

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03819

研究課題名(和文) 分子内-分子間触媒移動による 共役系交互共重合体の末端制御

研究課題名(英文) Control of polymer ends of pi-conjugated alternating polymer via intra- and intermolecular catalyst transfer

研究代表者

横澤 勉 (Yokozawa, Tsutomu)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：80182690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではジボロン酸モノマーとジブロモモノマーの鈴木・宮浦カップリング重合において、ジブロモモノマー上を分子内移動する Pd 触媒を用いることによって、ジブロモモノマー過剰下でも高分子量 共役系高分子が生成し、さらに両末端をボロン酸エステルに制御する重合法を検討するとともに、生成高分子の両末端へ種々の官能基の導入やトリブロック共重合体および環状 共役系高分子を合成することを目的とした。その結果、ボロン酸エステルを両末端に持つ種々の 共役系高分子が高分子量で得られ、官能基の導入やトリブロック共重合体が合成できた。また、メタ型モノマーを用いると選択的に環状ポリマーが合成できた。

研究成果の概要(英文)：We investigated Suzuki-Miyaura coupling polymerization of diboronic acid ester monomer and dibromo monomer with a Pd catalyst which undergoes intramolecular transfer on the dibromo monomer, affording high-molecular-weight pi-conjugated polymer with boronate at both ends even if excess dibromo monomer was used. Furthermore, functional groups and another pi-conjugated polymer was introduced at the both ends of the obtained polymer by virtue of the reaction of the boronate. When meta-substituted monomers were used, cyclic conjugated polymers were selectively obtained.

研究分野：高分子化学、有機合成

キーワード： 共役系高分子 鈴木カップリング Pd触媒 触媒移動 末端官能基化 環状高分子

## 1. 研究開始当初の背景

有機薄膜太陽電池材料として非常に多くの低バンドギャップドナー・アクセプター交互共重合体が二官能性有機金属モノマー (AAモノマー) と二官能性ハロゲン化モノマー (BBモノマー) のカップリング重合から合成されている。しかしながら、このようなAA+BBカップリング重合は、典型的な逐次重合であるため分子量を制御するのは困難であり、また、高分子両末端をAまたはBにするには、どちらかのモノマーを過剰に用いると合成できるが、Floryの理論に従って高分子量体は得られない。しかしながら申請者らは臭素両末端ポリフェニレンを合成する目的で、フェニレンジボロン酸エステルと過剰のジプロモフェニレンの鈴木・宮浦カップリング重合をおこなったところ、予想に反してボロン酸エステルが両末端にある高分子量ポリフェニレンを得た。この重合は次のように説明できる。用いたPd触媒が触媒移動縮合重合する触媒であったためジプロモベンゼンの1つの臭素がフェニレンジボロン酸エステルと反応したのち、Pd触媒は拡散せずに分子内を移動してもう1つの炭素-臭素結合が酸化的付加をして2つ目のフェニルボロン酸エステルと反応する。そして、Pd触媒は分子間移動してジプロモベンゼンと反応して同様な反応を繰り返す。すなわち、反応系中に生成するオリゴマーやポリマーの両末端はボロン酸エステルであるため過剰にジプロモベンゼンが存在しても高分子量体を与えたと説明できる。この予備的実験結果から以下の目的で研究を進めた。

## 2. 研究の目的

**(1) 非等モル下における高分子量 共役系高分子の合成:** 高分子量ポリマーを得るためにAAモノマーとBBモノマーを正確に1:1反応させる必要はなく、揮発性の高いジハロゲンモノマーを用いるときに過剰に用いても容易に高分子量体が生ずる。

**(2) ボロン酸エステル両末端の種々の官能基への変換:** 重合終期に官能基を持つハロゲン化物との鈴木・宮浦カップリングや、ハロゲン化試薬、酸化剤などによって種々の官能基を導入できる。AB型モノマーの触媒移動型重合では高分子末端の官能基化を可能にし、幅広い応用研究が行われているが、AA+BBカップリング重合における末端官能基化は皆無に近い。

**(3) 臭素片末端高分子とのカップリング反応によるトリブロック共重合体の合成:** AB型モノマーの触媒移動型重合では臭素片末端共役系高分子が容易に合成できるので、この高分子を重合終期に加えればトリブロック共重合体が合成できる。これまで一般的な重合において同様な試みは行われているが、高分子両末端が、ボロン酸エステル/ボロン酸エステル、ボロン酸エステル/臭素、臭素/臭素の3つがまざるため、トリブロック共重

合体だけではなく、ジブロック共重合体も生成していた。

**(4) 芳香族環状高分子の合成:** メタフェニレンのような屈曲分子をモノマーにするとオリゴマーの両末端ボロン酸エステルが近付いた場合に1つのジハロゲン化物と反応して芳香族環状高分子が生成しやすいと期待される。通常のカップリング重合では上記で述べた3種類の末端があるため環化反応がおこる確率は低いと予想される。

**(5) ドナー・アクセプター交互共重合体の末端制御:** さらに上記(1)~(4)の期待できることは同一の芳香環からなる共役系高分子だけではなく、ドナー芳香環モノマーとアクセプター芳香環モノマーのカップリング重合にも適用できる。すなわち、これまで非常に多く作られてきたドナー・アクセプター交互共重合体の末端の官能基化やポリチオフェンなどとのトリブロック共重合体が純度よく合成できる。これは有機薄膜太陽電池や無機半導体とのハイブリッド型太陽電池の研究へ大きなインパクトを与えると期待される。

## 3. 研究の方法

### (1) 非等モル下における高分子量 共役系高分子の生成確認

同一芳香環のジボロン酸エステルモノマーとジプロモモノマーの鈴木・宮浦重合を分子内移動能のある、 $(tert-Bu)_3P$ が配位したPd触媒を用いて検討し、ジプロモモノマーが過剰にある場合でも高分子量 共役系高分子が生成し、高分子両末端がボロン酸エステルとなっていることをレーザーイオン化飛行時間型質量分析装置 (MALDI-TOF) で確認する。もし、高分子量体が生じない場合や期待した末端構造が生じない場合は、重合に用いる塩基や重合温度を検討する。また、重合の分子量変化をゲルパーミエーションクロマトグラフ (GPC) によって、高分子末端の変化をMALDI-TOFによって追跡し、副反応を明らかにする。

### (2) 両末端官能基化

上記重合検討において高分子両末端がボロン酸エステルとなっている場合、重合終期に官能基を持つプロモベンゼンを加えて鈴木・宮浦カップリングを反応系中で行い、両末端を官能基化する。また、ヒドロキシル基はボロン酸エステル部位の酸化によって導入でき、原子移動ラジカル重合 (ATRP) 重合開始部位に容易に変換できるので、ビニルポリマー - 共役系高分子 - ビニルポリマーのトリブロック共重合体が合成できる。ボロン酸エステル部位の臭素化についても検討する。これによって2種のモノマー由来の末端をどちらでも高分子量体で得られるようになる。

### (3) 共役トリブロック共重合体の合成

全共役系高分子からなるブロック共重合体は、相分離をさせることによってフラーレ

ンを用いない有機薄膜太陽電池等へ活用できる。A B型モノマーの触媒移動型重合では、2種のモノマーを連続して重合させることによってジブロック共重合体が合成されている。本A A + B Bカップリング重合では両末端がボロン酸エステル部位に制御されているので、ここへA B型モノマーの触媒移動型重合で得られる臭素片末端共役系高分子を反応させてトリブロック共重合体を合成する。反応を完結させるため臭素片末端共役系高分子を小過剰用いるが、これは沈殿法や分取液体クロマトグラフィーによって除去し、純度の高いトリブロック共重合体を合成する。

#### (4) 芳香族環状高分子の合成

申請者らは既に *m*-フェニレンジボロン酸エステルと過剰の *p*-ジプロモフェニレンとの鈴木・宮浦カップリング重合において、両末端ボロン酸エステルポリマーではなく、環状ポリマーが生成するという予備的知見を得ている。これはフェニレンオリゴマーの両末端ボロン酸エステルが近付いた場合に1つのジハロゲン化物と反応して環状高分子が生成したと考えられ、分子内触媒移動能の高い Pd 触媒を用いた時の特異な重合と思われる。すなわち、通常の逐次重合で進行する場合は、高分子両末端がボロン酸エステル/ボロン酸エステル、ボロン酸エステル/臭素、臭素/臭素となり、ボロン酸エステル/臭素末端となった場合にしか環化しないためその確率は低いと考えられる。この仮説を異なる Pd 触媒を用いる重合によって検証していく。また、*m*-フェニレン以外の屈曲モノマーで同様な反応が起こるか検討する。得られた芳香族環状高分子の集積化、光・電子特性、また包接機能等についても検討していく。

### 4. 研究成果

#### (1) 非等モル下における高分子量 共役系高分子の生成確認

同一芳香環（フェニレン、フルオレン、スチルベン）のジボロン酸エステルモノマーとジプロモモノマーの鈴木・宮浦カップリング重合を分子内移動能のある (*tert*-Bu)<sub>3</sub>P が配位した Pd 触媒を用いて検討した結果、ジプロモモノマーが過剰にある場合でも高分子量 共役系高分子が生成し、高分子両末端がボロン酸エステルとなっていることをレーザーイオン化飛行時間型質量分析装置 (MALDIOTOF) で確認した。

次に 共役系交互共重合体の合成を検討した。その結果、ドナー性の高い芳香族モノマーをジプロモモノマー、ドナー性の低い芳香族モノマーをジボロン酸エステルモノマーとして用いると、高分子量で両末端がボロン酸エステルの 共役系交互共重合体が生成することを明らかにした。また、(*tert*-Bu)<sub>3</sub>P Pd 触媒より cataCXium A Pd 触媒の方が高分子量体を与えることも見出した。

ジプロモモノマーとしてこれまで芳香族

二臭化物を用いてきたが、官能基を挟んだ二芳香環二臭化物上の Pd 触媒の分子内移動について検討した結果、炭素-炭素二重結合、窒素-窒素二重結合、炭素-炭素三重結合、エーテル結合、カルボニル基、スルホニル基、アミノ基、そしてメチレン基などの官能基上も触媒が分子内移動することをモデル反応から明らかにし、これらのジプロモノマーを過剰に用いて *m*-フェニレンジボロン酸エステルと鈴木・宮浦カップリング重合を行うと、両末端ジボロン酸エステルの高分子量ポリマーが得られた。

#### (2) 両末端官能基化

(1)の重合において、重合終期にボロン酸エステル、過酸化水素/NaOH、*N*-ブロモスクシンイミド (NBS) を加えると、共役系高分子の両末端にそれぞれエステル部位、ヒドロキシ基、臭素を導入することができた。

cataCXium A Pd 触媒によって得られた共役系交互共重合体の反応系中に種々の芳香族臭化物を加えると、これらの芳香環が両末端に導入されことを明らかにした。また、それら末端官能基化された 共役系交互共重合体の吸収波長が長波長側に移動することも見出した。

#### (3) 共役トリブロック共重合体の合成

(1)の重合において、重合終期に片末端に臭素を持つポリチオフェンを加えて、ポリチオフェン-ポリフェニレン-ポリチオフェンのトリブロック共重合体が合成できた。

cataCXium A Pd 触媒によって得られた共役系交互共重合体の反応系中に片末端に臭素を持つポリチオフェンを加えて、ポリチオフェン-(ポリフルオレン-*alt*-ポリベンゾチアジアゾール)-ポリチオフェンのトリブロック共重合体が合成できた。

#### (4) 芳香族環状高分子の合成

*m*-フェニレンジボロン酸エステルと過剰の *p*-ジプロモフェニレンとの鈴木・宮浦カップリングにおいて、両末端ボロン酸エステルポリマーではなく、環状ポリフェニレンが選択的に生成することを見出した。また、重合におけるモノマー濃度を上げることによって環状ポリマーの分子量が上がった。さらにフェニレン骨格に種々の置換基を導入しても選択的に環状ポリフェニレンが得られることを明らかにした。

上記重合において *p*-ジプロモフェニレン以外にフルオレン、チオフェン、スチルベン、トランなどのジプロモ体を用いても芳香族環状ポリマーが生成することを明らかにした。

*m*-フェニレンジボロン酸エステルと *p*-ジプロモフェニレンとの非等モル下鈴木・宮浦カップリング重合によって生成する環状ポリフェニレンの光学特性を同一骨格の鎖状ポリフェニレンを合成して比較検討し、環状と鎖状ポリマーの差異を明らかにした。

*p*-フェニレンジボロン酸エステルと他種類の重合開始部位を持つ *m*-ジプロモフェ

ニレンとの非等モル下鈴木・宮浦カップリング重合によって環状ポリフェニレンを合成し、これをマクロ開始剤として用いて、ポリスチレン、ポリ(メチルメタクリレート)、ポリチオフェンがそれぞれグラフト化した環状ポリフェニレンを合成できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- (1) K. Kosaka, K. Nanjyo, Y. Ohta, T. Yokozawa: Importance of the Balance of Interaction between Palladium Catalyst and Aromatic  $\pi$ -Face for Unstoichiometric Suzuki-Miyaura Coupling Polymerization: Effective Pd cataCXium A Catalyst for Fluorene and Cyclopentadithiophene Monomers; *Chem. Lett.*, in press. (査読有。以下「有」と略記) (Journal HP: <http://www.journal.csj.jp/journal/cl>)
- (2) G. Zhang, Y. Ohta, T. Yokozawa: Exclusive Synthesis of Poly(3-hexylthiophene) with an Ethynyl Group at Only One End for Effective Block Copolymerization; *Macromol. Rapid Commun.*, **39**, 1700586 (2018). (有) (DOI: 10.1002/marc.201700586)
- (3) K. Kosaka, T. Uchida, K. Mikami, Y. Ohta, T. Yokozawa: AmPhos Pd-catalyzed Suzuki-Miyaura Catalyst-Transfer Condensation Polymerization: Narrower Dispersity by Mixing the Catalyst and Base Prior to Polymerization; *Macromolecules*, **51**, 364-369 (2018). (有) (DOI: 10.1021/acs.macromol.7b01990)
- (4) T. Kamigawara, H. Sugita, K. Mikami, Y. Ohta, T. Yokozawa: Intramolecular Transfer of Pd Catalyst on Carbon-Carbon Triple Bond and Nitrogen-Nitrogen Double Bond in Suzuki-Miyaura Coupling Reaction; *Catalysts*, **7**, 195-204 (2017). (有) (DOI: 10.3390/catal7070195)
- (5) K. Mikami, M. Nojima, Y. Masumoto, Y. Mizukoshi, R. Takita, T. Yokozawa, M. Uchiyama: Catalyst-Dependent Intrinsic Ring-Walking Behavior on  $\pi$ -Face of Conjugated Polymers; *Polym. Chem.*, **8**, 1708-1713 (2017). (有) (DOI: 10.1039/c6py01934j)
- (6) H. Sugita, M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa: Unusual Cyclic Polymerization through Suzuki-Miyaura Coupling of Polyphenylene Bearing Diboronate at Both Ends with Excess Dibromophenylene; *Chem. Commun.*, **53** (2) 396-399 (2017). (有) (DOI: 10.1039/c6cc08333a)
- (7) M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa: Additive-Controlled Switching from

Abnormal to Normal Unstoichiometric Suzuki-Miyaura Polycondensation for Poly(biphenylenevinylene); *Chem. Lett.*, **46** (1) 35-37 (2017). (有) (DOI: 10.1246/cl.160870)

- (8) Y. Tokita, M. Katoh, Y. Ohta, T. Yokozawa: Mechanistic Investigation of Catalyst-Transfer Suzuki-Miyaura Condensation Polymerization of Thiophene-Pyridine Biaryl Monomer with the Aid of Model Reactions; *Chem. Eur. J.*, **22** (48) 17436-17444 (2016). (有) (DOI: 10.1002/chem.201603581)
- (9) M. Nojima, K. Kosaka, M. Kato, Y. Ohta, T. Yokozawa: Alternating Intramolecular and Intermolecular Catalyst-Transfer Suzuki-Miyaura Condensation Polymerization: Synthesis of Boronate-Terminated  $\pi$ -Conjugated Polymers Using Excess Dibromo Monomers; *Macromol. Rapid Commun.*, **37** (1) 79-85 (2016). (有) (DOI: 10.1002/marc.201500587)
- (10) T. Yokozawa, Y. Ohta: Transformation of Step-Growth Polymerization into Living Chain-Growth Polymerization; *Chem. Rev.*, **116** (4) 1950-1968 (2016). (有) (DOI: 10.1021/acs.chemrev.5b00393)
- (11) M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa: Structural Requirements for Palladium Catalyst Transfer on a Carbon-Carbon Double Bond; *J. Am. Chem. Soc.*, **137** (17) 5682-5685 (2015). (有) (DOI: 10.1021/jacs.5b03113)
- (12) K. Kosaka, Y. Ohta, T. Yokozawa: Influence of the Boron Moiety and Water on Suzuki-Miyaura Catalyst-Transfer Condensation Polymerization; *Macromol. Rapid Commun.*, **36** (4) 373-377 (2015). (有) (DOI: 10.1002/marc.201400530)

〔学会発表〕(計 24 件)

- (1) 木村泰介, 杉田 一, 太田佳宏, 横澤勉, 「ハロゲン部位を有する環状ポリマーの合成とグラフト化」, 第 67 回高分子学会年次大会, 2018 年 5 月 24 日, 名古屋国際会議場 (名古屋).
- (2) 原田菜摘, 杉田 一, 太田佳宏, 横澤勉, 「様々な官能基で連結した二芳香環ジプロモアリレン上の Pd 触媒の分子内移動と非等モル下重縮合への応用」, 第 67 回高分子学会年次大会, 2018 年 5 月 24 日, 名古屋国際会議場 (名古屋).
- (3) 田中直樹, 行川 毅, 太田佳宏, 横澤勉, 「非等モル下鈴木・宮浦カップリング重合による環状ポリ(スチルベン-フェニレン)の合成およびそのメタセシス交換反応による分子量と両末端制御」, 第 67 回高分子学会年次大会, 2018 年 5 月 24 日, 名古屋国際会議場 (名古屋).

- (4) 杉田 一, 上川原タケル, 太田佳宏, 横澤 勉, 「アクセプターモノマーを用いた非等モル下鈴木・宮浦環化重合」, 第 67 回高分子学会年次大会, 2018 年 5 月 23 日, 名古屋国際会議場 (名古屋).
- (5) H. Sugita, Y. Ohta, T. Yokozawa, Unusual cyclic polymerization through Suzuki-Miyaura coupling of polyarylene bearing diboronate at both ends with excess dibromoarylene, 225th ACS National Meeting, 2018 年 3 月 21 日, New Orleans (USA).
- (6) 横澤 勉, 「金属触媒の分子内移動を利用した共役系高分子の末端官能基化」, 第 66 回高分子討論会 (招待講演), 2017 年 9 月 20 日, 愛媛大学 (松山).
- (7) 杉田 一, 太田佳宏, 横澤 勉, 「非等モル下鈴木・宮浦重縮合における鎖状ポリマーと環状ポリマーの特異的合成」, 第 66 回高分子討論会, 2017 年 9 月 20 日, 愛媛大学 (松山).
- (8) 上川原タケル, 杉田 一, 太田佳宏, 横澤 勉, 「炭素 - 炭素三重結合、および窒素 - 窒素二重結合上の Pd 触媒分子内移動と非等モル下重縮合への応用」, 第 66 回高分子討論会, 2017 年 9 月 20 日, 愛媛大学 (松山).
- (9) 木村泰介, 杉田 一, 太田佳宏, 横澤 勉, 「側鎖に芳香族ポリアミドを有する環状ポリフェニレンの合成」, 第 66 回高分子学会年次大会, 2017 年 5 月 31 日, 幕張メッセ (千葉).
- (10) T. Kimura, H. Sugita, Y. Ohta, T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polyphenylene grafted with aromatic polyamides, 5th Frontiers in Polymer Science, 2017 年 5 月 17 日, Seville (Spain).
- (11) T. Kamigawara, H. Sugita, Y. Ohta, T. Yokozawa, Propensity for intramolecular transfer of  $t\text{Bu}_3\text{PPd}$  catalyst on carbon-carbon triple bond and nitrogen-nitrogen double bond, 5th Frontiers in Polymer Science, 2017 年 5 月 18 日, Seville (Spain).
- (12) M. Nojima, K. Kosaka, M. Katoh, Y. Ohta, T. Yokozawa, Alternating intramolecular and intermolecular catalyst-transfer condensation polymerization, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016) (招待講演), 2016 年 12 月 15 日, 福岡国際会議場 (福岡).
- (13) 小坂研太郎, 南條小鉄, 太田佳宏, 横澤 勉, 触媒の分子内および分子間移動を利用した  $A_2 + B_2$  型重縮合に適した Pd 触媒の検討, 第 65 回高分子討論会, 2016 年 9 月 16 日, 神奈川大学 (横浜).
- (14) 上川原タケル, 杉田 一, 太田佳宏, 横澤 勉, 炭素 - 炭素三重結合、および窒素 - 窒素二重結合上の Pd 触媒分子内移動, 第 65 回高分子討論会, 2016 年 9 月 14 日, 神奈川大学 (横浜).
- (15) 杉田 一, 野嶋雅貴, 太田佳宏, 横澤 勉, 非等モル下鈴木・宮浦重縮合における環状ポリフェニレンおよび環状ポリ(フェニレン - チオフェン) の合成, 第 65 回高分子討論会, 2016 年 9 月 14 日, 神奈川大学 (横浜).
- (16) M. Nojima, K. Kosaka, M. Katoh, Y. Ohta, T. Yokozawa, Alternating intramolecular and intermolecular catalyst-transfer condensation polymerization under unstoichiometric conditions, 14th Pacific Polymer Conference (招待講演), 2015 年 12 月 12 日, Kauai (USA).
- (17) H. Sugita, M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polyarylenes by means of Suzuki polycondensation of diboronic acid ester and dibromo arenes, 14th Pacific Polymer Conference, 2015 年 12 月 10 日, Kauai (USA).
- (18) M. Nojima, K. Kosaka, M. Katoh, Y. Ohta, T. Yokozawa, Alternating intramolecular and intermolecular catalyst-transfer Suzuki-Miyaura condensation polymerization: synthesis of boronate-terminated  $\pi$ -conjugated polymers, 13th Japan-Belgium Symposium on Polymer Science (招待講演), 2015 年 11 月 17 日, 奈良女子大 (奈良).
- (19) M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa, Controlled synthesis of conjugated polymers via intramolecular transfer of catalyst, IUPAC 11th International Conference on Advanced Polymers via Macromolecular Engineering (招待講演), 2015 年 10 月 20 日, パシフィコ横浜アネックスホール (横浜).
- (20) 杉田 一, 野嶋雅貴, 太田佳宏, 横澤 勉, 第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15 日, 東北大学 (仙台).
- (21) H. Sugita, M. Nojima, Y. Ohta, T. Yokozawa, Selective synthesis of cyclic polyarylenes by Suzuki-Miyaura coupling polymerization, European Polymer Congress 2015, 2015 年 6 月 24 日, Dresden (Germany).
- (22) 杉田 一, 野嶋雅貴, 太田佳宏, 横澤 勉, Pd 触媒分子内移動を活用した環状ポリアリレンの選択的合成, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 27 日, 札幌コンベンションセンター (札幌).
- (23) 加藤 将, 野嶋雅貴, 太田佳宏, 横澤 勉, 非等モル下  $A_2 + B_2$  重合におけるドナー-アクセプター型 共役系高分子の合成, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 27 日, 札幌コンベンションセンター (札幌).
- (24) 野嶋雅貴, 小坂研太郎, 太田佳宏, 横澤 勉, 触媒の分子内および分子間移動を利用した  $A_2 + B_2$  重縮合に 共役系高

分子の精密合成, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 27 日, 札幌コンベンションセンター (札幌).

〔図書〕(計 2 件)

- (1) Y. Ohta, T. Yokozawa: Chain-Growth Polymerization for the Synthesis of  $\pi$ -Conjugated Polymers; In *Conjugated Objects: Developments, Synthesis, and Applications*; A. Nagai, K. Takagi, Eds.; Pan Stanford Publishing (Singapore), p. 113-138 (2017).
- (2) T. Yokozawa, Y. Ohta: Controlled Synthesis of Conjugated Polymers in Catalyst-Transfer Condensation Polymerization: Monomers and Catalysts; In *Semiconducting Polymers: Controlled Synthesis and Microstructure*, C. Luscombe, Ed.; Springer, RSC publishing (Cambridge), p. 3-37 (2017).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://apchem2.kanagawa-u.ac.jp/~yokozawalab/frame.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横澤 勉 (Yokozawa, Tsutomu)  
神奈川大学・工学部・教授  
研究者番号: 80182690

(2) 研究分担者

太田 佳宏 (Ohta, Yoshihiro)  
神奈川大学・工学部・特別助教  
研究者番号: 90625617