

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03109

研究課題名(和文) 高分子鎖の絡み合いと架橋の相違性を利用した高伸縮・高強度材料の創製とデバイス応用

研究課題名(英文) Development of Highly Stretchable and Robust Devices Utilizing Entangling and Cross-linking Characteristics of Polymeric Materials

研究代表者

上原 宏樹 (Uehara, Hiroki)

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：70292620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：ポリエチレンの結晶化では、分子鎖が折り畳まれてラメラ結晶を形成するが、分子鎖絡み合いは非晶相に排除される。ここで、ラメラ結晶は多数の分子鎖で構成されているため、物理的な架橋構造となっている。したがって、これら結晶相と非晶相は、両方とも、試料内に応力を伝達する役割を果たすが、その弾性率は大きく異なっている。

本研究では、これら物理的架橋点である結晶相同士を非晶相内の絡み合い分子鎖が繋ぐ「タイ分子」構造に着目した。具体的には、各種の「その場」計測技術により、タイ分子構造がアクチュエーター性能の源泉となっていることを明らかにした。この知見は、さらに高性能なデバイスの創出に資すると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、介護や荷物搬送などの作業支援を行うことを目的として、身体に装着した状態で人の動きに合わせて動作する「パワーアシストスーツ」の開発が社会的要請となっている。この場合、主要な駆動源として用いられているのは電動モーターであるが、その重量や、動作音、仕組みの複雑さなどが問題となっている。一方、高分子ゲル等から構成される「アクチュエーター」は、柔軟、高伸縮、静音、軽量などの利点を有している。しかしながら、電動モーターに比べて動作荷重が低く、また、ウェット状態でしか動作しない。本研究で対象としたポリマー製アクチュエーターは、軽量かつ、高荷重を、繰り返し持ち上げられると期待される。

研究成果の概要(英文)：Crystallization of polyethylene gives the chain-folded lamellar crystals, but the molecular entanglements are concentrated within the amorphous region. A lamellar crystal is composed of a lot of molecules, thus play a role of cross-linking the molecules. Both crystalline and amorphous regions transmit the stress applied for the materials, but their moduli are quite different, which affects the resultant strains.

In this study, we focus on the "tie molecules" which bridge between crystalline regions through amorphous regions, giving the double network structure accompanying different strains response. Our various in-situ measurements reveal that the tie molecule is an origin of actuating phenomenon of drawn polyethylene. This assignment allows us design the devices exhibiting the superior properties.

研究分野：高分子構造・物性

キーワード：ポリエチレン 絡み合い 架橋 デバイス タイ分子 アクチュエーター

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ポリエチレンの結晶化では、分子鎖が折り畳まれてラメラ結晶を形成するが、分子鎖絡み合いは非晶相に排除される。ここで、ラメラ結晶は多数の分子鎖で構成されているため、物理的な架橋構造となっている。したがって、これら結晶相と非晶相は、両方とも、試料内に応力を伝達する役割を果たすが、その弾性率は大きく異なっている。これは、硬い無機フィラーを添加した架橋ゴムと相似しており、上述したエントロピー弾性が発現する起源になっていると予想される。

本研究では、これら物理的架橋点である結晶相同士を非晶相内の絡み合い分子鎖が繋ぐ「タイ分子」構造に着目した。具体的には、各種の「その場」計測技術により、タイ分子構造がアクチュエーター性能の源泉となっていることを明らかにした。この知見は、さらに高性能なデバイスの創出に資すると期待される。

### 2. 研究の目的

タイ分子は、その存在が明確に定義されている概念ではなく、研究者によってイメージは大きく異なっているのが現状である。その理由の一つは、このようなタイ分子を含む非晶相を解析する手法が限られていることに起因している。一方、結晶ラメラの挙動については、X線測定による解析が可能ではあるが、X線ビームを試料に照射するという測定手法上の特徴から、繊維のように曲面状の形状を有し、かつ、直径が $\mu\text{m}$ サイズの試料に対しては、測定データの精度が低くなるという問題がある。

そこで、本研究では、平板状のポリエチレン・フィルム試料を対象とすることで、より正確なX線測定を行うことを試みた。一方、非晶分子鎖の挙動を直接的に追跡できる計測法として、分子運動性を評価するNMR測定を採用した。

さらに、本研究のように伸長状態と収縮状態が繰り返される伸縮挙動を追跡するにあたっては、これらの測定を、荷重やひずみが掛かっていない収縮状態だけでなく、伸長状態でも行う必要がある。このような「その場 (*in-situ*)」測定を実現するためには、荷重やひずみを自在に印加・解放できるような装置セットアップが不可欠である。我々の研究グループでは、上記のX線測定およびNMR測定を応力やひずみ印加過程で行える計測システムを構築しており、各種の*in-situ*計測を行っている。本研究でも、これを利用することで、タイ分子がポリエチレン・フィルムの伸縮挙動に果たす役割を明らかにすることができると期待される。

### 3. 研究の方法

#### 試料とフィルム調製

分子量が約4万のペレット状の直鎖上低密度ポリエチレン(LLDPE)を、融点以上である150°Cで溶融した状態でプレス成形し、氷水中に急冷してフィルムを作製した。このフィルムを、90°Cおよび120°Cで延伸比7倍まで延伸して、LLDPE延伸フィルムを作製した。

#### *In-situ* SAXS 測定

伸縮過程あるいは昇降温過程におけるラメラ結晶の構造変化を追跡するため、*in-situ*小角X線散乱(SAXS)測定を、SPring-8放射光源を用いて行った。*In-situ*X線計測用に設計した延伸機をBL40XUに設置し、長さ20mmのチャック間にLLDPE延伸フィルムをセットし、室温と70°Cにおいて、変形速度6mm/minにて一定ひずみまで伸長し、その後、収縮させる動作を10回繰り返した過程におけるSAXS像および応力を同時記録した。また、伸長状態を保持したまま、30°Cから70°Cまで昇温した過程、次いで、再び30°Cまで降温した過程における*in-situ*SAXS測定も行った。

#### *In-situ* パルスNMR 測定

伸縮過程における非晶鎖の運動性変化を追跡するため、*in-situ*パルスNMR測定を行った。*In-situ*NMR計測用に設計した延伸機を日本電子(株)製MU-25分光器に取り付け、*in-situ*SAXS測定同様、室温と70°Cにおいて、LLDPE延伸フィルムを一定ひずみまで伸長し、その後、収縮させる動作を10回繰り返した。この過程における磁化率の自由誘導減衰(FID)プロファイルを、積算216回、繰り返し間隔2sで記録した。なお、パルス系列はsolid echo法、測定核種は $^1\text{H}$ である。

#### 測定

作製したLLDPE延伸フィルムに、どの程度の応力やひずみを掛けられるかを判断するために、引張り試験を室温で行った。ORIENTEC社製テンシロン万能試験機RTC-1325を用い、*in-situ*SAXSおよびNMR測定に用いたのと同じサイズのLLDPE延伸フィルムを延伸速度20mm/minにて引張り試験した。

### 4. 研究成果

#### 延伸LLDPEフィルムの伸縮挙動

まず、90°Cと120°Cにて延伸したLLDPEフィルムについて、伸縮性を確認した。両フィルムを室温でひずみ5%伸長後、収縮させた際に記録した応力プロファイルを比較したところ、90°C延伸フィルム(a)では、ひずみ約1%まで戻っているが、120°C延伸フィルム(b)では半分程度まで

しか戻っていなかった。そこで、顕著な伸縮性を示した 90°C 延伸フィルムを対象として、繰り返し伸縮が可能ないずれも条件を検討した。室温にて、このフィルムの引張り試験を行ったところ、ひずみ 20% 以降で応力プロファイルの傾きが小さくなり、塑性変形が起きていることがわかった。そこで、このひずみを限界値として、伸長歪み 5% 収縮 3% (低歪み条件) と伸長 20% 収縮 12% (高歪み条件) の 2 水準にて、伸長 / 収縮のサイクルを 10 回繰り返す試験を行うこととした。なお、測定温度は、室温以外にポリエチレンの融点以下の 70°C の 2 水準とした。

#### 繰り返し伸縮挙動の *in-situ* SAXS 解析

上記の繰り返し伸縮条件にて記録した応力プロファイルと *in-situ* SAXS 測定結果を比較した (図 1)。SAXS 像に付記した 0~6 は、伸縮サイクルの各ステップに対応しており、偶数が収縮時、奇数が伸長時である。低歪み条件では、試験温度に関わらず、収縮時と伸長時で SAXS 像に大きな変化がなかった。一方、高歪み条件では、伸長前は低歪み条件の像同様に対角線上に 4 点像が確認できたが、これを伸長すると伸長方向と平行方向 (横方向) に並んだ 2 点像が得られた。また、再びこれを収縮させると、4 点像に戻ることを確認できた。このような変化は、70°C の時の方が明瞭であった。

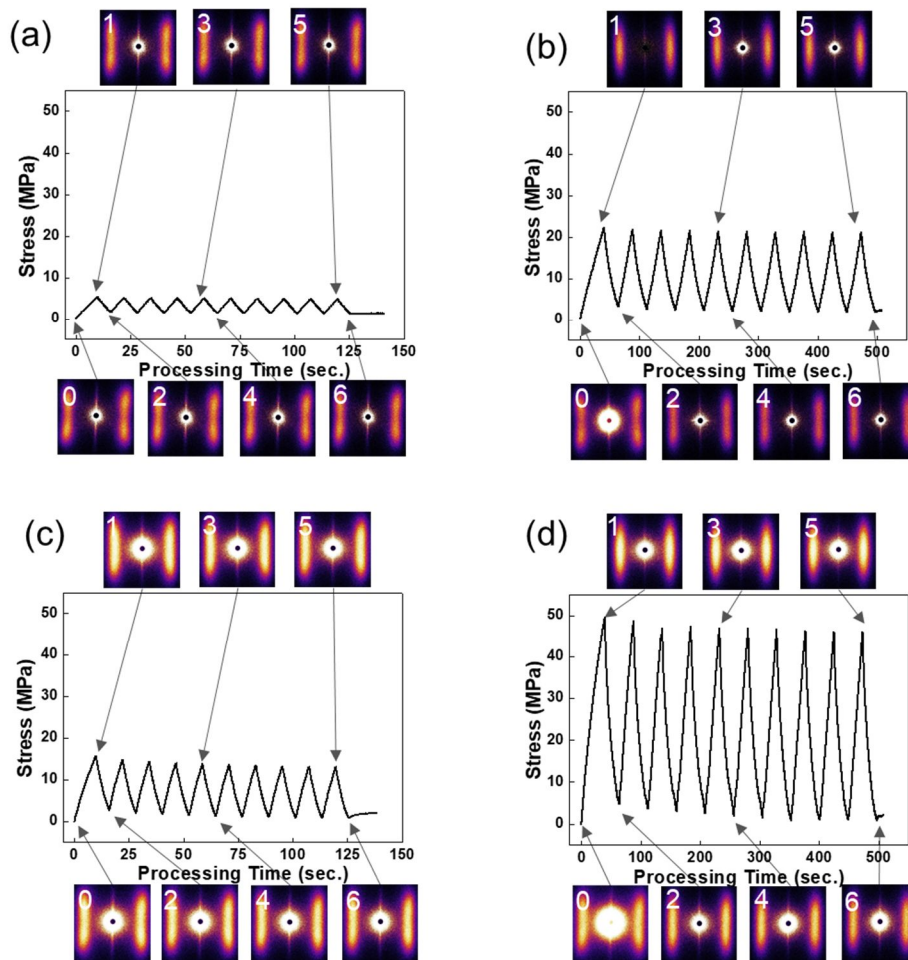


図 1. 70°C (上段) および室温 (下段) において、低ひずみ条件 (左側 a, c) と高ひずみ条件 (右側 b, d) で伸縮させた際に記録した応力変化 (黒線) とそれに対応した各段階 (0~6) における *in-situ* SAXS 像。

これらの SAXS 像変化を定量的に比較するために、 $q_z$  方向 (伸長方向と垂直方向) に強度プロファイルを切り出した。高ひずみ条件では、収縮時にはプロファイル形状 (強度分布) が 2 つの山 (ダブルピーク) になっているのに対し、伸長時に 1 つの山 (シングルピーク) を示していた。そこで、収縮時に得られたダブルピークについて、ガウス分布を仮定してピーク分離し、ピーク位置から伸長方向に対するラメラ結晶の傾斜角度を算出した。これを伸長サイクルのステップ数に対してプロットしたところ、伸長状態での 0° (傾きなし) と収縮状態での約 33° を繰り返していることが確かめられた。

#### 繰り返し伸縮挙動の *in-situ* パルス NMR 解析

非晶成分が伸縮過程でどのように変化するかを解析するために、*in-situ* パルス NMR 測定を試みた。この測定では、分子運動性によって結晶成分と非晶成分を分離し、それぞれの変化を議論することが可能である。本研究の LLDPE 延伸フィルム中では、ラメラ結晶は折りたたまれて束縛された分子鎖で構成されているため運動性が低いのにに対して、非晶成分では束縛が弱い分子運動性が高く、緩和時間に顕著な違いが表れると予想される。そこで、LLDPE 延伸フィル

ムに対して、伸縮過程での *in-situ* パルス NMR 測定を行い、得られた磁化率の自由誘導減衰 (FID) プロファイルと比較した。

ここで得られた FID プロファイルは結晶成分と非晶成分の緩和挙動を含んでいる。そこで、伸縮動作に伴うこれら両相の分子運動性の変化を定量的に評価するために、FID 曲線を成分分離した。FID 曲線の形状から、本研究の LLDPE 延伸フィルムには、 $T_2$  の異なる 3 成分が含まれていると予想される。これら各成分の緩和関数形は Weibull/Sine 関数で表されることが知られている。結晶成分 (rigid) の緩和関数形は、Gauss/Sine 関数形で表され、一方、非晶成分 (mobile) の緩和関数形は 1 次の指数関数形で表される。これら結晶成分と非晶成分の間の緩和時間を示す成分は中間相 (intermediate) と呼ばれ、Weibull 関数型で表される。

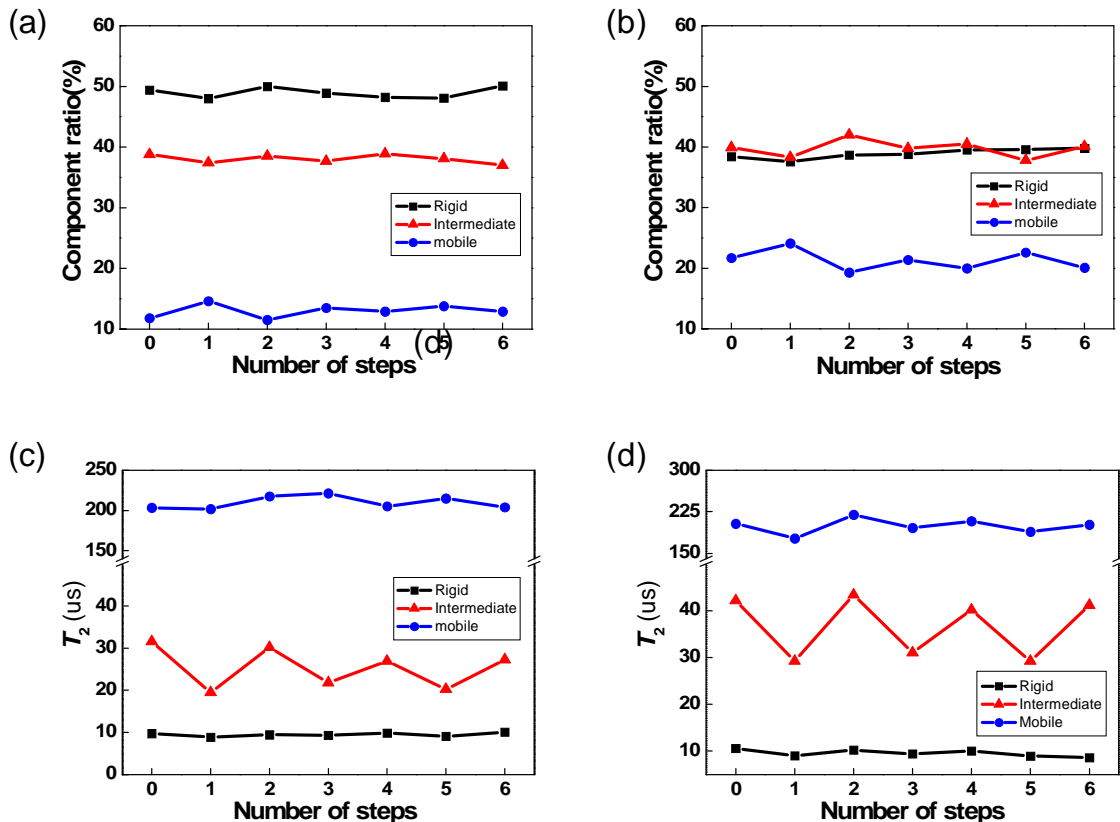


図 2. 伸長/収縮サイクルの  $T_2$  緩和時間分布。緑線が収縮時(0)の分子運動性、紫線が伸長時(1)の分子運動性を示している。長/収縮サイクルで記録された FID プロファイル。室温(a)および 70°C(b)で測定を行った。

これら 3 成分を仮定してフィッティングを行い、それぞれの成分分率を求めた。また、それぞれの成分のフィッティング曲線のフーリエ変換ピーク (周波数分散) の幅から緩和時間  $T_2$  を求めた。得られた結果を図 7 にまとめた。図 1 に示した *in-situ* SAXS 測定結果と同様、偶数番号が収縮時の結果、奇数番号が伸長時の結果を示している。まず、成分分率の変化を見ると、室温、70°C どちらも、伸長および収縮に伴って、各相の変化はほとんどない。一方、室温と 70°C を比較すると、伸長時、収縮時のどちらにおいても、高温では rigid 成分の比率が減って mobile 成分の比率が増えている。これは、高温においては、rigid 成分の中で比較的運動性が高い分子鎖が intermediate 成分に移り、intermediate 成分の中で運動性が高い分子鎖が mobile 成分に移動したためであると考えられる。

次に  $T_2$  変化を見ると、伸縮時では intermediate 成分の  $T_2$  が減少しているのに対し、収縮時では増加する変化を可逆的に繰り返していた。これに対して、rigid 成分の  $T_2$  はほとんど変化していない。このことは、結晶成分が伸縮によって破壊されていないことを意味しており、DSC 測定から伸長状態と収縮状態で結晶化度や結晶サイズに違いがないこととよく一致している。一方、intermediate 成分の  $T_2$  変化は、伸長時にはタイ分子が引き伸ばされることで分子運動性が低下し、収縮時にはこのような拘束性が解放されることで分子運動性が再び回復したことを反映していると考えられる。また、室温と 70°C を比較すると、伸長時、収縮時のどちらにおいても、高温では intermediate 成分の  $T_2$  が顕著に大きくなっている。このような intermediate 成分の変化は図 1 のラメラ構造変化に寄与していると推察される。

#### 成分分率変化と $T_2$ 変化の相関

このように、得られた FID プロファイルを rigid 成分、intermediate 成分、mobile 成分の 3 成分に分離することで、各成分の分率と  $T_2$  を算出することができた。しかしながら、実際にはこれら各相の分子運動性には分布があると考えられる。ここで、3 成分分離した FID プロファイルをラプラス逆変換すると、緩和時間  $T_2$  の分布を求めることができる。そこで、収縮時 (0) と伸長



時(1)における $T_2$ 分布を解析し、図3に示した。(a)は室温、(b)は70°Cの解析結果である。これを見ると、伸長により intermediate 成分のピーク位置が短時間側にシフトして rigid 成分に大きく被っていることがわかる。これに対して、rigid 成分や mobile 成分のピーク位置はほとんど変化していない。この変化は室温、70°Cで共通していた。しかし、70°Cでは intermediate 成分の運動性が高くなり、室温時では rigid 成分に含まれていたタイ分子鎖が、intermediate 成分に転移するため、伸長・収縮に関わらず、intermediate 成分のピークが高くなってピークトップが明瞭化している。このため、昇降温過程では、より大きな伸縮ひずみが得られると考えられる。

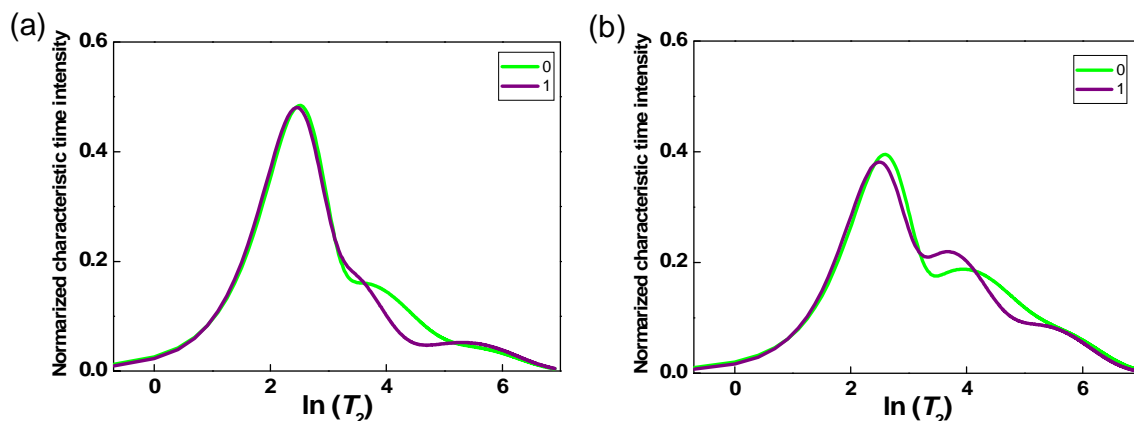


図3. 伸長/収縮サイクルの $T_2$ 緩和時間分布。室温(a)と70°C(b)を示し、緑線が収縮時(0)の分子運動性、紫線が伸長時(1)の分子運動性を示している。

以上の結果から予想されるLLDPE延伸フィルムの伸縮モデルを図4に示した。収縮状態では、ラメラ結晶は傾いた構造をとり、タイ分子は緩和している。これを伸長させると、タイ分子鎖が伸ばされていき、ラメラ結晶もその動きに連動して配向する。収縮過程においては、タイ分子鎖に力が掛からなくなっていくため、ラメラ結晶が配向状態から傾斜状態に戻る。伸縮動作のサイクルではこのような変化が繰り返される。このような構造変化は、エンタルピー的な相転移ではなく、架橋ゴム同様、エントロピー的な可逆過程であると言える。

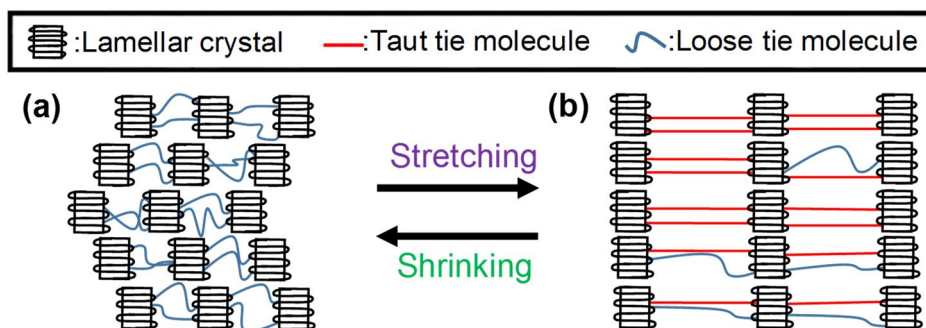


図4. 伸長/収縮時と昇温/降温時のLLDPE延伸フィルムの構造変化のモデル図。収縮状態(a)と伸長状態(b)を対比させてある。

## 5. 研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、介護や荷物搬送などの作業支援を行うことを目的として、身体に装着した状態で人の動きに合わせて動作する「パワーアシストスーツ」の開発が社会的要請となっている。この場合、主要な駆動源として用いられているのは電動モーターであるが、その重量や、動作音、仕組みの複雑さなどが問題となっている。一方、高分子ゲル等から構成される「アクチュエーター」は、柔軟、高伸縮、静音、軽量などの利点を有している。しかしながら、電動モーターに比べて動作荷重が低く、また、ウェット状態でしか動作しない。本研究で対象としたポリマー製アクチュエーターは、軽量かつ、高荷重を、繰り返し持ち上げられると期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8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 Yoshizawa Hiroaki, Takazawa Ayaka, Kakiage Masaki, Yamanobe Takeshi, Hayashi Naoki, Hiraoka Maki, Masunaga Hiroyasu, Aoyama Kouki, Uehara Hiroki	4. 巻 323
2. 論文標題 Actuation mechanism of drawn polyethylene evaluated by structural change during cyclic stretching/shrinking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112634 ~ 112634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2021.112634	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 Uehara Hiroki	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of highly functional membranes through structural control of crystalline/amorphous phases	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 319 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-018-0123-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 上原宏樹, 増田綾子, 山延健	4. 巻 67
2. 論文標題 示差走査熱量計測定とin-situ X線計測の融合による高分子材料の融解挙動解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 145-151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.67.145	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 上原宏樹	4. 巻 74
2. 論文標題 溶融延伸による高性能繊維・膜の創製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 繊維学会誌	6. 最初と最後の頁 44-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2115/fiber.74.P-44	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 -

〔学会発表〕 計100件（うち招待講演 13件/うち国際学会 20件）

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 In-situパルスNMR測定による結晶性高分子の構造解析
3. 学会等名 第59回NMR討論会・チュートリアル（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 DSC測定とin-situ X線測定の融合による高分子材料の融解挙動解析
3. 学会等名 熱測定ウェビナー2020（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Uehara
2. 発表標題 In-Situ Solid-State 1H-NMR Measurements during Various Processes of Polymeric Materials
3. 学会等名 ACS Fall 2020 National Meeting & Exposition（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 溶融延伸法による超高分子量樹脂の高性能化・高機能化
3. 学会等名 第95回千葉地域活動高分子研究交流講演会（高分子学会関東支部）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Yoshizawa, Daiki Nara, Masaki Kakiage, Takeshi Yamanobe, Hiroki Uehara, Hiroyasu Masunaga, Koki Aoyama
2. 発表標題 Effect of Polyethylene Tie Molecules on Actuator Function
3. 学会等名 S-Membrane International Conference 2019 (SMIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 攪上將規, 山延健, 上原宏樹, 林直毅, 平岡牧, 青山光輝, 増永啓康
2. 発表標題 直鎖状低密度ポリエチレン延伸フィルムの伸縮動作における分子構造変化の追跡
3. 学会等名 2019年度繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 シリコン材料の「その場」計測と高性能化
3. 学会等名 高分子同友会勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 放射光を用いた昇温・延伸過程におけるin-situ構造解析
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第167回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 山延健, 上原宏樹, 青山光輝, 増永啓康, 林直毅, 平岡牧
2. 発表標題 直鎖状低密度ポリエチレンの延伸による高次構造形成とin-situ X線測定による刺激応答性能評価
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 山延健, 上原宏樹, 青山光輝, 増永啓康, 林直毅, 平岡牧
2. 発表標題 In-situ X線測定から評価した直鎖状低密度ポリエチレンの刺激応答性と延伸による高次構造形成
3. 学会等名 平成30年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 山延健, 上原宏樹, 青山光輝, 増永啓康, 林直毅, 平岡牧
2. 発表標題 ポリマー繊維アクチュエーターの動作過程における分子構造変化の解析
3. 学会等名 第15回SPring-8産業利用報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 山延健, 上原宏樹, 青山光輝, 増永啓康, 林直毅, 平岡牧
2. 発表標題 In-situ X線測定を用いたポリエチレン延伸フィルムの伸縮メカニズムの解明
3. 学会等名 平成30年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉澤宏亮, 奈良大樹, 西條早紀, 山延健, 上原宏樹, 青山光輝, 増永啓康, 林直毅, 平岡牧
2. 発表標題 ポリエチレン延伸フィルムの伸縮動作に及ぼすタイ分子の役割
3. 学会等名 第27回ポリマー材料フォーラム (高分子学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 溶融延伸による高性能繊維・膜の創製 (繊維学会賞・受賞講演)
3. 学会等名 平成29年度繊維学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 分子鎖絡み合いを利用した高分子材料の高性能化・高機能化
3. 学会等名 第55回高分子自由討論会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原宏樹・山延健
2. 発表標題 溶融延伸挙動から評価した高分子鎖の絡み合い特性 (特別発表)
3. 学会等名 第66回高分子討論会 (高分子学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 結晶/非晶の相構造制御による高機能膜の開発（高分子学会三菱化学賞・受賞講演）
3. 学会等名 第66回高分子討論会（高分子学会）（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 シリコーンゴムと結晶性シリコーンのブレンド物の延伸挙動解析
3. 学会等名 スーパーコンポジット研究会・第12回講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原宏樹
2. 発表標題 高分子鎖の絡み合いを利用した相構造制御と高性能化・高機能化
3. 学会等名 高分子学会九州支部フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

〔産業財産権〕

〔その他〕

群馬大学理工学部 化学・生物化学科 高分子構造物性研究室（上原・攪上研究室）  
<http://polymer.chem-bio.st.gunma-u.ac.jp/uehara/index.html>  
 群馬大学Sメンブレプロジェクト  
<https://www.chem-bio.st.gunma-u.ac.jp/~smpgu/>

## 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	山延 健  (Yamanobe Takeshi)  (40183983)	群馬大学・大学院理工学府・教授    (12301)	

## 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2件

国際研究集会 S-Membrane international conference 2019: Elemental chemistry and material science (SMIC 2019)	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 4th Gunma International Symposium on Membranes, 2D Matters and Device Application (GIS 2018)	開催年 2018年～2018年

## 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