

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05612

研究課題名(和文)優れた力学特性と室温での自己修復性を両立したイオン性エラストマーの開発

研究課題名(英文)Self-Healing Ionic Elastomers that Exhibit Good Mechanical Properties

研究代表者

三輪 洋平 (Miwa, Yohei)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：10635692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：シス体の幾何構造をもったポリイソブレン(PI)にカルボキシ基を付加し、それらをナトリウムカチオンによって中和したイオン性PIエラストマーについて、優れた力学強度と、室温での自発的な自己修復性の両立を目指して、その分子構造と物性の関係を詳細に調査した。まず、このポリマーの分子量とイオン基付加量に関して最適値を探索したが、どの様に変化させたとしても、力学強度と自己修復性の両立はできなかった。一方で、結晶性のトランス体の幾何構造をもったPIをごく少量混合した場合には、自己修復性を損ねることなく、力学強度を向上できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エラストマーは生物の皮膚のように優れた柔軟性や弾力を有する。もし、人工物であるエラストマーに生物の皮膚の様な自己修復性を付与できれば、エラストマーはそのパフォーマンスを長期間維持し、製品の長寿命化だけでなく、美しい外観の維持、安心・安全の担保、省資源・省エネなどにも大きく貢献できるに違いない。一方で、現状では、室温ですばやく自己修復するエラストマーは力学的に弱いという問題がある。本研究では、この問題を克服すべく、自己修復性のイオン性エラストマーについて、分子構造と自己修復性などのパフォーマンスの関係を詳細に調査し、より良い自己修復性エラストマーの設計のための有用な情報を得た。

研究成果の概要(英文)：Combination of the strength and self-healing speed is the critical issue for self-healing elastomers. In this work, effects of the molecular structure of the ionically crosslinked cis-polyisoprene (PI) elastomer on the morphology, mechanical properties, and the self-healing behavior have been studied. In this elastomer, ionic groups attached to the polymer chains form ionic aggregates, and these ionic aggregates act as the physical crosslinks. In this elastomer, the ionic groups are hopping between ionic aggregates at room temperature. Namely, the ionic network dynamically rearranges. We found that the increases in the ionic group content and the molecular weight enhance the mechanical properties but reduce the self-healing rate of the elastomer. On the other hand, we also found that strong mechanical properties and autonomous self-healing capability at room temperature are combined via coexistence of ionic crosslinks and crystalline components provided via blending with trans-PI.

研究分野：高分子化学

キーワード：エラストマー イオン アイオノマー 自己修復 引張試験 小角X線散乱 ネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

例えば、人の皮膚は日々酷使されているにもかかわらず 100 年以上も使用することができる。一方で、柔軟なポリマーを架橋したエラストマーも皮膚のように柔軟性や弾力を有するが、そのパフォーマンスを維持できる期間ははるかに短い。これは、人の皮膚とは異なって、人工物であるエラストマーには自己治癒、自己防衛、新陳代謝などの機能が無いためである。しかし、もしこれらの機能を付与することができれば、エラストマーはそのパフォーマンスを維持し、製品の長寿命化だけでなく、美しい外観の維持、安心・安全の担保、省資源・省エネに大きく貢献することが期待される。このような観点から、自己修復機能をもったエラストマーに関する研究が盛んにおこなわれている<sup>1</sup>。

エラストマーに自己修復を付与する分子設計のひとつとして、例えば炭素原子間に形成される共有結合のように強く恒久的な結合ではなく、水素結合や金属 - 配位子相互作用、または相互作用やイオン凝集などの比較的弱くて可逆的な結合や相互作用によってポリマーを架橋する方法があげられる<sup>2</sup>。このようにして得られたエラストマーは、人の皮膚さながらに、室温で自発的に傷を自己修復する。しかし、この設計では、材料の力学強度の向上と自己修復機能の両方を架橋点が担うことになる。そのために、素早い自己修復性を示すエラストマーほど、力学的に弱く(破断強度は 1 MPa 以下がほとんど)、形状安定性(クリープ特性)が良くないという問題がある。つまり、いかに材料の力学強度と自己修復性を両立させるのが、この分野の現在まで続く大きな課題である。

### 2. 研究の目的

我々は、シス体リッチなポリイソプレン(CPI)の主鎖に少量のカルボキシ基を導入し、それらを部分的に水酸化ナトリウムで中和したイオン性エラストマーを合成した(図1)<sup>3</sup>。このエラストマーでは、イオン基どうしの凝集によってネットワーク構造が形成され、中和度が高い場合には 10 MPa 程度の比較的大きな破断強度をしめす。一方で、このエラストマーは、室温で自発的に自己修復する。すなわち、例えばシート状のエラストマー表面にカミソリをもちいて傷をつけたとしても、その傷はしばらくすると自発的に消失する。また、シートを完全に切断したとしても、その傷口どうしを接触させておくことで、自発的に傷が修復する。このような自己修復挙動は、図示したようなイオン成分のホッピングにともなうネットワークの組み換えに基づくものである。このネットワークの組み換えは、ポリマーの熱運動によるイオン基の凝集体からの引き抜きと、引き抜かれたイオン基の別の凝集体への再凝集が連続的に起こるために誘起される。そのため、例えば、中和度を低下させてイオン基どうしの凝集力を低下させた場合には、ネットワークの組み換えは頻繁に起こるようになり、それにともなって自己修復速度も増加する。一方で、中和度の低下によってエラストマーの材料強度は低下してしまう。すなわち、このエラストマーにおいても力学強度と自己修復性の両立が課題である。

本研究では、最初に、このイオン性 CPI エラストマーの構造最適化による力学物性と、自己修復性の両立の可能性を検討するために、分子量やイオン基導入量などの分子構造パラメータを変化させた場合のエラストマーの物性を詳細に調査した。さらに、結晶性のトランスポリイソプレン(TPI)成分の導入によるエラストマーの力学的な補強効果と自己修復性への影響について研究した。

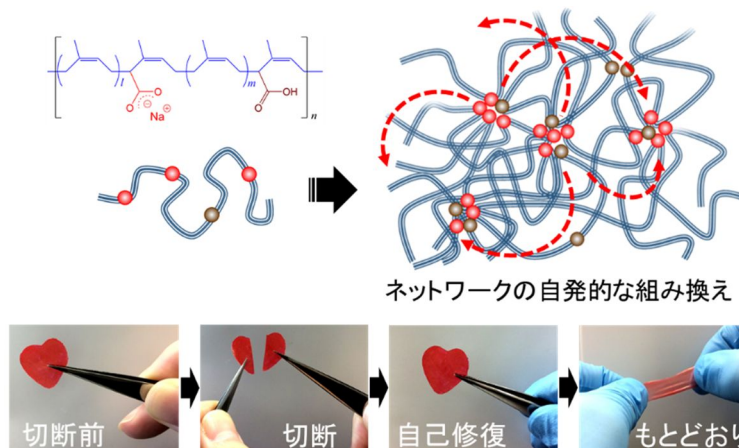


図1. イオン性 CPI エラストマーの化学構造と凝集状態の模式図。また、このイオン性 CPI エラストマーの室温における自発的な自己修復の様子。

### 3. 研究の方法

#### (1)イオン性 CPI エラストマーの力学強度と自己修復性に対する分子構造の影響<sup>4</sup>

表1に示したように、分子量とカルボキシ基導入量を系統的に変化させたイオン性 CPI エラストマーを既報の方法によって合成した<sup>3</sup>。各試料は、水酸化ナトリウムによってカルボキシ基を中和し、その中和度は 85 ~ 90%とした。このイオン性 CPI エラストマーの内部構造の解析は、高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリーのビームライン BL-6A で実施した小角 X

線散乱 (SAXS) によっておこなった。また、ネットワークの組み換え挙動はレオロジー測定から評価した。さらに、試料の力学特性は、ダンベル形状に成形した試料片の引張測定によっておこなった。試料の自己修復特性についても引張測定から評価した。すなわち、カミソリによって切断した試料片の傷口どうしを接触させ、 $27 \pm 1$  にて 64 時間静置した後引張測定をおこなった。その見かけの破断エネルギーの回復度を自己修復率として評価した。

表1. 試料の分子特性

試料コード	数平均分子量	多分散指数	COOH / mol%	中和度 / %
PI1	12 400	1.05	N/A	N/A
PI1(2.5)86Na			2.5	86
PI1(1.2)85Na			1.2	85
PI2	96 900	1.04	N/A	N/A
PI2(2.7)90Na			2.7	90
PI2(1.4)85Na			1.4	85
PI3	500 000	1.22	N/A	N/A
PI3(1.6)90Na			1.6	90

(2) 結晶成分を導入したイオン性ポリイソプレンエラストマーの力学強度と自己修復性<sup>5</sup>

99%のトランス幾何ユニットを有するポリイソプレン(TPI) (重量平均分子量 331000、多分散指数 8.16) に対して、繰り返し構造の 1.6 mol%の割合でカルボキシ基を導入し、その 90%をナトリウムカチオンで中和した TPI-90Na を合成した。また、80%のシス幾何ユニットを有する CPI (重量平均分子量 91800、多分散指数 1.07) に対して、繰り返し構造の 1.6 mol%の割合でカルボキシ基を導入し、その 90%をナトリウムカチオンで中和した CPI-90Na についても合成した。さらに、これらの試料を所定の割合で均一に混合した Blend-*n* (*n* は TPI-90Na の重量分率) を作成して実験をおこなった。

4. 研究成果

(1) イオン性 CPI エラストマーの力学強度と自己修復性に対する分子構造の影響<sup>4</sup>

イオン性エラストマーのベースとなる CPI として、分子量の大きく異なる PI1、PI2、PI3 をそれぞれ合成し、これら CPI にそれぞれカルボキシ基を付加し、それらの 85~90%を水酸化ナトリウムによって中和することでイオン性 CPI エラストマーを得た。

図2に例示するように、イオン性 CPI エラストマーでは、SAXS において、イオン凝集体に由来するブロードな散乱が観察された。この散乱を Cooper らによって報告された修正剛体球モデル<sup>6</sup>によってシミュレーションすることで、イオン凝集体の構造解析をおこなったところ、イオン性 CPI エラストマーの分子量やカルボキシ基の付加量に関わらず、いずれの場合においても、イオン凝集体の半径は約 1 ナノメートルであった。一方で、イオン凝集体の数密度は、カルボキシ付加量の増加にしたがって増加した。これらイオン性 CPI エラストマーでは、イオン凝集体の形成にともなって図1のようなネットワーク構造が形成される。そのため、CPI のイオン化にともなうゴム状平坦域の大幅な増加が観察された(図3)。また、イオン性 CPI エラストマーではネットワークの組み換えに由来する新たな緩和が約 25 付近に観察された。この緩

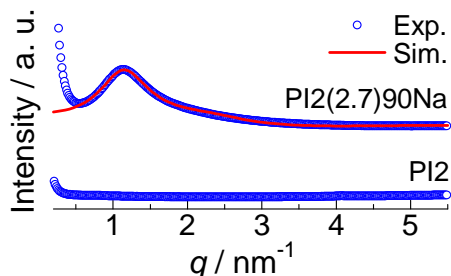


図2. 各試料の SAXS パターン<sup>4</sup>。イオン性 CPI エラストマーではイオン凝集体どうしの干渉に由来するブロードな散乱が観察される。散乱パターンは Cooper モデル<sup>6</sup>によってシミュレーションした。

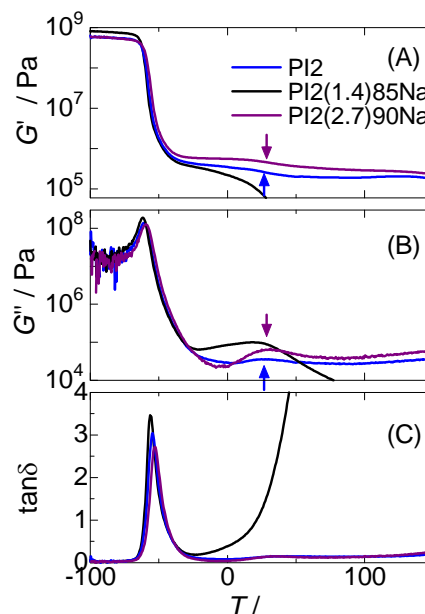


図3. 各試料の(A) 貯蔵せん断弾性率 ( $G'$ )、(B) 損失せん断弾性率 ( $G''$ )、(C) 損失正接 ( $\tan\delta$ ) の温度依存性<sup>4</sup>。矢印で示した緩和は、ネットワークの組み換えに帰属される。

和の温度は、イオン性 CPI エラストマーの分子量やカルボキシ基付加量の影響をほとんど受けなかった。これは、このネットワークの組み換えがポリマーのセグメント運動に関係するために、

ある程度分子量が大きく、また、イオン基濃度が極端に高くない場合には影響が小さいためだと考えられる。

イオン性 CPI エラストマーの室温での一軸延伸における応力-ひずみ曲線を図 4 に示す。延伸速度は  $100 \text{ mm min}^{-1}$  である。同一の分子量で比較した場合、カルボキシ基の付加量が多いほど高い破断強度を示すことがわかった。これは、物理的な架橋点として作用するイオン凝集体の増加にともなう効果であると考えられる。さらに、同程度のカルボキシ基の付加量で比較した場合には、分子量の増加にともなうからみあいの増加のために試料の伸びが抑制された。また、このような試料では形状安定性も高いことをクリープ試験から確認した。

比較的高い破断強度を示した PI2(1.4)85Na、PI3(1.6)90Na、PI3(2.7)90Na について、自己修復性の評価をおこなった。試料片をカミソリによって切断し、その切断面どうしを接触させた状態で  $27 \pm 1$  で 64 時間静置した場合の自己修復率を求めた (図 5)。その結果、分子量の増加やカルボキシ基の付加量増加にともなってイオン性 CPI エラストマーの力学的な強度と形状安定性は増加する一方で、自己修復率は低下してしまうことが確認された。すなわち、イオン性 CPI エラストマーにおいては、その分子構造をどの様に最適化したとしても、材料の力学強度と自己修復性の両立は困難であると結論付けられる。これは、この材料の自己修復が切断面の間で起こるポリマーの相互拡散に由来するためであると考えられる。

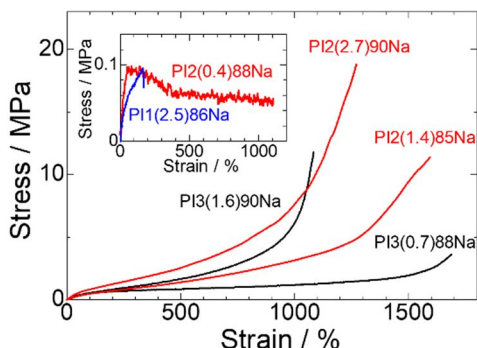


図 4. 各試料の一軸延伸における応力-ひずみ曲線<sup>4</sup>。挿入図は、低応力領域の拡大図。

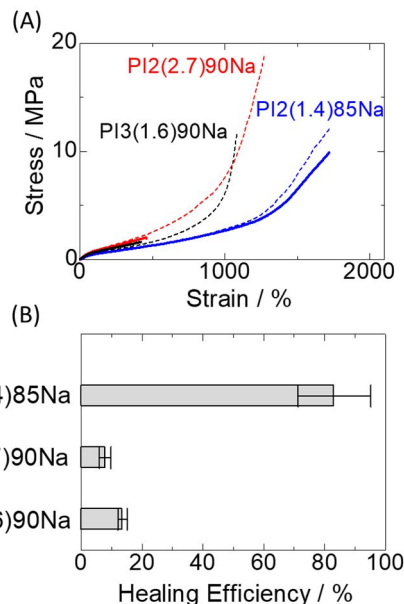


図 5. (A) 各試料の切断前(破線)および自己修復後(実線)における応力-ひずみ曲線<sup>4</sup>。自己修復は  $27 \pm 1$  で 64 時間おこなった。(B) 見かけの破断エネルギーの回復度から計算した自己修復率。

## (2) 結晶成分を導入したイオン性ポリイソプレンエラストマーの力学強度と自己修復性<sup>5</sup>

CPI-90Na と TPI-90Na はブレンドにおいて完全な相溶性を示す。各試料の結晶化特性を熱分析 (DSC) および X 線回折 (XRD) で調査した。DSC では TPI-90Na において結晶成分に由来する融点が約 56 に観察された。また、XRD においても、TPI-90Na では、その結晶成分に由来するブラッグ回折が観察された。一方で、ブレンド試料では非晶性の CPI-90Na 成分の増加に伴い、DSC の融点における吸熱の減少と、ブラッグ回折強度の低下が観察された。DSC と XRD の結果より、それぞれ融点における吸熱の大きさと、ブラッグ回折強度の大きさから各試料の結晶化度 ( $X_c$ ) を求め、TPI-90Na の含有量に対してプロットして比較した (図 6)。興味深いことに、TPI-90Na の含有量が少ない場合、XRD によって求められる値は、DSC から求められる値よりも顕著に小さいことがわかった。これは、ブレンド試料で形成される結晶領域は、DSC における融解熱では検出される一方で、きわめて秩序性が低いために、XRD におけるブラッグ回折強度が低いたためだと考えられる。もしかしたら、このような構造体の名称として“結晶”という用語を使用すること自体が適当ではないかもしれないが、ここでは“秩序性の低い結晶”とよぶことにする。

粘弾性測定によって各試料の弾性率の温度依存性を評価したところ、ブレンド試料は、その TPI-90Na の含有量に依存して、CPI-90Na と比較して高い弾性

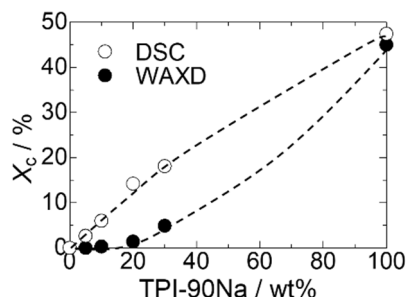


図 6. DSC と XRD で求めた各試料の  $X_c$  の比較<sup>5</sup>。

率を示すことがわかった。28 で比較した場合、例えば Blend-20 は CPI-90Na の 7 倍以上の弾性率の増加が見られた。これは、上で述べたように、結晶成分の秩序性が低いにも関わらず、その導入による補強効果が大きいためであると考えられる。

これら試料の自己修復性を評価した結果を図 7 に示す。ここでは、試料片をカミソリで切断した後、 $27 \pm 1$  にて 48 時間自己修復させた後の見かけの破壊エネルギーの回復率から自己修復率を算出した。TPI-90Na は、まったく自己修復しなかった。一方で、驚くべきことに、TPI-90Na の含有率が 20wt% 以下の場合には、その弾性率が CPI-90Na よりも大きく増加しているにも関わらず、CPI-90Na と比べて自己修復率に大きな遜色が見られないことがわかった。

これらブレンド試料の自己修復メカニズムを明らかにするために、赤外分光分析によって、カミソリをもちいて切断した直後の切断面を観察したところ、切断におけるカミソリとの摩擦が原因となり“秩序性の低い結晶”の融解が起こることがわかった。さらに、結晶性の TPI-90Na を 20wt% 以下のごく少量含有するエラストマーでは、融解した“秩序性の低い結晶”の再形成速度が室温では極端に遅いことがわかった。一方で、TPI を 30wt% 以上含む場合には、融解した結晶成分は、迅速に結晶化した。この切断によって融解した結晶成分の室温における結晶化速度の違いが、この現象を理解するカギになると考えられる。

本研究で得られた実験結果より、図 8 に示したモデルを提案した。すなわち、ブレンドエラストマーの結晶成分は秩序性が低いにもかかわらず、第二架橋成分として力学的な補強効果をしめす一方で、切断による摩擦によって容易に融解する。このとき、非晶状態の切断面どうしを合わせることでイオン架橋の組み換えによって自己修復が進行するものの、“秩序性の低い結晶”の再形成がゆっくりと進行する場合には、ポリマーの相互拡散の方がはやく進行するために、自己修復が妨げられないと考えられる。すなわち、“秩序性の低い結晶”の再形成が室温においてゆっくりと進行することが、自己修復速度と材料の力学強度の両立のカギであると考えられる。

結論として、本研究では、室温でゆっくりと再形成する結晶成分をイオン性 CPI エラストマーに導入することによって、その自己修復速度を損なうことなく、材料の力学強度を増加できることを発見し、そのメカニズムも解明した。

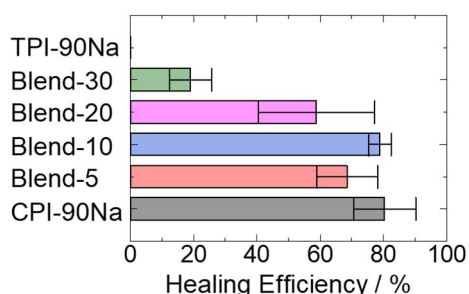


図 7. 各試料の見かけの破壊エネルギーの回復度から計算した自己修復率<sup>5</sup>。自己修復は  $27 \pm 1$  で 48 時間おこなった。

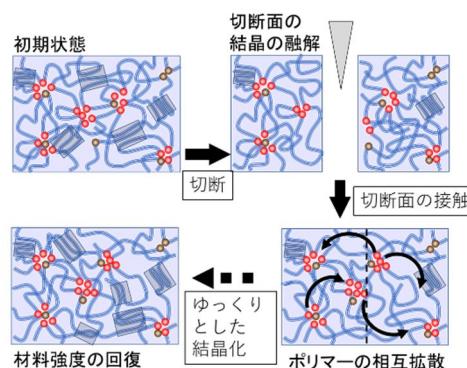


図 8. ブレンド試料における自己修復メカニズムの模式図<sup>5</sup>。

#### < 引用文献 >

- (1) 自己修復材料、自己組織化、形状記憶材料の開発と応用事例 技術情報協会 2020.
- (2) Yang, Y.; Urban, M. W. *Chem. Soc. Rev.* **2013**, 32, 7446.
- (3) Miwa, Y.; Kurachi, J.; Kohbara, Y.; Kutsumizu, S. *Commun. Chem.* **2018**, 1, 5.
- (4) Miwa, Y.; Kurachi, J.; Sugino, Y.; Udagawa, T.; Kutsumizu, S. *Soft Matter* **2020**, 16, 3384.
- (5) Miwa, Y.; Yamada, M.; Shinke Y.; Kutsumizu, S. *Polym. Chem.* **2020**, 11, 6549.
- (6) Yarusso, D. J.; Cooper, S. L. *Polymer* **1985**, 26, 371.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miwa Yohei, Yamada Mayu, Shinke Yu, Kutsumizu Shoichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Autonomous self-healing polyisoprene elastomers with high modulus and good toughness based on the synergy of dynamic ionic crosslinks and highly disordered crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 6549 ~ 6558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0py01034k	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 Hayashi Mikihiro, Obara Haruna, Miwa Yohei	4. 巻 6
2. 論文標題 Design and basic properties of polyester vitrimers combined with an ionomer concept	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 234 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1ME00002K	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 Miwa Yohei, Taira Kenjiro, Kurachi Junosuke, Udagawa Taro, Kutsumizu Shoichi	4. 巻 10
2. 論文標題 A gas-plastic elastomer that quickly self-heals damage with the aid of CO2 gas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1828-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-09826-2	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 Miwa Yohei, Kurachi Junosuke, Sugino Yusuke, Udagawa Taro, Kutsumizu Shoichi	4. 巻 16
2. 論文標題 Toward strong self-healing polyisoprene elastomers with dynamic ionic crosslinks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 3384 ~ 3394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0sm00058b	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 Miwa Yohei, Koike Manato, Kohbara Yu, Kutsumizu Shoichi	4. 巻 197
2. 論文標題 Effects of fatty acids having different alkyl tail lengths on rigidity of the shell region surrounding an ionic core and mechanical properties of poly(ethylene-co-methacrylic acid) ionomer/fatty acid blends	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 122495 ~ 122495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.122495	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41件(うち招待講演 13件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 角田雅利、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 動的なイオン架橋を有するポリイソプレンエラストマーの接着への応用
3. 学会等名 日本ゴム協会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大矢健人、三輪洋平、平健二郎、沓水祥一
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性シリコンエラストマーのイオン基まわりの化学構造の設計
3. 学会等名 日本ゴム協会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平・山田麻友・新家 雄・沓水祥一
2. 発表標題 弾性率の向上と室温での自己修復性の両立を目指した結晶成分をもったイオン性ポリイソプレンエラストマーの設計
3. 学会等名 日本ゴム協会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 イオン架橋の動的特性制御によるエラストマーの高機能化
3. 学会等名 日本ゴム協会2020年年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角田雅利、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 動的なイオン架橋を有するポリイソプレンエラストマーの接着への応用
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 大矢健人、三輪洋平、平健二郎、沓水祥一
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性シリコーンエラストマーのイオン基まわりの化学構造の設計
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 三輪洋平、山田麻友、新家 雄、沓水祥一
2. 発表標題 室温で自己修復するイオン性ポリイソプレンエラストマーの結晶成分導入による高強度化
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 三輪洋平、小池真人、沓水祥一
2. 発表標題 イオン凝集体のミクロスコピックな特性がエチレンアイオノマーの力学特性に与える影響
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 大矢健人、三輪洋平、平健二郎、沓水祥一
2. 発表標題 イオン性シリコンエラストマーのイオン基まわりの化学構造の設計
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 角田雅利、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 動的なイオン架橋を有するポリイソプレンエラストマーの溶融接着特性
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 三輪洋平
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性エラストマー ～自己修復と気体可塑性を中心に～
3. 学会等名 第98回 高分子学会関東支部千葉地区講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 CO <sub>2</sub> ガスを利用して自己修復を誘起・促進するイオン性エラストマー
3. 学会等名 日本化学会秋季事業 第10回CSJ化学フェスタ2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 CO <sub>2</sub> ガスを利用して自己修復を誘起・促進するイオン性エラストマー
3. 学会等名 2020年繊維学会秋季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 室温で自己修復するイオン性エラストマー
3. 学会等名 触媒学会規則性多孔体研究会 第28回規則性多孔体セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性エラストマー
3. 学会等名 日本接着学会 接着界面科学研究会Part 第3回例会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川功季、三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 イオン性ポリイソプレンエラストマーの物性に対する中和金属イオン種と中和度の効果
3. 学会等名 第31回エラストマー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角田雅利、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 イオン性ポリイソプレンエラストマーの分子構造が接着特性に与える影響
3. 学会等名 第31回エラストマー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大矢健人、三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性シリコンエラストマーの架橋部位の化学構造の設計
3. 学会等名 第31回エラストマー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 イオン架橋の動的特性制御によるエラストマーの高機能化
3. 学会等名 日本ゴム協会関東支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 動的な架橋を有するアイオノマー ～自己修復性と気体可塑性を中心に～
3. 学会等名 FAMCO (先端機能材料R&Dコンソーシアム) オンライン成果発表会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 動的な架橋を有するアイオノマー ～自己修復性と気体可塑性～
3. 学会等名 高分子加工技術研究会 第92回例会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三輪洋平、平健二郎、門勇輔、宇田川太郎、沓水祥一
2. 発表標題 室温で自発的な自己修復性をしめすイオン性シリコンエラストマー
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 小池真人、三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 脂肪酸の導入によるエチレンアイオノマーのイオン凝集体の改質が材料物性に及ぼす影響
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 三輪洋平、山田麻友、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 結晶成分を有する動的イオン架橋エラストマーの力学特性と自己修復性
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 長谷川功季、三輪洋平、倉地寿乃介、宇田川太郎、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 動的イオン架橋エラストマーの力学特性と自己修復挙動に対する中和金属イオン種の効果
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 三輪洋平、平健二郎、宇田川太郎、沓水祥一
2. 発表標題 イオン性シリコンエラストマーの自己修復発現メカニズム
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田麻友、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 力学特性と自己修復性の両立を目指した結晶成分を有するイオン性ポリイソプレンエラストマーの設計
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川功季、三輪洋平、宇田川太郎、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 中和金属イオン種の違いによるイオン性ポリイソブレンエラストマーの物性の変化
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平健二郎、三輪洋平、宇田川太郎、沓水祥一
2. 発表標題 CO2を利用して自己修復するイオン性シリコンエラストマー
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池真人、三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 エチレンアイオノマーにおけるイオン凝集体の局所ガラス転移温度と引張挙動の関係
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 ラベル・プローブ法による高分子材料の局所物性解析
3. 学会等名 日本分析化学会 高分子分析研究懇談会 第399回例会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohei Miwa, Kenjiro Taira, Taro Udagawa, Shoichi Kutsumizu
2. 発表標題 An Ionic Silicone Elastomer that Quickly Self-Heals Damage with the Aid of CO2 Gas
3. 学会等名 2019 Malaysia Polymer International Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田麻友、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 力学特性と自己修復性を両立した結晶成分を有するイオン性ポリイソブレンエラストマーの自己修復メカニズムの解明
3. 学会等名 第50回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田麻友、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 結晶成分によって力学特性と自己修復性を両立したアイオノマーの自己修復メカニズムの解明
3. 学会等名 第32回アイオノマーシンポジウム in 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川功季、三輪洋平、沓水祥一、新家雄
2. 発表標題 中和金属イオン種の違いによるポリイソブレンアイオノマーの物性の変化
3. 学会等名 第32回アイオノマーシンポジウム in 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平健二郎、三輪洋平、宇田川太郎、沓水祥一
2. 発表標題 CO2によって可塑化するシリコンアイオノマー
3. 学会等名 第32回アイオノマーシンポジウム in 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池真人、三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 エチレンアイオノマーにおけるイオン凝集体の局所ガラス転移温度と引張挙動の関係
3. 学会等名 第32回アイオノマーシンポジウム in 東京
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪洋平、平健二郎、宇田川太郎、沓水祥一
2. 発表標題 CO2ガスですばやく自己修復するイオン性シリコンエラストマー
3. 学会等名 第28回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪洋平、沓水祥一
2. 発表標題 動的な架橋を有するイオン性エラストマー
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 CO2ガスで自己修復を加速する気体可塑性エラストマーの設計
3. 学会等名 精密ネットワークポリマー研究会 第13回若手シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪洋平
2. 発表標題 自己修復するイオン性エラストマー
3. 学会等名 2019年度第2回 省エネルギーに貢献する粒子設計・粉体プロセスの薬工連携ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 三輪洋平（分担執筆）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社技術情報協会	5. 総ページ数 7（担当部分）
3. 書名 自己修復材料、自己組織化、形状記憶材料の開発と応用事例	

〔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

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