

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：34310

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06515

研究課題名（和文）3次元金属ナノ構造量産プロセスとキラル機能探索

研究課題名（英文）Fabrication Process and Chiral Functions of 3D Metal Nanostructures and Their Chiral Functions

研究代表者

彌田 智一（Iyoda, Tomokazu）

同志社大学・ハリス理化学研究所・教授

研究者番号：90168534

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、独自に開発したバイオテンプレート技術による左巻金属マイクロコイルと不斉ケイ素中心のキラルシリカとそのキラル転写材料を対象に、アシンメトリー構造・機能・材料化をめざした。具体的には、らせん藻類スピルリナを鋳型とする金属マイクロコイル作製とその分散シートのミリ波・テラヘルツ帯電磁波応答を中心とするアシンメトリー機能開発、不斉有機酸/ポリエチレンジイミン錯体から誘導されるキラルシリカを母体とする各種無機材料への不斉転写プロセスの開発とアシンメトリー機能開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、らせん藻類由来の片巻き金属マイクロコイルと有機酸・ポリエチレンジイミン錯体を触媒テンプレートとするキラルシリカのねじれ構造を起源とするアシンメトリー機能の創成をめざし、次世代通信規格Beyond 5G/6Gのミリ波・テラヘルツ帯の電波吸収、コイル1本からの再放射パターン可視化による高効率電波吸収のメカニズム解明、電界誘起マイクロモーターの原理実証し、キラルシリカ創成とケイ素中心の普遍的な構造アシンメトリーを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The objective in our study was set to “transcribing asymmetric structure”, “exploiting asymmetric functions”, and “creating asymmetric materials”, by targeting (1) left-handed metal microcoils biotemplated from coiled algae, Spirulina, and (2) chiral silica based on twisted structure of silicon-centered tetrahedrons. The present study has achieved (1) mass production method of left-handed metal microcoils by biotemplate process and their dispersion sheets, which shows highly efficient electromagnetic absorption on millimeter wave and terahertz regions with a giant circular dichroism, (2) chiral template process to fabricate various kinds of optically active inorganic materials by using newly established “chiral silica” from supramolecular complexation between polyethylene imine and chiral organic acids.

研究分野：ナノ・マイクロ材料化学

キーワード：マイクロコイル キラルシリカ キラル転写 テラヘルツ 電波吸収 バイオテンプレート 円偏光発光 X線マイクロCT

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

(1) 本提案は、植物維管束のらせん紋（ $100\ \mu\text{m}$ 径、数 cm 長）をテンプレートに無電解銀めっきによる金属マイクロコイルの作製とその単一コイルの微小インダクタンスの実測（*Adv. Mater.*, 2011, 23(46), 5509–5513）、量産性に優れたらせん藻類スピルリナをテンプレートとする無電解めっきによる左巻き金属マイクロコイル（ $40\ \mu\text{m}$ 径、数百 μm 長）の量産プロセス、培養条件による巻き方向、コイル長、ピッチ角の制御法の確立、およびこれら金属マイクロコイル分散シートの数百 GHz～THz 帯電磁波の高効率吸収と巨大な円二色性（＝キラルメタマテリアル特性）の実証（*Sci. Rep.*, 2014, 4, 4919）を

背景とする。特に、精密加工の困難な三次元微細構造を多様な生物微細構造をテンプレートに無電解めっきやゾルゲル法な

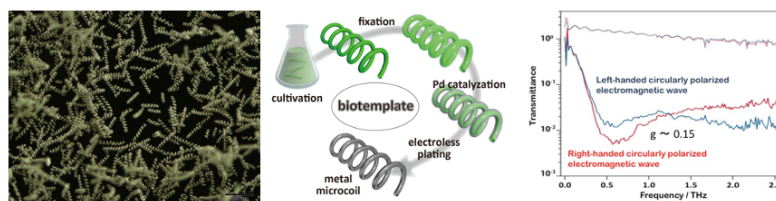


図1 らせん藻類Spirulinaを鋳型とする金属マイクロコイル作製とその分散シートのミリ波・テラヘルツ帯の高効率・広帯域電波吸収および巨大な円二色性

ど異種材料へのナノ・マイクロ構造転写の量産プロセス開発とその形状特異的な機能創成を「バイオテンプレート技術」として提唱した（バイオテンプレート研究会）。機能性ナノ・マイクロ材料の創成において、実験室レベルの段階から構造制御性と量産ベースを見据えた作製プロセスの開発が、機能探索や用途開発の共同研究や技術移転を促進して「学際的で工業的に使える」材料を創成するために必須と考える。

(2) 分担者金仁華が開発したキラルシリカをアシンメトリー・キラルテンプレートとする金属酸化物、金属、カーボンへのキラル構造・機能の転写プロセスを第二の研究推進基盤に据えた。これは、ポリエチレンイミンが不斉有機酸と水性媒体中アミン-カルボン酸の1:1錯体を形成し、その集積化により結晶性ナノファイバーに成長する。このナノファイバーが Biomimetic mineralization の触媒反応場を与え、キラルシリカを生成する（*Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 6886）。

2. 研究の目的

本研究では、片巻き金属マイクロコイルおよび歪四面体によるキラルシリカの構造要素である「ねじれ」構造を本領域主題の配位アシンメトリーおよび配位キラリティを誘起する「場」と捉え、その構造制御と構造転写プロセスの開発、およびそのアシンメトリー・キラル機能の創成を目的とする。

3. 研究方法

(1) バイオテンプレート技術によるらせん藻類由来の金属マイクロコイル作製とそのテラヘルツ帯光学活性、および(2)不斉有機酸・ポリエチレンイミン錯体を触媒テンプレートとするキラルシリカ作製と金属、酸化物、ポリマー、シリコンなどへのキラル転写プロセスを基盤に、光を含む電磁波応答のほか、力学応答、非平衡環境下の動特性、配列制御など広い視点からのキラル機能探索とその工学的利用をめざす。

4. 研究成果

(1) 金属マイクロコイル1本のテラヘルツ近接場顕微鏡による再放射パターン実測

左巻らせん藻類スピルリナを鋳型として作製した金属マイクロコイル1本から、らせん軸方向とそれと直交する方向へのテラヘルツ光放射を、テラヘルツ近接場顕微鏡を用いてリアルタイムで可視化することに成功した(図2, ①)。2014年に発表した金属マイクロコイルの低密度分散シートの異常に高いテラヘルツ波吸収が、微小金属フィラー散乱体として、金属特有の連鎖的な吸収・再放射によることがわかった。これは、ヘリカルアンテナのNormal mode, End-fire modeの電場分布を、位相情報も含めて、世界最小最短の時空間分解能で観測したもので、理化学研究所光量子工学センターと京都大学理学部との共同研究によるものである。次世代情報通信規格であるBeyond 5G/6Gのインフラ材料となる電波吸収部材として重要な基礎的知見を得た。今後、巻方向による円偏波特性を考慮したコイル2本の配置配列による放射・再吸収のリアルタイム可視化・定量化の展開予定ある。

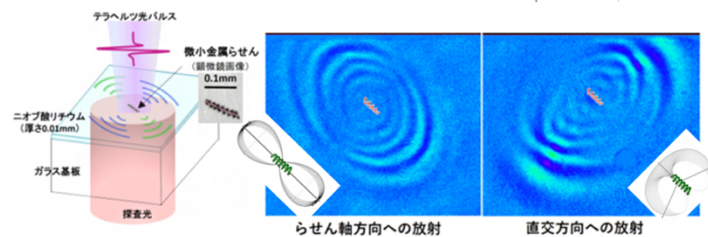


図2 THz近接場顕微鏡による金属マイクロコイル1本からのTHz波放射パターンリアルタイム可視化

(2) 次世代電波吸収体としての金属マイクロコイル分散材料の開発

わずか数%の金属マイクロコイル分散パラフィンが、200GHzから3THz以上のミリ波、テラヘルツ波に対して、低反射、高吸収、広帯域の電波吸収特性をもつことは、次世代電波吸収材料の有為な候補である(②)。さまざまな分野での実装を想定し、水系エマルジョン、エポキシ樹脂、シリコーンゴム、発泡スチロール、発泡ウレタン(図3)などを媒質素材に、金属マイクロ

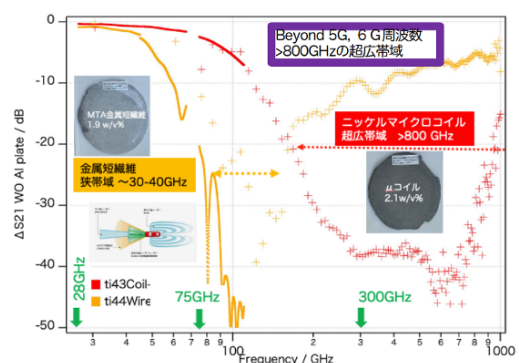


図3 ニッケルマイクロコイルを分散した発泡ウレタンシートのTHz帯電波吸収(赤、直線:自由空間法、点線:THz分光)金属短繊維分散シート(オレンジ)

コイル分散シートを試作、そのミリ波・テラヘルツ帯の電波吸収特性を評価し、P社への技術移転に至った。

(3) 金属マイクロコイルの配向制御とテラヘルツ帯電磁応答

金属マイクロコイル分散シートの THz 電磁波吸収スペクトルは、コイル軸の直交方向に放射するダイポールアンテナ的な normal mode とコイル軸長方向に広帯域に放射する円二色性の axial mode に帰属される。この電磁波応答の異方性をマクロ機能に活かすには、金属マイクロコイルの配向・配列制御が重要である。永久磁石を回転させ、磁力による並進運動を抑制し、主に面内および面外に磁場配向させた配向コイル試料を作製した。直線偏波の入射テラヘルツ波に対して、1.5 THz 付近に大きな正の Cotton 効果を垂直配向分散シートに現れ、光学活性の配向依存性を予備的に明らかにした。しかしながら、コイルの配向制御およびその電磁波応答特性の再現性が低く、コイル間距離の不規則広分散、コイル間の連鎖的再放射・再吸収（研究成果(1)）、試料内配向の広分散など高効率吸収が故に、コイル配向に高感度すぎる課題を直面した。そのため、仙台理研テラヘルツ分光チームとの共同研究により、予備的ながら配向規定した金属マイクロコイル分散シートの THz 帯 Mueller Stokes 偏光解析を行い、直線二色性、直線複屈折、円二色性、円複屈折をすべて含むことを実証した。一方、この磁場配向分散シートの配向不均一性を利用し、テラヘルツ帯電磁応答と金属マイクロコイルの配向相関を行った。つまり、テラヘルツイメージングによるミリメートル分解能の透過・反射マッピングデータおよびX線マイクロCTによる全コイルの構造・配向データの相関解析に着手したが、研究期間内に完了に至らず、配向分散シートの配向改善も含めて現在進行中である。

(4)キラルシリカの創成とキラル転写プロセス (③④)

分担者金仁華は、不斉有機酸とポリエチレンジアミンの錯形成とその結晶化ナノファイバーが、酸塩基触媒および固液界面の分子テンプレートとして、アルコキシシランから“キラルシリカ”を形成することを明らかにした。そのケイ素中心不斉は、キラルシリカの真空紫外領域の電子遷移および赤外領域の振動遷移の明確な円二色性、および高分解能ラマン分光によって実証した。さらに、この円二色性は、内包する有機物を焼成除去しても維持され、アキラル色素の吸着により誘起 CD

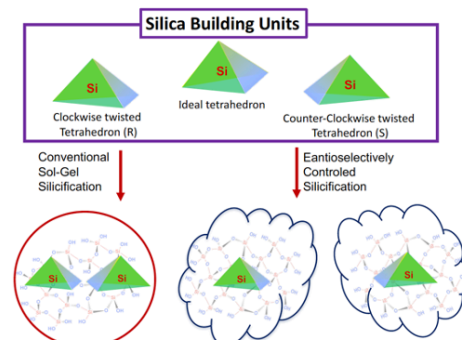


図4 不斉有機酸-ポリエチレンジアミン超分子錯体触媒による歪四面体エナンチオエクセスのキラルシリカ
従来型シリカは、歪四面体を等量含むラセミ体

が現れること、金錯イオンの吸着・還元による金ナノ粒子、Mg還元によるシリコンのような単体への転写においても、特性吸収領域に円二色性が現れ、キラル転写プロセスの汎用性と普遍性を確立した(図4)。さらに、レゾルシノール樹脂およびその炭化物へのキラル転写にも成功した。このキラルシリカとキラル転写のメカニズムを考察する中で、「合成シリカが、局所的なアシンメトリー構造の等量共存によるラセミ体」とする新しい考え方を導いた。

(5)キラルシリカ転写法による新規キラル機能材料

研究成果(4)のキラルシリカのキラル転写プロセスを活用し、貴金属イオンを含浸・光還元させたキラルシリカ/金属ナノ構造複合体のプラズモン二色性材料および希土類酸化物の円偏光発光材料をはじめ開発した(⑤)。

(6)金属マイクロコイルのテラヘルツ波近接場の機能探索

金属ナノ構造による表面増強ラマン散乱や蛍光増強など近接場を利用した分子の電子遷移や振動遷移の分光分析法が注目され、テラヘルツ波を効率良く吸収し、巨大な円偏波応答を示す金属マイクロコイルの近接場利用は、可能性の高い候補である。キラル構造が“見える”金属マイクロコイルの機能開発と幅広い異種材料へのキラル転写を確立したキラルシリカのアシンメトリー構造の解明から、コイル配向・配列の制御技術、THz帯巨大円二色性について分子旋光性理論とアンテナ理論の比較、ケイ素中心不斉の構造解析と固液界面のキラル転写について重要な方向性と知見が得られた。

<引用文献>

- ① T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani, H. Minamide, *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 3310.
- ② K. Kamata, “Biotemplating Process for Electromagnetic Materials (Chapter 8)”, *Industrial Biomimetics*, A. Miyauchi, M. Shimomura (Ed.), Jenny Stanford Publishing **2019**.
- ③ Ren-Hua Jin, *Chem. Eur. J.* **2019**, *25*, 6270-6283.
- ④ H.-J. Kong, X.-P. Sun, L. Yang, X.-L. Liu, H.-F. Yang, R.-H. Jin, *Anal. Chem.* **2020**, *92*, 14292-14296.
- ⑤ S. Tsunega, R.-H. Jin, T. Nakashima, T. Kawai, *ChemPlusChem* **2020**, *85*, 619-626.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 S. Tsunega, R. -H. Jin	4. 巻 222
2. 論文標題 Chiroptical Cross Linked Polymers Grown via Radical Polymerization around Chiral Nanosilica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromol. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 2000436
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 -
1. 著者名 T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani, H. Minamide	4. 巻 11
2. 論文標題 Dynamical visualization of anisotropic electromagnetic re-emissions from a single metal micro-helix at THz frequencies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 3310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-80510-y	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 X. -P. Sun, H. -J. Kong, Q. -H. Zhou, S. Tsunega, X. -L. Liu, H. -F. Yang, R. -H. Jin	4. 巻 92
2. 論文標題 Chiral plasmonic nanoparticles assisted Raman enantioselective recognition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Anal. Chem.	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 H. -J. Kong, X. -P. Sun, L. Yang, X. -L Liu, H. -F. Yang, R. -H. Jin	4. 巻 12
2. 論文標題 Polydopamine/silver substrates stemmed from chiral silica for SERS differentiation of amino acids enantiomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS App. Mater. & Inter	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 H.-J. Kong, X. -P. Sun, L. Yang, X. -L. Liu, H. -F. Yang, R. -H. Jin	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 Anal. Chem.	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 K. Takano, M. Asai, K. Kato, H. Komiyama, A. Yamaguchi, T. Iyoda, Y. Tadokoro, *M. Nakajima, *M. I. Bakunov	4. 巻 9
2. 論文標題 Terahertz emission from gold nanorods irradiated by ultrashort laser pulses of different wavelengths	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 3280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-39604-5	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 S. Hatazaki, D. K. Sharma, S. Hirata, K. Nose, T. Iyoda, A. Koelsch, H. Lokstein, M. Vacha	4. 巻 9
2. 論文標題 Identification of Short- and Long-Wavelength Emitting Chlorophylls in Cyanobacterial Photosystem I by Plasmon-Enhanced Single-Particle Spectroscopy at Room Temperature	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 6669-6675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b03064	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 M. -D. Liu, S. Hirata, *T. Iyoda, *M. Vacha, *P. Piotrowiak	4. 巻 122
2. 論文標題 Excited State Behavior of Single Strand and Bulk P3HT in Contact with a Au-Nanowire Array	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 7925-7933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12444	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 T. Kawauchi, T. Kojima, *H. Sakaguchi, T. Iyoda	4. 巻 34
2. 論文標題 Electrostatic Repulsion-Induced Desorption of Dendritic Viologen-Arranged Molecules Anchored on a Gold Surface through a Gold-Thiolate Bond Leading to a Tunable Molecular Template	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 6420-6427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b00858	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 -

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(ϵ -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, Ren-Hua Jin, Takuya Nakashima, Tsuyoshi 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 596-596
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 Daigo Yamamoto, Kento Kosugi, Kazuya Hiramatsu, Wenyu Zhang, Akihisa Shioi, Kaori Kamata, Tomokazu Iyoda, Kenichi Yoshikawa	4. 巻 150
2. 論文標題 Helical micromotor operating under stationary DC electrostatic field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 14901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5055830	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 Takashi Notake, Kaori Kamata, Tomokazu Iyoda, Chiko Otani, Hiroaki Minamide	4. 巻 58
2. 論文標題 Expression of Various Polarization Effects by using Spirulina-Templated Metal μ Coils at Terahertz Frequency Region	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 32007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aafca6	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 Masumi Sugimoto, Xin Ling Liu, Seiji Tsunega Erika Nakajima Shunsuke Abe Prof. Takuya Nakashima Prof. Tsuyoshi Kawai Prof. Ren Hua Jin	4. 巻 24
2. 論文標題 Circularly Polarized Luminescence from Inorganic Materials: Encapsulating Guest Lanthanide Oxides in Chiral Silica Hosts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. A Eur. J.	6. 最初と最後の頁 6519-6524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201705862	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 Ren-Hua Jin	4. 巻 25
2. 論文標題 Understanding silica from the viewpoint of asymmetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J	6. 最初と最後の頁 6270-6283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201805053	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 2. Seiji Tsunega, Toyokazu Tanabe, and Ren-Hua Jin	4. 巻 1
2. 論文標題 Unusual Chirality Transfer from Silica to Metallic Nanoparticles with Formation of Distorted Atomic Array in Crystal Lattice Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale Adv.	6. 最初と最後の頁 581-591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8na00159f	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 4. Xin-Ling Liu, Ken Murakami, Hiroyuki Matsukizono, Seiji Tsunega and Ren-Hua Jin	4. 巻 8
2. 論文標題 Convenient Chirality Transfer from Organics to Titania: Construction and Optical Property	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 15951-15950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8ra02926a	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 Xin-Ling Liu, Seiji Tsunega and Ren-Hua Jin	4. 巻 2
2. 論文標題 Self-directing chiral information in solid-solid transformation: unusual chiral-transfer without racemization from amorphous silica to crystalline silicon	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale Horizons	6. 最初と最後の頁 147-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6nh00214e	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 Xin-Ling Liu, Seiji Tsunega and Ren-Hua Jin	4. 巻 2
2. 論文標題 Unexpected "Hammer-like Liquid" to Pulverize Silica Powders to Stable Sols and Its Application in Preparation of Sub-10 nm SiO ₂ Hybrid Nanoparticles with Chirality	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 1431-1440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.7b00120	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 Xin-Ling Liu, Seiji Tsunega, Takumi Ito, Maho Takanashi, Miwa Saito, Katsuya Kaikake, and Ren-Hua Jin	4. 巻 46
2. 論文標題 Double chiral Organic/inorganic hybrid materials: Formation of chiral phenolic resins on polyamines-associated chiral silica	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letter	6. 最初と最後の頁 1518-1521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170656	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 Tatsuya Nojima; Seiya Suzuki; Tomokazu Iyoda	4. 巻 4
2. 論文標題 Atelocollagen-templated fabrication of tangled fibrous silica	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. B	6. 最初と最後の頁 6640 - 6643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6TB01770C	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45件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 金属 μ コイル分散シートの作製とミリ波電磁波吸収・遮蔽特性
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 Tomokazu IYODA
2. 発表標題 GHz-THz Electromagnetic Response with Biotemplated Metal Microcoils
3. 学会等名 Molecular Chirality
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu IYODA
2. 発表標題 GHz-THz Electromagnetic Response of Biotemplated Metal Microcoils
3. 学会等名 The 10th International Symposium of Integrated Molecular/Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 バイオテンプレート技術 ~らせん藻類から微小金属コイルの量産とTHz電波吸収へ~
3. 学会等名 門おづくり先端技術セミナー (招待講演)
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 服部 沙莉菜・金 仁華
2. 発表標題 アミド縮合剤を用いたキラル残基を有するマイクロ粒子の合成
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 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
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 enantiomer excess
3. 学会等名 Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science
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 Tomokazu Iyoda
2. 発表標題 Left-handed Metal Microcoils: Bioteplate Process, THz Electromagnetic Responses, Rotary Motions
3. 学会等名 4th Molecular Chilarity in Asia 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomokazu Iyoda
2. 発表標題 Left-handed Metal Microcoils: Bioteplate Process, THz Electromagnetic Responses, Rotary Motions
3. 学会等名 14th IUPAC International Conference on Novel Materials and Their Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 左巻き金属マイクロコイル：バイオテンプレートプロセスとテラヘルツ帯電磁応答
3. 学会等名 理研シンポジウム 第6回光量子工学研究（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 ナノ・マイクロスケールのテンプレート材料科学
3. 学会等名 IGER Seminar in Nagoya University（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 ナノ・マイクロスケールのテンプレート材料化学
3. 学会等名 龍谷大学革新的材料・プロセス研究センター 2018年度シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野竹孝志，彌田智一，鎌田香織，大谷知行，南出泰亜
2. 発表標題 藍藻スピルリナを鋳型として 作製した微小ヘリカルアンテナ
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Chirality Origin in Silica: New Challenge Towards Asymmetric Stereochemistry in Silica Frame
3. 学会等名 The 4th International Conference on Advanced Complex Inorganic NanoMaterials (ACIN2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Chirality Origin in Silica Materials
3. 学会等名 The 9th National Conference of Molecular Chirality (NMC 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Endowing Silica with Chirality by Enantioselective Polymerization of Alkoxysilanes
3. 学会等名 The 2nd International Symposium of Coordination Asymmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金仁華
2. 発表標題 Sol-Gel 反応に対抗するBio-Inorganic Polymerization から見えるシリカの立体化学
3. 学会等名 第37 回無機高分子研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 根本 黎・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ラジカル重合反応
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田 恵唯・恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 シリカへのキラリティ転写におけるエナンチオマーエクセス効果
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 巧・恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 キラルシリカをマトリックスとするアミノフェノール樹脂の合成と不斉機能
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊崎 真琴・梅原 悠磨・金 仁華
2. 発表標題 キラルポリメチルエチレンイミンとアキラルポリエチレンイミンからなるジブロック共重合体の合成と物性
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Tsunega and Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Preparation of chiral phenolic resins promoted by chiral silica matrices possessing amine residues
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部 沙莉菜・貝掛 勝也・金 仁華
2. 発表標題 マイクロ制限空間を利用するハブリッド球状体の合成と機能
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田 恵唯・恒賀 聖司・金 仁華
2. 発表標題 キラル無機材料構築における有機系テンプレートの効果
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恒賀 聖司・中嶋 琢也・河合 壯・金 仁華
2. 発表標題 キラルシリカに内包された有機発色団の円偏光発光活性
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤巧、金 仁華
2. 発表標題 二重キラル材料の合成と光学分割機能
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018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複合材料の合成
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊崎真琴、金 仁華
2. 発表標題 水溶性キラルポリマーの設計及び機能
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Chiral phenolic resins grown on chiral silica associated with amines residues
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018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

1. 発表者名 Seiji Tsunega, Takuya Nakashima, Tsuyoshi Kawai, Ren-Hua Jin
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 Ren-Hua Jin
2. 発表標題 Chemical Tricks in Solid Phase Chiral Transfer between Organics and Inorganics
3. 学会等名 The 8th the Chinese Molecular Chirality Symposium, Oct. 10-15, 2017, Fuzhou, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomokazu Iyoda
2. 発表標題 Playing with 3D templates in nano/micro scales: block copolymer, algae, diatom, and protein
3. 学会等名 Harbin Engineering University, September 8, 2017, Harbin, China (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomokazu Iyoda
2. 発表標題 Spirulina-templated Metal Microcoils and Their Electromagnetic Response
3. 学会等名 Southeast University, April 28, 2017, Nanjing, China (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 藻類バイオテンプレート技術とタンパク質凝縮体
3. 学会等名 高分子学会 16-1バイオ・高分子研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomokazu Iyoda
2. 発表標題 Playing 3D Templates in Nano/Micro Scales - Block Copolymer, Algae, Diatom, and Protein -
3. 学会等名 Nano/Bioscience International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 彌田智一
2. 発表標題 ナノ・マイクロスケールの材料化学プロセスと機能探索
3. 学会等名 超臨界ナノ材料技術開発コンソーシアム講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原太郎、朴貞子、彌田智一、鎌田香織、奥村泰志、田中拓男
2. 発表標題 珪藻をテンプレートとした 金ナノホールチップ
3. 学会等名 第65回高分子討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 八木優子、虎島史歩、野瀬啓二、山口章久、彌田智一
2. 発表標題 ブロックポリマーテンプレートプロセス による高信頼性金ナノロッドアレイの作製とその光学特性
3. 学会等名 第65回高分子討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 八木優子、虎島史歩、野瀬啓二、山口章久、彌田智一
2. 発表標題 分子グリッド配線技術のための高信頼性 金ナノロッドアレイの作製とその光学特性
3. 学会等名 第67回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kaori Kamata	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.	5. 総ページ数 308頁
3. 書名 Industrial Biomimetics Chapter 8: Biotemplating Process for Electromagnetic Materials	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 キラルポリマーの製造方法、キラル炭素材料の製造方法、及びキラルポリマー	発明者 金仁華	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-079314	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	鎌田 香織 (Kamata Kaori) (00361791)	防衛医科大学校(医学教育部医学科進学課程及び専門課程、動物実験施設、共同利用研究施設、病院並びに防衛・進学課程・講師) (82406)	
研究分担者	金 仁華 (Jin Renhua) (60271136)	神奈川大学・工学部・教授 (32702)	

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1件

国際研究集会 The 10th International Symposium of Integrated Molecular/Materials Science and Engineering	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

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			
米国	Rutgers University			
中国	Shanghai Normal University	Southeast University	Beijing Univ. Chem. Tech.	他1機関
フランス	Strasbourg University			