

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26620109

研究課題名(和文) 折り畳み スタック高分子を基盤とする一重項分裂材料の探索

研究課題名(英文) Development of Folded pi-Stacking Polymers and their Ability of Singlet Fission

研究代表者

岡本 専太郎 (Okamoto, Sentaro)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：00201989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：折り畳み型 積層高分子の材料として、熱的・化学的により安定な新たな連結部ユニットを開発した。これらを用いる高分子を合成し、H型積層構造をとる事を明らかにした。折り畳み連結ユニットを用いて、J積層型、異種 交互積層型、Staggered積層型高分子を開発し、ユニットの多様な積層構造の構築法を開発した。さらに、高分子主鎖の垂直方向へ ユニットが発達したCross積層型高分子を開発した。Cross積層高分子が高いホール移動能を示す事を見いだした。現在、薄膜太陽電池デバイスの評価および一重項分裂の可能性の検証を進めている。

研究成果の概要(英文)：New tethering units that are more stable thermally and chemically than the previous compounds were developed. Polymers comprised with them were synthesized and it was found that the polymers have H-type stacking conformation. In addition to H-stacking polymers, polymers having structure of J-stacking, staggered stacking and alternatively staking of different pi-units were developed and their optical properties were investigated. New cross-stacking polymers that have pi-units extended to polymer chain vertical axis were developed and they exhibited higher hole-transferring ability than previous folded polymers. Investigation of properties of thin-layer photovoltaic device comprised with folded pi-stacking polymers and ability of singlet-fission in them is underway in our laboratory.

研究分野：有機合成化学 合成有機金属化学 高分子化学

キーワード：機能性高分子 一重項分裂 積層高分子 有機薄膜太陽電池

1. 研究開始当初の背景

π -スタック(π -stacking)は、平面性の高い π 共役系分子 (あるいはユニット) が平行並列に配置した場合、その軌道相互作用に起因する配座の安定化や特異な物性への影響が優位に考慮できる場合を言う。 π -スタック構造では、全体の分子軌道が平面 π ユニット間の軌道相互作用で変化し、スタックに起因する新しい拡張共役系が構築されることで、空間を介した特異な電荷移動や光吸収・発光挙動の変化が起こる。この挙動の理解は、分子結晶や自己組織化を利用した有機導電性・発光材料などの理解を進める上で、さらには将来の有機材料開発の基盤として興味を持たれる。しかし、従来は π 分子や π ユニット固有の特性に依存して固体状態での高次構造制御がなされてきた。本研究では、 π ユニット 2 をトリメチレン型連結ユニット 1 で相互に結合する A_2+B_2 型重合生成高分子で連結部 1 の立体配座を設計・精査することで、連結部が常に折り畳みユニットとして機能し、高分子全体が優位に折り畳み構造をとる高分子構造を見いだしたことを初期的な知見(引用文献[1],[2])として、態(溶液、液体、固体)によらず一定の π 積層構造をとる H -スタック高分子を研究の基盤とする。この折り畳み π 積層高分子の singlet fission の可能性、それに適した π ユニットの探索、およびデバイスへの適用と物性評価を行い、塗布型デバイス作成が可能なる高分子材料として光電変換効率の高い有機薄膜太陽電池の新しい素材を提供する指針を明らかにする事を目的とする。

2. 研究の目的

次世代の光電子材料として、塗布式生産による低コスト化が可能なる有機系薄膜素子が注目されており、必須ユニットとして含有される π 分子あるいは π ユニットの高次構造の制御がデバイス性能を左右する重要な因子の一つとなっている。薄膜太陽電池では、活性層の電荷分離能とともにキャリア移動能が重要な因子となっている。さらに、一重項励起子の三重項への分裂(singlet fission)は1つの光子で2つの励起子を生成させる事ができることから、有機太陽電池の光電変換効率を向上させる新たな指針として注目を集めている。本研究では、高分子主鎖が自発的に折り畳み、含まれる π ユニットが自動的に平面-平面で必ず積層(stacking)する折り畳み π -スタック高分子構造を創成し、これらの電荷移動能の評価と更なる設計指針を得るとともに、singlet fission とその有機薄膜太陽電池への利用の可能性を探索する。これまでの成果として、種々の積層構造(H -スタック構造、階段状およびラダー型 J -スタック構造、異種 π 交互積層 H -および J -スタック構造)を自由に構築できる手法を開発してきており、特に singlet fission に有利な H -スタック構造はこれらの基礎基盤として確立している。Singlet fission を可能にする π ユニットの探索、溶媒への可溶性技術と実際のデバイスへの適用について、合成・評価する。

3. 研究の方法

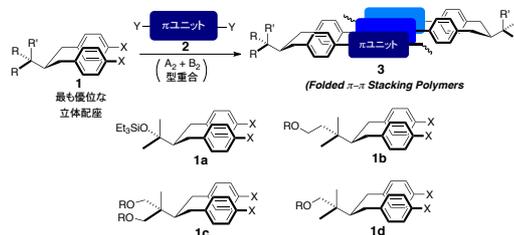
上述の折り畳み π 積層型高分子について、 H -型および J -型スタック高分子を合成し、これらについて、電荷移動能評価と singlet fission 現象の有無

を検証する。この際、いくつかの異なる π ユニットについて比較検討し、より効率的なキャリア移動と fission の発現について指針を得る。得られた素材を用いる太陽電池デバイスを作成し、評価する。

4. 研究成果

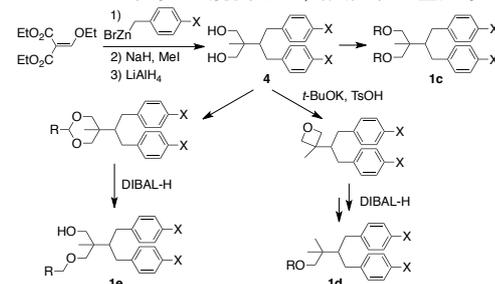
(1) 折り畳み連結部の開発

我々は、2位に嵩高い置換基を有する1,3-ジアリールプロパンが **1** のようにアリール基が向き合う配座を優位にとること、さらに **1** と π ユニット **2** との A_2+B_2 型カップリング重合で生成する高分子 **3** が自発的に折り畳み構造をとる事を明らかにしている(引用文献[1])。当初、三級アルコール誘導体 **1a** を用いていたが、化学的、熱的な安定性が低く、修飾も容易でなく、本研究を柔軟に遂行するには支障があると判断した。その後、一級アルコール型連結部 **1b** を開発したが、その合成法は幾らか煩雑なものであった。そこで、新たに上述の問題点を解決できる折り畳み連結部 **1c** および **1d** を開発した(発表論文⑨)。

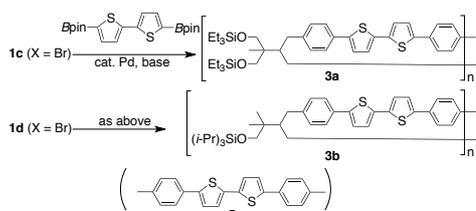


即ち、エトキシメチリデンマロン酸エステルから三段階で合成したジオール体 **4** より **1c** を効率良く得た。また、**4** をアセタール体として部分還元して **4** のモノ修飾体 **1e** を、**4** を着せたん体とした後還元開環して **1d** を合成した。一連の反応は高収率かつ比較的簡便に行えるものでこれらの大量合成にも対応できる。

得られた連結部 **1c** ($X = H$) および **1d** ($X = H$) は、 1H NMR 分析での芳香族プロトンの高磁場シフト (vs. トルエン)、蛍光発光に於ける優位なベンゼンエキシマー発光が観測され、溶液中で基底状態、



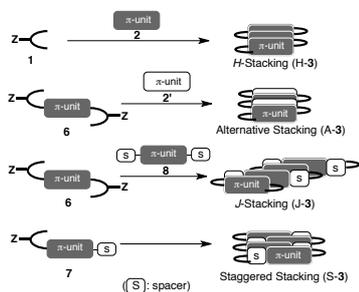
励起状態で折り畳み構造を優位にとっている事が検証された。さらに、**1c** ($X = Br, R = SiEt_3$) および **1d** ($X = Br, R = Si(i-Pr)_3$) とピチオフェンジボロン酸エステルとの鈴木-宮浦カップリング重合によって合成した高分子 **3a** および **3b** は、溶液およびフィルム状態でモデル化合物 **5** に比べて UV 吸収波長の大幅な短波長シフトが観測され、 π ユニットが H -型に凝集した構造体である事が明らかとなった。以上の成果により、種々の置換基側鎖を有する化学的にも熱的にも安定な折り畳み π 積層高分子が容易に調整できる基礎を築くことが出来た。



(2) 種々のπ積層構造の構築

① J-, Alternative-, Staggered-π積層高分子構造の構築と基礎光吸収発光特性

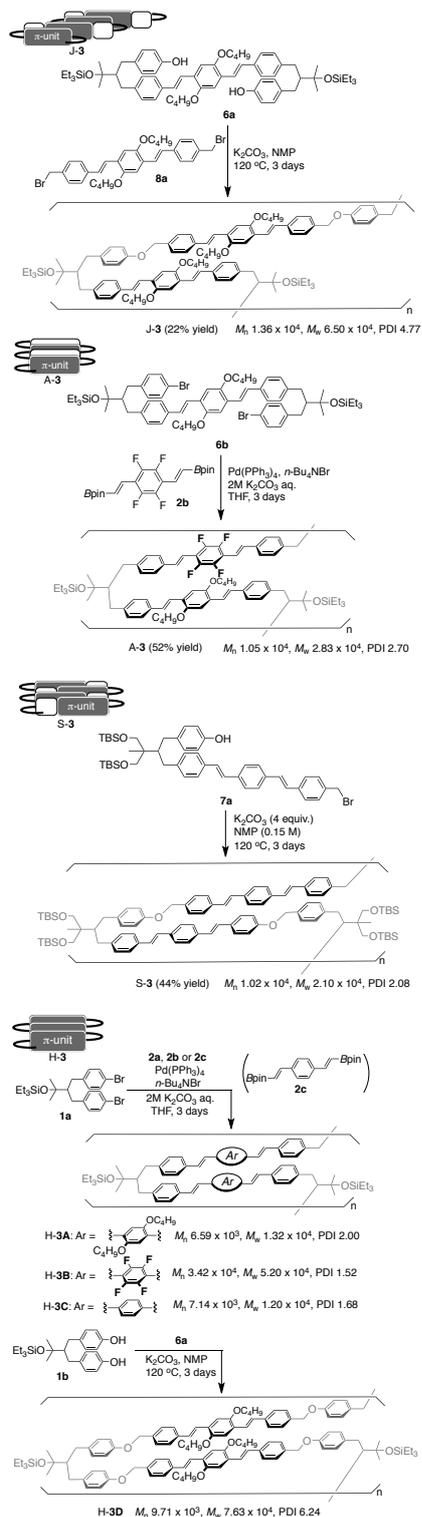
本研究では、我々が開発した折り畳み型π積層高分子構造を基盤に、光電荷分離の挙動を解析する事を目的としている。上述の折り畳み型連結部の改良型**1**を含む既合成の高分子は全てH-凝集型積層構造(H-3, 下図)である。これまでに、**1**類似体を用いる擬似J-型π積層構造の構築(引用文献[3])や空間を介した広域π超共役型高分子(引用文献[2])を報告している。本節では、開発した折り畳み型連結部を利用してその他のπ積層構造の構築法を開発した。即ち、πユニットが斜めにずれて積層するJ-型凝集構造(J-3)、交互にずれて積層するStaggered型(S-3)、さらに異なる2つのπユニットが交互に積層するAlternative型(A-3)の構築法を開発した。πユニット**2**の両端に連結部**1**を結合した**6**と異なるπユニット**2'**との重合によりA-3が、**6**と**2**の両端にスペーサーを有する**8**との重合によりJ-3が合成できる。また、スペーサーと連結部を有する**7**の重合によって、S-3が合成できる。



実際に、下図に示す合成のように、これらの高分子構造の構築法を開発した(発表論文①)。

これらの高分子J-, A-, S-3と比較するために対応するH-積層型高分子H-3を以下のようにして合成した。高分子A-3はfilm状態で単一πユニットOBu-BStBやF-BStBに比べて大幅に長波長側で蛍光発光した。対応するH-積層型ホモポリマーH-3AやH-3Bと比べても、より長波長側に最大発光波長を示している。交互に積層された2種類のπユニットのexciplex発光に起因すると推定される。この際の励起スペクトルはH-型積層体に特異な大幅な短波長シフトが観測された。

溶液中では、J-型積層体J-3は、対応するH-積層体H-3AやH-3Dと比較して、UV-Vis.吸収および蛍光発光の最大波長はあまり変化がなかった。しかし、蛍光発光においては、J-型積層体が最も強い発光を示すことが明らかになった。Film状態では、J-凝集にともなうUV吸収の長波長ブロード化と顕著な蛍光発光の長波長化が観測された。



S-3は、film状態で、単一πユニットBStBに比べて、H-積層体に類似のUV吸収最大波長の短波長化が観測されたが、H-積層体H-3Cほどではなかった。蛍光発光スペクトルにおいてもH-3Cと類似のスペクトルを示した。

以上のように、A-3, J-3, S-3はそれぞれに特異な光吸収および励起発光挙動を示すことが明らかとなり、溶液中およびfilm中でそれぞれが特色ある積層構造をとっていることがわかった。

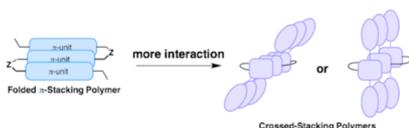
今後進めようとしているOPVへの利用展開やsinglet fission性の点でこれらの高次構造による物性の比較に興味もたれる。

② Cross-Stacking

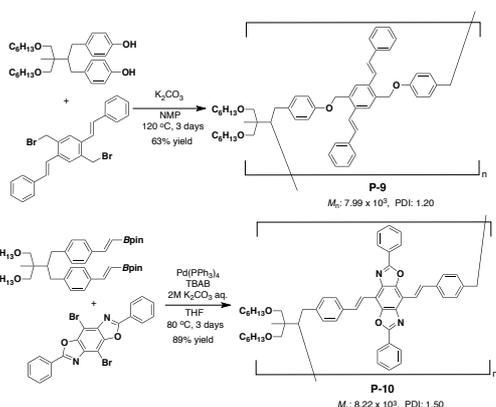
これまで当研究室で開発してきた折りたたみ型 π 積層高分子では、積層させる π ユニットの高分子鎖方向に発達したものを採用してきた。さらに、折り畳み連結部である 2-置換-1,3-ジアルキルユニットでは有効な折り畳み構造を発現させるために 2 位に嵩高い置換基を持たせる必要があり、このため高分子凝集状態では、嵩高い置換基のために高分子-高分子間の相互作用がほとんど押さえられている。実際、film 状態で高分子凝集による UV-Vis. 吸収の長波長広域化がほとんど観測されない。

しかし、この種の高分子を OPV、さらには OFET へ応用利用する際には、電荷移動能は性能を左右する要因の一つであり、高分子-高分子間の相互作用は重要な因子となる。

そこで、折りたたみ π 積層構造を持ち高分子-高分子間の相互作用を構造的に可能にするものとして、主鎖に対して直行方向に π ユニットの露出させる cross- π -stacking 構造を新たに考案した。

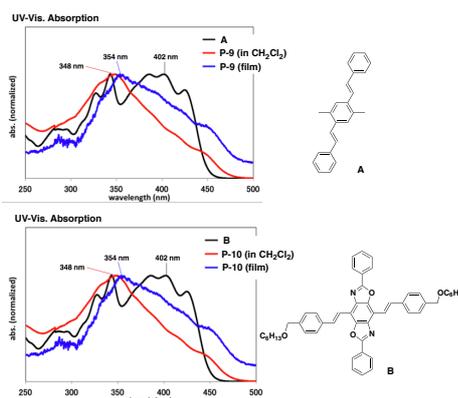


具体的には、下図のような高分子 **P-9** および **P-10** を合成した。**P-9** は、フェノール型連結部とジプロミドの Williamson エーテル化重合によって、一方、**P-10** はジホウ酸エステル連結部とジプロミドの鈴木-宮浦カップリング重合によって合成した。何れも有機溶媒に可溶性固体生成物として得られ、粉末 X 線回折による解析では、 π ユニットの距離に基づく回折が見られたが、固体全体ではアモルファス状態であると示唆された。



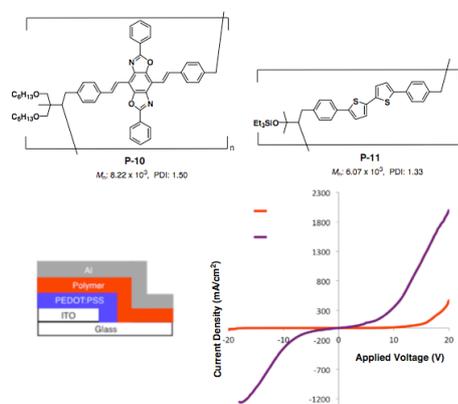
下図に示すように、**P-9** および **P-10** のいずれも、対応する単一 π ユニットのモデル化合物 **A** および **B** に比べて、溶液中 (CH_2Cl_2 , 10^{-6} M) でも固体 film においても吸収極大波長の 50 nm 程の大きな短波長化が観測された。前述のように、 π 凝集体で吸収波長が高エネルギー側へシフトする現象は *H* 型積層体で起こる特異な現象であり、cross-stacking 型として合成したこれらの高分子が溶液中でも film 中でも折り畳み積層構造をとっている事が明らかになった。これまでの折り畳み π 積層高分子と異なり、これら cross-stacking 型では、film 状態で高分子凝集による分子間相互作用に伴う超波長側での吸収の広域化・長波長化が観測されている

ことから、分子設計上で意図した、高分子-高分子間の接触がより効率良く起こっていると考えられた。



(3) ホール移動能評価

これまで合成した折りたたみ π 積層高分子のいくつかについて、OPV や OFET への応用での基礎物性となる電荷移動能について評価した。Hole-only 素子 (ITO/PEDOT-PSS/折りたたみ π 積層高分子/Al) を作成し、デジタルソースメーターを用いて測定した。これまで合成した種々の折り畳み型 π 積層高分子について評価した結果、折り畳み連結部が有する側鎖の種類によって、film 状態での高分子の配向が異なり、結晶性を示すものアモルファス状態であるものが存在し、それによって移動度が大きく左右された (data not shown)。下図の **P-11** は *p* 型の π ユニットの有する代表的な高分子として測定したもので結晶性が高く、Hole Only 素子の順方向にのみ通電する。

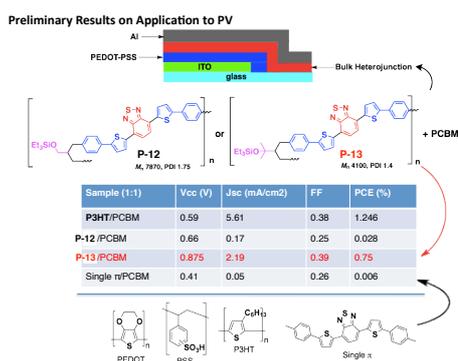


一方、高分子-高分子間の接触性を改善した cross-stacking 型高分子 **P-10** では、移動度が大幅に増加した。興味深いことに、**P-10** では素子逆方向にもある程度通電が見られた。この bipolar 特性は、**P-10** が有する π ユニットの、交差型で組み込まれたドナー型 (ビススチルベン構造) とアクセプター型 (ビスベンゾオキサゾール構造) とに起因するものと思われる。

(4) OPV および OFET 特性評価

最少限のドナー/アクセプター (D/A) 構造を有する π ユニットの組み入れた高分子 **P-12** および **P-13** を合成した。**P-12** は連結部 2 位の置換基が小さく UV 吸収等の結果から、**P-13** のような折り畳み構造をとりにくい高分子である。デバイスは、いわゆるバスクヘテロ結合

ITO/PEDOT-PSS/polymer+PCBM/Al として作成した。比較として P3HT あるいは単一 π ユニット分子を用いて同様の素子を作成した。



その結果、折り畳み構造をとる高分子 **P-13** は、P3HT に匹敵する一定の電荷分離能を有する事、折り畳み構造をとりにくい **P-12** や単一 π ユニット分子を用いた素子では極めて低い発現効率が観測された事から、折り畳み π 積層構造が光電変換層として一定評価が出来る構造である事が明確になった。ここで用いている **P-13** の UV-Vis.吸収は P3HT に比べると帯域が狭く吸光度も相当に低い事を考慮すると、吸収光に対する **P-13** での電荷分離自体はかなり効率の高いプロセスである事が示唆され、H 型凝集構造の特異性を加味すると、この過程に一重項分裂を含んでいる可能性が高いと考えている。

光電変換効率の向上に向けては、組み込み π ユニットの吸収波長帯域の広域化と吸光度の改善が有効であり、それにはより発達した D/A 共役系の導入が必要である。また、ホール移動能の向上には、前節で開発した cross-stacking 構造を導入する事も効果が期待でき、現在、これらについて検討を進めている。

一方、折り畳み高分子を材料とする OFET について初期的な知見も得ている。折り畳み高分子 **P-14** を半導体層とする素子を作成した。5 μ m ギャップの ITO パターニングガラス基盤にスピコートで **P-14** を、続いてインシュレーター層を塗布後、Al 蒸着によって gate 電極を付与した。ITO-ITO を source-drain として測定した所、I-V カーブはダイオード特性となったが、gate への電位印加で I-V 特性が制御された。**P-14** に組み込まれた π ユニット DPP の HOMO/LUMO 準位と ITO 仕事関数を考慮すると、この素子は Gate-regulated Schottky Diode という動作であると理解できる。現在、よりキャリア移動度が高い高分子の設計・合成とそれによる OFET 素子への応用を鋭意進めている。

(5) 総括と展望

本研究では、独自に開発した折り畳み構造を可能にする 1,3-ジアリーール連結部を利用して、様々な π 積層高分子構造の構築を可能にした。これらの高分子の特徴は溶液中でも固体 film 中でも自発的に折り畳み構造を優位にとる事である。さらに、連結部の改良によって、合成的にも、また、熱的にも化学的にもより安定な材料とすることができた。これらの成果は、光電変換材料として研究を進める上で必要な基盤であると同時に、一重項分裂の可能性を見ていく上で広範囲の素材を提供す

る基盤にもなった。得られた折り畳み高分子について、電子材料として基礎的な物性であるキャリア移動についてホール移動素子を用いた定性的な検討を行った結果、連結部の側鎖が高分子固体モデルホルジーに大きく影響し、ホール移動特性にも大きな影響を与えた。新たに開発した cross-stacking 型高分子がその固体状態での分子間相互作用が容易であり、ホール移動度が向上した。折り畳み高分子を用いた OPV 素子では、折り畳み構造が電荷分離に適していることと、その変換効率、光吸収スペクトルの比較より、折り畳み π 積層構造が予想以上に効率の良い電荷分離能を持つ事が分かり、一重項分裂の可能性を強く示唆した。

学内研究者との共同で一重項分裂の可能性を評価していく研究予定であったが、装置・分析系の構築の遅延と上述した評価対象である高分子の材料開発への時間の消費から、この部分の研究はこれからという段階であり、本研究期間終了後も引き続き検討を進めていく。

<引用文献>

- [1] J. Watanabe, T. Hoshino, Y. Nakamura, E. Sakai, S. Okamoto, *Macromolecules*, Vol. 43, No. 16, 2010, 6562—6569.
- [2] T. Hoshino, J. Watanabe, M. Kudo, E. Sakai, S. Funyu, K. Ishitsuka, S. Okamoto, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, Vol. 50, No. 9, 2012, 1707—1716.
- [3] R. Nomura, R. Moriai, M. Kudo, T. Hoshino, J. Watanabe, S. Funyu, K. Ishitsuka, S. Okamoto, Vol. 51, No. 16, *J. Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2013, 3412—3419.
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 Sentaro Okamoto, Masaru Kudo, Ryosuke Nomura, Ryota Moriai, Yusuke Naito, Shigeaki Funyu, Ken-ich Ishitsuka, Naoki Asano, “Synthesis and properties of folded π -stacking polymers having J-aggregative, alternative, and staggered assembling structures”, *Polymer*, 査読有り, 2016, in press.
DOI:10.1016/j.polymer.2016.05.075
- ② Yu-ki Sugiyama, Shiori Heigozono, Kazuhiro Tamura, Sentaro Okamoto, “Iron-Catalyzed Reductive Metalation-Allylation and Metalative Cyclization of 2,3-Disubstituted Oxetanes and Their Stereoselectivity”, *Synthesis*, 査読有り, 2016, in press.
DOI: 10.1055/s-0035-1561627
- ③ Sentaro Okamoto, “Synthetic Reactions Using Low-Valent Titanium Reagents Derived from Ti(OR)₄ or CpTiX₃ (X = O-*i*-Pr or Cl) in the Presence of Me₃SiCl and Mg”, *The Chemical Record*, 査読有り, 2016, Vol. 16, No. 2, 2016, pp. 857—872.
DOI: 10.1002/tcr.201500277
- ④ Suchithra Madhavan, Hiromasa Takagi, Shunpei Fukuda, Sentaro Okamoto, “Low-valent titanium-catalyzed deprotection of allyl- and propargyl-carbamates to amines”, *Tetrahedron Letters*, 査読有り, Vol. 57, No. 19, 2016, pp. 2074—2077.
DOI: 10.1016/j.tetlet.2016.03.093
- ⑤ Yu-ki Sugiyama, Sentaro Okamoto, “Catalytic [2 + 2] Cycloaddition Polymerization of Diyne-Nitrile Monomers in the Presence of CoCl₂·6H₂O/Diphosphine/Zn”, *J. Polym. Sci. A: Polym. Chem.*, 査読有り, Vol. 54, No. 3, 2016, pp. 345—351.
DOI: 10.1002/pola.27780
- ⑥ Kouta Ibe, Haruko Aoki, Hiromasa Takagi, Kiyohide Ken-mochi, Yu-suke Hasegawa, Naoto Hayashi, Sentaro Okamoto, “Preparation of 2-hydroxy A-ring precursors for synthesis of vitamin D₃ analogues from lyxose”, *Tetrahedron Letters*, 査読有り, Vol. 56, No. 18,

- 2015, pp. 2315–2318.
DOI: 10.1016/j.tetlet.2015.03.064
- ⑦ Yu-ki, Sugiyama, Shiori Heigozono, Sentarō Okamoto, "Iron-Catalyzed Reductive Magnesiumation of Oxetanes to Generate (3-Oxidopropyl)magnesium Reagents", *Organic Letters*, 査読有り, Vol. 16, No. 24, 2014, pp. 6278–6281.
DOI: 10.1021/o1503191w
- ⑧ Kohta Ibe, Yu-suke Hasegawa, Misuzu Shibuno, Tsukasa Shishido, Yuzo Sakai, Yu Kosaki, Keisuke Susa, Sentarō Okamoto, "Simple and practical method for selective acylation of primary hydroxy group catalyzed by *N*-methyl-2-phenylimidazole (Ph-NMI) or 2-phenylimidazo[2,1-*b*]benzothiazoles (Ph-IBT)", *Tetrahedron Letters*, 査読有り, Vol. 55, No. 51, 2014, pp. 7039–7042.
DOI: 10.1016/j.tetlet.2014.10.130
- ⑨ Ryota Moriai, Yu-suke Naito, Ryosuke Nomura, Shigeaki Funyu, Ken-ichi Ishitsuka, Naoki Asano, Sentarō Okamoto, "Design and synthesis of 2-(1,3-dialkoxy-2-methylpropan-2-yl)-1,3-diarylpropanes as tethering units for folded *H*-stacking polymers", *Tetrahedron Letters*, 査読有り, Vol. 55, No. 16, 2014, pp. 2649–2653.
DOI: 10.1016/j.tetlet.2014.03.020
- ⑩ Sentarō Okamoto, Yuzo Sakai, Saki Watanabe, Shohei Nishi, Aya Yoneyama, Hitomi Katsumata, Yu Kosaki, Rumi Sato, Megumi Shiratori, Misuzu Shibuno, Tsukasa Shishido, "Structure–activity relationship of dihydroimidazo-, dihydropyrimido, tetrahydrodiazepino-[2,1-*b*]thiazoles and -benzothiazoles as an acylation catalyst", *Tetrahedron Letters*, 査読有り, Vol. 55, No. 11, 2014, pp. 1909–1912.
DOI: 10.1016/j.tetlet.2014.01.135
- ⑪ 岡本専太郎, "高分子科学最近の進歩: 有機金属触媒反応による重合反応", 高分子, 査読有り, Vol. 63, No. 9, 2014, pp. 654–657.
<http://main.spsj.or.jp/c5/kobunshi/kobu2014/1409.html>
- ⑫ 岡本専太郎, "低原子価チタン反応剤 Ti(OR)₄/Me₃SiCl/Mg の開発と反応", 有機合成化学協会誌, 査読有り, Vol. 72, No. 4, 2014, pp. 382–392.
<http://doi.org/10.5059/yukigoseikyokaisi.72.382>
[学会発表] (計 14 件)
- (1) Takahiro SHINDO, Yusuke NAITO, Ayuri NISHIZAWA, Chikashi MTSUNO, Sentarō OKAMOTO, "Synthesis and Hole-Mobility of Folded π -Stacking Polymers", 日本化学会第 96 春季年会, 3PC-124 (2016 年 3 月 26 日, 同志社大学 (京都)).
- (2) Yu-ki SUGIYAMA, Yukihiko ENDO, Miki IKARASHI, Chikashi MTSUNO, Sentarō OKAMOTO, "Extensive Application of Cobalt-Catalyzed [2+2+2] Cycloaddition of Alkynes and Nitriles", 日本化学会第 96 春季年会, 3PC-081 (2016 年 3 月 26 日, 同志社大学 (京都)).
- (3) Yuhma UMEHARA, Shunosuke ITO, Tomomi SAWADA, Chikashi MTSUNO, Sentarō OKAMOTO, "Low-valent Titanium-Mediated Biscyclization of Enynes and Ethyl Formate", 日本化学会第 96 春季年会, 3PC-075 (2016 年 3 月 26 日, 同志社大学 (京都)).
- (4) Yukihiko ENDO, Yusuke NAITO, Ryouhei SHIGEMATSU, Chikashi MTSUNO, Sentarō OKAMOTO, "Low-valent Titanium Alkoxide-Mediated McMurry Coupling Polymerization", 日本化学会第 96 春季年会, 3PC-074 (2016 年 3 月 26 日, 同志社大学 (京都)).
- (5) Suchithra MADHAVAN, Hiromasa TAKAGI, Shupei FUKUDA, Chikashi MTSUNO, Sentarō OKAMOTO, "Low-valent Titanium-Promoted Deprotection of Amino-Protecting Groups", 日本化学会第 96 春季年会, 3PC-073 (2016 年 3 月 26 日, 同志社大学 (京都)).
- (6) Yuhki Tanabe, Yu-ki Sugiyama, Shiori Heigozono, Kazuhiro Tamura, Sentarō Okamoto, "Iro-catalyzed reductive magnesiumation of oxetanes and metalative cyclization of alkynyl oxetanes", *PacificChem* 2016, INOR 1290, Hawaii (2015 年 12 月 18 日).
- (7) Yuhsuke Naito, Chikashi Matsuno, Sentarō Okamoto, "Synthesis and properties of folded π -stacking polymers and their utilization to organic photovoltaic cell", *PacificChem* 2016, MACR 512, Hawaii (2015 年 12 月 16 日).
- (8) Suchithra Madhavan, Hiromasa Takagi, Chikashi Matsuno, Sentarō Okamoto, "Low-valent titanium catalyzed deprotection of alloc- and poc-amides", *PacificChem* 2016, INOR 1213, Hawaii (2015 年 12 月 18 日).
- (9) 清水めぐ, 杉山雄樹, 田村和大, 松野千加士, 岡本専太郎, "鉄触媒によるアルキニルオキシエタン分子内カルボメタル化反応", 日本化学会第 95 春季年会, 3PC-133 (2015 年 3 月 28 日, 日本大学理工学部 (千葉)).
- (10) 田邊雄己, 高木啓允, 松野千加士, 岡本専太郎, "低原子価チタンによる Alloc の脱保護法", 日本化学会第 95 春季年会, 3PC-160 (2015 年 3 月 28 日, 日本大学理工学部 (千葉)).
- (11) 内藤佑輔, 浅野直紀, 舟生重昭, 岡本専太郎, "折り畳み π スタック高分子の光電変換素子への応用", 日本化学会第 95 春季年会, 2PA-201 (2015 年 3 月 27 日, 日本大学理工学部 (千葉)).
- (12) 杉山雄樹, 藤本貴大, 岡本専太郎, "鉄触媒 3-オキシドプロピルマグネシウム反応剤の発生とその反応性", 第 61 回有機金属化学討論会, P2A-32 (2014 年 9 月 24 日, 九州大学).
- (13) 藤本貴大, 杉山雄樹, 平後園菜, 岡本専太郎, "鉄触媒還元的マグネシウム化による 3-オキシドプロピルマグネシウム反応剤の発生", 第 61 回有機金属化学討論会, P2A-33 (2014 年 9 月 24 日, 九州大学).
- (14) 岡本専太郎, 杉山雄樹, 藤本貴大, 平後園菜, "鉄触媒還元的マグネシウム化による 3-オキシドプロピルマグネシウム反応剤の発生", 第 26 回有機金属化学国際会議, 3P096 (2014 年 7 月 17 日, 札幌)
- [図書] (計 0 件)
[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/okamotolab/index.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
岡本 専太郎 (OKAMOTO SENTARŌ)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号: 00201989
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし