

平成 22 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19686048

研究課題名 (和文) 新規階層型多孔質物質群の合成, 体系化, 機能

研究課題名 (英文) Synthesis, systematization, and functionalization of newly developed hierarchical porous materials

研究代表者

小倉 賢 (OGURA MASARU)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：50298155

研究成果の概要 (和文)：

シリカ系メソ多孔質材料を原料として、マイクロ孔材料およびマイクロ孔との複合細孔材料にそれぞれ適した合成手法を開発した。また、シリカ系メソ多孔質材料の合成時もしくは後処理時に、異種元素挿入など表面修飾をおこない、固相転移でマイクロ孔材料に転換する際にその表面特性が転写される合成手法も編み出した。結果として、触媒として重要な酸塩基もしくは酸化還元性を示す活性中心を配座した、マイクロ孔からメソ孔、マクロ孔に至る階層型多孔質物質の創製に成功した。

研究成果の概要 (英文)：

A novel method to synthesize microporous materials or micro-meso-porous composite materials by use of mesoporous silica materials as a source, was developed as a suitable technique to obtain a hierarchical porous network. Another synthesis strategy for the newly-functionalized porous materials was also proposed; where hetero-atom doping on the surface of mesoporous silica materials in their synthesis or post-synthesis procedure, was carried out, and then the mesoporous materials were transferred into microporous materials without loss in the surface nature. As a result of this work, fabrication of a group of hierarchical porous silica from micro- through macropore with an important catalytic function of surface such as acid-base or redox properties, was successfully achieved.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2007 年度 | 12,000,000 | 3,600,000 | 15,600,000 |
| 2008 年度 | 5,600,000 | 1,680,000 | 7,280,000 |
| 2009 年度 | 2,500,000 | 750,000 | 3,250,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 20,100,000 | 6,030,000 | 26,130,000 |

研究分野：化学

科研費の分科・細目：工学・触媒・プロセス

キーワード：ゼオライト, 階層構造, コンポジット, 酸塩基触媒, 吸着材, 貴金属低減, ナノるつぼ, セラミックス

1. 研究開始当初の背景

世界的動向:新しい多孔質物質のニーズ「大きいだけでなく、小さいものとの組み合わせ」

つい最近までは、マイクロ孔物質とメソ孔物質の間をつなぐような超大孔径ゼオライト(細孔径が1nm以上)を合成する試みが多くなさ

れていた。ただしその多くは不安定な構造である。

ごく最近 Nature に、新規マイクロ多孔構造をもつゼオライトの合成成功が発表された [Corma et al., Nature, 443, 842 (2006)]。Medium pore と呼ばれる酸素 10 員環細孔と Extra-large pore の 18 員環細孔が結晶内で交差する構造をもつもので、既存のゼオライト触媒では得られない生成物選択性を発現した。また、我々独自に、自動車排ガス浄化吸着剤として新しい構造 (酸素 10 員環と 12 員環の組み合わせ) を適用したところ、実搭載されている吸着剤と比して吸着性能が高いことも見いだされている [Elangovan, Ogura, et al., J. Phys. Chem. B. 108, 13059 (2004)]。これらの例は、サイズの違う細孔を組み合わせることによって、既存技術では実現できなかった性能領域に到達することを示している。

国外における研究例：

上記 Corma 先生の研究が代表的かつ典型的である。彼らのコンセプトは明確で、「有機物の設計とその構造の無機物への転写 + 有機物のゼオライト結晶化溶液中での安定性付与」である。様々な有機物を設計し、新規構造と新規発現物性を多く発表している。

国内における研究例：

横浜国立大学の窪田先生は、有機物設計による国内初新規骨格構造を実現し報告している [Kubota, et al., Microporous Mater., 6, 213 (1996), Chem. Commun., 2000, 2363]。また、東ソー株式会社の板橋研究員らによって、無機物のみでの新規骨格構造が発見されたのは記憶に新しい [Ikeda and Itabashi, Chem. Commun., 2005, 2753]。

2. 研究の目的

分子サイズの細孔が、吸着、触媒反応へ少なからず正に影響していることは周知の事実である。しかしこれを積極的に捉え、反応に適したサイズの反応場を用意して超選択的な触媒反応を実現させることは大変難しく、逆に興味深い案件である。触媒反応の重要なステップは、1) 拡散、2) 吸着、3) 表面反応、4) 脱離である。触媒の研究は主に 3 であるが、マイクロな環境整備によって 2 および 3、ナノ空間制御により 1 および 4 を制御可能にする。

この研究を進める上で重要なのは以下の 3 点である。

- 1) 活性サイトの構築
- 2) ナノ空間におけるマイクロ空間の創出
- 3) 反応場の構築

申請者はこれまでに上記の研究構想第 1 章を検討中であった (若手研究(B)H17-H18)。

マイクロ多孔質物質の代表としてゼオライト、それよりもワンランク大きなメソ細孔を有するメソ多孔体の特徴を併せもつコンポジットの作製手法につき検討し、独自の方法によってそのコンポジット材料が得られることを見いだした [Zhang, Ogura, Chem. Commun., 2005, 2719]。そのコンポジット材料は、ゼオライトライクな強酸点 + メソ多孔構造を特徴とし、特異的な触媒特性を発現した [Ogura et al., Microporous and Mesoporous Materials, in press]。ここで主張すべきは、ゼオライト (= 結晶) とメソ多孔質シリカ (= 非晶質) という、熱力学的安定領域の異なる材質をつなぎあわせて、これまでになかった特徴を発現したことである。

本研究では、まず第 2 章に取り組み、様々な分子サイズを認識可能なマイクロ空間をナノ空間に隣接して設計する。最終的には第 1 章と第 2 章を組み合わせ、分子認識型の空間とその内部の触媒活性サイト埋設を実現する第 3 章とし、これまでの知見を拡張し、新しい物質群の体系化をおこなうことを目標としている。その上で、新たに発現した吸着、分子拡散挙動を検討する。

3. 研究の方法

本研究を遂行するための具体的な工夫

・液相からの核生成・結晶成長の考え方を捕われない

・気相からの多孔質構造形成のための物質供給による表面・界面での固体の生成

・トップダウン式合成とボトムアップ式合成の二方向からの検討

トップダウン式合成：メソ多孔質物質の細孔壁でのマイクロ空間場の作製

これまで行って来た気相からの結晶化剤供給法 (2 段目の手法) [Zhang, Ogura, Chem. Commun., 2005, 2719] によって、ナノ細孔に面してマイクロ空間を細孔壁内に構築 (3 段目のルート)。研究大綱 2 の実現。

ボトムアップ式合成：マイクロ細孔を有する物質への相変化を伴うメソ空間場の作製

アルカリで強熱する処理で形成されるメソ孔 [Ogura et al., Appl. Catal., A219, 33 (2001)] と溶け出したシリカを相転移させて異質/異径細孔構造を積層。

平成 20 年度以降

トップダウン式合成：メソ多孔質物質の細孔壁上への金属ドーブあるいは金属錯体の埋設とマイクロ多孔化

高表面積なメソ多孔質物質に金属あるいは錯形成された金属種をドーブし、その元素周りの環境を変化させずにマイクロ・ナノ空間を制御。研究大綱 2 および 1 と 2 を複合化させ

た大綱3の実現

ボトムアップ式合成：相互作用を考慮したノンポーラス物質へのマイクロ多孔化とその積層によるマクロ多孔化

ノンポーラス粒子の外表面を多孔化し、それを積層することによって内表面化しヒエラルキカル細孔構造を制御。研究大綱2の実現。トップダウン式とボトムアップ式の二方向からの合成戦略によって、マイクロ多孔種とメソおよびマクロ多孔種を掛け合わせた新しいタイプのヒエラルキカル細孔ネットワーク構造をもつ多孔体を体系化する。その際、

- ・ ミクロ孔領域とメソ孔領域をまたがる細孔（ネットワーク）を有する
- ・ 熱力学的準安定領域の異なる構造をつなぐ

ことが大きな特徴であり、これまでに得られなかったような吸着、分子拡散挙動が期待される。

したがって、体系化と同時並行して、特に様々な分子を用いた吸着拡散挙動の追跡により特性を明らかにする。

4. 研究成果

平成19年度

メソ多孔体への強酸点付与に関する検討

非晶質性のメソ多孔体にゼオライト結晶で発現する強酸点を付与することを試みた。メソ多孔体の細孔壁をゼオライトの原料とし、ゼオライトの核化・結晶化剤となる有機アミンを蒸気化して供給することで、メソ多孔体の細孔壁上でゼオライトを結晶化させることができた。また条件、特に蒸気供給温度と時間を制御することにより、ゼオライトの結晶成長を抑え、ビルディングユニットの形成で止めることができた。それにより、メソ多孔質性を損なうことなくゼオライトライクな強酸性質を付与することに成功した。

メソ多孔体へのマイクロポケット構築に関する検討

マイクロ孔・メソ孔を併せもつコンポジット材料の創製のために、外表面ポケットタイプのマイクロ細孔を有するゼオライト種とメソ多孔体の組み合わせを検討した。供給する有機物にはヘキサメチレンイミンを使用した。マイクロポケットが形成される以前にまずゼオライト由来の酸点が形成され、その後長周期構造が発達することが分かった。長周期構造が発達するとメソ多孔性を維持することが困難なこと、上記での検討と同様に酸性質とメソ多孔質の共存は可能でありゼオライト由来の強酸性質とメソ多孔質シリカ由来のメソ多孔性が共存するコンポジット材料の合成には成

功した。マイクロポケット性を付与するためには、イミン蒸気の供給条件、特に競争的に供給する水蒸気分圧のコントロールによって結晶成長度を抑制できることがわかった。

平成20年度

固体酸触媒として実用されているゼオライトに代表されるマイクロ孔物質触媒材料の更なる適用範囲拡張のためのメソ/マクロ孔化技術として、研究代表者が開発した独自の結晶化技術によるコンポジット材料の創製とその吸着/触媒特性評価を行うことを目的とした。そこでは、非晶質で柔軟な骨格（細孔壁）をもつメソ多孔質シリカを合成し、その細孔壁にアルミニウムなど核形成サイトを担持し、そこへ核形成促進剤となるゼオライト構造指向剤を気相から供給する。昨年度の成果として、メソ多孔構造を保ちつつ、細孔壁に部分的なゼオライト結晶を形成させることに成功し、ゼオライトの強酸性質をメソ多孔質を併せもつ、これまでにない優れたヒエラルキカル細孔ネットワーク構造をもつ多孔体の創製に成功した。本年はこの結晶化技術を拡張し、これまで導入が困難であったヘテロ元素をシリカ結晶骨格へ導入することが容易になる方法論を明らかとした。これを利用し、酸性質および酸化活性を示すヘテロ元素を結晶性シリカ（ゼオライト）骨格に導入することに成功した。これにより、マイクロ空間により吸蔵される炭化水素を部分改質し放出する新しい触媒システムの開発に成功した。本多孔質触媒材料を自動車排ガス浄化触媒に利用することにより、現在必須成分となっている貴金属の使用量を大幅に低減できることがわかった。さらには、上記方法を利用することにより、これまでの従来法ではあり得なかった多価元素をゼオライト骨格へ導入することに挑戦した。酸性ガスの吸着分離特性などから、この物質には特異的な塩基点が存在することが確認された。結論するためには詳細な構造解析を必要とするが、多価元素導入結晶性シリケートの合成に成功したと考えられる。

平成21年度

昨年度までの成果として、メソ多孔構造を保ちつつ、細孔壁に部分的なゼオライト結晶を形成させることに成功し、ゼオライトの強酸性質をメソ多孔質を併せもつ、これまでにない優れたヒエラルキカル細孔ネットワーク構造をもつ多孔体の創製に成功した。またこの結晶化技術を拡張し、これまで導入が困難であったヘテロ元素をシリカ結晶骨格へ導入することが容易になる方法論を明らかとした。これを利用し、酸性質および酸化活性を示すヘテロ元素を結晶性シリカ（ゼオライト）骨

格に導入することに成功した。これを自動車排ガス浄化触媒に利用することにより、現在必須成分となっている貴金属の使用量を大幅に低減できることがわかった。本年は本結晶化法を拡張し、これまで通常には酸点を有する固体として認識されるゼオライトに塩基点を付与することを試み、形状選択的な反応環境をもつ塩基触媒をゼオライトをベースに構築することに成功した。また、メソ多孔質物質の機能化を目的として、セラミックスとのコンポジット化を目指したところ、メソ多孔質物質の均質で柔軟な細孔構造とセラミックスのもつ剛直な表面特性を併せもつ材料設計に成功した。これを「ナノるつぼ」「ナノピーカー」として利用することが可能であり、ナノ空間内で複合酸化物固溶相やゼオライトのナノ微結晶を作製する反応場とすることに成功した。

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 20 件) 全件査読有り

- ① Cheralathan K. Krishnan, Keiko Nakamura, Hirohito Hirata, and M. Ogura, "Pt/CeO₂-ZrO₂ present in the mesopores of SBA-15 - a better catalyst for CO oxidation", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 印刷中.
- ② Thomas Mathew, S.P. Elangovan, T. Yokoi, Takashi Tatsumi, M. Ogura, Yoshihiro Kubota, Atsushi Shimojima, and T. Okubo, "Synthesis and characterization of aluminium containing CIT-1 and their structure-property relationship to hydrocarbon trap performance", *Microporous and Mesoporous Materials*, 129, 126-135 (2010).
- ③ Taku Hasegawa, Cheralathan K. Krishnan, and M. Ogura, "Promising catalytic performance and shape-selectivity of nitrogen-doped siliceous MFI zeolite for base-catalyzed reactions", *Microporous and Mesoporous Materials*, 132, 290-295 (2010).
- ④ 小倉 賢・渡部景一郎・長谷川卓, "メソ多孔体から効率的に合成される高機能ゼオライト触媒", *化学工業*, 60, 545-552 (2009).
- ⑤ Yasuhiro Suzuki, Toru Wakihara, Keiji Itabashi, M. Ogura, and T. Okubo, "Cooperative Effect of Sodium and Potassium Cations on Synthesis of Ferrierite", *Topics in Catalysis*, 52, 67-74 (2009).
- ⑥ M. Ogura, "Towards Realization of a Micro- and Mesoporous Composite Silicate Catalyst", *Catalysis Surveys from Asia*, 12, 16-27 (2008).
- ⑦ Krishnan K. Cheralathan, Takahiro Hayashi, and M. Ogura, "A New Method for Post-Synthesis Coating of Zirconia on the Mesopore Walls of SBA-15 Without Pore Blocking", *Advanced Materials*, 20, 2131-2136 (2008).
- ⑧ Keiichiro Watanabe and M. Ogura, "Effective factors on solid phase conversion of Fe-containing mesoporous silica into Fe-beta", *Microporous and Mesoporous Materials*, 114, 229-237 (2008).
- ⑨ 小倉 賢, "ゼオライト特性を細孔壁にもつメソ多孔体", *触媒*, 50, 276-282 (2008).
- ⑩ K.K. Cheralathan, Hirohito Hirata, and M. Ogura, "Assembling mode of alumina and zirconia particles inside the mesopores of SBA-15 under high loading", *Studies in Surface Science and Catalysis*, 174, 161-166 (2008).
- ⑪ S.P. Elangovan, Katsuki Inoue, Toshiyuki Yokoi, T. Okubo, Akio Kojima, and M. Ogura, "Solid acid porous materials for the catalytic transformation of 1-adamantanol", *Catalysis Today*, 131, 367-371 (2008).
- ⑫ Riichiro Kimura, Junji Wakabayashi, S.P. Elangovan, M. Ogura, and T. Okubo, "Nepheline from K₂CO₃/Nanosized Sodalite as a Prospective Candidate for Diesel Soot Combustion", *Journal of American Chemical Society*, 130, 12844-12845 (2008).
- ⑬ K.K. Cheralathan, T. Hayashi, and M. Ogura, "Post-synthesis coating of alumina on the mesopore walls of SBA-15 by ammonia/water vapour induced internal hydrolysis and its consequences on pore structure and acidity", *Microporous and Mesoporous Materials*, 116, 406-415 (2008).
- ⑭ T. Wakihara, W. Fan, S. Kohara, M. Ogura, G. Sankar, and T. Okubo, "Intermediate-range Order in Mesoporous Silicas Investigated by a High-energy X-ray Diffraction Technique", *Chemistry Letters*, 37, 30-31 (2008).
- ⑮ M. Ogura, Y. Zhang, S.P. Elangovan, and T. Okubo, "Formation of ZMM-n: the composite materials having both natures of zeolites and mesoporous silica materials", *Microporous and Mesoporous Materials*, 101, 224-230 (2007).
- ⑯ 瀧澤健介・小倉 賢, "Steam-assisted crystallization法を用いたゼオライト-メソ多孔体コンポジット合成", *生産研究*, 59, 333-338 (2007).
- ⑰ M. Ogura, T. Okubo, and S.P. Elangovan, "Hydrocarbon Reformer Trap by Use of Transition Metal Oxide-Incorporated Beta Zeolites", *Catalysis Letters*, 118, 72-78 (2007).
- ⑱ S.P. Elangovan, Katsuki Inoue, T. Okubo, Akio Kojima, and M. Ogura, "Synthesis of 2-Adamantane Derivatives from 1-Adamantanol on Solid Acid Catalysts", *Industrial & Engineering Chemical Research*,

46, 1039-1044 (2007).

- ⑱ Wei Fan, Florian Meneau, Wim Bras, M. Ogura, G. Sankar, and T. Okubo, "Effect of silicon source on the formation of nanosized LTA: An in situ small angle X-ray scattering and wide angle X-ray scattering study", *Microporous and Mesoporous Materials*, 101, 134-141 (2007).
- ⑳ W. Fan, M. Ogura, G. Sankar, and T. Okubo, "In situ Small-Angle and Wide-Angle X-ray Scattering Investigation on Nucleation and Crystal Growth of Nanosized Zeolite A", *Chemistry of Materials*, 19, 1906-1917 (2007).

[学会発表] (計 30 件)

- ① 小倉 賢, K.K. Cheralathan, 中村佳子, 平田裕人, "メソポーラスシリカ細孔内セリア・ジルコニア固溶相の形成と低温 CO 酸化触媒の開発", 第 105 回触媒討論会, 2010 年 3 月 25 日, 京都
- ② M. Ogura, "Synthesis of zeolites from mesoporous silica and their catalytic functions", Invited Seminar at National Chemical Laboratory, Pune, 2010 年 2 月 22 日, Pune, India
- ③ M. Ogura, "Shape selective base catalysis of nitrogen containing zeolite", Lecture of Anna University Chennai, 2010 年 2 月 19 日, Chennai, India
- ④ 小倉 賢, "自動車排ガス浄化触媒の基礎と最新技術", 情報機構セミナー, 2010 年 2 月 17 日, 東京
- ⑤ 小倉 賢, "貴金属フリー自動車触媒開発への課題", サイエンス&テクノロジー触媒セミナー, 2010 年 1 月 26 日, 東京
- ⑥ 小倉 賢, "貴金属フリー自動車排ガス浄化触媒開発に向けて", 平成 21 年度小倉記念シンポジウム, 2010 年 1 月 9 日, 早稲田大学
- ⑦ 小倉 賢, "塩基性ゼオライトの使い方", 平成 21 年度産学交流サロン, 2009 年 12 月 14 日, 東京
- ⑧ S. Vishnupriya・渡部景一郎・小倉 賢, "P⁵⁺ドープシリケートゼオライトの合成と表面特性", 第 25 回ゼオライト研究発表会, 2009 年 11 月 26 日, 北九州
- ⑨ 小倉 賢, "環境浄化用マイクロ/メソ多孔質触媒に関する研究", 第 104 回触媒討論会, 2009 年 9 月 27 日, 宮崎
- ⑩ 小倉 賢, "メソ多孔体から合成するゼオライト触媒の可能性", 第 40 回触媒サマーセミナー, 2009 年 8 月 21 日, 箱根
- ⑪ T. Hasegawa, M. Ogura, "Nitrogen-doped zeolites crystallized by use of nitrided

mesoporous silica as the precursor and their basic catalysis", ZMPC2009, 2009 年 8 月 4 日, 早稲田大学

- ⑫ 小倉 賢, "ナノ空間材料を用いた自動車排ガス浄化触媒", 触媒道場, 2009 年 7 月 3 日, 博多
- ⑬ 小倉 賢, 長谷川卓, "窒素含有ゼオライトの合成とその塩基触媒特性の検討", 石油学会第 52 回年会, 2009 年 5 月 20 日, 東京
- ⑭ T. Hasegawa, M. Ogura, "Synthesis of zeolites with nitrogen doped in the framework for efficient base catalysts", 6th world congress on Catalysis by Acids and Bases, 2009 年 5 月 14 日, Genova, Italia
- ⑮ M. Ogura, Hirohito Hirata, Keiko Nakamura, and K.K. Cheralathan, "Zirconia-Coated Mesoporous Silica Having Both Natures of Ceramic Surface and Mesoporosity", The IUMRS International Conference in Asia 2008, 2008 年 12 月 13 日, 名古屋
- ⑯ 小倉 賢・平田裕人・K.K. Cheralathan, "セラミックス/メソポーラスシリカ複合体の合成と窒素吸着による構造特性評価", 第 22 回日本吸着学会研究発表会, 2008 年 10 月 24 日, 九州大学
- ⑰ 小倉 賢・平田裕人・K.K. Cheralathan, "メソ多孔質シリカのセラミックスコーティングによるセラミックス/メソ多孔質シリカコンポジット合成", 第 102 回触媒討論会研究発表会 A 講演, 2008 年 9 月 25 日, 名古屋大学
- ⑱ 小倉 賢, "“穴”を利用した貴金属フリー自動車触媒への挑戦", 平成 20 年度ゼオライトフォーラム「多孔体を利用する環境保全への挑戦: 自動車触媒と光触媒」, 2008 年 8 月 8 日, 大阪大学
- ⑲ Masaru Ogura and K.K. Cheralathan, "Several Attempts on Synthesis of Mesoporous Silica-based Composite Materials", A3 Seminar on Mesoporous Materials, organized by the A3 Foresight Program of JSPS, 2008 年 6 月 26 日, 早稲田大学
- ⑳ Masaru Ogura, "K-doped Microporous Tectoaluminosilicate for Soot Combustion", 5th International Conference Interfaces Against Pollution 2008 (IAP08), 2008 年 6 月 2 日, 京都大学
- 21 小倉 賢, "メソポーラスシリカからのゼオライト結晶化とマイクロメソコンポジットの実現可能性", 石油学会第 57 回研究発表会, 2008 年 5 月 16 日, 東京
- 22 小倉 賢・新部裕佳子・駒場慎一, "イソオクタン排出に対する HC reformer trap と Pt 触媒の複合効果", 第 101 回触媒討論会研究

- 発表会, 2008年3月28日, 東京
- 23 小倉 賢, “階層的多孔構造をもつシリケートの創製の試み”, 新化学発展協会主催「先端化学技術部会第284回講演会」, 2007年12月19日, 東京
- 24 渡部景一郎・小倉 賢, “固相転移法を用いた Fe^{2+} , P^{5+} 導入ゼオライトの合成”, 第23回ゼオライト研究発表会, 2007年11月27日, 秋田
- 25 小倉 賢・井上和哉・山口太地, “MCM-22/SBA-15 コンポジットの酸性質と芳香族化合物吸着特性”, 第37回石油石油化学討論会, 2007年10月26日, 札幌
- 26 小倉 賢・K.K. Cheralathan・林 高弘, “SBA-15 細孔内アルミナおよびジルコニアコーティング法の開発”, 第21回日本吸着学会, 2007年9月20日, 北海道。
- 27 小倉 賢・渡部景一郎・新部裕佳子・駒場慎一, “三元触媒の貴金属使用量低減を目指した HC reformer trap によるイソオクタン排出低減”, 第100回触媒討論会研究発表会 A 講演, 2007年9月20日, 北海道
- 28 小倉 賢・大久保達也・棚田 浩, “ディーゼルパーティキュレート除去用ソーダライト担持カリウム触媒上での相転移による高活性点の形成”, 第100回触媒討論会研究発表会 B 講演, 2007年9月18日, 北海道
- 29 Krishnan K. Cheralathan, M. Ogura, and Takahiro Hayashi, “Coating alumina and zirconia on mesoporous walls of SBA-15: a new vapour-induced internal hydrolysis (VIH) method”, 15th International Zeolite Conference (IZC), 2007.08.10. Beijing, China.
- 30 小倉 賢, “環境触媒の高性能化を目指したゼオライトの合成・修飾”, 第56回研究発表会 (石油学会), 2007年5月18日, 船堀 (東京)

[図書] (計3件)

- ① 小倉 賢 他 (分担執筆), 「ナノ空間材料の創製と応用」, フロンティア出版, pp.295-305 (全314ページ), 2009年
- ② 小倉 賢 他 (共同執筆), 触媒便覧, 講談社, pp.187-191, 2008年
- ③ 小倉 賢 他 (分担執筆), 環境調和型新材料シリーズ「触媒材料」, 日刊工業新聞社, pp.42-48, 2007年

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 触媒及びその製造方法
発明者: 平田裕人, 小倉 賢

権利者: 東京大学, トヨタ自動車
種類: 特願
番号: 2009-052387
出願年月日: 平成21年3月5日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.ogulab.iis.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小倉 賢 (OGURA MASARU)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 50298155