氏　名	夏（カ）　明（メイ）
学位(専攻分野)	博　士　（工　学）
学位記番号	博　甲　第　51　号
学位授与の日付	平成 6 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	工芸科学研究科機能科学専攻
学位論文題目	**Studies on Fiber Orientation and Mechanical Properties of Fiber Reinforced Composites** （繊維強化複合材料の繊維配向と力学的特性に関する研究）
審査委員	（主査）教授 前川善一郎 教授 小西　孝　教授 秋山隆一　教授 自念榮一

論文内容の要旨

本論文においては、熱可塑性樹脂をマトリックスとして用いた繊維強化複合材料成形品の力学特性、特に剛性と変形の推定法を確立することを目的としたものであり、繊維配向状態の測定法、繊維配向分布および繊維長分布の一般表示法、および複雑な繊維配向分布を有する成形材料の剛性と変形の推定法に分けて研究を行ったものである。本論文は 5 章及び緒論と結論から構成されるものであり、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、本論文の研究の背景を述べ、既往の研究の現状と問題点を明確にしている。

第 2 章では、繊維配向の測定法の提案を行っている。高分子系の繊維強化複合材料に対し軟 X 線を用いて繊維配向画像を得る。その画像を画像処理システムを用いてデジタル量に変換し、提案した繊維配向係数により解析を行い、繊維配向分布を求めるものである。コンピュータシミュレーションにより配向角度およびその分布が既知である繊維配向画像を創成し、その画像に対し本手法を適用して配向分布を求め、その有用性について確認している。

第 3 章では、繊維配向分布を考慮した繊維強化積層板の剛性と変形解析を取り扱っている。成形品の最も基本的な形状である平板を対象とし、繊維配向分布を考慮した繊維強化複合材料の剛性および変形挙動を調べるため、最初に複雑な繊維配向分布状態を表現する方法としてベータ関数を用いた手法を提案した。一方向繊維強化ラミナに対して直交異方性弾性論を適用し、基本的な材料の負荷とひずみとの関係を示す構成方程式を構築し、その中に繊維配向密度関数を組み込み、有限要素法を用いて、要素ごとに変形解析を行い、これを組合せた成形板の変形挙動を推定する手法を提案した。その結果、実験結果とのよい一致を得ている。

第 4 章では、繊維配向および繊維長分布を考慮した繊維強化射出成形品の剛性特性を取り扱っている。射出成形品は繊維配向分布を持つだけでなく、繊維長分布も合わせて持ってる。繊維配向および繊維長分布は成形品の力学特性に大きく影響を及ぼすが、繊維配向分布と同じベータ関数を持つ繊維長分布関数を提案し、成形品を要素分割し、各要素は一方向繊維強化ラミナが繊維配向および繊維長分布に応じた割合で積み重なったものと考え、Halpin-Tsai 式を用いて、繊維アスペクト比の関数として、繊維配向と繊維長に分布をもつモデルを構成し、数値計算により、射出成形品の剛性を推定する手法を提案している。

第 5 章では、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の圧縮成形品の剛性を取り扱っている。代表的な成形法の一つである圧縮成形品にこれまでに提案した理論を適用したものである。最初に、成形時の流動に

よる繊維の繊維長および配向分布が成形品の力学特性に与える影響について実験的検討を行っている。次に、第2章と第3章で提案した繊維配向分布の測定および成形品の剛性予測に基づいて、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂複合材料圧縮成形品の剛性を推定し、実験とのよい一致を得ている。

第6章では、サンドイッチ射出成形品の曲げ特性を取り扱っている。ポリアミド樹脂を母材とし、長繊維および短繊維で強化したサンドイッチ構造を有する成形品を取り上げ、曲げ特性について検討を行っている。スキン層には長繊維で、コア層には短繊維で強化したサンドイッチ材を作製し他のサンドイッチ材あるいはこれらを構成する単体材と比較することにより、長繊維で補強した強化効果を実験的および理論的に明確にしサンドイッチ射出成形品は優れた曲げ特性を有することを明確にしている。

最後に、第7章の結論において、これまで論じてきた研究の成果の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

繊維強化複合材料は成形時に繊維が樹脂マトリックスとともに流動する場合には、成形品の形状に応じて複雑な繊維配向分布を示すことはよく知られている。また、繊維配向分布状態は繊維強化複合材料の力学特性に大きく影響する。複雑な繊維配向分布を持つ材料の変形挙動は複雑であり、繊維が流動接合部で一方向に並ぶことによって生じるウェルドライン部では強度や剛性などが低くなることが判明している。このような繊維配向を有する成形品の剛性、強度などの物性を把握するために、繊維配向分布の測定および成形品の変形や強度の推定手法の確立は複合材料研究の中心的課題の一つになっている。

本論文では、これらの課題の解明に向けて本材料の繊維配向状態の測定法、繊維配向分布および繊維長分布の一般表示法、さらに、複雑な繊維配向分布を有する成形材料の剛性と変形の推定法に分けて研究を行ったものである。最初に、軟X線を用いて得た繊維配向画像を画像処理システムを用いてデジタル量に変換し、提案した繊維配向係数により、繊維配向解析を行う手法を提案し、シミュレーションによりその有用性を見出している。つぎに、繊維配向分布および繊維長分布をベータ関数を用いた表示法で示し、その妥当性を見出している。さらに、本表示法と直交異方性弾性論を組合せ、複雑な繊維配向状態を有する成形板の剛性および変形挙動を推定する手法を提案している。これらの手法を代表的な成形法である圧縮成形品と射出成形品に適用し、実験値とよい一致を得ている。これらの成果は今後、繊維強化複合材料成形品の精密化、信頼性向上をはかる上で大きく貢献できるものと期待され、本研究は独創性があることを全審査委員が認めた。

本研究の内容は国際的学術雑誌に3編と国内学術雑誌に1編の学術論文として報告されている。また本内容は、繊維強化複合材料の金型設計に有用な指針を与えるものであり、工学的価値を有している。このように本研究はおもに工学の観点から問題の追求と解決をはかったものであるので専攻分野として工学と付記することが適切である。