

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01632

研究課題名（和文）光と音による協同的高分子形状変換に基づく解体性粘接着技術の開発

研究課題名（英文）Development of removable adhesive technology based on photo- and sound-triggered topological transformation of polymers

研究代表者

本多 智（Honda, Satoshi）

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：10711715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、音波に応答する物質（感音性物質）と、感音性物質の応答を可能にする高密度焦点式超音波（HIFU）デバイスの相補的な開発を通じて、材料内部の力学物性をピンポイントで可逆的に制御する方法論を開拓することを目的に実施された。その結果、光刺激に応答して可逆的に切断可能な動的共有結合を持つヘキサアリアルビミダゾール（HABI）を含む高分子が、感音性物質として振る舞うことを突き止めた。また、従来型の光刺激ではHABIを含む感音性物質の表面に存在するHABIにしか作用しなかったのに対し、HIFUは材料内部の狙った位置のHABIを応答させることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ピンポイントな光刺激で材料の特定の部分のみを分離・解体する技術は、温室効果ガスの削減を見込めることから盛んに研究されている。しかし、光刺激は材料表面に作用できても、材料内部の局所に作用させることができない。それに対して本研究結果に立脚すると、様々な高分子材料の内部の物性をピンポイントで制御できる可能性がある。したがって、製品の解体・回収・リサイクルを効率化し、将来の循環型社会の実現に寄与する可能性がある技術として意義深い。今後、様々な静的・動的共有結合性の架橋高分子材料の解体を通じて理解が深まることで、材料の改質、自己修復、解体・再利用に関する一分野を築く可能性を期待できる。

研究成果の概要（英文）：The development of a dismantlable adhesive that has strong adhesion strength in use but can be easily dismantled upon applying external stimuli is one of the urgent issues to be explored toward sustainable future. However, there has been no effective methodologies that enables control of physical properties inside crosslinked polymeric materials. To overcome this, in this research, we aimed to develop crosslinked polymeric materials that respond to ultrasound and high-intensity focused ultrasound (HIFU) devices that enable pinpoint irradiation of ultrasound inside materials. Consequently, we found that crosslinked polymers containing hexaarylbiimidazole (HABI), previously known as a material with photoreversibly cleavable covalent bond, respond to HIFU. Moreover, while photostimulation cleaved the covalent bond in HABI only near the surface of the HABI-containing crosslinked polymers, HIFU triggered the cleavage of HABI in the interior of the materials.

研究分野：高分子材料科学

キーワード：高分子トポロジー変換 光反応 超音波 高密度焦点式超音波 解体性接着剤 積層造形 3Dプリンティング 液槽光重合式3Dプリンティング

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

高分子物性の改変には化学組成の改変を余儀なくされてきた。しかし最近、高分子形状を精密に制御することで、化学組成の改変に頼らず高分子物性を制御する新たな方法論が確立しつつある。化学組成としては同一であっても高分子形状を外部刺激で自在に変化させることでマクロな物性を操ることができれば、既存の物質設計では実現できなかった革新的新素材を開発できる可能性がある。一方、粘接着剤は、様々な材料・部品の接合に利用される人類社会とは切り離せない素材である。接着剤は材料同士を強固に固定し、分離しようとする際には機械的な力で解体する以外に有効な方法はなかった。しかし、機械的な力による解体にも限界があり、接合された部品群の多くは使用後に分離することができずに廃棄されてきた。こうした現状から、最近では容易な分離を可能とする解体性接着剤の開発が切望されている。解体性粘接着剤の国内年間市場規模は 500 億円程度とされ、従来の接着剤に代わる成長産業になると期待されている(経済産業省、グリーン・サステイナブルケミストリー (GSC) 分野の技術戦略マップ)。しかし、製品としての提供時には強力な接合強度を持つ一方で、不要になったり交換が必要になったりした部分のみをピンポイントで簡単に解体するという二つの要請の両立は容易ではなく(産業競争力懇談会、循環型社会を実現する革新的接合・分離技術、2016)、有効な材料や方法論はいまだに見つかっていない。

こうしたなか、ピンポイントな外部刺激として光を利用した材料の解体が国内外で研究されている。ところが、光刺激には材料表面を応答させることでその部位の接着剤を解体することが出来ても、材料深部においてピンポイントで接着剤を解体することはできなかった。実際、我々の身の回りの製品を見回してみても、光を簡単に作用させられるような透明な被着体を接着剤で接合しているケースは多くない。

すなわち、**材料表面および深部のどちらに対してもピンポイントで作用させられる外部刺激の有効利用とその刺激に応答する物質を開発することがこれらの問題を解決する鍵になると考えた。**

### 2. 研究の目的

解体性接着剤に作用しうる外部刺激には、熱、電気、磁気、光、力学的刺激、さらには放射線などが考へうる。このうち放射線の利用は容易ではなく、磁場は、材料深部に及ぼすことが可能だが、熱と同様に物質の局所に作用させることが難しい。一方、一对の電極を必要とする電気には、電磁パルス法による材料の解体にみられるように導電パスに沿って材料を応答させられる利点がある。しかし、ピンポイントな材料応答を実現できるわけではない。光刺激は、物質内部にこそ作用しないが、材料表面に時空間局所的に作用させることができる刺激である。さて、残る力学的刺激を材料深部に及ぼすことは一見困難である。しかし、媒体の振動によって特徴づけられる音波は、例えばエコー検査のように対象の内部(深部)に及ぼすことに適している。また音は、波の性質ゆえに重ね合わせることができ、その強めあいの局所(焦点)にエネルギーを集中させることができる。なかでも**高密度焦点式超音波(HIFU)**は、波の重ね合わせの原理を利用して焦点に高いエネルギーを集中できる方法論として知られる(図1)。

そこで本研究では、**音への応答によって化学結合をピンポイントで切断・再生して高分子形状を変換できる物質群とそれを可能にする HIFU デバイスを開発し、材料表面と深部の力学物性をいずれも制御する方法論を開発することを最終目標に掲げた。**また、光と音のいずれにも刺激にも応答して力学物性が変化する多刺激応答性材料とその解体挙動を調べることを目的とした。

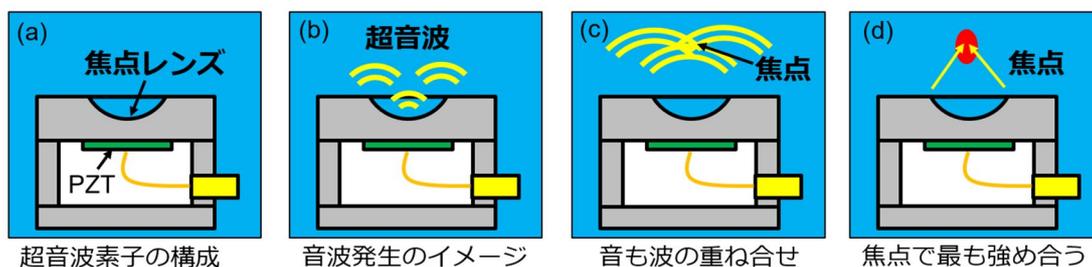


図1. HIFU デバイスと焦点形成のイメージ図

### 3. 研究の方法

光と HIFU に応答して切断・再形成する化学結合の候補として、ヘキサアリアルピイミダゾール (HABI) 中の二つのイミダゾール間の共有結合に着目した。HABI はフォトクロミズムおよびピエゾクロミズムを示す分子として知られ、結合が解離すると空気中でも安定なトリフェニルイミダゾリルラジカル (TPIR) を生成する(図2)。また、TPIR は外部刺激の印加をやめると速や

かに二量化して HABI に戻る性質がある。この反応性は HABI の吸光特性に基づく。一方で、HABI 中の二つのイミダゾール間を連結する共有結合の解離エネルギー ( $BDE_{Im-Im}$ ) に着目すると 100 kJ/mol 程度であり、例えば C-C 結合の 1/3 程度であることが知られている (図 2)。そこで本研究では、HABI を導入した高分子群を合成し、その高分子中の HABI を開裂できる HIFU デバイスの周波数と強度の関係を調べることで、合理的に光・音応答性物質を探索しようと考えた。

また、デバイス設計側からのアプローチとしては、強固な化学結合からなることで知られる物質の分解をも可能にする HIFU デバイスの開発を目指し、その標的物質としてシリコン材料を選んだ。シリコン材料は粘接着剤への応用実績が豊富で、解体・回収する方法論を開発することは産業上も有用である。また代表者らにはシリコン材料の一つであるポリジメチルシロキサン (PDMS) に HABI を導入することで光応答性材料を合成してきた実績があり、研究を効率的に進められると考えた。

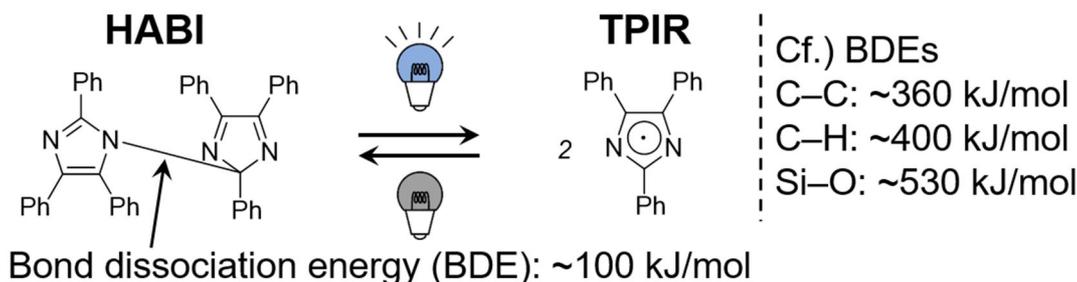


図 2. HABI 中のイミダゾール間の共有結合と、一般的な炭素-炭素、炭素-水素、およびケイ素-酸素間共有結合の結合解離エネルギーに比較

#### 4. 研究成果

$BDE_{Im-Im}$  と、主鎖骨格を構成する結合の BDE との間に明確な差異があれば、主鎖骨格の切断を招くことなく HABI 中の結合のみを解離させることが出来るだろう。そこで本研究では、はじめに感音性物質の候補となる HABI が導入された様々な高分子群の合成に取り組んだ。

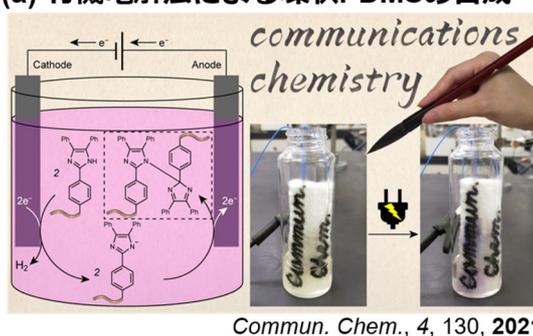
なかでも HABI の可逆的な切断と再生を活かした高分子形状編集を可能にする候補物質として、分子鎖中に HABI を有する環状 PDMS ( $C_{HABI}$ ) および網目状 PDMS ( $N_{HABI}$ ) を合成した。

$C_{HABI}$  は、従来の HABI 合成に用いられてきた大量の酸化剤を必要とする水-有機二層系の反応条件から脱却し、有機電解反応を駆使することによる合成に成功した。またこの方法論では、2 本のシャーペンの芯と電池を接続するだけで HABI を分子鎖中に含む環状高分子を合成することにも成功しており、 $N_{HABI}$  の合成にも展開された (*Commun. Chem.*, 4, 130, 2021)。

一方、網目状物質はより均一な網目構造であるほど力学物性に優れることで知られる。逆に、材料を解体する観点では均一な網目であるほど難しいことになる。そこで本研究では、分子鎖長の揃った分岐状 PDMS の合成とそれを前駆体とする  $N_{HABI}$  の合成に取り組んだ。その結果、PDMS を合成するための種々の重合触媒系の探索も経て、分子鎖長の揃った分岐状 PDMS を前駆体とする  $N_{HABI}$  の合成を達成することが出来た (図 3b) (*Adv. Sci.*, 4, 130, 2021)。

一方、HIFU デバイスについては、共振周波数 (0.5, 1, 1.5, 2 MHz) の異なる複数のチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 製 piezo 素子を搭載した直径 5 cm のデバイスとして製作した。デバイスを RF パワーアンプ (rated power: 200 W, gain: +55 dB) に接続し、ファンクションジェネレーターで正弦波 (ピーク間電圧  $V_{p-p} < 0.6$  V) を印加したところ、1 MHz 以上の共振周波数のデバイスに焦点の形成が認められた。また焦点サイズは、1.0 MHz のデバイスにおいては目視での認識が可能な 2 mm 程度であったのに対し、1.5 MHz のデバイスでは 1 mm 以下であった。そこ

#### (a) 有機電解法による環状 PDMS の合成



#### (b) HABI を含む網目状 PDMS の合成

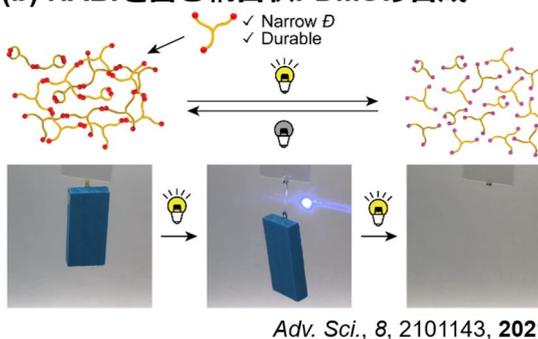


図 3. (a) 有機電解法による環状 PDMS の合成および (b) HABI を含む網目状 PDMS の合成に関する成果。

で、本研究では目視での認識が容易な 1.0 MHz の HIFU 素子を用いてその後の検討を行った。

まず、デバイスの限界を知る目的で、HABI を含まず強固なシロキサン結合 (BDE = 530 kJ/mol) からなる PDMS の硬化物に対する HIFU 照射 ( $V_{p-p} = 0.5$  V) を試みた。その結果、デバイスのレンズ部分の曲面を規定する球の中心位置すなわちデバイス上面から 20 mm 離れた位置において PDMS の燃焼がみられた (図 4)。HIFU の照射に伴う焦点領域のエネルギーを小さくすることはデバイスへの印加電圧を低下させることで容易に達成可能である。すなわち、この結果はシロキサン結合のような強固な共有結合からなる架橋高分子材料であっても、材料内部の一点を容易に解体できる性能を持つ HIFU デバイスの製作に成功したことを示す。

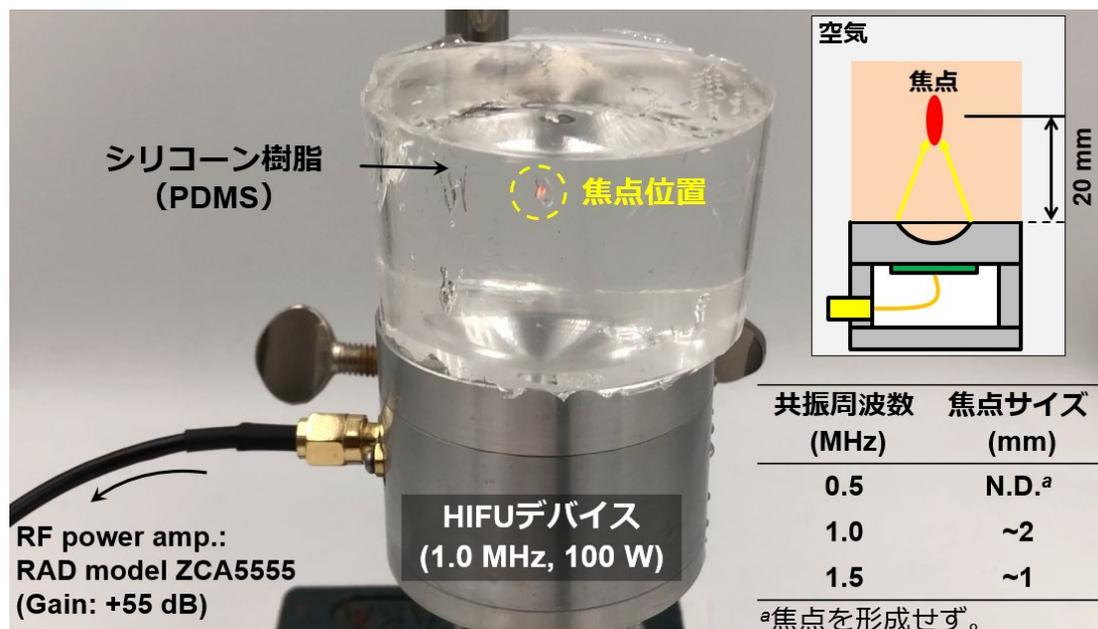


図 4. PDMS への HIFU (1 MHz) 照射実験の模式図と PDMS が燃焼した瞬間の写真

そこで次に、 $N_{HABI}$  に対する HIFU 照射 ( $V_{p-p} = 0.3$  V) による網目状-分岐状間での高分子形状変換を実施した。その結果、HABI の開裂に伴って生じるトリフェニルイミダゾリルラジカル (TPIR) 由来の明確な着色がみられた (図 5)。この色変化は迅速で、HIFU 照射後 18 秒間で黄色の試料は濃い赤色に変化した (図 5 左・中央)。また、照射をやめると 10 秒間程度で TPIR 由来の着色は薄くなり (図 5 右)、その後すぐに試料は元の黄色い状態に戻った。この試料の色変化は光を照射した際の色変化と対応しており、網目状-分岐状高分子形状間の可逆的な高分子形状変換が進行したと矛盾しない。また、極めて重要なことは  $N_{HABI}$  への HIFU 照射の際に、HIFU デバイスと  $N_{HABI}$  との間に不透明なシリコン樹脂を挟んでいる点である。このことにより、光刺激には到達できない物質深部であっても HIFU は伝播してピンポイントで  $N_{HABI}$  を応答させることができるということが分かった。



図 5. HABI を含む網目状 PDMS への HIFU 照射によって生じた試料の色変化

一方、HABI を含む網目状 PDMS への HIFU 照射に伴う物性変化は数十秒間程度で完結する迅速な変化であったために、材料の感音性としては優れているものの、HABI の解離に伴う TPIR の生成を定量的に示すことは困難だった。そこで種々の検討を重ねた結果、本研究では当初の目標から一歩進んで、高分子鎖の運動性が凍結されたガラス状態の架橋高分子材料を利用し、その感音性を調べることにした。また、安定した力学物性評価結果を得るためには、同一サイズの力学試験片を複数製作する必要があるため、HABI を分子鎖中に含む架橋高分子 (X) 由来の力学試験片を積層造形 (3DP) 法によって製作する方策をとることにした。なかでも液槽光重合 (vat-photopolymerization: VP) 方式の 3DP 法は、液状モノマーの光重合によって任意の三次元積層

体を一段階で造形できる重要な技術である。VP-3DP 法の造形精度は他の 3DP 法に比べて高く、また力学物性に優れた造形物を得ることが出来るため歯科材料分野をはじめとする様々な分野で実用化されている。本研究では、VP-3DP 法に適用可能な HABI を含む架橋剤 ( $X_{HABI}$ ) を新規に設計・合成した (図 6 左上)。また、光重合開始剤として優れた実績のある 2,4,6-trimethylbenzoyl-diphenyl phosphine oxide (TPO) を開始剤に、 $X_{HABI}$ 、メタクリル酸メチル (MMA) および bisphenol A-glycidyl methacrylate (bis-GMA) の共重合を試みたところ良好な光硬化性を示した。そこで、これらの混合物を原料に VP-3DP を試みたところ、優れた造形精度で X を与えた。そこで燃焼を避けるために、印加電圧を下げて水中で X に HIFU を照射したところ、TPIR の生成によると考えられる黄色から青色への色変化を示した (図 6 中央下)。この青色の着色は、数時間程度では消えることなく維持された。そこで、ラジカル種の存在を直接的に定量可能な ESR 測定を試みた。その結果、HIFU 照射後の ESR スペクトルには、327 mT 付近に TPIR 由来の強いシグナルが観測された (図 6 右下)。HIFU 照射前にも TPIR 由来の弱いシグナルが見られるが、これは VP-3DP 法が光重合に基づくため、照射された光が  $X_{HABI}$  の  $CB_{1m-1m}$  を解離したことによる。

以上の一連の検討から、音への応答によって化学結合をピンポイントで切断・再生して高分子形状を変換できる物質、およびそれを可能にする HIFU デバイスの開発、という本研究の目標をいずれも達成したと結論付けることができる。

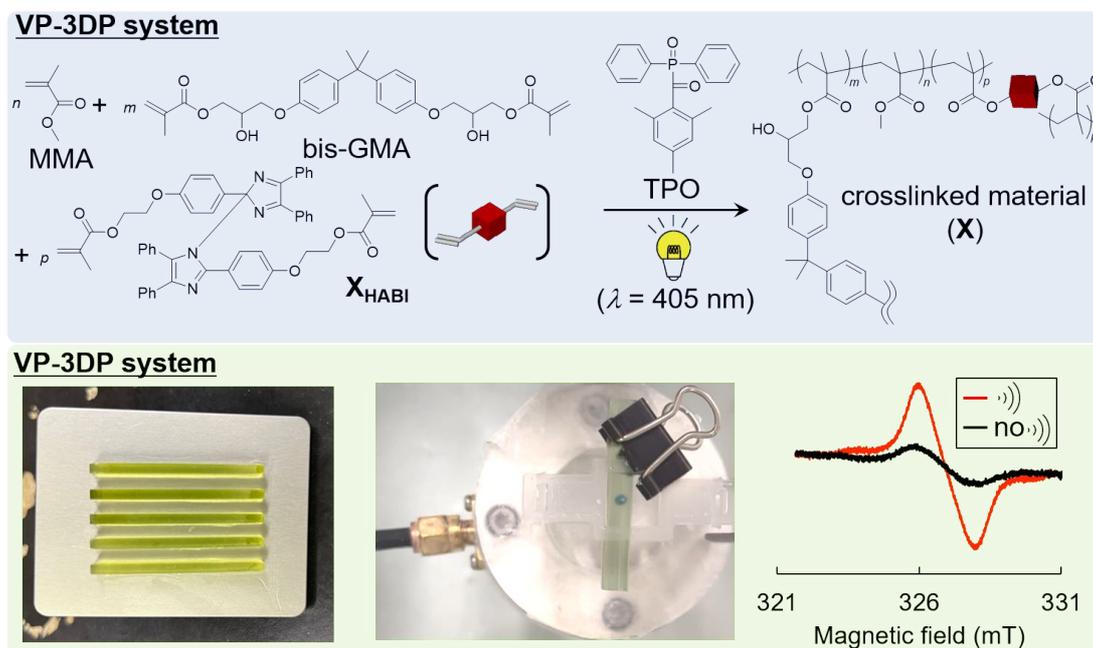


図 6. (a) VP-3DP に適用した光重合反応、(b) 造形物の CAD データ、(c) 造形された直方体状の CPO と HIFU 照射により照射部位の色が変化したことを示す写真、および (d) HIFU 照射前後の CPO の ESR スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Okamoto Hiroshi, Sogabe Atsushi, Honda Satoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Synergetic binary organocatalyzed ring opening polymerization for the precision synthesis of polysiloxanes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-024-01140-3	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 Honda Satoshi, Oka Minami, Fuke Kazuki, Khuri Yakub Pierre T., Pai Chi Nan	4. 巻 35
2. 論文標題 Acoustodynamic Covalent Materials Engineering for the Remote Control of Physical Properties Inside Materials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2304104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202304104	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 Oka Minami, Honda Satoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Synthesis of photodynamic intramolecularly crosslinked polyether-copolymers in-chain functionalized with hexaarylbimimidazoles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 2865 ~ 2871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3PY00163F	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 Oka Minami, Mizukami Masashi, Kurihara Kazue, Honda Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Photomanipulable Liquid Pressure-Sensitive Adhesives Based on the Reversible Cyclic-Linear Topological Transformation of Synthetic Silicones	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 4382 ~ 4388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.2c00343	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 Oka Minami, Takagi Hideaki, Orié Akihiro, Honda Satoshi	4. 巻 43
2. 論文標題 Realizing Vat Photocycloaddition 3D Printing with Recyclable Synthetic Photorheological Silicone Fluids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 2200407 ~ 2200407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202200407	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 Oka Minami, Honda Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Electrochemical topological transformation of polysiloxanes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 100727 ~ 100727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-021-00570-7	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 Ji Yue, Oka Minami, Honda Satoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Synthesis of reversibly photocleavable pseudo-ladder polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 4621 ~ 4625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1PY00646K	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 Oka Minami, Takagi Hideaki, Miyazawa Tomotaka, Waymouth Robert M., Honda Satoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Photocleavable Regenerative Network Materials with Exceptional and Repeatable Viscoelastic Manipulability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2101143 ~ 2101143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202101143	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 Honda Satoshi、Ikuta Naoya、Oka Minami、Yamaguchi Shuhei、Handa Shinya	4. 巻 43
2. 論文標題 Cyclic Perfluoropolyether: Distinct Film Formability and Thermostabilization Upon Recyclable Cyclic?Linear Topological Transformation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 2100567 ~ 2100567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202100567	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 Oka M.、Honda S.	4. 巻 23
2. 論文標題 Topology reset, reshuffling, and reconstruction of synthetic elastomers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Today Chemistry	6. 最初と最後の頁 100727 ~ 100727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtchem.2021.100727	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 Honda Satoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Organocatalytic vat-ring-opening photopolymerization enables 3D printing of fully degradable polymers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-023-00985-4	査読の有無 無
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 Ohisa Satoru、Honda Satoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Luminescence enhancement by symmetry-breaking in the excited state in radical organic light-emitting diodes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-023-01039-5	査読の有無 無
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 Honda Satoshi, Odelius Karin, Sardon Haritz	4. 巻 7
2. 論文標題 Organomediated polymerization	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-024-01134-1	査読の有無 無
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

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 本多智
2. 発表標題 機能物質開発とデバイス製作のインタープレイ：光・音動的機能物質の工学の開拓
3. 学会等名 第24回関東支部若手交流会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 本多智
2. 発表標題 光と音の有効利用による静的・動的架橋高分子の加工・解体・再利用
3. 学会等名 共有結合の交換・変換・切断が司る機能樹脂創成に向けた研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本多智
2. 発表標題 高分子形状の初期化、混成、および再構築に基づく動的機能物質の開発
3. 学会等名 23-1無機高分子研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Honda
2. 発表標題 Photocleavable Regenerative Silicone Elastomers with Phototunable Viscoelasticity Based on Precision Synthesis of Star-shaped Polymers Enabled by Organocatalysts
3. 学会等名 ACS Fall 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Minami Oka, Masashi Mizukami, Kazue Kurihara, Satoshi Honda
2. 発表標題 Viscosity measurement of photo-reactive polymer using ultra-trace viscometer
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 本多智
2. 発表標題 高分子形状の可逆的光変換に基づくフォトメタモルフィック機能の開拓
3. 学会等名 第71回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡美奈実、本多智
2. 発表標題 ネットワークポロジの初期化、混成、再構築に基づくシリコンエラストマーの力学物性制御
3. 学会等名 第71回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡美奈実, 本多智, 水上雅史, 栗原和枝
2. 発表標題 環-鎖トポロジー変換に基づく光解体性シリコーン粘着剤の開発
3. 学会等名 SMILEcoみやぎ プロジェクト シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Honda
2. 発表標題 Reset, reshuffling, and reconstruction of topologies of polymers for the tuning of material functions
3. 学会等名 2022 Japan-Taiwan Bilateral Polymer Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Satoshi Honda, Minami Oka	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Topological Polymer Chemistry	5. 総ページ数 436
3. 書名 Topological Polymer Chemistry	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 フルオロポリエーテル化合物	発明者 本多智、生田直也、 山口修平、半田晋 也、山内昭佳、岸川	権利者 国立大学法人東 京大学, ダイキ ン工業株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-126704	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 高分子化合物	発明者 松尾綾野、ジレレ ノ、曾我部敦、本多 智、岡美奈実	権利者 株式会社資生堂、 国立大学法人東 京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-207537	出願年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

## 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			
米国	Stanford University			
ブラジル	University of Sao Paulo			