京都工芸繊維大学

氏　　名	しのくぼ　まさはる **忍久保　正治**
学位(専攻分野)	博　士（学術）
学位記番号	博甲第　５６９　号
学位授与の日付	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 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	**繊維ハイブリッド組物複合材料の設計手法に関する研究**
審査委員	(主査)教授　濱田泰以 教授　藤井善通 教授　高倉章雄 准教授　仲井朝美 村田機械株式会社主任部員　魚住忠司

論文内容の要旨

本論文では、複数種の繊維材料により構成される繊維ハイブリッド組物複合材料における設計指針および設計手法を提案した。一般に、繊維ハイブリッドとは、1 つの繊維強化複合材料において、複数の異なる力学的特性を有する強化繊維を使用することと定義される。繊維ハイブリッド複合材料においては、互いの材料の欠点を補い、長所を活かした材料特性が得られると期待される。この繊維ハイブリッドの定義を、「繊維構造／繊維物性／繊維配置」ハイブリッドの 3 つの概念に拡張し、各々の繊維ハイブリッド構造における力学的特性への影響を検討した。

「繊維構造ハイブリッド」は、同じ繊維材料を使用しているが、繊度や撚糸状態等、構造が異なる繊維材料を 1 つの強化形態内で併用することと定義する。「繊維物性ハイブリッド」は、1 つの強化形態内で特性の異なる繊維材料を併用することと定義する。さらに、「繊維配置ハイブリッド」は、材料の組み合わせおよび比率を変更せずに、異なる繊維材料同士の相対位置を変更することと定義する。

本研究では、新たに提案した 3 種類の繊維ハイブリッド構造の概念を組物複合材料に適用し、静的および動的特性に優れる部材を開発する設計指針を得ることを目的とする。

第 2 章では、3 種類のハイブリッド構造のうち、繊維構造ハイブリッド化による内部構造変化と力学的特性との関係を明らかにし、繊維構造ハイブリッド組物複合材料における設計指針を示した。平打組物を強化形態とし、中央糸（長手方向繊維）の繊度を変化させた組物複合材料を作製し、断面観察により繊維束間距離および繊維束断面形状等の内部構造パラメータの変化を明らかとした。力学的特性については、引張特性への影響を検討し、さらに積層理論を用いた引張弾性率予測の有効性についても明らかにした。

第 3 章では、繊維物性ハイブリッドおよび繊維配置ハイブリッド組物複合材料における設計指針を示した。繊維物性ハイブリッドについて、弾性率および強度特性に優れる炭素繊維と、振動減衰特性に優れるアラミド繊維を用いた平打組物を強化形態とするハイブリッド試験片を作製し、振動減衰性能と曲げ剛性に優れる組物複合材料の設計指針を提案した。炭素繊維のみで作製した試験片と比較し、中央糸にアラミド繊維を用いた試験片では、弾性率を維持しながら振動減衰特性が改善され、繊維物性ハイブリッド構造の有効性を示すことができた。繊維配置ハイブリッド

については、異なる繊維材料の相対位置の違いが振動特性へ及ぼす影響について明らかにするため、炭素繊維/アラミド繊維ハイブリッド角打組物において、中央糸に用いるアラミド繊維の配置を変更した試験片を作製した。繊維配置の振動減衰性能へ及ぼす影響を検討し、その設計指針を提案した。

第 4 章では繊維ハイブリッド組物複合材料の材料設計および構造設計手法を提案した。解析対象として、I 型断面形状を有する組物を強化形態とした複合材料の曲げ特性について検討した。本章における I 型組物複合材料では、繊維物性ハイブリッドおよび繊維配置ハイブリッドの 2 種類の繊維ハイブリッド化を同時に検討した。炭素繊維とガラス繊維を用いて繊維物性ハイブリッド複合材料を作製し、単一繊維で強化した複合材料と比較評価した。次に、繊維配置ハイブリッド化の概念を適用することにより、曲げ弾性率を維持しながら、強度を向上させる設計指針が得られた。

第 5 章では、製品長手方向に優れた力学的特性が要求されるロボットアーム等の構造部材への用途展開を考え、繊維構造ハイブリッドの概念を応用し、長手方向繊維の繊維含有率を組糸の繊維含有率に対し著しく増加させた「一方向偏重型組物複合材料」を新たに提案した。さらに繊維物性ハイブリッドの概念を適用し、長手方向繊維の弾性率を変化させた一方向偏重型組物複合材料を作製した。それら一方向偏重型組物複合材料の曲げ剛性を積層理論および複合はり理論により算出し、その設計指針を得た。

以上により、組物複合材料を用いて「構造」「物性」「配置」の 3 種類のハイブリッド化の概念を適用することにより、単一材料では実現できなかった特性を有する構造部材の実現の可能性を示すことができた。

論文審査の結果の要旨

本論文では、複数種の繊維材料により構成される繊維ハイブリッド組物複合材料における設計指針および設計手法を提案している。繊維ハイブリッドの定義を、「繊維構造／繊維物性／繊維配置」ハイブリッドの 3 つの概念に拡張していることが大きな特長であり、この考えに基づき新規な複合材料の提案がなされていることは、複合材料の今後の進展に大いに寄与するものである。

具体的には、繊度、繊維の種類、繊維配置を変更した繊維ハイブリッド組物複合材料を作製し、その引張特性、曲げ特性および振動特性に関して比較検討している。この結果により、静的および動的力学的特性の両方に優れた構造部材の設計指針が示され、さらに、繊維ハイブリッド組物複合材料の弾性率および破壊進展挙動の予測手法確立に成功している。これらの成果は工業的に極めて有意義である。

以上のように本研究は、単一材料では実現できなかった特性を有する構造部材の実現の可能性を示唆するものであり、新規性があり、工学的さらに工業的にも意味深い。

本論文の内容は次の 5 報に報告されている。

1. Mechanical Properties of Fiber-Hybrid I-shaped Braided composite
   M.Shinokubo, A.Ohtani, A.Nakai, H.Hamada
   Proceeding of 10th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE-10) 2007
   POLYMER MATRIX COMPOSITES-3-2, pp.1-6 (2007)

2. Static and Dynamic Characterization of Fiber-hybrid Braided Composites
M.Shinokubo，Y.Sasaki，K.Nakamura，A.Ohtani，A.Nakai，H.Hamada
Proceeding of 11th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE-11) 2009
POLYMER MATRIX COMPOSITES-8-2, pp.1-6 (2009)

3. Internal Structure and Mechanical Properties of Three-Axial Braided Composites
M.Shinokubo，A.Ohtani，A.Nakai，H.Hamada
Composites Part A,（投稿中）

4. 繊維ハイブリッドI型組物複合材料の力学的特性
忍久保正治，魚住忠司，大谷章夫，仲井朝美，濱田泰以
繊維学会誌（投稿中）

5. 一方向偏重型組物複合材料の力学的特性
忍久保正治，大谷章夫，仲井朝美，濱田泰以，魚住忠司
日本複合材料学会誌（投稿中）

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。