

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02028

研究課題名（和文）ドミノ倒しの異性化現象を利用したフォトメカニカル材料の開発と応用

研究課題名（英文）Development and application of photomechanical materials utilizing domino killing isomerization phenomenon

研究代表者

渡辺 敏行（Watanabe, Toshiyuki）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：10210923

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）：本研究ではアゾベンゼンを導入した四官能性アミンと酸無水物との末端架橋法により均一な網目構造を有する、BDA-Azoポリアミド酸ゲルを合成した。BDA-Azo-ポリアミド酸ゲルをイミド化すると、光照射によるゲルロッドの屈曲速度は約1秒となった。蛍光マイクロビーズを分散させたゲルを作製し、光照射前後でのビーズの動きを多光子共焦点レーザー顕微鏡を用いて観察した。光照射後の蛍光ビーズのトレースによって光応答性ゲルの屈曲挙動は、紫外光照射枠内の部分が収縮してゲルの内部方向に入っていく。網目による力が伝搬して照射枠外の網目が平行に引っ張られる。照射枠内の部分を支点として屈曲するという機構が予想される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したBDA-Azo-PIゲルは、光に対して協同運動的に収縮または膨潤し、どんなに小さくしても、その挙動は変わらないことから、分子レベルの大きさのマイクロマシンへの応用が可能である。光照射部位での変形がトリガーとなり、その外部まで協同運動が起こる現象が見つかったのは世界で初めてである。ゲルの光照射による収縮の際には、内部に含んだ溶媒を排出し、膨潤の際には、内部に溶媒を取り込むので、光で駆動するマイクロポンプとして機能させることができる。その突出量は現在のインクジェットプリンターを遙かに凌駕するアトリットルを実現させることが可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study, BDA-Azo-polyamide acid gels were synthesized by terminal cross-linking of azobenzene-incorporated tetrafunctional amines with acid anhydrides to form a homogeneous network structure. The photo-flexing behavior of the polymer gels was analyzed; the imidization of BDA-Azo-polyamide acid gels resulted in a bending speed of about 1 s. Gels with dispersed fluorescent microbeads were prepared, and the movement of the beads before and after light irradiation was observed using a multiphoton confocal laser microscope. By tracing the fluorescent beads after light irradiation, the bending behavior of the photoresponsive gel is expected to be as follows: (1) the part inside the UV light irradiation area shrinks and enters the inner direction of the gel, (2) the force by the mesh shrinkage propagates and pulls the mesh from outside of the irradiation area in parallel, and (3) the mechanism of bending using the part inside the irradiation frame as a fulcrum.

研究分野：高分子物理

キーワード：光異性化 協同運動 アクチュエーター マイクロマシン 高分子ゲル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

外部刺激に応答して屈曲するソフトアクチュエーターの開発が活発になされている。例えば1)高分子電解質ゲルに電場を印加した際のイオンの移動に伴う、膨潤・収縮を利用したもの、2)導電性高分子のドーピング・脱ドーピングによる膨潤・収縮を利用したもの、3)圧電性高分子を利用したものである。これらのソフトアクチュエーターは数十Hzから数千Hzまでの、比較的速い応答が可能であるが、電圧を印加するための電極や配線が必要なために遠隔操作ができないという問題がある。これに対して光照射による体積変化を利用したソフトアクチュエーターが池田らによって開発された(Y. Yu, Nature(2003))。このアクチュエーターはアゾベンゼンを組み込んだ液晶性高分子によって構成されている。光照射はアゾベンゼンのトランス体からシス体への異性化(光異性化)を引き起こし、これが液晶相—等方相転移を誘起するため、光照射部位と照射されていない部位で体積変化が生じる。この現象によってバイメタルのように光照射方向に屈曲するのである。しかし、このアクチュエーターの屈曲速度は圧電アクチュエーターと比較して極めて遅く、数十秒のオーダーである。また、この応答時間は光異性化の速度(psオーダー)と比較しても遥かに遅い。これはこの屈曲がアゾベンゼン分子自体の変形を反映したものではなく、体積相転移の時間が支配しているからである。さて、それではこのフォトメカニカル材料の応答速度はどこまで早くなるのであろうか。また、理想的な無限ネットワーク構造ができた場合、光照射によるアゾベンゼンの光異性化はどこまで伝搬するのであろうか？

2. 研究の目的

我々はこれまでの研究によって、アゾベンゼンを含むネットワーク構造の不完全性や高分子鎖の絡まり合いが応答速度を遅くしていることを見出した(H. Hosono, Macromolecules, 2013, H. Hosono, Polymer, 2014)。そこで、本研究では欠陥の少ない無限ネットワーク構造を形成し、さらに分子鎖の絡まり合いをなくすことにより光照射によって生じたアゾベンゼンの光異性化がドミノ倒しの様にネットワーク中を伝搬し、1秒以下の高速応答性を示す、フォトメカニカル材料の開発を研究目的とする。また、これらのネットワーク構造中での光照射によるアゾベンゼンの光異性化が光照射部位からどこまで離れた所まで伝搬するかを明らかにし、ナノスケールで駆動可能なフォトメカニカルアクチュエーターを創製する。

3. 研究の方法

アゾベンゼン誘導体である、4,4'-diamino-azobenzene(DAA)とpyromellitic dianhydride (PMDA)とを化学量論比1:2で混合することでポリアミド酸オリゴマーを合成した。この二官能性オリゴマーを四官能性

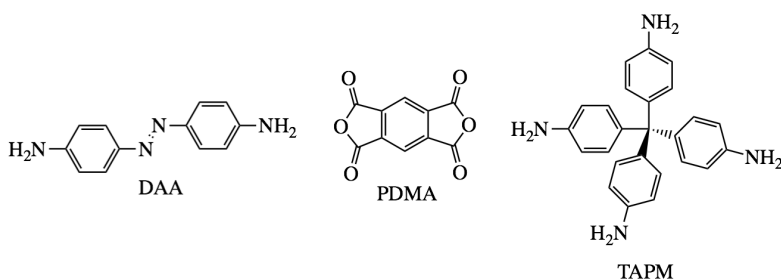


図1 DAA-TAPMポリアミド酸ゲルの原料の化学構造

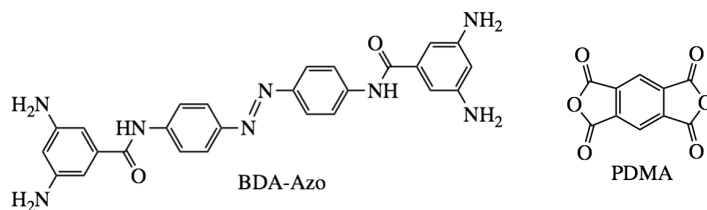


図2 BDA-Azoポリアミド酸ゲルの原料の化学構造

架橋剤Tetrakis(4-aminophenyl) methane (TAPM)を用いて末端架橋することでDAA-TAPMポリアミド酸ゲルを得た。また、アゾベンゼン部位を構造中に有する新規四官能性架橋剤であるN,N'-Bis(3,5-diaminobenzoyl)-4,4'-diamino azobenzene (BDA-Azo)とPMDAを化学量論比1:2で混合することでBDA-Azoポリアミド酸ゲル(PAA)を得た。これらのポリアミド酸ゲルをAcetic anhydride : Pyridine : NMP = 1:1:1(vol%)に1週間浸漬することで、ポリイミドゲル(PI)を合成した。DAA-TAPM-PAAゲルの原料の化学構造を図1に、BDA-Azo-PAAゲルの原料の化学構造を図2に示す。

ゲル化直前の溶液に内径0.2 mmのガラスキャピラリーの一端を浸し、毛細管現象で溶液を吸い上げさせることで細い円筒状のポリアミド酸ゲルロッドを作製した。また、得られたゲルロッドごと化学イミド化液に1週間浸漬し、ポリイミドゲルロッドを作製した。ゲルロッドをNMPで満たしたバイアル瓶に固定し、レーザー光を照射し、屈曲角度と光応答時間を測定した。なお、屈曲角度の定義は下に伸びきった状態を0°とした。trans→cis光異性化を起こすための光源として「I0405SD0030B-IS-TK (オーテックス社製、波長405 nm、強度25 mW)」、cis→trans光異性化を起こすための光源として「SSL-532-0100-10TM-D (SANCTITY LASER社製、波長532 nm、強度45 mW)」を用いた。

本研究の光応答性ゲルはほとんど蛍光を発さないため、蛍光マイクロビーズを溶液に分散させた状態でゲル化させ、光照射前後でのビーズの動きを多光子共焦点レーザー顕微鏡「AIRMP (Nikon社製)」を用いて観察した。光照射には併設されたフェムト秒パルスレーザー「chameleon vision ii (COHERENT社製)」を用い、波長は405 nm (trans→cis光異性化を起こすための光源)と514 nm (cis→trans光異性化を起こすための光源)を選択した。また蛍光マイクロビーズにはアゾベンゼンの吸収と被らないようなローダミンB 誘導体由来の赤色蛍光を示すケイ酸塩粒子の「sicastar-redF(Micromod社製、直径5 μm、励起波長569 nm/発光波長585 nm)」を使用した。測定方法としては、最初に514 nmの励起光照射を30分間行い、trans体の光定常状態から紫外光照射を5分間行った。その後、緑色光照射を同様に5分間行った。その際、一定の照射時間ごとにZスキャン(2 μmステップ、0~80 μm)を行い、各照射時間でのゲル中のビーズの動きを解析した。解析するビーズは照射枠(80×80 μm)の中・照射枠外の近く・照射枠外の遠くの3地点×4点の12点と深さ方向の3地点×1点の計15点を対象とし、照射枠の中心を原点としたX, Y座標を中心からビーズへの距離とその角度から、Z座標をガウス分布に基づき最も蛍光強度の強い点から算出した。以上により得られたX,Y,Z座標から励起光照射時間に対するビーズの軌跡と各点の移動距離を評価した。

4. 研究成果

研究の主な成果

図3および図4にBDA-Azo-PAAゲルロッドおよびBDA-Azo-PIゲルの屈曲挙動を示す。屈曲の様子を詳しく観察すると、光応答性ゲルは屈曲する際にレーザーが照射されているところから直角に屈曲せずに、弧を描きながら屈曲しているように見える。特にこの傾向はBDA-Azo-PIゲルに顕著に現れる。シストランス光異性化を起こすため、BDA-Azo-PIゲルに緑色レーザーを照射する際には1点だけの照射では元の形状には戻ら

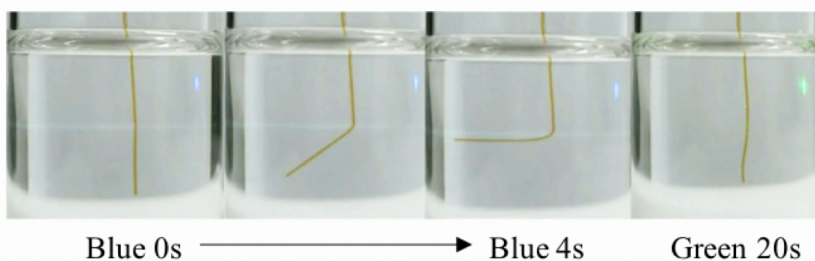
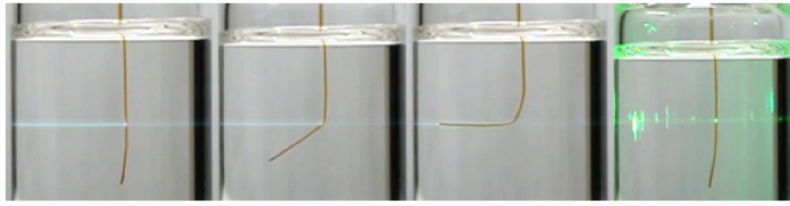


図3 BDA-Azoポリアミド酸ゲルの屈曲挙動

ず、湾曲している部分全体に照射しなければならなかった。ゲルロッドの屈曲速度を図5および図6に示す。DAA-TAPM-PAAゲルおよびBDA-Azo-PAAゲルの屈曲速度は約4秒であった。このPAAゲルをイミド化したところ、DAA-TAPM-PIゲルの屈曲速度は約2分へと低下し、可逆的な光屈曲挙動は消失した。一方、BDA-Azo-PIゲルの屈曲速度は約1秒と高速化し、高速応答するアクチュエーターを創製するという、本研究の当初の目的は達成された。



Blue 0s → Blue 1s → Green 20s

図4 BDA-Azoポリイミドゲルの屈曲挙動

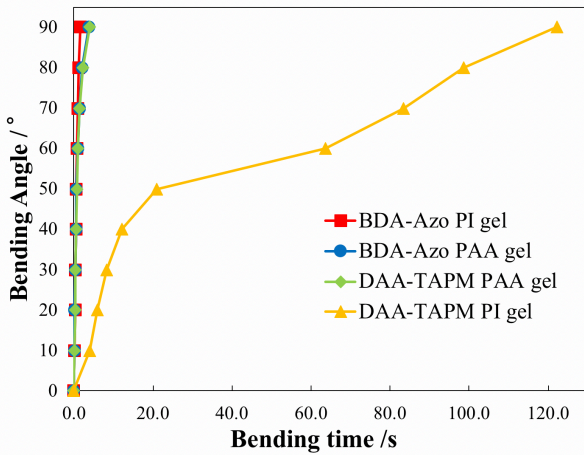


図5 ゲルロッドの屈曲角度の時間依存性

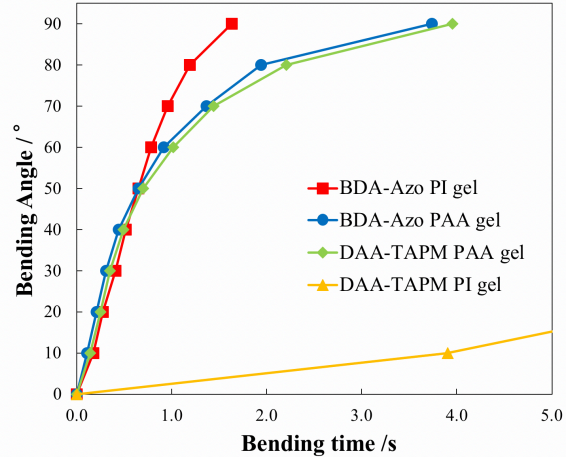


図6 ゲルロッドの屈曲角度の時間依存性(拡大図)

蛍光マイクロビーズを用いた高分子ゲルの変形挙動の解析では、光応答性ゲルではフィルム面内においてはDAA-TAPMポリイミドゲルを除いた3種が紫外光照射によって光照射エリアの中心に近づくように収縮し、緑色光によって中心から遠ざかる（膨潤）傾向が見られた。フィルムの厚み方向においては紫外光によって上方向(内部方向)に変位し、緑色光によって下方向に大きな変位が見られた。

フィルム面内では、蛍光ビーズと中心との距離 Δ Distanceのグラフより、紫外光照射に対して最初の30秒でビーズが中心に大きく近づく、すなわちゲルが大きく収縮したことがわかる。また、緑色光照射直後では最初の30秒でビーズが中心から大きく遠ざかる、すなわちゲルが大きく膨潤したことがわかる。ビーズの場所ごとの傾向を見てみると、照射枠内はあまり変位せず、照射枠外の近くが最も大きく変位する傾向があった。フィルムの厚み方向での蛍光ビーズの変位グラフでは、紫外光照射に対して照射枠内のビーズがゲルの内部方向に押し込まれて、照射枠外は表面方向へと出ていく傾向が見られる。また、緑色光照射直後はどの位置でも大きく表面方向に出ていくことが観察できる。光応答性ゲルと比較すると、 Δ Distanceのグラフにおいて、DAA-TAPMポリイミドゲル以外の光応答性ゲルは大きくビーズが変位している。特にBDA-Azoを用いたゲルでは照射枠外近くだけでなく遠くのビーズも大きく動いている。各ゲル中のビーズ全体の変位量はBDA-Azoポリイミドゲル>BDA-Azoポリアミド酸ゲル>DAA-TAPMポリアミド酸ゲル>DAA-TAPMポリイミドゲルとなり、これは図6のゲルロッドの屈曲時間と対応している。また、フィルム厚み方向に関しては、BDA-Azoポリイミドゲルでは照射枠内に加え、照射枠外近くのビーズまで内部に入り込んでおり、それが比較的長時間続いている。この2つの特徴が、BDA-Azoポリイミドゲルの光応答性試験における屈曲角50-90°の変形速度の維持に寄与しているのではないかと考えられる。以上の結果より、光応答性ゲルの屈曲挙動は「①紫外光照射枠内の部分が収縮してゲルの内部方向に入って行く→②網目を通じて力が伝搬して照射枠外の網目がほぼ平行に引っ張られる→③照射枠内の部分を支点として屈曲する」という機構が予想される

得られた成果の国内外における位置付けとインパクト

これまでのフォトメカニカル材料ではネマティック液晶相にアゾベンゼンが組み込まれていた。液晶中でアゾベンゼンが光異性化を起こすと、液晶相が壊れて等方相へと転移する。この際に生じる体積変化が、照射方向へと材料が屈曲する駆動力であった。これに対して本研究では、無限のネットワーク構造中に導入されたアゾベンゼン分子の一部を光異性化することによって、アゾベンゼンの長さが0.90 nmから0.55 nmへと変化し、その歪によってその周辺部位にもドミノ倒しの異性化を誘起し、材料全体を変形させようとするものである。申請者の研究は当該研究分野をこれまでリードしてきた実績があり、フォトメカニカル材料に関して豊富な知見を有している。このような光異性化をトリガーとするドミノ倒しの異性化を利用したフォトメカニカル材料は世界的にも例がなく、かつその応答速度は従来の材料と較べて極めて速いという特徴を有している。

本研究の独創性と優位性をフォトメカニカル材料に限定して説明する。

(1)光イオン化するトリフェニルメタンのロイコ体を含むゲルによりマクロレベルによる光変形が実現されている。これは光による分子の構造変化が直接的にマクロな変形に結びついたものではなく、光イオン解離により体積相転移を誘発することでゲル中の浸透圧が増大し含水率が増加したことによるものである。このゲルは光反応の可逆性に問題があった。(M. Irie et al., *Macromolecules*, (1986).)

(2)東京工業大学の池田らはアゾベンゼンを液晶性高分子に導入し、これを架橋した液晶性エラストマーを合成した。このフィルムは442 nmの照射によりフィルムの両端がめくり上がり、かつその変形方向は入射光の電場の方向と平行であった。また、540 nmの照射により元の状態に戻り、可逆的な応答を示した。このフィルムの変形は系に導入されている液晶分子のネマチック相から等方性相への光誘起相転移に基づく、体積変化が原因であり、分子の変形が直接的な応答に結びついたものではない。また、屈曲にかかる時間は80秒であり、元に戻る時間は90秒であった。(Y. Yu et al., *Nature*(2003))

(3)東大の相田らは高分子ブラシの側鎖としてアゾベンゼンを導入し、その高分子ブラシがディスコティック液晶を形成することを見出した。この液晶をラビングによって配向させると、光応答性を示し、屈曲時間は8秒であった。

(4)フンボルト大学のHechtらはアゾベンゼンとベンゼンが結合した主鎖型高分子を合成し、溶媒中でその流体力学半径が照射によって45 nmから22 nmへと変化することを見出した。また光定常状態には45秒で到達した。(D. Bleger et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*(2011))

(5)また米国空軍研究所のWhiteらはアゾベンゼンを組み込んだポリイミドを合成したが、照射によって完全には曲がらず26°まで曲がるのに60分間かかった。(K.M. Lee et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* (2012))

(6)大阪大学の原田らはアゾベンゼンと β シクロデキストリンを側鎖に有する高分子を合成した。アゾベンゼンと β シクロデキストリンの包摂作用がトランス体とシス体で異なることを利用してアクチュエーターを作製したが、その屈曲時間は180分であった。(H. Yamaguchi et al., *Nature Commun.*, (2012))。(1)~(3)までの研究は全て、照射による相転移等で生じる体積相変化を利用したものである、比較的速い光応答速度を示している。(4)~(6)は液晶性でない高分子を利用しているが、その光応答速度は非常に遅い。これに対して我々の開発しているフォトメカニカル材料はネットワーク高分子であり、光異性化をトリガーとして分子に生じた歪が材料全体へと協同現象的あるいはドミノ倒しの様に伝搬して、マクロな応答として取り出すことができる。そのため光応答速度も世界最速である。

今後の展望

BDA-Azo-PIゲルは我々の知る限り、世界最速の光屈曲速度を有する材料である。このBDA-Azo-PIゲルは、光に対して協同的に収縮または膨潤し、どんなに小さくしても、その挙動は変わらないことから、分子レベルの大きさのマイクロマシンへの応用が可能である。また、ゲルの照射による収縮の際には、内部に含んだ溶媒を排出し、膨潤の際には、内部に溶媒を取り込むので、光で駆動するマイクロポンプとして機能させることができる。その突出量は現在のインクジェットプリンターを遙かに凌駕するアトリットルを実現させることが可能である。現在までのところ、有機溶媒中でないと、光屈曲挙動や、照射による膨潤・収縮挙動は観察されない。今後、親水性の置換基をBDA-Azoに導入することにより、水中でも駆動可能な材料を得ることができれば、従来のシリンジポンプよりも遙かに高精度な流量制御が可能となるマイクロポンプを実現することができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koutaro Urakawa, Keita Miyasato, Kenro Totani, Toshiyuki Watanabe	4. 巻 217
2. 論文標題 Emission increase in persistent inorganic phosphor improving absorption property by surface chemical modification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 116672
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jlumin.2019.116772	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 Tomoe Hori, Kenro Totani, Shuzo Hirata, Toshiyuki Watanabe	4. 巻 704
2. 論文標題 Large refractive index variations induced by accumulating triplet excitons under photoexcitation at low power	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett	6. 最初と最後の頁 5-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cpllett.2018.05.029	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 Saaya Hayasaki, Miho Shimizu, Yuuki Katsurada, Atsushi Sakai, Miho Yanagisawa, Yoriko Atomi, Toshiyuki Watanabe	4. 巻 76
2. 論文標題 Visualizing Molecular Chaperone Controlled Resilient Cell Traction Force by Micropost Arrays Fabricated by Two-Photon Initiated Polymerization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fiber Science and Technology	6. 最初と最後の頁 288-295
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2115/fiberst.2020-0017	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 Eri Ohto-Fujita, Saaya Hayasaki, Aya Atomi, Soichiro Fujiki, Toshiyuki Watanabe, Wilbert C Boelens, Miho Shimizu, Yoriko Atomi	4. 巻 168
2. 論文標題 Dynamic localization of B-crystallin at the microtubule cytoskeleton network in beating heart cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Biochemistry	6. 最初と最後の頁 125-137
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jb/mvaa025	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 Saaya Hayasaki, Yasuomi Sasai, Masaki Imayasu, Miho Shimizu, Soichiro Fujiki, Keiji Naruse, Toshiyuki Watanabe and Yoriko Atomi	4. 巻 59
2. 論文標題 Molecular chaperone B-crystallin regulates the dynamic stability of focal adhesion under mechanical stress conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDE03 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab65aa	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16件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 石井仁、武田康太、中村暢文、近江みゆき、高村禪、渡辺敏行
2. 発表標題 高分子修飾金ナノ粒子の電気化学評価
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 石井仁、近江みゆき、高村禪、前橋兼三、生田昴、渡辺敏行
2. 発表標題 側鎖に2,4-ジアミノ 1,3,5-トリアジン基を有する高分子のバイオセンシング
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 田島慎二、戸谷健郎、渡辺敏行
2. 発表標題 室温りん光材料をホストとして用いた、フォトンアップコンバージョン材料
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古屋大地、戸谷建朗、渡辺敏行
2. 発表標題 室温燐光特性を有する高分子材料の合成と評価
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 石井仁、武田康太、中村暢文、近江みゆき、高村禪、渡辺敏行
2. 発表標題 側鎖に2,4 ジアミノ 1,3,5 トリアジニル基を有する高分子の合成と分子認識能の電気化学的評価
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 松本昌也、軽部瑠美、磯崎全嗣、三沢和彦、渡辺敏行
2. 発表標題 アゾベンゼン部位を有する光応答性ポリイミドゲルを用いたアクチュエータの機能評価
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 Jin Ishii, Kouta Takeda, Nobufumi Nakamura, Miyuki Chikae, Yuzuru Takamura, Toshiyuki Watanabe
2. 発表標題 Synthesis of Water Soluble Polymer Having 2,4-Diamino-1,3,5-Triazinyl Group in the Side Chain and Electrochemical ON/OFF Function for Molecular Recognition Ability
3. 学会等名 The 12 th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daichi Furuya, Kenro Totani, Toshiyuki Watanabe
2. 発表標題 Synthesis and characterization of polymeric materials having room temperature phosphorescent properties
3. 学会等名 The 12 th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Kosaki, Toshiyuki Watanabe
2. 発表標題 Tackiness and morphology analysis of adhesive materials having a 2,4- diamino-s-triazinyl group
3. 学会等名 The 12 th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiyuki Watanabe, Ryota Ohshima, Ryuji Mashiko, Daichi Furuya, Kenro Totani
2. 発表標題 Efficient Persistent Room Temperature Phosphorescence in Amorphous Polymers under Ambient Condition
3. 学会等名 Inter-photonics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小崎美穂、渡辺敏行
2. 発表標題 2,4-ジアミノ-s-トリアジニル基を導入したSBSトリブロック共重合体の合成と構造および物性に関する研究
3. 学会等名 第28回インテリジェント・ナノ材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 益子竜司、戸谷健郎、渡辺敏行
2. 発表標題 イリジウム錯体をドーブした室温燐光高分子の光制限作用に関する研究
3. 学会等名 第28回インテリジェント・ナノ材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井仁、武田康太、中村暢文、近江みゆき、高村禪、渡辺敏行
2. 発表標題 高分子修飾金ナノ粒子の電気化学的評価
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 益子竜司、戸谷健郎、渡辺敏行
2. 発表標題 有機金属錯体をドーブした長寿命室温燐光高分子の光制限作用
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 石井仁、高桐佑貴、武田康太、中村暢文、前橋兼三、高村禪、近江みゆき、生田昂、渡辺敏行
2. 発表標題 グラフェン上の2,4-ジアミノトリアジン基を有する高分子による銅イオンのセンシング
3. 学会等名 第69回高分子学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三好潤、戸谷健朗、渡辺敏行
2. 発表標題 アゾベンゼン部位を有する四官能性架橋剤を用いたヒドロゲルの開発
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
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
研究分担者	戸谷 健朗 (Totani Kenro) (50397014)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・技術職員 (12605)	

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