

氏 名	おおき たける
学位(専攻分野)	大 木 武
学 位 記 番 号	博 士 (工 学)
学位授与の日付	博 甲 第 3 0 7 号
学位授与の要件	平成 15 年 3 月 25 日
研 究 科 ・ 専 攻	学位規程第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
審 査 委 員	形状記憶材料の複合材料への応用とその性能評価 (主査)
	教 授 岩本 正治
	教 授 濱田 泰以
	教 授 木村 照夫
	助教授 倪 慶清

論文内容の要旨

本論文は、先端機能性材料として注目されている形状記憶材料である形状記憶ポリマー (Shape Memory Polymer : SMP) および形状記憶合金 (Shape Memory Alloy : SMA) を、母材および機能強化材として複合材料に用いてその力学的特性への影響および機能発現を明らかにすることで形状記憶材料の新たな応用展開を行った一連の研究成果を 6 章にまとめたものである。

形状記憶ポリマーの中でポリウレタン系 SMP は、ガラス転移温度 (T_g) が室温 $\pm 50K$ の間で自由に設定できることや、ガラス転移温度 (T_g) の上下の温度で、力学的性質や光学的性質、蒸気透過性などが大きく異なる特徴を有することから、産業、医療、福祉、日常生活などの分野で応用が期待されている。しかし、工業界では、材料強度などの弱所のために応用が進んでないのが現状である。一方、形状記憶合金 (SMA) は、構造部材の分野で、アクチュエータ機能を持ち、SMA を金属や高分子材料の中に埋め込むことで、母材にき裂が発生するのを抑制、あるいはき裂発生後にはこれを閉鎖する機能を有している。以上のことから本論文では、上記 2 種類の代表的な形状記憶材料を取り上げ、材料の複合化により短繊維強化 SMP 複合材料の開発、SMP および SMA を既存の複合材料との複合化による新規材料を提案し、機能性の付与および既特性の向上を目的とした応用展開を行った。

第 1 章では、対象材料の工業材料としての位置づけ、研究の背景および対象材料の概要を述べ、本論文の構成を記述した。

第 2 章では、ポリウレタン SMP を用い、工業材料への応用展開を計るために、短繊維強化 SMP 複合材料を開発し、複合化後の材料の力学的特性、形状記憶特性を検討した。その結果、マトリックス樹脂である SMP のガラス転移温度 (T_g) を中心とした様々な温度領域で、繊維の含有に伴った引張強度およびクリープ破断ひずみの向上が明らかとなった。同時に、形状記憶特性を左右するガラス転移温度 (T_g) の上下における弾性率の変化を確認し、形状記憶特性の保持が可能であることを明らかにした。

第 3 章では、第 2 章で開発した材料に対して実用的観点から繰返し引張試験を行った。その結果、繰返し数の増加に伴う残留ひずみの挙動において、ガラス短繊維の強化による SMP 複合材料の繰返し引張負荷に対する特性の向上が明らかとなった。開発した SMP 複合材料の形状記憶特性を評価するサーモメカニカルサイクル試験の結果から、残留ひずみを考慮したひずみ回復率にお

いて繰返し数が増加するとほぼ一定の値をとり安定することが明らかになった。これらのことから、強化繊維を含有した **SMP** 複合材料の力学的特性の向上と形状回復性の保持が明らかとなった。

第 4 章では、ポリウレタン系 **SMP** の複合化による新しい応用展開を計るために、**CFRP** 積層板に **SMP** 層をハイブリッドした **SMP-CFRP** ハイブリッド複合材料を開発し、静的曲げ特性および貫通衝撃特性を検討した。静的曲げ試験の結果、**SMP** 層の挿入により曲げ強度は低下するものの、**CFRP** 積層板の脆性的な破壊の抑制および曲げたわみの増加が認められた。貫通衝撃試験において、**SMP-CFRP** ハイブリッド複合材料に通電加熱を施し試験を行った結果、加熱による **SMP** 層の特性変化によって、**SMP-CFRP** ハイブリッド複合材料は **CFRP** 積層板と比較して高いエネルギー吸収特性を有することが明らかとなった。これらの結果より、**SMP** の温度を制御することによって、特性を変化させることが可能なハイブリッド材料の設計が可能であることを明らかにした。

第 5 章では、**SMA** を有する複合材料の特性評価として、まず材料中に埋め込まれた **SMA** の特性および挙動を把握するために、**SMA** 埋込みエポキシ板を作製し、**SMA** の形状回復力が及ぼす影響について調べた。続いて、**SMA** 埋込み **CFRP** 積層板を作成し、静的および動的曲げ特性について検討した。**SMA** 繊維を埋め込んだエポキシ板の切欠き先端における応力集中緩和について、**SMA** 繊維と切欠き先端からの距離、**SMA** 繊維により大きな回復力を発生させる予ひずみ量および開発対象となる材料における負荷状態の検討が、的確な機能発現に対して重要であることを明らかにした。また、**SMA** 繊維埋込み **CFRP** 積層板を作成し、その静的および動的曲げ特性を評価した結果、通電加熱による **SMA** 繊維の弾性率変化および形状回復力の発現により、動的曲げ特性を損なうことなく曲げ弾性率が向上する材料の創製が可能であることを明らかにした。第 6 章では、以上の各章を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文により、代表的な形状記憶材料であるポリウレタン形状記憶ポリマー (**SMP**) および形状記憶合金 (**SMA**) を、母材および機能強化材として複合材料に用いてその力学的特性への影響および機能発現を明らかにし、形状記憶材料の新たな応用を展開できた。とりわけポリウレタン形状記憶ポリマーを工業材料への応用展開を計るために、短繊維強化形状記憶ポリマー複合材料を開発し、複合化後の材料の力学的特性、形状記憶特性を引張、クリープおよび繰返し引張の各試験により検討し、開発した材料は力学的特性の向上が確認され、同時に形状回復性の保持が明らかとなった。一方、形状記憶ポリマーおよび形状記憶合金を既存の複合材料との複合化による材料開発において、**CFRP** 積層板に形状記憶ポリマー層をハイブリッドした **SMP-CFRP** ハイブリッド複合材料を開発し、形状記憶ポリマーの温度を積極的に制御することによって、従来材に比べ高い曲げ抵抗能および衝撃エネルギー吸収能を有することが明らかとなり、特性を変化させることが可能なハイブリッド材料設計が可能であることを明らかにした。形状記憶合金を有する複合材料においては、形状記憶合金の形状回復力、形状記憶合金埋込み **CFRP** 積層板の静的および動的曲げ特性を明らかにし、通電加熱による形状記憶合金繊維の弾性率変化および形状回復力の発現により、動的曲げ特性を損なうことなく曲げ弾性率が向上する材料の創製が可能であることを明らかにした。

なお、本論文の内容は主に下記の 5 篇の論文を基に構成されたものである。そのうち 4 篇

は申請者が筆頭著者となっている。

1. T. Ohki, N. Ohsako, Qing-Qing Ni, M. Iwamoto, Mechanical Properties of Smart Composites Based on Shape Memory Polymer, Materials Science Research International, Special Technical Publication-2, pp.115-120, 2001.
2. Qing-Qing Ni, T. Ohki, N. Ohsako, M. Iwamoto, Thermo-mechanical Behavior of Smart Composites with Shape Memory Polymer, ICCM-13, pp.1-9 (ID1332), 2001.
3. T. Ohki, Qing-Qing Ni, M. Iwamoto, Fundamental Mechanical Properties and Application of Composites with Shape Memory Polymer, 10th U.S.-Japan Conference on Composite Materials, pp.221-229, 2002.
4. T. Ohki, Qing-Qing Ni, N. Ohsako, M. Iwamoto, Mechanical and Shape Memory Behavior of Composites with Shape Memory Polymer, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, submitted.
5. T. Ohki, Qing-Qing Ni, M. Iwamoto, Creep and Cyclic Mechanical Properties of Composites based on Shape Memory Polymer, Engineering and Science of Composite Materials, submitted.