

2024 年 3 月 5 日

“空気を読んで”、性質を変化させるポリマー材料 CO₂ に応答して劇的にタフになるエラストマーを実現

【本研究のポイント】

- ・ 気体の CO₂ と反応すると劇的にタフになるシリコンエラストマー^{注1)}を発明。
- ・ 周囲の“気体”を感知して性質を変化させるポリマー^{注2)}材料により、新しい CO₂ 有効活用技術を開拓。
- ・ ポリエチレンなどの他のポリマー材料にも応用が可能。

【研究概要】

近年、持続的に発展可能な社会の実現を目指し、主要な温室効果ガスである CO₂ の排出抑制や回収・貯留、さらに、回収した CO₂ の有効活用技術の開発が進められています。岐阜大学工学部の三輪 洋平 教授、米田 華子 大学院生らのグループは、気体の CO₂ に応答して、良く伸びて壊れにくい“タフ”な性質に変化する、新しいタイプのシリコンエラストマーを開発しました。

このエラストマーでは、内部に含まれるアミン^{注3)}と CO₂ との反応によって生成したイオン成分が集合し、それらがクッションのような働きをするために材料の破壊が抑制され、タフ化が引き起こされます(図1)。また、低濃度の CO₂ に対しても敏感に応答するだけでなく、塩化水素や無水酢酸などの他の気体にも応答して、粘着力、摩擦力、硬さ、靱(じん)性などの性質が変化します。本研究によって、「CO₂ を利用したポリマー材料の機能制御」という新しい CO₂ の有効活用技術の発展が期待されます。

本研究成果は、日本時間 2024 年 3 月 5 日(火)に Communications Materials 誌のオンライン版で発表されます。

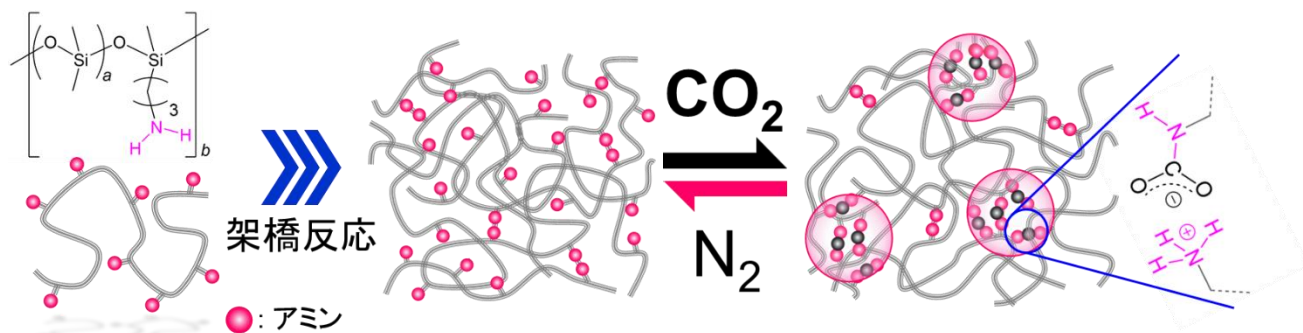


図1. CO₂によってタフになるシリコンエラストマーの分子構造の模式図

Press Release

【研究背景】

私たちも含めた動物、植物、昆虫などの生き物は、“気体”を重要な刺激として利用し、日々の生活を営んでいます。例えば、心地良い香りは気分を落ち着かせる効果がありますが、逆に、匂いで危険を察知する場合もあります。一方で、“気体”を感知して性質を変化させる材料、特に固体状態で使用できるものはほとんどありません。しかし、生き物のように“気体”を感知して、例えば、硬さや軟らかさを大きく変化させる材料があれば、息を吹きかけることでオンデマンドに形を変えられるプラスチックなど、ユニークな製品の開発につながるかもしれません。特に、主要な温室効果ガスであるCO₂に応答する材料は、例えば、CO₂を吹き付けることで、文字が表示されるシークレットインク、硬くなって傷が付きにくくなる、もしくは、逆に、軟らかくなって粘着性が増加し、滑り止め効果の生じるポリマーコーティングなど、「CO₂を利用した材料の機能制御」という、CO₂の新しい有効活用方法を切り拓く可能性があります。

【研究成果】

本研究では、CO₂をはじめとした特定の気体に応答して、良く伸びて壊れにくい“タフ”な性質に変化するシリコンエラストマーを開発しました。

このCO₂応答性エラストマーは、アミンをもつポリジメチルシロキサン^{注4)}を架橋することで容易に作成できます(図1左)。このエラストマーは空気中では軟らかくて脆(もろ)いために、例えば、端子で圧縮すると容易に圧壊してしまいます。しかし、CO₂と作用させることで劇的にタフな性質に変化し、約20メガパスカル(MPa)の圧力にも耐えることができるようになります(図2左)。ここで、20MPaの圧力は、1円玉の上に軽自動車を載せた場合の圧力におおよそ相当します。このエラストマーのタフ化は、分子スケールでの構造変化によってもたらされます。すなわち、アミンとCO₂との反応によって生じたイオン成分が集合し、あたかもクッションのように振る舞うことで、エラストマーの破壊を抑制します(図1右)。

このエラストマーは低濃度のCO₂も敏感に感知し、さらに、塩化水素や酢酸などの酸性ガスや、無水酢酸のガスなどにも応答してタフ化します(図2右)。また、エラストマー100gあたり約2.5gのCO₂を吸収します。さらに、このアミンを利用したタフ化技術は、シリコンエラストマー以外のポリマー材料にも応用可能です。例えば、社会で最も広く利用されているポリマーのひとつであるポリエチレンにもCO₂応答性を付与することができます。

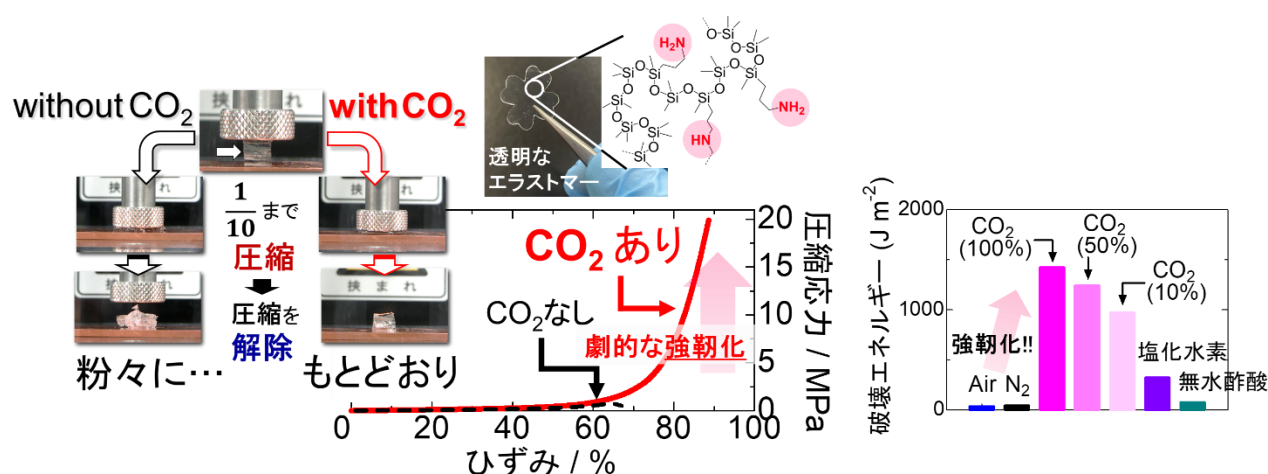


図 2. CO₂ 応答性シリコンエラストマーの外観と、CO₂ によるタフ化挙動

Press Release

【今後の展開】

三輪教授らは、これまでにCO₂によって軟化するエラストマーも開発しました^{注 5)}。現在は、CO₂によって圧倒的に硬くなるポリマー材料の開発に挑戦しています。CO₂によって硬さや軟らかさを自在にコントロール可能なポリマー材料群の実現によって、新しいCO₂有効活用技術の開拓を目指しています。

【用語解説】

注1)シリコンエラストマー:

ケイ素を含んだ有機化合物であるシリコンを原料としたエラストマー。エラストマーとは、室温で液体状のポリマーを部分的に架橋(橋架け)して得られるネットワーク状の分子形状を持ったポリマー材料です。柔軟で弾力があり、数倍以上伸び縮みすることができます。一般的に、日常では“ゴム”とよばれています。シリコンエラストマーは、スマホケースなどの日用品をはじめ、化粧品、医療品、乗り物、家電、建築材料など、例をあげると枚挙に暇がないほど日常で幅広く使われています。

注2)ポリマー:

分子量がおおよそ1万を超える巨大分子で、ひもの様に細長い分子形状をしています。プラスチックやビニール、ゴムなどとして日常で利用されています。

注3)アミン:

化学式 NH₃ で表されるアンモニアの水素原子(H)を炭化水素基(R)で置換した化学構造の総称。例えば、R-NH₂ など。

注 4)ポリジメチルシロキサン:

ケイ素を含んだ有機化合物であるシリコンのポリマーの一種で、もっとも一般的に使用されているシリコンポリマーです。

注 5)過去のプレスリリース:

2019 年 4 月 22 日に「世界初、CO₂ ガスで自己修復を促進する気体可塑性エラストマーを開発」を発表しました。<https://www.gifu-u.ac.jp/news/research/2019/04/entry25-7085.html>

【論文情報】

雑誌名: Communications Materials

論文タイトル: Elastomers mechanically reinforced and toughened with CO₂ gas

著者: Yohei Miwa, Hanako Yoneda, Takehito Ohya, Kazuma Okada, Rina Takahashi, Hayato Nakamura, Shoei Shimozaki, Kei Hashimoto, and Shoichi Kutsumizu

DOI: 10.1038/s43246-024-00457-9

論文公開 URL: <https://www.nature.com/articles/s43246-024-00457-9>

【研究者プロフィール】

三輪 洋平 (みわ ようへい) : 論文筆頭著者、論文責任著者

岐阜大学 工学部 教授

Press Release

米田 華子（よねだ はなこ）

岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 修士 2 年生

大矢 健人（おおや たけひと）

岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 令和 3 年度修了生

岡田 和真（おかだ かずま）

岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 修士 1 年生

高橋 利奈（たかはし りな）

岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 修士 2 年生

中村 勇登（なかむら はやと）

岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 令和 4 年度修了生

下崎 翔永（しもざき しょうえい）

岐阜大学 工学部 化学・生命工学科 4 年生

橋本 慧（はしもと けい）

岐阜大学 工学部 助教

沓水 祥一（くつみず しょういち）

岐阜大学 工学部 教授

【研究サポート】

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 さきがけ 研究領域「力学機能のナノエンジニアリング」（研究総括：北村 隆行）における研究課題「イオン架橋の動的特性制御によるポリマー材料の高機能化」（研究代表者：三輪 洋平 JPMJPR199B）、日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究 B（研究者：三輪 洋平 19K05612）、CCI 株式会社研究助成プログラムの支援を受けて行われました。

【問い合わせ先】

<研究に関すること>

岐阜大学 工学部 教授 三輪 洋平

電話：058-293-2565 E-mail:miwa.yohei.y6[at]f.gifu-u.ac.jp

<JST事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ 安藤 裕輔

電話：03-3512-3526 Fax:03-3222-2066 E-mail:presto[at]jst.go.jp

Press Release

<報道に関すること>

岐阜大学 総務部広報課広報グループ

電話:058-293-3377 E-mail:kohositu[at]t.gifu-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

電話:03-5214-8404 Fax:03-5214-8432 E-mail:jstkoho[at]jst.go.jp