

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02696

研究課題名(和文) ロタキサン構造を基軸とするナノスケールケミカルデバイスの創製

研究課題名(英文) Fabrication of nano scaled chemical devices based on rotaxane structure

研究代表者

寺尾 潤 (Terao, Jun)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：00322173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：ルテニウムと白金錯体を有するバイメタル型分子ワイヤを合成し、2つの閾値を有し、シグモイド型の生体応答性を示す被覆型分子センサ材料の合成にも成功した。また、STM-BJ法を用い、被覆型共役分子の単分子伝導度測定にも成功した。また、精密な1分子伝導測定については、ブレイクジャンクション法により電極を可動させ、力学によるスピロピラン分子の構造異性化による電気伝導性のスイッチに成功した。さらに、1分子センサについては、シクロデキストリンを分子認識部位として有する1分子センサを作製し、リアルタイム伝導度測定により4つのアミノ酸とそれらのエナンチオマーを、数 $\mu$ 秒以内に区別することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではビルドアップ型の分子配線法を新たに考案することで、同一骨格からなる分子の長距離配線のみならず様々な機能分子が導入された分子回路の作製が可能となるのが特徴である。また、本手法は従来の架橋法と異なり、被覆効果により複数の共役分子による高密度・並列配線が可能となり、高い信号強度の伝導特性と高い分子配線の再現性が期待される。さらに、被覆効果により、共役鎖内での電荷移動のみが起こり、高い伝導特性が得られるとともに、共役分子の並列配線において問題となる、相互作用による凝集や共役鎖の熱ゆらぎが抑制され、nmスケールの分子架橋でも高いIS/N比を実現可能となる。

研究成果の概要(英文)：We synthesized a bimetallo-type molecular wire having a ruthenium and a platinum complex, and succeeded in synthesizing a coated molecular sensor material having two thresholds and showing sigmoid-type bioresponsiveness. We also succeeded in measuring the monomolecular conductivity of coated conjugated molecules using the STM-BJ method. For precise single-molecule conduction measurement, we succeeded in switching the electrical conductivity by moving the electrodes by the break junction method and by structural isomerization of the spiropyran molecule by mechanics. Furthermore, for a single-molecule sensor, we created a single-molecule sensor having cyclodextrin as a molecular recognition site, and succeeded in distinguishing four amino acids and their enantiomers within a few  $\mu$ s by real-time conductivity measurement.

研究分野：分子エレクトロニクス

キーワード：分子配線 分子回路 ロタキサン 分子ワイヤ 分子エレクトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

現在、広く用いられているシリコン半導体を基盤とした情報処理デバイスはムーアの法則に従い、トップダウン的高集積化により性能向上を続けてきたが、2020年代には微細化の極限に達すると予想されている。一方、1分子からボトムアップ的に素子を作製する分子エレクトロニクスの実現は、一義的な物性を示すスケールの新たなデバイスの製造が期待できる。即ち、電子素子の構成要素として分子を概観すると、大きさと構造がスケールで厳密に定義された部品としてだけでなく、従来のバンド構造を基本とした電子素子の枠組みを超える魅力的な機能を兼ね備えている。この1分子エレクトロニクスは1974年に Aviram, Ratnar らによって、1分子接合(1つの分子が電極間に架橋された構造)がダイオードとして機能することが理論的に示されて以来、究極的な超微小デバイス実現への挑戦として大きく期待されてきた。当初そのような1分子接合を作製することすら困難であったが、2000年以降、走査型トンネル顕微鏡(STM)によるブレイクジャンクション(BJ)と呼ばれる、電極の機械的な接合と破断を繰り返す手法により、1分子の電気特性の定量的な議論が可能となり、当該分野の研究が飛躍的に進展した。しかしながら、本法では電極が可動するため、実用的なデバイスへの応用は困難である。

## 2. 研究の目的

1分子エレクトロニクスと並行して、モルの分子を基板上に蒸着・塗布し、 $\mu\text{m}$ のギャップを有する固定電極を用いて作製する有機エレクトロニクスは軽く、薄く、曲げられる集積回路や発光デバイス等で既に実用化されている。本研究では $\text{\AA}$ の分子エレクトロニクスと $\mu\text{m}$ の有機エレクトロニクス間に存在する未開拓領域(トップダウン型微細加工技術とボトムアップ型分子合成の限界領域)である $\text{nm}$ スケールに着目し、新たな研究領域として超分子エレクトロニクスを立ち上げ、被覆分子構造からなる $10\text{nm}$ の超分子デバイスの創製を目指す。

## 3. 研究の方法

1974年に理論的に提唱された分子デバイスは、2000年代に入り、機械的に電極の接合と破断を繰り返す可動電極を用いることで、スケールの1分子伝導度測定が可能となり、大きく進歩した。しかし、未だ基礎研究段階に有り、実用レベルにはほど遠い。その実現には、固定電極の利用(可動電極ではデバイスの作製が不可能)、長い分子によるデバイスの作製(スケールの単純な分子では複雑な分子回路が作製できない)、高い再現性・配向性の分子架橋法を確立する必要がある(現状、蒸着・塗布などの確率論的手法が主流である)。そこで、本研究では上述の課題を以下の戦略で解決し、実用的な分子デバイスの実現を目的とする。即ち、  
は現在のリソグラフィ技術で歩留まり良く作製可能な、 $10\text{nm}$ 前後のギャップを有する固定電極を用いる。は長い分子の伝導度は低いため、固定電極間を複数分子で配線する。は固定電極間で機能性被覆型分子をまるで電子ブロックの様に扱い、逐次的なカップリング反応を行うことにより、これらを自在に配列し、複数配線を行うことで、再現性の高い分子架橋法を創出し、解決する。また、本法の応用展開として、超分子伝導計算と機械学習を融合し、超分子相互作用による芳香族化合物の分子識別を高速に実現する超分子センサの開発を行う。また、マイクロ流路内に様々な分子認識能を有するセンサ素子を集積化し、機械学習による煙成

分(芳香族化合物)のモニタリングシステムへと応用する。

#### 4. 研究成果

##### 1) ナノスケール機能性高分子デバイスの創製

もし人工材料や人工的なシステムにこの自動調節機構を取り入れることができれば、センサ・コンピュータ・物質生産システムなどにおいて、人間が状況を判断してコントロールするのではなく、周りの環境変化に応じて自動的に応答性や生産性を変化させる調節機能を付与することができるため、より豊かな社会システムの構築につながると考えられる。しかし、このような調節メカニズムは、自然界では複数のタンパク質等が複雑かつ協同的に働くことで達成され、生態系で利用されているような複雑なシステムを、そのまま人工的なシステムに組み入れることは現実的ではない。したがって、このような自動調節機能を単純な人工材料で模倣するための新しい材料設計が求められる。

ポリマー中の金属は一酸化炭素ガスを認識してポリマーを切断する。しかし一酸化炭素ガスに一定時間暴露した結果生じる材料の発光強度を調査したところ、ガス濃度が低濃度・中濃度・高濃度という3つの濃度領域で異なる応答性を示し、2種類の自動調節システムを有することを明らかとした(図1)。このシステムのカギとなったのは、ポリマーが構成要素であるモノマーに分解することで初めて発光する仕組みを設けたことと、切断反応速度の濃度依存性が一酸化炭素濃度によって切り替わる金属を用いたことである。これによって、低濃度ではポリマーの切断は生じるが、発光しないオリゴマーが主に生成するため、ポリマーの切断量に比べてモノマーの発生量は少なくなる。今回この両者のずれを用いることで、一酸化炭素が存在しても発光を示さない低濃度領域を生み出すことに成功した。さらに一酸化炭素ガス濃度を高めると、ガス濃度

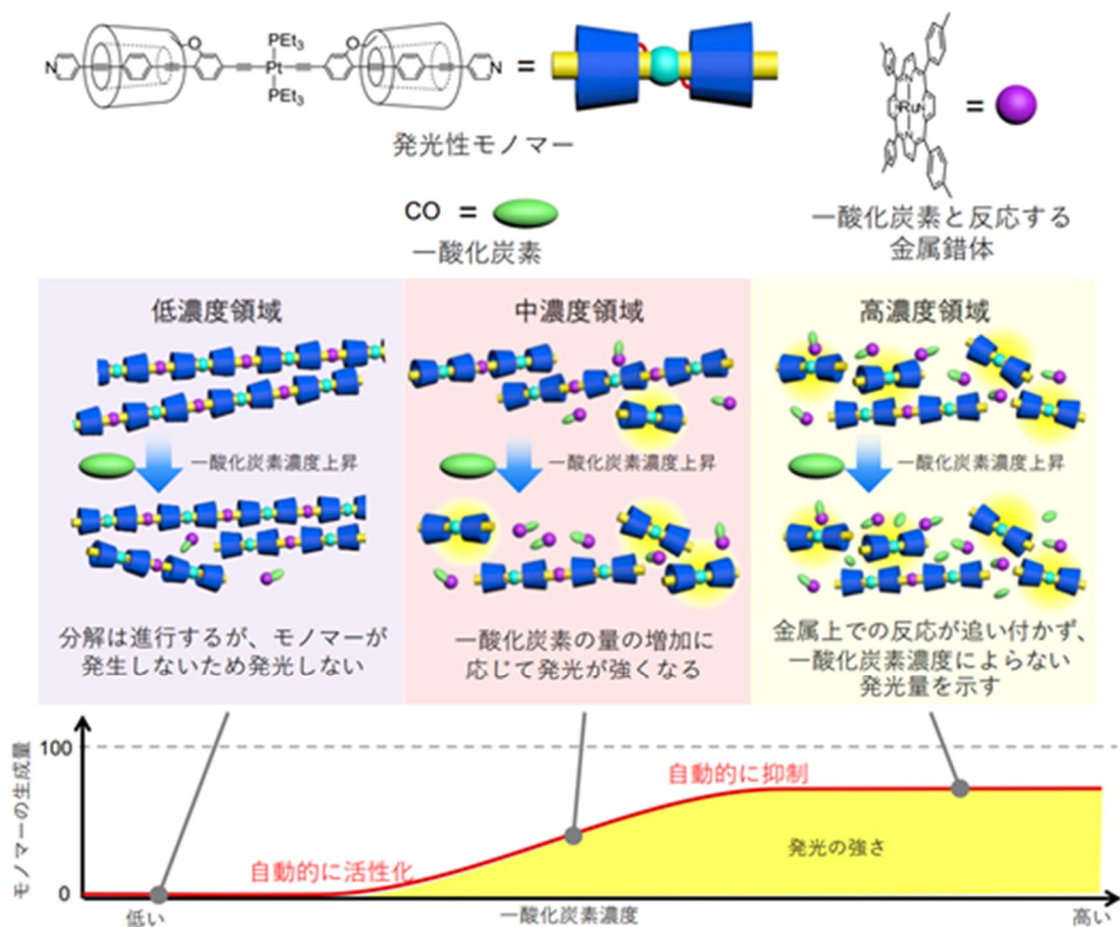


図1 二段階の自律的調節システムを持つ材料の概念図とその仕組み

の増加に伴って発光強度が強くなる通常の比例関係を示す領域（中濃度領域）がもたらされた。一方でさらに高い濃度領域では、一酸化炭素と反応できる金属の供給が追い付かなくなり、濃度に依らず一定の発光強度を示すという二段階目の調節システムが実現できた（高濃度領域）。さらに、これら二段階の濃度領域を任意に設定可能であることも示した。

## 2) 単一分子架橋における化学反応の検出

GMG-SMJ のプラットフォームに基づいて、ホスト-ゲスト相互作用の正確なダイナミクス測定を通じて、さまざまなタンパク質構成アミノ酸とそのエナンチオマーを直接区別する単一分子技術の確立を目指す。即ち、GMG-SJM は、分子センサを1対のナノギャップグラフェンポイントコンタクトの間に共有結合で挟むことによって作製した。分子センサとして、デバイスの安定性と導電性を確保するための堅固な共役分子と、認識機能のための PM- $\beta$ -CD を導入した。安定した単一分子接合を形成するためにホスト分子として PM- $\beta$ -CD を選択する理由は、アミノ酸検出に適した空洞を持っており、アミノ酸検出とキラリティー認識を短時間で成功させるための鍵となる。

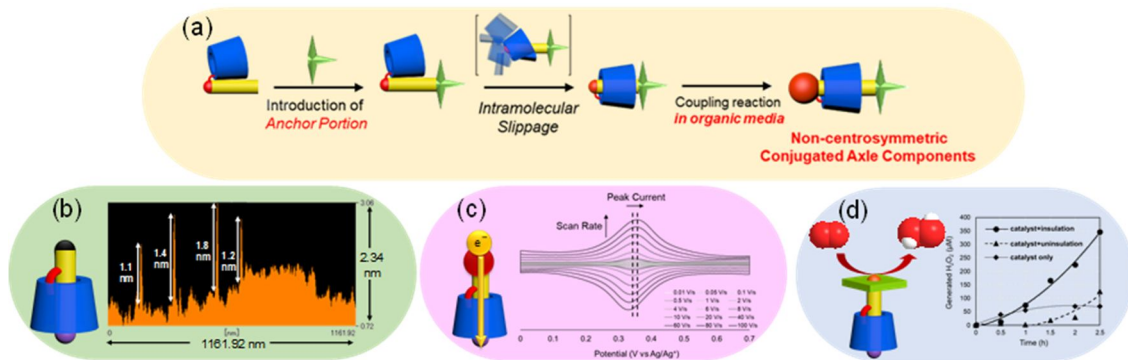
本研究では、数マイクロ秒以内に異なる構造とキラリティーを持つアミノ酸のリアルタイムの電氣的認識を達成するための実用的な単一分子の方法を確立した。単一イベントレベルでの個々のアミノ酸の陰イオン、双性イオン、陽イオンシャトルのホスト-ゲスト動的プロセスが初めて観察された。電氣的および理論的結果の両方が一貫して、PM- $\beta$ -CD が電流変動範囲および熱力学的/速度論的パラメーターに基づいてアミノ酸の異なる電荷状態を認識できることを示した。これらの統計結果に基づいて、4つのアミノ酸と対応するエナンチオマーを異なる pH 値で区別することに成功した。このアミノ酸の検出とキラリティーの識別に加えて、このシステムは酸性またはアルカリ性の両方の条件に適用でき、環境または生物学的システムの他の多くの重要な分子を認識し、分子レベルで生命の基本的なプロセスを深く理解するための普遍的なツールを提供した。この技術はまた、臨床応用に向けた正確な単一分子遺伝子/タンパク質配列決定のための既存技術に革命をもたらす可能性を有する。

## 3) 酸化ナノワイヤの有機修飾によるセンサ素子の創成

光捕集ユニットと反応系を被覆型電子伝達系で接続し、実際に光-物質変換分子を合成する。物質変換デバイスでは逆電子移動の抑制が重要であり、ドナー・アクセプターの系から得られた情報に基づき、ユニット接続官能基や共役主鎖骨格を最適化し、水の光分解系を実現する。光捕集ユニットとしては、有機材料に加えて無機材料も対象とし、本電子伝達系における接続ユニット汎用性を最大限に活用する。さらに超分子電子伝達系の応用展開として、物質変換以外の光変換素子である光-エネルギー変換素子の構築を目指す。酸化インジウムスズ (ITO) などの導電性の無機固体を電極として接続した被覆型電子伝達系に対して、励起電子を無機材料へと電荷分離させ、光電流として取り出す。被覆の熱擾乱抑制効果を用いて、幅広い温度領域で安定に動作する光電変換素子を目指した。

本研究では、ロタキサン構造を有する共役分子<sup>1</sup>を使用して有機-無機ハイブリッド界面を形成することにより、共役部位が凝集することなく、高い吸着密度、および無機表面での電荷移動抵抗のない単分子層の形成に成功した。まず、非中心対称軸成分を持つロタキサン型共役分子を、速度論的安定性と反復分子内滑り現象を利用することで合成した(図 a)。被覆型分子の量子収率は、三次元被覆による分子間消光の抑制のために、対応する非被覆型分子の量子収率よりも高かった。無機表面に固定化されたアンカー基を持つ被覆型分子は、AFM 画像で凝集するこ

となく独立性を示しました(図b)。サイクリックボルタモグラムでは、金属酸化物電極に固定化された被覆型分子の FWHM は理想値に非常に近く、電子移動速度は非被覆型分子の電子移動速度よりも速かった(図c)。凝集のないメタロポルフィリン単分子膜の形成を被覆型アンカー分子の軸方向に配位させることによって達成した。さらに、このアンカー分子にポルフィリンが配位した金属錯体触媒は、酸素の 2 電子還元による過酸化水素生成反応における水分子の副生成を抑制すると共に、触媒効率の劇的な改善を達成した(図d)。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liu Zihao, Li Xingxing, Masai Hiroshi, Huang Xinyi, Tsuda Susumu, Terao Jun, Yang Jinlong, Guo Xuefeng	4. 巻 7
2. 論文標題 A single-molecule electrical approach for amino acid detection and chirality recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 4365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/SCIADV.ABE4365	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 Masai Hiroshi, Yokoyama Takuya, Miyagishi Hiromichi V., Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Fujihara Tetsuaki, Tsuji Yasushi, Terao Jun	4. 巻 11
2. 論文標題 Insulated conjugated bimetallopolymer with sigmoidal response by dual self-controlling system as a biomimetic material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/S41467-019-14271-2	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 Ishino Saqura, Masai Hiroshi, Shimada Sotaro, Terao Jun	4. 巻 61
2. 論文標題 Change in the rate of pseudo[1]rotaxane formation by elongating the alkyl-chain-substituted diphenylethynylene linked to permethyl -cyclodextrin	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 152061 ~ 152061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.TETLET.2020.152061	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 Miyagishi Hiromichi V., Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 15
2. 論文標題 Suppression of Undesirable Isomerization and Intermolecular Reactions of Double Bonds by a Linked Rotaxane Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry ? An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1890 ~ 1895
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ASIA.202000350	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 Tamaki Takashi, Minode Keigo, Numai Yuichi, Ohto Tatsuhiko, Yamada Ryo, Masai Hiroshi, Tada Hirokazu, Terao Jun	4. 巻 12
2. 論文標題 Mechanical switching of current?voltage characteristics in spiropyran single-molecule junctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 7527 ~ 7531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR00277A	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 Inamori Daiki, Masai Hiroshi, Tamaki Takashi, Terao Jun	4. 巻 26
2. 論文標題 Macroscopic Change in Luminescent Color by Thermally Driven Sliding Motion in [3]Rotaxanes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 3385 ~ 3389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/CHEM.201905342	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 Masai Hiroshi, Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Tsuda Susumu, Terao Jun	4. 巻 85
2. 論文標題 Synthesis of Insulated Heteroaromatic Platinum?Acetylide Complexes with Color-Tunable Phosphorescence in Solution and Solid States	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3082 ~ 3091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/ACS.JOC.9B02967	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 Sawada K., Tanaka T., Yokoyama T., Yamachi R., Oka Y., Chiba Y., Masai H., Terao J., Uchida K.	4. 巻 59
2. 論文標題 Co-porphyrin functionalized CVD graphene ammonia sensor with high selectivity to disturbing gases: hydrogen and humidity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGG09 ~ SGGG09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/AB6B80	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 Kaneko Shunichi, Masai Hiroshi, Yokoyama Takuya, Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Fujihara Tetsuaki, Tsuji Yasushi, Terao Jun	4. 巻 12
2. 論文標題 Complementary Color Tuning by HCl via Phosphorescence-to-Fluorescence Conversion on Insulated Metallopolymer Film and Its Light-Induced Acceleration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 244 ~ 244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/POLYM12010244	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 Masai Hiroshi, Yokoyama Takuya, Miyagishi Hiromichi V., Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Fujihara Tetsuaki, Tsuji Yasushi, Terao Jun	4. 巻 11
2. 論文標題 Insulated conjugated bimetallopolymer with sigmoidal response by dual self-controlling system as a biomimetic material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 408 ~ 408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-14271-2	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 Masai Hiroshi, Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Tsuda Susumu, Terao Jun	4. 巻 85
2. 論文標題 Synthesis of Insulated Heteroaromatic Platinum?Acetylide Complexes with Color-Tunable Phosphorescence in Solution and Solid States	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3082 ~ 3091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b02967	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 Kaneko Shunichi, Masai Hiroshi, Yokoyama Takuya, Liu Maning, Tachibana Yasuhiro, Fujihara Tetsuaki, Tsuji Yasushi, Terao Jun	4. 巻 12
2. 論文標題 Complementary Color Tuning by HCl via Phosphorescence-to-Fluorescence Conversion on Insulated Metallopolymer Film and Its Light-Induced Acceleration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 244 ~ 244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12010244	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 Russell Go M., Inamori Daiki, Masai Hiroshi, Tamaki Takashi, Terao Jun	4. 巻 10
2. 論文標題 Luminescent and mechanical enhancement of phosphorescent hydrogel through cyclic insulation of platinum-acetylide crosslinker	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 5280 ~ 5284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PY00700H	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 Zhou Ce, Li Xingxing, Masai Hiroshi, Liu Zihao, Lin Yuanwei, Tamaki Takashi, Terao Jun, Yang Jinlong, Guo Xuefeng	4. 巻 3
2. 論文標題 Revealing Charge and Temperature Dependent Movement Dynamics and Mechanism of Individual Molecular Machines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small Methods	6. 最初と最後の頁 1900464 ~ 1900464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/SMTD.201900464	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 Chiba Yusuke, Oka Yuki, Masai Hiroshi, Matsuda Wakana, Fujihara Tetsuaki, Tsuji Yasushi, Terao Jun	4. 巻 55
2. 論文標題 Two-step template method for synthesis of axis-length-controlled porphyrin-containing hollow structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6755 ~ 6758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC02866H	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 Wang Chen, Hosomi Takuro, Nagashima Kazuki, Takahashi Tsunaki, Zhang Guozhu, Kanai Masaki, Zeng Hao, Mizukami Wataru, Shioya Nobutaka, Shimoaka Takafumi, Tamaoka Takehiro, Yoshida Hideto, Takeda Seiji, Yasui Takao, Baba Yoshinobu, Aoki Yuriko, Terao Jun, Hasegawa Takeshi, Yanagida Takeshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Rational Method of Monitoring Molecular Transformations on Metal-Oxide Nanowire Surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 2443 ~ 2449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/ACS.NANOLETT.8B05180	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 Chou Sheng Ying, Masai Hiroshi, Tsuda Susumu, Terao Jun	4. 巻 14
2. 論文標題 Synthetic Methodology for Structurally Defined and Insulated Molecular Wires Bearing Non centrosymmetric Conjugated Axle Components via Iterative Intramolecular Slippage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1667 ~ 1671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ASIA.201801706	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 Miyagishi Hiromichi V., Tamaki Takashi, Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 24
2. 論文標題 Synthesis and Acid-Responsiveness of an Insulated -Conjugated Polymer Containing Spiropyrans in Its Backbone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1301 ~ 1301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/MOLECULES24071301	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 Russell Go M., Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 247
2. 論文標題 Platinum-acetylide crosslinkers for facile preparation of phosphorescent commodity polymer networks with defect-free chromophores	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 182 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.MATLET.2019.03.123	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 Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 92
2. 論文標題 Synthetic Methodologies for Structurally Defined Linked-[n]Rotaxanes with Permethylated Cyclodextrins: Platform for Functionalized Molecular Electronics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 529 ~ 539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180349	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10件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 金子 隆、ラッセル 豪マーティン、正井 宏、寺尾 潤
2. 発表標題 光重合を利用した光加工性材料の創製
3. 学会等名 日本化学会 第101春季春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠田 雄大、坪田 隆之介、正井 宏、寺尾 潤
2. 発表標題 二種類の金属錯体テンプレートを鍵とする大員環カテナンの合成戦略
3. 学会等名 日本化学会 第101春季春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川 智稀、石野 さくら、稲森 大貴、正井 宏、寺尾 潤
2. 発表標題 ピレン包接[3]ロタキサンにより架橋したゲルのサーモクロミック発光特性に及ぼす環動効果
3. 学会等名 日本化学会 第101春季春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田 聡太郎、宮岸 拓路、正井 宏、寺尾 潤
2. 発表標題 [1]ロタキサン構造を用いたソルバトフルオロクロミック材料の光物性制御
3. 学会等名 日本化学会 第101春季春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川 拓実、村田 茉子、正井 宏、岩井 智弘、寺尾 潤
2. 発表標題 右田-小杉-Stilleカップリング反応の紫外光照射による加速効果
3. 学会等名 日本化学会 第101春季春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺尾 潤
2. 発表標題 分子建築学を駆使したナノスケールの超分子型分子素子の合成と機能
3. 学会等名 触媒化学融合研究センター講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺尾 潤
2. 発表標題 分子建築学を基軸とする超分子型分子素子の開発
3. 学会等名 中央大学応用化学科学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮岸 拓路・正井 宏・寺尾 潤
2. 発表標題 連結型ロタキサン構造の立体障害を利用したスチルベン誘導体の光異性化制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季春年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島田聡太郎、原田涼佑、正井宏、寺尾潤
2. 発表標題 [1]-ロタキサン型Ni(II)サレン錯体の酸刺激に対する被覆効果
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 周 聖頼・正井 宏・寺尾 潤
2. 発表標題 被覆型共役アンカー分子で修飾した金属酸化物表面の機能化
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>自律型機能性ポリマー：生体を模倣した二段階調節機能を持った有毒ガス応答材料  <a href="https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/press/z0109_00327.html">https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/press/z0109_00327.html</a></p>
---

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
---------	---------