

平成 30 年 5 月 9 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05583

研究課題名(和文) 低環境負荷型選択的二酸化炭素分離・固定材の開発

研究課題名(英文) Development of environmental load lowering materials for CO2 capture and storage

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：温室効果ガスとして主要な成分であるCO₂を選択的に分離回収することは緊急の課題であるが、検討されている方法にも問題がある。特に、CO₂選択性と繰り返し利用に関するエネルギーコストの問題である。水蒸気がCO₂選択性を阻害することが知られているが、アルカリ金属炭酸塩を用いることにより水蒸気存在下で選択的にCO₂を回収できる。その方法の欠点としてはCO₂回収反応が遅いということと、再生エネルギーが高いことであった。本研究では、反応性の向上とエネルギーコストの低減を目指し、アルカリ金属炭酸塩の結晶構造不安定化による反応活性化を誘引し、これら問題の克服を検討した。その結果、一定の良好な効果を見出した。

研究成果の概要(英文)：It is an urgent issue to capture and store CO₂ which is one of principal greenhouse gases. There have several problems in the CCS technologies used for a pilot plant, such as the low CO₂ selectivity or high energy cost for the regeneration of materials for CCS. I studied CO₂ sorptivity of alkali-metal carbonates under a moist condition to solve the problems because alkali-metal carbonates (Na₂CO₃ and K₂CO₃) can selectively capture CO₂ with water vapor. However, there were problems of the slow reaction rate and high regeneration energy cost for Na₂CO₃ and K₂CO₃. To improve the problems, I prepared nanostructured alkali-metal carbonates by synthesizing a composite consisting of nanocarbons and the alkali-metal carbonates and by introducing different metal ions into crystals of the alkali-metal carbonates. The improvements were observed by forming such nanostructures in the crystals of the alkali-metal carbonates.

研究分野：コロイド界面化学、吸着科学、ナノ構造科学

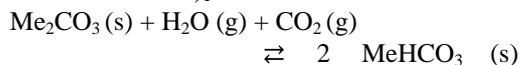
キーワード：環境負荷低減物質 アルカリ金属炭酸塩 二酸化炭素貯蔵 再生エネルギーコスト低減 ナノ構造形成
ナノコンポジット 異種原子置換 結晶構造不安定化

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素の回収・貯蔵 (CCS) 技術で利用可能な方法として有望視されているアミン溶液への CO₂ 吸収法や従来からの固体吸着剤を用いた方法は、多量のエネルギー消費や腐食など環境負荷が高いという問題を多く含み、より環境負荷の少ないシステム実現のために、固体物質を用いた、より効率的で環境低負荷型の回収法の発展が要望されている。また、回収した CO₂ の固定化・貯留技術もまだ研究途上にあり、今日緊急に対策が求められている CO₂ 削減に対する抜本的な方策は現状ではまだあまり進められておらず、CO₂ 固定化技術の開発も重要である。

申請者らはこれまでに 2 次元層状格子からなる柔軟な構造をもつ配位高分子である Elastic Layer-structured MOF (ELM) を創製し、層構造の拡張を伴う CO₂ の選択的取り込み (ゲート現象) を用いた CO₂ 分離の研究を展開してきた。とりわけ ELM-11 ([Cu(4,4'-bipyridine)₂(BF₄)₂]_n) は CO₂ を選択的に吸収することで優れた物質である。なぜなら、この反応では CO₂ が結晶構造の変化とともに協同的に結晶格子内に取り込まれるために、窒素やメタンなどの他の気体が共存しても CO₂ のみが吸収されるからである。しかしながら、ELM-11 は湿潤条件では水分子が Cu 原子に直接配位するため元の構造が変化し、CO₂ を吸収しなくなるという欠点があり、対象ガスから予め水蒸気を除去する必要があった。そこで、このような欠点を克服するために新たな固体 CO₂ 回収材について調査してきた。

NaHCO₃ や KHCO₃ を加熱前処理して得られる Na₂CO₃ や K₂CO₃ が室温程度の温度で水蒸気と CO₂ を吸蔵し炭酸水素塩になり、理論値に近い CO₂ 吸蔵量を示すことを確認し、従来考えられていた反応機構とは異なることを明らかにした。ここでは、Na₂CO₃ や K₂CO₃ に水蒸気を含む CO₂ を通すことで、2 段階で以下の重炭酸化反応が進行するのである (ここで Me = Na or K)。



本反応においても CO₂ 分子は水分子とともに Na₂CO₃ や K₂CO₃ の結晶格子中に入るの、水以外の共存分子に対してとても高い選択性で CO₂ のみを分離することになる。また、その吸蔵量は理論値に近い高い値であり、物理吸着材として知られるゼオライトの吸着量をはるかに凌ぐ。これに加え、ゼオライトは湿潤下では CO₂ を吸着することは困難であるが、Na₂CO₃ や K₂CO₃ は湿潤下で選択的に CO₂ を多量に回収できる。この反応を用いた CCS 技術への応用については、一連の研究があるが、基礎的な検討は少なく、本研究課題の内容とは全く異なる観点からの研究が進められている。

このように上記反応は多くの長所をもつが以下の短所もある。一つ目は、室温付近の

CO₂ 吸蔵反応があまり速くなく、30 分~2 時間程度かかるということである。二つ目は、吸蔵後の NaHCO₃ や KHCO₃ を再生して再度 Na₂CO₃ や K₂CO₃ として利用するには、423 K 以上に加熱する必要があり、大きなエネルギーを消費するという点である。

2. 研究の目的

以上の問題点を解決するために、以下の内容を研究目的とした。

(1) Na₂CO₃ や K₂CO₃ の CO₂ 吸蔵反応速度を速くする。

(2) NaHCO₃ や KHCO₃ から Na₂CO₃ や K₂CO₃ を再生可能とする温度を 353 K 程度まで下げる。この温度であれば、廃熱や太陽熱などの余った熱エネルギーを有効利用可能であり、CO₂ 分離システムをより低環境負荷にできるからである。

3. 研究の方法

これら 2 つの課題を行うために以下の研究を行った。

(1) 結晶のナノ構造化

Na₂CO₃ や K₂CO₃ あるいは NaHCO₃ や KHCO₃ がナノレベルの大きさになることで、Na₂CO₃ や K₂CO₃ の CO₂ と水分子の吸蔵がより速く進行することが期待されるとともに、NaHCO₃ や KHCO₃ から低い温度で Na₂CO₃ や K₂CO₃ への再生反応が進行することが期待された。このようなナノスケールの Na₂CO₃ や K₂CO₃ あるいは NaHCO₃ や KHCO₃ を調製するための方法として、ナノ細孔を有するカーボン材の細孔内でこれら結晶性物質を調製しナノコンポジットを得、上記の問題を克服することを研究目的のひとつとした。このようなナノコンポジット化法を用いれば、結晶のナノ構造化による反応制御の可能性が高いと考えた。

(2) 異原子導入による結晶構造不安定化

もう一つは、Na₂CO₃ や K₂CO₃ あるいは NaHCO₃ や KHCO₃ の結晶構造に歪みを導入し、不安定化することである。具体的には、原子半径がより大きな Rb や Cs で Na や K を置換したり、場合によっては 2 価の金属によって Na や K を置換したりして、構造不安定化の度合いを制御し、CO₂ 回収の速さや再生反応の温度を下げることに効果をもたらす。

これら (1) と (2) の研究課題を進め CO₂ 回収材の欠点を克服し、効率的で低環境負荷型の CO₂ 選択的分離システムの基礎を構築できると考えた。さらに以下の 3 番目の項目を検討した。

(3) これら効率的かつ選択的に CO₂ を回収する物質は、原理的には固定化材や運搬材として機能する。この方法を、これまで考えられている CCS 技術の貯留方法と経済的な観点から比較し、新たな固定技術として成立するかどうかを評価・検討した。

4. 研究成果

(1) ナノ構造化による反応活性化

細孔径が 7, 16 および 18 nm である異なるカーボンアエロゲル (xCA : $x=7, 16, \text{ and } 18$) を調製した。これら 3 種類の xCA を K_2CO_3 溶液に浸漬し乾燥後、573 K で焼成することで、 xCA と $KHCO_3$ のナノコンポジット ($xCA-KC$) を得た。77 K での窒素吸着や 273 K での CO_2 吸着および 303 K での水吸着等温線と X 線回折 (XRD) 測定から $KHCO_3$ が CA とコンポジットを形成していることを確認した。3 種類の $xCA-KC$ の湿潤下における CO_2 吸蔵特性とその後の加熱分解挙動について、熱重量分析 (TG-DTA) 法で調べた。3 つの $xCA-KC$ は 2 段階の重量減少を示し、低温側では細孔に存在する物理吸着した水や炭酸が脱着するためと考えられた。2 段階目の減少は $KHCO_3$ から K_2CO_3 の変化で、いずれもバルクの $KHCO_3$ より低温で分解し、分解温度は細孔径が小さいほど低温にシフトすることがわかった。このように、再生温度の低下におけるナノコンポジットの効果を確認できた。

図 1 に示すように、加熱分解して得た $xCA-KC$ を 313 K において湿潤下で CO_2 を通すと重量の増加が認められた。 $xCA-KC$ 中の K_2CO_3 含量は 19 ~ 21% と求められた。 $KHCO_3$ から K_2CO_3 への反応を仮定して求めた CO_2 吸蔵量と、化学分析により算定した実際の CO_2 吸蔵量を求めた。 $xCA-KC$ 1 g 当たりの CO_2 吸蔵量は 92 ~ 118 mg/g と、 K_2CO_3 の担持量が 20% 前後と低いため、それほど高くないが、 K_2CO_3 1 g 当たりに換算すると理論容量 318 mg/g を大きく上回った。これは K_2CO_3 による CO_2 吸蔵以外に、残っている細孔に CO_2 や水が物理吸着したり、吸着した水に CO_2 が溶けたりして、炭酸になるという反応が進行するためと考えられた。

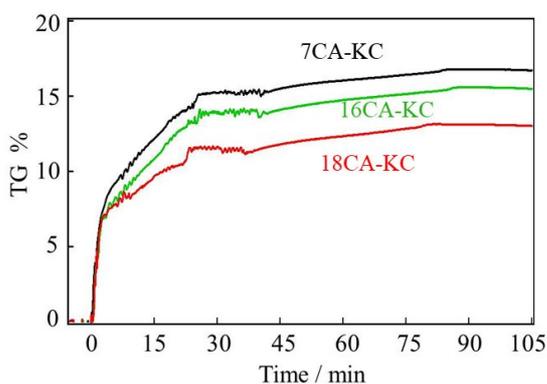


図 1 313 K, 湿潤下における $xCA-KC$ による CO_2 吸蔵反応に伴う重量変化
 CO_2 流量 $100 \text{ cm}^3/\text{min}$, 相対湿度 63%

0.1 mol のテレフタル酸と 0.2 mol の $NaOH$ を 200 mL の水に入れ 1 時間攪拌して溶解し、

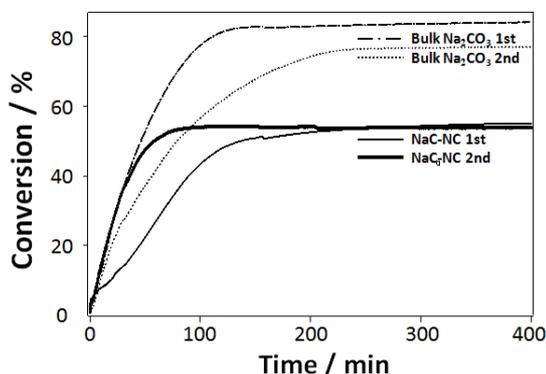


図 2 313 K, 湿潤下における炭酸ナトリウムと $NaC-NC$ による CO_2 吸蔵反応に伴う TG 曲線から計算される変換曲線 (2 回繰り返す)

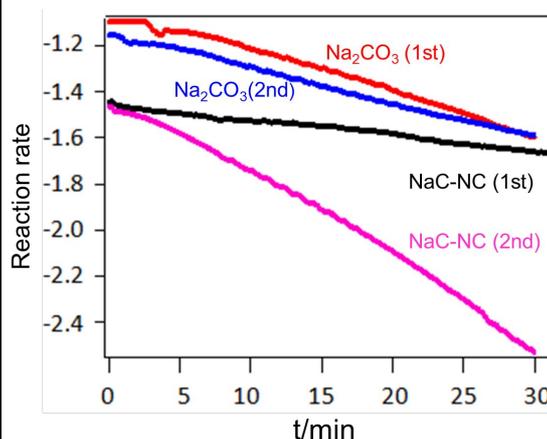


図 3 図 2 から得た反応速度の時間依存性 (傾きが半速度定数)

353 K で 2 日間乾燥し、その後窒素気流下で 873 K で 2 時間焼成した。得られた試料についてキャラクタリゼーションをするとともに、水蒸気共存下の CO_2 吸蔵量は TG-DTA 法および XRD 法で構造変化を検討した。

XRD 測定から、主成分は Na_2CO_3 と炭素材であり、ラマン散乱測定及び SEM 観察と EDS 測定から $NaHCO_3$ として 46% からなるカーボンとのコンポジットであると確認できた。TG-DTA の測定では N_2 雰囲気下、473 K で 10 分間加熱することで Na_2CO_3 に分解し、その後 313 K, 湿度 50% の CO_2 雰囲気下で CO_2 吸蔵反応を 2 サイクル繰り返した (図 2)。 CO_2 吸蔵量は、コンポジット ($NaC-NC$) 1 g あたり、約 230 mg と見積もられた。図 3 に反

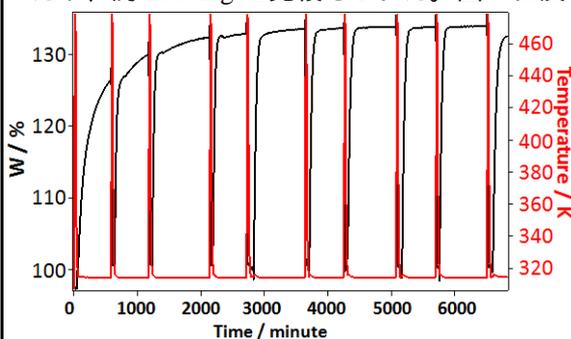


図 4 313 K, 湿潤下における $NaC-NC$ による CO_2 吸蔵反応に伴う重量変化 (10 回繰り返す)

応時間 55 分までの反応速度を解析した結果を示す。これら直線の傾きが反応速度定数を与えるが、バルク Na_2CO_3 では 1 回目と 2 回目はあまり変わらず約 $3 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$ であった。 NaC-NC では 1 回目はそれより遅かったが、2 回目は約 $6 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$ と 2 倍に速くなった。同様の実験を 10 回繰り返した結果 (図 4) から、分解温度が 10 K ほど低下し、2 回目の反応速度はやはり 2 倍程度に速くなるのが明らかになった。これは、 Na_2CO_3 がカーボンとナノコンポジット化することでナノ構造化されて CO_2 吸蔵をより容易に行なえる環境にあるため、より低い温度で分解反応が進行し、 CO_2 吸蔵反応もより低い活性化エネルギーになることを示唆する結果であった。

図 4 の結果はコンポジット中に存在するカーボン量も含んだコンポジット 1g 当たりの CO_2 変換率曲線であるが、この場合カーボン量が 33% 存在し、 Na_2CO_3 は 61% と見積もられたので、正味の変換率は 92% と得られた。これは図 2 の点線で示されたバルク Na_2CO_3 の変換率 (73 及び 81%) よりも大きかった。この原因として、ナノコンポジット化による反応性の向上が考えられた。以上のように、ナノコンポジットにすると再生温度は低下し、最大容量も吸着速度も向上するという良好な結果が得られた。

(2) 異原子導入による結晶構造不安定化

湿潤下での CO_2 吸蔵材として有望な K_2CO_3 や Na_2CO_3 は理論上の吸蔵量は大きいですが、反応速度が遅いとか、再生温度が高いとか、副反応によるロスや高温では吸蔵量が低下するなどといった問題点がある。本研究では、 K_2CO_3 や Na_2CO_3 の問題点を克服するために、結晶の一部の K^+ や Na^+ を Ca^{2+} や Mg^{2+} で原子置換し、構造の不安定化を誘起し、 CO_2 吸蔵反応の促進効果があるかどうかを調べた。

水蒸気共存下の CO_2 吸蔵量は TG-DTA 法および XRD 法で構造変化を検討した。試料として NaHCO_3 、 KHCO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の各 1 mol/L 溶液を用い、 $\text{A}_{x/2}\text{B}_{1-x}\text{HCO}_3$ ($\text{A}=\text{Mg}, \text{Ca}$, $\text{B}=\text{Na}, \text{K}$) $x = 0.01 \sim 0.20$ の溶液を調製し、およそ 373 K で加熱し、固体を析出させた。TG-DTA の測定では 473 K、 N_2 雰囲気下で分解後、313 K、湿度 50% の CO_2 雰囲気下で CO_2 吸蔵反応を 2 サイクル繰り返した。また、XRD 測定により反応前後の結晶構造変化を調べた。

KHCO_3 を基にした試料は添加する金属、比率に関わらず XRD で $\text{K}_4\text{H}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ のピークのみが見られ、添加による結晶構造への影響は小さいと判断し、さらなる検討はしなかった。

NaHCO_3 を基にした試料では、Ca 添加と比較して Mg 添加の試料の方が吸蔵時間の短縮が見られたため Na-Mg の組み合わせで比率を細かく設定して測定した。Mg 添加量を細かく変化させた結果、Mg の添加量が増えるほど全体の吸蔵量は減るものの、脱離反応の開

始温度は Mg を加えた方がわずかに低くなり、結晶構造を不安定化できることがわかった (図 5 及び図 6)。 CO_2 吸蔵反応速度は $x=0.10$ ($\text{Na}_{0.05}\text{Mg}_{0.9}\text{HCO}_3$) の試料が最も速く、 NaHCO_3 の約 4 倍も向上した。吸蔵量は 203 mg/g と比較的高く実用的な CO_2 吸蔵材料として期待できるものであった。

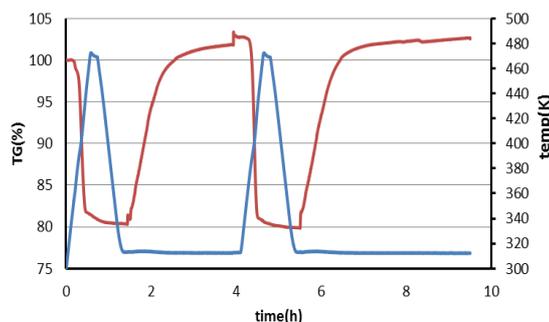


図 5 $\text{Mg}_{x/2}\text{Na}_{(1-x)}\text{HCO}_3$ ($x=0.1$) の熱分解と湿潤下における CO_2 吸蔵反応に伴う TG 曲線
左縦軸：質量変化、右縦軸：温度

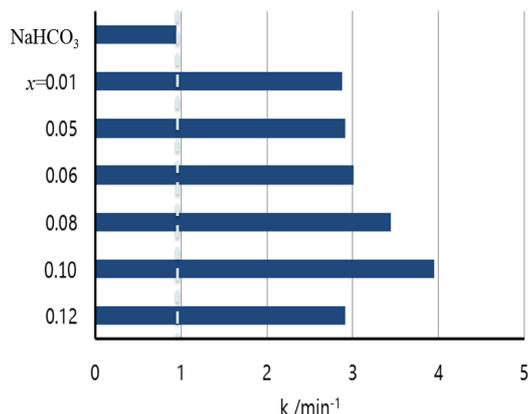
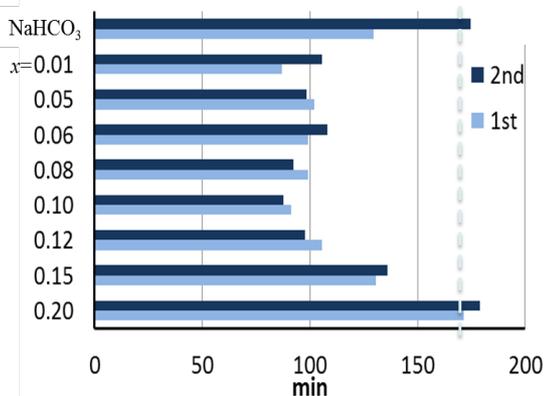


図 6 $\text{Mg}_{x/2}\text{Na}_{(1-x)}\text{HCO}_3$ の湿潤下における CO_2 吸蔵反応
上：反応開始から吸蔵飽和まで 1 回目と 2 回目の反応時間
下：2 回目の吸蔵反応の速度定数

(4) これまでの実験結果をもとに、CCS 技術における当研究で得られたの成果である CO_2 吸蔵材の応用性について検討し可能性をまとめた。本内容については、国内技術情報誌や欧文書籍として発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計13件)

- (1) L. Chen, T. Watanabe, H. Kanoh, K. Hata, T. Ohba, Cooperative CO₂ adsorption promotes high CO₂ adsorption density over wide optimal nanopore range, *Ads. Sci. Technol.*, **2018**, 36, 625-639. DOI: 10.1177/0263617417713573
- (2) H. Luo, H. Kanoh, Fundamentals in CO₂ capture of Na₂CO₃ under a moist condition, *J. Energy Chem.*, **2017**, 26, 972-983. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jechem.2017.08.005>
- (3) T. Okuno, S. Thuermer, H. Kanoh, Nanostructured silicon ferromagnet collected by a permanent neodymium magnet, *Chem. Commun.*, **2017**, 53, 12882-12885. DOI: 10.1039/c7cc07372k
- (4) T. Watanabe, S. M. Khan, H. Kanoh, T. Ohba, Significant CO₂ Adsorption Ability of Nanoscale BaTiO₃ Ceramics Fabricated by Carbon-Template-Solvothermal Reactions, *Phys. Chem. Ind. J.*, **2017**, S1, 101.
- (5) M. Ichikawa, A. Kondo, H. Noguchi, N. Kojima, T. Ohba, H. Kajiro, Y. Hattori, H. Kanoh, Double-Step Gate Phenomenon in CO₂ Sorption of an Elastic Layer-Structured MOF, *Langmuir*, **2016**, 32 (38), 9722-9726. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b02551
- (6) Y. Hattori, A. Shuhara, A. Kondo, S. Utsumi, H. Tanaka, T. Ohba, H. Kanoh, K. Takahashi, F. Vallejos-Burgos, K. Kaneko, Fabrication of highly ultramicroporous carbon nanofoams by SF₆-catalyzed laser-induced chemical vapor deposition, *Chem. Phys. Lett.*, **2016**, 652 (2016) 199-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2016.04.050>
- (7) G. Yang, H. Luo, T. Ohba, H. Kanoh, CO₂ capture by carbon aerogel-potassium carbonate nanocomposites, *Int. J. Chem. Eng.*, **2016**, 4012967, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4012967>
- (8) B. Permana, T. Ohba, T. Itoh, H. Kanoh, Systematic sorption studies of camptothecin on oxidized single-walled carbon nanotubes, *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, **2016**, 490, 121-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.11.020>
- (9) S. Thürmer, Y. Kobayashi, T. Ohba, H. Kanoh, Pore-size dependent effects on structure and vibrations of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate in nanoporous carbon, *Chem. Phys. Lett.*, **2015**, 636, 129-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cplett.2015.07.04>
- (10) A. Takase, H. Kanoh, T. Ohba, Wide Carbon Nanopores as Efficient Sites for the Separation of SF₆ from N₂, *Sci. Rep.*, **2015**, 5, 11994. DOI: 10.1038/srep11994

(11) T. Arai, T. Kojima, O. Watanabe, T. Itoh, H. Kanoh, Recyclable Poly-Zn₃(OAc)₄-3,3'-Bis(aminoimino)binaphthoxide Catalyst for Asymmetric Iodolactonization, *ChemCatChem*, **2015**, 7, 3234-3238. DOI: 10.1002/cctc.201500842

(12) H. Luo, H. Chioyama, S. Thürmer, T. Ohba, H. Kanoh, Kinetics and Structural Changes in CO₂ Capture of K₂CO₃ under a Moist Condition, *Energ. Fuel.*, **2015**, 29 (7), 4472-4478. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.5b00578

(13) H. Chioyama, H. Luo, T. Ohba, H. Kanoh, Temperature-dependent Double-step CO₂ Occlusion of K₂CO₃ under Moist Conditions, *Ads. Sci. Technol.*, **2015**, 33(3), 243-250. DOI: <http://dx.doi.org/10.1260/0263-6174.33.3.243>

〔学会発表〕(計19件)

- (1) 黒澤征純、加納博文、ナノグラフィティックカーボンの磁性、第44回炭素材料学会年会、2017年12月6-8日、桐生(桐生市)
- (2) 福田亮夫、加納博文、酸化黒鉛の二酸化炭素吸着特性、第31回日本吸着学会研究発表会、2017年11月16-17日、静岡市民文化会館(静岡市)
- (3) 駱紅超、加納博文、湿潤条件における炭酸ナトリウムによる二酸化炭素吸蔵反応の基礎的検討、第31回日本吸着学会研究発表会、2017年11月16-17日、静岡市民文化会館(静岡市)
- (4) 高松智昭、加納博文、シリコンナノ構造磁性体の調製法の確立、第68回コロイドおよび界面化学討論会、2017年9月6-8日、神戸大学鶴甲キャンパス(神戸市)
- (5) K. Ohazama, M. Ichikawa, A. Kondo, H. Kajiro, Hyuma Masu, Takahiro Ueda, and H. Kanoh, Change in Relaxation Times of 1H-NMR accompanied by a Double-Step Gate Opening of an Elastic Layer-structured MOF (ELM-11), 11th International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS11), アビニョン、フランス、2017年5月14-5月17日
- (6) 都甲真利上代 洋、加納博文、構造柔軟性 MOF (ELM-11) のガス吸収特性に及ぼす合成反応場の効果、日本化学会第97春季年会、2017年3月16-19日、慶応大学日吉キャンパス(横浜市)
- (7) 羽根大輔、加納博文、アミロイド化したコンカナバリン A に及ぼすカーボンナノ空間の効果、第43回炭素材料学会年会、2016年12月8日、千葉大学西千葉キャンパス(千葉市)
- (8) Benny Permana、大場友則、伊藤努武、加納博文、酸化処理された単層カーボンナノチューブへのメトトレキサートの液相吸着、第30回日本吸着学会研究発表会、2016年11月10-11日、長崎大学文教キャンパス(長崎市)
- (9) H. Kanoh, S. Thürmer, A. Izawa, Y. Kobayashi, T. Ohba, XPS Analysis of Electronic

Structures of an Ionic Liquid Confined in Carbon Nanospace, The 67 Divisional Meeting on Colloid and Interface Chemistry, Chemical Society of Japan, 旭川, 北海道, 2016年9月22~24日

(10) H. Kanoh, Systematic sorption studies of camptothecin on oxidized single-walled carbon nanotubes, 12th International Conference on the Fundamentals of Adsorption (FOA12), フリーデリヒスハーフェン, ドイツ, 2016年5月29~6月3日

(11) 羽根大輔・加納博文, アミロイド化したコンカナバリン A に及ぼすカーボンナノ空間の効果, 日本化学会 第95春季年会, 2016年3月24日~27日, 同志社大学京田辺キャンパス (京都府京田辺市)

(12) 大峽和紀、大場友則、加納博文, ELM-11が示すゲート現象の NMR 法による解析, 第27回日本吸着学会研究発表会, 2015年11月19日~20日, 徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)

(13) 都甲真利、加納博文, ELM-12のガス吸着におけるゲート現象の多様性, 第27回日本吸着学会研究発表会, 11月19日~20日, 2015年、徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)

(14) H. Luo, H. Chioyama, S. Thürmer, T. Ohba, H. Kanoh, Kinetics and Structural Changes in CO₂ Capture of K₂CO₃ under a Moist Condition, Western Pacific Colloids 2015 (WPC2015), (November 16-19, 2015, Siem Reap, Cambodia).

(15) G. Yang, T. Ohba, H. Kanoh, CO₂ capture by K₂CO₃ nanocomposites, 7th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST 7), (Sep 24 - 27, 2015, Xiamen, China).

(16) 奥野貴久、Stephan Thuermer、大場友則、加納博文, シリコンナノ粒子の磁氣的性質, 第66回コロイド及び界面化学討論会 2015年9月10日~12日, 鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市)

(17) 駱紅超・千應山英之・Stephan Thuermer・大場友則・加納博文, 湿潤下における炭酸カリウムによるCO₂吸蔵の速度論, 第66回コロイド及び界面化学討論会, 2015年9月10日~12日, 鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市)

(18) H. Kanoh, Double-Step Swelling of an Elastic Layer-structured MOF (ELM-11) in a CO₂ atmosphere (keynote lecture), 2015 International Conference on Colloids and Interface Science, (July 22 - 24, 2015, Taipei, Taiwan). Invited lecture.

(19) B. Permana, T. Ohba, H. Kanoh, Systematic study of the interaction between oxidized single walled carbon nanotubes and water-insoluble anticancer drug, CARBON 2015, (July 12-17, 2015, Dresden, Germany)

〔図書〕(計2件)

(1) 加納博文, 技術情報協会, CO₂削減、省エネに関する新技術、採用事例、規制対応、(第2章 CO₂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) 2017年、p.17-28.

(2) 加納博文, 技術情報協会, 吸着・分離材料の設計、(第1章 吸着・分離のメカニズム、3節 吸着等温線、吸着熱の測定) 2015年、性能評価と新しい応用、p.1-8.

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

(1) 名称: 磁性半導体材料の製造方法及び半導体材料磁性化液

発明者: 加納博文、高松智昭

権利者: 国立大学法人 千葉大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2017-050453

出願年月日: 2017年9月1日

国内外の別: 国内

(2) 名称: 多孔性高分子錯体、ガス吸着材、これを用いたガス分離装置およびガス貯蔵装置

発明者: 上代洋、永井徹、加納博文、都甲真利

権利者: 新日鐵住金株式会社

種類: 特許出願

番号: 特願 2017-050453

出願年月日: 2017年3月15日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<https://molchem-chiba-u.jimdo.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加納 博文 (Hirofumi Kanoh)

千葉大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 60334166