流の第 2 の断面領域の少なくとも 2 倍である、実施形態 1 5 または実施形態 1 6 の H R S G。

【 0 1 4 6 】

実施形態 1 8

前記カソード排出物における CO_2 濃度を、前記受け取られたガス流と比較して、少なくとも約 65% (例えば、少なくとも約 70%、少なくとも約 75% または少なくとも約 80%) 低下させるように前記燃料電池スクリーンの大きさが設定される、実施形態 1 0 ~ 1 7 のいずれか 1 つの H R S G。

【 0 1 4 7 】

実施形態 1 9

前記複数の溶融カーボネート燃料電池が、約 1500 mA/m^2 よりも高い電流密度で作動される、実施形態 1 0 ~ 1 8 のいずれか 1 つの H R S G。

【 0 1 4 8 】

実施形態 2 0

前記燃料電池スクリーンの層が、少なくとも約 5 個の燃料電池スタック (例えば、少なくとも約 10 個の燃料電池スタック、または少なくとも約 20 個の燃料電池スタック) を含む

10

20

30

40

50

、実施形態 10 ~ 19 のいずれか 1 つの H R S G。

【 0 1 4 9 】

実施形態 2 1

前記燃料電池スクリーンの前記複数の溶融カーボネート燃料電池が、溶融カーボネート燃料電池の複数の層を含む、実施形態 10 ~ 20 のいずれか 1 つの H R S G。

【 0 1 5 0 】

実施形態 2 2

前記燃料電池スクリーンの溶融カーボネート燃料電池の前記複数の層が、前記受け取られたガス流の並列処理 (parallel processing) を提供するために流動的に配置される、実施形態 2 1 の H R S G。

10

【 0 1 5 1 】

実施形態 2 3

前記エンクロージャの断面領域が、前記受け取られたガス流に関して、少なくとも約 4 m / 秒 (例えば、少なくとも約 5 m / 秒、または少なくとも約 6 m / 秒) の空塔速度を生じるために提供され; 前記燃料電池スクリーンの前記エンクロージャの断面領域が、前記受け取られたガス流に関して、約 4 m / 秒以下 (例えば、約 3 m / 秒以下、約 2 m / 秒以下、または約 1 m / 秒以下) の空塔速度を生じるために提供されるか、あるいはそれらの組み合わせである、実施形態 10 ~ 22 のいずれか 1 つの H R S G。

【 0 1 5 2 】

実施形態 2 4

第 2 の複数の溶融カーボネート燃料電池を含む第 2 の燃料電池スクリーンをさらに含む、実施形態 10 ~ 23 のいずれか 1 つの H R S G。

20

【 0 1 5 3 】

実施形態 2 5

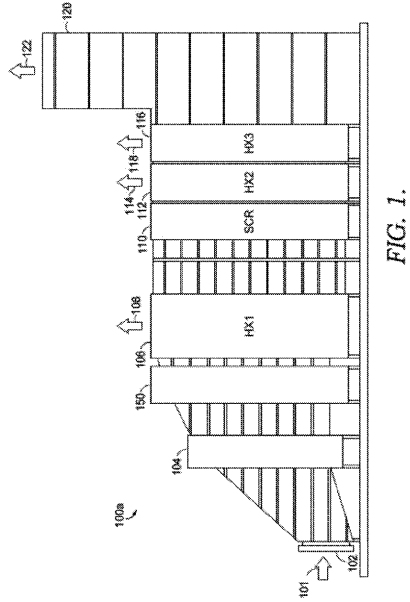
熱回収蒸気発生器内に位置する溶融カーボネート燃料電池を使用して CO_2 を低下させるために排出物ガスを処理する方法であって、実施形態 10 ~ 24 のいずれか 1 つに記載の H R S G を使用して排出物ガスを処理することを含む、方法。

【 0 1 5 4 】

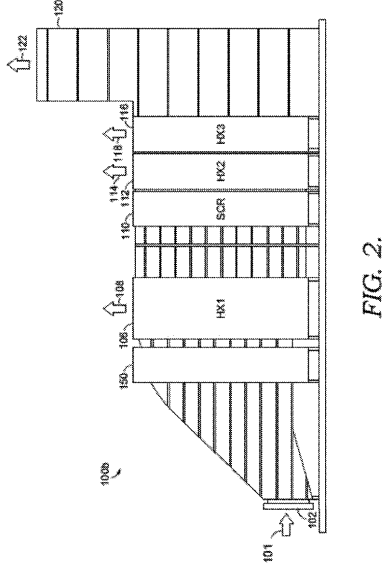
本発明は、特定の実施形態を参照することによって記載および例示されるが、当業者は、本発明が、本明細書に必ずしも例示されていない変形形態に関することを認識するであろう。この理由のために、本発明の真の範囲を決定する目的のためには、添付された請求項のみが参照されなければならない。

30

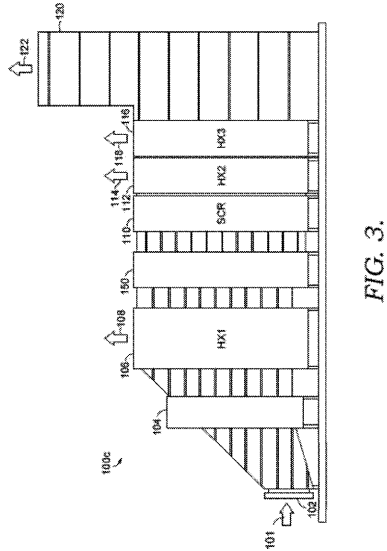
【図 1】



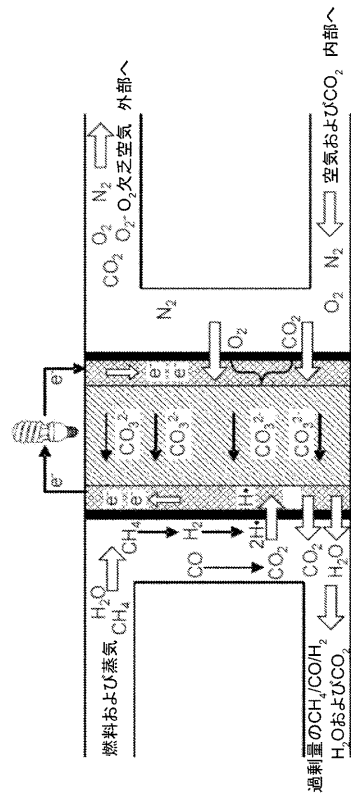
【図 2】



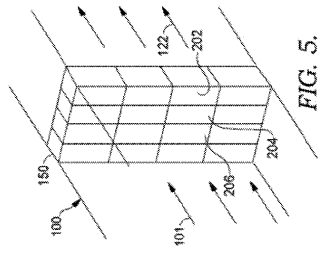
【図 3】



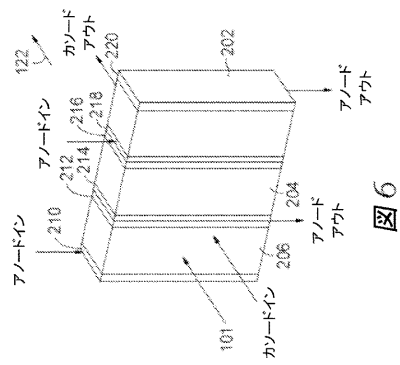
【図 4】



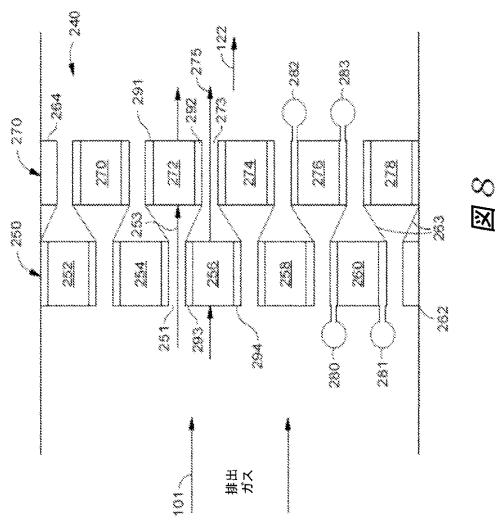
【図 5】



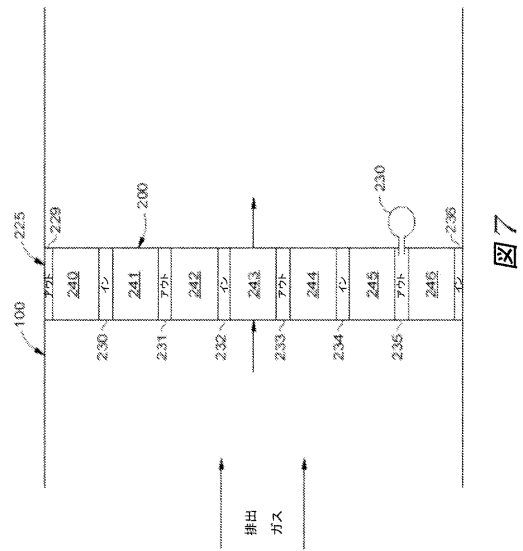
【図 6】



【図 8】



【図 7】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 61/889,757
(32)優先日 平成25年10月11日(2013.10.11)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,691
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,714
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 61/884,605
(32)優先日 平成25年9月30日(2013.9.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,721
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,700
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,726
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,696
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,728
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 61/884,376
(32)優先日 平成25年9月30日(2013.9.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,697
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 61/884,635
(32)優先日 平成25年9月30日(2013.9.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,705
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,708
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,711
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (31)優先権主張番号 14/207,698
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)

- (31)優先権主張番号 14/207,699
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/884,586
(32)優先日 平成25年9月30日(2013.9.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 14/325,664
(32)優先日 平成26年7月8日(2014.7.8)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/884,545
(32)優先日 平成25年9月30日(2013.9.30)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 14/207,693
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 14/207,706
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 14/207,704
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 14/207,710
(32)優先日 平成26年3月13日(2014.3.13)
(33)優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

- (72)発明者 ポール・ジェイ・パーロウィッツ
アメリカ合衆国 0 8 8 2 6 ニュージャージー州グレン・ガードナー、ニコール・テラス 4 番
(72)発明者 ティモシー・アンドリュー・パークホルツ
アメリカ合衆国 0 8 8 8 9 ニュージャージー州ホワイトハウス・ステーション、ジョンソン・ロード 2 2 4 番
(72)発明者 フランク・ハーシュコウィッツ
アメリカ合衆国 0 7 9 2 0 ニュージャージー州バスキング・リッジ、ライオンズ・ロード 5 0 9 番

審査官 藤原 弘

- (56)参考文献 特開平 3 - 2 2 6 9 7 1 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 8 6 0 7 4 (J P , A)
特開平 9 - 1 2 9 2 5 5 (J P , A)
特開平 4 - 1 2 4 6 3 (J P , A)
特表 2 0 0 8 - 5 0 7 1 1 3 (J P , A)
特表 2 0 0 2 - 5 2 9 8 9 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

F 2 3 J 1 5 / 0 0
F 2 2 B 1 / 1 8
H 0 1 M 8 / 0 4