

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 4 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04880

研究課題名(和文) フォルダマーの材料科学：折り畳み構造の精密制御と多機能ソフトマテリアルへの展開

研究課題名(英文) Materials Science of Foldamers: Fine Control of Folding Structures and Their Use as Functional Soft Materials

研究代表者

櫻井 庸明 (SAKURAI, Tsuneaki)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：50632907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：折り畳み型高分子であるフォルダマーに着目し、その折り畳み構造制御に協奏して性質変化を起こす材料の創成を目標に研究を実施した。共役分子骨格を柔軟鎖で連結した交互共重合体と、共役分子骨格を回転可能なフェロセン部位で連結した交互共重合体、の2つを主たる設計指針とし、その性質を調べた。溶液中では、溶媒組成に応じて折り畳みが制御できる系が構築できることを確認した。その溶液をキャストして得られたフォルダマーからなる固体薄膜の構造を調べたところ、全体に占める折り畳み部位の構造純度が低いことが示唆された。一方で、同じ繰り返し構造の二量体では冷結晶化により折り畳み構造が純度よく得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

共役高分子や共役低分子骨格の積層状態を、柔軟鎖あるいは回転関節と化学結合で連結することで、制御することが可能ということが示された。また、積層状態の構造周期性(結晶性)が電子状態に与える影響を実験的に明らかにした。これらのことから、刺激応答によって電気伝導性が変化するフレキシブルな素材を開発するにあたり重要な知見を得ることができた。分子という最小単位から構築することで、材料機能を変調させることができるという意味で、将来の機能性材料設計につながることを期待される。

研究成果の概要(英文)：Foldamer is an oligomer or polymer adopting a specific compact conformation, the structures of which are stabilized by a collection of noncovalent interactions among monomer units. The change of physical properties associated with the structural changes of foldamers in the solid state are targeted in this study. One of the designs of the foldamers employs the alternating polymers of conjugated molecules and flexible linkers, while the other consists of conjugated oligomers (oligothiophene) and rotating hinges (ferrocene). These foldamers were synthesized and revealed to show folding behaviors in solution, where the electronic interactions of adjacent conjugated segments were analyzed by absorption and fluorescence spectroscopy. In the dropcast films, folding structures were partly observed, but the purity of the structures in whole the area was low. Meanwhile, the dimer model compounds yielded perfect crystalline closed-form structures in the solid state.

研究分野：超分子化学

キーワード：フォルダマー 共役高分子 共役構造 折り畳み 積層 結晶化 柔軟鎖

## 1. 研究開始当初の背景

ある溶媒条件下においてその高次構造を秩序立ったものへと自発的に変化させる高分子はフォルダマーと呼ばれ、非共有結合的相互作用によって螺旋状やシート状の高次構造へと折りたたむポリマーやオリゴマーが報告されている。しかし、この研究分野の開始から15年以上経過した現在においても、専ら有機溶媒や水中での挙動に関する研究ばかりであり、フォルダマーに特徴的な動的な性質を活かした応用研究・材料展開はほとんど例がない。

フォルダマーはオリゴマーあるいはポリマー(高分子)から構成される。無機化合物では実現が難しく有機/高分子化合物でのみ達成し得る材料特性を考えた際、延性や流動性、自己修復性等の“構造が動的であり、ソフトな材料である”という点が確固たる特徴として挙げられる。特に近年、この動的な性質を利用し、外部刺激に応答して機能を変化させる“スマートマテリアル”の報告例が増えている。これまで報告されたスマートマテリアルとして、機械的な傷を自己修復するゲルなどの材料や力学的刺激に応じて蛍光発光挙動を変化させる材料などが代表的であり、方向性を有する機能発現には焦点があまり当てられていなかった。申請者は、機能を発現する最小単位である“ $\pi$ 共役系骨格”を適切に連結した高分子が、自発的あるいは刺激に反応して折り畳み構造を形成/解離する『フォルダマー』として振る舞い、隣接 $\pi$ 共役系部位の会合/解離に伴う様々な機能変調をもたらす普遍的なモチーフとして用いることが可能であると考えた。それを用い、様々なスマートマテリアルへと展開が可能な『フォルダマーの材料科学』という全体構想を提案する(図1)。特に本研究では、蛍光発光等の相対的に達成が容易な等方的な機能のスイッチではなく(図1, 例2)、刺激に反応して電気伝導軸が変化するという『方向性を有する機能をスイッチさせる』ことを指向し、そのための基礎研究を推進する(図1, 例4)

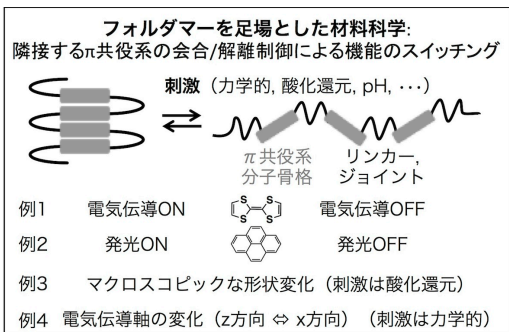


図1 フォルダマーを用いた刺激応答性機能材料

## 2. 研究の目的

動的構造変化による電子機能の変調を示すスマートマテリアル開発を目指し、 $\pi$ 共役系分子を適切に組み込んだフォルダマーを新たに設計し、フォルダマーの折り畳み構造制御に関する基礎的研究を実施する。特に、共役オリゴマー/ポリマーの積層と電子状態に関する知見の獲得、力学的刺激による折り畳み構造のオンオフと電気刺激の双方それぞれをインプット/アウトプットとする構造変化-電荷輸送特性変化特性の観察を目指す。

如何にして隣接 $\pi$ 共役系分子骨格の折り畳み構造の有無を制御するか、を実現する高分子モチーフとして、申請者はフォルダマーに着目した。本研究で具体的に取り扱う系として、電子輸送性・低い還元電位を有するペリレンジイミド(PDI)あるいはナフタレンジイミド(NDI)を $\pi$ 電子系に、それを連結するポリジメチルシロキサン(PDMS)、ポリエチレングリコール(PEG)、あるいはポリプロピレングリコール(PPG)のマクロモノマーをフレキシブルリンカーとし、それらの交互共重合体から構成されるフォルダマーを第一に挙げる。 $\pi$ 電子系の積層による電荷輸送経路の構築と、還元による静電反発を駆動力とするその崩壊を意図したものである。第二に、 $\pi$ 共役系骨格からなる“剛直な腕”と“回転可能な関節”に機能分離した二種のモノマーを交互共重合した多関節高分子を提案する。この高分子は、刺激がない状態では $\pi$ - $\pi$ 相互作用により一本鎖内で折りたたみ構造を形成するフォルダマーとして振る舞うため、積層方向への電気伝導特性が支配的となる。一方、力学的刺激の印加時にはエントロピー弾性より伸びきり構造を与え、主鎖方向への伝導軸が形成されると期待している。フェロセンは溶液中で高速自由回転することが古くから知られており(*Chem. Phys.* **1981**, 57, 453.)、この性質を活かしたジョイント機能についても数例報告がある(例えば *Nature* **2006**, 440, 512)。最近では、ソフトマテリアル中においてもフェロセンが回転可能であることが示唆されている(*JACS* **2016**, 134, 2653.)。

## 3. 研究の方法

有機合成的手法により対応するモノマーを合成し、それらの重縮合あるいはクロスカップリング重合等により、目的ポリマーを合成する。得られたポリマーの電子的性質はまず有機溶媒を用いた希薄溶液中での挙動を観察する。紫外可視吸収あるいは蛍光スペクトル等により、 $\pi$ 電子系の近接に関する情報を得る。フォルダマーの固相状態の分析については、溶液プロセスにより塗布膜を作成し、この試料の吸収/蛍光スペクトル分析や蛍光量子収率評価、X線回折測定、偏光顕微鏡(POM)観察、原子間力顕微鏡(AFM)観察などにより、構造解析や形態観察、電子状態評価を進める。電気伝導性については、非接触評価が可能な時間分解マイクロ波過渡電気伝導法(FP-TRMC法)および過渡吸収分光(TAS)を活用して構造-伝導度の関係性を評価した。

## 4. 研究成果

### 4-1. 折り畳み高分子の溶液中での挙動と固体中での電気伝導性の評価

#### 4-1-1. 高分子の合成と評価法

フォルダマーの設計については、 $\pi$  共役骨格として PDI あるいは NDI を、柔軟鎖としては両末端に  $\text{NH}_2$  基を有する PDMS、PEG、および PPG を選択し、ペリレンテトラカルボン酸無水物あるいはナフタレンテトラカルボン酸無水物との重縮合により、イミダゾール中、あるいは *N*-メチルピロリドン中で重合反応を行った。また PDMS においては数平均分子量  $M_n \sim 1000$ 、 $\sim 2500$ 、 $\sim 5000$  を、PEG においては  $M_n \sim 2000$ 、 $\sim 6000$  を、PPG においては  $M_n \sim 2000$ 、 $\sim 4000$  を用いて合成した。またフォルダマー構造の意義を検証するため、片方にアミノ基、他方にメチル基を有する PDMS ( $M_n \sim 2000$ ) および PEG ( $M_n \sim 2000$ ) を用いて同様に縮合反応を行い比較化合物を合成した。高分子量体の確認はサイズ排除クロマトグラフィーによって行った。

溶液中での折り畳み度合に関しては、 $100 \mu\text{M}$  のテトラヒドロフラン (THF) 溶液中での紫外可視吸収スペクトルを用いて 0-0 振動と 0-1 振動に相当する波長の吸光度を用いて以下の式により求めた。吸収スペクトルの濃度依存性がない前提において、 $\alpha$  の値が小さいほど強い  $\pi$ - $\pi$  相互作用を示し、すなわち折り畳みが促進されていることを意味する。

$$\alpha = \frac{A^{0-0}}{A^{0-1}} \quad (1)$$

また、 $450 \text{ nm}$  の励起光を用いた蛍光スペクトル測定、および  $10 \mu\text{M}$  THF 溶液中での蛍光発光の量子収率を測定により、PDI 骨格の距離を相対的に比較した。固体状態での電子物性については、ドロップキャスト膜を FP-TRMC 法と光過渡吸収分光 (TAS) により測定し、過渡電気伝導度とキャリア生成効率を算出することにより評価した。ここで PDI のラジカルアニオンの追跡には  $712 \text{ nm}$  における吸光係数  $74200 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  を用いた。

#### 4-1-2. 折り畳み効果に対する柔軟鎖の影響

PDMS ( $M_n \sim 1000$ ) を柔軟鎖とした  $(\text{PDI-PDMS}_{1000})_n$  の紫外可視吸収スペクトルの溶媒依存性を確かめた (Fig. 2)。THF 中において最も  $\alpha$  の値が小さく、折り畳みが促進されていることが示唆された。これを踏まえて THF 中でのフォルダマーの柔軟さの種類による折り畳み度合いの差異を評価した (Fig. 3)。同じ程度の数平均分子量をもつ PDMS ( $M_n \sim 2500$ )、PEG ( $M_n \sim 2000$ )、PPG ( $M_n \sim 2000$ ) と PDI との交互共重合体の紫外可視吸収スペクトルの測定の結果、順に  $\alpha = 0.55, 0.94, 1.22$  の値が得られた (Table 1)。このことから  $(\text{PDI-PDMS}_{2500})_n$ 、 $(\text{PDI-PEG}_{2000})_n$ 、 $(\text{PDI-PPG}_{2000})_n$  の順に折り畳み度合いが強いことが示唆された。また、PDI 骨格に関してこの  $\alpha$  の値が 1 を超えると折り畳みが示唆されるという過去の報告に基づく、 $(\text{PDI-PDMS}_{2500})_n$  では折り畳んでおり、 $(\text{PDI-PPG}_{2000})_n$  は折り畳んでいないということが示唆される。 $(\text{PDI-PEG}_{2000})_n$  に関しては、得られる高分子ごとに  $\alpha$  の値が 1 付近を上下した値を取ることから、高分子鎖の一部が折り畳んでいる、あるいは高分子鎖間で相互作用している状態にあると考えられる。これらの事実は、PDMS 鎖、PEG 鎖、PPG 鎖の順に鎖の柔軟性が低下しており、最も柔軟性の高い PDMS では折り畳むことによるエントロピーの減少の効果が最も小さくなることによる結果であると解釈できる。折り畳みが示唆された  $(\text{PDI-PDMS}_{1000})_n$  において、紫外可視吸収スペクトルの濃度依存性を評価した。THF 中で  $1\text{--}100 \mu\text{M}$  の範囲でスペクトル形状の濃度依存性が示されなかったために、この  $\alpha$  の値は分子鎖内での PDI 間相互作用に起因し、すなわち折り畳み状態にあることがわかった。一方、 $(\text{PDI-PEG}_{2500})_n$  ではスペクトル形状に濃度依存性が確認された。このことから、 $1 \mu\text{M}$  程度の濃度条件であっても分子鎖間相互作用が一定以上は働いていることが示唆された。

#### 4-1-3. 比較化合物の検討による高分子構造の意義の検証

次に、本研究での分子設計が妥当かを確認するため、片末端がメチル保護された PDMS を持つ比較化合物  $\text{PDMS}_{2000}\text{-PDI-PDMS}_{2000}$  の THF 中での紫外可視吸収スペクトルを測定したところ、 $\alpha$  の値は 1.22 を記録した。PDMS 鎖を有するフォルダマーは全て  $\alpha$  が 1 以下の値であったことから (Table 1)、本研究で示した設計の交互共重合体にすることでエントロピー減少効果を妨げることができることが示され、簡便なこの分子設計の有用性が示された。また PEG 鎖を有する比較化合物  $\text{PEG}_{2000}\text{-PDI-PEG}_{2000}$  についても同様に  $\alpha$  の値が 1.59 と 1 以上となる結果が得られたことから (Table 1)、主鎖の種類に関わらずこの交互共重合様式の分子設計が効果的に折り畳みを促進していることが示された。

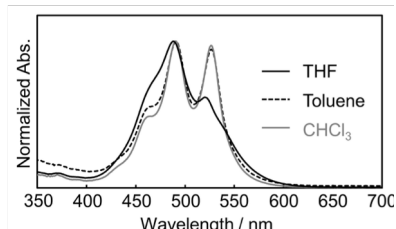


Fig. 2. UV-Vis spectra of  $(\text{PDI-PDMS}_{1000})_n$  in solution at  $100 \mu\text{M}$ .

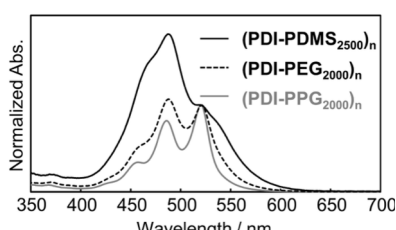


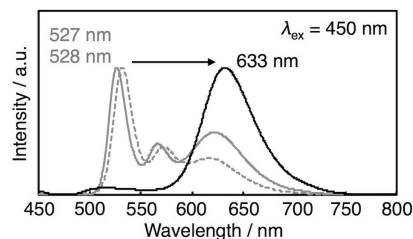
Fig. 3. UV-Vis spectra of  $(\text{PDI-PDMS}_{2500})_n$ ,  $(\text{PDI-PEG}_{2000})_n$  and  $(\text{PDI-PPG}_{2000})_n$  in THF at  $100 \mu\text{M}$ .

Table 1. Fluorescence quantum yield ( $\Phi_{\text{FL}}$ ) and intensity ratio of the absorption bands for PDI foldamers in THF ( $c = 10^{-5} \text{ M}$ ).  $\lambda_{\text{ex}} = 410 \text{ nm}$ .

Entry	$\Phi_{\text{FL,THF}}$	$\alpha$
$(\text{PDI-PDMS}_{2500})_n$	0.23	0.59
$(\text{PDI-PDMS}_{5000})_n$	0.30	0.65
$(\text{PDI-PEG}_{2000})_n$	0.32	0.89
$(\text{PDI-PEG}_{6000})_n$	0.59	1.30
$(\text{PDI-PPG}_{2000})_n$	0.38	1.22
$(\text{PDI-PPG}_{4000})_n$	0.52	1.36
$\text{PDMS}_{2000}\text{-PDI-PDMS}_{2000}$	0.48	1.22
$\text{PEG}_{2000}\text{-PDI-PEG}_{2000}$	0.76	1.59

#### 4-1-4. 蛍光スペクトル

THF 溶液中で得られた蛍光発光の量子収率の結果を **Table 1** に示す。PDMS 鎖を有するフォルダマー二種類の値の差と比較し、比較化合物 **PDMS<sub>2000</sub>-PDI-PDMS<sub>200</sub>** では大きく量子収率が増加した。また PEG 鎖を有するフォルダマーについては、フォルダマー間にもおよそ 2 倍程度の量子収率の差が見られる。PEG 鎖を有する Foldamer では **(PDI-PEG<sub>6000</sub>)<sub>n</sub>** の  $\alpha$  が 1.30 であるためにリンカー鎖の長さに依存して折り畳み/解放に対応する領域の比に変化が生じることを示唆しており、そのため、量子収率に大きな差が出る結果となったと考える。また比較化合物 **PDMS<sub>2000</sub>-PDI-PDMS<sub>2000</sub>** と **PEG<sub>2000</sub>-PDI-PEG<sub>2000</sub>** を比較すると、後者のほうが量子収率は大きな値を示しており、PDMS 鎖の柔軟性に由来したエントロピー減少の抑制効果が現れていると推測できる。またこれら合成した化合物はすべて薄膜中ではエキシマー発光を示した。一方、溶液中でエキシマー発光を示したのは **(PDI-PDMS<sub>m</sub>)<sub>n</sub>** のシリーズ 3 種のみであり (**Fig. 4**)、強く折り畳んでいることが示唆された。



**Fig. 4.** Fluorescence spectra of **(PDI-PDMS<sub>2500</sub>)<sub>n</sub>** in CHCl<sub>3</sub> (gray, dotted) and THF (gray, solid) at 10 μM, and dropcast film (black, solid).  $\lambda_{\text{ex}} = 450$  nm.

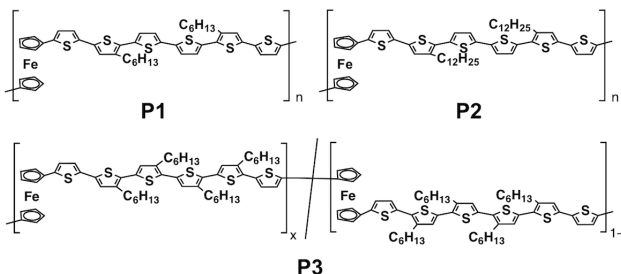
#### 4-1-5. 局所電荷輸送特性

ドロップキャスト薄膜に対しマイクロ波を用いた非接触電気伝導法である FP-TRMC 測定を実施したところ、光電荷分離過程によりキャリアが生成し、過渡電気伝導度  $\phi \Sigma \mu$  の上昇が観測された。同時に過渡吸収分光法 (TAS) によりキャリア生成効率  $\phi$  の値を見積もり計算したところ、**(PDI-PEG<sub>2000</sub>)<sub>n</sub>** では電子移動度  $\mu_e = 0.3 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  という大きな値を得た。一方、比較化合物 **PEG<sub>2000</sub>-PDI-PEG<sub>2000</sub>** についても  $0.13 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  を得た。すなわち、 $\alpha$  の小さい材料ほど高い電子移動度を示した。また、PPG 鎖を有するフォルダマーについては  $\mu_e = 0.01, 0.06 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  に止まった。PDMS 鎖を有するフォルダマーに関しては TAS 測定で PDI ラジカルアニオンの吸収を観測できず、移動度の見積もりが出来なかった。一方、**PDMS<sub>2000</sub>-PDI-PDMS<sub>2000</sub>** は  $\mu_e = 0.04 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  を与えた。PDMS 鎖を有するフォルダマーでは、PDI 間の距離が接近し、光励起キャリア生成効率  $\phi$  が小さくなったことが原因であると推測されるものの、XRD 測定にてブロードな回折ピークのみが観測されることから、積層部分の結晶性 (構造周期性) に乏しいことによるキャリア移動度の低さも原因として考えられる。**(PDI-PEG<sub>2000</sub>)<sub>n</sub>** については、分子鎖間の相互作用が無視できないほど存在し、そのような折り畳み部位以外の場所の結晶性の高い構造の寄与により相対的に高い値が観測されたと考えている。

### 4-2. 回転関節部位を導入した折り畳み高分子の自己集合挙動に関する検討

#### 4-2-1. 高分子の合成

有機合成化学的な手法により、1,1'-bis(5-bromothiophen-2-yl)ferrocene と末端  $\alpha$  位がトリメチルスズ化されたオリゴチオフェン 4 量体を合成した。両ユニットを Stille カップリング反応を用いて重合することで、目的の多関節高分子を得た。具体的には、オリゴチオフェンの置換基を変更し、ジヘキシルセキシチオフェン誘導体 **P1**、ジドデシルセキシチオフェン誘導体 **P2**、立体規則性テトラヘキシルセキシチオフェン誘導体 **P3** の 3 種類の誘導体を合成した (**Fig. 5**)。サイズ排除クロマトグラフィーによる評価により、設計されたすべてのポリマーは重量平均分子量がおよそ 20,000 程度であることが確認された。



**Fig. 5.** Chemical structures of multi-joint polymers **P1-P3**.

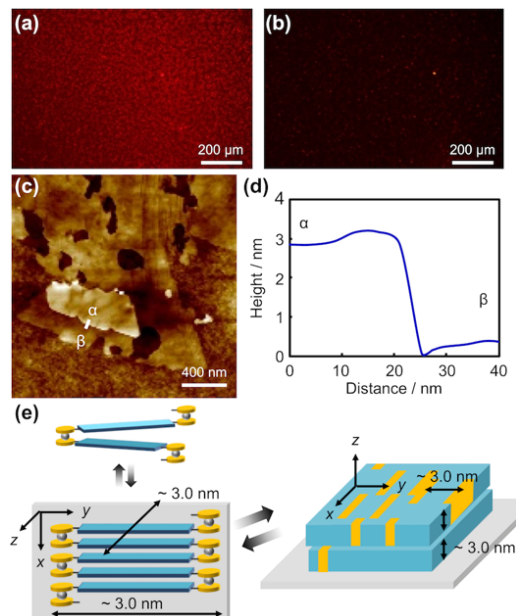
#### 4-2-2. 溶液中での折り畳み挙動

**P1-P3** に関して、クロロホルム溶媒中でのポリマーの電子吸収スペクトルは、対照化合物に比べて  $\pi$ - $\pi^*$  遷移に由来する吸収帯の長波長シフトを示した。また **P1** および **P2** のヘキサン溶媒中での電子吸収スペクトルは、さらなる長波長シフトを示した。さらに、温度を低下させることでその傾向は強まった。一般に、この吸収帯の長波長シフトはチオフェン-チオフェン間における  $\pi$ - $\pi$  相互作用の存在に起因する。また、電子吸収スペクトルの濃度依存性は極めて小さいことから、観測された長波長シフトに対する高分子鎖間の  $\pi$ - $\pi$  相互作用の寄与は無視でき、主として孤立分子鎖内の折りたたみ挙動に起因するものであることが示唆された。一方で **P3** に関しては、このような溶媒依存性が見られず、ヘキサン中でもクロロホルム中でもランダムコイル形状を取り続けていることを示唆している。以上のように、置換基によって得られるポリマーのコンフォメーションが大きく異なることが明らかとなった。

#### 4-2-3. 固相中での折り畳み挙動

**2** のクロロホルム溶液から得られたサンプルについて 50 °C/min のスキャン速度で DSC 測定を行ったところ、50 °C 付近と 130 °C 付近に相転移に伴う発熱/吸熱ピークが確認された。それぞれ

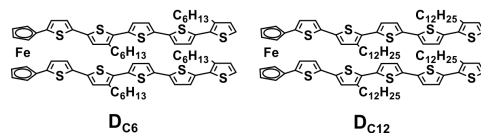
ガラス転移点と融点に対応していると考えられる。ここでの相転移を解明するためにクロロホルム溶液からドロップキャストされたフィルムに対して、**Fig. 6** で示す偏光顕微鏡 (POM) 像、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察及び X 線回折 (XRD) 測定を行った。**Fig. 6a, b** より加熱前の POM 像ではクロスニコル下で光学テクスチャーが観察された一方で、融点以上の 150 度では暗視野像へ変化した。ここで常温から 150 度に至る過程においては徐々に光学スポットが失われている。また **Fig. 6c** の AFM 像では常温で部分的にステップ状の層状構造体が観察され、 $\alpha$  から  $\beta$  の高さプロファイル (**Fig. 6d**) からおよそ 3 nm 程度の高さをもった層から構成されていることが判明した。さらに XRD 測定からも 3 nm 程度に対応するブロードなピークが検出された。3 nm は **Fig. 6e** における折り畳まれたポリマーの側鎖末端間距離、あるいはフェロセン-オリゴチオフェン-フェロセンの末端間距離のいずれかに対応している。これらのことからドロップキャストフィルムでは、溶液中で折り畳まれていたポリマーが自己組織化し、側鎖あるいはフェロセンを基板に垂直に向けて二次元シートを構築している状態だと考えられる (**Fig. 6e**)。アルキル鎖の疎水性を考慮すると、空気/薄膜界面にはアルキル鎖が並ぶ可能性が高いと現在は考えている。他のポリマー **P1** および **P3** に対しても同種の測定を試みたが、自己組織化する挙動が観察されなかった。すなわちドデシル基の相互陥入による結晶化を駆動力とした自己組織化挙動であることがわかった。一方で、本系で見られた AFM における層状構造は画像全面で観察されているわけではなく、秩序性に乏しい領域と高い領域に分かれている。また XRD でも 3 nm 付近のピークはかなりブロードになっている。これらのことから、得られた多関節高分子は期待する折り畳み挙動を示すものの、その割合は 100% ではなく、また、構造周期性にも疑問が残ることが示唆された。



**Fig. 6.** Crossed polarized microscopy images of (a) as-cast and (b) thermally-annealed (150 °C, 1 h) films of **P2** from  $\text{CHCl}_3$  solution. (c) AFM image and (d) height profile of  $\text{CHCl}_3$ -cast film of **P2**. (e) Possible self-assembly behavior of **P2**.

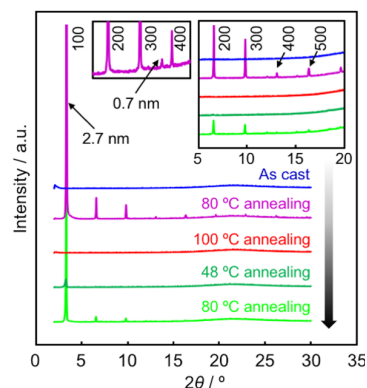
#### 4-2-4. 二量体の冷結晶化挙動

前項までで多関節高分子の折り畳み挙動がある程度立証されたが、バルク中において目的の構造が形成されている割合に大きな疑問が残った。そこで、二量体 (**Fig. 7**: **D<sub>C6</sub>** and **D<sub>C12</sub>**) をモデル化合物としてその挙動を詳細に調べ、冷結晶化に基づく、構造純度の高い折り畳み挙動を確認した。



**Fig. 7.** Chemical structures of oligothiophene-ferrocene-oligothiophene molecules **D<sub>C6</sub>** and **D<sub>C12</sub>**.

冷結晶化は“昇温に伴って融点以下で起こる結晶化”とされており、準安定相である過冷却非晶質固体を形成したのちに昇温時により安定な相である結晶相へと相転移する挙動である。高分子化合物と比較すると、低分子有機材料においては珍しい挙動であり、どのような分子設計を採用すれば冷結晶化を示す材料を実現できるかについての知見は未だに乏しい。今回、二量体である **D<sub>C12</sub>** を合成したところ、0.1 °C/min まで低速で降温した際も非晶質固体を形成し、その後の昇温時に冷結晶化を起こすことが確認された。 $\pi$ -Fc- $\pi$  は等方相から冷却されると、さまざまなコンフォメーションの分子が共存することにより過冷却非晶質固体を形成しやすく、その後に昇温することで、 $\pi$ -Fc- $\pi$  分子の折り畳みが誘起され、ラメラ状に分子が自己集積し結晶化する (**Fig. 8**: 温度変化 XRD パターン) という機構が推定される。**D<sub>C6</sub>** では非晶質のままであったことから、ドデシル基の結晶化が鍵となることが明らかである。



**Fig. 8.** XRD patterns ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) of  $\text{CHCl}_3$ -dropcast film of **D<sub>C12</sub>** at 25 °C before annealing (blue), after 80 °C annealing (magenta), and after 100 °C annealing (red) for 24 h. XRD patterns of molten film of **D<sub>C12</sub>** at 25 °C after 48 °C annealing (green), and after 80 °C annealing (pale green) for 24 h (from top to bottom).

以上、二量体を用いた場合は、低分子であり準安定状態が少ないことから、冷結晶化により構造純度を極限まで高めることが可能であった。高分子においてもこのような高い構造純度を得るためには、溶液中での折り畳み状態からの析出、等の平衡系から外すような工夫が今後重要であると考えられる。また、オリゴチオフェンよりも対称性が高く、共役部位のコンフォメーション自由度の低い共役骨格を用いることも重要と考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yusuke Tsutsui, Wanying Zhang, Samrat Ghosh, Tsuneaki Sakurai, Hiroyuki Yoshida, Masanori Ozaki, Tomoyuki Akutagawa, Shu Seki	4. 巻 8
2. 論文標題 Electrically Switchable Amplified Spontaneous Emission from Liquid Crystalline Phase of an AIEE-Active ES IPT Molecule	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1902158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201902158	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 Takumi Nakazato, Wakana Matsuda, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Hiroshi Shinokubo, Yoshihiro Miyake	4. 巻 49
2. 論文標題 Synthesis and crystal packing structures of 2,7-diazapyrenes with various alkyl groups at 1,3,6,8-positions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 in press.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200083	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 Mantas Liutkus, Alicia Lopez-Andarias, Sara Mejias, Javier Lopez-Andarias, David Gil-Carton, Ferran Feixas, Silvia Osuna, Wakana Matsuda, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Carmen Atienza, Nazario Martin, Aitziber L. Cortajarena	4. 巻 12
2. 論文標題 Protein-directed crystalline 2D fullerene assemblies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 3614-3622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR07083D	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 Shohei Kato, Shuhei Akahori, Yuma Serizawa, Xu Lin, Mitsuaki Yamauchi, Shiki Yagai, Tsuneaki Sakurai, Wakana Matsuda, Shu Seki, Hiroshi Shinokubo, Yoshihiro Miyake	4. 巻 85
2. 論文標題 Systematic Synthesis of Tetrathia[8]circulenes: The Influence of Peripheral Substituents on the Structures and Properties in Solution and Solid States	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 62-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b01655	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 Yusuke Hattori, Nozomi Nishimura, Yusuke Tsutsui, Samrat Ghosh, Tsuneaki Sakurai, Kazunori Sugiyasu, Masayuki Takeuchi, Shu Seki	4. 巻 55
2. 論文標題 Rod-like transition first or chain aggregation first? ordered aggregation of rod-like poly(p-phenyleneethynylene) chains in solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communication	6. 最初と最後の頁 13342-13345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC06892A	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 Wanying Zhang, Satoshi Suzuki, SeongYong Cho, Go Watanabe, Hiroyuki Yoshida, Tsuneaki Sakurai, Mika Aotani, Yusuke Tsutsui, Masanori Ozaki, Shu Seki	4. 巻 35
2. 論文標題 Highly Miscible Hybrid Liquid Crystal Systems Containing Fluorescent Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 14031-14041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b02272	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 Yuki Tsujimoto, Tsuneaki Sakurai, Yuichiro Ono, Shusaku Nagano, Shu Seki	4. 巻 123
2. 論文標題 Cold Crystallization of Ferrocene-Hinged pi-Conjugated Molecule Induced by Limited Conformational Freedom of Ferrocene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 8325-8332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b06880	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 Zichao Lian, Masanori Sakamoto, Yoichi Kobayashi, Naoto Tamai, Jun Ma, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Tatsuo Nakagawa, Mingwei Lai, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Toshiharu Teranishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Anomalous Photo-Induced Hole Transport in Type-I Core/Mesoporous-Shell Nanocrystals for Efficient Photocatalytic H <sub>2</sub> Evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 8356-8363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b03826	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 Yoshihiro Motomura, Yusuke Hattori, Tsuneaki Sakurai, Samrat Ghosh, Shu Seki	4. 巻 52
2. 論文標題 Impact of Unsymmetrical Alkyl-Fluoroalkyl Side Chains over Coil-to-Rod Transition of Soluble Polyacetylenes: Modulation of Electronic Conjugation of Isolated Chains and their Self-Assembly	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4916-4925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b00629	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 Alicia Lopez-Andarias, Carmen Atienza, Javier Lopez-Andarias, Wakana Matsuda, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Nazario Martin	4. 巻 7
2. 論文標題 Assembly effect on the charge carrier mobility in quarterthiophene-based n/p-materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6649-6655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC00165D	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 Tomohiro Higashino, Keiichi Ishida, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Tatsuki Konishi, Kenji Kamada, Hiroshi Imahori	4. 巻 25
2. 論文標題 Pluripotent Features of Doubly Thiophene-fused Benzodiphospholes as Organic Functional Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry -A European Journal	6. 最初と最後の頁 6425-6438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201900661	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 Wanying Zhang, Tsuneaki Sakurai, Mika Aotani, Go Watanabe, Hiroyuki Yoshida, Vikas Sudam Padaikar, Yusuke Tsutsui, Daisuke Sakamaki, Masanori Ozaki, Shu Seki	4. 巻 7
2. 論文標題 Highly Fluorescent Liquid Crystals from Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1801349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.2018013491	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 Jun Ma, Anil Kumar, Yusa Muroya, Shinichi Yamashita, Tsuneaki Sakurai, Segey A. Denisov, Michael D. Sevilla, Amitava Adhikary, Shu Seki, Mehran Mostafavi	4. 巻 10
2. 論文標題 Observation of dissociative quasi-free electron attachment to nucleoside via excited anion radical in solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-08005-z	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 Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Jun Ma, Masaki Sugimoto, Tetsuya Yamaki, Atsuya Chiba, Yuichi Saito, Shu Seki	4. 巻 122
2. 論文標題 Conjugated Nanowire Sensors via High-Energy Single-Particle-Induced Linear Polymerization of 9,9'-Spiro[9H-fluorene] Derivatives	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 8614 ~ 8623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06310	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 Michael L. Aubrey, Brian M. Wiers, Sean C. Andrews, Tsuneaki Sakurai, Sebastian E. Reyes-Lillo, Samia M. Hamed, Chung-Jui Yu, Lucy E. Darago, Jarad A. Mason, Jin-Ook Baeg, Fernande Grandjean, Gary J. Long, Shu Seki, Jeffery B. Neaton, Peidong Yang, Jeffrey R. Long	4. 巻 17
2. 論文標題 Electron delocalization and charge mobility as a function of reduction in a metal-organic framework	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 625 ~ 632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-018-0098-1	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 Michael L. Aubrey, Brian M. Wiers, Sean C. Andrews, Tsuneaki Sakurai, Sebastian E. Reyes-Lillo, Samia M. Hamed, Chung-Jui Yu, Lucy E. Darago, Jarad A. Mason, Jin-Ook Baeg, Fernande Grandjean, Gary J. Long, Shu Seki, Jeffery B. Neaton, Peidong Yang, Jeffrey R. Long	4. 巻 6
2. 論文標題 Relaxation of Plasma Carriers in Graphene: An Approach by Frequency-Dependent Optical Conductivity Measurement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1701402 ~ 1701402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201701402	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 Anurag Mukherjee, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Suhrit Ghosh	4. 巻 4
2. 論文標題 Naphthalenediimide (NDI)-Conjugated Foldable Polyurethanes: Impact of Chromophoric Location on Hierarchical Supramolecular Assembly and Conductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 860 ~ 866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201800220	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 Wakana Matsuda, Tsuneaki Sakurai, Goutam Ghosh, Suhrit Ghosh, Shu Seki	4. 巻 31
2. 論文標題 Transient Optical-Microwave Spectroscopy for Electron Mobility Assessment in Solids and Gels: A Comprehensive Approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 91 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.31.91	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 German Zango, Tsuneaki Sakurai, Beatriz Urones, Hidenori Saeki, Wakana Matsuda, M. Victoria Martines-Díaz, Shu Seki, Tomas Torres	4. 巻 24
2. 論文標題 Peripherally Cyanated Subphthalocyanines as Potential n-Type Organic Semiconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 8331 ~ 8342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201801190	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 Takumi Nakazato, Takuto Kamatsuka, Junichi Inoue, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Hiroshi Shinokubo, Yoshihiro Miyake	4. 巻 54
2. 論文標題 The reductive aromatization of naphthalene diimide: a versatile platform for 2,7-diazapyrenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5177 ~ 5180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC01937A	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 Zichao Lian, Masanori Sakamoto, Yoichi Kobayashi, Naoto Tamai, Jun Ma, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Tatsuo Nakagawa, Mingwei Lai, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Toshiharu Teranishi	4. 巻 9
2. 論文標題 Durian-Shaped CdS@ZnSe Core@Mesoporous-Shell Nanoparticles for Enhanced and Sustainable Photocatalytic Hydrogen Evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2212 ~ 2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b00789	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 Javier Lopez-Andarias, Sara H. Mejias, Tsuneaki Sakurai, Wakana Matsuda, Shu Seki, Ferran Feixas, Silvia Osuna, Carmen Atienza, Nazario Martin, Aitziber L. Cortajarena	4. 巻 28
2. 論文標題 Toward Bioelectronic Nanomaterials: Photoconductivity in Protein?Porphyrin Hybrids Wrapped around SWCNT	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1704031 ~ 1704031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201704031	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 Vikas S. Padalkar, Yusuke Tsutsui, Tsuneaki Sakurai, Daisuke Sakamaki, Norimitsu Tohnai, Kenichi Kato, Masaki Takata, Tomoyuki Akutagawa, Ken-ichi Sakai, Shu Seki	4. 巻 121
2. 論文標題 Optical and Structural Properties of ESIPT Inspired HBT-Fluorene Molecular Aggregates and Liquid Crystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 10407-10416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.7b08073	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 Tsuneaki Sakurai, Satoru Yoneda, Shugo Sakaguchi, Kenichi Kato, Masaki Takata, Shu Seki	4. 巻 50
2. 論文標題 Donor/Acceptor Segregated $\pi$ -Stacking Arrays by Use of Shish-Kebab-Type Polymeric Backbones: Highly Conductive Discotic Blends of Phthalocyaninatopolysiloxanes and Perylenediimides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 9265-9275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b02020	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 Tsuneaki Sakurai, Naomi Orito, Shusaku Nagano, Kenichi Kato, Masaki Takata, and Shu Seki	4. 巻 2
2. 論文標題 Electron-transporting foldable alternating copolymers of perylenediimide and flexible macromolecular chains	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 718-729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7QM00616K	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 Amrita Sikder, Jayita Sarkar, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Suhrit Ghosh	4. 巻 10
2. 論文標題 Solvent switchable nanostructures and the function of a -amphiphile	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 3272-3280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7nr07989c	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 Goutam Ghosh, Mithun Paul, Tsuneaki Sakurai, Wakana Matsuda, Shu Seki, Suhrit Ghosh	4. 巻 24
2. 論文標題 Supramolecular Chirality Issues in Unorthodox Naphthalene Diimide Gelators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 1938 ~ 1946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201704825	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 Dipankar Basak, Sankar Pal Deep, Tsuneaki Sakurai, Satoru Yoneda, Shu Seki, Suhrit Ghosh	4. 巻 19
2. 論文標題 Cooperative supramolecular polymerization of a perylene diimide derivative and its impact on electron-transporting properties	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 31024-31029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cp06298b	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

[学会発表] 計26件(うち招待講演 13件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Highly Fluorescent Liquid Crystal Blends Using Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecules
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on "Organic Photoelectronics: Theory, Materials, Interfaces, and Spectroscopy" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 高エネルギー粒子線の飛跡内固相重合反応を用いた有機ナノワイヤの創成
3. 学会等名 原子力関係科学技術の基礎的研究の動向調査委員会 令和1年度第1回研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 筒井 祐介, 関 修平
2. 発表標題 マイクロ波を用いた非接触電気伝導度計測法
3. 学会等名 京都大学インダストリアルデイ2019-2 産学マッチング交流会 ~最先端化学の産業応用~(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai, Yuki Tsujimoto, Yuichiro Ono, Shusaku Nagano, Shu Seki
2. 発表標題 Cold Crystallization of Ferrocene-Hinged pi-Conjugated Molecules Induced by Limited Conformational Freedom of Ferrocene
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 張 婉瑩, 渡辺 豪, 吉田 浩之, 鈴木 聡, 尾崎 雅則, 関 修平
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動を示す液晶化合物の設計と発光機能
3. 学会等名 2019年日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 坂口 周悟, 香山 一登, 神谷 昂志, 堀尾 明史, 竹下 友輝, 出崎 亮, 越川 博, 杉本 雅樹, 八巻 徹也, 関 修平
2. 発表標題 低分子化合物の粒子線誘発固相重合による有機ナノワイヤの形成とその配向制御
3. 学会等名 第62回放射線化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wanying Zhang, Satoshi Suzuki, Go Watanabe, Hiroyuki Yoshida, Tsuneaki Sakurai, Masanori Ozaki, Shu Seki
2. 発表標題 Highly Miscible Hybrid Liquid Crystal Systems Containing Fluorescent Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecules
3. 学会等名 The 1st KU - UNIST Joint Symposium on Chemistry and Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Hattori, Ghosh Samrat, Yusuke Tsutsui, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki
2. 発表標題 Ordered Aggregation of Rod-like Poly(p-phenyleneethynylene) Chains in Solution
3. 学会等名 The 1st KU - UNIST Joint Symposium on Chemistry and Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 張 婉瑩, 鈴木 聡, 吉田 浩之, 渡辺 豪, 尾崎 雅則, 関 修平
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動を示す液晶性発光体の分子設計と機能開拓
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 Tsuneaki SAKURAI
2. 発表標題 Development of organic nanowires via polymerization in single ion tracks triggered by high energy particle irradiation
3. 学会等名 1st Research Coordination Meeting on "Enhancing the Beneficial Effects of Radiation Processing in Nanotechnology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 構造制御された 電子系材料の非接触電気伝導度評価
3. 学会等名 分子研研究会「錯体化学を基盤とした階層構造制御と機能発現」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 高エネルギー荷電粒子の飛跡内化学反応を用いた有機ナノワイヤの創成
3. 学会等名 東京大学大学院工学研究科化学生命工学専攻 談話会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 関 修平, 香山 一登, 坂口 周悟, 佃 諭志, 杉本 雅樹, 八巻 徹也
2. 発表標題 イオンビーム照射によるイオントラック内固相重合の実現とその材料・官能基選択性に関する研究
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Field-Induced Time-Resolved Microwave Conductivity Technique for Evaluation of Charge Transporting Property of Organic Semiconductors
3. 学会等名 ICPAC Langkawi 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Microwave-Based Evaluation of Electrical Conductivity for Molecularly-Designed Conjugated Polymers and -System-Based Foldamers
3. 学会等名 京都大学 - ドイツ国際シンポジウム: 分子設計で拓く機能性材料 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai, Shugo Sakaguchi, Masaki Sugimoto, Tetsuya Yamaki, Atsuya Chiba, Yuichi Saito, Shu Seki
2. 発表標題 Polymerized Nanowires via High-Energy Charged Particle Irradiation of 9,9'-spirobi[9H-fluorene] Derivatives
3. 学会等名 The 35th International Conference on Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai, Mika Aotani, Vikas Sudam Padalkar, Shu Seki
2. 発表標題 Design of Emissive Liquid Crystals with Excited-State Intramolecular Proton Transfer Capability
3. 学会等名 27th International liquid crystal conference (ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wanying Zhang, Tsuneaki Sakurai, Go Watanabe, Hiroyuki Yoshida, Masanori Ozaki, Shu Seki
2. 発表標題 Highly-Fluorescent Liquid Crystals from Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecules
3. 学会等名 The 4th Asian Conference on Liquid Crystals (ACLIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 有機材料の精密設計とマイクロ波を用いたその電荷キャリア輸送特性の非接触評価
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 有機エレクトロニクス材料中の電荷キャリアダイナミクスを捉える非接触計測法の開拓
3. 学会等名 第6回 エヌエフ基金研究開発奨励賞 研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 粒子線照射が誘起する固相重合反応を活用した機能性ナノワイヤの開拓と粒子線の飛跡検出 -1個の粒子が引き起こす化学反応-
3. 学会等名 第26回放射線利用総合シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 マイクロ波で視る・放射線で創る 液晶・高分子材料の化学
3. 学会等名 第2回ACEミーティング (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井 庸明, 関 修平
2. 発表標題 マイクロ波を用いた非接触電荷輸送特性評価法の開発
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Development of Organic Nanowires Formed through Chemical Reactions Triggered by High-Energy Charged Particle Irradiation
3. 学会等名 10th China-Japan Joint Symposium on Functional Supramolecular Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Hattori, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki
2. 発表標題 Development of Insulated Poly(p-Phenylene Ethynylene)s with Simple Alkylene Strap Structure
3. 学会等名 10th China-Japan Joint Symposium on Functional Supramolecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai, Mika Aotani, Shu Seki
2. 発表標題 Highly-Photoluminescent Rod-Shaped Liquid Crystals with Excited-State Intramolecular Proton Transfer Capability
3. 学会等名 The 34th International Conference on Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017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