

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05559

研究課題名(和文) 二酸化炭素回収・有効利用・削減に向けた総合的プロセス実現のための材料開発

研究課題名(英文) Material development to realize a comprehensive process for carbon dioxide recovery, effective utilization, and reduction

研究代表者

加納 博文 (KANO, Hirofumi)

千葉大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：60334166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：1) 湿潤下でのCO₂回収材として有望なK₂CO₃やNa₂CO₃における問題を克服するために炭素とのコンポジット化やMg原子をドーブすることで、反応速度の向上と再生温度の低下において有意な効果を認めた。この効果の要因としてNa₂CO₃がナノ結晶になることと、制約された空間において構造歪をもたらすことが示唆された。また対象ガスに含まれるSO₂やNO_xの効果を予備的に検討した。2) プラズマCVD装置を作製し、C₂H₂とNH₃を原料に鉄基板に窒素ドーブカーボンを形成した薄膜を調製し、CO₂の電気化学還元用電極として検討した。3) 柔軟な構造を持つMOFを用い、高選択的O₂吸収の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化ガスであるCO₂の削減を実現するには、CO₂の回収・貯留、有効利用および排出量の低減が必要である。これまで進めてきた有望なCO₂回収材であるNa₂CO₃炭素コンポジットのより安価な調製法の開発と、課題となっていた反応促進や再生コスト高低減の指針を得た。さらにNa₂CO₃炭素コンポジットの大気からの直接CO₂回収技術への適用可能性も広がった。また、柔軟構造をもつMOFの酸素濃縮について、比較的温和な条件で行える可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：1) In order to overcome problems in CO₂ capture by K₂CO₃ and Na₂CO₃, which are promising materials under a moist condition, we prepared their composites with carbon, and also proceeded with the compositing of Mg-doped Na₂CO₃. It was found that these materials showed a significant effect on improving the reaction rate and lowering the regeneration temperature. It was suggested that Na₂CO₃ becomes nanocrystals as a factor of this effect and that it has structural strain in the constrained space. In addition, the effects of SO₂ and NO_x contained in the target gas were examined in advance. 2) A plasma CVD device was prepared, and a thin film in which nitrogen-doped carbon was formed on an iron substrate using C₂H₂ and NH₃ as raw materials. The film was examined as an electrode for electrochemical reduction of CO₂. 3) Using structurally flexible MOF, the possibility of highly selective O₂ sorption was shown.

研究分野：界面化学、吸着科学

キーワード：環境負荷低減物質 アルカリ金属炭酸塩 二酸化炭素回収 異種原子置換 ナノ構造化 コンポジット
カーボン電極 酸素濃縮

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Na_2CO_3 や K_2CO_3 は、室温付近で水とともに CO_2 を吸蔵し、 NaHCO_3 や KHCO_3 になる。これらの理論容量は 7 - 9 mmol/g と非常に高く、室温付近で反応する固体試料の中で一番高い吸蔵量である。これらの物質を用いた反応については工学的観点からの研究は多かったが、基礎的観点から詳細な検討がなく、異なる温度や湿潤条件の影響についてはほとんど緻密な研究がなされていなかった。また、CCS 技術の CO_2 貯留技術においても現状では問題もあり、 CO_2 固定・貯留技術の観点からもアルカリ金属炭酸塩の利用は重要であった。そこで、申請者らはここ数年間で K_2CO_3 および Na_2CO_3 を用いた CO_2 回収に関する挙動について基礎的に詳細に調べ、今まで知られていなかった反応機構を明らかにし、 CO_2 吸蔵反応を制御するための条件をまとめた。さらに、より安価で CO_2 吸蔵量は高いが、反応速度が遅いなどの問題が多かった Na_2CO_3 の課題を克服するために、ナノ粒子化したり、Mg などの異原子を導入したりするなどして、構造不安定化を誘引し反応活性を高めた。しかしながら反応速度や再生コストの問題が依然として残ったため、さらに反応性を高めるための対策が必要であった。また、実用化を目指すためには工場排ガスで CO_2 と共存する酸性ガスの影響について調べる必要があった。

また、CCU 技術を検討していたところ、 CO_2 の有効利用についての重要性を認識し、特にエタノール生成の反応について重要であることがわかったため、窒素含有ナノカーボン電極に銅ナノ粒子を電析した電極を用いて、 CO_2 の選択還元反応を検討する必要があった。

また CO_2 削減の一つの方法として高濃度酸素の利用が挙げられるが、空気からの酸素濃縮について、以前より構造柔軟性 MOF である ELM の窒素や酸素の吸着特性を把握していた。これらの研究は以前の研究において明らかにしたものであったが、空気からの酸素濃縮からの観点からの検討はしていなかったため、 CO_2 の削減に重要な酸素濃縮について本申請研究課題の研究項目として検討することとした。

以上のように地球規模での急務的課題である CO_2 の削減を行うために、多面的、包括的な研究を行うことにした。

2. 研究の目的

本研究では以下の 3 つの研究項目を行うこととした。

(1) Na_2CO_3 炭素ナノコンポジットによる CO_2 回収技術の実用化に向けた取り組み

カーボン材とのナノコンポジットを得、 Na_2CO_3 や K_2CO_3 の安定なナノ構造を形成することで CO_2 吸蔵反応速度の促進、および、吸蔵反応後加熱分解による Na_2CO_3 や K_2CO_3 への再生を 100 程度に低減することを検討し、ほぼ満足のいく成果を得た。ここではさらに反応促進が加速されるよう、 Na_2CO_3 に異種原子である Mg 原子をドーピングして構造不安定化を誘起するとともに、この物質の炭素とのナノコンポジット化を行い、 CO_2 回収反応への効果を明らかにすることを目的とした。また実際の工場で発生する対象ガスには、硫黄や窒素を含んだガスが排出されるため、多くの回収材の性能を低下させるという問題がある。本反応系においても、これらの不純物ガスの影響を調べることにした。

(2) CO_2 の選択還元によるエタノール生成の検討

以前から CO_2 の選択還元によるエタノール生成に関する研究報告があるが、生成物

としては主に CO や CH₄、CH₃OH など C1 化学として知られていた。最近、C2 化学の報告もいくつか見られるようになった^{1,2)}。本研究では窒素含有ナノカーボン電極に銅ナノ粒子を析出させた電極(Cu/N-NC)により、エタノール生成に向けた選択還元反応について検討した。本電極を用いてエタノールが生成する条件を明らかにし、CO₂の有効利用に向けた選択還元反応条件を確立することを目的とした。

(3) 構造柔軟性 MOF による空気からの酸素濃縮の検討

酸素濃度の高い空気による燃焼により CO₂ の大幅な削減が可能であることが分かっている。そこで、容易に空気から酸素を濃縮できるシステムを構築し、あらゆる燃焼を効率的に行い、CO₂ の削減を促進する物質の開発が必要である。本研究提案者らは、これまで構造柔軟性金属-有機構造体(Elastic Layered-structure MOF : ELM)が、CO₂ やメタンを選択的に分離濃縮可能であることを明らかにしてきた。これは ELM がガス分子に依存して、異なる温度や圧力で構造変化を伴うガス吸収を示すことに起因するものである。これをゲートが開くように構造を変化させるので、「ゲート現象」と呼んでいる。本項目では、酸素と窒素に対して、異なる温度や圧力で異なる吸収現象を示す ELM を探索し、容易に空気から酸素を分離する物質を調製し、新たな酸素濃縮システムを提案することと目的とした。

3 . 研究の方法

(1) Na₂CO₃ 炭素ナノコンポジットによる CO₂ 回収技術の実用化に向けた取り組み

Na₂CO₃ に Mg 原子を導入して得た Mg-ドーピング Na₂CO₃ の CO₂ 回収反応は改善される効果があるので、さらにテレフタル酸と NaOH から生成する粉末を 873 K で焼成すると、炭素とのナノコンポジットが得られる。本試料について、CO₂ 回収反応の速度や、CO₂ 吸蔵した試料からの CO₂ 脱着による再生のために必要なエネルギーを調べた。

・Na₂CO₃ この反応系に SO_x 系や NO_x ガスを共存させることで、Na₂CO₃ 炭素ナノコンポジットの CO₂ 吸蔵特性がどのような影響を受けるかを検討した。これらの結果を考察して、実用化に向けた改良を検討した。

(2) CO₂ の選択還元によるエタノール生成の検討

アンモニア共存下でエチレンガスを用いて CVD 法で調製した窒素含有ナノカーボンを電極として用い、CuSO₄-硫酸溶液中で 10 秒程度電析して銅ナノ粒子(Cu/N-NC 電極)を得る。電圧-電流、時間の条件を変えることで、銅ナノ粒子の大きさを制御した。得られた Cu/N-NC 電極を用い、KHCO₃ 溶液中で CO₂ を流通させた条件で還元電位を印加し、6 時間反応させた後の電解液中の成分を、ガスクロマトグラフィーおよび NMR 法を用いて分析し、エタノール生成条件を検討した。

(3) 構造柔軟性 MOF による空気からの酸素濃縮の検討

種々の ELM を中心に、窒素と酸素の吸着等温線を測定し、窒素と酸素のゲート開口圧を調べ、空気分離に有効な物質を調べた。実際の空気(窒素:酸素=8:2 混合ガス)からの酸素濃縮条件を検討した。

4 . 研究成果

1) 湿潤下での CO₂ 回収材として有望な K₂CO₃ や Na₂CO₃ は理論上の回収量は多いが、反応速度が遅いとか再生温度が高いといった問題点がある。このような問題点を克服するために炭素とのコンポジットを調製したり、異種原子である Mg をドーピングしたりすることで構

造の活性化を誘起し、 CO_2 回収と再生において効率的なプロセスになることを確認した。本年度は K_2CO_3 の炭素とのコンポジット化により CO_2 回収反応速度の向上と再生温度の低下について検討した。その結果、コンポジットにすることで、反応速度の向上と再生温度の低下において有意な効果があることを認めた。また、炭素材とのコンポジット調製にテレフタル酸を用いてきたが、より安価なクエン酸を用いてもコンポジットが生成することを確認した。

Na_2CO_3 を炭素とのコンポジットにする際に、 Mg を少量加え、 Mg ドープした Na_2CO_3 の炭素とのコンポジット化による CO_2 回収反応速度の向上と再生温度の低下について検討した(図1)。その結果、 Mg をドープした Na_2CO_3 の炭素コンポジットは、 Mg ドープ量(x)の増加とともに反応速度が上昇した。また、 NaHCO_3 に変化したのち、加熱による再生において、再生温度の低下において有意な効果があることを認めた。

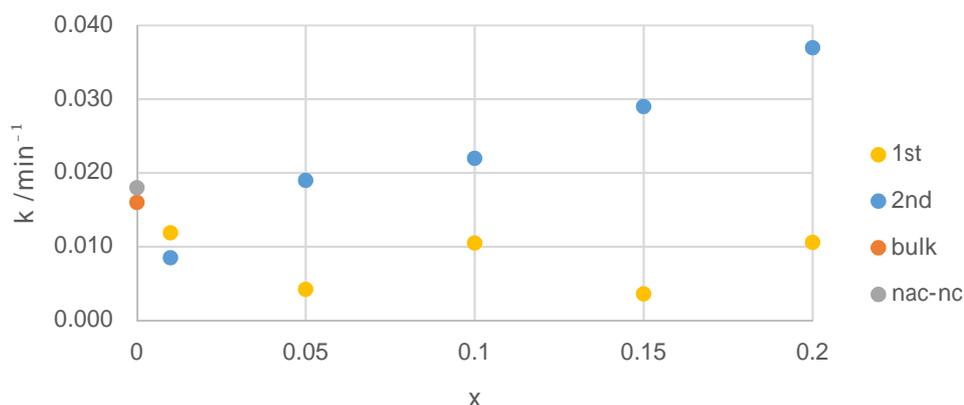


図1 Mg ドープ Na_2CO_3 の湿潤下における CO_2 吸蔵反応
1 回目 (1st) と 2 回目 (2nd) の反応速度 (k)
bulk: Na_2CO_3 粉末, nac-nc: Na_2CO_3 -炭素ナノコンポジット (Mg なし)
 x は $\text{Mg}_{x/2} \text{Na}_{(1-x)} \text{CO}_3$ の組成

また Na_2CO_3 と炭素とのコンポジットにおけるナノ構造について、 X 線回折ピークを解析した。ナノコンポジット化された Na_2CO_3 の構造パラメータは、文献値のものとは異なることがわかった。さらに炭素成分の役割についてことで調べた結果、 Na_2CO_3 がナノ結晶になることと、制約された空間において構造歪をもつことが示された。そのため、バルク粉末との反応性の違いが生じたと結論づけた。

化学的生成法により SO_2 ガスと NO_x ガスを生成させ、 NaHCO_3 をこれらガスに暴露し、その後 CO_2 回収への影響を調べた。固体が酸性ガスにより中和され、一部が CO_2 回収できなくなると考察した。

(2) CO_2 の選択還元によるエタノール生成の検討

プラズマ CVD (PACVD) 装置を作製し、アセチレンとアンモニアを原料に鉄基板に窒素ドープカーボンを形成した薄膜を調製した。さらに PACVD 装置で金属銅微粒子を析出させ、 $\text{Cu}/\text{N-C}$ 電極を作製した。また、 CuSO_4 を含む硫酸溶液中で N-C 電極上に Cu ナノ粒子を N-C 電極表面に電析させた。これら電極を用い KHCO_3 溶液中 CO_2 存在下で電気化学還元を行うことで有機物の生成に関係する白濁が見られた。しかしながら、成分分析するまでの量は得られず、電極面積の増大が必要であることが理解された。

(3) 構造柔軟性 MOF による空気からの酸素濃縮の検討

柔軟な構造を持つ **ELM-11**, **ELM-12** 及び **ELM-13** を用い、異なる組成比 ($\text{N}_2:\text{O}_2=1:1, 7:3, 8:2, 9:1, 95:5, 98:2$) の混合ガスに対する **77 K** における吸収等温線を測定した。

図 2 は **ELM-11** の $\text{N}_2:\text{O}_2=8:2$ の混合気体に対する吸収等温線が、純 O_2 の吸収等温線に類似していることを示す。このように **ELM-11** では N_2 が **90%** の混合気体であっても純 O_2 の等温線に似た挙動を示し、高選択的 O_2 吸収の可能性を示した。また **ELM-11** の吸着構造を仮定して、分子吸着シミュレーション法により酸素の選択性について検討し、実験結果との比較を行った。分子シミュレーションの結果も高選択的 O_2 吸収を支持した。

さらにガス吸収の時間変化の結果は、

ELM-11 では N_2 に比べ O_2 に対して速い吸収反応が示され、圧カスイング分離への応用可能性が認められた。

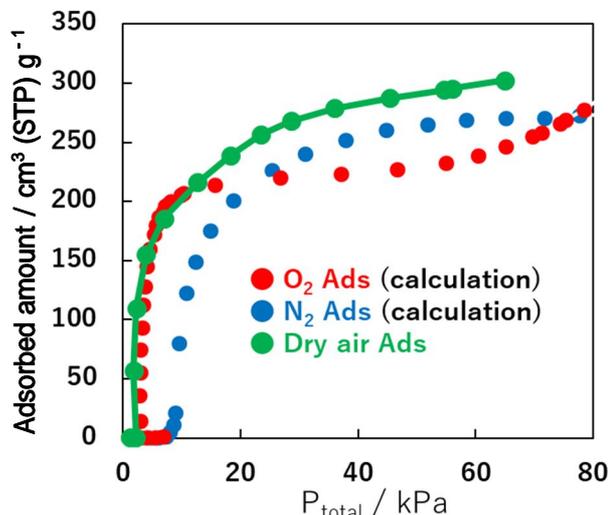


図 2 **77 K** における混合気体に対する **ELM-11** の吸収等温線

：窒素・酸素混合気体 ($\text{N}_2:\text{O}_2=8:2$)

：酸素のみの等温線、：窒素のみの等温線

それぞれ分圧を計算で求め、横軸を補正した。

参考文献

- 1) Y. Song et al., *Chem. Select*, **2016**, 1, 6055-6061.
- 2) S. Ma et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **2017**, 139, 47-50.
- 3) H. Chioyama, H. Kanoh et al., *Ads. Sci. Technol.*, **2015**, 33, 243-250.
- 4) H. Luo, H. Kanoh et al., *Energy Fuel.*, **2015**, 29, 4472-4478.
- 5) G. Yang, H. Kanoh et al., *Int. J. Chem. Eng.*, **2016**, 4012967.
- 6) H. Luo and H. Kanoh, *J. Energy Chem.*, **2017**, 26, 972-983.
- 7) CO_2 削減、省エネに関する新技術、採用事例、規制対応：第 2 章 CO_2 の分離・回収、貯留技術について 第 1 節 湿潤下において効率的な二酸化炭素吸蔵特性をもつ金属炭酸塩固体の開発、p. 17-28, 加納博文, 技術情報協会 (2017).
- 8) H. Kajiro, H. Kanoh et al., *Int. J. Mol. Sci.*, **2010**, 11, 3803-3845.
- 9) H. Kanoh et al., *J. Colloid Interface Sci.*, **2009**, 334, 1-7.
- 10) M. Ichikawa, H. Kanoh et al., *Langmuir*, **2016**, 32, 9722-9726.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kohaku Kotona, Inoue Mizuki, Kanoh Hirofumi, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 2
2. 論文標題 Full-Color Magnetic Nanoparticles Based on Holmium-Doped Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 1800 ~ 1806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00038	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 Ohazama Kazuki, Ueda Takahiro, Ukai Kazuki, Ichikawa Manami, Masu Hyuma, Kajiro Hiroshi, Kanoh Hirofumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Structural Dynamics of An ELM-11 Framework Transformation Accompanied with Double-Step CO2 Gate sorption: An NMR Spin Relaxation Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 328 ~ 328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10040328	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 Yamamoto Mikiya, Ando Koki, Inoue Mizuki, Kanoh Hirofumi, Yamagami Mai, Wakiya Takeshi, Iida Eiji, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 2
2. 論文標題 Poly- -Ketoester Particles as a Versatile Scaffold for Lanthanide-Doped Colorless Magnetic Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 2170 ~ 2178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00149	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 Nasiman Tuerxun, Kanoh Hirofumi	4. 巻 59
2. 論文標題 CO2 Capture by a K2CO3-Carbon Composite under Moist Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 3405 ~ 3412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.9b05498	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 Kondo Atsushi, Kajiro Hiroshi, Nakagawa Tomohiro, Tanaka Hideki, Kanoh Hirofumi	4. 巻 49
2. 論文標題 A flexible two-dimensional layered metal-organic framework functionalized with (trifluoromethyl)trifluoroborate: synthesis, crystal structure, and adsorption/separation properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 3692 ~ 3699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9DT04836G	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 Koyama Ryoichi, Tsunoda Fujika, Ichinose Izumi, Kanoh Hirofumi	4. 巻 36
2. 論文標題 Adsorption Properties of Methane, Ethane, and Hexane on Mesoporous Organic Polymers Prepared by the Flash Freezing Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2184 ~ 2190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b03159	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 Fujita Yuta, Kohaku Kotona, Komiyama Nao, Ujiie Kazuya, Masu Hyuma, Kojima Takashi, Wadati Hiroki, Kanoh Hirofumi, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 2022
2. 論文標題 Colorless Magnetic Colloidal Particles Based on an Amorphous Metal Organic Framework Using Holmium as the Metal Species.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.202200078	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 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 小山良一、上代洋、加納博文
2. 発表標題 Elastic Layer-structured MOF-13 (ELM-13) の ゲート現象に基づく選択的 O ₂ 吸収反応
3. 学会等名 第71回 コロナイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤 篤、上代 洋、田中 秀 樹、加納 博文
2. 発表標題 二次元層状MOF (E L M - 1 3) の結晶構造と 吸着分離特性
3. 学会等名 第71回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 瑞基 、イスマイル イドゥアン 、加納博文、一ノ瀬 泉
2. 発表標題 PDMS 樹脂の有機溶媒に対する吸収および膨潤特性
3. 学会等名 第71回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戴 楨穎、加納博文
2. 発表標題 A simple adsorption method of iodine or iodide on nanocarbon and its application to pseudocapacitor
3. 学会等名 第 47 回 炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Koyama, F. Tsunoda, I. Ichinose, and H. Kanoh
2. 発表標題 Gas Adsorption Properties of Mesoporous Organic Polymers
3. 学会等名 International Symposium on Adsorption 2019 (Japan Adsorption 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nasiman and H. Kanoh
2. 発表標題 CO ₂ Capture of Na ₂ CO ₃ -Carbon Nanocomposite under Moist Conditions
3. 学会等名 13th International Symposium on Fundamentals of Adsorption (FOA13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Hane and H. Kanoh
2. 発表標題 Effect of Carbon Nanopores on Amyloid Formation of Denatured Concanavalin A
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019: An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of DCSC, CSJ (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Hirano and H. Kanoh
2. 発表標題 O ₂ adsorption by Nanostructured Magnetite-Carbon Composite
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019: An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of DCSC, CSJ (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Inoue and H. Kanoh
2. 発表標題 Preparation and characterization of magnetic nanostructured silicon
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019: An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of DCSC, CSJ (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Koyama and H. Kanoh
2. 発表標題 Selective O ₂ sorption based on a gate phenomenon of ELM-11
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019: An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of DCSC, CSJ (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小山良一、上代洋、加納博文
2. 発表標題 ELM-11のゲート現象に基づく選択的酸素吸収
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 平野柚人、加納博文
2. 発表標題 磁場下でのマグネタイト担持活性炭素繊維による酸素吸着
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 ナシマ トルスン、加納博文
2. 発表標題 湿潤条件下における炭酸カリウム-カーボンコンポジットによる二酸化炭素吸蔵
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納博文
2. 発表標題 しなやかな構造をもつガス分離材の特性 - 柔軟構造をもつMOFを中心に -
3. 学会等名 石油学会九州・沖縄支部 第44回講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬端隼人、加納博文
2. 発表標題 ポラスシリコンの磁性に対するヨウ素吸着の影響
3. 学会等名 第24回ヨウ素学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬端隼人、加納博文
2. 発表標題 ポラスシリコンの磁性に影響を及ぼす要因の検討
3. 学会等名 第72回 コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上代洋、加納博文
2. 発表標題 ELM-11の77 KでのN ₂ に対する2段階ゲート現象
3. 学会等名 第34回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎翼、小山良一、上代洋、加納博文
2. 発表標題 ELM-11による窒素-酸素混合ガス分離の検討
3. 学会等名 第34回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉留樹、上代洋、佐藤伸哉、加納博文
2. 発表標題 ELM-11 の N ₂ 吸収における超緩慢ゲート現象
3. 学会等名 第34回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加納博文
2. 発表標題 二酸化炭素を削減できるナノ材料
3. 学会等名 千葉市科学館 大人が楽しむ科学教室2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎翼、加納博文
2. 発表標題 二酸化炭素吸蔵反応を示すNa ₂ CO ₃ -カーボンナノコンポジットにおけるナノ制約効果
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 H. Kanoh and H. Luo	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 53
3. 書名 Post-combustion Carbon Dioxide Capture Materials," edited by Qiang Wang, Chap. 4 "Alkali-Metal-Carbonate-based CO2 Adsorbents"	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------