

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19106015

研究課題名（和文） 高度な分子認識機能をもつ規則性ナノ細孔シリカの創製

とその多様化

研究課題名（英文） Creation and diversification of novel porous materials with controllable nanopores and sophisticated molecular recognition functions

研究代表者

辰巳敬（TATSUMI TAKASHI）

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号：30101108

研究成果の概要（和文）：

規則的なナノ空間を有する多孔質シリカとして、サイズ、構造・形態、組成が異なる3種類（シリカナノ粒子、メソポーラスシリカ、ゼオライト）をベース材料に据え研究を行った。各材料に対して、一次粒子サイズやナノ空間サイズの多様化、ナノ空間構造の多様化、マクロ形態の多様化、非シリカ系への展開や有機-無機ハイブリッド化など構成成分の多様化を行い、これらの物性を複合化することで、高度な分子認識能をもつ多孔質材料を創製に取り組んだ。

研究成果の概要（英文）：

We have studied on the inorganic nanoporous materials with different sizes, structures and components, e.g., zeolites, mesoporous silicas and silica nanospheres; each of the materials has both advantages and disadvantages in terms of functionality, stability and pore size of the materials. In this project, we have succeeded in diversifying the size and the structure of nanopore and the components of the materials to develop novel porous materials with controllable nanopores and sophisticated molecular recognition functions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	36,000,000	10,800,000	46,800,000
2008年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2009年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2010年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2011年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
総計	86,000,000	25,800,000	111,800,000

研究分野：

科研費の分科・細目：工学・プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：ゼオライト、メソポーラス物質、単分散シリカナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

ゼオライトならびにメソポーラスモレキュラーシーブのように、ナノ空間が高度に制御された多孔質材料は、従来の触媒や吸着剤としての用途に留まらず、最近では高度機能材料としても注目を浴びている。我々の研究グ

ループではこれまで、特にTi含有ゼオライトの酸化触媒能の向上、有機・無機ハイブリッド型ゼオライトの調製、メソポーラスシリカの精密な構造制御、アニオン性界面活性剤を用いた初めてのメソポーラスシリカの合成、さらにキラルなナノ空間を有するメソポーラ

スシリカの初めての合成などを精力的に研究してきた。また、従来と比較し一桁小さい 10 nm 程度の均一なシリカの球状ナノ粒子を極めて規則的に配列させることにも成功した。このように、サイズ、構造・形態、組成が異なる規則性ナノ構造体を扱ってきた。これらの研究成果を踏まえ、本研究では、各々の材料の特性を系統的に組み込むことで、新規な高度機能材料の創製が期待できると考えた。

2. 研究の目的

我々はこれまでサイズ、構造・形態、組成が異なる様々な規則性ナノ構造体を扱ってきた。各々の材料の特性を一つの材料に組み込むことで、新規な高度機能材料の創製が期待できる。本課題研究では、規則的なナノ空間を有する多孔質シリカを柱に、サイズ、構造・形態、組成が異なる 3 種類（シリカナノ粒子、メソポーラスシリカ、ゼオライト）をベース材料にする。各材料に対して、【サイズの多様化】、【構造・形態の多様化】、【成分の多様化】を検討し、種々の物性を複合化した高度な分子認識能を有する機能性多孔質材料を創製することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) シリカナノ粒子

まず、【サイズの多様化】を実施する。我々が見出した手法は、シリカ源であるオルトケイ酸テトラエチル (TEOS) を塩基性アミノ酸水溶液中で反応させ、溶媒を蒸発除去させるだけという極めて簡単なものである。しかしながら、合成メカニズムが未解明であり、応用研究が不十分であった。よって、まず H19～H20 年度において、合成条件（組成、温度、時間、pH、溶媒の種類）や溶媒除去プロセスを精査、溶媒除去過程のシリカ種の状態について把握、アミノ酸の役割（アミノ酸自身の分子間相互作用、シリカとアミノ酸の相互作用）について精査し、本手法で得られる一次粒子サイズの範囲を 10 - 100 nm にまで拡張する検討を行い【サイズの多様化】を達成する。H20 年度においては、引き続き粒子径制御を行うとともに、シリカ粒子を鋳型にしたカーボンレプリカを調製し、これらを鋳型に用いることで様々な金属酸化物、遷移金属酸化物の規則性ナノ構造体を作成し、【成分の多様化】を検討した。

H20～21年度において【構造・形態、サイズの多様化】として、シリカ粒子を機械的、化学的に処理することにより、「溶媒中への分散」⇔「集合構造の形成」の可逆性を検討した。

H22～H23年度には再び【成分の多様化】

として、シリカ粒子のコロイド結晶を鋳型としカーボン、様々な金属酸化物や遷移金属酸化物、複合酸化物などの合成に取り組む。また、ゼオライトの合成反応場としても展開し、メソ孔-マイクロ孔が共存した新規材料の合成も試みる。また有機基導入によるハイブリッド化、金属原子の導入を行う。このように、シリカ粒子の多様化を図り、新規触媒、吸着剤、機能材料へと応用していく。

【構造・形態、サイズの多様化】として、また、ゼオライトの合成反応場としても展開し、メソ孔-マイクロ孔が共存した新規材料の合成も試みる。また有機基導入によるハイブリッド化、金属原子の導入を行う。このように、シリカ粒子の多様化を図り、新規触媒、吸着剤、機能材料へと応用していく。

(2) メソポーラスシリカ

【構造・形態の多様化】を実施する。我々は世界に先駆けてらせん状のメソ細孔を有するメソポーラスシリカの合成に成功した。ただし、現段階の問題点として、①複雑、困難な合成法、②メソ細孔のねじれ方向は一方のみ (100:0) ではなく、70:30～65:35 程度、③形態の制御 (図 9) がある。H19～22 年度においてこれらの問題点を解決することに取り組んだ。合成手法、条件の見直し、キラルなアミノ酸誘導体型界面活性剤の多様化、合成時に他のキラル分子を添加効果などを検討し、らせんのピッチの長さやロッド状粒子の形態の制御を検討した。

H19 年度において、様々な規則性シリカナノ粒子の合成手法を応用することで、20nm 程度の球状メソポーラスシリカナノ粒子の調製に成功した。H20 年度において、引き続き球状メソポーラスシリカの粒子径制御を検討するとともに、細孔構造や細孔径制御を検討した。また、Ti や Al などのヘテロ原子の導入、あるいはアミノ基やスルホ基などの活性点の導入を検討し、触媒材料へと変換するとともに、触媒活性を評価した。

【成分の多様化】として、シリカ骨格に有機基を導入したハイブリッド型シリカの合成、ならびに導入した有機基に対するさらなる機能化やソフトテンプレート法による様々な金属酸化物や遷移金属酸化物、複合酸化物などのメソポーラス物質の合成を実施した。

H22～23 年度において【構造、サイズの多様化】として、Ti 含有メソポーラスシリカナノ粒子触媒のさらなる高性能化に取り組む。具体的には合成条件およびシリル化処理などにより表面の疎水性向上を目指す。酸化触媒反応として、より筈高いテルペン類のエポキシ化反応も行う。また、シリカ

ナノ粒子をコア、マイクロ細孔やメソ細孔シリカをシェルとした新しい多孔体を調製し、高い分子認識能を有する材料合成を目指した。

(3) ゼオライト

H19～20 年度において、ゼオライト層状前駆体を徹底的に調査し、ゼオライト単層構造がシリカナノパーツとして使えるかどうか検討した。また、層間を十分拡張してシート構造を取り出す手法を検討する。層状前駆体の層間拡張処理には通常界面活性剤が使われるので、この既存の拡張技術について整理する。

H20 年度においては、引き続き処理条件を検討し、単層構造を得ることを目的とする。通常の XRD や窒素吸着に加え、SEM、TEM、NMR を用いて得られた材料の詳細な構造解析を進めていく。また、Ti や Al などヘテロ原子を導入し、触媒活性を評価していく。

H22 年度に引き続き、ゼオライト層状前駆体として、MWW 型ゼオライトの層状前駆体を中心として、PREFER (FER 型ゼオライトの前駆体)、PLS-1 (CDO 型ゼオライトの前駆体) などに取り組むが、他のゼオライト層状前駆体についても随時検討していく。

【サイズの多様化】については、H21～22 年度において層状前駆体の層間にシラン修飾処理を施すことで原子サイズレベルで層間が拡張した新しいゼオライト構造を創製に取り組んだ。とくに大孔径ゼオライトはファインケミカルズの合成触媒としての用途が拡大していることから、酸触媒反応については気相でのクラッキング・異性化・アルキル化に加えて、液相での Baeyer-Villiger 酸化、Beckmann rearrangement なども実施し、また酸化触媒反応には過酸化水素を用いた種々のアルケンのエポキシ化を実施した。またバイオマス変換分野でのゼオライト触媒の応用も検討した。

【構造・形態の多様化】については、H22～23 年度において、ゼオライト層状前駆体を層剥離により単層化した構造体をシリカナノパーツとした規則性多孔体の調製を行う。従来のカチオン性界面活性剤に加え、ノニオン性界面活性剤を用いる系を検討する。

4. 研究成果

(1) H19 年度の成果

①シリカナノ粒子

我々が見出したシリカ源であるオルトケイ酸テトラエチル (TEOS) を塩基性アミノ酸水溶液中で反応させ、溶媒を蒸発除去させ

るだけという極めて簡単手法により規則性シリカナノ粒子を得ることができる。この合成プロセスに対し、小角 X 線散乱や NMR 等を用いることにより合成機構を解明することができた。さらに得られる規則性シリカ粒子の粒子径制御の拡大、すなわち、【サイズの多様化】に成功した。

②メソポーラスシリカ

規則性シリカナノ粒子の合成手法を応用することで、20nm 程度のメソポーラスシリカナノ粒子の調製に成功した。

③ゼオライト

様々なゼオライト層状前駆体を調査し、ゼオライト単層構造がシリカナノパーツとして使えるかどうか検討した。層状前駆体の層間拡張処理には通常界面活性剤が使われるが、その処理条件を種々検討し、高比表面積を有するゼオライトを得ることに成功した。

(2) H20 年度の成果

①シリカナノ粒子

シリカナノ粒子に関しては、いったん生成したシリカ粒子に再びシリカ源を添加することにより、単分散性を維持したまま、8 nm から 600 nm の範囲において粒子サイズの拡大に成功した。また、シリカ粒子の分散液を用い、ディップコート法により、単分散シリカ粒子薄膜の調製に成功した。

②メソポーラスシリカ

メソポーラスシリカに関しては、H19 年度に調製に成功している 20nm 程度のメソポーラスシリカナノ粒子に Ti を導入し、酸化触媒として用いた。その結果、Ti 含有メソポーラスシリカナノ粒子は既存のメソポーラスシリカよりも高い活性を示した。

③ゼオライト

ゼオライトに関しては、エマルション法を用い、優れた酸化触媒である TS-1 の粒子形態制御に成功した。ナノサイズの TS-1 は既存の TS-1 では酸化活性を示さないかさ高い分子に対して活性を示すことが分かった。また、ゼオライト単層構造がシリカナノパーツとして使えるかどうか検討し、その可能性を確認した。

(3) H21 年度の成果

①シリカナノ粒子

H21 年度においては、粒子サイズの精密制御に取り組んだ。その結果、最大 600nm の単分散シリカ粒子の調製に成功した。またそれらの薄膜化にも成功した。

②メソポーラスシリカ

H20 年度までに、様々な規則性シリカナノ粒子の合成手法を応用することで、20nm 程度の球状メソポーラスシリカナノ粒子の調製に成功した。H21 年度において、球状メソ

ポーラスシリカの粒子径制御を検討した結果、2-4nmの範囲で細孔径制御に成功した。また、TiやAlなどのヘテロ原子の導入を導入し、触媒として応用した結果、既存のマイクロメートルサイズの粒子よりも高い活性を示した。

③ゼオライト

H21年度においては、ゼオライト層状前駆体に対し、架橋型有機シランを用いてシリル化処理を施すことにより、有機官能基が導入された層間拡張型ゼオライトの調製に成功した。シリル化条件を詳細に検討した結果、有機溶媒/硝酸の条件下で実施すると、効率よくシリル化が進行し、かつAlの脱理も抑制できることを見出した。

(4) H22年度の成果

①シリカナノ粒子

H22年度において、引き続き、粒子サイズの精密制御に取り組んだ。その結果、最小直径5nm程度の単分散シリカナノ粒子の合成に成功した。このナノサイズのシリカナノ粒子は高い比表面積を有しており、メソポーラスシリカともいえる。

②メソポーラスシリカ

H21年度までに、様々規則性シリカナノ粒子の合成手法を応用することで、20nm程度の球状メソポーラスシリカナノ粒子、ならびにTi含有球状メソポーラスシリカナノ粒子調製に成功した。H22年度において、Ti含有球状メソポーラスシリカナノ粒子にシリル化処理を行い、触媒性能の向上を図った。その結果、トリメチル化することで粒子の疎水性が向上し、触媒活性を向上できた。

③ゼオライト

H22年度においては、Ti含有ゼオライト層状前駆体に対し、架橋型有機シランを用いてシリル化処理を施すことにより、Ti含有層間拡張型ゼオライトの調製に成功した。シリル化条件を詳細に検討した結果、一度、三次元構造体を形成させた後、酸処理により層状構造に戻し再び三次元構造体とすることで、4配位Ti種の多いTi含有層間拡張型ゼオライトを調製出来ることを見出し、触媒活性を向上させることができた。

(5) H23年度の成果

H23年度においては、ゼオライト、メソポーラスシリカ、単分散シリカナノ粒子の3つの材料の融合化を実施し、新規な規則性ナノ細孔シリカの開発に取り組んだ。2例を以下に示す。

①メソポーラスシリカ/単分散シリカナノ粒子の複合化

新たにSNSs/メソポーラスシリカ複合体の開発を行った。H₂OとMeOHの混合溶媒中にアルカリ源および界面活性剤を溶解させた後に、様々な大きさの単分散SNSsを所定の量加えた。その後、分散液中にSi(OMe)₄(TMOS)を加えて、70°Cで24時間加熱攪拌後、100°Cで24時間熟成した。ろ過・洗浄後、白色の粉末を550°Cで焼成し生成物を得た。TEM像より、単分散SNSsの表面上にメソポーラスシリカ膜が形成していることを確認し、コアシェル型階層構造を有する単分散シリカ粒子の調製に成功した。TMOSの量を変えることでメソポーラスシリカ膜(シェル)の厚さは可変である。

②単分散ゼオライトナノ粒子

粒径50nmの単分散シリカナノ粒子(SNSs)コロイド結晶を鋳型としたカーボンレプリカのメソ細孔内にSi源、Ti源、構造規定剤(SDA)を導入し結晶化を行うことで、ナノサイズ化TS-1のコロイド結晶の調製に成功した。結晶化24時間以降のサンプルはXRDよりMFI型構造に由来する回折ピークが観測でき、SEM観察より、一次粒子は鋳型として用いたSNSsと同様の直径50nm程度の球状形態を有していることが分かった。UV-vis.スペクトルより、ほぼ4配位Ti種のみが存在していることが分かった。これらの結果より、三次元規則性多孔質カーボンを鋳型として用い、この形態を維持したMFI型TS-1ナノゼオライト(Ti-containing zeolitic silica nanospheres: Ti-ZSNSs)の合成に成功したと考えている。Ti-ZSNSsを用い、過酸化水素を酸化剤とし、1-ヘキセンのエポキシ化反応を行ったところ、一般的な方法で合成したTS-1より高い活性を示した。Ti-ZSNSsはMFI型ゼオライトに起因するマイクロ細孔、粒子間隙に由来するメソ細孔を有している。このような構造特性が高活性の要因になっていると考えている。

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 75 件)

全て査読有

- ① X. Shen, W. Fan, Y. He, P. Wu, J. Wang, T. Tatsumi, "Epoxidation of alkenes and their derivatives over Ti-YNU-1", *Appl. Catal., A*, 401, 37-45 (2011).
- ② C. Tagusagawa, A. Takagaki, A. Iguchi, K. Takanabe, J. N. Kondo, K. Ebitani, T. Tatsumi, K. Domen, "Synthesis and catalytic properties of porous Nb-Mo oxide solid acid", *Catal. Today*, 164, 358-363 (2011).
- ③ B. Tijsebaert, B. Yilmaz, U. Müller, H. Gies,

- W. Zhang, X. Bao, F.-S. Xiao, T. Tatsumi, D. De Vos, "Shape-selective synthesis of methylamines over the RRO zeolite Al-RUB-41", *J. Catal.*, 278, 246-252 (2011).
- ④ B. Yilmaz, U. Müller, B. Tijsebaert, D. De Vos, B. Xie, F.-S. Xiao, H. Gies, W. Zhang, X. Bao, H. Imai, T. Tatsumi, "Al-RUB-41: a shape-selective zeolite catalyst from a layered silicate", *Chem. Commun.*, 47, 1812-1814 (2011)
- ⑤ Y. Li, W. Guo, W. Fan, S. Yuan, J. Li, J. Wang, H. Jiao, T. Tatsumi, "A DFT study on the distributions of Al and Broensted acid sites in zeolite MCM-22", *J. Mol. Catal. A*, 338, 24-32 (2011).
- ⑥ Q. Zhu, J. N. Kondo, T. Yokoi, T. Setoyama, M. Yamaguchi, T. Takewaki, K. Domen, T. Tatsumi, "The influence of acidities of boron- and aluminium- containing MFI zeolites on co-reaction of methanol and ethene", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 14598-14605 (2011).
- ⑦ Q. Zhu, M. Takiguchi, T. Setoyama, T. Yokoi, J. N. Kondo, T. Tatsumi, "Oxidative Dehydrogenation of Propane with CO₂ Over Cr/H[B]MFI Catalysts", *Catal. Lett.*, 141, 670-677 (2011).
- ⑧ S.-Y. Chen, C.-Y. Tang, J.-F. Lee, L.-Y. Jang, T. Tatsumi, S. Cheng, "Effect of calcination on the structure and catalytic activities of titanium incorporated SBA-15", *J. Mater. Chem.*, 21, 2255-2265 (2011).
- ⑨ H. Mochizuki, T. Yokoi, H. Imai, R. Watanabe, S. Namba, J. N. Kondo, T. Tatsumi, "Facile control of crystallite size of ZSM-5 catalyst for cracking of hexane" *Microp. Mesop. Mater.*, 145, 165-171 (2011)
- ⑩ S.-Y. Chen, T. Yokoi, C.-Y. Tang, L.-Y. Jang, T. Tatsumi, J. C. C. Chan, S. Cheng, "Sulfonic acid-functionalized platelet SBA-15 materials as efficient catalysts for biodiesel synthesis", *Green Chem.*, 13, 2920 - 2930 (2011).
- ⑪ S. Inagaki, H. Imai, S. Tsujiuchi, H. Yakushiji, T. Yokoi, T. Tatsumi, "Enhancement of catalytic properties of interlayer-expanded zeolite Al-MWW via the control of interlayer silylation conditions", *Microporous Mesoporous Mater.*, 142, 354-362 (2011).
- [学会発表] (計 8件)
- ① Toshiyuki Yokoi, Naoya Tamura, Hiroyuki Imai, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi "Catalytic conversion of glycerol into value-added chemicals over titanasilicate/H₂O₂ system", 3rd Asia Oceania Conference on Green & Sustainable Chemistry, GSC-AON (2011), Melbourne, Australia, December 4-7, 2011.
- ② Ryoichi Otomo, Toshiyuki Yokoi, Hiroyuki Imai, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi , "Dehydration of xylose to furfural over beta zeolite catalysts", 3rd Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry, Melbourne, Australia, December 4 – 7, 2011, (口頭)
- ③ Toshiyuki Yokoi, Ryota Watanabe, Takashi Tatsumi, "Colloidal array of silica nanospheres as template for fabricating three-dimensionally ordered metal oxides" AIChe 2011 Annual Meeting, Minneapolis, USA (October 20, 2011)
- ④ Toshiyuki Yokoi, Naoya Tamura, Ryoichi Otomo, Hiroyuki Imai, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi, "Selective oxidation of glycerol over titanasilicate/H₂O₂ system", 4th International Symposium on "Advanced Micro- and Mesoporous Materials", Black sea coast, Bulgaria, September 6-9, 2011
- ⑤ Toshiyuki Yokoi, Tingting Liu, Hiroyuki Imai, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi, "Trimethylsilylation of Ti-containing Mesoporous Silica Nanospheres as Oxidation Catalyst", 6th International Symposium "Nanoporous Materials-VI", Banff, Canada August 23, (2011)
- ⑥ Toshiyuki Yokoi, Shun Mizuno, Hiroyuki Imai, Junko N. Kondo, Takashi Tasumi, "Synthesis of Al-containing interlayer-expanded-MWW zeolite with high catalytic performance under neutral conditions", SC-O-22, International symposium on Federation of European Zeolite Associations (5th FEZA), Valencia, Spain, July 3-7, 2011 (July 5, 2011)
- ⑦ Hiroyuki Imai, Hiroshi Yamazaki, Chao Man-Chien, Toshiyuki Yokoi, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi "Reaction Mechanism of Transformation of Methanol to Olefins over 8-membered ring Zeolite", GO A-18, The 13th Korea-Japan Symposium on Catalysis, Jeju island, Republic of Korea, 5/23-25, 2011. (海外, 口頭)
- ⑧ Ryoichi Otomo, Takeshi Suzuki, Hiroyuki Imai, Toshiyuki Yokoi, Junko N. Kondo, Takashi Tatsumi , "Improvement of beta zeolite catalysts for dehydration of xylose to furfural", YO A-08 , 13th Korea-Japan Symposium on Catalysis, Seogwipo, Korea, 5/23-25, 2011

〔図書〕(計 9 件)

- ① Tatsumi, Takashi, “Improvement of zeolite catalysts for cracking of naphtha”, American Chemical Society, Division of Petroleum Chemistry (2011), 56(2), 48-49
- ② Tatsumi, Takashi, “Metals in zeolites for oxidation catalysis”, Edited By: Cejka, Jiri; Corma, Avelino; Zones, Stacey, Wiley-VCH, *Zeolites and Catalysis*, (2010), 2, 713-743.
- ③ Tatsumi, Takashi, “Metal-substituted zeolites as heterogeneous oxidation catalysts”, Edited by Mizuno, Noritaka, Wiley-VCH, *Modern Heterogeneous Oxidation Catalysis*, (2009) 125-155. DOI:10.1002/9783527627547.ch4

〔産業財産権〕

○出願状況(計 4 件)

- ① 名称: アルミノシリケートの製造方法
発明者: 辰巳 敬、今井 裕之、横井俊之、林 幹夫、瀬戸山 亨
権利者: 三菱化学株式会社
種類: 特許
番号: 特許出願 2011-138099
出願年月日: 2011年 6月22日
(公開日)
国内外の別: 国内
- ② 名称: オレフィン化合物のエポキシ化方法
発明者: 辰巳 敬、竹中 圭司、猪木 公孝
権利者: ダイソー株式会社
種類: 特許
番号: 特許出願 2008-271817
出願年月日: 平成 20年 10月 22日
特許公開 2010-100546 (平成 22年 5月 6日)
国内外の別: 国内
- ③ 名称: メソポーラス炭素複合材料およびこれを用いた二次電池
発明者: 菅野 了次、辰巳 敬、横井 俊之、長尾 美紀、小林 剛、渡邊 亮太、今出 侑希
権利者: 国立大学法人東京工業大学
種類: 特許
番号: 特許出願 2008-264358
出願年月日: 2008年 10月 10日
特許公開 2010-95390 (2010年 4月 30日)
国内外の別: 国内
- ④ 名称: RTH 型ゼオライトの製造方法
発明者: 辰巳 敬、横井俊之、林 幹夫、瀬戸山 亨
権利者: 国立大学法人東京工業大学、三

菱化学科学技術研究センター

種類: 特許

番号: 特許出願 2008-298302

出願年月日: 2008年 11月 21日

特許公開 2010-150128 (公

開日: 2010年 7月 8日)

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.res.titech.ac.jp/~shokubai/t](http://www.res.titech.ac.jp/~shokubai/top.html)

[op.html](http://www.res.titech.ac.jp/~shokubai/top.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辰巳 敬 (TATSUMI TAKASHI)

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号: 30101108

(2) 研究分担者

野村 淳子 (NOMURA Junko)

東京工業大学・資源化学研究所・准教授

研究者番号: 60234936

(H19~H23)

横井 俊之 (YOKOI TOSHIYUKI)

東京工業大学・資源化学研究所・助教

研究者番号: 00401125

(H19~H23)

今井 裕之 (IMAI HIROYUKI)

東京工業大学・資源化学研究所・助教

研究者番号: 70514610

(H20~H23)

稲垣 怜史 (INAGAKI SATOSHI)

東京工業大学・資源化学研究所・助教

研究者番号: 90367037

(H19)