

氏 名	たかぎ みつろう <b>高木 光朗</b>
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 6 6 9 号
学位授与の日付	平成 25 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 先端ファイバ科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料用繊維状中間材料の開発 および応用</b>
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 教授 木村照夫 岐阜大学工学部機械システム工学科教授 仲井朝美

## 論文内容の要旨

近年、熱可塑性樹脂を用いた連続繊維強化複合材料（連続繊維 FRTP）が注目を集めている。従来の熱硬化性樹脂複合材料と比べて、成形に化学反応を必要としないことから、大幅な成形時間の短縮化が図れる。さらに、連続繊維を用いることから高い力学的特性が期待でき、熱可塑性樹脂を用いることからリサイクル性、二次加工性等の利点を得ることができる。しかし、連続繊維を用いること、熱可塑性樹脂の熔融粘度が高いことから、連続繊維 FRTP 成形の問題点として強化繊維束内への樹脂の含浸が困難であることが挙げられる。このような背景から、連続繊維 FRTP 成形の含浸性を向上させるため、様々な高含浸性中間材料の開発や成形方法に関する研究がおこなわれてきた。これらの研究において、連続繊維 FRTP 成形の高サイクル化の実現に向けて、樹脂を繊維束に含浸させるための流動距離（含浸距離）の短縮による含浸性の向上が非常に重要であるということが示唆されてきた。

そこで、本論文ではこれらの知見を基に、強化繊維近傍に熱可塑性樹脂繊維が配置されるように混織した、繊維状中間材料である混織糸を独自の技術を用いて開発した。さらに、開発した混織糸を用いて、組物を複合材料の強化形態とし、連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の高サイクル成形システムとして、連続成形法である引抜成形法を提案した。この成形システムの確立を目的とし、「中間材料設計」「構造設計」「成形設計」の 3 つの観点から設計をおこない、含浸特性および力学的特性に優れた成形品を高サイクル成形するための設計指針の構築をおこなった。

第 1 章では、まず本研究の着想にいたる経緯など研究の学術的背景に関して述べている。本研究に関する国内・国外の研究動向についてまとめた後、本論文の目的および構成について記述した。第 2 章では、連続繊維 FRTP の高サイクル成形システム確立のための設計指針について、「中間材料設計」「構造設計」「成形設計」の 3 つの観点における基本的な概念について述べた。第 3 章では、連続繊維 FRTP 成形用繊維状中間材料の開発を目的とし、混織糸を対象とした中間材料設計に関する設計指針の構築を試みた。第 4 章では、前章での結果を鑑みて、界面せん断強度および繊維束強度の両方を保持した混織糸の作製をおこなった。上述の混織糸を用いて、組物を複合材料の強化形態とし、連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の高サイクル成形システムとして、連続成形法である引抜成形技術を提案した。第 5 章では、L 型断面を有する組物強化 FRTP の引

抜成形技術の確立を目的とした。第 6 章では、引抜成形技術を繊維ハイブリッド組物熱可塑性樹脂複合材料の成形に展開し、設計指針の構築を試みた。

本論文の成果により、含浸特性および成形品の力学的特性に優れる混繊維作製のための中間材料設計指針が構築された。さらに、この中間材料設計に基づいて作製された混繊維を用いて、組物複合材料の引抜成形法の確立に取り組むことにより、連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の高サイクル成形システム構築に資する「中間材料設計」「構造設計」「成形設計」が可能となった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、熱可塑性樹脂を用いた連続繊維強化複合材料の成形システムの確立を目的とし、含浸特性および力学的特性に優れた成形品を高サイクル成形するための設計指針の構築をおこなった。上記目的を達成するため、「中間材料設計」「構造設計」「成形設計」の 3 つの観点から設計をおこなっている点に特長がある。

これらの研究成果により、強化繊維近傍に熱可塑性樹脂繊維が配置されるように混繊維し、含浸特性および成形品の力学的特性に優れる混繊維を開発、中間材料設計指針が構築されたことは、工業的に大変意義がある。さらに、開発した混繊維を用いて、金型を加熱・冷却せず、加熱金型および冷却金型内を、材料を連続的に引き抜くことで成形が可能な連続成形法である引抜成形法を提案したことは、連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の高速成形加工技術の 1 つとなる可能性を十分に有しているとともに、環境負荷軽減という観点からも評価できる。

本論文の内容は次の 5 報に報告されている。

### 1. Development of Pultrusion System for Fiber Hybrid Braided Composites

Toshihiro Motochika, Akio Ohtani, Asami Nakai, Kazufumi Nakazawa, Mitsuru Takagi  
*Design, Manufacturing and Applications of Composites* (Submitting)

### 2. Effects of fiber commingled ratio in intermediate materials on mechanical property of CF/PA composites

Takagi Mitsuru, Daisuke Hatano, Akio Ohtani, Asami Nakai  
*Proceedings of the 12th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition, PMC-5,(2011)*

### 3. 連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料成形のための繊維状中間材料の開発

中沢和史, 本近俊裕, 高木光朗, 大谷章夫, 仲井朝美  
*Journal of Textile Engineering* (査読中)

### 4. 連続繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の引抜成形に関する研究

高木光朗, 仲井朝美, 大谷章夫, 本近俊裕, 中沢和史  
成形加工学会誌「成形加工」(投稿中)

### 5. IMPREGNATION PROCESS FOR FIBER HYBRID BRAIDED REINFORCEMENT THERMOPLASTIC PLASTIC

Mitsuru Takagi, Toshihiro Motochika, Kazufumi Nakazawa, Toshikazu Uchida, Akio Ohtani, Asami Nakai,  
*SPE-ANTEC Technical Papers* (Accepted)

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。