

あっという間に傷が回復

—強靱でリサイクル可能な自己修復性超分子材料—

大阪大学大学院理学研究科博士後期課程3年の朴峻秀さんと大崎基史特任講師、同高等共創研究院の高島義徳教授、同産業科学研究所の原田明特任教授、山形大学大学院有機材料システム研究科の松葉豪教授らのグループは、高速に自己修復するゴム・エラストマー材料を作製することに成功しました。

研究グループは、二種類の高分子化合物を合成し、これを遊星型ボールミルという一般的な混合装置で混ぜ合わせることで、強靱であり、さらに自己修復機能をあわせもった、何度もリサイクル可能な超分子材料を得ました（図1）。

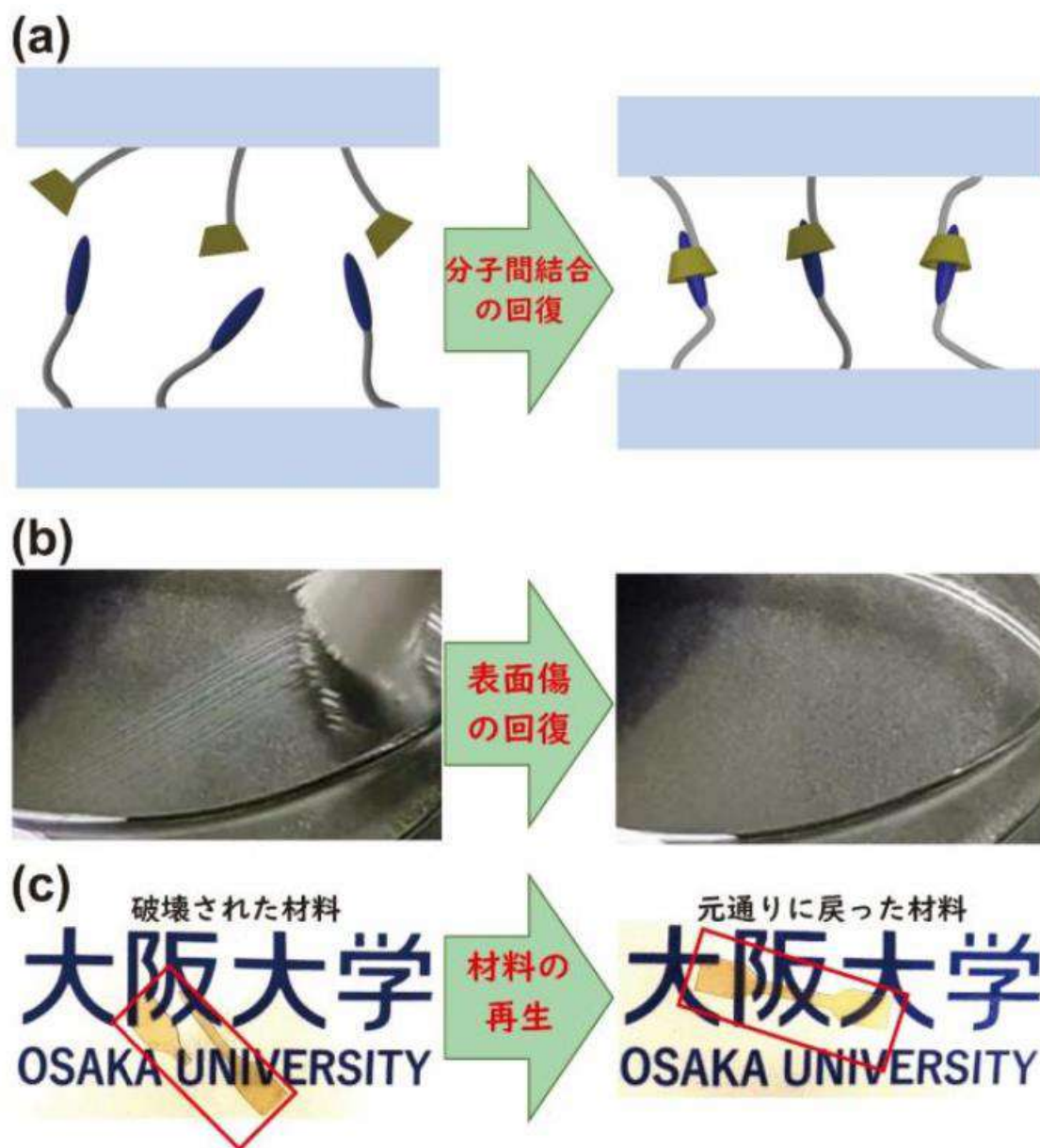


図1 本研究で開発した強靱で自己修復性を有するリサイクル可能な超分子材料

(a)自己修復やリサイクルを可能とする分子間相互作用の様子。(b)超分子材料のコーティングに傷を入れてもすぐ元通りに戻る。(c)破壊された超分子材料を遊星型ボールミルで再成型して元の状態に戻すことができる。

これまでに合成してきた超分子材料と比べ、性能に優れ、工程も簡単で、産業への応用がさらに容易になり、次世代材料である自己修復性超分子材料の普及を推進するものと期待されます。例えば、機械や電子機器、自動車、航空機、

ロボットの表面保護コートとして利用できます。傷ついてもすぐに修復するため、これらの製品のメンテナンスの手間が大きく低減されます。

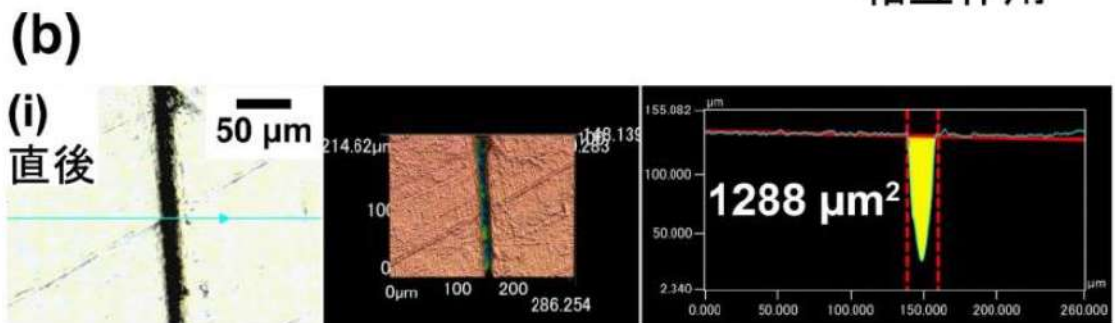
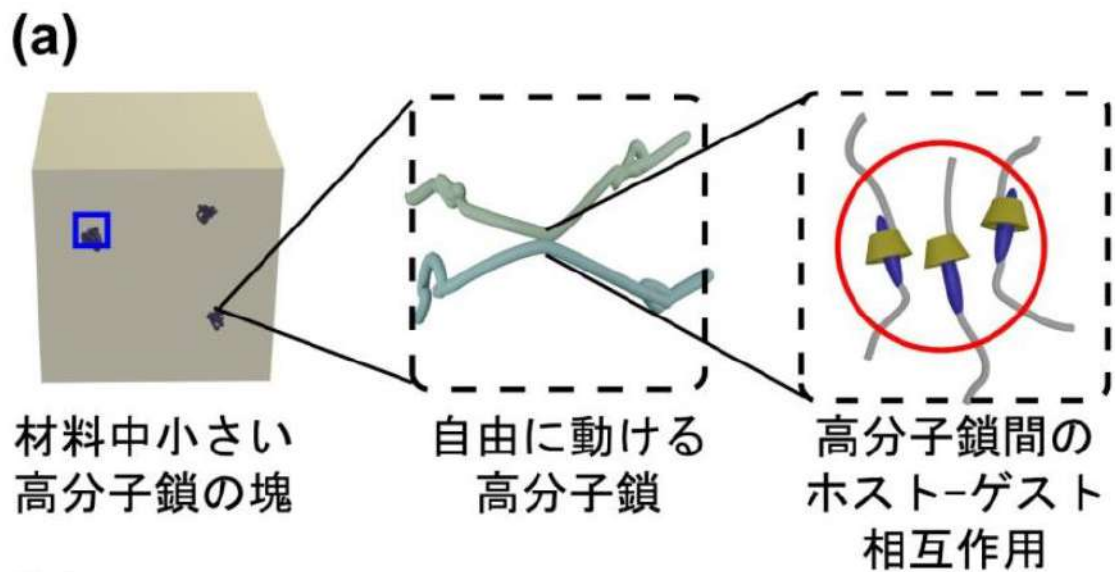
研究の背景

高分子材料は軽くて柔らかく製造も比較的簡単で、その発見以来、我々の生活に欠かせない材料です。しかし、近年、廃棄プラスチックによる環境汚染や原料となる資源の枯渇などの問題に直面しており、高分子材料の強靱化・長寿命化がこの数十年特に求められています。分子の間の力を利用した超分子材料は、強靱な材料であるだけでなく、材料がダメージを受けても自然に治る性質をもっており、上記の課題の解決に有望な材料です。この材料を機能強化し、さらに、製造過程を簡便にすれば、実用化へのハードルは下がります。

研究の内容

上記の研究グループは、ホストポリマーとゲストポリマーという二種類の高分子化合物(ポリマー)を合成し、これを遊星型ボールミルという一般的な混合装置で混ぜ合わせることで、二種類のポリマーがホスト-ゲスト相互作用とよばれる弱い分子の間の力で組み合わさった超分子材料を得ました。このとき、より強い混合力を与えることで、得られる超分子材料がより強靱になることを発見しました。ボールミルの強い力が絡み合った紐のような二種類のポリマーをよくほぐし、強力に混ぜ合わせることで、ポリマーを分子レベルで動きやすくし、ホスト-ゲスト相互作用のもつ性能・機能を最大限に発揮しました。

この材料でコーティング膜を作り、その表面に傷を入れると、ほんの数秒で傷が消失しました。ホスト-ゲスト相互作用はポリマー中の分子間で何度もくっつけたり離したりできるために、超分子材料は傷を修復し、まるで生命のような自己修復挙動を示しました(図2)。また、傷の修復と同じ理由で、超分子材料を完全にバラバラに破壊しても、もう一度混合処理を行うことで、材料を元の形に再生使用することができ、強度も回復しました。



60 °C
10分間

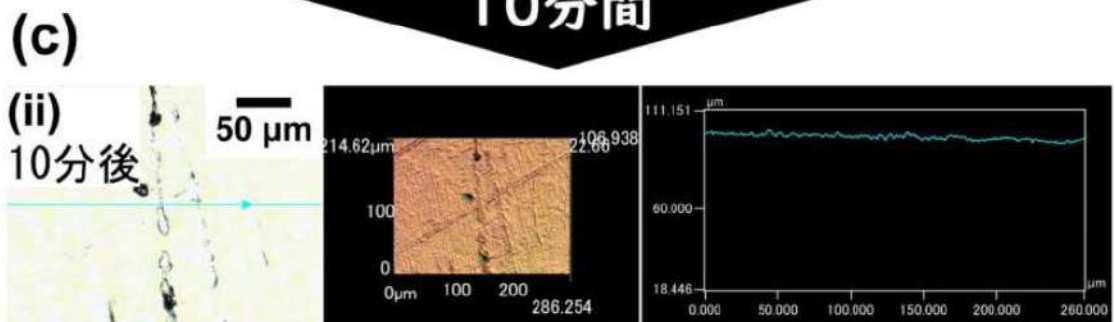


図2 超分子材料の構造とその自己修復機能(表面傷の回復)

(a)ボールミル処理後の超分子材料の内部構造。巨視的に高分子の絡み合いが塊として存在し、塊は自由に動ける高分子鎖(ホストポリマーとゲストポリマー)からなる。両ポリマーの間ではホスト分子とゲスト分子とのホスト-ゲスト相互作用が働き、両ポリマーを繋ぐ。(b)材料の表面に傷を入れた直後の顕微鏡写真。イメージ処理して傷の断面積を計算した。(c)60 °Cで10分間静置した後の顕微鏡写真。傷が完全に消失した。

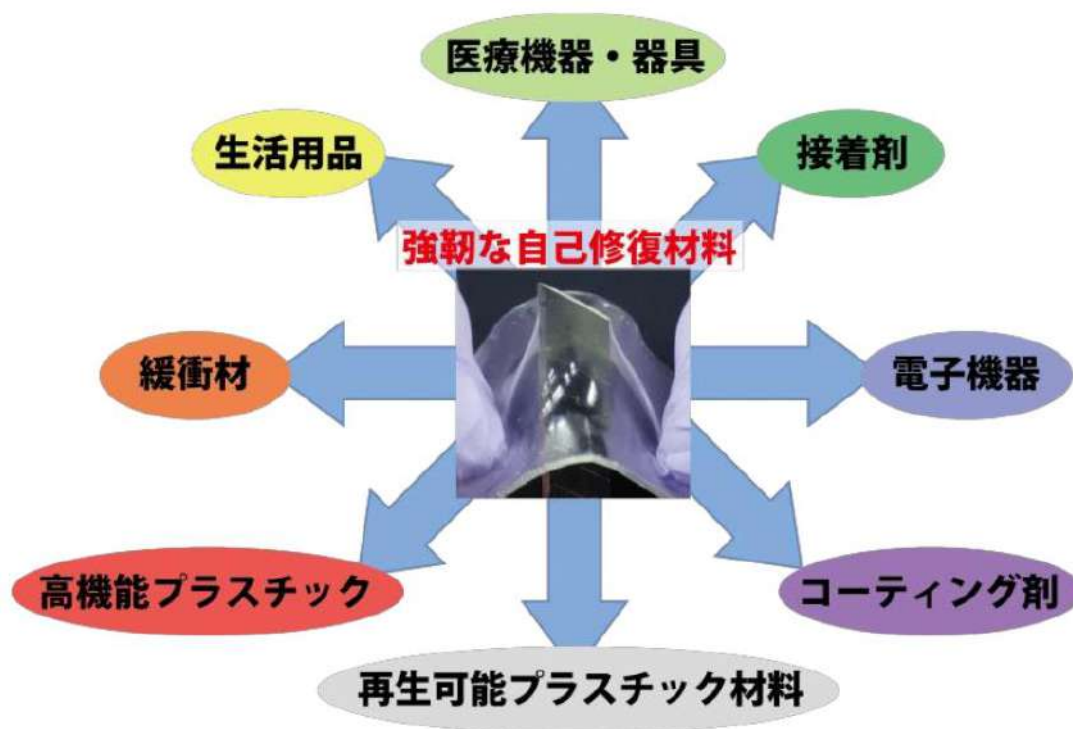


図3 期待される超分子材料の製品・用途

自己修復メカニズムのイメージ動画:

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/takashima/advmater2020/mechanism.mp4>

論文情報

タイトル : Extremely Rapid Self-Healable and Recyclable Supramolecular Materials through Planetary Ball Milling and Host-Guest Interactions

雑誌 : Advanced Materials

DOI : <https://doi.org/10.1002/adma.202002008>

日本語原文

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20200826_2

文 JST 客観日本編集部

