

2020 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	光分解性架橋点の導入による架橋ゴムの光分解
キーワード	① 架橋ゴム、②光分解、③リサイクル

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	イシダ ヨシヒト 石田 良仁
配付時の所属先・職位等 (令和2年4月1日現在)	帝京科学大学 総合教育センター 講師
現在の所属先・職位等 (令和4年7月1日現在)	帝京科学大学 総合教育センター 講師
プロフィール	時代ごとに材料に求められる要求は変遷します。それに対して、私は分子を設計するところからはじめ、実際に設計した分子を合成し、得られた分子の性能を実際に評価するという研究手法で研究を進めております。このように、合成から性能評価までを横断的に研究できる研究者というのは少なく、その特徴を生かした研究を進めています。

1. 研究の概要

私は、高耐久性のゴム材料に対して、その物性を維持しつつ分解性を付与した新規低環境負荷なゴム材料の開発を目的として研究を推進している。本研究では、その萌芽的な研究として、ゴム材料の物性発現のもととなる、架橋点のみに光分解性を付与した新規架橋ポリウレタンゴムを合成し、その機械的物性と光分解性について検討を行った。

光分解性の架橋剤および、それを導入した架橋ポリウレタンゴムは、従来のゴムと同様の手法で合成することができた。得られたゴムは、全体の中のごく少量しか含まれない架橋点のみに分解性を有しているため、ほかのゴムと同様な機械的性質を示した。一方で、ゴムに紫外線を数日間照射することで表面に多数のひびが見られ、本研究の開始当初に目的としていた通りの光分解性を示した。

これらの結果から、本研究のゴム材料を従来材料から置き換えることで、使用時には所望の機械的性質を示しつつ、使用後には光により容易に分解できることが示唆された。これは、近年問題とされるマイクロプラスチック問題の解決につながる材料の設計方法となり得る。

2. 研究の動機、目的

高分子はプラスチック成型品や繊維、ゴム、接着剤などさまざまな用途で使用されており、現代の生活を支える基盤材料となっている。PET などの熱で再成型できるプラスチック(熱可塑性樹脂)のリサイクルは進んでいる。一方で、高分子鎖同士の架橋反応を伴ってできるゴムや接着剤などの熱硬化性樹脂は、高分子鎖同士が架橋点で繋がった網目構造となっているために再成型できず、リサイクルが困難である。また、熱硬化性樹脂は難分解性であるため、廃棄後に環境中に残り続けることも問題である。熱硬化性樹脂のリサイクルや廃棄時の低環境負荷化を達成するためには、社会的な取り組みではなく、材料化学的なアプローチが必須となる。つまり、製品として使用する際には所望の機能を発揮し、使用後には容易に分解・リサイクルできるしくみをあらかじめ分子構造中に組みこんだ熱硬化性樹脂の開発が求められる。

そこで、本研究では熱硬化性樹脂の代表的な物質であるゴム材料に着目し、高分子鎖同士を

橋掛けする架橋点のみに光分解機構を組みこむこととした。これにより、使用時には優れた物性を発揮し、使用後には光により架橋点のみが切断されて分解する、資源循環型社会に対応した新しいゴム材料が得られると考えた。

3. 研究の結果

光分解性の3官能性架橋剤を2段階の簡便な反応により合成し、¹H-NMR、FT-IR スペクトルによる構造解析の結果、目的とする光分解性架橋剤が得られたことが分かった。また、これを導入した

熱硬化性ポリウレタンゴムをプレポリマー法により合成した。高分子ジオール（ポリプロピレングリコール、分子量 2000）3 等量とジイソシアネート 6 等量との反応によりプレポリマーを合成した。続いて3官能性の光分解性架橋剤を2等量加え、型に入れて150℃で7日間加熱することで目的とする光分解性ゴム **P1** の合成を行った。対照物質として、光分解性を持たない市販の3官能性の架橋剤(Trimethylolpropane: TMP)を用いて、同様の手法でポリウレタンゴム **P2** を合成した。得られたゴムの構造解析をFT-IR スペクトルにより行ったところ、両者はほぼ同一スペクトルを示したが、光分解性のゴム材料のみに架橋剤の光分解性の σ -ニトロ基ベンジル基由来の吸収が確認できたことから、目的とする光分解性ゴムが合成できたことが分かった。同様の方法で、高分子ジオールの種類や分子量のみを変えた種々の光分解性ゴム、および対照となる TMP を用いたゴムの合成を行った。

次に、得られたゴム材料の機械的性質を引張試験により調べた。その結果、架橋剤のみが異なるゴム **P1** と **P2** の応力-ひずみ曲線はほとんど同じ形となった。また、切断時の最大引張応力や最大伸び率についても、高分子ジオールの種類のみに依存し、使用した架橋剤には依存しないことが分かった。これらの結果から、現在用いられているさまざまな架橋ポリウレタンゴムの架橋点を光分解性のものに置き換えることで、従来材料の機械的性質を維持しつつ、光分解性のみを新たに付与できることが示唆された。

本研究の目的である、架橋ゴムに光分解性を付与できたかを明らかにするために、**P1** および **P2** の光分解性を調べた。1 cm 角、2 mm 厚の板状の **P1** と **P2** に対して紫外線を5日間照射し、ゴムの表面形状の観察を行った。その結果、光分解性の架橋剤を持つ **P1** の表面のみに多数のひび割れが生じ、**P2** には薄黄色の着色が生じたものの、ゴムの表面にひびは見られなかった。これらの結果から、本研究で目的とする架橋ゴムとしての優れた機械的性質を保持しつつ、光分解性のみを付与することに成功した。

今後は、ゴムの分解機構の詳細を明らかにすることや、ゴムの分解により生成する物質の構造解析を進める。また、シロキサンゴムなどの他の架橋ゴムへの光分解性の付与や、光以外の刺激（酸塩基・酸化還元・酵素など）に対する分解性の付与についての検討を行う予定である。

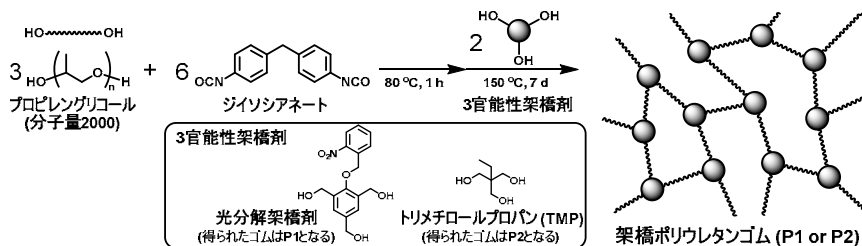


図1. 架橋ポリウレタンゴム **P1** および **P2** の合成

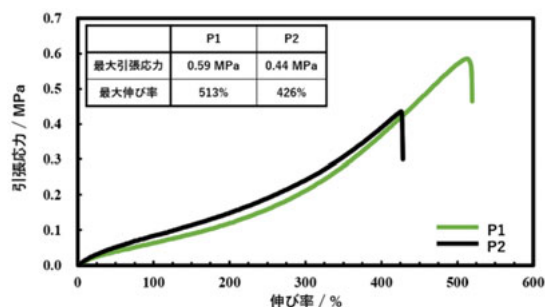


図2. **P1** および **P2** の応力ひずみ曲線

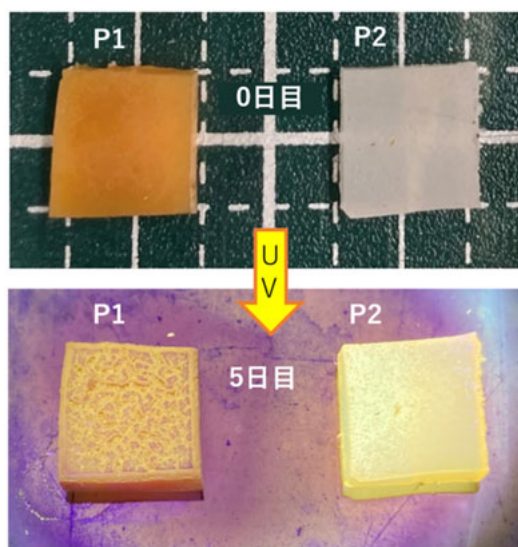


図3. **P1** および **P2** への紫外線照射前後におけるゴム表面の様子

4. 研究者としてのこれからの展望

私の研究者としての特徴は、その時代ごとに求められる材料の機能を見定め、所望の機能を有する分子（高分子）を設計し、実際に設計した分子（高分子）を合成し、得られた分子（高分子）の機能を実際に評価する、という一連の研究を一人で横断的に取り組めるところにあると考えています。

本研究においても、近年注目されているマイクロプラスチック問題に対して、リサイクルの仕組みから外れるゴム材料に着目し、材料化学の分野から本質的な解決策を示すことができましたと考えています。本研究で合成した光分解性ゴムをさらに発展させ、光以外刺激で分解できるゴムや、ほかの種類のゴム材料に分解性を付与させることも継続したいと考えております。それだけに留まらず、今後も社会的な仕組みでは解決できない問題に対して材料化学によって本質的な解決策が示せるよう研究を進めて参ります。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

数年前に現在所属する大学に着任した際、研究設備も研究資金もほとんどなく、萌芽的な研究の予備実験などをするにも苦勞をしていました。そのような状況において、若手・女性研究者奨励金は大きな助けとなり、基礎的な研究や予備実験を積み重ねることで科研費の採択につながりました。若手・女性研究者奨励金を支援していただいている皆様に心より御礼を申し上げます。

数百万円を超えるような高額な研究助成でなくても、その中で十分におもしろい研究をすることができます。本研究テーマにおいても、高額な装置を使用しなくても、だれが見ても研究の成果がわかるものとして、「ゴムの分解」を取り上げています。写真を見れば、だれが見てもその研究の成果とおもしろさが分かります。研究者の創意工夫でさまざまな萌芽的な研究が生み出されるこのような研究助成・奨励制度はとても価値のあるものだと考えます。今後も引き続き若手・女性研究者奨励金をご支援いただけますよう、よろしくお願い申し上げます。