

補助事業番号 2024M-403

補助事業名 2024年度 ナノ界面が拓く繊維強化プラスチックの更なる高強度化 補助事業

補助事業者名 早稲田大学 基幹理工学部 荒尾 与史彦

1 研究の概要

層状鉱物である黒鉛を剥離して、厚みがナノオーダーの炭素シートであるグラフェンナノプレートを作り出す。またグラフェンナノプレートの分散液を、繊維にコーティングし、更に樹脂を繊維間へ含浸させることで、ミクロスケールの繊維、ナノスケールのグラフェンナノプレートで強化した、繊維強化プラスチックを作製する。グラフェンナノプレートを繊維まわりにコーティングすることで、通常のものと比較して30%の強度上昇が得られた。

2 研究の目的と背景

繊維強化プラスチックは軽くて強く、更に耐腐食性があることから、風車ブレード、薬液タンク、航空機、バイク、スポーツ用品など様々な用途に使用されている。繊維強化プラスチックの強度を向上させるために、強化材となる繊維の強度を上昇させることや、繊維/樹脂界面の接着性をコントロールすることがなされてきた。しかしながら繊維の強度を向上させることにも限界があり、素材としての強度上昇は頭打ちとなりつつある。一方で近年カーボンナノチューブやグラフェンなどナノカーボンを利用することで、ナノスケールにおいてもプラスチックの機械的特性を向上させる試みが増えている。特にナノカーボンを繊維にコーティングさせることで、繊維/樹脂界面に100~500nm程度の界面層ができることが報告されており、この界面層を強化することで、繊維強化プラスチックの更なる高強度化へと繋げることができるものときたされる。

そこで本補助事業では、黒鉛を独自の技術で薄層化して分散液を調製し、そこへ強化繊維を浸漬させることで、強化繊維周りにナノプレートをコーティングさせ、グラフェンナノプレートにより強化されたナノ界面層を設けることで、繊維強化プラスチックの更なる高強度化を試みる。

3 研究内容

(1) グラフェン分散液の作製について

黒鉛を最も簡便に剥離する手法として液相剥離法が挙げられる。液相剥離法とは、黒鉛と液体を混ぜた分散液にせん断力を与えることで黒鉛を剥離していく手法である。最も効率的な剥離装置として、図1に示す3本ロールミル法が挙げられる。これはロール間の隙間を液体が通過する際に圧縮力とせん断力を与えることができるため、黒鉛を剥離するのに適した装置であるといえる。本研究では、エポキシ樹脂を液体として用いて、温度を30-40℃に

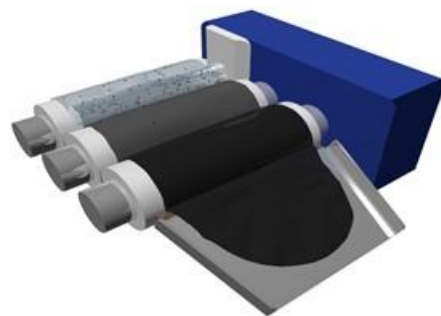


図 1 ロールミル法によるグラファイトの薄層化

コントロールすることで、凝集を抑えながら剥離できることが分かった。またその他の溶媒として、水にカルボキシルメチルセルロース(分散剤の一つ)を添加したものや、水にアルコールを加えて表面張力を下げた分散液を用いると、黒鉛をより効率的に剥離できることを確認した。

(2) 繊維やフィルムへのコーティング

ロールミル法や超音波照射によって剥離分散させたグラフェンナノプレートの分散液について、フィルムや繊維織物へのコーティングを行った。フィルム上に均一に成膜することに成功し、フィルムから膜を剥離させることで、グラフェンナノプレートからなるフィルムの作製に成功した。本フィルムは300W/mkの熱伝導率であり、アルミニウムよりも高い熱伝導率を有する。

また、繊維へのコーティングを行った。単純なディップコーティング(織物を分散液に沈めて、引き上げただけ)によっても、グラフェンナノプレートは繊維周りへと均一にコーティングされることを確認した(図2)。これはガラス繊維が正に帯電し、一方でグラフェンナノプレートは負に帯電することから、静電相互作用によって自己集積的に繊維へとコーティングされたものと推測される。

(3) 機械的特性の評価

グラフェンナノプレートをコーティングすることで、白色のガラス繊維織物材は黒色への変化した。この織物材料にエポキシ樹脂を含浸させてハンドレイアップ法によってガラス繊維強化プラスチックを成形することができた。得られた試験片について曲げ試験を行った結果を図3に示す。図のGluはグラフェンコーティングしたものであり、その横の数字は分散液のグラフェン濃度を意味している。分散液のグラフェン濃度が高い場合(10g/L)、低濃度と比較して弾性率、強度ともに低下している。これは繊維表面にグラフェンナノプレートが凝集したことに起因する。一方で分散液の濃度が2g/L、5g/Lの場合、コーティングなし(No Coated)と比べて弾性率と強度が上昇する結果となった。強度上昇率は最大で30%が得られ、目標値としていた強度30%の向上を達成することができた。

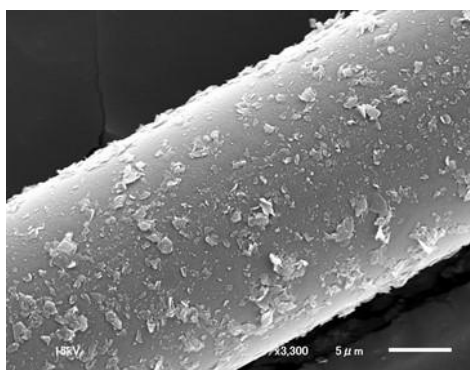


図 2 繊維周りへのグラフェンナノプレートのコーティング

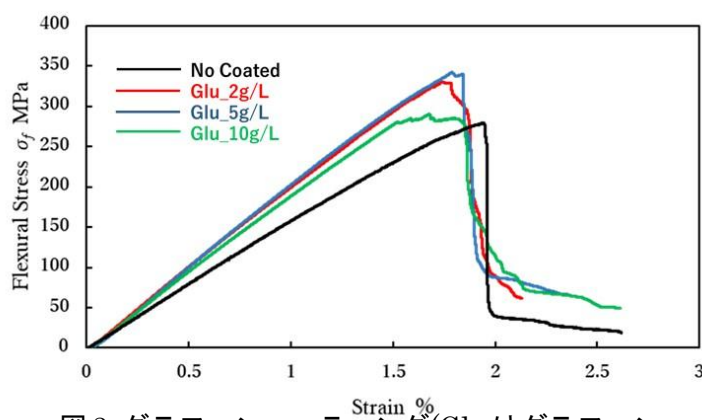


図 3 グラフェンコーティング(Gluはグラフェンコーティング)による曲げ強度の向上

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、グラフェンナノプレートを繊維周りへとコーティングすることで、強化プラスチックの強度が30%向上することを実証した。剛性の向上も確認できており、強度上昇、剛性向上のメカニズムが解明され、界面層を自在に設計することができれば、従来の繊維強化プラスチックの軽量高強度な特性を更に高めることができる。輸送機器の軽量化による燃費改善、二酸化炭素排出量の低下に加え、スポーツ用品の更なる高機能化を狙うことができる。また、材料が壊れにくくなることにより、材料の長期耐久性が更に向上するものと期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで黒鉛を剥離させることに注力してきたが、今回の研究では剥離されたナノシートをどのように応用するかに焦点をあてた研究を行った。ナノシートは粉末状では凝集してしまうため、液体に分散させた状態が好ましい。本研究では分散液をコーティング材として用い、高熱伝導グラファイトフィルムや電磁波シールドフィルムを作製できた。繊維にコーティングすることで、繊維強化プラスチックとした際に大幅な強度上昇を得られることが実証できた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(国際学会)Junhao Wang, Hongsheng Lin, Yoshihiko Arao, Large-area high thermal conductivity graphite film easily produced by mechanical exfoliation of natural graphite using a three-roll mill, 21th European conference on composite materials. (2024),

(国際学会)Seita Saito, Shunki Sato, Yoshihiko Arao, The effect of processing/curing temperature and viscosity of epoxy resin on the flexural/tensile properties of GNP-epoxy resin nanocomposites, 21th European conference on composite materials. (2024).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 早稲田大学 基幹理工学部(ワセダダイガク キカンリコウガクブ)

住 所: 〒169-0072

東京都新宿区大久保3-4-1 59号館317A

担 当 者: 荒尾与史彦(アラオ ヨシヒコ)

担 当 部 署: 理工学術院(リコウガクジュツイン)

E - m a i l: arao@waseda.jp

U R L: <https://www.arao.amech.waseda.ac.jp/>