

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23245047

研究課題名(和文)コロイドアモルファス集合体の構造発色メカニズムの解明と簡易調製手法の確立

研究課題名(英文)Simple Preparation and Optical Properties of Colloidal Amorphous Array

研究代表者

竹岡 敬和 (TAKEOKA, Yukikazu)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20303084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,300,000円、(間接経費) 11,490,000円

研究成果の概要(和文)：豊かな生活には、鮮やかな色を示す退色しない顔料の存在は欠かせない。また、低毒性、低環境負荷性を備えた顔料が安価で大量に得られれば、我々の暮らしが持続的に発展可能になるだろう。そのためには、自然界に豊富に存在し、環境負荷性が低い自然調和性に優れた化合物を利用した顔料作りが求められる。本研究では、サブミクロンサイズのシリカ微粒子は生体毒性も見られないので、そのアモルファス集合体を、簡単な方法で再現よく調製することに成功した。さらに、アモルファス集合体に生じる可視光領域の散乱を抑えるため、黒色微粒子を添加したところ、シリカ微粒子の粒径や黒色微粒子の量に応じて様々な鮮やかな色を示すことを発見した。

研究成果の概要(英文)：There are many industrial applications for coloured pigments that have anti-fading properties. Developing a low-cost, high-volume production method for anti-fading pigments that have low toxicity and minimal environmental impact may support their widespread use. To accomplish this goal, we need to prepare pigments using abundant and environmentally friendly chemical compounds. We demonstrated that the aggregation of fine, submicron silica spherical particles produces various colours. Because the micro structure of this aggregation is isotropic and has short-range order on a length scale comparable to optical wavelengths, angle-independent structural colour caused by wavelength-specific constructive reflection is exhibited. The saturation of colour from this aggregation can be increased by adding a small amount of a conventional black particle. Colourful green pigments can be prepared by combining different sizes of fine submicron silica spherical particles with black particle.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・高分子・繊維材料

キーワード：コロイドアモルファス集合体 構造色 黒色微粒子 シリカ微粒子 顔料

1. 研究開始当初の背景

屈折率の異なる二種類以上の物質が光の波長ほどの微細構造を形成し、光と物質との波長に依存した相互作用（屈折、回折、散乱、干渉、反射など）の結果によって生じる色を構造色と呼ぶ。構造色に対する一般的な認知度は低いが、実は、構造色を示すものは自然界に沢山存在している。例えば、昆虫、鳥、魚、クラゲなどの生物、シダなどの植物、貝殻、オパール、真珠などの鉱物が構造色を示す。申請者は、これまでに、クラゲや魚などが示す“環境に応じて変化する構造色”を人工の材料にて発現する系を構築し、化学物質センサーなどへの利用に取り組んできた。また、その発色メカニズムから、構造色は色褪せやエネルギー損失がない色であると考え、省エネルギーな反射型ディスプレイへの利用も検討している。しかし、構造色は英語では、Structural color の他に iridescence (日本語訳では虹色もしくは玉虫色)とも言われ、構造色を知っている者にとっては iridescence の意味の通り、見る角度によって色が変わるという印象が強い。実際に、申請者および他の研究者がこれまでに人工的に作り出した構造発色性材料は、その発色のメカニズムにブラッグ反射を利用した系であることから、見る角度によって色は変わってしまう。このことが、センサーやディスプレイの開発においては不都合となることから、申請者は角度依存性のない構造色を示す材料の開発に取り組んできた。そして、申請者は、科研費基盤 B による研究より、角度依存性のない構造色を示す材料が、粒径の揃った微粒子集合体から得られることを発見した(図 1)。さらに、この“角度依存性を示さない構造発色”のメカニズムを調べるうちに、本系は“アモルファス構造”を形成していることが原因で、角度依存性のない構造色を示すことを明らかにした。



図 1 角度依存性のない構造色を示すコロイド粒子のアモルファス集合体。それぞれの写真には、左から、青色、緑色、赤色の構造色を示すゲル微粒子のアモルファス集合体が並べてあり、見る角度を変えても色に変化がない。

従来のブラッグ反射を利用した構造発色性材料の研究では、構造色の起源となるフォトリックバンドギャップが生起するためには、可視光の波長と同程度に屈折率が周期的に変化した構造が必要と考えられている。サブマイクロメートルサイズの球状コ

ロイド粒子が分子の結晶と同様に整然と並んだ状態にあるコロイド結晶は、まさしく、屈折率が可視光の波長のサイズで粒子が周期的に並んでおり、その粒径と屈折率に応じた特定の波長の可視光を選択的に反射するため、コロイド結晶は構造色を示す。ところが、申請者が発見した微粒子の集合体は、共焦点顕微鏡写真より、周期性や長距離秩序のないアモルファスな状態にあることがわかった。アモルファス状態は、周期性および長距離の秩序性がないので、ブラッグの条件による光の反射は示さない。しかし、短距離秩序を有することが原因で特定の波長の光を散乱、干渉する性質を持つようになることが示唆された。このメカニズムの解釈には、アモルファスシリコンのような電子系のバンドギャップ生起の説明においてしばしば用いられる“電子束縛モデル”もしくは“アンダーソン局在”が応用できると申請者は考えているが、現在も、そのメカニズムの詳細は分かっていない。それから、粒径のそろったコロイド粒子をアモルファス状に集合させることは、コロイド粒子が微結晶を形成しやすいため、予想以上に困難であることも分かってきた。さらに、ブラッグ反射による構造色に比べて、アモルファス系から観測される構造色は淡く、視認性が低いため、センサーやディスプレイへの利用のためには、より鮮やかな構造発色性を実現させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、角度依存性のない構造色を示すコロイドアモルファス集合体の研究において、以下の三つの点について検討する。
 1) スプレー法を利用したアモルファス構造材料の構築：先に述べたように、球状コロイド粒子は懸濁状態から乾燥すると、溶媒の蒸発に伴って粒子が引き寄せられて結晶となりやすい。申請者は、懸濁溶液をスプレーによって基板に吹き付けることで、アモルファス集合体が簡単に得られる可能性を見出した。本研究では、より均一なアモルファス集合体の構築方法確立を目指す。
 2) 視認性の高い構造色を示すアモルファス構造材料の構築：アモルファス構造が示す角度依存性のない構造発色メカニズムの詳細は分かっていないが、シリカやポリマーのコロイド粒子に少量の黒色粒子を混ぜて乾燥すると非常に鮮やかな構造色が現れ、かつ、角度依存性も軽減されることが分かってきた。この黒色粒子の添加効果を解析する。
 3) アモルファス構造が示す角度依存性のない構造発色メカニズムの解明：実験と理論の両見解により、アモルファス構造の示す構造発色性について解き明かす。

3. 研究の方法

スプレー法を利用したアモルファス

構造材料の構築

申請者がこれまでに取り組んできたコロイド粒子のアモルファス集合体調製において、コロイド粒子の結晶化を防ぐ手段として、1) 塩の添加や遠沈法を利用した強制的な凝集化の利用、および、2) 粒径の異なる粒子の添加、が効果的であることを確認している。しかし、1)の方法では、集合体調製後の塩の除去に手間がかかること、遠沈法の利用では望みの形状への成形が困難なこと、2)の方法では反射ピークのブロード化(フォトニックバンドギャップの幅が著しく広くなり、バンドの強度が小さくなる)が起こり、構造色が鮮明に出なくなることが欠点であった。そこで、本研究では、より簡易な方法で大面積において鮮明な構造色を示す構造発色性材料をアモルファス集合体から得るための手段として、スプレー法を利用した方法の確立に取り組む。コロイド粒子の懸濁液の調製に、コロイド粒子の分散能が高く、留去しやすいアルコールのような溶媒を利用すれば、エアースプレーなどによってコロイド懸濁液を基板に吹き付けることで、急速なコロイド粒子の凝集が起こるため、基板にはアモルファス集合体となって堆積することを確認している。現在のところでは、コロイド粒子がアモルファス状に集合して大きさの異なる球状の二次粒子を形成することが分かっている(図2)。今後は、二次粒子の粒径の制御や均一な堆積化を確立することに取り組む。スプレー法による均一なアモルファス集合体の構築ができれば、表示材などにも利用可能な大面積の構造発色性材料が、非常に簡易に得られるようになる。やの複数の手法によってアモルファス集合体の簡易調製に多面的に取り組むことで研究が計画通りに進まない場合の理由を見いだせるようになるかと考えている。

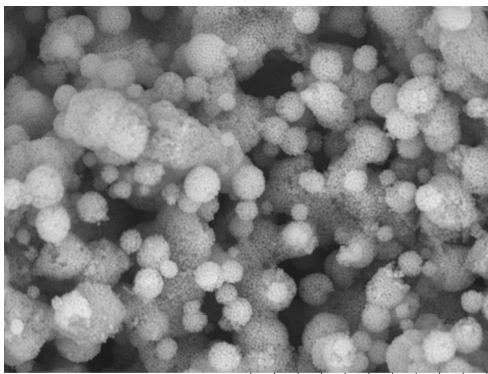


図2 スプレー法により基板上に吹き付けられたシリカ粒子のアモルファス状集合体：大きさの異なる二次粒子の集合体として得られる。

視認性の高い構造色を示すアモルファス構造材料の構築

コロイド粒子のアモルファス集積体は、フォトニックバンドギャップの生起による角度依存性のない構造発色性を発現するようになるものの、コロイド結晶に比べ、そのフォトニックバンドギャップの深さは浅いため、構造発色性も弱い。すなわち、特定の波長の光の反射強度が小さい。それに加え、乱反射を起こして可視光領域全体にわたる反射も生じうるため、人の目ではRGB全てを捉えてしまい、彩度の低い白っぽい色として認識するので、視認性も低くなる。そこで、少量の黒色粒子の添加によって、フォトニックバンドギャップに起因した反射領域の色を際立たせること(視認性の向上)に取り組む。黒色粒子は可視光領域全体に渡って光を吸収するため、フォトニックバンドギャップにおける反射強度も減少することになるが、乱反射した光の影響を抑えることによって、色としての視認性は向上すると考えている。これまで単独で用いていたシリカやポリスチレン等の白色コロイド粒子のみでは淡い色しか出なかったが、黒色微粒子の添加によって、フォトニックバンドギャップに起因した本来の色を際立たせることで、良好な発色性を実現させることが本研究の目的である。黒色粒子にはカーボンブラックや酸化チタン(チタンブラック)の利用が適切と考えている。これらの材料を混合することで様々な発色が実現できれば、従来用いられている鉛やカドミウムなどを利用した顔料に変わる低環境負荷で安価な顔料として利用できるようになる。

アモルファス構造が示す角度依存性のない構造発色メカニズムの解明

過去のフォトニックバンドギャップを示す材料に関する研究を調べてみると、屈折率の異なる材質から成る配列体に長距離秩序性や周期性がなくとも、短距離秩序性のあるアモルファス状態ならばフォトニックバンドギャップを示す可能性のあることが十年ほど前から理論的に研究されている。張らは、二次元アモルファス構造体を理論的に解析した結果、ある材質のシリンダーが形成する結晶構造体では異なる周波数領域に二つのフォトニックバンドギャップを示すが、同じ材質のシリンダーから成るアモルファス系では低周波数領域にのみ明瞭なフォトニックバンドギャップが現れることを明らかにしている。つまり、低周波数領域と高周波数領域のそれぞれのフォトニックバンドギャップは、短距離秩序、および、長距離秩序に由来していることが推測できる。また、アモルファス構造が本来持ちうる等方的な構造が原因で、アモルファスな構造から観測されるフォトニックバンド

ギャップには角度依存性がないことも示している。

アモルファス構造体でもフォトニックバンドギャップが生じることを説明するには、半導体に生じるバンドギャップの理論が適用できるだろう。半導体の系では、自由電子理論と束縛電子理論というバンドギャップに関する二種類の近似理論があるが、前者は、配列体が短距離秩序、長距離秩序、および、周期性を有する構造でなければならないが、後者の束縛電子理論では、短距離秩序さえあればバンドギャップが生じることを説明している。束縛電子理論がフォトニクス系の系にも適用できるとすれば、短距離秩序のみが存在するコロイドアモルファスでもフォトニックバンドギャップが観測されることが理解できる。

また、半導体の系で研究されているアンダーソン局在という現象が光においても生じると言うことが知られ、その前駆的現象として、干渉性後方散乱が生じることにより、ある周波数帯で状態密度の深く落ち込んだ状態が現れる可能性も指摘されている⁴⁾。このような状態を擬ギャップが生じていると言い、擬ギャップが可視光領域に生じれば、十分に構造色が観測される。実際、コロイド結晶なども完全なフォトニックバンドギャップを有する状態(状態密度が0)ではなく、擬ギャップを有する状態である。アンダーソン局在は、アモルファス半導体が有するバンドギャップの説明に用いられており、それをフォトニクス系の系にも適用できる可能性が高い。光のアンダーソン局在現象の理解の上でもコロイド粒子が形成するアモルファスアレイは興味深い系となりうるかもしれない。

以上のような理論研究での知見を基に、申請者が取り扱う系についての発色現象のメカニズムを実験的におよびシミュレーションによって解明していく。

4. 研究成果

コロイドアモルファス集合体が PBG を示す条件について調べた結果、集合体内における単分散微粒子の体積分率が理想のアモルファス集合状態と見なせる 64%の場合でも、単分散微粒子とその隙間を埋める物質との屈折率の比が 2.45 以上でなければ完全な PBG は生起しないが、屈折率比が 2.45 以下でも、その比が 1.1 前後の値(例えば、シリカ微粒子や溶媒で膨潤したゲル微粒子〔両系とも屈折率約 1.4〕からなるコロイドアモルファス集合体の隙間を溶媒(屈折率 1.3~1.5)で満たした系など)なら、コロイドアモルファス集合体は擬 PBG を有し、かつ、人の目には鮮やかな角度依存性のない構造色として認識できることを見いだした。従来の構造発色性材料の研究の多くでは、構造色の起源となりうる完全な PBG もしくは擬 PBG が生起するためには、可視光の波長と同程度に屈

折率が周期的に変化した構造によるブラッグ反射が必要と考えられていた。分子の結晶と同様に単分散微粒子が整然と並んだ状態にあるコロイド結晶は、まさしく、屈折率が可視光の波長のサイズで周期的に変化しており、単分散微粒子の粒径と材質の屈折率に応じた特定の波長の可視光をブラッグ条件によって選択的に反射するため、コロイド結晶は光の照射方向や見る角度に応じて変化する鮮やかな構造色を示す。一方、申請者が見出したコロイドアモルファス集合体による構造発色の発現は、“構造色は光の波長サイズの周期的な構造によって生じており、構造色は角度依存性があるもの”だという一般的イメージを払拭し、短距離秩序の存在により角度依存性のない構造色を示すことから、“構造色にも多様性がある”ことを具現化したものである。

ところが、シリカや汎用な高分子材料を構成成分とする単分散微粒子からなる屈折率比が 1.5 程度の乾燥したコロイドアモルファス集合体(シリカや高分子の屈折率が 1.5 前後で、空気が 1.0)は、可視光の全波長領域において非干渉性の散乱の寄与が大きいいため、これらのコロイドアモルファス集合体はほんの少し色付いてはいるが全体的に白く、構造発色性の色材とは見なせない。そのため、これまでに同様の系に携わってきた研究者達は、コロイドアモルファス集合体が擬 PBG や構造色を示す可能性に気づかなかったのだろう。申請者は、非干渉性の散乱を軽減するために、コロイドアモルファス集合体にカーボンブラック(CB)などの黒色粒子を添加したところ、黒色粒子の添加量に応じて鮮やかな彩度を示す構造色が観測されるようになることを発見した(図3)。白い単分散微粒子の粒径や、集合体内の単分散微粒子の体積分率を調節すれば、様々な色を示す材料が作れることも明らかにした。さらに、黒色粒子の添加はコロイド結晶の発色性の向上にも有効に働き、従来のコロイド結晶と比べて、黒色粒子を添加した場合には、実に鮮やかな構造発色を示すことも分かった。これらのコ

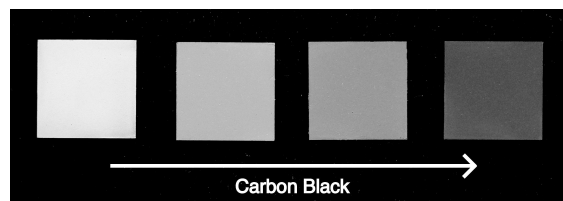


図3 コロイドアモルファス集合体に CB を添加すると、添加量に応じてコロイドアモルファス集合体の彩度が上昇する。図は粒径 280 nm の粒径の揃ったシリカ単分散微粒子からなるコロイドアモルファス集合体が、CB の添加によって右のサンプルほど鮮やかな緑色となっている様子を示す。

ロイド粒子集合体の構造発色の彩度に寄与する黒色粒子の添加効果については、まだ未知な部分が多いため、詳細なメカニズムが分かれれば、既存の毒性や耐久性、および、価格が問題視されている顔料に替わる、環境に優しく、安価で、非退色性の顔料が調製でき、様々な分野への応用が可能となるだろう。また、黒色物質には、導電性(例えば炭素材料)、磁性(例えばマグネタイト)、光応答性(例えば銀などの微粒子)を示す機能材料が沢山あるので、これらの黒色物質を利用することで、新しい機能を有する構造発色性材料の開発に繋がる。構造発色性材料は、その発色メカニズムから、色褪せやエネルギー損失がない色材であるため、生体や環境に優しい材料を利用して多岐に飛んだ発色性と機能の付与が実現されれば、構造発色性材料が従来の色材に取って代わるだけでなく、我々の生活をより良く変えるかもしれない。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

Hirashima, R., Seki, T., Katagiri, K., Akuzawa, Y., Torimoto, T., Takeoka, Y. "Light-induced Saturation Change in the Angle-independent Structural Coloration of Colloidal Amorphous Arrays" *J. Materials Chemistry C*, **2**, 344-348 (2014).

竹岡敬和, "青い色を示す鳥の羽を模倣した角度依存性のない構造発色材料"

「バイオミメティクスと自己組織化()」日本ゴム協会誌、印刷中

Takeoka, Y., Yoshioka, S., Takano, A., Arai, S., Khanin, N., Nishihara, H., Teshima, M., Ohtsuka, Y., Seki, T. "Producing Coloured Pigments with Amorphous Arrays of Black and White Colloidal Particles" *Angew. Chem. Int. Ed.*, **52**, 7261-7265 (2013).

Takeoka, Y., Yoshioka, S., Teshima, M., Takano, A., Harun-Ur-Rashid, M., Seki, T. "Structurally Coloured Secondary Particles Composed of Black and White Colloidal Particles" *Sci. Rep.*, **3**, 2371-1-7 (2013).

竹岡敬和, "クリスタルセンフィルター効果を利用した刺激に応じて色を変える相分離型発色材料" 「自己組織化」がもたらす材料科学の新境地」機能材料、**33**, 32-37 (2013)

竹岡敬和, "コロイドアモルファス集合体が表示角度依存性のない構造発色" 化学工業、**63**, 57-61 (2012)

[学会発表](計27件)

Y. Takeoka, "Producing coloured pigments with amorphous arrays of black and white colloidal particles", Façade Coatings and Plasters in European Coatings Conferences, (October 2013, Dusseldorf, Germany)

Y. Takeoka, "Producing coloured pigments with amorphous arrays of black and white colloidal particles",

International Seminar on Application of Novel Functional Materials to be organized by Department of Chemistry, University of Dhaka, (Dec. 14, 2013, Dhaka, Bangladesh).

Y. Takeoka, "Producing coloured pigments with amorphous arrays of black and white colloidal particles", CNPComp 2013 (Sep. 23 2013 Technische Universität Dresden, Germany).

岩田 政典, 手島 翠, 竹岡敬和, 関 隆広, 交互積層法を用いた構造発色性材料の作製, 第62回高分子学会討論会, 金沢大学, 金沢, 2013年9月11-13日.

鈴木 元紀・岩田 政典・手島 翠・竹岡敬和・関 隆広, 回転攪拌による構造発色性二次微粒子の作製とその応用, 日本化学会第94春季年会, 名古屋大学, 2014年3月27-30日.

岩田 政典, 手島 翠, 竹岡敬和, 関 隆広, 交互積層法を用いた構造発色性材料の作製, 第62回高分子学会年次大会, 京都国際会館, 京都, 2013年5月29-31日.

牧野 大樹, 安本 敦, 江崎 健太, 原 光生, 竹岡敬和, 関 隆広, ビオチン-アビジン結合を架橋に使用した理想網目鎖を持つゲルの作製, 第62回高分子学会年次大会, 京都国際会館, 京都, 2013年5月29-31日.

岩田政典, 手島翠, 竹岡敬和, 関 隆広, 吉岡 伸也, 交互積層法を用いた構造発色性材料の作製, 帝人21世紀フォーラム, 富士裾野, 2014年1月11-12日.

Yasumoto Atsushi, Hiroaki Gotoh, Yoshie Gotoh, Imran Abu Bin, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Kohzo Ito, Yasuhiro Sakai, "Fabrication of precise-structured thermo-responsive slide-ring gels by ATRP and click chemistry", Gelsympo 2012, Tsukuba, Oct. 10th, 2012.

Kenta Esaki, Yasumoto Atsushi, Imran Abu Bin, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Kohzo Ito, Yasuhiro Sakai, "Fabrication and characterization of thermoresponsive slide-ring gel with ionic polyrotaxane", Gelsympo 2012, Tsukuba, Oct. 10th, 2012.

Midori Teshima, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Ryuji Kawano, Shinya Yoshioka, Shoji Takeuchi "Fabrication of Mono-dispersed spherical assemblies and these structural colors by using microflow device" The 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Okinawa, Oct. 29th, 2012.

Midori Teshima, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Ryuji Kawano, Shinya Yoshioka, Shoji Takeuchi "Fabrication of

- Mono-dispersed spherical assemblies and these structural colors by using microflow device” 2012 MRS Fall meeting, Boston, Nov. 28th, 2012.
- Kenta Esaki, Yasumoto Atsushi, Imran Abu Bin, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Kohzo Ito, Yasuhiro Sakai, “Fabrication and characterization of thermoresponsive slide-ring gel with ionic polyrotaxane”, 2012 MRS Fall meeting, Boston, Nov. 28th, 2012.
- Yasumoto Atsushi, Hiroaki Gotoh, Yoshie Gotoh, Imran Abu Bin, Yukikazu Takeoka, Takahiro Seki, Kohzo Ito, Yasuhiro Sakai, “Fabrication of precise-structured thermo-responsive slide-ring gels by ATRP and click chemistry”, 2012 MRS Fall meeting, Boston, Nov. 28th, 2012.
- 竹岡敬和, “白い粒子と黒い粒子で赤富士を描く” 日本化学会第 92 回春季年会, 神奈川, 2012 年 3 月 28 日.
- 竹岡敬和, “白い粒子と黒い粒子でカラフルな顔料をつくる” 第 2 回 Next30 産学フォーラム, 名古屋, 2012 年 7 月 11 日.
- 竹岡敬和, “白い粒子と黒い粒子でカラフルな色をつくる” 第 37 回顔料物性講座, 東京, 2012 年 11 月 14 日
- 竹岡敬和, “角度依存性のない構造発色材料” 有機エレクトロニクス研究会 2012, 名古屋, 2013 年 1 月 24 日
- 手島翠, 竹岡敬和, 関隆広, 川野竜司, 吉岡伸也, 竹内昌治 “マイクロ流路を利用した単分散な二次微粒子の作製とその構造発色性” 日本化学会第 92 回春季年会, 神奈川, 2012 年 3 月 28 日.
- 手島翠, 竹岡敬和, 関隆広, 川野竜司, 吉岡伸也, 竹内昌治 “単分散な微粒子集合体の作製とその構造発色性” 高分子ゲル研究討論会, 名古屋, 2012 年 9 月 21 日
- 21 安本敦, 後藤弘旭, 後藤佳恵, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “ATRP 法とクリックケミストリーにより構造制御した温度応答性環動ゲルの創製” 第 6 1 回高分子学会年次大会, 横浜, 2012 年 9 月 21 日.
- 22 江崎健太, 安本敦, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “イオン基を持つポリロタキサンを架橋剤に用いた温度応答性環動ゲルの作製と物性評価” 第 6 1 回高分子学会年次大会, 横浜, 2012 年 9 月 21 日.
- 23 安本敦, 後藤弘旭, 後藤佳恵, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “ATRP 法とクリックケミストリーによってダングリング鎖を制御した環動ゲルの創製” 第 2 3 回高分子ゲル研究討論会, 東京, 2012 年 1 月 11 日.
- 24 安本敦, 後藤弘旭, 後藤佳恵, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “ATRP 法とクリックケミストリーによりダングリング鎖を制御した感温性環動ゲルの創製” 第 6 1 回高分子学会年次大会, 横浜, 2012 年 5 月 29 日.
- 25 安本敦, 後藤弘旭, 後藤佳恵, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “ATRP 法とクリックケミストリーによってダングリング鎖を制御した環動ゲルの創製” 第 2 回 CSJ 化学フェスタ, 東京, 2012 年 10 月 16 日.
- 26 手島翠, 竹岡敬和, 関隆広, 川野竜司, 吉岡伸也, 竹内昌治 “マイクロ流路を利用した単分散な二次微粒子の作製とその構造発色性” 第 2 回 CSJ 化学フェスタ, 東京, 2012 年 10 月 16 日.
- 27 江崎健太, 安本敦, Imran Abu Bin, 竹岡敬和, 関隆広, 伊藤耕三, 酒井康博 “イオン基を持つポリロタキサンを架橋剤に用いた温度応答性環動ゲルの作製と物性評価” 第 2 回 CSJ 化学フェスタ, 東京, 2012 年 10 月 16 日.
- 〔図書〕(計 5 件)
- 竹岡敬和, 第 4 章 ゲルの産業利用 第 9 節 分析、検出、センサー技術 “構造色ゲルを利用したグルコースセンサー” 「ゲルの作製・評価と高機能化 検討例題集」技術情報協会、印刷中 (2014)
- 竹岡敬和, 第 3 章 架橋高分子の物性向上と機能性付与 第 2 節 力学特性の向上 “ポリロタキサンによる刺激応答性ゲルの柔軟性付与” 「高分子破壊・劣化時の波面写真・データ集」技術情報協会、印刷中 (2014)
- Y. Takeoka et al. Editor in Chief: S. Kobayashi, K. Muellen Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer, in press.
- 竹岡敬和他 8 名 “第 8 章 界面活性剤”、有機機能材料 基礎から応用まで講談社、150-165 (2014).
- 竹岡敬和、 “コロイド・ゲル” 最先端材料システム～自己組織化と機能材料～、共立出版、43-54 (2012)
- 〔産業財産権〕
- 出願状況
現在、作製中
〔その他〕
ホームページ等
<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/06-BS-2/seki labo/index-j.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
竹岡 敬和 (TAKEOKA, Yukikazu)
研究者番号: 20303084