

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02721

研究課題名(和文)芳香環ナノアーキテクト：パイ共役系の創る構造と空間の設計と機能への展開

研究課題名(英文) Aromatic architect: design of structures and spaces created by pi-conjugated systems and developments of their functions

研究代表者

豊田 真司 (Toyota, Shinji)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：80207646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：芳香環を組み合わせて分子構造や空間を自在に設計し、新しい化学物質を創製する「芳香環ナノアーキテクト」の発想に基づき、大環状およびらせん形パイ共役系化合物を対象として研究を行った。

大環状化合物については、種々のアントラセンユニットを用いてリングおよびケージ形分子を合成した。リングよりケージの方がフルレングエストを強く包接すること、ケージ中でゲスト分子が回転挙動を示すことを明らかにした。らせん形化合物については、新規拡張ヘリセン誘導体として、最高5個のアントラセンを縮合した化合物を合成し、構造と物性を調べた。一部の誘導体のエナンチオマーを分割し、特異なキラル光学特性を示すことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大環状化合物では、芳香族ユニットからなるリングやケージが炭素に結合した水素とパイ電子間の相互作用を推進力としてフルレングエストを包接することを明らかにした。らせん化合物では、高度に巻いた拡張ヘリセン誘導体の合成およびエナンチオマーの分割に成功した。これらの成果は構造有機化学や超分子化学の分野において、グラフェン関連の多環式芳香族化合物の構造や物性を理解するために学術的に重要であり、新しい分子設計の指針を示したものとして意義がある。

研究成果の概要(英文)：We studied macrocyclic and helical-shaped pi-conjugated compounds based on the concept of "aromatic architect," to create new chemical substances by designing structures and spaces from aromatic units.

For the macrocyclic compounds, ring and cage molecules were synthesized using various anthracene units. We revealed that the cages included fullerene guests more strongly than the rings, and that the guest molecules exhibited rotational behavior in the cages. For the helical compounds, novel expanded helicenes were synthesized by fusing up to five anthracene units, and their structures and properties were investigated. The enantiomers of some derivatives were resolved, and showed characteristic chiroptical properties.

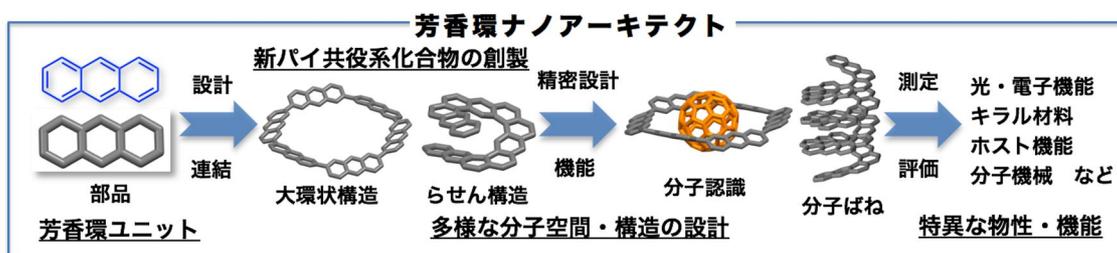
研究分野：構造有機化学

キーワード：芳香環 構造空間設計 大環状分子 らせん分子 パイ共役系化合物 ホスト-ゲスト ケージ分子 キラル光学特性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

芳香族化学の分野では、分子構造を精密設計することにより様々な電子状態や性質をもつパイ共役系を構築することができる。とくに、シクロパラフェニレン(CPP)<sup>[1]</sup>に代表されるように、多数の単純な芳香族ユニットを連結したオリゴアレーンは、構造や物性の観点から芳香族化学における魅力的な研究対象である。本課題の研究代表者は、『芳香環ナノアーキテクトすなわち『建築家のように化学者が芳香環の部品を組み合わせてナノスケールで分子の構造や空間を自在に設計し、新しい化学物質を創製する』という基本指針に沿って、実験・理論の両面からパイ共役系化合物の研究を推進してきた。例えば、芳香環ユニットとしてアントラセンを用いて内部に空間をもつ大環状化合物を組み立て、球状のフラレン分子を包接することに成功した<sup>[2]</sup>。また、複数のアントラセンを連続的に縮合することにより、らせん形構造をもつ新規パイ共役系化合物の合成に成功していた。これらの化合物は、従来のヘリセンより径が大きい拡張ヘリセンとして研究の発展が期待されていた。<sup>[3]</sup>このような背景から、芳香環ナノアーキテクトの発想に基づいて新パイ共役系の創る構造と空間を設計し、分子認識、キラリティーを鍵とした機能への展開を目指す研究を開始した。



### 2. 研究の目的

本研究課題では、アントラセンなどの芳香環を連結および縮合することにより、特異な構造や空間をもつ大環状化合物およびらせん形化合物を設計し、新規パイ共役系化合物を創製することを目的とした。設計した化合物を実際に合成し性質や機能を調べることにより、分子構造や電子状態に由来する特徴的な性質を明らかにし、ホスト分子、分子機械、光・電子およびキラル材料などとしての機能探索へと研究を展開する。

大環状化合物については、芳香環を環状に集合することにより、内部空孔の大きさを精密に制御したリングやケージなどの大環状化合物を設計する。構造修飾により多様な大環状化合物を合成し、フラレンなどのゲスト分子との包接現象を調べる。

らせん形化合物については、芳香環を縮合することによりらせん構造をもつパイ共役系化合物を設計する。ねじれたグラフェンのモデル化合物として、キラリティーおよび分子ばねとしての特異な構造や性質を実現する。

### 3. 研究の方法

まず上記の目的を達成するために、標的の大環状化合物およびらせん形化合物を分子設計する。これらの化合物を実際に合成し、分子構造や性質を NMR、X 線構造解析、紫外・可視および蛍光スペクトルなどの測定により明らかにする。ホスト-ゲスト化学については、超分子化学で一般的に使われる手法で、会合比や定数を決定する。キラルな化合物については、キラル HPLC でエナンチオマーを分割し、円二色性(CD)および円偏光発光(CPL)スペクトルによりキラル光学特性を評価する。研究全般において量子化学計算を活用し、密度汎関数法(DFT)による計算で分子構造や電子状態を解析する。

### 4. 研究成果

#### 4.1. 芳香環の集合による大環状分子の設計

目的の大環状化合物を合成するためには、2,7-ジブromoアントラセンユニットを効率的に調製する必要がある。また、最終化合物の溶解性や安定性を向上するために、かさ高い置換基を導入することが必須である。従来はアントロン誘導体を経由して9-アリール体 **1** を調製してきたが、多段階で低収率のためこの方法を改善した。その結果、芳香環の Hartwig-Miyaura 直接ホウ素化と CuBr を用いた脱ホウ素臭素化により、**2** から 4,5-ジアリール体 **3** を短工程で効率的に調製することに成功した(Figure 1)。<sup>[4]</sup>

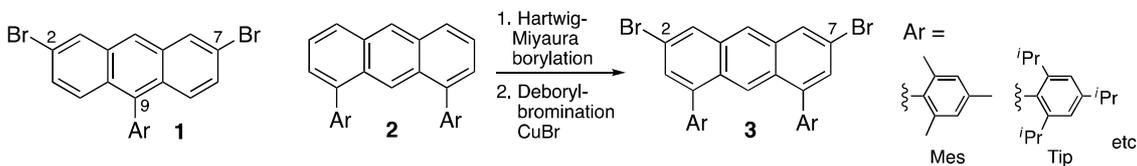


Figure 1. Building units for synthesis of macrocyclic rings and cages.

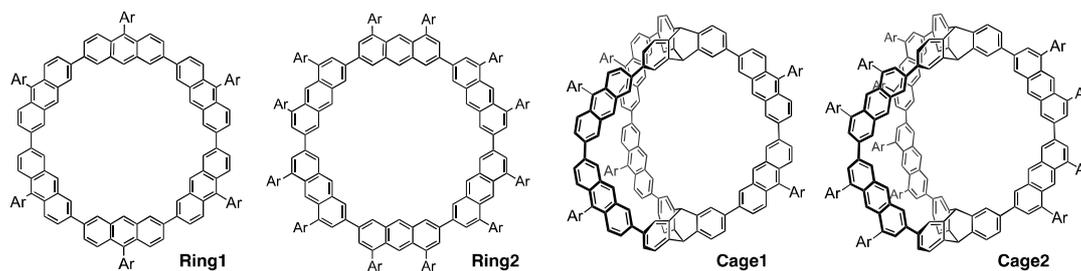


Figure 2. Structures of target macrocyclic rings and cages.

このようにして得られたユニットに対して  $\text{Ni}(\text{cod})_2$  を用いた Yamamoto カップリングを行い、リングの合成を試みた。上記の方法で調製した数種類の **3** を用いて **Ring2** を合成したところ、**Ring1** (Ar = Tip) の場合と異なり、カップリング生成物は非常に溶解性が低く単離・精製することができなかった (Figure 2)。

次に、リングより強くフラレンゲストと会合するホストとして、より多くの内側に向けた水素原子をもつケージ分子を設計した。アントラセン **1** または **2** とトリプチセンユニットをカップリング反応で連結し、**Cage1** と **Cage2** (Ar = Mes) をそれぞれ合成した。**Cage1** は  $\text{C}_{60}$  を包接し、蛍光スペクトルを用いた滴定測定により、会合定数を  $1.3 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1}$  (298 K) と決定した。<sup>[5]</sup> この会合定数は **Ring1** の場合の約6倍である。

**Cage2** も  $\text{C}_{60}$  を強く包接し、錯体の構造を X 線構造解析で決定した (Figure 3)。<sup>[4]</sup> この結晶中では、ケージ内に包接された  $\text{C}_{60}$  分子が、一定の方向に回転しやすい挙動を示すことを明らかにした。**Cage2** については、電子的性質が異なる3種類の置換基 Ar をもつ誘導体を合成し、 $\text{C}_{60}$  との会合に及ぼす置換基効果を調べた。

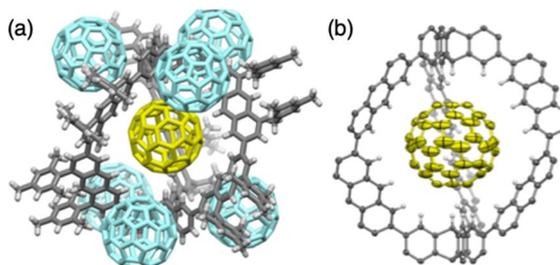


Figure 3. X-ray structures of **Cage2**: $\text{C}_{60}$  complex: (a) full structure and (b) partial structure with thermal ellipsoids.

類似のリング分子として、アントラセンと同じ形状をもつ含窒素芳香族ユニットであるアクリドンを用いて、環状6量体を段階的な経路で合成した。<sup>[6]</sup> この大環状化合物は非常に溶解性が低く、フラレンなどとの会合を確認することはできなかった。

#### 4.2. 芳香環の縮合による新規らせん分子の設計

アントラセン縮合型の拡張ヘリセンとして、 $n$  個のアントラセンがらせん形に縮合した **[n]HA** を設計した (Figure 4)。まず、基本化合物として3個のアントラセンが縮合した **[3]HA** を合成した。<sup>[7]</sup> アントラセンとエチルベンゼンユニットを連結し、 $\text{PtCl}_2$  触媒を用いて末端アルキン **4** を環状異性化すると目的化合物が得られた。**[3]HA** は立体障害により非平面のらせん構造をもつものの、らせん反転によるラセミ化は非常に速く進行する。そこで、末端ベンゼン環の内側 1,19 位に2つのフェニル(Ph)基を導入した **[3]HA** を合成したところ、立体障害によりラセミ化が遅くなり、キラル HPLC でらせんの巻き方が異なる *P* 体と *M* 体のエナンチオマーが分割できた。これらのエナンチオマーは CD および CPL スペクトルで強いキラル光学特性を示した。とくに CPL の強度の指標である非対称因子  $|g_{\text{lum}}|$  は 0.013 であり、単純な有機化合物として非常に大きい値を示した。**[3]HA** の Ph 置換体の他に、3種類のかさ高い置換基 (Mes, Tip,  $\text{C}_6\text{F}_5$ ) をもつ誘導体を合成し、立体障害を利用してらせん構造を軸方向に伸長することができた。<sup>[8]</sup>

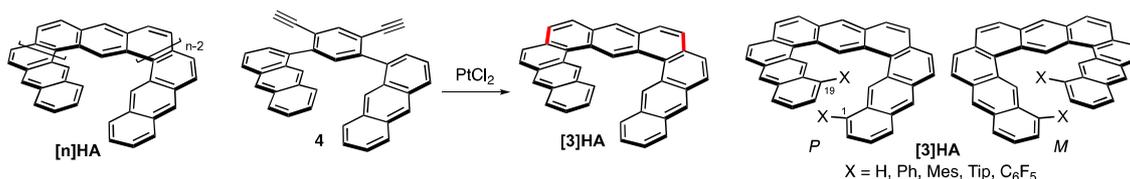


Figure 4. Structures and synthesis of helically fused anthracenes **[n]HA**.

同様な合成法により、さらに長い拡張ヘリセンである[4]HA と[5]HA を合成した(Figure 5)。<sup>[9]</sup> これらの化合物もらせん構造もち、巻数が1を超えるため芳香環どうしのスタッキングが見られた。それを反映して、[3]HA とは対照的に、[4]HA と[5]HA の蛍光スペクトルではエキシマー型の幅広い発光が観測された。DFT 計算によると、巻数が大きいにも関わらず、これらの化合物のらせん反転の障壁(約 100 kJ mol<sup>-1</sup>)は十分に高くないため、エナンチオマーの分割は困難であることが示唆された。また、[4]HA の蛍光スペクトルをトルエン中、静水圧化(320 MPa)で測定すると、発光の変化が観測された。<sup>[10]</sup> この結果は、高压化で励起光により光[4+4]環状付加が誘起されたことによるものであり、[4]HA は圧力の外部刺激に応答するセンシングに利用できる可能性を示す。

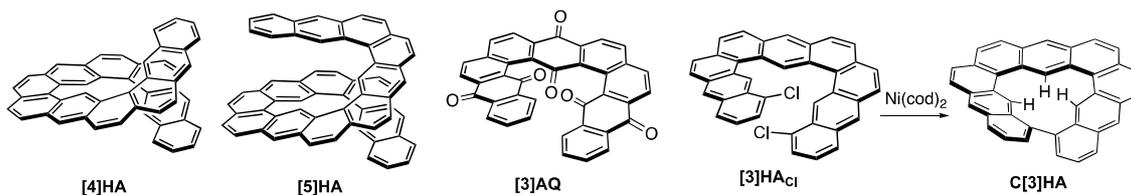


Figure 5. Structures of helically fused anthracenes [n]HA and related compounds.

合成した[n]HA を用いて、いくつかの誘導体を合成した(Figure 5)。[3]HA を酸化すると、各アントラセン部分がアントラキノンに変換したケトン[3]AQ が得られた。<sup>[11]</sup> X 線構造解析および DFT 計算によると、分子中では内側の 3 つのカルボニル基が非常に接近している。これらの間に働く相互作用を、非結合性相互作用(NCI)プロットなどの理論的方法により評価した。また、末端ベンゼン環の内側にクロロ基をもつ[3]HA-Cl を用いて Yamamoto カップリングを行うと、分子内環化生成物 C[3]HA が得られた。<sup>[12]</sup> この分子は内側の水素原子が非常に密集した構造をもち、NMR や IR スペクトルで異常な環境が確認された。

上記の大環状化合物とらせん形化合物の他に、4 つのアントラセンが密集した炭化水素、<sup>[13]</sup> アントラセンを組み込んだプロペラ形分子、<sup>[14]</sup> アントラセンを先端部にもつ分子ピンセット<sup>[15]</sup> を合成し、構造、性質および分子集合能を研究した。

このように、芳香環ユニットを多様な方法で組み合わせることにより、2 系列の化合物を設計し、特異な構造や性質をもつ一連の化合物を合成した。これらの化合物についての研究成果は、構造有機化学や超分子化学の分野において、多環式芳香族化合物の構造や物性を理解するために学術的に重要であり、機能材料への展開も視野に入れて新しい分子設計の指針を示したものとして意義がある。本課題の研究は、主に研究代表者の研究室で行われたものであり、多くの大学院生・学部生や学内、学外の研究者の協力を得て行われた。

## References

- [1] 代表的な総説 S.E. Lewis, *Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 2221.
- [2] Y. Yamamoto, E. Tsurumaki, K. Wakamatsu, S. Toyota, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 8199.
- [3] 例えば G. R. Kiel, S. C. Patel, P. W. Smith, D. S. Levine, T. D. Tilley, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 18456; Y. Nakakuki, T. Hirose, K. Matsuda, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 15461.
- [4] T. Mitani, E. Tsurumaki, S. Toyota, *Chem. Eur. J.* **2023**, *29*, e202203462.
- [5] K. Kajiyama, E. Tsurumaki, K. Wakamatsu, G. Fukuhara, S. Toyota, *ChemPlusChem* **2021**, *86*, 716.
- [6] T. Komori, E. Tsurumaki, S. Toyota, *Asian J. Org. Chem.* **2022**, *11*, e202200508.
- [7] K. Fujise, E. Tsurumaki, G. Fukuhara, N. Hara, Y. Imai, S. Toyota, *Chem. Asian J.* **2020**, *15*, 2456.
- [8] K. Suzuki, E. Tsurumaki, S. Toyota, *et al. Tetrahedron* **2023**, *132*, 133243.
- [9] K. Fujise, E. Tsurumaki, K. Wakamatsu, S. Toyota, *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 4548.
- [10] T. Kinoshita, K. Fujise, E. Tsurumaki, S. Toyota, G. Fukuhara, *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 3290.
- [11] K. Morioka, K. Wakamatsu, E. Tsurumaki, S. Toyota, *Chem. Eur. J.* **2022**, *28*, e202103694.
- [12] H. Fukuda, E. Tsurumaki, K. Wakamatsu, S. Toyota, unpublished.
- [13] S. Aoki, E. Tsurumaki, S. Toyota, *et al. ChemPlusChem* **2022**, *87*, e202100447.
- [14] S. Fukamizo, H. Ikeda, E. Tsurumaki, S. Toyota, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2022**, *95*, 652.
- [15] Y. Sawanaka, M. Yamashina, H. Ohtsu, S. Toyota, *Nat. Commun.* **2022**, *13*, 5648.

## 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 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shun Fukamizo, Hiroshi Ikeda, Eiji Tsurumaki, Shinji Toyota	4. 巻 95
2. 論文標題 An Alternative Synthesis of Tribenzodecacyclenes and Experimental Barrier to Propeller Inversion	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 652-656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220015	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 Yuta Sawanaka, Masahiro Yamashina, Hiroyoshi Ohtsu, and Shinji Toyota	4. 巻 13
2. 論文標題 A Self-Complementary Macrocyclic System by a Dual Interaction System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-02233357-y	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 Takashi Komori, Eiji Tsurumaki, Shinji Toyota	4. 巻 11
2. 論文標題 Iterative synthesis, structures, and properties of acyclic and cyclic acridone oligomers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202200508	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 Takashi Komori, Eiji Tsurumaki, Shinji Toyota	4. 巻 17
2. 論文標題 Synthesis, structures, and complexation with phenolic guests of acridone incorporated arylene-ethynylene macrocyclic compounds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Asian Journal	6. 最初と最後の頁 e202201003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202201003	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 Takuji Mitani, Eiji Tsurumaki, Shinji Toyota	4. 巻 29
2. 論文標題 Structures and Supramolecular Properties of Inclusion Complexes of Anthracene-Triptycene Nanocages with Fullerene Guests and Their Dynamic Motion as Molecular Gyroscopes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry European Journal	6. 最初と最後の頁 e202203462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202203462	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 Kenta Suzuki, Hiroki Fukuda, Hayato Toda, Yoshitane Imai, Yuki Nojima, Masashi Hasegawa, Eiji Tsurumaki, Shinji Toyota	4. 巻 132
2. 論文標題 Substituent effects on helical structures and chiroptical properties of fused anthracenes with bulky phenyl groups	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 133243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tet.2022.133243	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 Aoki Shu, Tsurumaki Eiji, Yamashina Masahiro, Wakamatsu Kan, Toyota Shinji	4. 巻 87
2. 論文標題 Structure and Photophysical Properties of 1,1,2,2 Tetra(1 anthryl)ethane: A C(sp <sup>3</sup> )-C(sp <sup>3</sup> ) Bond Substituted with Four Anthracene Units	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202100447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202100447	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 Morioka Kozue, Wakamatsu Kan, Tsurumaki Eiji, Toyota Shinji	4. 巻 28
2. 論文標題 Synthesis, Structures, and Properties of Helically Fused Anthraquinones with Unusually Close Carbonyl Carbonyl Contacts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202103694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202103694	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 Kinoshita Tomokazu, Fujise Kei, Tsurumaki Eiji, Toyota Shinji, Fukuhara Gaku	4. 巻 58
2. 論文標題 A pressure-induced ratiometric signalling chemosensor: a case of helical anthracenes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3290 ~ 3293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC00428C	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 Fujise Kei, Tsurumaki Eiji, Fukuhara Gaku, Hara Nobuyuki, Imai Yoshitane, Toyota Shinji	4. 巻 15
2. 論文標題 Multiple Fused Anthracenes as Helical Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Motif for Chiroptical Performance Enhancement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2456 ~ 2461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202000394	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 Fujise Kei, Tsurumaki Eiji, Wakamatsu Kan, Toyota Shinji	4. 巻 27
2. 論文標題 Construction of Helical Structures with Multiple Fused Anthracenes: Structures and Properties of Long Expanded Helicenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 4548 ~ 4552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202004720	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 Kajiyama Kazuki, Tsurumaki Eiji, Wakamatsu Kan, Fukuhara Gaku, Toyota Shinji	4. 巻 86
2. 論文標題 Complexation of an Anthracene Triptycene Nanocage Host with Fullerene Guests through CH... Contacts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 716 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202000816	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28件(うち招待講演 3件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 三谷 拓示・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 アントラセンとトリプチセンで構築した大環状ケージ化合物とフラレン類の錯体形成
3. 学会等名 第19回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下 智和・藤瀬 圭・鶴巻 英治・豊田 真司・福原 学
2. 発表標題 アントラセン縮合ヘリセンの分子内相互作用を利用した感圧応答化学センサーの構築
3. 学会等名 第19回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eiji Tsurumaki, Kei Fujise, Kenta Suzuki, Shinji Toyota
2. 発表標題 Synthesis, Structure, and Chiroptical Properties of Triangular-shaped $\pi$ -Expanded Helicenes
3. 学会等名 The 19th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三谷 拓示・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 アントラセンとトリプチセンで構築した大環状ナノケージによるフラレン類の錯形成と内包ゲストの動的挙動
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田 大輝・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 異常接近した水素原子をもつ分子内環化らせん形縮合アントラセンの合成と構造
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三谷 拓示・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 ジフェニルアセチレンで連結したトリプチセンケージの合成とアセン類の包接
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田 真司
2. 発表標題 アントラセンで構築する構造と空間の設計：立体化学から超分子化学まで
3. 学会等名 日本化学会東海地区化学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田 真司
2. 発表標題 芳香環で構築する構造と空間の設計と機能への展開
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田 大輝・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 分子内環化らせん形縮合アントラセンの構造と分光学的性質：水素原子の異常接近と立体圧縮の評価
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木原 丈裕・城 思穂・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 アントラセンをm-フェニレンで架橋した大環状オリゴアレーンの合成と性質
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三谷 拓示・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 トリプチセンを基盤とするケージ形化合物の構造および芳香族ゲストの包接
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本山 健瑠・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 ジベンゾアントラセンを基本ユニットとしたパイ共役系大環状化合物の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原 宗康・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 ジヒドロアントラセンを組み込んだ環状オリゴフェニレンの構造と性質
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 颯汰・鶴巻 英治・山科 雅裕・豊田 真司
2. 発表標題 ピアントリル配位子を有する配位結合ケージ：側鎖の立体効果に基づく集合構造制御と分子内包能評価
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 公太・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 らせん形縮合アントラセンの二量化とピアリール生成物の構造と性質
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福田 大輝・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 高度に伸長したアントラセン縮合型拡張ヘリセンの合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三谷 拓示・鶴巻 英治・豊田 真司
2. 発表標題 トリプチセン-ジフェニルアセチレン大環状ケージ化合物の合成と芳香族ゲストとの錯形成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三谷拓示・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを基盤とした大環状ケージ化合物の合成と性質
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小森隆史・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 アクリドンユニットを組み込んだ新奇パイ共役大環状化合物の合成と構造
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木健太・藤瀬圭・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 らせん形アントラセン縮合化合物の合成と構造と性質に及ぼす置換基効果
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤中祐太・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンをアームに持つ分子ピンセット：水素結合を駆動とした会合と包接挙動
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Toyota
2. 発表標題 Novel structures and properties of assembled and fused anthracenes
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三谷拓示・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを基盤とした大環状ケージ化合物の合成とフラレンとの錯体形成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 城忠穂・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 1,3-フェニレンで架橋した2,7-二置換アントラセン大環状化合物の合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田大輝・鈴木健太・鶴巻英治・豊田真司
2. 発表標題 らせん形縮合アントラセンの分子内カップリングによる新規環状化合物の合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤中祐太・山科雅裕・豊田真司
2. 発表標題 アントラセンを有する分子ピンセット：相補的相互作用に基づく自己集合環状六量体の構築
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森岡 梢、豊田 真司、鶴巻 英治、藤瀬 圭
2. 発表標題 複数のアントラキノンが縮合したらせん形芳香族ケトンの合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小森 隆史，豊田 真司
2. 発表標題 カップリング反応によるアクリドン鎖状オリゴマーの合成と大環状化
3. 学会等名 第14回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ  
<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~toyota/>  
東京工業大学最新研究成果記事（プレスリリース）  
<https://www.titech.ac.jp/news/2021/048942>  
東京工業大学最新研究成果記事（プレスリリース）  
<https://www.titech.ac.jp/news/2022/065059>  
JST Science Japan記事  
<https://sj.jst.go.jp/news/202104/n0427-03k.html>

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
研究協力者	鶴巻 英治  (Tsurumaki Eiji)		
研究協力者	山科 雅裕  (Yamashina Masahiro)		
研究協力者	若松 寛  (Wakamatsu Kan)		
研究協力者	長谷川 真士  (Hasegawa Masashi)		
研究協力者	今井 喜胤  (Imai Yoshitane)		

## 6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	福原 学  (Fukuhara Gaku)		
研究協力者	池田 宏  (Ikeda Hiroshi)		
研究協力者	三谷 拓示  (Mitani Takuji)		
研究協力者	藤瀬 圭  (Fujise Kei)		
研究協力者	梶山 一輝  (Kajiyama Kazuki)		
研究協力者	鈴木 健太  (Suzuki Kenta)		
研究協力者	森岡 梢  (Morioka Kozue)		
研究協力者	福田 大輝  (Fukuda Hiroki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	小森 隆史  (Komori Takashi)		
研究協力者	澤中 祐太  (Sawanaka Yuta)		
研究協力者	青木 宗  (Aoki Shu)		
研究協力者	深溝 舜  (Fukamizo Shun)		

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