

## 様式 C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年 5月10日現在

研究種目：基盤研究(B)  
研究期間：平成19年度 ～ 平成21年度  
課題番号：19350100  
研究課題名（和文） 構造柔軟性ナノ細孔体による選択的気体分離  
研究課題名（英文） Selective gas separation by nanoporous materials having flexible structures  
研究代表者 加納博文 (Hirofumi Kanoh)  
(千葉大学・大学院理学研究科・教授)  
研究者番号：60334166

### 研究成果の概要（和文）：

ゲート現象を示す構造柔軟性ナノ細孔体である[Cu(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] (LPC)をもとに、金属イオン、配位子、対イオンの組み合わせを変えて、ゲート現象を示す新たな細孔性配位高分子錯体 (PCP) を創製した。これらの結晶構造は2次元格子が単位となる層が積み重なり、気体の圧力に応じて層間を変化させる柔軟な構造を有することを明らかにした。組み合わせの異なる PCP は N<sub>2</sub> や CO<sub>2</sub> の異なる吸着挙動を示し、系統的にまとめることができた。また、LPC の耐湿性や耐熱性およびカラム実験による CO<sub>2</sub> 分離性を調べ、実用的観点から重要なデータを得ることができた。

### 研究成果の概要（英文）：

Novel porous coordination polymers (PCPs) showing gate phenomena in gas sorption were prepared by combining different building blocks consisting of transitional metal ions, organic ligand molecules, and counter anions based on the properties of [Cu(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] (LPC), which is known to have a flexible structure having a 2 dimensional grid and its stacking structures. The novel PCPs showed unique gate phenomena according to the properties of the metal, ligand, or anion. The systematic studies enabled us to understand gas sorption properties of the PCPs.

Also the fundamental properties such as the effect of moisture or organic solvents and thermal stability on the structure and gas sorptivity of LPC were examined from the viewpoint of practical use. Fundamental data could be obtained for the application to separation of CO<sub>2</sub>.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
20年度	2,800,000	840,000	3,640,000
21年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料科学・無機工業材料

キーワード：多孔体

## 1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素やメタンといった気体は、地球温暖化の大きな要因になっており、これらの気体を発生させないこと、固定すること、分解することなどの取り組みが盛んに行われている。これらの問題に対応する一つの方法として、CO<sub>2</sub>を分離・除去するシステムを開発し、効率的にCO<sub>2</sub>濃度を制御することで省エネが可能となる。

このような状況において、本研究で創製されるようなナノ細孔体により、室内空気から低圧でCO<sub>2</sub>を吸着し、脱着させたCO<sub>2</sub>を屋外に排出するシステムを設計することも考えられてきている。このためにはゲート現象といわれるある圧力から垂直に立ち上がる矩形で示される吸着-脱着機構であれば、吸着圧力より少し高い圧力をかけた後、脱着圧力より少し低い圧力に下げれば吸着された気体はすべて取り出すことができる。このような都合の良い吸着材は従来なかったが、5年ほど前に申請者らの研究から偶然発見された<sup>(1)</sup>。その物質は、水溶液から合成された配位高分子錯体  $\{[Cu(bpy)(H_2O)_2(BF_4)_2] (bpy)\}$  (bpy=4,4'-ビピリジン)を加熱真空前処理により脱水処理して得られる  $[Cu(bpy)_2(BF_4)_2]$ であることを明らかにした。この物質は室温付近でもCO<sub>2</sub>をよく吸着し、しかもゲート現象という特異的な吸着・脱着挙動を示した。もともと外部に開いた細孔をもたないのに気体吸着性を示す細孔は潜在細孔と呼ばれ、 $[Cu(bpy)_2(BF_4)_2]$ を潜在細孔性錯体 (Latent Porous Complex)の頭文字をとってLPCと呼んでいる。実際この吸着材を用いて、温度を変化させることで予備的にCO<sub>2</sub>の分離回収を行った。また、メタンの高圧吸着においてもゲート効果を示すことがわかっている<sup>(2)</sup>ので、メタンの吸着分離・回収にとってもLPCの吸着挙動は有利なものとなる。

## 参考文献

- (1) S. Ohnishi et al., *Appl. Surf. Sci.*, **196**, 81-88 (2002).
- (2) H. Noguchi et al., *J. Phys. Chem.*, **109**, 13851 (2005).

## 2. 研究の目的

上述したようにLPCはCO<sub>2</sub>やメタンの吸着分離・回収にとって、理想的な吸着脱着挙動を示す物質であることがわかる。しかしながら、LPCは湿気に弱く、ガス吸着できなくなってしまうこともわかっている。したがって、同様のゲート吸着現象を示し、かつ、水分などの大気中の条件においても安定な細孔性配位高分子錯体 (Porous Coordination

Polymer, PCP)を創製することにより、吸着法による新たな物質の分離回収システムを構築できるものとなろう。本研究はそのシステムで最も重要な吸着剤の創製とその吸着機構の解明、吸着場の制御について、包括的に検討することを内容とした。

具体的には、金属として、銅、ニッケル、コバルトを用い、対イオンや、有機配位子もBF<sub>4</sub><sup>-</sup>やbpyとは少し異なる構造のイオンや分子を用い、これら3種の化学種の組合せを検討し、上述の目標に適合する吸着材を見出すこととした。

この検討内容を基に、PCPの構造柔軟性を支配する因子、そして構造制御可能な因子を抽出し、これら因子が及ぼすゲート吸着現象における物理化学的パラメータへの効果を系統的にまとめ、構造柔軟性ナノ細孔体設計に対して有用な知見をまとめることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、銅、ニッケル、コバルトの3種類の遷移金属、4,4'-ビピリジン(bpy)と1,4-ビス(4-ピリジル)ベンゼン(bpb)の2種類の有機配位子、及び、テトラフルオロホウ酸イオン(BF<sub>4</sub><sup>-</sup>)、CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub><sup>-</sup>(OTf)、CF<sub>3</sub>BF<sub>3</sub><sup>-</sup>の3種類の対陰イオンを用い、それらの組み合わせを考えて、構造柔軟なPCPの合成を試みた。また、合成に用いる溶媒のPCP生成に対する影響を検討した。得られたPCPの構造と気体吸着性を検討した。また、LPCの耐湿性や耐熱性といった安定性を検討した。

これら性質と構造との相関を明らかにし、さらにそれを支配する因子を決定しようとした。これら因子を明らかにすることにより、気体選択的構造柔軟性吸着材の開発に重要な因子を包括的にまとめることとした。

具体的な研究項目は以下の通りである。

- 1) 新規細孔性配位高分子錯体(PCPs)の合成
- 2) 新規PCPsの結晶構造解析
- 3) 新規PCPsの気体吸着性の検討
- 4) LPCの耐湿性と耐熱性の検討

## 4. 研究成果

## 1) 細孔性配位高分子錯体(PCPs)の合成

LPC,  $[Cu(bpy)_2(BF_4)_2]$ に類似のPCPを合成するために、BF<sub>4</sub><sup>-</sup>をOTfやCF<sub>3</sub>BF<sub>3</sub><sup>-</sup>に置換、CuをCoやNiに置換、bpyをbpbに置換したPCPを合成し、それぞれの組成や構造、気体吸着性を調べ、2次元構造からなるPCPであり、その柔軟な構造のゆえにゲート現象を示すことを確認した(表1)。このうちLPCは新日鐵と試薬メーカーの努力により、市販される段階までとなった。

表 1 異なる金属、配位子、対イオンの組み合わせによる構造柔軟性配位高分子錯体

metal	ligand	counter anion
Cu	4,4'-bipyridine (bpy)	BF <sub>4</sub> <sup>-</sup> CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (OTf) CF <sub>3</sub> BF <sub>3</sub> <sup>-</sup> OTf + CF <sub>3</sub> BF <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Co	bpy	OTf
Ni	bpy 1,4-bis(4-pyridyl)benzene (bpb)	BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>

## 2) 結晶構造解析

[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>], [Cu(bpy)<sub>2</sub>(CF<sub>3</sub>BF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], [Co(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>], [Ni(bpb)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]については、溶媒分子を含むものもあるが、単結晶構造解析により、2次元構造配位高分子錯体(図1)であることがわかった。[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)(CF<sub>3</sub>BF<sub>3</sub>)]や[Ni(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]についても、77 Kにおけるゲート現象を示すので、2次元構造をもつものと推定できた。

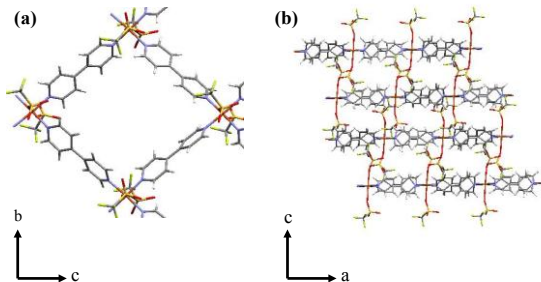


図1 [Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]からなる2次元構造および積層構造を有するPCP

## 3) 気体吸着性

[Cu(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]は273 KにおけるCO<sub>2</sub>吸着や77 KにおけるN<sub>2</sub>吸着においてゲート現象に基づく1段階の垂直な吸着等温線を示すが、対イオンを少し大きくした[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]と[Co(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]では積層構造における層間隔が広がり、当初から気体分子を取り込める空間をもつ。そのため、図2に示すように77 KにおけるN<sub>2</sub>吸着において2段階の吸着現象を示した。1段階目はマイクロポアフィリングであり、2段階目がゲート現象である。[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]と[Co(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]では2段階目のゲート現象の相対圧が異なることや、非常に低い相対圧での吸着挙動に違いが見られた。同様に273 KにおけるCO<sub>2</sub>の吸着挙動でも異なる吸着挙動は観察された。詳細な構造を調べると、CuとCoの周りの配位構造が異なり、構造柔軟性が違うために、これら吸着

挙動に違いをもたらしたと結論づけた。この他、[Ni(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]や[Cu(bpy)<sub>2</sub>(CF<sub>3</sub>BF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]などのN<sub>2</sub>やCO<sub>2</sub>吸着挙動を検討し、吸着等温線のパターンやゲート圧力およびそれら吸着等温線とその温度依存性を系統的に調べ、組み合わせに応じた性質をまとめた。

また、[Cu(bpy)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]粉末を用いてカラム実験を行い、CO<sub>2</sub>吸着分離への応用において必要な基礎データを得、空気やメタンからの選択的分離作用について検討した。ヘリウムや窒素との分離はほとんど100%に近い機能を示した。メタンとの混合系では、メタンにより二酸化炭素分離作用の低下が見られたが、メタンの吸着はほとんどないと見積もられ、高い選択性が示された。

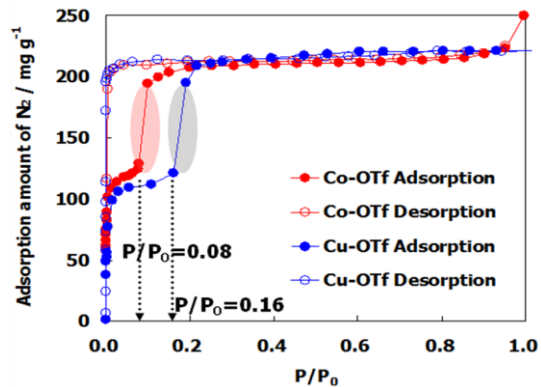


図2 PCP[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]と[Cu(bpy)<sub>2</sub>(OTf)<sub>2</sub>]の77 KにおけるN<sub>2</sub>吸着等温線

## 4) 耐湿性と耐熱性

LPCのCO<sub>2</sub>吸着を室温から248 Kまで低温にすると温度の低下とともに吸着ゲート圧が下がることや、エタノールやメタノールで処理することにより、室温でも吸着ゲート圧が下がることを明らかにした。これによりアルコール処理と低温を組み合わせることにより、より低い分圧の二酸化炭素を選択的に吸着分離できる条件を見出すことができた。また、大気中の湿度を吸い吸着性を失ったLPCに対して適切な加熱真空条件を見出すとともに、加熱真空処理をしなくてもエタノール処理するだけで吸着性を回復する方法を見出した。実用的観点から重要な知見を得た。

以上の成果から、バイオガスなどCO<sub>2</sub>が多く含まれた気体からの分離条件を設定することができた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 33 件)

1. K. Goto, M.; Furukawa, M.; Miyamoto, J.; Kanoh, H.; Kaneko, K., Clathrate Formation Mechanism of Supercritical Hydrogen Adsorption on Copper(II) Benzoate Pyrazine, *Langmuir*, **23**, 5264-5266 (2007).

2. T. Matsumura, H. Tanaka, K. Kaneko, M. Yudasaka, S. Iijima, H. Kanoh, Magnetism of Organic Radical Molecules Confined in Nanospace of Single-Wall Carbon Nanohorn, *J. Phys. Chem. C* **2007**, 111, 10213-10216.
3. Y. Tao, D. Noguchi, C.-M. Yang, H. Kanoh, H. Tanaka, M. Yudasaka, S. Iijima, K. Kaneko, Conductive and Mesoporous Single-Wall Carbon Nanohorn/Organic Aerogel Composites, *Langmuir* **2007**, 23, 9155-9157.
4. A. Kondo, H. Noguchi, L. Carlucci, D. M. Proserpio, G. Ciani, H. Kajiro, T. Ohba, H. Kanoh, K. Kaneko, Double-Step Gas Sorption of a Two-Dimensional Metal-Organic Framework, *J. Am. Chem. Soc.*, **2007**, 129, 12362-12363.
5. A. Kondo, T. Daimaru, H. Noguchi, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Adsorption of water on three-dimensional pillared-layer metal organic frameworks, *J. Colloid Interface Sci.*, **2007**, 314, 422-426.
6. A. Kondo, H. Noguchi, H. Kajiro, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Coordinated NH<sub>3</sub>-Removal-Induced Hydrogen Adsorption of Cu-Complex Crystals, *Langmuir*, **2008**, 24, 170-174.
7. T. Arai, T. Sato, H. Kanoh, K. Kaneko, K. Oguma, A. Yanagisawa, Organic-inorganic hybrid polymer-encapsulated magnetic nanobead catalysts, *Chem. Eur. J.* **2008**, 14, 882-885.
8. T. Itoh, H. Danjo, W. Sasaki, K. Urita, E. Bekyarova, M. Arai, T. Imamoto, M. Yudasaka, S. Iijima, H. Kanoh, K. Kaneko, Catalytic activities of Pd-tailored single wall carbon nanohorns, *Carbon*, **2008**, 46, 172-175.
9. T. Itoh, K. Urita, E. Bekyarova, M. Arai, M. Yudasaka, S. Iijima, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Nanoporosities and catalytic activities of Pd-tailored single wall carbon nanohorns, *J. Colloid Interface Sci.*, **2008**, 322, 209-214.
10. Y.-J. Liu, M. Aizawa, Z.-M. Wang, H. Hatori, N. Uekawa, H. Kanoh, Comparative examination of titania nanocrystals synthesized by peroxo titanate approach from different precursors. *J. Colloid Interface Sci.* **2008**, 322, 497-504.
11. Fujimori, T.; Urita, K.; Aoki, Y.; Kanoh, H.; Ohba, T.; Yudasaka, M.; Iijima, S.; Kaneko, K., Fine Nanostructure Analysis of Single-Wall Carbon Nanohorns by Surface-Enhanced Raman Scattering, *J. Phys. Chem. C* **2008**, 112, 7552-7556.
12. Noguchi, D.; Tanaka, H.; Kondo, A.; Kajiro, H.; Noguchi, H.; Ohba, T.; Kanoh, H.; Kaneko, K. Quantum Sieving Effect of Three-Dimensional Cu-Based Organic Framework for H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub>, *J. Am. Chem. Soc.*, **2008**, 130, 6367-6372.
13. K. Urita, S. Seki, H. Tsuchiya, H. Honda, S. Utsumi, C. Hayakawa, H. Kanoh, T. Ohba, H. Tanaka, M. Yudasaka, S. Iijima, K. Kaneko, Mechanochemically induced sp<sup>3</sup>-bond-associated reconstruction of single-wall carbon nanohorns. *J. Phys. Chem. C* **2008**, 112, 8759-8762.
14. Y. Tao, M. Endo, R. Ohsawa, H. Kanoh, K. Kaneko, High capacitance carbon-based xerogel film produced without critical drying, *Appl. Phys. Lett.*, **2008**, 93, 193112.
15. Y. Okuno, Y. Hattori, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Mesoporous Ni-Fe Alloys, *Adv. Sci. Technol.*, **2008**, 26, 581-588.
16. C. Hayakawa, K. Urita, T. Ohba, H. Kanoh, K. Kaneko, Physico-Chemical Properties of Iodine-Adsorbed Single-Walled Carbon Nanotubes, *Langmuir* **2009**, 25, 1795-1799.
17. Y. Cheng, A. Kondo, H. Noguchi, H. Kajiro, K. Urita, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Reversible Structural Change of Cu-MOF on Exposure to Water and its CO<sub>2</sub> Adsorptivity, *Langmuir* **2009**, 25, 4510-4513.
18. Y.-H. Chu, M. Yamagishi, Z.-M. Wang, H. Kanoh, T. Hirotsu, Synthesis of nanoporous graphite-derived carbon / TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> composites by a mechanochemical intercalation method, *Microporous Mesoporous Mater.*, **2009**, 118, 496-502.
19. H. Kanoh, A. Kondo, H. Noguchi, H. Kajiro, A. Tohdoh, Y. Hattori, W.-C. Xu, M. Inoue, T. Sugiura, K. Morita, H. Tanaka, T. Ohba, K. Kaneko, Elastic Layer-structured metal organic frameworks (ELMs), *J. Colloid Interface Sci.*, **2009**, 334 1-7.
20. A. Kondo, A. Chinen, H. Kajiro, T. Nakagawa, K. Kato, M. Takata, Y. Hattori, F. Okino, T. Ohba, K. Kaneko, H. Kanoh, Metal Ion-Dependent Gas Sorptivity of Elastic Layer-Structured MOFs, *Chem. Eur. J.*, **2009**, 15, 7549-7553.
21. H. Tanaka, D. Noguchi, A. Yuzawa, T. Kodaira, H. Kanoh, K. Kaneko, Quantum Effects on Hydrogen Isotopes Adsorption in Nanopores, *J. Low. Temp. Phys.*, **2009**, 157, 352-373.
22. M. Arai, S. Utsumi, M. Kanamaru, K. Urita, T. Fujimori, N. Yoshizawa, D. Noguchi, K. Nishiyama, Y. Hattori, F. Okino, T. Ohba, H. Tanaka, H. Kanoh, K. Kaneko, Enhanced Hydrogen Adsorptivity of

- Single-Wall Carbon Nanotube Bundles by One-Step C60-Pillaring Method *Nano Lett.*, **2009**, 9, 3694-3698.
23. T. Ohba, N. Kojima, H. Kanoh, K. Kaneko, Unique Hydrogen-Bonded Structure of Water around Ca Ions Confined in Carbon Slit Pores, *J. Phys. Chem. C*, **2009**, 113, 12622-12624.
  24. M. Nakamura, T. Ohba, P. Branton, H. Kanoh, K. Kaneko, Equilibration-time and pore-width dependent hysteresis of water adsorption isotherm on hydrophobic microporous carbons, *Carbon*, **2010**, 48, 305-312.

他 9件

[学会発表] (計 73 件)

1. H. Kanoh, T. Matsumura, H. Li, H. Noguchi, H. Tanaka, Y. Fujiyama, A. Tohdoh, T. Ohba, T. Kodaira, K. Kaneko, Magnetism and Structures of One-dimensional Arrays of Oxygen Molecules Confined in Nanospaces, *the 9<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA9)*, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 20, 2007.
2. A. Kondo, H. Noguchi, L. Carlucci, D. M. Proserpio, G. Ciani, H. Kajiro, H. Kanoh, K. Kaneko, Gas Sorption of a Future Foreseeing Two Dimensional Metal-Organic Framework Exhibiting Explicit Multi-Sorption Jump, *the 9<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA9)*, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 21, 2007.
3. K. Urita, Y. Shiga, Y. Hattori, T. Ohba, H. Kanoh, K. Kaneko, Formation of Specific Crystal Structures by Quasi-high Pressure Effect in Nanospaces, *the 9<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA9)*, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 20, 2007.
4. T. Matsumura, H. Tanaka, T. Ohba, M. Endo, K. Kaneko, H. Kanoh, Antiferromagnetic One-Dimensional O<sub>2</sub> Arrays on Groove Sites of DWCNT, *NanoteC07: International Conference on carbon nanoscience and nanotechnology*, Brighton, UK, September 1, 2007.
5. 加納博文 他, 配位高分子の協同的気体吸収現象, 第 60 回コロイドおよび界面化学討論会, 信州大学松本市, 2007 年 9 月 20 日
6. 野口浩志 他, ゲート現象による効率的気体分離・貯蔵, 第 21 回日本吸着学会研究発表会, 東京大学 駒場, 2007 年 9 月 28 日
7. 中川智洋 他, ゲート吸着機能性がある新規 Co 高分子錯体結晶, 第 21 回日本吸着学会研究発表会, 東京大学 駒場, 2007 年 9 月 27 日
8. 近藤篤 他, 柔軟性配位高分子錯体の構造とガス吸着特性, 日本化学会第 88 回春季年会, 立教大学、池袋, 2008 年 3 月 29 日.
9. 中川智洋 他, ゲート吸着能を示す新規コバルト細孔体, 柔軟性配位高分子錯体の構造とガス吸着特性, 日本化学会第 88 回春季年会, 立教大学、池袋, 2008 年 3 月 29 日.
10. 知念亜矢子 他, 新規 2 次元コバルト配位高分子の 2 段階分子吸着挙動, 日本化学会第 88 回春季年会, 立教大学、池袋, 2008 年 3 月 29 日.
11. A. Kondo et al., Structural Characterization of A Two-Dimensional Metal-Organic Framework indicating Stepwise Gas Adsorption properties, *8<sup>th</sup> International Symposium on the Characterisation of Porous Solids (COPS8)*, Univ. Edinburgh, UK, 2008 年 6 月 10-13 日
12. Hirofumi Kanoh et al., Cooperative Gas Sorption of a 2-dimensional Cu-organic framework, *8<sup>th</sup> International Symposium on the Characterisation of Porous Solids (COPS8)*, Univ. Edinburgh, UK, 2008 年 6 月 10-13 日
13. Hirofumi Kanoh et al., CH<sub>4</sub> Storage and CO<sub>2</sub> Separation through Expansive Modulation of a Porous Coordination Polymer, *5th International Conference Interfaces Against Pollution 2008*, 京都大学, 2008 年 6 月 1-4 日
14. Yan Cheng et al., The Change of morphology and CO<sub>2</sub> adsorptivity of a Cu-MOF on Rehydration, *5th International Conference Interfaces Against Pollution 2008*, 京都大学, 2008 年 6 月 1-4 日
15. Hirofumi Kanoh et al., Clathrate Formations of Metal Organic Frameworks by Expansive Modulation, *Symposium on Future Challenges for Carbon-Based Nanoporous Materials*, 千葉大学, 2008 年 7 月 11-12 日
16. Yan Cheng et al., Effects of Rehydration on the Structure and Gas Adsorptivity of a Cu-MOF, *Symposium on Future Challenges for Carbon-Based Nanoporous Materials*, 千葉大学, 2008 年 7 月 11-12 日
17. Atsushi Kondo et al., Framework Dimensionality-dependent Gas Adsorption Properties of Flexible Porous Coordination Polymers, *Symposium on Future Challenges for Carbon-Based Nanoporous Materials*, *Symposium on Future Challenges*

- for Carbon-Based Nanoporous Materials, 千葉大学, 2008年7月11-12日
18. 加納博文 他, Co系MOFの次元構造変化におけるダイナミクス, 第61回コロイドおよび界面化学討論会, 九州大学福岡, 2008年9月7-9日
  19. 藤島葉子 他, カーボンナノケージ中での細孔性配位高分子の成長, 第22回日本吸着学会研究発表会, 九州大学福岡, 2008年10月24-25日
  20. 加納博文 他, 分子オーダーの結晶性1次元細孔への吸着現象, 第22回日本吸着学会研究発表会, 九州大学福岡, 2008年10月24-25日
  21. 加納博文 他, Pd/Ni ナノメタル担持単層カーボンナノホーンを用いるメタン分解触媒, 第35回炭素材料学会年会, 筑波大学つくば, 2008年12月3-6日
  22. 加納博文 他, コバルト配位高分子の階層的次元構造の変化, 日本化学会第89回春季年会, 日本大学船橋, 2009年3月27-30日
  23. チェンエン 他, Solvent-substituted dehydration and the induced shift of CO<sub>2</sub> gate adsorption of a Cu-MOF, 日本化学会第89回春季年会, 日本大学船橋, 2009年3月27-30日
  24. 近藤篤 他, 異なる次元性を有する配位高分子錯体のガス吸着特性, 日本化学会第89回春季年会, 日本大学船橋, 2009年3月27-30日
  25. H. Kanoh et al., Gas Sorption Properties of Elastic Layer-structured MOFs (ELMs), 15th International Symposium on Intercalation Compounds (ISIC15), 清華大学、中国北京, 2009年5月10-14日
  26. H. Kanoh et al., Changes In Dimensional Structures of a Co-MOF System, The Joint 13th IACIS International Conference on Surface and Colloid Science, コロンビア大学、New York, USA, 2009年6月14-19日
  27. Y. Cheng et al., A Novel Flexible Nanoporous Cu-MOF and its CO<sub>2</sub> Adsorption Property, Rome, Italy, 2009年10月19-22日
  28. 加納博文 他, Elastic Layer-structured MOF (ELM) のゲート現象に及ぼす溶媒処理効果, 第62回コロイドおよび界面化学討論会, 岡山理科大学、岡山市, 2009年9月17-19日
  29. 宋馳 他, 有機-無機ハイブリッドナノ細孔体による二酸化炭素分離, 第23回日本吸着学会研究発表会, 豊橋技術科学大学、豊橋市, 2009年11月27-28日
  30. 加納博文 他, Elastic Layer-structured MOFs (ELMs)の多様なゲート現象, 第23回日本吸着学会研究発表会, 豊橋技術科学大学、豊橋市, 2009年11月27-28日
  31. 藤島葉子 他, カーボンナノケージ中での細孔性配位高分子の生成, 第36回炭素材料学会年会, 仙台市戦災復興記念館, 2009年12月1-3日
  32. 近藤篤 他, 柔軟性配位高分子錯体(ELM)のクラスレート生成に伴う二酸化炭素吸着速度解析, 日本化学会第90春季年会, 近畿大学、東大阪市, 2010年3月26-29日
  33. 上代洋 他, 二次元積層錯体のゲート現象の制御, 日本化学会第90春季年会, 近畿大学、東大阪市, 2010年3月26-29日
  34. 加納博文 他, 柔軟性Ni高分子錯体の特異的ガス吸着性, 日本化学会第90春季年会, 近畿大学、東大阪市, 2010年3月26-29日
  35. 本多高士 他, 化学架橋による有機無機ハイブリッド錯体の高次集合体化, 日本化学会第90春季年会, 近畿大学、東大阪市, 2010年3月26-29日
- 他 38件
- 〔図書〕(計4件)
1. 加納博文, 金子克美, 炭素材料の新展開, 学振第117委員会, 2007.
  2. 加納博文, 金子克美, ナノカーボンハンドブック, エヌ・ティー・エス, 2007.
  3. 加納博文, 吸着技術の産業応用ハンドブック, リアライズ理工センター, 2009.
  4. 近藤篤, 加納博文, 配位空間の化学-最新技術と応用-, シーエムシー出版, 2009.
- 〔産業財産権〕
- 取得状況(計1件)
- 名称: メソ細孔性ゼオライトの合成方法  
 発明者: 陶有勝, 加納博文, 金子克美  
 権利者: 国立大学法人千葉大学  
 種類: 特許権  
 番号: 特許第4134031号  
 取得年月日: 2008年6月6日  
 国内外の別: 国内
- 〔その他〕
- ホームページ等  
<http://pchem2.s.chiba-u.ac.jp/jpn/index.html>
6. 研究組織
    - (1) 研究代表者
      - 加納博文 (Hirofumi Kanoh)  
 (千葉大学・大学院理学研究科・教授)  
 研究者番号: 60334166