



Title: Preparation of Particle-Reinforced Resin Using Highly Functional ZnO Particle Filler Driven by Supramolecular Interactions

(超分子相互作用を利用した高機能 ZnO 粒子フィラーによる粒子強化樹脂の創成)

Authors: Haruka Nakagawa, Kohei Iritani

(中川 遥賀(東京工科大 大学院生)、入谷 康平(東京工科大 講師))

Journal: Materials 18 (2025) 2986

掲載年月: 2025 年 6 月

研究概要: 表面官能基修飾により酸化亜鉛ナノ粒子 (ZnONP) の高機能化を試みました。水熱合成法により表面にアミノ基をもつ ZnONP を合成し、バイオポリマーであるポリ乳酸 (PLA) と複合化しました。母材の PLA とフィラーの表面修飾 ZnONP との間に水素結合が働くこと、および複合フィルム断面の走査型顕微鏡 (SEM) 像の画像解析からフィラーの分散性が向上したことを見出し、複合体の力学特性が向上することを明らかにしました。この研究成果は、様々なポリマー材料や官能基に適応できることから、有機/無機副産材料の高機能化に貢献できると期待されます。

研究背景: ZnONP は安価で生体適合性があることから、日用品やバイオメディカル材料など幅広い用途に使用されています。しかし、表面官能基化による高付加価値 ZnONP の創出に関する包括的な研究はまだ不足しています。本研究では、低エネルギーで合成可能な水熱法により、6AH を用いて表面官能基化 ZnONP を合成し、ポリマーマトリックスとの超分子相互作用により、高強度ポリマー複合材料を得る事を目的としました。

研究成果: XPS スペクトルにより、6AH が ZnONP 表面に修飾されていることが示唆されました (図 1)。修飾率は 10%未満であるものの、修飾 ZnONP を PLA に添加した複合フィルムでは、未修飾 ZnONP をフィラーとして用いるより、最大応力が最大 1.9 倍向上したことを見出しました (図 2)。また、DSC 測定および IR スペクトルに基づき、表面修飾により ZnO の結晶構造が変化したことや、ZnONP と PLA 間の水素結合が働くことを明らかにしました。さらに、粒子サイズの小型化・分散性の向上、撥水性の増加も観察され、6AH 修飾 ZnONP は PLA との超分子相互作用を通じて機械的特性などの機能を高める効果があることが示唆されました。なお、本研究はその分野の専門編集者が特に注目すべきと判断した論文として”Editor’s Choice”に選ばれ、高い評価を受けました。

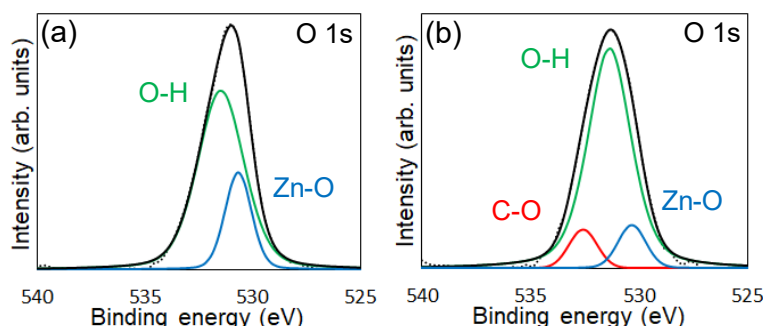


図 1 O 1s 領域の XPS スペクトル、(a) 未修飾 ZnONP、(b) 6AH 修飾 ZnONP。赤線で示しているピーク分離が炭素結合に帰属され、6AH による化学修飾が成功したことを示している。

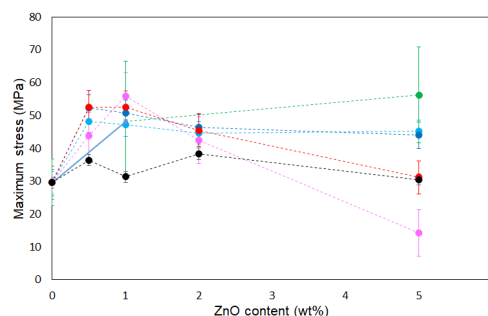


図 2 ZnONP の添加量に伴う複合フィルムの最大応力。黒で示しているのは未修飾 ZnONP であり、修飾 ZnONP を用いた場合、特に 1%の添加で高い最大応力を示した。

社会への影響: 本研究で確立された方法論は、次世代のサステナブルな材料創出の基盤技術となることが期待されます。また、低コストで環境への影響が最小限であることから、このアプローチは工業用フィルムだけでなく、医療・食品関連材料など、幅広い用途への展開が期待されます。

専門用語：

フィラー：ポリマーなどのマトリックス中に添加される材料で、力学強度などの機能性を高めるために用いられる。

表面修飾：ZnONP などの材料表面に、化学結合を介して有機物などを付加する手法であり、粒子の物理的および化学的特性を変化させることが可能である。

超分子相互作用：水素結合などの非共有結合性相互作用の総称である。

バイオポリマー：生物由来の原料から合成される、あるいは生分解性をもつ高分子化合物の総称である。