

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05734

研究課題名（和文）利用環境下における高分子鎖切断の精密設計と時系列解析

研究課題名（英文）Precision design and time-scale analysis of polymer depolymerization and degradation under various environment

研究代表者

佐藤 浩太郎 (Sato, Kotaro)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：70377810

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、精密重合で培った知見をもとに、化学分解の制御が可能なユニットの設計・高分子鎖へ導入し、誘発分解による精密分解可能な新規高分子材料の設計指針を探索した。とくに、従来、精密重合において副反応制御に用いられてきた安定な共有結合種を用い、分解の活性種へと変換する未開拓の分解性高分子材料を設計し、その性質を明らかにした。また、高分子鎖を形成する様々な化学結合に着目し、精密に設計・合成したモデル化合物（低分子化合物）や精密重合によるモデル高分子・オリゴマーを用いて再評価し、研究領域内の他の研究と共同して高分子の精密分解を新しい学術領域として体系化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子合成分野においては、分解を志向したビニルポリマーの主鎖中へのエステル結合の導入やクローズド・ループのリサイクルを志向した環状モノマーの開環重合および解重合による関する類似の研究がドイツやアメリカ、中国から報告されつつある。本研究課題では、申請者らが独自に開発してきた単一のドーマント種から異なる活性種を生成させる新しい精密重合系に基づいた精密分解を目的としている。このような従来の精密重合の化学に立脚した新しい分解機構の提案は、他に報告例がなく、その学術的、社会的意義は高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, we explored new principles for designing novel polymer materials capable of controlled chemical decomposition/degradation, leveraging insights from precision polymerization. Specifically, we utilized stable covalent species traditionally employed for side-reaction control in precision polymerization to design unexplored polymer materials convertible into active species for decomposition. We elucidated their properties and focused on various chemical bonds forming polymer chains. Through precise design and synthesis of model compounds and model polymers/oligomers via precision polymerization, we re-evaluated the molecular-level bond cleavage (chemical decomposition) reactions. Additionally, we collaborated with other researchers to systematize this field as a new academic domain.

研究分野：高分子合成

キーワード：リビング重合 精密分解 ドーマント種 化学分解 重合活性種

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高分子の合成は、石油化学産業の発展とともに、最も活発に行われてきた研究分野の一つである。ビニルモノマーの重合においては、連鎖移動、停止などの副反応のない重合をリビング重合と呼び、生成する高分子の分子量や末端構造を精密に制御する有効な手段である。これまでに様々な活性種を用いた重合系においてリビング重合が開発され活発に研究がなされてきていた。とくに、炭素カチオンやラジカルといった生長活性種を用いた場合、生長末端に安定な共有結合種(ドーマント種)を導入し、これを触媒などの刺激により可逆的に活性化することで副反応が抑制されリビング重合が進行することが見出されている。

一方、高分子の分解が、海洋のマイクロプラスチック問題をはじめとして、様々なシチュエーションにおいて、近年、深刻な問題となってきていた。これは、従来の材料開発において優れた材料として使用時の安定性のみを重要視してきた結果であり、リビング重合のような精密重合によって合成された精密に構造が制御された高分子であっても基本的には同様の問題を生じる。今後の新規高分子材料の開発指針として、使用時の高安定性と使用後の易分解性といった一見相反する性能を両立した材料設計が求められていくことは疑いの余地がない。そのためには、これまでに系統的な研究が乏しかった高分子の精密分解、すなわち本学術変革領域の目的とする学術領域の構築が必要不可欠である。とくに、物性制御を目的とした高分子の分解挙動や分解過程の解明には、構造が明確な高分子を用いた様々な時空間レベルで系統的かつ詳細な解析が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では、従来の精密重合に用いられてきた「共有結合種(ドーマント種)の可逆的活性化反応に基づく重合反応制御」の概念をさらに発展させて、分解の起点とすることで使用後に精密に分解制御することのできる革新的な高分子材料の設計技術を創出することを目的とする。とくに、これまでに副反応の制御に用いられてきた安定な共有結合種であるドーマント種に着目し、ドーマント種と同様の化学種を高分子鎖中へ導入することで刺激による分解の起点や分解を生じる異なる活性種へと変換し、分解を精密に制御可能な高分子合成技術の開発を目指す。無害なモノマーレベルまで精密分解可能な技術が開発できれば、環境中へ流出しても安全で、クロースド・ループでリサイクル可能な材料開発にも繋がり、近年注目されているサーキュラーエコノミーの観点からも重要性は高い。本申請のように、ドーマント種を分解活性種の生成に利用し、合成時とは異なる活性種を分解に用いる試みなどは従来例がなく、独自性および創造性に優れた新しい概念である。本手法は原料として汎用のビニルモノマーを用い、汎用ポリマーへも分解成分を導入できる点において、工業的にも意義のあるものと考えられる。

3. 研究の方法

本研究で明らかにしようとすることは、主に以下に示す2点に集約される。それぞれの項目ごとに、詳細な内容を記す。

ドーマント種の導入による分解制御技術の探索

使用時の高安定性と使用後の易分解性を両立した材料設計を達成するために、これまでに精密重合において副反応の抑制に用いられてきた共有結合種(ドーマント種)の概念を用いる。そのために、炭素-ハロゲン結合や硫黄結合など触媒や光などの刺激で種々の活性種へと活性化可能な化学結合を末端や側鎖に導入した高分子の合成法を模索する。これら化学結合は熱的には安定なものも多いため使用時の安定性が保持されるが、使用後に刺激により一般的な高分子の劣化の際に生じているラジカル種などの活性種を分解時に生じさせることができる。具体的には、以下に示すように側鎖に直接あるいはモノマー1ユニットを介して導入したラジカル発生可能なモノマーを設計することで、高分子主鎖に複数のラジカルを生じさせる方法や、アニオン重合を用いて比較的低温で合成したポリマー末端にドーマント種を導入することで安定な高分子を合成し、使用後に末端からの解重合を選択的に生じさせる手法などが挙げられる。

重要なことは、分解の際には、重合の際とは異なる活性種や反応機構を使用できる点にあり、申請者がこれまでに行ってきたドーマント種を介した活性種の変換反応を適用する。このようにして、精密に重合した高分子を刺激により精密に分解できる高分子材料の新しい設計指針を探索し、その使用時の安定性と使用後の分解性をGPCやDSC/TGA、その他分光法を用いて評価する。

モデル分子を用いた高分子の化学分解の再評価と体系化

高分子鎖を形成する様々な化学結合に着目し、熱、光、酸化、加水分解など様々な利用環境下における分子レベルでの化学分解が生じる反応機構を再評価する。とくに、融合課題 P1(時空間効果の学理)において、炭素-炭素結合、二重結合、エステル結合、アミド結合など、一般的な結合に焦点をあて、これらを主鎖に有する様々なモデル化合物(低分子化合物からオリゴマー、

ポリマーまで)を精密に合成し、多様な環境条件下、分解速度と分解濃度の関係などについて NMR や IR, UV などの分光学的手法を用いて評価し、そこで得られる酸化劣化などのデータを A04 班と連携して粗視化モデルの構築を行う。ここで、モデル高分子やオリゴマーは、これまでに申請者が携わってきた精密重合(リビング重合)で合成した分子量や分子量分布、末端構造など一次構造が明確に制御されたものを用いることで、より詳細な解析を可能とすると考えられる。

4. 研究成果

以下に本研究で明らかになった具体的な例を示す。

ドーマント種の導入による分解制御技術の探索

原子移動ラジカル重合(ATRP)においてドーマント種に用いられてきた炭素-ハロゲン結合が、活性種を一次的に安定な構造としている点に着目し、同様の化学種を側鎖に有するトリガー分解型モノマーをポリマー鎖中に導入することで分解性ビニルポリマーの合成を行った。特にマロン酸エステル骨格からなり、側鎖に活性な炭素-塩素結合を有するモノマー(1-2)を合成し、(メタ)アクリル酸エステルなどの汎用電子求引性モノマーとの共重合について、これまでに報告した炭素-臭素結合をもつもの(3)と比較するとともに、得られたポリマーの分解性を評価した(図1)。

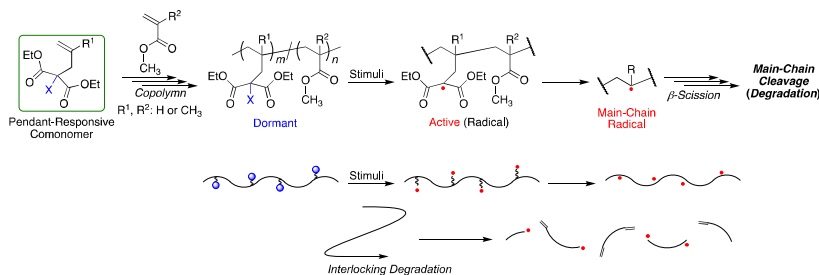


図1. Interlocking Degradation of Vinyl Polymers by Introducing the Pendant-Responsive Comonomers (This Work).

トリガー分解型モノマー(1-3)を、マロン酸ジエチルを原料として2段階の反応で合成し(図2)、アクリル酸メチル(MA)とのフリーラジカル共重合を検討した。側鎖にC-Cl結合を有するモノマー1とMAとの共重合では、モノマー仕込み比を変えても([1]₀/[MA]₀ = 1/10 ~ 1/1)、比較的高い分子量(M_n > 10,000)の共重合体を生じ、1の導入率の異なるポリマー-poly(1-co-MA)を得ることに成功した(5-24 mol%)。2とMAとの共重合についても、若干共重合性は低いものの2の導入率(2-14 mol%)の異なる比較的高い分子量のポリマー-poly(2-co-MA)が得られた(M_n > 20,000)。以上より、これまでに報告したC-Br結合を有するモノマー3では高分子量体は得られなかったが、より安定は

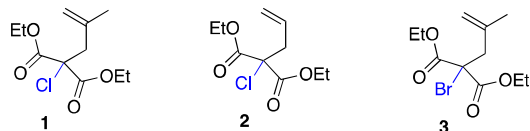


図2. Structure of trigger-responsive comonomers.

C-Cl結合をもつモノマーを設計することで、導入率の高い共重合体を得ることがわかった。モノマー(1-3)とメタクリル酸メチル(MMA)とのフリーラジカル共重合についても検討した。1とMMAを仕込み比1:1とすると1はほとんど消費されずMMAの単独重合が進行した。そこで溶媒にフルオロアルコ

ール [PhC(CF₃)₂OH] を用い1の仕込み比をMMAに対して6等量と

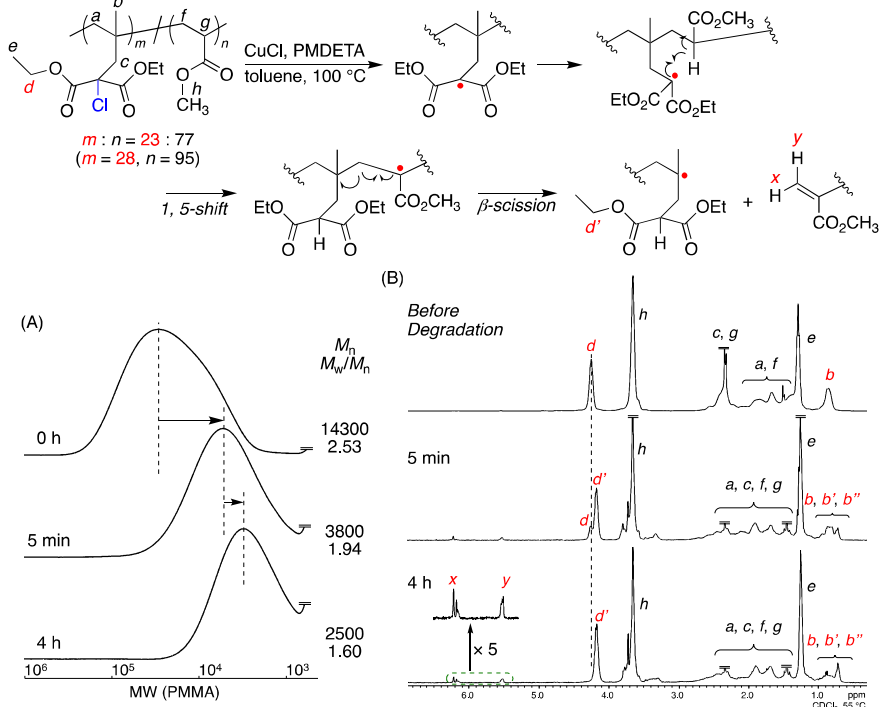


図3. SEC curves (A) and ¹H NMR spectra (B) for the degradation of poly(1-co-MA): [1]₀/[CuCl]₀/[PMDETA]₀ = 20/20/20 mM in toluene at 100 °C.

することで共重合性がわずかに向上し、分子量 1 万以上、1 の導入率が 2 mol% のコポリマーが得られた。

合成したポリマーの熱物性を評価した。結果としてモノマーの導入は熱安定性やガラス転移温度に影響を与えないことがわかった。

合成したポリマーを用いて側鎖ラジカルの発生を起点とした主鎖分解を検討した。Poly(1-*co*-MA) ($M_n = 14300$, $m : n = 24 : 76$)を用いて CuCl 存在下、トルエン中 100 °C で反応を行うと、数平均分子量の顕著な減少が見られたことから主鎖分解が進行したことが示唆された (図 3A)。また $^1\text{H NMR}$ において 4.3 ppm 付近のコモノマー 1 の側鎖メチレン基 (d) が高磁場シフトしたことから側鎖の -Cl 原子が -H 原子に完全に置換されたことが確認された。また、6.0 ppm 付近に主鎖 C-C 結合の β 開裂による末端アルケンの生成に由来する新たなピーク (x, y) が観測された (図 3B)。以上のことから、CuCl により生じたモノマー側鎖ラジカルは 1,5-shift により隣接隣接する MA ユニットの α 水素原子を引き抜くことで主鎖ラジカルが生じ、続く β 開裂により主鎖分解が進行しており、モノマーの導入が分解の起点となっていると考えられる。1 の導入量の異なる Poly(1-*co*-MA)を用いてもほぼ同じ分解率で分解が進行し、1 の導入量が多くなる程分子量の変化 [$M_n(\text{Deg.})/M_n(\text{Original})$] が大きくなった。このことからモノマーユニットが分解を誘発していることが強く支持された。

表 1. Degradation of various copolymers.

Entry	copolymer	$m : n$	N_{Cl}	M_n (Original)	M_w/M_n (Original)	M_n (Deg.)	M_w/M_n (Deg.)	$E_{\text{deg.}}$
1	1/MA	24 : 76	27	14300	2.53	2500	1.60	20%
2	1/MA	16 : 84	23	16800	2.60	3500	1.88	20%
3	1/MA	12 : 88	20	18100	2.83	4600	2.08	18%
4	1/MA	8 : 92	13	16600	3.52	6300	2.80	19%
5	1/MA	5 : 95	9	17600	3.25	8600	2.89	21%
6	2/MA	3 : 87	27	21100	4.38	6800	3.76	11%
7	2/MA	6 : 94	16	24600	3.58	11700	4.55	12%
8	1/MMA	1 : 99	2	18100	2.38	14200	2.29	—
9	2/MMA	6 : 94	8	14000	2.93	8900	3.45	—

^aDegradation condition: $[-\text{Cl}]_0/[\text{CuCl}]_0/[\text{PMDETA}]_0 = 20/20/20$ mM in toluene at 100 °C.

^bDetermined by SEC analysis. ^c $E_{\text{deg.}} = \text{calcd.}/[M_n(\text{deg.})/M_n(\text{original})]$. calcd. = $1/(1+N_{\text{Cl}})$.

また、他の共重合体についても同様の反応条件下で分解を検討した (表 1)。トリガー分解型モノマーに α メチル基を持たない poly(2-*co*-MA) も分子量の減少を示したが、分子量の変化は poly(1-*co*-MA) よりも小さかった。これはメチル基を水素原子に置換すると、Thorpe-Ingold 効果に見られるように、ラジカルの分子内 1,5-shift が進行しにくくなったためであると考えられる。一方で、MMA との共重合体である poly(1-*co*-MMA) および poly(2-*co*-MMA) は、 α 水素原子を持たないため 1,5-shift は生じず、分子量の大きな減少は見られなかった。

以上より、側鎖に生じたラジカルが分子内 1,5-shift により主鎖ラジカルへと移動し、 β -開裂により主鎖切断が連動して生じる新しいビニルポリマーの分解を明らかにした。

以上の成果は原著論文 1 報で報告されるとともに、2 報の続報について執筆中である。

また、バイオマス原料である L-ラクチドから誘導可能な環状チオカルボニルモノマー (SLA) を合成し、ビニルモノ

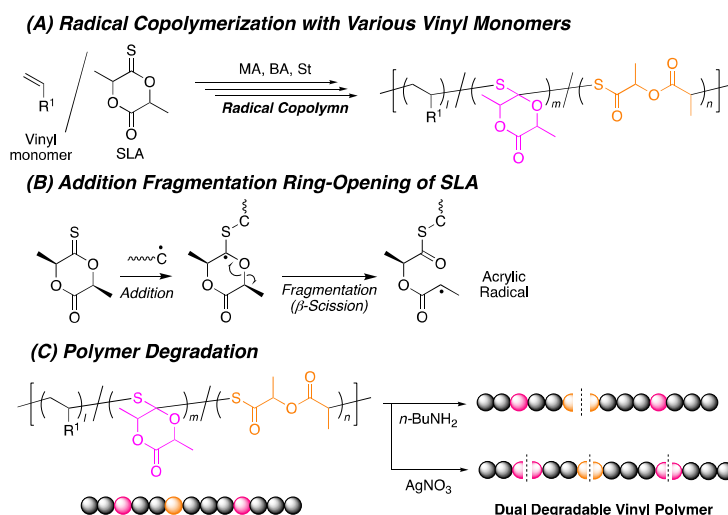


図 4. Radical Copolymerization of Thiocarbonyl Lactide (A), Ring-Opening mechanism of SLA (B), and Multiple Degradation of copolymers (C).

ノマーとの共重合により、マルチ分解性ポリマーの合成を目的とした。今回、アクリル酸メチル (MA) など種々の汎用モノマーとのラジカル共重合を行った(図 4A)。SLA はラジカルと反応すると、硫黄原子へのラジカル付加反応ののちに、モノマーが 開環によって開環することで、アクリレート型のラジカルを生じることが期待される(図 4B)。得られたコポリマーの分解について、主鎖中に導入された SLA の開環および非開環ユニットに基づく、複数の刺激を用いたマルチ分解について評価を行なった(図 4C)。

SLA とアクリル酸メチル (MA) とのフリーラジカル共重合について、検討を行ってきている(表 2. Entry 2-5)。これまでの検討から、仕込みモノマー濃度が高いほど高分子量の共重合体が得られている。ここで、SLA の仕込み比を 20%まで上げることで、主鎖中への約 10%程度の SLA ユニットを導入できる

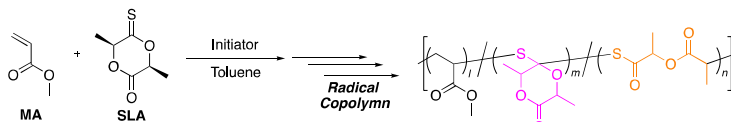


表 2. Radical Copolymerization of SLA and MA.

Entry	[MA] ₀ : [SLA] ₀	[MA] ₀ + [SLA] ₀	Initiator	Temp.	Time	MA/SLA Conv. (%)	M _n (SEC)	M _w /M _n	l : m : n (NMR)
1	90 : 10	2000	AIBN	60 °C	75 h	92/36	6700	2.58	98.5 : 1.1 : 0.4
2	95 : 5	8800	AIBN	60 °C	24 h	96/65	28400	3.26	97.4 : 1.9 : 0.7
3	90 : 10	8800	AIBN	60 °C	24 h	90/60	27800	2.86	94.8 : 3.6 : 1.6
4	85 : 15	8800	AIBN	60 °C	72 h	86/61	17000	2.69	92.5 : 5.5 : 2.0
5	80 : 20	8800	AIBN	60 °C	72 h	80/56	12700	2.37	90.1 : 7.1 : 2.8
6	90 : 10	8000	AIBN	80 °C	14 h	92/44	8400	2.78	99.2 : 0.5 : 0.3
7	90 : 10	8000	V-70	20 °C	134 h	98/86	45000	1.73	89.2 : 7.9 : 2.9
8	80 : 20	8000	V-70	20 °C	201 h	87/75	31900	1.73	82.3 : 12.5 : 5.2

ことがわかった(Entry 5)。この時生成した共重合体の ¹H NMR による詳細な解析より SLA は、非開環(*m*)および開環(*n*)の構造で導入されていることが明らかになっている。MA との共重合においては、開環ユニットの割合は 25~30%程度であった。今回、重合温度の効果についても検討した(Entry 3,6,7)。SLA と MA の共重合においては、重合温度が低いほど SLA の反応率は高く、導入率の高い共重合体が得られた。また、共重合体の分子量も重合温度が低いほど高くなり(M_n = 45,000)、低温 (20 °C) で SLA 仕込み比を 20%まで上げることで、共重合体中に 18%SLA ユニットを導入した M_n>30,000 の共重合体を合成することも成功した。

得られた共重合体の主鎖中には、SLA が開環したチオエステルユニットの他に、非開環ユニットとしてチオアセタールユニットも導入される。そこで、共重合体の分解反応について、

求核反応によりチオエステル結合のみの切断が期待される一級アミンおよび、一般に金属と硫黄の親和性が高く全ての炭素-硫黄結合の切断が可能と考えられる硝酸銀を用いてそれぞれ分解反応を検討した(図 5)。いずれも主鎖の開裂が生じて、数平均分子量が数千程度まで減少した。特に、硝酸銀を用いたときにより大きく減少しており、SLA が高い割合で導入されたものについては元のポリマーの分子量の 10%程度まで分解反応が進行し、オリゴマーのみ残存した。異なる化学刺激を用いることで、SLA の開環および非開環ユニットに対して選択的に主鎖切断が可能であることが示された。

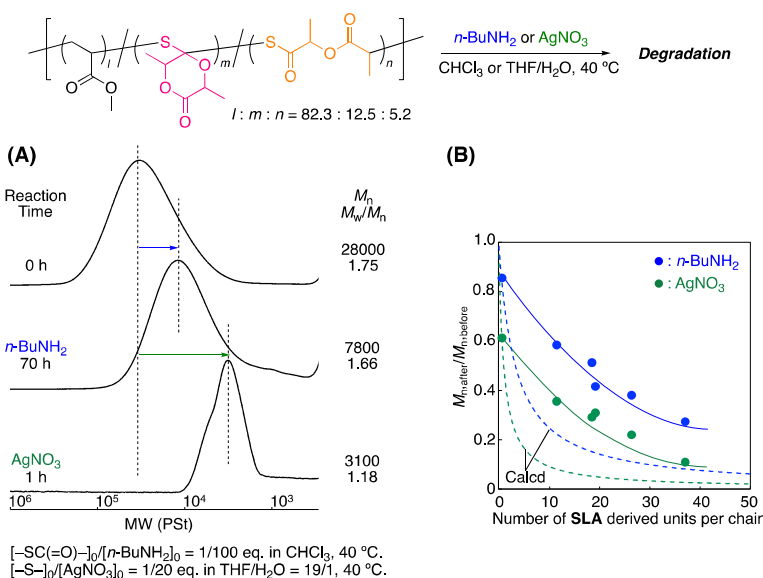


図 5. (A) Degradation of poly(SLA-co-MA) with *n*-BuNH₂ or AgNO₃ at 40 °C. (B) M_{n,after}/M_{n,before} as a function of the number of SLA-derived units per chain. Dashed lines denote the calculated values where M_{n,after}/M_{n,before} = 1/(1 + Number of degradable units).

これらの成果については、原著論文 1 報にまとめられ、1 報の続報について執筆中である。

モデル分子を用いた高分子の化学分解の再評価と体系化

分解性ポリエステルの分解物の評価を目的として、カプロラクトンオリゴマーを合成し、領域内での共同研究により、分解物の安全性について評価を行なった。これらの成果については、原著論文 2 報にまとめられている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 佐藤浩太郎	4. 巻 58
2. 論文標題 制御/リビングラジカル重合の基礎から最新の研究動向まで	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本接着学会誌	6. 最初と最後の頁 159-168
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 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 Sota Yamamoto, Tomohiro Kubo, Kotaro Satoh*	4. 巻 60
2. 論文標題 Interlocking degradation of vinyl polymers via main-chain C-C bonds scission by introducing pendant-responsive comonomers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Polym. Sci.	6. 最初と最後の頁 3435-3446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pol.20220250	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 Ryoya Kamiki, Tomohiro Kubo, Kotaro Satoh*	4. 巻 2022
2. 論文標題 Addition-Fragmentation Ring-Opening Polymerization of Bio-Based Thiocarbonyl L-Lactide for Dual Degradable Vinyl Copolymers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromol. Rapid. Commun.	6. 最初と最後の頁 202200537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202200537	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 Yoshinaga Naoto, Tateishi Ayaka, Kobayashi Yasuaki, Kubo Tomohiro, Miyakawa Hitoshi, Satoh Kotaro, Numata Keiji	4. 巻 24
2. 論文標題 Effect of Oligomers Derived from Biodegradable Polyesters on Eco- and Neurotoxicity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 2721 ~ 2729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.3c00160	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 Matsumoto Megumi, Ito Haruka, Tateishi Ayaka, Kobayashi Yasuaki, Satoh Kotaro, Numata Keiji, Miyakawa Hitoshi	4. 巻 43
2. 論文標題 Effects of polycaprolactone degradation products on the water flea, <i>Daphnia magna</i> : Carbodiimide additives have acute and chronic toxicity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Toxicology	6. 最初と最後の頁 1840 ~ 1848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jat.4516	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 -

〔学会発表〕 計17件(うち招待講演 9件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 異種反応を用いた精密高分子合成の新しい手法
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 Kotaro Satoh
2. 発表標題 Controlled Polymerization of Functional Styrene from Natural Resource
3. 学会等名 The 48th World Polymer Congress, IUPAC-MACRO2020+(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 再生可能な植物資源を用いた高分子の精密合成
3. 学会等名 第50回繊維学会 夏季セミナー(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 高分子化学
3. 学会等名 基本を深く学ぶ接着基礎講座、日本接着学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 高分子合成の基礎1 連鎖重合を中心に
3. 学会等名 2021年度若手社員のための高分子基礎講座，高分子学会関東支部（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Satoh
2. 発表標題 New Polymerization Systems by Switching Active Species
3. 学会等名 Pacifichem 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 精密重合の高分子鎖切断の設計への展開
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 化学反応による高分子精密分解に向けた分子設計
3. 学会等名 繊維学会 新研究委員会設立シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotaro Satoh
2. 発表標題 Novel Bio-Based and/or Degradable Vinyl Polymers using Controlled/Living Polymerization
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤浩太郎
2. 発表標題 高分子の精密重合から高分子鎖切断の精密設計へ
3. 学会等名 学術変革領域B高分子精密分解 公開キックオフシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Yamamoto, T. Kubo, K. Satoh
2. 発表標題 Toward degradable vinyl polymers using trigger-responsive comonomers.
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Yamamoto, T. Kubo, K. Satoh
2. 発表標題 Interlocking Degradation of Vinyl Polymers Triggered by Pendant-Responsive Comonomers
3. 学会等名 PPC17 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本聡太, 久保智弘, 佐藤浩太郎
2. 発表標題 ビニルポリマーの主鎖分解を可能とするトリガー分解型モノマーの開発
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 山本聡太, 久保智弘, 佐藤浩太郎
2. 発表標題 Novel main-chain degradable vinyl polymers using trigger-responsive comonomers
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本聡太, 久保智弘, 佐藤浩太郎
2. 発表標題 リガー分解型モノマーを用いたビニルポリマーの運動型主鎖分解
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神木遼也, 久保智弘, 佐藤浩太郎
2. 発表標題 ラクチド由来環状チオカルボニルモノマーのラジカル共重合による分解性ビニルポリマーの合成
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神木遼也, 久保智弘, 佐藤浩太郎
2. 発表標題 硫黄含有ラクチド誘導体のラジカル共重合によるマルチ分解性ビニルポリマーの合成
3. 学会等名 第71回高分子学会討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 共重合体及びその製造方法、並びに、成形体	発明者 佐藤浩太郎、久保 智弘、神木 遼也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-131293	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	石曾根 隆 (Ishizone Takashi) (60212883)	東京工業大学・物質理工学院・教授 (12608)	

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