

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 9 月 17 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02767

研究課題名(和文) エナンチオ選択性手法によるキラルシリカの合成及びキラル無機機能材料の開発

研究課題名(英文) Preparation and application of chiral inorganic materials

研究代表者

金 仁華 (Jin, Ren-Hua)

神奈川大学・化学生命学部・教授

研究者番号：60271136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：ポリエチレンイミン(PEI)とキラル有機酸からなる錯体(PT)をキラル源として、そのキラル情報をシリカ、チタニアに転写し、さらに、シリカにまとわるキラリティを2次のキラル情報として、それを金属錯体、金属ナノ粒子、縮合系ポリマー、連鎖重合系ポリマーへと転写できる普遍的なキラル転写系を確立した。キラルシリカの応用において、ラマン散乱増強にてキラルを利用したアミノ酸エナンチオマー識別、有機または無機発光体を複合させることによる無機/有機、無機/無機の円偏光発光材料構築などに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キラル無機材料の構築では有機系に比べ、形状キラリティを主眼にすることが多い。要は可視レベルでのねじれ、ヘリックスなどである。本研究の成果はそれらと一線を画し、シリカ・チタニアなどの無機材料構造中の化学結合に由来のキラリティ発現を明らかにしたことで、その応用価値を高めることができた。実際、本研究でのキラルシリカは新しい不斉源として、キラルポリマーの合成、ラマン散乱増強によるエナンチオマー識別、円偏光発光などに展開できた。これらの知見は新しいキラル光学材料の開発に大きな意義を有すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Using a complex (PT) composed of polyethyleneimine (PEI) and chiral organic acids as a primary chiral source, we successfully transferred their chiral information into silica and titania, and then using the silica as secondary chiral source, established chirality transfer from silica to metal complexes, metal nanoparticles, condensation polymers, addition polymers. In the application of chiral silica, we identified that chiral silica could be used as a probe of surface enhanced Raman scattering to discriminate enantiomeric amino acid, and constructed inorganic/organic or inorganic/inorganic circularly polarized luminescent materials by combining organic or inorganic emitters. Based on the CD spectra, we proposed that the chirality in silica/titania arises from distortion of the bond of Si-O and Ti-O in tetrahedral/hexahedral. It can be said that the chiral transcription from PT to silica/titania is a process that causes molecular-scale chirality in the targeting materials.

研究分野：高分子及びハイブリッド材料

キーワード：ポリエチレンイミン キラル転写 キラルシリカ キラルチタニア 円偏光発光 ラマン散乱増強 分子性キラリティ 不斉認識

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

2000年初頭、新海らは不斉分子の自己組織化によるヘリカルファイバー系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、テンプレートの螺旋形状が転写できることをきっかけに(*Angew. Chem. Int. Ed.* 2000, 39, 1862)、有機系不斉情報を無機系ゾルゲル材料へ転写する「不斉転写」の研究が一つのブームになり、数多くのキラル酸化物(シリカ、チタニア、ジルコニア、酸化タンタル、硫化カドミウム)の研究結果が報告された(*J. Am. Chem. Soc.*, 2001, 123, 1509; *Langmuir*, 2002, 18, 8724; *Nature*, 2004, 429, 281; *Nature*, 2010, 468, 422; *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 6886; *Nature Commun.* 2012, 3, 1215 DOI: 10.1038/ncomms2215; *J. Mater. Chem. A*, 2014, 2, 333; *Chem. Asian J.*, 2013, 8, 709; *Mater. Lett.*, 2013, 102-103, 50-52; *Chirality*, 2015, 27, 543)。これらの多くの共通点は、外形における右巻きまたは左巻きのヘリカル・ねじれ形状である。すなわち、従来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可視形状でのヘリックス・ねじれに依存する。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までに及ぶ。従って、その転写により形成された無機酸化物はいわば形状キラリティであり、ラセンピッチが潰れてしまうと、形状キラリティも消失してしまうことになる。

当然と言えるが、無機酸化物の美しい螺旋には魅惑されがちである。しかし、キラリティの発現を螺旋だけに傾けると、化学における不斉中心を特徴とする立体配置のコンセプトを忘れ去ることさえある。キラル酸化物の螺旋をぶち壊した際、光学活性はどう出るのか、これは答えなければならない課題である。

## 2. 研究の目的

本研究の開始では、形状キラリティにこだわらないことを発想の出発点にし、シリカ・チタニアのキラリティ発現の構造起源を探ることに重点を置いた。すなわち、シリカの場合、四面体構造を取る四面体  $\text{SiO}_4$  結合そのものに歪み(非対称性)が発生する直接・間接な実験根拠、またはチタニアの場合  $\text{TiO}_4$  (tetrahedra) と  $\text{TiO}_6$  (octahedra) の  $\text{Ti-O-Ti}$  結合における歪み(非対称性)関連の実験根拠を得るための研究計画を立てた。すなわち、①キラルシリカ・チタニアの光学活性を引き起こす化学結合(配置)レベルでの実験エビデンスの集積のための放射線手法の活用; ②シリカ・チタニアへのキラル転写におけるキラルテンプレートの一次キラル情報(エナンチオマーエクセス(ce))の影響及び  $\text{Si-O}$ 、 $\text{Ti-O}$  結合由来の ECD, VCD 特徴の把握; ③キラルシリカのキラリティを二次情報として用い、シリカから他の物質、例えば、色素、金属、ポリマーへのキラル転写の普遍性; ④シリカのキラリティに起因するラーマン増幅でのエナンチオマー識別、⑤パラジウム担持キラルシリカを触媒として用いる鈴木-宮浦カップリング反応、などを具体的な研究ターゲットにした。

残念なことに、肝心の狙い①は、コロナ影響もあり、放射線手法(共同研究)の活用は計画通り実行できなかった。その他の狙い②~⑤は全体的に順調に進行し、シリカ・チタニアのキラリティ発現に関する新しい知見を広げると同時にキラルシリカ・チタニアのポテンシャルを更に深めることができた。

## 3. 研究の方法

一連のリニア及びクシ構造のポリエチレンジアミン(PEI)とキラル有機酸(酒石酸、マンデル酸、リンゴ酸)との錯形成(P/A)による自己組織体を、シリカ・チタニアソースの縮合反応の触媒的テンプレートとして用い、キラルシリカ、チタニアを合成した。それらを種々の計測方法のサンプルまたは材料構築の原料として用い、本研究目的を実現しようと計画した。

## 4. 研究成果

1) キラリティの構造起因 キラルの一次情報源であるリニア PEI と酒石酸(Tart)との自己組織化錯体における酒石酸の D/L 比(ce=0, ±4, ±10, ±20, ±30, ±40, ±60, ±70, ±80, ±90, ±100%)を系統的に変えてから得られたシリカ、チタニアまたはシリカ/チタニア複合体の SEM, TEM, XRD, ECD, VCD を調べた。言うまでもないが、ce=0% (D/L=50/50) で得られる酸化物は全く CD 活性を示さなかった。それに比較し、ce=±100%からのシリカ、チタニアは焼成後でも CD 活性を示した。非常に面白いこと

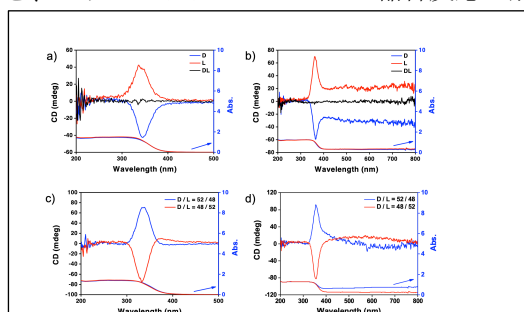


Figure 1. DRCD and UV-Vis spectra of hybrid titania/silica. a) and c) as-prepared samples of  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2@P/T_{D/L}$ . b) and d)  $800^\circ\text{C}$ -calcined samples of  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2@D/L$ . (blue D/L = 100/0, red D/L = 0/100, black D/L = 50/50 in a and b; blue D/L = 52/48, red D/L = 48/52 in c and d).

## 様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

に、わずか  $ee=\pm 4\%$  ( $D/L=52/48$  or  $48/52$ , これはほぼラセミ体に近い) の条件で得られたシリカ、チタニアはエナンチオピュア条件でのシリカ、チタニアを凌ぐほどの CD 活性を示した (Figure 1)。ほぼラセミ体に近い有機キラル情報を無機酸化物に増幅的に転写した例として、これは初めである (Fascinating chiral information transfer to titania/silica from near to racemic compound self-organized from polyethyleneimine and tartaric Acid, Dalton Transaction, DOI: 10.1039/d3dt00652b)。

これらの SEM 観察から (Figure 2)、 $ee=100\%$  の場合、D と L 体はいずれも  $10\mu\text{m}$  以上のロッド状 (ナノフィバーの束) で、それぞれ左と右ねじれのモルフォロジーが確認された。対して、 $ee=\pm 4\%$  系ではナノシートが渦巻き状配列したバンドルで、渦巻きは  $D_{ee4\%}$  では反時計、 $L_{ee4\%}$  では時計回りを示した。実際、CD 測定ではこれらの形状が崩された状態で行っている。鏡像関係の Cotton 効果は Ti-O 結合由来の 300-400 nm 波長における吸収 (価電子帯 ( $O_{2p}$ ) と伝導帯 ( $Ti_{3d}$ ) 間の励起) に起因する。すなわち、Ti-O 結合には不斉構造が生じたことを示唆する。

この効果をさらに検証するため、キラルソースとして、マンデル酸を用い、Figure 3a に示したルートにより、チタニアを合成した。ここでは、THF 中 PEI をコア、ポリスチレンをシェルとするミセル中、D-と L-マンデル酸を加え、マンデル酸またはリンゴ酸が PEI コアと錯形成した状態で、チタニアソースの加水分解縮合がミセル中で進行し、D と L 体チタニアが得られる。この方法で作製したチタニアは  $500^\circ\text{C}$  焼成後も球状のナノ粒子であり、アナターゼ結晶由来のチタニアの格子縞が観察された (Figure 3b)。興味深いことに、D-と L-マンデル酸のキラル源から転写されたチタニアは、380nm 近辺にて、それぞれ負と正の Cotton 効果を示し、鏡像関係となった (Figure 3c)。対して、DL-マンデル酸からのチタニアは CD 活性を示さなかった。リンゴ酸でも同様な結果が得られた。

シリカの場合、 $\mu$ スケールサイズを  $10\text{nm}$  未満のゾル状にダウンサイズしてから VCD にて調べたところ、Si-O の伸縮振動の  $1050\text{cm}^{-1}$  付近にて顕著な鏡像関係の Cotton 効果を示した。これらの結果は、チタニアまたはシリカのキラル性は外形上非対称性ではなく、Ti-O または Si-O 結合構造の非対称性に由来することを強く示唆する。

## 2) キラルシリカをキラル性の二次情報としての展開 キラル有機酸の一次キラル情報から

キラル性を獲得したシリカを二次キラル情報として、その他のターゲットに転写できるかを目論見、キラルシリカ表面でのレゾルシノールの付加重縮合、ジビニルベンゼンのラジカル重合について検討した。いずれの場合、キラル情報はシリカからポリマーへ転写し、シリカ成分が完全に除去された状態で、ポリフェノールもポリジビニルベンゼンも顕著な CD 活性を示した (Figure 4)。

このようなキラル転写はシリカ上で合成される金属ナノ粒子、金属酸化物、またはシリカに物理吸着される分子にも進行することが判明した。いわば、キラルシリカは万能のキラル転写剤として機能する。

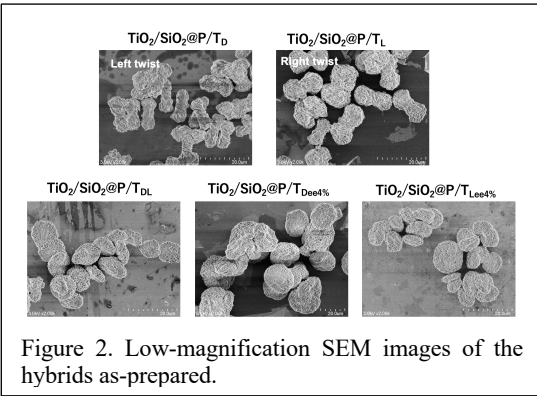


Figure 2. Low-magnification SEM images of the hybrids as-prepared.

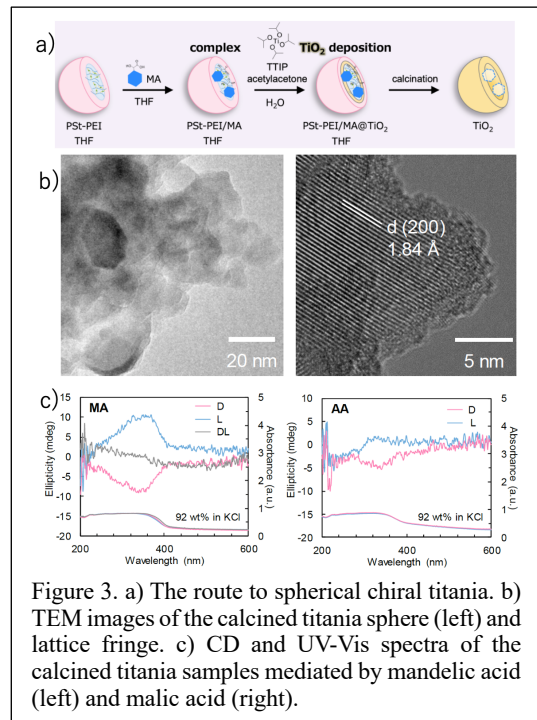


Figure 3. a) The route to spherical chiral titania. b) TEM images of the calcined titania sphere (left) and lattice fringe. c) CD and UV-Vis spectra of the calcined titania samples mediated by mandelic acid (left) and malic acid (right).

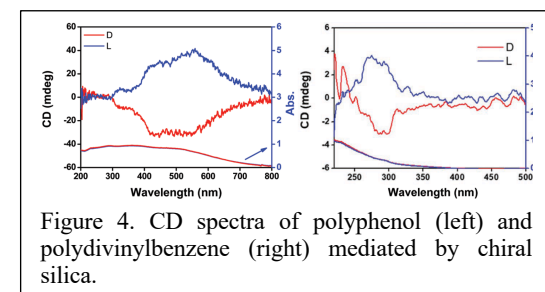


Figure 4. CD spectra of polyphenol (left) and polydivinylbenzene (right) mediated by chiral silica.

### 様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

3) キラルシリカをホストとする円偏光発光(CPL) 円偏光発光は励起状態のキラル発光体から光を放出する際、右円偏光と左円偏光の発光の差が発現する。これはラセミ体では現れない。CPLは不斉蛍光分子に特有の光機能として多く研究されたが、実際、これは不斉蛍光分子だけに固有するのではなく、多くのキラル材料でも発現する。特に、不斉ホストに蛍光分子をゲストとする分子会合体でも容易に CPL を引き起こすことができる。しかし、無機のキラルシリカをホストにし、ゲストに無機または有機発光体を組み合わせた CPL 例は本研究が初めてである。

実際、キラルシリカに希土類金属酸化物、有機蛍光色素、ペロブスカイト色素などを複合させることで、効率的に鏡像関係の CPL が発現することを見出した(Figure 5)。

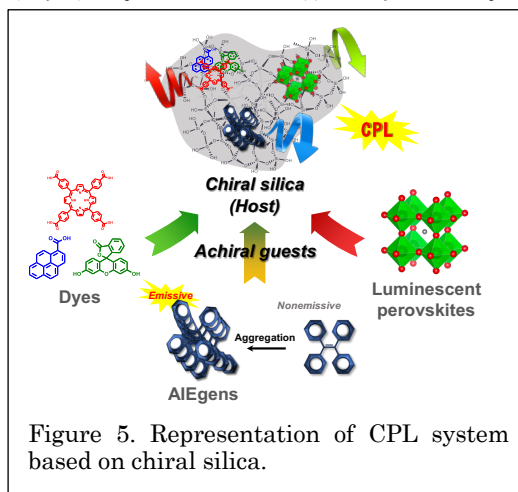


Figure 5. Representation of CPL system based on chiral silica.

4) キラルシリカに基づくラマン散乱でのエナンチオマー識別 表面増強ラマン散乱(SERS)は金属ナノ粒子に作用する有機化合物を高感度で計測できる技術である。しかし、この手法をキラル識別に用いたことは稀である。本研究ではキラルシリカを不斉源にし、そこからポリドパミン@ナノ銀複合体を合成し、それをを用いたアミノ酸エナンチオマー識別における SERS 現象を初めて見出した。それをさらに展開したところ、実際金属ナノ粒子がなく、キラルシリカとポリドパミン複合状態だけでも、アミノ酸エナンチオマー識別におけるラマン散乱増強が引き起こされることが判明した。

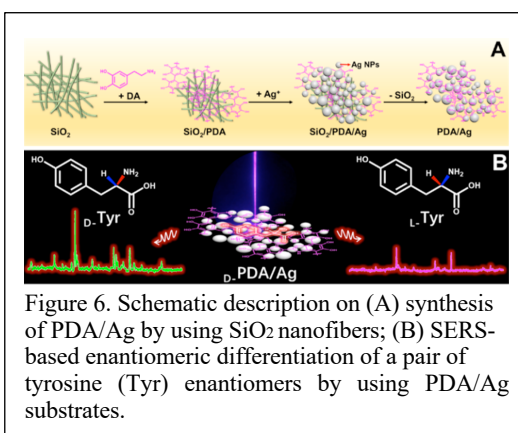


Figure 6. Schematic description on (A) synthesis of PDA/Ag by using SiO<sub>2</sub> nanofibers; (B) SERS-based enantiomeric differentiation of a pair of tyrosine (Tyr) enantiomers by using PDA/Ag substrates.

5) パラジウム担持キラルシリカを触媒と用いた鈴木-宮浦カップリング反応 不斉パラジウム触媒を用いる鈴木-宮浦反応は軸不斉発現するビアリール系合成では欠かせない。これらの反応では、不斉配位子が決め手である。本研究では、特にキラル配位子を使用せず、キラルシリカにハイブリッドされているポリエチレンジアミン(PEI)を Pd(II)の配位子にし、Pd 担持キラルシリカ (D-Pd/PEI@SiO<sub>2</sub> と L-Pd/PEI@SiO<sub>2</sub>) を作製した。Pd/PEI@SiO<sub>2</sub> の CD スペクトルから、Pd(II) 吸収波長 400nm 付近鏡像関係のコットン効果が現れた。これは、Pd(II)そのものが不斉状態であることを示唆する。これを触媒として用い、水性媒体中 2-methoxyphenylbromide と 2-methoxyphenylboronic acid とのカップリング反応を行った。反応系で析出する 2,2'-dimethoxy-1,1'-biphenyl (DMB) 結晶体を CD 測定したところ、D-Pd/PEI@SiO<sub>2</sub> からの DMB は正のコットン効果、L-Pd/PEI@SiO<sub>2</sub> の DMB は負のコットン効果を示した(Figure 7)。ラセミ体触媒 DL-Pd/PEI@SiO<sub>2</sub> からの生成物は CD 活性を示さなかった。

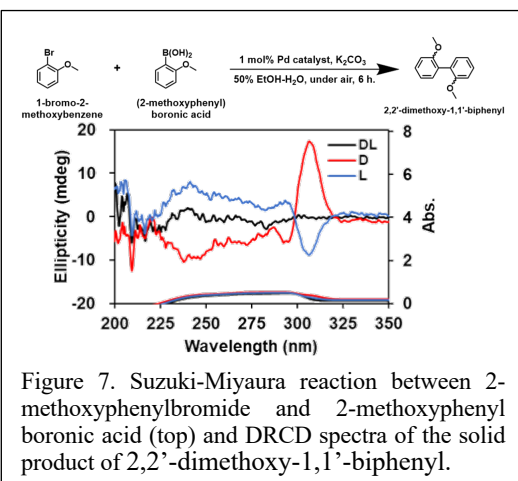


Figure 7. Suzuki-Miyaura reaction between 2-methoxyphenylbromide and 2-methoxyphenyl boronic acid (top) and DRCD spectra of the solid product of 2,2'-dimethoxy-1,1'-biphenyl.

以上のように、3年半の研究を経て、我々は有機分子キラリティの一次情報がシリカ、チタニアの Si-O、Ti-O 結合レベルでの不斉を引き起こすことをつきとめた。さらに、シリカのキラリティを二次不斉情報として用いることで、シリカから広範な物質(例えば、ポリマー、金属ナノ粒子、金属酸化物、有機化合物)へキラリティを転写できることを明らかとした。キラルシリカの応用展開において、ラマン散乱増強でのエナンチオマー識別、円偏光発光、キラル触媒など新しい知見を広げた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 2. Li Xu, Min Guo, Chin-Te Hung, Xiao-Lei Shi, Yiwen Yuan, Xingmiao Zhang, Ren-Hua Jin, Wei Li †, Qiang Dong, Dongyuan Zhao	4. 巻 145
2. 論文標題 Chiral Skeletons of Mesoporous Silica Nanospheres to Mitigate Alzheimer's -Amyloid Aggregation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 7810-7819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c12214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 5. Xinling Liu, Ren-Hua Jin	4. 巻 2
2. 論文標題 Recent topics on circularly polarized luminescence generated by inorganic materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemSynth	6. 最初と最後の頁 7(1-29)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20517/cs.2022.01	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 7. Xinling Liu, Ren-Hua Jin	4. 巻 1
2. 論文標題 A versatile messenger for chirality communication: asymmetric silica framework	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemSynth,	6. 最初と最後の頁 14(1-18)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20517/cs.2021.16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kong Huanjun, Sun Xueping, Yang Liu, Liu Xinling, Yang Haifeng, Jin Ren-Hua	4. 巻 92
2. 論文標題 Chirality Detection by Raman Spectroscopy: The Case of Enantioselective Interactions between Amino Acids and Polymer-Modified Chiral Silica	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 14292 ~ 14296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.0c03286	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin	4. 巻 222
2. 論文標題 Chiroptical Cross-Linked Polymers Grown via Radical Polymerization around Chiral Nano-Silica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromol. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 2000436 (1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.202000436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sun Xueping, Kong Huanjun, Zhou Qinghai, Tsunega Seiji, Liu Xinling, Yang Haifeng, Jin Ren-Hua	4. 巻 92
2. 論文標題 Chiral Plasmonic Nanoparticle Assisted Raman Enantioselective Recognition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 8015 ~ 8020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.0c01311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kong Huanjun, Sun Xueping, Yang Liu, Liu Xinling, Yang Haifeng, Jin Ren-Hua	4. 巻 12
2. 論文標題 Polydopamine/Silver Substrates Stemmed from Chiral Silica for SERS Differentiation of Amino Acid Enantiomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 29868-29875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c08780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wen-Li Wang and Ren-Hua Jin	4. 巻 10
2. 論文標題 A unique polymersome covered by loop-cluster polyamine corona	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Adv	6. 最初と最後の頁 13260-13266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra10704e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, Takuya Nakashima, Tsuyosh Kawai	4. 巻 85
2. 論文標題 Transfer of Chiral Information from Silica Host to Achiral Luminescent Guests: A Simple Approach to Accessing Circularly Polarized Luminescent Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 619-626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.201900615	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Ikehara, Toshiyuki Kataoka, Manabu Inutsuka, and Ren-Hua Jin	4. 巻 8
2. 論文標題 Chiral Nucleating Agents Affecting the Handedness of Lamellar Twist in the Banded Spherulites in Poly( $\epsilon$ -Caprolactone)/Poly(Vinyl Butyral) Blends	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macro Letters	6. 最初と最後の頁 871-874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.9b00416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seiji Tsunega, Patcharapon Kongpitak, and Ren-Hua Jin	4. 巻 10
2. 論文標題 Chiroptical phenolic resins grown on chiral silica bonding amine residues	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polym. Chem.	6. 最初と最後の頁 3535-3546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9py00543a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 吉森 峻平・金 仁華
2. 発表標題 パラジウム担持キラルシリカ触媒による鈴木-宮浦カップリング反応
3. 学会等名 第72回高分子年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 糸賀稜・金仁華
2. 発表標題 主鎖に不斉炭素を有するポリメチルエチレンイミン (PMEI) の構造変換から得られるキラルポリマー及び光学特性
3. 学会等名 第72回高分子年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 糸賀稜・王文立・金仁華
2. 発表標題 らせん環状キラルポリオキサゾリン /Pd(II)錯体に触媒される不斉鈴木-宮浦クロスカップリング反応
3. 学会等名 第 71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 糸賀稜・王文立・金仁華
2. 発表標題 Pd 錯体化に駆動される環化ポリオキサゾリンの構造と物性
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 糸賀稜・王文立・金仁華
2. 発表標題 ポリオキサゾリンの末端修飾体を利用した Pd(II)との自己組織化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 系賀 稜・王 文立・金 仁華
2. 発表標題 キラルポリオキサゾリンの両末端設計による環状の光学活性ポリマー/Pd 錯体の作製
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茂木 駿弥・恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 ポリエチレンイミンとアキラル/キラル酸からなる錯体にテンプレートされるシリカ構造体
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福本 紫織・太田 恵唯・恒賀 聖司・貝掛 勝也・金 仁華
2. 発表標題 キラルテンプレートの砕きによるキラルシリカナノ粒子の合成
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 キラルシリカ反応場を用いたキラル材料の創出
3. 学会等名 第23回ケイ素化学協会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田 恵唯・恒賀 聖司・貝掛 勝也・金 仁華
2. 発表標題 シリカ系キラル無機材料構築におけるテンプレートのエナンチオマーエクセスの効果
3. 学会等名 第23回ケイ素化学協会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiji Tsunega, Sora Sato, and Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Asymmetric Radical Polymerization of Vinyl Monomers in the Mediation of Chiral Silica
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田 恵唯・恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 キラル酸化チタン合成における有機系テンプレートの効果
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 13)Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Endowing metallic nanoparticles with chirality employing asymmetric silica as chiral sources
3. 学会等名 Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Ohta, Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Chiral silica synthesized by crystalline catalytic templates composed of enantiomeric excess
3. 学会等名 Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恒賀聖司, 金仁華
2. 発表標題 キラルシリカ反応場でのビニルモノマーの不斉ラジカル重合
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田恵唯, 恒賀聖司, 金仁華
2. 発表標題 高分子系触媒型テンプレートによるキラル酸化チタンの合成
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恒賀聖司, 金仁華
2. 発表標題 Architecture of Chiral silica-based circularly polarized luminescent system
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧田萌美, 金仁華
2. 発表標題 両親媒性歯ブラシ型ポリマーミセルをテンプレートとした キラル酸化チタンの合成及び光触媒機能
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関