

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05998

研究課題名(和文)直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーを利用した高分子結晶化制御

研究課題名(英文)Crystallization control using entanglement topology that not able to be realized only by linear polymer

研究代表者

山崎 慎一 (Yamazaki, Shinichi)

岡山大学・環境生命科学研究所・准教授

研究者番号：40397873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究において、直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーを持った高分子の結晶化メカニズムを解明した。直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジー群は、結び目絡み合いを持たない環状高分子と、結び目を形成し複雑に絡み合うことができる直鎖状または星形高分子を混合し、両者が絡み合うことによって形成できる。全研究期間を通じて、分子量が異なる環状と直鎖状または星形ポリエチレンのブレンド系についての研究を実施した。試料の静置下および流動場における結晶化学動のその場観察を偏光顕微鏡下で行った。星形高分子の分岐点や環状と直鎖が形成する絡み合いがブレンド系の結晶化に及ぼす影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーが結晶化に及ぼす影響を解明し、その成果を新規結晶性高分子材料の開発に展開していく点に高い学術的意義がある。本研究の成果は、従来ブロック化や共重合体化によって高性能化を指向してきたポリオレフィン類に対して発想の転換を迫るものであり、耐熱性や力学的強度、成形加工性などの諸物性がチューニング可能な高性能結晶性高分子材料を創製可能にするものである。用途展開としては、超高強度・高耐熱性繊維やナノコンポジット、配向制御高分子フィルム・膜への応用が考えられ、その波及効果は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：In this work, we elucidated the crystallization mechanism of polymers with entanglement topology that cannot be realized by linear polymers alone. It is realized the group of entanglement topology that cannot be realized only by linear polymers by using a mixture of cyclic polymers without knot entanglement and linear or star polymers having complicated knot entanglements.

Throughout the entire study period, we preformed the studies on blended systems of cyclic and linear or star polyethylene with different molecular weights.

In-situ observation of the crystallization behavior of the sample under quiescent state and in the flow field was performed by means of polarizing microscopy. We clarified the effect of the entanglement of star-shaped polymer branching points and cyclic and linear chains on the crystallization of the blend system.

研究分野：高分子物理化学

キーワード：高分子構造・物性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

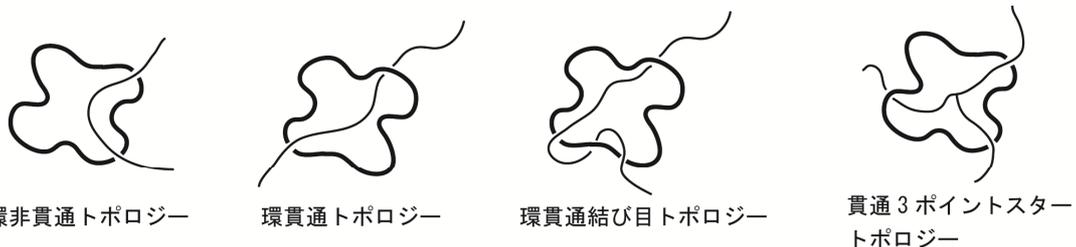
1. 研究開始当初の背景

現在、高分子は高性能・高機能で環境適合型材料として重要性を増している。高分子の優れた性質を引き出すためには高分子特有の鎖の“絡み合い”が構造形成にどのような影響を及ぼすのか、その分子論的メカニズム解明が必要不可欠である。汎用高分子の多くは結晶性高分子であり、高分子鎖の多様な絡み合い効果を結晶化制御に巧みに組み込むことによって、これまでにない全く新しいコンセプトで設計された結晶性高分子材料を開発できる可能性を秘めている。

本研究代表者を始めとして多くの研究者によって、静置下においては絡み合いが結晶化を抑制することや、流動場においては絡み合いが鎖の伸長を促進し繊維状結晶(シシケバブ構造^[1])の生成を導くといったように、高分子の結晶構造形成過程に絡み合いが重要な役割を果たすことが報告されてきた^[2,3]。

本研究代表者はまず絡み合いの種類に着目し、末端の存在に由来する結び目絡み合いがなく、絡み合いの種類が限定された「環状高分子」を用い、その静置下および流動場における結晶化挙動を明らかにしてきた。その結果、静置下において結晶化の最も初期過程である核生成は環状高分子の方が直鎖状よりも著しく速いこと^[4]、流動場において環状高分子は直鎖状に比べシシケバブ構造を生成しにくいことを明らかにした。これらは全て、環状高分子特有の結び目絡み合いの欠如に関係しているものと結論された。さらに、単体ではシシケバブ構造を生成しない環状高分子に直鎖状高分子をごく少量添加するだけでシシケバブ構造を生成させることができることを示した。これは、環状と直鎖状高分子が絡み合うことによってできた絡み合いトポロジーが分子鎖の伸長を促進し、シシケバブ構造の生成を誘起したものと考えられた。

そこで本研究では、これらの成果を発展させ、環状高分子に直鎖状高分子または星形高分子を任意の割合で混合し、かつ両者の分子量を様々に変化させることで、両者が絡み合った直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジー群(下図参照)を持った試料を調製し、その結晶化メカニズムの解明と制御を通じて、これまでにない結晶性高分子材料を創製することを考えた。



直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジー群

(環状と直鎖状または星形高分子の分子量によってこれらの絡み合いトポロジーの特性は変化)

[1] A. J. Pennings, *J. Polym. Sci. Polym. Sympo.* **59**, 55 (1977).

[2] S. Yamazaki, F. Gu, K. Watanabe, K. Okada, A. Toda, M. Hikosaka *Polymer*, **47**, 6422 (2006).

[3] M. Hikosaka, K. Watanabe, K. Okada, S. Yamazaki, *Adv. Polym. Sci.*, 191, 137 (2005).

[4] 北原綱樹, 山崎慎一, 木村邦生, *高分子論文集*, 68, 694 (2011).

2. 研究の目的

本研究の目的は、直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーを持った高分子の結晶化メカニズムの解明と制御を通じて、これまでにない結晶性高分子材料を創製することである。

具体的な検証事項は、分子量の異なる数種の環状と直鎖状および星形ポリエチレンを合成し、そのブレンド試料の静置下および流動場での結晶化挙動を偏光顕微鏡および光散乱で直接観察し、結晶化過程の過冷却度依存性や流動速度・歪み量依存性などを明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究の目的は、直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーを持った高分子の結晶化メカニズムを解明し、その結晶化を制御することで、これまでにない結晶性高分子材料を創製することである。この目的を達成するために、

環状高分子、星形高分子および直鎖状高分子の合成とキャラクタリゼーション

ブレンド高分子の結晶化挙動の偏光顕微鏡によるその場観察

を本研究代表者が中心となった研究グループによって行った。なお、結晶化実験では、全ての基

準となる静置下におけるものと、工業的により重要な流動場におけるものの 2 通りの場合を実施した。

環状高分子として、修飾型 Grubbs 触媒によるシクロオクテンの環拡大重合によって調製される環状ポリオクテンを水素化した環状ポリエチレンを用いた^[5]。この重合法は、従来法である直鎖状高分子前駆体の両末端基のカップリング反応を経由した環状高分子合成法に比べ、高純度・高収率である。また、星形高分子として、既報の、triethylborane と dimethylsulfoxonium methylide を反応させて得られる低分子量 3 腕型星形ポリエチレン^[6]および、cis-cyclooctene を第 1 世代 Grubbs 触媒と連鎖移動剤である(Z)-But-2-ene-1,4-diel bis(2-bromopropanoate)を用いて重合した末端基に Br 基をもつ直鎖状ポリオクテン^[7]を末端基の変換後カップリングさせ水素化した高分子量 3 腕型星形ポリエチレンを用いた。

一方、直鎖状ポリエチレンは、第 2 世代 Grubbs 触媒を利用して、環状ポリエチレンと同様の方法で調製した。

調製した試料の化学構造の確認を、現有の NMR、赤外吸収分光計で行った。重量平均分子量 M_w の決定を、溶液粘度測定またはゲル浸透クロマトグラフィー (GPC) で行った。平衡融点の決定を、示差走査型熱量計 (DSC) で行った。

特性評価の完了した環状または星形ポリエチレンと直鎖状ポリエチレンを所定の割合でブレンドした試料を調製した。試料の良好な混合を担保するために、通常の混練法ではなく、溶液キャスト法によってブレンド試料を調製した。

試料の静置下における結晶化挙動をその場観察するために、現有の試料の劣化を防止できる窒素雰囲気下で加熱冷却が可能なホットステージと高感度・高解像度顕微鏡用デジタル画像記録システムを用いた。この直接観察によって、直鎖が環を貫くために必要な両者の分子量比、直鎖が環を貫きかつ結び目を形成するために必要な下限分子量や星形高分子の分岐点がブレンド系の全結晶化に及ぼす影響などの本研究で鍵となる絡み合いトポロジーが結晶化に及ぼす影響を明らかにできる。成形加工で重要な流動場における結晶化では、星形の分岐部分鎖のために直鎖に比べ環の通り抜けが困難になるトポロジー効果は非常に興味深い。また、背景で述べたように、絡み合いトポロジーが流動場結晶化に及ぼす効果は静置下のそれよりも複雑である。試料にせん断流動を印加して結晶化過程をその場観察するために、せん断印加機構を組み込んだホットステージと高感度・高解像度顕微鏡用デジタル画像記録システムを用いた。この直接観察によって、結晶化過程におけるせん断速度・歪み量・過冷却度依存性やブレンド比依存性などが明らかにできる。

[5] C. W. Bielawski, D. Benitez, R. H. Grubbs, *Science*, **297**, 2041 (2002).

[6] K. J. Shea, B. B. Busch, M. M. Paz, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **37**, 1391 (1998).

[7] J. B. Maston, R. H. Grubbs, *Macromolecules*, **41**, 5626 (2008).

4. 研究成果

(1) M_w が大きく異なる環状と星型ポリエチレンブレンド系の静置下結晶化

C-PE ($M_w=18600$)に S-PE ($M_w=1920$)を任意の割合でブレンドしたサンプルの等温結晶化における熱流の結晶化時間に対する変化において、C-PE 単体、S-PE 単体、また S-PE の割合が小さいブレンド比 90/10 のサンプルでは単峰性の結晶化ピークが得られたのに対し、50/50 および 70/30 のサンプルでは二峰性の結晶化ピークが得られた。この結果より、ブレンド系では S-PE の割合の増加とともに、各単体のものとは異なる複雑な絡み合いの形成が示唆された。

一方、 M_w がさらに大きい C-PE ($M_w=47800, 107000$)に S-PE ($M_w=2130$)を 50/50 の割合でブレンドした系では、ブレンドサンプルがそれぞれの C-PE 単体よりも速く結晶化することがわかった。C-PE と S-PE の M_w の差が大きいため、両者の分子鎖の拡がりに大きな差があり、このブレンド系では両者は互いに絡み合っていないと考えられる。同時に、低分子量 S-PE の存在により C-PE の分子間・分子内の絡み合いも阻害されたと考えられる。S-PE の添加によってサンプルの粘度が下がり、結晶化が速くなったと考えられた。以上から、ブレンドするサンプルの分子量の組み合わせによって、S-PE は結晶化を加速したり抑制したりする働きをすることがわかった。

続いて、各ブレンドサンプルの結晶化度を評価するために、過冷却度 ΔT を変えて結晶化させた試料の融解ピークの融解エンタルピー ΔH を測定した。 M_w の大きい C-PE ($M_w=47800, 107000$)に S-PE ($M_w=2130$)を 50/50 の割合でブレンドした系の ΔH の ΔT 依存性は、それぞれのブレンド構成成分である C-PE 単体のそれとほとんど同じであった。これは、 M_w の大き

い C-PE に S-PE を添加しても結晶化度にほとんど影響を及ぼさないことを意味している。一方、 M_w のさらに小さい C-PE ($M_w=18600$) に S-PE ($M_w=2130$) を 50/50 の割合でブレンドした系の ΔH の ΔT 依存性は、ブレンド成分である C-PE 単体とは異なっており、 ΔT の増加とともに ΔH の差が大きくなることがわかった。これは、 ΔT が大きいときのように急速に結晶化させる場合は、C-PE と S-PE の絡み合いが結晶化を抑制し、非晶領域が増加していることを意味し、 ΔT が小さく結晶化速度が遅い場合には、絡み合いを解消しながら結晶化できることを示唆している。

C-PE ($M_w=18600$) と S-PE ($M_w=1920$) 単体およびそれらのブレンドサンプル (ブレンド比 C/S=90/10, 70/30 および 50/50) の結晶化挙動の観察を偏光顕微鏡にて行った。S-PE は異方性のある笹の葉状の結晶形態であるのに対し、C-PE は等方性の球状結晶形態であった。ポリエチレンの結晶形態は結晶化温度によって大きく変化することが知られており、結晶化温度を高く、すなわち ΔT を小さくするほど、球状形態から笹の葉状形態へと変化することがわかっている。ここで用いた S-PE の平衡融点 C-PE のそれに比べて高いため、同一結晶化温度であっても ΔT が異なり、このような形態の違いが現れたと考えられた。ブレンド試料では、ブレンド比に応じてその結晶形態が変化することがわかった。ブレンド比が 50/50 では、C-PE と S-PE 単体の中間的な形態であった。

(2) M_w がともに大きい環状と直鎖状ポリエチレンブレンド系の流動場結晶化

L-PE 単体の場合の繊維状結晶 shish 生成速度 I を I_0 、それぞれの ϕ_{C-PE} に対する I を I_B とし、 $I_r=I_B/I_0$ として I_r を定義する。ここで、 ϕ_{C-PE} はブレンド系における C-PE の添加量である。はじめに、L-PE の M_w をほぼ揃えて C-PE の M_w を変えたブレンド系の ϕ_{C-PE} に対する I_r の変化の比較から行う。すべての系において、 ϕ_{C-PE} が増加するに伴い I_r は指数関数的な減衰挙動を示した。C-PE を添加することによって L-PE 同士の絡み合いは ϕ_{C-PE} の増加に伴い減少し、配向融液形成を困難にすることから shish 生成を抑制する効果として働く。ここで C-PE と L-PE の絡み合いは、 ϕ_{C-PE} が小さい場合、1 つの C-PE に対して多数の L-PE が絡み合っていると考えられる。この種の絡み合いは配向融液形成を促進する効果として働くが、結晶化過程における解消が非常に困難であり、結果として結晶化すなわち shish 生成を抑制するものとして強く働くと考えられる。また、 ϕ_{C-PE} が増加すると、1 つの C-PE に対して絡み合っている L-PE の数は減少する。 ϕ_{C-PE} が小さい場合と比べて、このとき形成される絡み合いは配向融液を形成した後の結晶化過程における解消が容易であり、結晶化すなわち shish 生成を促進するものとして働くと考えられる。加えて、この ϕ_{C-PE} の範囲から C-PE 同士も絡み合い始め、これは絡み合い量の増加による配向融液形成を促進し shish 生成を促進する効果として働く。以上から、 ϕ_{C-PE} が小さい範囲では 2 つの shish 生成を抑制する効果によって I_r が大きく減少し、 ϕ_{C-PE} が増加すると shish 生成の促進効果と抑制効果が競合し I_r が一定値に収束したと考えられた。

また、異なる M_w の C-PE を添加しても同じ ϕ_{C-PE} において I_r に変化が見られないこともわかった。直鎖状と環状高分子のブレンドでは直鎖が環を貫通するような絡み合いが提案されており^[8]、C-PE の M_w が大きいほど直鎖が環に入りやすいと予想される。しかし、融液中の C-PE の回転半径の値は、今回の実験範囲では最大でも 1.5 倍程度しか変化しない。よって今回の C-PE の M_w の範囲では絡み合う L-PE の数に大きな変化はなく、L-PE と C-PE との絡み合いが shish 生成に及ぼす効果が顕著に表れなかったと推察された。

C-PE の M_w を揃えて L-PE の M_w を変えたときの ϕ_{C-PE} に対する I_r の変化を比較すると、すべてのブレンド系において、L-PE の M_w が増加するほど I_r の初期の減衰が大きくなった。ここで L-PE の M_w の違いによる絡み合いの解消されやすさを土井-Edwards の「管モデル」を用いて考える。L-PE 同士の絡み合いの解消を考えると、レプテーション運動により絡み合いが解消される場合と、束縛開放によって分子鎖の絡み合いが解消される場合がある。一方、L-PE と C-PE との絡み合いでは、L-PE が C-PE を貫通するような絡み合いを考えている。L-PE の分子鎖に注目すると、C-PE は管を構成する分子鎖と見なすことができる。この場合、C-PE の形態が変化した場合でも、環状というトポロジ的制約から束縛開放が起きず、L-PE のレプテーション運動によってのみ、その解消が可能であると考えられる。この過程に必要なレプテーション運動は L-PE の M_w が大きいほど困難であり、また先述したように ϕ_{C-PE} が小さいときの L-PE と C-PE との絡み合いは解消が困難であり結晶化抑制効果として働くと考えられる。以上から、結晶化抑制効果を持つ添加初期の L-PE と C-PE との絡み合いが、L-PE の M_w の増加に伴いその働きが大きくなり、 I_r の初期の減衰が大きくなったと考えられた。

[8] J. V. López, R. A. Pérez-Camargo, B. Zhang, S. M. Grayson, A. J. Müller, *RSC Adv.*, **6**, 48049 (2016).

(3) M_w がとも大きい環状と星型ポリエチレンブレンド系の流動場結晶化

ブレンド系における S-PE の添加量である ϕ_{S-PE} の変化に対し、 I は $\phi_{S-PE}=0.1$ wt% のときに極大を示すことがわかった。また、 $\phi_{S-PE}=5.0$ wt% においては、 I の減少だけでなく、単位体積あたりの shish 生成数 N が著しく減少することがわかった。せん断流動のような一軸性流動では、せん断直後において、S-PE と L-PE は類似の分子鎖形態で融液中に存在すると考えられる。せん断流動によって、S-PE は分岐点もしくは分岐鎖の一端が伸張されることで、分岐鎖が流動方向に伸ばされた形態へと変化すると考えられる。この流動変形の過程において S-PE と C-PE の絡み合い点を起点とし、一方向に伸長しながら密集し、配列したことで配向融液の形成が促進され、 I が極大を示す $\phi_{S-PE}=0.1$ wt% にかけて、 ϕ_{S-PE} の増加とともに I が増加したと考えられる。続いて、 $\phi_{S-PE}=0.1$ wt% よりも高い ϕ_{S-PE} では、 ϕ_{S-PE} が増加したことにより、S-PE の分岐鎖と C-PE の絡み合いが増え、C-PE を介して複数の S-PE が絡み合うことが予想される。この絡み合いにより、結晶構造の欠陥となる S-PE の分岐点、配向した融液中に集積することで結晶化の妨げとなったと考えられた。また、星型高分子のせん断後の緩和では、伸びきった分岐鎖が緩むような収縮緩和は早い段階で起こるが、星型高分子の形態変化を伴う緩和は、直鎖状高分子や環状高分子に比べ遅いことが知られる^[9]。これは、星型高分子が「枝鎖の収縮」と呼ばれる、分岐鎖が分岐点近傍まで十分収縮してから形態変化を伴う動きをとるが、分岐点付近でのセグメント密度が異常に高くなることから、この過程を形成しにくいと考えられているためである。すなわち、凝集系において枝鎖の収縮は起こりにくく、C-PE を介した複数の S-PE の絡み合いは解消が困難なものであると考えられる。このような解消が困難な絡み合いの増加も I の減少に起因していると考えられる。 $\phi_{S-PE}=5.0$ wt% での I や N の減少は、S-PE の重なり臨界濃度 ($\phi_{S-PE}=2.68$ wt%) を超え、S-PE と C-PE との絡み合いだけでなく S-PE 同士の絡み合いが増え、C-PE を介した複数の S-PE の絡み合いがより広範囲におよび、絡み合いがより複雑になったためであると考えられる。

[9] 高橋雅興, *高分子*, **47**, 820 (1998).

本研究では、直鎖状高分子だけでは実現できない絡み合いトポロジーが結晶化に及ぼす影響を解明し、その成果を新規結晶性高分子材料の開発に展開していく点に高い特色・独創性がある。本研究の鍵となる絡み合いトポロジー群を結晶性高分子材料開発に取り込んでいく試みはこれまでにない。本研究で期待される成果は、従来ブロック化や共重合体化によって高性能化を指向してきたポリオレフィン類に対して発想の転換を迫るものであり、耐熱性や力学的強度、透明性などの諸物性がチューニング可能な高性能結晶性高分子材料を創製可能にする画期的なものである。また、絡み合い状態を直接制御できることから、高分子の流動性に関係した成形加工性の制御までもが可能になると考えられる。用途展開としては、超高強度・高耐熱性繊維やナノコンポジット、配向制御高分子フィルム・膜への応用が考えられ、その波及効果は極めて大きい。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Shinya Atsushi, Ono Ryogo, Atarashi Hironori, Yamazaki Shinichi, Kimura Kunio	4. 巻 -
2. 論文標題 Morphology and growth rate of spherulite of cyclic poly(ε-caprolactone) having a triazole group at the closing point	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 122660 ~ 122660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.122660	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 Ono Ryogo, Atarashi Hironori, Yamazaki Shinichi, Kimura Kunio	4. 巻 194
2. 論文標題 Molecular weight dependence of the growth rate of spherulite of cyclic poly(ε-caprolactone) polymerized by ring expansion reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 122403 ~ 122403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.122403	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松川 大悟・山崎 慎一・木村 邦生・新 史紀
2. 発表標題 環状高分子と直鎖状高分子のブレンド系における大変形を伴う流動場での結晶化挙動
3. 学会等名 第33回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江田 千紘・新 史紀・山崎 慎一・木村 邦生
2. 発表標題 環状ポリエチレンと星型ポリエチレンのブレンド系における結晶化挙動
3. 学会等名 平成30年度繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤 純希・山崎 慎一・新 史紀・木村 邦生
2. 発表標題 直鎖状ポリエチレンに環状ポリエチレンを添加した系の流動場結晶化に両成分分子量が及ぼす影響
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新家 敦史・新 史紀・山崎 慎一・木村 邦生
2. 発表標題 閉環部にトリアゾール環を有する環状ポリ(ε-カプロラクトン)のモルフォロジーと球晶成長速度
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 大野 良悟・新 史紀・山崎 慎一・木村 邦生
2. 発表標題 環拡大反応を用いて合成した環状ポリ(ε-カプロラクトン)の球晶成長速度の分子量依存性
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 松川 大悟・新 史紀・山崎 慎一・木村 邦生
2. 発表標題 環状と直鎖状ポリエチレンブレンドの延伸結晶化過程から探る絡み合い状態の変化
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 Ryogo Ono, Hironori Atarashi, Shinichi Yamazaki, Kunio Kimura
2. 発表標題 Molecular weight dependence of growth rate of spherulite of cyclic poly(ε-caprolactone) polymerized by ring expansion reaction
3. 学会等名 International discussion meeting on polymer crystallization 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Shinya, Hironori Atarashi, Shinichi Yamazaki, Kunio Kimura
2. 発表標題 Morphology and growth rate of spherulite of cyclic poly(ε-caprolactone) having a triazole group at closing point
3. 学会等名 International discussion meeting on polymer crystallization 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 監修：手塚育志	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 336
3. 書名 環状高分子の合成と機能発現	

〔産業財産権〕

〔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	木村 邦生 (Kimura Kunio) (40274013)	岡山大学・環境生命科学研究科・教授 (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	新 史紀 (Atarashi Hironori) (40723268)	岡山大学・環境生命科学研究科・助教 (15301)	