

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6084314号
(P6084314)

(45) 発行日 平成29年2月22日 (2017.2.22)

(24) 登録日 平成29年2月3日 (2017.2.3)

(51) Int. Cl.			F I		
HO 1 M	8/04	(2016.01)	HO 1 M	8/04	Z
HO 1 M	8/0612	(2016.01)	HO 1 M	8/06	G
HO 1 M	8/04746	(2016.01)	HO 1 M	8/04	A
CO 1 B	3/38	(2006.01)	CO 1 B	3/38	
CO 1 B	3/56	(2006.01)	CO 1 B	3/56	Z

請求項の数 5 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-12670 (P2016-12670)
 (22) 出願日 平成28年1月26日 (2016.1.26)
 審査請求日 平成28年7月6日 (2016.7.6)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000220262
 東京瓦斯株式会社
 東京都港区海岸1丁目5番20号
 (74) 代理人 110001519
 特許業務法人太陽国際特許事務所
 (72) 発明者 多久 俊平
 東京都港区海岸一丁目5番20号 東京瓦斯株式会社内

審査官 清水 康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

原料ガスを二酸化炭素改質して生成された改質ガスを用いて発電を行なう第1燃料電池と、

前記第1燃料電池から排出された未反応の前記改質ガスを含むオフガスから二酸化炭素を、ガス供給側からガス透過側へ透過することにより分離する二酸化炭素分離膜と、

前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流に配置され、二酸化炭素が分離された前記オフガスを用いて発電を行なう第2燃料電池と、

前記ガス透過側に配置され、前記原料ガス及び前記二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素を流通する原料ガス流通経路と、

前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流かつ前記第2燃料電池の上流に配置され、前記二酸化炭素分離膜に供給される前記オフガスの圧力を調整する背圧調整弁と、

を備える燃料電池システム。

【請求項2】

前記原料ガス流通経路を通じて前記原料ガス及び前記二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素が供給され、前記原料ガスを二酸化炭素改質して前記改質ガスを生成する改質器をさらに備え、

前記第1燃料電池は、前記改質器から供給された前記改質ガスを用いて発電を行なう請求項1に記載の燃料電池システム。

10

20

【請求項 3】

前記第 1 燃料電池の燃料利用率は、50%以上である請求項 1 又は請求項 2 に記載の燃料電池システム。

【請求項 4】

前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の上流に配置され、前記オフガスを前記二酸化炭素分離膜に供給するためのブロウをさらに備える請求項 1～請求項 3 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システム。

【請求項 5】

前記原料ガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流に配置され、前記原料ガス流通経路を流通するガスの全圧及び前記原料ガス流通経路を流通する二酸化炭素の分圧を測定する測定手段をさらに備え、

前記測定手段にて測定された、前記ガスの全圧と前記二酸化炭素の分圧との比率であるガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値が、一定の数値範囲内となるように、前記背圧調整弁を調整する請求項 1～請求項 4 のいずれか 1 項に記載の燃料電池システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池システムに関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池システムに供給される燃料として、一般的に水素が用いられている。水素の製造方法としては、水蒸気改質が一般的であるが、二酸化炭素改質についても検討されている。二酸化炭素改質により水素を製造する燃料電池システムでは、水供給が不要であることから、水供給ポンプ、気化器、水処理器などの補機類を設ける必要がなく、システムの簡素化による信頼性向上、低コスト化などが期待されている。

二酸化炭素改質を行なう燃料電池システムとしては、燃料電池の排ガスに含まれる二酸化炭素を用いて二酸化炭素改質を行ない、発生した水素を燃料電池に供給して発電を行なうシステムも提案されている。

【0003】

例えば、二酸化炭素を含む排ガスを発生する燃料電池と、燃料電池の前段に配設され、燃料電池の排ガス中の二酸化炭素を利用して、炭化水素系の原料ガスを二酸化炭素改質し、一酸化炭素と水素を含む合成ガスを生成させる二酸化炭素改質器とを備えた構成とし、二酸化炭素改質器で生成した合成ガスを燃料電池に供給して発電を行う燃料電池システムが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

また、二酸化炭素を含むアノード排ガスを発生する燃料電池と、該燃料電池の前段に配設され、該燃料電池のアノード排ガスに含まれる二酸化炭素を利用して、炭化水素系の原料ガスを二酸化炭素改質し、一酸化炭素と水素を含む合成ガスを生成させる二酸化炭素改質器とを有する燃料電池システムが提案されている（例えば、特許文献 2 参照）。

【0004】

他にも、分離膜を用いてアノード排ガス中の二酸化炭素を除去する循環型燃料電池システムが提案されている。例えば、分離膜の透過側に空気を供給して、アノード排ガス中の二酸化炭素を除去する方式、あるいは、真空ポンプにより分離膜の透過側を減圧して、アノード排ガス中の二酸化炭素を除去する方式を採用した循環型燃料電池システムが提案されている（例えば、特許文献 3 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 15860 号公報

【特許文献 2】特開 2014 - 107056 号公報

【特許文献 3】米国特許出願公開第 2013 / 0108936 号明細書

10

20

30

40

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

特許文献1、2に記載の燃料電池システムは、排ガス中の二酸化炭素を改質して得られた燃料を発電に用いるとともに、未反応の燃料を再び発電に用いる循環式のシステムである。しかしながら、このような循環式のシステムでは、燃料利用率を向上させて高い発電効率を得ることに限界があり、より高い発電効率を得られるシステムが望ましい。

【0007】

さらに、特許文献1、2に記載の燃料電池システムでは、排ガス(アノード排ガス)を二酸化炭素改質器に戻すための供給経路及びブロウが必要となり、システムが複雑化してしまい、システムの信頼性が低下するという問題がある。

10

【0008】

また、特許文献3に記載の循環型燃料電池システムのように、アノード排ガス中の二酸化炭素を除去する分離膜を設けた場合、二酸化炭素を効率よく分離するために、分離膜の透過側に空気を供給する、あるいは、分離膜の透過側を減圧する必要がある。

ここで、分離膜の透過側に空気を供給するため、あるいは、分離膜の透過側を減圧するためには、空気を供給するための経路及び空気ブロウ又は減圧ポンプが別途必要となることから、製造コストが増加し、空気ブロウ又は減圧ポンプによる消費電力量の増加によりシステム全体の発電効率が低下するという問題がある。さらに、システムが複雑化してしまい、システムの信頼性が低下するという問題もある。

20

【0009】

また、アノード排ガス中の二酸化炭素を二酸化炭素分離膜により分離し、分離した二酸化炭素を原料ガスの改質に用いようとする場合、二酸化炭素分離膜により十分な量の二酸化炭素を分離する必要がある。しかしながら、従来の分離方法では、二酸化炭素改質に必要な量の二酸化炭素を二酸化炭素分離膜により分離することが困難であるという問題がある。

【0010】

本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、システム全体の発電効率及びシステムの信頼性が向上し、かつ原料ガスの二酸化炭素改質に必要な量の二酸化炭素を分離することが可能な燃料電池システムを提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】**【0011】**

上記課題は、例えば以下の手段により解決される。

< 1 > 原料ガスを二酸化炭素改質して生成された改質ガスを用いて発電を行なう第1燃料電池と、前記第1燃料電池から排出された未反応の前記改質ガスを含むオフガスから二酸化炭素を、ガス供給側からガス透過側へ透過することにより分離する二酸化炭素分離膜と、前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流に配置され、二酸化炭素が分離された前記オフガスを用いて発電を行なう第2燃料電池と、前記ガス透過側に配置され、前記原料ガス及び前記二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素を流通する原料ガス流通経路と、前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流かつ前記第2燃料電池の上流に配置され、前記二酸化炭素分離膜に供給される前記オフガスの圧力を調整する背圧調整弁と、を備える燃料電池システム。

40

【0012】

本形態に係る燃料電池システムは、第1燃料電池と第2燃料電池とを備える多段式の燃料電池システムである。そのため、本形態のような多段式の燃料電池システムは、循環ブロウを用いることなく、従来の燃料電池システムよりも燃料利用率を向上させ、高い発電効率を得ることができる。

【0013】

さらに、本形態に係る燃料電池システムでは、二酸化炭素分離膜は、第1燃料電池から排出された未反応の改質ガスを含むオフガスから二酸化炭素を分離し、第2燃料電池は、

50

二酸化炭素が分離されたオフガスを用いて発電を行なう。そのため、第2燃料電池では、電極間の酸素分圧差に起因する理論電圧が向上するとともに、オフガス中の二酸化炭素に起因する濃度過電圧が低減される。よって、本形態に係る燃料電池システムは、通常の多段式の燃料電池システムよりも高い発電効率を得ることができる。

【0014】

また、二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素は、二酸化炭素分離膜のガス透過側に配置された原料ガス流通経路に供給される。分離された二酸化炭素は、原料ガスとともに原料ガス流通経路を流通し、原料ガスの二酸化炭素改質に用いられる。二酸化炭素改質により生成された改質ガスは第1燃料電池での発電に用いられる。したがって、二酸化炭素を流通するために流通経路及びブローを別途設ける必要は無く、システムが簡略化されていることにより、システムの信頼性が向上する。

10

【0015】

また、二酸化炭素分離膜を透過した二酸化炭素は原料ガスとともに原料ガス流通経路を流通するため、二酸化炭素分離膜のガス透過側の二酸化炭素分圧は低くなり、二酸化炭素の分離が促進される。したがって、本形態に係る燃料電池システムでは、システムの簡略化とともに二酸化炭素の分離が促進されている。その結果、二酸化炭素が分離された後のオフガス中の二酸化炭素濃度をより小さくすることができ、燃料電池システムの発電効率をより高めることができる。

【0016】

また、本形態に係る燃料電池システムは、オフガスの流通方向における二酸化炭素分離膜の下流かつ第2燃料電池の上流に、二酸化炭素分離膜に供給されるオフガスの圧力を調整する背圧調整弁を備えている。そのため、背圧調整弁の開度を調整することで、二酸化炭素分離膜に供給されるオフガスの圧力を変えることができる。二酸化炭素分離膜に供給されるオフガスの圧力を上昇させることで、オフガスの二酸化炭素分圧を高めて二酸化炭素分離膜での二酸化炭素透過性を高めることができる。したがって、原料ガスの二酸化炭素改質に必要な量の二酸化炭素を二酸化炭素分離膜により分離することができる。

20

【0017】

<2> 前記原料ガス流通経路を通じて前記原料ガス及び前記二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素が供給され、前記原料ガスを二酸化炭素改質して前記改質ガスを生成する改質器をさらに備え、前記第1燃料電池は、前記改質器から供給された前記改質ガスを用いて発電を行なう<1>に記載の燃料電池システム。

30

【0018】

本形態に係る燃料電池システムは、原料ガスを二酸化炭素改質して改質ガスを生成する改質器をさらに備えており、改質器にて生成された改質ガスを用いて第1燃料電池での発電を行なう。

【0019】

<3> 前記第1燃料電池の燃料利用率は、50%以上である<1>又は<2>に記載の燃料電池システム。

【0020】

本形態に係る燃料電池システムでは、第1燃料電池の燃料利用率を50%以上にするにより、例えば、燃料電池として固体酸化物形燃料電池を使用した場合に外部からの二酸化炭素供給が不要となる。

40

【0021】

<4> 前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の上流に配置され、前記オフガスを前記二酸化炭素分離膜に供給するためのブローをさらに備える<1>~<3>のいずれか1つに記載の燃料電池システム。

【0022】

本形態に係る燃料電池システムでは、オフガスの流通方向における二酸化炭素分離膜の上流にブローを設けることで、二酸化炭素分離膜に供給されるオフガスの圧力をより好適に調整することができる。二酸化炭素分離膜に供給されるオフガスの圧力を上昇させるこ

50

とで、オフガスの二酸化炭素分圧を高めて二酸化炭素分離膜での二酸化炭素透過性をより好適に高めることができる。

【0023】

< 5 > 前記原料ガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流に配置され、前記原料ガス流通経路を流通するガスの全圧及び前記原料ガス流通経路を流通する二酸化炭素の分圧を測定する測定手段をさらに備え、前記測定手段にて測定された、前記ガスの全圧と前記二酸化炭素の分圧との比率であるガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値が、一定の数値範囲内となるように、前記背圧調整弁を調整する < 1 > ~ < 4 > のいずれか 1 つに記載の燃料電池システム。

【0024】

本形態に係る燃料電池システムは、ガスの全圧及び二酸化炭素の分圧を測定する測定手段をさらに備えており、ガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値が、一定の数値範囲内となるように、背圧調整弁を調整する。そのため、原料ガスの炭素原子数 (A) と二酸化炭素の分子数 (B) との比 (A : B) を調整することができ、例えば、上記モル比を二酸化炭素改質に適した範囲に調整することができる。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、システム全体の発電効率及びシステムの信頼性が向上し、かつ原料ガスの二酸化炭素改質に必要な量の二酸化炭素を分離することが可能な燃料電池システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の一実施形態に係る燃料電池システムを示す概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本明細書において、「~」を用いて表される数値範囲は、「~」の前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。

【0028】

以下、本発明の燃料電池システムの一実施形態について図1を用いて説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る燃料電池システムを示す概略構成図である。本実施形態に係る燃料電池システム10は、原料ガスを二酸化炭素改質して改質ガスを生成する改質器14と、改質ガスをを用いて発電を行なう第1燃料電池11と、未反応の改質ガスを含むオフガスから二酸化炭素を分離する二酸化炭素分離膜16と、二酸化炭素が分離されたオフガスをを用いて発電を行なう第2燃料電池12と、オフガスを二酸化炭素分離膜16のガス供給側16A及び第2燃料電池12に供給するオフガス供給経路52、54と、原料ガス及び分離された二酸化炭素を改質器14に供給する原料ガス供給経路24（原料ガス流通経路）と、ガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を調整する背圧調整弁27と、を備える。

【0029】

本実施形態に係る燃料電池システム10は、第1燃料電池11と第2燃料電池12とを備える多段式の燃料電池システムである。そのため、本実施形態のような多段式の燃料電池システムは、循環プロワを用いることなく、従来の燃料電池システムよりも燃料利用率を向上させ、高い発電効率を得ることができる。

【0030】

さらに、本実施形態に係る燃料電池システム10では、二酸化炭素分離膜16は、第1燃料電池11から排出された未反応の改質ガスを含むオフガスから二酸化炭素を分離し、第2燃料電池12は、二酸化炭素が分離されたオフガスをを用いて発電を行なう。そのため、第2燃料電池12では、電極間の酸素分圧差に起因する理論電圧が向上するとともに、オフガス中の二酸化炭素に起因する濃度過電圧が低減される。よって、燃料電池システム10は、通常の多段式の燃料電池システムよりも高い発電効率を得ることができる。

10

20

30

40

50

【0031】

また、二酸化炭素分離膜16により分離された二酸化炭素は、二酸化炭素分離膜16のガス透過側16Bに配置された原料ガス供給経路24に供給される。原料ガスが原料ガス供給経路24を流通するため、分離された二酸化炭素は、原料ガスとともに改質器14に供給される。したがって、二酸化炭素を改質器14に供給するために供給経路及びブローを別途設ける必要は無く、システムが簡略化されていることにより、システムの信頼性が向上する。さらに、システムの小型化及びコスト削減も可能である。

【0032】

また、二酸化炭素分離膜16を透過した二酸化炭素は原料ガスとともに原料ガス供給経路24を流通するため、二酸化炭素分離膜16のガス透過側16Bの二酸化炭素分圧は低くなり、二酸化炭素の分離が促進される。したがって、燃料電池システム10では、システムの簡略化とともに二酸化炭素の分離が促進されている。その結果、二酸化炭素が分離された後のオフガス中の二酸化炭素濃度をより小さくすることができ、燃料電池システム10の発電効率をより高めることができる。

10

【0033】

また、燃料電池システム10は、オフガス供給経路54におけるガス供給側16Aの下流（オフガスの流通方向における二酸化炭素分離膜16の下流）かつ第2燃料電池12の上流に、ガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を調整する背圧調整弁27を備えている。そのため、背圧調整弁27の開度を調整することで、二酸化炭素分離膜16のガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を変えることができる。ガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を上昇させることで、オフガスの二酸化炭素分圧を高めて二酸化炭素分離膜16での二酸化炭素透過性を高めることができる。したがって、原料ガスの二酸化炭素改質に必要な量の二酸化炭素を二酸化炭素分離膜16により分離することができる。

20

【0034】

以下、本実施形態に係る燃料電池システム10の各構成について説明する。

【0035】

（原料ガス供給経路）

本実施形態に係る燃料電池システム10は、原料ガスを改質器14に供給する原料ガス供給経路24を備えており、原料ガス供給経路24は、原料ガスを流通させるためのブロー25が設置されている。

30

【0036】

原料ガス供給経路24を流通する原料ガスとしては、二酸化炭素改質が可能なガスであれば特に限定されず、炭化水素ガスが挙げられる。炭化水素ガスとしては、天然ガス、LPガス（液化石油ガス）、石炭改質ガス、低級炭化水素ガスなどが例示される。低級炭化水素ガスとしては、メタン、エタン、エチレン、プロパン、ブタン等の炭素数4以下の低級炭化水素が挙げられ、特にメタンが好ましい。なお、炭化水素ガスとしては、上述した低級炭化水素ガスを混合したものであってもよく、上述した低級炭化水素ガスを天然ガス、都市ガス、LPガス等のガスであってもよい。

40

【0037】

また、原料ガス供給経路24は、後述する二酸化炭素分離膜16のガス透過側16Bに配置され、原料ガスとともに二酸化炭素分離膜16により分離された二酸化炭素を改質器14に供給する。

【0038】

（測定手段）

さらに、原料ガス供給経路24には、ガス透過側16Bの下流（原料ガスの流通方向における二酸化炭素分離膜16の下流）かつ改質器14の上流に、原料ガス供給経路24を流通するガスの全圧及び原料ガス供給経路24を流通する二酸化炭素の分圧を測定する測定手段として、圧力計28及び二酸化炭素濃度計29が設けられている。

【0039】

50

圧力計 28 は、原料ガス供給経路 24 を流通するガスの全圧を測定するためのものであり、二酸化炭素濃度計 29 は、二酸化炭素分離膜 16 により分離され、原料ガス供給経路 24 を流通するガス（原料ガス及び分離された二酸化炭素を含む混合ガス）の二酸化炭素濃度を測定するためのものである。全圧及び二酸化炭素濃度を測定することにより、二酸化炭素分圧を算出でき、測定されたガス全圧及び算出された二酸化炭素分圧に基づき、ガス全圧と二酸化炭素分圧との比率であるガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値が求められる。ガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値は、後述するように、背圧調整弁 27 の開度を調整し、必要に応じてプロウ 26 を制御することで、一定の数値範囲内となるように調整することができる。

【0040】

10

（改質器）

本実施形態に係る燃料電池システム 10 は、原料ガスを二酸化炭素改質して改質ガスを生成する改質器 14 を備えている。改質器 14 は、例えば、バーナ又は燃焼触媒を配置した燃焼部 18 と、改質用触媒を備える改質部 19 とにより構成される。

【0041】

改質部 19 は、上流側にて原料ガス供給経路 24 と接続しており、下流側にて改質ガス供給経路 42 と接続している。そのため、原料ガス供給経路 24 を通じてメタンなどの原料ガスが改質部 19 に供給され、改質部 19 にて原料ガスを二酸化炭素改質した後に、生成された改質ガスが改質ガス供給経路 42 を通じて第 1 燃料電池 11 に供給される。

【0042】

20

燃焼部 18 は、上流側にて空気供給経路 44 及びオフガス供給経路 46 と接続しており、下流側にて排気経路 48 と接続している。燃焼部 18 は、第 2 燃料電池 12 のカソード側から排出され、空気供給経路 44 を通じて供給された未反応の酸素を含むガスと、オフガス供給経路 46 を通じて供給されたオフガスとの混合ガスを燃焼させ、改質部 19 内の改質用触媒を加熱する。燃焼部 18 からの排気は、排気経路 48 を通じて排出される。

【0043】

排気経路 48 及び空気供給経路 44 には熱交換器 22 が設置されており、熱交換器 22 により、排気経路 48 を流通する排気と、空気供給経路 44 を流通する酸素を含むガス（空気）と、の間で熱交換を行なう。これにより、排気経路 48 を流通する排気は冷却された後に排出され、空気供給経路 44 を流通する酸素を含むガスは、第 1 燃料電池 11 の作動温度に適した温度に加熱された後に第 1 燃料電池 11 のカソードに供給される。

30

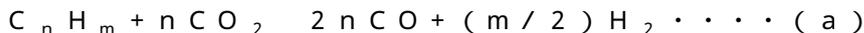
【0044】

改質部 19 で起こる二酸化炭素改質は大きな吸熱を伴うので、反応の進行のためには外部から熱の供給が必要である。そのため、燃焼部 18 で発生する燃焼熱により改質部 19 を加熱することが好ましい。あるいは、燃焼部 18 を設置せずに各燃料電池から放出される熱を用いて改質部 19 を加熱してもよい。

【0045】

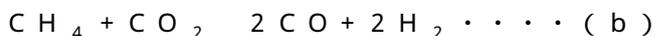
原料ガスとして $C_n H_m$ （ n 、 m はともに正の実数）で表される炭化水素ガスを二酸化炭素改質させた場合、改質部 19 にて、以下の式（a）の反応により一酸化炭素及び水素が生成される。

40



【0046】

また、原料ガスの一例であるメタンを二酸化炭素改質させた場合、改質部 19 にて、以下の式（b）の反応により一酸化炭素および水素が生成される。



【0047】

改質部 19 内に設置される改質用触媒としては、二酸化炭素改質反応の触媒となるものであれば特に限定されないが、Ni、Rh、Ru、Ir、Pd、Pt、Re、Co、Fe 及び Mo の少なくとも一つを触媒金属として含む二酸化炭素改質用触媒が好ましい。

【0048】

50

改質部 19 に供給される原料ガス（好ましくはメタン）の炭素原子数（A）と二酸化炭素の分子数（B）との比（A：B）は、二酸化炭素改質を効率よく行なう観点から、1：1.5～3.0 が好ましく、1：2.0～2.5 がより好ましい。なお、A：B は、原料ガスの炭素原子のモル数と二酸化炭素のモル数との比と同値である。

【0049】

後述するように、原料ガス（好ましくはメタン）の炭素原子数（A）と二酸化炭素の分子数（B）との比（A：B）は、前述のガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値と同様、背圧調整弁 27 の開度を調整し、必要に応じてブロワ 26 を制御することで、一定の数値範囲となるように調整することができる。

【0050】

なお、原料ガスが $C_n H_m$ （n、m はともに正の実数）で表される炭化水素ガスからなる場合、ガス全圧 / 二酸化炭素分圧、前述の A 及び B について以下の式（X）が成り立つ。

$$(\text{ガス全圧} / \text{二酸化炭素分圧}) = [(A / n + B) / B] \cdot \dots \cdot (X)$$

【0051】

例えば、原料ガスがメタンからなる場合に、A：B = 1：2.5 に調整するには、ガス全圧 / 二酸化炭素分圧を $(1 + 2.5) / 2.5$ に調整すればよい。

【0052】

また、原料ガスに炭化水素ガス以外の成分（二酸化炭素改質で反応しない成分）が含まれている場合、原料ガスの組成比に基づき、ガス全圧からその成分に基づく分圧を差し引いた値をガス全圧とすれば上記式（X）が成り立つ。

【0053】

また、燃焼部 18 は、二酸化炭素改質を効率よく行なう観点から、改質部 19 を、600～800 に加熱することが好ましく、600～700 に加熱することがより好ましい。

【0054】

本発明に係る燃料電池システム（特に、高温型の燃料電池を備える燃料電池システム）では、改質器が第 1 燃料電池の外部に取り付けられている必要はなく、第 1 燃料電池に原料ガス及び二酸化炭素を直接供給し、第 1 燃料電池の内部で二酸化炭素改質（内部改質）を行ない、生成された改質ガスを第 1 燃料電池での発電に用いる構成であってもよい。特に第 1 燃料電池が高温型の燃料電池である場合、内部での反応温度は 600～800 と高温であるため、第 1 燃料電池内で二酸化炭素改質を行なうことが可能である。

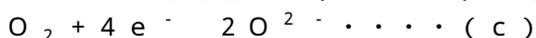
【0055】

（第 1 燃料電池）

本実施形態に係る燃料電池システム 10 は、改質ガス供給経路 42 を通じて改質器 14 から供給された改質ガスを用いて発電を行なう第 1 燃料電池 11 を備えている。第 1 燃料電池 11 としては、例えば、空気極（カソード）、電解質及び燃料極（アノード）を備える燃料電池セルであってもよく、燃料電池セルを複数積層した燃料電池スタックであってもよい。また、第 1 燃料電池としては、600～800 程度で作動する高温型の燃料電池、例えば、700～800 程度で作動する固体酸化物形燃料電池、600～700 程度で作動する熔融炭酸塩形燃料電池が挙げられる。

【0056】

第 1 燃料電池 11 が固体酸化物形燃料電池の場合、第 1 燃料電池 11 のカソード（図示せず）には、空気供給経路 44 を通じて酸素を含むガスが供給される。酸素を含むガスがカソードに供給されることにより、以下の式（c）に示す反応が起こり、その際、酸素イオンが固体酸化物電解質（図示せず）の内部を移動する。



【0057】

第 1 燃料電池 11 が固体酸化物形燃料電池の場合、第 1 燃料電池 11 のアノード（図示せず）には、改質ガス供給経路 42 を通じて水素及び一酸化炭素を含む改質ガスが供給さ

10

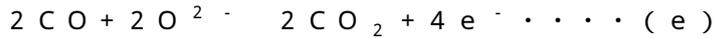
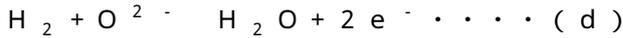
20

30

40

50

れる。固体酸化物電解質の内部を移動する酸素イオンからアノードと固体酸化物電解質との界面にて水素及び一酸化炭素が電子を受け取ることにより、以下の式(d)、式(e)に示す反応が起こる。



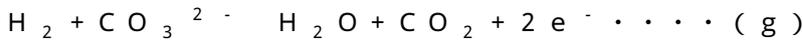
【0058】

第1燃料電池11が熔融炭酸塩形燃料電池の場合、第1燃料電池11のカソード(図示せず)には、空気供給経路44を通じて酸素及び二酸化炭素を含むガス(空気と二酸化炭素との混合ガスであってもよい)が供給される。酸素及び二酸化炭素を含むガスがカソードに供給されることにより、以下の式(f)に示す反応が起こり、その際、炭酸イオンが電解質(図示せず)の内部を移動する。



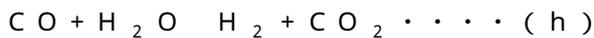
【0059】

第1燃料電池11が熔融炭酸塩形燃料電池の場合、第1燃料電池11のアノード(図示せず)には、改質ガス供給経路42を通じて水素及び一酸化炭素を含む改質ガスが供給される。電解質の内部を移動する炭酸イオンからアノードと電解質との界面にて水素が電子を受け取ることにより、以下の式(g)に示す反応が起こる。



【0060】

第1燃料電池11が熔融炭酸塩形燃料電池の場合、発生した水蒸気と、改質ガス供給経路42を通じて供給された一酸化炭素と、が反応して以下の式(h)に示す反応が起こり、水素及び二酸化炭素が発生する。そして、発生した水素は、前述の式(g)の反応に消費される。



【0061】

上記式(d)、式(e)、式(g)及び式(h)に示すように、第1燃料電池11での改質ガスの電気化学的な反応により、固体酸化物形燃料電池及び熔融炭酸塩形燃料電池では主に水蒸気及び二酸化炭素が生成される。また、アノードで生成された電子は、外部回路を通じてカソードに移動する。このようにして電子がアノードからカソードに移動することにより、第1燃料電池11にて発電が行なわれる。

【0062】

カソードから排出された未反応の酸素を含むガスは、下流側の空気供給経路44を通じて、第2燃料電池12のカソード(図示せず)に供給される。

【0063】

一方、アノードから排出された未反応の改質ガスを含むオフガスは、オフガス供給経路52を通じて二酸化炭素分離膜16のガス供給側16Aへ供給される。ここで、未反応の改質ガスを含むオフガスは、水素、一酸化炭素、二酸化炭素、水蒸気などを含む混合ガスである。

【0064】

オフガス供給経路52及びオフガス供給経路54には熱交換器21が設置されており、熱交換器21により、オフガス供給経路52を流通するオフガスと、オフガス供給経路54を流通する二酸化炭素が分離されたオフガスと、の間で熱交換を行なう。これにより、オフガス供給経路52を流通するオフガスは、二酸化炭素分離膜16により二酸化炭素を分離する際に好ましい温度まで冷却され、オフガス供給経路54を流通する二酸化炭素が分離されたオフガスは、第2燃料電池12の作動温度に適した温度に加熱される。そのため、システム全体の発電効率及び熱効率がより向上する。

【0065】

(二酸化炭素分離膜)

本実施形態に係る燃料電池システム10は、第1燃料電池11から排出された未反応の改質ガスを含むオフガスから、二酸化炭素を分離する二酸化炭素分離膜16を備えている

10

20

30

40

50

。オフガス供給経路52を流通するオフガスは、二酸化炭素分離膜16のガス供給側16Aに供給され、オフガス中の二酸化炭素は、ガス供給側16Aからガス透過側16Bへ矢印A方向に二酸化炭素分離膜16を通過する。二酸化炭素が分離されたオフガスは、ガス供給側16Aからオフガス供給経路54を流通し、第2燃料電池12へ供給される。一方、分離された二酸化炭素は、ガス透過側16Bを流れる原料ガスと混合され、ガス透過側16Bから原料ガス供給経路24を流通し、改質器14の改質部19へ供給される。

【0066】

ここで、燃料電池システム10では、分離された二酸化炭素は、原料ガスとともに改質器14に供給される。したがって、二酸化炭素を改質器14に供給するための供給経路及びブローを別途設ける必要は無く、システムが簡略化されていることにより、システムの信頼性が向上する。

10

【0067】

さらに、二酸化炭素分離膜16を透過した二酸化炭素は原料ガスとともに原料ガス供給経路24を流通するため、二酸化炭素分離膜16のガス透過側16Bの二酸化炭素分圧は低くなり、ガス供給側16Aとガス透過側16Bとの二酸化炭素分圧差を大きくすることができる。そのため、より多くの二酸化炭素をガス透過側16Bへ移動させることができ、二酸化炭素の分離が促進される。

【0068】

したがって、燃料電池システム10では、システムの簡略化とともに二酸化炭素の分離が促進されている。その結果、第2燃料電池12に供給されるオフガス中の二酸化炭素濃度をより小さくすることができ、燃料電池システム10の発電効率をより高めることができる。

20

【0069】

二酸化炭素分離膜は、二酸化炭素を透過する膜であれば特に限定されないが、例えば、有機高分子膜、無機材料膜、有機高分子-無機材料複合膜、液体膜などが挙げられる。また、二酸化炭素分離膜は、ガラス状高分子膜、ゴム状高分子膜、イオン交換樹脂膜、アルミナ膜、シリカ膜、炭素膜、ゼオライト膜、セラミック膜、アミン水溶液膜又はイオン液体膜であることがより好ましい。

【0070】

二酸化炭素分離膜としては、例えば、ガラス状高分子膜、ゴム状高分子膜、イオン交換樹脂膜などの有機高分子膜が挙げられる。有機高分子膜の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブテン、ポリメチルペンテン等のポリオレフィン系樹脂、ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニル、ポリフッ化ビニリデン等のフッ素樹脂、ポリスチレン、酢酸セルロース、ポリウレタン、ポリアクリロニトリル、ポリスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンサルファイド、ポリイミド、ポリアミド、ポリエーテルイミド、ポリピロール、ポリフェニレンオキシド、ポリアニリン、ポリビニルアルコール、ポリアクリル酸、ポリエチレングリコール等の各種有機材料が挙げられる。また、有機高分子膜は、1種の有機材料から構成される膜であってもよく、2種以上の有機材料から構成される膜であってもよい。

30

【0071】

また二酸化炭素分離膜としては、例えば、ポリビニルアルコール、ポリアクリル酸、ポリビニルアルコール-ポリアクリル酸塩共重合体、ポリエチレングリコールなどの吸水性を有する有機高分子と、二酸化炭素と親和性を有し、かつ水溶性を示す二酸化炭素キャリアを含む有機高分子膜であってもよい。

40

【0072】

二酸化炭素キャリアとしては、無機材料及び有機材料が用いられ、例えば、無機材料としては、アルカリ金属塩（好ましくはアルカリ金属炭酸塩）、アンモニア、アンモニウム塩などが挙げられ、有機材料としては、例えば、アミン、アミン塩、ポリアミンなどが挙げられる。なお、二酸化炭素キャリアは、無機材料膜、有機高分子-無機材料複合膜、液体膜等に含まれていてもよい。

50

【0073】

二酸化炭素分離膜としては、例えば、アルミナ膜、シリカ膜、炭素膜、ゼオライト膜、セラミック膜などの無機材料膜が挙げられ、無機材料膜としては、中でもゼオライト膜が好ましい。ゼオライトとしては、例えば、A型、Y型、T型、ZSM-5型、ZSM-35型、モルデナイト系などが挙げられる。また、無機材料膜は、1種の無機材料から構成される膜であってもよく、2種以上の無機材料から構成される膜であってもよい。

【0074】

二酸化炭素分離膜は、有機高分子-無機材料複合膜であってもよい。有機高分子-無機材料複合膜としては、有機材料及び無機材料から構成される膜であれば特に限定されないが、例えば、上述した有機材料から選択される少なくとも1種の有機材料及び上述した無機材料から選択される少なくとも1種の無機材料から構成される複合膜であることが好ましい。

10

【0075】

二酸化炭素分離膜としては、例えば、アミン水溶液、イオン液体などの液体膜が挙げられる。これら液体膜は、前述の有機高分子膜、無機材料膜、有機高分子-無機材料複合膜に、アミン水溶液又はイオン液体を含浸させたものであってもよい。

【0076】

二酸化炭素分離膜として、アミン水溶液膜を用いた場合、オフガス中の二酸化炭素をアミン水溶液膜に化学的に吸着させた後、加熱することで二酸化炭素が分離され、アミン水溶液膜の透過側に二酸化炭素が移動する。アミン水溶液としては、モノエタノールアミンなどのアミノアルコールなどが挙げられる。

20

【0077】

二酸化炭素分離膜として、イオン液体膜を用いた場合、オフガス中の二酸化炭素がイオン液体膜に吸着し、吸着された二酸化炭素をイオン液体膜から分離することで、イオン液体膜の透過側に二酸化炭素が移動する。ここで、イオン液体は、150以下の比較的低温の融点を有する塩であり、例えば、イミダゾリウムイオン、ピリジニウムイオンなどの陽イオンと、トリフルオロメタンスルホン酸イオン、テトラフルオロホウ酸イオン、ヘキサフルオロリン酸イオンなどの陰イオンと、から構成される。

【0078】

二酸化炭素分離膜の厚さは、特に限定されないが、機械的強度の観点からは、通常、10 μm ~3000 μm の範囲が好ましく、より好ましくは10 μm ~500 μm の範囲であり、さらに好ましくは15 μm ~150 μm の範囲である。

30

【0079】

なお、二酸化炭素分離膜は、多孔質性の支持体に支持されていてもよい。支持体の材質としては、紙、セルロース、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド、ポリイミド、ポリスルホン、ポリカーボネート、金属、ガラス、セラミックなどが挙げられる。

【0080】

二酸化炭素を分離した後のオフガスは、ガス供給側16Aからオフガス供給経路54内を流通し、第2燃料電池12へ供給される。このとき、前述のように、オフガス供給経路52及びオフガス供給経路54に設置された熱交換器21により、オフガス供給経路54内を流通する二酸化炭素分離後のオフガスは、第2燃料電池12の作動温度に適した温度に加熱される。

40

【0081】

(背圧調整弁)

本実施形態に係る燃料電池システム10は、オフガス供給経路54に配置され、ガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を調整する背圧調整弁27を備えている。そのため、背圧調整弁27の開度を調整することで、二酸化炭素分離膜16のガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を変えることができる。ガス供給側16Aに供給されるオフガスの圧力を上昇させることで、オフガスの二酸化炭素分圧を上げて二酸化炭素分離膜16での二酸化炭素透過性を高めることができる。したがって、原料ガスの二酸化炭素改質

50

に必要な量の二酸化炭素を二酸化炭素分離膜 16 により分離することができる。背圧調整弁 27 としては、例えば、ニードル弁が挙げられる。

【0082】

また、背圧調整弁 27 の開度を調整することで、前述のガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値を一定数値内にすることができる。そのため、前述の原料ガスの炭素原子数 (A) と二酸化炭素の分子数 (B) との比 (A : B) を調整することができ、例えば、上記比を二酸化炭素改質に適した範囲に調整することができる。

【0083】

背圧調整弁 27 の開度調整は、自動制御で行っても、手動で行ってもよい。自動制御で行う場合、前述のガス全圧 / 二酸化炭素分圧の値を一定数値内となるように開度を制御してもよく、原料ガスの炭素原子数 (A) と二酸化炭素の分子数 (B) との比 (A : B) が一定数値内となるように背圧調整弁 27 の開度を制御してもよい。

10

【0084】

背圧調整弁 27 は、オフガス供給経路 54 に配置されていれば配置場所は特に限定されないが、ガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力を好適に調整する点及び熱による劣化を抑える点から、熱交換器 21 の上流であることが好ましく、ガス供給側 16A の下流近傍であることがより好ましい。

【0085】

(ブロー)

本実施形態に係る燃料電池システム 10 は、オフガス供給経路 52 に配置され、オフガスをガス供給側 16A に供給するためのブロー 26 を備えている。これにより、二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力をより好適に調整ことができ、ガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力を上昇させることで、オフガスの二酸化炭素分圧を高めて二酸化炭素分離膜 16 での二酸化炭素透過性をより好適に高めることができる。本実施形態において、ブロー 26 を配置することなく、原料ガスを流通させるためのブロー 25 によって二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力を調整 (二酸化炭素分離膜 16 を加圧) してもよい。しかしながら、ブロー 26 によってガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力を調整することで、ブロー 25 によってガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力を調整する場合と比較して、第 1 燃料電池 11 のアノードにかかる圧力を小さくでき、第 1 燃料電池 11 の耐久性及び燃料電池システム 10 の信頼性が向上する。

20

30

【0086】

ブロー 26 は、オフガス供給経路 52 に配置されていれば配置場所は特に限定されないが、ガス供給側 16A に供給されるオフガスの圧力をより好適に調整する点及び熱による劣化を抑える点から、熱交換器 21 の下流であることが好ましく、ガス供給側 16A の上流近傍であることがより好ましい。

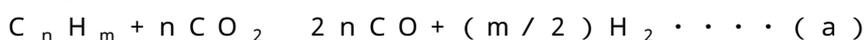
【0087】

第 1 燃料電池 11 (特に、固体酸化物形燃料電池) での電気化学反応で生成される二酸化炭素のみで、二酸化炭素改質に必要な二酸化炭素をまかなえるようにする点から、第 1 燃料電池の燃料利用率を $U_{f(1)}$ とし、原料ガスに含まれる炭化水素ガスを $C_n H_m$ (n, m はともに正の実数) とするとき、 $U_{f(1)}$ が $1/2$ 以上 (50% 以上) となることが好ましい。

40

【0088】

まず、 $C_n H_m$ (n, m はともに正の実数) で表される炭化水素ガスを二酸化炭素改質させた場合、改質部 19 にて、以下の式 (a) の反応により一酸化炭素および水素が生成される。



【0089】

式 (a) で表されるように、1モルの炭化水素ガスを供給する場合、化学量論的に必要な二酸化炭素のモル数は n モルであり、このとき、発生する一酸化炭素のモル数は $2n$ モ

50

ルとなる。また、第1燃料電池での反応において、1モルの一酸化炭素が反応した場合、1モルの二酸化炭素が発生したことになる。

【0090】

そのため、第1燃料電池11の燃料利用率を $U_{f(1)}$ としたとき、第1燃料電池11にて反応する一酸化炭素のモル数、すなわち、第1燃料電池11にて生成する二酸化炭素のモル数は、 $2nU_{f(1)}$ モルである。ここで、第1燃料電池11で生成する二酸化炭素が全て二酸化炭素分離膜16にて分離され、改質器14に供給されたとすると、改質器14に供給された二酸化炭素のモル数は、 $2nU_{f(1)}$ モルとなる。

【0091】

式(a)で表されるように、1モルの炭化水素ガスを供給する場合に必要な二酸化炭素のモル数は n モルであるため、外部からの二酸化炭素供給が不要となる点から、以下の式(1)'を満たすことが好ましい。

$$2nU_{f(1)} \geq n \cdots (1)'$$

【0092】

この式(1)'を整理することにより、 $U_{f(1)} \geq 1/2$ となる。したがって、外部からの二酸化炭素供給が不要となる点から、 $U_{f(1)}$ が $1/2$ 以上(50%以上)であることが好ましい。以上により、複数の燃料電池を備え、外部からの二酸化炭素供給が不要な燃料電池システム10が提供される。また、本実施形態に係る燃料電池システム10では、定格発電時だけでなく、起動時においても $U_{f(1)} \geq 1/2$ を満たすことが好ましい。

【0093】

(第2燃料電池)

本実施形態に係る燃料電池システム10は、二酸化炭素分離膜16のガス供給側16Aの下流に配置され、二酸化炭素が分離されたオフガスを用いて発電を行なう第2燃料電池12を備えている。第2燃料電池12としては、例えば、空気極(カソード)、電解質及び燃料極(アノード)を備える燃料電池セルであってもよく、燃料電池セルを複数積層した燃料電池スタックであってもよい。なお、第2燃料電池12は、上述の第1燃料電池11と同様の構成であるため、共通する事項に関する説明は省略する。

【0094】

燃料電池システム10では、第2燃料電池12は、二酸化炭素が分離されたオフガスを用いて発電を行なう。そのため、第2燃料電池12では、電極間の酸素分圧差に起因する理論電圧が向上するとともに、オフガス中の二酸化炭素に起因する濃度過電圧が低減され、特に高電流密度時に高い性能を発揮することができる。よって、燃料電池システム10は、後段の燃料電池にて二酸化炭素が分離されていないオフガスを用いて発電を行なう多段式の燃料電池システムと比較して、高い発電効率を得ることができる。

【0095】

第2燃料電池12のカソードから排出された未反応の酸素を含むガスは、下流側の空気供給経路44を通じて改質器14の燃焼部18へ供給される。一方、第2燃料電池12のアノードから排出されたオフガスは、オフガス供給経路46を通じて改質器14の燃焼部18へ供給される。

【0096】

本実施形態では、2つの燃料電池(第1燃料電池11及び第2燃料電池12)を備える燃料電池システムについて説明したが、本発明はこれに限定されず、3つ以上の燃料電池を備える燃料電池システムであってもよく、例えば、第2燃料電池12の下流に第3燃料電池を備える構成であってもよい。このとき、第3燃料電池のカソードから排出されたカソードオフガスが、下流側の空気供給経路を通じて改質器の燃焼部へ供給され、第3燃料電池のアノードから排出されたアノードオフガスが、オフガス供給経路を通じて改質器の燃焼部へ供給される構成であってもよい。

【0097】

<変形例1>

10

20

30

40

50

本実施形態に係る燃料電池システム 10 は、第 1 燃料電池 11 の下流かつ第 2 燃料電池 12 の上流に配置され、オフガスから水蒸気を除去する水蒸気除去部をさらに備えていてもよい。これにより、第 2 燃料電池 12 は二酸化炭素とともに水蒸気が分離されたオフガスを用いて発電を行なうため、発電効率をより高めることができる。

【0098】

水蒸気除去部は、オフガスから水蒸気を除去するためのものであり、水蒸気を分離する分離膜、水蒸気を吸着する吸着剤、水蒸気を凝縮する凝縮器などであればよい。

【0099】

水蒸気除去部は、第 1 燃料電池 11 の下流かつ第 2 燃料電池 12 の上流に配置されており、例えば、オフガス供給経路 52 におけるガス供給側 16A の上流かつ熱交換器 21 の下流、又はオフガス供給経路 54 におけるガス供給側 16A の下流かつ熱交換器 21 の上流に配置される。

10

【0100】

水蒸気除去部が凝縮器である場合、水蒸気除去部は、オフガスから二酸化炭素を分離する際の二酸化炭素分離膜 16 の加熱温度に応じて、配置場所を変更することが好ましい。例えば、二酸化炭素分離膜 16 を高温に加熱して二酸化炭素を分離する場合、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の下流に配置することが好ましい。このとき、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の上流に配置すると、水蒸気を凝縮するために冷却したオフガスを、二酸化炭素を分離するために再度加熱する必要があり、熱効率的に不利である。

20

【0101】

例えば、二酸化炭素分離膜 16 を 40 以上に加熱して二酸化炭素を分離する場合、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の下流に配置することが好ましい。

【0102】

一方、二酸化炭素分離膜 16 を高温に加熱せずに常温付近で二酸化炭素を分離する場合、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の上流に配置することが好ましい。このとき、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の上流に配置することで、二酸化炭素分離膜 16 にて、二酸化炭素の分離を阻害する液水の発生を抑制することができる。

30

【0103】

例えば、二酸化炭素分離膜 16 を 40 未満の常温にて二酸化炭素を分離する場合、水蒸気除去部を二酸化炭素分離膜 16 のガス供給側 16A の上流に配置することが好ましい。

【0104】

なお、水蒸気除去部は、第 1 燃料電池 11 の下流かつ第 2 燃料電池 12 の上流に配置されていればよく、オフガス供給経路 52 におけるガス供給側 16A の上流かつ熱交換器 21 の下流、又はオフガス供給経路 54 におけるガス供給側 16A の下流かつ熱交換器 21 の上流に配置される構成に限定されない。そのため、例えば、第 1 燃料電池 11 の下流かつ熱交換器 21 の上流に配置されていてもよく、熱交換器 21 の下流かつ第 2 燃料電池 12 の上流に配置されていてもよい。

40

【0105】

<変形例 2>

また、本実施形態に係る燃料電池システム 10 では、二酸化炭素分離膜 16 として、二酸化炭素とともに水蒸気を分離する分離膜を用いてもよい。二酸化炭素とともに水蒸気を分離する分離膜としては、前述の二酸化炭素分離膜が挙げられる。

【0106】

二酸化炭素及び水蒸気を分離する分離膜としては、例えば、「Zi Tong et al., "Water vapor and CO₂ transport through amine-containing facilitated transport membranes", Reactive & Functional Polymers (2014) に記載の膜を用いてもよい。

50

【0107】

二酸化炭素分離膜16として、二酸化炭素とともに水蒸気を分離する分離膜を用いる場合、原料ガス供給経路24におけるガス透過側16Bの下流かつ改質器14の上流に水蒸気を除去する水蒸気除去部を配置してもよい。二酸化炭素分離膜16により二酸化炭素とともに水蒸気がオフガスから分離され、水蒸気除去部により、分離された水蒸気が除去される。これにより、第1燃料電池11及び第2燃料電池12に供給される水蒸気の量が低減され、燃料電池システム10の発電効率をより高めることができる。

【0108】

一方、二酸化炭素分離膜16として、二酸化炭素とともに水蒸気を分離する分離膜を用いる場合であっても、原料ガス供給経路24におけるガス透過側16Bの下流かつ改質器14の上流に水蒸気除去部を設けない構成としてもよい。このとき、改質器14の改質部19に二酸化炭素分離膜16により分離された水蒸気が供給されるため、改質部19の内部にて炭素析出が抑制され、燃料電池システム10の信頼性を高めることができる。

10

【0109】

本発明は、前述の実施形態及びその変形例1、2に限定されず、本発明の技術的思想内で、当業者によって、前述の実施形態及び各変形例を組み合わせる実施される。さらに、熱交換器の設置場所、組み合わせなどについてもこれら実施形態及び変形例に限定されない。

【符号の説明】

【0110】

10...燃料電池システム、11...第1燃料電池、12...第2燃料電池、14...改質器、16...二酸化炭素分離膜、16A...ガス供給側、16B...ガス透過側、18...燃焼部、19...改質部、21、22...熱交換器、24...原料ガス供給経路(原料ガス流通経路)、25、26...ブロウ、27...背圧調整弁、28...圧力計、29...二酸化炭素濃度計、42...改質ガス供給経路、44...空気供給経路、46、52、54...オフガス供給経路、48...排気経路

20

【要約】

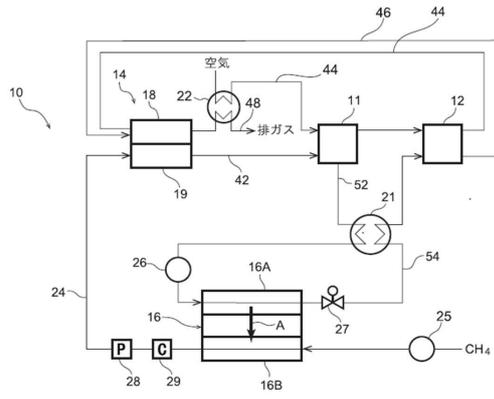
【課題】システム全体の発電効率及びシステムの信頼性が向上し、原料ガスの二酸化炭素改質にて十分な量の二酸化炭素を分離することが可能な燃料電池システムを提供する。

【解決手段】原料ガスを二酸化炭素改質して生成された改質ガスを用いて発電を行なう第1燃料電池と、前記第1燃料電池から排出されたオフガスから二酸化炭素を分離する二酸化炭素分離膜と、二酸化炭素が分離された前記オフガスを用いて発電を行なう第2燃料電池と、前記原料ガス及び前記二酸化炭素分離膜により分離された二酸化炭素を流通する原料ガス流通経路と、前記オフガスの流通方向における前記二酸化炭素分離膜の下流かつ前記第2燃料電池の上流に配置され、前記二酸化炭素分離膜に供給される前記オフガスの圧力を調整する背圧調整弁と、を備える燃料電池システム。

30

【選択図】図1

【図1】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I		
C 0 1 B	32/40	(2017.01)	C 0 1 B	31/18	B
H 0 1 M	8/12	(2016.01)	H 0 1 M	8/12	

(56) 参考文献 特開 2 0 0 4 - 1 7 1 8 0 2 (J P , A)
 特開平 0 9 - 1 1 5 5 4 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 1 9 5 9 0 0 (J P , A)
 国際公開第 2 0 0 3 / 0 3 8 9 3 4 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 6 - 0 8 6 1 1 7 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 0 3 1 9 8 9 (J P , A)
 特表 2 0 0 1 - 5 1 1 4 3 0 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 2 3 3 3 2 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 0 4 9 1 3 5 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 1 6 9 9 3 1 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 0 4 7 5 5 7 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 1 4 5 7 2 1 (U S , A 1)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 M	8 / 0 0	-	8 / 2 4
C 0 1 B	3 / 3 8		
C 0 1 B	3 / 5 6		
C 0 1 B	3 2 / 4 0		