

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15528

研究課題名(和文)七員環構造を鍵とする高歪化合物の創出と特異な構造に基づく応答機能

研究課題名(英文) Highly Strained Compounds with Seven-Membered Rings: Construction of Unique Structures and Development of Functions

研究代表者

石垣 侑祐 (Ishigaki, Yusuke)

北海道大学・理学研究院・准教授

研究者番号：60776475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、標準値から逸脱した構造パラメータを示す高度に歪んだ化合物に着目し、通常分子ではもち得ない特異な構造及び機能の発現を目指して研究を展開した。具体的には、極度に伸長した炭素-炭素単結合が光/熱刺激に対して可逆的に収縮/伸長する柔軟性を示すことを明らかにした。また、通常は平面構造をとる炭素=炭素二重結合へ歪みを付与することで、異性体間の酸化電位の違いを利用した酸化特性の完全スイッチングに加えて、加熱/冷却による分子構造変化に基づく物性制御を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

共有結合は有機分子の基礎となる概念であり、結合長や結合角は通常決まった値を示す。一方、高度に歪んだ分子では標準値から逸脱した結合長をもち、それにより特異な性質が発現すると考えられてきたが、歪みによる不安定性のため、極限状態の結合をもつ分子の合成は困難であった。本研究では、独自の分子設計により究極的に伸長した炭素-炭素単結合の柔軟性を発見し、その設計指針を単結合から二重結合へと拡張することで、構造及び物性の自在な制御を実現した。これらの成果は、有機化学分野で新たな潮流を示すものである。本研究成果は、共有結合の理解の深化に重要な知見を与え、持続可能な社会の実現に向けた足掛かりになると期待される。

研究成果の概要(英文)：The carbon-carbon covalent bond is one of the most basic concept in organic chemistry. Bond length and bond angle among carbon atoms are nearly constant on the basis of the bond order and hybrid orbitals. On the other hand, highly strained compounds have attracted much attention with regard to their characteristic features. Regarding the C-C single bond, several attempts have been made to elongate the C-C single bond to gain new insight into the chemical bond and understand what happens at the limit of a bond. In addition, while the standard C=C double bond prefers a planar geometry, overcrowded ethylenes with bulky substituents can adopt folded and/or twisted forms due to the steric hindrance around the central C=C double bond. In this study, focusing on highly strained σ -electronic systems, a control of structures and physical properties based on extremely elongated C-C single bonds and highly strained C=C double bonds was accomplished.

研究分野：構造有機化学

キーワード：高歪化合物 酸化還元系 応答性分子 ジカチオン 光異性化 熱異性化 X線結晶構造解析

1. 研究開始当初の背景

化学結合は物質の基礎を成す重要な概念である。有機分子に見られる共有結合に着目すると、結合長や結合角といった構造パラメータは、結合の次数、あるいは混成軌道により決まった値を示す。一方、高度に歪んだ化合物は、標準値から逸脱した構造パラメータをもち、その値が外部刺激によって変化する場合がある。例えば、炭素を主とする有機化合物において、炭素-炭素 (C-C) 単結合の標準結合長は 1.54 Å である一方、これまでに 1.7 Å を超える結合長を有する化合物がいくつか報告されてきた。そのような背景のもと、研究代表者は 2018 年にジスピロジベンゾシクロヘプタトリエン誘導体が 1.806(2) Å (400 K) という世界最長の C-C 単結合をもつことを見出し、1.8 Å を超える C-C 単結合の存在を初めて実証した。これに対し、100 K という低温下では 1.7951(19) Å という値を示すことから、熱による結合の「伸長性」が観測されている。また、C-C 伸縮振動の値から通常の単結合よりはるかに弱い力で伸縮することが明らかとなり、本来強固な共有結合に「柔軟性」が付与されたといえる。これにより、極度に伸長した結合であれば、外部刺激によって結合長が柔軟に変化し得るという着想を得た。

一方、中央に七員環構造を有するジベンゾシクロヘプタトリエン (DBCHT) 骨格は、化合物に歪みを付与するのみならず、酸化によりジベンゾトロピリウムを与える酸化還元活性ユニットでもある。酸化電位は化合物の HOMO 準位、すなわち構造に依存することから、中性体において複数の立体配置を与え得る C=C 二重結合に焦点を当てることとした。例えば、嵩高い置換基を周囲に有する超混雑エチレン類のような高歪化合物は、光や熱といった外部刺激に応答することから分子マシンを指向した研究などに広く用いられてきた。このような超混雑エチレン類において異性体間で酸化電位に差が生じれば、光や熱により酸化特性の制御が可能となり、応答挙動に多様性を与えることが期待される。

2. 研究の目的

上述の背景のもと、歪みを与える鍵骨格として七員環構造を選択し、高度に歪んだ分子に基づく機能開拓を目指すこととした。本課題は、基礎科学の発展及び高機能化による応用科学の進展に寄与すべく、七員環構造のみならずヘテロ原子を駆使することで新たな機能の実現を目的とする。すなわち、共有結合の基礎的概念である C-C 単結合、及び C=C 二重結合に注目して新奇高歪化合物に基づく新たな応答機能を創出する狙いである。

以上の目的を達成するため、「A. 電子的特性が C-C 単結合に与える影響の解明」、「B. 光/熱定量的異性化に基づく酸化特性の ON/OFF スwitchング」、「C. ヘテロ原子への展開による外部刺激刺激応答系の創出」の三つを軸に研究を展開した。

3. 研究の方法

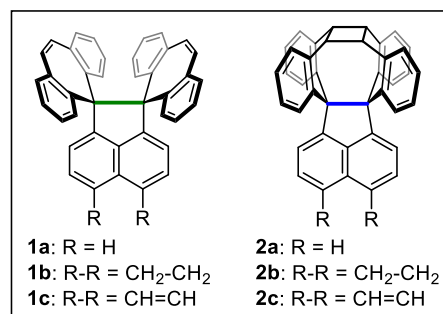
本課題を遂行する上で鍵となるのは分子設計及び目的分子の合成である。これまでに得られている知見及び DFT 計算を組み合わせることで、分子設計の最適化を行った。設計した分子を合成し、単結晶 X 線構造解析及びラマン測定により構造及び C-C 単結合の情報を取得した。また、光/熱刺激による応答性については固相、あるいは溶液中で実験を行い、紫外可視吸収スペクトル及びサイクリックボルタンメトリー測定により構造変化の詳細と特異な分子構造に基づく物性を明らかにした。

4. 研究成果

「A. 電子的特性が C-C 単結合に与える影響の解明」

研究代表者が先に見出した極度に長く弱い結合は、通常の結合とは異なり結合の「柔軟性」を示すことが予想された。そこで、剛直なシェルとして採用した DBCHT 骨格に含まれるスチルベン構造に着目した。結晶中における分子 **1** の構造に注目すると、スチルベンユニットが向かい合った位置に配置されていることから、分子内[2+2]光環化反応の進行が期待される。そこで本研究では、長い結合を有する化合物に対して溶液状態で紫外光照射を行った。その結果、[2+2]光環化反応は定量的に進行し、いずれの誘導体においてもかご型分子 **2** を形成することが明らかとなった。得られたかご型分子 **2** の X 線結晶構造解析を行ったところ、実際に中央の Csp³-Csp³ 単結合は短くなり、最大で 5%もの収縮が確認された。また、かご型分子を固体状態で加熱することで元の長い結合を有する分子を定量的に再生することも明らかにした。ここで、ピラセン誘導体では光/熱相互変換が単結晶相を保ったまま進行することを見出し、前例のない Csp³-Csp³ 単結合の可逆的な伸長/収縮過程の直接的な観測に成功した。加えて、構造変化によって酸化電位が最大で約 1.1 V も変化することを明らかにし、結合の「柔軟性」に基づく大幅な「物性変調」も実現した (図 1)。

※*Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 22252-22257.



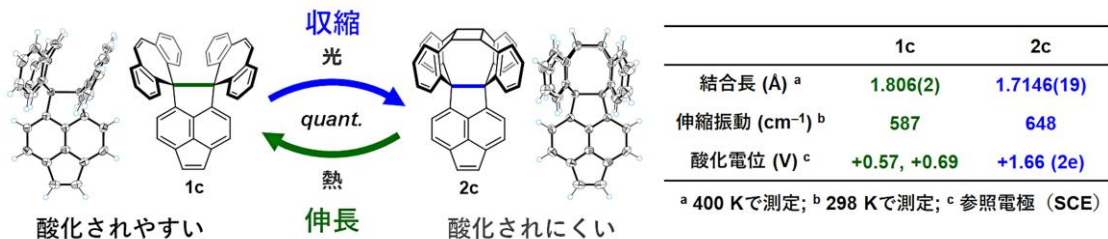


図 1. 光/熱相互変換による結合の伸長/収縮及び大幅な物性変調

「B. 光/熱定量的異性化に基づく酸化特性の ON/OFF スイッチング」

二つの DBCHT 骨格が二重結合により連結したテトラベンゾヘプタフルバレン (TBHF) は, *anti*-folded 型と *syn*-folded 型構造間で光/熱異性化応答を示すことが知られている。一方, 対応する酸化種は NMR で観測されているものの, 酸化還元挙動の詳細な調査はなされてこなかった。本研究では, 中央にアントラキノジメタン骨格を挿入することで, 酸化種の安定化に加えて異性体間で酸化特性に変化が生じると考え, 二種類の誘導体 **3** 及び **4** を設計した。異性体間で酸化電位に差が生じれば, 光/熱により異性化させた分子のみ選択的に酸化されるような, 高度な応答系の実現が可能となる。実際に合成したところ, それぞれ二種類の異性体を単離することができ, X 線結晶構造解析により *anti,anti* (AA) 体, *syn,anti* (SA) 体と帰属できた。これらの異性体は光/熱により定量的に相互変換可能であることを明らかにし, 二種の異性体を酸化すると同一のジカチオンを与え, 続く還元によって異性体混合物を再生することを見出した。ここで, 酸化還元電位を詳しく調査したところ, SA 体が AA 体より酸化されやすいことが明らかとなり, その電位差を利用して, SA 体のみを選択的酸化が可能となった。すなわち, 光/熱により酸化特性の ON/OFF 制御を初めて実現した (図 2)。 ※*J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 18293-18300.

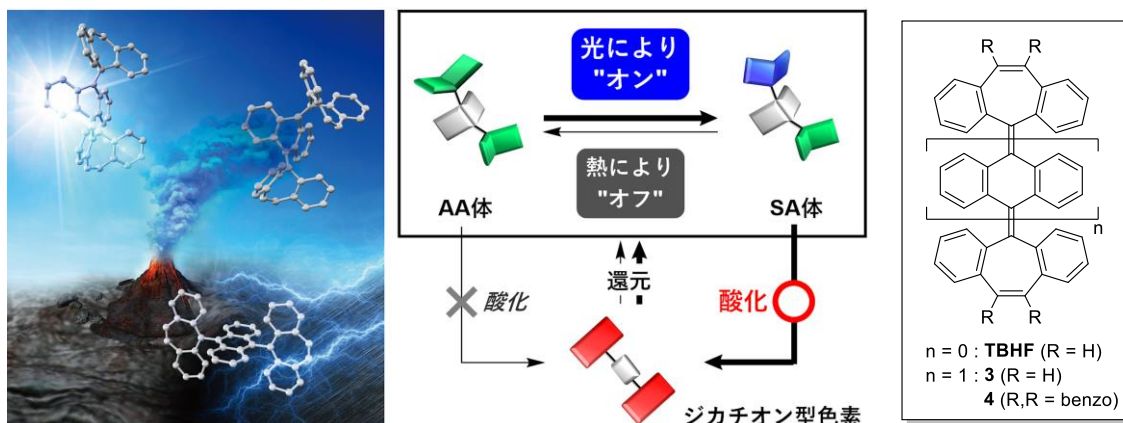


図 2. 光/熱定量的異性化による酸化特性の ON/OFF 制御とそのイメージ図

「C. ヘテロ原子への展開による外部刺激刺激応答系の創出」

嵩高い置換基が複数連結した超混雑エチレン類では, *folded* 型構造や *twisted* 型構造といった平面から逸脱した立体配置を与える場合がある。多くの場合, *folded* 型構造が安定形であるが, 三環性骨格が連結した BAE (bistricyclic aromatic ene) 類において, *twisted* 型構造の発現が報告されている。本研究では, 従来の BAE 類を用いたアプローチを使用しない場合でも, 適切な分子設計により *twisted* 型構造を創出できると考えた。そこで, C=C 二重結合周りの立体障害を軽減させることで *twisted* 型構造の発現を期待し, テトラチエニルアントラキノジメタン誘導体を新たに設計した。種々の誘導体を合成し, 中性体の X 線結晶構造解析を行ったところ, 結晶中ではいずれの誘導体も *folded* 型構造をとっていることが明らかとなった。一方, メトキシフェニルチエニル体では室温溶液中で *twisted* 型三重項ジラジカル[•]の寄与があることを見出した。これにより, 低温溶液中では *folded* 型構造に由来して +1.03 V に酸化波が観測されたのに対し, 室温では *twisted* 型構造の高い HOMO に起因して +0.30 V に可逆な酸化波が現れ, 酸化特性のオン/オフスイッチングを実現した。このような熱平衡による酸化特性制御の実現は前例がなく, 本研究により初めて達成した (図 3)。

※*Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 6581-6584.

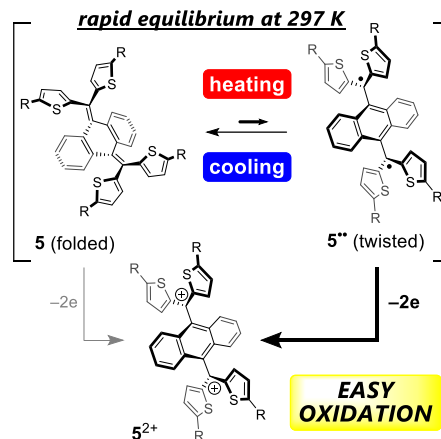


図 3. 熱平衡による酸化特性制御

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shimajiri Takuya, Suzuki Takanori, Ishigaki Yusuke	4. 巻 59
2. 論文標題 Flexible C-C Bonds: Reversible Expansion, Contraction, Formation, and Scission of Extremely Elongated Single Bonds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 22252 ~ 22257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202010615	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 Suzuki Takanori, Ishigaki Yusuke, Takata Masaki, Nishida Jun-ichi, Fukushima Takanori	4. 巻 102
2. 論文標題 9,9'-Bi(xanthene)-Type Hexaphenylethane Derivatives as Advanced Organic Electrochromic Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heterocycles	6. 最初と最後の頁 419 ~ 419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/REV-20-938	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 Ishigaki Yusuke, Uchimura Yasuto, Shimajiri Takuya, Suzuki Takanori	4. 巻 94
2. 論文標題 Expandability of the Covalent Bond: A New Facet Discovered in Extremely Long Csp ³ -Csp ³ Single Bonds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1385 ~ 1393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200374	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 Ishigaki Yusuke, Harimoto Takashi, Sugawara Kazuma, Suzuki Takanori	4. 巻 143
2. 論文標題 Hysteretic Three-State Redox Interconversion among Zigzag Bisquinodimethanes with Non-fused Benzene Rings and Twisted Tetra-/Dications with [5]/[3]Acenes Exhibiting Near-Infrared Absorptions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3306 ~ 3311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c00189	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 Ishigaki Yusuke, Asai Kota, Rouville Henri Pierre Jacquot, Shimajiri Takuya, Heitz Valerie, Fujii Shinomiya Hiroshi, Suzuki Takanori	4. 巻 2021
2. 論文標題 Molecular Recognition by Chalcogen Bond: Selective Charge Transfer Crystal Formation of Dimethylnaphthalene with Selenadiazolotetracyanonaphthoquinodimethane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 990 ~ 997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.202001554	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 Ishigaki Yusuke, Asai Kota, Shimajiri Takuya, Akutagawa Tomoyuki, Fukushima Takanori, Suzuki Takanori	4. 巻 3
2. 論文標題 Chalcogen Bond versus Weak Hydrogen Bond: Changing Contributions in Determining the Crystal Packing of [1,2,5]-Chalcogenadiazole-Fused Tetracyanonaphthoquinodimethanes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic Materials	6. 最初と最後の頁 090 ~ 096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0041-1725046	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 Ishigaki Yusuke, Asai Kota, Shimajiri Takuya, Suzuki Takanori	4. 巻 50
2. 論文標題 [1,2,5]Chalcogenadiazole-fused Dicyanonaphthoquinodiimines: Larger Contribution from Chalcogen Bond than Weak Hydrogen Bond in Determining Crystal Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1184 ~ 1187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210095	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 Ishigaki Yusuke	4. 巻 79
2. 論文標題 Redox-active and Highly Strained Hydrocarbons: Control of HOMO Levels Based on Flexibility of Covalent Bonds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan	6. 最初と最後の頁 290 ~ 299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.79.290	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 Ishigaki Yusuke, Sugawara Kazuma, Yoshida Masaki, Kato Masako, Suzuki Takanori	4. 巻 92
2. 論文標題 Two-Way Chromic Systems Based on Tetraarylanthraquinodimethanes: Electrochromism in Solution and Mechanofluorochromism in a Solid State	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 1211 ~ 1217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190094	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 Ishigaki Yusuke, Hayashi Yuki, Suzuki Takanori	4. 巻 141
2. 論文標題 Photo- and Thermal Interconversion of Multiconfigurational Strained Hydrocarbons Exhibiting Completely Switchable Oxidation to Stable Dicationic Dyes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 18293 ~ 18300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b09646	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 Suzuki Takanori, Sugawara Kazuma, Nojo Wataru, Ishigaki Yusuke, Ohkanda Junko	4. 巻 101
2. 論文標題 A Novel Condensed Heterocyclic Quinone with a Dibenzofuranobisthiadiazole Skeleton	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 HETEROCYCLES	6. 最初と最後の頁 99 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/COM-19-S(F)7	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 Ishigaki Yusuke, Hashimoto Takumi, Sugawara Kazuma, Suzuki Shuichi, Suzuki Takanori	4. 巻 59
2. 論文標題 Switching of Redox Properties Triggered by a Thermal Equilibrium between Closed Shell Folded and Open Shell Twisted Species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6581 ~ 6584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201916089	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 Ishigaki Yusuke, Harimoto Takashi, Sugimoto Keisuke, Wu Luyan, Zeng Wenhui, Ye Deju, Suzuki Takanori	4. 巻 15
2. 論文標題 Hexaarylbutadiene: A Versatile Scaffold with Tunable Redox Properties towards Organic Near Infrared Electrochromic Material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1147 ~ 1155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201901816	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41件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 石垣侑祐, 林裕貴, 鈴木孝紀
2. 発表標題 高歪炭化水素の光ノ熱異性化に基づく酸化特性スイッチング
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Shimajiri, T. Suzuki, Y. Ishigaki
2. 発表標題 Reversible expansion and contraction of an extremely elongated C-C bond accompanied by switching of HOMO level triggered by external stimuli
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐
2. 発表標題 光による分子構造制御と新奇応答機能
3. 学会等名 第7回"光"機到来! Qコロキウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐, 橋本拓実, 菅原一真, 鈴木修一, 鈴木孝紀
2. 発表標題 テトラチエニルアントラキノジメタン誘導体の熱平衡に基づく酸化特性スイッチング
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐, 浅井航太, Henri-Pierre Jacquot de Rouville, Valerie Heitz, 鈴木孝紀
2. 発表標題 カルコゲナジアゾール縮環型キノジメタン誘導体の構築と応答挙動
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐, 田方雅樹, 鈴木孝紀
2. 発表標題 ヘテロ原子で架橋したジカチオンの構築とレドックス特性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥尻拓哉, 鈴木孝紀, 石垣侑祐
2. 発表標題 分子内コア - シェル型高歪化合物 : C-C単結合の限界への挑戦とその柔軟性に基づく可逆的な結合の伸長・収縮の実現
3. 学会等名 第30回万有福岡シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Hayashi, Y. Ishigaki, T. Suzuki
2. 発表標題 Completely selective oxidation enabled by photo- and thermal isomerization of highly strained hydrocarbons
3. 学会等名 The 11th CSE International Autumn School & The 8th ALP International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Sugawara, Y. Ishigaki, T. Suzuki
2. 発表標題 Polyaryl-substituted 1,4,5,8-tetraaza-9,10-anthraquinodimethane derivatives forming conformational polymorphs
3. 学会等名 The 11th CSE International Autumn School & The 8th ALP International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ishigaki
2. 発表標題 Highly Strained Compounds: Switchable Redox Properties and Flexible C-C bonds
3. 学会等名 Joint Symposium of School of Science & WPI-ICReDD in Hokkaido Univ. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林裕貴, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 "光/熱" 駆動型分子スイッチの構築: 酸化特性のON/OFF制御による選択的酸化の実現
3. 学会等名 第32回万有札幌シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐, 齋藤知佳, 菅原一真, 橋本拓実, 島尻拓哉, 鈴木孝紀
2. 発表標題 メトキシフェニルチエニル基を有する酸化還元系分子の構築と応答挙動
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣侑祐, 田所朋樹, 林裕貴, 鈴木孝紀
2. 発表標題 非対称超混雑エチレン類の構築: 光/熱異性化による酸化特性変化の起源解明
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣侑祐, 波田和人, 島尻拓哉, 鈴木孝紀
2. 発表標題 新規コア-シェル型化合物: シェルの修飾による極度に伸長したC-C単結合の創出
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣侑祐, 深川麗奈, 菅原一真, 鈴木孝紀
2. 発表標題 二種のアリール基を導入したアントラキノジメタン誘導体の酸化還元挙動
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣侑祐, 田方雅樹, 鈴木孝紀
2. 発表標題 ジベンゾオキセピン / チエピン骨格を有するジカチオンの構築とその応答挙動
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅原一真, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 柔軟なポリアリールキノジメタン誘導体：複数の立体構造を示す結晶多形
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Shimajiri, T. Suzuki, Y. Ishigaki
2. 発表標題 Discovery of Flexible C-C Bond: Reversible Expansion and Contraction of an Extremely Elongated C-C Single Bond
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, T. Shimajiri, T. Suzuki
2. 発表標題 Hyper covalent bond in highly strained hydrocarbon: an expandable C-C single bond with a bond length beyond 1.8 angstrom
3. 学会等名 14th International Symposium on Functional -Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, Y. Hayashi, T. Suzuki
2. 発表標題 Reversible switching of oxidative properties of overcrowded ethylenes by photo- and thermal isomerization between syn/anti-folded isomers
3. 学会等名 14th International Symposium on Functional -Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島尻拓哉, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 分子内コア - シェル型高歪化合物 : C-C 単結合の限界への挑戦
3. 学会等名 第31回万有札幌シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, Y. Hayashi, T. Suzuki
2. 発表標題 Controllable oxidative properties between syn/anti-folded isomers switched by photo- and thermal isomerization
3. 学会等名 The 10th CSE-ALP International Summer School (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, K. Sugawara, T. Suzuki
2. 発表標題 Two-way Chromic Systems Based on Tetraarylanthraquinodimethanes
3. 学会等名 CSE international student symposium 2019 (2nd Asian-French Workshop on Polymer Science) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, K. Sugawara, T. Suzuki
2. 発表標題 Tetraarylanthraquinodimethanes exhibiting electrochromism in solution and mechanofluorochromism in solid state
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, Y. Hayashi, T. Suzuki
2. 発表標題 Molecular Switches with Controllable Oxidative Properties Triggered by Light and Heat
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shimajiri, Y. Ishigaki, T. Suzuki
2. 発表標題 Hyper Covalent Bond with a Bond Length beyond 1.8 Angstrom in a Highly Strained Aromatic Hydrocarbon
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石垣侑祐, 橋本拓実, 菅原一真, 鈴木孝紀
2. 発表標題 アントラキノジメタン誘導体の構造変化に基づく酸化特性制御
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石垣侑祐, 張本尚, 杉本佳亮, 菅原一真, 鈴木孝紀
2. 発表標題 共役ジエン型電子供与体と近赤外吸収を有するジカチオンとの酸化還元応答
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島尻拓哉, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 極度に長い結合を有する高歪化合物の分子内光環化反応を鍵とする多段階構造制御
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石垣侑祐, 林裕貴, 鈴木孝紀
2. 発表標題 新規高歪み炭化水素の光熱異性化に基づく酸化特性の可逆的スイッチング
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, T. Harimoto, K. Sugimoto, T. Suzuki
2. 発表標題 Fine-tuning of Redox Properties of 1,3-Diene-type Electron Donors and Corresponding Dications with NIR Absorption
3. 学会等名 The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ishigaki, Y. Hayashi, T. Suzuki
2. 発表標題 Reversible ON/OFF switching of oxidative properties by photo- and thermal interconversion between configurational isomers of strained hydrocarbons
3. 学会等名 The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sugawara, Y. Ishigaki, T. Suzuki
2. 発表標題 Tetraarylanthraquinodimethane-type redox systems exhibiting different chromism in solution and in a solid state
3. 学会等名 The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shimajiri, Y. Ishigaki, T. Suzuki
2. 発表標題 Reversible Expansion and Contraction of an Extremely Elongated Csp ³ -Csp ³ Single Bond Based on Photo- and Thermal Isomerization of Highly Strained Hydrocarbons
3. 学会等名 The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石垣侑祐
2. 発表標題 高歪化合物の特異な立体構造に基づく機能創出
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2019年冬季研究発表会 (北海道支部奨励賞受賞講演) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐
2. 発表標題 高歪み化合物に基づく超結合の創出と異性化を鍵とする応答制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会（第34回若い世代の特別講演会）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石垣侑祐, 橋本拓実, 菅原一真, 鈴木修一, 鈴木孝紀
2. 発表標題 テトラチエニルアントラキノジメタン誘導体の閉殻/開殻スイッチングに基づく応答挙動
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 石垣侑祐, 立花拓哉, 鈴木孝紀
2. 発表標題 ピストリアリアルメチリウム型大環状ジカチオンの構築と応答挙動
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 石垣侑祐, 林裕貴, 若森晋之介, 山田英俊, 鈴木孝紀
2. 発表標題 [C-H...C+]架橋型カチオンの1,6-ヒドリドシフトに基づく異性化応答
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 菅原一真, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 ポリアリールテトラアザントラキノジメタン誘導体の結晶多形と立体配置
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 菅原一真, 石垣侑祐, 鈴木孝紀
2. 発表標題 新規テトラアザントラキノジメタン誘導体の構築
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〕

-

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			
フランス	ストラスブール大学			
中国	南京大学			