

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5904420号  
(P5904420)

(45) 発行日 平成28年4月13日(2016.4.13)

(24) 登録日 平成28年3月25日(2016.3.25)

(51) Int.Cl.	F 1		
BO 1 D 53/04	(2006.01)	BO 1 D	53/04 220
BO 1 D 53/02	(2006.01)	BO 1 D	53/02
BO 1 D 53/62	(2006.01)	BO 1 D	53/62
BO 1 D 53/56	(2006.01)	BO 1 D	53/56 100
BO 1 D 53/64	(2006.01)	BO 1 D	53/64

請求項の数 55 (全 31 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2013-525100 (P2013-525100)	(73) 特許権者	513041200 インヴェンティス サーマル テクノロジーズ インコーポレイテッド カナダ国 ビー. シー. ヴィー5ジェイ 5ジー7, バーナビー, #108-3738 ノース フレイザー ウェイ
(86) (22) 出願日	平成23年8月26日(2011.8.26)	(74) 代理人	100091683 弁理士 ▲吉▼川 俊雄
(65) 公表番号	特表2013-540573 (P2013-540573A)	(74) 代理人	100179316 弁理士 市川 寛奈
(43) 公表日	平成25年11月7日(2013.11.7)	(72) 発明者	ブーレット, アンドレ カナダ国 ブリティッシュ コロンビア ヴィー5ワイ 3ゼット5, バンクーバー, 349-485 ダブリュー. 8ス アベニュー
(86) 國際出願番号	PCT/CA2011/050521		
(87) 國際公開番号	W02012/024804		
(87) 國際公開日	平成24年3月1日(2012.3.1)		
審査請求日	平成26年7月2日(2014.7.2)		
(31) 優先権主張番号	61/377,875		
(32) 優先日	平成22年8月27日(2010.8.27)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】熱伝導性接触器構造を用いる吸着ガス分離の方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも第一の流体成分および第二の流体成分を含む流体混合物を分離する温度スイッチ吸着法であって：

前記流体混合物を、少なくとも1つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムであって、前記並行路吸着剤接触器が、

その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の並行な流体流路；

少なくとも1つの吸着剤材料を具備する前記流体流路の間に位置するセル壁；および

前記軸方向に配向し、かつ前記少なくとも1つの吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント

を具備する、吸着分離システムに導入すること；

前記流体混合物を前記並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、前記出口末端に向かって前記第一の軸方向に流すこと；

前記第一の流体成分の少なくとも一部を前記少なくとも1つの吸着剤材料に吸着させること；

前記少なくとも1つの吸着剤材料への前記第一の流体成分の吸着熱に由来する熱を、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、前記入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ前記吸着させる工程における前記第一の軸方向と反対に移動させること；

前記流体混合物と比べて前記第一の流体成分が減少した第一の生成物流体を前記出口末端から回収すること；

10

20

少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料に吸着した前記第一の流体成分の少なくとも一部を脱離させることと;

熱を、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、前記第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、前記脱離させる工程における前記第一の流体成分の脱離熱の少なくとも一部を提供することと;

前記第一の流体成分が濃縮された脱離した第二の生成物流体を前記入口末端および前記出口末端のうちの少なくとも 1 つから回収することと  
を含む、方法。

【請求項 2】

再生前流体を前記並行路吸着剤接触器に導入することと、前記第一の生成物流体を回収する前に、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料を再生前温度にまで加熱することによって、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料に共吸着した前記第二の流体成分の少なくとも一部を脱離させることとをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。 10

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの吸着剤材料が、前記第一の流体成分に対して速度論的に選択され、かつ前記第二の流体成分の第二の物質移動速度を上回る前記第一の流体成分の第一の物質移動速度を有する、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 4】

前記流体混合物を導入することが、前記流体混合物を前記並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、前記出口末端に向かって前記第一の軸方向に流すことを含み、ここで、前記流体混合物が、前記第二の流体成分の前記第二の物質移動速度を上回り、かつ前記第一の流体成分の前記第一の物質移動速度を下回る空間速度で導入される、請求項 3 に記載の温度スイング吸着法。 20

【請求項 5】

少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を、前記流体混合物を前記並行路吸着剤接触器に導入する前に、所望の吸着前温度に調節することをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 6】

前記吸着させることが、前記第一の流体成分の少なくとも一部を、第一の吸着剤材料温度で、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料に吸着させることをさらに含み、かつ前記脱離させることが、前記吸着剤材料を第二の吸着剤材料温度で加熱することによって、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料に吸着した前記第一の流体成分の少なくとも一部を脱離させることとをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。 30

【請求項 7】

前記第二の吸着剤材料温度が、前記第一の吸着剤材料温度よりも高い、請求項 6 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 8】

前記再生前温度が、前記第一の吸着温度よりも高く、前記第二の吸着温度よりも低い、請求項 2 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 9】

前記吸着前温度が、前記第一の流体成分の前記吸着における第一の吸着剤材料温度よりも低い、請求項 5 に記載の温度スイング吸着法。 40

【請求項 10】

前記吸着前温度が、前記第一の流体成分の前記吸着における第一の吸着剤材料温度よりも高く、前記第一の流体成分の前記脱離における第二の吸着剤材料温度よりも低い、請求項 5 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 11】

前記並行路吸着剤接触器が、少なくとも第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料を前記第二の吸着剤材料とは別々に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記第一の流体成分の少な 50

くとも一部を脱離させることを含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 2】

前記脱離させることが、ページ流体を前記並行路吸着剤接触器に供給することをさらに含み、かつ前記回収することが、前記第一の流体成分および前記ページ流体を含む脱離した生成物流体を回収することをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 3】

前記ページ流体が凝縮可能であり、かつ前記脱離した生成物流体を回収した後に、前記脱離した生成物流体から前記ページ流体を凝縮することをさらに含む、請求項 1 2 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 4】

前記脱離させることが、少なくとも 1 つの伝熱流体を 温度を上昇させて 前記並行路吸着剤接触器に供給することによって、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を加熱することをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 5】

前記脱離させることが、熱エネルギーを前記熱伝導性フィラメントに供給して、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料を具備する前記セル壁を直接加熱することによって、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を直接加熱することをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 6】

前記軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントが、軸方向に連続的な電気伝導性フィラメントをさらに含み、かつ前記脱離させることが、前記熱伝導性フィラメントおよび電気伝導性フィラメントを電気的に加熱して、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料を具備する前記セル壁を直接加熱することによって、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を直接加熱することをさらに含む、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 7】

前記並行路吸着剤接触器が、第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備する少なくとも第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントを具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料と接触している前記第一のセグメント中の前記伝導性フィラメントを前記第二の吸着剤材料とは別々に電気的に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記第一の流体成分の少なくとも一部を脱離させることを含む、請求項 1 6 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 8】

前記並行路吸着剤接触器が、第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備する少なくとも第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントを具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料と接触している前記第一のセグメント中の前記伝導性フィラメントを電気的に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記第一の流体成分の少なくとも一部を脱離させることと、その後、前記第二の吸着剤材料と接触している前記第二のセグメント中の前記伝導性フィラメントを電気的に加熱することによって、前記第二の吸着剤材料に吸着した流体成分の少なくとも一部を連続的に脱離させることとを含む、請求項 1 6 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 1 9】

前記第一のセグメントが、前記並行路接触器の前記出口末端の最も近くに配置され、かつ前記第二のセグメントが、前記第一のセグメントから前記並行路接触器の前記入口末端に向かって配置され、かつ前記回収することが、前記第二の吸着剤材料に吸着した流体成分が濃縮された第二の脱離した生成物流体を前記入口末端および出口末端のうちの少なくとも 1 つから連続的に回収することをさらに含む、請求項 1 8 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 0】

前記調節することが、少なくとも 1 つの伝熱流体を前記並行路吸着剤接触器に導入して、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を前記所望の吸着前温度に調節することをさらに含む

10

20

30

40

50

、請求項 5 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 1】

前記調節することが、前記流体混合物を導入する前に、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料の二次ページを提供することをさらに含む、請求項 5 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 2】

前記熱を、前記吸着させる工程において、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って移動させることができ、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料への前記第一の流体成分の前記吸着に付随する前記並行路吸着剤接触器中の熱プロファイルの急上昇を低下させるように作用する、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 3】

前記少なくとも 1 つの吸着剤材料が、乾燥剤、炭素分子篩、炭素吸着剤、活性アルミナ、分子篩、アルミノリン酸塩、シリコアルミノリン酸塩、ゼオライト吸着剤、イオン交換ゼオライト、親水性ゼオライト、疎水性ゼオライト、修飾ゼオライト、天然ゼオライト、フォージャサイト、クリノブチロライト、モルデナイト、金属交換シリコアルミノリン酸塩、芳香族架橋ポリスチレン系マトリクス、臭素化芳香族マトリクス、メタクリル酸エステルコポリマー、黒鉛吸着剤、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、ナノ材料、金属塩吸着剤、過塩素酸塩、シウ酸塩、アルカリ土類金属粒子、ETS、CTS、金属酸化物、化学吸着剤、アミン、有機金属反応剤、および金属有機構造吸着剤、ならびにこれらの組合せ：を含むリストから選択される、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 4】

前記第一の生成物流体を導入し、吸着させ、回収し、脱離した第二の生成物流体を脱離させ、かつ回収する工程が、等圧であり、かつ大気圧および大気圧より高い気圧のうちの 1 つで実施される、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 5】

前記第一の生成物流体を導入し、吸着させ、かつ回収することが、大気圧で実施され、かつ前記脱離した第二の生成物流体を脱離させ、かつ回収する工程が、大気圧より高い気圧で実施される、請求項 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 2 6】

少なくとも二酸化炭素成分および窒素成分を含む排気ガス供給混合物から二酸化炭素を分離する温度スイング吸着法であって：

前記排気ガス供給混合物を、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムであって、前記並行路吸着剤接触器が、

その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の並行な流体流路；

少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料を具備する前記流体流路の間に位置するセル壁；および

前記軸方向に配向し、かつ前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントを具備する、吸着分離システムに導入すること；

前記排気ガスを前記並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、前記出口末端に向かって前記第一の軸方向に流すこと；

前記二酸化炭素成分の少なくとも一部を前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着させること；

前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料への二酸化炭素の吸着熱に由来する熱を、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、前記入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ前記吸着させる工程における前記第一の軸方向と反対に移動させること；

前記排気ガス供給混合物と比べて二酸化炭素が減少した排気ガス生成物ストリームを前記出口末端から回収すること；

少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも 1 つの前記二酸化炭素吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させること；

熱を、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、前記第一の軸方向または

10

20

30

40

50

第二の軸方向のどちらかに移動させて、前記脱離させる工程における前記二酸化炭素の脱離熱の少なくとも一部を提供することと；

二酸化炭素が濃縮された脱離した二酸化炭素生成物を前記入口末端および前記出口末端のうちの少なくとも1つから回収することと  
を含む、方法。

【請求項27】

再生前流体を前記並行路吸着剤接触器に導入することと、前記第一の生成物流体を回収する前に、前記少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤材料を再生前温度にまで加熱することによって、前記少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤材料に共吸着した前記窒素成分の少なくとも一部を脱離させることとをさらに含む、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

10

【請求項28】

前記少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤材料が、前記二酸化炭素成分に対して速度論的に選択され、かつ前記窒素成分の第二の物質移動速度を上回る前記二酸化炭素成分の第一の物質移動速度を有する、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

【請求項29】

前記排気ガスを導入することが、前記排気ガスを前記並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、前記出口末端に向かって前記第一の軸方向に流すことを含み、ここで、前記排気ガスが、前記窒素成分の前記第二の物質移動速度を上回り、かつ前記二酸化炭素成分の前記第一の物質移動速度を下回る空間速度で導入される、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

20

【請求項30】

前記排気ガス供給混合物を前記並行路吸着剤接触器に導入する前に、少なくとも1つの前記吸着剤材料を所望の吸着前温度に調節することをさらに含む、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

【請求項31】

前記吸着させることが、前記二酸化炭素の少なくとも一部を、第一の吸着剤材料温度で、前記少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着させることをさらに含み、かつ前記脱離させることが、前記吸着剤材料を前記第一の吸着剤材料温度よりも高い第二の吸着剤材料温度で加熱することによって、前記少なくとも1つの吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させることをさらに含む、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

30

【請求項32】

前記再生前温度が、前記第一の吸着温度よりも高く、前記第二の吸着温度よりも低い、請求項31に記載の温度スイング吸着法。

【請求項33】

前記吸着前温度が、前記二酸化炭素の前記吸着における第一の吸着剤材料温度および前記二酸化炭素の前記脱離における第二の吸着剤材料温度：のうちの少なくとも1つよりも低い、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

【請求項34】

前記並行路吸着剤接触器が、少なくとも第一の二酸化炭素吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料を前記第二の吸着剤材料とは別々に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させることを含む、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

40

【請求項35】

前記脱離させることが、バージガスを前記並行路吸着剤接触器に供給することをさらに含み、かつ前記回収することが、二酸化炭素および前記バージガスを含む二酸化炭素が濃縮された生成物流体を回収することをさらに含む、請求項26に記載の温度スイング吸着法。

【請求項36】

前記バージガスが凝縮可能であり、かつ前記脱離した生成物流体を回収した後に、前記

50

ページガスを前記脱離した生成物流体から凝縮することをさらに含む、請求項 3 5 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 3 7】

前記ページガスが、周囲空気、水蒸気、および二酸化炭素が除去された排気ガス生成物ストリーム：のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 3 5 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 3 8】

前記脱離させることが、少なくとも 1 つの伝熱流体を 温度を上昇させて 前記並行路吸着剤接触器に供給することによって、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を加熱することと、前記二酸化炭素を前記伝熱流体中に脱離させることとをさらに含む、請求項 2 6 に記載の温度スイング吸着法。

10

【請求項 3 9】

前記伝熱流体が、周囲空気、水蒸気、二酸化炭素が濃縮された生成物ガス、および二酸化炭素が除去された排気ガス生成物ストリーム：のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 3 8 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 4 0】

前記脱離させることが、熱エネルギーを前記熱伝導性フィラメントに供給して、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料を具備する前記セル壁を直接加熱することによって、少なくとも 1 つの前記二酸化炭素吸着剤材料を直接加熱することをさらに含む、請求項 2 6 に記載の温度スイング吸着法。

20

【請求項 4 1】

前記軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントが、軸方向に連続的な電気伝導性フィラメントをさらに具備し、かつ前記脱離させることが、前記熱伝導性フィラメントおよび電気伝導性フィラメントを電気的に加熱して、前記少なくとも 1 つの吸着剤材料を具備する前記セル壁を直接加熱することによって、少なくとも 1 つの前記二酸化炭素吸着剤材料を直接加熱することをさらに含む、請求項 2 6 に記載の温度スイング吸着法。

30

【請求項 4 2】

前記並行路吸着剤接触器が、それぞれ、第一の二酸化炭素吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備する少なくとも第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントを具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料と接触している前記第一のセグメント中の前記伝導性フィラメントを前記第二の吸着剤材料とは別々に電気的に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させることを含む、請求項 4 1 に記載の温度スイング吸着法。

40

【請求項 4 3】

前記並行路吸着剤接触器が、それぞれ、第一の二酸化炭素吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備する少なくとも第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントを具備し、かつ前記脱離させることが、前記第一の吸着剤材料と接触している前記第一のセグメント中の前記伝導性フィラメントを電気的に加熱することによって、前記第一の吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させることと、その後、前記第二の吸着剤材料と接触している前記第二のセグメント中の前記伝導性フィラメントを電気的に加熱することによって、前記第二の吸着剤材料に吸着した排気ガスストリーム成分の少なくとも一部を脱離させることとを含む、請求項 4 1 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 4 4】

前記第一のセグメントが、前記並行路接触器の前記出口末端の最も近くに配置され、かつ前記第二のセグメントが、前記第一のセグメントから前記並行路接触器の前記入口末端に向かって配置され、かつ前記回収することが、前記第二の吸着剤材料に吸着した排気ガス成分が濃縮された第二の脱離した生成物流体を、前記入口末端および出口末端のうちの少なくとも 1 つから連続的に回収することをさらに含む、請求項 4 3 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 4 5】

前記調節することが、少なくとも 1 つの伝熱流体を前記並行路吸着剤接触器に導入して

50

、少なくとも 1 つの前記吸着剤材料を前記所望の吸着前温度に調節することをさらに含む、請求項 30 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 46】

前記調節することが、前記排気ガス供給混合物を導入する前に、前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料の二次ページを提供することをさらに含む、請求項 30 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 47】

前記熱を、前記吸着させる工程において、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って移動させることが、前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料への前記二酸化炭素の吸着に付随する前記並行路吸着剤接触器中での熱プロファイルの急上昇を低下させるように作用する、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

10

【請求項 48】

前記少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料が、活性炭吸着剤、炭素分子篩、アミン含浸吸着剤支持体（シリカ、アルミナ、ゼオライト、ポリマー、およびセラミック支持体を含む）、金属塩、金属水酸化物、金属酸化物、ゼオライト、ハイドロタルサイト、シリカライト、金属有機構造体、ならびにゼオライトイミダゾレートフレームワーク吸着剤材料、ならびにこれらの組合せ：を含むリストから選択される、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 49】

前記排気ガス生成物ストリームを導入し、吸着させ、回収し、脱離した二酸化炭素生成物を脱離させ、かつ回収する工程が、等圧であり、かつ大気圧および 1 以上の大気圧より高い気圧のうちの 1 つで実施される、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

20

【請求項 50】

前記排気ガス生成物ストリームを導入し、吸着させ、かつ回収することが、大気圧で実施され、かつ前記脱離した二酸化炭素生成物を脱離させ、かつ回収する工程が、大気圧より高い気圧で実施される、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 51】

前記熱を、前記吸着させる工程において、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って移動させることが、前記吸着させる工程から生じる熱波フロントを、前記吸着させる工程の最後に、前記並行路吸着剤接触器内に保持するように作用する、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

30

【請求項 52】

前記並行路吸着剤接触器が、それぞれ、窒素よりも二酸化炭素に対して選択的な第一の吸着剤材料、ならびに二酸化炭素よりも水、窒素酸化物、硫黄酸化物、および重金属のうちの少なくとも 1 つに対して選択的な第二の吸着剤材料を具備する少なくとも第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントを具備し、かつ前記第二の軸セグメントが、前記接触器の入口末端により近い前記第一の軸セグメントの上流に配置される、請求項 26 に記載の温度スイング吸着法。

【請求項 53】

前記並行路吸着剤接触器が、二酸化炭素よりも水、窒素酸化物、硫黄酸化物、および重金属のうちの少なくとも 1 つに対して選択的な第三の吸着剤材料を具備する少なくとも第三の軸セグメントをさらに具備し、かつ前記第三の軸セグメントが、前記第一の軸セグメントの上流かつ前記第二の軸セグメントの下流に配置される、請求項 52 に記載の温度スイング吸着法。

40

【請求項 54】

二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも 1 つを、二酸化炭素成分および硫化水素成分およびメタン成分のうちの少なくとも 1 つを含む天然ガス供給混合物から分離する温度スイング吸着法であって：

前記天然ガス供給混合物を、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムであって、前記並行路吸着剤接触器が、

50

その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の並行な流体流路；メタンよりも二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つに対して選択的な少なくとも1つの吸着剤材料を具備する前記流体流路の間に位置するセル壁；ならびに

前記軸方向に配向し、かつ前記少なくとも1つの吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント

を具備する、吸着分離システムに導入することと；

前記天然ガス供給混合物を前記並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、前記出口末端に向かって前記第一の軸方向に流すことと；

前記二酸化炭素成分および硫化水素成分のうちの少なくとも1つの少なくとも一部を前記少なくとも1つの吸着剤材料に吸着させることと；

前記少なくとも1つの吸着剤材料への吸着熱に由来する熱を、熱伝導性フィラメントの前記少なくとも一部に沿って、前記入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ前記吸着させる工程における前記第一の軸方向と反対に移動させることと；

前記天然ガス供給混合物と比べて二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つが減少した天然ガス生成物ストリームを前記出口末端から回収することと；

前記少なくとも1つの吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも1つの前記吸着剤材料に吸着した前記二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つの少なくとも一部を脱離させることと；

熱を、前記熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、前記第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、前記脱離させる工程における前記二酸化炭素または硫化水素の脱離熱の少なくとも一部を提供することと；

二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つが濃縮された脱離した生成物を前記入口末端および前記出口末端のうちの少なくとも1つから回収することとを含む、方法。

#### 【請求項55】

前記天然ガス生成物ストリームを導入し、吸着させ、回収し、脱離した生成物を脱離させ、かつ回収する工程が、等圧であり、かつ大気圧より高い気圧で実施される、請求項54に記載の温度スイング吸着法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は一般に、吸着ガス分離の方法およびそのためのシステムに関する。より具体的には、本発明は、熱伝導性並行路流体接触器構造および熱伝導性並行路流体接触器構造を組み込んだシステムにおいて温度スイング吸着プロセスを用いる吸着ガス分離の方法に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

多成分流体混合物、および特にガス混合物の吸着分離で使用される温度スイング吸着法は、当技術分野で公知である。多くの従来の温度スイング吸着プロセスは、供給ガス混合物の1つの成分を吸着剤材料に優先的に吸着させて、それを残存する供給ガス成分から分離し、その後、吸着した成分を脱離させるために吸着剤材料を後から再生して、吸着剤材料の循環的再使用を可能にするために使用される。しかしながら、従来の温度スイング吸着法は、一つには、吸着分離システムで使用される吸着剤材料の脱離または再生における熱および/または物質移行現象の限界のために、また、温度スイング吸着プロセスの吸着段階における限界のために、通常、その効率が限られている。

##### 【0003】

典型的な従来の温度吸着プロセスの1つの欠点は、供給ガス成分の吸着剤材料への非効率的な吸着であり、これは、ガス成分が吸着するときに放出される吸着熱による、吸着剤材料の中を移動するときの吸着フロントの温度の急速な増加によって生じ得る。多くの従来の温度スイング吸着法では、吸着時の吸着剤材料の温度のそのような増加は、吸着剤材

10

20

30

40

50

料中の「ホットスポット」と関連する吸着剤容量の減少、および対応する温度スイング吸着プロセスの効率の減少をもたらし得る。典型的に従来的な温度スイング吸着法の別の欠点は、吸着剤材料の非効率的な脱離または再生であり、これは、吸着剤材料の均一な加熱が難しいことに起因し得るが、それは、脱離または再生時に、吸着した化合物の脱離熱を満たすために、熱エネルギーが必要となるからである。吸着剤材料の加熱におけるそのような不均一性は、通常、吸着剤材料中の「コールドスポット」と関連するガス成分の吸着の保持をもたらすことがあるか、またはガス成分を十分に脱離させるために、不必要に大きい熱流束の適用を必要とすることがあり、これにより、加熱費用が望ましくない程度に高くなり、また、吸着剤材料が、脱離後に不必要に過熱された状態になることがある。

## 【0004】

10

さらに、従来の温度スイング吸着法では、通常、ガス成分を吸着剤材料と接触させるための吸着剤床などの吸着剤接触器構造が利用される。例示的な公知の吸着剤接触器には、例えば、熱および/または圧力スイング吸着プロセスなどの吸着ガス分離プロセスのための充填ビーズまたは平板吸着剤構造が含まれる。しかしながら、従来技術の吸着剤接触器のうちのいくつかの欠点の中には、接触器構造の流体力学的特性、物質移行特性、および熱的特性の悪さに関連するものがある。そのような場合、熱的特性の悪さは、例えば、構造の所与の温度変化を達成するために望ましくない程度に大きい熱エネルギー束を必要とし得る高い熱質量、および/または構造内の望ましくない程度に大きい温度差をもたらし得る所望未満の熱伝導性のいずれかを望ましくなくもたらす場合がある。従来技術の特定の吸着剤接触器のそのような望ましくない熱的特性は、上記のような従来の温度スイング吸着法の欠点のうちのいくつかの一因となり得る。熱移行限界とは別に、特定の従来の温度スイング吸着構造の流体力学の悪さは、ビーズ状の吸着剤床の場合のように、流動化限界のために、流体処理量を望ましくなく制限することがある。さらに、特定の従来のシステムにおいて、望ましくない程度に低い物質移動速度は、許容サイクル速度を制限し、また、システムの吸着選択性を、所与の流体混合物の分離にとって望ましくない程度に低い可能性がある吸着剤の固有の平衡選択性のみに限定することにより、循環的な吸着-脱離プロセスの動的選択性を低下させることがある。

20

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

30

従来技術の限界のいくつかに対処する熱スイング吸着分離法を提供することが、本発明の目的である。

## 【0006】

従来技術の限界のいくつかに対処する本発明による並行路吸着剤接触器構造を用いて流体混合物の第一の流体成分および第二の流体成分を分離する熱スイング吸着分離法を提供することが、本発明のさらなる目的である。

## 【0007】

従来技術の限界のいくつかに対処する本発明による排気ガス供給混合物から二酸化炭素を分離する熱スイング吸着ガス分離プロセスを提供することが、本発明のまたさらなる目的である。

40

## 【0008】

本発明の一実施形態では、少なくとも第一の流体成分および第二の流体成分を含む流体混合物を分離する温度スイング吸着法が提供される。本方法は、流体混合物を、少なくとも1つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムに最初に導入することを含み、ここで、並行路吸着剤接触器は、その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、少なくとも1つの吸着剤材料を具備する流体流路の間に位置するセル壁、および軸方向に配向し、かつ少なくとも1つの吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントを具備する。次に、本方法は、流体混合物を並行路吸着剤接触器の入口末端に導入して、出口末端に向かって第一の軸方向に流すことと、第一の流体成分の少なくとも一部を少なくとも1つの吸着剤材料に

50

吸着させることと、少なくとも 1 つの吸着剤材料への第一の流体成分の吸着熱に由来する熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ吸着させる工程における第一の軸方向と反対に移動させることとを含む。次に、本方法は、流体混合物と比べて第一の流体成分が激減した第一の生成物流体を出口末端から回収することを含む。これに続いて、本方法は、少なくとも 1 つの吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも 1 つの吸着剤材料に吸着した第一の流体成分の少なくとも一部を脱離させることと、熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、脱離させる工程における第一の流体成分の脱離熱の少なくとも一部を提供することとを含む。最後に、本方法は、第一の流体成分が濃縮された脱離した第二の生成物流体を入口末端および出口末端のうちの少なくとも 1 つから回収することを含む。

#### 【 0 0 0 9 】

本発明の代替の実施形態では、温度スイング吸着法は、再生前流体を該並行路吸着剤接触器に導入することと、該第一の生成物流体を回収する前に、該少なくとも 1 つの吸着剤材料を再生前温度にまで加熱することによって、該少なくとも 1 つの吸着剤材料に共吸着した該第二の流体成分の少なくとも一部を脱離させることとをさらに含む。

#### 【 0 0 1 0 】

またさらなる実施形態では、該少なくとも 1 つの吸着剤材料は、該第一の流体成分に対して速度論的に選択的であり、かつ該第二の流体成分の第二の物質移動速度を上回る該第一の流体成分の第一の物質移動速度を有する。任意のそのような実施形態では、温度スイング吸着は、該流体混合物を、前記第二の流体成分の該第二の物質移動速度を上回り、かつ該第一の流体成分の該第一の物質移動速度を下回る空間速度で、該並行路吸着剤接触器の該入口末端に導入することを含む。

#### 【 0 0 1 1 】

本発明の別の実施形態では、少なくとも二酸化炭素成分および窒素成分を含む排気ガス供給混合物から二酸化炭素を分離する温度スイング吸着プロセスが提供される。本プロセスは、排気ガス供給混合物を、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムに最初に導入することを含み、ここで、並行路吸着剤接触器は、その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料を具備する前記流体流路の間に位置するセル壁、および軸方向に配向し、かつ少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントを具備する。次に、本プロセスは、排気ガスを並行路吸着剤接触器の入口末端に導入して、出口末端に向かって第一の軸方向に流すことと、二酸化炭素成分の少なくとも一部を少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着させることとを含む。次に、本プロセスは、少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料への二酸化炭素の吸着熱に由来する熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ吸着させる工程における第一の軸方向と反対に移動させることと、排気ガス供給混合物と比べて二酸化炭素が激減した排気ガス生成物ストリームを出口末端から回収することとを含む。これに続いて、本プロセスは、少なくとも 1 つの吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着した二酸化炭素の少なくとも一部を脱離させることと、熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、脱離させる工程における二酸化炭素の脱離熱の少なくとも一部を提供することとを含む。最後に、本プロセスは、二酸化炭素が濃縮された脱離した二酸化炭素生成物を入口末端および該出口末端のうちの少なくとも 1 つから回収することを含む。

#### 【 0 0 1 2 】

本発明のまたさらなる実施形態では、二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも 1 つを、二酸化炭素成分および硫化水素成分およびメタン成分のうちの少なくとも 1 つを含む天然ガス供給混合物から分離する温度スイング吸着プロセスが提供される。本プロセスは、天然ガス供給混合物を、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離シ

10

20

30

40

50

ステムに最初に導入することを含み、ここで、並行路吸着剤接触器は、その入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、メタンよりも二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つに対して選択的な少なくとも1つの吸着剤材料を具備する流体流路の間に位置するセル壁、ならびに軸方向に配向し、かつ少なくとも1つの吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントを具備する。次に、本プロセスは、天然ガス供給混合物を並行路吸着剤接触器の前記入口末端に導入して、出口末端に向かって第一の軸方向に流すことと、二酸化炭素および硫化水素成分のうちの少なくとも1つの少なくとも一部を少なくとも1つの吸着剤材料に吸着させることと、少なくとも1つの吸着剤材料への吸着熱に由来する熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、入口末端に向かって第二の軸方向に、かつ吸着させる工程における第一の軸方向と反対に移動させることとを含む。次に、本プロセスは、天然ガス供給混合物と比べて二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つが激減した天然ガス生成物ストリームを出口末端から回収することとを含む。これに続いて、本プロセスは、少なくとも1つの吸着剤材料を加熱することによって、少なくとも1つの吸着剤材料に吸着した二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つの少なくとも一部を脱離させることと、熱を、熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、脱離させる工程における二酸化炭素または硫化水素の脱離熱の少なくとも一部を提供することと、二酸化炭素および硫化水素のうちの少なくとも1つが濃縮された脱離した生成物を入口末端および出口末端のうちの少なくとも1つから回収することとを含む。10

#### 【0013】

本発明のさらなる利点は、詳細な説明とともに図面を考慮すると明白になるであろう。次に、本発明の吸着ガス分離の方法を添付の図面を参照しながら説明することにする。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】本発明の実施形態にしたがって使用される並行路吸着剤接触器構造の断面および対応する挿入透視図を示す。

【図2】本発明の実施形態にしたがって使用される図1に示す並行路吸着剤接触器構造の詳細な断面透視図を示す。

【図3】本発明の実施形態による吸着工程の開始時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフを示す。30

【図4】本発明の実施形態による吸着工程の間の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフを示す。

【図5】本発明の実施形態による吸着工程の終了時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフを示す。

【図6】本発明の実施形態による脱離工程または再生工程の終了時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフを示す。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0015】

図面のいくつかの図の全体を通して、同様の参照番号の表示は対応する部分を指す。

#### 【0016】

本発明の一実施形態では、少なくとも第一の流体成分および第二の流体成分を含む流体混合物を分離する温度スイング吸着（以後、「TSA」）法が提供される。そのような実施形態では、TSA法は、流体混合物または供給混合物を、少なくとも1つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムに導入する最初の工程を含むことができる。特に、好適なそのような並行路吸着剤接触器は、流体が接触器内を流れるのを可能にするために接触器の入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、および流体流路の間に位置して、流体流路を分離している少なくとも1つの吸着剤材料を具備するセル壁を具備することができる。並行路吸着剤接触器は、接触器の軸方向に配向し、かつ接触器のセル壁の中または表面に具備される少なくとも1つの吸着剤材4050

料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントも具備することができる望ましい。その後、流体混合物を、並行路吸着剤接触器の入口末端に導入して、出口末端に向かって接触器の中を第一の軸方向に流すことができ、第一の流体成分の少なくとも一部を、流体混合物の他の成分よりも第一の流体成分を吸着させるのに選択的であり得ることが好ましい少なくとも1つの吸着剤材料に吸着させることができる。本発明の代替の実施形態では、並行路吸着剤接触器は、接触器が、好ましくは軸方向に熱伝導性であるように、少なくとも1つの軸方向熱伝導材を具備することができ、かつ軸方向の熱伝導性が均一であることができるか、または例えば、接触器構造の残部と比べて軸方向の熱伝導性がより高い1以上の軸方向に配向した領域を有することができる。

## 【0017】

10

本発明の好ましい実施形態では、並行路吸着剤接触器中に具備される少なくとも1つの吸着剤材料は、動的選択性が、第一の流体成分の選択的吸着による流体混合物の吸着分離を使用可能な程度に提供するほど十分に高いものとなるように、少なくとも1つの他の流体混合物成分よりも第一の流体成分の吸着に対して動的に選択的であり得ることが望ましい。TSA分離法のサイクルを通じたそのような動的選択性は、第一の流体成分に対する少なくとも1つの吸着剤材料の平衡選択性、および第一の流体成分に対する少なくとも1つの吸着剤材料の速度論的選択性のうちの少なくとも1つを含むことができる。1つのそのような好ましい実施形態では、吸着工程が、吸着工程における吸着温度での吸着剤材料上の流体成分の物質移動速度に基づく少なくとも速度論的選択性を含むことができるよう、供給混合物を、選択的に吸着させるべき第一の流体成分の物質移動速度(1/s)を下回るが、吸着が実質的に妨げられることが望まれる希釈剤であり得る少なくとも1つの第二の流体成分の物質移動速度(1/s)を上回る空間速度(Vgas/Vads/t)で吸着剤接触器に導入することができる。

## 【0018】

20

本実施形態では、その後、例えば、第一の流体成分の吸着が起こるときの少なくとも1つの吸着剤の温度の急上昇を低下させるために、および任意にまた、吸着熱から放出される熱エネルギーの少なくともかなりの部分を吸着剤接触器内に望ましく保持して、後の吸着剤材料の再生におけるそのような熱エネルギーの回収を可能にするために、少なくとも1つの吸着剤材料への第一の流体成分の吸着熱から放出される熱の少なくとも一部を、接触器構造に沿って軸方向に、例えば、吸着剤材料への第一の成分の吸着時に、吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って(第一の軸方向とは反対の)第二の軸方向に、接触器の入口末端に向かって接触器を逆に移動させる。その後、供給流体混合物と比べて第一の流体成分が激減した第一の生成物流体を吸着剤接触器の出口末端から回収する。

## 【0019】

30

一実施形態では、中間の再利用工程または再生前工程を、吸着した第一の流体成分とともに少なくとも1つの吸着剤材料に望ましくなく共吸着し得る第二の流体成分または他の希釈剤流体成分のいずれかの少なくとも一部を望ましく脱離させるために実施し(そのような望ましくない第二の流体成分および/または希釈剤流体成分は、前の冷却工程もしくは調節工程において、または例えば、吸着剤材料の不完全な選択性のために供給吸着工程において、吸着剤材料に吸着しているかもしれない)、それにより、第二の流体成分および/または任意の他の希釈剤流体成分からの第一の流体成分の分離プロセスの動的選択性を増大させることができる。そのような中間の再生前工程は、供給流体混合物の第一の流体成分が、例えば、約10%未満、さらにより好ましくは約5%未満の第一の成分供給濃度などの、比較的低濃度である場合の分離で使用するのに特に望ましい場合がある。そのような中間の再生前工程は、吸着工程または供給工程の温度を上回るが、以後の脱離工程または再生工程の温度を下回る中間の温度で実施することができることが望ましい。1つのそのような実施形態では、例えば、中間の温度でバージ流体を提供すること、および吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントによって吸着剤材料に熱を提供すること:などの1以上の手段によって、そのような再生前工程用の熱を提供することができる。1つの特定

40

50

のそのような実施形態では、吸着剤材料に吸着した任意の吸着した第二の流体成分または希釈剤流体成分の少なくとも一部が、中間の温度で脱離し、かつ加熱されたバージ流体由来の第一の流体成分の吸着剤材料へのさらなる吸着によって脱着し、その結果、吸着した流体種が、望ましくは、第一の流体成分のみを含むように、第一の成分が濃縮された加熱されたバージ流体を好適なバージ流体として使用することができる。そのような工程に続いて、吸着剤接触器から流出する得られるバージ流体を、例えば、逆流ストリームとして、吸着剤接触器の入口末端または出口末端のいずれかに供給するために再利用することができる（例えば、後続サイクルにおいて、吸着剤接触器の入口末端または重末端に供給される底部から底部へのまたは「重い」逆流ストリームとすることができる）か、あるいは後の供給工程において吸着剤接触器に導入する供給流体に再利用することができる。1つ 10 のそのような好ましい実施形態では、バージ流体を、そのような再生前工程において、望ましくない吸着した第二の成分流体または希釈剤成分流体の脱離の物質移動速度（1/s）を上回るが、吸着剤材料に吸着した、吸着した第一の流体成分の脱離の物質移動速度（1/s）を望ましい程度に下回る好適な温度および空間体積（Vgas/Vads/t）で吸着剤接触器に供給することができる。

#### 【0020】

第一の生成物流体のそのような回収、および任意にまた、そのような再生前バージ工程に続いて、その後、少なくとも1つの吸着剤材料に吸着した第一の流体成分の少なくとも一部を、少なくとも1つの吸着剤材料を加熱することによって脱離させ、熱を、吸着剤接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿ってどちらか一方の軸方向に移動させて、脱離工程における少なくとも1つの吸着剤材料からの第一の流体成分の脱離熱（脱離に必要とされるエネルギー）および/または速度論的活性化熱（吸着した第一の成分分子を吸着表面からガス相に移動させるのに必要とされるエネルギー）の少なくとも一部を提供する。吸着剤材料の加熱は、これらに限定するものではないが、加熱された不活性ガス、再利用ガス、および/または水蒸気もしくは溶媒などの凝縮可能なガスを含み得る加熱された脱離流体またはバージ流体を吸着剤接触器に提供することと；例えば、伝導性フィラメントの電気抵抗加熱、または例えば、熱移動媒体を含むそのようなフィラメントもしくは構造材の間接的な加熱によって、吸着剤接触器構造中の熱伝導性フィラメントまたは他の材料を加熱することと；を含め、熱を少なくとも1つの熱源から供給することによって提供することができる。最後に、吸着剤材料から脱離した第一の流体成分が濃縮された脱離した第二の生成物流体を、並行路吸着剤接触器の入口末端および出口末端のうちの少なくとも1つから回収する。凝縮可能なバージ流体を用いて脱離工程における吸着剤材料の加熱の少なくとも一部を提供する本発明の一実施形態では、回収された生成物流体を後に冷却して、脱離した生成物流体から除去される（例えば、水蒸気または溶媒などの）バージ流体を凝縮し、それにより、例えば、脱離した生成物流体の純度を増大させることができる。 20 30

#### 【0021】

その後、上の実施形態による本TSA分離法を、並行路吸着剤接触器中で任意に反復して、供給流体混合物から第一の流体成分を分離する連続的または反復的な循環分離法を提供することができる。特に、本TSA分離法による操作のための吸着分離システムは、本TSA分離法の交互の操作を提供し、かつ供給流体の供給源からの連続的および/または半連続的な吸着分離を可能にするために、2以上のそのような並行路吸着剤接触器を具備することができる望ましい。特に、吸着分離システムは、第一の生成物流体を1つの接触器から回収することができると同時に、脱離した第二の生成物流体を第二の接触器から回収するように、2以上の並行路吸着剤接触器を具備することができる。任意の好適な機械的配置を、吸着剤材料を含有する1つ、2つ、もしくは3つ、またはそれより多くの吸着装置を具備するシステムとして当技術分野で知られているような、例えば、機械式/空気圧式または他のタイプのバルブまたは他の流量制御装置を用いて、本TSA法の工程の流体フローを実装する吸着分離システムなどの、吸着分離システムで実装して、本実施形態のTSA法の実装に必要とされる流体フローを提供し、それを制御することができ 40 50

る。

#### 【0022】

本発明の一実施形態では、本発明のTSA法を実装するのに好適な吸着分離システムは、流体が接触器内を流れるのを可能にするために接触器の入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、および流体流路の間に位置し、流体流路を分離している少なくとも1つの吸着剤材料を具備するセル壁を各々具備する、少なくとも1つの並行路吸着剤接触器を具備する。各々の好適なそのような並行路吸着剤接触器は、接触器の軸方向に配向し、かつ接触器のセル壁の中または表面に具備される少なくとも1つの吸着剤材料と直接的に接觸している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントをさらに具備する。本発明の実施形態によるTSA法を実装する際に使用するのに好適であり得る特定のそのような並行路吸着剤接触器構造は、2010年2月26日にPCT/CA2010/000251号として出願された本出願者らの同時係属のPCT国際特許出願に記載されており、その内容は、それらが、出願時に本出願の一部を形成していたかのように、参照により本明細書に組み込まれる。本発明の実施形態によるTSA法の実施に好適な1つの特定の並行路吸着剤接触器形状を図1および2に示し、以下でさらに詳細に説明する。

#### 【0023】

図1は、本発明の実施形態による本TSA法を実装するのに好適な例示的な並行路吸着剤接触器構造を示す。102において全体的に示されている例示的な並行路吸着剤接触器構造は、実質的にシリンダー状の外表面108によって規定される実質的にシリンダー状の形状を具備している。例示的な接触器構造102は、第一および第二の末端104および106とともに示されており、構造102の長さに沿って第一の末端104から第二の末端106へと軸方向に伸張している多数の実質的に並行な通路110を有している。並行路110は、構造102の長さに沿って連続的であり、かつ通路110を通る流体の流れを可能にするように構成されていることが好ましい。並行路110は、セル壁112によって互いに分離されて、例示的なハチの巣型構造を形成し、ここで、各々の通路110は、少なくとも1つのセル壁112によって隣接通路110から実質的に分離され、このセル壁112は、少なくとも1つの吸着剤材料を具備することが望ましい。並行路吸着剤接触器構造102に対して少なくとも熱伝導性、および任意にまた、電気伝導性をどちらか一方の軸方向に提供するために、並行路吸着剤接触器構造102は、セル壁112に埋め込まれているか、または別の方法でセル壁112の中に配置されている軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント114も具備する。一実施形態では、並行路吸着剤接触器構造102は、図1に示すように、実質的にハチの巣型構造であってもよく、ここで、セル壁112は、図1に示すような長方形格子、あるいは六角形または他の実質的に多角形、円形、もしくは長円形の格子などの、格子状に実質的に配置されている。本説明の目的のために、接触器構造に関する「軸方向の(axial)」および「軸方向(axial direction)」という用語は、接触器構造の第一の末端と第二の末端(または入口末端と出口末端)の間に線に実質的に並行である方向と、例えば、第一の末端と第二の末端の間に線から実質的に45度未満である方向などの、接触器に対して実質的に軸方向に伸張する任意の方向の両方を包含することが理解されるべきである。

#### 【0024】

同様に、図2は、本発明の実施形態による本TSA法を実装するのに好適な、実質的に長方形の格子ハチの巣型構造を有する、図1に示した並行路吸着剤接触器構造の詳細な断面透視図を示す。図1および2に示したような長方形の格子ハチの巣型構造102において、軸方向に連続的で、かつ熱伝導性および/または電気伝導性のフィラメント114は、少なくとも1つの吸着剤材料を具備するセル壁112と直接的に接觸しており、かつ各々の隣接並行路110の角と概して一致する、2つのセル壁112の交差点で、セル壁112に有利に埋め込むか、または別の方法でセル壁112の中に位置付けることができる。そのような様式で、フィラメント114によって提供される熱伝導性および/または電気伝導性容量が、多数の並行路110に、および並行路吸着剤接触器の使用時に、そのよ

うな並行路 110 の中に収容されるかまたはその中を通過し得る流体にごく近接するよう 10 に、軸方向に連続的で、かつ熱伝導性および／または電気伝導性のフィラメント 114 を多数の隣接並行路 110 の近くに有利に配置することができる。代替の実施形態では、例えば、六角形、三角形、または他の多角形格子配置のセル壁を有する、代替の幾何学的配置で配置されたセル壁 112 を有するハチの巣型構造を利用して、実質的に同様の形状の並行流体流路 110 を生じさせることができる。さらに、他の実施形態は、例えば、多角形以外の断面形状、例えば、円形、半円形、長円形、または長楕円形（2つの半円がその末端を接続する平行線によって連結された形状）の断面を有する、並行路 110 を有することができる。また、他の代替の実施形態では、軸方向に連続的な伝導性フィラメント 114 は、セル壁 112 の交差点、もしくは他の場所のいずれかで、セル壁 112 の中に埋め込むか、または別の方法でセル壁 112 の中に、例えば、そのような交差点と交差点の間でセル壁 112 の中に、配置することができる。

【 0025 】

図 1 および 2 に示したようなハチの巣型並行路吸着剤接触器 102、および上記のような他の代替の実施形態では、軸方向に連続的で、かつ熱伝導性および／または電気伝導性のフィラメント 114 を用いて、接触器 102 の内外に、または接触器構造 102 のある部分から別の部分へと軸方向に（顯熱エネルギーとしてか、またはフィラメントの電気抵抗加熱によって生じる熱エネルギーとしてかのいずれかで）熱エネルギーを伝導し、その結果、接触器 102 の一部または全体のそれぞれの加熱および／または冷却を提供することができる望ましい。特に、熱エネルギーを接触器構造 102 の内外に伝導するために、接触器 102 の軸方向に連続的な熱伝導性および／または電気伝導性のフィラメント 114 の少なくとも一部を熱エネルギーの供給源またはシンクに熱的に接続することができる望ましい。接触器 102 の内外に伝導されるそのような熱エネルギーは、接触器 102、例えば、少なくとも 1 つの吸着剤材料を具備するセル壁 112 の温度を望ましく増減させることができ、かつ／または吸着剤接触器構造 102 の通路 110 内の流体の内外に熱エネルギーを移動させることができる。制御可能な熱源および／または熱シンクへの吸着剤接触器構造 102 の熱伝導性および／または電気伝導性フィラメント 114 の接続を具備する例示的な熱回路を利用して、伝導性フィラメント 114 を経由した接触器構造 102 の内および／または外への熱エネルギーの移動による、この構造のセル壁 112 およびその中に具備される吸着剤材料（複数可）の制御可能な加熱および冷却を提供し、接触器 102、または伝導性フィラメント 114 に接続された例示的な熱回路および／もしくは電気回路を経由して接触器 102 を通過した流体の熱制御を可能にすることができる。さらに、軸方向に連続的な熱伝導性および／または電気伝導性フィラメント 114 は、接触器構造 102 それ自体の中での第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかへの、例えば、接触器 102 の第一の末端 104 から第二の末端 106 への、熱エネルギーの移動も提供し、これは、例えば、接触器 102 の軸長に沿った熱プロファイルの制御を提供するために特に望ましい場合がある。そのような様式で、本発明による本 T S A 法の実施形態は、熱エネルギーを軸方向に連続的な伝導性フィラメント 114 を通して接触器構造 102 内部に（および任意にまた、接触器構造 102 の内外に）移動させることによって、並行路吸着剤接触器 102 に沿ってどちらか一方の軸方向に熱を移動させて、接触器構造 102 の内外を流れる流体の温度とは独立している並行路吸着剤接触器 102 内部の熱条件および熱プロファイルを制御することができる望ましい。

【 0026 】

本発明の実施形態による本 T S A 法を実装する際に使用される上記のような並行路吸着剤接触器構造は、この構造の横断方向への熱伝導性と比べた、軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントによる軸方向への実質的に増大した熱伝導性の提供のために、横断方向と比べて軸方向に異方性熱伝導性を具備することができる。1 つのそのような実施形態では、そのような並行路吸着剤接触器構造は、異方性熱伝導性を具備することができ、その場合、この構造に含まれる軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントによって提供される軸方向への熱伝導性容量のために、軸方向への熱伝導性は、この構造の横断方向への熱伝導性の 50

少なくとも 10 倍、より具体的には、少なくとも 100 倍である。本発明の代替の実施形態では、並行路吸着剤接触器は、接触器が、好ましくは軸方向に熱伝導性であるように、少なくとも 1 つの軸方向熱伝導材を具備することができ、かつ軸方向の熱伝導性が均一であることができるか、または例えば、個別の伝導性フィラメントを備えていても備えていなくてよい接触器構造の残部と比べて軸方向の熱伝導性がより高い 1 以上の軸方向に配向した領域を有することができる。

【 0027 】

本 T S A 法を実装するのに好適な特定の実施形態では、並行路吸着剤接触器構造 102 は、並行路吸着剤接触器 102 の通路 110 を通過した流体混合物と相互作用する働きをする吸着剤化合物を具備することができる。例えば、接触器 102 のセル壁 112 は、並行流体流路 110 を通して導入され、かつ接触器のセル壁 112 と接触している流体混合物の第一の流体成分を吸着させるように選択される少なくとも 1 つの吸着剤化合物を具備することができる。そのような実施形態では、セル壁 112 内の熱伝導性および / または電気伝導性フィラメント 114 は、吸着剤構造 102 の内および / または外に熱エネルギーを移動させることを有利に提供し、例えば、吸着分離システムにおける吸着剤構造 102 の使用を可能にして、本発明の T S A 法を実装し、この方法により、セル壁 112 中の活性吸着剤材料を熱伝導性および / または電気伝導性フィラメント 114 によって加熱して、例えば、脱離工程における吸着剤材料の温度を上昇させ、それにより、吸着した流体成分の少なくとも一部を脱離させることができる。そのような実施形態では、供給流体混合物の所望の第一の成分を吸着させるために選択することができる望ましい、任意の好適な公知の吸着剤化合物、またはその組合せを、接触器のセル壁 112 の中または表面に具備することができる。

【 0028 】

さらなるそのような実施形態では、並行路吸着剤接触器構造 102 の通路 110 を通して導入される供給流体混合物の第一の流体成分の少なくとも一部を吸着させる働きをすることが知られている任意の好適な活性吸着剤化合物は、この構造のセル壁 112 の中または表面に具備されることができる。例示的なそのような公知の吸着剤化合物は、限定するものではないが、乾燥剤、活性炭、炭素分子篩、炭素吸着剤、黒鉛、活性アルミナ、分子篩、アルミノリン酸塩、シリコアルミノリン酸塩、ゼオライト吸着剤、イオン交換ゼオライト、親水性ゼオライト、疎水性ゼオライト、修飾ゼオライト、天然ゼオライト、フォージャサイト、クリノブチロライト、モルデナイト、金属交換シリコアルミノリン酸塩、単極樹脂、双極樹脂、芳香族架橋ポリスチレン系マトリクス、臭素化芳香族マトリクス、メタクリル酸エステルコポリマー、黒鉛吸着剤、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、ナノ材料、金属塩吸着剤、過塩素酸塩、シュウ酸塩、アルカリ土類金属粒子、E T S 、C T S 、金属酸化物、化学吸着剤、アミン、有機金属反応剤、ハイドロタルサイト、シリカライト、ゼオライトイミダゾレートフレームワーク、および金属有機構造体 (M O F ) 吸着剤化合物、ならびにこれらの組合せ : を含むことができる。本発明の好ましい実施形態では、そのような好適な活性吸着剤化合物は、循環 T S A プロセスを通じて、第二の流体成分よりも第一の流体成分に対する十分に高い動的選択性 ( 平衡選択性および / または速度論的選択性のうちの少なくとも 1 つを含むことができる ) を提供するように選択することができる望ましい。

【 0029 】

またさらなる実施形態では、図 1 に示すハチの巣型並行路吸着剤接触器構造 102 は、成形型からのセラミックまたは他の合成スラリー材料の押し出しによって作製し得るような押し出されたハチの巣型構造を具備することができる。そのような場合、並行路流体接触器構造 102 を通って延伸する多数の並行路 110 および隣接する通路 110 を分離するセル壁 112 を、例示的な押し出し成形型の形状によって、例えば、セラミックまたは他の合成スラリーを押し出して構造 102 を形成させ得る多数の相隔たる針または棒型の成形型要素を含む押し出し成形型によって、形成させることができる。そのような実施形態では、該セラミックまたは他の合成スラリーは、例えば、構造 102 の通路 110 を通過した

流体と相互作用する働きをする少なくとも1つの吸着剤材料の他に、例えば、バインダー材などの、少なくとも1つの不活性材または構造材を具備することができる。他の実施形態では、該不活性材または構造材は、粘土、セラミック、コロイド、シリカ、接着剤、樹脂、およびバインダー化合物、またはこれらの組合せのうちの少なくとも1つを具備することができる。

### 【0030】

本発明の実施形態によるTSA法を実装する際に使用するのに好適な実施形態によれば、軸方向に連続的な熱伝導性および/または電気伝導性フィラメント114は、引っ張って、成形して、整形して、または別の方法で形を作つて、連続フィラメント114にし得る任意の好適な公知の熱伝導性および/または電気伝導性材料を具備することができる。好ましい実施形態では、並行路流体接触器構造102のセル壁112の内もしくは外への、軸方向に接触器102の内部への、および/または接触器102の通路110を通過する流体の内もしくは外への熱エネルギーの効率的な伝導を可能にするために、フィラメント114は、望ましい程度に高い熱伝導性を有する1以上の材料を具備することができる。例示的なそのような公知の熱伝導性材料は、アルミニウム、銅、タンゲステン、銀、金、およびこれらの金属合金、ならびに炭素、ならびにカーボンファイバーおよびナノファイバー材料を含むことができるが、これらに限定されない。有利には、熱エネルギーを接触器構造102の中、外、または内部に効率的に伝導することができるフィラメント114を提供するために、好適な接触器構造102中の軸方向に連続的な伝導性フィラメント114を、少なくとも200W/mK、より好ましくは、少なくとも約400W/mKの軸方向の熱伝導性を有する好適な公知の材料から形成させることができる。特定の実施形態では、軸方向に連続的な熱伝導性および/または電気伝導性フィラメント114は、フェノール樹脂カーボンファイバー、中間相カーボンファイバー、およびカーボンナノチューブ材料のうちの1つまたは複数を具備する熱伝導性炭素材料を具備することができ、ここで、この炭素材料は、少なくとも400W/mK、より好ましくは、少なくとも約500W/mKの軸方向の熱伝導性を有する。さらなる実施形態では、軸方向に連続的な熱伝導性および/または電気伝導性フィラメント114の材料の種類ならびに相対的な寸法および間隔は、少なくとも0.25W/mK、より具体的には、少なくとも約1W/mKの並行路吸着剤接触器構造全体のバルクの軸方向の熱伝導性を提供するように選択することができる。またさらなる例示的な実施形態では、軸方向に連続的な熱伝導性および/または電気伝導性フィラメント114の材料の種類ならびに相対的な寸法および間隔は、少なくとも約10W/mKの並行路流体接触器構造全体のバルクの軸方向の熱伝導性を提供するように選択することができる。並行路吸着剤接触器構造が約35%のボイド率を含み、かつ約600W/mKの軸方向の熱伝導性を有する伝導性フィラメントを具備する1つの例示的な実施形態では、この構造は、例えば、少なくとも約10W/mK、より望ましくは、少なくとも約20W/mKのバルクの軸方向の熱伝導性を具備することができることが望ましい。

### 【0031】

また別の実施形態では、接触器構造102の内部を軸方向に走る軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント114は、電気伝導性であることもできる。好ましくは、そのような電気伝導性フィラメント114は、フィラメント114を通して軸方向に電流を通した時に、抵抗性に加熱することができる。それゆえ、例えば、本発明のTSA法の脱離工程を実装するために、電気伝導性フィラメントを電気回路に接続し、フィラメント中の電流の通過を制御することによって、電気伝導性フィラメントを制御可能に加熱または冷却し、抵抗加熱によりフィラメント114の相対温度を増大および/または減少させることができる。さらに、これは、フィラメント114と直接的に接触している並行路流体接触器構造102のセル壁112の加熱および/または冷却の電気制御を提供し、さらに、構造102のセル壁112の中または表面に具備される1以上の活性吸着剤化合物の加熱および/または冷却の電気制御も提供する。したがつて、そのような実施形態では、構造102のフィラメント114を流れる電流の制御を用いて、構造のセル壁112の中または表面の

10

20

30

40

50

吸着剤材料の加熱および冷却を制御することができる。

【0032】

さらに、本発明の実施形態によるTSA法を実装する吸着分離システムで使用される上記の全ての実施形態について、並行流体流路110、セル壁112、および軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント114の相対的な寸法を、いくつかある潜在的に望ましい特性の中でも特に、例えば、圧力降下を含む流体流についての望ましい特性、構造102の構造完全性および強度、気孔率、ならびに／または空隙率についての特性、この構造の熱容量および／または質量、ならびにフィラメント114によって提供される軸方向の熱伝導性などの、任意の望ましい適用または使用についての接触器構造102の望ましい特性に合うように適合させることができるということに留意すべきである。

10

【0033】

本発明の代替の実施形態では、吸着分離システム中の並行路吸着剤接触器は、軸方向に連続的な熱伝導性フィラメント以外の軸方向に熱伝導性の手段を具備することができる。そのような代替の実施形態では、そのような軸方向に熱伝導性の手段は、例えば、吸着剤接触器構造中で実質的に軸方向に熱を移動させる働きをし得る、不連続的もしくはランダムに配向した熱伝導性要素および／または軸方向に熱伝導性の吸着剤材料を具備することができる。そのような代替の実施形態では、本TSA法は、次に、吸着熱に由来する熱を、軸方向に熱伝導性の代替手段の少なくとも一部に沿って、向流的な第二の軸方向に移動させる工程を代わりに含むことができ、この第二の軸方向は、吸着工程における、吸着剤接触器に導入される供給流体の第一の軸方向とは実質的に反対である。TSA法のそのような代替の実施形態は、軸方向に熱伝導性の代替手段の少なくとも一部に沿って、実質的にどちらか一方の軸方向に熱を移動させて、例えば、脱離工程における脱離熱の少なくとも一部を提供する工程を含むこともできる。

20

【0034】

図3は、温度下限T1 310から温度上限T2 312までの吸着剤接触器の温度自盛り308に対する、入口末端304から出口末端306までの並行路吸着剤接触器の軸方向の寸法302に沿った吸着剤接触器中の吸着剤材料の温度のプロット320を示す、本発明の実施形態による吸着工程の開始時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフ300を示す。例示的なプロット320において、供給流体混合物は、第一の軸方向314に導入され、並行路吸着剤接触器の入口末端304から出口末端306に向かって流れる。吸着の開始時の並行路吸着剤接触器の温度は、第一の流体成分が、本発明の実施形態による本TSA法の吸着工程において、熱フロント（これは、物質移動フロントとともに、吸着フロントを含む）の先端で吸着剤材料に吸着され始めるときに放出される吸着熱のために、入口末端304で上昇し始めて、温度322に達している。したがって、接触器の最低温度は、入口末端304の少し上流の328で示される。吸着工程において、接触器のセル壁の中または表面の少なくとも1つの吸着剤材料への第一の流体成分の吸着熱に由来する熱は、並行路吸着剤接触器中の熱の急上昇をもたらし、これは、望ましくないことに、吸着剤材料の温度を上昇させる傾向がある可能性があり、また、吸着容量、したがって、供給流体混合物から第一の流体成分を除去する吸着剤材料の有効性を低下させることができる。第一の流体成分の吸着熱に由来する熱の一部は、接触器に導入され、出口末端306に向かって移動する流体混合物の移動による接触器内の対流316の効果によって、接触器に沿って出口末端306に向かって移動することができる。しかしながら、この対流効果316は、流体流314の同じ第一の軸方向に熱を移動させる効果しか持たない可能性があり、そのため、出口末端306に向かって接触器および吸着剤材料の温度を増大させるようにしか作用しない可能性がある。

30

【0035】

したがって、本TSA法の実施形態は、接触器の入口末端304に向かい、かつ吸着剤接触器を通る供給流体314および対応する対流熱移動316の流れの第一の軸方向とは反対の、第二の軸方向318への、接触器中の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った、並行路吸着剤接触器中の吸着剤材料への第一の流体成分の吸着熱に由来する熱の

40

50

移動を提供する。接触器中の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った、かつ接触器を通る供給流体の流れとは反対のまたは向流的な伝導による第二の軸方向 318 へのそのような熱の移動は、吸着フロントが、吸着剤接触器の入口末端 304 から出口末端 306 に向かって第一の軸方向 314 に移動するときに吸着熱によってもたらされる接触器および吸着剤材料の温度の熱による急上昇を有利に低下させ、それにより、吸着容量、したがって、吸着剤材料の有効性を増大させることができることが望ましい。さらに、並行路吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導によるそのような向流熱移動 318 は、接触器を通る供給流体 314 の流れとともに対流 316 によって一掃され、第一の生成物流体が接触器の出口末端 306 を離れるときに接触器から取り除かれ得る熱エネルギーまたは熱の量を望ましく低下させることもでき、そうでなければ、そのような熱エネルギーまたは熱は、脱離工程または再生工程における吸着剤材料からの第一の流体成分の脱離に必要とされる所要の熱エネルギーまたは熱（脱離および / または 速度論的活性化の熱を含む）を望ましくなく増大させる。

【0036】

図 4 は、温度下限 T1 310 から温度上限 T2 312 までの吸着剤接触器の温度目盛り 308 に対する、入口末端 304 から出口末端 306 までの並行路吸着剤接触器の軸方向の寸法 302 に沿った吸着剤接触器中の吸着剤材料の温度のプロット 420 を示す、本発明の実施形態による吸着工程における並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフ 400 を示す。例示的なプロット 420 において、供給流体混合物は、接触器に対して第一の軸方向 414 に導入され、並行路吸着剤接触器の入口末端 304 から出口末端 306 に向かって流れて、第一の流体成分が激減した第一の生成物流体として回収されており、吸着フロント 422 の先端は、吸着工程の間に、接触器に沿って軸方向に移動している。吸着熱の一部が、対流 416 の下、供給流体混合物 414 の流れと並流的な第一の軸方向に移動してしまうので、熱フロント 422（これは、物質移動フロントとともに、吸着時に接触器の中を移動する吸着フロントを含む）の先端での並行路吸着剤接触器の温度は、並行路吸着剤接触器 426 の入口末端よりも高い。しかしながら、本発明の T S A 法の本実施形態において提供されているように、吸着剤材料への第一の流体成分の吸着熱に由来する熱は、並行路吸着剤接触器構造の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導による供給流体混合物の流れ 414 と向流的な第二の軸方向 424 に移動している。伝導によるそのような向流熱移動は、前進する吸着フロントの近くの接触器の入口末端 304 付近の熱 424 の流れ、および接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導による接触器 428 の最も冷たい地点に向かう熱 418 の向流的流れにおいて明らかであり、それにより、接触器内の第一の流体成分の吸着熱に由来する熱または熱エネルギーの望ましく改善された保持が提供される。吸着フロントの物質移動フロント成分は、吸着が接触器の中を進むにつれて、通常、熱フロントに後れを取り得るので、接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った熱 418 のそのような向流伝導は、有利には、（吸着熱から生じる）熱フロントからの熱を吸着剤接触器内に実質的に保持すると同時に、物質移動フロントがさらに吸着剤接触器の中を出口末端 306 に向かって進むことも可能にでき、それゆえ、吸着時の吸着剤接触器の吸着容量の利用を望ましく増大させ、T S A 法の効率を高めることができる。

【0037】

図 5 は、温度下限 T1 310 から温度上限 T2 312 までの吸着剤接触器の温度目盛り 308 に対する、入口末端 304 から出口末端 306 までの並行路吸着剤接触器の軸方向の寸法 302 に沿った吸着剤接触器中の吸着剤材料の温度のプロット 520 を示す、本発明の実施形態による吸着工程の終了時および脱離工程の開始時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフ 500 を示す。例示的なプロット 520 において、供給流体混合物は、もはや接触器に導入されておらず、第一の流体成分が激減した第一の生成物流体は、もはや出口末端 306 から回収されておらず、今度は、脱離流またはバージ流体流 530 が接触器に導入され、並行路吸着剤接触器の出口末端 306 から入口末端 304 に向かって第二の軸方向に流れる。脱離フロント 528 の先端は、接触器の出口末端 30

10

20

30

40

50

6に進入しているところであり、脱離工程の間に、入口末端304に向かって、接触器に沿って軸方向に移動することになる。並行路吸着剤接触器の最高温度520は、出口末端で存在し、脱離工程の間に、吸着剤材料から第一の流体成分を脱離させるのに必要とされる脱離熱のために、脱離フロント528の先端に向かって減少する。望ましくは、本TSA法の実施形態は、吸着剤材料から第一の流体成分を脱離させるのに必要とされる脱離および/または速度論的活性化の熱の少なくとも一部を提供するために、並行路吸着剤接触器中の軸方向の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導による熱の移動を提供する。接触器の伝導性フィラメントに沿った伝導によるそのような熱の移動518は、図5において、第二の軸方向に、または接触器の入口末端304に向かう脱離もしくはページ流体530の流れと並流的に示されている。脱離フロントは入口末端304に向かって接触器を通過するので、吸着剤材料から第一の流体成分を脱離させるのに必要とされる脱離熱の少なくとも一部を提供するために、接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導性熱移動を、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらか、すなわち、脱離流体またはページ流体530の流れと並流的にまたは向流的に提供することができる。そのような熱移動は、脱離熱による接触器中の吸着剤材料の温度の任意の熱の急降下または急上昇を望ましく低下させ、それにより、吸着剤材料からの脱離の有効性を高め、それに応じて、後続の吸着サイクルのための吸着剤材料の容量を増大させることもできる。上記のような再生前ページ工程を含む代替の実施形態では、そのような再生前工程において吸着剤材料に吸着した望ましくない吸着した第二の流体成分または希釈剤流体成分の脱離および/または速度論的活性化の熱の少なくとも一部は、例えば、接触器の熱伝導性フィラメントに沿った伝導性熱移動によって提供することもできる。10

### 【0038】

図6は、温度下限T1 310から温度上限T2 312までの吸着剤接触器の温度目盛り308に対する、入口末端304から出口末端306までの並行路吸着剤接触器の軸方向の寸法302の少なくとも一部に沿った吸着剤接触器中の吸着剤材料の温度のプロット620を示す、本発明の実施形態による脱離工程または再生工程の終了時の並行路吸着剤接触器の軸方向熱プロファイルグラフを示す。例示的なプロット620において、脱離流体またはページ流体は、もはや接触器に導入されておらず、第一の流体成分が濃縮された脱離した生成物流体はもはや入口末端304から回収されておらず、一実施形態では、接触器は、供給流体混合物を導入し、本TSA法の吸着工程を再開し始める準備が整っていてもよい。代替の実施形態では、調節流体流614を接触器に導入し、並行路吸着剤接触器の入口末端304から出口末端306に向かって第一の軸方向に流して、例えば、接触器中の吸着剤材料の温度を変化させるか、または本TSA法の吸着工程を開始する前に、他の流体成分を接触器から脱離させるかもしくは一掃することができる。一実施形態では、調節流体流614を接触器に導入して、吸着前に吸着剤材料の温度を低下させるか、または除湿するか、または別の方法で吸着剤材料を調節することができる。そのような任意の調節工程において、本TSA法の一実施形態は、調節流体614の流れと並流的な対流によって、並行路吸着剤接触器に沿った第一の軸方向への熱移動616を提供することができる。代替の実施形態では、接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿った伝導による熱移動を提供することもでき、これにより、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに熱を移動させ、例えば、吸着前の接触器中の吸着剤材料の温度のばらつきを望ましく低下させることができる。脱離工程または再生工程（または代替の実施形態の場合、調節工程）の終了後、並行路吸着剤接触器の最高温度620は、出口末端で存在し、本TSA法の吸着工程の再開に備えて、接触器の入口末端304の最も近くの最低温度628に向かって減少する。20

### 【0039】

本発明の一実施形態では、少なくとも1つの吸着剤材料への第一の流体成分の吸着は、並行路吸着剤接触器の熱プロファイルを超える第一の吸着剤材料温度または第一の吸着剤材料温度範囲で起こることができ、これは、脱離工程において第一の流体成分の脱離が起こる第二の吸着剤材料温度または吸着剤材料温度範囲とは異なっている。そのような実施30

形態では、吸着剤材料は、通常、第一の流体成分を脱離させるために加熱することができ、そのため、脱離が起こる第二の温度は、通常、第一の流体成分の吸着が行なわれる第一の温度よりも高くてもよい。T S A法が中間の再生前工程を含む本発明の実施形態では、再生前工程は、望ましくなく吸着した第二の流体成分または希釈剤流体成分の少なくとも一部を吸着剤材料から脱離および／または脱着させることを含むことができ、これは、吸着時の第一の吸着剤材料温度と脱離工程における第一の流体成分の再生または脱離時の第二の吸着剤材料温度との間にあることが好ましい別の中間温度または温度範囲で実施されてもよい。T S A法が調節工程を含む本発明の実施形態では、調節工程は、吸着のために供給流体混合物を接触器に導入する前に、少なくとも1つの吸着剤材料を所望の吸着前温度に調節することを含むことができる。1つのそのような実施形態では、調節工程は、伝熱流体を含み得る少なくとも1つの調節流体を、並行路吸着剤接触器に導入して、接触器中の吸着剤材料を所望の吸着前温度に調節するために、調節流体および／または伝熱流体を接触器と直接的に接触させることによって吸着剤接触器におよび／または吸着剤接触器から熱を移動させることを含むことができる。例えば、限定するものではないが、空気、水蒸気、水、冷却剤、凝縮可能溶媒、蒸気などの、任意の好適な公知の調節流体および／または伝熱流体をそのような調節前工程で使用することができる。一実施形態では、所望の吸着前温度は、通常、吸着が起こる第一の温度よりも低くてもよいが、代替の実施形態では、吸着前温度は、例えば、第一の吸着温度よりも高いが、第二の脱離温度よりも低くてもよい。さらなる関連実施形態では、脱離工程における第一のページの後、二次ページ流体ストリームを、接触器の中に通して、それにより、少なくとも1つの吸着剤材料と接触した状態で通過させて、例えば、吸着剤材料を所望の吸着前温度に調節し、かつ／または本T S A法の次の吸着工程の再開の前に1以上の流体成分を吸着剤材料からさらに脱離させるかもしくは一掃するように、そのような調節工程は、並行路吸着剤接触器中の吸着剤材料の二次ページを提供することを含むことができる。 10

#### 【0040】

本発明の別の実施形態では、並行路吸着剤接触器は、少なくとも第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料を具備することができ、ここで、第一の流体成分の少なくとも一部は、吸着工程において、少なくとも第一の吸着剤材料に吸着する。1つの例示的な形状において、第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料は、吸着剤接触器の別々の第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメント中に具備されることができ、吸着剤接触器構造中、一方のセグメントは、もう一方のセグメントの上流にある。第一の吸着剤材料が、第一の流体成分の少なくとも一部を供給流体混合物から吸着する1つのそのような実施形態では、本T S A法の脱離工程は、第二の吸着剤材料とは別々に、かつ第二の吸着剤材料を実質的に加熱することなく、第一の吸着剤材料を加熱することによって、吸着した第一の流体成分の少なくとも一部を第一の吸着剤材料から脱離させることを提供することができる。1つのそのような実施形態では、吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントは、電気伝導性でもあり得ることが望ましく、また、第二の吸着剤材料を実質的に加熱することなく、第一の吸着剤材料を加熱し、それから第一の流体成分を脱離させるために、脱離工程における第一の吸着剤材料のそのような別々の加熱は、第一の吸着剤材料と接触しているフィラメントのみに電流をかけることによって達成することができる。 20

#### 【0041】

別の実施形態では、本T S A法の脱離工程は、脱離時に、好適なページ流体を並行路吸着剤接触器に供給することと、接触器から第一の流体成分とページ流体の両方を含む吸着した生成物流体を回収することとをさらに含むことができる。1つのそのような実施形態では、ページ流体は、脱離工程において、吸着剤接触器の入口末端および出口末端のうちの少なくとも1つに供給されることができ、かつ少なくとも1つの吸着剤材料からの第一の流体成分の脱離の一部として、吸着剤接触器中の並行路フローチャネルを第一の軸方向および第二の軸方向のうちの少なくとも一方に通過することができる。ページ流体を用いて、本T S A法の脱離工程（または代替の実施形態では、中間の再生前工程）において、吸着剤材料を加熱するのに必要とされる熱の少なくとも一部を提供することできる。一態 30

様では、吸着剤材料は、高温で少なくとも1つのバージ流体または伝熱流体を並行路流体接触器に供給することによって、脱離工程において加熱することができる。別の実施形態では、脱離工程は、少なくとも1つの吸着剤材料を直接加熱して、接触器の熱伝導性フィラメントを加熱し、それにより、吸着剤材料を具備する並行路接触器のセル壁を直接加熱することによって第一の流体成分を脱離させることを含むことができる。1つのそのような実施形態では、熱伝導性フィラメントは、顯熱の供給源によって加熱することができるか、あるいは熱伝導性フィラメントが電気伝導性でもある実施形態では、フィラメント、およびその結果、接触器のセル壁中の吸着剤材料は、フィラメントに電流を通すことによって、例えば、フィラメントの電気抵抗加熱またはジュール加熱によって、直接加熱することができる。特定の態様では、脱離時に、吸着剤材料(複数可)を直接的にかつ正確に加熱するための接触器中の伝導性フィラメントの電気抵抗加熱またはジュール加熱の使用は、本発明のTSA法のサイクル時間の減少を望ましく提供することができ、従来の長い(典型的には、数時間またはそれより長い)サイクル持続時間の、例えば、持続時間が2分未満、好ましくは90秒未満のTSA工程(例えば、吸着、脱離など)などの、顯著により短いサイクル持続時間への減少を可能にすることができます。10

#### 【0042】

並行路接触器が、接触器の対応する第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメント中に第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料も具備する特定の実施形態では、脱離工程は、接触器の第一の軸セグメント中の伝導性フィラメントを、第二の軸セグメント中の第二の吸着剤材料とは別々に電気的に加熱することによって、吸着した第一の流体成分の少なくとも一部を第一の吸着剤材料から脱離させることを含むことができる。さらなる実施形態では、第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントは、例えば、本TSA法の脱離工程における、第一のセグメントおよび第二のセグメントの個々の電気抵抗加熱によって、連続的に加熱することができる。1つのそのような実施形態では、第一の軸セグメントは、接触器の出口末端の最も近くに配置することができ、第二の軸セグメントは、第一のセグメントから接触器の入口末端に向かって配置することができ、第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントの連続的な脱離に対応して、第一の流体成分、および第二の吸着剤材料から脱離した別の流体成分が濃縮された第一の脱離した生成物流体および第二の脱離した生成物流体は、本TSA法の回収工程において(脱離時に接触器を通る流体流の方向に応じて)入口末端または出口末端から回収することができる。20

#### 【0043】

本TSA法の一実施形態によれば、任意の好適な公知の吸着剤材料、例えば、供給流体混合物の所望の流体成分を吸着させるために使用し得る吸着剤を、並行路吸着剤接触器(複数可)のセル壁の中および/または表面に具備される吸着剤材料(複数可)としてTSA法と併せて使用することができる。好ましい実施形態では、そのような吸着剤材料は、TSAサイクルを通じて、供給流体の残存成分と比べて、第一の流体成分の十分に高い動的選択性(例えば、平衡選択性および/または速度論的選択性を具備する)を提供することができる望ましい。本TSA法で利用される接触器(複数可)が、2以上のセグメントまたは部分、例えば、並行路吸着剤接触器の軸方向に間隔が空いた2以上のセグメントを具備する特定の実施形態では、任意の好適な公知の吸着剤材料は、供給流体混合物からの1以上の流体成分の所望の吸着を提供するように、接触器セグメントの各々に実装することができる。1つのそのような実施形態では、吸着剤接触器は、同じ吸着剤材料または吸着剤材料の組合せを具備する多数の別々のセグメントまたは部分を具備することができ、また、別の実施形態では、吸着剤接触器は、例えば、本TSA法の吸着工程において、供給流体混合物の異なる流体成分を選択的に吸着させるために、接触器セグメントまたは部分の各々に具備される異なる吸着剤材料(または吸着剤材料の組合せ)を具備することができる。多数の異なる吸着剤材料が吸着剤接触器のセグメントまたは部分に実装される場合、吸着剤材料は、例えば、特定の供給流体成分の吸着のために、かつ意図される吸着および脱離条件で、互いに適合するように選択することができる望ましい。40

#### 【0044】

50

本 T S A 法の選択された実施形態で使用するのに好適であり得る例示的な公知の吸着剤材料は、限定するものではないが、乾燥剤、活性炭、炭素吸着剤、黒鉛、炭素分子篩、活性アルミナ、分子篩、アルミノリン酸塩、シリコアルミノリン酸塩、ゼオライト吸着剤、イオン交換ゼオライト、親水性ゼオライト、疎水性ゼオライト、修飾ゼオライト、天然ゼオライト、フォージャサイト、クリノブチロライト、モルデナイト、金属交換シリコアルミノリン酸塩、単極樹脂、双極樹脂、芳香族架橋ポリスチレン系マトリクス、臭素化芳香族マトリクス、メタクリル酸エステルコポリマー、黒鉛吸着剤、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、ナノ材料、金属塩吸着剤、過塩素酸塩、シュウ酸塩、アルカリ土類金属粒子、E T S、C T S、金属酸化物、化学吸着剤、アミン、有機金属反応剤、および金属有機フレームワーク吸着剤材料、ならびにこれらの組合せ：を含むことができる。 10

#### 【 0 0 4 5 】

本発明の T S A 法の一実施形態では、T S A 法の工程は、実質的に一定または等圧の圧力条件下で実施することができる望ましい。特定の実施形態では、吸着剤接触器への供給流体の導入、流体成分の吸着、第一の生成物流体の回収、吸着した成分の脱離、および脱離した第二の生成物流体の回収は全て、例えば、実質的に大気圧下で実施することができる。代替の実施形態では、本 T S A 法のそのような工程は、例えば、等圧の過大気圧条件下などの、実質的に一定の高い圧力で実施することができる。別の代替の実施形態では、本 T S A 法の第一の生成物流体を導入し、吸着させ、かつ回収する工程は、例えば、大気圧下などの、第一の実質的に一定の圧力条件下で実施することができ、一方、脱離した第二の生成物流体を脱離させ、かつ回収する工程は、高い過大気圧などの、高い圧力で実施することができる。1つのそのような実施形態では、吸着剤接触器は、脱離させる工程の前に実質的に密封することができ、吸着させる工程において実施される吸着剤接触器の加熱は、吸着した流体成分が吸着剤材料から脱離し、それにより、接触器の圧力を、例えば、過大気圧レベルにまで上昇させると、接触器内の圧力の増大をもたらすことができる。このように、脱離した第二の生成物流体は、特定の用途において望ましい場合がある加圧された第二の生成物流体を提供するために、吸着させる工程が実施された圧力を上回る望ましい程度に高い圧力で任意に回収することができる。 20

#### 【 0 0 4 6 】

本発明による特定の態様では、特に、二酸化炭素ガスを少なくとも二酸化炭素成分および窒素成分を含む排気ガス供給混合物から分離することに関する温度スイング吸着 ( T S A ) プロセスが提供される。二酸化炭素を分離するそのような T S A プロセスは、特に、例えば、石炭または天然ガス発電所などの、火力発電所の排気ガスまたは排ガスから二酸化炭素の少なくとも一部を除去するように適合させることができる。排気ガス供給混合物からの二酸化炭素の除去に関する一実施形態では、少なくとも二酸化炭素および窒素を含む排気ガス供給流体混合物から少なくとも二酸化炭素成分を分離する温度スイング吸着 ( T S A ) プロセスが提供される。そのような実施形態では、T S A プロセスは、排気ガス供給混合物を、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する吸着分離システムに導入する初期工程を含むことができる。特に、好適なそのような並行路吸着剤接触器は、流体が接触器内を流れるのを可能にするために接触器の入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、および流体流路の間に位置し、かつ流体流路を分離している少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料を具備するセル壁を具備することができる。並行路吸着剤接触器は、接触器の軸方向に配向し、かつ接触器のセル壁の中または表面に具備される少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントも具備することができる望ましい。その後、排気ガスを、並行路吸着剤接触器の入口末端に導入して、接触器の中を出口末端に向かって第一の軸方向に流すことができ、また、二酸化炭素成分の少なくとも一部を、窒素および / または排気ガス混合物の他の成分よりも二酸化炭素を吸着するのに選択的であり得ることが好ましい少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着させることができる。 40

#### 【 0 0 4 7 】

50

20

30

40

50

本実施形態では、その後、少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料への二酸化炭素成分の吸着熱から放出される熱を、二酸化炭素吸着剤材料への二酸化炭素の吸着時に、吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って（第一の軸方向とは反対の）第二の軸方向に、接触器の入口末端に向かって接触器に沿って逆に移動させる。第二の軸方向へのそのような熱の移動は、望ましくは、二酸化炭素の吸着が起こるときの少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤の温度の急上昇を低下させることができ、かつ任意にまた、吸着熱に由来する熱エネルギーの少なくともかなりの部分を吸着剤接触器内に望ましく保持して、後の二酸化炭素吸着剤材料の再生時にそのような熱エネルギーの回収を可能にすることができる。その後、排気ガス供給混合物と比べて二酸化炭素が激減した排気ガス生成物ストリームを吸着剤接触器の出口末端から回収する。火力発電所の排気ガスから二酸化炭素を除去することに関する実施形態では、そのような第一の生成物流体は、実質的に二酸化炭素を含まない排気ガス生成物ストリームを含むことができることが望ましく、これは、その後、大気に放出されるか、または放出する前に、別の方法で処理または加工することができ、かつそれ故に、例えば、大気中の二酸化炭素レベルに対する影響を低下させるのに望ましいように、二酸化炭素の除去のために、炭素排出に対する顕著に軽減された影響を有すると考えることができる。排気ガス生成物ストリームのそのような回収に続いて、その後、少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料に吸着した二酸化炭素の少なくとも一部を、少なくとも 1 つの吸着剤材料を加熱することによって脱離させ、熱を吸着剤接触器の熱伝導性フィラメントの少なくとも一部に沿って、第一の軸方向または第二の軸方向のどちらかに移動させて、脱離工程において必要とされる吸着剤材料からの二酸化炭素の脱離熱の少なくとも一部を提供する。最後に、二酸化炭素が濃縮された脱離した二酸化炭素生成物は、並行路吸着剤接触器の入口末端および出口末端のうちの少なくとも 1 つから回収される。10

#### 【 0 0 4 8 】

その後、上の実施形態による本 T S A 二酸化炭素分離プロセスを、並行路吸着剤接触器中に任意に反復して、排気ガス供給混合物から二酸化炭素を分離する連続的または反復的な循環分離法を提供することができる。特に、他の実施形態において上で記載されているのと同様に、本 T S A 二酸化炭素分離プロセスによる操作のための吸着分離システムは、本 T S A 分離プロセスの交互の操作を提供し、かつ例えば、火力発電所などの排気ガスの供給源からの連続的および / または半連続的な吸着分離を可能にするために、2 以上のそのような並行路吸着剤接触器を具備することができる望ましい。上記のように、吸着剤材料を含有する 1 つ、2 つ、もしくは 3 つ、またはそれより多くの吸着装置を具備するシステムとして当技術分野で知られているような、例えば、機械式 / 空気圧式または他のタイプのバルブまたは他の流量制御装置を用いる任意の好適な公知の吸着分離システムを用いて、本 T S A プロセスの工程のガスフローを実装することができる。20

#### 【 0 0 4 9 】

上で記載されているのと同様に、本発明の一実施形態では、二酸化炭素分離プロセスを実施するのに好適な吸着分離システムは、ガスが接触器内を流れるのを可能にするために接触器の入口末端と出口末端の間で第一の軸方向に配向している複数の実質的に並行な流体流路、および流体流路の間に位置し、流体流路を分離している少なくとも 1 つの二酸化炭素選択的吸着剤材料を具備するセル壁を各々具備する、少なくとも 1 つの並行路吸着剤接触器を具備する。各々の好適なそのような並行路吸着剤接触器は、接触器の軸方向に配向し、かつ接触器のセル壁の中または表面に具備される少なくとも 1 つの二酸化炭素吸着剤材料と直接的に接触している複数の軸方向に連続的な熱伝導性フィラメントをさらに含む。上記のように、本発明の実施形態による T S A 二酸化炭素分離プロセスを実装する際に使用するのに好適であり得る特定のそのような並行路吸着剤接触器構造は、P C T / C A 2 0 1 0 / 0 0 0 2 5 1 号として出願された本出願者らの同時係属の P C T 国際特許出願に記載されており、その内容は、それらが、出願時に本出願の一部を形成していたかのように、参照により本明細書に組み込まれる。本発明の実施形態による T S A 二酸化炭素分離プロセスの実施に好適な 1 つの特定の並行路吸着剤接触器形状は、上記のように図 140

および2に示されている。

【0050】

一実施形態では、TSA二酸化炭素分離プロセスは、吸着剤接触器（複数可）中の少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤を、排気ガス供給混合物の導入および二酸化炭素の吸着の前に、所望の吸着前温度に調節する調節工程も含むことができる。他の実施形態において上で記載されているのと同様に、そのような調節工程は、少なくとも1つの二酸化炭素吸着剤材料を、例えば、TSAプロセスの吸着工程における二酸化炭素吸着剤の吸着温度よりも低い温度、または吸着温度よりも高いが、TSAプロセスの脱離工程における吸着剤の脱離温度よりも低い温度などの、任意の所望のまたは好適な吸着前温度に調節することを含むことができる。また、上で記載されているのと同様に、例えば、吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントの直接的な加熱などによって、吸着剤材料を加熱することによって、吸着剤からの二酸化炭素の脱離を達成し得るように、二酸化炭素吸着剤の吸着温度は、脱離工程において、脱離温度よりも低いものであり得ることが望ましい。10

【0051】

特定の実施形態では、排気ガスから二酸化炭素を望ましい程度に実質的に除去して、二酸化炭素の捕捉を可能にし、それにより、発電所の炭素排出を顕著に減少させるために、TSA二酸化炭素分離プロセスを適用して、石炭燃料ボイラー排気ガスなどの火力発電所由来の排気ガスから二酸化炭素を分離することができる。1つのそのような実施形態では、石炭燃料ボイラー排気ガス供給混合物は、約12%の二酸化炭素、84%の窒素および酸素、および4%の水蒸気を含むことができ、かつ例えば、およそ大気圧（101.3kPa）および約40°Cの温度で供給することができる。そのような場合、好適な二酸化炭素吸着剤材料を吸着分離システムの並行路吸着剤接触器（複数可）中で用いて、TSAプロセスの吸着工程における排気ガスから二酸化炭素を実質的に全て吸着させ、かつ実質的に二酸化炭素を含まない排気ガス生成物ストリームを回収することができる。20

【0052】

本発明の好ましい実施形態では、並行路吸着剤接触器中に具備される少なくとも1つの二酸化炭素選択性的吸着剤材料は、二酸化炭素の動的選択性が、実質的に完全な二酸化炭素分離を使用可能な程度に提供するほど十分に高いものとなるように、窒素または排気ガス混合物の他の希釈剤成分よりも二酸化炭素の吸着に対して動的に選択性的であり得ることが望ましい。TSA分離法のサイクルを通じたそのような動的選択性は、二酸化炭素用の少なくとも1つの吸着剤材料の平衡選択性、および二酸化炭素用の少なくとも1つの吸着剤材料の速度論的選択性のうちの少なくとも1つを含むことができる。1つのそのような実施形態では、吸着工程が、吸着工程における吸着温度での吸着剤材料上の二酸化炭素および窒素の物質移動速度に基づく少なくとも速度論的選択性を含むことができるよう、排気ガス混合物を、二酸化炭素の物質移動速度（1/s）を下回るが、窒素または他の希釈剤成分の物質移動速度（1/s）を上回る空間速度（Vgas/Vads/t）で吸着剤接触器に導入することができる。30

【0053】

TSAプロセスの脱離工程において、水蒸気バージガスを、吸着剤接触器に、例えば、出口末端から、約130°Cの温度および約105kPaの圧力で供給し、接触器中の熱伝導性フィラメントによる吸着剤の加熱とともに脱離を助けることができる。そのような場合、脱離工程において、二酸化炭素を吸着剤材料から脱離させると、水蒸気バージガスの一部を吸着剤材料によって吸着させることができ、この吸着剤は、水蒸気の吸着熱のために熱を放出させることができ、この熱は、熱伝導性フィラメントによって接触器に沿って軸方向に移動させることもでき、これは、望ましくは、二酸化炭素の連続した脱離に必要な脱離熱の一部をさらに提供することができる。吸着剤接触器からの回収された二酸化炭素生成物は、例えば、排気ガスから回収された二酸化炭素の圧縮、貯蔵、隔離、または別の工業的用途（例えば、原油の二次回収における注入用途など）を可能にするために、二酸化炭素を高度に濃縮することができる望ましい。1つのそのような実施形態では、回収された二酸化炭素生成物ストリームの水蒸気成分を、生成物ストリームからそれ40

を除去し、それにより、二酸化炭素生成物の純度を増加させるために、凝縮することができる望ましい。別の実施形態では、バージガスは、周囲空気、水蒸気、および二酸化炭素が除去された排気ガス生成物ストリームのうちの少なくとも1つも含むことができる。また別の実施形態では、伝熱流体を、脱離工程において、例えば、高温で接触器に導入して、吸着剤材料を加熱することもでき、また、バージガスに加えて、またはバージガスの代わりに使用することができる。そのような伝熱流体は、例えば、周囲空気、水蒸気、二酸化炭素が濃縮された生成物ガス、または二酸化炭素が除去された排気ガス生成物ストリームのうちの少なくとも1つを含むことができる。特定の実施形態では、二酸化炭素吸着剤材料は、例えば、フィラメントに顯熱を加えるか、または電気伝導性フィラメントの場合、電流を流して、電気抵抗加熱もしくはジュール加熱によってフィラメントを直接加熱することによって、吸着剤接触器中の熱伝導性フィラメントを加熱することにより、直接加熱することもできる。

#### 【0054】

代替の実施形態では、約10%未満、より具体的には、約5%未満などの、比較的希薄な二酸化炭素濃度を有する排気ガスストリームから二酸化炭素を分離する用途において特に望ましいように、TSAプロセスは、限られた量の熱を吸着剤材料に提供して、吸着剤材料に共吸着した望ましくない窒素（または他の希釀剤）成分の少なくとも一部を吸着させるのに十分な中間の温度にまで接触器を加熱する中間の再利用工程または再生前工程をさらに含むことができる。そのような場合、吸着剤材料は、任意の好適な手段、例えば、加熱したバージガス、加熱した再利用ガス、もしくは加熱した二酸化炭素生成物ガスを吸着剤接触器に提供すること、および／または吸着剤接触器中の伝導性フィラメントを直接的にもしくは電気的に加熱すること：のうちの1つまたは複数を用いて加熱することができる。その後、そのような工程において吸着剤接触器から出る得られる再利用ストリームを、例えば、別の脱離工程もしくは再生前工程のための熱を提供するためにTSAプロセスの中で再利用し、かつ／または後の吸着工程もしくは供給工程において再導入される供給ストリームに再利用することができる。

#### 【0055】

二酸化炭素生成物の回収後、本TSAプロセスは、約40未満および実質的に大気圧（101.3kPa）の周囲空気を接触器の入口末端で導入して、次のサイクルで吸着工程を再開する前に吸着剤材料を調節し得る調節工程を含むことができる。調節工程は、望ましくは、周囲空気による吸着剤材料からの顯熱の除去によって吸着剤材料を冷却し、また、吸着剤材料に吸着した水の少なくとも一部を水蒸気バージガスから除去し、それにより、次の吸着工程の前に吸着剤材料を乾燥させ、またさらに、乾燥中の吸着剤材料からの水の脱離によって除去される熱のために吸着剤材料を冷却することができる。しかしながら、いくつかの実施形態では、空気を冷却流体として用いるそのような冷却工程は、吸着剤材料への窒素または他の希釀剤の少なくとも一部の吸着をもたらし、それにより、二酸化炭素の炭素隔離、圧縮、および／または原油の二次回収注入の用途に望ましいような、吸着剤接触器の再生時に回収される脱離した二酸化炭素生成物における高純度を保持するために、上記の再生前工程または再利用工程を必然的に伴うことがある。

#### 【0056】

本TSA二酸化炭素分離プロセスの特定の実施形態では、任意の好適な公知の二酸化炭素吸着剤材料を吸着分離システムの並行路吸着剤接触器（複数可）中で用いて、本プロセスの吸着工程において二酸化炭素を吸着させることができる。潜在的に好適なそのような二酸化炭素吸着剤は、限定するものではないが、活性炭吸着剤、アミン含浸吸着剤支持体（シリカ、活性炭、炭素分子篩、アルミナ、ゼオライト、ポリマー、およびセラミック支持体を含む）、金属塩、金属水酸化物、金属酸化物、ゼオライト、ハイドロタルサイト、シリカライト、金属有機構造体、およびゼオライトイミダゾレートフレームワーク吸着剤材料、ならびにこれらの組合せ：を含むことができる。特定の実施形態では、例えば、排気ガス供給混合物の任意の他のガス成分よりも二酸化炭素の吸着に対して選択的でもあり得る好適な二酸化炭素吸着剤材料を選択することができる望ましい。特定の実施形

10

20

30

40

50

態では、そのような好適な二酸化炭素選択的吸着剤材料は、窒素よりも二酸化炭素の高い動的選択性に合わせて作ることができることが望ましい。したがって、そのような動的選択性の高い望ましい二酸化炭素吸着剤は、そのような特性を有する吸着剤を選択するか、または並行路接触器の特性を調節し、かつ／もしくは例えば、吸着剤材料の細孔径、細孔のど(pore throat)、窪みの大きさなどを修飾することにより、並行路接触器中に具備される吸着剤材料の表面特性を修飾して、例えば、二酸化炭素の平衡選択性および／または速度論的選択性を改善するかのいずれかによって、循環TSAプロセスにおいて窒素(および／または他の希釈剤流体種)よりも二酸化炭素に対する平衡選択性および／または速度論的選択性を最大化するように選択することができる。

【0057】

10

他の実施形態において上で記載されているのと同様に、本TSA二酸化炭素分離プロセスの一実施形態では、吸着剤接触器は、少なくとも1つの第一の二酸化炭素吸着剤、およびさらに少なくとも1つの第二の吸着剤材料を具備することができる。そのような第一の吸着剤材料および第二の吸着剤材料は、同様のまたは異なる吸着剤材料を具備することができ、かつ例えば、第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントなどの、吸着剤接触器の第一のセグメントおよび第二のセグメント中に具備されることがある。そのような場合、TSA二酸化炭素分離プロセスの脱離工程は、接触器の第一の軸セグメント中の伝導性フィラメントを、第二の軸セグメント中の第二の吸着剤材料とは別々に電気的に加熱することによって、吸着した二酸化炭素の少なくとも一部を第一の吸着剤材料から脱離させることを含むことができる。さらなる実施形態では、第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントは、別々の第一の二酸化炭素が豊富な生成物ガス、および第二の吸着剤材料から脱離した別の排気ガス成分が濃縮された第二の生成物ガスを生成させるように、例えば、本TSA法の脱離工程における個々の第一のセグメントおよび第二のセグメントの電気抵抗加熱によって連続的に加熱することができる。1つのそのような実施形態では、第一の軸セグメントは、接触器の出口末端の最も近くに配置することができ、かつ第二の軸セグメントは、第一のセグメントから接触器の入口末端に向かって配置することができ、第一の軸セグメントおよび第二の軸セグメントの連続的な脱離に対応して、二酸化炭素が濃縮された第一の脱離した生成物流体、および第二の吸着剤材料から脱離した別の排気ガス成分が濃縮された第二の脱離した生成物流体は、本TSA法の回収工程において(脱離時の接触器を通る流体流の方向に応じて)入口末端または出口末端から回収することができる。別の実施形態では、吸着剤接触器から別々に回収することができる別々の二酸化炭素濃縮生成物ストリームおよび対応する他の生成物ストリームを生成させるために、3以上の軸セグメントおよび対応する吸着剤材料を、第一の二酸化炭素吸着剤を含めて実装することができ、それにより、連続的かつ個別的に脱離させることができる。特定の実施形態では、二酸化炭素よりも、それぞれ、水、窒素酸化物、硫黄酸化物、および重金属のうちの少なくとも1つに選択的な第二の吸着剤材料、ならびに任意にまた、二酸化炭素よりも水、窒素酸化物、硫黄酸化物、および重金属のうちの少なくとも1つに選択的な第三の吸着剤材料は、第二の軸セグメントが、該接触器の入口末端のより近くの該第一の軸セグメントの上流に配置され、かつ該第三の軸セグメントが、該第一の軸セグメントの上流かつ該第二の軸セグメントの下流に配置されるように、接触器の第一の軸セグメント中の二酸化炭素吸着剤に加えて、別々の第二の軸セグメントおよび第三の軸セグメント中に実装することができる。したがって、そのような第二の吸着剤材料および第三の吸着剤材料を用いて、排気ガスストリームから他の夾雑物を望ましく分離することができ、この排気ガスストリームは、二酸化炭素生成物から切り離された格納および／または廃棄のために、別々に脱離させ、回収することができる。

【0058】

20

他の実施形態において上で記載されているのと同様に、本TSA二酸化炭素分離プロセスの一実施形態では、本TSAプロセスの工程は、実質的に一定または等圧の条件下で実施することができることが望ましい。特定の実施形態では、排気ガス供給混合物の吸着剤接触器への導入、二酸化炭素の吸着、排気ガス生成物ストリームの回収、二酸化炭素の脱

30

40

50

離、および脱離した二酸化炭素ストリームの回収は全て、例えば、実質的に大気圧下で実施することができる。代替の実施形態では、本 T S A プロセスのそのような工程は、例えば、等圧の過大気圧条件下などの、実質的に一定の高い圧力で実施することができる。別の代替の実施形態では、本 T S A プロセスの排気ガス生成物ストリームを導入し、吸着させ、かつ回収する工程は、例えば、大気圧下などの、第一の実質的に一定の圧力条件下で実施することができ、一方、二酸化炭素生成物を脱離させ、かつ回収する工程は、高い過大気圧などの、高い圧力で実施することができる。1つのそのような実施形態では、吸着剤接触器は、脱離させる工程の前に実質的に密封することができ、吸着させる工程において実施される吸着剤接触器の加熱は、吸着した二酸化炭素が吸着剤材料から脱離し、それにより、接触器の圧力を、例えば、過大気圧レベルにまで上昇させると、接触器内の圧力の増大をもたらすことができる。このように、脱離した二酸化炭素生成物流体は、加圧された二酸化炭素生成物ストリームを提供するために、吸着させる工程が実施された圧力を上回る望ましい程度に高い圧力で任意に回収することができ、この加圧された二酸化炭素生成物ストリームは、二酸化炭素のさらなる圧縮が、輸送、貯蔵、隔離、または工業的用途に必要とされ得る場合などの、特定の用途に望ましい可能性がある。

#### 【 0 0 5 9 】

本発明の別の態様では、温度スイング吸着 ( T S A ) 二酸化炭素分離プロセスは、特に、排気ガス供給混合物の代わりに天然ガス供給混合物から二酸化炭素ガスを分離することを対象にすることができます。そのような実施形態では、天然ガス供給混合物は、少なくともメタン成分および二酸化炭素成分を含むことができ、かつ硫化水素または他の夾雑物を含むこともできる。天然ガスから二酸化炭素を分離するそのような T S A プロセスは、例えば、シェールガス、低濃度天然ガス田、または井戸寿命天然ガス供給源などの用途において見られるように、夾雑した天然ガス供給混合物から二酸化炭素および / または硫化水素の少なくとも一部を除去するように適合させることができる。そのような場合、T S A 二酸化炭素分離プロセスは、排気ガス分離のプロセスに比較的類似しており、排気ガスの代わりに天然ガス供給ストリームを用いることができる。任意の好適な吸着剤材料は、他の天然ガス成分よりも二酸化炭素および / または硫化水素に対して望ましい程度に選択的であり、かつ好ましくは、循環 T S A プロセスを通じて、メタンよりも二酸化炭素および / または硫化水素（もしくは他の望ましくない希釈剤成分）に対して望ましい程度に動的に選択的である（平衡選択性および / または速度論的選択性を含む）吸着分離システムの吸着剤接触器（複数可）中に実装することができる。特定の実施形態では、そのような好適な二酸化炭素選択的吸着剤材料は、メタンに優る二酸化炭素の高い動的選択性に合わせて作ることができることが望ましい。したがって、そのような動的選択性の高い望ましい二酸化炭素吸着剤は、そのような特性を有する吸着剤を選択するか、または並行路接触器の特性を調節し、かつ / もしくは例えば、吸着剤材料の細孔径、細孔のど、窪みの大きさなどを修飾することにより、並行路接触器中に含まれる吸着剤材料の表面特性を修飾して、例えば、二酸化炭素の平衡選択性および / または速度論的選択性を改善するかのいずれかによって、循環 T S A プロセスにおいてメタンよりも二酸化炭素に対する平衡選択性および速度論的選択性を最大化するように選択することができる。また、そのような天然ガス二酸化炭素分離プロセスは、通常、例えば、井戸および / またはパイプラインなどの加圧された天然ガス供給混合物供給源と関連する等圧の過大気圧で実施することができる。

#### 【 0 0 6 0 】

本明細書に記載の例示的な実施形態は、網羅的であることまたは本発明の範囲を開示された正確な形態に限定することを意図したものではない。それらは、本発明の原理ならびにその用途および実用を説明して、当業者がその教示を理解することができるよう選択され、記載されている。

#### 【 0 0 6 1 】

上記の開示に照らして、当業者には明らかであるように、本発明の実施において、その精神又範囲を逸脱することなく、多くの改変および変更が可能である。したがって、本発明の範囲は、以下の特許請求の範囲によって定義される内容によって解釈されるべきであ

10

20

30

40

50

る。

【図1】

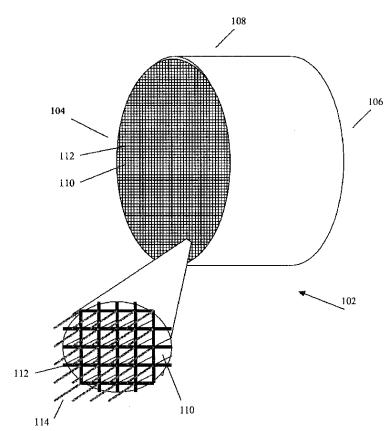


Figure 1

【図2】

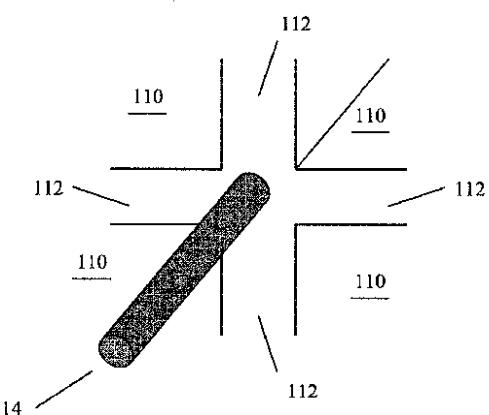


Figure 2

【図3】

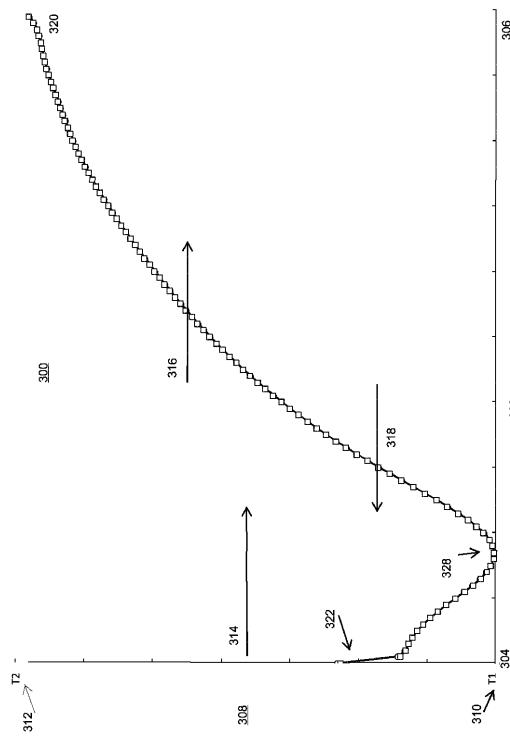


FIGURE 3

【図4】

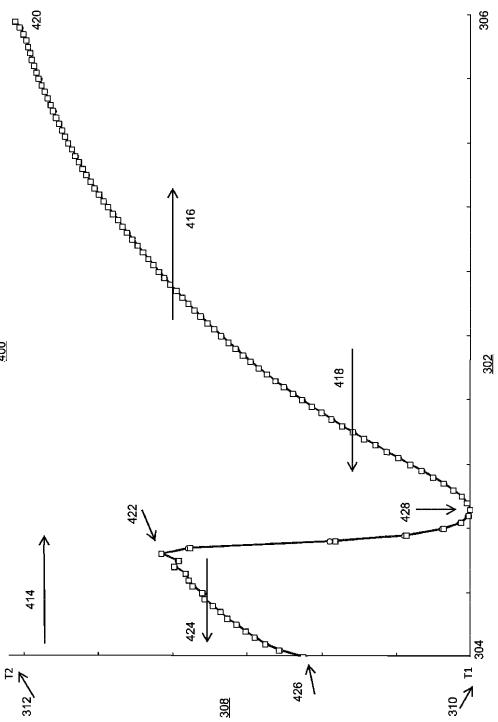


FIGURE 4

【図5】

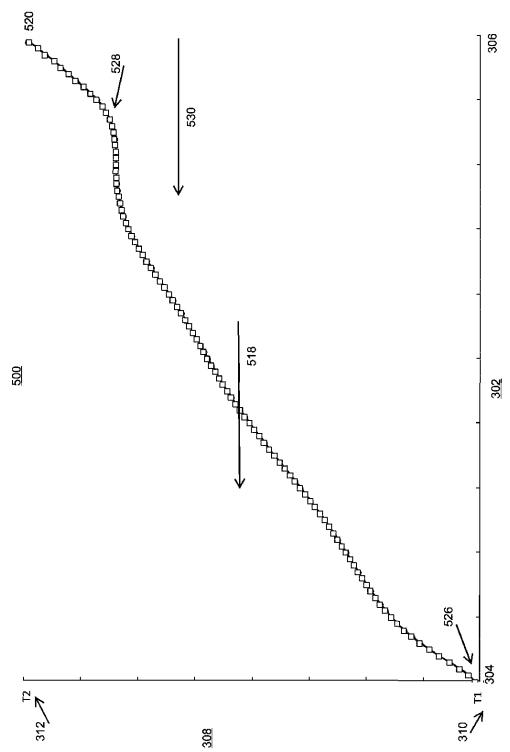


FIGURE 5

【図6】

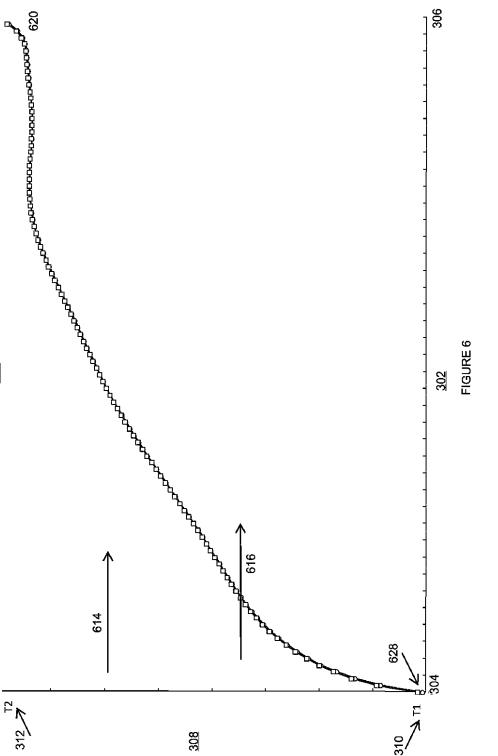


FIGURE 6

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>B 0 1 J</i>	<i>20/28</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>B 0 1 J</i>	<i>20/28</i>
<i>B 0 1 J</i>	<i>20/34</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>B 0 1 J</i>	<i>20/34</i>
<i>C 0 7 C</i>	<i>7/12</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>B 0 1 J</i>	<i>20/34</i>
<i>C 0 1 B</i>	<i>31/20</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>C 0 7 C</i>	<i>7/12</i>
			<i>C 0 1 B</i>	<i>31/20</i>
				<i>B</i>

(72)発明者 クヒアヴィ, ソヘイル  
 カナダ国 ブリティッシュ コロンビア ヴィー3エヌ 1エム3, バーナビー, 7954 1  
 7ス アベニュー

審査官 井上 能宏

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0311761(US, A1)

特開平05-137936(JP, A)  
 特開2000-005545(JP, A)  
 特開平06-055071(JP, A)  
 特開平05-237333(JP, A)  
 特開2004-202393(JP, A)  
 特開平09-308814(JP, A)  
 特表2009-541040(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

*B 0 1 D* 53/00~53~96  
*B 0 1 J* 20/00~20/34  
*C 0 1 B* 31/00~31/36  
*C 0 7 C* 7/12