

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：特別推進研究

研究期間：2005～2008

課題番号：17002007

研究課題名（和文） 濃厚ポリマーブラシの科学と技術

研究課題名（英文） Science and Technology of Concentrated Polymer Brushes

研究代表者

福田 猛 (FUKUDA TAKESHI)

京都大学・化学研究所・研究員（学術研究奨励）

研究者番号：00111972

## 研究成果の概要：

リビングラジカル重合（LRP）を固体表面に応用して超高密度のグラフト鎖集団「濃厚ポリマーブラシ」を創製するという我々の先駆的研究を合成、物性、応用の3側面から発展させ、関連する新しい研究領域を拓く基盤を築いた。より具体的には、濃厚ポリマーブラシのもつ独自で新規な、時には驚くべき諸性質を掘り起こして体系化するとともに、これに基づく新しい分子デバイス等の概念や、より精緻／汎用的な濃厚ブラシ合成法を開拓した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	190,300,000	57,090,000	247,390,000
2006年度	131,400,000	39,420,000	170,820,000
2007年度	61,600,000	18,480,000	80,080,000
2008年度	44,500,000	13,350,000	57,850,000
年度			
総計	427,800,000	128,340,000	556,140,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

キーワード：表面開始LRP、超高密度ブラシ、極低摩擦、サイズ排除、新規コロイド結晶

## 1. 研究開始当初の背景

表面は、物質と外界との光学的、力学的、熱力学的、化学的相互作用の接点として重要な役割を担う。このため、表面の修飾・改質は科学技術の主要課題の一つとして、古くより様々な方法が考案され、研究されてきた。その中で、固体表面に固定した重合開始基からポリマーを“生やす”表面開始グラフト重合は、力学的にも耐環境的にも安定な高分子薄膜を与えると期待され、盛んに研究されてきた。しかし、多くの場合、そのグラフト密度は低く、グラフト膜の性質自体は、塗布膜のそれと本質的に変わらない。グラフト密度

が上昇し、表面占有率が数%の領域に入ると、グラフト鎖は互いの立体障害を避けるべく、表面から垂直方向に延伸された配向構造、つまりポリマーブラシ構造をとり、新しい性質を示し始める。この密度領域のグラフト膜は、「準希薄ポリマーブラシ」と呼ばれ、理論的にも実験的にも比較的よく研究されていた。しかし、従来技術で達成しうるのは、この密度領域までであり、グラフト鎖の表面占有率が約10%から数10%に及ぶ「濃厚ポリマーブラシ」は最近まで未知・未経験の領域であった。

我々は、表面開始リビングラジカル重合

(LRP)法の導入により、分子構造がよく制御され、系統的な実験研究に耐えうる濃厚ポリマーブラシの合成に世界に先駆けて成功するとともに、濃厚ブラシ中の柔軟な高分子鎖が、良溶媒中で伸び切り鎖長に匹敵するほど高度に伸長配向するという驚くべき事実を発見した。すなわち、濃厚ポリマーブラシは高分子の結晶、液晶に次ぐ新しい自発配向組織であるが、その典型的な構成要素が液体状態の柔軟性高分子であることから、結晶や液晶を含む既知の分子組織にみられない独自で新規な諸物性を示すことが期待された。

## 2. 研究の目的

濃厚ポリマーブラシという未知・未経験の高分子系自発配向組織が、様々な分野の基礎および応用科学の新しい局面を拓くシーズになりうるという認識の下で、これを(1)合成、(2)物性、(3)応用の3つの切り口から系統的かつ包括的に研究し、新しい科学技術の領域に育てることを本研究の目的とした。

より具体的な目的は以下の通りであった。

(1)合成化学的には、現在なお発展段階にあるリビングラジカル重合(LRP)法の基礎的理解の深化と技術的向上を基盤として、ブラシ構造の一層の精緻化・高性能化を図るとともに実用化を視野に経済性と対環境性に優れたブラシ合成ルートを開発する。(2)構造・物性科学的には、濃厚ポリマーブラシの構造とグラフト鎖密度・分子量の相関、膨潤-脱膨潤転移、異分子・異物質やブラシ自身との混和性や相互作用などの諸問題、また、力学的・熱的な性質については、濃厚ブラシの圧縮弾性率やガラス転移温度、表面潤滑性やレオロジー的性質などを解明し、この新組織の学術的体系化を図る。(3)機能・応用面では、これら基礎研究の成果を基盤とし、濃厚ブラシに基づく新規分子デバイス等を開発するための諸概念を開拓する。

## 3. 研究の方法

(1)LRPの基礎化学とその利用による多彩な濃厚ブラシ合成法について研究する。合成したブラシ試料については、(2)各種の精鋭測定装置によりその構造・物性を精密に評価し、結果を体系づける。さらに、これらの成果を基に、(3)濃厚ブラシを新規な分子デバイス等に応用するための材料学的な基礎研究を行う。

以上の研究を密な相互連携の下で効果的かつ包括的に行うため、高分子の合成、物性、材料、各々の先端的研究者よりなる研究チームを組む。高分子合成、とくにLRPの化学を専門とする後藤が主に(1)を、高分子物性、とくに高分子の光化学と界面科学を専門

とする辻井が主に(2)を、そして高分子合成、とくに高分子材料化学を専門とする大野と佐藤が主に(3)をそれぞれ研究分担者として担当し、高分子物性およびラジカル重合とLRP化学を専門とする福田が研究代表者として本研究を統括するものとした。福田、辻井、大野、後藤は同一大学の同一研究室に所属する関係で、密な相互連携と包括的研究の遂行が可能であった。佐藤は電気化学関連の高分子材料分野に多くの研究実績を有し、本研究の同分野への展開を期待した。

## 4. 研究成果

### (1) LRP法に基づく合成化学的成果

①有機テルル化合物を用いるLRP法に関して、光誘起型LRPを開発し、これを利用した濃厚ブラシの合成法と、光マスクを併用した濃厚ブラシの二次元パターンニング法を確立した。光を用いた濃厚ブラシ合成のはじめての成功例である。

②ゲルマニウム、スズ、リン、窒素、酸素、あるいは炭素化合物を触媒とする新しい機構のLRPである可逆連鎖移動触媒重合(RTCP)を開発した。金属触媒を使用せず、低毒性や低コストを特長とする濃厚ブラシ等の新材料の合成に道を拓いた。

③高圧下(5000気圧)のLRPにより、300万を超える高分子量の分布の狭いポリマーが生成することを発見した。常圧下のLRPでこのようなポリマーを合成することは原理的に極めて困難である。5000気圧下でのシリカ微粒子表面からのLRPにより、分子量300万以上で分布の狭いグラフト鎖からなる濃厚ポリマーブラシ(乾燥膜厚 $1\mu\text{m}$ 超)の合成に成功した。

### (2) 構造・物性科学的成果

④ポリマーブラシの膨潤膜厚のグラフト鎖密度と鎖長依存性に関して、平面基板と球面基板の両者に共通に適用しうる簡潔な規準式を理論的に導出し、原子間力顕微鏡法(AFM)や動的光散乱法による実験で実証した。これにより、濃厚ブラシ領域を決定する実験的規範が確立した。

⑤AFM法により測定した良溶媒中の対向ポリマーブラシ間の摩擦係数に関して、準希薄ブラシ系が、荷重の増大に伴って極低摩擦領域からこれより約3桁も摩擦係数の大きい領域への「摩擦転移」を示すのに対し、濃厚ブラシ系は荷重の大きさにかかわらず、またポリマーの種類によらず、常に極低摩擦係数を示した。これは濃厚ブラシ層の大きな浸透圧と高度に延伸された分子鎖形態に起因する、学術上極めて興味深い特性である。

ゲル表面を対向表面とし、異種高分子間の斥力的相互作用を組み込むことにより、マク

ロスコピックにも同等の極低摩擦系を実現した。応用面で重要な成果である。

⑥多孔性シリカモノリスの内表面に親水性高分子である PHEMA の濃厚ブラシを付与し、これを分離カラムとする GPC 実験により、濃厚ブラシがサイズ排除効果をもつことを実証した。これは、クロマトグラフィーや生体適合性表面の新しい概念を与える。

### (3) 応用科学的成果

⑦構造の明確な高分子量ポリマー濃厚ブラシを付与した、完全な溶媒分散性をもつ単分散シリカナノ粒子の合成に先駆的な成功を収めた。また、この技術の拡張により、単分散中空微粒子、濃厚ブラシ付与高屈折率硫化亜鉛 (ZnS)、ホウ酸担持濃厚ブラシなどの機能性微粒子の合成法を確立した。

⑧濃厚ブラシ付与シリカ微粒子の分散液が、ブラシ間の長距離相互作用を駆動力とする新しいタイプのコロイド結晶を形成することを発見し、これを準ソフト系コロイド結晶と位置づけるとともに、その結晶化濃度や結晶構造をブラシ構造との関連で体系つけた。

また、微粒子間架橋反応によるコロイド結晶の固定化やコロイド結晶系への色素添加によるレーザー発振に初歩的成功を収め、関連光学デバイスの構築への可能性を示した。

⑨各種の親水性ブラシと各種タンパクやマウス由来 L929 繊維芽細胞との水中の接触実験で、濃厚ブラシ構造そのものがタンパクや細胞に対して抗吸着・抗接着効果をもつことを実証した。また、親水性濃厚ブラシ付与ナノ粒子の優れた血中滞留性とガン組織への集積を確認した。これらの成果は、新しい生体インターフェースとしての濃厚ブラシの有望性を示す。

⑩イオン液体濃厚ブラシ付与シリカ粒子とその積層膜の合成に成功した。積層膜の示す高いイオン導電性は、微粒子の規則配列構造に起因したイオン導電チャンネル構造の形成を示唆し、リチウムイオン電池等への応用が期待される。また、濃厚ブラシの高配向・伸張構造をテンプレートとして活用した有機薄膜太陽電池の試作にも成功した。これらは、次世代デバイスとしての濃厚ブラシのポテンシャルの高さを示唆する。

⑪汎用ポリマーフィルム基材表面への濃厚ブラシ付与に関する複数の技術を開発し、濃厚ブラシの応用範囲を拡大した。

### 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 50 件) (全て査読有り)

1. “Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) with Alcohol

Catalysts” : A. Goto, N. Hirai, T. Wakada, K. Nagasawa, Y. Tsujii, T. Fukuda, *ACS Symp. Ser.*, in press (2009).

2. “Synthesis of Monodisperse Zinc-Sulfide Particles Grafted with Concentrated Polystyrene Brush by Surface-Initiated Nitroxide-Mediated Polymerization” : V. Ladmiraal, T. Morinaga, K. Ohno, T. Fukuda, Y. Tsujii, *Eur. Polym. J.*, in press (2009).
3. “Structural Analysis of “Semisoft” Colloidal Crystals by Confocal Laser Scanning Microscopy” : T. Morinaga, K. Ohno, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Macromolecules*, **41**, 3620–3626 (2008).
4. “Dispersion of Polymer-Grafted Magnetic Nanoparticles in Homopolymers and Block Copolymers” : C. Xu, K. Ohno, V. Ladmiraal, R.J. Compost, *Polymer*, **49**, 3568–3577 (2008).
5. “Optimization of Organotellurium Transfer Agents for Highly Controlled Living Radical Polymerization” : E. Kayahara, S. Yamago, Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, *Macromolecules*, **41**, 527–529 (2008).
6. “Phase-Separated Structures of Mixed LB Films of Silane-Coupling Agents with Polymerization Initiating Groups and Amphiphilic Carboxylic Acids” : T. Ishikawa, M. Ejaz, Y. Tsujii, H. Shibata, M. Matsumoto, *Colloid. Surf. A-Physicochem. Eng. Asp.*, **321**, 76–81 (2008).
7. “High-Pressure Atom Transfer Radical Polymerization of Methyl Methacrylate for Well-Defined Ultrahigh Molecular-Weight Polymers” : T. Arita, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Polymer*, **49**, 2426–2429 (2008).
8. “Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP): A New Class of Living Radical Polymerization” : A. Goto, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Polymer*, **49**, 5177–5185 (2008).
9. “Living Radical Polymerization with Nitrogen Catalyst; Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) with N-Iodosuccinimide” : A. Goto, H. Zushi, N. Hirai, T. Wakada, T. Fukuda, *Macromolecules*, **41**, 6261–6263 (2008).
10. “Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerizations of Styrene and Methyl Methacrylate with Phosphorus Catalysts” : A. Goto, N. Hirai, Y.

- Tsuji, T. Fukuda, *Macromol. Symp.*, **261**, 18-22 (2008).
11. "Two-Dimensional Ordered Arrays of Monodisperse Silica Particles Grafted with Concentrated Polymer Brushes" : T. Morinaga, K. Ohno, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Eur. Polym. J.*, **43**, 243-248 (2007).
  12. "Internal Phase Separation Driven Dewetting in Polymer Blend and Nanocomposite Films" : H. Chung, K. Ohno, T. Fukuda, R. J. Composto, *Macromolecules*, **40**, 384-388 (2007).
  13. "Monodisperse Silica Particles Grafted with Concentrated Oxetane-Carrying Polymer Brushes: Their Synthesis by Surface-Initiated Atom Transfer Radical Polymerization and Use for Fabrication of Hollow Spheres" : T. Morinaga, M. Ohkura, K. Ohno, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Macromolecules*, **40**, 1159-1164 (2007).
  14. "Kinetic Study on Role of Ditelluride for Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP): Y. Kwak, M. Tezuka, A. Goto, T. Fukuda, S. Yamago, *Macromolecules*, **40**, 1881-1885 (2007).
  15. "Highly Controlled Living Radical Polymerization through Dual Activations of Organobismuthines" : S. Yamago, E. Kayahara, M. Kotani, B. Ray, Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **46**, 1304-1306 (2007).
  16. "Surface Interaction of Well-Defined, Concentrated Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) Brushes with Proteins" : C. Yoshikawa, A. Goto, Y. Tsujii, N. Ishizuka, K. Nakanishi, T. Fukuda, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **45**, 4795-4803 (2007).
  17. "Size-Exclusion Effect and Protein Repellency of Concentrated Polymer Brushes Prepared by Surface-Initiated Living Radical Polymerization" : C. Yoshikawa, A. Goto, N. Ishizuka, K. Nakanishi, A. Kishida, Y. Tsujii, T. Fukuda, *J. Macromol. Symp.*, **248**, 189-198 (2007).
  18. "Germanium- and Tin-Catalyzed Living Radical Polymerizations of Styrene and Methacrylates" : A. Goto, H. Zushi, N. Hirai, T. Wakada, Y. Kwak, T. Fukuda, *Macromol. Symp.*, **248**, 126-131 (2007).
  19. "Photolysis of an Alkoxyamine Using Intramolecular Energy Transfer from a Quinoline Antenna - Towards Photo-Induced Living Radical Polymerization" : A. Goto, J. C. Scaiano, L. Maretti, *Photochem. Photobio. Sci.*, **6**, 833-835 (2007).
  20. "Suspensions of Silica Particles Grafted with Concentrated Polymer Brush: Effects of Graft Chain Length on Brush Layer Thickness and Colloidal Crystallization" : K. Ohno, T. Morinaga, S. Takeno, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Macromolecules*, **40**, 9143-9150 (2007).
  21. "Living Radical Polymerizations with Germanium, Tin, and Phosphorus Catalysts-Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP)" : A. Goto, H. Zushi, N. Hirai, T. Wakada, Y. Tsujii, T. Fukuda, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 13347-13354 (2007).
  22. "A Systematic Study on Activation Processes in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerizations (TERPs) of Styrene, Methyl Methacrylate, Methyl Acrylate, and Vinyl Acetate" : Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, Y. Kobayashi, and S. Yamago, *Macromolecules*, **39**, 4671-4679 (2006).
  23. "Re-evaluation of Persistent Radical Effect in NMP" : W. Tang, T. Fukuda, K. Matyjaszewski, *Macromolecules*, **39**, 4332-4337 (2006).
  24. "Suspensions of Silica Particles Grafted with Concentrated Polymer Brush. A New Family of Colloidal Crystals" : K. Ohno, T. Morinaga, S. Takeno, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Macromolecules*, **39**, 1245-1249 (2006).
  25. "Germanium- and Tin-Catalyzed Living Radical Polymerizations of Styrene" : A. Goto, H. Zushi, Y. Kwak, T. Fukuda, *ACS Symp. Ser.*, **944**, 595-603 (2006).
  26. "Protein Repellency of Well-Defined, Concentrated Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) Brushes by Size-Exclusion Effect" : C. Yoshikawa, A. Goto, Y. Tsujii, T. Fukuda, T. Kimura, K. Yamamoto, A. Kishida, *Macromolecules*, **39**, 2284-2290 (2006).
  27. "Mechanism and Kinetics of Dithiobenzoate-Mediated RAFT Polymerization, 1: The Current Situation" : C. Barner-Kowollik, T. Fukuda, A. Goto (and 12 coauthors), *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **44**, 5809-5831 (2006).
  28. "Structure and Properties of High-Density Polymer Brushes Prepared by Surface-Initiated Living Radical

- Polymerization” : Y. Tsujii, K. Ohno, S. Yamamoto, A. Goto, T. Fukuda, *Adv. Polym. Sci.*, **197**, 1-45 (2006).
29. “Ionic Liquids Containing The Tetrafluoroborate Anion Have The Best Performance and Stability for Electric Double Layer Capacitor Applications” : K. Yuyama, G. Masuda, H. Yoshida, T. Sato, *J. Power Sources*, **162**, 14011408 (2006).
  30. “Kinetic Study on Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer (RAFT) Process for Block and Random Copolymerizations of Styrene and Methyl Methacrylate” : K. Kubo, A. Goto, K. Sato, Y. Kwak, T. Fukuda, *Polymer*, **46**, 9762-9768 (2005).
  31. “Mechanism and Kinetics of Organostibine-Mediated Living Radical Polymerization of Styrene” : Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, S. Yamago, *Zeit. Physik. Chem.*, **219**, 283-293 (2005).
  32. “Synthesis of Monodisperse Silica Particles Coated with Well-Defined, High-Density Polymer Brushes by Surface-Initiated Atom Transfer Radical Polymerization” : K. Ohno, T. Morinaga, K. Koh, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Macromolecules*, **38**, 2137-2142 (2005).
  33. “Fabrication of High-Density Polymer Brush on Polymer Substrate by Surface-Initiated Living Radical Polymerization” : C. Yoshikawa, A. Goto, Y. Tsujii, T. Fukuda, K. Yamamoto, A. Kishida, *Macromolecules*, **38**, 4604-4610 (2005).
  34. “Precision Synthesis of A Fluorinated Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane-Terminated Polymer and Surface Characterization of Its Blend Film with Poly(methyl methacrylate)” : K. Koh, S. Sugiyama, T. Morinaga, K. Ohno, Y. Tsujii, T. Fukuda, M. Yamahiro, K. Watanabe, T. Miyashita, *Macromolecules*, **38**, 1264-1270 (2005).
  35. “Fabrication and Electrochemical Properties of High-density Graft Films with Ferrocene Moieties on ITO substrates” : T. Sakakiyama, H. Ohkita, M. Ohta, S. Ito, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Chem. Lett.*, **34**, 1366-1367 (2005).
  36. “Photofunctional Ultrathin Films Prepared by High-Density Graft Polymerization” : S. Ito, J. Kuno, K. Yamashita, M. Ohoka, H. Ohkita, Y. Tsujii, T. Fukuda, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, **30**, 687-690 (2005).
- [学会発表] (計 170 件)
1. Synthesis, Structure/Properties, and Functions of Concentrated Polymer Brushes, Y. Tsujii (Invited); The IUMRS International Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008) (2008.12.10) Nagoya.
  2. Novel Properties of Concentrated Polymer Brushes, Y. Tsujii (Invited); International Conference on Advanced Functional Polymers and Self-Organized Materials 2008 (IC-PSM08) (2008.9.22) Korea.
  3. Living/Controlled Radical Polymerization and Concentrated Polymer Brushes, T. Fukuda (Invited); 10th Annual UNESCO/IUPAC Conference on Macromolecules & Materials (2008.9.8) South Africa.
  4. Science and Technology of Concentrated Polymer Brushes, T. Fukuda (Invited); 236th American Chemical Society Fall National Meeting (2008.8.18) Philadelphia, USA.
  5. Science and Technology of Concentrated Polymer Brushes, T. Fukuda (Invited); IUPAC International Congress on Macromolecular Science – Macro 2008 (2008.6.30) Taipei.
  6. Super Lubrication of Concentrated Polymer Brushes in Solvents, Y. Tsujii (Invited); トライボロジー国際フォーラム (2008.5.15) 産業技術総合研究所臨海副都心センター.
  7. Nanoparticles Densely Grafted with Polymer Chains, T. Fukuda (Invited); BASF International Conference on Nanomaterials 2007 (2007.10.21) Singapore.
  8. Germanium-, Tin-, and Phosphorus-Catalyzed Living Radical Polymerizations of Styrene and Methacrylates, A. Goto (Invited); Hangzhou International Polymer Forum (2007.5.14), China.
  9. Surface-Initiated Living Radical Polymerization and Concentrated Polymer Brushes, T. Fukuda (Invited); The 4th IUPAC International Symposium SML'06 (2006.9.7), Tuscany, Italy.
  10. Concentrated Polymer Brushes: Surprising New Surfaces Created by Living Radical Polymerization, T. Fukuda (Invited); BASF Asian Workshop 2006 on Nanostructured Surfaces (2006.5.9), Shanghai, China.
  11. Synthesis and Applications of Fine Particles Grafted with Concentrated

Polymer Brush, K. Ohno (Invited);  
Macro Group UK International  
Conference on Polymer Synthesis ' 06  
(2006. 8. 2), Coventry, UK.

12. Concentrated Polymer Brushes:  
Striking New Surfaces Created by  
Living Radical Polymerization, T.  
Fukuda (Invited); 28th Australasian  
Polymer Symposium (APS2006)  
(2006. 2. 6) Rotorua, New Zealand.
13. Surfaces with a Concentrated Polymer  
Brush: Their Unique and Striking  
Features, T. Fukuda (Invited);  
Pacifichem International Chemical  
Congress of Pacific Basin Society  
(2005. 12. 17), Hawaii, USA.
14. Surface-initiated Living Radical  
Polymerization and Concentrated  
Polymer Brushes: Their Unique and  
Striking Properties, T. Fukuda  
(Invited); 230th ACS Fall National  
Meeting & Exposition (2005. 8. 29),  
Washington DC, USA.

[図書] (計 4 件)

1. “濃厚ポリマーブラシ” : 辻井、大野、福  
田, *超分子サイエンス～基礎から材料へ  
の展開～* (国武豊喜監修編、エヌ・ティー・  
エス), 3. 3. 8 節 (2008).
2. “Grafting and Polymer Brushes on Solid  
Surfaces” : T. Fukuda, Y. Tsujii, K.  
Ohno, *Macromolecular Engineering.  
Precise Synthesis, Materials Properties,  
Applications* (K. Matyjaszewski, Y.  
Gnanou, L. Leibler, Eds., Wiley-VCH,  
Weinheim) pp. 1137-1178 (2007)
3. “濃厚ポリマーブラシの調製と特性” : 辻  
井、福田、機能物質の集積膜と応用展開 (関  
隆広編、シーエムシー出版) pp. 83-93  
(2006) (4) “ナノコンポジットマテリア  
ル” : 辻井、福田, *無機界面からのグラフト  
重合* (井上明久編、フロンティア出版) pp.  
261-266 (2005)

[産業財産権]

○出願状況 (計 7 件)

名称 : イオン液体ポリマー複合微粒子を用いた高  
分子固体電解質

発明者 : 辻井敬亘、大野工司、福田 猛、佐  
藤貴哉

権利者 : 国立大学法人京都大学、独立行政法  
人国立高等専門学校機関

種類 : 特許

番号 : 特許出願 2 0 0 7 - 2 2 7 7 8 2

出願年月日 : 2007 年 9 月 3 日

国内外の別 : 国内

名称 : リン化合物を触媒として用いた新規リ  
ビングラジカル重合法

発明者 : 後藤 淳、福田 猛、辻井敬亘

権利者 : 国立大学法人京都大学

種類 : 特許

番号 : 特許出願 2 0 0 7 - 1 2 5 0 0 9

出願年月日 : 2007 年 5 月 9 日

国内外の別 : 国内

[その他]

新聞報道等

- (1) 電子材料、2008 年 11 月、「京都大学が高  
性能高分子材料の超低コスト製造方法を  
開発」.
- (2) 化学工業日報、2008 年 9 月 12 日、「低コ  
スト LRP 法開発」.
- (3) 化学工業日報、2006 年 10 月 2 日、「材料  
表面の新改質法」.
- (4) 日経産業新聞、2006 年 9 月 21 日、「結晶  
化の新技術」.

ホームページ等

<http://www.cpm.kuicr.kyoto-u.ac.jp/05/index.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 猛 (FUKUDA TAKESHI)

京都大学・化学研究所・研究員 (学術研究  
奨励)

研究者番号 : 00111972

(2) 研究分担者

辻井 敬亘 (TSUJII YOSHINOBU)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号 : 00217308

大野 工司 (OHNO KOHJI)

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号 : 00335217

後藤 淳 (GOTO ATSUSHI)

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号 : 20335219

佐藤 貴哉 (SATO TAKAYA)

鶴岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号 : 30399258

(3) 連携研究者

高田 晃彦 (TAKADA AKIHIKO)

九州大学・先導物質化学研究所・助教

研究者番号 : 20254427