

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7004690号
(P7004690)

(45)発行日 令和4年2月10日(2022.2.10)

(24)登録日 令和4年1月6日(2022.1.6)

(51)国際特許分類	F I			
B 0 1 D 53/047 (2006.01)	B 0 1 D	53/047		
B 0 1 J 20/20 (2006.01)	B 0 1 J	20/20		B
B 0 1 J 20/28 (2006.01)	B 0 1 J	20/28		Z
C 0 1 B 13/02 (2006.01)	C 0 1 B	13/02		A

請求項の数 12 外国語出願 (全18頁)

(21)出願番号	特願2019-147689(P2019-147689)	(73)特許権者	591035368
(22)出願日	令和1年8月9日(2019.8.9)		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2020-25958(P2020-25958A)		AIR PRODUCTS AND CHEMICALS INCORPORATED
(43)公開日	令和2年2月20日(2020.2.20)		ED
審査請求日	令和1年8月29日(2019.8.29)		アメリカ合衆国 ペンシルヴェニア アレンタウン ハミルトン ブールヴァード
(31)優先権主張番号	16/103,115		7201
(32)優先日	平成30年8月14日(2018.8.14)		7201 Hamilton Boulevard, Allentown, Pennsylvania 18195-1501, USA
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100099759
前置審査			弁理士 青木 篤

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 改善された炭素分子ふるい吸着剤

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

N₂ および / または Ar から O₂ を分離するための急速サイクル圧カスイング吸着 (PSA) プロセスであって、前記プロセスは、少なくとも5のO₂ / N₂ および / または O₂ / Ar 速度選択性、ならびに少なくとも0.20のO₂ 吸着速度 (1 / s) を有する炭素分子ふるい (CMS) 吸着剤を含む複数の吸着層を利用し、前記プロセスは、前記複数の層のそれぞれを、フィード工程、少なくとも1つの減圧工程、パージ工程、および少なくとも1つの再加圧工程を含む急速PSAサイクルに供することを含み、前記フィード工程の継続時間は60秒以下であり、前記吸着剤への吸着質O₂、N₂、またはArの吸着速度は、最初は真空で30 (86 ° F) である吸着剤サンプルを、1atmaで同じ温度で、ある測定量の吸着質O₂、N₂、またはArにさらすことで測定され、圧力の変化は時間の関数として記録され、吸着剤サンプルの代わりに同じ重量の石英ビーズを使用した同様の圧力履歴から、圧力対時間のデータを差し引いて、時間の関数としての吸着されたガスの量の取り込み曲線を得て、そして線形推進力モデルを使用して、取り込み曲線から逆時間 (1 / s) の単位で吸着質の吸着速度を抽出し、吸着剤のO₂ / N₂ もしくはO₂ / Ar 速度選択性が、計算された吸着速度の比から、2つの吸着質について個々に決定され、

前記CMSが、1atmaおよび86 ° F (30) での線形推進力モデルによって決定される場合、1.5 ~ 3.0のO₂ / N₂ 速度選択性を有するか、または1atmaおよび86 ° F (30) での線形推進力モデルによって決定される場合、5 ~ 40のO₂ / Ar

速度選択性を有する、

急速サイクル圧カスイング吸着（P S A）プロセス。

【請求項 2】

前記フィード工程の継続時間が 3 ~ 45 秒である、請求項 1 に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 3】

前記フィード工程の継続時間が 6 ~ 36 秒である、請求項 1 または 2 に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 4】

前記 P S A サイクルのサイクル時間が 100 秒以下である、請求項 1 に記載の急速サイクル P S A プロセス。

10

【請求項 5】

前記 P S A サイクルのサイクル時間が 30 ~ 70 秒である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 6】

前記プロセスが 2 ~ 4 個の吸着層を利用する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 7】

前記吸着剤層が、ランダム充填型の C M S 吸着剤を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の急速サイクル P S A プロセス。

20

【請求項 8】

前記吸着剤が、透過性ホールドダウンシステムを用いて固定されている、請求項 7 に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 9】

前記フィード工程が、 0°F （ -18 ） $\sim 125^{\circ}\text{F}$ （ 52 ）の温度で実施される、請求項 1 に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 10】

前記フィード工程が、 20°F （ -6.7 ） $\sim 40^{\circ}\text{F}$ （ 4.4 ）の温度で実施される、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の急速サイクル P S A プロセス。

【請求項 11】

前記プロセスが回転層急速サイクル P S A プロセスであるか、または、前記プロセスが回転バルブ急速サイクル P S A プロセスである、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の急速サイクル P S A プロセス。

30

【請求項 12】

N_2 および / または Ar から O_2 を分離するための急速サイクル圧カスイング吸着（P S A）プロセスにおける炭素分子ふるい（C M S）吸着剤の使用であって、前記 C M S が、少なくとも 5 の O_2 / N_2 および / または O_2 / Ar 速度選択性、ならびに少なくとも 0.20 の O_2 吸着速度（ $1 / \text{s}$ ）を有し、

前記急速サイクル P S A プロセスが、60 秒間以下の継続時間を有するフィード工程を有し、

40

前記吸着剤への吸着質 O_2 、 N_2 、または Ar の吸着速度は、最初は真空で 30 （ 86°F ）である吸着剤サンプルを、 1atma で同じ温度で、ある測定量の吸着質 O_2 、 N_2 、または Ar にさらすことで決定され、圧力の変化は時間の関数として記録され、吸着剤サンプルの代わりに同じ重量の石英ビーズを使用した同様の圧力履歴から、圧力対時間のデータを差し引いて、時間の関数としての吸着されたガスの量の取り込み曲線を得て、そして線形推進力モデルを使用して、取り込み曲線から逆時間（ $1 / \text{s}$ ）の単位で吸着質の吸着速度を抽出し、吸着剤の O_2 / N_2 もしくは O_2 / Ar 速度選択性が、計算された吸着速度の比から、2 つの吸着質について個々に決定され、

前記 C M S が、 1atma および 86°F （ 30 ）での線形推進力モデルによって決定される場合、 $1.5 \sim 3.0$ の O_2 / N_2 速度選択性を有するか、または 1atma および 8

50

6 ° F (3 0) での線形推進力モデルによって決定される場合、5 ~ 4 0 の O₂ / A r 速度選択性を有する、
使用。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、炭素分子ふるい (C M S) 吸着剤を使用して、N₂ および / または A r から O₂ を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着 (P S A) プロセスに関する。

【背景技術】

【0002】

P S A プロセスは、空気の成分の分離において長い間使用されてきた。様々なガス混合物を分離するための炭素分子ふるい (C M S) 吸着剤の使用もまた、数十年間知られてきた (Walker , J r . , P . L . , “ M o l e c u l a r S i e v e s ” , M i n e r a l I n d u s t r i e s , 1 9 6 6)) 。

【0003】

炭素分子ふるい (C M S) 吸着剤は、通常、植物製品 (廃木材、ココナッツ殻、クルミ殻、フルーツ核)、鉱物炭、廃鉱油、廃樹脂などのような異なる原材料を様々な方法によって処理することから得られ (米国特許第 3 , 8 0 1 , 5 1 3 号、同第 4 , 4 5 8 , 0 2 2 号、Nakao, Y., “ Control of Micro-pores of Molecular Sieving Carbon by Impregnation of Hydrocarbons and Heat Treatment ” , Presented at 20th Spring Chemical Industrial Convention, 1987)、ここで、最終的には、細孔は、細孔を狭めるかまたは細孔径分布を変えるかのいずれかである微細炭素粒子で部分的に塞がれ、それによって分子ふるい特性が変わる。初期の微細孔構造および適切な作業パラメータ (結合剤の種類、炭化時間および温度、最終分解のための炭化水素の種類および濃度、分解の時間および温度、冷却中の不活性流の添加など) の維持を提供する適切な原料を選択することは、サイズ選択分離のための適切な C M S 吸着剤を得るための鍵となる要因である。

【0004】

米国特許第 4 , 7 4 2 , 0 4 0 号は、空気からの窒素の分離に適用することができる、改善された能率および選択性を有する炭素分子ふるいを製造するためのいくつかのプロセスを開示している。米国特許第 5 , 0 9 8 , 8 8 0 号は、より速い酸素速度論および窒素よりも酸素で高い速度選択性を有する炭素分子ふるいを作製する二段階方法を記載している。米国特許第 5 , 1 6 4 , 3 5 5 号は、効率的な酸素選択性炭素分子ふるいを製造するためのさらなる修飾用のホスト材料として使用することができる、高能率、高密度の炭素分子ふるい吸着剤を製造するプロセスを記載している。米国特許第 5 , 9 7 2 , 8 3 4 号は、主にハロゲン化および脱ハロゲン化処理と、それに続く、炭化木炭 (ヤシ殻またはフェノール樹脂から誘導される) 上での熱分解性炭化水素 (ベンゼンまたはトルエンから選択される) を使用する孔調整処理とを含む、空気から酸素および窒素を分離するために適した炭素分子ふるいの製造方法を開示している。米国特許第 6 , 9 1 6 , 3 5 8 号は、窒素および酸素を含有する混合ガスから窒素を分離するためのいくつかの炭素分子ふるい吸着剤を開示している。

【0005】

したがって、上記のように、炭素分子ふるい (C M S) 吸着剤を製造するための、および窒素よりも酸素に対して、またはアルゴンよりも酸素に対して、高い速度選択性を示すように C M S の特性を「調整する」ための確立された方法論が存在している。選択的な微細孔が吸着剤に導入され、そこで孔口が酸素、窒素またはアルゴンの反応速度を制御する。したがって、この孔口または孔入口は、拡散のための限界寸法とみなされる。そのような微細孔は非常に高い選択性を示すことができるが、これは一般に全体の吸着速度を犠牲にして達成される。それゆえに、C M S 吸着剤における吸着速度は、速度選択性と逆相関す

10

20

30

40

50

る。この挙動は、NguyenおよびDoによって提示されたモデル(Nguyen, C.; Do, D. D., "Dual Langmuir kinetic model for adsorption in carbon molecular sieve", Langmuir, volume 16, pages 1868 - 1873, 2000)によって説明することができる。

【0006】

より最近では、分離プロセスの強化にかなりの関心が寄せられている。PSAおよびTSAなどのサイクルデバイスにおいては、サイクル時間を短縮することが、所定量の材料からより多くの生産を達成するための主な手段である。しかし、サイクル時間が短縮されるにつれて、サイクルデバイスは、通常、目的の成分についてのサイクル当たりの作業能率を減少させ、生成物の回収を減少させ、そして圧力降下を増大させるという問題に直面する。

10

【0007】

PSAプロセスにおける最近の発展は、生産性を増加させるために、比較的速い速度選択的な積層吸着剤構造のような複雑な構造の吸着剤を使用することを含む。例えば、米国特許第7,645,324号は、気体の反応速度的分離のために積層吸着剤を使用する回転PSAプロセスを開示している。米国特許第7,645,324号は、速度選択的な積層体の使用が生産性の増加を可能にできるが、しかし、マクロ孔の物質移動抵抗による速度選択性のマスキングを回避するために、吸着剤層内のマクロ孔構造は可能な限り開いているべきであり、すなわち、マクロ孔空隙比は比較的高くあるべきであることを教示している。しかし、この点における問題は、高い空隙容量を有することが一般に生成物の回収を害することである。したがって、そのような積層構造の使用を介して得ることができるようなそのような生産性の改善は、やはり生成物回収の減少という犠牲を払うことになることと予想される。また、市販の成形CMS吸着剤を粉碎して積層構造を作製するための粉末を生成する場合、炭素析出(不均一に分布する)によって導入された選択特性はほとんど失われ、速い反応速度を有する、より低い/非選択的なCMSが残る。それゆえに、PSAプロセス用のCMSベースの積層形態の構造化充填物を作製することは実用的ではないと思われる。

20

【0008】

このように、生成物回収とプロセス生産性との間には二律背反があり、生成物回収を増加させるためにとられる工程は一般的にプロセス生産性にとって有害であり、またその逆も同様であることが先行技術から明らかである。

30

【0009】

したがって、高い生成物回収を維持しながら高いプロセス生産性を有するPSAプロセスについての必要性が依然として存在している。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、N₂および/またはArからO₂を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着(PSA)プロセスにおいて「速い」速度選択性CMS吸着剤を使用すると、驚くべきことに、「より遅い」が、より選択的でありかつより能率が高いCMS吸着剤を使用したときに得ることができる生産性および回収の比率と比較すると、依然として高い生成物回収を維持しながら、プロセス生産性が向上することを見出した。

40

【0011】

本発明に従うプロセスのいくつかの好ましい態様を以下に概説する。

【0012】

態様1: N₂および/またはArからO₂を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着(PSA)プロセスであって、上記プロセスは、1atmおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、少なくとも5のO₂/N₂および/またはO₂/Ar速度選択性、ならびに少なくとも0.20のO₂吸着速度(1/s)を有する炭素分子

50

ふるい（CMS）吸着剤を含む複数の吸着層を利用し、上記プロセスは、上記複数の層のそれぞれを、フィード工程、少なくとも1つの減圧工程、パージ工程、および少なくとも1つの再加圧工程を含む急速PSAサイクルに供することを含み、上記フィード工程の継続時間は60秒以下である、プロセス。

【0013】

態様2：上記フィード工程の継続時間が3～45秒である、態様1に記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0014】

態様3：上記フィード工程の継続時間が6～45秒である、態様1に記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0015】

態様4：上記フィード工程の継続時間が6～36秒である、態様1に記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0016】

態様5：上記PSAサイクルのサイクル時間が100秒以下である、態様1～4のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0017】

態様6：上記PSAサイクルのサイクル時間が30～100秒である、態様1～4のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0018】

態様7：上記PSAサイクルのサイクル時間が30～70秒である、態様1～4のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0019】

態様8：上記プロセスが2～4個の吸着層を利用する、態様1～7のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0020】

態様9：上記プロセスが2個の吸着層を利用する、態様1～7のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0021】

態様10：上記CMSが、1atmaおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、5～30のO₂/N₂速度選択性を有する、態様1～9のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0022】

態様11：上記CMSが、1atmaおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、10～25のO₂/N₂速度選択性を有する、態様1～9のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0023】

態様12：上記CMSが、1atmaおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、15～20のO₂/N₂速度選択性を有する、態様1～9のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0024】

態様13：上記CMSが、1atmaおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、5～40のO₂/Ar速度選択性を有する、態様1～12のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0025】

態様14：上記吸着剤層が、ランダム充填型のCMS吸着剤を含む、態様1～13のいずれか1つに記載の急速サイクルPSAプロセス。

【0026】

態様15：上記吸着剤が高密度充填されており、透過性ホールドダウンシステムを用いて固定されている、態様14に記載の急速サイクルPSAプロセス。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 7 】

態様 1 6 : 上記フィード工程が、 0°F ~ 約 125°F の温度で実施される、態様 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の急速サイクル P S A プロセス。

【 0 0 2 8 】

態様 1 7 : 上記フィード工程が、 20°F ~ 約 100°F の温度で実施される、態様 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の急速サイクル P S A プロセス。

【 0 0 2 9 】

態様 1 8 : 上記フィード工程が、 20°F ~ 約 40°F の温度で実施される、態様 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の急速サイクル P S A プロセス。

【 0 0 3 0 】

態様 1 9 : 回転層急速サイクル P S A プロセスである、態様 1 ~ 1 8 のいずれか 1 つに記載の急速サイクル P S A プロセス。

10

【 0 0 3 1 】

態様 2 0 : 回転バルブ急速サイクル P S A プロセスである、態様 1 ~ 1 8 のいずれか 1 つに記載の急速サイクル P S A プロセス。

【 0 0 3 2 】

態様 2 1 : N_2 および / または Ar から O_2 を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着 (P S A) プロセスにおける炭素分子ふるい (C M S) 吸着剤の使用であって、上記 C M S が、 1atma および 86°F での線形推進力モデルによって決定される場合、少なくとも 5 の O_2 / N_2 および / または O_2 / Ar 速度選択性、ならびに少なくとも 0 . 2 0 の O_2 吸着速度 ($1 / \text{s}$) を有する、使用。

20

【 0 0 3 3 】

態様 2 2 : 上記 C M S が、 1atma および 86°F での線形推進力モデルによって決定される場合、 $5 \sim 30$ の O_2 / N_2 速度選択性を有する、態様 1 9 に記載の使用。

【 0 0 3 4 】

態様 2 3 : 上記 C M S が、 1atma および 86°F での線形推進力モデルによって決定される場合、 $10 \sim 25$ の O_2 / N_2 速度選択性を有する、態様 1 9 に記載の使用。

【 0 0 3 5 】

態様 2 4 : 上記 C M S が、 1atma および 86°F での線形推進力モデルによって決定される場合、 $15 \sim 20$ の O_2 / N_2 速度選択性を有する、態様 1 9 に記載の使用。

30

【 0 0 3 6 】

態様 2 5 : 上記 C M S が、 1atma および 86°F での線形推進力モデルによって決定される場合、 $5 \sim 40$ の O_2 / Ar 速度選択性を有する、態様 1 9 に記載の使用。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 7 】

本発明は、添付の図面とあわせて以下に説明され、同様の番号は同様の要素を示す。

【 0 0 3 8 】

【 図 1 】 図 1 は、2 層多段階 P S A サイクルの操作を示す。

【 0 0 3 9 】

【 図 2 a 】 図 2 a は、 7.80atma および 100°F で空気から N_2 (4500ppm O_2 を含む) を生成するための、図 1 に提示した 2 層多段階サイクルを使用する速い C M S 吸着剤 ($414-02$) および遅い C M S 吸着剤 ($414-04$) についてのサイクル時間の関数としての、フィード対生成物比の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

40

【 0 0 4 0 】

【 図 2 b 】 図 2 b は、 7.80atma および 100°F で空気から N_2 (4500ppm O_2 を含む) を生成するための、図 1 に提示した 2 層多段階サイクルを使用する速い C M S 吸着剤 ($414-02$) および遅い C M S 吸着剤 ($414-04$) についてのサイクル時間の関数としての生産性の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

【 0 0 4 1 】

50

【図3a】図3aは、7.80atmaおよび100°Fで空気からN₂(45,000ppm O₂を含む)を生成するための、図1に提示した2層多段階サイクルを使用する速いCMS吸着剤(414-02)および遅いCMS吸着剤(414-04)についてのサイクル時間の関数としての、フィード対生成物比の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

【0042】

【図3b】図3bは、7.80atmaおよび100°Fで空気からN₂(45,000ppm O₂を含む)を生成するための、図1に提示した2層多段階サイクルを使用する速いCMS吸着剤(414-02)および遅いCMS吸着剤(414-04)についてのサイクル時間の関数としての生産性の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

10

【0043】

【図4a】図4aは、7.80atmaおよび30°Fで空気からN₂(4500ppm O₂を含む)を生成するための、図1に提示した2層多段階サイクルを使用する速いCMS吸着剤(414-02)および遅いCMS吸着剤(414-04)についてのサイクル時間の関数としての、フィード対生成物比の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

【0044】

【図4b】図4bは、7.80atmaおよび30°Fで空気からN₂(4500ppm O₂を含む)を生成するための、図1に提示した2層多段階サイクルを使用する速いCMS吸着剤(414-02)および遅いCMS吸着剤(414-04)についてのサイクル時間の関数としての生産性の観点による正規化プロセス性能を示すグラフである。

20

【発明を実施するための形態】

【0045】

以下の詳細な説明は、好ましい例示的な実施形態のみを提供し、本発明の範囲、適用性、または構成を限定することを意図しない。むしろ、以下の好ましい例示的な実施形態の詳細な説明は、本発明の好ましい例示的な実施形態を実施するための実施可能な説明を当業者に提供する。添付の特許請求の範囲に記載されているように、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、要素の機能および配置において様々な変更を行うことができる。

【0046】

本明細書で使用される場合、冠詞「a」および「an」は、本明細書および特許請求の範囲に記載される本発明の実施形態における何らかの任意の特徴に適用されるとき、1つ以上を意味する。「a」および「an」の使用は、意味を単一の特徴に制限することが具体的に述べられていない限り、そのように意味を制限しない。単数形または複数形の名詞または名詞句に先行する冠詞「the」は、1つの特定の詳細な特徴または複数の特定の詳細な特徴を示し、それが使用される文脈に応じて単数または複数の含意を有する可能性がある。

30

【0047】

本明細書で使用される場合、「第1の」、「第2の」、「第3の」などは、複数の工程および/または特徴の中から区別するために使用され、総数、または時間および/もしくは空間における相対位置を示すことが明示的に述べられていない限り、そのようなことを示すものではない。

40

【0048】

本明細書で使用される場合、「含む(comprising)」という用語は、からなる(consisting of)または含む(including)を意味する。

【0049】

本明細書で使用される場合、第1の実体と第2の実体との間に配置される「および/または」という成句は、(1)第1の実体のみ、(2)第2の実体のみ、ならびに(3)第1の実体および第2の実体の意味、のいずれかを含む。3つ以上の実体のリストの最後の2つの実体の間に配置される「および/または」という用語は、このリストにおける実体の任意の特定の組み合わせを含む、リストにおける実体のうちの少なくとも1

50

つを意味する。例えば、「A、B、および/またはC」は「Aおよび/またはBおよび/またはC」と同じ意味を有し、A、B、およびCの以下の組み合わせを含む：(1) Aのみ、(2) Bのみ、(3) Cのみ、(4) AおよびBであって、Cではない、(5) AおよびCであって、Bではない、(6) BおよびCであって、Aではない、ならびに(7) AおよびBおよびC。

【0050】

N₂および/またはArからO₂を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着(P S A)プロセスにおける使用のための「速い」速度選択的炭素分子ふるい(C M S)吸着剤が、本明細書に開示される。また、前記速い速度選択的C M S吸着剤を含む複数の吸着層を利用する、N₂および/またはArからO₂を分離するための急速サイクル圧力スイング吸着(P S A)プロセスが、本明細書に開示される。

10

【0051】

N₂またはArからO₂を分離するための開示された速いC M S吸着剤を使用する、本明細書に記載の急速サイクルP S Aプロセスは、驚くべきことに、高い生成物回収を維持しながら改善されたプロセス生産性を提供することが見出された。さらに、速いC M S吸着剤を使用する急速サイクルP S Aプロセスは、より少ないパージガスを必要とすることが見出された。

【0052】

本明細書で使用される場合、「速い」速度選択性C M S吸着剤(本明細書では、単に「速い」C M S吸着剤とも呼ばれる)は、1 a t m aおよび8 6 ° Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、少なくとも5のO₂/N₂および/またはO₂/A r速度選択性、ならびに少なくとも0.20のO₂吸着速度(1/s)を有するC M S吸着剤を指す。より好ましくは、速いC M S吸着剤は、1 a t m aおよび8 6 ° Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、少なくとも0.21、少なくとも0.22、少なくとも0.23、少なくとも0.24、少なくとも0.25、少なくとも0.26、少なくとも0.27、少なくとも0.28、少なくとも0.29、または少なくとも0.30のO₂吸着速度(1/s)を有する。

20

【0053】

本明細書で使用される場合、「遅い」速度選択性C M S吸着剤(本明細書では、単に「遅い」C M S吸着剤とも呼ばれる)は、O₂について、1 a t m aおよび8 6 ° Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、少なくとも5のO₂/N₂および/またはO₂/A r速度選択性、ならびに0.20未満のO₂吸着速度(1/s)を有するC M S吸着剤を指す。

30

【0054】

線形推進力(L D F)モデルは、実験的取り込み曲線から吸着速度を決定するための周知のモデルであり、特定の吸着剤に対する特定の吸着質の吸着速度と、特定の吸着質の組み合わせに対する吸着剤の得られる速度選択性の両方を計算するために使用できる。

【0055】

より具体的には、吸着剤への吸着質(例えば、O₂、N₂、またはA r)の吸着速度は、標準容量吸着装置を使用して評価される。実験は、最初は真空で3 0 3 K(8 6 ° F)である吸着剤サンプルを、1 a t m a(7 6 0 T o r r / 1 0 1 k P a)で同じ温度で、ある測定量の吸着質にさらすことからなる。圧力の変化は時間の関数として記録される。次いで、吸着剤サンプルの代わりに同じ重量の石英ビーズを使用した同様の圧力履歴から、圧力対時間のデータを差し引いて、取り込み曲線としても知られる、時間の関数としての吸着されたガスの量のプロットを得る。次いで、L D Fモデルを使用して、取り込み曲線から逆時間(1/s)の単位で吸着質の吸着速度を抽出する。特定の吸着質の組み合わせについての吸着剤の速度選択性は、次に、計算された吸着速度の比から、2つの吸着質について個々に決定することができる。モデルの分析形式は、(S i r c a r , S . a n d H u f t o n , J . R . , " W h y D o e s t h e L i n e a r D r i v i n g F o r c e M o d e l f o r A d s o r p t i o n K i n e t i c s W o r k ? " ,

40

50

Adsorption 2000, 6, 137-147による文献の表1にも示されているように)次式によって与えられ、ここで、 $f(t)$ は分画取り込み、 k はLDF物質移動係数、 α は定容実験の補正係数、そして t は時間である。

【数1】

$$f(t) = 1 - \exp^{-kt \frac{1+\alpha}{\alpha}}$$

【0056】

プロセスが N_2 から O_2 を分離するためのものである場合、速いCMS吸着剤は、好ましくは、1atmおよび86°Fでの線形推進力モデルによって決定される場合、5~30、10~25、または15~20の O_2/N_2 速度選択性を有することができるプロセスがArから O_2 を分離するためのものである場合、速いCMS吸着剤は、好ましくは、5~40の O_2/Ar 速度選択性を有することができる。速いCMS吸着剤は、任意の適切な吸着能率を有することができる。例えば、1atmおよび86°Fでの標準等温測定によって決定されるように、速いCMS吸着剤は、0.2~0.4mmol/gの間の平衡での吸着能率を有することができる。

10

【0057】

周知であるように、PSAプロセスは、プロセスにおいて使用される吸着剤層のそれぞれを、少なくともフィード工程(吸着工程とも呼ばれる)、少なくとも1つの減圧工程、パーージ工程、および少なくとも1つの再加圧工程を含むPSAサイクルに供することを含む。フィード工程において、フィードガス流は、フィード工程を受けた層に導入されそこを通過し、フィード流から1種以上の容易に吸着される成分(すなわち、この場合は O_2)を吸着させ、それによって、吸着成分が枯渇し、残りの成分(すなわち、この場合は N_2 および/またはAr)が富化された層を出る、生成物ガス流を生成する。減圧工程において、層は、より低いパーージ圧力に達するまで、フィード工程の間のフィード圧力から減圧され、減圧工程は、典型的には、少なくとも1つの減圧均等化工程(ここでは、層内のガスのいくらかを排出すること、および均等化再加圧工程を受けている別の層に上記ガスを送り、それによって、2つの層間の圧力を少なくとも部分的に均等にすることによって、層を減圧する)、および、典型的には上記減圧均等化工程の後に起こり、より容易に吸着される成分が豊富なガスが(典型的には向流方向に)層から排出される、向流減圧または「ブローダウン」工程、を含む。パーージ工程において、残りの吸着成分を除去するために、パーージガス(典型的には、吸着工程で生成された生成物ガスのいくらか)が、ここでは前述のパーージ圧力にある層に通され(典型的には向流方向に)、このことは、再度、前記成分に富んだガス流が層から排出されることを生じる。最後に、再加圧工程において、層は加圧してフィード圧力まで戻し、この再加圧工程は、典型的には、少なくとも1つの再加圧均等化工程(均等化減圧工程を受けている別の層からガスを受け取ることによって層が加圧される)、および、層がフィードガスまたは生成物ガス(または好ましくは両方)を用いて再加圧される少なくとも1つの工程を含み、フィードガスは、典型的には、並流で導入され、生成物ガスは向流で導入される。既知であるように、サイクルは、上述の工程のうちのいずれかの間に行われる他の工程も含むことができる。

20

30

40

【0058】

PSAサイクルに関して本明細書で使用される場合、「並流」工程は、この工程を受けている層に、および/またはこの層から、フィード工程の間のガスの流れの方向と同じ方向で、ガスが流れる工程を指す。同様に、「向流」工程は、この工程を受けている層に、および/またはこの層から、フィード工程の間のガスの流れの方向とは反対の方向で、ガスが流れる工程を指す。同様に、本明細書で使用される場合、層の「入口」または「入口」端とは、フィード工程の間にフィードガスがそこを通して入る層の入口または端部を指し、層の「出口」または「出口」端とは、フィード工程の間に生成物ガスがそこを通して出る層の出口または端部を指す。

【0059】

50

本明細書で使用される場合、「急速」P S Aサイクルという用語は、サイクルのフィード工程の合計持続時間が60秒以下であるP S Aサイクルを意味する。好ましくは、サイクルのフィード工程の合計持続時間は少なくとも3秒である。好ましくは、フィード工程は、3~45秒、または6~45秒、または6~36秒の合計持続時間を有する。

【0060】

急速P S Aサイクルはまた、好ましくは、100秒以下のサイクル時間を有し、サイクル時間は、P S Aサイクルの一連の工程の1つのフルセット（すなわち、フィード工程、少なくとも1つの減圧工程、ページ工程、少なくとも1つの再加圧工程、およびサイクル中に存在し得る任意の他の工程）を完了するためにかかる時間の長さである。より好ましくは、P S Aサイクルは、30~100秒、または30~70秒のサイクル時間を有する。

10

【0061】

急速サイクルP S Aプロセスは、各々が急速C M S吸着剤を含む複数の吸着層を使用して実行される。任意の適切な数の層を使用することができるが、特定の実施形態において、本プロセスは、2~4個の吸着層のみを使用するか、または2個の層のみを使用する。これに関して、本明細書で使用される場合、「吸着層」または「層」という用語は、それぞれP S Aサイクルの各工程を同時に受けている1つ以上の吸着剤の容器を指すことに留意すべきである。したがって、2つの層を使用するプロセスは、P S Aサイクルの各工程をすべて同時に受けている第1の容器または容器のセット（これは層のうちの1つを表す）を有し、P S Aサイクルの各工程をすべて同時に受けている第2の容器または容器のセット（これは層のうちの他のものを表す）を有し、しかし、第1の容器または容器のセットにおけるP S Aサイクルの各工程が、第2の容器または容器のセットにおけるP S Aサイクルの対応する工程の開始および終了と同時に開始および終了しないように、第1の容器または容器のセットにおけるP S Aサイクルのタイミングは、第2の容器または容器のセットにおけるP S Aサイクルのタイミングからずらされている。

20

【0062】

吸着剤層は、任意の適切な形態で急速C M S吸着剤で充填されてもよいが、好ましくは、ランダム充填の形態でC M S吸着剤を含む。吸着剤は、好ましくは、高密度充填され、C M Cを封じ込めるためにC M Sに面しており、バネなどによって下向きの圧力が適用される、ワイヤメッシュを伴う多孔板などの透過性ホールドダウンシステムを用いて固定されるべきである。高密度ローディングは、バネを外す追加の沈降を防ぐ。高密度ローディングは、降雪型ローディングのような当該技術分野で既知の方法によって達成することができる。

30

【0063】

フィード工程は、典型的には、約0°F~約125°Fの温度、より好ましくは、約20°F~約100°F、または約20°F~約40°Fの温度で実施される。本明細書において使用される場合、フィード工程が実施される温度は、吸着層への入口で測定されるように、吸着層に導入されるフィードガスの温度を意味する。驚くべきことに、本発明者らは、本明細書に記載され開示されたプロセスにおいて、より低い温度（例えば、約30°F）でプロセスのフィード工程を実施することが、同時に生成物回収を維持または改善する一方で、プロセス生産性を改善し、このことは既知のP S Aシステムとは反対であることを見出した。このようなより低い温度でフィード工程を実施することは、フィードガスが周囲温度以下ですでに利用可能である場合（例えば、プロセスが、蒸留塔から得られた粗アルゴン流から酸素および/または窒素を分離するために使用されている場合など）、およびフィード工程のために所望の温度まで下げるフィードガスの顕著な冷却は必要とされない場合に、特に有益であり得る。

40

【0064】

フィード工程の間に、任意の適切なフィード圧力を使用することができる。例えば、吸着層への入口で測定される場合、フィード工程の間の圧力は、約5~約12絶対気圧であり得る。

【0065】

50

このプロセスは、急速サイクルPSAを実行するための任意の適切な装置を使用して実施することができる。伝統的なスイッチバルブは、ある程度機能する。しかし、好ましくは、本プロセスは、回転層PSA装置を使用して実行される回転層急速サイクルPSAプロセス（サイクルのPSA工程間で層を切り替えるためのバルブプレートとして機能するステータプレートをそれぞれ含む、フィードステータアセンブリと生成物ステータアセンブリとの間に配置され、それらに対して回転するロータに、吸着層が取り付けられている場合）、または、回転バルブPSA装置を使用して実行される回転バルブ急速サイクルPSAプロセス（逆に、吸着層が固定層アセンブリ内に配置されており、当該技術分野で既知である回転フィードバルブおよび生成物バルブによってPSA工程間で切り替えられる場合）である。

10

【0066】

単なる一例として、本発明のプロセスと共に使用するのに適した例示的な2層多段階PSAサイクルを、ここで図1を参照しながら説明する。サイクルスケジュールは図1に表形式で示されている。テーブルグリッドの各行は、全体のサイクルにわたって特定の層が受けるすべての異なるサイクル工程を表すのに対して、グリッドの列は、特定の単位時間工程において、どのサイクル工程が、どの層によって実行されているかを表す。合計サイクル時間は、特定の行のすべての個々の単位時間工程の合計である。サイクルスケジュールにおいて、典型的には「単位ブロック」と呼ばれる強調表示されたセクションがあり、このブロック内ですべての工程が多層の1つによって実行されていることに留意されたい（Mehrotra et al., 2011）。繰り返し単位ブロックの数は、層の数と同じである。典型的なサイクルスケジュール制定方法論は、文献：“Mehrotra, A.; Ebner, A. D.; Ritter, J. A. Simplified Graphical Approach for Complex PSA Cycle Scheduling, Adsorption, 2011, 17 337-345”に見出すことができる。図1に提示した全てのサイクル設計の顕著な特徴を以下に要約する。

20

【0067】

図1に示すPSAサイクルは、生成物およびフィードの再加圧工程（F1/RP1）、フィード（F2、F3）、並流減圧工程（CoD）、並流および二重均等化減圧工程（EQD1、DEQD2、DEQD3）、向流減圧工程（CnD1、CnD2）、生成物パージ工程（PU1、PU2）、生成物再加圧工程（RP2、RP3）、向流および二重均等化再加圧工程（EQR1、DEQR2、DEQR3）、およびいくつかのアイドル工程（I1、I2、I3）を含む。生成物およびフィードの再加圧（F1/RP1）工程において、一次生成物（例えば、濃縮されたN₂）およびフィードガス（例えば、空気）を層の上部および底部端からそれぞれ添加しながら、層をサイクルの最高圧力レベルまで加圧する。サイクルのこの段階の間、層から生成物は引き出されない。次に、フィード工程（F2およびF3は同じフィード工程のフェーズを表す）において、優先的に吸着された成分（すなわち、O₂）の物質移動ゾーンが、実質的にそれを破ることなく層の出口端に達するまでフィードガスの導入を続け、そして、吸着されなかったガス（例えば、精製N₂）は、一次生成物として層の出口端から排出される。次いで、並流減圧工程（CoD）において、フィード流を停止し、層の上端から生成物を抜き出すことを通して、層圧力を第一中間レベルまで低下させる。次いで、並流均等化減圧工程（EQD1）において、層を、向流均等化再加圧工程（EQR1）を受ける層と接続し、そして空隙ガスならびに脱着ガスの一部は、EQD1を受ける層の生成物端部から、EQR1を受ける層の生成物端部まで移送され、かくして2つの層の間の圧力を部分的に等しくし、そしてEQD1を受ける層における層圧力を、この工程の最後に第2の中間レベルまで低下させる。次に、二重末端均等化減圧工程（DEQD2）において、より多くの共吸着ガスならびに空隙ガスが上記工程を受ける層の頂部および底部から引き出され、上記層内の圧力を第3の中間レベルに下げ、層の頂部および底部から引き出されたガスは、二重均等化再加圧工程（DEQR2）を受ける層の頂部および底部にそれぞれ送られる。次に、工程（DEQD3/CnD1）において、二重末端均等化減圧が継続されるが、しかし、別の層を再加圧するために使

30

40

50

用されるのではなく、向流で引き出される減圧工程の一部が二次生成物（すなわち、 O_2 富化ガス）として取られ、この工程は、層の圧力を第4の中間レベルまでさらに低下させる。次いで、層を向流減圧工程（C n D 2）において最低操作圧力まで向流減圧し、パージ工程（P U 1 および P U 2）において最低操作圧力でパージし、さらなる二次生成物を生成する。その後、向流再加圧工程（R P 2 および R P 3）において、層を一次生成物ガスをを用いて向流で再加圧する。再加圧工程（R P 2 および R P 3）に続いて、カラムを、圧力均等化再加圧工程（E Q R 1、D E Q R 2、および D E Q R 3）を通してさらに加圧して、層をサイクルの開始および繰り返しのための圧力レベルに戻す。3つのアイドリング工程（I 1、I 2、および I 3）もまたサイクルスケジュールに組み込まれており、その間、アイドリング工程を受けている層は隔離され、それを導くバルブは閉鎖位置にあることに留意されたい。

10

【実施例】

【0068】

図1に示されるような2層多段階圧カスイング吸着（P S A）プロセスサイクルは、空気から窒素を分離するために、速い（414-02）炭素分子ふるい（C M S）吸着剤および遅い（414-04）炭素分子ふるい（C M S）吸着剤を使用して、フィード対生成物比および比生産性に関してプロセス性能指標を評価するために選択した。フィード対生成物比は回収の逆数であり、それゆえに、その比が低いほど回収は良くなり、逆もまた同様である。言い換えれば、より低いフィード対生成物比は、圧縮機に対するより低い動力要件を意味する。速いC M S吸着剤（414-02）および遅いC M S吸着剤（414-04）上での酸素および窒素の速度、速度選択性、および平衡能率、ならびに吸着剤層の特性を表1および2に要約する。酸素取り込み速度は、速いC M S吸着剤と遅いC M S吸着剤との間で30%だけ異なるが、選択性は2倍異なることに留意されたい。

20

【0069】

P S Aプロセス性能の結果は、異なる N_2 生成物純度（4500 ppmおよび45,000 ppmの O_2 を含有する）についてのフィード対生成物比および生産性に関して、異なるフィード工程温度（100°Fおよび30°F）を使用する場合に、速いC M S吸着剤（414-02）および遅いC M S吸着剤（414-04）について、図2（aおよびb）、図3（aおよびb）、および図4（aおよびb）に要約する。これらの図において、フィード対生成物比および生産性は、表3に与えられる条件における414-04の代表値で除算することによって正規化され、これらの正規化された値はサイクル時間の関数としてプロットされている。各吸着剤について、P S Aプロセスパラメータは、これらのプロットを生成するために個別に最適化されている。表3において、サイクル時間は、100°F、4500 ppmの場合については、414-02と414-04の両方について60秒であり、100°F、45,000 ppmの場合については50秒であった。30°Fの比較のために、414-02を90秒のサイクル時間で実行し、414-04を190秒で実行した。全ての場合において、吸着層への入口で測定された場合、フィード工程の間の圧力は、7.80 atmaであった。

30

【0070】

図2～4に見られるように、速いC M S（414-02）の最適サイクル時間は、（異なる量の O_2 を含有する）全ての N_2 生成物純度および温度において、遅いC M S（414-04）のそれと同等またはそれ以上であった。速いC M S（414-02）に伴う驚くべき特徴は、たとえ速いC M Sの速度選択性および平衡能率が、遅いC M Sよりも顕著に低いとしても、同様の回収（すなわち、同様のフィード対生成物比）における著しく良好な生産性（100°Fおよび4500 ppm O_2 で34.5%向上、100°Fおよび45,000 ppm O_2 で23.2%向上、および30°Fおよび4500 ppm O_2 で95.4%向上）が、遅いC M S（414-04）に対するここで考慮されるすべての生成物純度および温度において維持することができるということである。これは、P S Aプロセスにおいて速い炭素分子ふるいの使用に伴って、層サイズ、したがって、資本コストを減少させることができることを意味する。

40

50

【 0 0 7 1 】

速いCMS (4 1 4 - 0 2) についての別の驚くべき特徴は、低温操作温度において、依然として同等またはより良好な回収を維持しながら、はるかに高い生産性を得ることができることであった(すなわち、より低いフィード対生成物比)。例えば、生成物流中の7.80のatma層圧力および4500ppmのO₂において、正規化フィード対生成物比および正規化生産性は、30°Fの操作温度および90秒のサイクル時間において、それぞれ0.979および1.954である。同じ操作圧力および生成物O₂純度を用いる100°Fおよび60秒サイクル時間においてさえ、414-02についての正規化フィード対生成物比は、414-04よりも1.6%高いのみであり、414-02についての正規化生産性は、414-04よりもなお34.5%高かった。遅いCMS (4 1 4 - 0 4) は、100°Fから30°Fまでのフィード温度になると、約12%の回収の増加を伴って、生産性の約26%の減少を与えた。対照的に、速いCMS (4 1 4 - 0 2) は、100°Fから30°Fのフィード温度になると、16%の回収の増加を伴って、生産性の6.7%の増加を示した。比較結果は、表3ならびに図2 (a および b) および図4 (a および b) に見出すことができる。

10

【 0 0 7 2 】

層を効果的に再生するために必要とされるパージガスの量は、たとえ414-04よりも低い選択性を有するとしても、速いCMS (4 1 4 - 0 2) を使用するPSAによる中純度窒素の生成のためには驚くほど少ない。より少ないパージガスを用いてさえ、速いCMSのためのプロセス性能指標は、遅いCMSのものよりも有意に良好である。(ACF比に関して)パージ対フィード比の要約を、異なる生成物純度(異なる量のO₂を含有する)ならびに速いCMS吸着剤および遅いCMS吸着剤についての温度について、表3に提供する。速いCMSについては、パージ対フィード比は、遅いCMS吸着剤に対して、100°Fで約43%低く、30°Fで約8%低い。より遅い拡散成分(CMSベースのPSAによる空気分離の場合には窒素)に富んだ一次生成物の一部は、低圧での向流ブローダウン工程(図1に示すようなCnD1工程およびCnD2工程)に続いて、向流パージ工程(図1に示すPU1工程およびPU2工程)を実行するために使用される。生成工程中に特定の純度で一次生成物を製造するために、層が十分に清浄であることを確実にするためにパージ工程が必要である。

20

【 0 0 7 3 】

以前に言及したように、速いCMS (4 1 4 - 0 2) 上の全ての拡散成分についての取り込み速度は、遅いCMS (4 1 4 - 0 4) 上のものより速い。これらの研究において考慮された速いCMS吸着剤は、遅いCMS吸着剤より約25%速かったが、遅いCMS吸着剤よりも58%選択性が低かった(速度選択性に基づく)(表1)。それにもかかわらず、急速サイクルプロセスにおいて、速いCMS吸着剤は、表3から見るように、その低い選択性にもかかわらず、(そのより速い取り込み速度の観点から予想されるように)より高い比生産性を提供するだけでなく、回収の損失なしで/最小限の損失で、これを達成した(すなわち、同様のフィード対生成物比)。

30

【 0 0 7 4 】

当該技術分野で以前に既知であったものとは逆に、回収の損失がなしで/最小限の損失で、比生産性の向上は非常に驚くべきことである。Schork et al. (1993)による研究において、取り込み速度が増加するにつれて生産性は増加するが、得られる最大回収は減少すると言及されていた。表4 (Schorkらから得られたデータ) は、この研究からの炭素分子ふるい吸着剤のプロセス性能指標(回収および生産性)に対するO₂およびN₂の全体的な速度定数の効果を要約しており、これは、生産性の増加が生成物回収の損失につながることを明確に示している。

40

【 0 0 7 5 】

本発明の原理を好ましい実施形態に関連して上記に説明してきたが、この説明は例示としてのみなされたものであり、本発明の範囲を限定するものではないことが明確に理解される。

50

【0076】

表1．1atmaおよび86°Fでの様々な炭素分子ふるい吸着剤についての線形推進力(LDF)モデルに基づくO₂速度定数およびO₂対N₂の速度選択性を要約する。

【0077】

【表1】

表1

CMS	説明	O ₂ についてのLDF速度定数(1/s)	O ₂ /N ₂ 速度選択性	平衡能率(mmol/gm)
414-02	速いCMS	0.2204	16.21	0.2559
414-04	遅いCMS	0.1761	38.28	0.3138
414-05	速いCMS	0.2613	27.30	0.2822
414-06	速いCMS	0.3426	24.08	0.3344

10

【0078】

表2．速い炭素分子ふるい吸着剤(414-02)および遅い炭素分子ふるい吸着剤(414-04)についての吸着剤および層の特性を要約する。

【0079】

【表2】

表2

吸着剤の特性		
吸着剤のタイプ(-)	414-02	414-04
吸着剤の直径(ft)	0.0043	0.0032
全体の空隙画分(-)	0.5311	0.6451
割れ目の空隙画分(-)	0.3019	0.3336
バルク密度(lb/ft ³)	41.92	42.89
1. 0atmaおよび86°FにおけるLDF速度定数		
酸素(1/s)	0.2204	0.1761
窒素(1/s)	0.0136	0.0046
アルゴン(1/s)	0.0092	0.0027
O ₂ /N ₂ 速度選択性	16.21	38.28
層の特性		
層長(in)	40	40
層内径(in)	4	4

20

30

【0080】

表3．異なる操作温度および生成物O₂純度における速いCMS吸着剤(414-02)および遅いCMS吸着剤(414-04)のパージ要件(パージ対フィード比の観点から)を要約する。フィード対生成物比および生産性の値は、同じ温度、圧力、および生成物O₂の条件についての414-04の値によって正規化されている。吸着剤および層の特性は表2に要約されている。評価には、図1に提示した2層多段階サイクルを使用する。

40

【0081】

50

【表 3】

表 3

吸着剤	圧力 (atma)	温度 (°F)	サイクル 時間 (s)	生成物O ₂ (ppm)	フィード対 生成物比	生産性	パージ対 フィード比
414 -02	7.80	100	50	45000	1.014	1.232	0.043
			60	4500	1.016	1.345	0.049
			30	90	4500	0.979	1.954
414 -04	7.80	100	50	45000	1.000	1.000	0.076
			60	4500	1.000	1.000	0.087
			30	190	4500	1.000	1.000

10

【0082】

表4は、炭素分子ふるい吸着剤のプロセス性能指標（回収および生産性）に対するO₂およびN₂の全体的な速度定数の影響を要約している。速度定数には単一の係数が掛けられており、それゆえに、すべての場合において、速度選択性は基本ケースの場合と同じである。結果は、“Schork, J. M.; Srinivasan, R.; Auvil, S. R. Shortcut Computational Method for Designing Na PSA Adsorbents, Ind. Eng. Chem. Res., 1993, 32, 2226 - 2235”から取られている。

20

【0083】

【表 4】

表 4

速度定数の係数	フィード工程時間 (s)	基本ケースと比較した性能 (%)	
		回収	生産性
1.0	120		
1.5	90	-2	+30
2.0	70	-5	+58
2.5	60	-7	+77
3.0	50	-10	+100
4.0	45	-11	+118

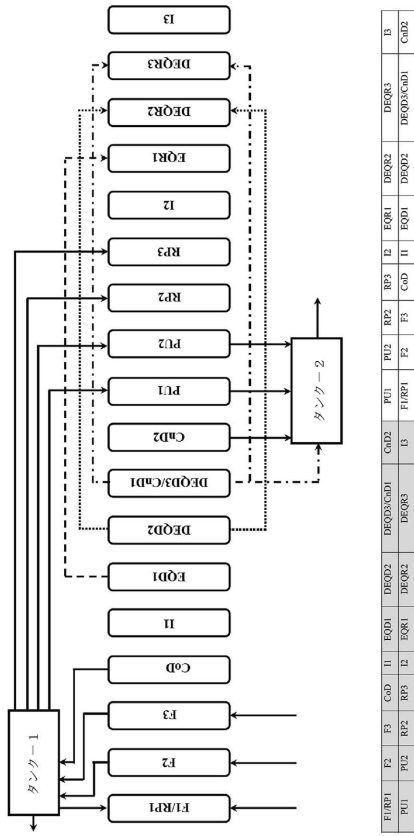
30

40

50

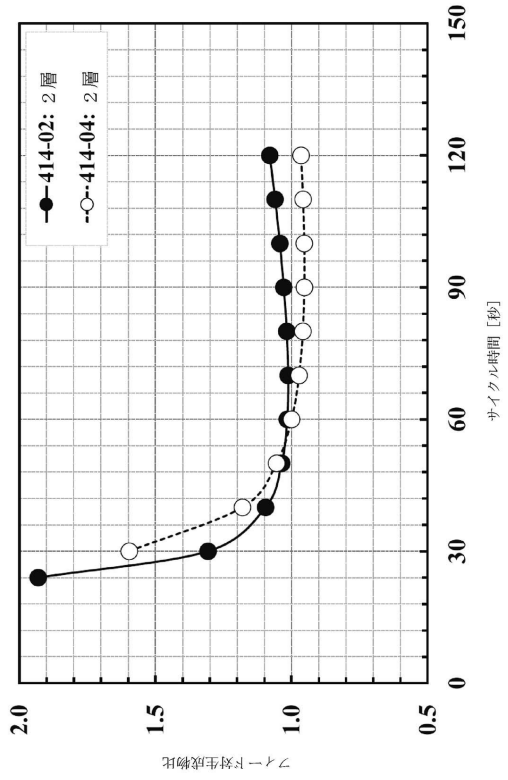
【図面】
【図 1】

図 1



【図 2 a】

図 2 a

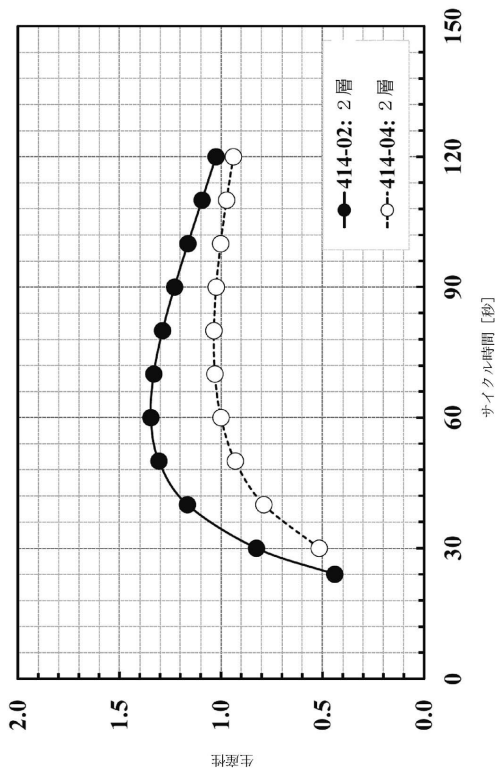


10

20

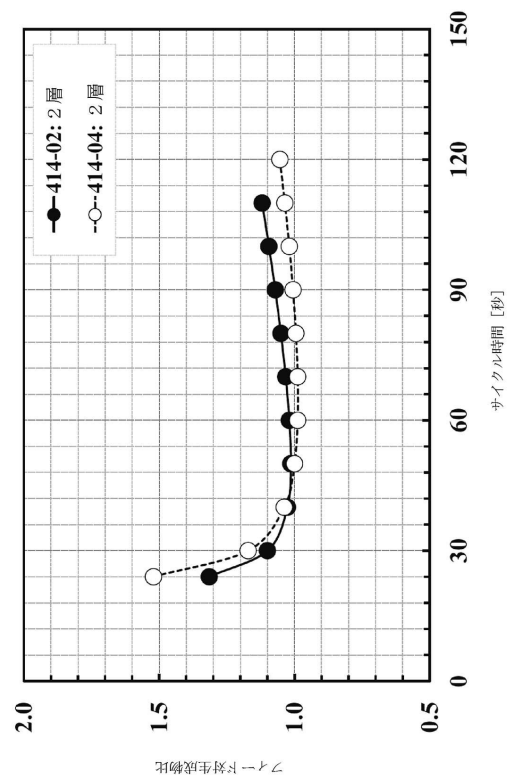
【図 2 b】

図 2 b



【図 3 a】

図 3 a



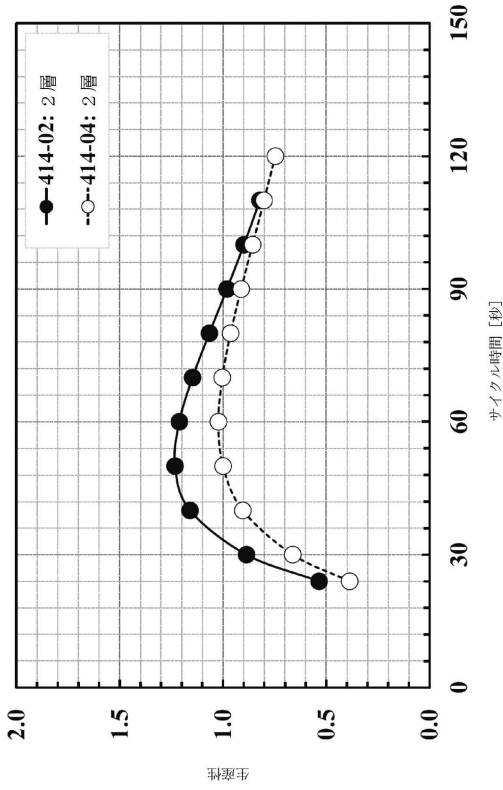
30

40

50

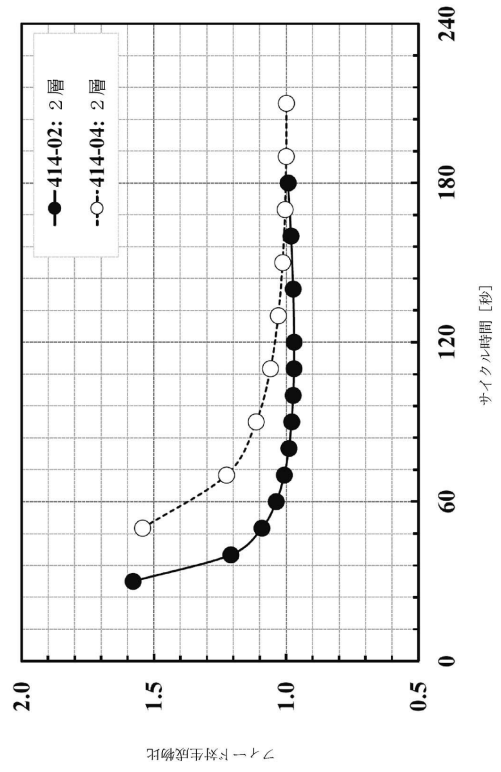
【図 3 b】

図 3 b



【図 4 a】

図 4 a

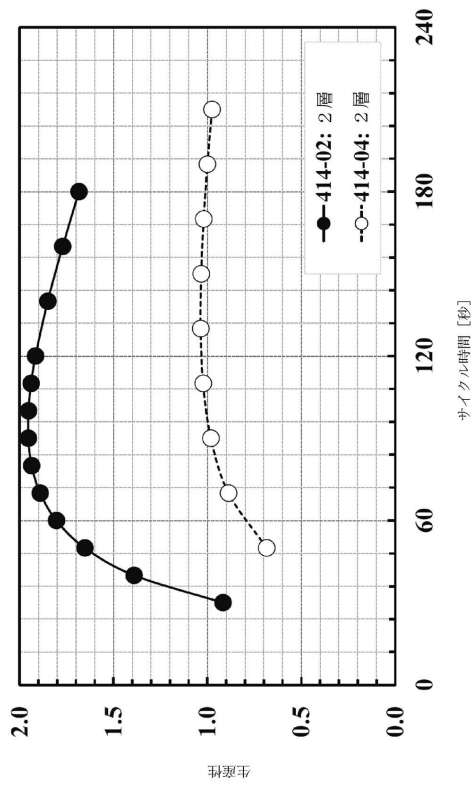


10

20

【図 4 b】

図 4 b



30

40

50

フロントページの続き

- (74)代理人 100123582
弁理士 三橋 真二
- (74)代理人 100092624
弁理士 鶴田 準一
- (74)代理人 100114018
弁理士 南山 知広
- (74)代理人 100117019
弁理士 渡辺 陽一
- (74)代理人 100173107
弁理士 胡田 尚則
- (74)代理人 100195213
弁理士 木村 健治
- (72)発明者 ロジャー ディーン ウィットリー
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18104-8501, アレンタウン, ホープウェル ドライブ
311
- (72)発明者 シャブハラ ジョティー バードラ
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18062, マカンギー, リエゴルズ ドライブ 6764
- (72)発明者 アーデム アルスラン
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18062, マカンギー, ラザフォード ドライブ 6623
- (72)発明者 ツァオ ヨン
中華人民共和国, シャンハイ, チャンチエン ハイ-テック パーク, ツー チョン チー ロード,
レーン 887, ナンバー 87, ルーム 101
- (72)発明者 ティモシー クリストファー ゴールデン
フランス国, 29920 ネベ, リューディ ケルギヤウエ 7
- 審査官 壺内 信吾
- (56)参考文献 特開平04-310209(JP,A)
特開2008-303089(JP,A)
特開2017-160079(JP,A)
特開2015-221434(JP,A)
特開2011-255307(JP,A)
特表2010-516453(JP,A)
特開平10-151315(JP,A)
米国特許第04256469(US,A)
米国特許出願公開第2002/0134240(US,A1)
特開平10-202039(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B01D 53/02-53/12
B01J 20/00-20/28, 20/30-20/34
C01B 13/00-13/36
C01B 15/00-23/00