

令和元年6月12日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02181

研究課題名(和文)精密制御ラジカル重合に基づく配列制御ビニルポリマーの構築

研究課題名(英文) Sequence-Regulated Vinyl Polymers via Precision Radical Polymerization

研究代表者

上垣外 正己 (Kamigaito, Masami)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：00273475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、合成高分子における究極の課題であるモノマー配列制御に関して、ビニルモノマーを原料として用い、ラジカル連鎖重合、ラジカル逐次重合などを駆使して、配列制御ビニルポリマーを構築することを目的とした。具体的には、選択的ラジカル連鎖生長反応や、ビニルモノマー配列を組み込んだモノマーを設計・合成しその制御重合反応を開発することで、主鎖や側鎖に配列制御構造を有するポリマーの合成を行い、物性に及ぼす影響を明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然界に存在するタンパク質などの天然高分子は、モノマーであるアミノ酸の配列が制御されてつながることによって、高度な高次構造が構築され、優れた機能を発現している。しかし合成高分子、とくに実社会において広く用いられているビニルポリマーにおいては、モノマー配列を制御することは困難であった。本研究はそれを可能にするいくつかの手法を示し、配列がポリマー物性に及ぼす影響を示した点で意義深く、今後、材料の設計指針に役立つと思われる。

研究成果の概要(英文)：This research was directed to monomer sequence control in synthetic polymers, which is one of the biggest challenges in polymer chemistry, by developing novel synthetic approaches for the synthesis of sequence-regulated vinyl polymers via radical chain-growth and step-growth polymerizations. In particular, we focused on developing sequence-selective radical chain-growth polymerizations as well as controlled polymerizations of sequence-regulated monomers embedded with vinyl monomer sequences and investigating the effects of monomer sequence in main- and side-chains on the properties of polymers.

研究分野：高分子化学

キーワード：ラジカル重合 リビング重合 ラジカル付加 連鎖重合 逐次重合 定序配列ポリマー モノマー配列制御 ビニルポリマー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

合成高分子におけるモノマー配列制御は、高分子科学における未踏かつ最大の課題であり、高度なモノマー配列制御を合成高分子に施すことで、タンパク質などの天然高分子にみられるような高度な高次構造の構築や機能発現が可能になると研究開始当初から期待されていた。当時、それまでのリビングラジカル重合や配位重合などの発展により、ブロックポリマーや立体規則性ポリマーなど種々の高分子の精密合成が可能となり、モノマー配列制御に関する研究が世界的に活発化しつつあった。

このような中、研究代表者らは、ラジカル重合におけるモノマー配列制御に関する研究を、独自の方法で開始していた。例えば、リモネンとマレイミド誘導体のラジカル連鎖共重合において、フッ素系アルコールを溶媒とすることで、連鎖重合において報告例のない ABB のモノマー配列で連鎖が制御された重合が進行することを見出していた。また、ビニルモノマー配列を組み込んだモノマーを設計・合成し、独自に開発した金属触媒によるラジカル逐次重合により、ABCC の 4 つのモノマー単位で配列が制御されたビニルポリマーの合成に成功していた。このように、ラジカル連鎖重合および逐次重合において、新たなモノマー配列制御の方法を開発することで、これまでにない配列制御ビニルポリマーの構築を可能としてきた。しかし、その配列制御は確立されておらず、さらなる発展により、モノマー配列制御に基づく機能性高分子の構築が期待された。

2. 研究の目的

本研究では、以上の背景に基づき、ビニルモノマーを原料として、選択的ラジカル連鎖生長反応の開発や、ビニルモノマー配列を組み込んだ化合物を設計・合成しその重合反応などの開発により、主鎖や側鎖に配列制御構造を有するポリマーの合成を行い、配列がポリマー物性に及ぼす影響を明らかとすることを目的とした。具体的には、以下の方法により研究を展開した。

3. 研究の方法

上記の目的の達成のため、配列制御ビニルポリマーの構築を以下の 4 つの方法で行った。

(1) ラジカル連鎖重合における選択的連鎖生長反応による配列制御ビニルポリマーの開発

リモネンとマレイミド誘導体のフルオロアルコール中での ABB 型の配列制御重合を進展させる形で、種々のオレフィン類と、置換基の異なるマレイミド誘導体や他の電子吸引性モノマーとを組み合わせ、フルオロアルコール中などでラジカル共重合を行うことで、選択的連鎖生長反応による新たな配列制御ポリマーの開発を行う。

(2) 配列組込モノマーのラジカル逐次重合による配列制御ビニルポリマーの開発

さまざまなビニルモノマーを原料として、1 分子ずつのラジカル付加反応によりビニルモノマー配列を組み込み、この末端に非共役二重結合と活性な炭素-塩素結合が導入された化合物を合成し、そのラジカル逐次重合により、ABCD など異なるビニルモノマー配列を主鎖に有する配列制御ビニルポリマーの開発を行う。

(3) 配列組込モノマーのラジカル連鎖共重合による主鎖・側鎖配列制御ビニルポリマーの開発

モノマー合成に関しては、上記(2)と同様に、ビニルモノマーを原料として、ラジカル付加反応によりビニルモノマー配列を組み込み、この末端にマレイミド基を導入した化合物を合成する。これとスチレンとの連鎖的なラジカル交互共重合を行うことで、主鎖と側鎖に制御されたビニルモノマー配列を有するポリマーを開発する。

(4) 他の重合系との併用による配列制御ビニルポリマーへの展開

上記(2)と同様に 1 分子ラジカル付加反応によりビニルモノマー配列を組み込み、その末端に重合反応性基を導入し、これを適切な制御重合系により重合することで、ビニルモノマー配列が組み込まれた新規配列制御ポリマーの合成へと展開する。

4. 研究成果

上記 4 つの方法により、ビニルモノマー配列が組み込まれた配列制御ビニルポリマーを構築し、モノマー配列がポリマー物性に及ぼす影響を明らかとした。

(1) 選択的連鎖生長反応による配列制御ビニルポリマー

リモネン (A 成分) とマレイミド誘導体 (B 成分) のフルオロアルコール中でのラジカル共重合において、第三成分モノマーとしてメタクリル酸メチル (MMA) (C 成分) を加えた三元ラジカル共重合を行うことで、リモネンは常にマレイミドに挟まれた BAB の配列で共重合体中に取り込まれ、このユニットとメタクリル酸メチルがランダム共重合する (BAB)-*ran*-C から成る配列制御ビニルポリマーが得られることを見出した (図 1) (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 1789–1793)。共重合の解析により、この選択的な三元共重合は、リモネンと MMA

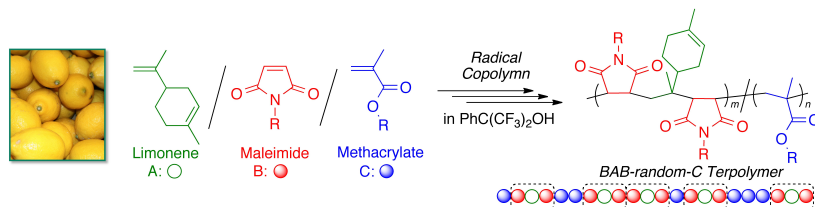


図 1. リモネン/マレイミド/MMA の選択的三元ラジカル共重合

との低い共重合性、リモネンとマレイミドの高い BAB 連鎖共重合性、マレイミドと MMA のランダム的な共重合に起因することを明らかとした。またこれにより、アクリルガラスとして用いられるポリメタクリル酸メチル (PMMA) に、比較的剛直なマレイミド-リモネン-マレイミドの連鎖を導入することで、耐熱性の向上につながることも見出した。

また、別の三元共重合として、リモネン (A) に対して、構造の異なる 2 種類のマレイミド誘導体 (B₁, B₂) を共重合することで、B_xA B_y 連鎖は保ちつつ 2 種類のマレイミドがその反応性に違いによりグラジェント的に導入された配列制御ビニルポリマーの合成も可能であった。

さらに、リモネンの代わりにサビネン、マレイミド誘導体の代わりにアクリル酸エステルをフルオロアルコール中で用いることで、新たな 1:2 選択的なラジカル共重合を見出した。

(2)ラジカル逐次重合による配列制御ビニルポリマー

ビニルモノマー単位として、アクリル酸エステル、スチレン、*p*-メチルスチレン、アクリルアミド、アクリロニトリル、エチレンなどの配列が制御されて導入された化合物を合成し、これを遷移金属触媒による逐次的なラジカル重付加により重合することで、塩化ビニルユニットで連結された一連の配列制御ビニルポリマーの合成を行った (*Macromolecules* **2019**, *52*, 3327–3341)。非共役二重結合と活性な炭素-塩素結合を分子内に 1 つずつ有する ab 型モノマーに加え、非共役二重結合を 2 つ有する aa 型モノマーと炭素-塩素結合を 2 つ有する bb 型モノマー間でのラジカル重付加により、ABCD モノマー配列に加え、ABBAC、ABDBAC、ABDBACAEEAC などの複雑なビニルモノマー配列で、最長 11 個のビニルモノマー配列から成る配列制御ビニルポリマーの合成に成功した (図 2)。また、モノマー合成において、末端の炭素-塩素結合に隣接するアクリル酸エステルユニットの選択的なアミド化反応を見出し、今後のポリマー精密設計に重要な知見を得た。

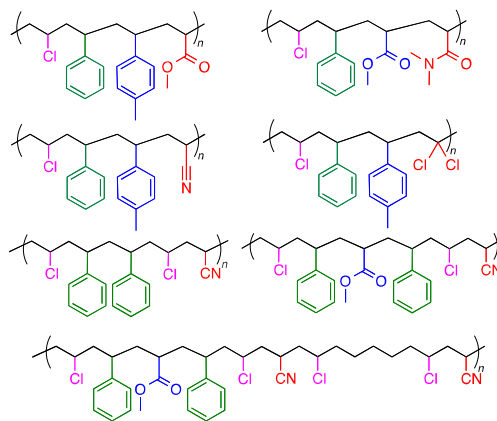


図 2. 種々の配列制御ビニルポリマー

(3)主鎖・側鎖配列制御ビニルポリマー

スチレンとアクリル酸メチルから成り、モノマー配列が異なる全ての二量体 (4 種類) と三量体 (8 種類) をラジカル付加反応により合成し、その末端にマレイミド基が導入された一連の配列制御マクロオリゴマーを合成した (図 3) (*J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 944–954)。これとスチレンのラジカル交互共重合により、分子量が 10 万を超え、側鎖と主鎖のモノマー配列が制御された配列制御ビニルポリマーを得た。また、RAFT 試薬を用いることで、分子量の制御も可能であった。側鎖のモノマー配列がポリマー物性に及ぼす影響を調べたところ、極性の高いアクリル酸エステルが側鎖の外側にあることで、極性の高い溶媒への溶解性が増加し、一方、スチレンが側鎖の外側にあると、極性の低い溶媒への溶解性が増加した。ポリマーのガラス転移温度は、スチレンユニットが多いほど高く、とくに、三量体連鎖を側鎖に有するポリマーでは、同じモノマー組成でも、連鎖がポリマーの熱物性に影響を与えることが明らかとなった。

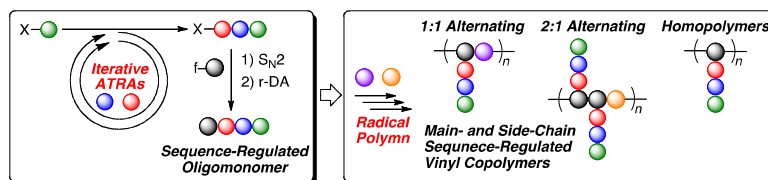


図 3. 主鎖・側鎖配列制御ビニルポリマーの合成

さらに、アミノ基やカルボン酸基を側鎖に有する配列制御ビニルポリマーを合成し、連鎖がその溶解性や会合挙動に与える影響を明らかとした。

(4)他の重合系との併用による配列制御ビニルポリマー

ビニルモノマー配列をラジカル付加反応により組み込んだ化合物に対して、両末端にオレフィンを導入した後、非環状ジエンメタセシス (ADMET) 重合を行うことで、ビニルモノマー配列が主鎖に組み込まれたポリマーの可能となることを見出した。また、方末端にオレフィン、もう一方の末端にチオールを導入した化合物を合成することで、チオール・エン重付加により、ビニルモノマー配列を主鎖に組み込むことが可能なことも明らかとした。

5. 主な発表論文等 (研究代表者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

Satoh, K.; Ishizuka, K.; Hamada, T.; Handa, M.; Abe, T.; Ozawa, S.; Miyajima, M.; Kamigaito, M. Construction of Sequence-Regulated Vinyl Copolymers via Iterative Single Vinyl Monomer Additions and Subsequent Metal-Catalyzed Step-Growth Radical Polymerization, *Macromolecules* **2019**, *52*, 3327–3341. (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.9b00676

Terao, Y.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Controlled Radical Copolymerization of Cinnamic Derivatives as Renewable Vinyl Monomers with Both Acrylic and Styrenic Substituents: Reactivity, Regioselectivity, Properties, and Functions, *Biomacromolecules* **2019**, *20*, 183–190. (査読有) DOI:

10.1021/acs.biomac.8b01298

Kamigaito, M.; Satoh, K.; Uchiyama, M.; Degenerative Chain-Transfer Process: Controlling All Chain-Growth Polymerizations and Enabling Novel Monomer Sequences, *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, **2019**, *57*, 243–254. (査読有) DOI: 10.1002/pola.29257

Huang, Z.; Noble, B. B.; Corrigan, N.; Chu, Y.; Satoh, K.; Thomas, D. S.; Hawker, C. J.; Moad, G.; Kamigaito, M.; Coote, M. L.; Boyer, C.; Xu, J. *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 13392–13406. (査読有) DOI: 10.1021/jacs.8b08386

Takeshima, H.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Bio-Based Functional Styrene Monomers Derived from Naturally Occurring Ferulic Acid for Poly(vinylcatechol) and Poly(vinylguaiacol) via Controlled Radical Polymerization, *Macromolecules* **2017**, *50*, 4206–4216. (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.7b00970

Ojika, K.; Satoh, K.; Kamigaito, M. BAB-random-C Monomer Sequence via Radical Terpolymerization of Limonene (A), Maleimide (B), and Methacrylate (C): Terpene Polymers with Randomly Distributed Periodic Sequences, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 1789–1793. (査読有) DOI: 10.1002/anie.201610768

Soejima, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Sequence-Regulated Vinyl Copolymers with Acid and Base Monomer Units by Atom Transfer Radical Addition and Alternating Radical Copolymerization, *Polym. Chem.* **2016**, *7*, 4833–4841. (査読有) DOI: 10.1039/c6py00965d

Soejima, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Main- and Side-Chain Sequence-Regulated Vinyl Copolymers by Iterative Atom Transfer Radical Additions and 1:1 or 2:1 Alternating Radical Copolymerization, *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 944–954. (査読有) DOI: 10.1021/jacs.5b11631

Soejima, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Control of Stereochemistry in Atom Transfer Radical Addition and Step-Growth Radical Polymerization by Chiral Transition Metal Catalysts, *Tetrahedron* **2016**, *72*, 7657–7664. (査読有) DOI: 10.1016/tet.2016.01.060

Miyaji, H.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Bio-Based Polyketones by Selective Ring-Opening Radical Polymerization of α -Pinene-Derived Pinocarvone, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 7657–7664. (査読有) DOI: 10.1002/anie.201509379

McKenzie, T. G.; Fu, Q.; Uchiyama, M.; Satoh, K.; Xu, J.; Boyer, C.; Kamigaito, M.; Qiao, G. G. Beyond Traditional RAFT: Alternative Activation of Thiocarbonylthio Compounds for Controlled Polymerization, *Adv. Sci.*, **2016**, *3*, 1500394. (査読有) DOI: 10.1002/advs.201500394

Soejima, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Monomer Sequence Regulation in Main- and Side-Chains of Vinyl Copolymers: Synthesis of Vinyl Oligomonomers via Sequential Atom Transfer Radical Addition and Their Alternating Radical Copolymerization, *ACS Macro Lett.* **2015**, *4*, 745–749. (査読有) DOI: 10.1021/acsmacrolett.5b00379

[学会発表] (計 60 件)

Kamigaito, M.; Satoh, K.; Soejima, T.; Miyajima, M.; Tanaka, Y. Sequence-Regulated Polymers via Iterative Single Monomer Additions Followed by Controlled Polymerizations, The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15), Xiamen, China, 2017.12.10-14. (招待講演)

上垣外正己, リビングラジカル重合からモノマー配列制御への展開, 高分子同友会勉強会, 東京都, 2017.11.28. (招待講演)

Kamigaito, M.; Satoh, K. Precision Polymerization of Renewable Vinyl Monomers for New Biobased Polymers, The 3rd Symposium on Polymer Ecomaterials, Nantong, China, 2017.7.3-6. (招待講演)

上垣外正己, 共有結合の可逆的活性化に基づく精密重合, 関東高分子若手研究会 2017 春の講演会「精密高分子合成の最前線」, 和光市, 2017.6.24. (招待講演)

上垣外正己, 植物由来ビニルモノマーの精密重合によるバイオベースポリマーの開発, 第 28 回グリーンケミストリーフォーラム, 大阪市, 2017.6.9. (招待講演)

Kamigaito, M.; Satoh, K.; Uchiyama, M. Synergistic Advances in Living Cationic and Radical Polymerization, The Commemorative Symposium for the 50th Issue of *Macromolecules*, Chiba, Japan, 2017.5.31. (招待講演)

Kamigaito, M. Precision Polymerization of Renewable Vinyl Monomers for New Biobased Polymers, The 4th AGORA BASF at Kyoto University, Kyoto, Japan, 2017.2.24. (招待講演)

Kamigaito, M.; Satoh, K. Monomer Sequence Control via Radical Polymerization Combined with Iterative Methods, IUPAC International Conference on Advanced Polymeric Materials: Commemorating the 40th Anniversary of the Polymer Society of Korea (IUPAC-PSK40), Jeju, Korea, 2016.10.4-7. (招待講演)

Kamigaito, M. New Developments in Controlled Radical and Cationic Polymerizations, 5th Zing Polymer Chemistry Conference, Dublin, Ireland, 2016.8.5-8. (招待講演)

Kamigaito, M. Controlled Radical and Cationic Polymerization for Sustainability, 2016 Japan-USA Seminar on Polymer Synthesis: Polymer Synthesis for a Sustainable Future-, Niseko, Japan, 2016.6.24-28. (招待講演)

上垣外正己, 植物由来ビニルモノマーの構造を活かした精密バイオポリマー合成, 第 66 回

- 日本木材学会大会 日本木材学会バイオマス変換研究会 春季講演会「バイオマス関連素材の合成・分析・変換」, 名古屋市, 2016.3.29. (招待講演)
- Kamigaito, M. Developments in Controlled Radical Polymerization, Polymer Materials Research Center Seminar, Harbin Engineering University, Harbin, China, 2016.1.12. (招待講演)
- Kamigaito, M.; Satoh, K. Monomer Sequence Control in Main- and Side-Chains of Vinyl Polymers by Controlled Radical Polymerization, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20. (招待講演)
- Kamigaito, M.; Satoh, K. Precision Polymerization of Renewable Vinyl Monomer for Sustainable Polymers, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20 (招待講演)
- Kamigaito, M.; Satoh, K. Controlled Radical Polymerization of Renewable Vinyl Monomer for Sustainable Polymers, Pacific Polymer Conference 14 (PPC 14), Kauai, Hawaii, USA, 2015.12.9-13. (招待講演)
- 上垣外正己, 植物由来モノマーの精密重合に基づく機能性高分子の合成, 第 23 回合同講演会並びに有機テクノロジー研究会「生物資源を活用した材料開発」, 和歌山市, 2015.12.2.(招待講演)
- Kamigaito, M.; Satoh, K. Controlled Radical and Cationic Polymerization for Renewable Terpene and Styrene Monomers for Sustainable Vinyl Polymers, 45th World Chemistry Congress and 48th General Assembly Meeting of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC-2015), Busan, Korea, 2015.8.9-14 (招待講演)
- 上垣外正己, リビングラジカル重合の起源と展開, 第 47 回湘南地区講演会, 横浜市, 2015.8.5. (招待講演)
- Kamigaito, M.; Satoh, K. Radical Polymerization Controlled by Fluorinated Alcohols, 7th Pacific Symposium on Radical Chemistry (PSRC-7), Nanyang Technological University, Singapore, 2015.7.15-18. (招待講演)
- Miyajima, M.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Synthesis of Sequence-Regulated Polymers via Atom Transfer Radical Addition of Vinyl Monomer Combined with Metathesis Polymerizations, The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15), Xiamen, China, 2017.12.10-14.
- ⑲ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ビニルモノマーの 1 分子ラジカル付加とメタセシス反応を組み合わせた配列制御高分子の合成, 第 16 回産官学接着若手フォーラム, 名古屋工業大学, 2017.12.8.
- ⑳ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ビニルモノマーの 1 分子ラジカル付加とメタセシス反応を組み合わせた配列制御高分子の合成, 第 48 回中部化学関係協会支部連合秋季大会, 岐阜大学, 2017.11.11-12.
- ㉑ 長井智成, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来サビネンの制御カチオン重合およびラジカル共重合, 第 48 回中部化学関係協会支部連合秋季大会, 岐阜大学, 2017.11.11-12.
- ㉒ 田中良樹, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 一分子ラジカル付加とチオール—エン重付加を組み合わせた新規配列制御高分子の合成, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, タワーホール船堀, 2017.10.17-19.
- ㉓ 長井智成, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来サビネンとアクリレートの特異的 1:2 交互ラジカル共重合, 第 66 回高分子討論会, 愛媛大学, 2017.9.20-22.
- ㉔ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ラジカル—分子付加とメタセシス反応による種々のビニルモノマーユニットを有する配列制御高分子の合成, 第 66 回高分子討論会, 愛媛大学, 2017.9.20-22.
- ㉕ 田中良樹, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 一分子ラジカル付加とチオール—エン重付加によるワンポット新規配列制御高分子の合成, 第 66 回高分子討論会, 愛媛大学, 2017.9.20-22.
- ㉖ Nagai, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Cationic Polymerization and Radical Copolymerization of Naturally-Occurring Sabinene, Kick-off Symposium “Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study”, Osaka, Japan, 2017.7.31-8.1.
- ㉗ 田中良樹, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 一分子ラジカル付加とチオール—エン重付加を組み合わせた新規配列制御高分子の合成, 第 66 回高分子学会年次大会, 幕張メッセ, 2017.5.29-31.
- ㉘ 長井智成, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来サビネンと種々の汎用ビニルモノマーのラジカル共重合, 第 66 回高分子学会年次大会, 幕張メッセ, 2017.5.29-31.
- ㉙ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ビニルモノマーの原子移動ラジカル付加とメタセシス重合の組み合わせによる配列制御ポリマーの合成, 第 66 回高分子学会年次大会, 2017.5.29-31.
- ㉚ Miyajima, M.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Synthesis of Sequence-Regulated Telechelic Oligomers via Atom Transfer Radical Addition and Their Polymerization Using Metathesis Reactions, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016), Fukuoka, Japan, 2016.12.13-16.
- ㉛ Nagai, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Cationic Polymerization and Radical Copolymerization of Naturally-Occurring Sabinene, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016), Fukuoka, Japan, 2016.12.13-16.
- ㉜ 長井智成, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来サビネンのカチオン重合およびラジカル共重

- 合, 第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016, タワーホール船堀, 2016.11.14-16.
- ③⑤ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ラジカル付加による定序配列テレケリックオリゴマーのメタセシス反応を用いた配列制御ビニルポリマーの合成, 第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016, タワーホール船堀, 2016.11.14-16.
 - ③⑥ 石川智大, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 脂環式エキソメチレン骨格を有する植物由来 β -カリオフィレンのラジカル共重合, 第 47 回中部化学関係協会支部連合秋季大会, 豊橋技術科学大学, 2016.11.5-6.
 - ③⑦ 長井智成, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来サピネンのカチオン重合およびラジカル共重合, 第 65 回高分子討論会, 神奈川大学, 2016.9.14-16.
 - ③⑧ 石川智大, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来 β -カリオフィレンのラジカル共重合によるバイオベースポリマーの合成, 第 65 回高分子討論会, 神奈川大学, 2016.9.14-16.
 - ③⑨ 宮島雅斗, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ラジカル付加による定序配列テレケリックオリゴマーのメタセシス反応を用いた配列制御ビニルポリマーの合成, 第 65 回高分子討論会, 神奈川大学, 2016.9.14-16.
 - ④⑩ 宮島雅斗, 副島敬正, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, ラジカル 1 分子付加を用いた定序配列テレケリックオリゴマーの合成と ADMET 重合, 第 65 回高分子学会年次大会, 神戸国際会議場・神戸国際展示場, 2016.5.25-27.
 - ④⑪ 石川智大, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 植物由来セスキテルペンである β -カリオフィレンのラジカル共重合, 第 65 回高分子学会年次大会, 神戸国際会議場・神戸国際展示場, 2016.5.25-27.
 - ④⑫ Soejima, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. Synthesis of Main- and Side-Chain Sequenced Polymers via Radical (Co)polymerization of Maleimide-Functionalized Sequence-Regulated Oligomonomers, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015.12.15-20.
 - ④⑬ 小鹿将誉, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, リモネン/マレイミド/メタクリルモノマーの三元ラジカル共重合による特異的な(BAB)-*r*-C 配列の発現, 第 46 回中部化学関係協会支部連合秋季大会, 三重大学工学部, 2015.11.7-8.
 - ④⑭ 小鹿将誉, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, (BAB)-*r*-C 特異的なモノマー配列を与えるリモネン/マレイミド/メタクリレート 3 元ラジカル共重合, 第 5 回 CSJ 化学フェスタ 2015, タワーホール船堀, 2015.10.13-15.
 - ④⑮ 副島敬正, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 酸・塩基ユニットを導入した定序配列オリゴモノマーのラジカル共重合とイオンコンプレックス形成, 第 64 回高分子討論会, 東北大学, 2015.9.15-17.
 - ④⑯ 小鹿将誉, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, (BAB)-*r*-C 特異的なモノマー配列を与えるリモネン/マレイミド/メタクリレート 3 元リビングラジカル共重合, 第 64 回高分子討論会, 東北大学, 2015.9.15-17.
 - ④⑰ 副島敬正, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 側鎖に機能性定序配列構造を有するマレイミド誘導体のラジカル(共)重合, 第 64 回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 2015.5.27-29.
 - ④⑱ 小鹿将誉, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, 特異的な配列を生じるリモネン/マレイミド/メタクリレート 3 元ラジカル共重合, 第 64 回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 2015.5.27-29.
- その他, 12 件

〔図書〕(計 4 件)

上垣外正己, 佐藤浩太郎, 連鎖・逐次同時ラジカル重合による刺激応答性高分子の設計(刺激応答性高分子ハンドブック, 宮田隆志 監修), エヌ・ティー・エス, 2018, pp. 69-78.

Kamigaito, M.; Satoh, K. Sustainable Vinyl Polymers via Controlled Polymerization of Terpenes, In "Sustainable Polymers from Biomass," Tang, C.; Ryu, C. Y. eds., Wiley-VCH, Weinheim, 2017, pp. 55-90.

上垣外正己, 佐藤浩太郎, テルペン類の重合反応(テルペン利用の新展開, 大平辰朗, 宮澤三雄 監修), シーエムシー出版, 2016, pp. 35-46.

Kamigaito, M.; Satoh, K. Control of Polymer Sequences, In "McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology 2015," McGraw-Hill, New York, USA, 2015, <http://www.accessscience.com/content/control-of-polymer-sequences/YB150543>

〔その他〕

ホームページ等

<http://chembio.nagoya-u.ac.jp/labhp/polymer2/index.html>

6. 研究組織

(1) 連携研究者

連携研究者氏名: 佐藤 浩太郎

ローマ字氏名: (SATOH, Kotaro)