

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01865

研究課題名(和文)高分子薄膜のガラス転移とダイナミクス--界面・拘束下における非平衡緩和--

研究課題名(英文)Glass transition and dynamics in thin polymer films

研究代表者

深尾 浩次 (Fukao, Koji)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：50189908

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：重水素化高分子(d-PMMA)と水素化高分子(h-PMMA)からなる2層膜の界面でのダイナミクスを等温アニール過程での中性子反射率測定により調べた。この測定により、高分子薄膜の膜厚低下によるガラス転移温度の変化を界面での高分子セグメントの相互拡散の移動度を通して定量的に評価することを可能とした。また、ポリ2-ビニルピリジン(P2VP)とナノ粒子OAPSの混合系であるナノコンポジットに対して、ナノ粒子の添加により、P2VPの過程と遅い過程のダイナミクスの遅化が観測され、ナノ粒子による界面効果と高分子のダイナミクスの関係が明確となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、積層膜界面、ナノ粒子と高分子のナノコンポジット、細孔内部に拘束された液体でのダイナミクスを系統的に明らかにすることができた。これらの成果を応用することにより、様々な拘束条件下での鎖状分子のダイナミクスをコントロールするための指標が明確となった。このことは学術的な意義に留まらず、高分子のマテリアルとしての応用に重要な意義を有すると言える。

研究成果の概要(英文)：Dynamics of polymer chains at the interface between deuterated polymer (d-PMMA) and protonated polymer (h-PMMA) in the two-layered polymer films have been investigated under the isothermal annealing process by the neutron reflectivity measurements. From such measurements, we could evaluate quantitatively the mobility due to the mutual diffusion of polymer segment at the interface. For nanocomposites between polymer P2VP and nanoparticle OAPS, we have elucidated how the dynamics of P2VP such as the alpha-process and the slower process change with the increase in the fraction of nanoparticle OAPS.

研究分野：ソフトマター物理、ガラス物理

キーワード：高分子薄膜 ガラス転移温度 過程 遅い過程 中性子反射率測定 誘電緩和測定 X線小角・広角散乱

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。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) ソフトマターと呼ばれる物質群では、液体でも固体でもない中途半端な状態が普遍的に観測される場合があり、これらはガラス状態と総称されている。液体状態から、このガラス状態への“相転移”はガラス転移と呼ばれ、その物理的な機構解明は物性物理学の重要な未解決問題の一つとされている。これまでの多くの研究により、分子の運動性の違いが空間的に不均一に存在する「動的不均一性」が重要なキーワードであり、その計測と制御がガラス物理を理解する上で重要であるとの認識がなされている。

このようなガラス転移機構、および、動的不均一性の理解のために、高分子薄膜系をはじめとする拘束系でのガラス転移の研究が盛んに行われ、ガラス転移の特性長の実験的な検出が試みられている。共焦点レーザー顕微鏡を用いた動的不均一性の可視化測定、誘電緩和での非線形感受率の測定や photo-bleaching、高次元 NMR など用いた測定など、多くのアイデアを結集して、盛んな研究が行われてきた。しかしながら、未だ核心的な結果には到達できていないのが当時の現状であった。

(2) 一方で、高分子薄膜では、様々なダイナミクス計測により、バルクと比較して、特異な表面・界面でのダイナミクス、が明らかとなっている。このような運動性の異なる層の存在が薄膜全体のダイナミクスを支配するとともに、薄膜の機能性にとって重要であることが指摘されている。さらに、近年の研究により、基板界面での吸着層の存在、および、その非平衡な性質が高分子薄膜のダイナミクスを制御することが示唆され始めている。しかしながら、一般には、高分子のバルクでのガラス転移挙動と局所的な界面ダイナミクスとの関係は明らかではなく、バルクおよび局所的な分子運動性を制御したマテリアル創成に必要な基礎的な理解が大いに期待されている状況にあった。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、「微視的な界面、表面の相互作用が如何にして高分子薄膜全体のガラス転移を支配しているのか」、そして、「その薄膜でのガラス転移ダイナミクスを支配する機構がいかにもバルクでのガラス転移・動的不均一性と相関しているのか」という問いが、本研究課題の核心をなす学術的「問い」である。この学術的な問いに回答を与えることを最終的な目標として、以下の3点を本研究の目的として取り上げる。

(1) 高分子積層膜における界面でのダイナミクスの直接観察を行い、界面でのダイナミクスと薄膜のダイナミクスの相関を明らかにする。

(2) ナノコンポジット系のダイナミクスを測定することにより、マトリックスのダイナミクスがバルクでのダイナミクスからいかにずれているのかを実際に観測する。このような研究を通して、ダイナミクスの不均一性の本質を明らかにする。

(3) 空間的な制約を加えた系でのダイナミクスを観測することを通して、ガラス転移・ダイナミクスへのサイズ効果を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 高分子積層膜として、重水素化ポリメタクリル酸メチル(d-PMMA)と通常の水素化物(h-PMMA)の二層膜を作成し、ガラス転移温度以上の適当な温度でアニールを行い、そのアニール過程での二層界面での相互拡散を中性子反射率測定により測定する。中性子反射率測定は、J-PARC MLF BL16(Sofia)において行った。中性子反射率の散乱ベクトル  $q$  依存性を再現するように散

乱長密度 (SLD) を薄膜表面に垂直な方向の位置の関数として決定する。等温アニール過程でのこの SLD プロファイルの時間発展より、界面でのダイナミクスを引き出すことができる。

(2) ポリ 2 ビニルピリジン (P2VP) とナノ粒子 OAPS (octa(aminophenyl)silsesquioxane)) のナノコンポジットに対して、ナノ粒子の添加による P2VP のダイナミクスの変化を明らかにする。具体的には、P2VP ホモポリマーのダイナミクスを誘電緩和測定により広い周波数範囲で明らかにし、P2VP で観測されるダイナミクスの分散マップを作成する。その後、P2VP/OAPS ナノコンポジットに対して、同様の測定を行い、ダイナミクスの分散マップがナノ粒子の添加とともにどのように変化するかを明らかにする。

(3) イオン液体が示す特長と液晶の多彩な相挙動の両方を示すイオン液晶を対象として、そのダイナミクス、相転移挙動がナノ細孔内への拘束により、どのように変化するかを調べることにより、イオン液晶への confinement 効果を明らかにする。具体的な系としては、1-methyl-3-alkylimidazolium tetrafluoroborate を用い、示差走査熱量測定 (DSC)、広角 X 線回折実験、誘電緩和測定 (DRS) を駆使することにより、構造・ダイナミクスの温度変化、とくに、相転移挙動との関係を明らかにする。また、イオン液晶の細孔内への拘束のために様々な細孔径を有する AA0 と呼ばれるアルミ細孔を用いる。X 線回折実験ではこの細孔内にイオン液晶を拘束した状態で、SPring-8 BL40B2 において、波長 0.1nm の放射光 X 線を用い、フォトン検出器である Pilatus2M で X 線回折強度の 2 次元データを取得し、等方的な散乱の場合は、円環平均を行い、強度の散乱ベクトル依存性の温度変化を得る。

#### 4. 研究成果

(1) ガラス基板上に作成した h-PMMA と d-PMMA の 2 層膜に対して 409K での等温アニールを行う。このアニール過程において中性子反射率の  $q$  依存性を測定し、それに対するフィッティングにより SLD プロファイルのアニール時間依存性を得る。さらに、SLD プロファイルより抜き出した d-PMMA 層と h-PMMA 層の膜厚のアニール時間依存性を図 1 に示す。なお、アニール前の h-PMMA 層厚は約 25nm で一定であり、d-PMMA 層厚が 13nm、25nm、35nm、49nm と異なる 4 種類の 2 層膜に対する結果である。まず、d-PMMA 層厚が 49nm の 2 層膜では、アニール時間の経過とともに、h-PMMA 層厚は減少するのに対して、d-PMMA 層厚はわずかであるが、時間とともに増加している。ところが、d-PMMA 層厚が 13nm の 2 層膜では、d-と h-PMMA 層厚のアニール時間依存性が全く逆になっていることが図 1 の紫色のデータからわかる。このことは、d-PMMA

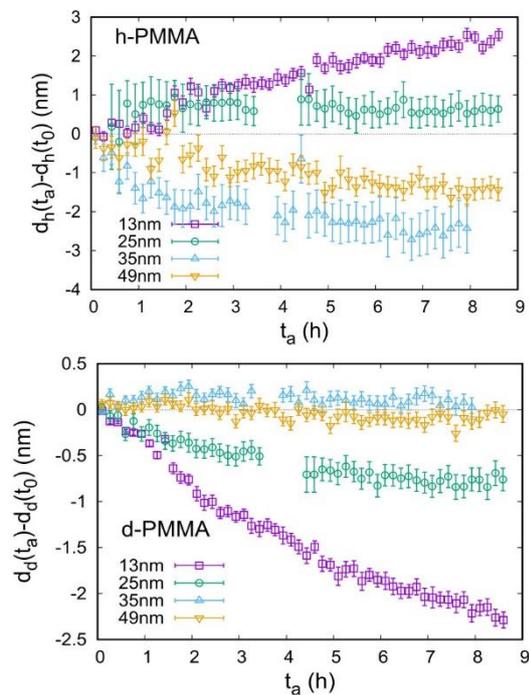


図 1: h-PMMA 層 (上) と d-PMMA 層 (下) の膜厚変化のアニール時間依存性。d-PMMA 層の初期膜厚が異なる 4 種類の 2 層膜に対する結果。

層厚が 49nm から 13nm へと低下するとともに、d-PMMA 薄膜のガラス転移温度が低下し、途中で膜厚 25nm の h-PMMA 薄膜のガラス転移温度を横切り、ガラス転移温度の大小関係の逆転が生じることに対応すると考えられる。ここで、観測された膜厚のアニール時間依存性は、等温アニール過程において、2 層界面でガラス転移温度の低い層から、ガラス転移温度の高い層へのセグメ

ントの正味の流れが存在し、その結果、ガラス転移温度の高い層が膨潤することによって説明される。このことは、d- および h-PMMA 層の全 SLD のアニール時間依存性を評価することによっても確認されている。以上により、中性子反射率測定による界面ダイナミクスの定量評価を通して、高分子薄膜のガラス転移温度の実験的な直接評価が可能であることを示すことができた。

(2) P2VP のホモポリマーに対して、室温以上で誘電緩和測定を行うことにより、ガラス転移に関係した  $\alpha$  過程に加えて、高温・低周波数域において、 $\alpha$  過程よりも遅い緩和過程が存在することを明らかとした。この遅い過程は、高温では低周波数域に存在する直流伝導成分に隠されて観測することは難しいが、高分子膜表面と上部電極との間に air gap を導入することにより、DC 成分が抑えられ、観測することが可能となった。なお、この観測された誘電損失ピークは、Wubbenhorst により提唱されている微分式を用いて、複素誘電率実数部より得られる誘電損失が

示すピーク位置と一致するため、高分子試料の空気との界面に誘起される界面分極による疑似ピークではないことが確認されている。

P2VP に対してナノ粒子 OAPS を OAPS 分率が、0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 と

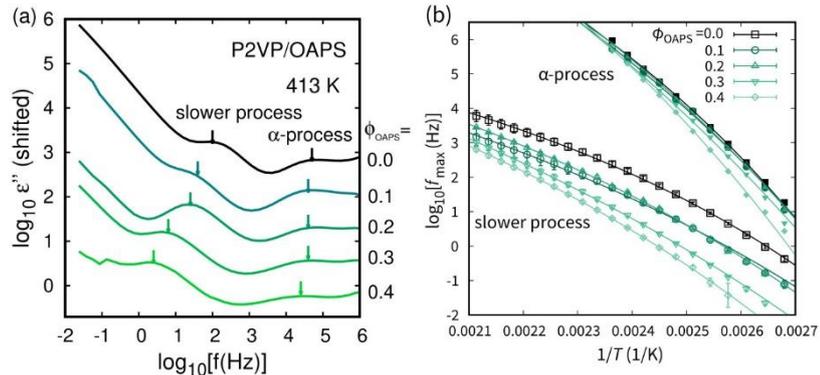


図 2: (a) OAPS 分率の異なる P2VP/ OAPS ナノコンポジットの 413K での誘電損失の周波数依存性、(b)  $\alpha$  過程と遅い過程の緩和率の温度依存性 (アレニウスプロット)

種類 P2VP/OAPS ナノコンポジットに対して誘電緩和測定を行った結果が図 2 である。図 2 (a) には、OAPS 分率の異なる P2VP/OAPS ナノコンポジットの 413K での誘電損失の周波数依存性を示している。 $\alpha$  過程に対応したピーク周波数は、OAPS 分率の増加とともに低周波数側にわずかにシフトするだけだが、遅い過程のピーク周波数は OAPS 分率とともに劇的に低下することがわかる。図 2 (b) には  $\alpha$  過程と遅い過程の分散マップの OAPS 分率依存性を示している。OAPS 分率の増加とともに、特に低温・低周波数領域で明確な分率依存性が観測されている。

(3) アルキル鎖長が 12 であるイオン液晶 1-methyl-3-dodecylimidasolium tetrafluoroborate [ $C_{12}mim$ ]BF<sub>4</sub> に対する DSC の結果を図 3 に示す。図 3(a) が等方相からの降温過程、図 3(b) がその後の昇温過程での全熱流束の温度変化を様々な AAO の細孔径に対して示している。細孔径 160nm

の場合、等方相からの冷却により、スメクチック相へ転移し (DSC のチャートでは、このシグナルは観測されていない。潜熱が小さくて観測にかかっていないと思われる)、その後、 $-10^{\circ}\text{C}$  あたりで明確な発熱ピークが観測される。X 線回折

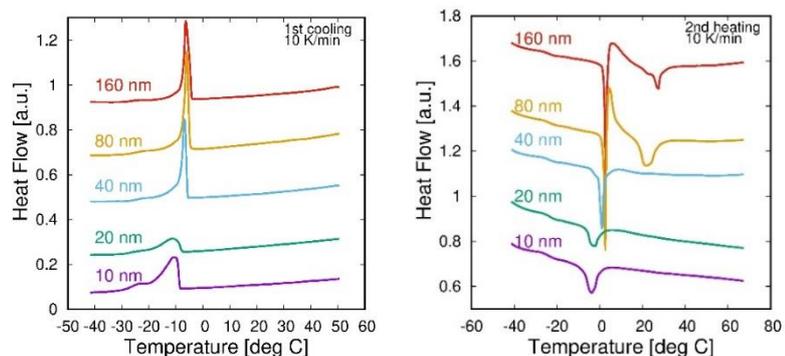


図 3: [ $C_{12}mim$ ]BF<sub>4</sub> の 10K/min での降温過程 (左) および、その後の昇温過程 (右) における全熱流束の温度依存性

の結果と合わせて考えると、スメクチック相よりは秩序の高い構造（低温スメクチック相と呼ぶことにする）へと転移していることがわかる。その後の昇温過程では、0°Cあたりで、大きな鋭い吸熱ピークが観測された後、発熱ピークが生じ、さらに昇温を続けると、再度、吸熱ピークが観測される。このことは、低温スメクチック相からの昇温により0°Cあたりで、分子移動度が解放され、分子が動き始める。その結果、より安定な結晶相（CrI とする）へと転移する。さらなる昇温により、CrI が一旦溶け、もう一つの結晶相（CrII とする）へと固相-固相転移し、最後にスメクチック相へと転移することで説明される。160nm での結果はバルクで得られるものとはほぼ一致している。細孔径を 160nm より減少させると、全熱流束の温度依存性が変化をはじめ、40nm、20nm、10nm の順で、降温過程での発熱ピークが低温側にシフトするのが観測される。また、その後の昇温過程では 0°C 付近の吸熱ピークが細孔径の低下とともに、より低温側にシフトし、それより高温側の発熱・吸熱ピークがほとんど観測されなくなるのがわかる。また、降温・昇温過程のいずれにおいても観測されるピークは細孔径が小さいものほど、ブロードなピークになっていることが図 3 からわかる。

図 4 には、等方相からの降温過程とその後の昇温過程で誘電緩和測定と X 線回折実験の結果を同じ逆温度  $T^{-1}$  軸を用いてプロットしている。降温過程（図 4 左）での誘電緩和の結果より、高温側で観測される電極分極過程（EP 過程）の緩和率が温度の低下とともに低下し、0°C あたりで新たな緩和過程（ $\alpha'$  過程とする）が高周波数側から測定ウインドウに入ってくる。さらなる降温とともに、 $\alpha'$  過程は急激にその緩和率を低下させ、徐々に VFT 型の曲線に近づいていくことがわかる。この  $\alpha'$  過程の出現と対応して、X 線回折実験で観測されるスメクチック相の 001 反射強度が急激な低下を示すとともに、新たに低温スメクチック相の 001 反射が出現してくる。このようにスメクチック相と低温スメクチック相の 2 相共存状態で  $\alpha'$  過程の緩和率の急激な低下が観測される。次に、図 4 右に示す低温スメクチック相からの昇温過程では、-25°C あたりから、 $\alpha'$  過程が低周波数域から測定ウインドウに現れ始め、その後、VFT 則に従って、徐々に緩和率を大きくする。0°C あたりで VFT 則からずれ始めると、低温スメクチック相の 001 反射強度の低下とスメクチック相の 001 反射強度の上昇が X 線回折実験により観測される。それとともに、結晶相 CrI の 001、002、003、004 反射強度が大きくなり始める。さらなる昇温により、CrI 相の反射強度はピークを示したのち、減少に転じ、それと同時に今度は CrII 相の 001-005 反射が出現する。この CrI と CrII の出現に対応して、スメクチック相の 001 反射強度は相補的な低下を示しており、0°C あたりで出現し始めたスメクチック相の一部が結晶相 CrI さらには CrII へと変化した後、30°C あたりで CrII が融解し、すべてがスメクチック相へと変換することがわかる。この間に、誘電緩和で観測される  $\alpha'$  過程の緩和率は CrI 相と CrII 相が存在する温度域で、いずれもアレニウスの温度依存性を示すことがわかる。以上は、細孔径 160nm の場合の結果であるが、細孔径の低下とともに特徴的な細孔径依存性が観測される。詳細は今後発表される学術論文で確認していただければ幸いである。

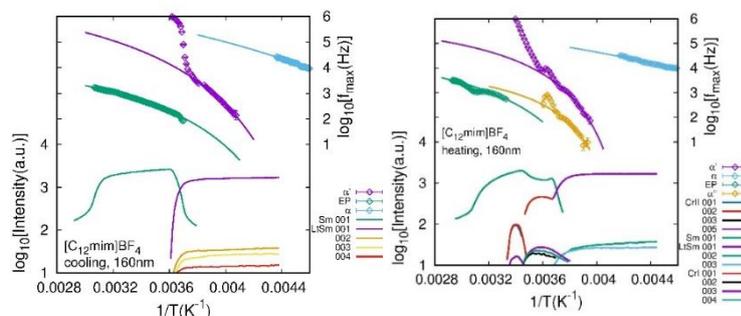


図 4:  $[C_{12mim}]BF_4$  における降温・昇温過程(10K/min)での EP、 $\alpha'$ 、 $\alpha$  過程の緩和率、および、各相での子午線反射強度の温度依存性。AAO 細孔径は 160nm の場合。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ooe Megumi, Miyata Kairi, Yoshioka Jun, Fukao Koji, Nemoto Fumiya, Yamada Norifumi L.	4. 巻 151
2. 論文標題 Direct observation of mobility of thin polymer layers via asymmetric interdiffusion using neutron reflectivity measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 244905 ~ 244905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5132768	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 Chandran Sivasurender, Baschnagel J?rg, Cangialosi Daniele, Fukao Koji, Glynos Emmanouil, Janssen Liesbeth M. C., M?ller Marcus, Muthukumar Murugappan, Steiner Ullrich, Xu Jun, Napolitano Simone, Reiter G?nter	4. 巻 52
2. 論文標題 Processing Pathways Decide Polymer Properties at the Molecular Level	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7146 ~ 7156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b01195	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 該当する
1. 著者名 Yoshioka Jun, Fukao Koji	4. 巻 32
2. 論文標題 Self-excited oscillation of the director field in cholesteric liquid crystalline droplets under a temperature gradient	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 325102 ~ 325102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648x/ab83b1	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 Suzuki Yasuhito, Miyata Kairi, Sato Masashi, Tsuji Nagisa, Fukao Koji, Matsumoto Akikazu	4. 巻 196
2. 論文標題 Relaxation behavior of poly(diisopropyl fumarate) including no methylene spacer in the main chain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 122479 ~ 122479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.122479	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 Yoshioka Jun、Fukao Koji	4. 巻 89
2. 論文標題 Horizontal Transportation of a Maltese Cross Pattern in Nematic Liquid Crystalline Droplets under a Direct-Current Electric Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 094401 ~ 094401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.094401	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 Koyama Akira、Nicholson David A.、Andreev Marat、Rutledge Gregory C.、Fukao Koji、Yamamoto Takashi	4. 巻 102
2. 論文標題 Spectroscopic analysis in molecular simulations with discretized Wiener-Khinchin theorem for Fourier-Laplace transformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 63302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.102.063302	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 該当する

1. 著者名 Suzuki Yasuhito、Shinagawa Yuya、Kato Eri、Mishima Ryutarō、Fukao Koji、Matsumoto Akikazu	4. 巻 54
2. 論文標題 Polymerization-Induced Vitrification and Kinetic Heterogenization at the Onset of the Trommsdorff Effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 3293 ~ 3303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c02260	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 Suzuki Yasuhito、Tsuji Nagisa、Miyata Kairi、Kano Takahito、Fukao Koji、Matsumoto Akikazu	4. 巻 222
2. 論文標題 Characteristic Features of and Relaxations of Poly(diethyl fumarate) as the Poly(substituted methylene)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 2100124 ~ 2100124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.202100124	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 Yoshioka Jun, Sakikawa Tasuku, Ito Yuki, Fukao Koji	4. 巻 105
2. 論文標題 Marangoni convection driven by temperature gradient near an isotropic-nematic phase transition point	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 124671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.105.L012701	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 Miyata Kairi, Yoshioka Jun, Fukao Koji, Suzuki Yasuhito, Matsumoto Akikazu	4. 巻 245
2. 論文標題 Dielectric relaxation and glassy dynamics in poly(diisopropyl fumarate) and its copolymers with acrylate segments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124671 ~ 124671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124671	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 Konishi Takashi, Okamoto Daisuke, Tadokoro Daisuke, Kawahara Yoshitaka, Fukao Koji, Miyamoto Yoshihisa	4. 巻 128
2. 論文標題 Kinetics of Polymer Crystallization with Aggregating Small Crystallites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 107801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.107801	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 Young Walter W., Tabuchi Hiromu, Iguchi Ryo, Konishi Takashi, Fukao Koji, Katsumata Reika	4. 巻 55
2. 論文標題 A Hidden Relaxation Process in Poly(2-vinylpyridine) Homopolymers, Copolymers, and Nanocomposites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 6590 ~ 6597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.2c00789	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 該当する

1. 著者名 Konishi Takashi, Taguchi Ken, Fukao Koji, Takagi Noriaki, Miyamoto Yoshihisa	4. 巻 12
2. 論文標題 Crystallization with Nodular Aggregation near the Glass Transition Temperature for Syndiotactic Polypropylene	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 208 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.2c00666	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 辰巳 創一、菊本 元気、八尾 晴彦、猿山 靖夫、深尾 浩次	4. 巻 49
2. 論文標題 ポリマー・ダイマー混合系のフラジリティからみる理想ガラス転移	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 熱測定	6. 最初と最後の頁 102 ~ 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11311/jscta.49.3_102	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 Tadokoro Daisuke, Konishi Takashi, Fukao Koji, Miyamoto Yoshihisa	4. 巻 ---
2. 論文標題 Lamellar crystallization of poly(trimethylene terephthalate)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 ---
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-023-00777-6	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 Bayes-Garcia Laura, Fukao Koji, Konishi Takashi, Sato Kiyotaka, Taguchi Ken	4. 巻 23
2. 論文標題 Crystallization and Transformation Behavior of Triacylglycerol Binary Mixtures Forming Molecular Compounds of POP/OPO, POP/rac-PP0, and POP/sn-PP0	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 2870 ~ 2881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00038	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4件(うち招待講演 3件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 K.Fukao, M.Ooe, T.Hayashi, K.Miyata, J.Yoshioka, F.Nemoto, N.L.Yamada
2. 発表標題 Interdiffusion and glass transition in thin polymer films
3. 学会等名 Princeton center conference: Polymers at the Nanoscale: Phase transition and dynamics, Princeton, USA (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K.Fukao, K.Miyata, J.Yoshioka, Y.Suzuki, A.Matsumoto
2. 発表標題 Dielectric relaxation and glassy dynamics in poly(diisopropyl fumarate) and its copolymers
3. 学会等名 IDS-online workshop 2021, online (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K.Fukao, W.Young, H.Tabuchi, R.Iguchi, T.Konishi, R.Katsumata
2. 発表標題 A hidden relaxation process under DC conductivity in poly(2-vinylpyridine) and nanocomposites
3. 学会等名 11th International conference on broadband dielectric spectroscopy, San Sebastian, Spain (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K.Fukao, H.Nobori, H.Tabuchi, W.Young, R.Katsumata
2. 発表標題 Dielectric study of relaxation process in nanocomposites of poly(2-vinylpyridine) and small particles
3. 学会等名 American Chemical Society March meeting, 2023, Indianapolis, USA (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔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	吉岡 潤  (Yoshioka Jun)  (50708542)	立命館大学・理工学部・助教   (34315)	

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			
米国	マサチューセッツ大学			