

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05181

研究課題名(和文) 光刺激と化学刺激の多重協働活性化を活用した高機能材料群の創成

研究課題名(英文) Development of Functional Materials Utilizing Cooperative Activation with Multiple Stimuli of Light and Chemicals

研究代表者

正井 宏 (Masai, Hiroshi)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：70793149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多重協働活性化可能な分子骨格を高分子ネットワーク材料中に架橋剤として導入することで、単独刺激では安定でありながらも、多刺激共存化でのみ架橋点が切断可能な材料の創出を目指した。光・酸の協働的な結合切断反応性を示す白金アセチリド錯体が導入された高分子ネットワーク材料は、紫外光と塩化水素による協働的な反応によって分解・加工が実現し、これを利用してマイクロパターンニングによる発光色の光微細加工に成功した。また、イリジウム錯体を光増感剤とすることで、可視光と塩化水素による協働分解を達成した。さらに、ケイ素化合物からなる協働分解材料を新たに開発することで、ユニットの非レアメタル化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、光による分解性を持つ材料は、光の下で長期的に使用し続けることが困難であるというトレード・オフの関係が知られていた。一方で、本研究によって開発された酸と光による協働的な材料分解技術は、光に対して安定でありながら、意図したタイミングで酸を導入することで、微細性や遠隔制御に優れた光加工技術を材料に付与できる。従って本技術によって、光分解性を持つ材料や光加工に基づく機能性材料が、光の下でもより長期的に使用し続けることが可能となるなど、高分子材料の長寿命化とその分解性を適切に制御するための新たな方法論が示されている。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed polymer network materials capable of degrading under multiple cooperative stimuli while remaining stable under a single stimulus. We incorporated a platinum acetylide complex, which exhibits cooperative bond cleavage reactivity to light and acid, as crosslinkers in the polymer networks. These materials successfully degraded through the cooperative stimulation of UV light and HCl. Furthermore, the unique reactivity with light and acid was exploited for micro-patterning luminescent colors via photolithography. Additionally, by using an iridium complex as a photosensitizer, we achieved cooperative degradation of the network materials using visible light and acid. Finally, we also developed new cooperatively degradable materials utilizing a crosslinker composed of silicon compounds.

研究分野：機能材料化学

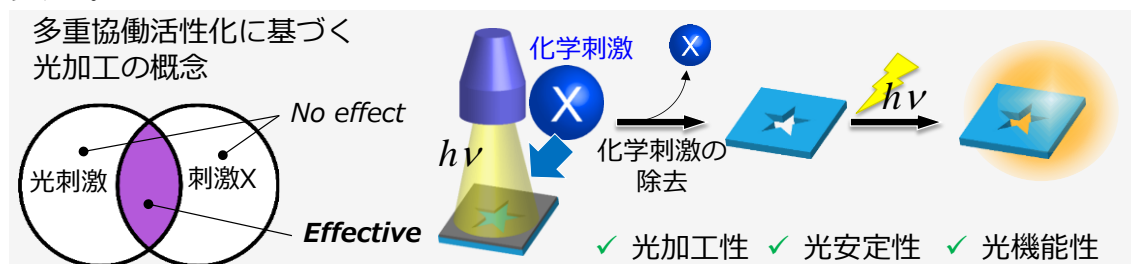
キーワード：光分解性材料 高分子ネットワーク材料 白金アセチリド錯体 拡張 共役系 有機ケイ素化合物 可視光 発光材料

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

外部刺激によって性質が変化する材料は、インテリジェントマテリアルと呼ばれ注目を集めている。中でも光加工性材料は大面積に対するマイクロスケールの精密加工や遠距離からの加工が可能という点で高い汎用性を有し、医療・電子・プロセス工学など多岐にわたる分野での応用が期待されている。しかし、光加工可能な材料は光に不安定という根源的なトレードオフ問題を抱えており、環境光によって材料が変性するなど、材料を長期に利用し続ける困難であった。そのため光加工した材料は、実材料として利用しにくいという本質的な障害を有する。特に光機能材料群は微細加工によって高密度な機能化が期待されるものの、これらの光機能は光加工と同じ光吸収に基づくため、光学機能素材は光加工が不可能とされてきた。その一方で、光安定性と光加工性を両立するという相反する機能を持つ材料の開発は、光機能材料の直接的な光加工を実現し、従来技術に対して本質的な問題を打開するプロセス技術の革新をもたらすなど、学術的興味のみならず社会的な要請も極めて高く、その実現が強く望まれている。

申請者はこの問題を解決するための方法論として、光のみではなく化学刺激の共存下でのみ加工可能な「多重協働活性化」を着想した。加工時には光と化学刺激を用いた多重協働活性化によって光加工を行い、加工後は化学刺激を除去することで、光加工性と光に対する安定性を両立可能である(下図)。この多重協働活性化可能な分子骨格を高分子ネットワーク材料中に架橋剤として導入することで、光・酸の単独刺激では安定でありながらも、多刺激共存化でのみ架橋点が切断され、加工可能な材料であることを実証した。そこで本研究では、この新概念を継続して研究することで一般化・深化させ、「多重協働活性化」を用いた材料の機能化と多様化を実現する。



2. 研究の目的

本研究では、多重協働活性化ユニットを導入した高分子材料を基軸に、その高機能化と多様化を目指す。特に次の3つの観点について重点的に研究を推進する。

1. 多重協働活性化の一般化と多様化、特にユニットの非レアメタル化を達成する
2. 光物性を材料に付与し、従来両立が困難とされてきた光物性の光加工を達成する
3. マイクロパターニングによる材料の物性向上と高機能化を達成する

3. 研究の方法

本研究では光に加わる第二の刺激として、安価で温和かつ除去が容易な酸刺激に着目する。多重協働活性化が可能な分子としては、申請者は自身の研究の中で偶然見出した、共役骨格を有する白金アセチリド錯体に注目した。この有機金属錯体は紫外線 (UV) 照射と塩化水素という2つの刺激存在下においてのみ、その結合開裂が劇的に加速する。このユニット両端に高分子材料との反応点を構築することで、高分子材料中に架橋剤として導入する。高分子母材としては、ポリアクリル・ポリメタクリル酸メチルなど汎用性の高い骨格を採用し、多重協働活性化可能なユニットを少量添加することで、光加工性を付与したゲル・エラストマー材料を得る。このように、特異な物性を示す材料そのもので素材を構築するのではなく、優れた機能性ユニットを汎用材料母材に少量添加することで高付加価値を与えることで、材料としての汎用性・実用性を獲得する。加えて、共役骨格を合成化学的に修飾することで、紫外光や可視域など、様々な吸収波長に対して活性化可能なユニットを展開する。

今回、本概念の多様化を目指し、より入手容易な元素群を活用した多重協働活性化ユニットの開発にも着手する。金属錯体としてはレアメタルではなく、安価な錯金属体あるいは有機ケイ素化合物に代表される半金属化合物に着目し、多重協働活性化を探索する。これまでの研究によって多重協働活性化の発現には、光励起に伴う結合交替に関与可能な軌道と、化学刺激単独に対する頑強性が重要であると確認されている。そこで、同様の効果が見込まれるこれらの金属・半金属元素を中心に、多重刺激の反応性を明らかにすることによって、多重協働活性化を非レアメタル系元素で実現し、より実用性が高い概念へと昇華させる。

4. 研究成果

光・酸協働分解が可能な白金アセチリド錯体に着目し、光安定材料への協働光分解性を実現した (Fig. 1)。高分子材料の架橋剤として、メチル化シクロデキストリンに基づく超分子構造を有し、両端にアクリル基を有する白金錯体を合成し、メタクリル酸メチルとの共重合反応によって材料 **Pt-gel** を得た。同様に、白金錯体を持たない化合物を架橋剤とするゲル材料 **Bz-gel** も同様に得た。協働加工によるマクロ物性変化を Stress-Strain 曲線に基づき評価した。Fig 1a、1b に示すように **Pt-gel** および **Bz-gel** は、初期状態で同等のヤング率を示しながらも、酸と光の協働刺激を作用させると、**Pt-gel** ではヤング率が大きく低下した。一方で、**Bz-gel** は同様の条件でもヤング率に変化が生じなかった。さらに **Pt-gel** に対して、刺激を同時ではなく段階的に行った場合には、いずれも変化しなかった。このことから、光と酸の協働的な刺激によって白金アセチリド架橋点が切断された結果として、材料ヤング率の低下を伴うマクロ物性変化が確認された。

加えて、本材料は、加工後に酸を除くことで発光材料としても利用可能であった。ここで、白金アセチリド錯体を切断すると、発光は緑色の燐光発光から、青色の蛍光発光へと変化した (Fig. 2a)。これを利用して、**Pt-gel** は協働加工を行った部位が異なる発光色を示す材料へと変換可能であった。この現象を利用して、フォトマスクを用いた協働加工によって、ミリメートル未満の文字列を

材料中に描画した後に酸を除くことで、材料発光の微細描画を行うことが可能であった。即ち、材料は白色光下において透明材料である一方で、紫外光照射下でのみ文字が浮かび上がる材料を得た (Fig. 2b)。

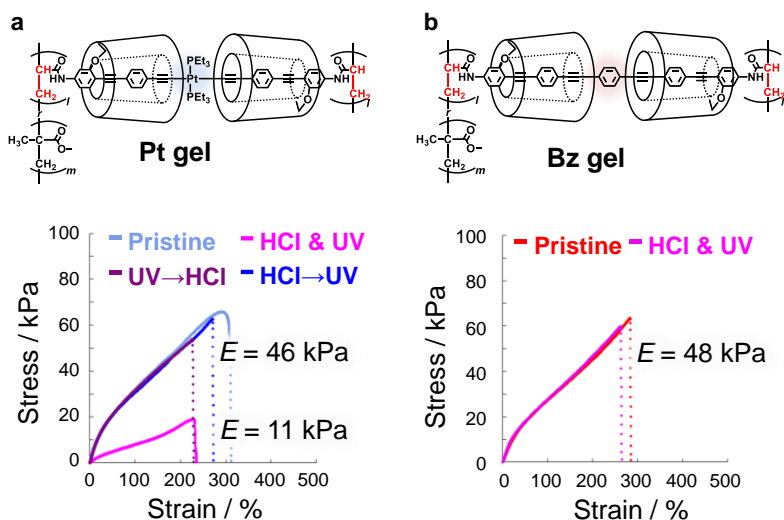


Fig. 1 (a) **Pt-gel** および (b) **Bz-gel** における加工前後の Stress-Strain 曲線 (水色・赤色: 反応前、桃色: 光・酸協働刺激、紫色: 光照射と酸の逐次刺激、青色: 酸と光照射の逐次刺激)

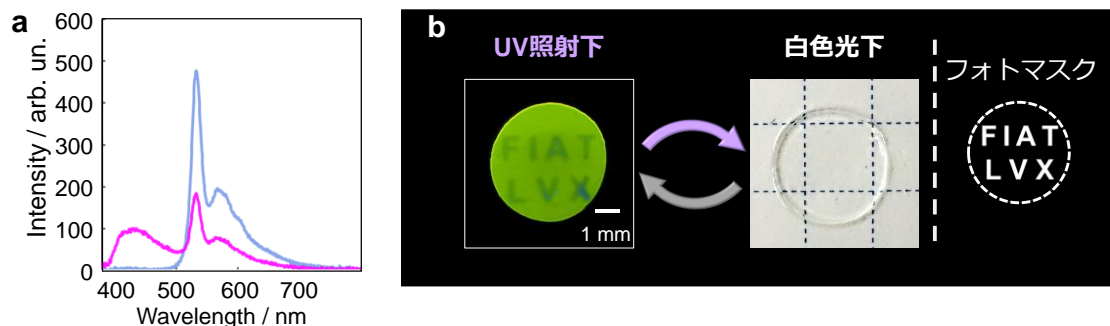


Fig. 2 (a) **Pt-gel** の発光スペクトル (励起波長 365 nm、シアン: 協働加工前、桃色: 協働加工後) (b) フォトマスクを用いた協働加工後のゲルの写真 (UV 照射: 励起波長 365 nm)

さらに、光・酸協働分解が可能な白金アセチリド錯体(1)に対し、協働光分解機構を詳細に評価することで、応答波長として紫外光から可視光への拡張に成功した。白金アセチリド錯体(1)に対する 365 nm 紫外光と 0.2 M の塩化水素による分解反応 (Condition A) は、白金錯体への光照射に伴う一重項酸素の生成を鍵とした反応機構に基づき、クロロ白金錯体(2)と塩化アルキン(3)を生成することが明らかとなった (Fig. 3a)。そこで、可視光による光励起とエネルギー移動を介して一重項酸素を生成することで知られているイリジウム錯体を光増感剤とした、新たな協働分解反応を探索した。その結果 Condition A と同様に白金アセチリド錯体(1)は、0.2 M の塩化水素と 0.4 mM のイリジウム錯体(4)との共存下において、470 nm 青色光の光照射によって効率的に分解反応 (Condition B) が進行し、2 と 3 を生成することが明らかとなった。この小分子に関する検討をもとに、高分子材料に対する協働的な分解挙動を評価した。白金アセチリド錯体を架橋剤とするポリ 2 ヒドロキシエチルアクリルアミドネットワークから成るゲル材料に対し、可視光照射下における動的粘弾性測定の経時変化を追跡したところ、ゲル材料中に存在するイリジウム錯体(4)の濃度が上昇するにつれて、ゲルの貯蔵弾性率低下速度が増加している

ことが明らかとなった (Fig. 3b)。このことから本材料は紫外光および可視光に対して安定でありながらも、酸とイリジウム錯体の共存下で可視光を照射することで、系中における効率的な一重項酸素の生成を鍵とした協働的分解性を引き起こすことが見出された。なお、イリジウム錯体を用いた可視光協働分解においては、ゲル中に共存させる錯体とゲルネットワーク材料との相溶性が重要であり、今回最適条件として利用したカチオン性イリジウム錯体(4)に代わって、電気的に中性なイリジウム錯体を用いた場合には、小分子から成る白金錯体(1)の協働分解は効率的に進行するものの、ゲル材料中では反応速度が大幅に低下することが見出されている。これらの知見は、化学物質を利用した協働的分解反応を材料中で実施する上での重要な指標になると考えられる。

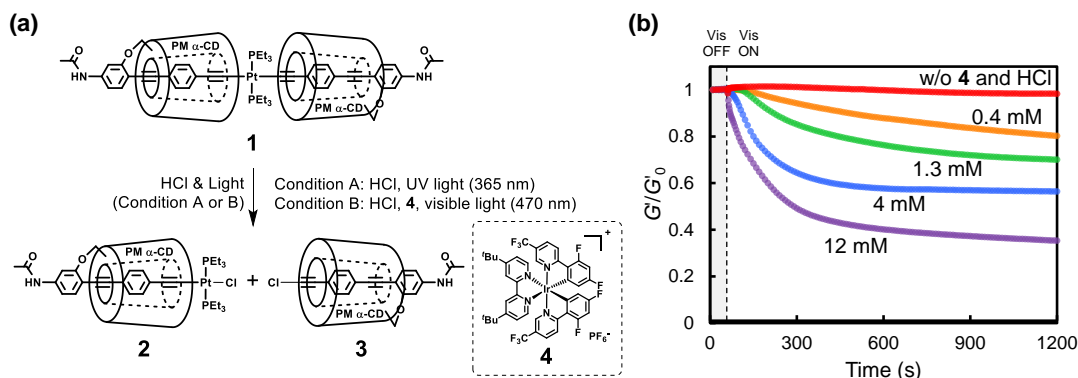


Fig 3. (a) 白金アセチリド錯体 1 の紫外光照射 (Condition A) および可視光照射 (Condition B) における分解反応スキーム (b) 白金錯体を架橋剤とする高分子ネットワーク材料の、可視光照射下における貯蔵弾性率変化 (各値はイリジウム錯体 4 の濃度を示す)

続けて、協働分解技術を白金のみならず、他の元素に展開することを目指し、半金属元素を用いた協働分解ユニットの開発を行った。探索の結果、ジメチルジピレニルケイ素において、365 nm を照射光とする光刺激と、塩化水素を同時に作用させた際には、Si-C 結合の切断反応が生じ定量的にピレンを与えた一方で、塩化水素のみ、あるいは光照射のみという反応条件においては、いずれも収率は 1% 以下であった。これらの結果から、ジメチルジピレニルケイ素化合物における Si-C 結合の切断反応は、光と酸の協働的な反応であることが示されている。続いて、両端にアクリル基を持つケイ素化合物を、アクリル系モノマーと共重合させることでゲルを合成した。得られたポリマーネットワーク材料は、光のみに対して高い安定性を有する一方で、酸と光の協働刺激によってジピレニルケイ素の Si-C 結合が切断され、架橋点数が減少したこと起因する貯蔵弾性率変化を示した。これらの結果から、ケイ素架橋材料においても、酸と光を用いることで、架橋点切断を伴う協働的な加工が進行することが示された。

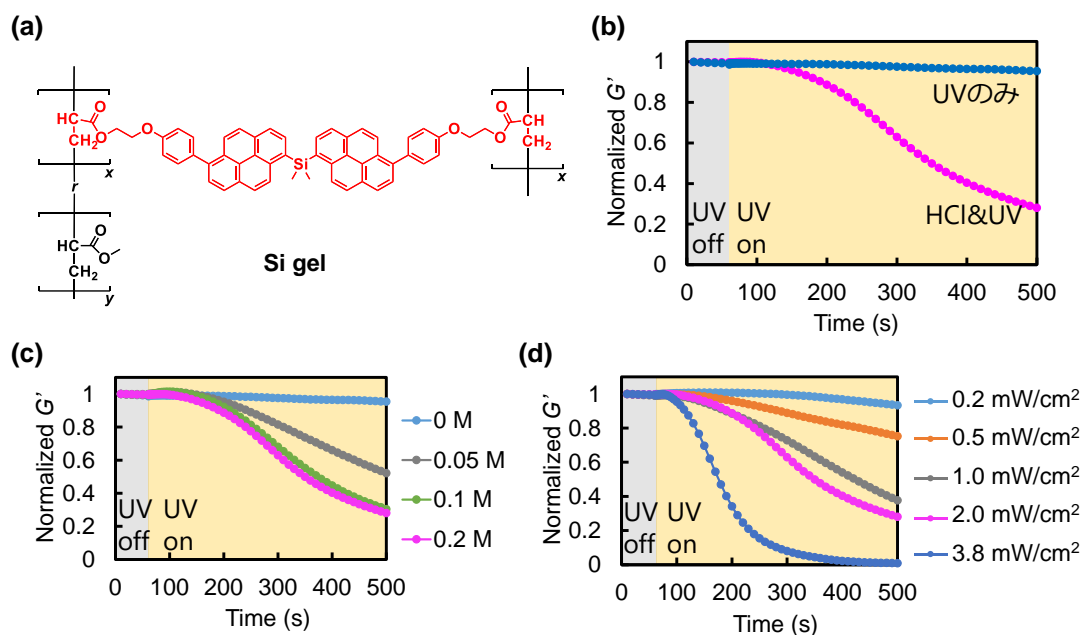


Fig. 4 ジピレニルケイ素化合物を架橋剤とするゲル材料(Si gel)の (a) 構造式、および 365 nm 紫外光照射下における貯蔵弾性率変化に対する (b) 酸の有無の影響、(c) HCl 濃度依存性、(d) 紫外光強度依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Onda Yudai, Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 87
2. 論文標題 Systematic Synthesis of Macrocycles Bearing up to Six 2,2'-Bipyridine Moieties through Self-Assembled Double Helix Structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 13331 ~ 13338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.2c01194	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 Oketa Tomohiro, Ikuta Takashi, Masai Hiroshi, Tamaki Takashi, Terao Jun, Maehashi Kenzo	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of changing electronic states of molecules on frequency domain of graphene FETs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 045001 ~ 045001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac564d	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 Su Dingkai, Zhou Shuyao, Masai Hiroshi, Liu Zihao, Zhou Ce, Yang Chen, Li Zhizhou, Tsuda Susumu, Liu Zhirong, Terao Jun, Guo Xuefeng	4. 巻 9
2. 論文標題 Stochastic Binding Dynamics of a Photoswitchable Single Supramolecular Complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2200022 ~ 2200022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202200022	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 Russell Go M., Kaneko Takashi, Ishino Saqura, Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 32
2. 論文標題 Transient Photodegradability of Photostable Gel Induced by Simultaneous Treatment with Acid and UV?Light for Phototuning of Optically Functional Materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2205855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202205855	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, Oka Yuki, Terao Jun	4. 巻 58
2. 論文標題 Precision synthesis of linear oligorotaxanes and polyrotaxanes achieving well-defined positions and numbers of cyclic components on the axle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1644 ~ 1660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC03507J	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 Ikuta Takashi, Tamaki Takashi, Masai Hiroshi, Nakanishi Ryudai, Endo Kitaro, Terao Jun, Maehashi Kenzo	4. 巻 3
2. 論文標題 Electrical detection of ppb region NO2 using Mg-porphyrin-modified graphene field-effect transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 5793 ~ 5800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1na00519g	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 Ishikawa Takumi, Murata Mako, Masai Hiroshi, Iwai Tomohiro, Terao Jun	4. 巻 51
2. 論文標題 Irradiation with UV Light Accelerates the Migita-Kosugi-Stille Coupling Reaction in Air	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 124 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210665	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 Miyagishi Hiromichi V., Masai Hiroshi, Terao Jun	4. 巻 28
2. 論文標題 Linked Rotaxane Structure Restricts Local Molecular Motions in Solution to Enhance Fluorescence Properties of Tetraphenylethylene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202103175-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202103175	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 Shimada Sotaro, Miyagishi Hiromichi V., Masai Hiroshi, Masui Yoichi, Terao Jun	4. 巻 95
2. 論文標題 Solvatofluorochromic Contrast with Supramolecular Stereoisomers Using Linked Rotaxane Structures to Investigate Local Solvation in Excited Donor-Bridge-Acceptor Systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 163 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210354	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 Masai Hiroshi, Oka Yuki, Terao Jun	4. 巻 58
2. 論文標題 Precision synthesis of linear oligorotaxanes and polyrotaxanes achieving well-defined positions and numbers of cyclic components on the axle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1644 ~ 1660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC03507J	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 Su Dingkai, Zhou Shuyao, Masai Hiroshi, Liu Zihao, Zhou Ce, Yang Chen, Li Zhizhou, Tsuda Susumu, Liu Zhirong, Terao Jun, Guo Xuefeng	4. 巻 未定
2. 論文標題 Stochastic Binding Dynamics of a Photoswitchable Single Supramolecular Complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2200022 ~ 2200022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202200022	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 Oketa Tomohiro, Ikuta Takashi, Masai Hiroshi, Tamaki Takashi, Terao Jun, Maehashi Kenzo	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of changing electronic states of molecules on frequency domain of graphene FETs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 045001 ~ 045001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac564d	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 川野勇太郎・金子隆・正井宏・寺尾潤
2. 発表標題 ジピレニルケイ素によって架橋された光加工性のスイッチングが可能なポリマーネットワーク材料の創製
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 安部慎祐・宮岸拓路・正井宏・滝沢進也・岩井智弘・寺尾潤
2. 発表標題 連結型ロタキサン構造を有する被覆 共役ピピリジン-金属錯体の合成と光物性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川野勇太郎・正井宏・岩井智弘・寺尾潤
2. 発表標題 多環式芳香族ケイ素化合物の光・酸協働分解性を利用したポリマーネットワーク材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丁涵清・正井宏・岩井智弘・寺尾潤
2. 発表標題 酸と光を用いたアリアルケイ素およびアリアルゲルマニウム化合物の協働的結合開裂反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川野勇太郎・正井宏・岩井智弘・寺尾潤
2. 発表標題 酸との協働的な光開裂反応を利用したケイ素架橋高分子材料の光制御
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新鞍 尚希・ラッセル 豪 マーティン・正井 宏・寺尾 潤
2. 発表標題 [1]口タキサン構造を有するクマリン架橋型ゲル材料における光分解性と光安定性のスイッチング特性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川野勇太郎・正井宏・寺尾潤
2. 発表標題 光加工性と光安定性のスイッチングを可能とするジピレニルケイ素架橋ゲルの創製
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新鞍 尚希・ラッセル 豪 マーティン・正井 宏・寺尾 潤
2. 発表標題 可逆的な超分子構造の変換を利用したクマリン架橋型高分子材料の光分解性制御
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 学生発表会
4. 発表年 2023年

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 光重合と光加工の両立を利用したゲル材料構造の高次造形
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Oka, Yusuke Chiba, Hiroshi Masai, Jun Terao
2. 発表標題 Synthesis of Porphyrin Arrays from a Cyclic Porphyrin Dimer via the Formation of the Threading Structure
3. 学会等名 PACIFICHEM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Oka, Hiroshi Masai, Jun Terao
2. 発表標題 Structural Control of [3]Catenanes Composed of Cyclic Porphyrin Dimers via Complexation with Amine Templates
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮岸 拓路・正井 宏・寺尾 潤
2. 発表標題 多様な溶媒環境における発光効率向上を指向した[1]ロタキサン型蛍光色素の開発
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyagishi, H. V.; Masai, H.; Terao, J.
2. 発表標題 Improvement of Optical Properties of Fluorescence Dyes with C=C Double Bonds by a Linked Rotaxane Structure
3. 学会等名 PACIFICHEM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Kaneko, Go Martin Russell, Hiroshi Masai, Jun Terao
2. 発表標題 Photo-shape control of gels fabricated via photo-polymerization
3. 学会等名 PACIFICHEM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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