

## 研究成果

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型  
技術テーマ「Society5.0の実現をもたらす革新的接着技術の開発」  
研究課題「界面マルチスケール4次元解析による革新的接着技術の構築」

## 接着剤が剥がれる過程をリアルタイムで観察 輸送機器用複合材料などの耐久性向上に貢献

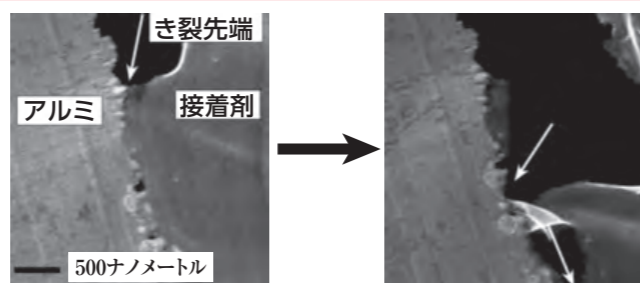
世界的な課題である二酸化炭素の排出量削減に向け、自動車などの輸送機器の燃費を向上させるために、車体の軽量化が進んでいます。近年、溶接に代わる異種材料同士の接合技術として、生産性やコストの面でも有効な接着剤の活用が注目されています。しかし、人命に関わる輸送機器に利用されるため、その信頼性・耐久性をいかに実証するかが課題となっていました。

産業技術総合研究所ナノ材料研究部門の堀内伸上級主任研究員の共同研究グループは、微細な変形も観察することができる透過型電子顕微鏡(TEM)を使い、世界で初めて接着剤の接合部が破壊される様子をナノメートルレベルでリアルタイム観察することに成功しました。具体的には、電子線が

透過するのに十分な100ナノメートル程度の薄さのアルミニウム合金の接着剤試料を切り出し、試料の両端を引っ張って接着剤内部でまず小さなひずみを生じさせます。それがき裂に発展して金属との接着面に到達し、破壊に至るといった一連の過程をTEMで観察しました。

共同研究グループは、TEMによる観

察で接着接合における破壊の起点がどこにあるのかを明らかにするために、詳細な解析を進めており、今後は複雑な接着破壊現象のメカニズムの解明を目指します。また得られた知見を元に、耐久性のある接着剤の開発や、被着体の表面処理の最適化、さらには信頼性の高い接着接合部の評価・実証につながります。



TEMで観察されたアルミニウム合金とエポキシ系接着剤の極微小な変形に伴うき裂の進展(矢印はき裂先端および進展方向)変形が複雑に進行する現象を捉えた。

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「細胞外微粒子に起因する生命現象の解明とその制御に向けた基盤技術の創出」  
研究課題「細胞外微粒子の1粒子解析技術の開発を基盤とした高次生命科学の新展開」

## 研究成果

## 細胞外小胞の抗炎症機能を発見 急性肝障害の治療法に新たな道

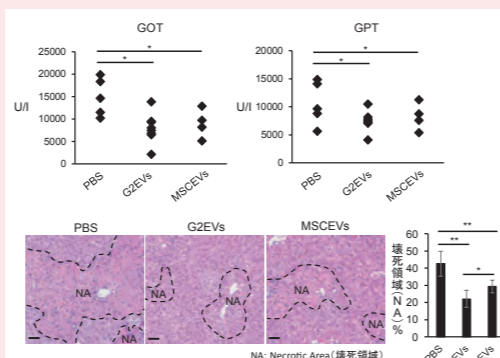
肝臓はさまざまな抗原に対する免疫の前線として機能している一方で、外部からの刺激を受けるため、急性の肝障害や肝不全が起きやすい器官です。これらに対し、近年では肝移植の他、骨や脂肪などさまざまな組織に分化する「間葉系幹細胞(MSC)」を使った治療法が注目されています。MSCは肝臓の炎症を抑え、細胞が分泌する細胞外小胞(EVs)により抗炎症作用が促されますが、より簡便な手法の開発が望まれています。

そこで東海大学の幸谷愛教授らの研究グループは、肝細胞が分泌するEVsもMSCと同様に抗炎症作用を示すのか、またそのメカニズムの一端を脂肪酸が担っているのかを検証しました。具体的には、事前に肝障害を発生させたモデルマウスに、肝細胞由来のEVsとMSC由来の

EVsを投与しました。その結果、肝細胞由来のEVsはMSC由来のEVsに比べて同等かそれ以上の抗炎症作用を示し、肝障害の指標となる血清中の酵素(GOT・GPT)の値を有意に下げることが明らかになりました。

さらに、これらの抗炎症作用がEVsの何に由来するのかを解析するため、EVsの表面を覆うリン脂質に着目し検討しました。すると、脂肪酸のドコサヘキサエン酸(DHA)を豊富に含むEVsが肝臓と骨髄に働き、炎症を抑えることがわかりました。また、独自にEVsの生物学的効果を増強する新規の修飾法(SPREDS)を開発し、特許も出願しました。今後は、SPREDSを肝細胞由来のEVsに応用し、新型コロ

ナウイルス感染症(COVID-19)で問題となったサイトカインストームに対する強力な抗炎症・組織保護治療法を開発する予定です。



急性肝障害を誘導したマウスの肝臓の障害を示す指標であるGOTおよびGPTを測定し、染色により組織学的に壊死した領域を評価した。その結果、GOT・GPTの上昇がEVs投与により抑えられ、組織における肝細胞壊死領域も大きく減少したことがわかる。(PBS:EVs未投与、G2EVs:肝細胞由来のEVs投与、MSCEVs:MSC由来のEVs投与)

戦略的創造研究推進事業さきがけ  
研究領域「原子・分子の自在配列と特性・機能」  
研究課題「トポロジカル結合の自在配列による革新的機械特性発現」

## 研究成果

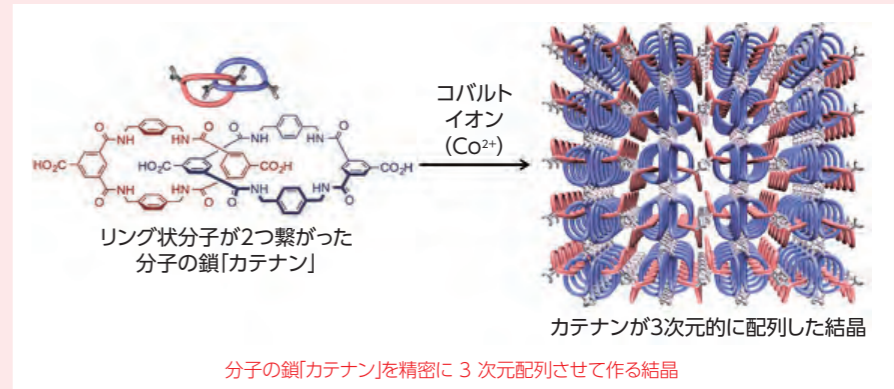
## 指でつまんだり離したりできる グミのような結晶の開発に成功

リング状の分子が互いに鎖のようにつながって構成された分子を総称して「カテナン」と呼びます。鎖状に連結されているため自由に運動できる特性を生かし、機械的な動きを示す分子や外部刺激によって物性値が可逆的に変化する分子の部品となっていますが、これまではカテナンがランダムに配置されているものばかりでした。

理化学研究所創発物性科学研究センター統合物性科学研究プログラム創発分子集積研究ユニットの佐藤弘志ユニットリーダーらの共同研究グループは、多数のカテナンを3次元で精密に配列させることで、外から加えた力によって変形する柔らかい結晶材料の開発に成功しました。研究グループはカテナン分子の4カ所にカルボキシ基を導入し、コバルトイオ

ンとともに溶媒中で加熱して、幅・厚みが0.1ミリメートル程度、長さは0.5~1ミリメートル程度の緑色の結晶を作製しました。この結晶は90パーセント以上がカテナン分子から構成されており、さまざまな分子を取り込める微小な穴が多くあいていることや、温度変化に伴い構造が変化することなどが確認されました。

さらに力学的な特性について調べたところ、非常に変形しやすい一方で、力を除くとまるでグミのように元の形に戻るといった驚くべき現象が明らかになりました。将来的には指でつまんだり離したりすると、スポンジのように二酸化炭素などの気体分子を吸脱着できる多孔質材料としての応用が望まれます。



分子の鎖「カテナン」を精密に3次元配列させて作る結晶

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「トポロジカル材料科学と革新的機能創出」  
研究課題「空間結合を創る高分子トポロジー変換反応を鍵とした異種トポロジーの融合」

## 研究成果

## プラスチックを分解し肥料に変換 生成した尿素が植物の成長を促進

プラスチックは現代の日常生活に欠かせないものですが、その70パーセント以上が廃棄されており、地球環境保全とプラスチックの利用を両立できるリサイクルシステムの開発が望まれています。そこで、東京工業大学物質理工学院応用化学系の青木大輔助教らは、植物を原料としたプラスチックをアンモニア水で分解し、生成した尿素を肥料として利用することで植物の成長を促す新たなリサイクルシステムを実証しました。

バイオマス資源のイソソルビドをモノマーとするポリカーボネートは、カーボネート結合によって連結されているため、アンモニア水で分解すると尿素とイソソルビドに分けられます。得られた尿素とイソソルビドの混合物を用

いてモデル植物のシロイヌナズナの生育実験を行ったところ、市販の尿素とイソソルビドを1:1で混合したものに比べ、成長をより促進させる効果が明らかになりました。これは分解生成物として得られる尿素とイソソルビドが、適切な比率で混合しているためだと考えられます。

プラスチックをリサイクルするためにはコストや効率など多くの課題がありますが、肥料に変換し、付加価値を与えることができれば、アップサイクルとして大変有効です。また一連の過程で行う

化学反応はいずれも簡便で、高価な触媒も必要ないことから、産業への応用も見込まれます。廃プラスチックの問題を解決へと導く革新的な取り組みの1つとして、今後の展開に期待が高まります。



プラスチックを肥料に変換するリサイクルシステムのイメージ