T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	光誘起流動下における光重合挙動の解明と分子配向制御
Title(English)	A Mechanistic Analysis of Photopolymerization Behavior and Molecular Alignment Control under Photo-induced Flow Fields
著者(和文)	石山拓途
Author(English)	Takuto Ishiyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第309号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:宍戸 厚,安藤 慎治,大塚 英幸,佐藤 浩太郎,久保 祥一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第309号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 系 応用化学 コース		申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	石山 拓途		審査員主査： Chief Examiner	宍戸 厚	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は，「A Mechanistic Analysis of Photopolymerization Behavior and Molecular Alignment Control under Photo-induced Flow Fields（光誘起流動下における光重合挙動の解明と分子配向制御）」と題して，光誘起流動下での分子配向制御および重合挙動解析に関する研究成果が英文で記されており，全 6 章より構成されている。

第 1 章「General Introduction（序論）」では，ソフトマテリアルの機能化および分子配向技術について説明するとともに，本研究の目的や意義について述べている。

第 2 章「Effect of Polymer Concentration of Molecular Alignment Behavior Induced by Scanning Wave Photopolymerization（動的光重合が誘起する分子配向挙動におけるポリマー濃度の影響）」では，様々な露光量条件下での時空間選択的な光重合が分子配向挙動に与える影響を検討している。分子配向の誘起には，一定以上のポリマー濃度が必要であることを明らかにしている。さらに，ポリマー濃度に伴う液晶相状態や粘性の変化の検討，動的光重合過程の偏光顕微鏡による直接観察をしている。重合過程でポリマー濃度が一定値を超えることによる液晶相の発現および粘性の急激な増加が，配向誘起において重要であると明らかにしている。

第 3 章「Specific Polymerization Behavior Caused by Spatiotemporal Photo-induced Flow Fields（時空間光照射が誘起する流動場による特異な重合挙動）」は，動的光重合が誘起する流動下での重合挙動を検討し，光誘起流動場により従来手法と比較して重合効率が 90%効率化するとともに，高分子量なポリマーが生成することを見出している。ポリマーの構成成分を詳細に調べたところ，空間選択的な光重合に伴いポリマーが非露光部に拡散し，低ラジカル濃度下で重合が進行し停止反応が抑制されることが高効率重合の鍵であることを解明している。

第 4 章「Polymerization Behavior and Microscale Alignment Patterning Using Spatiotemporal RAFT Photopolymerization（時空間光 RAFT 重合による重合挙動と微細配向パターニング）」では，動的光重合が誘起する分子配向・特異な重合挙動を精密重合の一種である可逆的付加—開裂連鎖移動（RAFT）重合に適用している。動的光照射により RAFT 重合では，ポリマーの分子配向および分子量分布を低露光量の光照射で制御することに成功している。さらに，動的光重合により作製した配向性高分子の架橋点に RAFT 機構を組み込むことで，光刺激を利用した分子鎖交換反応により局所的に分子配向を乱し，微細な配向パターニングを実現している。緻密にリタデーションおよび配向領域を制御することで，位相変調型ホログラムを作製することに成功している。

第 5 章「Synthesis of Commodity Polymers and Polythiophenes by Spatially Selective Photopolymerization（空間選択的な光重合による汎用高分子とポリチオフェンの合成）」では，動的光重合の適用範囲を非液晶高分子の合成まで拡張し，機能材料を創製した。種々の汎用モノマーに動的光重合を施したところ，均一重合系と比較して分子量が最大で 23 倍も大きな高分子が効率的に生成した。動的光重合を汎用高分子の合成に適用することに成功している。次に，優れた電気・光学機能を有しながらも材料化例のほぼないポリチオフェンをパターン光により合成している。フィルムはポリチオフェンの分子配向由来の偏光発光特性を示している。パターン光を照射することで，ポリチオフェンおよび偏光発光領域をパターニングできることを見出した。

第 6 章「Summary and Perspectives（総括と展望）」では，本論文で得られた研究成果を総括するとともに，今後の課題と研究展望を述べている。

以上を要するに本論文では，光誘起流動場における分子配向メカニズムおよび重合挙動を解明することにより，特異な場を利用した高エネルギー効率な高分子合成手法を提案するとともに、適用可能な重合系の拡張について述べている。さらに，微細配向パターニングの実現や従来手法では活用できなかった機能分子の配向制御により，光機能材料の創製に成功している。多彩な高分子の配向制御による機能化や高効率合成が可能であるため，次世代の機能性ソフトマテリアルの設計も可能であることから，工学上貢献するところが大きい。したがって本論文は，博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 系 応用化学 コース		申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	石山 拓途		審査員主査： Chief Examiner	宍戸 厚	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

Precise control of molecular alignment is crucial for fabricating functional materials with great potentials applicable in soft robotics, photonics, and electronics. Among various alignment techniques, the photoalignment process has attracted significant attention due to its ability to precisely control molecular alignment through a non-contact process. Recently, a novel alignment method, termed scanning wave photopolymerization (SWaP), has been proposed, which utilizes flow fields induced by a polymer concentration gradient under spatiotemporal polymerization. Although various functional materials have been developed, the alignment and polymerization behavior under the photo-induced molecularly flow remains unclear. The influence of external flow fields on synthesized polymers has been extensively studied, including intriguing phenomena such as polymer scission and the emergence of specific functionalities. In contrast, SWaP induces the flow field by the polymerizing molecules themselves. Such a unique environment could cause entirely specific polymerization behaviors. In this thesis, the author investigated molecular alignment mechanism and polymerization behaviors under photo-induced molecular flow. Furthermore, SWaP was applied to various polymerization systems, including controlled polymerization and the synthesis of polythiophene, to fabricate optical materials.

The author investigated the molecular alignment mechanism of SWaP in terms of polymer concentration and LC phase. Molecular alignment was induced only when the polymer concentration exceeded a certain threshold, resulting in the emergence of LC phase and viscosity increase during polymerization. Investigation of the polymerization behavior of SWaP revealed that photo-induced flow fields dramatically enhance the polymerization efficiency and yield high-molecular-weight polymer.

The author demonstrated that molecular alignment and efficient polymerization behavior can be employed in the RAFT polymerization and synthesis of commodity polymer and polythiophene. In all three polymerization systems, a low-energy process was successfully employed to achieve polymer synthesis and induce molecular alignment. The precise and flexible microscale patterning of these polymer alignment was achieved by designing irradiation patterns, facilitating the fabrication of diffraction gratings, holograms, and films with polarized emission properties.

This research will contribute to advancements in polymer synthesis and functional material development, with the potential to fabricate next-generation functional soft materials.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).