

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02762

研究課題名(和文) ビニルエーテルの精密ラジカル重合を基軸とするアーキアミメティック組織の合成

研究課題名(英文) Synthesis of archaea-mimetic assemblies based on controlled radical polymerization of vinyl ethers

研究代表者

杉原 伸治 (Sugihara, Shinji)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：70377472

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：“ビニルエーテルのラジカル重合”を基盤に、これまで学理として成立していないエーテル基を基盤とする「アーキアミメティック」化学体系を構築することを目的に、本研究を実施した。具体的には、上記目的を達成するために、エステル型のバイオミメティック化学に準拠したアプローチで、(1)ビニルエーテルの精密制御ラジカル重合(RAFT重合)ならびに(2)重合誘起自己組織化(PISA)(アーキア状の組織の構築：三次元的構造制御)、さらに、(3)得られたポリビニルエーテルの機能化を行った。本研究では、それぞれに対しての成果が得られており、ビニルエーテル型ナノ組織体を制御ラジカル重合で得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子合成分野では、一次構造制御から三次元的組織制御へと研究が変遷しており、得られる組織体がどのような新機能を有するかを明らかにする必要がある。一方、高機能性を有する酵素やたんぱく質などの生体材料は、構成官能基だけでなく、形状因子が非常に重要である。よって、これまで一次構造上の問題で合成されてこなかったアーキアミメティック組織体を合成高分子で構築することは、国内外の高分子合成ならびに組織制御に関する研究を大きくリードする新提案であり、学術的意義が高いといえる。このような研究成果は、これまでになく新しい材料構築のための素地となるため、社会的意義が深い。

研究成果の概要(英文)：Using "direct radical polymerization of vinyl ether", this research was carried out with the aim of constructing a novel "archaea-mimetic" chemistry based on ether groups, which has not been established so far. To achieve the above-mentioned purpose, (A) precision-controlled radical polymerization (RAFT polymerization) of vinyl ethers, (B) polymerization-induced self-assembly (PISA), and (C) functionalization of the resulting poly(vinyl ether)s were investigated. In this study, various nanostructures including poly(vinyl ether) moieties, i.e., archaea-like assemblies, were finally obtained by controlled RAFT radical polymerization.

研究分野：高分子化学

キーワード：ラジカル重合 ビニルエーテル 重合誘起自己組織化 RAFT重合 ポリマー 乳化重合 ブロックコポリマー 物理ゲル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

高分子合成分野において、精密制御重合は成熟の時を迎えている。一般に、リビング重合に代表される精密制御重合法を用いれば、分子量や分子量分布を制御することが可能であり、明確な構造を手に入れることができる。現在までに、ビニル系の精密制御重合においては、その生長末端の極性（アニオン、カチオン、ラジカル種）すべてにおいて精密制御重合法が見いだされており、現ステージでは、「各用途に応じた高分子を設計し、いかに興味深い性能を発現できるか、さらには高分子をどのように配列・集積（組織化）し機能を発現させるか」が世界中の焦点になっている。

多くの高分子合成に係わる研究者は、立体構造を緻密に制御し優れた機能を発現している生体高分子に倣い、機能性基を新しいモノマーに導入・設計し、そのモノマーを精密に高分子化させ、集合化（集積・組織化）させる今日のボトムアップ型の化学の発展に寄与してきた。その際、ビニルポリマーを用いた高分子化学においては、主としてエステルをスペーサーとする（メタ）アクリル系モノマーを重合して組織化されることが多かった。しかし、更に高度な三次元的組織化・機能化するためには、エステル・エーテル結合といったスペーサー構造にこだわらず、多種モノマーを同一重合にて合成可能または容易に異種活性種変換可能で、簡便かつ万能な重合法の提案が必須であり、その目的達成に向けて鋭意研究を推進してきた。

現在、合成高分子であるビニルポリマーのほとんどは、ラジカル重合にてビニルモノマーから合成されており、精密重合（いわゆるリビングラジカル重合）やその工業化もすでに達成されている。しかし、ビニルエーテル類は電子供与性官能基を有するカチオン重合性モノマーであり、唯一ラジカル単独重合が不可能とされてきた。そこで、これまで不可能とされてきたビニルエーテルモノマーの高分子化を、ラジカル重合にて可能にすることで、ビニルモノマーのほぼすべてのモノマーを同じ重合法（活性種）で合成可能にすることを目的に研究を推進することにした。すなわち、ラジカル重合系にビニルエーテルを加え、エーテル組織体をまで形成することが本研究の狙いである。アーキアミメティックとは“極限生物の模倣”を意味し、その細胞脂質を構成するエーテル基を基盤とする合成高分子化学である。

2. 研究の目的

本研究では、アーキアを模倣し、その機能性基を有するモノマーを設計し、それらを精密に高分子化させ、その集合化（集積・組織化）によってアーキアミメティック組織体系を新しく構築するものである。しかも、エステル-エーテルポリマーの融合まで進展できれば、真のバイオミメティック化学の体系化に繋がるため、学術的な創造性も非常に高い。本研究では、“ビニルエーテルの単独ラジカル重合”を基盤に、新しい「アーキアミメティック」化学体系を構築する。

3. 研究の方法

目的を達成するために、エステル型のバイオミメティック化学に準拠したアプローチで、(1)ビニルエーテルの精密制御ラジカル重合（RAFT重合）ならびに(2)重合誘起自己組織化（PISA）（アーキア状の組織の構築：三次元的構造制御）、さらに、(3)得られたポリビニルエーテルの機能化を行った。

(1)においては、図1に示す方法で制御した。特に、水酸基含有ビニルエーテルのRAFT重合において良好な結果が得られており、カチオン- π 相互作用を利用したビニルエーテルのRAFTラジカル重合にも成功した。そこで、本研究では(2)および(3)

を重点的に実施した。特に、得られたポリビニルエーテルを反応性立体安定化剤として用い、様々な疎水性ポリマーとの組み合わせたと、種々のナノ組織体を合成した。また、RAFT重合で得られた poly(diethylene glycol monovinyl ether) (PDEGV) を立体安定化剤として、酢酸ビニル (VAc) をRAFT乳化重合したところ、種々のナノ組織体を得ることができた。このように(1)~(3)の順で研究を実施した。

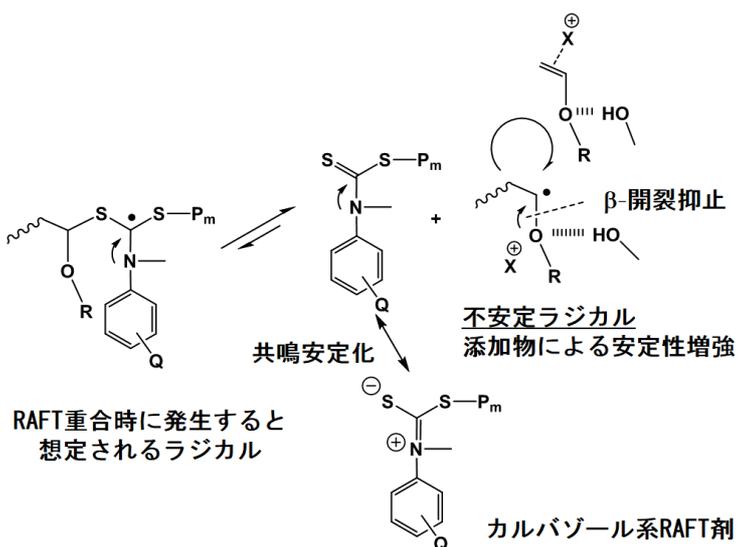


図1. ビニルエーテル類のRAFTラジカル重合

4. 研究成果

(1) ビニルエーテルの精密制御ラジカル重合

まず、水酸基を有するビニルエーテルモノマー(図2)を用いて、ラジカル単独重合を検討した。モノマー自身と水素結合する特定の電子供与型ビニルエーテルモノマー [2-hydroxyethylvinyl ether (HEVE) や diethylene glycol monovinyl ether (DEGV)] において、アゾ開始剤存在下で加熱したところ、フリーラジカルビニル単独重合が進行した。また、ビニルエーテルと水の水素結合系へと応用したところ、転化率が100%まで進行するラジカル重合系を見出した。さらに、得られたフリーラジカル重合系をRAFTラジカル重合系へと拡張することにより、ビニルエーテルの制御ラジカル単独重合に世界で初めて成功した(図1, Q=H)。特に、 Li^+ イオンとビニル基とのカチオン- π 相互作用ならびにアルカリ水系での水素結合の両方を利用することで、水酸基の有無にかかわらずビニルエーテル類の精密ラジカル重合に成功した。

(2) 水酸基含有ポリビニルエーテルをシェルに用いた種々の微粒子合成・重合誘起自己組織化

HEVEを70°C、アゾビス(イソ酪酸)ジメチル(開始剤)を用いてラジカル塊状重合し、PHEVEを得た($M_n=36500$, $M_w/M_n=1.97$)。得られたPHEVEと様々な疎水性モノマー、開始剤を加え水系にて乳化重合した。疎水性モノマーにはVAc, スチレン(St), アクリル酸エチル, メタクリル酸メチルを用いた。その結果、例えば図3(A)に示すようなポリスチレン(PSt)微粒子を得た。微粒子の粒径は550~700nmであり、比較的狭い粒径分布のPHEVEをシェルとするPStコアシェル微粒子の合成を確認した。得られた微粒子は、PHEVE間の水素結合により、乾燥状態で構造色を呈した。

ビニルエーテルのフリーラジカル重合系に、適切なRAFT剤を加えることで、RAFT重合が進行する(図1, Q=H)。これを利用してPDEGVのマクロ連鎖移動剤を合成した。得られたPDEGVを反応性立体安定化剤として用いたVAcのRAFT乳化重合を行ったところ、適当なPDEGVの界面への分配により、種々のナノ組織(例: 図3(B)のベシクル等)の合成が可能となった。因みに、シェル部のPHEVEやPDEGVに細胞毒性がないこと(安全性)も確かめた。

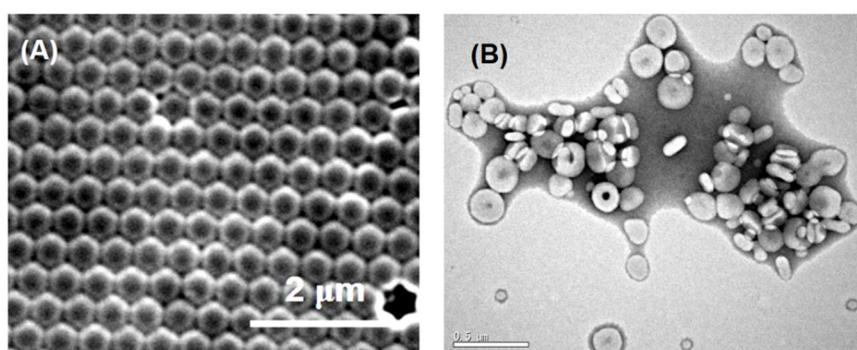


図3. (A) PHEVE-PSt コアシェル微粒子のSEM像, (B) PDEGV-*b*-PVAc ブロックコポリマーのTEM像。PDEGVを用いたVAcのRAFT乳化重合によって合成。

(3) 水酸基含有ポリビニルエーテルを幹とする環状エステルグラフト開環重合

水酸基含有ビニルエーテルを用いた場合やアルカリ水中で、容易にビニルエーテル単独ラジカル重合できることを明らかになったため、種々のポリビニルエーテルの様々な機能化を行うことにした。そこで、水酸基含有ポリビニルエーテルを幹としたグラフトポリマーの合成を検討した。グラフト化により、ポリビニルエーテルに異なる性質の枝を修飾し、新たな機能を付与することが可能となるためである。まず、スキーム1にしたがい、まず水酸基含有VEであるHEVE(2-hydroxyethylvinyl ether)とVAc(vinyl acetate)をラジカル共重合させ、これを幹ポリマーとした。次に ϵ -caprolactone(CL)のグラフト重合(grafting-from)を行い、諸物性を測定した。

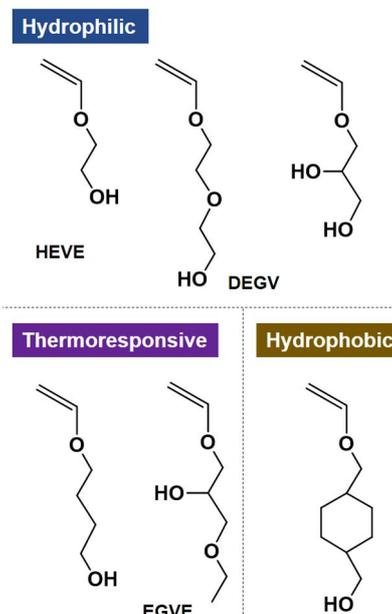
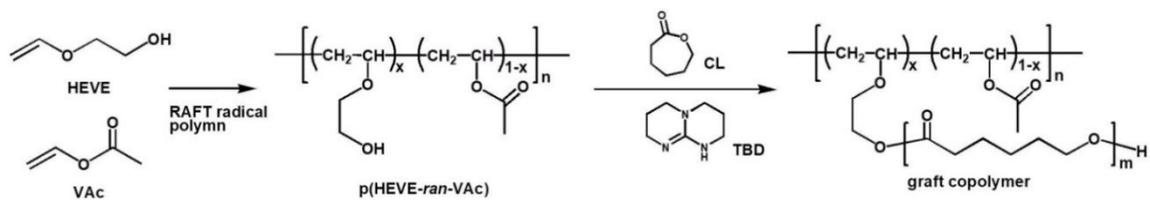


図2. 水酸基含有ビニルエーテル



合成した幹ポリマーを用いてグラフト重合したところ、分子量の増加が確認でき、¹H NMR より幹と枝である PCL のシグナルがみられた。また、精製後 ¹H NMR 測定したところ *d*-DMSO 中で開始点である水酸基のピークが消失していたため、ほぼ 100% の開始効率で反応が進行した。いずれも水酸基量から計算された理論値の値に沿って、グラフト重合が進行した。また、 δ -valerolactone (VL) や L-lactide をモノマーに用いた場合も同様に重合が進行した。さらに、CL をモノマーとして合成したグラフト共重合体をマクロ開始剤として、グラフト鎖末端から VL の共重合を行った。反応は進行し、ブロックグラフト共重合体を合成することができた。以上より、本重合はリビング的に進行するということがわかった (図 4)。

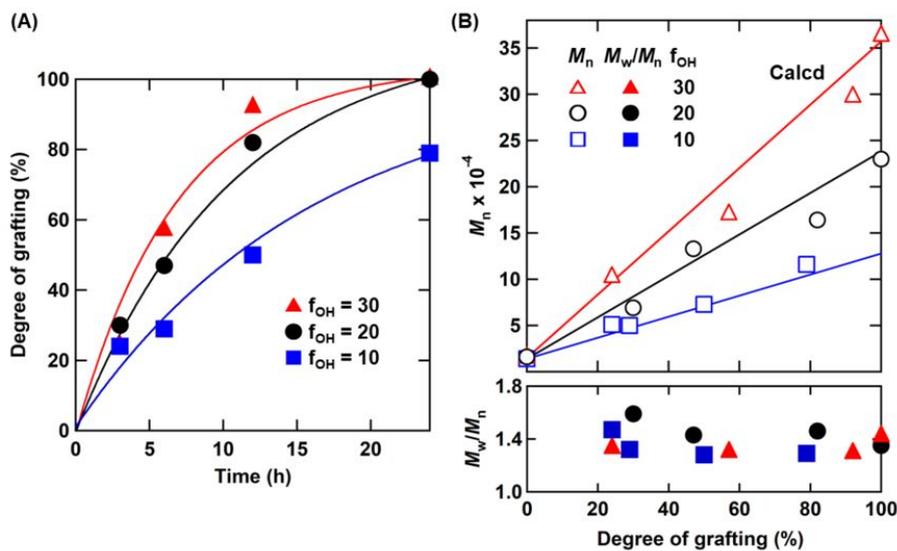


図 4. TBD を用いた 30 °C での CL のグラフト共重合 (A) 時間とグラフト率の関係, (B) M_n (LALS) と M_w/M_n : $[CL]_0/[OH]_0/[TBD]_0 = 100/1/0.5$, $[CL]_0 = 24$ wt%.

次に、幹ポリマーの水酸基量と反応時間を変化させ、枝の長さ・数の異なる 5 つのグラフト共重合体を合成した。その結果、それぞれに枝である PCL に由来する融点と、幹に由来するガラス転移温度が確認できた。そのため、従来結晶性のないビニルエーテルへ結晶性のある PCL がグラフトされたことにより、30~40% 程度の結晶化度を有するポリマーを新規に得ることができた。このことから、PCL 由来の性質が PHEVE に付与されたことがわかった。さらに、枝が多く、または長くなるように設計したポリマーの方がより結晶化度が高くなったことから、設計通りに枝を導入できていることを確認した。このように、PHEVE 幹がラジカル重合が可能であり、枝の長さや数も自在に変化させることができ、様々なモノマーの開環重合に対応できるようになった。

他にも、物理ゲル化能を有するポリビニルエーテルなども構築した。

以上、(1)~(3) について、ビニルエーテルの精密ラジカル重合を基軸とするアーキアミメティック組織の合成を行い、様々な結果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sugihara Shinji	4. 巻 94
2. 論文標題 Morphological Control of Nanoparticles via Precision Polymerization-Induced Self-Assembly	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Colour Material	6. 最初と最後の頁 285 ~ 293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4011/shikizai.94.285	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 杉原伸治	4. 巻 72
2. 論文標題 ラジカル重合によるポリビニルエーテルの合成とそれを含む分散液	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 391 ~ 396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Sugihara Shinji, Kawakami Ryuya, Irie Satoshi, Maeda Yasushi	4. 巻 53
2. 論文標題 Poly[di(ethylene glycol) vinyl ether]-stabilized poly(vinyl acetate) nanoparticles with various morphologies via RAFT aqueous emulsion polymerization of vinyl acetate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 309 ~ 321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-00417-3	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 Uematsu Hideyuki, Kawasaki Takahiro, Koizumi Koutarou, Yamaguchi Ayaka, Sugihara Shinji, Yamane Masachika, Kawabe Kazumasa, Ozaki Yukihiro, Tanoue Shuichi	4. 巻 223
2. 論文標題 Relationship between crystalline structure of polyamide 6 within carbon fibers and their mechanical properties studied using Micro-Raman spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123711 ~ 123711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2021.123711	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 Sugihara Shinji, Yoshida Ayano, Kono Taka-aki, Takayama Tsuyoshi, Maeda Yasushi	4. 巻 141
2. 論文標題 Controlled Radical Homopolymerization of Representative Cationically Polymerizable Vinyl Ethers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13954 ~ 13961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b06671	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 Fujita Satoshi, Hara Saeri, Hosono Akari, Sugihara Shinji, Uematsu Hideyuki, Suye Shin-ichiro	4. 巻 2020
2. 論文標題 Hyaluronic Acid Hydrogel Crosslinked with Complementary DNAs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Polymer Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/1470819	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 -

1. 著者名 杉原 伸治	4. 巻 72
2. 論文標題 ラジカル重合によるビニルエーテルポリマー類の製造方法とその機能	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 繊維機械学会誌	6. 最初と最後の頁 513 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 杉原 伸治	4. 巻 75
2. 論文標題 均一混合物から小胞体を生成する人工生物学? - ナノ分子材料のための精密重合誘起自己組織化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 68 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Takashima Atsushi, Maeda Yasushi, Sugihara Shinji	4. 巻 7
2. 論文標題 Morphology Control via RAFT Emulsion Polymerization-Induced Self-Assembly: Systematic Investigation of Core-Forming Blocks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 26894 ~ 26904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c03440	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 -

1. 著者名 Sumikama Yuka, Takashima Atsushi, Mochizuki Tomohiro, Sakuraba Haruhiko, Ohshima Toshihisa, Sugihara Shinji, Suye Shin-ichiro, Satomura Takenori	4. 巻 26
2. 論文標題 Self-assembly of Aeropyrum pernix bacilliform virus 1 (APBV1) major capsid protein and its application as building blocks for nanomaterials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Extremophiles	6. 最初と最後の頁 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00792-022-01284-x	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 Uematsu Hideyuki, Mune Kotaro, Nishimura Shunya, Koizumi Koutarou, Yamaguchi Ayaka, Sugihara Shinji, Yamane Masachika, Kawabe Kazumasa, Ozaki Yukihiko, Tanoue Shuichi	4. 巻 154
2. 論文標題 Fracture properties of quasi-isotropic carbon-fiber-reinforced polyamide 6 laminates with different crystal structure of polyamide 6 due to surface profiles of carbon fibers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Composites Part A: Applied Science and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 106752 ~ 106752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesa.2021.106752	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 Sugihara Shinji	4. 巻 54
2. 論文標題 From controlled radical polymerization of vinyl ether to polymerization-induced self-assembly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1407 ~ 1418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-022-00698-w	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 -

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 杉原 伸治
2. 発表標題 ビニルエーテルの制御ラジカル重合と精密重合誘起自己組織化
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 淳史, 坪田 大悟, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 RAFT 水系乳化重合誘起自己組織化によるモルフォロジー制御
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石原 幹也, 高島 淳史, 村富 樹大, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 グラフトコポリマー型連鎖移動剤を用いたRAFT水系分散重合
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 秀祐, 安田 宗太郎, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 シーケンス制御のためのジヒドロピラン誘導体の異性化リビングカチオン重合
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村 凜太郎, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 ホスフィンオキシド基含有コアシェル微粒子の合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 淳史, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 重合誘起自己組織化の体系的研究: RAFT乳化重合によるモルフォロジー制御
3. 学会等名 第70回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村富 樹大, 石原 幹也, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 ポリビニルエーテルマクロ連鎖移動剤を用いた高活性モノマーの重合
3. 学会等名 第70回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉原 伸治
2. 発表標題 ナノ分子材料創製を目指した重合誘起自己組織化
3. 学会等名 第30回ポリマー材料フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大堀 朱音, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ビニルエーテル - 酢酸ビニル共重合体を幹とする環状エステルグラフト開環重合
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 筒井 悠登, 杉原 伸治, 植松 英之, 前田 寧
2. 発表標題 重合誘起自己組織化による熱履歴認識ブロックコポリマーナノ組織体の合成
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸 大雅, 北村 凜太郎, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ホスホン酸エステル基を有する難燃性コア-シェル微粒子の合成
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島 淳史, 川上 竜矢, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 RAFT 乳重合誘起自己組織化によるモルフォロジー制御
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石原 幹也, 高島 淳史, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 グラフトコポリマー型連鎖移動剤を用いたRAFT分散重合
3. 学会等名 第69回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北村 凜太郎, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ホスフィンオキシド基含有難燃性コア-シェル微粒子の合成
3. 学会等名 第69回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田 宗太郎, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 交互シーケンス制御のためのジヒドロピラン誘導体の異性化カチオン重合
3. 学会等名 第69回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島 淳史, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 RAFT 乳化重合誘起自己組織化によるモルフォロジー制御
3. 学会等名 第69回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白澤 崇誠, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 顕微ダイレクタマンイメージングによる高分子微細構造解析
3. 学会等名 第69回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉原 伸治, 筒井 悠登
2. 発表標題 RAFT水系分散重合による熱履歴認識ブロックコポリマー組織の合成
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島 淳史, 杉原 伸治
2. 発表標題 RAFT乳化重合誘起自己組織化によるモルフォロジー制御
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石原 幹也, 杉原 伸治
2. 発表標題 グラフトコポリマー型連鎖移動剤の合成と重合誘起自己組織化
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川上 竜矢, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 水酸基含有ポリビニルエーテルを用いたRAFT 乳化重合誘起自己組織化
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉原 伸治, 河野 孝昭, 高山 剛志, 松下 佳祐, 前田 寧
2. 発表標題 種々の機能性ビニルエーテル類の直接ラジカル重合
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉原 伸治
2. 発表標題 ビニルエーテルのラジカル単独重合：精密重合・重合誘起自己組織化へ
3. 学会等名 第68回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田 宗太郎, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 交互シーケンス制御のためのジヒドロピラン誘導体の異性化カチオン重合
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大堀 朱音, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 PVA 代替水酸基含有ポリビニルエーテル-酢酸ビニル共重合体からの環状エステルのグラフト開環重合
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 筒井 悠登, 杉原 伸治, 植松 英之, 前田 寧
2. 発表標題 RAFT 水系分散重合による熱履歴認識ブロックコポリマー集合体の合成
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上 竜矢, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ポリビニルエーテルを用いた RAFT 乳化重合誘起自己組織化
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田 菜里, 高山 剛志, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ビニルエーテルの制御ラジカル重合と機能化
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大堀 朱音, 杉原 伸治, 前田 寧, 杉原 伸治
2. 発表標題 PVA代替の水酸基含有ポリビニルエーテル-酢酸ビニル共重合体からのグラフト開環重合
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 筒井 悠登, 植松 英之, 杉原 伸治
2. 発表標題 RAFT水系分散重合による熱履歴認識ブロックコポリマーの合成
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大堀 朱音, 杉原 伸治, 前田 寧
2. 発表標題 ビニルエーテル-酢酸ビニル共重合体を幹とする環状エステルグラフト開環重合
3. 学会等名 第68 回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 筒井 悠登, 杉原 伸治, 植松 英之, 前田 寧
2. 発表標題 熱履歴認識ブロックコポリマーナノ組織体の合成
3. 学会等名 第68 回高分子学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shiori Kanada, Shinji Sugihara
2. 発表標題 Controlled Radical Polymerization of Various Functional Vinyl Ethers
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sotaro Yasuda, Shinji Sugihara
2. 発表標題 Isomerization Cationic Polymerization of Dihydropyran Derivatives for Alternating Sequence Control
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 杉原 伸治	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術者情報協会	5. 総ページ数 8
3. 書名 自己重複材料、自己組織化、形状記憶材料の開発と応用事例	

1. 著者名 杉原 伸治	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術者情報協会	5. 総ページ数 7
3. 書名 ラジカル重合を中心としたポリマー・微粒子・コーティング材の合成, 応用, トラブル対策	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室のホームページ

<http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/koubun/sugihara/sugiharagroup/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------