

氏名	ちょう しゅんせい 張 春 生
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	博甲第 469 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブロ科学専攻
学位論文題目	形状記憶ポリマーを母材としたスマート複合材料の創製とその応用に関する研究 (主査)
審査委員	教授 木村照夫 教授 藤井善通 教授 高倉章雄 信州大学教授 倪 慶清 名誉教授 岩本正治

論文内容の要旨

近年、材料の高機能化、スマート化に関して先端機能材料の一つである形状記憶材料が注目されている。形状記憶特性を持つ材料は、形状記憶合金（SMA）や形状記憶ポリマー（SMP）などが挙げられるが、形状記憶ポリマーは形状記憶合金に比べて、回復量が大きい、成形性がよい、軽量、低コストなどの特徴を持っている。しかし、形状記憶ポリマー単体は材料強度などの力学的特性に弱点が多く、広範囲の応用には支障をきたしているのが現状である。そこで本論文は形状記憶ポリマーとカーボンナノチューブ（CNT）あるいは炭素繊維織物とを複合化させることによって高強度かつ機能性のある材料創製を試み、その特性を明らかにした。

第 1 章では、本論文の研究背景、目的および構成について述べている。

第 2 章では、カーボンナノチューブの軽量、高強度、電気・熱伝導性などの特性を生かし、かつ、形状記憶ポリマーの形状記憶性を併せ持つ CNT/SMP ナノコンポジットを開発した。開発した材料に対する示差走査熱量試験を行った結果、CNT/SMP ナノコンポジットでは CNT 重量含有量の増加に従ってガラス転移温度 T_g が高温側にシフトして、耐熱性が向上することを明らかにした。また、ガラス転移温度 T_g 上下の温度において静的引張試験および動的粘弾性試験を行った結果、CNT 含有率の増加とともに、弾性率と降伏応力が大きく向上することを明確にした。さらに、CNT の複合化により CNT/SMP ナノコンポジットの貯蔵弾性率 E' が大きくなり、特に、 T_g 以上の温度において、貯蔵弾性率 E' は著しく増加することを明らかにした。

第 3 章では、CNT/SMP ナノコンポジットに対して、熱力学サイクル試験と回復応力試験を行い、CNT 含有率の変化に伴う形状回復特性と回復応力特性の変化を明らかにした。とくに開発した材料は高ひずみ回復特性と高回復応力特性を有していることを示した。

第 4 章では、CNT/SMP ナノコンポジットの電磁波遮蔽材料としての可能性を検討した。その結果、電気抵抗率は各試験温度で CNT の重量含有率の増加につれ減少し、温度の上昇に伴い、線形に増加することを明らかにした。また、開発したナノコンポジットは低いパーセンテージ値を持っていることを明らかにした。電磁波遮蔽効果については CNT の重量含有率と試験片厚さに大きく依存することを明らかにした。また、周波数が高いほど、電磁波遮蔽効果が大きくなることを示した。これらの結果から、CNT/SMP ナノコンポジットは優れた電磁波遮蔽材料であることを明らかにした。また、電

磁波遮蔽効果の理論予測を行い、実験結果と予測値は良く一致することを示した。

第5章では、形状記憶ポリマーと炭素繊維織物との複合化により温度センサ用の積層板の開発を試みた。炭素繊維織物の積層板内における位置を変化させた試験片について、一定の予たわみ条件下でたわみ回復試験を行った。その結果、積層板は高いたわみ回復性を持ち、また、たわみ回復性に積層板の自重の影響が大きいことを明らかにした。得られた結果より、積層板は温度センサ用材料としての応用が可能であることが示された。また、たわみ回復予測理論を提案し、積層板のたわみ回復特性の理論予測と実験値が一致することを示した。

第6章では、形状記憶ポリマーの T_g 前後での温度変化による大きな弾性率変化を利用し、CFRP材とのハイブリッド複合化による SMP/CFRP 制振材料（ダンピング材）の開発を試みた。ハイブリッド積層板のダンピング特性を評価するために、中央加振法振動試験および動的粘弾性試験を行った。中央加振法振動試験結果から、板厚中央に厚い SMP 層を配合した積層板は一次モード固有振動数と損失係数が大きくなるが、温度が高くなると、一次モード固有振動数が減少し、一次モード損失係数は大幅に増加することを明らかにした。一方、動的粘弾性試験から、貯蔵弾性率、損失弾性率、損失係数の温度依存性および積層構造との関係を明らかにした。これらの結果より、ハイブリッド積層板の SMP 比率および積層位置を変化させることにより、様々な曲げ特性および減衰特性をあわせ持つ材料が得られ、実構造物の要求に応じた材料設計が可能であることが示唆された。

第7章では、本論文の総括として各章で得られた知見をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は先端機能材料の一つである形状記憶ポリマー(SMP)と導電性および高強度を有するカーボンナノチューブ (CNT) あるいは炭素繊維織物とを複合化させることによって高強度かつ機能性のある材料創製を試み、その特性を明らかにした。創製した材料は CNT の強化により力学的特性が大きく向上することを明らかにした。また、高いひずみ回復特性と回復応力特性を示すことを明らかにした。電気抵抗率は、各試験温度での CNT 重量含有率の増加に伴い減少し、CNT/SMP ナノコンポジットは電気伝導性を有することを明らかにした。また、CNT/SMP ナノコンポジットは高い電磁波遮蔽効果を持ち、優れた遮蔽材料であることを示した。

一方、形状記憶ポリマーと炭素繊維織物との複合化により温度センサー用の積層板の開発を試み、一定の予たわみ条件下でたわみ回復特性を評価した結果、得られた積層板は高い回復性を持っていることから、温度センサ用材料としての応用が可能であることが示された。また、たわみ回復予測理論を提案し、積層板のたわみ回復特性の理論予測と実験値が良く一致することを示した。さらに CFRP 材とのハイブリッド複合化による制振材料としての SMP/CFRP ハイブリッド積層板の開発を試み、ハイブリッド積層板の比率および積層位置を変化させることにより、様々な曲げ特性および減衰特性をあわせ持つ材料が得られ、実構造物の要求に応じた材料設計が可能であることが示唆された。

以上のように本論文で得られた知見は、今後の形状記憶ポリマーの実用化、応用展開に非常に有益なものであり、形状記憶ポリマーの新しい方向性を示している。

本学位論文作成の基礎となる学術論文は以下の通りである。

- 1) 張 春生, 倪 慶清, 倉鋪 憲, 岩本 正治, “形状記憶ポリマー／CFRP ハイブリッド積層板の曲げ及び振動特性の評価”, 材料 (日本材料学会), Vol.55, No.3, (2006), pp. 329-334.
- 2) Chun-Sheng Zhang, Qing-Qing Ni, “Bending Behavior of Shape Memory Polymer Based Laminates”, Composite Structures, Vo.78, (2007), p.153-161.
- 3) Chun-Sheng Zhang, Qing-Qing Ni, Shao-Yun Fu, Ken Kurashiki, “Electromagnetic Interference Shielding Effect of Nanocomposites with Carbon Nanotube and Shape Memory Polymer”. Composites Science and Technology, (in press).
- 4) Qing-Qing Ni, Chun-Sheng Zhang, Yaqin Fu, GuangZe Dai, Teruo Kimura, “Shape Memory Effect and Mechanical Properties of Carbon Nanotube/Shape Memory Polymer Nanocomposites”, Composite Structures, (in press).
- 5) Chun-Sheng Zhang, Qing-Qing Ni, Ken Kurasaki, Teruo Kimura, “Damping Properties of Hybrid Laminates with Shape Memory Polymer”. Composite Structures, (submitted).