



(51) 国際特許分類:

B01J 20/26 (2006.01)

B01J 20/28 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

C01B 32/50 (2017.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2024/035519

(22) 国際出願日:

2024年10月3日(03.10.2024)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願 2023-222484 2023年12月28日(28.12.2023) JP

(71) 出願人: 日東電工株式会社 (NITTO DENKO CORPORATION) [JP/JP]; 〒5678680 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 (JP).

(72) 発明者: 山本 瑞木 (YAMAMOTO Mizuki); 〒5678680 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号日東電工株式会社内 (JP). 安井 知己 (YASUI Tomoki); 〒5678680 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号日東電工株式会社内 (JP). 近藤 璃奈 (KONDO Rina); 〒5678680 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号日東電工株式会社内 (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人青藍国際特許事務所 (SEIRAN IP FIRM); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満四丁目3番25号 梅田プラザビル別館8階 (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,

(54) Title: ACID-GAS ADSORBENT, STRUCTURE PROVIDED WITH ACID-GAS ADSORBENT, AND ACID-GAS ADSORPTION DEVICE

(54) 発明の名称: 酸性ガス吸着材、酸性ガス吸着材を備えた構造体、及び酸性ガス吸着装置

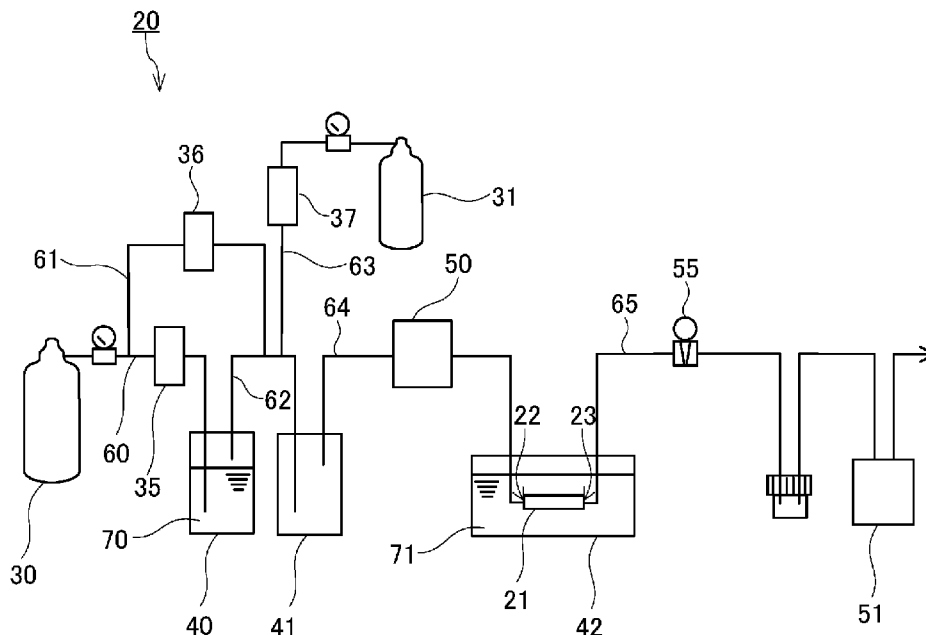


FIG.1

(57) Abstract: The present invention provides an acid-gas adsorbent suitable for curbing, in a low-humidity environment, a decrease in adsorption performance with respect to an acid gas. This acid-gas adsorbent comprises a polymer P having an amino group, and a liquid L having a boiling point of 130 °C or higher. When the acid-gas adsorbent is run through an adsorption test A for 15 hours, the amount of carbon dioxide adsorbed is 0.35 mmol/g or higher. Adsorption test A: a mixed gas G1 composed of carbon dioxide, nitrogen, and water vapor is continuously fed into a container in which the acid-gas adsorbent is accommodated. The concentration of carbon dioxide in the mixed gas G1 is 400 volppm, and the

CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

mixed gas G1 has a temperature of 20°C and a humidity of 50%RH.

(57) 要約: 本発明は、低湿環境下で、酸性ガスに対する吸着性能の低下を抑制することに適した酸性ガス吸着材を提供する。本発明の酸性ガス吸着材は、アミノ基を有するポリマーPと、沸点が130℃以上である液体Lと、を含む。酸性ガス吸着材について吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量aが0.35mmol/g以上である。吸着試験A: 二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG1を、酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、混合ガスG1における二酸化炭素の濃度が400volppmであり、混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が50%RHである。

明 細 書

発明の名称：

酸性ガス吸着材、酸性ガス吸着材を備えた構造体、及び酸性ガス吸着装置
技術分野

[0001] 本発明は、酸性ガス吸着材、酸性ガス吸着材を備えた構造体、及び酸性ガス吸着装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、大気中における二酸化炭素の量を低減するために、二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon capture and storage）や二酸化炭素回収・利用（CCU：Carbon capture and utilization）が検討されている。CCSやCCUでは、大気から二酸化炭素を分離することによって、二酸化炭素の回収が行われることがある。

[0003] 二酸化炭素などの酸性ガスを大気から分離する方法として、酸性ガスを吸着材に吸着させて分離する吸着法が開発されている。吸着法で利用される吸着材は、例えば、大気と接触することによって、酸性ガスを吸着できる。

[0004] 吸着材の材料としては、酸性ガスを吸着する機能を有するアミン化合物などが挙げられる。一例として、特許文献1には、吸着材として、アミノ基が導入されたフィブリル化セルロースが開示されている。特許文献2には、メソポーラス材料の孔の内部にアミノ基が導入された吸着材が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2017/009241号

特許文献2：米国特許第7767004号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明者らの検討によると、アミン化合物を含む吸着材は、低温環境下（

例えば、20℃で30%RH以下の環境下)で、酸性ガスに対する吸着性能が低下する傾向がある。この傾向は、アミン化合物が固体である場合に特に顕著である。

[0007] そこで本発明は、低湿環境下で、酸性ガスに対する吸着性能の低下を抑制することに適した酸性ガス吸着材を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、
アミノ基を有するポリマーと、
沸点が130℃以上である液体と、
を含む、酸性ガス吸着材であって、
下記の吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量aが0.35mmol/g以上である、酸性ガス吸着材を提供する。
吸着試験A：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG1を、前記酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、前記混合ガスG1における前記二酸化炭素の濃度が400volppmであり、前記混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が50%RHである。

[0009] さらに本発明は、
上記の酸性ガス吸着材と、
通気経路と、
を備えた、構造体を提供する。

[0010] さらに本発明は、
ガス入口と、ガス出口とを有する吸着部を備え、
前記吸着部は、上記の酸性ガス吸着材を収容している、酸性ガス吸着装置を提供する。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、低湿環境下で、酸性ガスに対する吸着性能の低下を抑制することに適した酸性ガス吸着材を提供できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]酸性ガス吸着材による二酸化炭素の吸着量の測定方法を説明するための図である。

[図2A]酸性ガス吸着材を備えた構造体の一例を模式的に示す斜視図である。

[図2B]酸性ガス吸着材を備えた構造体の変形例を模式的に示す斜視図である。

[図3]実施例及び比較例の酸性ガス吸着材について、吸着試験Bを行った結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 本発明の第1態様にかかる酸性ガス吸着材は、

アミノ基を有するポリマーと、

沸点が130℃以上である液体と、

を含む、酸性ガス吸着材であって、

下記の吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量aが0.35mmol/g以上である。

吸着試験A：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG1を、前記酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、前記混合ガスG1における前記二酸化炭素の濃度が400volppmであり、前記混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が50%RHである。

[0014] 本発明の第2態様において、例えば、第1態様にかかる酸性ガス吸着材では、前記ポリマーが固体である。

[0015] 本発明の第3態様において、例えば、第1又は第2態様にかかる酸性ガス吸着材では、前記ポリマーは、エポキシモノマーに由来する構成単位を有するアミンポリマーを含む。

[0016] 本発明の第4態様において、例えば、第3態様にかかる酸性ガス吸着材では、前記アミンポリマーは、アミンモノマー及びエポキシモノマーを含む化合物群の反応物を含む。

[0017] 本発明の第5態様において、例えば、第4態様にかかる酸性ガス吸着材では、前記アミンモノマーがポリエチレンジアミンを含む。

[0018] 本発明の第6態様において、例えば、第1～第5態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材では、前記ポリマーのガラス転移温度が40℃以下である。

[0019] 本発明の第7態様において、例えば、第1～第6態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材では、前記液体は、イオン液体を含む。

[0020] 本発明の第8態様において、例えば、第7態様にかかる酸性ガス吸着材では、前記イオン液体は、温度応答性を有する。

[0021] 本発明の第9態様において、例えば、第1～第8態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材では、前記液体の含有率が1wt%～15wt%である。

[0022] 本発明の第10態様において、例えば、第1～第9態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材は、多孔質構造を有する。

[0023] 本発明の第11態様において、例えば、第1～第10態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材は、下記の吸着試験Bを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量 b_1 が0.1mmol/g以上である。

吸着試験B：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG2を、前記酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、前記混合ガスG2における前記二酸化炭素の濃度が400volppmであり、前記混合ガスG2は、温度が20℃であり、湿度が20%RHである。

[0024] 本発明の第12態様において、例えば、第11態様にかかる酸性ガス吸着材は、前記吸着試験Bを1時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量 b_2 が0.01mmol/g以上である。

[0025] 本発明の第13態様にかかる構造体は、
第1～第12態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材と、
通気経路と、
を備える。

[0026] 本発明の第14態様にかかる酸性ガス吸着装置は、
ガス入口と、ガス出口とを有する吸着部を備え、

前記吸着部は、第1～第12態様のいずれか1つにかかる酸性ガス吸着材を収容している。

[0027] 以下、本発明の詳細を説明するが、以下の説明は、本発明を特定の実施形態に制限する趣旨ではない。

[0028] <酸性ガス吸着材の実施形態>

本実施形態の酸性ガス吸着材は、アミノ基を有するポリマーPと、沸点が130℃以上である液体Lとを含む。ポリマーPと液体Lの組み合わせによって、酸性ガス吸着材は、低湿環境下（例えば、20℃で30%RH以下の環境下）で、酸性ガスに対する吸着性能の低下が抑制される傾向がある。なお、本明細書において、「沸点」は、大気圧下（101.325kPa）での沸点を意味する。「液体」は、大気圧下、20℃で液体状態の物質を意味する。

[0029] 本実施形態の酸性ガス吸着材は、高湿環境下（例えば、20℃で30%RHを上回る環境下）で実用上十分な吸着性能を示すものであり、下記の吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量aが0.35mmol/g以上である。なお、吸着試験Aでは、高湿のガスとして、混合ガスG1を利用する。

吸着試験A：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG1を、酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、混合ガスG1における二酸化炭素の濃度が400volppmであり、混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が50%RHである。

[0030] （吸着試験A）

以下では、吸着試験Aの詳細について説明する。吸着試験Aは、図1に示す測定装置20を用いて測定することができる。測定装置20は、第1タンク30及び第2タンク31を備えている。一例として、第1タンク30が乾燥状態の窒素を貯蔵し、第2タンク31が、乾燥状態の窒素と乾燥状態の二酸化炭素との混合ガスを貯蔵している。第2タンク31の混合ガスにおける二酸化炭素の濃度は、例えば、5vol%である。

- [0031] 測定装置20は、水70を収容した第1容器40と、第1タンク30からの窒素を第1容器40に送るための第1経路60とをさらに備えている。第1経路60は、第1タンク30のガス出口に接続された一端と、第1容器40の水70中に配置された他端とを有する。第1タンク30から第1容器40に送られた窒素は、水70と接触することによって加湿される。第1経路60には、第1タンク30から第1容器40に送られる窒素の流量を調節するためのマスフローコントローラ35が配置されている。
- [0032] 測定装置20は、第2容器41、第2経路62及びバイパス経路61をさらに備えている。第2経路62は、第1容器40と第2容器41とを接続している。第1容器40に送られ、加湿された窒素は、第2経路62を通じて、第2容器41に送られる。バイパス経路61は、第1タンク30とマスフローコントローラ35との間の位置において、第1経路60から分岐し、第2経路62に接続している。第1タンク30から送られた窒素の一部は、バイパス経路61に流入し、第2経路62を通じて第2容器41に送られる。バイパス経路61には、第1タンク30からバイパス経路61に送られる窒素の流量を調節するためのマスフローコントローラ36が配置されている。
- [0033] 測定装置20は、第2タンク31からの混合ガスを第2経路62に送るための第3経路63をさらに備えている。第3経路63は、第2タンク31のガス出口に接続された一端と、第2経路62に接続された他端とを有する。第3経路63には、第2タンク31から第2経路62に送られる混合ガスの流量を調節するためのマスフローコントローラ37が配置されている。第2経路62に送られた混合ガスは、第2経路62を通じて第2容器41に送られる。
- [0034] 測定装置20は、第3容器42及び第4経路64をさらに備えている。第3容器42は、水71と、水71中に配置された吸着部21とを収容する。第3容器42において、水71の温度は、20℃に維持される。吸着部21は、ガス入口22と、ガス出口23とを有する。吸着部21は、その内部に酸性ガス吸着材を収容する容器として機能する。吸着部21は、水71が内

部に浸み込まないように構成されている。吸着部 21 は、典型的には、疎水性の樹脂、例えばテトラフルオロエチレン-パーフルオロアルコキシエチレン共重合体（PFA）などのフッ素樹脂、で構成されたチューブである。一例として、吸着部 21 としてのチューブは、内径が 4 mm であり、外径が 6 mm である。吸着部 21 は、測定装置 20 に対して、着脱可能に構成されている。

[0035] なお、測定装置 20 は、吸着部 21 を備えた酸性ガス吸着装置として用いることも可能である。本発明は、その別の側面から、ガス入口 22 と、ガス出口 23 とを有する吸着部 21 を備え、吸着部 21 は、酸性ガス吸着材を収容している、酸性ガス吸着装置 20 を提供する。

[0036] 第 4 経路 64 は、第 2 容器 41 と第 3 容器 42 とを接続している。詳細には、第 4 経路 64 は、第 3 容器 42 において、吸着部 21 のガス入口 22 に接続されている。第 4 経路 64 には、吸着部 21 に供給されるガスにおける二酸化炭素の濃度を測定するための第 1 濃度計 50 が配置されている。第 1 濃度計 50 としては、L I - C O R 社製の C O₂/H₂O ガスアナライザー、L I - 8 5 0 - 3 を用いることができる。

[0037] 測定装置 20 は、吸着部 21 のガス出口 23 に接続され、吸着部 21 から測定装置 20 の外部にガスを排出するための第 5 経路 65 をさらに備えている。第 5 経路 65 には、背圧弁 55 及び第 2 濃度計 51 が配置されている。背圧弁 55 によって、吸着部 21 内の圧力を一定の値に調整することができる。第 2 濃度計 51 は、吸着部 21 から排出されるガスにおける二酸化炭素の濃度を測定することができる。第 2 濃度計 51 としては、L I - C O R 社製の C O₂/H₂O ガスアナライザー、L I - 8 5 0 - 3 を用いることができる。

[0038] 測定装置 20 の各経路は、金属製又は樹脂製の配管で構成されていることが好ましい。

[0039] [前処理]

まず、酸性ガス吸着材を準備し、乾燥処理を行う。乾燥処理は、真空雰囲気

気下、60℃の条件で酸性ガス吸着材を2時間以上処理することによって行われることが好ましい。次に、露点約−60℃のドライルーム内で、乾燥処理後の酸性ガス吸着材を吸着部21に充填する。吸着部21に充填される酸性ガス吸着材の重量は、例えば50mgである。次に、吸着部21の両端に第4経路64及び第5経路65を接続し、吸着部21を第3容器42の水71に浸漬させる。

[0040] 次に、測定装置20の第1経路60、第2経路62、バイパス経路61及び第3経路63を通じて、第1タンク30からの窒素、及び、第2タンク31からの混合ガスを第2容器41に供給する。第2容器41内で、これらのガスが混合され、二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG1が得られる。第2容器41内では、混合ガスG1における二酸化炭素の濃度が400volppmに調整される。混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が50%RHである。混合ガスG1は、第4経路64を通じて、酸性ガス吸着材の重量に対して十分な流量、例えば、50mgの酸性ガス吸着材に対して300mL/minの流量、で吸着部21に供給される。吸着部21内において、混合ガスG1の圧力は、背圧弁55によって、例えば107kPaに調節される。

[0041] 次に、混合ガスG1が吸着部21に供給されている状態で、吸着部21を第3容器42から取り出し、吸着部21を80℃の湯浴（図示せず）に2時間以上浸漬させる。吸着部21の湯浴への浸漬は、第1濃度計50で測定された二酸化炭素の濃度と、第2濃度計51で測定された二酸化炭素の濃度とが実質的に同じ値になるまで行う。これにより、吸着部21内の酸性ガス吸着材について、前処理が完了する。

[0042] [吸着試験]

次に、混合ガスG1が吸着部21に供給されている状態で、吸着部21を湯浴から取り出し、第3容器42の水71に浸漬させる。これにより、吸着部21内の酸性ガス吸着材について、二酸化炭素の吸着試験（吸着試験A）を開始する。吸着試験は、開始してから15時間経過するまで行う。詳細に

は、混合ガスG1を吸着部21に15時間送り続ける。吸着試験を15時間行った場合、酸性ガス吸着材による二酸化炭素の吸着は、通常、平衡に達しているとみなすことができる。

[0043] 吸着試験Aでは、開始から15時間までに酸性ガス吸着材が吸着した二酸化炭素の物質質量M1を測定する。酸性ガス吸着材が吸着した二酸化炭素の物質質量は、第1濃度計50で測定された二酸化炭素の濃度と、第2濃度計51で測定された二酸化炭素の濃度との差を経時的に測定した結果から算出することができる。物質質量M1に基づいて、1gの酸性ガス吸着材が15時間で吸着する二酸化炭素の物質質量を算出し、得られた算出値を吸着量aとして特定する。

[0044] 本実施形態の酸性ガス吸着材において、吸着試験Aを15時間行った場合の二酸化炭素の吸着量aは、好ましくは0.4mmol/g以上であり、0.5mmol/g以上、0.8mmol/g以上、1.0mmol/g以上、1.3mmol/g以上、1.5mmol/g以上、1.6mmol/g以上、1.7mmol/g以上、1.8mmol/g以上、1.9mmol/g以上、2.0mmol/g以上、2.1mmol/g以上、2.2mmol/g以上、さらには2.3mmol/g以上であってもよい。二酸化炭素の吸着量aの上限は、特に限定されず、例えば10mmol/g以下である。

[0045] (ポリマー)

酸性ガス吸着材において、ポリマーPは、アミノ基に起因して、酸性ガスを吸着する機能を有する。ポリマーPは、アミノ基として、1級アミノ基、2級アミノ基及び3級アミノ基からなる群より選ばれる少なくとも1つを含むことが好ましい。酸性ガスに対する吸着性能の観点から、ポリマーPは、1級アミノ基及び2級アミノ基からなる群より選ばれる少なくとも1つを含むことが好ましく、1級アミノ基及び2級アミノ基の両方を含むことが好ましい。ポリマーPにおいて、1級アミノ基及び2級アミノ基（特に1級アミノ基）の物質質量が大きければ大きいほど、酸性ガス吸着材における窒素元素

の密度が増加するとともに、酸性ガスの吸着量（例えば、上記の吸着量 a ）が増加する傾向がある。ポリマー P において、1 級アミノ基及び 2 級アミノ基（特に 2 級アミノ基）の物質質量が大きい場合、酸性ガス吸着材は、吸着した酸性ガスを容易に脱離できる傾向がある。1 級アミノ基や 2 級アミノ基を有するポリマー P によれば、比較的温和な条件で酸性ガス吸着材の再生処理を行うことができる。なお、ポリマー P は、3 級アミノ基を含んでいてもよいが、3 級アミノ基を含まなくてもよい。

[0046] 本実施形態では、ポリマー P について近赤外分光分析（NIR）を行うことにより得られる近赤外吸収スペクトル（スペクトルデータ）において、波数 6500 cm^{-1} 付近に存在する吸収ピークのピーク強度 I_B に対する、波数 4930 cm^{-1} 付近に存在する吸収ピークのピーク強度 I_A の比 I_A/I_B が 0.80 以上であることが好ましい。通常、ポリマー P が 1 級アミノ基及び 2 級アミノ基を含む場合、波数 6500 cm^{-1} 付近には、1 級アミノ基及び 2 級アミノ基に由来する吸収ピークが観察され、波数 4930 cm^{-1} 付近には、1 級アミノ基に由来する吸収ピークが観察される。そのため、上記の比 I_A/I_B は、ポリマー P における 2 級アミノ基の物質質量に対する 1 級アミノ基の物質質量の比に関する指標として用いることができる。なお、NIR は、ポリマー P をプレス成形することにより得られる透明な試験片を用いて行うことができる。この試験片では、NIR の結果に影響を与えうる光の散乱が生じにくい傾向がある。

[0047] 比 I_A/I_B は、より好ましくは 0.90 以上であり、0.95 以上、1.00 以上、1.05 以上、1.10 以上、1.15 以上、さらには 1.20 以上であってもよい。比 I_A/I_B が高ければ高いほど、酸性ガスの吸着量（例えば、上記の吸着量 a ）が増加する傾向がある。比 I_A/I_B の上限は、特に限定されず、例えば 1.50 以下である。

[0048] ポリマー P における窒素元素の重量比率は、例えば 5 wt % 以上であり、好ましくは 10 wt % 以上である。この重量比率が高ければ高いほど、酸性ガス吸着材における酸性ガスの吸着性能が向上する傾向がある。ポリマー P

における窒素元素の重量比率の上限は、特に限定されず、例えば30wt%以下である。なお、ポリマーPに含まれる全ての窒素元素がアミノ基に由来する場合、上記の窒素元素の重量比率は、ポリマーPにおけるアミノ基の重量比率とみなすことができる。

[0049] ポリマーPにおける窒素元素の密度は、例えば12.0mmol/gよりも大きく、好ましくは12.2mmol/g以上であり、12.5mmol/g以上、13.0mmol/g以上、13.5mmol/g以上、14.0mmol/g以上、14.5mmol/g以上、15.0mmol/g以上、15.5mmol/g以上、16.0mmol/g以上、16.5mmol/g以上、17.0mmol/g以上、さらには17.5mmol/g以上であってもよい。窒素元素の密度の上限は、特に限定されず、例えば30mmol/g以下であり、20mmol/g以下であってもよい。本明細書では、ポリマーPにおける窒素元素の密度は、1gのポリマーPに含まれる窒素元素の物質量を意味する。なお、ポリマーPに含まれる全ての窒素元素がアミノ基に由来する場合、窒素元素の密度は、ポリマーPにおけるアミノ基の密度とみなすことができる。

[0050] ポリマーPにおける窒素元素の密度は、次の方法によって測定できる。まず、市販のCHN元素分析装置を用いて、ポリマーPに含まれる窒素元素の重量比率w(wt%)を測定する。得られた結果に基づいて、下記式から窒素元素の密度dを算出することができる。

$$\text{密度 } d (\text{mmol/g}) = (\text{重量比率 } w (\text{wt}\%) \times 1000) / (\text{窒素の原子量} \times 100)$$

[0051] ポリマーPは、アミノ基以外の他の官能基を含んでいてもよい。他の官能基としては、例えば、ヒドロキシル基、エーテル基、エステル基、アミド基などが挙げられる。ポリマーPは、他の官能基として、エーテル基を含むことが好ましい。

[0052] ポリマーPは、アミンポリマー、特にエポキシモノマーに由来する構成単位U1を含むアミンポリマーを含むことが好ましい。このアミンポリマーは、アミンモノマーを含む化合物群の反応物、特にアミンモノマー及びエポキ

シモノマーを含む化合物群の反応物 P 1 を含んでいてもよい。

[0053] 反応物 P 1 を形成するための化合物群は、上述のとおり、アミンモノマー及びエポキシモノマーを含む。反応物 P 1 は、アミンモノマー及びエポキシモノマーを含むモノマー群の重合体（特にアミンモノマーとエポキシモノマーとの重合体）であってもよい。反応物 P 1 は、エポキシモノマーによってアミンモノマーが架橋されたもの（架橋物）であってもよい。エポキシモノマーによるアミンモノマーの架橋物は、窒素元素の密度が高い傾向があるだけでなく、耐熱性や耐湿熱性が高い傾向もある。なお、架橋構造を有する反応物 P 1 を作製する場合、アミンモノマー及びエポキシモノマーからなる群より選ばれる少なくとも 1 つは、2 官能以上、特に 3 官能以上の多官能モノマーであることが好ましい。

[0054] アミンモノマーは、アミノ基を少なくとも 1 つ含むモノマーであり、1 級アミノ基を少なくとも 1 つ含むことが好ましい。アミンモノマーに含まれる 1 級アミノ基の数は、好ましくは 2 以上であり、3 以上であってもよく、4 以上であってもよい。1 級アミノ基の数の上限は、特に限定されず、例えば 100 以下であり、10 以下であってもよい。アミンモノマーは、1 級アミノ基の他に、2 級アミノ基や 3 級アミノ基を含んでいてもよいが、3 級アミノ基を含まなくてもよい。アミンモノマーにおいて、全てのアミノ基の数に対する 1 級アミノ基の数の比率は、特に限定されず、例えば 10% 以上であり、好ましくは 20% 以上であり、より好ましくは 30% 以上であり、40% 以上であってもよい。この比率が高ければ高いほど、アミンモノマー中の架橋点が増加し、反応物 P 1 中の架橋構造が密になるため、これにより、耐熱性や耐湿熱性が向上する傾向がある。この比率の上限は、特に限定されず、例えば 80% 以下であり、60% 以下であってもよい。

[0055] アミンモノマーの分子量（場合によっては重量平均分子量）は、例えば 50 以上であり、100 以上、150 以上、200 以上、300 以上、500 以上、1000 以上、さらには 1500 以上であってもよい。アミンモノマーの分子量が大きければ大きいほど、反応物 P 1 における窒素元素の密度を

大きく調整しやすい。さらに、分子量が大きいアミンモノマーは、取り扱い上の安全性が高い傾向がある。アミンモノマーの分子量の上限は、例えば5000以下であり、2000以下であってもよい。アミンモノマーの分子量は、場合によっては、1000未満であり、500以下、さらには300以下であってもよい。アミンモノマーのアミン当量は、例えば10 g / eq. 以上であり、好ましくは20 g / eq. 以上であり、より好ましくは30 g / eq. 以上である。アミンモノマーのアミン当量が大きければ大きいほど、反応物P1における窒素元素の密度を大きく調整しやすい。アミンモノマーのアミン当量の上限は、特に限定されず、例えば200 g / eq. 以下であり、150 g / eq. 以下、100 g / eq. 以下、さらには50 g / eq. 以下であってもよい。なお、本明細書において、アミン当量とは、アミンモノマーに含まれる1級アミノ基の活性水素1当量に対するアミンモノマーの質量を意味する。アミンモノマーが、繰り返し単位（構成単位）を含む場合、アミンモノマーに含まれる構成単位の数（重合度）は、特に限定されず、例えば、5～100である。

[0056] アミンモノマーとしては、例えば、エチルアミン、エチレンジアミン、1, 4-ブチレンジアミン、1, 5-ペンタンジアミン、1, 6-ヘキサレンジアミン、1, 7-ヘプタンジアミン、1, 8-オクタンジアミン、ジエレントリアミン、トリエチレンテトラミン、テトラエチレンペンタミン、ペンタエチレンヘキサミン、ヘキサエチレンヘプタミン、イミノビスプロピルアミン、ビス（ヘキサメチレン）トリアミン、1, 3, 6-トリスアミノメチルヘキサン、トリス（2-アミノエチル）アミン、N, N'-ビス（3-アミノプロピル）エチレンジアミン、ポリメチレンジアミン、トリメチルヘキサメチレンジアミン、ポリエーテルジアミンなどの脂肪族アミン；イソホロンジアミン、メントンジアミン、ピペラジン、N-アミノエチルピペラジン、3, 9-ビス（3-アミノプロピル）2, 4, 8, 10-テトラオキサスピロ（5, 5）ウンデカンアダクト、ビス（4-アミノ-3-メチルシクロヘキシル）メタン、ビス（4-アミノシクロヘキシル）メタン、これらの変

性品などの脂環族アミン；ポリエチレンイミン、ポリアルキレンポリアミンなどの脂肪族ポリアミン；アミノエチル化アクリルポリマーなどのアミノ基を有する（メタ）アクリル系ポリマー；ポリアミン類とダイマー酸との反応によって形成される脂肪族ポリアミドアミンなどが挙げられる。アミンモノマーは、脂肪族アミン（特にトリエチレントトラミン（T E T A））や脂肪族ポリアミン（特にポリエチレンイミン（P E I））を含むことが好ましく、P E Iを含むことが特に好ましい。アミンモノマーは、単独で又は2種以上を組み合わせ使用できる。

[0057] なお、脂肪族ポリアミン、特にP E I、は、取り扱い上の安全性が高い傾向がある。一例として、脂肪族ポリアミンなどのアミンモノマーは、消防法上の危険物に該当しないことが好ましく、毒物及び劇物取締法の対象物質に該当しないことが好ましい。アミンモノマーは、変異原性試験（A m e s 試験）の結果が陰性のものであることが好ましい。アミンモノマーは、皮膚刺激性試験（ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験）の結果が軽度刺激物又は中等度刺激物であることが好ましい。

[0058] エポキシモノマーは、エポキシ基を少なくとも1つ含むモノマーである。エポキシモノマーに含まれるエポキシ基の数は、好ましくは2以上であり、3以上であってもよく、4以上であってもよい。エポキシ基の数が多ければ多いほど、エポキシモノマー中の架橋点が増加し、反応物P 1中の架橋構造が密になるため、これにより、耐熱性や耐湿熱性が向上する傾向がある。エポキシモノマーに含まれるエポキシ基の数の上限は、特に限定されず、例えば10以下である。

[0059] エポキシモノマーの分子量は、特に限定されず、例えば1000未満であり、好ましくは500以下である。エポキシモノマーのエポキシ当量は、特に限定されず、例えば150 g / e q. 以下であり、好ましくは100 g / e q. 以下である。エポキシモノマーのエポキシ当量が小さければ小さいほど、反応物P 1における窒素元素の密度が増加する傾向がある。エポキシモノマーのエポキシ当量の下限は、特に限定されず、例えば50 g / e q. 以

上である。なお、エポキシ当量とは、エポキシモノマーに含まれるエポキシ基 1 当量あたりのエポキシモノマーの質量を意味する。

[0060] エポキシモノマーとしては、例えば、*n*-ブチルグリシジルエーテル、高級アルコールグリシジルエーテル、アリルグリシジルエーテル、2-エチルヘキシルグリシジルエーテル、フェニルグリシジルエーテル、クレジルグリシジルエーテル、*p*-sec-ブチルフェニルグリシジルエーテル、*t*-ブチルフェニルグリシジルエーテルなどの単官能エポキシ化合物；1, 5-ヘキサジエンジエポキシド、1, 7-オクタジエンジエポキシド、1, 9-デカジエンジエポキシドなどのジエポキシアルカン；（ポリ）エチレングリコールジグリシジルエーテル、（ポリ）プロピレングリコールジグリシジルエーテル、1, 4-ブタンジオールジグリシジルエーテル、ネオペンチルグリコールジグリシジルエーテル、1, 6-ヘキサジオールジグリシジルエーテル、トリメチロールプロパンポリグリシジルエーテル、ペンタエリスリトールポリグリシジルエーテル、ソルビトールポリグリシジルエーテルなどのエーテル基を有する多官能エポキシ化合物；N, N, N', N'-テトラグリシジルメタキシレンジアミン、1, 3-ビス（N, N-ジグリシジルアミノメチル）シクロヘキサンなどのアミノ基を有する多官能エポキシ化合物が挙げられる。

[0061] エポキシモノマーは、場合によっては、芳香族エポキシ樹脂、非芳香族エポキシ樹脂などであってもよい。芳香族エポキシ樹脂としては、ポリフェニルベースエポキシ樹脂、フルオレン環を含むエポキシ樹脂、トリグリシジルイソシアヌレートを含むエポキシ樹脂、複素芳香環（例えば、トリアジン環）を含むエポキシ樹脂等が挙げられる。ポリフェニルベースエポキシ樹脂としては、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂、臭素化ビスフェノール A 型エポキシ樹脂、ビスフェノール F 型エポキシ樹脂、ビスフェノール AD 型エポキシ樹脂、スチルベン型エポキシ樹脂、ビフェニル型エポキシ樹脂、ビスフェノール A ノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、ジアミノジフェニルメタン型エポキシ樹脂、テトラキス（ヒドロキシフェ

ニル) エタンベースエポキシ樹脂等が挙げられる。非芳香族エポキシ樹脂としては、脂肪族グリシジルエーテル型エポキシ樹脂、脂肪族グリシジルエステル型エポキシ樹脂、脂環族グリシジルエーテル型エポキシ樹脂、脂環族グリシジリアミン型エポキシ樹脂、脂環族グリシジルエステル型エポキシ樹脂等が挙げられる。

[0062] エポキシモノマーは、単独で又は2種以上を組み合わせで使用できる。なお、単官能エポキシ化合物を用いる場合は、2つ以上のエポキシ基を含む他のエポキシモノマーと組み合わせで用いることが好ましい。単官能エポキシ化合物は、反応物P1を形成するための化合物群の粘度を調節するための反応性希釈剤として利用することもできる。

[0063] エポキシモノマーは、エチレングリコールジグリシジルエーテル(EGDE)、ペンタエリスリトールテトラグリシジルエーテル(PETG)などのエーテル基を有する多官能エポキシ化合物を含むことが好ましい。EGDEやPETGは、エポキシ当量が小さく、ポリマーPのガラス転移温度 T_g を容易に低下させることができる。これらのエポキシ化合物は、コストが低い傾向もある。エポキシモノマーは、エーテル基を有する多官能エポキシ化合物とともに、又は、当該多官能エポキシ化合物に代えて、N,N,N',N'-テトラグリシジルメタキシレンジアミン、1,3-ビス(N,N-ジグリシジリアミノメチル)シクロヘキサンなどのアミノ基を有する多官能エポキシ化合物を含んでいてもよい。

[0064] 上述のとおり、アミンポリマーとしてのポリマーPは、エポキシモノマーに由来する構成単位U1を含んでいてもよい。ポリマーPが反応物P1である場合、ポリマーPは、アミンモノマーに由来する構成単位U2をさらに含む。ポリマーP、特に反応物P1、における構成単位U1の含有率は、例えば20wt%~70wt%である。ポリマーP、特に反応物P1、における構成単位U2の含有率は、例えば30wt%以上であり、好ましくは50wt%以上である。構成単位U2の含有率の上限は、特に限定されず、例えば80wt%以下である。

- [0065] ポリマーPは、固体であることが好ましい。なお、本明細書において、「固体」は、大気圧下、20℃で固体状態の物質を意味する。ポリマーPは、大気圧下、20℃～80℃の範囲で固体状態であることが好ましい。
- [0066] ポリマーPのガラス転移温度 T_g は、特に限定されず、例えば40℃以下であり、30℃以下、20℃以下、15℃以下、10℃以下、5℃以下、0℃以下、-1℃以下、-1℃未満、-2℃以下、-3℃以下、-4℃以下、-5℃以下、-6℃以下、-7℃以下、-8℃以下、-9℃以下、-10℃以下、-11℃以下、-12℃以下、-13℃以下、-14℃以下、さらには-15℃以下であってもよい。ポリマーPのガラス転移温度 T_g が低ければ低いほど、酸性ガス吸着材において、酸性ガスを吸着する速度が大きい傾向がある。ポリマーPのガラス転移温度 T_g の下限は、酸性ガス吸着材における酸性ガスの吸着性能を十分に確保する観点、耐熱性の観点、酸性ガス吸着材の作製しやすさの観点などから、例えば-100℃以上であり、-50℃以上、-30℃以上、さらには-20℃以上であってもよい。本明細書において、ガラス転移温度 T_g は、JIS K7121:1987の規定に準拠して求められる中間点ガラス転移温度(T_{mg})を意味する。なお、ポリマーPは、通常、熱硬化性樹脂に相当する。
- [0067] ポリマーPの重量平均分子量は、特に限定されず、例えば500以上であり、好ましくは1000以上であり、より好ましくは10000以上であり、さらに好ましくは100000以上である。ポリマーPの重量平均分子量の上限は、例えば10000000以下である。
- [0068] 酸性ガス吸着材におけるポリマーPの含有率は、例えば30wt%以上であり、40wt%以上、50wt%以上、60wt%以上、70wt%以上、80wt%以上、85wt%以上、さらには90wt%以上であってもよい。ポリマーPの含有率が高ければ高いほど、酸性ガス吸着材における酸性ガスの吸着性能が向上する傾向がある。酸性ガス吸着材におけるポリマーPの含有率の上限は、特に限定されず、例えば99.9wt%以下であり、99.5wt%以下、99wt%以下、97wt%以下、95wt%以下、さ

らには93wt%以下であってもよい。

[0069] (液体)

上述のとおり、酸性ガス吸着材は、沸点が130℃以上である液体Lを含む。酸性ガス吸着材において、液体Lは、ポリマーPの近傍に存在することが好ましい。特に、液体Lの分子が、複数のポリマーPの分子鎖の間に存在することが好ましい。一例として、酸性ガス吸着材において、ポリマーPは、液体Lと相溶していてもよく、液体Lによって膨潤していてもよい。

[0070] 液体Lの沸点は、好ましくは150℃以上であり、180℃以上、200℃以上、230℃以上、250℃以上、280℃以上、さらには300℃以上であってもよい。液体Lの沸点の上限は、特に限定されず、例えば1000℃以下であり、500℃以下であってもよい。

[0071] 液体Lは、極性が高く、比誘電率が高いことが好ましい。極性が高い液体Lは、ポリマーPに含まれるアミノ基が酸性ガス（例えば二酸化炭素）と反応することにより形成されたイオン（例えばカルバメートイオン）を安定化することに適している。このイオンが安定化されることにより、酸性ガス吸着材における酸性ガスの吸着性能が向上する傾向がある。

[0072] 液体Lは、イオン液体を含むことが好ましい。特に、酸性ガス吸着材は、液体Lとして、イオン液体のみを含んでいてもよい。本明細書において、「イオン液体」は、20℃で液体の塩（イオン性化合物）を意味する。

[0073] 本発明は、その別の側面から、
アミノ基を有するポリマーPと、
イオン液体と、

を含む、酸性ガス吸着材であって、

上記の吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量aが0.35mmol/g以上である、酸性ガス吸着材を提供する。

[0074] イオン液体は、イミダゾリウムイオン、ピリジニウムイオン、ピロリジニウムイオン、ホスホニウムイオン、アンモニウムイオン及びスルホニウムイオンからなる群より選ばれる少なくとも1つを含むことが好ましく、イミダ

ゾリウムイオン及びホスホニウムイオンからなる群より選ばれる少なくとも1つを含むことがより好ましく、ホスホニウムイオンを含むことが特に好ましい。これらのイオンは、炭素数1以上の置換基を含むことが好ましい。

[0075] 炭素数1以上の置換基としては、炭素数1以上20以下のアルキル基、炭素数3以上14以下のシクロアルキル基、炭素数6以上20以下のアリール基などが挙げられる。これらの置換基は、ヒドロキシル基、シアノ基、アミノ基、一価のエーテル基などでさらに置換されていてもよい。なお、エーテル基としては、例えば、ポリエチレングリコールなどのポリアルキレングリコール基が挙げられる。

[0076] 炭素数1以上20以下のアルキル基としては、メチル基、エチル基、*n*-プロピル基、*n*-ブチル基、*n*-ペンチル基、*n*-ヘキシル基、*n*-ヘプチル基、*n*-オクチル基、*n*-ノニル基、*n*-デシル基、*n*-ウンデシル基、*n*-ドデシル基、*n*-トリデシル基、*n*-テトラデシル基、*n*-ペンタデシル基、*n*-ヘキサデシル基、*n*-ヘプタデシル基、*n*-オクタデシル基、*n*-ノナデシル基、*n*-エイコサデシル基、*i*-プロピル基、*sec*-ブチル基、*i*-ブチル基、1-メチルブチル基、1-エチルプロピル基、2-メチルブチル基、*i*-ペンチル基、ネオペンチル基、1,2-ジメチルプロピル基、1,1-ジメチルプロピル基、*t*-ペンチル基、2-エチルヘキシル基、1,5-ジメチルヘキシル基などが挙げられる。

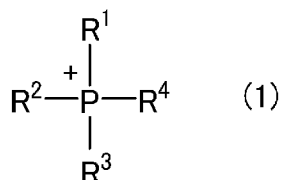
[0077] 上述のアルキル基は、シクロアルキル基によって置換されていてもよい。シクロアルキル基によって置換されたアルキル基の炭素数は、例えば、1以上20以下である。シクロアルキル基によって置換されたアルキル基としては、シクロプロピルメチル基、シクロブチルメチル基、シクロヘキシルメチル基、シクロヘキシルプロピル基などが挙げられる。

[0078] 炭素数3以上14以下のシクロアルキル基としては、シクロプロピル基、シクロブチル基、シクロペンチル基、シクロヘキシル基、シクロヘプチル基、シクロオクチル基、シクロドデシル基、ノルボルニル基、ボルニル基、アダマンチル基などが挙げられる。

[0079] 炭素数 6 以上 20 以下のアリール基としては、フェニル基、トルイル基、キシリル基、メシチル基、アニシル基、ナフチル基、ベンジル基などが挙げられる。

[0080] ホスホニウムイオンは、下記式 (1) で表されてもよい。

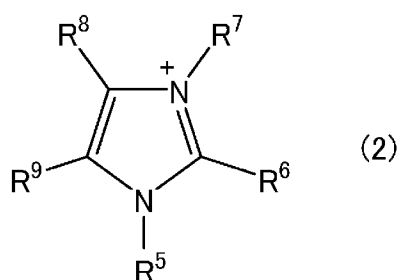
[化1]



[0081] 式 (1) において、 $\text{R}^1 \sim \text{R}^4$ は、それぞれ独立して、上述した炭素数 1 以上の置換基であり、炭素数 1 以上 20 以下のアルキル基であることが好ましい。 $\text{R}^1 \sim \text{R}^4$ の好ましい例は、 n -ブチル基、 n -ヘキシル基、 n -テトラデシル基などである。ホスホニウムイオンの具体例としては、テトラブチルホスホニウムイオン ($\text{P}_{4,4,4,4}$)、トリヘキシルテトラデシルホスホニウムイオン ($\text{P}_{6,6,6,14}$) などが挙げられる。

[0082] イミダゾリウムイオンは、下記式 (2) で表されてもよい。

[化2]



[0083] 式 (2) において、 $\text{R}^5 \sim \text{R}^9$ は、それぞれ独立して、水素原子、又は上述した炭素数 1 以上の置換基である。 R^5 は、好ましくは炭素数 1 以上の置換基であり、より好ましくは炭素数 1 以上 20 以下のアルキル基であり、特に好ましくはエチル基である。 R^7 は、好ましくは炭素数 1 以上の置換基であり、より好ましくは炭素数 1 以上 20 以下のアルキル基であり、特に好ましくはメチル基である。 R^6 、 R^8 及び R^9 のそれぞれは、水素原子であることが好ましい。

。イミダゾリウムイオンの具体例としては、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムイオン (EMIm) などが挙げられる。

[0084] イオン液体において、上述したイオンは、対アニオンと塩を形成してもよい。対アニオンとしては、アルキルスルホネート、トシレート、ジメチルベンゼンスルホネート、トリフルオロメタンスルホネート、アセテート、ビス(フルオロスルホニル)イミド、ビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド、チオシアネート、ジシアンアミド、トリシアノメタニド、テトラシアノボレート、ヘキサフルオロホスフェート、テトラフルオロボレート、ハライド、アミノ酸イオン(例えばバリネート)などが挙げられる。

[0085] イオン液体の具体例としては、テトラブチルホスホニウム2, 4-ジメチルベンゼンスルホネート ($[P_{4,4,4,4}][2,4MeSO_3]$)、トリヘキシルテトラデシルホスホニウムバリネート ($[P_{6,6,6,14}][Val]$)、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート ($[EMIm][BF_4]$)、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド ($[EMIm][TFSI]$)、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムビス(フルオロスルホニル)イミド ($[EMIm][FSI]$)、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムジシアンアミド、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムブロミド、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムクロライド、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムヘキサフルオロホスフェート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムトリフルオロメタンスルホネート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムテトラクロロフェレート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムヨーダイド、1-ブチル-2, 3-ジメチルイミダゾリウムクロリド、1-ブチル-2, 3-ジメチルイミダゾリウムヘキサフルオロホスフェート、1-ブチル-2, 3-ジメチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド、1-ブチル-2, 3-ジメチルイミダゾリウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド、1-ブチル

ー3-メチルイミダゾリウムトリフルオロ（トリフルオロメチル）ボレート、1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムトリブロミド、1, 3-ジメチルイミダゾリウムクロライド、1, 3-ビス（2, 6-ジイソプロピルフェニル）イミダゾリウムクロライド、1, 3-ジイソプロピルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1, 3-ジ-tert-ブチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1, 3-ジシクロヘキシルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1, 3-ジシクロヘキシルイミダゾリウムクロライド、1, 2-ジメチル-3-プロピルイミダゾリウムヨーダイド、1-ヘキシル-3-メチルイミダゾリウムクロライド、1-ヘキシル-3-メチルイミダゾリウムヘキサフルオロホスフェート、1-ヘキシル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート、1-ヘキシル-3-メチルイミダゾリウムブロミド、1-メチル-3-プロピルイミダゾリウムヨーダイド、1-メチル-3-n-オクチルイミダゾリウムブロミド、1-メチル-3-n-オクチルイミダゾリウムクロライド、1-メチル-3-n-オクチルイミダゾリウムヘキサフルオロホスフェート、1-メチル-3-[6-(メチルスルフィニル)ヘキシル]イミダゾリウムp-トルエンスルホネート、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムトリシアノメタニド、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラシアノボレート、1-(2-ヒドロキシエチル)-3-メチルイミダゾリウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミドなどが挙げられる。

[0086] イオン液体は、温度応答性を有することが好ましい。本明細書において、「温度応答性」は、温度変化に応じて、性質（特に、水に対する溶解性）が変化することを意味する。特に、イオン液体は、水に対して、下限臨界溶液温度型（Lower Critical Solution Temperature: LCST型）の相分離挙動を示すことが好ましい。LCST型の相分離挙動を有するイオン液体としては、 $[P_{4,4,4,4}][2,4MeSO_3]$ 、 $[P_{6,6,6,14}][Val]$ などが挙げられる。

[0087] イオン液体が、水に対してLCST型の相分離挙動を有するかどうかは、

例えば、下記試験 1 及び 2 によって確認することができる。詳細には、試験 1 において、イオン液体が水に溶解し、かつ、試験 2 において、イオン液体が水に溶解せず、相分離が確認される場合に、当該イオン液体が、水に対して L C S T 型の相分離挙動を有すると判断することができる。

試験 1：イオン液体 0.5 g をマイクロチューブなどの容器に加え、さらに、当該容器に 20℃ の水（イオン交換水）0.5 g を加える。次に、容器を密閉してから、当該容器を 10 回程度手で振る。容器を 1 分間静置し、容器内において、イオン液体が水に溶解しているかどうかを目視で確認する。

試験 2：水の温度を 50℃ に変更することを除き、試験 1 と同じ操作を行う。容器内において、イオン液体が水に溶解しているかどうかを目視で確認する。

[0088] なお、イオン液体は、温度応答性を有していなくてもよい。一例として、イオン液体は、上記の試験 1 及び 2 の両方において、水に溶解するものであってもよい。本明細書では、試験 1 及び 2 の両方において、水に溶解するイオン液体を「親水性のイオン液体」と表現することがある。親水性のイオン液体としては、[E M I m] [B F₄] などが挙げられる。

[0089] イオン液体は、上記の試験 1 及び 2 の両方において、水に溶解せず、相分離が確認されるものであってもよい。本明細書では、試験 1 及び 2 の両方において、水に溶解しないイオン液体を「疎水性のイオン液体」と表現することがある。疎水性のイオン液体としては、[E M I m] [T F S I]、[E M I m] [F S I] などが挙げられる。

[0090] 液体 L は、イオン液体に代えて、又は、イオン液体とともに、非プロトン性極性溶媒を含んでいてもよい。非プロトン性極性溶媒の具体例としては、ジメチルホルムアミド、ジメチルスルホキシド、N-メチルピロリドンなどが挙げられる。

[0091] 酸性ガス吸着材における液体 L の含有率は、例えば 0.1 w t % 以上であり、0.5 w t % 以上、1 w t % 以上、3 w t % 以上、5 w t % 以上、7 w t % 以上、さらには 10 w t % 以上であってもよい。液体 L の含有率が高け

れば高いほど、酸性ガス吸着材は、低湿環境下で、酸性ガスに対する吸着性能の低下が抑制される傾向がある。さらに、酸性ガスを吸着する機能を有するポリマーPの含有率を高く調整する観点から、液体Lの含有率は、好ましくは70wt%以下であり、60wt%以下、50wt%以下、40wt%以下、30wt%以下、20wt%以下、さらには15wt%以下であってもよい。酸性ガス吸着材における液体Lの含有率は、好ましくは1wt%～15wt%である。

[0092] (他の成分)

酸性ガス吸着材は、実質的にポリマーP及び液体Lのみから構成されていてもよいが、これら以外の他の成分をさらに含んでいてもよい。他の成分としては、例えば、反応促進剤、可塑剤、顔料、染料、老化防止剤、導電材、帯電防止剤、紫外線吸収剤、難燃剤、酸化防止剤等が挙げられる。反応促進剤は、ポリマーPを合成するときに利用されうる。反応促進剤としては、例えば、トリエチルアミン、トリブチルアミンなどの3級アミン；2-フェノール-4-メチルイミダゾール、2-エチル-4-メチルイミダゾール、2-フェノール-4,5-ジヒドロキシイミダゾールなどのイミダゾール類が挙げられる。これらの反応促進剤は、反応物P1を合成するための反応を促進することができる。

[0093] (酸性ガス吸着材)

酸性ガス吸着材における窒素元素の重量比率は、例えば1wt%以上であり、5wt%以上、さらには10wt%以上であってもよい。この重量比率が高ければ高いほど、酸性ガス吸着材における酸性ガスの吸着性が向上する傾向がある。酸性ガス吸着材における窒素元素の重量比率の上限は、特に限定されず、例えば30wt%以下である。なお、酸性ガス吸着材に含まれる全ての窒素元素がアミノ基に由来する場合、上記の窒素元素の重量比率は、酸性ガス吸着材におけるアミノ基の重量比率とみなすことができる。

[0094] 酸性ガス吸着材における窒素元素の密度は、例えば10.0mmol/g以上であり、11.0mmol/g以上、12.0mmol/g以上、12

、 2 mmol/g 以上、 12.5 mmol/g 以上、 13.0 mmol/g 以上、 13.5 mmol/g 以上、 14.0 mmol/g 以上、 14.5 mmol/g 以上、 15.0 mmol/g 以上、 15.5 mmol/g 以上、 16.0 mmol/g 以上、 16.5 mmol/g 以上、 17.0 mmol/g 以上、さらには 17.5 mmol/g 以上であってもよい。酸性ガス吸着材における窒素元素の密度の上限は、特に限定されず、例えば 30 mmol/g 以下であり、 20 mmol/g 以下であってもよい。本明細書では、酸性ガス吸着材における窒素元素の密度は、 1 g の酸性ガス吸着材に含まれる窒素元素の物質量を意味し、例えば、上述したポリマーPにおける窒素元素の密度と同様の方法によって測定できる。なお、酸性ガス吸着材に含まれる全ての窒素元素がアミノ基に由来する場合、窒素元素の密度は、酸性ガス吸着材におけるアミノ基の密度とみなすことができる。

[0095] 酸性ガス吸着材の形状は、特に限定されず、例えばブロック状、シート状、粒子状などである。本明細書において、粒子状は、球状、楕円体状、鱗片状、繊維状などを含む。

[0096] 酸性ガス吸着材は、多孔質構造を有していてもよい。一例として、酸性ガス吸着材は、ポリマーP及び液体Lを含む多孔体Sを備えていてもよい。多孔体Sの形状は、例えば、ブロック状、シート状、粒子状などである。なお、酸性ガス吸着材は、多孔体Sとして、多孔質樹脂シートを備えていてもよく、多孔質樹脂シートを備えていなくてもよい。酸性ガス吸着材は、多孔体S以外の部材、例えばポリマーPを担持するための担体などを備えていてもよく、備えていなくてもよい。酸性ガス吸着材が担体などを備えていない場合、裁断や切削によって酸性ガス吸着材の形状を容易に調整できる傾向がある。

[0097] 多孔体Sは、ポリマーP及び液体Lを含む三次元網目状骨格を有することが好ましい。三次元網目状骨格は、ポリマーP及び液体L以外の他の成分をさらに含んでいてもよい。一例として、多孔体Sにおいて、上記の三次元網目状骨格が連続して延びている。多孔体Sに含まれる孔は、三次元状に連続

して形成されている連続孔であることが好ましい。多孔体Sは、独立孔を有していてもよく、多孔体Sを貫通する貫通孔を有していてもよい。

[0098] 酸性ガス吸着材（多孔体S）の比表面積は、特に限定されず、例えば0.5 m²/g 以上であり、1.0 m²/g 以上、2.0 m²/g 以上、3.0 m²/g 以上、4.0 m²/g 以上、5.0 m²/g 以上、6.0 m²/g 以上、7.0 m²/g 以上、8.0 m²/g 以上、さらには9.0 m²/g 以上であってもよい。酸性ガス吸着材の比表面積が大きければ大きいほど、酸性ガス吸着材において、酸性ガスを吸着する速度が増加する傾向がある。酸性ガス吸着材の比表面積の上限は、特に限定されず、例えば100 m²/g 以下である。酸性ガス吸着材の比表面積は、窒素ガス吸着によるBET（Brunauer-Emmett-Teller）比表面積を意味する。酸性ガス吸着材の比表面積は、JIS Z 8830：2013の規定に準拠した方法によって測定できる。

[0099] 酸性ガス吸着材（多孔体S）の細孔容積は、特に限定されず、例えば0.1 cm³/g 以上であり、0.2 cm³/g 以上、0.3 cm³/g 以上、0.5 cm³/g 以上、1.0 cm³/g 以上、さらには2.0 cm³/g 以上であってもよい。酸性ガス吸着材の細孔容積の上限は、特に限定されず、例えば5.0 cm³/g 以下であり、4.0 cm³/g 以下であってもよく、3.0 cm³/g 以下であってもよい。酸性ガス吸着材の細孔容積は、水銀圧入法によって測定することができる。水銀圧入法は、市販の細孔分布分析装置（例えば、マイクロメリティックス社製のオートポアV9620）を用いて、初期圧21 kPaの条件で行う。

[0100] 酸性ガス吸着材（多孔体S）の平均細孔径は、特に限定されず、例えば0.1 μm 以上であり、0.2 μm 以上、0.3 μm 以上、さらには0.5 μm 以上であってもよい。酸性ガス吸着材の平均細孔径の上限は、特に限定されず、例えば50 μm 以下である。本明細書において、酸性ガス吸着材の平均細孔径は、水銀圧入法によって測定されたメディアン径を意味する。水銀圧入法は、市販の細孔分布分析装置（例えば、マイクロメリティックス社製のオートポアV9620）を用いて、初期圧21 kPaの条件で行う。

[0101] 酸性ガス吸着材が粒子状である場合、酸性ガス吸着材の平均粒径は、特に限定されず、例えば $0.5\ \mu\text{m}$ 以上であり、好ましくは $1\ \mu\text{m}$ 以上であり、 $10\ \mu\text{m}$ 以上であってもよく、 $20\ \mu\text{m}$ 以上であってもよく、 $30\ \mu\text{m}$ 以上であってもよい。酸性ガス吸着材の平均粒径は、 $200\ \mu\text{m}$ 以下であってもよく、 $100\ \mu\text{m}$ 以下であってもよく、 $75\ \mu\text{m}$ 未満であってもよい。本明細書において、酸性ガス吸着材の平均粒径は、レーザー回折式粒度計などによって測定される粒度分布において、体積累積 50% に相当する粒径(d_{50})を意味する。

[0102] (酸性ガス吸着材の製造方法)

本実施形態の酸性ガス吸着材の製造方法は、例えば、ポリマーPと液体Lを接触させることを含む。

[0103] 一例として、ポリマーPは、アミンモノマー（特に1級アミノ基を含むアミンモノマー）を含む化合物群を反応させることにより合成することができる。この化合物群は、エポキシ基を含むエポキシモノマーをさらに含むことが好ましい。

[0104] 化合物群は、2つのエポキシ基を含むエポキシモノマーE1のみを含んでいてもよく、エポキシモノマーE1に代えて、又は、エポキシモノマーE1とともに、3つ以上、例えば4つ、のエポキシ基を含むエポキシモノマーE2とを含んでいてもよい。化合物群がエポキシモノマーE1及びE2を含む場合、エポキシモノマーE2に対するエポキシモノマーE1の重量比E1/E2は、特に限定されず、例えば $3/7 \sim 8/2$ であり、 $3/7 \sim 5/5$ 、さらには $3/7 \sim 4/6$ であってもよい。

[0105] 本実施形態では、化合物群中の1級アミノ基の活性水素の当量Aに対する、化合物群中のエポキシ基の当量Eの比E/Aが 1.00 以下であることが好ましい。詳細には、比E/Aが 1.00 以下となるようにアミンモノマー及びエポキシモノマーの配合比率が調整されていることが好ましい。化合物群において、比E/Aは、好ましくは 0.90 以下であり、 0.50 以下、 0.50 未満、 0.45 以下、 0.40 以下、 0.35 以下、さらには $0.$

30以下であってもよい。比E/Aが小さければ小さいほど、ポリマーPにおける1級アミノ基の比率が上昇するとともに、酸性ガス吸着材における窒素元素の密度が増加する傾向がある。比E/Aの下限は、酸性ガス吸着材の作製しやすさの観点から、例えば0.10以上であり、0.15以上、さらには0.20以上であってもよい。

[0106] 本実施形態では、化合物群において、アミンモノマーの1級アミノ基が、エポキシモノマーのエポキシ基と反応し、重合反応又は架橋反応が進行することが好ましい。化合物群の反応は、化合物群にエネルギーを加えることによって行うことができる。化合物群に加えるエネルギーは、熱エネルギーであることが好ましい。一例として、化合物群を40℃～100℃の温度で加熱することによって、化合物群の反応を進行させることができる。ただし、化合物群に加えるエネルギーは、光エネルギーであってもよい。

[0107] 本実施形態では、ポリマーPを含む多孔体を作製してもよい。この多孔体は、例えば、次の方法によって作製することができる。まず、上記の化合物群をポロゲンと混合し、混合液を作製する。ポロゲンは、化合物群に含まれるモノマーを溶かすことができ、さらに、化合物群が反応した後に、反応誘起相分離を生じさせることができる溶剤である。ポロゲンの具体例としては、メチルセロソルブ、エチルセロソルブ等のセロソルブ類、エチレングリコールモノメチルエーテルアセテート、プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート等のエステル類、ポリエチレングリコール、ポリプロピレングリコール、ポリブチレングリコール、ポリオキシアルキレングリコール等のグリコール類、ポリオキシエチレンモノメチルエーテル、ポリオキシエチレンジメチルエーテル等のエーテル類が挙げられる。ポリオキシアルキレングリコールの具体例は、ポリ(1,2-ブタンジオール)-6プロピレングリコール、ポリオキシプロピレンジグリセリルエーテルなどである。ポロゲンは、酢酸エチル、N,N-ジメチルホルムアミド(DMF)、アセトニトリル、エタノール、イソプロパノール等の極性溶媒、トルエン等の無極性溶媒、又はこれらの混合溶媒であってもよい。ポロゲンは、単独で又は2種以

上を組み合わせ使用できる。

[0108] 混合液には、化合物群以外の他の成分がさらに添加されてもよい。他の成分としては、例えば、上述した反応促進剤などが挙げられる。

[0109] 次に、混合液中で化合物群を反応させる。一例として、混合液を金型に充填してから加熱処理を行うことによって化合物群を反応させる。これにより、ポリマーP及びポロゲンを含む硬化体を得られる。この硬化体において、ポリマーPとポロゲンとが相分離することにより、共連続構造が形成される。

[0110] 次に、硬化体からポロゲンを抽出し、除去する。これによって、ポリマーPを含む多孔体を得ることができる。ポロゲンの抽出は、硬化体を溶剤に浸漬させることによって行うことができる。この溶剤としては、水、脂肪族炭化水素溶媒、芳香族炭化水素溶媒、脂肪族アルコール溶媒、エステル溶媒、エーテル溶媒及びハロゲン含有有機溶媒などを使用することができる。脂肪族炭化水素溶媒としては、*n*-ヘキサン、シクロヘキサン、メチルシクロヘキサン、*n*-ヘプタン、*n*-オクタン、イソオクタン、石油エーテル、ベンジン等が挙げられる。芳香族炭化水素溶媒としては、トルエン、キシレン、メシチレン、ベンゼン等が挙げられる。脂肪族アルコール溶媒としては、メタノール、エタノール、イソプロパノール、ブタノール、シクロヘキサノール、エチレングリコール、プロピレングリコール、プロピレングリコールモノメチルエーテル、ジエチレングリコール等が挙げられる。エステル溶媒としては、酢酸エチル等が挙げられる。エーテル溶媒としては、ジエチルエーテル、ジイソプロピルエーテル、ジブチルエーテル、エチレングリコールジメチルエーテル、エチレングリコールジエチルエーテル、プロピレングリコールジメチルエーテル、プロピレングリコールジエチルエーテル、ジエチレングリコールジメチルエーテル、テトラヒドロフラン、ジオキサン、アニソール等が挙げられる。ハロゲン含有有機溶媒としては、ジクロロメタン、クロロホルム、四塩化炭素、ジクロロエタン、クロロベンゼン等が挙げられる。これらの溶剤は、単独で又は2種以上を組み合わせ使用できる。

[0111] なお、硬化体を作製するときに、化合物群の反応速度が大きければ大きいほど、硬化体中において、ポロゲンが細かく分散する傾向がある。ポロゲンが細かく分散した硬化体からポロゲンを除去することによって、大きい比表面積を有する多孔体を作製することができる。化合物群の反応速度は、化合物群に含まれるモノマーの種類や配合比率などに応じて変化する。一例として、3つ以上、例えば4つ、のエポキシ基を含むエポキシモノマーE2を用いた場合や、アミンモノマーとして、重量平均分子量が大きいポリエチレンジアミンを用いた場合などに、化合物群の反応速度が大きい傾向がある。

[0112] 本実施形態では、ポリマーP（特に、ポリマーPを含む多孔体）と液体Lを接触させることにより、例えば、ポリマーPと液体Lが相溶し、酸性ガス吸着材が得られる。ポリマーPと液体Lを接触させる方法は、特に限定されず、例えば、次の方法によって行うことができる。まず、液体Lとアルコールの混合液を準備する。アルコールとしては、炭素数5以下の低級アルコールを用いることができる。混合液における液体Lの含有率は、特に限定されず、例えば0.1wt%～20wt%である。次に、ポリマーPを混合液に浸漬させることによって、ポリマーPと液体Lを接触させることができる。このとき、混合液の温度は、例えば室温（20℃）である。ポリマーPを混合液に浸漬させる時間は、特に限定されず、例えば0.5時間～24時間である。

[0113] ポリマーPと液体Lを接触させた後には、必要に応じて、酸性ガス吸着材の乾燥処理をさらに行ってもよい。乾燥処理によれば、例えば、上記の混合液に起因するアルコールを酸性ガス吸着材から除去することができる。乾燥処理の温度は、液体Lの沸点より低い温度であれば特に限定されず、例えば、20℃～60℃である。乾燥処理の時間は、例えば0.5時間～24時間である。乾燥処理は、減圧雰囲気下又は真空雰囲気下で行ってもよい。

[0114] （酸性ガス吸着材の特性）

上述のとおり、アミン化合物を含む吸着材は、低湿環境下（例えば、20℃で30%RH以下の環境下）で、酸性ガスに対する吸着性能が低下する傾

向がある。この傾向は、低湿環境下において、アミン化合物の近傍に水がほとんど存在せず、これにより、アミン化合物の分子鎖の運動性が低下し、吸着材中で酸性ガスが拡散しにくいことに起因していると推定される。

[0115] これに対して、本実施形態では、酸性ガス吸着材がポリマーPと液体Lを含んでいる。液体Lが存在することによって、低湿環境下でもポリマーPの分子鎖の運動性が低下しにくく、酸性ガス吸着材中での酸性ガスの拡散性が低下しにくい。これにより、本実施形態の酸性ガス吸着材は、低湿環境下で、酸性ガスに対する吸着性能の低下が抑制される傾向がある。

[0116] 一例として、本実施形態の酸性ガス吸着材について、下記の吸着試験Bを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量 b_1 が 0.1 mmol/g 以上であることが好ましい。なお、吸着試験Bでは、低湿のガスとして、混合ガスG2を利用する。

吸着試験B：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガスG2を、酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、混合ガスG2における二酸化炭素の濃度が 400 vol ppm であり、混合ガスG2は、温度が 20°C であり、湿度が $20\%\text{ RH}$ である。

[0117] 吸着試験Bは、混合ガスG1に代えて、混合ガスG2を用いることを除き、上記の吸着試験Aと同じ方法によって行うことができる。なお、混合ガスG2は、測定装置20の第1経路60及びバイパス経路61を通過する窒素の流量を吸着試験Aの条件から変更することによって調製できる。

[0118] 吸着試験Bを15時間行った場合の二酸化炭素の吸着量 b_1 は、好ましくは 0.3 mmol/g 以上であり、 0.5 mmol/g 以上、 0.6 mmol/g 以上、 0.7 mmol/g 以上、 0.8 mmol/g 以上、 0.9 mmol/g 以上、 1.0 mmol/g 以上、 1.1 mmol/g 以上、 1.2 mmol/g 以上、 1.3 mmol/g 以上、 1.4 mmol/g 以上、さらには 1.5 mmol/g 以上であってもよい。二酸化炭素の吸着量 b_1 の上限は、特に限定されず、例えば 10 mmol/g 以下である。

[0119] 本実施形態の酸性ガス吸着材について、上記の吸着試験Bを1時間行った

場合、二酸化炭素の吸着量 b_2 は、 0.01 mmol/g 以上であることが好ましい。吸着量 b_2 は、低湿環境下で酸性ガスを吸着する速度の指標として用いることができる。すなわち、吸着量 b_2 が大きければ大きいほど、酸性ガス吸着材は、低湿環境下で酸性ガスを吸着する速度が大きいと言える。

[0120] 吸着試験Bを1時間行った場合の二酸化炭素の吸着量 b_2 は、好ましくは 0.03 mmol/g 以上であり、 0.05 mmol/g 以上、 0.08 mmol/g 以上、 0.1 mmol/g 以上、 0.2 mmol/g 以上、 0.3 mmol/g 以上、 0.4 mmol/g 以上、さらには 0.5 mmol/g 以上であってもよい。二酸化炭素の吸着量 b_2 の上限は、特に限定されず、例えば 5 mmol/g 以下である。

[0121] 本実施形態の酸性ガス吸着材について、上記の吸着試験Bを4時間行った場合、二酸化炭素の吸着量 b_3 は、 0.05 mmol/g 以上であることが好ましい。吸着量 b_3 についても、低湿環境下で酸性ガスを吸着する速度の指標として用いることができる。すなわち、吸着量 b_3 が大きければ大きいほど、酸性ガス吸着材は、低湿環境下で酸性ガスを吸着する速度が大きいと言える。

[0122] 吸着試験Bを4時間行った場合の二酸化炭素の吸着量 b_3 は、好ましくは 0.1 mmol/g 以上であり、 0.3 mmol/g 以上、 0.4 mmol/g 以上、 0.5 mmol/g 以上、 0.6 mmol/g 以上、 0.7 mmol/g 以上、 0.8 mmol/g 以上、 0.9 mmol/g 以上、 1.0 mmol/g 以上、さらには 1.05 mmol/g 以上であってもよい。二酸化炭素の吸着量 b_3 の上限は、特に限定されず、例えば 5 mmol/g 以下である。

[0123] さらに、本実施形態の酸性ガス吸着材について、下記の脱離試験Cを行った場合に、二酸化炭素の脱離量 c が 0.05 mmol/g 以上であることが好ましい。

脱離試験C：混合ガスG2を上記の容器内に送り続けつつ、吸着試験Bを15時間行った後の酸性ガス吸着材について、 65°C で1.5時間加熱する

。

[0124] 脱離試験Cは、次の方法によって行うことができる。まず、測定装置20を利用して、上述の吸着試験Bを15時間行う。詳細には、混合ガスG2が吸着部21に供給されている状態で、吸着部21を第3容器42の水71に浸漬させ、混合ガスG2を吸着部21に15時間送り続ける。次に、混合ガスG2を吸着部21に送り続けている状態で、吸着部21を第3容器42から取り出し、吸着部21を65℃の湯浴（図示せず）に浸漬させる。これにより、吸着部21内の酸性ガス吸着材について、二酸化炭素の脱離試験（脱離試験C）を開始する。脱離試験は、開始してから1.5時間経過するまで行う。

[0125] 脱離試験Cでは、開始から1.5時間までに酸性ガス吸着材から脱離した二酸化炭素の物質質量M2を測定する。酸性ガス吸着材から脱離した二酸化炭素の物質質量は、第1濃度計50で測定された二酸化炭素の濃度と、第2濃度計51で測定された二酸化炭素の濃度との差を経時的に測定した結果から算出することができる。物質質量M2に基づいて、1gの酸性ガス吸着材から1.5時間で脱離する二酸化炭素の物質質量を算出し、得られた算出値を脱離量cとして特定する。

[0126] 本実施形態の酸性ガス吸着材において、脱離試験Cを行った場合の二酸化炭素の脱離量cは、好ましくは0.1mmol/g以上であり、0.3mmol/g以上、0.5mmol/g以上、0.6mmol/g以上、0.7mmol/g以上、0.8mmol/g以上、0.9mmol/g以上、1.0mmol/g以上、1.1mmol/g以上、1.2mmol/g以上、1.3mmol/g以上、1.4mmol/g以上、さらには1.5mmol/g以上であってもよい。二酸化炭素の脱離量cの上限は、特に限定されず、例えば10mmol/g以下である。

[0127] 吸着量b1（mmol/g）に対する脱離量c（mmol/g）の比率（65℃脱離率）は、例えば40%以上であり、45%以上、50%以上、60%以上、70%以上、80%以上、90%以上、95%以上、96%以上

、さらには97%以上であってもよく、100%であってもよい。

[0128] (酸性ガス吸着材の用途)

本実施形態の酸性ガス吸着材は、酸性ガスを吸着することができる。酸性ガスとしては、二酸化炭素、硫化水素、硫化カルボニル、硫黄酸化物(SO_x)、シアン化水素、窒素酸化物(NO_x)などが挙げられ、好ましくは二酸化炭素である。

[0129] 酸性ガス吸着材は、次の方法によって使用することができる。まず、酸性ガスを含む混合ガスを酸性ガス吸着材と接触させる。混合ガスは、酸性ガス以外の他のガスを含むことが好ましい。他のガスとしては、例えば、水素、窒素などの非極性ガス、及び、ヘリウムなどの不活性ガスが挙げられ、好ましくは窒素である。混合ガスは、典型的には大気である。混合ガスは、化学プラント又は火力発電のオフガスであってもよい。

[0130] 混合ガスの温度は、例えば室温(20℃)である。混合ガスにおける酸性ガスの濃度は、特に限定されず、標準状態(0℃、101kPa)で、例えば0.01vol%(100volppm)以上であり、好ましくは0.04vol%(400volppm)以上であり、1.0vol%以上であってもよい。混合ガスにおける二酸化炭素の濃度の上限は、特に限定されず、標準状態で、例えば10vol%以下である。混合ガスの圧力は、典型的には、酸性ガス吸着材の使用環境における大気圧に等しい。ただし、酸性ガス吸着材と接触させる混合ガスは、加圧されていてもよい。

[0131] 混合ガスと接触した酸性ガス吸着材は、混合ガスに含まれる酸性ガスを吸着する。混合ガスを酸性ガス吸着材に接触させる操作は、酸性ガス吸着材による酸性ガスの吸着が平衡に達するまで行うことが好ましい。

[0132] 次に、酸性ガスを吸着した酸性ガス吸着材について再生処理を行う。再生処理は、酸性ガス吸着材を加熱することによって実施できる。酸性ガス吸着材の加熱温度は、例えば50～80℃である。酸性ガス吸着材は、減圧雰囲気下又は真空雰囲気下で加熱されてもよい。酸性ガス吸着材を加熱することにより、酸性ガスが酸性ガス吸着材から脱離する。これにより、酸性ガス吸

着材が再生され、酸性ガス吸着材を繰り返し使用することができる。酸性ガス吸着材から脱離した酸性ガス、特に二酸化炭素、は、化学品の合成原料やドライアイスとして利用することができる。なお、酸性ガス吸着材による酸性ガスの吸着操作、及び酸性ガス吸着材の再生処理は、上述した測定装置 20（酸性ガス吸着装置）を用いて実施することが可能である。

[0133] <構造体の実施形態>

図 2 A に示すとおり、本実施形態の構造体 15 は、上述の酸性ガス吸着材 10 と、通気経路 14 とを備える。構造体 15 は、典型的には、同じ方向に延びている複数の通気経路 14 を有するハニカム構造体である。

[0134] 構造体 15 が備える酸性ガス吸着材 10 は、典型的には、シートの形状を有する。構造体 15 は、酸性ガス吸着材 10 とともに、酸性ガス吸着材 10 を支持する支持体を備えていてもよく、支持体を備えていなくてもよい。

[0135] 構造体 15 は、コルゲート状の酸性ガス吸着材 10 A と、平板状の酸性ガス吸着材 10 B とが積層された吸着材ユニット U を備えることが好ましい。酸性ガス吸着材 10 A において、複数の山部 12 と複数の谷部 13 とが交互に並んでいる。酸性ガス吸着材 10 A の山部 12 又は谷部 13 と、酸性ガス吸着材 10 B との間に、通気経路 14 が形成されている。本実施形態において、方向 x は、酸性ガス吸着材 10 A の複数の山部 12 と複数の谷部 13 とが交互に並んでいる方向（波方向）である。方向 y は、吸着材ユニット U における酸性ガス吸着材 10 A 及び 10 B の積層方向である。方向 z は、方向 x 及び y のそれぞれに直交する方向であり、通気経路 14 が延びている方向である。

[0136] 構造体 15 は、複数の吸着材ユニット U を備えていることが好ましい。構造体 15 における吸着材ユニット U の数は、特に限定されず、例えば 2 ～ 100 である。構造体 15 において、複数の吸着材ユニット U は、複数の酸性ガス吸着材 10 A と複数の酸性ガス吸着材 10 B とが交互に並ぶように、方向 y に積層されている。複数の吸着材ユニット U が積層されていることによって、構造体 15 は、ブロックの形状を有する。

[0137] 通気経路 14 は、構造体 15 を方向 z に貫通する貫通孔である。通気経路 14 は、酸性ガス吸着材 10A 及び 10B によって囲まれている。構造体 15 において、酸性ガスは、通気経路 14 を通じて方向 z に移動しつつ、酸性ガス吸着材 10A 及び 10B によって効率的に吸着される。

[0138] 構造体 15 では、酸性ガス吸着材 10A 及び 10B の厚さが小さければ小さいほど、通気経路 14 の断面積を大きく調整できる。通気経路 14 の断面積が大きい構造体 15 は、酸性ガスと接触したときなどに生じる圧力損失を低減することに適している。圧力損失が低減された構造体 15 によれば、酸性ガスを移動させるために用いられるファンの動力を低減することができる。なお、酸性ガス吸着材 10 の単位体積当たりのアミノ基の物質量が大きいと、酸性ガス吸着材 10 の厚さが小さい場合であっても酸性ガスを十分に吸着できる傾向がある。

[0139] <構造体の変形例>

酸性ガス吸着材 10 を備える構造体 15 の形状は、図 2A に示したものに限定されない。図 2B に示す構造体 16 は、1 つの吸着材ユニット U が中心管 80 に巻き付けられた形状を有する。このことを除き、構造体 16 の構成は、構造体 15 の構成と同じである。

[0140] 構造体 16 は、円柱形状を有している。構造体 16 において、酸性ガス吸着材 10A の複数の山部 12 と複数の谷部 13 とは、構造体 16 の周方向に交互に並んでいる。酸性ガス吸着材 10A の山部 12 又は谷部 13 と、酸性ガス吸着材 10B との間に形成された通気経路 14 は、中心管 80 が延びる方向に構造体 16 を貫通している。構造体 16 において、酸性ガスは、通気経路 14 を通じて、中心管 80 が延びる方向に移動しつつ、酸性ガス吸着材 10A 及び 10B によって効率的に吸着される。

実施例

[0141] 以下に、実施例及び比較例により本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

[0142] (比較例 1)

まず、6 mLのスクリー管瓶（アズワン社製）に、ポリ（1，2－ブタンジオール）－6プロピレングリコール（日油社製、ユニオール（登録商標）PB－500）1.50 gと、ブチレングリコールとプロピレングリコールの共重合体（日油社製、ユニオール（登録商標）PB－700）0.64 gとを加えた。得られた混合液に、エチレングリコールジグリシジルエーテル（ナガセケムテックス社製、EX－810）1.28 gを溶解させることによって、エポキシモノマー及びポロゲンの混合液を調製した。

[0143] 次に、この混合液に、ポリエチレンイミン（日本触媒社製、エポミンSP－012）1.70 gを添加することによって、エポキシモノマー、アミンモノマー及びポロゲンの混合液を調製した。この混合液において、アミンモノマーに含まれる1級アミノ基の活性水素の当量Aに対する、エポキシモノマーに含まれるエポキシ基の当量Eの比 E/A は、0.5であった。

[0144] 次に、卓上振とう器（エンゼルバイブレーターデジタル60 Hz）を強度5に設定して、混合液を2分間振とうさせた。次に、この混合液を80℃の恒温槽に2時間静置させることによって硬化させた。これにより、アミノ基を有するポリマーPを含むブロック状の硬化体を得た。この硬化体をスクリー管瓶から取り出し、約3 mm角に裁断した。次に、硬化体を60℃の酢酸エチル中に1時間浸漬させる操作を、液交換を行って2回繰り返した。これにより、硬化体からポロゲンが除去され、ポリマーPを含む多孔体が形成された。この多孔体について、60℃で1時間乾燥させ、さらに2時間真空乾燥させた。これにより、比較例1の酸性ガス吸着材を得た。

[0145] （実施例1）

まず、比較例1と同じ方法によって、ポリマーPを含む多孔体を作製した。次に、液体Lとしての1－エチル－3－メチルイミダゾリウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド（[EMIm][TFSI]）をメタノールと混合して混合液を作製した。混合液における液体Lの含有率は1 wt %であった。次に、室温（20℃）下で、ポリマーPを含む多孔体を混合液に18時間浸漬させた。これにより、ポリマーPと液体Lが接触し、ポリマ

ーPと液体Lが相溶した。次に、混合液をナスフラスコに移し、エバポレーターにより溶媒を留去した。ナスフラスコから多孔体を取り出し、60℃で2時間の乾燥処理を行うことによって、ポリマーP及び液体Lを含む実施例1の酸性ガス吸着材を得た。

[0146] (実施例2～4)

用いた液体Lの種類を表1に示すように変更したことを除き、実施例1と同じ方法によって、実施例2～4の酸性ガス吸着材を得た。

[0147] なお、実施例1～4で用いた液体Lは、いずれも、沸点が130℃を大きく上回っていた。

[0148] [二酸化炭素の吸着量]

実施例及び比較例で作製した酸性ガス吸着材について、上述の吸着試験Aを行った。吸着試験Aでは、酸性ガス吸着材による二酸化炭素の吸着量を経時的に測定した。吸着試験Aを開始してから、30分後、60分後、90分後、240分後、及び900分(15時間)後での二酸化炭素の吸着量を表1に示す。

[0149] さらに、実施例及び比較例で作製した酸性ガス吸着材について、上述の吸着試験Bを行った。吸着試験Bでは、酸性ガス吸着材による二酸化炭素の吸着量を経時的に測定した。なお、吸着試験Bでは、開始から900分(15時間)が経過した後に、酸性ガス吸着材を50～80℃に加熱し、酸性ガス吸着材から二酸化炭素を脱離させた。吸着試験Bを開始してから、30分後、60分後、90分後、240分後、及び900分(15時間)後での二酸化炭素の吸着量を表1に示す。さらに、吸着試験Bを開始してからの時間と、二酸化炭素の吸着量との関係を図3に示す。

[0150]

[表1]

			比較例 1	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
液体L	種類		—	[EMIm] [TFSI]	[EMIm] [BF ₄]	[P _{4,4,4,4}] [2,4MeSO ₃]	[P _{6,6,6,14}] [Val]
	含有率[wt%]		—	10	10	10	10
CO ₂ 吸着量 [mmol/g]	吸着 試験 A 20℃ 50%RH	30min	0.484	0.692	0.548	0.625	0.784
		60min	0.846	1.158	1.003	1.068	1.383
		90min	1.144	1.490	1.363	1.403	1.773
		240min	1.957	2.070	2.005	2.157	2.333
		900min	2.211	2.122	2.008	2.354	2.421
	吸着 試験 B 20℃ 20%RH	30min	0.170	0.374	0.353	0.253	0.344
		60min	0.237	0.535	0.527	0.375	0.509
		90min	0.288	0.654	0.659	0.463	0.616
		240min	0.459	1.028	1.070	0.736	0.905
		900min	0.810	1.539	1.600	1.258	1.283

[0151] 表1中の略称は以下のとおりである。

[EMIm] [TFSI] : 1-エチル-3-メチルイミダゾリウムビス
(トリフルオロメタンシルホニル) イミド

[EMIm] [BF₄] : 1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフ
ルオロボレート

[P_{4,4,4,4}] [2,4MeSO₃] : テトラブチルホスホニウム2,4-ジメチ
ルベンゼンシルホネート

[P_{6,6,6,14}] [Val] : トリヘキシルテトラデシルホスホニウムバリネー
ト

[0152] 表1及び図3からわかるとおり、液体Lを含む実施例の酸性ガス吸着材は、比較例に比べて、吸着試験Bを行った場合の二酸化炭素の吸着量（特に、吸着試験Bを15時間行った場合の吸着量b1）の値が大きく、低湿環境下での酸性ガスに対する吸着性能の低下が抑制される傾向があった。

産業上の利用可能性

[0153] 本実施形態の酸性ガス吸着材は、大気中の二酸化炭素を吸着することがで

きる。

請求の範囲

- [請求項1] アミノ基を有するポリマーと、
 沸点が130℃以上である液体と、
 を含む、酸性ガス吸着材であって、
 下記の吸着試験Aを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量a
 が0.35mmol/g以上である、酸性ガス吸着材。
 吸着試験A：二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガス
 G1を、前記酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここ
 で、前記混合ガスG1における前記二酸化炭素の濃度が400vol
 ppmであり、前記混合ガスG1は、温度が20℃であり、湿度が5
 0%RHである。
- [請求項2] 前記ポリマーが固体である、請求項1に記載の酸性ガス吸着材。
- [請求項3] 前記ポリマーは、エポキシモノマーに由来する構成単位を有するア
 ミンポリマーを含む、請求項1に記載の酸性ガス吸着材。
- [請求項4] 前記アミンポリマーは、アミンモノマー及びエポキシモノマーを含
 む化合物群の反応物を含む、請求項3に記載の酸性ガス吸着材。
- [請求項5] 前記アミンモノマーがポリエチレンジアミンを含む、請求項4に記載
 の酸性ガス吸着材。
- [請求項6] 前記ポリマーのガラス転移温度が40℃以下である、請求項1に記
 載の酸性ガス吸着材。
- [請求項7] 前記液体は、イオン液体を含む、請求項1に記載の酸性ガス吸着材
 。
- [請求項8] 前記イオン液体は、温度応答性を有する、請求項7に記載の酸性ガ
 ス吸着材。
- [請求項9] 前記液体の含有率が1wt%～15wt%である、請求項1に記載
 の酸性ガス吸着材。
- [請求項10] 多孔質構造を有する、請求項1に記載の酸性ガス吸着材。
- [請求項11] 下記の吸着試験Bを15時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量b

1 が 0.1 mmol/g 以上である、請求項 1 に記載の酸性ガス吸着材。

吸着試験 B : 二酸化炭素、窒素及び水蒸気から構成された混合ガス G 2 を、前記酸性ガス吸着材が収容された容器内に送り続ける。ここで、前記混合ガス G 2 における前記二酸化炭素の濃度が 400 vol ppm であり、前記混合ガス G 2 は、温度が 20°C であり、湿度が $20\% \text{ RH}$ である。

[請求項 12] 前記吸着試験 B を 1 時間行った場合に、二酸化炭素の吸着量 b_2 が 0.01 mmol/g 以上である、請求項 11 に記載の酸性ガス吸着材。

[請求項 13] 請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の酸性ガス吸着材と、
通気経路と、
を備えた、構造体。

[請求項 14] ガス入口と、ガス出口とを有する吸着部を備え、
前記吸着部は、請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の酸性ガス吸着材を収容している、酸性ガス吸着装置。

[図1]

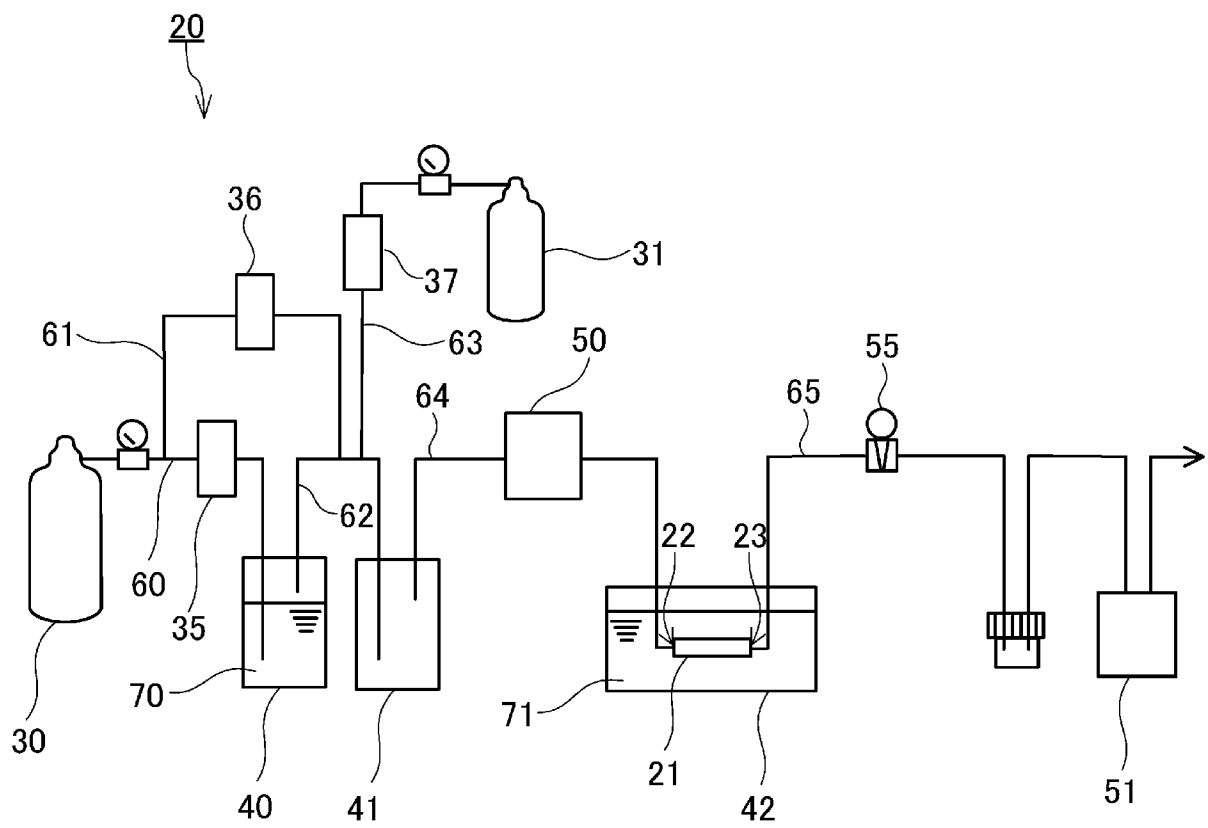


FIG.1

[図2A]

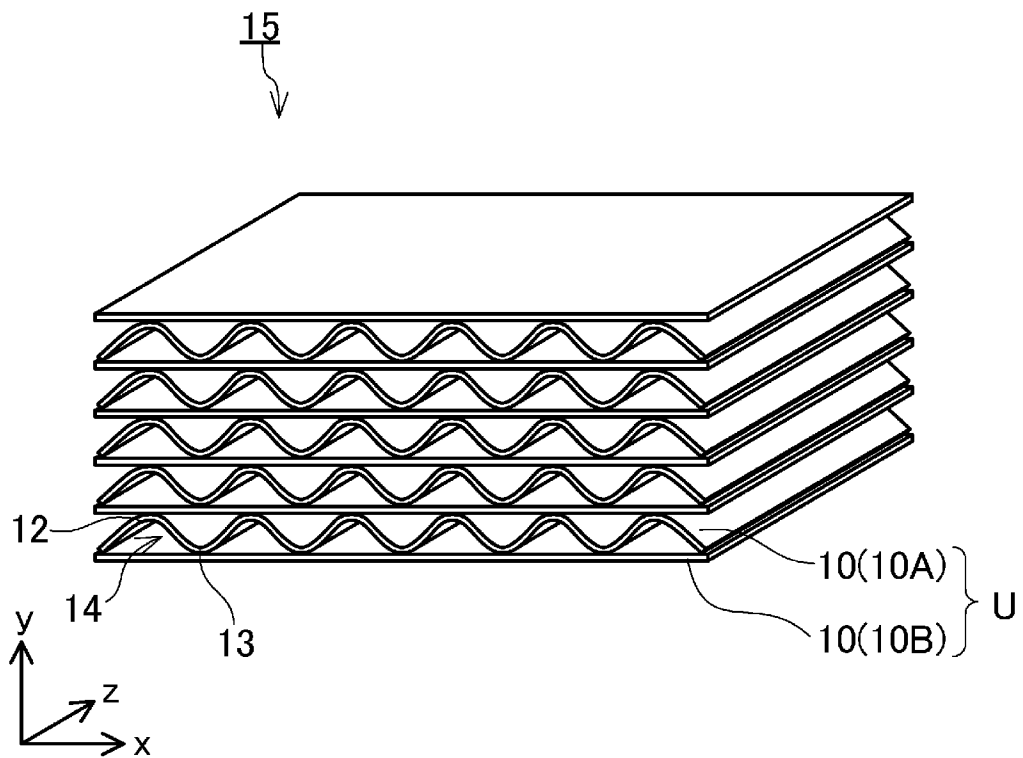


FIG.2A

[図2B]

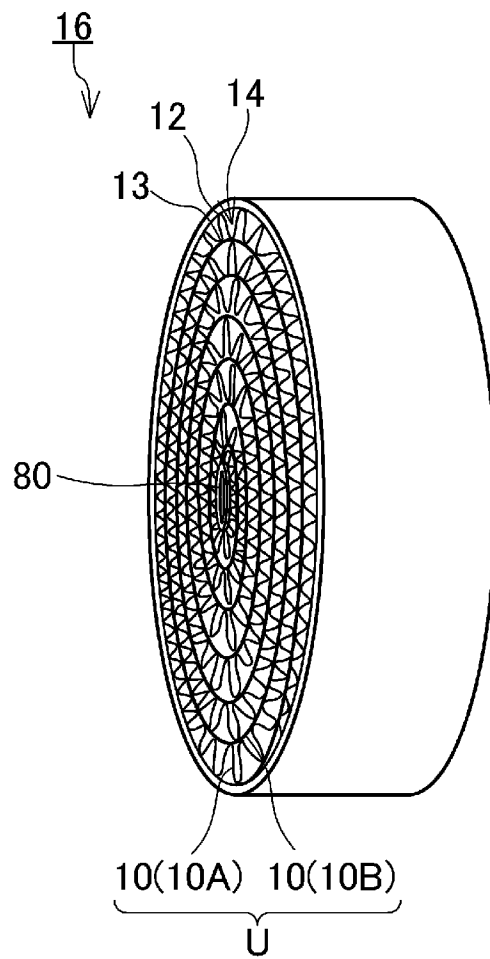


FIG.2B

[図3]

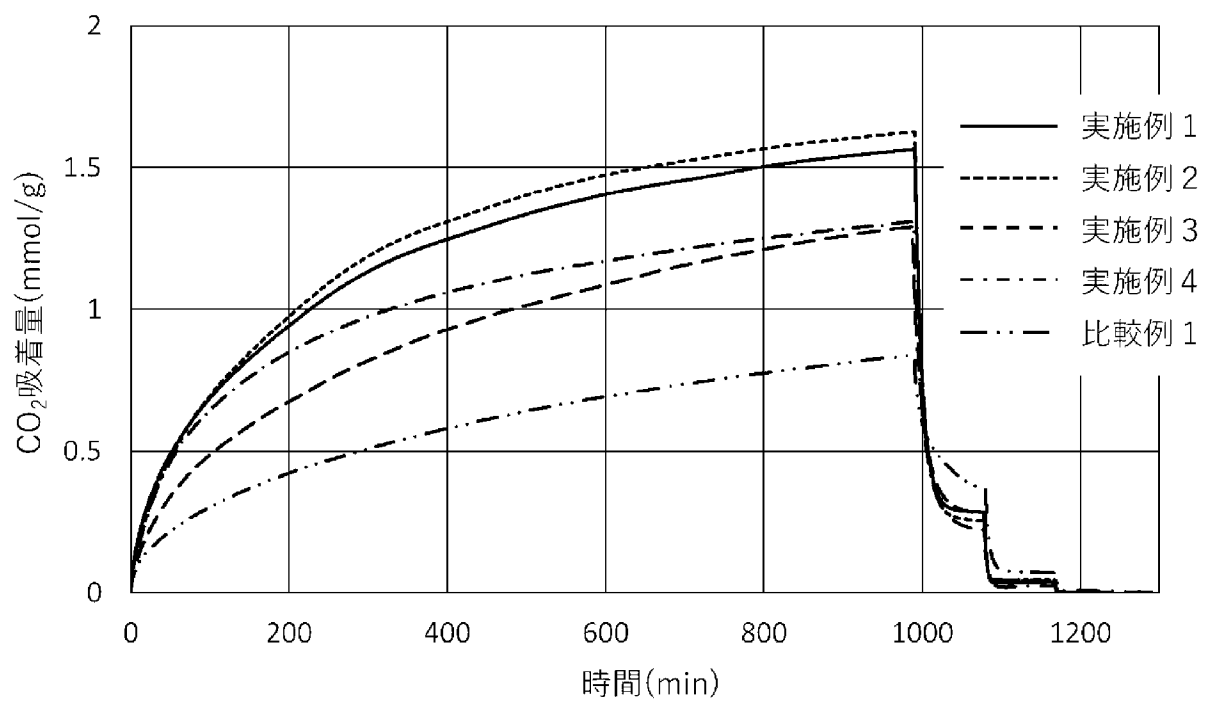


FIG.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/035519

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B01J 20/26</i> (2006.01)i; <i>B01D 53/14</i> (2006.01)i; <i>B01J 20/28</i> (2006.01)i; <i>C01B 32/50</i> (2017.01)i FI: B01J20/26 A; B01J20/28 Z; B01D53/14 100; C01B32/50 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B01J20/26; B01D53/14; B01J20/28; C01B32/50 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2023/063051 A1 (NITTO DENKO CORPORATION) 20 April 2023 (2023-04-20) claims, paragraphs [0092], [0095]	1-6, 9-14
Y	claims, paragraphs [0092], [0095]	1-14
Y	JP 2013-198874 A (NITTO DENKO CORPORATION) 03 October 2013 (2013-10-03) paragraphs [0028], [0129]	1-14
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 25 November 2024		Date of mailing of the international search report 03 December 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/035519

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2023/063051	A1	20 April 2023	EP 4417411 A1 claims, paragraphs [0097], [0100] CN 118176060 A	
JP	2013-198874	A	03 October 2013	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

B01J 20/26(2006.01)i; B01D 53/14(2006.01)i; B01J 20/28(2006.01)i; C01B 32/50(2017.01)i
FI: B01J20/26 A; B01J20/28 Z; B01D53/14 100; C01B32/50

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

B01J20/26; B01D53/14; B01J20/28; C01B32/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2024年
日本国実用新案登録公報 1996-2024年
日本国登録実用新案公報 1994-2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2023/063051 A1（日東電工株式会社）20.04.2023（2023-04-20） 請求の範囲、[0092]、[0095]	1-6, 9-14
Y	請求の範囲、[0092]、[0095]	1-14
Y	JP 2013-198874 A（日東電工株式会社）03.10.2013（2013-10-03） [0028]、[0129]	1-14

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 25. 11. 2024

国際調査報告の発送日 03. 12. 2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

瀧澤 佳世 4Q 4426

電話番号 03-3581-1101 内線 3468

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/035519

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2023/063051	A1	20.04.2023	EP 4417411 A1 請求の範囲、[0097]、[0100] CN 118176060 A	
JP 2013-198874 A			03.10.2013	(ファミリーなし)	