

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05966

研究課題名（和文）ピペラジン誘導体によるCO₂分離高分子膜のCO₂透過促進メカニズムの解明研究課題名（英文）Elucidation of mechanism of preferential CO₂ permeation of CO₂-selective polymeric membranes enhanced by piperazine derivatives

研究代表者

谷口 育雄（Taniguchi, Ikuo）

九州大学・カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授

研究者番号：30314305

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：ピペラジンはCO₂の炭酸水素イオンへの変換を触媒することが知られている。ピペラジンおよびその誘導体を高分子マトリクスに物理固定した高分子膜を調製し、そのCO₂分離性能評価を行った。CO₂分離性能は、ピペラジンの化学構造に大きく依存することがわかり、選択的CO₂透過メカニズムを解明した。また、アミン含有高分子膜にピペラジン誘導体を添加することによって、CO₂分離性能の向上にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果によって、ピペラジン含有高分子膜のCO₂選択透過機構が解明された。これまで、種々のアミン含有高分子膜によるCO₂分離回収が検討されてきたが、分子レベルでのメカニズムの解明には至っていない。また、得られた知見によって、既存の高分子膜の分離性能向上が可能となった。CO₂分離膜によって大規模排出源からのCO₂分離回収が可能となれば、CO₂回収貯留技術が商業化され、温暖化および気候変動抑制が可能となる。

研究成果の概要（英文）：Piperazine (Pz) is known to catalyze a conversion of CO₂ into bicarbonate ion. Pz and the derivatives were incorporated into a polymer matrix to form a polymeric film. The CO₂ separation properties were strongly depended on the Pz structure, and the mechanism of preferential CO₂ permeation was elucidated. The CO₂ separation properties of an amine-containing polymeric membranes were enhanced by the addition of a Pz derivative.

研究分野：高分子材料化学

キーワード：高分子膜 ガス分離 二酸化炭素 アミン 触媒

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

CO₂回収貯留技術(CO₂ Capture and Storage, CCS)は、温暖化および気候変動問題の有効な解決策として研究されているが、その実用化のためには効率的かつ省エネルギーCO₂分離回収法の確立が必須である。膜分離法は、分離膜を境界に供給側と透過側ガスの化学ポテンシャル差(分圧差)が駆動力となり分離が進行するため、加熱などの追加エネルギーが不要であり、次世代のCO₂分離回収法として着目されている。

これまで様々なCO₂分離膜の研究開発が行われてきたが、大量生産性、成形加工性およびコスト面から、高分子膜によるCO₂分離回収が適していると考えられる。本研究では、大規模CO₂発生源である石炭火力発電、特に石炭ガス化複合発電における燃焼前排ガスからCO₂分離を目的としたCO₂分離膜に関する基礎研究を行った。ここでは、石炭を高温高压でガス化(合成ガス)し、水性ガスシフト反応を行うと高压のH₂とCO₂が得られる。この混合ガス(燃焼前排ガス)からCO₂を除去することで、後の複合発電プロセスのカーボンフリー化が可能となり、発電効率が向上する。燃焼前排ガス中のCO₂分圧は約1.0 MPaと高压であるため、膜分離法がCO₂分離回収に適している。しかし、CO₂/H₂混合ガスからのCO₂分離回収では、CO₂を分子サイズの小さいH₂から分離する必要があるため、通常の分子ふるいに基づく分離メカニズムではCO₂を分離できない。よって、これまで成功例はほとんど無く、わずかな報告例においても分離性能が低い場合、実証試験レベルには至っていない。

非多孔性の高分子膜など緻密膜をガス分子が透過する機構として、ガス分子が高分子膜に溶解し、膜中を拡散する溶解拡散機構が知られている。CO₂/H₂混合ガスからのCO₂分離において、CO₂を選択的に透過させるためには、膜へのCO₂の溶解性をH₂のそれと比較して著しく向上させる必要がある。そのため、アミンがCO₂親和性材料としてしばしば用いられてきた。申請者は、アミンを高分子マトリクスに物理的に担持した高分子膜を用いたCO₂/H₂混合ガスからのCO₂分離に関する研究を行い、世界トップレベルのCO₂分離性能を示す高分子膜の開発に成功した。ここで、水性ガスシフト反応後の分離対象ガスは高湿度であるが、アミン含有高分子膜は高相対湿度下でCO₂透過性と選択性が急激に増加する。加湿CO₂/H₂ガスを用いたCO₂分離において、CO₂の一部は高分子膜中で炭酸水素イオンとなり膜中を透過すること、そしてこのイオン化がCO₂透過の律速段階であることを見出した。また、CO₂が高分子膜中でイオン化することによって、膜の極性が増加し、非極性であるH₂の膜への溶解性が減少するため、結果としてCO₂選択性は増加する。以上の知見から、CO₂が高分子膜に溶解する際、炭酸水素イオン生成を促進することにより、分離膜のCO₂透過性を向上できることが明らかとなってきた。

2. 研究の目的

次世代CO₂分離回収技術として膜分離法が研究されているが、その実用化には特に分離膜のCO₂透過性向上が必須である。申請者はこれまで、アミン含有高分子分離膜を用いたCO₂分離において、水蒸気存在下でCO₂は炭酸水素イオンとなり分離膜を透過していること、そして、このイオン化反応が透過律速であることを明らかにしてきた。そこで、CO₂透過促進因子としてピペラジン(Pz)およびその誘導体の添加によって炭酸水素イオン生成を促進し、分離膜のCO₂透過性の向上を目的として検討を行った。

CCS実証試験で現在用いられているCO₂分離回収技術であるアミン水溶液を用いた化学吸収法では、アミン水溶液へのCO₂吸収速度を向上するために、触媒量のPzが添加される。そのメカニズムについては諸説報告されているが、PzはCO₂と反応する(吸収する)速度が非常に速く、それによって生じるカルバミン酸が加水分解されて炭酸水素イオンを生成すると考えられている。よって、この機構を取り入れることにより、従来のアミン含有高分子膜と比較して、高分子膜のCO₂分離性能の向上が期待できる。本研究の具体的な目的は下記の通りである。

- 1) Pzの炭酸水素イオン生成メカニズムの解明
- 2) アミン含有高分子膜のCO₂分離性能向上

3. 研究の方法

本研究の目的を遂行するために、Pzおよびその誘導体をポリビニルアルコール(PVA)に担持した高分子膜を調製し、そのCO₂分離性能を種々の操作条件で評価した。

用いたアミンは、Pz、1-(2-aminoethyl)piperazine (PzAE)、および4-(2-hydroxyethyl)morpholine (MoHE)であり、PVA水溶液と所定の割合で混合し、シャーレにキャスト後乾燥して成膜を行なった。高分子膜の膜厚は概ね10 μm程度であった。得られた高分子膜は透明であり、小角X線散乱や示差走査熱量測定の結果から、アミンとPVAマトリクスは完全相溶していることがわかっている。つまり、アミンは高分子膜中で均一に分散している。

また、調製した高分子膜のCO₂分離性能は、CO₂を含む混合ガスを所定の温度、相対湿度、およびCO₂分圧で高分子膜に供給し、透過ガスと非透過ガス中のガス組成を、それぞれガスクロマトグラフを用いて定量した。ガス透過係数 P とCO₂選択性 α はそれぞれ下記の式によって決定した。 N 、 l 、 A 、 t 、 Δp 、 x および y は、それぞれガス透過量、膜厚、膜面積、時間、分圧差、非透過ガスおよび透過ガス中のモル分率である。

$$P_i = N_i \cdot l / (A \cdot t \cdot \Delta p_i)$$

$$\alpha_{ij} = (y_i/x_i) / (y_j/x_j) = P_i/P_j$$

4. 研究成果

1) Pz の炭酸水素イオン生成メカニズムの解明

Pz および Pz 誘導体含有 PVA 膜の CO₂ 分離性能評価を行った。その結果 (図 1) より、PzPD が最も高い CO₂ 透過係数と CO₂ 選択性を示すことがわかった。よって、これ以降この Pz 誘導体について、種々の検討を行い、炭酸水素イオン生成メカニズムの解明を行なった。

Pz 誘導体含有 PVA 膜について、CO₂/H₂ からの CO₂ 分離試験における CO₂ 分離性能の Pz 誘導体含量依存性を図 2 に示す。Pz 誘導体含量が増加するにつれて CO₂ 透過係数が増加した。これと比較して H₂ 透過係数はほぼ一定であった。よって結果として、CO₂ 選択性も Pz 誘導体含量が増加するにつれて大きくなった。これより、CO₂ は Pz 誘導体をキャリアとした促進輸送機構によって透過していることがわかった。また、相対湿度が高くなると CO₂ 透過係数が著しく増加した。加湿状態でのアミン含有 PVA 膜の重量変化を測定することによって、吸湿した水分量を定量したところ、Pz 誘導体を 50 wt% 含む 1.0 g の高分子膜が 1.0 g の水分を吸収していた。ここで、高分子マトリクスである PVA は、元来ガスバリア膜として知られており、例えば、乾燥状態ではほとんどガス透過性を示さない。また、加湿状態では吸湿によって膨潤し、自由体積が増加することによるガス透過性の向上が認められる。しかしながら、CO₂ 選択性はないため、PVA は CO₂ の選択透過には関与せず、よって、加湿下で 0.5 g の Pz 誘導体と水 1.0 g が CO₂ 分離性能を決定していると仮定することができる。そこで、水存在下でのアミンと CO₂ の相互作用を、アミン/D₂O (1:2 by wt.) 水溶液に CO₂ を通じて平衡化させた後、逆ゲートデカップリング ¹³C NMR によって定量的に評価した。結果を図 3 に示す。

これより、Pz 誘導体の 2 級アミノ基と CO₂ が相互作用してカルバミン酸結合 (162.6 ppm) を形成していることがわかったが、3 級アミノ基とは相互作用していなかった。また、2 位の炭素のピークが一部シフトしていた。この炭素原子に結合している水酸基が、2 級アミノ基と相互作用した CO₂ と水素結合していると考えられる。これによって、この中間体が安定化されるため、CO₂ との相互作用が他の Pz 誘導体と比較して容易になると思われる。次にカルバミン酸が加水分解されると炭酸水素イオンとなる。よって、図 4 に示す機構により CO₂ が選択的にアミン含有 PVA 膜を透過したと推察された。

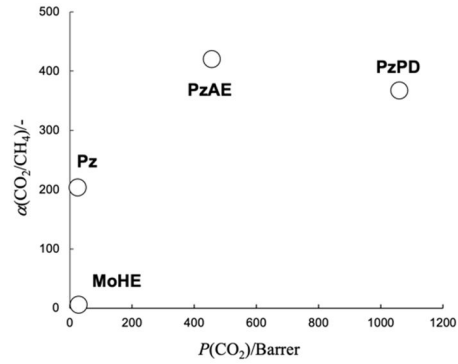


図 1. 種々の Pz 含有高分子膜の CO₂ 分離性能
温度: 313 K; 相対湿度: 90%; $p(\text{CO}_2)$: 11 kPa

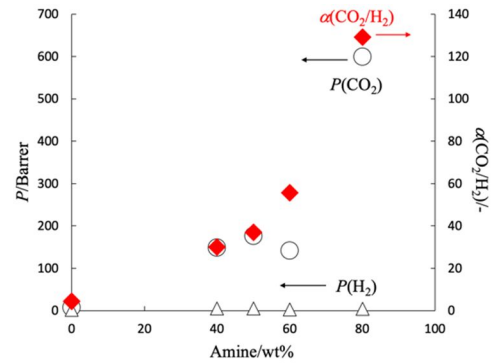
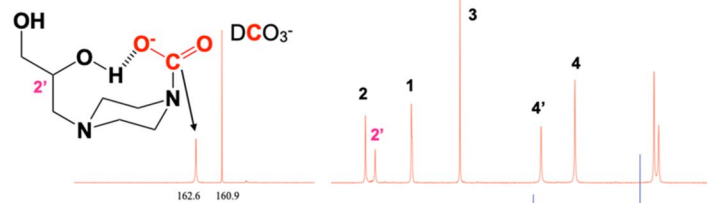


図 2. CO₂ 分離性能の PzPD 含有量依存性
温度: 323 K; 相対湿度: 90%; $p(\text{CO}_2)$: 40 kPa

After CO₂ treatment



Before CO₂ treatment

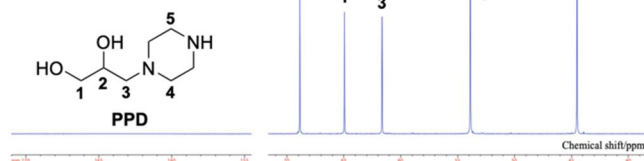


図 3. 逆ゲートデカップリング ¹³C NMR による PzPD と CO₂ の相互作用

よって、図 4 に示す機構により CO₂ が選択的にアミン含有 PVA 膜を透過したと推察された。

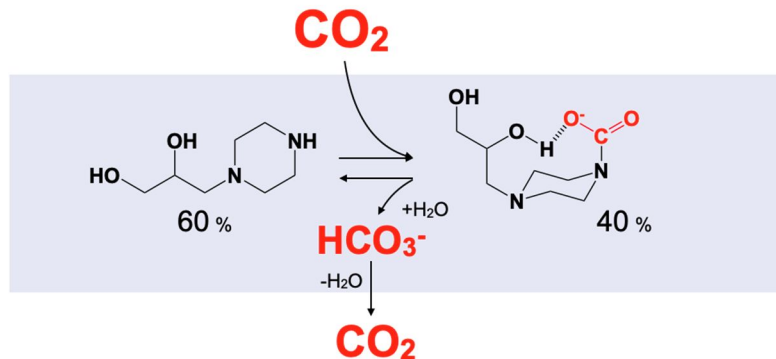


図 4. PzPD による CO₂ 透過機構の概略

2)アミン含有高分子膜のCO₂分離性能向上

これまで種々のアミンのスクリーニングを行なった結果、2-(2-aminoethylamino)ethanol (AEAE)が最も高いCO₂分離性能を示した。AEAEもPzPDと同様に、分子内に水酸基をもつアルカノールアミンであり、同じ炭素骨格のアミンと比較しても、そのCO₂分離性能は格段に高い。上述の検討結果から、CO₂の炭酸水素イオンへの転換を触媒するPz誘導体を添加することによって、AEAE含有高分子膜のさらなる分離性能向上が期待できる。そこで、Pz/AEAE比でPz誘導体を0-50 wt%添加した際の、CO₂/CH₄混合ガスからのCO₂分離を検討した。検討結果を図5に示す。これより、Pz誘導体を触媒量添加することによって、CO₂透過係数が向上することはなかったが、CO₂選択性が向上することがわかった。AEAEのみでもCO₂の炭酸水素イオンへの転換能力は非常に高いことが推察される。また、CO₂がPz誘導体と反応してイオン化することにより、より高分子膜の極性が増加したため、非極性のH₂の透過が抑制され、CO₂選択性が増加したと考えられる。

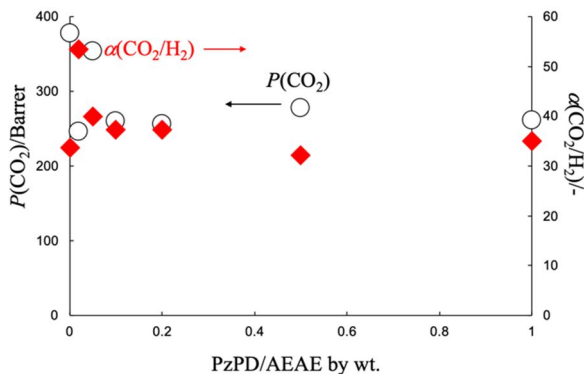


図5. アミン含有高分子膜のCO₂分離性能のPzPD/AEAE組成依存性
温度: 323 K; 相対湿度: 90%; $p(\text{CO}_2)$: 40 kPa; アミン含有量: 50 wt%

以上の検討結果より、PzによるCO₂の炭酸水素イオンへの転換メカニズム、それによる選択的CO₂透過が明らかとなった。そして、Pzを既存のアミン含有高分子膜に触媒量添加することによって、CO₂分離性能を相乗的に向上することに成功した。本研究の目的の一つであったCO₂透過流束 (=透過係数/膜厚)の向上について、17 GPUから62 GPUへ向上させることに成功したが、目標値の100 GPUには到達しなかった。検討した高分子膜の膜厚が10 μm程度であったため、今後は薄膜化によって透過流束の更なる向上が図られると推察される。また、ここで研究開発されたアミン含有高分子膜は、CO₂/H₂、CO₂/N₂およびCO₂/CH₄混合ガスからのCO₂選択分離において良好な分離性能を発揮するため、今後様々な用途展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Mariko Toyoda & Koki Minezaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Effect of amine structure on CO2 capture by polymeric membranes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 950-958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2017.139904	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikuo Taniguchi, Norihisa Wada, Kae Kinugasa, and Mitsuru Higa	4. 巻 15
2. 論文標題 CO2 capture by polymeric membranes composed of hyper-branched polymers with dense poly(oxyethylene) comb and poly(amidoamine)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Open Physics	6. 最初と最後の頁 662-670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1515/phys-2017-0077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Mariko Toyoda, and Mitsunari Matsunaga
2. 発表標題 CO2 capture by amine-containing polymeric membranes: Effect of relative humidity on the CO2 separation performance
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 アミン含有高分子膜の安定性と透過ガス回収に関する基礎検討
2. 発表標題 谷口育雄、衣笠佳恵
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 CO2分離中空糸膜モジュールの作成とそのガス分離性能
2. 発表標題 満原愛翔、松永充成、豊田真理子、谷口育雄
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中暖乃、衣笠佳恵、谷口育雄
2. 発表標題 アミン含有高分子膜によるネガティブエミッションへの挑戦
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Taniguchi
2. 発表標題 CO2 Capture by Alkanolamine-containing Polymeric Membranes: Mechanism of Preferential CO2 Permeation and Module Preparation
3. 学会等名 The 10th International Membrane Science and Technology Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 アミン含有高分子膜のCO2分離性能の操作条件依存性
2. 発表標題 田中暖乃、衣笠佳恵、谷口育雄
3. 学会等名 日本膜学会膜シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 満原愛翔、豊田摩理子、松永充成、谷口育雄
2. 発表標題 ポリアミンをCO2分離機能層とした中空系膜モジュールの作成とそのガス分離性能
3. 学会等名 日本膜学会膜シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Mariko Toyoda, and Koki Minezaki
2. 発表標題 CO2 capture by amine-containing polymeric membranes
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Mariko Toyoda
2. 発表標題 CO2 separation membrane modules for high purity CO2 recovery
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Taniguchi, K. Kinugasa, M. Toyoda
2. 発表標題 Facile hollow-fiber membrane module preparation for CO2 capture
3. 学会等名 12th Aseanian Membrane Society meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口育雄
2. 発表標題 アミン含有高分子膜によるCO2分離：分離メカニズムの解明と可能性
3. 学会等名 中国地区化学工学懇話会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口育雄
2. 発表標題 ネガティブカーボンエミッションへ向けた膜分離によるCO2分離回収
3. 学会等名 化学工会中国四支部2018年度セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Taniguchi
2. 発表標題 CO2 capture by membranes
3. 学会等名 Chemical Engineering lecture series, Yonsei University（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峯崎航希, 衣笠佳恵, 谷口育雄
2. 発表標題 アルカノールアミン含有高分子膜のCO2分離性能とガス透過メカニズム
3. 学会等名 日本膜学会第40年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 11. 谷口育雄, 衣笠佳恵, 峯崎航希
2. 発表標題 ピペラジン誘導体含有高分子膜のCO2分離性能
3. 学会等名 日本膜学会第40年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Taniguchi, K. Minezaki, K. Kinugasa
2. 発表標題 Elucidation of preferential CO2 transport mechanism of alkanolamine-containing polymeric membranes
3. 学会等名 高分子学会第67年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Minezaki, K. Kinugasa, I. Taniguchi
2. 発表標題 CO2 separation over H2 by amine-containing polymeric membranes: Interplay between gas transport properties and amine structures
3. 学会等名 11th Aseanian Membrane Society meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Taniguchi, K. Kinugasa, K. Minezaki
2. 発表標題 Carbon-free H2 Production by Membrane Separation from Biogas
3. 学会等名 11th Aseanian Membrane Society meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口育雄・衣笠佳恵・峯崎航希
2. 発表標題 アミン含有高分子膜のCO2選択透過メカニズムとネガティブカーボンエミッションへの展開
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口育雄, 衣笠佳恵, 豊田摩理子
2. 発表標題 バイオガスからの水素製造のカーボンフリー化を目的としたCO2分離膜の研究開発
3. 学会等名 第50回化学工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峯崎航希, 衣笠佳恵, 谷口育雄
2. 発表標題 アルカノールアミン含有高分子膜の選択的CO2透過メカニズム
3. 学会等名 第50回化学工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口育雄, 豊田摩理子, 衣笠佳恵
2. 発表標題 CO2分離膜モジュールの作成とその分離性能
3. 学会等名 日本膜学会膜シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峯崎航希, 衣笠佳恵, 谷口育雄
2. 発表標題 アミン含有高分子膜:水酸基の影響
3. 学会等名 日本膜学会膜シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Minezaki, K. Kinugasa, I. Taniguchi
2. 発表標題 Mechanism of Preferential CO ₂ Permeation over H ₂ through Amine-immobilized Polymeric Membranes
3. 学会等名 28th MRS-J annual meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Taniguchi, K. Kinugasa, M. Toyoda, K. Minezaki
2. 発表標題 CO ₂ Capture by Amine-containing Polymeric Membranes for Negative Carbon Emission
3. 学会等名 28th MRS-J annual meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口育雄、衣笠佳恵、豊田摩理子
2. 発表標題 ピペラジン誘導体含有高分子膜のCO ₂ 分離性能
3. 学会等名 日本膜学会第41年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Mariko Toyoda, and Koki Minezaki
2. 発表標題 CO2 capture by amine-containing polymeric membranes: Effect of hydroxyl group
3. 学会等名 高分子学会第68年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口育雄, 衣笠佳恵, 豊田摩理子, 峯崎航希
2. 発表標題 アミン含有高分子膜を用いたCO2分離における水酸基の効果
3. 学会等名 化学工学会第84年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口育雄、衣笠佳恵、吉澤舞
2. 発表標題 アミン含有高分子膜のCO2 透過メカニズム
3. 学会等名 日本膜学会第39年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 峯崎航希、衣笠佳恵、谷口育雄
2. 発表標題 アルカノールアミン含有高分子膜のCO2分離性能とガス透過メカニズム
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi
2. 発表標題 CO2 capture by polymeric membranes containing amines: interplay between structures and CO2 separation properties
3. 学会等名 ICOM2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口育雄、衣笠佳恵、吉澤舞
2. 発表標題 アミン含有高分子膜によるカーボンフリー水素製造の可能性
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi
2. 発表標題 CO2 capture by polymeric membranes for negative carbon emission
3. 学会等名 ICSST17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 峯崎航希、衣笠佳恵、谷口育雄
2. 発表標題 アミン含有高分子膜のCO2分離性能とアミンの化学構造の相関
3. 学会等名 日本膜学会膜シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口育雄、峯崎航希、衣笠佳恵
2. 発表標題 バイオガスからの水素製造のカーボンフリー化を目的としたCO2分離膜の研究開発
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口育雄、衣笠佳恵、峯崎航希
2. 発表標題 ビペラジン誘導体含有高分子膜のCO2 分離性能
3. 学会等名 日本膜学会第40年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峯崎航希、衣笠佳恵、谷口育雄
2. 発表標題 アルカノールアミン含有高分子膜のCO2分離性能とガス透過メカニズム
3. 学会等名 日本膜学会第40年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Koki Minezaki, Kae Kinugasa
2. 発表標題 Elucidation of preferential CO2 transport mechanism of alkanolamine-containing polymeric membranes
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa, Koki Minezaki
2. 発表標題 Carbon-free H2 Production by Membrane Separation from Biogas
3. 学会等名 Aseanian membrane society meeting 11 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koki Minezaki, Ikuo Taniguchi, Kae Kinugasa
2. 発表標題 CO2 separation over H2 by amine-containing polymeric membranes: Interplay between gas transport properties and amine structures
3. 学会等名 Aseanian membrane society meeting 11 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

谷口研究室 http://i2cner.kyushu-u.ac.jp/~ikuot/ 研究室ホームページ http://i2cner.kyushu-u.ac.jp/~ikuot/
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考