

令和元年6月14日現在

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26102008

研究課題名(和文)大規模分子集積化による巨視的造形システム

研究課題名(英文)Functional Pi-Assembly Figuration by Macroscopic Control of Structural Order

研究代表者

福島 孝典(Fukushima, Takanori)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：70281970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 149,080,000円

研究成果の概要(和文)：大規模分子集積化によるシステム造形を目指した本研究を通じて、数ミリ～センチメートルスケールの超長距離構造秩序を発現する三種類のシステムを見出した。これらに関する詳細な検討から、配向が完全に制御された有機薄膜の創製と応用、単結晶様の三次元構造秩序を有しつつ流動性も示すという物質の発見、キラリティーにより制御される分子のマクロスコピックな集団運動の実証、新しい構造形態を有しかつ構造秩序の次元性を損なわずに相転移する物質の発見、強磁場による反磁性ソフトマター相図の書き換え現象の発見など、数々の顕著な成果が得られた。ワンポット合成により、巨大な電子系分子システムを構築する新反応も見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに実現が困難であった超長距離構造秩序を示す分子集合体の発見は、有機物系の応用において要求されている「ナノとマクロを繋ぐ物質設計戦略」に一つの解決策を与えるものと考えられる。本研究成果は、学術的に価値が高いと考えられるが、トリプチセン系においては有機トランジスタの高性能化技術や固体表面の修飾技術としても研究が発展しており、将来的には社会実装される可能性も見えてきた。単結晶様の構造規則性と流動性を併せ持つ新物質や、強磁場による相図の書き換え現象は、化学や物質科学ばかりでなく物理学の観点からみても新しい事象の発見といえ、広く基礎科学的知見の発展をもたらす成果として位置付けられる。

研究成果の概要(英文)：Through this research, we found three types of self-assembly systems that exhibit ultra-long-range structural order at several millimeters to centimeters length scales. Based on detailed studies on these systems, we have demonstrated (1) the fabrication and applications of completely oriented organic thin films with completely controlled molecular orientation, (2) the discovery of a material that shows fluidity while having single crystal-like three-dimensional structural order and macroscopic collective molecular motion controlled by chirality, (3) the discovery of a material featuring a new structural form, which undergoes phase-transition without losing the dimensionality of structural order, and (4) the discovery of a new phenomenon that magnetic field can change the phase diagram of a diamagnetic molecular assembly. Along with these works, we successfully developed a new organic reaction capable of constructing a large -electronic system.

研究分野：電子系化学

キーワード：電子系化学 自己集合化 ソフトマテリアル 有機薄膜 有機エレクトロニクス

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

凝縮系で発現する分子機能は、構成分子の性質に加え、集合状態における配向や配列に支配される。超分子化学の発展により、ナノからサブミクロンスケールの集合体をボトムアップ的に設計することが可能になってきた。一方、巨視的スケールにおいて、分子配向・配列を精密に制御して集積化することは、未だ極めて困難である。ドメイン境界や欠陥を含まない構造完全性をもって、大規模な分子集積化を実現するには、核形成・成長の制御、構造の自己修復性の付与、エントロピーの補償など、多くの問題を克服する手法を考案しなければならない。事実、機能物質開発に携わる化学者らは、「ナノとマクロをつなぐ」というキーワードを共通に認識し、その方法論の開拓に精力的に取り組んでいる。しかし未だ有効な解決策は見出されていない。特に、分子の構造は、原子とは異なり常に異方的である。それゆえ、分子に備わっている性質も必ず異方性をもつ。分子の異方的性質を集約し、機能を最大限引き出すには、高度に異方的な構造を大面積で実現することが不可欠である。本研究では、その方法論の確立と大規模分子集合体の織りなす新現象・新機能の探求を目指し、様々な π 共役系化合物の合成および構造・機能の評価を行った。

2. 研究の目的

本研究では、独自に設計した二次元集合化能力をもつシンプルな分子モチーフを基盤とし、「ナノとマクロをつなぐ」方法論を開拓するとともに、巨視的にも構造異方性と完全性を有する π システムを造形することを目的とした。こうして得られる大規模分子集積体に、優れた伝導性、光応答性、磁性などを有する π 電子ユニットを組み込み、それらの機能を異方的に集約・増幅させることで発現する新現象・新機能の探求を目指す。これに加え、最近我々が開発した非常に電子不足で極めて高いルイス酸性を持つ二配位ホウ素化合物ポリニウムイオンのホールドーパントとしての利用や、ホウ素化合物を用いた新反応開発や得られた分子の機能開拓を目指す。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、我々は以下に示す大規模分子集合体が発見する新現象・新機能を探求した。また、新たな巨視的 π 造形システムの創製に取り組んだ。

(1) **三脚型トリプチセンによる高秩序大面積薄膜への機能集約**: 大面積・高秩序分子集積化を可能にする三脚型トリプチセンを合成し、その集合化挙動を調査した。さらに、分子性機能団の導入が可能な三脚型トリプチセン類を開発し、機能団の精密二次元集積のための超分子足場としての機能開拓を行った。電子物性の調査は、主に A03 関らとの協働で行った。加えて、三脚型トリプチセンにチオール含有置換基を導入した誘導体を合成し、その金属表面への吸着挙動の検討を A03 多田、A03 木口らに加え、国際共同研究加速基金 (π -Hub) によりグラーツ工科大学 E. Zojer 教授および、ハイデルベルグ大学 M. Zharnikov 教授らとの協働で実施した。

(2) **トリフェニレン液晶による新たな巨視的 π 造形システム**: 我々はこれまでに、トリフェニレンヘキサカルボン酸エステル誘導体が、液晶相において様々な基板上で大面積に垂直配向したカラム状集合体を形成することを見出している。この知見をもとに、様々な側鎖置換基、特に不斉アルキル側鎖やイミダゾリウム基を導入した誘導体などを合成し、その集合状態について検討するとともに、磁場などに対する応答挙動について調査した。X線構造解析については A03 足立との協働により実施した。

(3) **湾曲 π 電子系による動的 π 造形システムの創製**: トリフェニレン液晶における知見をさらに展開させ、A01 櫻井との協働により、メソゲンをお椀型分子であるスマネンに置き換えた新規誘導体を合成し、その集合化挙動を検討するとともに、A02 芥川との協働により誘電特性の調査を行った。

(4) **π 電子系分子造形のため新合成手法**: ホウ素化合物による新たな拡張・湾曲 π 共役系分子の一挙構築法の開発と、それを利用した新たな高歪み・湾曲 π 造形分子の構築、ならびに機能探索を推進した。

(5) **ポリニウムイオンを利用した低次元物質へのホールドーピング**: 二配位ホウ素カチオンであるポリニウムイオンは、その高い電子受容性から、強力なホールドーパントとして機能する。そこで A02 竹延との協働により、ポリニウムイオンを用いたカーボンナノチューブ、グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイド (WSe_2) に対するドーピング能力をおよびデバイス応用を検討した。

4. 研究成果

(1) **三脚型トリプチセンによる高秩序大面積薄膜への機能集約**: 構造欠陥のない大面積分子集積化を可能にする構造モチーフとして、三脚型プロペラ分子の相互貫入による入れ子状ヘキサゴナル格子を着想した (図 1)。この構造モチーフでは、構造欠陥の原因となる構成分子の並進および回転運動が抑制されると期待できる。実際、この着想に基づき設計した「三脚型トリプチセン」誘導体は期待通りに二次元集合化したシートを形成し、さらにそのシートが一次元積層した高度な配向・配列規則性を備えた大面積「2D+1D」構造を特徴とする単・多層分子膜 (図 1) を与えることを見出した (*Science* **2015**, *348*, 1122)。さらに驚くべきことに、薄膜の形成条件によっては、センチメートルスケールの単結晶状モノドメイン多層膜が形成可能であった。

トリプチセンの集合化過程を放射光 X 線回折測定により詳細に検討したところ、いったん生成した集合体のドメインが互いに融合するという、「核形成・成長・融合」ともいえる新しい分子自己集合化プロセスが示唆された。この三脚型トリプチセンによる「2D+1D」構造は、マイカ、シリコンウエハー、ガラスなどの平坦な無機固体表面のみならず、ポリエチレン、ポリエチレンテレフタレートやポリイミドなどの高分子膜表面でも形成可能であった。すなわちこれまでは困難であった高分子基板の精密表面修飾が可能になったと言える。この性質を利用し、高分子膜（パリレン膜）をゲート絶縁膜として持つ有機薄膜トランジスタ

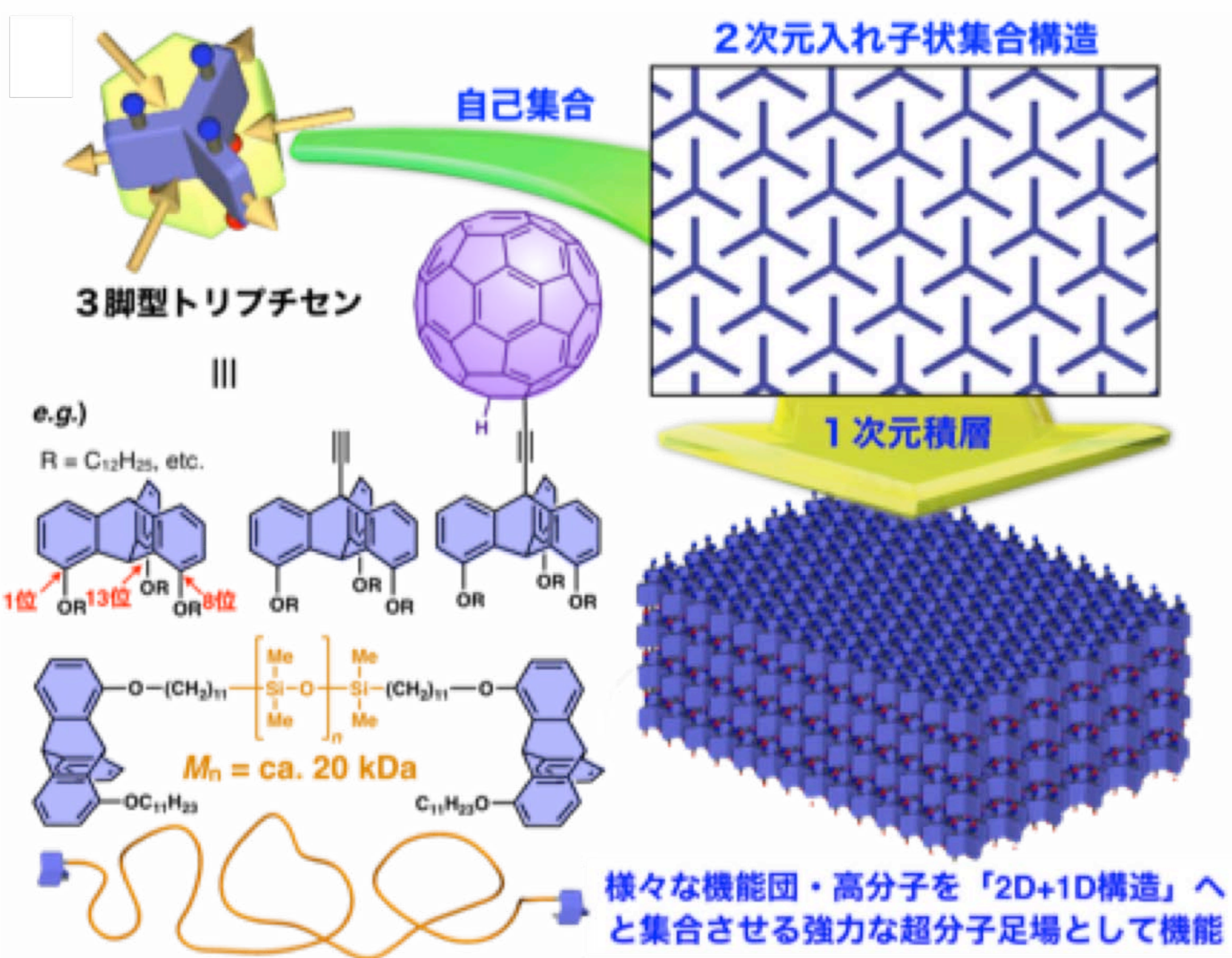


図1. 三脚型トリプチセンによる「2D+1D 構造」への自己集合化。

の絶縁膜上の表面修飾を行った。すると、その上に成膜された有機半導体（ジナフトチエノチオフェン）の結晶性が向上し、結果としてデバイスの移動度が4倍以上向上することも見出した (*Nature Nanotech.* **2018**, *13*, 139)。この研究に「 π 造形科学国際シンポジウム」で訪れたハイデルベルグ大学の Bunz 教授の研究グループの学生が興味をもち、 π 造形スクールを利用して日本に留学し、共同研究を推進した。また、トリプチセン薄膜のエッチング特性について評価したところ、GaAs 基板上に作製した薄膜が良好な塩素プラズマ耐性およびナノインプリント形成能を示し、GaAs 基板のパターニングが可能であることを見出した (*Jpn. J. Appl. Phys.* **2016**, *55*, 06GL01)。

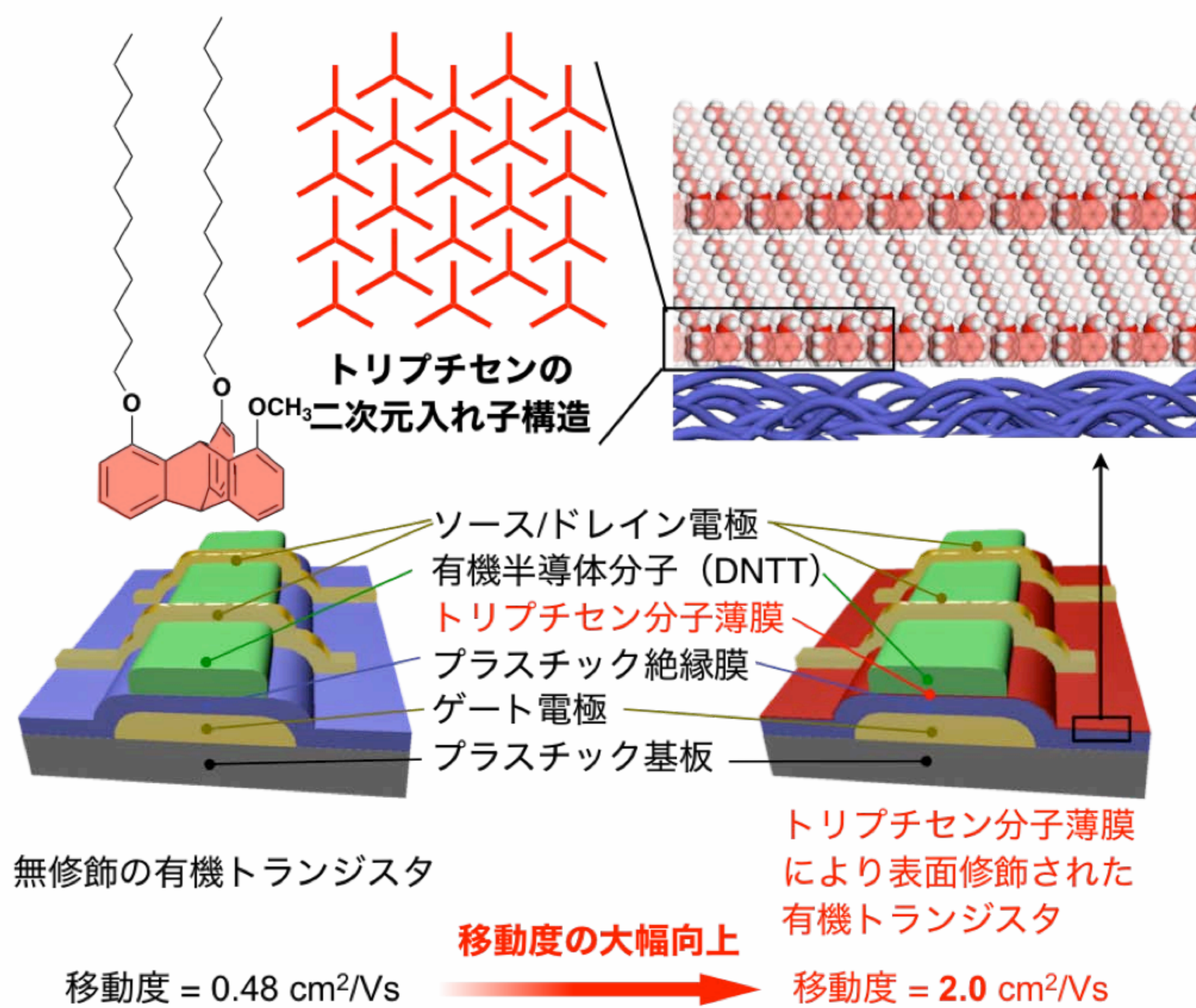


図2. 三脚型トリプチセン薄膜をゲート絶縁膜上に形成した有機薄膜トランジスタ。

本成果は、トリプチセン分子膜が集積回路の超微細化を可能にする小分子レジストとして有望であることを示している。これらに加え、大きなダイポールを有する三脚型トリプチセン誘導体を開発し、これを基板表面に吸着させることで金属酸化物 VO_2 薄膜の金属-絶縁体相転移温度を制御することにも成功している (*Appl. Phys. Express* **2015**, *8*, 121101)。

次に、この三脚型トリプチセンを、機能団の精密集積のための「超分子足場」として利用するために、機能団を導入可能な新規トリプチセン誘導体の合成と、その機能開拓に着手した。具体的には、橋頭位にアセチレンなどの置換基を有する誘導体を合成した。このアセチレン含有の誘導体も無置換の三脚型トリプチセンと同様な自己集合化能を持つことを見出した。さらに、このアセチレンを介し、電子輸送性機能団であるフラレーンを導入した誘導体も「2D+1D」構造へと集合化し (図1)、得られた薄膜は異方的な電荷キャリア伝導性を示すことも A03 関との協働で明らかにした (*J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 11727)。さらに驚くべきことに、分子量2万程度のポリジメチルシロキサン (PDMS) の両末端にこの三脚型トリプチセンを導入すると、アモルファスポリマーである PDMS にも「2D+1D」構造が誘起され (図1)、高分子の粘度が一万倍程度上昇することを見出した (*J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 13497)。わずか 5wt% 程度の末端基がこのような劇的な変化を生むことは、三脚型トリプチセンの自己集合化能力の強さを端的に示している。

上記のような「2D+1D」構造へと自己集合する三脚型トリプチセン類以外にも、固体表面に吸着するチオール置換基を持つ三脚型トリプチセンの合成し、金表面への吸着挙動を、走査型トンネル顕微鏡 (STM)、X 線光電子分光 (XPS)、X 線吸収端微細構造分光 (NEXAFS) などにより調査した。その結果、「トリプチセン分子三脚 (T1 および T2)」は三つすべてのチオール基が表面に結合し、直立した吸着様式をとることを明らかにした (図3)。特に、T1 からなる SAM の NEXAFS 測定より求めた基板全体での分子の平均傾き角は 7.5° であり、極めて小さい値を示した。さらに、表面上でトリプチセンが入れ子状に集積し、高密度かつ高規則的な自

己組織化単分子膜を形成することも STM 測定から明らかにした (*J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 5995)。分子三脚は、導入した機能団と基板との距離や角度を厳密に制御して固定化するための足場として注目されてきたが、三本すべての脚が基板上に強く結合した、期待通りの吸着様式の実現は困難であった。本研究により初めて理想的な分子三脚のデザインが可能になった。

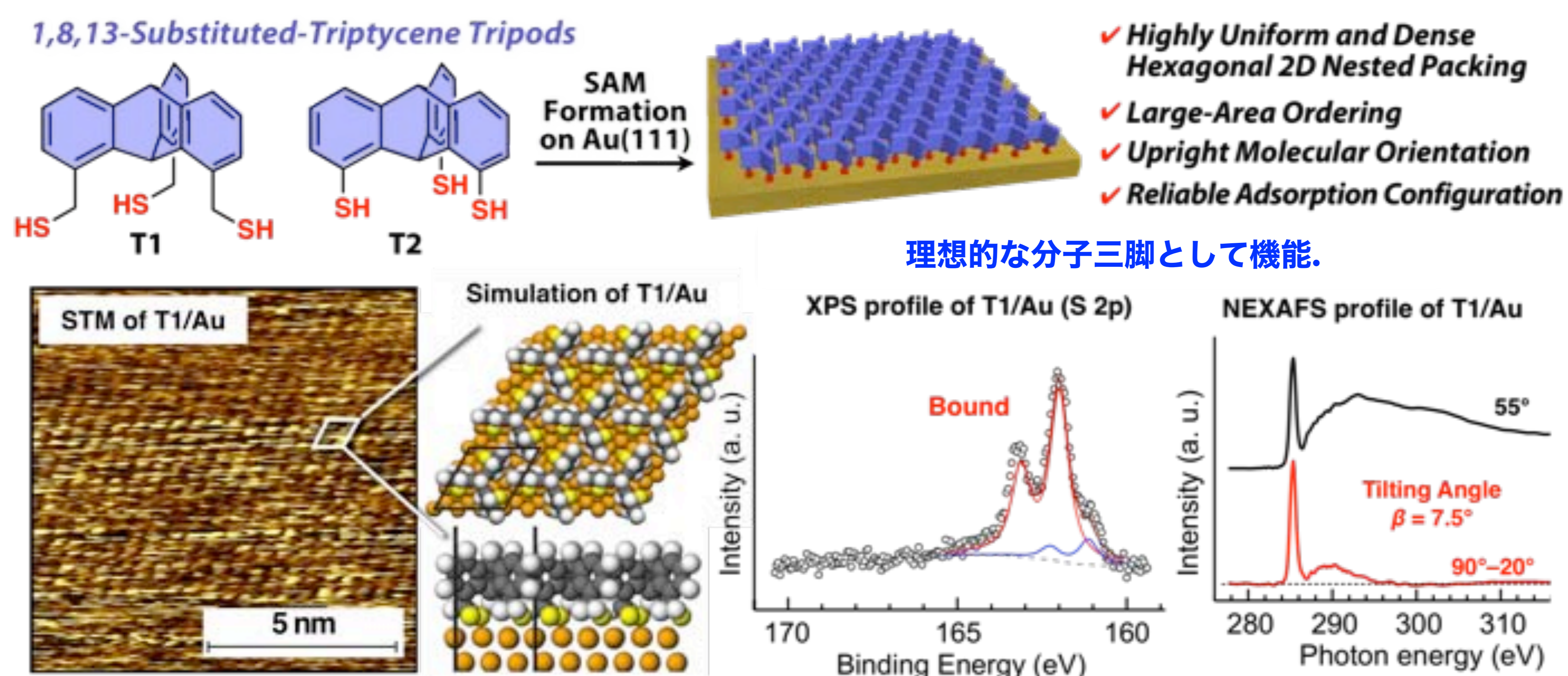


図3. 高規則的かつ垂直に金属表面に吸着するトリプチセン分子三脚 (T1, T2) .

(2) トリフェニレン液晶による巨視的 π 造形システム: 我々はこれまでに、代表的なディスク状分子であるトリフェニレンに6つのエステル基を導入した誘導体が、カルボニル基の分子間双極子-双極子相互作用に基づき、基板に対して完全にホメオトロピック配向したヘキサゴナルカラムナー液晶を与えることを見出している。本研究では、トリフェニレンヘキサカルボン酸エステルの側鎖に不斉アルキル基を導入した誘導体を合成したところ、液晶のような流動性を持ちつつも、単結晶のような配列・配向規則性を有するという、驚くべき現象を見出した。この前例なき集合体の精密構造解析と動的挙動を、A03 足立との協働により検討した結果、自発的超長距離構造秩序化、分子不斉により制御された回転流動、同程度の貯蔵弾性率と損失弾性率など、前例のない分子集合体の性質を発見するに至った (図5, *Nat. Mater.* **2019**, *18*, 266)。

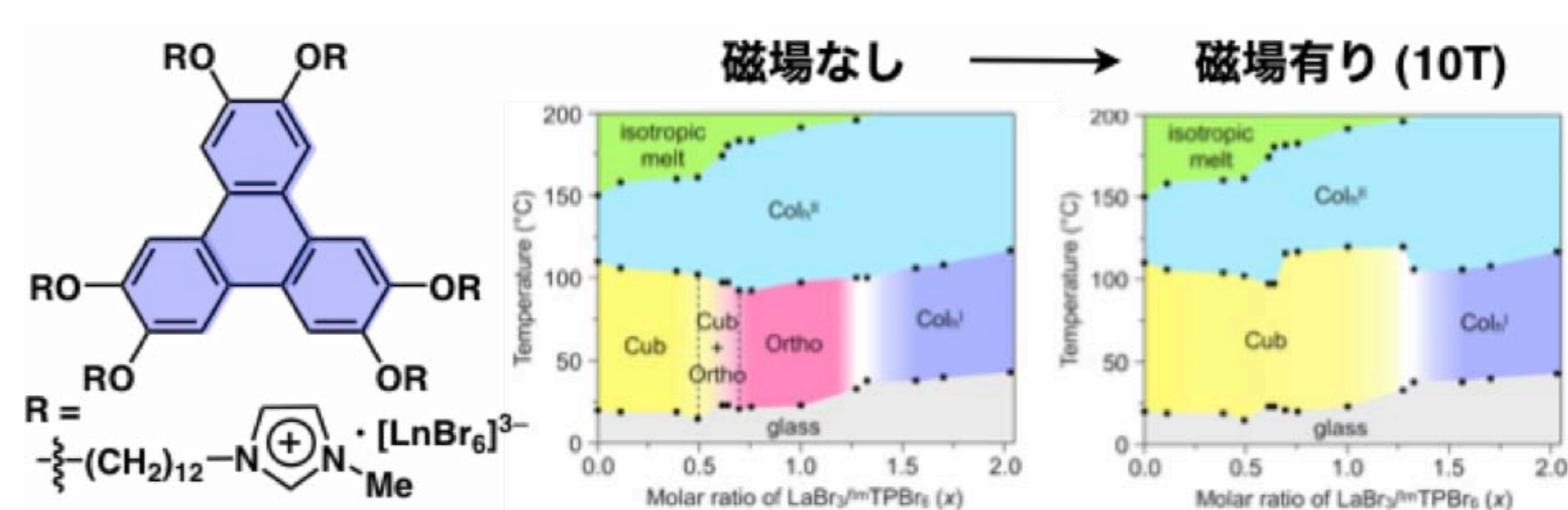


図4. 磁場により相挙動が変化する液晶分子.

この研究に加え、アルコキシトリフェニレンの側鎖末端にイミダゾリウムイオンを導入した新規誘導体の相図が強磁場下では変化することを偶然見出した。これは、反磁性分子集合体の相図を磁場が書き換えるという常識を覆す発見である (図4, *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 4431)。

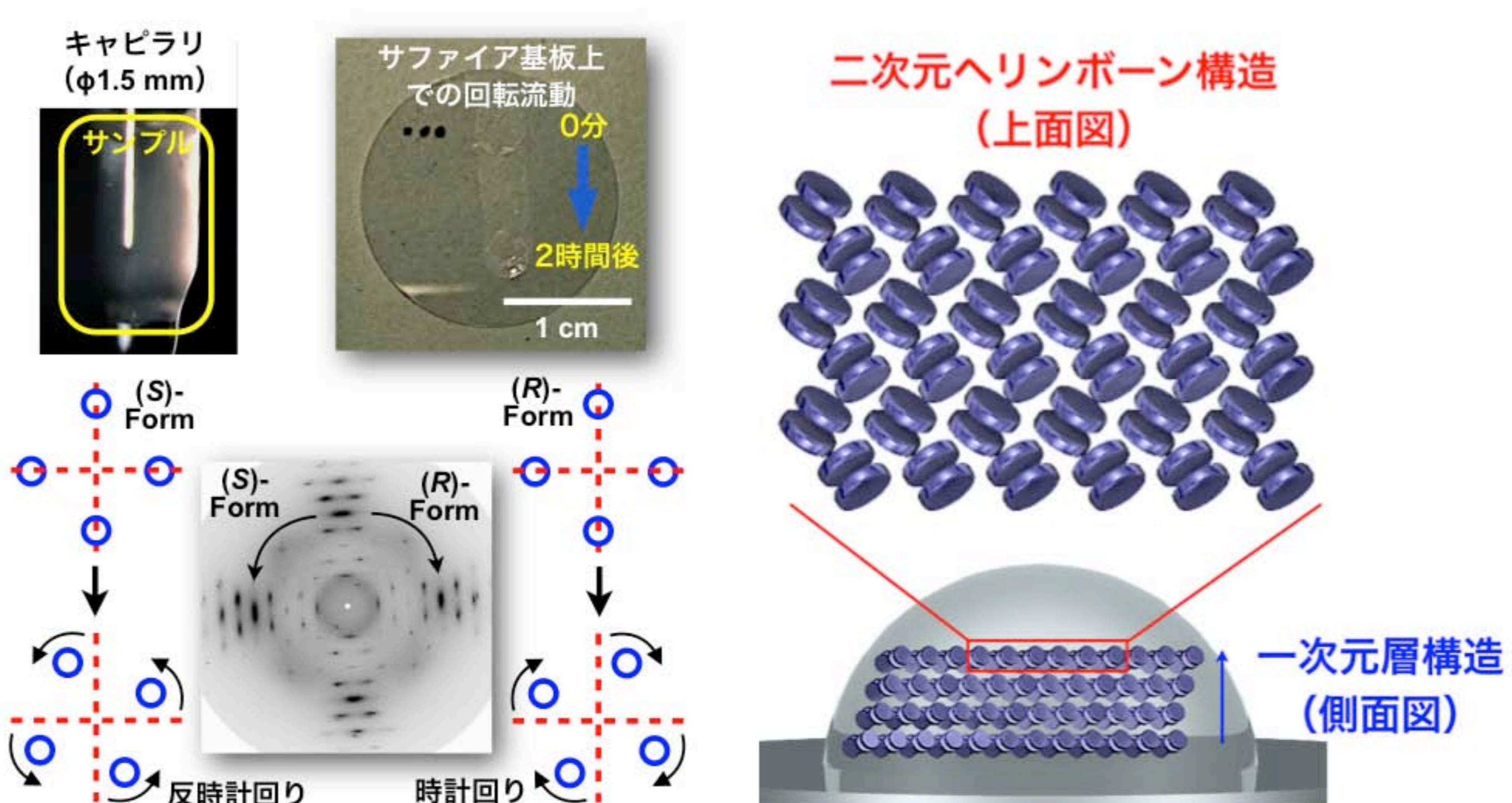


図5. 単結晶様液滴キラルトリフェニレンの回転流動挙動

(3) 湾曲 π 電子系による動的 π 造形システムの創製: トリフェニレンの湾曲アナログと位置付けられるスマネンをメソゲンにもつ新規誘導体を合成し、その集合化挙動を検討したところ、これらは室温を含む広い温度範囲でヘキサゴナルカラムナー液晶相を発現し、湾曲 π 分子が積層した集合構造を形成することを見出した (図6)。そこで、A02 芥川との協働により誘電特性を調査したところ、液晶状態で反強誘電性を示すことがわかった。加えて、この分子はお椀型コアの内側に C_{60} を取り込む初めてのスマネン誘導体であることも見出した (*Chem. Sci.* **2017**, *8*, 8405)。

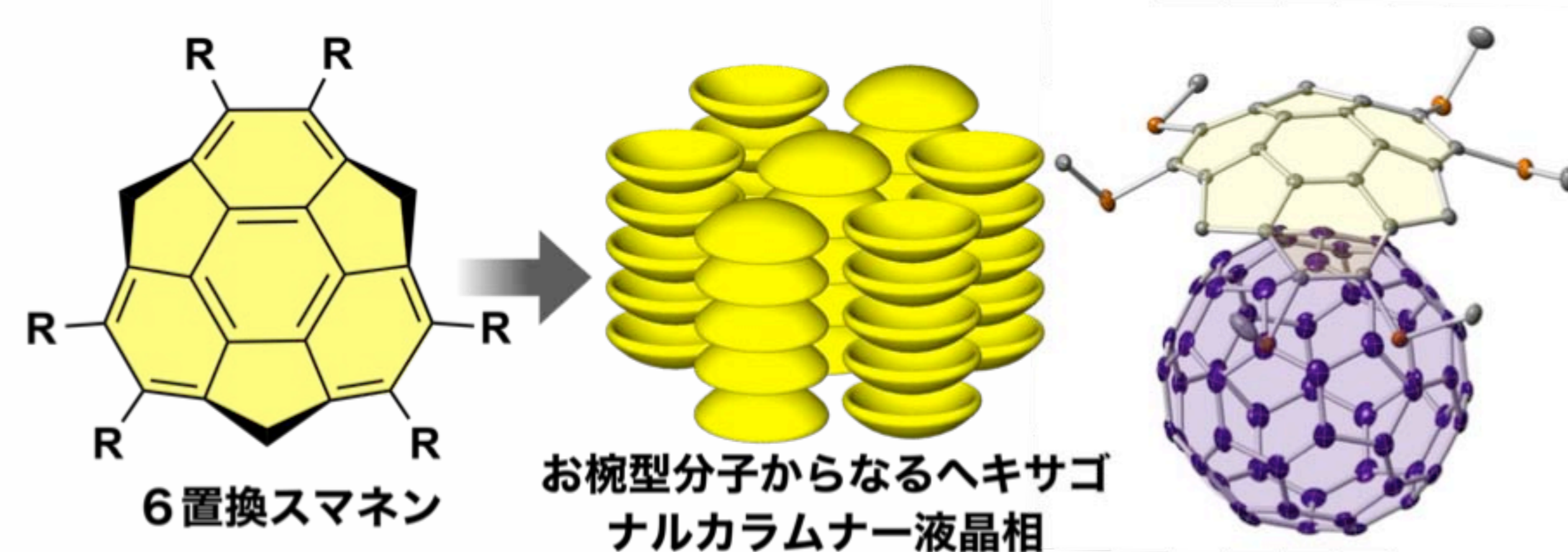


図6. 液晶性のヘキサチオアルキルスマネンと C_{60} 包摂挙動.

(4) π 電子系分子造形のため新合成手法:

あるホウ素化合物の合成検討の過程で、9-ボラフルオレン類が連続的な炭素-炭素結合形成反応を媒介し、アルキン誘導体を芳香環化できることを偶然見出した (図7)。この反応は 9-ボラフルオレンとアセチレンによる 1,2-カルボホウ素化反応と、それにより生成したボレピン誘導体の酸化的脱ホウ素化/炭素-炭素結合形成反応の二段階からなる。この反応は官能基許容性と基質適用性に優れており、容易に入手可能なアルキン誘導体からワンポット反応で π 共役化合物を合成できた。特に、複数のアルキン部位を有する前駆体を用いれば湾曲・拡張 π 電子系を

もつ巨大な誘導体 (*Nature Commun.* **2016**, 7, 12704) や、不斉識別能を持つプロペラ型分子の合成 (*Chem. Commun.* **2018**, 54, 12314)、直線状のポリマーからジグザグ状の多孔性ポリマーへの変換 (*Mater. Chem. Front.* **2018**, 2, 807) など、様々な特徴ある π 共役化合物が簡便に得られることを見出した。この 9-クロロ-9-ボラフルオレンは、有機合成用試薬として販売された。

(5) ボリニウムイオンを利用した低次元物質へのホールドーピング: A02 竹延らとともに、高い電子受容性を持つボリニウムイオンである Mes_2B^+ を用いて、カーボンナノチューブ (CNT)、グラフェン、遷移金属ジカルコゲナイド WSe_2 へのドーピングを検討した。興味深いことに、 Mes_2B^+ によりホールドープされた CNT は、導電性と分散性が顕著に向上するとともに、硝酸を用いた既存のホールドープ手法では実現できないほどに高い大気安定性を示した (*Appl. Phys. Express* **2017**, 10, 035101)。この理由として、ホールドープメントとして働く Mes_2B^+ の対アニオンである化学的安定性と疎水性が高いテトラアールボラート $[(\text{C}_6\text{F}_5)_4\text{B}]^-$ が、ホールドープされた CNT の電荷を保障しているためと考えられる。さらに、CNT 以外にも、遷移金属ジカルコゲニド WSe_2 (*Jpn. J. Appl. Phys.* **2018**, 57, 02CB15)、およびグラフェン (*NPJ 2D Mater. Appl.* **2019**, 3, 7) の薄膜に対しても、 Mes_2B^+ は優れたホールドーピング能を示した (図 8)。これらの成果は、基礎的な典型元素化学における物質・反応設計戦略が、マテリアルサイエンスにおける機能物質開発にも展開可能であることを示している。

その他にも、本領域内外の研究グループによって合成された物質の精密構造解析も行い、それぞれの分子材料について構造物性相関を明らかにした。特に、Feringa 教授との国際共同研究では、自己集合性分子モーターからなる光アクチュエーターの開発 (*Nat. Chem.* **2018**, 10, 132) に貢献した。以上の研究成果は学術論文誌に 63 件掲載され、182 件の学会発表も行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 63 件)

代表論文

1. Rational Synthesis of Organic Thin Films with Exceptional Long-range Structural Integrity, N. Seiki, Y. Shoji, T. Kajitani, F. Ishiwari, A. Kosaka, T. Hikima, M. Takata, T. Someya, T. Fukushima, *Science* **2015**, 348, 1122–1126 (DOI: 10.1126/science.aab1391), 査読有.
2. H. Shioya, Y. Shoji, N. Seiki, M. Nakano, T. Fukushima, Y. Iwasa, *Appl. Phys. Express* **2015**, 8, 121101 (DOI: 10.7567/APEX.8.121101), 査読有.
3. Supramolecular Scaffold for Tailoring the Two-Dimensional Assembly of Functional Molecular Units into Organic Thin Films, F. K.-C. Leung, F. Ishiwari, T. Kajitani, Y. Shoji, T. Hikima, M. Takata, A. Saeki, S. Seki, Y. M. A. Yamada, T. Fukushima, *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, 138, 11727–11733 (DOI: 10.1021/jacs.6b05513), 査読有.
4. Boron-Mediated Sequential Alkyne Insertion and C–C Coupling Reactions Affording Extended π -Conjugated Molecules, Y. Shoji, N. Tanaka, S. Muranaka, N. Shigeno, H. Sugiyama, K. Takenouchi, F. Hajjaj, T. Fukushima, *Nat. Commun.* **2016**, 7, 12704 (DOI: 10.1038/ncomms12704), 査読有.
5. Hexathioalkyl Sumanenes: An Electron-Donating Buckybowl as a Building Block for Supramolecular Materials, Y. Shoji, T. Kajitani, F. Ishiwari, Q. Ding, H. Sato, H. Anetai, T. Akutagawa, H. Sakurai, T. Fukushima, *Chem. Sci.* **2017**, 8, 8405–8410 (DOI: 10.1039/C7SC03860G), 査読有.
6. Unveiling a New Aspect of Simple Arylboronic Esters: Long-Lived Room-Temperature Phosphorescence from Heavy-Atom-Free Molecules, Y. Shoji, Y. Iwabata, Q. Wang, D. Nemoto, A. Sakamoto, N. Tanaka, J. Seino, H. Nakai, T. Fukushima, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, 139, 2728–2733 (DOI: 10.1021/jacs.6b11984), 査読有.
7. A Few-Layer Molecular Film on Polymer Substrates to Enhance the Performance of Organic Devices, T. Yokota, T. Kajitani, R. Shidachi, T. Tokuhara, M. Kaltenbrunner, Y. Shoji, F. Ishiwari, T. Sekitani, T. Fukushima, T. Someya, *Nat. Nanotech.* **2018**, 13, 139–144 (DOI:

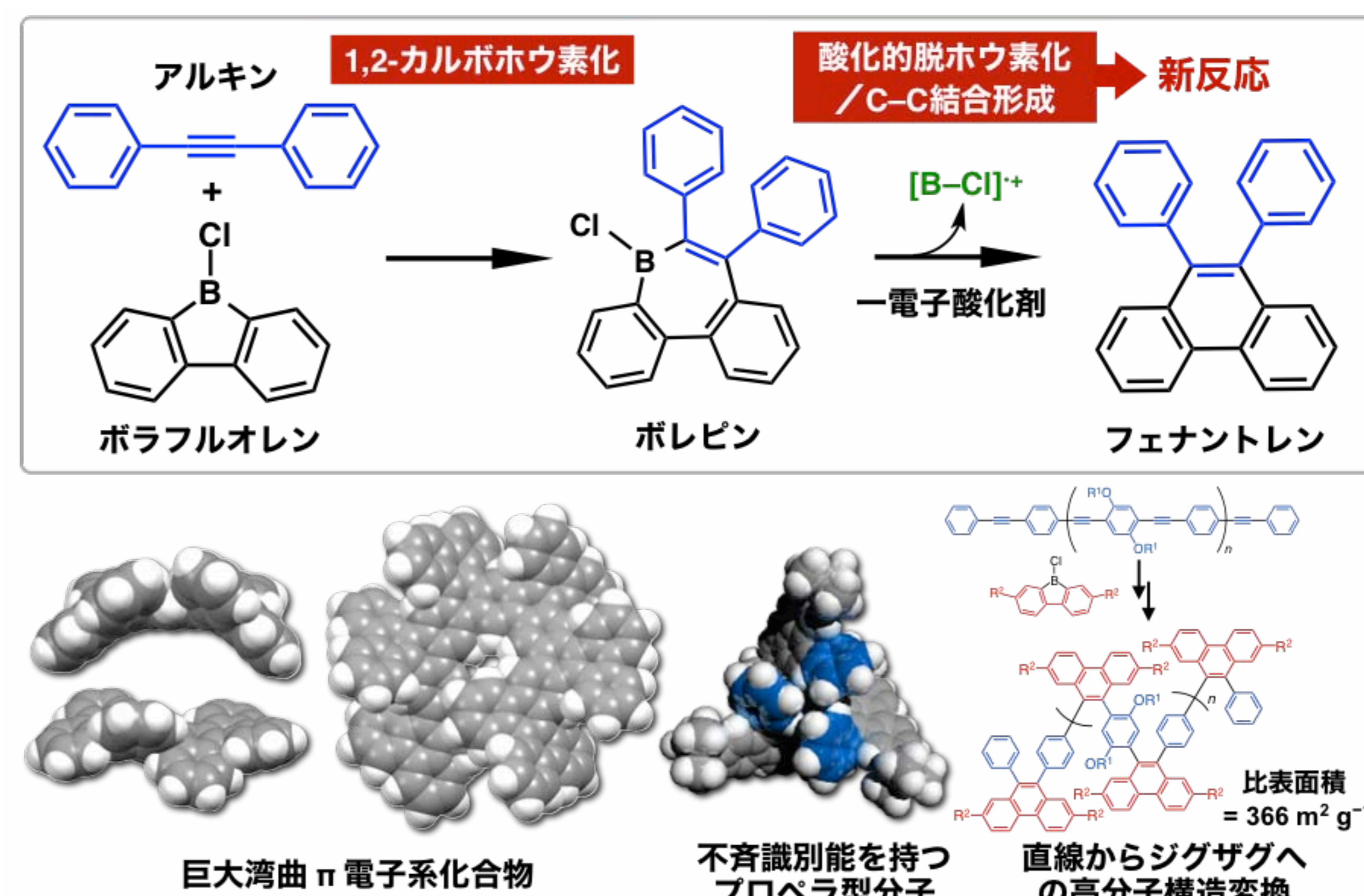


図 7. ボラフルオレン類による新規芳香環化反応と、それにより得られる高歪み・湾曲 π 共役系分子群。

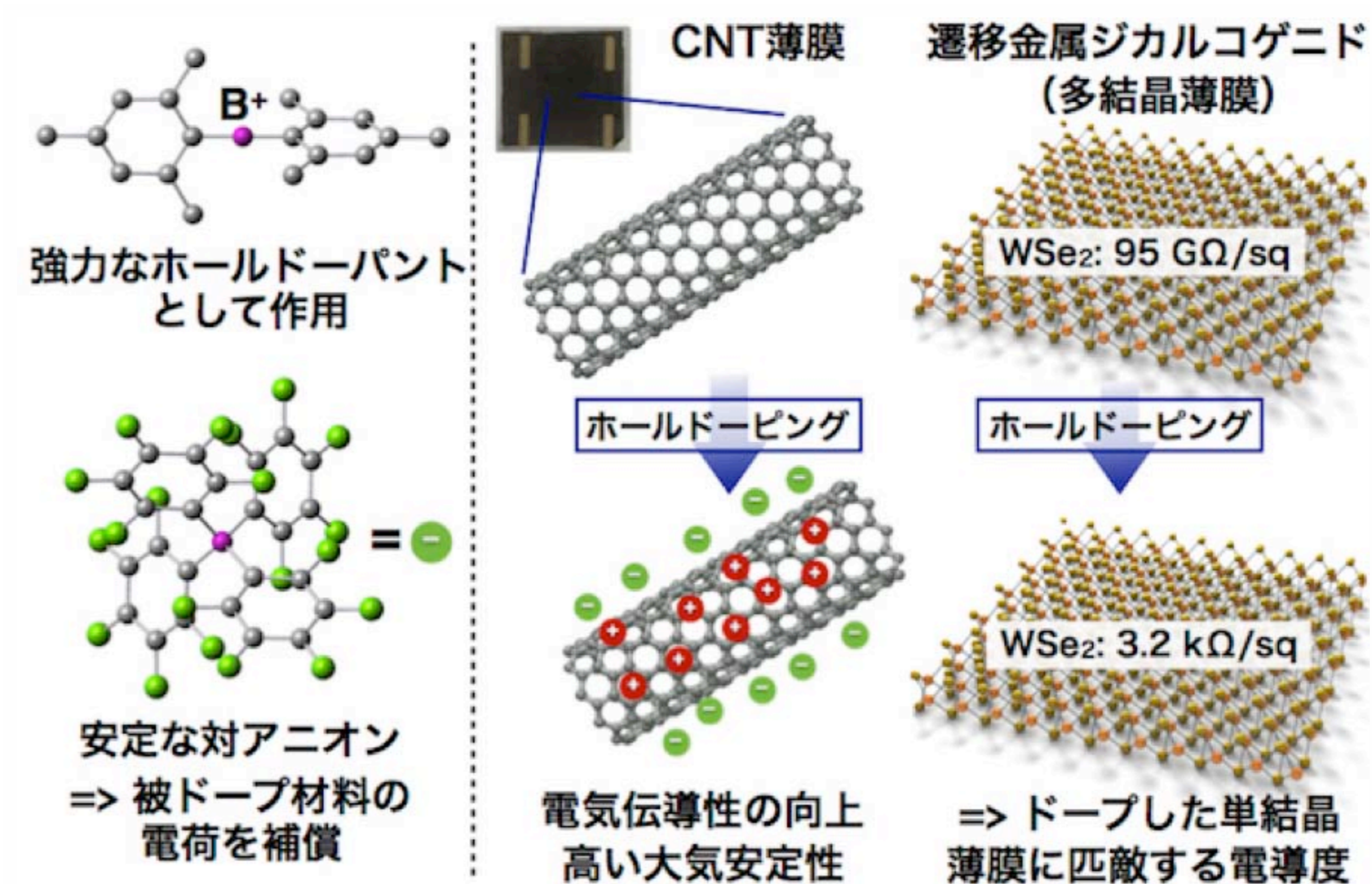


図 8. Mes_2B^+ による薄膜材料へのホールドーピング。

- 10.1038/s41565-017-0018-6), 査読有.
8. Artificial Muscle-Like Function from Hierarchical Supramolecular Assembly of Photoresponsive Molecular Motors, J. Chen, F. K.-C. Leung, M. C. A. Stuart, T. Kajitani, T. Fukushima, E. van der Giessen, B. L. Feringa, *Nat. Chem.* **2018**, *10*, 132–138 (DOI: 10.1038/nchem.2887), 査読有.
 9. Terminal Functionalization with a Triptycene Motif that Dramatically Changes the Structural and Physical Properties of an Amorphous Polymer, F. Ishiwari, G. Okabe, H. Ogiwara, T. Kajitani, M. Tokita, M. Takata, T. Fukushima, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 13497–13502 (DOI:10.1021/jacs.8b09242), 査読有.
 10. Supramolecular Scaffolds Enabling the Controlled Assembly of Functional Molecular Units, F. Ishiwari, Y. Shoji, T. Fukushima, *Chem. Sci.* **2018**, *9*, 2028–2041 (DOI: 10.1039/C7SC04340F), 査読有.
 11. Rewriting the Phase Diagram of a Diamagnetic Liquid Crystal by a Magnetic Field, F. Hajjaj, T. Kajitani, H. Ohsumi, Y. Tanaka, K. Kato, M. Takata, H. Kitazawa, T.-h. Arima, T. Aida, T. Fukushima, *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 4431 (DOI: 10.1038/s41467-018-06976-7), 査読有.
 12. Chiral Crystal-Like Droplets Displaying Unidirectional Rotational Sliding, T. Kajitani, K. Motokawa, A. Kosaka, Y. Shoji, R. Haruki, D. Hashizume, T. Hikima, M. Takata, K. Yazawa, K. Morishima, M. Shibayama, T. Fukushima, *Nat. Mater.* **2019**, *18*, 266–272 (DOI: 10.1038/s41563-018-0270-7), 査読有.
 13. Formation of Environmentally Stable Hole-Doped Graphene Films with Instantaneous and High-Density Carrier Doping via a Boron-Based Oxidant, K. Kanahashi, N. Tanaka, Y. Shoji, M. Maruyama, I. Jeon, K. Kawahara, M. Ishihara, M. Hasegawa, H. Ohta, H. Ago, Y. Matsuo, S. Okada, T. Fukushima, T. Takenobu, *NPJ 2D Mater. Appl.* **2019**, *3*, 7 (DOI: 10.1038/s41699-019-0090-x), 査読有.
 14. Triptycene Tripods for the Formation of Highly Uniform and Densely Packed Self-Assembled Monolayers with Controlled Molecular Orientation, F. Ishiwari, G. Nascimbeni, E. Sauter, H. Tago, Y. Shoji, S. Fujii, M. Kiguchi, T. Tada, M. Zharnikov, E. Zojer, T. Fukushima, *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 5995–6005 (DOI: 10.7567/1347-4065/ab0436), 査読有.

[学会発表] (計 182 件)

1. Takanori Fukushima, “Construction and Modification of π -Electronic Systems Using Organic Bron Compounds”, 17th International Symposium on Novel Aromatics (ISNA 2017), 2017, Stony Brook, New York. **Plenary Lecture**

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

1. 名称： π 共役化合物およびその製造方法
 発明者：福島 孝典・庄子 良晃 番号：特願 2016-037295
 権利者：同上 出願年：2016 年 2 月 29 日
 種類：特許 国内外の別：国内
2. 名称： sp^2 型炭素含有組成物およびその製造方法、並びにグラファイトの剥離方法
 発明者：福島 孝典・庄子 良晃 番号：特願 2016-026001
 権利者：同上 出願年：2016 年 2 月 15 日
 種類：特許 国内外の別：国内
3. 名称：カーボンナノチューブ含有組成物およびその製造方法
 発明者：福島 孝典・庄子 良晃 番号：特願 2016-026000
 権利者：同上 出願年：2016 年 2 月 15 日
 種類：特許 国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

福島・庄子研究室ウェブサイト <http://fuku.res.titech.ac.jp>

新学術領域「 π 造形科学」ウェブサイト <http://pi-figuration.jp>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：庄子 良晃
 所属研究機関名：東京工業大学
 職名：准教授

ローマ字氏名：Yoshiaki Shoji
 部局名：科学技術創成研究院
 研究者番号 (8 桁)：40525573

研究分担者氏名：石割 文崇
 所属研究機関名：東京工業大学
 職名：助教

ローマ字氏名：Fumitaka Ishiwari
 部局名：科学技術創成研究院
 研究者番号 (8 桁)：00635807

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：梶谷 孝

ローマ字氏名：Takashi Kajitani