

ナイロン系複合材料の低温リサイクル技術

物材機構(構造)¹・物材機構(電子光)² ○タンクス ジョナサン¹・田村 堅志²

緒言

ナイロン（ポリアミド：PA）は優れた耐熱性と機械的特性を持ち、自動車部品や電気・電子機器部品などの製品に使用されており、生産量は900万 ton/yrに達している。PAの原価が高く、環境問題や経済面から寿命の樹脂を再生する必要がある。しかし、PAの溶解に基づくリサイクル技術の殆どは、エチレングリコール、ベンジルアルコール、m-クレゾールなどの極性プロトン溶媒の使用が報告されており、高い高温（140-200 °C）と長い溶解時間（4-24時間）を必要とする。一方、ギ酸は室温でPA6やPA66などの短鎖PAを溶解できるが、同じく長い溶解時間を必要とする。原価の高い素材が含まれている複合材料のリサイクルの難しさが、資源循環・カーボンニュートラル実現の壁になっている。本研究では、混合溶媒の利用によりナイロン樹脂の溶解速度を早めることで、室温で1時間以内さまざまなナイロン樹脂も充填材も回収できることを示す。

実験

コンパウンド製品、ナイロン繊維、および電気コネクタなど、さまざまな試料をギ酸系の混合溶媒に約10 wt%の固形物濃度で加え、溶解完了まで攪拌や超音波せずに室温で静置された（約1時間）。それから充填材は遠心分離または濾過によりPA樹脂と分離し、両方とも混合溶媒と貧溶媒（アセトン）で順次洗浄したものを低温（室温～40°C）で乾燥させた。また、回収時の三成分からなる混合溶媒は、エバポレーターを用いて気圧調整によりそれぞれの溶媒を段階的に分離できるため、素材から溶媒まで再利用が可能となる工程である。

結果・考察

PA6とPA66は、溶媒とポリマーの間で水素結合が形成されるため、室温でギ酸中にゆっくりと溶解する。しかし、長いアルキルを持つPA12はギ酸だけでは十分な溶解作用がないため、室温では溶解しない。一方、非極性溶媒を加えることで分散的な溶解作用が助けられ、ギ酸はあらゆる長さのPAを迅速に溶解することができる。さまざまなPA樹脂（PA6、PA66、PA11、PA12、PA6I/6T）と充填材（CF、GF、ナノクレイ）を含んだコンパウンドを調査した結果として、すべて室温で攪拌せずに1時間以内に溶解した（図1a）。半芳香族のPA6I/6Tは今まで溶解できる溶媒が報告されていなかった一方、本手法では迅速に溶解した。なお、それぞれの充填材は1回の洗浄で収率99%はきれいに回収できた。

それから、植物由来のPA11を用いた炭素繊維強化積層板でも、室温で攪拌などせずに織物そのまま回収できた（図1b）。多層フィルム、テキスタイルの繊維、海洋プラスチック、自動車や電気機器部品、PAが含まれている幅広い製品や部品の混合物から室温でPAを選択的に溶解して充填材から分離することが可能である。

最後

「リサイクル」は資源循環を重視するものであるが、リサイクルプロセス自体がCO₂排出やエネルギー消費に大きく寄与する場合、持続可能性が損なわれるとも言える。本手法では、混合溶媒を用いることで、室温で全ての脂肪族系ナイロンを迅速に溶解することが可能であり、樹脂単体、長・短繊維複合材、ナノ複合材、フィルム、コンパウンドなど、さまざまな混ざったものを高収率（98wt%以上）で分離・回収できることを示した。回収された材料の品質は高く（元の特性の98%以上）、プロセスは複数回繰り返すことが可能である。溶解は室温（0-40°C）で効果的に行われるため、世界のほぼどこでも実施できると考えられる。

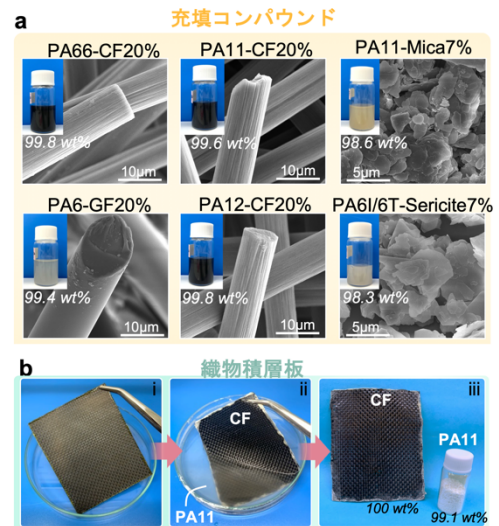


Fig. 1 (a) Dissolved PAs and fillers, and (b) PA11/CF laminate recovered by dissolution.

Low-Temperature Recycling Technology for Nylon-based Composites

Jonathon TANKS¹, Kenji TAMURA² (¹National Institute for Materials Science (NIMS) Research Center for Structural Materials, Tsukuba ²NIMS Research Center for Electronic and Optical Materials, Tsukuba); ¹Tel: +81-29-859-2606, E-mail: tanks.jonathon@nims.go.jp