

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00626

研究課題名(和文) 二酸化炭素標的捕捉吸着剤を用いた消化ガスの吸着・精製と吸着熱の高効率回収利用

研究課題名(英文) Adsorption purification of biogas and high-efficiency utilization of the adsorption heat

研究代表者

松本 明彦 (MATSUMOTO, AKIHIKO)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90239088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：二塔式真空圧力スイング吸着(VPSA)装置による二酸化炭素(CO₂)の高効率な吸着分離を目指して、吸着塔(A)でのCO₂吸着で発生する熱を脱着過程の吸着塔(B)の加熱に利用することを試みた。特殊な熱交換器で吸着塔A,Bを連結した結果、CO₂吸着時の吸着塔A内の温度は7～10K程度低下し、脱着塔B内の温度が同程度上昇した。熱交換器の導入で吸着塔Aの温度上昇が抑制された結果、CO₂吸着量は1.5倍程度増加した。以上、本システムによりCO₂の高効率な分離の実現が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での吸着剤の検討によりCO₂とゼオライト表面の陽イオン間の相互作用機構に対するイオン数・種の効果が明らかになった。また、適切な熱伝導体で2つの吸着塔を熱的に連結することで、吸着に伴い発生する熱の除去と有効利用が実現した。本技術を最適化して実用化できれば、CO₂除去が望まれている、製鉄、下水処理に利用できる。さらに本技術は他の気体についての効率良い吸着脱離への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：A vacuum pressure swing adsorption system with twin adsorption towers is applicable to high efficiency adsorption separation of carbon dioxide (CO₂). In this study, two adsorption towers are connected together with thermal conducting devices to transfer adsorption heat evolved at an adsorption tower (A) in the adsorption process of CO₂ to another tower (B) in the desorption process. The adsorption heat in the tower A successfully conducts the tower B; the temperature inside the tower A dropped by ca.10K and that in the tower B increased. The adsorption amount of CO₂ in the tower A increased by 1.5 times since the temperature in the tower A was suppressed by the heat conductor. These results is applicable to highly efficient separation of CO₂ by the system.

研究分野：吸着化学

キーワード：吸着 真空圧力スイング吸着 ゼオライト 二酸化炭素 吸着熱 消化ガス 脱着

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球の温暖化防止と循環型社会の構築のためには、カーボンニュートラルなバイオマス資源の有効利用が急務である。下水汚泥の嫌気性消化により生じる消化ガスはメタンを含有しておりバイオマス資源として注目されている。このため、消化ガスの有効利用が国内外で研究されており、国内では約 300 箇所の下水処理場で嫌気性消化を利用して消化ガスが得られている。しかし消化ガスのメタン含有率は約 60%に過ぎず、不純物として約 40%の二酸化炭素 (CO₂)と微量の水蒸気、硫化水素 (H₂S)、環状シロキサン ([(CH₃)₂SiO]₄ (D4), [(CH₃)₂SiO]₅ (D5)) などを含まため、燃焼により得られる熱量はメタンよりも低い。また、微量不純物の H₂S やシロキサンは燃焼により、腐食性のイオウ酸化物 (SO_x) や凝集・固着する二酸化ケイ素 (シリカ) を生成する。このため消化ガスを発電・熱供給に利用する場合は、こうした反応生成物からガス燃焼設備の損傷を防止するための対策が必要となる。この対策の煩雑さから、現在消化ガスのほとんどは利用されずに焼却されており、下水処理場の自家発電や消化槽の加温に有効に利用されているのは消化ガス全体のわずか 30%に過ぎない^{1,2}。消費ガスを高熱量燃料としての利用を促進するには、CO₂ と不純物を除去してメタン濃度を高めることが必要である。

現在、消化ガスの CO₂ を除去してメタン濃度を高めるために、結晶性アルミノケイ酸塩のゼオライトを用いた吸着委分離が行われている。しかし、吸着は熱力学的に発熱を伴うため、図 1 に示すように、消化ガスをゼオライトの入った CO₂ 吸着塔に通じると、ゼオライトに CO₂ が吸着し、その際に生じる吸着熱が発生して温度が上昇するため、ゼオライトに吸着した CO₂ の脱着が起こり、精製効率が低下する。この吸着熱を効率よく取り除き、回収できれば、CO₂ の吸着量が増加して効率の良いメタンの精製が実現できるとともに熱エネルギーの有効利用が期待できる。これまで申請者は、ナノメートル次元の細孔を有する多孔体について、細孔の口径や表面の化学組成が気体吸着に及ぼす影響を吸着熱の直接測定により明らかにし、気体の選択的な吸着分離への応用を検討してきた^{3,4}。これらの検討から、吸着の標的とする気体分子の化学的性質や分子径を考慮して多孔体を選択し、気体分子-表面間の相互作用を考慮して細孔径・細孔構造や表面化学組成を制御すると、多孔体の気体の吸着性、吸着熱が制御できることを明らかにしている。

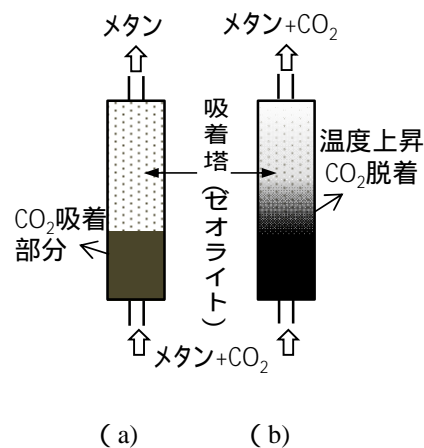


図 1 CO₂ の吸着除去による消化ガスの精製概念図

消化ガス (メタン + CO₂) をゼオライトの入った吸着塔に導入した直後は、CO₂ が吸着されメタンが得られる (a)。導入を続けると、吸着熱で吸着塔の温度が上昇し、CO₂ が脱着し、CO₂ 吸着している部分としていない部分の境界 (物質移動帯) がより幅広くなる (b)。

参考文献 1. 建設電気技術協会, 建設電気技術, 142, 33(2004). 2. (社) 下水道統計平成 15-19 年度, 3. F.-Y. Yeoh, A. Matsumoto, Y. Iwase and T. Baba, Adsorption Science and Technology, 26, 479-489(2008). 4. A. Matsumoto, T. Ito, Characterization of Porous Solids, 8, 118(2009).

2. 研究の目的

本研究は、消化ガス中の CO₂ を吸着除去して、メタンを高純度化するとともに、この過程において発生する CO₂ 吸着熱を効率よく回収し有効利用することを目指した。吸着剤にゼオライトを用い、構造・イオン種・数と吸着分離特性の相関を解明するとともに吸着熱を効率よく回収し CO₂ 吸着・再生に利用するプロセスの構築を目指した。この目的達成のため、次の (1) ~ (3) をおこなった。

- (1) ゼオライトの CO₂ 吸着特性化 CO₂ はゼオライト中の陽イオンと強く相互作用して吸着し、吸着熱を発生する。相互作用の強さは、吸着熱に影響する。陽イオン種・数が異なるゼオライトに CO₂ が平衡吸着するときの微分吸着熱を測定して吸着の強さを定量的に明らかにする。
- (2) 流通吸着系での CO₂ 吸着特性化と吸着熱の回収 CO₂ がゼオライト入りの吸着塔を流通する際の吸着挙動を調べ、ゼオライトのイオンの種類・数・構造が流通系での CO₂ の吸着・分離能に及ぼす影響を調べる。また、流通系で生じる熱量と平衡吸着時の吸着熱量を比較する。消化ガスモデルとして CO₂/N₂ 混合ガス (4:6) を用いて CO₂ の吸着・分離挙動を調べる。
- (3) 消化ガス分離・濃縮システムの開発 圧力スイング吸着システム (VPSA) に熱回収システムを組み込み、効率良い吸着分離・濃縮・吸着熱回収システムの構築を目指す。

3. 研究の方法

H29年度は、CO₂吸着分離に最適なゼオライトの選択を目的として、ゼオライト中の陽イオンの種類・数・構造の選択をした。その結果、最適だったナトリウムイオン型低シリカXゼオライト(LSX,ゼオライト13X)についてCO₂の平衡吸着測定、微分吸着熱測定を行った。また、現有の真空圧カスイング吸着(VPSA)装置を用いて、窒素N₂-CO₂混合ガス(60v/v%)を消化ガスモデルガスとしてCO₂吸着分離能を調べた。

H30年度は2塔式CO₂吸着・脱着VPSAシステムをベンチスケールで試作して(図2)、吸・脱着機能を調べた。H31年度も引き続いて、2塔式VPSAシステムの改良とともに、吸着塔(A)へのCO₂吸着時に発生する吸着熱を、脱着過程にあるもう一つの吸着塔(B)に伝導して脱着熱の補償に利用し、A塔内の温度上昇の低減による吸着性能の維持とB塔内の脱着温度低下の低減による再生過程の効率化を図った。またCO₂吸着等圧線を測定し、吸着塔内の温度分布の変化から吸着塔内の吸着量分布を解析してCO₂の吸着分離における吸着熱の影響を調べた。

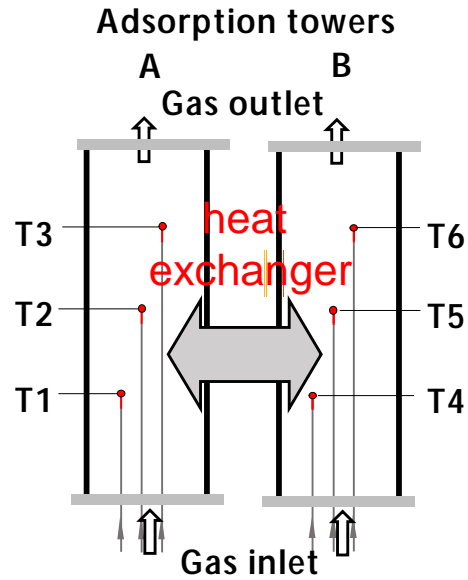


図2 2塔式VPSA装置の概念図 吸着塔A,Bは熱交換器で接続されている。Tは熱電対を示す。吸着塔は長さ280cm,直径70mm

4. 研究成果

(1) ゼオライトのCO₂吸着特性化

各種ゼオライトへのCO₂の平衡吸着を調べた。その結果、ナトリウムイオン型低シリカXゼオライト(LSX)が吸着剤として最適であることが分かった。図3にLSXゼオライト13Xの吸着等温線を示す。

吸着等温線は低平衡圧Pにおいて吸着量が増加しており、13XはCO₂が強く相互作用する。P=1.15kPaでCO₂吸着量は2.14mmol/gを示し、P=101.3kPaで5.15mmol/gだった。消化ガス中のCO₂分圧(40kPa)のときの吸着量は4.64mmol/gであった。この結果から、カラムに流入するCO₂流量と充填するゼオライト量を設計した。

13XのCO₂の微分吸着熱は、吸着初期で54-55kJ/molであり吸着量の増加とともに39kJ/mol程度に漸次減少した。

本結果からToth式^{1,2}を用いて二酸化炭素吸着量を推算するにあたり、強いサイトへの吸着によって生じた微分吸着熱を、 $Q_{strong} = 53.7 \text{ kJ/mol}$ 、弱いサイトへの吸着によって生じた微分吸着熱を、 $Q_{weak} = 38.8 \text{ kJ/mol}$ とし解析すると、ゼオライトは強いCO₂吸着サイトと弱い吸着サイトからなり、強い吸着サイトへの吸着量は低圧

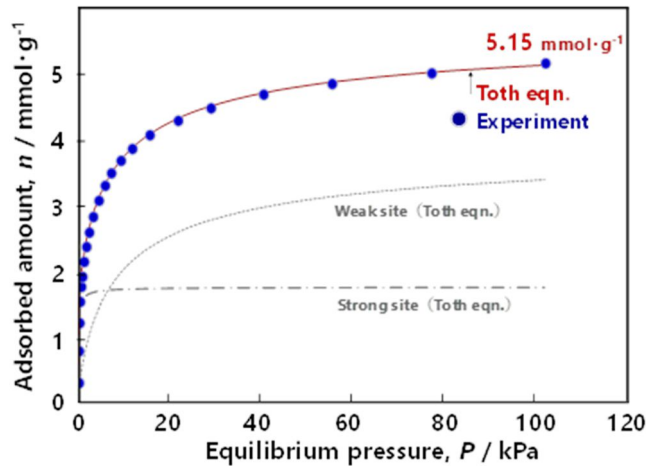


図3 13XのCO₂吸着等温線(●印)

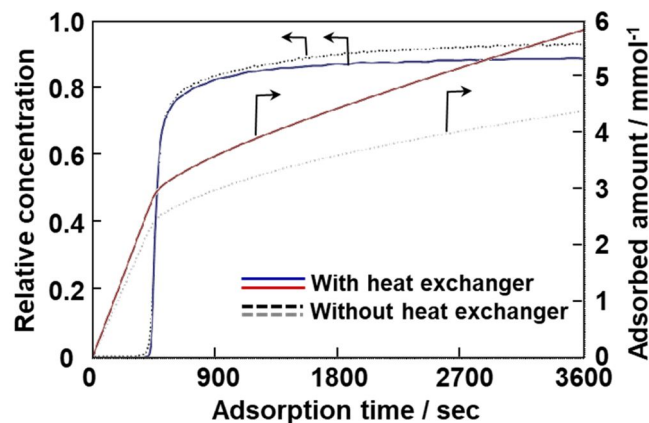


図4 2塔式VPSAの積算吸着量と吸着破過曲線の熱交換器連結の有無による変化

側で増大し 1.74 mmol/g で一定となった。一方、弱い吸着サイトへの吸着量は徐々に増大し測定範囲で 3.41 mmol/g まで上昇した。

真空圧カスイング吸着(VPSA)装置を用いて、ゼオライト 13X の窒素 N_2 - CO_2 混合ガス(60v/v%) の CO_2 吸着を調べた。その結果、図 4 に示したように吸着破過曲線は熱交換器の有無により変化した。熱交換器がない場合は吸着開始後 300 sec で破過し、その時の積算吸着量は 1.81 mmol/g であったが、熱交換器を導入すると破過時間が 390 sec と遅くなり、その時の吸着量は 2.50 mmol/g に増加した。破過後の CO_2 の相対濃度 C/C_0 変化は熱交換器の有無にかかわらず $C/C_0 = 0.75$ 付近までは同じ挙動を示した。これは物質移動体(MTZ)が熱交換器の有無にかかわらず一定であることを示す。しかし破過後 3600 秒後で比較すると、 C/C_0 は熱交換器導入前後で 0.91 から 0.88 と若干減少した。 CO_2 積算吸着量は熱交換器導入前後で 4.37 mmol/g から 5.85 mmol/g と、約 34% 向上した。以上の結果、熱交換器による吸着塔内の温度の低減によって、ゼオライトの吸着量が向上したと考えられる。

図 5 に吸着塔 A,B を熱交換器で連結する前後の吸着塔 A 内ガス導入口から 50 mm の位置の温度変化を示す。熱交換器導入する前は、吸着に伴い直ちに温度が上昇し、353K に達したのち漸次減少した。これは、 CO_2 吸着が吸着塔の下部から起こり、吸着熱により発熱することを示す。一方、熱交換器を導入すると温度上昇は抑制され、最高温度は 346.6K に低下した。その他の部分(吸着塔中心、吸着塔上部から 50 mm)も熱交換器の導入で吸着時の吸着塔の温度は概ね 8K 程度低くなった。

吸着塔 A に充填された 13X から生じた吸着熱は、熱交換器により吸着塔 B のゼオライトに伝導し吸着塔 B の温度が上昇した。図 2 に示す、吸着塔 B 側のそれぞれの熱電対の温度変化は、T4 が最大で 5.52 K、T5 が 7.04 K、T6 が 10.1 K であった。吸着塔 B の T4、T5、T6 では吸着開始後それぞれ 210、390、450 sec で温度が上昇し始め、吸着塔 A の同じ高さに設置した熱電対 T1、T2、T3 の温度上昇が始まる時間より約 150-200 sec 遅い。これは、A 塔の 13X ビーズ - 熱交換器 - B 塔の 13X ビーズへの熱伝導が点接触によるため伝導度が悪いことによると考えられる。

CO_2 吸着により吸着塔 A で発生した吸着熱は 173.0 kJ であり、吸着塔 B へ移った熱は 176.8 kJ である。これは吸着塔 A で発生した吸着熱がほぼ 100% を伝導していることを示唆する。ただし、実際は平衡吸着時の積算吸着熱から出した値を、流通吸着系の温度変化に適用していることから誤差を含むと考えている。

以上熱交換器を導入した 2 塔式小型 VPSA 装置を作成し、 N_2 - CO_2 混合ガス(60v/v%) の CO_2 分離挙動を調べた。その結果、 CO_2 吸着時の吸着塔から、5-26% の温度低減効果が確認された。またその熱を吸着 CO_2 の真空脱気を実行している吸着塔に伝導することで、吸着過程にある吸着塔の温度はさらに 2-5% 低減した。この熱交換機による吸着塔の温度の低減により吸着量は 29-34% 向上し、熱交換器の熱伝導効率は 100% (見積値) であった。Toth 式による二酸化炭素吸着量分布において、吸着塔上流部が最も吸着量が高いことが分かった。さらに、熱交換器導入に伴い吸着破過時間が大きく変化したことから、ゼオライト細孔内への CO_2 の拡散にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。以上より、本研究により VPSA 装置における熱交換器導入の有効性を実証することが出来た。

参考文献

1. K.Zabielska, T. Aleksandzak, E. Gabrus, Chem. Process. Eng, 39, 309-321(2018).
2. Marta G. Plaza et al., Ind. Eng. Chem. Res, 55, 3097-3112(2016).
3. Ho Viet Thang et al., Catalysis Today, 227, 50-56 (2014).

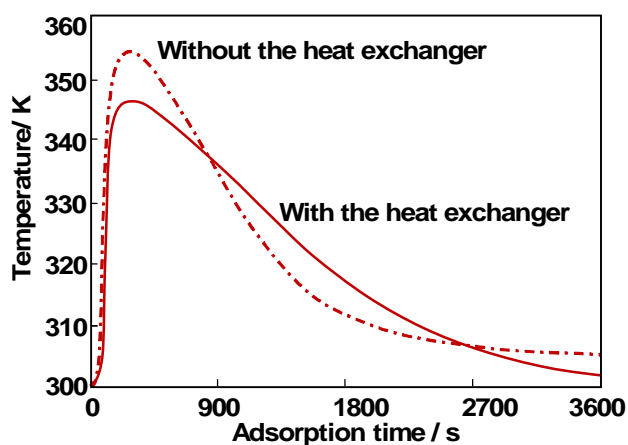


図 5 吸着時間と吸着塔 A 内の熱電対 T1 の温度変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Misran, S.Z. Othman, N. Mahadi, Z. Aspanut, Z. Lockman, A. Matsumoto, N. Amin,	4. 巻 135
2. 論文標題 Water Adsorption Characteristics and Microcalorimetric Studies of MOF-5 and MOF-199 Synthesized Using ``Green'' Sol-Gel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica A	6. 最初と最後の頁 1119 -1122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12693/APhysPoIA.135.1119	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 該当する
1. 著者名 Pei Ling Yew, Ooi Chee-Heong, Matsumoto Akihiko, Yeoh Fei-Yee	4. 巻 44
2. 論文標題 Properties evaluation and fabrication of green clay reformulated from water sludge	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 1411 ~ 1419
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ceramint.2017.09.214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hasegawa Keiichi, Matsumoto Akihiko	4. 巻 1865
2. 論文標題 Role of cation in target adsorption of carbon dioxide from CO ₂ -CH ₄ mixture by low silica X zeolites	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 API Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.4993321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akane Inoue, Akihiko Matsumoto	4. 巻 1865
2. 論文標題 Rapid adsorption removal of hydrogen sulfide by surface-modified activated carbon	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 API Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.4993322	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi Satoshi、Matsumoto Akihiko	4. 巻 1865
2. 論文標題 Efficient adsorption concentration and photolysis of acetaldehyde on titania-mesoporous silica composite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 API Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4993333	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永谷, 寺尾, 松山, 高木, 高木, 伊藤, 松本, 竹市	4. 巻 50
2. 論文標題 ポリフェニレンスルフィド樹脂/熱伝導性フィラー複合材料の高熱伝導化におよびアボスフィラーの形状効果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料の科学と工学	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Misran, N. Mahadi, S.Z. Othman, Z. Lockman, N. Amin, A. Matsumoto	4. 巻 1082
2. 論文標題 Room Temperature Synthesis and Characterizations of ZIF-8 Formation at Water-Fatty Alcohols Interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1082/1/012046	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 該当する

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 MATSUMOTO Akihiko, SAKASHITA Kango, ITO Hiromitsu
2. 発表標題 Characterization of Adsorption-Desorption and Diffusion of Carbon Dioxide in Micropores of Low Silica X Zeolite by Frequency Response Method
3. 学会等名 International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 MATSUMOTO Akihiko, MIZUNO Shigeki, ITO Hiromitsu
2. 発表標題 Characterization of Electrostatic Field Strength in Zeolite Cavities by Adsorption Microcalorimetry of Methane as Probe Molecule
3. 学会等名 8th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 尾崎稜太, 坂下寛悟, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 Na-LSX細孔内におけるCO ₂ 分子のホッピング拡散に対する交換性カチオンの影響
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小熊亮弘, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 アンモニア吸着マイクロカロリメトリ によるCa-Xの酸点の特性化
3. 学会等名 第35回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川幸佑, 伊藤博光, 松本明彦, 清野重之, 秋葉喜久男, 網谷基徳
2. 発表標題 吸着熱を利用した高効率VPSAシステムの開発
3. 学会等名 第33回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷祐太, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 粒子径に依存したZIF-8のVOCs吸着熱挙動
3. 学会等名 第33回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾崎稜太, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 FAU型ゼオライトへのCO ₂ 吸着における細孔内拡散と粒子表面透過の競争
3. 学会等名 第33回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MATSUMOTO Akihiko
2. 発表標題 Application of Porous Materials to Adsorption Technology
3. 学会等名 The 12th Regional Conference on Materials Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ITO Hiromitsu, OZAKI Ryota, SALASHITA Kango, MATSUMOTO Akihiko
2. 発表標題 Hopping Diffusion of CO ₂ in Pores of Na-FAU Type Zeolite
3. 学会等名 13th International Conference on Fundamentals of Adsorption (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MATSUMOTO Akihiko, NISHIMURA Seiichi, ITO Hiromitsu
2. 発表標題 Correlation Between Adsorption Energy and Chromatographic Selectivity of Aromatics on Silanized Mesoporous Silica
3. 学会等名 13th International Conference on Fundamentals of Adsorption (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木祐太, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 メソポーラスシリカ細孔への非親和性分子の迅速な物質輸送
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後呂有哉, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 鉛の粒子成長過程におけるCO ₂ 吸着特性と表面化学構造
3. 学会等名 第98日本化学会春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 PHAM Thi Huong Ngat, ITO Hiromitsu, MATSUMOTO Akihiko
2. 発表標題 An Unique Adsorption Behavior of Acetaldehyde on Oxidized Activated Carbon
3. 学会等名 第98日本化学会春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Misran, N. Mahadi, S.Z. Othman, Z. Lockman, N. Amin, A. Matsumoto
2. 発表標題 Room Temperature Synthesis and Characteri- zations of ZIF-8 Formation at Water- Fatty Alcohols Interface
3. 学会等名 Regional Conference on Materials and ASEAN Microscopy Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 MATSUMOTO Akihiko
2. 発表標題 Gas adsorption on porous materials towards creation of sustainable society
3. 学会等名 Regional Conference on Materials & ASEAN Microscopy Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤博光, 浅倉啓介, 荻野智大, 飯山拓, 松本明彦
2. 発表標題 新規吸着速度測定法を用いた規則性メソポーラスシリカSBA-15への動的ガス吸着メカニズムの解明
3. 学会等名 第33回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂下寛悟, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 周波応答法によるゼオライト細孔内への二酸化炭素吸・脱着, 拡散過程の解析
3. 学会等名 第33回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤博光, 佐々木祐太, 松本明彦
2. 発表標題 規則性メソポーラスシリカのナノ限定空間を用いたフラーレンC60の物性制御
3. 学会等名 第31回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂下寛吾, 伊藤博光, 松本明彦
2. 発表標題 周波応答法によるゼオライト細孔内へのCO2拡散・吸着の解析
3. 学会等名 第25回ゼオライト学会ゼオライト夏の学校
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	伊藤 博光 (Ito Hiromitsu) (00780579)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13904)	