

エポキシ樹脂はなぜ劣化するのか？分子レベルで解明 — 水や酸が分解を加速する仕組みを理論計算で解明 —

ポイント

- ① 接着剤や電子部材に広く使われるエポキシ樹脂(※1)の劣化原因を分子レベルで解明
- ② 水や酸性環境によって分解が大きく加速する理由を理論計算で定量的に示した
- ③ 材料の長寿命化設計や樹脂リサイクル技術への応用に期待

概要

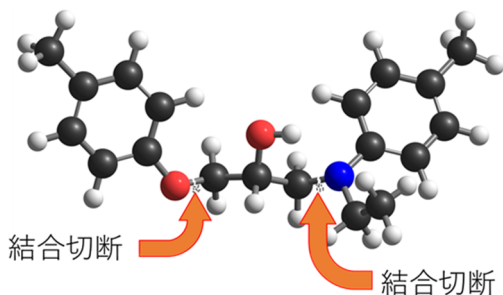
エポキシ樹脂は次世代モビリティなど多様な分野で重要な材料ですが、水分や酸による経時劣化が課題となっています。こうした背景のもと、九州大学を中心に JST 未来社会創造事業「界面マルチスケール4次元解析による革新的接着技術の構築」のプロジェクトが進められています。本研究はその一環として、分子レベルでの劣化の起点を解明し、次世代モビリティを支える基盤技術の発展に貢献します。

本研究では、エポキシ樹脂が劣化する仕組みを、コンピュータを用いた理論計算(※2)によって分子レベルで解明しました。特に、水や酸の存在によって、樹脂内部の化学結合が切れやすくなり、劣化が大きく加速することを明らかにしました。

九州大学先導物質化学研究所の塩田淑仁准教授と京都大学福井謙一記念研究センターの吉澤一成研究員(九州大学名誉教授)の研究グループは、エポキシ樹脂を構成する主要な化学結合に着目し、コンピュータを用いた理論計算によって、結合切断に必要なエネルギーを調べました。その結果、水が関与すると反応が起こりやすくなり、酸性環境では結合切断に必要なエネルギーが半分以下になることが分かりました。

本研究成果は、樹脂の長寿命化につながる分子設計指針や、高耐久材料の開発、リサイクル技術の高度化に貢献する重要な知見です。エポキシ樹脂の信頼性向上と、環境負荷低減への応用が期待されます。

本研究成果は、米国化学会誌 *Journal of Physical Chemistry B* に掲載されました。(掲載日：2026年4月15日/日本時間)



エポキシ樹脂の構造とその結合切断の部位
酸の効果により水分子の加水分解が加速

研究者からひとこと：

「エポキシ樹脂は、私たちの身の回りで当たり前のように使われていますが、『なぜ時間がたつと性能が落ちるのか』は、意外と分かっていませんでした。今回、コンピュータを用いた理論計算から見えない分子の世界で何が起きているのかを示すことができました。この知見が、材料をより長く安全に使うための設計や、将来のリサイクル技術につながることを期待しています。」(塩田淑仁)

【研究の背景と経緯】

エポキシ樹脂は、次世代モビリティをはじめとする幅広い分野で不可欠な材料である一方、水分や酸による経時劣化が大きな課題となっています。接着部の信頼性向上と長寿命化は、持続可能な社会の実現のために極めて重要です。こうした背景のもと、九州大学を中心として、科学技術振興機構（JST）未来社会創造事業のプロジェクト「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」が進められています。本研究はその一環として、これまで未解明であった「分子レベルでの劣化の起点」を明らかにすることで、次世代モビリティを支える基盤技術の発展に寄与するものです。

【研究の内容と成果】

本研究では、エポキシ樹脂が劣化する根本的な仕組みを分子レベルで明らかにしました。特に、水や酸が存在すると、樹脂内部の化学結合が切れやすくなり、劣化が大幅に加速することを示しました。

九州大学と京都大学の研究グループは、エポキシ樹脂を構成する代表的な化学結合に注目しました。そして、コンピュータを用いた理論計算により、結合が切れるために必要なエネルギーを詳しく調べました。

その結果、通常の状態では壊れにくい結合であっても、

- ✓ 水が関与すると反応が起こりやすくなり、
- ✓ 酸性環境では、結合切断に必要なエネルギーが半分以下にまで低下することが分かりました。

【社会的意義・今後の展開】

本研究成果は、

- ✓ エポキシ樹脂をより長く安全に使用するための分子設計指針
 - ✓ 劣化を抑えた高耐久材料の開発
 - ✓ 使用後の樹脂を分解・再利用するリサイクル技術の高度化
- につながる重要な知見です。

産業分野で不可欠な材料であるエポキシ樹脂の信頼性向上や、環境負荷低減への貢献が期待されます。

【参考図】

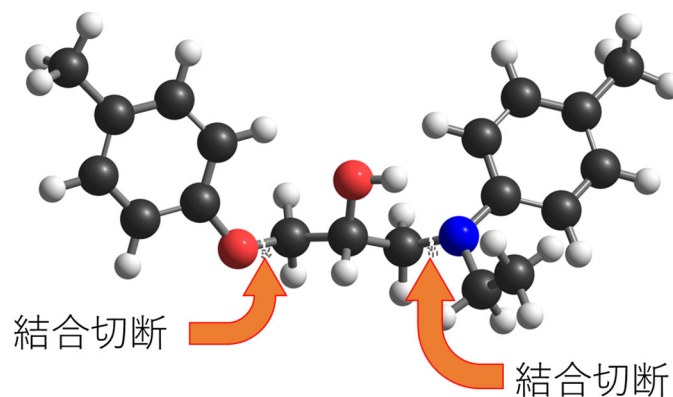


図1 エポキシ樹脂の分子レベルの部分構造とその結合切断の部位
水分子と酸の効果により結合切断が加速します

【用語解説】

(※1) エポキシ樹脂

化学反応によって硬化する合成樹脂の一種。強い接着力、耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性に優れ、接着剤、塗料、電子材料、複合材料などに広く用いられます。

(※2) コンピュータを用いた理論計算

シュレディンガー方程式をコンピュータで数値的に解くことで、分子内の電子のふるまいを明らかにする方法、量子化学計算とも呼ばれます。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP20H05671, JP22H00335, JP24H00049, 24K21245, 25K08678)、JST-Mirai Program (JPMJMI18A2)の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Journal of Physical Chemistry B

タイトル：Theoretical Study on the Degradation Mechanism of Epoxy Resin: Homolysis, Hydrolysis, and Acidic Hydrolysis of Chemical Bonds

著者名：Amit Shrestha, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka, Kazunari Yoshizawa, Yoshihito Shiota

D O I : 10.1021/acs.jpbc.6c00955