

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7696405号  
(P7696405)

(45)発行日 令和7年6月20日(2025.6.20)

(24)登録日 令和7年6月12日(2025.6.12)

(51)国際特許分類 F I  
B 0 1 D 53/22 (2006.01) B 0 1 D 53/22

請求項の数 17 外国語出願 (全21頁)

(21)出願番号	特願2023-169701(P2023-169701)	(73)特許権者	591035368
(22)出願日	令和5年9月29日(2023.9.29)		エア プロダクツ アンド ケミカルズ イ ンコーポレイテッド
(65)公開番号	特開2024-52626(P2024-52626A)		A I R P R O D U C T S A N D C H E M I C A L S I N C O R P O R A T E D
(43)公開日	令和6年4月11日(2024.4.11)		アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 8 1 0 6 - 5 5 0 0 , アレンタウン, エア プロダクツ プールバード 1 9 4 0
審査請求日	令和5年10月4日(2023.10.4)	(74)代理人	100099759
(31)優先権主張番号	17/956,933		弁理士 青木 篤
(32)優先日	令和4年9月30日(2022.9.30)	(74)代理人	100123582
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 三橋 真二
		(74)代理人	100195213
			弁理士 木村 健治

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スイープガスを利用する非透過ガスの高回収率のための膜プロセス及びシステム

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

方法であって、

- (a) 供給ガス流を第2の圧縮機内で圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、
- (b) 前記加圧供給ガス流を少なくとも1つの第1段階膜モジュールであって、前記少なくとも1つの第1段階膜モジュールは、それぞれ第1の高圧側及び第1の低圧側を有し、前記第1の高圧側は第1の供給ポートから第1の非透過物ポートまで延在し、前記第1の低圧側は第1のスイープポート及び第1の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第1段階膜モジュールに供給することと、
- (c) 前記少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々における前記加圧供給ガス流を第1の非透過物流と第1の透過物流とに分離することと、
- (d) ステップ(a)において前記加圧供給ガス流が前記少なくとも1つの第1段階膜モジュールに供給される第2の流れ方向に対する向流である第1の流れ方向に供給されるスイープガスを使用して、前記第1の透過物流をスイープして前記第1の透過物ポートから排出することと、
- (e) 前記第1の非透過物流を前記少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々から前記第1の非透過物ポートを通して排出することと、
- (f) 前記第1の透過物流を第1の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第1の透過物流を形成することと、
- (g) 前記圧縮された第1の透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールで

10

20

あって、前記少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々は、第2の高圧側及び第2の低圧側を有し、前記第2の高圧側は第2の供給ポートから第2の非透過物ポートまで延在し、前記第2の低圧側は第2のスリーブポート及び第2の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第2段階膜モジュールに供給することと、

(h) 前記少なくとも1つの第2段階膜モジュール内の前記圧縮された第1の透過物流を第2の非透過物流と第2の透過物流とに分離することと、

(i) 前記第2の非透過物流を前記少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から前記第2の非透過物ポートを通して排出することと、

(j) 前記第2の透過物流を前記少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から前記第2の透過物ポートを通して排出することと、

(k) 前記第2の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、前記加圧供給ガス流を形成することと、

(l) 前記第2の透過物流を少なくとも1つの第3段階膜モジュールであって、前記少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々は、第3の高圧側及び第3の低圧側を有し、前記第3の高圧側は第3の供給ポートから第3の非透過物ポートまで延在し、前記第3の低圧側は第3のスリーブポート及び第3の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第3段階膜モジュールに供給することと、

(m) 前記少なくとも1つの第3段階膜モジュール内の前記第2の透過物流を第3の非透過物流と第3の透過物流とに分離することと、

(n) 前記第3の非透過物流を前記少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から前記第3の非透過物ポートを通して排出することと、

(o) 前記第3の透過物流を前記少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から前記第3の透過物ポートを通して排出することと、

(p) 前記第3の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

(q) 前記混成供給流を前記第2の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含み、

前記スリーブガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、方法。

【請求項2】

ステップ(d)は、前記スリーブガスを1.00bar g未満の圧力で導入することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記スリーブガスは、15%未満の二酸化炭素を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記スリーブガスは、少なくとも85%のメタンを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記スリーブガスは、前記加圧供給ガス流の総モル流量の5%以下である第1のモル流量の窒素を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記スリーブガスは、熱スイング吸着(TSA)プロセスからのテールガスを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記オフガスの少なくとも一部分を、(1)前記供給ガス流及び(2)前記第1の透過物流の群から選択される1つ以上に導くことを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記少なくとも1つの第1段階膜モジュールは、直列及び/又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

前記少なくとも1つの第2段階膜モジュールは、直列及び/又は並列に配置された複数

10

20

30

40

50

の膜モジュールを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 0】

前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記原供給ガス流は、嫌気性蒸解槽からの生成物流である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記原供給ガス流は、少なくとも 40 % のメタンを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

ステップ ( f ) は、前記第 1 の透過物流を前記第 1 の圧縮機内で少なくとも 10 bar の圧力まで圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 1 4】

前記第 1 の非透過物流は、少なくとも 70 % のメタンを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記第 3 の透過物流は、1 % 以下のメタンを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

方法であって、

( a ) 供給ガス流を第 2 の圧縮機内で圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、  
 ( b ) 前記加圧供給ガス流を少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールは、それぞれ第 1 の高圧側及び第 1 の低圧側を有し、前記第 1 の高圧側は第 1 の供給ポートから第 1 の非透過物ポートまで延在し、前記第 1 の低圧側は第 1 のスweepポート及び第 1 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールに供給することと、

20

( c ) 前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々における前記加圧供給ガス流を第 1 の非透過物流と第 1 の透過物流とに分離することと、

( d ) 前記第 1 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々から前記第 1 の非透過物ポートを通して排出することと、

( e ) 前記第 1 の非透過物流を少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々は、第 4 の高圧側及び第 4 の低圧側を有し、前記第 4 の高圧側は第 4 の供給ポートから第 4 の非透過物ポートまで延在し、前記第 4 の低圧側は第 4 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールに供給することと、

30

( f ) 前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々における前記第 1 の非透過物流を第 4 の非透過物流と第 4 の透過物流とに分離することと、

( g ) 前記第 4 の透過物流を前記第 4 の透過物ポートから排出することと、

( h ) 前記第 4 の非透過物流を前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々から前記第 4 の非透過物ポートを通して排出することと、

( i ) ステップ ( e ) において前記第 1 の非透過物流が前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールに供給される第 2 の流れ方向に対する向流である第 1 の流れ方向に供給されるスweepガスを使用して、前記第 4 の透過物流をスweepして前記第 4 の透過物ポートから排出することと、

40

( j ) 前記第 1 の透過物流を第 1 の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することと、

( k ) 前記圧縮された第 1 の透過物流を少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々は、第 2 の高圧側及び第 2 の低圧側を有し、前記第 2 の高圧側は第 2 の供給ポートから第 2 の非透過物ポートまで延在し、前記第 2 の低圧側は第 2 のスweepポート及び第 2 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールに供給することと、

( l ) 前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュール内の前記圧縮された第 1 の透過

50

物流を第 2 の非透過物流と第 2 の透過物流とに分離することと、

( m ) 前記第 2 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の非透過物ポートを通して排出することと、

( n ) 前記第 2 の透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の透過物ポートを通して排出することと、

( o ) 前記第 2 の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、前記加圧供給ガス流を形成することと、

( p ) 前記第 2 の透過物流を少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々は、第 3 の高圧側及び第 3 の低圧側を有し、前記第 3 の高圧側は第 3 の供給ポートから第 3 の非透過物ポートまで延在し、前記第 3 の低圧側は第 3 のスweepポート及び第 3 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールに供給することと、

( q ) 前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュール内の前記第 2 の透過物流を第 3 の非透過物流と第 3 の透過物流とに分離することと、

( r ) 前記第 3 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から前記第 3 の非透過物ポートを通して排出することと、

( s ) 前記第 3 の透過物流を前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から前記第 3 の透過物ポートを通して排出することと、

( t ) 前記第 3 の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

( u ) 前記混成供給流を前記第 2 の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含み、

前記スweepガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、方法。

#### 【請求項 17】

ステップ ( i ) は、前記スweepガスを 1 . 0 0 b a r g 未満の圧力で導入することを更に含む、請求項 16 に記載の方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本願は、バイオガスからのメタン回収のための多段階膜プロセス及びシステムに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

多段階膜システムは、原バイオガス流を高純度メタン流にアップグレードするための既知の方法である。そのような多段階膜システムは、高いメタン回収率及び純度を達成することができるが、そうするためには多くの場合比較的高い膜面積（又は計数）を必要とする。

#### 【0003】

一部の膜ベースのバイオガス分離プロセスでは、熱スイング吸着（T S A）システム又は液化ユニットからのテールガスなど、他のユニット動作から生成される低二酸化炭素（C O 2）濃度を有する低圧オフガスも存在する。分離プロセスに低圧オフガスを挿入することが望ましい場合がある。例えば、オフガス流からメタン（C H 4）又は C O 2 を回収することが望ましい場合がある。しかしながら、オフガス流を分離プロセスに挿入することで、所望の生成物純度を達成するのに必要とされる膜面積が増加し得る。

#### 【0004】

したがって、必要とされる膜サイズ及び資本コストを低減しながら、所望のメタン生成物回収率及び純度を達成することができる、効果的で信頼性が高くコスト効率の良い多段階膜方法及びシステムに対する必要性がある。また、膜面積及び関連資本コストを増加させない多段階膜法システムを利用して、他のユニット動作から生成される外部ガス流を処理することに対する必要性がある。

10

20

30

40

50

## 【発明の概要】

## 【0005】

本概要は、詳細な説明において以下に更に説明される選りすぐりの概念を簡略化された形式で紹介するために提供される。本概要は、特許請求される主題の主要な特徴又は本質的な特徴を識別するよう意図されたものでもなく、又は特許請求される主題の範囲を制限するために使用されるよう意図されたものでもない。

## 【0006】

開示される実施形態は、最終バイオメタン生成物を生成する責任を負う膜をスイープするためにガスを利用する、バイオガスからのメタン回収のための多段階膜方法及びシステムを提供することによって、当技術分野における必要性を満たす。スイープガスは、膜の

10

## 【0007】

システム及び方法のいくつかの態様を以下に概説する。

## 【0008】

態様1：方法であって、

(a) 供給ガス流を圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、

(b) 加圧供給ガス流を少なくとも1つの第1段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々は、第1の高圧側及び第1の低圧側を有し、第1の高圧側は第1の供給ポートから第1の非透過物ポートまで延在し、第1の低圧側は第1

20

のスweepポート及び第1の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第1段階膜モジュールに供給することと、

(c) 少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々における加圧供給ガス流を第1の非透過物流と第1の透過物流とに分離することと、

(d) ステップ(a)において加圧供給ガス流が少なくとも1つの第1段階膜モジュールに供給される第2の流れ方向に対する向流である第1の流れ方向に供給されるスイープガスを使用して、第1の透過物流をスイープして第1の透過物ポートから排出することと、

(e) 第1の非透過物流を少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々から第1の非透過物ポートを通して排出することと、

30

(f) 第1の透過物流を第1の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第1の透過物流を形成することと、

(g) 圧縮された第1の透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々は、第2の高圧側及び第2の低圧側を有し、第2の高圧側は第2の供給ポートから第2の非透過物ポートまで延在し、第2の低圧側は第2のスweepポート及び第2の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第2段階膜モジュールに供給することと、

(h) 少なくとも1つの第2段階膜モジュール内の圧縮された第1の透過物流を第2の非透過物流と第2の透過物流とに分離することと、

(i) 第2の非透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から第2の非透過物ポートを通して排出することと、

40

(j) 第2の透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から第2の透過物ポートを通して排出することと、

(k) 第2の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、加圧供給ガス流を形成することと、

(l) 第2の透過物流を少なくとも1つの第3段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々は、第3の高圧側及び第3の低圧側を有し、第3の高圧側は第3の供給ポートから第3の非透過物ポートまで延在し、第3の低圧側は第3のスweepポート及び第3の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第3段階膜モジュールに供給することと、

50

( m ) 少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュール内の第 2 の透過物流を第 3 の非透過物流と第 3 の透過物流とに分離することと、

( n ) 第 3 の非透過物流を少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から第 3 の非透過物ポートを通して排出することと、

( n ) 第 3 の透過物流を少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から第 3 の透過物ポートを通して排出することと、

( o ) 第 3 の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

( p ) 混成供給流を第 2 の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含む方法。

10

【 0 0 0 9 】

態様 2 : ステップ ( d ) は、スイープガスを 1 . 0 0 b a r g 未満の圧力で導入することを更に含む、態様 1 に記載の方法。

【 0 0 1 0 】

態様 3 : スイープガスは、15% 未満の二酸化炭素を含む、態様 1 又は 2 に記載の方法。

【 0 0 1 1 】

態様 4 : スイープガスは、少なくとも 85% のメタンを含む、態様 1 ~ 3 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 2 】

態様 5 : スイープガスは、加圧供給ガス流の第 2 のモル流量の 5% 以下である第 1 のモル流量の窒素を提供する、態様 1 ~ 4 のいずれかに記載の方法。

20

【 0 0 1 3 】

態様 6 : スイープガスは、オフガスを含む、態様 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 1 4 】

態様 7 : オフガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、態様 1 ~ 6 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 5 】

態様 8 : スイープガスは、熱スイング吸着 ( T S A ) プロセスからのテールガスを含む、態様 1 ~ 7 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 6 】

態様 9 : オフガスの少なくとも一部分を、( 1 ) 供給ガス流及び ( 2 ) 第 1 の透過物流の群から選択される 1 つ以上に導くことを更に含む、態様 1 ~ 8 のいずれかに記載の方法。

30

【 0 0 1 7 】

態様 10 : 少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 8 】

態様 11 : 少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 ~ 10 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 9 】

態様 12 : 少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 ~ 11 のいずれかに記載の方法。

40

【 0 0 2 0 】

態様 13 : 原供給ガス流は、嫌気性蒸解槽からの生成物流である、態様 1 ~ 12 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 2 1 】

態様 14 : 原供給ガス流は、少なくとも 40% のメタンを含む、態様 1 ~ 13 のいずれかに記載の方法。

【 0 0 2 2 】

態様 15 : ステップ ( f ) は、第 1 の透過物流を第 1 の圧縮機内で少なくとも 10 b a r g の圧力まで圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することを更に含む、態様 1

50

～ 14 のいずれかに記載の方法。

【0023】

態様16：第1の非透過物流は、少なくとも70%のメタンを含む、態様1～15のいずれかに記載の方法。

【0024】

態様17：第3の透過物流は、1%未満のメタンを含む、態様1～16のいずれかに記載の方法。

【0025】

態様18：方法であって、

- (a) 供給ガス流を圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、 10
- (b) 加圧供給ガス流を少なくとも1つの第1段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々は、第1の高圧側及び第1の低圧側を有し、第1の高圧側は第1の供給ポートから第1の非透過物ポートまで延在し、第1の低圧側は第1のスweepポート及び第1の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第1段階膜モジュールに供給することと、
- (c) 少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々における加圧供給ガス流を第1の非透過物流と第1の透過物流とに分離することと、
- (d) 第1の非透過物流を少なくとも1つの第1段階膜モジュールの各々から第1の非透過物ポートを通して排出することと、
- (e) 第1の非透過物流を少なくとも1つのストリップング膜モジュールであって、少なくとも1つのストリップング膜モジュールの各々は、第4の高圧側及び第4の低圧側を有し、第4の高圧側は第4の供給ポートから第4の非透過物ポートまで延在し、第4の低圧側は第4の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つのストリップング膜モジュールに供給することと、 20
- (f) 少なくとも1つのストリップング膜モジュールの各々における第1の非透過物流を第4の非透過物流と第4の透過物流とに分離することと、
- (g) 第4の透過物流を第4の透過物ポートから排出することと、
- (h) 第4の非透過物流を少なくとも1つのストリップング膜モジュールの各々から第4の非透過物ポートを通して排出することと、
- (i) ステップ(e)において第1の非透過物流が少なくとも1つのストリップング膜モジュールに供給される第2の流れ方向に対する向流である第1の流れ方向に供給されるスweepガスを使用して、第4の透過物流をスweepして第4の透過物ポートから排出することと、 30
- (j) 第1の透過物流を第1の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第1の透過物流を形成することと、
- (k) 圧縮された第1の透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々は、第2の高圧側及び第2の低圧側を有し、第2の高圧側は第2の供給ポートから第2の非透過物ポートまで延在し、第2の低圧側は第2のスweepポート及び第2の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第2段階膜モジュールに供給することと、 40
- (l) 少なくとも1つの第2段階膜モジュール内の圧縮された第1の透過物流を第2の非透過物流と第2の透過物流とに分離することと、
- (m) 第2の非透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から第2の非透過物ポートを通して排出することと、
- (n) 第2の透過物流を少なくとも1つの第2段階膜モジュールの各々から第2の透過物ポートを通して排出することと、
- (o) 第2の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、加圧供給ガス流を形成することと、
- (p) 第2の透過物流を少なくとも1つの第3段階膜モジュールであって、少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々は、第3の高圧側及び第3の低圧側を有し、第3

の高圧側は第3の供給ポートから第3の非透過物ポートまで延在し、第3の低圧側は第3のスweepポート及び第3の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも1つの第3段階膜モジュールに供給することと、

(q) 少なくとも1つの第3段階膜モジュール内の第2の透過物流を第3の非透過物流と第3の透過物流とに分離することと、

(r) 第3の非透過物流を少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から第3の非透過物ポートを通して排出することと、

(s) 第3の透過物流を少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から第3の透過物ポートを通して排出することと、

(t) 第3の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

(u) 混成供給流を第2の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含む、方法。

【0026】

態様19：ステップ(i)は、スweepガスを1.00 barg未満の圧力で導入することを更に含む、態様18に記載の方法。

【0027】

態様20：スweepガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、態様18又は19に記載の方法。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】例示的な3段階バイオガス分離システムのプロセスフロー図である。

【0029】

【図2】第1段階膜が外部スweepガスの導入のための入口を含む、例示的な3段階膜バイオガス分離システムのプロセスフロー図である。

【0030】

【図3】例示的なガス分離膜の内部構造を示す断面図である。

【0031】

【図4】図1の3段階バイオガス分離システムの性能特性を示す表である。

【0032】

【図5】図2に示された3段階バイオガス分離システムの性能特性を示す表である。

【0033】

【図6】ストリップング段階を含む、別の例示的な3段階膜バイオガス分離システムのプロセスフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

次の詳細な説明は、例示的な実施形態のみを提供し、本発明の範囲、適用可能性、又は構成を限定することを意図するものではない。むしろ、例示的な実施形態の次の詳細な説明は、本発明の例示的な実施形態を実装するための有効な説明を当業者に提供する。様々な変更が、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、要素の機能及び配置に行われ得る。

【0035】

本発明を説明するのに助けるために、本明細書及び特許請求の範囲では、方向を示す用語を使用して、本発明の部分を説明する場合がある(例えば、上方、下方、左、右など)。これらの方向を示す用語は、単に本発明を説明すること及び特許請求することを支援するよう意図されたものであり、本発明をいかようにも限定するようには意図されていない。加えて、図面に関連して本明細書に導入されている参照番号は、他の特徴のコンテキストを提供するために明細書に追加の説明なしに、1つ以上の後続の図面で繰り返される場合がある。

【0036】

10

20

30

40

50

特許請求の範囲では、特許請求されるステップを識別するために文字が使用されている（例えば、(a)、(b)、及び(c)）。これらの文字は、方法ステップを参照するのに助けるために使用され、そのような順序が特許請求の範囲に具体的に記載されている場合を除き、特許請求されるステップが実行される順序を示すようには意図されていない。

【0037】

別段に示されない限り、本明細書で使用される冠詞「a」及び「an」は、本明細書及び特許請求の範囲に記載されている本発明の実施形態における任意の特徴に適用される場合、1つ以上を意味する。「a」及び「an」の使用は、そのような制限が具体的に明記されない限り、意味を単一の特徴に限定しない。単数形又は複数形の名詞又は名詞句に先行する冠詞「the」は、特定の明記された特徴又は特定の明記された特徴らを示し、それが使用されるコンテキストに応じて単数形又は複数形の含意を有し得る。

10

【0038】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「バイオガス」という用語は、有機物、例えば生ごみ又は動物排せつ物の分解によって生成される再生可能燃料を意味する。

【0039】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「スweepガス」という用語は、膜の低圧側に給送され、透過物ガスを希釈し、その分圧を低下させ、膜からの透過物ガスの除去を更に支援するガスの流れを意味する。

【0040】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「膜」という用語は、選択的バリアとして作用し、ガス混合物間のガスの輸送を調節する、2つの隣接する相の間の相間体を意味する。

20

【0041】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「オフガス」という用語は、生成又は放出されるガス、特に化学プロセスの副産物として発せられるものを意味する。

【0042】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「バイオメタン生成物」という用語は、少なくとも95%のメタンに濃縮された精製バイオガスを意味する。

【0043】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「熱スイング吸着」という用語は、吸着剤の熱力学的特性を利用する分離プロセスを意味する。

30

【0044】

本明細書及び特許請求の範囲で使用される「膜ジュール」という用語は、(高圧側とも称される)シェル内に含まれる1つ以上の導管を通して供給ガスを比較的高い圧力で流すことによって、ガスを選択的に分離するために使用されるデバイスを意味する。導管は、各導管と(低圧側とも称される)シェル空間との間にバリアを提供する膜材料によって少なくとも部分的に画定されている。シェル空間は、比較的低い圧力で維持されるシェル内かつ膜の各々の外部にある、内部容積である。シェル側は、膜を透過するガスがシェルを出る透過物ポートと流体流連通している。任意選択的に、スweepガスをシェル空間に給送し、透過物ポートを通る透過物ガスの流れを支援する、スweepポートも設けられ得る。膜材料は、供給流(透過物ガスと称される)中の1つ以上のガスが、供給流(非透過物又は生成物ガスと称される)中の他のガスよりも高率で膜材料を通過することを可能にするように選択される。

40

【0045】

図1は、2つの圧縮機12及び14を含む、例示的な3段階膜バイオガス分離システム10である。バイオガスは、典型的には、主成分として二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)及びメタン(CH<sub>4</sub>)を含み、多くの場合、酸素(O<sub>2</sub>)及び窒素(N<sub>2</sub>)などの他の微量成分を伴う。システム10において使用される膜は、典型的には、CH<sub>4</sub>よりもCO<sub>2</sub>に対して選択的であり、これは、CO<sub>2</sub>が比較的高率で膜を優先的に通過する高速透過ガスとみなされ、一方、CH<sub>4</sub>は比較的低率で膜を横切る低速透過ガスであることを意味する。以降、高速透過ガス及び低速透過ガスは、それぞれ、高速ガス及び低速ガスと称されることがあ

50

る。膜を通るガス透過性は溶液拡散輸送機構によって制御され、透過速度は、ポリマー中の分子サイズ（拡散率）及び分子溶解度の関数であり、原動力に比例する。ガス分離の原動力は、膜の高圧側と低圧側との間の透過種の分圧差である。ガス混合物の各ガス成分のガス透過性は典型的には異なり、各ガス成分の分圧は、ガス混合物中のその相対濃度及びガス混合物の全圧に比例する。

#### 【 0 0 4 6 】

システム 10 では、（以下で考察される）第 3 の非透過物流 4 8 が原供給ガス流 3 0 に混合されて、混成供給流 3 2 を形成する。原供給ガス流は、いくつかの源から取得され得、1 つのそのような源は、嫌気性消化中に有機固体の生物学的発酵から生じるバイオガスである。バイオガス原供給ガス流の典型的な組成は、水蒸気で飽和された 4 0 ~ 7 0 % の  $\text{CH}_4$ 、3 0 ~ 6 0 % の  $\text{CO}_2$ 、並びに低濃度の硫化水素（0 ~ 5 ppm）、窒素（0 ~ 5 %）、及び酸素（0 ~ 5 %）である。混成供給流 3 2 は、供給圧縮機 1 2 内でより高い圧力に圧縮されて、圧縮された混成供給流 3 4 をもたらす。（以下で考察されるように、第 2 の非透過物流 4 4 とも呼ばれる）第 2 の再循環流 4 4 が、圧縮混成供給流 3 4 に混合されて、加圧供給ガス流 3 6 を形成する。

10

#### 【 0 0 4 7 】

低速ガス及び高速ガスの混合物を含有する加圧供給ガス 3 6 は、第 1 段階膜 2 0 に給送される。主に高速ガスと、加えて微量の低速ガスとを含むガスは、第 1 段階膜 2 0 を透過し、第 1 の透過物流 4 0 として出る一方で、膜を透過できない、主に低速ガスと、加えて微量の高速ガスとを含むガスは、拒否され、第 1 の非透過物流 3 8 として取り出される。バイオガスの場合、 $\text{CO}_2$  は、 $\text{CH}_4$  よりもはるかに速く透過する。第 1 の非透過物流 3 8 は、高濃度の低速ガスと非常に低濃度の高速ガスとを有する、低速ガスの最終生成物流として取り出すことができる。第 1 の透過物流 4 0 は、圧縮機 1 4 内で再圧縮され、圧縮された第 1 段階透過物流 4 2 を生成し、それが第 2 段階膜 2 2 に供給され、そこで、追加の低速ガスが、拒否され、第 2 段階非透過物流 4 4 として取り出され、高速ガスは、膜を透過し、第 2 段階透過物流 4 6 を生成する。第 2 段階非透過物流 4 4 は、供給圧縮機 1 2 の下流点で、圧縮混成供給流 3 4 に混合される。第 2 段階透過物流 4 6 は第 3 段階膜 2 4 に供給され、そこで、低速ガスは、拒否され、第 3 段階非透過物流 4 8 として取り出され、高速ガスは膜 2 4 を透過し、廃棄物流 5 0 を生成する。第 3 段階非透過物流 4 8 は供給圧縮機 1 2 の上流点に戻され、そこで、上で考察されたように、原供給ガス流 3 0 に混合され、システム 10 を通して再循環される。各膜 2 0、2 2、2 4 は 1 つ以上の膜を含み得る。各段階で複数の膜が使用される場合、それらは、直列若しくは並列に、又は両方に配置され得る。

20

30

#### 【 0 0 4 8 】

バイオガス生成システムが、熱スイング吸着（TSA）システム又は液化ユニットからのテールガスなど、他のユニット動作から生成される低  $\text{CO}_2$  濃度を有する低压オフガスを有することは珍しくない。システム 10 では、オフガス流 1 8 が供給圧縮機 1 2 の上流の混成供給流 3 2 に加えられる。多くの用途において、オフガス流 1 8 を混成供給流 3 2 に加えることで、所望の生成物純度を達成するのに必要な膜面積が増加する。加えて、低压オフガス流 1 8 は、多くの場合、原供給ガス流 3 0 よりも高い純度を有する。したがって、2 つの流れを混成させることは、熱力学的に好ましくない。

40

#### 【 0 0 4 9 】

図 2 は、3 段階膜バイオガス分離システム 1 0 0 の例示的な実施形態を示す。システム 1 0 0 は、図 1 のシステム 1 0 と実質的に同様であるが、但し、（オフガス源 1 5 6 から来るものとして概略的に示された）オフガス流を、混成供給流 1 3 2 に加える代わりに、第 1 段階膜 1 2 0 のための低压スイープガス流 1 1 8 として導入するように改変されている。

#### 【 0 0 5 0 】

システム 1 0 と同様に、本システム 1 0 0 に使用される膜 1 2 0、1 2 2、1 2 4 もまた、 $\text{CH}_4$  よりも  $\text{CO}_2$  に対して選択的である。図 2 のシステム 1 0 0 では、高速ガス及

50

び低速ガスの混合物を含有する原供給ガス流 130（例えば、CO<sub>2</sub>及びCH<sub>4</sub>を含有するバイオガス）がシステム 100 に供給される。例えば、システム 10 と同様に、原供給ガスは、嫌気性消化中の有機固体の生物学的発酵から取得され得る。（第 3 の非透過物流 148 と呼ばれる）第 1 の再循環流 148 が原供給ガス流 130 に混合されて、混成供給流 132 を形成する。混成供給流 132 は、供給圧縮機 112 内でより高い圧力に圧縮されて、圧縮混成供給流 134 をもたらす。（第 2 の非透過物流 144 と呼ばれる）第 2 の再循環流 144 が圧縮混成供給流 134 に混合されて、低速透過ガス及び高速透過ガスの混合物を含有する加圧供給ガス流 136 を形成し、低速ガスよりも高速ガスに対して選択的である第 1 段階膜 120 に給送される。このバイオガスの場合、CO<sub>2</sub>は、CH<sub>4</sub>よりもずっと迅速に透過する。第 1 段階膜 120 は 1 つ以上の膜を含み得る。

10

## 【0051】

低压スイープガス流 118 の組成は、好ましくは、0 ~ 5 % の CO<sub>2</sub> 及び 1 % 未満の望ましくない低速ガス（窒素など）である。スイープガス流 118 は、第 1 段階膜 120 に供給されて、第 1 段階膜 120 のシェル側をスイープする。主に高速ガスと、加えて微量の低速ガスとを含むガスは、第 1 段階膜 120 を透過して第 1 の透過物流 140 として出る一方で、第 1 段階膜 120 を透過できない、主に低速ガスと、加えて微量の高速ガスとを含むガスは、拒否され、第 1 の非透過物流 138 として取り出される。第 1 の非透過物流 138 がシステム 100 を出るときに、その圧力を調節するために、制御バルブ 116 が使用され得る。

## 【0052】

20

第 1 の非透過物流 138 は、高濃度の低速ガスと非常に低濃度の高速ガスとを有する、低速ガスの最終生成物流として取り出すことができる。第 1 の透過物流 140 は、第 1 段階透過物圧縮機 114 内で再圧縮され、圧縮された第 1 の透過物流 142、すなわち、高速透過ガスといくらかの量の低速透過ガスとの加圧混合物を生成し、それが、1 つ以上の膜を含み得る第 2 段階膜モジュール 122 に供給される。主に高速ガスと、加えて微量の低速ガスとを含むガスは、第 2 段階膜モジュール 122 を透過して第 2 の透過物流 146 として出る一方で、膜を透過できない、低速ガス及び低速ガスを含むガスは、拒否され、第 2 の非透過物流 144 として取り出される。第 2 の非透過物流 144 は、再循環されて、供給圧縮機 112 の下流の圧縮混成供給流 134 に戻る。

## 【0053】

30

第 2 の透過物流 146 は、第 3 段階膜 124 に供給される。第 3 段階膜 124 では、主に高速ガスと、加えて微量の低速ガスとを含むガスは、第 3 段階膜 124 を透過して第 3 の透過物流 150 として出る一方で、低速ガスは、拒否され、第 3 段階非透過物流 148 として取り出される。第 3 の非透過物流 148 は、再循環されて、供給圧縮機 112 の上流の原供給ガス流 130 に戻る。制御バルブ 113 が、第 3 段階膜 124 にわたって適切な圧力を維持するために使用され、かつ第 2 段階膜モジュール 122 のシェル側の圧力に影響を与えるために使用され得る。（排気流 150 と呼ばれる）第 3 の透過物流 150 は、高速ガスに富む流れであり、バイオガスの場合、主に CO<sub>2</sub> であり、用途に応じて更に排気又は処理することができる。第 3 段階膜 124 は 1 つ以上の膜を含み得る。各膜段階 120、122、及び 124 は 1 つ以上の膜を含み得、複数の膜は直列又は並列に配置される。

40

## 【0054】

システム 100 は、以下を含むが、これらに限定されない、供給流 130 内のいくつかの高速ガス / 低速ガス対のうちのいずれか 1 つを分離するために使用することができる：CO<sub>2</sub> / CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub> / CO、H<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> / N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> / N<sub>2</sub>、He / CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub> / CH<sub>4</sub>、及び H<sub>2</sub> / N<sub>2</sub>。

## 【0055】

いくつかの用途では、オフガス 156 の一部分をシステム 100 の異なる流れに、制御された方式で導入する能力を提供することが望ましい場合がある。例えば、オフガス 156 の第 1 の部分 118 A を供給圧縮機 112 の上流の混成供給流 132 に、及び / 又はオ

50

フガス 156 の第 2 の部分 118 B を第 1 段階透過物圧縮機 114 の上流の第 1 の透過物流 140 に導入することが望ましい場合がある。流れ 118、118 A、及び 118 B の各々に導かれるオフガス 156 の割合は、供給圧縮機 112 及び第 1 段階透過物圧縮機 114 を駆動するのに必要とされる電力のバランスをとるように調整することができる。

【0056】

図 6 は、3 段階膜バイオガス分離システム 200 の別の例示的な実施形態を示す。システム 200 は、図 2 のシステム 100 と実質的に同様であるが、但し、第 1 の非透過物流 238 が供給されるストリッピング膜 252 を含むストリッピング段階を導入するように変更されている。この実施形態は、生成物ガス中に非常に低い CO<sub>2</sub> 濃度が望まれる用途で使用され得る。この実施形態では、第 1 の実施形態（図 2 のシステム 100）と共有される要素は、100 だけ増やした参照番号によって表されている。例えば、図 2 の供給圧縮機 112 は、図 6 の供給圧縮機 216 に対応する。本明細書の簡潔さのために、第 1 の実施形態と共有されるこの実施形態のいくつかの特徴は、図 6 に番号が付けられているが、本明細書では繰り返されない。

10

【0057】

ストリッピング膜 252 では、高速透過ガス及び低速透過ガスの混合物を含むガスは、ストリッピング膜 252 を透過して第 4 の透過物流 258 として出る一方で、低速ガスは、拒否され、ストリッピングされた非透過物流 260 として取り出される。ストリッピングされた非透過物流 260 がシステム 200 を出るときにその圧力を調節するために、制御バルブ 216 が使用され得る。主に高速透過ガス及び低速透過ガスの混合物を含むストリッピングされた透過物流 254 は、ストリッピング膜 252 を透過して出る。ストリッピングされた透過物流 254 の全部又は部分のいずれかを、システム 200 内の 1 つ以上の流れに導くことができる。例えば、部分 254 A は、供給圧縮機 212 の上流の圧縮供給流 234 内に再循環させることができ、部分 254 B は、スweepガス 218 と混成させてから、第 1 段階膜 220 のシェル側に流すことができ、かつ/又は部分 254 C は、第 1 段階透過物圧縮機 214 の入口に供給することができる。

20

【0058】

ほとんどの用途において、スweepガスは、最終生成物ガス流を提供している膜モジュール段階の低圧側にのみ給送される。一般に、生成物ガス流は、システム内の任意の流れの最高濃度の生成物ガス（本明細書で提供されている実施例では、CH<sub>4</sub>）を有する流れである。システム 100 では、第 1 の非透過物流 138 が、（バイオメタン生成物とも称される）最終生成物流である。したがって、システム 100 では、スweepガス流 118 は、第 1 段階膜モジュール 120 の低圧側に給送される。システム 200 では、ストリッピングされた非透過物流 260 が生成物ガス流である。したがって、スweepガス 218 C は、ストリッピング膜モジュール 252 の低圧側に給送される。

30

【0059】

ここで図 3 を参照すると、例示的な第 1 段階膜 120 の構造的詳細が示されている。同様の構造を、システム 100 に使用される膜 120、122、124 のうちのいずれにも使用することができる。第 1 段階膜 120 は、シェル 162 の長さに沿って延在する開放型中空繊維 160 a ~ 160 h の束を有するコアを備える。シェル 162 は、加圧供給ガス流 136 が供給される供給ポート 164 と、第 1 の非透過物流 138 が第 1 段階膜 120 を出る非透過物ポート 166 と、第 1 の透過物流 140 が第 1 段階膜 120 を出る透過物ポート 168 と、を含む。

40

【0060】

中空繊維 160 a ~ 160 h の束は、熱可塑性又は熱硬化性の材料で作製されたチューブシート 170、172 によって両端で合わせて保持されている。チューブシート材料の例としては、硬化エポキシ又はポリウレタン系配合物が挙げられる。チューブシートのうちの一方 170 は、第 1 段階膜 120 の供給端 174 に（供給ポート 164 に隣接して）位置し、他方のチューブシート 172 は、第 1 段階膜 120 の非透過物端 176 に（非透過物ポート 166 に隣接して）位置する。

50

## 【 0 0 6 1 】

加圧供給ガス流 1 3 6 と第 1 の透過物流 1 4 0 との間に向流を提供するために、透過物ポート 1 6 8 は、供給端チューブシート 1 7 0 の内側に、典型的には、供給端チューブシート 1 7 0 の内縁部から非透過物端チューブシート 1 7 2 までの距離の 3 分の 1 以下に、位置する。同様に、スweepポート 1 7 8 が、非透過物端チューブシート 1 7 2 の内側に、典型的には、非透過物端チューブシート 1 7 2 の内縁部から、距離の 3 分の 1 以下に、位置する。スweepポート 1 7 8 は、ある給送量のスweepガス 1 1 8 と流体流連通し得る。

## 【 0 0 6 2 】

繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h は、高速ガスに対して透過性であり、かつ低速ガスに対して透過性が低いように意図された半透過性壁を有する。したがって、低速ガス及び高速ガスの混合物である加圧供給ガス流 1 3 6 が繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h を通って流れるとき、高速ガスは、繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h の壁を通過して透過物ポート 1 6 8 を通って流れ、低速ガスは、繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h 内に留まり、非透過物ポート 1 6 6 まで流れる。

10

## 【 0 0 6 3 】

第 1 段階膜 1 2 0 の内腔側は、本明細書では、流体が、供給ポート 1 6 4 を通って導入され、( 図 3 に矢印によって示された ) 繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h の内腔又は管腔側を通り、非透過物ポート 1 6 6 を通って出るときにたどる経路として定義される。第 1 段階膜 1 2 0 のシェル側は、本明細書では、シェル 1 6 2 内の、チューブシート 1 7 0 とチューブシート 1 7 2 との間で、かつ繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h の外部の内部容積として定義される。システム 1 0 0 では、加圧供給ガス流 1 3 6 は、第 1 段階膜 1 2 0 の内腔側に流れ込み、第 1 の非透過物流 1 3 8 として内腔側を出る。繊維 1 6 0 a ~ 1 6 0 h の壁を通過した後、加圧供給ガス流 1 3 6 の高速ガス部分は、シェル側に進入し、そこで、任意選択的に、スweepガス 1 1 8 と混合され、透過物ポート 1 6 8 を通してシェル側から、第 1 の透過物流 1 4 0 としてスweepされる。

20

## 【 0 0 6 4 】

スweepガス流 1 1 8 は、1 . 0 0 b a r g 未満、例えば、0 . 8 9 b a r g の低圧で導入され得る。スweepガス流 1 1 8 は、1 5 % 未満、又は 1 0 % 未満、又は 5 % 未満の C O 2 濃度で提供され得る。スweepガス流 1 1 8 は、8 5 % よりも高い、又は 9 0 % よりも高い、又は 9 5 % よりも高い C H 4 濃度で提供され得る。スweepガス流 1 1 8 には、流れ 1 3 0 内の原供給ガスの総モル流量の 5 % 以下であるモル流量の含有窒素が提供され得る。スweepガス流 1 1 8 には、流れ 1 3 0 内の原供給ガスの総モル流量の 5 % 以下であるモル流量の含有酸素が提供され得る。

30

## 【 0 0 6 5 】

システム 1 0 0 では、各膜段階 1 2 0、1 2 2、及び 1 2 4 は 1 つ以上の膜を含み得、複数の膜は直列及び / 又は並列に配置される。各膜は、平らなシート又は中空繊維の形態であってもよく、膜のモジュールは、螺旋巻きの平らなシート又は中空繊維の束のいずれかであってもよい。各膜段階 1 2 0、1 2 2、及び 1 2 4 で、同じ数及び / 又はタイプの膜を使用する必要はない。例えば、いくつかの実施形態では、3 つの段階の全てが同じ透過性及び選択性の膜を使用し得る。他の実施形態では、各段階の膜透過性及び選択性は、他の段階のものとは異なり得る。更に他の実施形態では、2 つの段階は、同じ透過性及び選択性の膜を使用してもよく、残りの段階は、異なる透過性及び選択性の膜を使用してもよい。各膜は、当技術分野で知られている、若しくは所望の分離に好適であると将来判断される多数のポリマーから選択された単一のポリマーで作製されてもよく、又は各膜は、複数のポリマーから作製された複合膜であってもよい。

40

## 【 0 0 6 6 】

他のタイプの膜モジュールを使用することができることを理解されたい。膜構成の例としては、膜束、フラットシート、又はらせん形巻き物としてパッケージ化された中空繊維、並びにプレート及びフレーム構成が挙げられる。膜は、一般に、ポリマーから形成される。膜を作製するために使用されるポリマーの例は、ポリスチレン、ポリスルホン、ポリ

50

エーテルスルホン、ポリフッ化ビニル、ポリフッ化ビニリデン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリカーボネート、ポリフェニレンオキシド、ポリエチレン、ポリプロピレン、酢酸セルロース、ポリイミド（マトリミド5218若しくはP-84など）、ポリアミド、ポリビニルアルコール、ポリ酢酸ビニル、ポリエチレンオキシド、ポリジメチルシロキサン、コポリマー、ブロックコポリマー、又はポリマーブレンドが挙げられるが、これらに限定されない。中空繊維膜は、非多孔質層と非対称であってもよく、又は非多孔質コーティングを有する多孔質支持体を含み得る。コーティングが、中空繊維の内面又は外面に適用され得る。中空繊維の束がチューブシートによって一端又は両端で合わせて保持されている膜（図3の膜120など）では、チューブシートは、熱可塑性又は熱硬化性の材料で作製され得る。チューブシート材料の例としては、硬化エポキシ又はポリウレタン系配合物が挙げられる。容器は、プラスチック、金属、又は他の好適な材料で構築され得る。

10

## 【0067】

中空繊維の束が設けられている実施形態（図3の膜120など）では、供給ガスは、（図3に示されたように）繊維の内腔側を通して供給され得る。代替的に、供給ガスは、シェル空間を通して供給することができる。この場合、シェル空間は膜の高圧側となり、内腔空間は膜の低圧側となり、スweepポート178及び透過物ポート168は供給ポート及び生成物ポートとなり、それぞれ、供給ポート164及び非透過物ポート166はスweepポート及び透過物ポートとなる。

## 【0068】

図4及び図5の表は、オフガス流を混成供給流32に加える3段階バイオガス分離システム10（図1）の性能特性を、第1段階膜120のためのスweepガス流118としてオフガス流を使用する3段階バイオガス分離システム100（図2）の性能特性とを比較するものである。以下の表1に示される条件を使用してシミュレーションを行った。

20

## 【表1】

表1

原供給：60%のCH <sub>4</sub> ／40%のCO <sub>2</sub> で500NMH
動作温度：40℃
第1の圧縮機の出口圧力：13 barg
第2の圧縮機の出口圧力：13.9 barg
TSAテールガス：95%のCH <sub>4</sub> ／5%のCO <sub>2</sub> で200NMH
目標：バイオメタン生成物中に98.5%のCH <sub>4</sub>
目標：排気流中に1%のCH <sub>4</sub>
CO <sub>2</sub> ／CH <sub>4</sub> 選択性＝30

30

## 【0069】

図4及び図5に示されたように、並びに以下の表2に要約されるように、システム10及びシステム100の両方が、目標生成物組成及び目標生成物回収率を生み出す。しかしながら、スweepガス流118を利用して、本システム100は、上記の条件に対してシステム10の下で必要とされる膜面積の75%を利用して、同じ結果を達成する。

40

## 【表 2】

表 2

	システム100 (図2)	システム10 (図1)
生成物組成	バイオメタン生成物38中に98.5%のCH <sub>4</sub> 、排気流50中に1%のCH <sub>4</sub>	バイオメタン生成物138中に98.5%のCH <sub>4</sub> 、排気流150中に1%のCH <sub>4</sub>
生成物	99.58%のCH <sub>4</sub>	99.58%のCH <sub>4</sub>
合計相対膜面積	0.75	1.0

10

## 【0070】

図4に示されたように、3つの膜段階20、22、及び24と、供給圧縮機12と、第1段階透過物圧縮機14とを有するシステム10の構成を使用して、プロセスシミュレーションを実行した。このプロセスシミュレーションでは、低压オフガスが、圧縮機の上流点に給送され、スweepガスシステム10のようではない。供給量500NMHの、60%のCH<sub>4</sub>及び40%のCO<sub>2</sub>を含有する原バイオガス流30が、システムに提供される。供給流30は、20.2NMHの流量を有し、56.12%のCH<sub>4</sub>及び43.88%のCO<sub>2</sub>を含有する第3の非透過物流48と、200NMHの流量を有し、95.00%のCH<sub>4</sub>及び5.00%のCO<sub>2</sub>を含有する低压オフガスとに混成されて混成供給流32を形成し、それが圧縮機12によって圧縮される。結果として生じる圧縮混成供給流34は、250.8NMHで、62.17%のCH<sub>4</sub>及び37.83%のCO<sub>2</sub>を含有する第2の非透過物流44と混成されて、約13.00 barg及び40 で67.69%のCH<sub>4</sub>及び32.31%のCO<sub>2</sub>を含有する、971.1NMHの加圧供給ガス流36を作り出す。圧縮混成供給流36が第1段階膜20に供給されて、第1の非透過物流38及び第1の透過物流40を生成する。第1の非透過物流38は、495.4NMHのモル流量を有し、98.5%のCH<sub>4</sub>及び1.5%のCO<sub>2</sub>を含有し、生成物ガスとして取り出される。

20

## 【0071】

第1の透過物流40は、475.7NMHのモル流量を有し、第1の透過物圧縮機14に進入する。圧縮供給ガス流42は第2段階膜22に供給されて、第2の非透過物流44及び第2の透過物流46を生成する。第2の透過物流46は第3段階膜に供給され、第3段階透過物流50(又は廃棄物流)が204.6NMHで取り出され、ちょうど1.00モル%のCH<sub>4</sub>及び99.0%のCO<sub>2</sub>を含有する。

30

## 【0072】

比較のために、図5は、スweepガス流118として低压オフガスを利用するシステム100の構成を使用して実行されるプロセスシミュレーションを示す。システム100は、3つの段階の膜120、122、及び124と、供給圧縮機112と、第1段階透過物圧縮機114と、を含む。供給量500NMHの、60%のCH<sub>4</sub>及び40%のCO<sub>2</sub>を含有する原バイオガス流130が、システム100に提供される。流れ130は、28.8NMHの流量を有し、46.85%のCH<sub>4</sub>及び53.15%のCO<sub>2</sub>を含有する第3の非透過物流148と混成されて混成供給流112を形成し、それが圧縮機1112によって圧縮される。結果として生じる圧縮混成供給流134は、463.4NMHで、59.57%のCH<sub>4</sub>及び40.43%のCO<sub>2</sub>を含有する第2の非透過物流144と混成されて、約13.00 barg及び40 で59.42%のCH<sub>4</sub>及び40.58%のCO<sub>2</sub>を含有する、992.2NMHの加圧供給ガス流136を作り出す。加圧供給ガス流136は、第1段階膜120に供給されて、第1の非透過物流138及び第1の透過物流140を生成する。

40

## 【0073】

同時に、95.00%のCH<sub>4</sub>及び5.00%のCO<sub>2</sub>を含有するスweepガス流118が第1段階膜モジュール120に供給される。スweepガス流118の導入により、目

50

標生成物組成及び目標生成物回収率が、システム 10 に必要とされる面積のたった 75% で達成される。第 1 の非透過物流 138 は、98.5% の CH<sub>4</sub> 及び 1.5% の CO<sub>2</sub> を含有し、生成物ガスとして取り出される。

【0074】

第 1 の透過物流 140 は、696.8 NMH のモル流量を有し、第 1 段階透過物圧縮機 114 に進入する。圧縮された第 1 の透過物流 142 は第 2 段階膜モジュール 122 に供給されて、第 2 の非透過物流 144 及び第 2 の透過物流 146 を生成する。第 2 の透過物流 146 は第 3 段階膜モジュール 124 に供給され、第 3 段階透過物流 150 (又は廃棄物流) が 204.6 NMH で取り出され、ちょうど 1.00 モル% の CH<sub>4</sub> 及び 99.0% の CO<sub>2</sub> を含有する。

【0075】

本発明は、本発明のいくつかの態様の例示として意図される実施例において開示されている特定の態様又は実施形態によって範囲が限定されるものではなく、機能的に同等であるいかなる実施形態も本発明の範囲内にある。本明細書に示され、説明されたものに加えて、本発明の様々な修正が、当業者には明らかになり、添付の特許請求の範囲の範囲内に収まることが意図されている。以下の項目 [態様 1] ~ [態様 20] に本発明の実施形態の例を列記する。

[態様 1]

方法であって、

(a) 供給ガス流を圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、

(b) 前記加圧供給ガス流を少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々は、第 1 の高圧側及び第 1 の低圧側を有し、前記第 1 の高圧側は第 1 の供給ポートから第 1 の非透過物ポートまで延在し、前記第 1 の低圧側は第 1 のスweepポート及び第 1 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールに供給することと、

(c) 前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々における前記加圧供給ガス流を第 1 の非透過物流と第 1 の透過物流とに分離することと、

(d) ステップ (a) において前記加圧供給ガス流が前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールに供給される第 2 の流れ方向に対する向流である第 1 の流れ方向に供給されるスweepガスを使用して、前記第 1 の透過物流をスweepして前記第 1 の透過物ポートから排出することと、

(e) 前記第 1 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々から前記第 1 の非透過物ポートを通して排出することと、

(f) 前記第 1 の透過物流を第 1 の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することと、

(g) 前記圧縮された第 1 の透過物流を少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々は、第 2 の高圧側及び第 2 の低圧側を有し、前記第 2 の高圧側は第 2 の供給ポートから第 2 の非透過物ポートまで延在し、前記第 2 の低圧側は第 2 のスweepポート及び第 2 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールに供給することと、

(h) 前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュール内の前記圧縮された第 1 の透過物流を第 2 の非透過物流と第 2 の透過物流とに分離することと、

(i) 前記第 2 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の非透過物ポートを通して排出することと、

(j) 前記第 2 の透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の透過物ポートを通して排出することと、

(k) 前記第 2 の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、前記加圧供給ガス流を形成することと、

(l) 前記第 2 の透過物流を少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々は、第 3 の高圧側及び第 3 の低圧側を有し

10

20

30

40

50

、前記第 3 の高圧側は第 3 の供給ポートから第 3 の非透過物ポートまで延在し、前記第 3 の低圧側は第 3 のスリーブポート及び第 3 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールに供給することと、

（ m ）前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュール内の前記第 2 の透過物流を第 3 の非透過物流と第 3 の透過物流とに分離することと、

（ n ）前記第 3 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から前記第 3 の非透過物ポートを通して排出することと、

（ n ）前記第 3 の透過物流を前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々から前記第 3 の透過物ポートを通して排出することと、

（ o ）前記第 3 の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

（ p ）前記混成供給流を第 2 の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含む、方法。

[ 態様 2 ]

ステップ（ d ）は、前記スリーブガスを 1.00 bar g 未満の圧力で導入することを更に含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 3 ]

前記スリーブガスは、15% 未満の二酸化炭素を含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 4 ]

前記スリーブガスは、少なくとも 85% のメタンを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 5 ]

前記スリーブガスは、前記加圧供給ガス流の第 2 のモル流量の 5% 以下である第 1 のモル流量の窒素を提供する、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 6 ]

前記スリーブガスは、オフガスを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 7 ]

前記オフガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、態様 6 に記載の方法。

[ 態様 8 ]

前記スリーブガスは、熱スイング吸着（TSA）プロセスからのテールガスを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 9 ]

前記オフガスの少なくとも一部分を、（ 1 ）前記供給ガス流及び（ 2 ）前記第 1 の透過物流の群から選択される 1 つ以上に導くことを更に含む、態様 7 に記載の方法。

[ 態様 10 ]

前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 11 ]

前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 12 ]

前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールは、直列及び / 又は並列に配置された複数の膜モジュールを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 13 ]

前記原供給ガス流は、嫌気性蒸解槽からの生成物流である、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 14 ]

前記原供給ガス流は、少なくとも 40% のメタンを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 15 ]

ステップ（ f ）は、前記第 1 の透過物流を前記第 1 の圧縮機内で少なくとも 10 bar g の圧力まで圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することを更に含む、態様 1 に

10

20

30

40

50

記載の方法。

[ 態様 1 6 ]

前記第 1 の非透過物流は、少なくとも 7 0 % のメタンを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 1 7 ]

前記第 3 の透過物流は、1 % 未満のメタンを含む、態様 1 に記載の方法。

[ 態様 1 8 ]

方法であって、

\_\_\_\_\_ ( a ) 供給ガス流を圧縮して加圧供給ガス流を形成することと、

\_\_\_\_\_ ( b ) 前記加圧供給ガス流を少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々は、第 1 の高圧側及び第 1 の低圧側を有し、前記第 1 の高圧側は第 1 の供給ポートから第 1 の非透過物ポートまで延在し、前記第 1 の低圧側は第 1 のスweepポート及び第 1 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールに供給することと、

\_\_\_\_\_ ( c ) 前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々における前記加圧供給ガス流を第 1 の非透過物流と第 1 の透過物流とに分離することと、

\_\_\_\_\_ ( d ) 前記第 1 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 1 段階膜モジュールの各々から前記第 1 の非透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_\_ ( e ) 前記第 1 の非透過物流を少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々は、第 4 の高圧側及び第 4 の低圧側を有し、前記第 4 の高圧側は第 4 の供給ポートから第 4 の非透過物ポートまで延在し、前記第 4 の低圧側は第 4 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールに供給することと、

\_\_\_\_\_ ( f ) 前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々における前記第 1 の非透過物流を第 4 の非透過物流と第 4 の透過物流とに分離することと、

\_\_\_\_\_ ( g ) 前記第 4 の透過物流を前記第 4 の透過物ポートから排出することと、

\_\_\_\_\_ ( h ) 前記第 4 の非透過物流を前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールの各々から前記第 4 の非透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_\_ ( i ) ステップ ( e ) において前記第 1 の非透過物流が前記少なくとも 1 つのストリップング膜モジュールに供給される第 2 の流れ方向に対する向流である第 1 の流れ方向に供給されるスweepガスを使用して、前記第 4 の透過物流をスweepして前記第 4 の透過物ポートから排出することと、

\_\_\_\_\_ ( j ) 前記第 1 の透過物流を第 1 の圧縮機内で圧縮して、圧縮された第 1 の透過物流を形成することと、

\_\_\_\_\_ ( k ) 前記圧縮された第 1 の透過物流を少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々は、第 2 の高圧側及び第 2 の低圧側を有し、前記第 2 の高圧側は第 2 の供給ポートから第 2 の非透過物ポートまで延在し、前記第 2 の低圧側は第 2 のスweepポート及び第 2 の透過物ポートと流体流連通している、少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールに供給することと、

\_\_\_\_\_ ( l ) 前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュール内の前記圧縮された第 1 の透過物流を第 2 の非透過物流と第 2 の透過物流とに分離することと、

\_\_\_\_\_ ( m ) 前記第 2 の非透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の非透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_\_ ( n ) 前記第 2 の透過物流を前記少なくとも 1 つの第 2 段階膜モジュールの各々から前記第 2 の透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_\_ ( o ) 前記第 2 の非透過物流を圧縮混成供給流と混成させて、前記加圧供給ガス流を形成することと、

\_\_\_\_\_ ( p ) 前記第 2 の透過物流を少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールであって、前記少なくとも 1 つの第 3 段階膜モジュールの各々は、第 3 の高圧側及び第 3 の低圧側を有し、前記第 3 の高圧側は第 3 の供給ポートから第 3 の非透過物ポートまで延在し、前記第 3 の低圧側は第 3 のスweepポート及び第 3 の透過物ポートと流体流連通している、少なく

10

20

30

40

50

とも1つの第3段階膜モジュールに供給することと、

\_\_\_\_ (q) 前記少なくとも1つの第3段階膜モジュール内の前記第2の透過物流を第3の非透過物流と第3の透過物流とに分離することと、

\_\_\_\_ (r) 前記第3の非透過物流を前記少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から前記第3の非透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_ (s) 前記第3の透過物流を前記少なくとも1つの第3段階膜モジュールの各々から前記第3の透過物ポートを通して排出することと、

\_\_\_\_ (t) 前記第3の非透過物流を原供給ガス流と混成させて、混成供給流を形成することと、

\_\_\_\_ (u) 前記混成供給流を第2の圧縮機内で圧縮して、圧縮混成供給流を形成することと、を含む、方法。

10

[ 態様 19 ]

\_\_\_\_ ステップ ( i ) は、前記スイープガスを 1 . 0 0 b a r g 未満の圧力で導入することを更に含む、態様 18 に記載の方法。

[ 態様 20 ]

\_\_\_\_ 前記スイープガスは、液化プロセス又は温度スイング吸着プロセスからのオフガスを含む、態様 18 に記載の方法。

【 図面 】

【 図 1 】

【 図 2 】

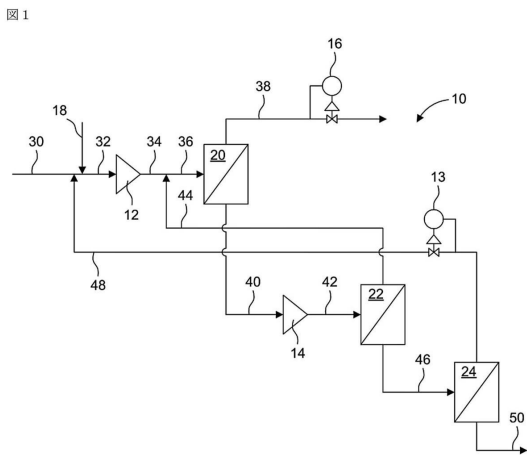


図 1

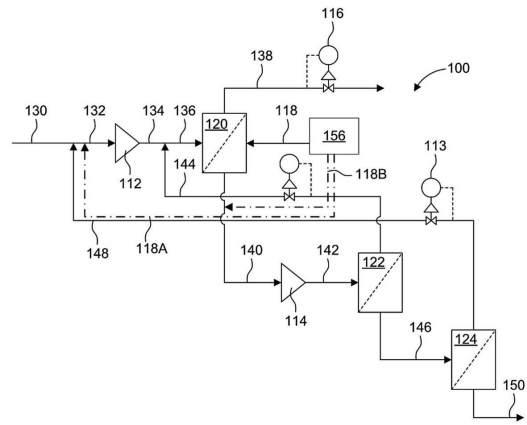


図 2

20

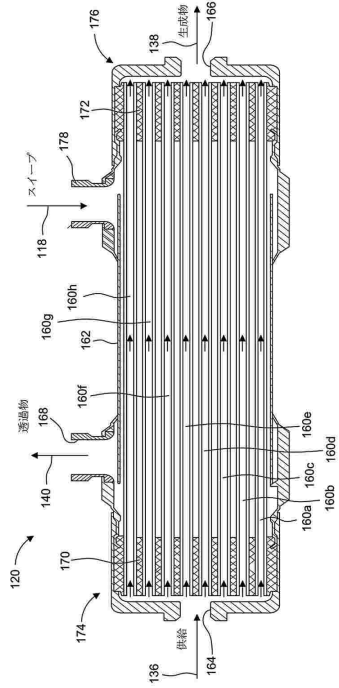
30

40

50

【図 3】

図 3



【図 4】

図 4

流体の組成—図1のシステム1.0

流体番号	30	48	32	36	40	42	46	44	18	50	38	概要
組成 (wt%)												
CH <sub>4</sub>	60.00	55.12	69.61	67.69	35.60	5.96	62.17	95.00	1.00	98.50	1.50	組成ガス
CO <sub>2</sub>	40.00	43.88	30.39	32.31	64.40	84.04	37.63	5.00	99.00	1.50	CO <sub>2</sub> 組成%	
N <sub>2</sub>												CH <sub>4</sub> Rec (T.S.A.オフガスCH <sub>4</sub> を含む)
H <sub>2</sub> O												
圧縮												
オイル												
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
分子量	27.23	28.31	24.54	25.08	34.05	42.34	26.62	17.44	43.73	16.46		
総流量: Nm <sup>3</sup> /時	500.0	20.2	720.2	971.1	475.7	224.9	250.8	200.0	204.6	495.4		
kgモル/時	18.5	0.7	25.6	34.6	16.8	8.2	9.0	7.3	7.3	17.6		
kg/時	607.4	25.6	788.6	1088.6	722.7	424.8	297.9	155.6	393.2	363.9		
温度 °C	40.0	20.0	39.6	40.0	40.0	40.0	40.0	31.8	39.4	32.9		
圧力 Bar g	0.0	0.9	0.0	13.00	0.98	13.90	2.73	0.89	0.00	13.00		

10

20

【図 5】

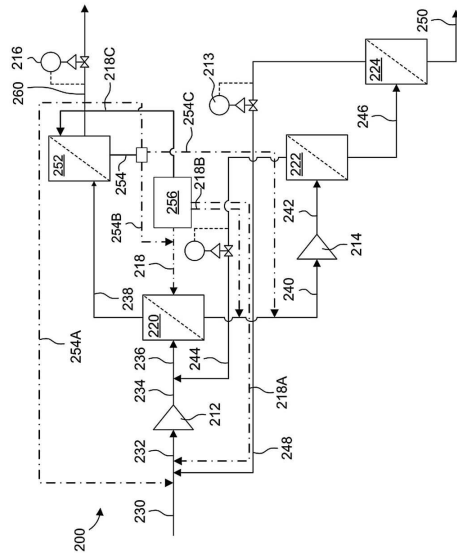
図 5

流体の組成—図2のシステム1.0

流体番号	130	148	132	136	140	142	146	144	118	150	138	概要
組成 (wt%)												
CH <sub>4</sub>	60.00	46.85	59.28	59.42	41.85	41.85	6.65	59.57	95.00	1.00	16.46	組成ガス
CO <sub>2</sub>	40.00	53.15	40.72	40.58	58.15	58.15	93.35	40.43	5.00	99.00	1.50	CO <sub>2</sub> 組成%
N <sub>2</sub>												CH <sub>4</sub> Rec (T.S.A.オフガスCH <sub>4</sub> を含む)
H <sub>2</sub> O												
圧縮												
オイル												
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
分子量	27.23	30.91	27.43	27.39	32.31	32.31	42.15	27.35	17.44	43.73	16.46	
総流量: Nm <sup>3</sup> /時	500.0	26.8	529.8	992.2	696.8	233.4	463.4	200.0	204.6	495.4		
kgモル/時	18.5	0.9	19.1	35.9	24.9	8.3	16.5	7.3	7.3	17.6		
kg/時	607.4	32.7	647.1	1212.6	1004.3	438.8	565.9	250.8	204.6	495.4		
温度 °C	40.0	22.8	39.0	40.0	40.0	40.0	35.4	40.0	40.0	31.8		
圧力 Bar g	0.0	0.5	0.0	13.00	0.80	13.90	2.54	0.89	0.00	13.00		

【図 6】

図 6



30

40

50

## フロントページの続き

(74)代理人 100202441

弁理士 岩田 純

(72)発明者 マシュー ピー オブライエン

アメリカ合衆国, ミズーリ 63051, ハウス スプリングス, グレンデール ロード 4267

(72)発明者 ドナルド イー ヘンリー

アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18104, アレンタウン, ウエスト ウォルナット ストリート 2439

審査官 池田 周士郎

(56)参考文献 特開2021-159913(JP, A)

米国特許出願公開第2011/0005272(US, A1)

米国特許出願公開第2022/0203294(US, A1)

米国特許出願公開第2018/0266759(US, A1)

欧州特許出願公開第00636400(EP, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B01D 53/22

B01D 61/00 - 71/82