

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17073014

研究課題名（和文） イオン液体を電解液に用いたナノ構造体の電気化学的構築

研究課題名（英文） Nanostructure Fabrication Using Electrochemical Process in Ionic Liquid

研究代表者

桑畑 進 (KUWABATA SUSUMU)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40186565

研究成果の概要（和文）：

本研究では、イオン液体の持つ難揮発性・イオン伝導性と真空技術を組み合わせた新たな技術の開発を試みた。その結果、最終的な目標として掲げていたナノ構造体の作製とそれに関連した新規な分析化学的手法の確立に成功した。また、本研究の成果の1つである新規な金属ナノ粒子調製法「イオン液体ースパッタリング法」の開発や、本方法により合成されたナノ金属粒子の燃料電池用触媒への応用にも成功した。

研究成果の概要（英文）：

In this investigation, we attempted to create a novel technology that consists of vacuum technology and ionic liquid having negligible vapor pressure and ionic conductivity. We succeeded in fabrication of nanostructure and establishment of new analytical methods using the novel technology. In addition to this, we also succeeded in the development of a new metal nanoparticle preparation method that is called Ionic liquid-sputtering method and its application to a catalyst for PEM-type fuel cell.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	8,000,000	0	8,000,000
2006年度	8,000,000	0	8,000,000
2007年度	8,000,000	0	8,000,000
2008年度	8,000,000	0	8,000,000
2009年度	8,000,000	0	8,000,000
総計	40,000,000	0	40,000,000

研究分野：電気化学、界面化学、ナノテクノロジー、イオン液体

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：半導体超微粒子、量子ドット、バイオセンシング、電気化学測定、触媒

1. 研究開始当初の背景

イオン液体はイオンのみから構成される室温で液相を有する液体塩であり、従来の溶媒系とは明らかに異なる物性を示すことがよく知られている。特に、高い電気化学安定性・熱安定性、不燃性などの特徴からリチウ

ムイオン二次電池用電解質としての応用や、水溶液中では熱力学的に電析不可能な元素のめっきなど、主に電気化学分野での応用が盛んに行われてきた。また、近年ではイオン液体が比較的容易に再利用可能であることに着目して、有機合成用のグリーンソルベン

トとして使用するケースも増えている。しかしながら、イオン液体の持つ難揮発性やイオン伝導性に着目した研究例はこれまで殆ど存在せず、イオン液体を真空技術と組み合わせることで、新たな真空技術の開発と分析化学的手法の確立を着想し、世界に先んじてその研究を開始した。

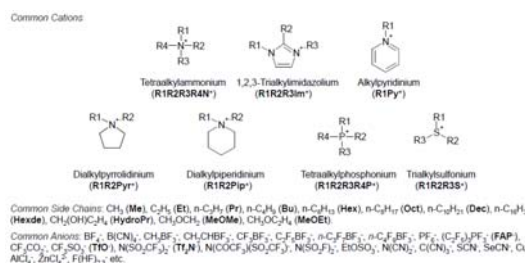


Fig. 1 イオン液体を構成するイオン種とその側鎖の例

2. 研究の目的

イオン液体の持つ難揮発性やイオン伝導性に着目した研究例はこれまで殆ど存在せず、ここでは、イオン液体を真空技術と組み合わせることで、新たな真空技術の開発と分析化学的手法の確立を目指す。具体的には、イオン液体中での3次元ナノ構造体の構築、イオン液体を利用した電子顕微鏡観察技術の開発、イオン液体を反応媒体に用いた金属ナノ粒子の調製とその燃料電池用電極触媒への応用である。

3. 研究の方法

本研究で用いたイオン液体の多くは、特定領域研究のグループで特別に発注したものである。それ以外のものについては、適宜、研究室内で合成した。純度や物性評価については、種々の分析化学的手法により同定した。量子ビーム装置により設計したナノ構造体は、電子顕微鏡により観察した。また、本研究で得られたナノ粒子の触媒能については電気化学測定より明らかとした。

4. 研究成果

イオン液体中における3次元ナノ構造体の構築

研究開始当初は、反応媒体であるイオン液体を塗布した基板の上に、集束イオンビームや電子ビームを任意の場所に選択的に照射して、1次元・2次元構造体の設計を試みていたが、研究の終盤には、それまでに得られた知見を参考にして、同様の方法による3次元構造体の設計を試みた。我々の提案した方法は、市販のビーム照射装置にイオン液体を導入してビーム照射を行うだけの非常に簡便な方法で

あるため、汎用性が高い点に大きな特長がある。これまでに得られた結果によると、金の3次元構造体を作製するのに適した量子ビームは電子ビームであるのに対し、高分子材料については集束イオンビームの方が適しているようである。前者についてはまだ改善すべき点があるが、後者の3次元構造体はモノマーの構造を最適化することにより、アスペクト比

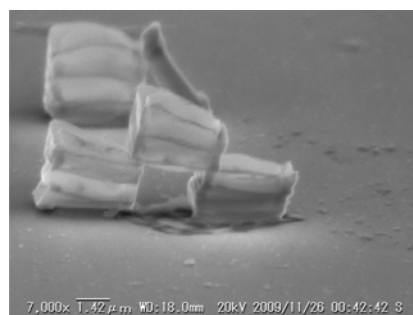
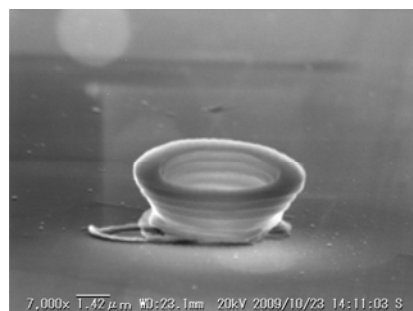


Fig. 2 本研究で得られた逆テーパ構造体と橋梁構造体

(高さと線幅の比)が高い構造体(アスペクト比がおおよそ30)を作製するだけでなく、逆テーパ構造や橋梁構造など特徴的な3次元構造体を作製することにも成功している (Fig. 2)。

イオン液体を利用した電子顕微鏡観察技術

イオン液体を導電処理剤として使用することで、生物試料を電子顕微鏡で観察する新たな方法の確立を試みた。その結果、従来法で固定化した動物・植物組織や生体細胞を走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察する際に、我々の提案した方法を用いると、従来法では観察できなかった微細な構造や組織に存在するワックスの状態までも観察することに成功した。さらに、イオン液体は、導電処理剤だけでなく、固定化剤としても有用であることを見出し、生物試料観察時の煩雑な手順を省略する新たな前処理法の確立にも成功した。この方法により、従来、6時間以上も費やす必要のあった前処理プロセスが10分以下に短縮され、専門家からは電子顕微鏡技術

の術中迅速病理診断への展開に道を開く画期的な方法であるとの評価を受けている。上述の結果を受け、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いたウイルスの観察にイオン液体を適用する方法についても検討した。従来法では、クライオ TEM 法がウイルスの生きた状態に近い微細な構造を観察するのに適していると言われているが、アモルファス状の氷の中に存在するウイルスを観察する方法であるため、その観察は容易ではなく、低温を維持することのできる特殊な試料ホルダーが必要となる。そこで、我々はイオン液体中にウイルスを単分散させて、そこに浮遊するウイルスの姿を観察した。その結果、動物・植物組織や生体細胞の SEM 観察とは異なり、イオン液体の種類によって、その像は大きく変化した。相性の良い組み合わせでは、従来法を超える微細な構造を観察することに成功したが、そうでない場合にはウイルスはその形状を保つことができなかつた。現時点では、イオン液体の選択がその成否の鍵を握っており、本方法を汎用性の高いものにするため、現在、イオン液体との相性を系統的に検討する試みを行っている。

生体試料を電子顕微鏡観察する際、イオン液体を試料の前処理に使用できることは上述したが、これを反応媒体として使用すると、これまで不可能であった数多くの反応をリアルタイムに観察できるようになる。本年度は Li 金属電析過程のリアルタイム観察について検討を行ったところ、Ni 電極上での Li 析出過程を観察することができた。また、それと同時に Li とイオン液体の界面における元素分析を EDX によって行う技術も開発した。この方法は、リチウム電池充放電時における電極挙動を視覚的に捉えるとともに、電池性能を左右すると言われる SEI 膜と呼ばれる不動態膜の元素分析を同時に行うことも可能であるため、リチウム二次電池開発の際の有力な分析手法となりうると考えている。一方、溶液に対するエネルギー分散型蛍光 X 線 (EDX) 分析は、イオン液体の真空分析装置への導入によって初めて可能になった技術であるため、これに着目した研究例は存在しない。我々は様々な Ag(I)濃度のイオン液体を EDX により分析することで、EDX 強度と Ag(I)イオン濃度の間には線形関係が存在することを世界で初めて明らかにすることに成功した。

イオン液体を反応媒体に用いた金属ナノ粒子の調製とその燃料電池用電極触媒への応用
ナノテクノロジーの急激な発展に伴い、金

属ナノ粒子に対する期待も大きくなりつつある。特に、貴金属ナノ粒子の調製法について数多くの報告がなされており、その技術の体系化も進んでいる。しかしながら、従来の方法では得られるナノ粒子の表面は安定化剤に覆われているため、期待した通りの物性が出ないことも少なくない。また、原理的に高活性な金属や卑金属のナノ粒子調製は非常に難しい。このような背景から、我々はイオン液体と金属スパッタリングを組み合わせた新規な方法を用いて、それらの短所を克服することに成功するとともに、イオン液体への放射線照射によって分散剤を使用することなく、金属ナノ粒子を大量に調製する方法を開発した。また、その燃料電池用触媒への応用についても検討を行った。ここでは、前者の方法で得られたPtナノ粒子をその検討に用いた。このPtナノ粒子分散イオン液体をグラッシーカーボン板に塗布、加熱して作製したPt担持電極 (Pt-GCE) を用いて電気化学測定を行ったところ、Ptナノ粒子を担持させる温度が373 K以下の場合には、GCのみの場合と同様、明確なピークは観察されなかつた。しかし、担持温度が473 Kの場合には0.6 V付近からO₂の還元起因する還元波が観察され、573 Kでは明瞭なピークとなった。この結果は電極作製時の温度がO₂還元能の向上に寄与していることを示唆している。残念ながら、この電極は容易にCO被毒されるため、イオン液体を修飾したPt-GCEを新たに作製し、同様の検討を行ったところ、この電極はCO被毒されないことがわかつた。この特異な現象を考察するには、分析化学的手法による更なる検討が必要である。

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 48 件)

1. Yoshida, Hiroyuki; Kawamoto, Kosuke; Tsuda, Tetsuya; Fujii, Akihiko; Kuwabata, Susumu; Ozaki, Masanori, "Nanoparticle-Dispersed Liquid Crystals Fabricated by Sputter Doping," *Adv. Mater.*, (2010) in press (web-published). (査読有)
2. Kameyama Tatsuya; Ohno, Yumi; Kurimoto, Takashi; Okazaki, Ken-ichi; Uematsu, Taro; Kuwabata, Susumu; *Torimoto, Tsukasa, "Size Control and Immobilization of Gold Nanoparticles Stabilized in an Ionic Liquid on Glass Substrates for Plasmonic Applications," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **12**, (2010) in press (web-published). (査読有)
3. Tsuda, Tetsuya; Yoshii, Kazuki; Torimoto,

- Tsukasa; Kuwabata, Susumu, "Oxygen reduction catalytic ability of platinum nanoparticles prepared by room-temperature ionic liquid-sputtering method," *J. Power Sources*, (2010) in press (web-published). (査読有)
4. Tsuda, Tetsuya; Arimoto, Satoshi; Kuwabata, Susumu, "Fundamental Research on Biomedical Application of Al-Mo-Ti Alloy Electrodeposited from $AlCl_3$ -1-Ethyl-3-methylimidazolium Chloride Melt," *Transactions of Material Research Society of Japan*, (2010) in press. (査読有)
 5. Yoshida, Hiroyuki; Tanaka, Yuma; Kawamoto, Kosuke; Kubo, Hitoshi; Tsuda, Tetsuya; Fujii, Akihiko; Kuwabata, Susumu; Kikuchi Hirotsugu; Ozaki Masanori, "Nanoparticle-Stabilized Cholesteric Blue Phases," *Applied Physics Express*, **2**, 121501/1-3 (2009). (査読有)
 6. Tsuda, Tetsuya; Seino, Satoshi; Kuwabata, Susumu, "Gold nanoparticles prepared with a room-temperature ionic liquid-radiation irradiation method," *Chem. Commun.*, 6792-6794 (2009). (査読有)
 7. Tachibana, Y.; Makuta, S.; Otsuka, Y.; Terao, J.; Tsuda, S.; Kambe, N.; Seki, S.; Kuwabata, S., "Organic conducting wire formation on a TiO_2 nanocrystalline structure: Towards long-lived charge separated systems," *Chem. Commun.*, 4360-4362 (2009). (査読有)
 8. Seki, S., Kihira, N.; Kobayashi, T.; Kobayashi, Y.; Mita, Y.; Takei, K.; Miyashiro, H.; Kuwabata, S., "Functionalized Room-Temperature Ionic Liquids for Lithium Secondary Battery Electrolyte Materials," *Electrochemistry*, **77** (8), 690-692 (2009). (査読有)
 9. Tachibana, Y.; Umekita, K.; Otsuka, Y.; Kuwabata, S., "Charge recombination kinetics at an in situ chemical bath-deposited cds/nanocrystalline TiO_2 interface," *J. Phys. Chem. C*, **113**(16), 6852-6858 (2009). (査読有)
 10. Tsuda, Tetsuya; Kurihara, Takasuke; Hoshino, Yasunori; Kiyama, Tomonori; Okazaki, Ken-ichi; Torimoto, Tsukasa; Kuwabata, Susumu, "Electrocatalytic Activity of Platinum Nanoparticles Synthesized by Room-Temperature Ionic Liquid-Sputtering Method," *Electrochemistry*, **77**, 693-695 (2009). (査読有)
 11. Suzuki, Toshimasa; Okazaki, Ken-ichi; Kiyama, Tomonori; Kuwabata, Susumu; Torimoto, Tsukasa, "A Facile Synthesis of AuAg Alloy Nanoparticles Using a Chemical Reaction Induced by Sputter Deposition of Metal onto Ionic Liquids," *Electrochemistry*, **77**, 636-638 (2009). (査読有)
 12. Uematsu, T.; Kitajima, H.; Kohma, T.; Torimoto, T.; Tachibana, Y.; Kuwabata, S., "Tuning of the Fluorescence Wavelength of CdTe Quantum Dots with 2 nm Resolution by Size-selective Photoetching," *Nanotechnology*, **20**, 215302 (2009). (査読有)
 13. 有本 聡, 蔭山仁志, 佐藤雄一, 幕田悟史, 津田哲哉, 桑畑 進, 鳥本 司, 「種々の走査型電子顕微鏡を用いたイオン液体中での電極表面その場観察技術」, *表面科学*, **30**(7), 368-373 (2009). (査読有)
 14. Hatakeyama, Yoshikiyo; Okamoto, Maimi; Torimoto, Tsukasa; Kuwabata, Susumu; Nishikawa, Keiko, "Small-Angle X-ray Scattering Study of Au Nanoparticles Dispersed in the Ionic Liquids 1-alkyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate," *J. Phys. Chem. C*, **113**, 3917-3922 (2009). (査読有)
 15. Imanishi, Akihito; Tamura, Masaaki; Kuwabata, Susumu, "Formation of Au nanoparticles in ionic liquid by electron beam irradiation," *Chem. Commun.*, 1775-1777 (2009). (査読有)
 16. Okazaki, Ken-ichi; Kiyama, Tomonori; Suzuki, Toshimasa; Kuwabata, Susumu; Torimoto, Tsukasa, "Thermally-induced Self-assembly of Gold Nanoparticles Sputter-deposited in Ionic Liquids on Highly-ordered Pyrolytic Graphite Surfaces," *Chem. Lett.*, **38**, 330-331 (2009). (査読有)
 17. Arimoto, Satoshi; Oyamatsu, Daisuke; Torimoto, Tsukasa; Kuwabata, Susumu, "Development of In Situ Electrochemical Scanning Electron Microscopy Using Ionic Liquid as an Electrolyte," *ChemPhysChem*, **9**, 763 (2008). (査読有)
 18. Kameyama, Tatsuya; Okazaki Ken-ichi; Ichikawa, Yuji; Kudo, Akihiko; Kuwabata, Susumu; Torimoto, Tsukasa, "Photoluminescence Enhancement of ZnS-AgInS₂ Solid Solution Nanoparticles Layer-by-layer-assembled in Inorganic Multilayer Thin Films," *Chem. Lett.*, **37**, 700-701 (2008). (査読有)
 19. Arimoto, Satoshi; Sugimura, Masaharu; Kageyama, Hitoshi; Torimoto, Tsukasa; Kuwabata, Susumu, "Development of New Techniques for Scanning Electron Microscope Observation Using Ionic Liquid," *Electrochim. Acta*, **53**, 6228-6234 (2008). (査読有)
 20. Oyamatsu, Daisuke; Fujita, Takeshi;

- Arimoto, Satoshi; Munakata, Hirokazu; Matsumoto, Hajime; Kuwabata, Susumu, "Electrochemical desorption of a self-assembled monolayer of alkanethiol in ionic liquids," *J. Electroanal. Chem.*, **615**, 110 (2008). (査読有)
21. Sato, Keiichi; Tachibana, Yasuhiro; Hattori, Shinya; Chiba, Taeko; Kuwabata, Susumu, "Polyacrylic acid coating of highly luminescent CdS nanocrystals for biological labeling applications," *J. Coll. Inter. Sci.*, **324**, 257-260 (2008). (査読有)
 22. Khatri, Om P.; Adachi, Kosaku; Murase, Kuniaki; Okazaki, Ken-ichi; Torimoto, Tsukasa; Tanaka, Nobuo; Kuwabata, Susumu; Sugimura, Hiroyuki, "Self-Assembly of Ionic Liquid (BMI-PF₆)-Stabilized Gold Nanoparticles on a Silicon Surface: Chemical and Structural Aspects," *Langmuir*, **24**, 7785-7792 (2008). (査読有)
- 2007年度以前については割愛する。
- [学会発表] (計 100 件以上)
以下、2009、2010 年度 国際会議のみについて記述する。
1. Tetsuya Tsuda, Yuichi Sato, Rentaro Sakao, and Susumu Kuwabata, "Fabrication of Artificial Muscle Device Using a PVdF-HFP-RTIL Composite (Invited)," International Symposium on Bio-Environmental Chemistry, Osaka University Global COE Program (Osaka, Japan, December 19-20, 2009).
 2. S. Makuta, Y. Otsuka, J. Terao, S. Tsuda, N. Kambe, Y. Tachibana, and S. Kuwabata, "Investigation on Photoinduced Electron Transfer Reaction at Conducting Polymer Wire/Titanium Oxide Nanocrystal Film Interface," International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIMME) 2009 (Chengdu, China, October 26-29, 2009).
 3. Takahisa Higuchi, Yasuhiro Tachibana, and Susumu Kuwabata, "Performance Investigations on Semiconductor Nanoparticles Sensitized Solar Cell by Introducing an Electronic Barrier Layer," International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIMME) 2009 (Chengdu, China, October 26-29, 2009).
 4. Toshihiro Doi, Taro Uematsu, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata, "Synthesis and Optical Properties of AgGa_xIn_{1-x}S₂ Nanoparticles," International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIMME) 2009 (Chengdu, China, October 26-29, 2009).
 5. Kosuke Inoue, Tetsuya Tsuda, Shu Seki, Akihito Imanishi, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata, "Development of Quantum Beam Techniques in Ionic Liquids," International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIMME) 2009 (Chengdu, China, October 26-29, 2009).
 6. Susumu Kuwabata, "Combination of Ionic Liquids with Vacuum Technologies Toward Development of New Analytical Methods and New Nanomaterial Synthesis Methods (Invited)," International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (ISIMME) 2009 (Chengdu, China, October 26-29, 2009).
 7. Susumu Kuwabata, Koshiro Kondo, and Tetsuya Tsuda, "Scanning Electron Microscope Observation of Concentration Profile in Ionic Liquid Caused by Electrochemical Reactions," 216th ECS (The Electrochemical Society) meeting (Vienna, Austria, October 4-9, 2009).
 8. Tetsuya Tsuda, Yuichi Sato, and Susumu Kuwabata, "Electroanalytical Chemistry in Polymer-RTIL Composite with an in situ Electrochemical SEM System," 216th ECS (The Electrochemical Society) meeting (Vienna, Austria, October 4-9, 2009).
 9. Taro Uematsu, Shohei Taniguchi, Toshihiro Doi, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata, "Emission quench of ZnS-AgInS₂ semiconductor nanocrystals and its application to Biosensors," 216th ECS (The Electrochemical Society) meeting (Vienna, Austria, October 4-9, 2009).
 10. Susumu Kuwabata, Masaharu Sugimura, Satoshi Arimoto, Tetsuya Tsuda, "Use of ionic liquid for developing new techniques for electron microscopy," 6th International Symposium, on Electron, Microscopy in Medicine and Biology 2009 (6th ISEM09) (Kobe, Japan, September 16-18, 2009).

11. Tetsuya Tsuda, Kazuki Yoshii, Tsukasa Torimoto, Susumu Kuwabata, “Electrochemical Behavior of Platinum Nanoparticles Synthesized with Room-Temperature Ionic Liquid-Sputtering Method,” Forth International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009) (Yokohama, Japan, August 2-6, 2009).
12. Kazuki Yoshii, Tetsuya Tsuda, Tsukasa Torimoto, Susumu Kuwabata, “Oxygen-Reduction Catalytic Ability of Platinum Nanoparticles Prepared by Room-Temperature Ionic Liquid-Sputtering Method,” Forth International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009) (Yokohama, Japan, August 2-6, 2009).
13. Susumu Kuwabata, Satoshi Arimoto, Hitoshi Kageyama, Takasuke Kurihara, Koshiro Kondo, Yasunori Hoshino, Tetsuya Tsuda, and Tsukasa Torimoto, “Utilization of RTIL for Scanning Electron Microscope Technology,” Third Congress on Ionic Liquids (COIL3) (Cairns, Australia, May 31-June 4, 2009).
14. Tetsuya Tsuda, Satoshi Seino, Yasunori Hoshino, Ken-ichi Okazaki, Tsukasa Torimoto, and Susumu Kuwabata, “Synthesis of Metal Nanoparticle in Room-Temperature Ionic Liquid Using Radiation Irradiation and Sputtering Methods,” Third Congress on Ionic Liquids (COIL3) (Cairns, Australia, May 31-June 4, 2009).
15. Kosuke Inoue, Tetsuya Tsuda, Shu Seki, Akihito Imanishi, Tsukasa Torimoto and Susumu Kuwabata, “Novel Metal Deposition and Patterning Methods with Beam Techniques Using Ionic Liquids,” Third Congress on Ionic Liquids (COIL3) (Cairns, Australia, May 31-June 4, 2009).
16. Koshiro Kondo, Tetsuya Tsuda, and Susumu Kuwabata, “Scanning Electron Microscope Observation of Concentration Profile in Ionic Liquid Caused by Electrochemical Reaction,” Third Congress on Ionic Liquids (COIL3) (Cairns, Australia, May 31-June 4, 2009).

[図書] (計 4 件)

1. 津田哲哉, 桑畑 進, 「イオン液体III」, 第7

- 章 “イオン液体中のナノ材料の電子顕微鏡観察,” 大野弘幸 監修, シーエムシー出版, pp. 51-60 (2010).
2. 岡崎健一, 桑畑 進, 鳥本 司, 「イオン液体III」, 第9章 “イオン液体を用いた金属ナノ粒子の合成・固定化と機能材料への応用,” 大野弘幸 監修, シーエムシー出版, pp. 73-83 (2010).
3. 桑畑 進, 「ポリマーバッテリー II」, 第 3 章 1.3 “ポリアニリン”, 1.4 “その他の導電性高分子”, シーエムシー出版, pp 67-72 (2009).
4. 岡崎健一, 桑畑 進, 鳥本 司, 「プラズモンナノ材料の最新技術」, イオン液体を用いる金属ナノ粒子の新規合成法の開発, 山田 淳 監修, シーエムシー出版, pp. 45-57 (2009).

2007 年度以前については割愛する。

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 電子顕微鏡用チャージアップ防止媒体、及びそれを用いた試料観察法
 発明者: 桑畑 進、鳥本 司
 権利者: 大阪大学、大阪産業振興機構
 種類: 特願 2006-012597
 出願年月日: 平成 18 年 1 月 20 日
 国内外の別: 国内および国外 (PCT 特願: PCT/JP2007/050816, 出願日: 平成 19 年 1 月 19 日)

名称: ナノ粒子の製造法
 発明者: 鳥本 司、岡崎健一、田中信夫、桑畑 進
 権利者: 名古屋大学、大阪大学
 種類: 特願 2006-050942
 出願年月日: 平成 18 年 2 月 27 日
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑畑 進 (KUWABATA SUSUMU)
 大阪大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 40186565

(2) 研究分担者

小谷松 大祐 (OYAMATSU DAISUKE)
 大阪大学・大学院工学研究科・助手
 H. 17, 18 年度のみ分担
 研究者番号: 80333847