

氏 名	たもい はやと 田茂井 勇人
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 7 5 2 号
学位授与の日付	平成 27 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 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	織物強化複合材料の力学的特性に及ぼす撚りおよび構造の影響
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 教授 鋤柄佐千子 岐阜大学工学部機械システム工学科教授 仲井朝美 三菱電機(株)伊丹製作所主席技師長 藤田章洋

論文内容の要旨

本研究では、日本の文化の象徴である着物に使用される、ちりめんの技術に着目した。ちりめんは、たて糸には無撚りの生糸を使用し、よこ糸は強撚糸を使用した織物である。よこ糸の撚りが戻る力により、生地が収縮し、ちりめん独特のシボと呼ばれる凹凸が生まれる。また、ちりめんには図柄を出すため、よこ糸を 2 層、3 層と多層構造にする織り技術である紋意匠がある。このように、ちりめんには基本要素技術として、撚糸の技術と紋意匠の技術がある。これら二つのちりめんの基本要素技術を複合材料の強化形態に応用することで、新たな複合材料の創生に取り組んだ。撚糸技術の複合材料への応用は、ひとつの複合材料中に複数の種類の強化繊維を導入し、単一の繊維からなる複合材料では得られない物性を発現することができる繊維ハイブリッド化技術であると言える。繊維ハイブリッドの概念は拡張され、特性の異なる繊維材料を併用した場合や、同じ繊維材料を使用しているが、織度や撚糸状態等、構造が異なる繊維材料を併用した場合は、それぞれ繊維物性ハイブリッド、繊維構造ハイブリッドと呼ばれ、新たな機能や物性が期待される。一方、紋意匠の技術を複合材料の強化形態への応用により、新たな織り構造である層間強化型の多層構造織物の開発を行った。本研究では、ちりめんの撚糸技術を応用した織物複合材料の力学的特性に及ぼす撚糸の影響を明らかにすること、および、紋意匠の技術を応用した多層構造織物を強化形態とした複合材料の力学的特性と破壊挙動を明らかにすることを目的とした。

第 2 章では、絹やポリエステルを用いてちりめんを作製し、複合材料の強化形態に応用した。ちりめんの製造工程である精練工程による撚糸の解撚作用や撚糸の配置が、ちりめんの内部構造や力学的特性に及ぼす影響を検討した。絹を用いた精練工程前の生機ちりめんと精練工程後のちりめを強化形態にした複合材料を作製し引張試験を行った。ちりめん強化複合材料における強撚糸が引張特性および初期破壊発生挙動に及ぼす影響を明らかにした。

第 3 章では、ちりめんの撚糸技術を炭素繊維織物に適用し、撚り数が複合材料の力学的特性へ及ぼす影響を検討した。撚り数の異なる炭素繊維織物複合材料を作製し、引張試験を行ない、初期破壊の発生位置、および、初期破壊応力と撚り数の関係を明らかにした。更に、撚り数による炭素繊維織物の内部構造の変化を定量化した。内部構造を表現した有限要素解析により、見かけの繊維束内界面強度として、初期破壊発生時の繊維束内界面要素の応力値の同定を行った。撚り数の増加に伴い、見かけの繊維束内界面強度が低下することより、初期破壊発生をモニタリングするセンサとして強撚糸を利用できる可能性を提案した。

第 4 章では、第 3 章で作製した炭素繊維織物複合材料のたて糸方向と引張方向とが異なる場合の、撚り数の違いが初期破壊発生応力に及ぼす影響について明らかにした。また、第 3 章で作製した炭素繊維織物のよこ糸に炭素繊維の強撚糸と無撚糸を交互配置した場合、および、よこ糸の無撚糸にガラス繊維を用いた場合の、撚り数が複合材料の力学的特性に与える影響について検討した。第 3 章で検討した内部構造を考慮した織り構造モデルを用いて有限要素解析を行い、撚り数の違いが繊維構造ハイブリッド複合材料の初期破壊発生に及ぼす影響について明らかにした。

第5章では、炭素繊維織物の繊維の配向、繊維の種類、織組織が異なる4種類の織物において、撚糸が力学的特性に与える影響について検討した。評価方法としてはKES法の標準測定試験条件を元に、圧縮試験、曲げ試験を行い、織物の圧縮特性および曲げ特性を明らかにした。

第6章では、ちりめんの撚糸の技術を熱可塑性樹脂複合材料の繊維状中間材料である混織糸のハンドリング性の向上および含浸性の向上に応用し、撚り数がそれら特性に与える影響について検討した。炭素繊維とPA66繊維の混織糸を用いて加熱圧縮成形法により一方向繊維強化複合材料を作製した。撚糸により混織糸のハンドリング性、含浸性が向上することを明らかにした。引張試験を行い、混織糸の撚り数が複合材料の力学的特性に及ぼす影響を明らかにした。

第7章では、ちりめんの紋意匠の技術を複合材料の強化形態へ応用した。ガラス繊維を用いて新たな織り構造である、たて糸で層間を連結した多層構造織物を開発し、それを強化形態とする複合材料を作製した。曲げ試験を行い、従来型の平織物積層複合材料と比較評価を行った。従来型積層複合材料に比べ多層構造織物では、層間はいく離の進展を抑制し、高い曲げ強度を発現することを明らかにした。第8章では、本研究で得られた知見をまとめ、結論とした。

論文審査の結果の要旨

本研究では、日本の文化の象徴である着物に使用される、ちりめんの技術に着目し、日本の伝統技術を複合材料という先端材料技術へ融合させた独創的な研究である。ちりめんは、たて糸には無撚りの生糸を使用し、よこ糸は強撚糸を使用した織物である。よこ糸の撚りが戻る力により、生地が収縮し、ちりめん独特のシボと呼ばれる凹凸が生まれる。また、ちりめんには、図柄を出すためよこ糸を2層、3層と多層構造にする織り技術である紋意匠がある。これら「撚糸の技術」と「紋意匠の技術」のちりめんの2大基本要素技術を複合材料の強化形態に応用することで、新たな複合材料の創生に取り組んでいる点で非常に興味深い。ちりめんの撚糸技術を炭素繊維織物に適用し、初期破壊の発生位置、および、初期破壊応力と撚り数の関係を明らかにし、初期破壊発生をモニタリングするセンサとして強撚糸を利用できる可能性を提案している。炭素繊維織物の撚糸と無撚糸のハイブリッド構造や、ガラス繊維とのハイブリッド構造も作製、実証試験を進めており、この技術の展開性を示している。この考え方は、撚糸技術による複合材料の新たな機能の発見であり、非常に意義が深い。また、撚糸の技術により、熱可塑性樹脂複合材料の中間材料である混織糸のハンドリング性と含浸性の向上の両立を実現させており、中間材料の性能向上に大きく寄与し、複雑な加工を必要としないことから実用的な新技術であると言える。更に、ちりめんの紋意匠の技術を用いて、新たな織り構造である、たて糸で層間を連結した多層構造織物を開発し、複合材料の強化形態へ応用している。従来型の平織物積層複合材料で問題とされていた、層間での破壊進展を抑制し力学的特性の向上を実現化しており、新たな機能を有するテキスタイル技術として非常に興味深い。本研究によって得られた知見は実用的であり、ちりめんの技術の新たな分野への発展、繊維強化複合材料の発展に対して非常に有意義である。

本論文の内容は次の6報に報告されている。

1. **Application of traditional woven technique chirimen weaving to composite materials**
Hayato Tamoi, Yuki Kadoma, Akio Ohtani, Asami Nakai and Hiroyuki Hamada
11th JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION, USB, 2009
2. **熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維強化織物複合材料の撚りが力学的特性に及ぼす影響**
田茂井勇人、迫田健太郎、大谷章夫、仲井朝美
日本繊維機械学会 論文査読修正中。
3. **炭素繊維織物複合材料の繊維ハイブリッド構造が力学的特性に及ぼす影響**
田茂井勇人、迫田健太郎、魚住忠司、大谷章夫、仲井朝美
科学・技術研究 2015年6月号掲載予定
4. **撚り構造が炭素繊維織物の力学的特性に及ぼす影響**
田茂井勇人、小林彩香、仲井朝美、鋤柄佐千子
科学・技術研究 論文査読修正中。指示部分の修正により受託で修正論文を提出済み
5. **Effects of twisted carbon fiber on mechanical properties of composite materials**
Hayato TAMOI
13TH JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION, USB, 2013
6. **多重構造織物の作製方法及びその複合材料としての力学的特性**
田茂井勇人、北村雅之、大谷章夫、仲井朝美
強化プラスチック協会 論文投稿中。

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。