

倪 慶清・張 春生

目的別テーマ：ハイパフォーマンス/ハイブリッド繊維合体の開発

研究テーマ

17-5-26：形状記憶ポリマーベースナノコンポジットの開発と応用研究

ABSTRACT

The unusual electrical and mechanical properties of carbon nanotubes (CNTs) have motivated a flurry of interests to exploit their applications in advanced composite materials, particularly in polymer composites, to improve the performance of a matrix or to achieve new properties. Shape memory polymer (SMP) as one of smart materials was characterized by the recoverability of shape memory effect, but its mechanical property such as the strength wasn't strong enough. In this study, CNT/SMP nanocomposites were developed with the vapor growth carbon fibers (VGCFs). The specimens with different VGCF weight fraction, such as SMP bulk, 0.5wt%, 1wt% and 1.5wt%, were prepared, and their mechanical properties were investigated. The recovery behavior and recovery stress of CNT/SMP nanocomposites also were reviewed. It was found that elastic modulus and yield stress increased with increment of VGCF concentration. CNT/SMP nanocomposites keep good shape memory effect, especially, after performing training several times, they has the high rate of recovery. And it is clear that CNT/SMP nanocomposites were larger recovery stress than SMP bulk.

研究目的

本研究では、形状記憶ポリマー(SMP)の形状記憶性の利点を生かし、またカーボンナノチューブ(CNT)の特徴を利用し、CNT強化されたSMP樹脂ナノコンポジットを創製する。創製した材料に対して、ガラス転移温度を含む上下の温度範囲における力学的特性を調べるため、熱力学サイクル試験、回復応力試験を考案し、材料の形状回復特性、回復応力を測定し、機能性材料としての応用拡大を図る。また、カーボンナノチューブの優れた導電性を生かし、少量のCNTの混入による材料の電磁波遮蔽特性の向上、電氣的ネットワークの形成を促し、高性能の電子材料を創製し、電子部品材料としての応用を図る。

2年間の研究内容と成果(途中からのテーマ)

- 研究目標
 - ・ 形状記憶ポリマーベースのナノ複合材料の開発
 - ・ 開発された材料の力学的特性、特に形状回復効果、回復応力特性を定量的に評価する手法の確立
 - ・ 開発された新規機能性材料の応用を図る。
- 研究内容及び研究範囲
 - ・ 形状記憶ポリマーの力学的弱点を克服するため、CNTとの複合化による新規機能性材料を開発する。特に、CNTの含有量による影響を調べ、最適なCNT含有量を明らかにするとともに、強化のメカニズムを明確にする。

- ・ 創製される材料に対して、ガラス転移温度 T_g を含む上下の温度範囲における力学的特性を調べ、またナノコンポジットの形状記憶特性を評価し、新規材料の機能性を明らかにする。特に、開発された機能性材料の形状記憶効果、電磁波遮断特性などを明確にし、各分野への応用展開の可能性を明らかにする。
- ・ 同材料の応力回復特性、トレーニング効果を明確にし、アクチュエータ材料としての可能性を確認する。

● 研究成果

形状記憶ポリマーの一般的な使用方法は、 T_g 以上の高温で形状記憶ポリマーを加熱し、必要な形状を与え、 T_g 以下の温度まで冷却し、その形状を固定して使用する。その後、また T_g 以上の高温にして形状回復させ、次の必要な形状にするという方法が多い。そのため、形状記憶ポリマーの変形を想定し、開発したナノコンポジットの形状記憶特性を評価する試験として、熱力学サイクル試験を行う必要がある。Fig. 1に熱力学サイクル試験における応力-ひずみ-温度関係の模式図を示す。

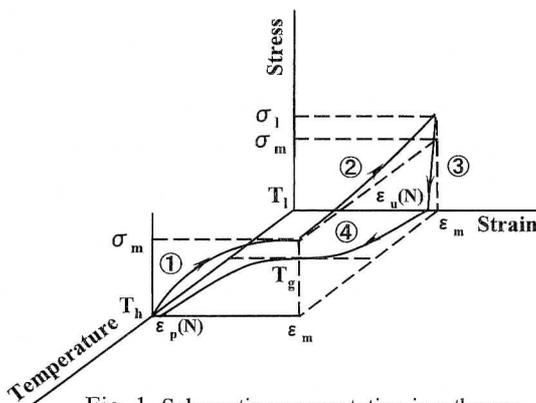


Fig. 1. Schematic representation in a thermo-mechanical cycle test.

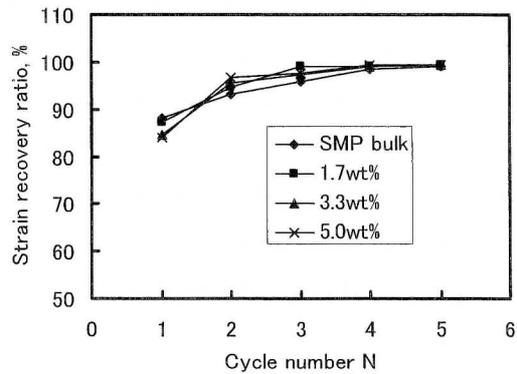


Fig. 2. Relationship between strain recovery ratio and cycle number at $\epsilon_m = 50\%$.

各試験片のひずみ回復率と繰り返し数 N の関係を Fig. 2 に示す。図から、第1サイクルでは、VGCFの含有率が増加するとひずみ回復率は小さくなった。これは、マトリックス樹脂の中にVGCFが介在物となり、形状記憶効果を抑制しているためである。しかし、第2サイクル以降ナノコンポジットのひずみ回復率は大きくなり、ほぼ95%以上の一定値になる。このことから、開発したナノコンポジットは1-2回トレーニングを施した後、高い回復率を有していることがわかる。

一定ひずみ条件下での応力回復試験で得られたCNT/SMPナノコンポジットの応力-ひずみ曲線から除荷後低温 T_l に無応力下で10分間保持した場合、ひずみは少し回復されたことが観察された。この回復ひずみは10minで飽和した。各試験片の低温 T_l での回復ひずみをTable 1に示す。また低温 T_l での回復ひずみはVGCFの含有率の増加につれ減少する。このことから、開発したナノコンポジットは低温で固定した形状をよく保持することがわかる。また、過程④でひずみ $\epsilon_m = 50\%$ と100%で低温 T_l の回復ひずみを比較すると、CNT/SMPナノコンポジットの低温 T_l の回復ひずみはほぼ等しい。低温 T_l での回復ひずみはひずみ ϵ_m への依存性が小さいことがわかる。VGCFの含有率と最大回復応力の関係を調べた結果から、VGCF含有率3.3wt%の試験片の回復応力は他の試験片より大きい。また、SMPバルク材のそれと比べ、わずか3.3wt%VGCFを混入することで回復応力は約2倍になったことがわかる。これはアスペクト比約100であるカーボンナノチューブを用いることで回復応力に大きく寄与したためと考えられる。

本研究の結果から、カーボンナノチューブの混入により得られた形状記憶ポリマー複合材料は、力学的特性が明確に向上するとともに、材料の形状記憶性と回復能力がほぼ保持されていることが明らかとなった。そのため今後センサー材料としての応用拡大が期待される。