

令和 2 年 4 月 24 日現在

機関番号：87402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05000

研究課題名(和文)希土類へのキラリティ伝達システムの確立と円偏光発光性完全無機ナノ材料の創出

研究課題名(英文) Establishment of chirality transfer system to rare earths and development of circularly polarized luminescent inorganic nanomaterials

研究代表者

龍 直哉 (Ryu, Naoya)

熊本県産業技術センター(ものづくり室、材料・地域資源室、食品加工室)・その他部局等・研究主任

研究者番号：90743641

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：キラルな分子集合体を形成する両親媒性化合物をテンプレートとして作製したキラルナノシリカに希土類金属をドーピングすることにより、希土類金属に円二色性および円偏光発光特性を誘起できることを見いだした。希土類金属はナノシリカ中においてイオンとして均一に分散した状態で存在しており、この希土類金属イオンを取り囲むシリカがキラル配位子のように振る舞うことにより希土類金属イオンにキラル光学特性が誘起されたものと推測される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キラル配位子を導入することにより、非キラルな無機金属イオンにキラル特性を誘起することができるが、ほぼすべての系においてその配位子は有機化合物であった。本研究は、キラリティを有する無機固体をキラル源とすることにより無機金属イオンにキラル光学特性を誘起した新しい例である。本研究の成果および知見は、キラル分離剤や不斉触媒、円偏光発光材料などに関する新たなキラル無機材料の設計・開発に寄与するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Circular dichroism and circularly polarized luminescence properties were induced in rare earth metals by doping them in chiral nanosilicas prepared through a sol-gel method using chiral molecular assemblies as templates. We conclude that in this system, the rare earth metals exist as ions in the nanosilicas and the silica surrounding rare earth metal ions acts like chiral ligands for them.

研究分野：超分子化学

キーワード：円二色性 円偏光ルミネッセンス キラリティ 希土類 シリカ ゾル-ゲル

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

キラルな無機材料の代表的な調製法の1つは、非キラルな無機物前駆体とキラルな有機テンプレートを用いたゾル-ゲル法によるものである。我々のグループでは、この手法により作製されたツイストリボン状またはヘリカルリボン状ナノシリカが、赤外領域において、大きな円二色性(CD)シグナルを示すことを見いだしている<sup>①</sup>。これは、単に全体的な形状(ねじれ)がキラルな方向性をもっているだけでなく、Si-O-Si結合レベルでキラルに配向していることを意味している。このようにキラリティを誘起された無機物は、非キラル有機分子のキラル配向の誘起・安定化<sup>②</sup>やキラル分離<sup>③</sup>、不斉触媒<sup>④</sup>などへ応用展開できるが、ゾル-ゲル法により作製できるキラル無機材料はシリカ、チタニア、ジルコニアにほぼ限られている。

希土類は蛍光体として非常に有用であり、たとえば、ガラスのような無機マトリックスへのドーピング材や、有機配位子が結合した錯体などの形で利用されている。なかでも、キラルな有機分子を配位子とした希土類錯体は、異方性の高い円偏光発光特性を有する<sup>⑤</sup>。このような円偏光を発する材料は、3Dディスプレイやセキュリティインク、光暗号通信など、高度な光情報技術への応用が期待されており、特に近年、活発に研究されている。円偏光発光材料を開発するためのアプローチとして、希土類にキラルな有機分子を配位させる以外にも、たとえば、色素分子骨格自体に不斉を導入する方法<sup>⑥</sup>や、非キラルな色素分子をキラルに配向する方法<sup>⑦</sup>など、いくつか挙げられるが、その研究対象のほとんどは有機系色素に限られている。そのため、大部分の円偏光発光材料について、光や熱に対する耐久性が課題となり得る。

### 2. 研究の目的

本研究では、円偏光発光特性を有する無機ナノ材料の開発を目的とした。戦略として、上述のようなキラルナノシリカをマトリックス、希土類を発光性ドーピング材として用い、無機ナノシリカをキラル源として希土類の不斉を誘起し、それに伴い円偏光発光特性を誘起することを目指した。より異方性の高い円偏光発光特性を誘起するには、キラル有機テンプレートからナノシリカへのキラリティの伝達、そしてキラルナノシリカから希土類へのキラリティの伝達が効率的であることが重要である。そこで、本研究では、効率的に希土類へキラリティを誘起するシステムの構築について検討し、またその発光特性についても評価した。

### 3. 研究の方法

本研究では、ゾル-ゲル法によるキラルナノシリカ調製のためのテンプレートとして、酒石酸を対イオンとするジェミニ型界面活性剤(図1a、L-酒石酸を対イオンとするものをL-GS、D-酒石酸を対イオンとするものをD-GSと略記する)およびグルタミン酸誘導両親媒性化合物(図1b、L-グルタミン酸から誘導したものをL-G-NH<sub>2</sub>およびL-G-COOH、D-グルタミン酸から誘導したものをD-G-NH<sub>2</sub>およびD-G-COOHと略記する)の形成した集合体を用いた。

希土類ドーピングシリカ作製プロセスの一例を以下に示す。テンプレートの水分散液にオルトケイ酸テトラエチル(TEOS)を加えてゾル-ゲル重合を行い、生じた沈殿物を洗浄して過剰なTEOSおよびテンプレートを除去することによりキラルナノシリカを得た。これを酢酸テルビウムまたは酢酸ユウロピウム水溶液に浸漬し、洗浄および凍結乾燥後、空気中にて焼成(600-1200℃)することにより、テルビウムおよびユウロピウムをドーピングしたシリカを得た(L-GS、L-G-NH<sub>2</sub>またはL-G-COOHを基に作製したものをそれぞれL-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>およびL-SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup>、D-GS、D-G-NH<sub>2</sub>またはD-G-COOHを基に作製したものをそれぞれD-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>およびD-SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup>と略記する)。

### 4. 研究成果

#### (1) ジェミニ型界面活性剤(GS)をテンプレートとして作製した希土類ドーピングシリカ

水中において、L-GSは右巻きの、D-GSの場合は左巻きのヘリカルリボン状集合体を形成していること(図2a)、そしてこれをテンプレートとして作製されたシリカもまたヘリカルリボン状であること(図2b)を走査型透過電子顕微鏡(STEM)観察により確認した。このヘリカルナノシリカを酢酸テルビウム水溶液に浸漬後に焼成する際、600-1000℃の温度域においては、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>はヘリカルリボン状を保っていたが(図2cおよびd)、1100℃においてはヘリカルな形状は壊れ始め(図2e)、1200℃にて焼成したときはその形状は完全に崩壊していた(図2f)。ヘリカルリボン状を保っていたSiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>(焼成温度:600-1000℃)についてエネルギー分散型X線分析を行ったところ、テルビウムイオンの存在が検出できなかったことから、焼成過程において酸化テルビウムのようなナノ粒子は生成しておらず、テルビウムは非常に薄い濃度でシリカ中に均一に分散していることが示唆される。

254 nmの紫外線照射下において、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>は緑色蛍光を発した(図3b、挿入図)。図3aおよびbには異なる温度で焼成したSiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>の励起スペクトルおよび蛍光スペクトルを示す。230 nmに

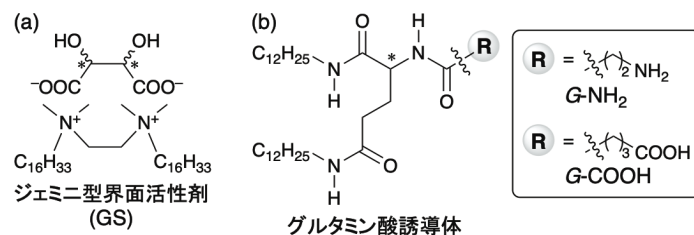


図1 (a)ジェミニ型界面活性剤および(b)グルタミン酸誘導体の構造式

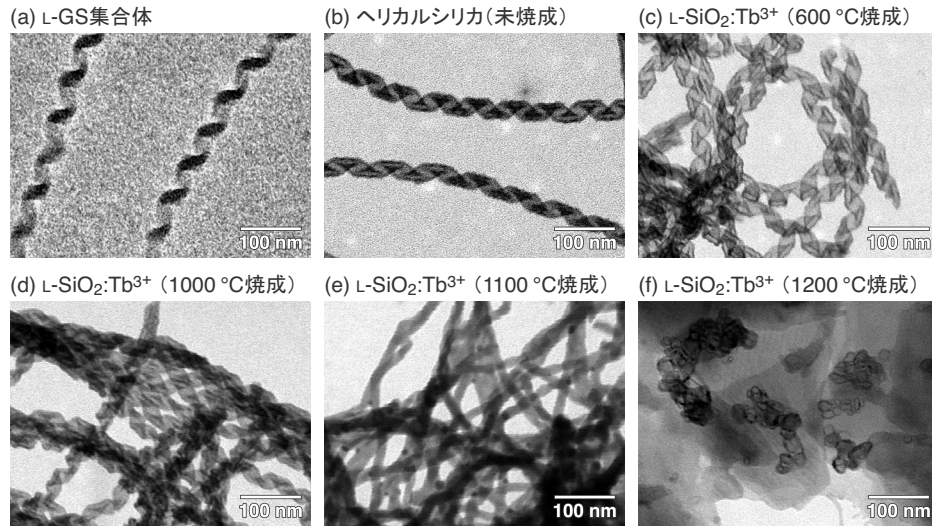


図2 (a)水中におけるL-GSのヘリカルリボン状集合体、(b)そのL-GS集合体から調製した未焼成のヘリカルシリカおよび(c-f)異なる温度にて焼成したL-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>のSTEM写真

て励起したとき、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>は489 nm、544 nm、586 nm および 621 nm にシャープな発光ピークを示した。これらのピークは、Tb<sup>3+</sup>の<sup>5</sup>D<sub>4</sub>から<sup>7</sup>F<sub>6</sub>、<sup>7</sup>F<sub>5</sub>、<sup>7</sup>F<sub>4</sub>および<sup>7</sup>F<sub>3</sub>準位へのエネルギー遷移にそれぞれ帰属できる<sup>9</sup>。発光強度は、焼成温度が高くなるほど増大し、900 °C で焼成したときがもっとも強い結果となった。これは、焼成温度が高くなるにつれて Tb<sup>3+</sup>と O-H との相互作用が減少し、Tb<sup>3+</sup>と Si-O との相互作用が増大したためと推測される<sup>9</sup>。これら4本の発光ピークのうち、もっとも強い586 nmをモニター波長として励起スペクトルを測定した結果、Tb<sup>3+</sup>の4f<sup>8</sup> → 4f<sup>7</sup>5d 遷移に帰属できるピークが230 nm 付近に現れた(図3a)<sup>9</sup>。一方、Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>よりも大きく長波長側(324 nm)に弱くブロードなピークを示した。これらの結果は、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>の発光が Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>由来ではないことを支持しており、シリカと配位したテルビウムイオンによるものであることを示している。

SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>のキラル光学特性に

ついて、CD スペクトルおよび円偏光ルミネッセンス(CPL)スペクトルにより評価した。それぞれのスペクトルを図3cおよびdに示す。拡散反射法により測定した CD スペクトルにおいて、L-および D-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>間にて鏡像関係にある CD シグナルが230 nm 付近に現れた。なお、これらの CD スペクトル中に含まれる直線偏光(LD)成分は無視できるレベルであることを、LD スペクトル測定により確認した。CD シグナルのピークは、励起スペクトルのピークとほぼ同じ波長域であった。一方、何もドーピングしていないヘリカルシリカの場合、230 nm 付近には CD シグナルは見られなかった。以上の結果は、SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>の CD シグナルが Tb<sup>3+</sup>由来であり、Tb<sup>3+</sup>がキラル特性を有していることを示している。焼成温度が高くなるほど、CD シグナルの強度は徐々に小さくなる傾向にあり、とくに1000–1200 °C の焼成温度域にて著しい減少を示し、1200 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>についてはもはや CD シグナルを検出できなかった。前述のように、1100 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>はヘリカルな形状を維持できておらず、1200 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>はリボン状ですらなかった。これらの結果は、Tb<sup>3+</sup>に誘起されたキラリティがキラルなシルセスキオキサンネットワークを有するシリカに起因するものであることを示している。図3d に示すように、

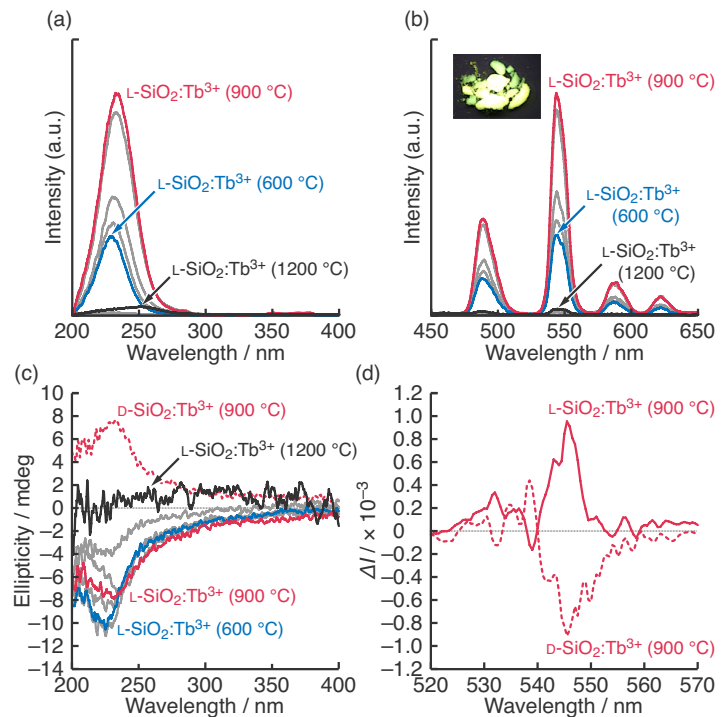


図3 異なる温度にて焼成した L-および D-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>の(a)励起スペクトル(蛍光波長:544 nm)、(b)蛍光スペクトル(励起波長:230 nm)、(c)CD スペクトルおよび(d)CPL スペクトル(励起波長:230 nm);(b)中の挿入図:254 nm の紫外線照射下における900 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>の写真

SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>は CPL 特性も有しており、900 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> について、その円偏光非対称因子 ( $g_{lum}$ ) は  $|1 \times 10^{-3}|$  と見積もられた。

テルビウム代わりにユウロピウムをドーパした SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> (焼成温度: 900 °C) の蛍光スペクトルおよび CD スペクトルを図4aおよびbに示す。254 nm の紫外線照射下において、SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> は赤色発光を示し (図4b、挿入図)、260 nm にて励起したとき、SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> は Eu<sup>3+</sup> の <sup>5</sup>D<sub>0</sub> から <sup>7</sup>F<sub>0</sub>、<sup>7</sup>F<sub>1</sub>、<sup>7</sup>F<sub>2</sub>、<sup>7</sup>F<sub>3</sub> および <sup>7</sup>F<sub>4</sub> 準位へのエネルギー遷移に帰属できる発光ピークを、それぞれ 578 nm、591 nm、614 nm、651 nm および 703 nm に示した<sup>8)</sup>。また、L-SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> と

D-SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> 間にて鏡像関係にある CD シグナルが 200–300 nm に現れた。この結果は、ヘリカルシリカをキラル源として Eu<sup>3+</sup> にキラル特性が誘起されたことを示していることに加え、キラルシリカによる希土類のキラル光学特性誘起が、本手法によればテルビウムに限らず、他の希土類にも可能であることを示唆している。

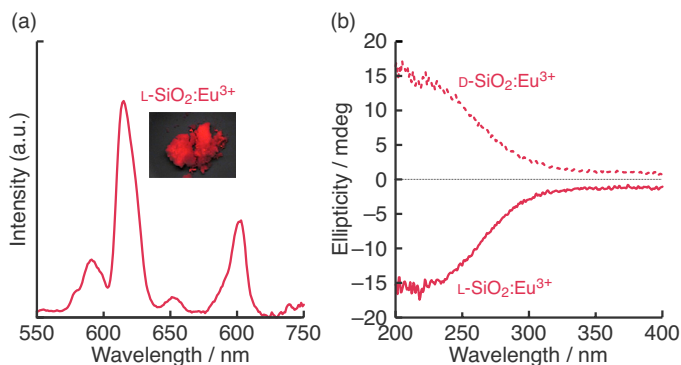


図4 900 °C にて焼成した L および D-SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> の (a) 蛍光スペクトル (励起波長: 260 nm) と (b) CD スペクトル; (a) 中の挿入図: 254 nm の紫外線照射下における 900 °C にて焼成した SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> の写真

(2) アミノ基を頭部基とするグルタミン酸誘導両親媒性化合物 (G-NH<sub>2</sub>) をテンプレートとして作製した希土類ドーパシリカ

pH 3 の水中において、G-NH<sub>2</sub> はテープ状の集合体を形成していることを STEM 観察により確認した (図5a)。これをテンプレートとして作製した SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> は、テンプレートと同様のテープ状の形状となり (図5b)、Tb<sup>3+</sup> 由来の CD シグナルは観測されなかった。そこで、G-NH<sub>2</sub> の集合体分散液にスルホローダミン B (SRB と略記する、図6) を加えたところ (G-NH<sub>2</sub>: SRB = 5:1 mol/mol)、G-NH<sub>2</sub> はツイストリボン状に変化した (図5c)。紫外-可視吸収スペクトルおよび CD スペクトル測定の結果より、このとき SRB は G-NH<sub>2</sub> 集合体の表面上にて、キラルに配向した J-会合体を形成していると考えられた。この G-NH<sub>2</sub>-SRB 複合体をテンプレートとして作製したシリカ、および 1000 °C 以下の温度にて焼成された SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> は、ツイストリボン状の形態を維持していることが確認された (図5d)。この

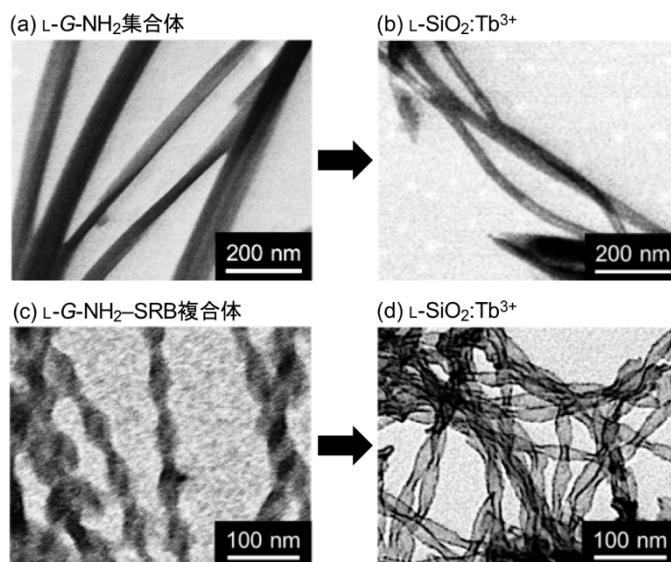


図5 (a) pH 3 の水中における L-G-NH<sub>2</sub> 単独集合体、(b) その L-G-NH<sub>2</sub> 集合体から調製した L-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> (焼成温度: 900 °C)、(c) pH 3 の水中における L-G-NH<sub>2</sub>-SRB 複合体および (d) その L-G-NH<sub>2</sub>-SRB 複合体から調製した L-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> (焼成温度: 900 °C) の STEM 写真

G-NH<sub>2</sub>-SRB 複合体を基に作製された SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> もまた、蛍光スペクトルにおいて Tb<sup>3+</sup> 由来の 4 本の発光ピークを示し、230 nm 付近にピークをもつ CD シグナルを示した (図7)。これらの結果より、キラルシリカによる希土類イオンのキラリティ誘起は、前述のジェミニ型界面活性剤をテンプレートとした場合に限らず、他のカチオン性キラル分子集合体を用いた場合でも可能であることが明らかとなった。

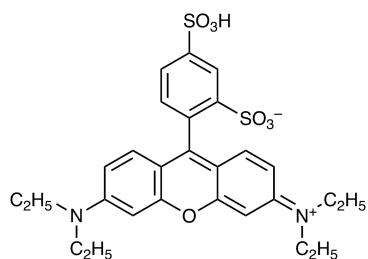


図6 スルホローダミン B (SRB) の構造式

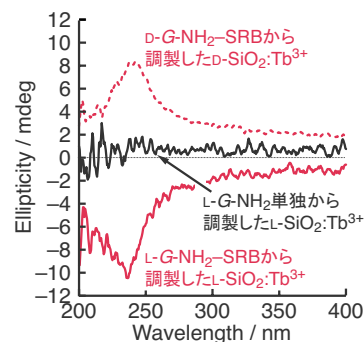


図7 L および D-G-NH<sub>2</sub>-SRB と L-G-NH<sub>2</sub> から調製した SiO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup> (焼成温度: 900 °C) の CD スペクトル

(3)カルボン酸を頭部基とするグルタミン酸誘導両親媒性化合物(G-COOH)をテンプレートとして作製した希土類ドーブシリカ

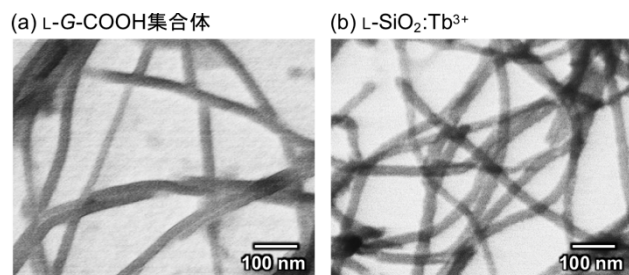


図8 (a) pH11 の水中における L-G-COOH 集合体および(b) そのL-G-COOH集合体から調製したL-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>(焼成温度: 900 °C)の STEM 写真

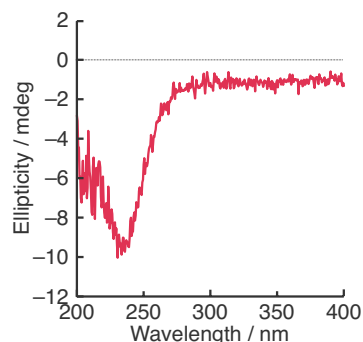


図9 L-G-COOH から調製した L-SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>(焼成温度: 900 °C)の CD スペクトル

pH 11 の水中において、G-COOH は棒状の集合体を形成していることを STEM 観察により確認した(図8a)。これをテンプレートとしたゾルゲル重合は、TEOS を加える前に3-アミノプロピルトリエトキシシランを加える方法にて実施した。1000 °C 以下の焼成温度にて得られた SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>は、テンプレートと同様の棒状であった(図8b)。このアニオン性テンプレート G-COOH を基に作製された SiO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup>もまた、230 nm 付近にピークをもつ CD シグナルを示した(図9)。以上の結果より、キラルシリカによる希土類イオンのキラリティ誘起は、前述のカチオン性キラルテンプレートを用いた場合に限らず、アニオン性テンプレートを用いた場合でも可能であることがわかった。

本研究により、キラルな分子集合体をテンプレートとして作製したキラルシリカに希土類イオンをドーブすることにより、希土類イオンにキラル光学特性、とくに円偏光発光特性を誘起できることが明らかとなった。これまでに、キラル無機材料により元来非キラルな無機固体にキラル光学特性を誘起した例が報告されているが<sup>⑩</sup>、本研究はキラル無機材料により有機物を介さず直接的に無機イオンにキラル光学特性を誘起した新しい例と言える。本研究の成果が、無機物のキラリティに関する研究の発展、そしてキラル無機材料の実用的応用に寄与するものと期待するとともに、より  $g_{lum}$  値の大きな無機円偏光発光材料の開発に努めたい。

#### 〈引用文献〉

- ① Y. Okazaki, T. Buffeteau, E. Siurdyban, D. Talaga, N. Ryu, R. Yagi, E. Pouget, M. Takafuji, H. Ihara, R. Oda, *Nano Lett.*, 2016, 16, 6411–6415.
- ② N. Ryu, Y. Okazaki, K. Hirai, M. Takafuji, S. Nagaoka, E. Pouget, H. Ihara, R. Oda, *Chem. Commun.*, 2016, 52, 5800–5803.
- ③ P. Paik, A. Gedanken, Y. Mastai, *ACS App. Mat. Interf.*, 2009, 1, 1834–1842.
- ④ T. Kawasaki, Y. Araki, K. Hatase, K. Suzuki, A. Matsumoto, T. Yokoi, Y. Kubota, T. Tatsumi, K. Soai, *Chem. Commun.*, 2015, 51, 8742–8744.
- ⑤ J. Kumar, B. Marydasan, T. Nakashima, T. Kawaia, J. Yuasa, *Chem. Commun.*, 2016, 52, 9885–9888.
- ⑥ K. Nakamura, S. Furumi, M. Takeuchi, T. Shibuya, K. Tanaka, *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136, 5555–5558.
- ⑦ J. Kumar, H. Tsumatori, J. Yuasa, T. Kawai, T. Nakashima, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015, 54, 5943–5947.
- ⑧ R. Reisfeld, *J. Res. Natl. Bur. Stand., A Phys. Chem.*, 1972, 76A, 613–635.
- ⑨ Q. Guodong, W. Minquan, W. Mang, F. Xianping, H. Zhanglian, *J. Lumin.*, 1997, 75, 63–69.
- ⑩ M. Sugimoto, X.-L. Liu, S. Tsunega, E. Nakajima, S. Abe, T. Nakashima, T. Kawai, R.-H. Jin, *Chem. Eur. J.*, 2018, 24, 6519–6524.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 原田朋幸、龍直哉、永岡昭二、高藤誠、伊原博隆
2. 発表標題 キラル光学特性を有する希土類ドーブナノシリカの作製
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会・外国人研究者交流国際シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Ryu, Tomoyuki Harada, Shoji Nagaoka, Yutaka Okazaki, Reiko Oda, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Chirality Induction in Rare Earth-Silica Nanohybrids Prepared by Templating Amphiphile-Dye Supramolecular Assemblies
3. 学会等名 31th International Symposium on Chirality (Chirality 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田朋幸、龍直哉、永岡昭二、高藤誠、伊原博隆
2. 発表標題 キラル分子集合体をテンプレートとしたテルビウムドーブナノシリカ蛍光体の作製とキラル光学特性の誘起
3. 学会等名 日本ソル-ゲル学会第17回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Harada, Naoya Ryu, Shoji Nagaoka, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Fabrication of Chiroptically Functional Silica Nanofibers Based on Dye-complexed Supramolecular Assembly and Doping Lanthanide Ions
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (PPC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Ryu
2. 発表標題 Chirality transfer from supramolecular assemblies to organic and inorganic fluorophores
3. 学会等名 The 4th Annual Meeting of LIA-CNPA, Bordeaux, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 龍 直哉
2. 発表標題 ソル・ゲル法を介したキラル発光材料の創製
3. 学会等名 第11回 ガラス材料技術分科会総会・研修会、東京 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Ryu
2. 発表標題 Chirality transfer from supramolecular assemblies to organic and inorganic fluorophores
3. 学会等名 The 4th IROAST International Symposium. The joint symposium with the 8th PHOENICS International Symposium, Kumamoto, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yanagita, N. Ryu, T. Shirotsaki, M. Horikawa, S. Nagaoka, Y. Kuwahara, M. Takafuji, Y. Okazaki, R. Oda, H. Ihara
2. 発表標題 Fabrication of Fluorescent Helical Nano-silica by Doping Rare Earth Metal
3. 学会等名 2017 九州・西部-釜山・慶南高分子 (第18回) 繊維 (第16回) 合同シンポジウム (2017 Kyushu-Seibu/Pusan-Gyeongnam Joint Symposium on High Polymers(18th) and Fibers(16th))、北九州 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Yanagita, N. Ryu, S. Nagaoka, M. Takafuji, R. Oda, H. Ihara
2. 発表標題 Rare earth metal doped chiral silica
3. 学会等名 2017 Engineering Workshop, Shandong University, China (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳田弘、龍直哉、岡崎豊、永岡昭二、城崎智洋、堀川真希、高藤誠、桑原穰、小田玲子、伊原博隆
2. 発表標題 テルビウム酸化物複合体へのヘリカル分子集合体を用いたキラリティの伝達
3. 学会等名 日本ソル - ゲル学会第15回討論会、大阪
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳田弘、龍直哉、岡崎豊、永岡昭二、城崎智洋、堀川真希、高藤誠、桑原穰、Reiko Oda、伊原博隆
2. 発表標題 希土類ドーブキラルシリカ蛍光体の開発
3. 学会等名 第54回化学関連支部合同九州大会、北九州
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

熊本大学 伊原研究室 ホームページ  
<http://www.chem.kumamoto-u.ac.jp/~ihara/lab3/index-j.html>



## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	伊原 博隆  (Ihara Hirotaka)  (10151648)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・特任教授    (17401)	
研究 協力者	柳田 弘  (Yanagita Hiroshi)		
研究 協力者	原田 朋幸  (Harada Tomoyuki)		
連携 研究者	永岡 昭二  (Nagaoka Shoji)  (10227994)	熊本県産業技術センター(ものづくり室、材料・地域資源 室、食品加工室)・その他部局等・研究主幹   (87402)	