

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00905

研究課題名（和文）環状混合ソフトマテリアルの絡み合い制御による超ゴム弾性発現の分子論的解明

研究課題名（英文）Reinforcement Effect in Ring-Linear Polymer Blends

研究代表者

陣内 浩司（Jinnai, Hiroshi）

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：20303935

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 36,400,000円

研究成果の概要（和文）：単環状や多環状・かご型などの複雑な分子トポロジーをもつ環状高分子（環状鎖）は、線状高分子（線状鎖）の貫入を許し線状鎖を拘束するため、従来の管模型（レプテーション）で表現される絡み合いとは全く異なる未知の動的挙動を呈する。本研究では、化学架橋および物理架橋による網目構造に環状鎖を導入し、その力学的特徴について調べた。その結果、環状鎖の添加により破断歪みの増加やタフネスの向上などが見られた。これは、環状鎖が動的架橋点と振る舞うことで網目鎖同士の絡み合いが緩和されたためと考えられる。このような特異な物性の発現の理由を調べるため、本研究では延伸その場電子顕微鏡観察の基礎技術を確立することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環状鎖を線状鎖に導入した環状混合ソフトマテリアルにおいて、環状鎖の導入は高分子網目構造の力学特性を向上させることがわかった。分子トポロジーをもつ環状鎖の線状鎖との相互作用を分子論的に明らかにしたことが、本研究の学術的な意義である。架橋による網目構造の代表である架橋ゴム製品を例にとると、本研究で判明した破断歪みやタフネスの増大は、限界せん断歪み450%以上の建築免震積層ゴムへの応用に有効であると考えられ、レジリエントな社会構築の基盤に資する。また、環状鎖を網目の架橋点として利用し、これを（光などの）刺激により線状鎖に形態変化させることができれば、ゴム材料のリサイクルへの道も拓かれると思われる。

研究成果の概要（英文）：A cyclic polymer (cyclic chain) having a complicated molecular topology such as monocyclic, polycyclic, or cage type allows penetration of the linear polymer (linear chain) and restrains the linear chain. It exhibits an unknown dynamic behavior completely different from the entanglement expressed by the reptation. This study introduced a cyclic chain into the network structure by chemical cross-linking and physical cross-linking, and its mechanical characteristics were investigated. As a result, the addition of the cyclic chain increased the breaking strain and improved the toughness. It is considered that this is because the ring-shaped chain behaves as a dynamic cross-linking point, and the entanglement between the mesh chains is relaxed. To investigate the reason for the development of such peculiar physical properties, we succeeded in establishing the basic technique of stretching in-situ electron microscope observation in this study.

研究分野：高分子物性

キーワード：環状混合ソフトマテリアル 環状高分子 分子トポロジー 延伸ナノ構造観察 電子線トモグラフィ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

単環状や多環状・かご型などの複雑な分子トポロジーをもつ環状高分子(環状鎖)は、線状高分子(線状鎖)の貫入を許し線状鎖を拘束するため、従来の管模型(レプテーション)で表現される絡み合いとは全く異なる未知の動的挙動を呈する。このような少量の環状鎖を線状鎖に添加した系(環状混合ソフトマテリアル)における「環状鎖の環の大きさや導入量」という系の自由度に関する基礎科学は、理論・シミュレーション・実験のいずれについてもほぼ手つかずの状態に残されてきた。

### 2. 研究の目的

本研究は、多様な分子トポロジーをもつ環状鎖の線状鎖との相互作用を分子論的に明らかにし、この新しい系でのダイナミクスの基本原理の構築を行う。

### 3. 研究の方法

「環状混合ソフトマテリアルの力学測定による動的架橋点の検証と超弾性の実現」として、以下の項目(1)、(2)、(3)に取り組んだ。さらに、項目(4)では、新たな環状高分子の構造と基礎物性について調査した。「延伸状態下での環状混合ソフトマテリアルの3次元ナノ動的観察と計算機シミュレーションとのデータ同化による環状鎖の分子スケールでのダイナミクスの可視化」として、項目(5)に取り組んだ。

#### (1) 化学架橋系の環状混合ソフトマテリアル

ポリジメチルシロキサン(PDMS)の線状鎖に多環状鎖を5 wt%添加して化学架橋した系(図1)を試料とした。線状鎖の両末端の水酸基と4分岐の架橋剤を触媒存在下、溶液中で反応させて架橋網目を作製し、溶媒キャストによりこれを製膜した。線状鎖の分子量を3.5k, 15k, 42k g/molと変えることで、架橋密度を変化させた。環状鎖として、環状ユニット数(1.0, 2.5, 9.1)の異なる計3種類を用いた。

得られた各種フィルムをダンベル状7号形に打ち抜き、万能材料試験機(68TM-5, INSTRON製)を用いて常温にて10 mm/minで引張試験を行なった。この時、ビデオ伸び系により試験片に貼付した標点間の距離を計測することで、試験片の平行部の歪みを算出した。

3環状PDMS(環状鎖)

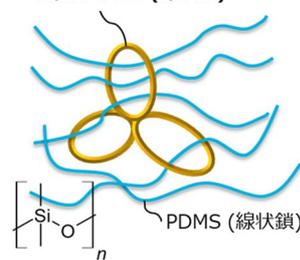


図1. PDMSの環状混合ソフトマテリアル.

#### (2) 物理架橋系の環状混合ソフトマテリアル

熱可塑性エラストマー(TPE)としてポリスチレン(PS)分率の異なる2種類のポリスチレン-*block*-ポリイソプレン-*block*-ポリスチレン共重合体(SIS、日本ゼオン提供、図2)を用いた。

Quintac 3440: 数平均分子量( $M_n$ ) = 170 kg/mol, 多分散度( $D$ ) = 1.02, PS重量分率( $f_{PS}$ ) = 18 wt%; SL-188:  $M_n$  = 118 kg/mol,  $D$  = 1.02,  $f_{PS}$  = 30 wt%.

をそれぞれSIS18、SIS30と呼ぶ。合成した多環状PSの分子特性は、 $M_{n,MALS}$  = 57 kg/mol,  $D$  = 1.34, 環状ユニット数: 4.6であった。コントロールとして、グラフトPSと線状PSを用いた。グラフトPSの分子特性は、 $M_{n,MALS}$  = 40 kg/mol,  $D$  = 1.08, アーム数: 6.1であった。線状PSの分子特性は、 $M_{n,SEC}$  = 39 kg/mol,  $D$  = 1.05であった。溶媒キャストによりSISに多環状、グラフト、もしくは線状PSを5 wt%添加したフィルムを作製した後、140 °Cで3日間、減圧下で熱処理を施した。

得られた各種フィルムをリング状B号形に打ち抜き、万能材料試験機(68TM-5, INSTRON製)を用いて常温にて10 mm/minで引張試験を行なった。各種フィルムの相分離構造解析のため、小角X線散乱(SAXS)測定を高エネルギー加速器研究機構、フォトンファクトリーのBL-10C ( $= 0.1500$  nm)にて行なった。

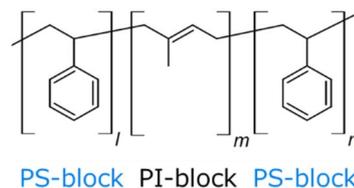


図2. SISの化学構造.

#### (3) 環状混合ソフトマテリアルの延伸変形挙動の分子シミュレーション

Kremer-Grestモデルを用いた粗視化分子動力学シミュレーションにより、架橋高分子網目に環状鎖が埋め込まれた系について、応力-歪み曲線に対する環状鎖の影響を調べた。

#### (4) かご型ユニットが高密度に配置されたグラフト高分子の構造と物性

末端にノルボルネニル基を有する星型ポリ(ε-カプロラクトン)(PCL)マクロモノマーを希釈条件下で第3世代Grubbs触媒を使用して開環メタセシス重合することで、かご型ユニットが高密度に配置されたグラフトPCLを合成した。

#### (5) 延伸状態下での環状混合ソフトマテリアルのナノ動的観察

ラメラ状マイクロ相分離構造（以降、ラメラ構造と略記）を形成する SIS（日本ゼオン提供、Quintac 3191:  $M_n = 89 \text{ kg/mol}$ ,  $D = 1.04$ ,  $f_{PS} = 44 \text{ wt\%}$ ）を試料として用いた。この試料を  $-100 \text{ }^\circ\text{C}$  でマイクロトームすることで厚さ  $100 \text{ nm}$  程度の超薄切片を作製した。透過型電子顕微鏡（TEM）観察には、JEM-F200（日本電子製）を加速電圧  $200 \text{ kV}$  で用いた。無染色観察法として「位相差 TEM 法」と「環状暗視野走査型透過電子顕微鏡（ADF-STEM）法」を検討した。比較のため、通常の「明視野 TEM 法」も行った。延伸その場観察では、SIS の超薄切片を引張 TEM ホルダー（メルビル製）で延伸しながら位相差 TEM 観察を行なった。

#### 4. 研究成果

##### (1) 化学架橋系の環状混合ソフトマテリアル

図 3 に  $M_n = 15\text{k g/mol}$  の線状鎖（PDMS15k）を用いた環状混合ソフトマテリアルの応力-歪み曲線を示す。単環状鎖、2.5 環状鎖の添加により、破断歪みと破断応力、そして破壊靱性（タフネス）が著しく増加した。分子量（大きいほど架橋密度が小さい）の異なる線状鎖の系においても破断歪みの増加が見られたが、タフネスの向上は PDMS15k の一部の環状混合系においてのみ観察され、最大で 2.4 倍の値を示した（図 3 において赤線で示した PDMS15k/1.0c-PDMS39k）。単環状鎖と同じ分子量の線状鎖（I-PDMS39k）を添加しても応力-歪み曲線に変化がほぼ見られない（青線）ことから、環状鎖のトポロジーに由来して力学物性が向上したと考えられる。

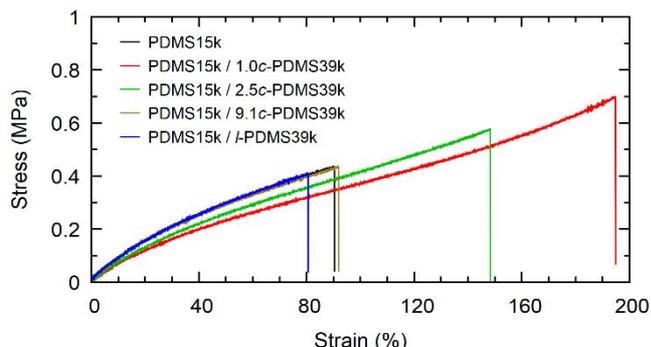


図 3. PDMS15k に多環状 PDMS を 5 wt% 添加し架橋した系の応力-歪み曲線。多環状鎖の表記は、(環状ユニットの数)c-PDMS(環状ユニットあたりの分子量)。I-PDMS39k はコントロールの線状鎖である。

大変形域での架橋ゴムの振舞いを記述する Mooney-Rivlin 式を用いて、PDMS 系環状混合ソフトマテリアルの引張変形挙動および環状鎖添加効果の分子論的解釈を試みた。Mooney-Rivlin 解析では、応力を  $\sigma$ 、伸長比を  $\lambda$  とした時、還元応力  $f^* = \sigma/[2(\lambda - \lambda^{-2})]$  を  $\lambda^{-1}$  に対してプロットしたものを線形近似することで、第一定数  $C_1$ 、第二定数  $C_2$  を決定することができる。架橋ゴムの膨潤実験から、第一定数  $C_1$  は弾性に寄与する網目鎖（有効網目鎖）の密度の尺度として、第二定数  $C_2$  は絡み合いと架橋点による網目鎖の拘束を示す尺度として用いられる。

図 4 に  $2C_1$  に対して  $2C_2$  をプロットしたグラフを示す。環状鎖の添加により、 $C_1$  の変化は小さかった一方、 $C_2$  は減少し、特に単環状鎖を添加した系（赤丸）ではゼロに近い値を示した。この結果は、環状鎖の添加により、架橋網目中の部分鎖間の絡み合いが弱まったことを意味している。これは、環状鎖が動的架橋点として振る舞うことで網目鎖同士の絡み合いが緩和され、応力が分散される滑車効果[1]が発現したためと考えられる。

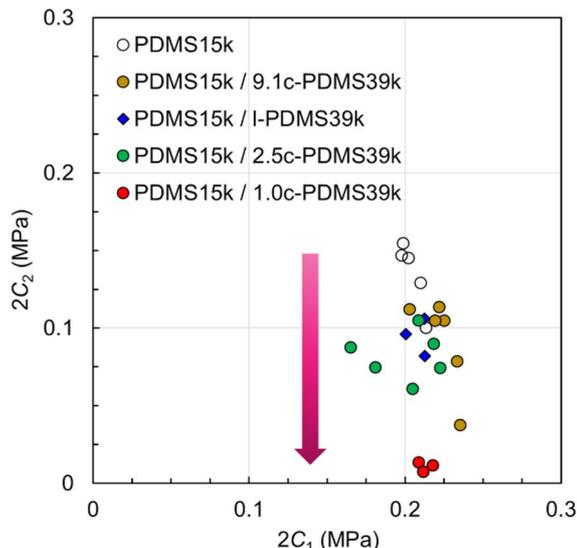


図 4. PDMS 系環状混合ソフトマテリアルの Mooney-Rivlin 定数  $C_1$  vs  $C_2$  プロット。

##### (2) 物理架橋系の環状混合ソフトマテリアル

図 5 に SIS 系環状混合ソフトマテリアルの応力-歪み曲線を示す。SIS18 に多環状 PS を添加すると、破断までの全歪み域で応力が増加し、タフネスは 2 割ほど増加した（図 5a の赤線）。一方、コントロールである SIS18/グラフト PS 系（緑線）SIS18/線状 PS 系（青線）では破断応力は 1~2 割低下し、タフネスにはほとんど変化が無かった。以上より、SIS18/多環状 PS 系では、単純に硬い PS の分率が増加した影響に加え、多環状鎖のトポロジーに由来して力学特性が向上したと考えられる。SIS30 に多環状 PS を添加した場合（図 5b の赤線）も、SIS18 と同様に破断までの全歪み域で応力が増加し、タフネスに 1 割ほどの増加が見られた。コントロールである SIS30/グラフト PS 系（緑線）SIS30/線状 PS 系（青線）ではタフネスに変化が無かったことから、SIS30 でも多環状 PS の優位な添加効果が見出された。

SAXS 測定の結果、SIS18 では散乱ピーク位置 ( $q/q^*$ ;  $q = 4\pi \sin \theta / \lambda$ ,  $2\theta$ : 散乱角,  $\lambda$ : X 線の波長,  $q^*$ : 1 次ピーク位置) が  $1:\sqrt{3}:\sqrt{4}:\sqrt{7}:\sqrt{9}:\sqrt{13}$ 、SIS30 では  $1:\sqrt{3}:\sqrt{4}:\sqrt{7}:\sqrt{9}:\sqrt{19}$  に見られ、

いずれもシリンダー構造だと考えられる。多環状鎖を添加しても、両 SIS で面間隔の変化は数%以下であった [SIS18:  $d(10) = 31.5 \sim 31.6$  nm; SIS30:  $d(10) = 28.2 \sim 28.9$  nm]。なお、コントロールである SIS/グラフト PS 系、SIS/線状 PS 系においても面間隔の変化はわずかであった。このように、多環状鎖を添加してもマイクロ相分離構造の変化が小さいことから、多環状鎖のトポロジーに由来する補強効果により力学特性が向上したと考えられる。

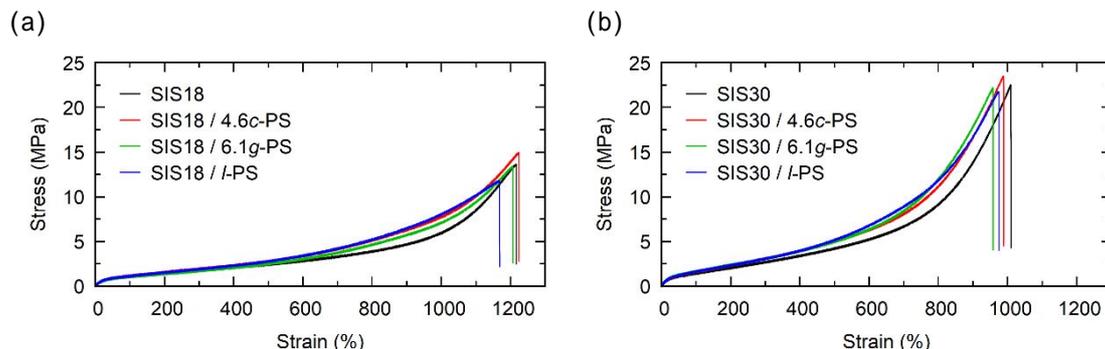


図 5. SIS に各種トポジカル PS を添加した系の応力-歪み曲線 . (a) SIS18、(b) SIS30 の系 .

TPE の引張強度  $F$  は以下の式で表され、実験結果と良好な一致を示すことが知られている [2]。

$$F = n f_d + k f_e / M_e$$

ここで、 $n$ : 単位体積当たりのハードドメインの数、 $f_d$ : 各ハードドメインが担持する力、 $k$ : 定数、 $f_e$ : ソフトセグメントの絡み合いが担持する力、 $M_e$ : 絡み合い点間分子量である。上述の SAXS 結果から、多環状 PS を添加しても  $n$  の変化は小さいと考えられる。つまり、多環状鎖添加による応力の増加は  $f_d$  の増加によるものであり、多環状 PS 鎖と線状 PS ブロック鎖のロタキサン形成による補強効果を示唆している。

### (3) 環状混合ソフトマテリアルの延伸変形挙動の分子シミュレーション

網目中に環状鎖が埋め込まれた系を用いて、環状混合ソフトマテリアルの延伸変形挙動の分子シミュレーションを行なった。環状鎖の環の大きさや導入量の増加とともに応力が増加したことから、環状鎖が動的架橋点として作用し網目を補強することを裏付けた。

### (4) かご型ユニットが高密度に配置されたグラフト高分子の構造と物性

新たな環状鎖として、かご型ユニットが高密度に配置されたグラフト高分子を合成し、線状・環状グラフト高分子に比べて鎖の広がりや分子運動性が低下することを明らかにした。その環状混合ソフトマテリアルへの応用が期待される。

### (5) 延伸状態下での環状混合ソフトマテリアルのナノ動的観察

明視野 TEM 法では、試料を透過した電子のみを対物絞りで選択し結像することで、非晶性物質の電子密度差を反映した画像が得られる。まず、この明視野 TEM 法による構造観察を行なった。二重結合を有する高分子 [SIS ではポリイソブレン (PI) ブロック] を選択的に電子染色する四酸化オスmium (OsO<sub>4</sub>) で試料を染色するとラメラ構造が明瞭に観察された (図 6a、周期 23 nm) が、無染色試料では明確な構造を確認できなかった (図 6b)。このように、明視野 TEM 法では、予想通り、電子密度差の小さい無染色試料の相分離構造を可視化することは困難であった。

位相差 TEM 法では、電子波の位相に変化を与える板 (位相板) を対物レンズの後焦点面上に配置することで、物質を透過した電子と物質から散乱された電子の位相を相対的に変化させる。この位相がずれた透過電子と散乱電子を干渉させて結像することで、像コントラストを増強させ元来観察が困難な構造を可視化することができる。この位相差 TEM 法を SIS の無染色試料に適用した結果、像コントラストが著しく増強され、(過去に文献で報告された通り) ミクロ相分離構造を無染色状態で観察できることが分かった (図 6c)。位相差 TEM 法で得られた無染色試料の相分離構造の周期は、染色試料の明視野 TEM 観察で得られた周期 (図 6a) と良く一致した。

ADF-STEM 法では、収束電子線を試料に照射し、散乱された電子を環状の検出器を用いて計数することで、電子密度の異なる領域にコントラストをつけた画像を得ることができる。この ADF-STEM 法を無染色試料に適用した結果、相分離構造を無染色で観察することができた (図 6d)。

位相差 TEM 法 (図 6c) では、ADF-STEM 法 (図 6d) に比べて低ノイズで高コントラストの画像が得られた。加えて、位相差 TEM 法では、ADF-STEM 法に比べて画像を高速に取得できるため、動的観察に適している。したがって、位相差 TEM 法を主として、他の手法を相補的に用いて無染色試料の相分離構造の動的観察を行うこととした。

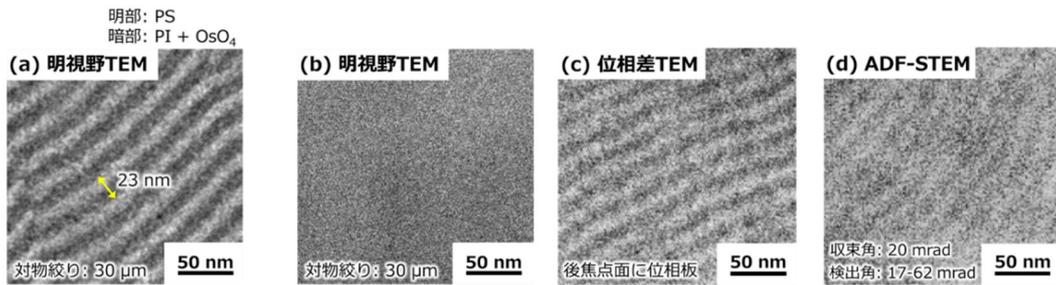


図 6. 染色・無染色 SIS の TEM 像 .(a)染色試料の明視野 TEM 像、(b)無染色試料の明視野 TEM 像、(c)位相差 TEM 像、(d)ADF-STEM 像 . 無染色試料の(b),(c),(d) は同一試料の別視野である .

SIS の超薄切片を引張 TEM ホルダーで延伸しながら位相差 TEM 観察を行なった。ラメラ構造の引張変形において、その配向方向と延伸方向との関係によって変形モードが異なることが報告されている[3]。そこで、ラメラ構造の配向が同一の領域（グレイン）を考え、配向の似たグレインからなる領域（ドメインと呼ぶ）におけるラメラ構造の配向と変形挙動の關係に着目した。具体的には、延伸方向に対してラメラ構造の配向が垂直な場合と 平行な場合を検討した。

図 7 に延伸前後でのラメラ構造の位相差 TEM 像を示す。延伸前（歪み 0%）では、周期 20 nm 程度のラメラ構造が延伸方向に対して垂直に配向していた。切片を歪み 210%だけ延伸すると、このドメインは歪み 90%だけ変形した。この時、ラメラ構造の配向はほとんど変化せず、その周期が 40 nm 程度に倍増した。柔らかい PI ラメラが優先的に伸長したと見られる。

延伸前（歪み 0%）では、周期 20 nm 程度のラメラ構造が延伸方向に対して平行に配向していた。試料全体を歪み 250%だけ延伸したが、このドメインの歪みはほぼゼロであった。この時、ラメラ構造の周期は維持されたまま、その配向が 15 度変化した。硬い PS ラメラが延伸方向に連続し伸長を阻害したため、ドメイン全体の回転が起こったと推察される。

以上より、電子線に対するコントラスト増強（電子染色）を行わずに環状混合ソフトマテリアルの相分離構造の延伸変形挙動をその場観察する電子顕微鏡手法を確立した。

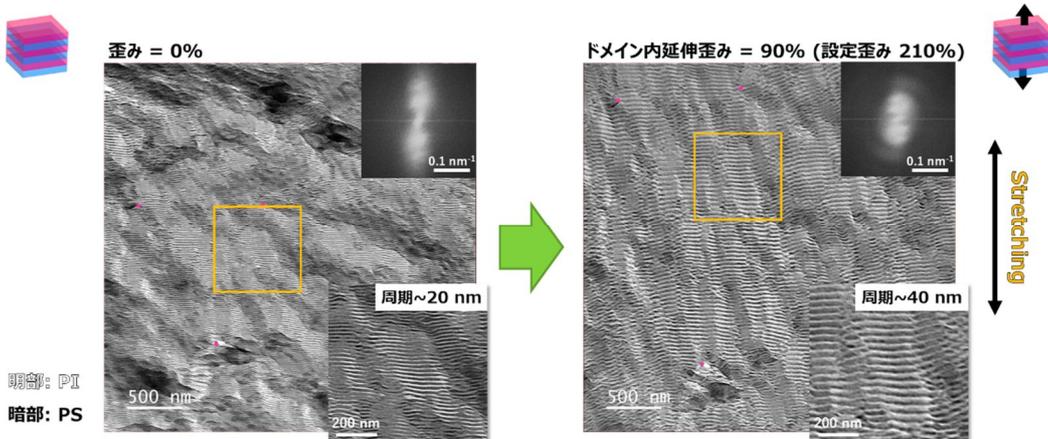


図 7 . 延伸方向に対してラメラ構造の配向が垂直な場合の延伸その場 TEM 観察の結果 . 位相差 TEM 像の FFT 図形と、橙色の枠内を拡大した像を併せて示す .

#### < 引用文献 >

Ito, K. *Polym. J.* **2007**, *39*, 489.

Tong, J.-D.; Jérôme, R. *Macromolecules* **2000**, *33*, 1479.

Cohen, Y.; Thomas, E. L. et al. *Macromolecules* **2000**, *33*, 6502.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro, Ebe Minami, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 245
2. 論文標題 Trapping probabilities of multiple rings in end-linked gels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124683 ~ 124683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124683	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 Hagita Katsumi, Aoyagi Takeshi, Abe Yuto, Genda Shinya, Honda Takashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Deep learning-based estimation of Flory-Huggins parameter of A/B block copolymers from cross-sectional images of phase-separated structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-91761-8	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro, Jinnai Hiroshi	4. 巻 243
2. 論文標題 Demonstration of reinforcement in polymer composite with rings penetrating the diamond-lattice network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124637 ~ 124637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124637	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 Jinnai Hiroshi	4. 巻 71
2. 論文標題 Electron microscopy for polymer structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 i148 ~ i164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfab057	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro, Shiba Hayato, Iwaoka Nobuyuki, Kawakatsu Toshihiro	4. 巻 203
2. 論文標題 Role of chain crossing prohibition on chain penetration in ring-linear blends through dissipative particle dynamics simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 111104 ~ 111104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.commat.2021.111104	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro, Ogino Masao, Omiya Manabu, Ono Kenji, Deguchi Tetsuo, Jinnai Hiroshi, Kawakatsu Toshihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Efficient compressed database of equilibrated configurations of ring-linear polymer blends for MD simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Data	6. 最初と最後の頁 894-904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41597-022-01138-3	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro	4. 巻 18
2. 論文標題 Molecular dynamics studies of entropic elasticity of condensed lattice networks connected with uniform functionality $f = 4$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 894 ~ 904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1sm01641e	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro, Sakata Naoki	4. 巻 55
2. 論文標題 Mathematical Classification and Rheological Properties of Ring Catenane Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 166 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c01705	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 Mato Yoshinobu, Sudo Maho, Marubayashi Hironori, Ree Brian J., Tajima Kenji, Yamamoto Takuya, Jinnai Hiroshi, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 54
2. 論文標題 Densely Arrayed Cage-Shaped Polymer Topologies Synthesized via Cyclopolymerization of Star-Shaped Macromonomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 9079 ~ 9090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c01230	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro	4. 巻 54
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulations of Ring Shapes on a Ring Fraction in Ring/Linear Polymer Blends	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8043 ~ 8051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00656	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 Murashima Takahiro, Hagita Katsumi, Kawakatsu Toshihiro	4. 巻 54
2. 論文標題 Viscosity Overshoot in Biaxial Elongational Flow: Coarse-Grained Molecular Dynamics Simulation of Ring/Linear Polymer Mixtures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7210 ~ 7225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00267	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 Watanabe Daisuke, Miyata Tomohiro, Nagao Tomohiko, Kumagai Akemi, Jinnai Hiroshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Crack propagation behaviors in a nanoparticle filled rubber studied by <i>in situ</i> tensile electron microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Science	6. 最初と最後の頁 1277 ~ 1284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pol.20210269	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 Miyata Tomohiro, Nagao Tomohiko, Watanabe Daisuke, Kumagai Akemi, Akutagawa Keizo, Morita Hiroshi, Jinnai Hiroshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Nanoscale Stress Distribution in Silica-Nanoparticle-Filled Rubber as Observed by Transmission Electron Microscopy: Implications for Tire Application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 4452 ~ 4461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c00009	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 Kakubo Takashi, Shimizu Katsunori, Kumagai Akemi, Matsumoto Hiroaki, Tsuchiya Miki, Amino Naoya, Jinnai Hiroshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Degradation of a Metal/Polymer Interface Observed by Element-Specific Focused Ion Beam-Scanning Electron Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2816 ~ 2822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00034	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 Nakamura Satoshi, Mitomo Hideyuki, Sekizawa Yu, Higuchi Takeshi, Matsuo Yasutaka, Jinnai Hiroshi, Ijiro Kuniharu	4. 巻 36
2. 論文標題 Strategy for Finely Aligned Gold Nanorod Arrays Using Polymer Brushes as a Template	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 3590 ~ 3599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b03835	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 Wang Hsiao-Fang, Chiu Po-Ting, Yang Chih-Ying, Xie Zhi-Hong, Hung Yu-Chueh, Lee Jing-Yu, Tsai Jing-Cherng, Prasad Ishan, Jinnai Hiroshi, Thomas Edwin L., Ho Rong-Ming	4. 巻 6
2. 論文標題 Networks with controlled chirality via self-assembly of chiral triblock terpolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabc3644 ~ 3644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abc3644	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 該当する

1. 著者名 Sato Yohei K., Kuwauchi Yasufumi, Miyoshi Wakana, Jinnai Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Visualization of chemical bonding in a silica-filled rubber nanocomposite using STEM-EELS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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/s41598-020-78393-0	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 Kourakata Yumi, Onodera Tsunenobu, Kasai Hitoshi, Jinnai Hiroshi, Oikawa Hidetoshi	4. 巻 212
2. 論文標題 Ultra-low dielectric properties of porous polyimide thin films fabricated by using the two kinds of templates with different particle sizes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123115 ~ 123115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.123115	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 Tomohiro, Nagao Tomohiko, Watanabe Daisuke, Kumagai Akemi, Akutagawa Keizo, Morita Hiroshi, Jinnai Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Nanoscale Stress Distribution in Silica-Nanoparticle-Filled Rubber as Observed by Transmission Electron Microscopy: Implications for Tire Application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	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) 10.1021/acsnm.1c00009	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 Hagita Katsumi, Murashima Takahiro	4. 巻 218
2. 論文標題 Effect of chain-penetration on ring shape for mixtures of rings and linear polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2021.123493	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 Hagita Katsumi、Murashima Takahiro	4. 巻 223
2. 論文標題 Multi-ring configurations and penetration of linear chains into rings on bonded ring systems and polycatenanes in linear chain matrices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2021.123705	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 Ree Brian J.、Mato Yoshinobu、Xiang Li、Kim Jehan、Isono Takuya、Satoh Toshifumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Topologically controlled phase transitions and nanoscale film self-assemblies of cage poly(ε-caprolactone) and its counterparts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 744 ~ 758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0PY01567A	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 S. Nakamura, H. Mitomo*, Y. Sekizawa, T. Higuchi, Y. Matsuo, H. Jinnai, K. Ijiro*	4. 巻 36
2. 論文標題 Strategy for Finely Aligned Gold Nanorod Arrays using Polymer Brushes as a Template	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 3590-3599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b03835	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 T. Kakubo, K. Shimizu, A. Kumagai, H. Matsumoto, M. Tsuchiya, N. Amino, H. Jinnai*	4. 巻 36
2. 論文標題 Degradation of a metal-polymer interface observed by element-specific focused ion beam-scanning electron microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2816-2822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00034	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 K. Shimizu, T. Miyata, T. Nagao, A. Kumagai, H. Jinnai*	4. 巻 181
2. 論文標題 3. Visualization of the tensile fracture behaviors at adhesive interfaces between brass and sulfur-containing rubber studied by transmission electron microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 121789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.POLYMER.2019.121789	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58件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 海老井大和・間藤芳允・磯野拓也・山本拓矢・田島健次・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリスチレンの合成とエラストマー添加剤としての応用
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2022年冬季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Watanabe, Tomohiko Nagao, Tomohiro Miyata, Wang Hsiao-Fang, Hironori Marubayashi, Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Deformation mechanisms of a rubber composite containing silica nanoparticle studied by transmission electron microscopy
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsumi Hagita, Tomohiro Miyata, Yohei Sato, Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Multi-scale MD Simulations of Extremely Slow Cooperative Diffusion of Epoxy Resin Molecules at Naturally Oxidized Si Substrates
3. 学会等名 The Material Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村島隆浩, 萩田克美, 川勝年洋
2. 発表標題 環状鎖・線状鎖混合系の二軸伸長流動シミュレーション
3. 学会等名 2021年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会 合同 討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 ソフトマテリアルの電子顕微鏡観察における最近の話題
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第64回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽・磯野拓也・山本 拓矢・田島健次・今崎篤・丸林弘典・陣内浩司・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリマーを用いたロタキサン架橋シリコーンゴムの調製
3. 学会等名 第32回エラストマー討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 高分子ナノ構造における静的・動的挙動の電子顕微鏡観察と解析
3. 学会等名 先端分析技術シンポジウム 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 高分子ナノ構造の静的・動的観察の現状
3. 学会等名 2021年度 第10回ナノ構造ポリマー研究協会nano webinar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽・藤原魁佑・Brian J. Ree・磯野拓也・山本 拓矢・田島健次・丸林弘 典・陣内浩司・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状高分子を活用したロタキサン架橋によるシリコンゴムの調製と 力学特性評価
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽・藤原魁佑・Brian J. Ree・磯野拓也・山本 拓矢・田島健次・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリマーのブレンドによるシリコンゴムの力学特性強化
3. 学会等名 第7回北大・部局横断シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩田克美, 本田隆, 村島隆浩, 川勝年洋
2. 発表標題 環状/線状混合系のブロックコポリマー相分離構造に対する複合的分子 シミュレーション解析2
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋田克美, 村島隆浩
2. 発表標題 環状鎖と線状鎖が混合した系の線状鎖の環状鎖への貫通挙動
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村島隆浩, 秋田克美, 川勝年洋
2. 発表標題 環状鎖・線状鎖混合系の二軸伸長流動下で観察されたストレスオーバーシュートの分析
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 高分子構造の静的・動的な姿をナノスケールで観る
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 2021 ミニシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 高分子研究における電子顕微鏡 - 基礎から応用まで
3. 学会等名 第70回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間藤芳允・周東真穂・磯野 拓也・山本拓矢・田島健次・丸林弘典・陣内浩司・佐藤 敏文
2. 発表標題 星型マクロモノマーの環化重合による多環状側鎖グラフトポリマーの合成と物性評価
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海老井大和・間藤芳允・磯野拓也・山本拓矢・田 島健次・佐藤敏文
2. 発表標題 連鎖的環化による多環状ポリスチレンの合成
3. 学会等名 2021年度 北海道高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽・藤原魁佑・Brian J. Ree・磯野拓也・山本 拓矢・田島健次・丸林弘 典・陣内浩司・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリマーの添加によるシリコンゴムの力学特性改善
3. 学会等名 日本化学会北海道支部2021年夏 季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Characterization of Multicyclic Polymers
3. 学会等名 Future of Polymer Chemistry 2021 in KAIST(招待講演)(国際学会)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間藤芳允・周東真穂・磯野 拓也・山本拓矢・田島健次・丸林弘典・陣内浩司・佐藤 敏文
2. 発表標題 星型マクロモノマーの環化重合による多環状側鎖グラフトポリマーの合成と物性評価
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽・藤原魁佑・Brian J. Ree・磯野拓也・田島 健次・丸林弘典・陣内浩 司・佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリマー混合シリコンゴムの調製と物性評価
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊 大介、宮田 智衆、角 田 克彦、森下 善広、門脇 弘、真下 成彦、陣内 浩司
2. 発表標題 シリカナノ粒子分散ゴムのナノスケール延伸変形挙動に対するシランカップリング剤の影響
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Nanoscale Stress Distribution in Silica Nanoparticle-filled Rubber as Observed by Transmission Electron Microscopy
3. 学会等名 Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Static and dynamical 3D characterizations of the organic-inorganic interface in nano-composite materials using electron microscopy
3. 学会等名 12th Asia-Pacific Microscopy Conference (APMC-2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Miyata, Raita Goseki, Takashi Ishizone, Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Atomic-scale observation of polymer-chain conformations using scanning transmission electron microscopy
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2020 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsunori Shimizu, Tomohiro Miyata, Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Atomic-resolution analysis of rubber/brass adhesive interfaces using transmission electron microscopy
3. 学会等名 International elastomer conference(American chemical society rubber divission) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Miyata, Raita Goseki, Takashi Ishizone, Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Atomic-scale Analysis of Polymer Configurations and Conformations using Electron Microscopy
3. 学会等名 3rd G'Lowing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yohei Sato, Yasufumi Kuwauchi, Wakana Miyoshi and Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Visualization of chemical bonding in a silica-filled rubber nanocomposite using STEM-EELS
3. 学会等名 The 38th International Conference of the Microscopy Society of Thailand (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 電子顕微鏡によるナノコンポジット材料の界面・高次構造評価の現状
3. 学会等名 第69回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊大介、長尾知彦、宮田智衆、王孝方、丸林弘典、陣内浩司
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いたシリカナノ粒子分散ゴム延伸過程の解析
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊大介、長尾知彦、宮田智衆、丸林弘典、陣内浩司
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いたシリカナノ粒子分散架橋ゴムにおける亀裂進展過程の解析
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊大介、長尾知彦、宮田智衆、王孝方、丸林弘典、陣内浩司
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いたシリカナノ粒子分散架橋ゴムにおける亀裂進展過程の解析
3. 学会等名 顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末永崇文、渡邊大介、宮田智衆、丸林弘典、陣内浩司
2. 発表標題 ブロック共重合体試料の分子量・組成分布がダブルジャイロイド構造の形態に与える影響
3. 学会等名 顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末永崇文、渡邊大介、王孝方、宮田智衆、丸林弘典、陣内浩司
2. 発表標題 ブロック共重合体の分子量・組成分布がダブルジャイロイド構造の欠陥に及ぼす影響
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水克典、宮田智衆、陣内浩司
2. 発表標題 ゴム/黄銅接着界面の引張破壊挙動観察
3. 学会等名 顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水克典, 宮田智衆, 陣内浩司
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いたゴム/黄銅接着界面の引張破壊挙動の可視化
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水克典, 宮田智衆, 陣内浩司
2. 発表標題 電子顕微鏡技術を用いたゴム/黄銅接着界面の破壊機構観察
3. 学会等名 第58回日本接着学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 亮太, 萩田克美, 富永哲雄, 陣内浩司
2. 発表標題 シリカ充填SBR中のフィラー凝集構造の2次元散乱パターンRMC推定に対する形態解析
3. 学会等名 エラストマー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 ナノコンポジット材料におけるナノ構造解析
3. 学会等名 ナノファイバー学会第 10 回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陣内浩司
2. 発表標題 ソフト/ハードナノコンポジットの延伸下における応力の直接可視化
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2021 オペランド・先端計測のデジタルトランスフォーメーション (DX) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋田克美
2. 発表標題 フィラー充填ゴムの物性解明に向けた統合的な計算科学的解析法の研究
3. 学会等名 日本ゴム協会 年次大会 受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田克美
2. 発表標題 ゴム中ナノ粒子の3次元構造観察とAIを援用した解析に関する研究
3. 学会等名 応用物理学会東海支部基礎セミナー 「AIを用いた画像処理・認識技術の進展」 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田克美
2. 発表標題 ゴム複合材料の粗視化分子シミュレーション
3. 学会等名 新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会 コンピュータケミストリ分科会高分子WG 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田克美、本田隆、村島隆浩、川勝年洋
2. 発表標題 環状/線状混合系のブロックコポリマー相分離構造に対する複合的分子シミュレーション解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田克美
2. 発表標題 高分子系のシミュレーション画像に対する深層学習判別性能の検討
3. 学会等名 高分子学会 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田克美, 棚橋航, 勅使河原良平
2. 発表標題 MolCol laboのSDKを活用したCOVID-19関連VR可視化教材の作成
3. 学会等名 高分子学会 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間藤芳允, 本田康平, 磯野拓也, 山本拓矢, 田島健次, 出口哲生, 佐藤敏文
2. 発表標題 分子内連鎖的環化に基づくスピロ型トポジカル高分子の精密合成と物性評価
3. 学会等名 第69回高分子学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原魁佑, 間藤芳允, 山本拓矢, 磯野拓也, 田島健次, 佐藤敏文
2. 発表標題 多環状ポリジメチルシロキサンの効率的合成の確立
3. 学会等名 日本化学会 第10回 CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 周東 真穂, 間藤 芳允, 磯野 拓也, 山本 拓矢, 田島 健次, 佐藤 敏文
2. 発表標題 環状およびかご型側鎖を有するグラフトポリマーの合成と物性評価
3. 学会等名 日本化学会 第10回 CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原魁佑, 間藤芳允, 山本拓矢, 磯野拓也, 田島健次, 佐藤敏文
2. 発表標題 多環状高分子のシリコーンゴムへの添加効果
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 周東 真穂, 間藤 芳允, 磯野 拓也, 山本 拓矢, 田島 健次, 佐藤 敏文
2. 発表標題 多官能性マクロモノマーの環化重合 によるグラフトポリマーの側鎖トポロジー制御
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2021年冬季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江部 陽, 藤原魁佑, Brian J. Ree, 磯野拓也, 田島健次, 佐藤敏文
2. 発表標題 グラフトポリマー混合シリコンゴムの調製と物性評価
3. 学会等名 高分子学会 第55回北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Static and dynamical 3D characterizations of the organic-inorganic interface in nano-composite materials using electron microscopy
3. 学会等名 Asia-Pacific Microscopy Conference (APMC-2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Dynamical characterizations of organic-inorganic interface in nano-composite materials using advanced electron microscopy
3. 学会等名 the 9th International Conference on Advanced Fibers and Polymer Materials (ICAFPM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Dynamical Characterization of Organic-Inorganic Interface in a Nano-Composite Using Electron Microscopy
3. 学会等名 The 11th Anniversary of Federation of Asian Polymer Societies (FAPS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Recent Developments in Electron Tomography and FIB/SEM Serial Sectioning for 3D Morphological Analysis in Polymer Composites
3. 学会等名 The 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society "Workshop on Minerals, Organics, and Water in 3D View" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Development of 3D Tomography Holder for Tensile Deformation for Soft Materials
3. 学会等名 10th International Conference on Materials for Advanced Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Jinnai
2. 発表標題 Dynamical characterizations of organic-inorganic interface in nano-composite materials using advanced electron microscopy
3. 学会等名 European Polymer Congress 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 清水 克典 宮田 智衆 陣内 浩司	4. 発行年 2020年
2. 出版社 一般社団法人 日本接着学会	5. 総ページ数 41
3. 書名 日本接着学会誌 Vol.56 No.1	

〔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	佐藤 敏文  (Sato Toshifumi)  (80291235)	北海道大学・工学研究院・教授    (10101)	
研究分担者	萩田 克美  (Hagita Katsumi)  (80305961)	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・応用科学群・講師    (82723)	

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