

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25288058

研究課題名(和文) 不斉超分子結晶体によるキラル無機酸化物ナノ材料設計手法の開発と応用

研究課題名(英文) Preparative synthesis and application of chiral metal oxides templated by chiral supramolecular crystallites

研究代表者

金 仁華 (Jin, Ren-Hua)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：60271136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：ポリエチレンイミン(PEI)とキラル酸(例えば、酒石酸、グルカル酸)からなるキラルの結晶性錯体(PEI/キラル酸)をシリカ、酸化チタンのミネラルゼーションの触媒的テンプレートとして用いることにより、有機物のキラル情報が無機構造体に転写された一連のキラルシリカ/PEI/キラル酸、キラルチタニア/PEI/キラル酸の複合ナノ構造体の合成法を確立した。

研究成果の概要(英文)：We established an effective method for preparative synthesis of nanostructured chiral metal oxides via chiral transfer process from crystalline complexes consisted of polyethyleneimine and chiral acids to silica and/or titania, followed by route of introducing metal ions into the obtained chiral silica/titania. Different to the previous chiral silica in which the chirality originated from a large definite helical pitch (10~100 nm), our chiral metal oxides have molecular scale chiral domains inside of the thin nanofiber, and showed high temperature resistance and remarkable optical properties.

研究分野：高分子化学

キーワード：ポリエチレンイミン、キラル転写、キラル酸化物、キラルシリコン、不斉認識、キラルテンプレート
ゾルゲル、円偏光発光

1. 研究開始当初の背景

ここ10年、材料化学(とりわけナノ材料)の進歩に伴い、分子的なキラリティを固体材料へと転写した完全酸化物構成からなるキラルな材料に関心が集まりつつある。10年ほど前、新海らは不斉分子の自己組織化によるオルガノゲルをテンプレートに、その表面でアルコキシシランのゾルゲル反応を進行させてから得られる中空シリカに、不斉を転写できると予測した(*Angew. Chem. Int. Ed.* 2000, 39, 1862)。この研究を発端に、不斉ゲルから酸化物壁への「不斉転写」の研究が数多く行われてきた。テンプレートの効果には、ゲル以外当然メソポーラス酸化物設計に用いられるミセルが有力な候補となる。ソフトな「有機」からハードな「無機」への不斉転写戦略の一つの転機は、辰巳らのキラルな界面活性剤からなるキラルミセルをテンプレートにして得られる螺旋状の不斉メソポーラスシリカの合成例である(*Nature*, 2004, 429, 281)。

その後、キラルメソポーラスシリカの研究が世界的な広がりを示したが、一定の進展はあるものの、機能と用途においては目立った成果はなかった。2010年、カナダのMacLachlanらによる、セルロースのナノ結晶をキラルテンプレートとして用いたメソポーラスキラルシリカの合成が報告され、シリカに転写されたキラルのニメティック相に反映されたフォトリック機能が話題を呼んだ(*Nature*, 2010, 468, 422)。ごく最近になって、カナダのグループはセルロースから作製したキラルなニメティック構造シリカをハードテンプレートとして用い、その上で繰り返しTiCl₄を詰め込みながら酸化チタンへ変換後、シリカを水素化フッ素で除去し、アナターゼ結晶のキラル酸化チタン合成に初めて成功したことを報告している(*Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 6886)。シリカの非晶性絶縁体に比べ、酸化チタンは結晶性半導体であるので、それに不斉を付与することにより、新しい機能材料として展開も期待できる(*Nature Commun.* 3:1215.DOI: 10.1038/ncomms2215)。しかしながら、今までの無機材料へのキラル転写に関する報告のほとんどは、不斉分子の集合体に発現されるヘリックスに依存する。分子集合体のヘリックスは、螺旋形状を繰り返すラセンピッチを不斉情報転写の決め手とするが、そのピッチは基本的に10nm以上で、長いものでは数百nmまでに及び、従って、その転写により形成された無機酸化物の場合、ラセンピッチが潰れてしまうと、キラリティも消失してしまう。すなわち、ラセンピッチに起因する無機酸化物のキラリティにはキラル密度が低く、ラセン構造を構成する無機酸化物成分そのものにはキラル構造ドメインが転写されない。

シリカを組成とする水晶は、天然のキラル物質である。水晶のキラリティは、合成キラ

ルシリカで見える構造体外表面でのラセンピッチに由来することはなく、分子ラセンと極めて類似した内部構造の不斉に起因する。シリカの繰り返しユニットである四面体SiO₄結合におけるSi-Oの結合長が微妙に変化し、その四面体ユニットが特定軸に沿って、ラセンを巻きながらパッキングする。その結果、数個の四面体SiO₄残基(数個の珪素原子)で不斉ドメインが形成され、水晶全体におけるキラル密度は極めて高くなる。

無機酸化物合成において、自然界におけるミネラルゼーションを大いに手本にすべきである。自然界に広く生息している珪藻類バイオシリカは、ポリアミンと酸性残基の協調による触媒機能を利用し、常温・常圧下、中性付近にてケイ酸の縮合反応を効率的に進行させ、複雑な構造パターンのシリカ構造体を製造している。これは10数億年といった桁違う長い進化を伴うバイオシリカ構築のプロセスである。我々は、珪藻類に啓発され、2級アミンを主鎖に有する直鎖状結晶性ポリエチレンイミン(sPEI)と不斉の酒石酸からなる不斉超分子ナノ結晶体を触媒的テンプレートにしたキラルシリカの合成戦略を打ち出し、900の高温でも安定するD型またはL型のキラルシリカナノファイバーの合成ルートを見出した(*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2012, 51, 5862)。これを得るキラルシリカナノファイバーは、外表面でのラセンピッチの発現は全くない。けれど、その表面に物理吸着または化学結合させた有機・高分子残基、さらにはその表面で形成した金属ナノ粒子などに強い不斉を誘起させることができる。これは、シリカ壁面に高密度のキラル構造が形成したことを強く示唆する。このような特徴は今までのキラルシリカ構築では前例がない。このことは、「ポリアミン系超分子のキラルナノ結晶」そのものがミネラルゼーションのキラルテンプレートと不斉触媒として、無機酸化物に不斉を誘起させる有望なマトリックスであることを強く示唆する。

2. 研究の目的

本研究の基本目的は：(1)バイオシリカに学ぶ視点から、ポリエチレンイミンの構造設計を基に、高分子系キラル錯体超分子を触媒的テンプレートとして用いることによるシリカ・遷移金属系キラル酸化物ナノ構造体群の合成戦略の確立；(2)さらに、キラル酸化物のナノ構造体の壁面に印加されたキラル構造次元の解明、キラル情報の転写及び保存；(3)希土類キラル金属酸化物ナノ構造体の円偏光発光の発現と高度の不斉センサー機能の探索、などである。即ち、金属酸化物をナノ構造体へ成長させると同時に、そのナノ構造の壁面に有機超分子構造体由来の不斉情報を転写し、不斉を半永久的に維持できる材料設計を目指す。特に、多くの金属酸化物

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

は結晶性であり、半導体性質を有するので、不斉構造の付与により、これらの半導体のバンドギャップ性質と機能に合わせ、種々波長の円偏光励起活性の発現も期待できる。

3. 研究の方法

(1) 構造が制御されたポリエチレンジアミンの合成 ブロック、星型、くし型系ポリオキサゾリンを合成し、それらの前駆体ポリマーの加水分解を経て、一連のポリエチレンジアミン(PEI)を合成した。

(2) キラルシリカ・酸化チタンの合成 星型、くし型、ブロック型 PEI を不斉多官能有機酸と錯体化させて得るキラルナノ結晶体を触媒的テンプレートとして用い、テトラメトキシシラン(TMOS)、乳酸チタン(TiL_2)の加水分解縮合を行い、キラルシリカ・酸化チタンを合成した。

(3) キラル金属酸化物の合成 キラルシリカ中に含まれたテンプレート組成である PEI と酒石酸の金属錯体形成能を駆動力にし、種々の金属カチオンをキラルシリカ内部に取り込み、それを加熱酸化することによるキラル金属酸化物を合成した。

(4) キラルシリコンの合成 キラルシリカを金属マグネシウムで還元し、キラルシリコンを合成した。

(5) キラルシリカ・希土類金属酸化物の発光性 キラルシリカをマトリクスにし、その上で希土類酸化物を合成し、それらの光学物性を検討した。

(6) 固体サンプルの CD は積分球付きの拡散反射円二色性分光器(DRCD)にて測定した。

4. 研究成果

(1) キラルシリカ・酸化チタン

一連の直鎖状、星型、くし型ポリエチレンジアミンの設計し、それらを用いて合成したキラルシリカの比較を行ったところ、PEI 構造

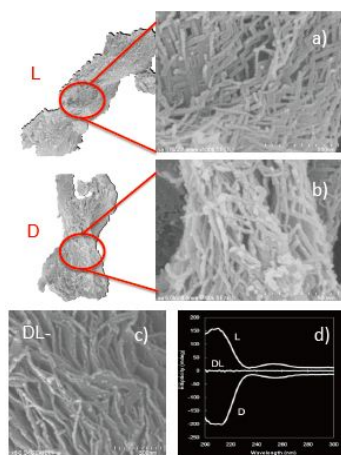


Fig.1. Silica transferred from the supramolecular entities of PEI/Tart. SEM images of nanofibril silica with L-Tart (a), D-Tart (b) and nanosheet silica with racemic DL-tart. DRCD spectra of three silica with D-, L- and DL- tartaric acid.

次元とは関係なく、いずれのポリマー構造系でも 15nm 前後の太さのナノファイバーを基本構造とし、それらが束を形成してなる数十マイクロメートルのキラルシリカ構造体が生成することが判明した(Fig. 1)。これらのキラルシリカは 900 の高温処理後でも、顕著な CD 活性を示した。

同様な方法で、乳酸チタンの縮合反応からナノファイバー状の酸化チタンが得られた。酸化チタンの 380nm あたりの吸収波長にて、顕著な CD 活性が発現し、D 体と L 体が鏡像関係を示した。酸化チタンの加熱焼成では、温度上昇に伴い、650 を超えるところ、アナターゼ相からルチル相への相変換が起こり始めた。800 を超えたところでは、アナターゼ相は完全消失し、ルチル相酸化チタンが形成し、CD 活性もほぼ消失傾向であった。興味深いことに、TMOS と TiL_2 を同時にデポジットして得た SiO_2/TiO_2 複合体は 800 を超える焼成でもアナターゼのまま、酸化チタンの CD 活性も維持した。TEM 観察から、10nm 前後のナノ粒子状酸化チタンがシリカナノファイバー中に均一に分布していることが確認された。おそらく、酸化チタンのチタノールとシリカのシラノールが縮合し、Ti-O-Si 結合を境目にしたハイブリッド構造が形成し、それがナノサイズのアナターゼ型酸化チタンの熱安定性を高めたと考えられる。

(2) キラルナノドメイン及び不斉情報の自己複製

PEI と酒石酸の錯体結晶はナノファイバーであり、アミンとカルボン酸残基は 1 対 1 で釣り合う。この錯体形成には、PEI の伸び切り方向を軸に、酒石酸が配置された高分子錯体のラセン構造が形成し、それがナノファイバーの結晶体に成長したと考えられる[残念ながら、現時点では、この結晶性錯体の空間構造は解明されていない]。すなわち、ここには分子次元のラセンがアルコキシシランの加水分解縮合の触媒サイトとして働き、そこで形成するシリカには、一定数の $(SiO_4)_n$ のクラスター毎に不斉情報の転写が起こると推測される。これを検討するため、D 体と L 体両方のキラルシリカの水熱反応を行い、それぞれのシリカ固体から分解してなる 5nm ほどのシリカクラスターの安定分散液を得た。興味深いことに、これらのクラスター構造体の UV-CD 及び VCD 両方の測定の結果、D 体と L 体から得たシリカクラスターは依然鏡像関係の CD 活性を示した。これは大きなラセンピッチを必須とするヘリックスのキラルシリカではありえないことである。言うまでもないが、PEI/Tart を不斉源として得たシリカには高い密度のキラルドメインの存在が示唆される。

この見解をさらに大胆に展開するため、キラルシリカのマグネシウム還元によるキラルシリコンの合成に挑んだ。D 体及び L 体のキラルシリカをマグネシウム粉と混ぜ、それをアルゴンガス雰囲気下、550 で反応させた後、

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

未反応のシリカ部分を弗酸でエッチングし、シリコン粉末を得た。XRD, SEM, TEM FT-IR, UV-Visにて還元されたシリコンを同定した。

Fig. 2 に酒石酸、PEI/Tart@SiO₂, 還元後の Si@SiO₂ 及びエッチング後 Si の DRCD スペクトルを示した。D 体と L 体シリコンの吸収波長の 400~800nm 範囲にて、正 (L 体) と負 (D 体) の強い CD 信号が現れ、顕著な鏡像関係が示された(優先権出願、特願 2014-210572)。また、キラルシリコン粉末をホモジナイザにて処理し、溶剤中の安定分散液を作製し、その溶液状態での CD を測定したところ、CD 信号の反転が確認された。固体状態でも、ナノ粒子分散液状態でもシリコンは高い CD 活性を示したことから、PEI/Tart にテンプレートされたシリカは、還元過程でも、自らの不斉情報を自己複製しながら生成物のシリコンに転写できることが明らかとなった。これは

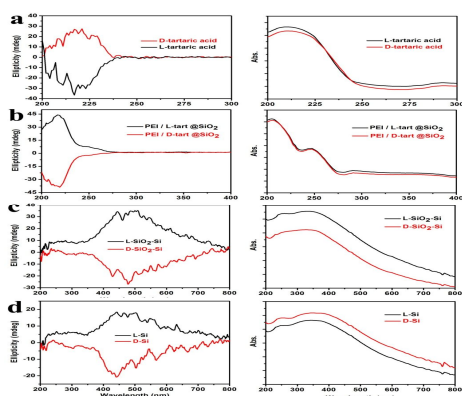


Fig. 2. DRCD (left) and corresponding UV-Vis absorption spectra (right) for a) tartaric acids, b) PEI/tart@SiO₂, c) SiO₂-Si and d) Si (black lines for L-type red ones for D-type).

ヘリックス状キラルシリカでは達成できない [昨年、Nguyen らにより、ニメチックヘリックスのキラルシリカをマグネシウムで還元した際、還元は進行するものの、ヘリックス構造は消失してしまうことが報告された (Nguyen, T.-D *et al.*, *Adv. Funct. Mat.* 2015, 25, 2175-2181)].

(3) キラルシリカと金属酸化物の複合体

PEI/Tart にテンプレートされてなる as-prepared 状態のキラルシリカには、内部に PEI/Tart の組成はそのまま存在する。従って、シリカ内部は金属イオンを挿入できる好都合の場合である。金属イオンとして、遷移金属及び希土類金属 (Zn, Cu, Fe, Ag, Zr, La, Eu, Tb, Nd, Er,) の酢酸塩を用い、シリカ内部に金属イオンを挿入後、加熱焼成することで、SiO₂@Metal-Oxide の複合体を得た。

亜鉛イオンがシリカ内部に挿入された場合、その XRD 測定から、酒石酸亜鉛の結晶体が形成されることがわかった。これは一種のキ

ラルな亜鉛化合物である。また、それを囲い込む周辺シリカはキラリティである。二つのキラル情報の存在下加熱酸化して得た ZnO@SiO₂ の CD 測定から、酸化亜鉛吸収波長範囲で大きな CD 信号が発現し、その信号は加熱前のより逆転することが判明された (Fig. 3)。

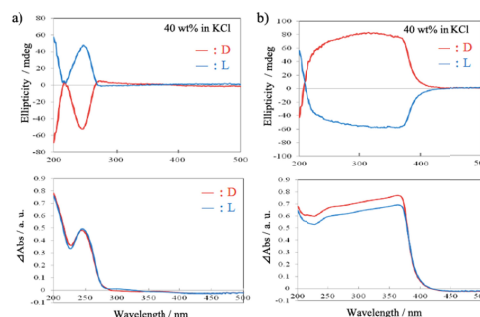


Fig. 3. DRCD and electronic absorption spectra of Zn-tartrate (left) and ZnO (right) included in chiral silica

これは酸化亜鉛そのものにキラリティが付与されたことを示唆する。要するに、ZnO@SiO₂ は二つのキラル物質シリカと酸化亜鉛のハイブリッドである。

これと類似したことは銀を導入した場合でも確認された。銀イオンをシリカ内部に導入されると、銀イオンは内部の PEI により徐々に還元され、ゼロ価のナノ銀粒子に成長する。それをさらに 500 以上で処理すると、内部の有機成分が除去された Ag@SiO₂ の複合体ができる。この D 体と L 体は、ナノ銀のプラズモン吸収波長に鏡像関係の強い CD 信号を発生させた。また、この複合体はシステインに対しエナチオマ選択性を示し、一方のエナチオマを (Ag-Cys)_n のオリゴマーに変換できることが判明された。興味が引かれるのは、たして銀ナノ粒子にキラル情報が転写された否かである。実際、得られたキラル Ag@SiO₂ を水熱反応で加水分解し、銀ナノ粒子の分散液を調製し、その分散液の CD を測定したところ、ナノ銀プラズモン吸収における CD 信号は依然強く維持された。しかも、そのナノ銀に吸着されるアキラルな分子の特定官能基には誘起 CD が発現できることが分かった。紛れもなく、Ag@SiO₂ も二つのキラル組成で構成された。

希土類の Eu, Tb が導入された場合、最終的に 900 の焼成を経て得られたキラル E₂O₃@SiO₂, Tb₂O₃@SiO₂ は、紫外線励起により、それぞれ赤と緑の蛍光を示した。キラル発光体の円偏光発光 (CPL) を調べたところ、発光波長での CPL 活性が発現することが分かった。また、キラルシリカのフレーム中で成長した E₂O₃, Tb₂O₃ の結晶は、900 の高温でも数十ナノメートルのナノ粒子スケールに留まることも明らかとなった。

以上のように、3 年間の研究を経て、我々は無機固体材料に不斉情報を効率的に転写す

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

る新しいプロセスを確立した。さらに、これらの固体不斉材料の機能についても多くの新しい知見を見出した。これらの成果は、「不斉」、「キラリティ」という化学の命題を有機分子次元に束縛するではなく、無機固体材料にも拡張して発展させるにおける新たな「一石」になるだろう。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

- 1) Shaped crystalline aggregates of comb-like polyethyleneimine for biomimetic synthesis of inorganic silica materials. Dong-Dong Yao, Hiroki Kubosawa, Daiki Souma, Ren-Hua Jin, *Polymer*, 86, 120-128 (2016). 査読有り
- 2) Polycondensation and carbonization of phenolic resin on structured nano/chiral silicas: reactions, on structured nano/chiral silicas: reactions, morphologies and properties. Xin-Ling Liu, Kazuki Moriyama, Yan-Feng Gao and Ren-Hua Jin, *J. Mater. Chem. B*, 4, 626-634 (2016). 査読有り
- 3) Chiral SiO₂ and Ag@SiO₂ Materials Transferred by Complexes Consisting of Comb-Like Polyethyleneimine and Tartaric Acid. Dong-Dong Yao, Hiroki Murata, Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, *Chem. Eur. J.*, 21, 15667-15675 (2015). 査読有り
- 4) Synthesis of comb-like poly(ethyleneimine)s and their application in biomimetic silicification. Dong-Dong Yao, Ren-Hua Jin, *Polym. Chem.*, 6, 2255-2263 (2015). 査読有り
- 5) Biomimetic synthesis of shaped and chiral silica entities templated by organic objective materials. Ren-Hua Jin, Dong-Dong Yao, Rumi Levi, *Chem. Eur. J.*, 20, 7196-7214 (2014). 査読有り
- 6) Nanosheets-Stacked Chiral Silica Transcribed from Metal ions- and pH-tuned Supramolecular Crystalline Complexes of Polyamine/D-glucarate", Hiroyuki Matsukizono, Keiki Murada, Ren-Hua Jin, *Chem. Eur. J.*, 20, 1134 - 1145 (2014). 査読有り

[学会発表](計47件)

- 1) 相馬大貴, 貝掛勝也, 金仁華「ポリスチレン系マイクロゲル中でのポリオキサゾリン

の合成及び構造変換」日本化学会第96春季年会, 2016年3月25日, 同志社大学(京都)

- 2) 窪澤弘樹, 姚東東, 貝掛勝也, 金仁華「RAFT重合法と開環重合法を組み合わせた二重親水性歯ブラシ型ポリマーの合成」日本化学会第96春季年会, 2016年3月25日, 同志社大学(京都)

- 3) 金仁華, 阿部俊介, 中島絵莉香「希土類酸化物からなるキラル発光材料の合成と機能」日本化学会第96春季年会, 2016年3月25日, 同志社大学(京都)

- 4) 村上拳, 貝掛勝也, 金仁華「SiO₂/TiO₂/Ag複合からなるキラルナノ材料の合成及びキラル認識」日本化学会第96春季年会, 同志社大学 2016年3月26日(京都)

- 5) 恒賀聖司, 姚東東, 貝掛勝也・金仁華「SiO₂/Agからなるキラル無機ナノ材料の合成と不斉認識挙動」日本化学会第96春季年会, 2016年3月26日, 同志社大学(京都)

- 6) 杉本真澄, 貝掛勝也, 金仁華「高温安定なキラル金属酸化物の合成と物性」日本化学会第96春季年会, 2016年3月26日, 同志社大学(京都)

- 7) 窪澤弘樹, 姚東東, 貝掛勝也, 金仁華「水溶性ブラシポリエチレンイミン/PNIPAMブロック共重合体の自己組織化とゾルゲル反応」第64回高分子討論会, 2015年9月15日, 東北大学(仙台)

- 8) 村上拳, 貝掛勝也, 金仁華「Si/Ti複合のキラル酸化物の合成及び基礎物性」第64回高分子討論会, 2015年9月15日, 東北大学(仙台)

- 9) 江口悟, 姚東東, 貝掛勝也, 金仁華「ポリエチレンイミブラシを有するロック共重合体の成と機能」第64回高分子討論会, 2015年9月15日, 東北大学(仙台)

- 10) 恒賀聖司, 姚東東, 貝掛勝也, 金仁華「銀・シリカ複合のキラルナノ材料成と物性」第64回高分子討論会, 2015年9月16日, 東北大学(仙台)

- 11) 杉本真澄, 村田啓樹, 貝掛勝也, 金仁華「金属取り込み能を有するキラルシリカ反応場での金属酸化物合成」第64回高分子討論会, 2015年9月16日, 東北大学(仙台)

- 12) 新井仁, 長塚健夫, 金仁華「16個のカルボン酸残基を有するダブルクリックスアレンと多官能アミン化合物からなる分子集合体」第64回高分子討論会, 2015年9月15日, 東北大学(仙台)

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

- 13) 劉新玲, 金仁華 「高分子錯体をキラル源とするキラルナノシリコンの合成」第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15 日, 東北大学 (仙台)
- 14) Dong-dong Yao, Ren-Hua Jin 「Study on reaction between chiral silver@silica composites and cysteine」第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15 日, 東北大学 (仙台)
- 15) 劉新玲, 森山和樹, 杉崎順平, 高彦峰, 金仁華 「ナノシリカ表面でのレゾルシノールとアルデヒドの重縮合反応及び炭素ナノ材料」第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 29 日, 北海道大学 (札幌)
- 16) 姚東東, 金仁華 「櫛構造ポリエチレンイミンを用いるキラルナノ銀/シリカ複合体の合成とその応用」第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 29 日, 北海道大学 (札幌)
- 17) 長塚健夫, 金仁華 「ダブルクリックアレーンとアミンからなる自己組織化ナノ構造体」第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 28 日, 北海道大学 (札幌)
- 18) 窪澤弘樹, 姚東東, 金仁華 「水溶性櫛構造を有する熱応答性ブロックコポリマーの合成と自己組織化」第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 28 日, 北海道大学 (札幌)
- 19) 村上拳, 松木園裕之, 斉藤美和, 金仁華 「ポリエチレンイミン系キラルテンプレートによるキラル酸化チタンの合成」第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 28 日, 北海道大学 (札幌)
- 20) Dong-Dong Yao, Ren-Hua Jin, Chiral inorganic materials transferred by the complexes consisted of comb-like polyethyleneimine and tartaric acid, The 10th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2014) 4 Dec. 2014 (Tsukuba)
- 21) 長塚健夫, 金仁華 「ダブルクリックアレーン型骨格を取り入れた超分子構造体」第 63 回高分子討論会, 2014 年 9 月 25 日 長崎大学 (長崎)
- 22) 窪澤弘樹, 金仁華 「PNIPAM を有する櫛構造ブロック共重合体の合成」第 63 回高分子討論会, 2014 年 9 月 26 日, 長崎大学 (長崎)
- 23) 村上拳, 松木園裕之, 斉藤美和, 金仁華 「ソフトテンプレートに制御されたキラル酸化チタンの合成」第 63 回高分子討論会, 2014 年 9 月 24 日 長崎大学 (長崎)
- 24) 姚東東, 金仁華 「櫛構造ポリエチレンイミンと酒石酸からなる超分子体を用いるキラ
- ルシリカの合成」第 63 回高分子討論会, 2014 年 9 月 25 日, 長崎大学 (長崎)
- 25) 窪澤弘樹, 金仁華 「アミノ酸残基を有する両親媒性ブロック共重合体の合成と水溶液中での挙動」第 63 回高分子学会年次大会, 2014 年 5 月 29 日, 名古屋国際会館 (名古屋)
- 26) Dong-Dong Yao, Ren-Hua Jin 「Synthesis and application of comb polymers with polyoxazoline side chain」第 63 回高分子学会年次大会, 2014 年 5 月 28 日, 名古屋国際会館 (名古屋)
- 27) Ren-Hua Jin, (keynote lecture) “Shape- and Chirality-Controlled Inorganic Nanomaterials Directed by Supramolecular Organic Template”, Advanced Complex Inorganic NanoMateria-2013, 17 July (Namur University, Belgium)
- 28) 金仁華, (招待講演) 「形状・キラリティが制御されたシリカ系ハイブリッドナノ材料」第 22 回ポリマー材料フォーラム, 2013 年 11 月 29 日 タワーホール船堀 (東京)

〔図書〕なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

1) 名称: キラルな金属酸化物構造体の製造方法、及びキラルな多孔質構造体
発明者: 金仁華、劉新玲
権利者: 学校法人 神奈川大学
種類: 特許
番号: 特願 2014-210572 (特開 2016-079057)
出願年月日: 2014 年 10 月 15 日
国内外の別: 日本、米国、中国

2) 名称: キラルな金属化合物構造体の製造方法、及び金属化合物構造体
発明者: 金仁華
権利者: 学校法人 神奈川大学
種類: 特許
番号: 特願 2014-159932 (特開 2016-037405)
出願年月日: 2014 年 08 月 05 日
国内外の別: 日本

〔その他〕

ホームページ等

<http://133.208.103.136/jinlab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金 仁華 (JIN, Ren-Hua)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号: 60271136