

氏名	ぐえん てい たん びん NGUYEN THI THANH BINH
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第749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	A NUMERICAL APPROACH FOR THE INJECTION MOLDING PROCESS OF SHORT-FIBER-REINFORCED COMPOSITES WITH CONSIDERING FIBER ORIENTATION (数値解析手法を用いた短繊維強化複合材料射出成形品の繊維配向予測手法に関する研究)
審査委員	(主査)准教授 横山敦士 教授 木村照夫 教授 鋤柄佐千子

論文内容の要旨

本論文は、高分子材料内にガラス繊維を配合した短繊維強化複合材料を射出成形法により成形した製品内の繊維配向分布について、成形中の樹脂流動に伴い移動する繊維配向分布を3次元的に計測し、その配向メカニズムの検討ならびに数値解析手法を用いた繊維配向分布の予測手法の開発に関する研究成果をまとめたものである。本論文は4章および緒論と結論から構成され、以下に各章の概要を示す。

第1章では、本研究に至る背景および目的について述べている。射出成形法を用いた繊維強化複合材料の成形は、熔融した樹脂を金型内に高速で射出することで行われる。このため成形品内の繊維配向分布はその流動状況の影響を受けるためその予測は困難で、高度な数値解析技術を用いた予測手法の開発が長年にわたって行われてきており一定の成果を挙げている。しかし、近年、軽量・高剛性の要求に従って繊維の含有量を増やす、繊維を長くするなどの改良が行われてきて、繊維配向のメカニズムが複雑になってきており従来の予測手法では精度良い予測が困難になってきていることを指摘している。このような状況を鑑みて新たな繊維配向予測法の必要性について述べている。

第2章では、短繊維強化複合材料射出成形品内部の3次元的な繊維配向分布の計測並びに計測結果に基づく繊維配向メカニズムについて検討を行っている。成形品内の繊維配向分布計測についてX線CT装置を用いて計測することで、3次元配向分布状況を定量的把握することを行っている。さらに繊維配向分布形成メカニズムについての検討について数値流動解析を用いて行っており、成形品内部の内部構造と繊維配向分布の関係について明らかにしている。繊維配向分布予測に関して流動状況と繊維配向状況の関係を明らかにすることで予測手法開発に際しての検討項目の明確化を行っている。

第3章では、射出成形品内での繊維配向分布予測手法の提案を行っている。第2章で行った樹脂流動状況と繊維配向分布の関係をもとに繊維配向予測手法について、流動中の繊維相互干渉を表

現しうる繊維の運動モデルの構築を行っている。高分子流体中の繊維の運動を記述する Jeffery モデルおよび繊維配向分布を表現可能である Folgar-Tucker モデルを基にして新たに繊維相互干渉を確率的に表現する項目を導入する新たな予測手法の開発に成功している。このモデルを用いることで流動中の繊維相互干渉が無視できない高繊維含有率複合材料における繊維配向分布の予測が可能であることを確認している。

第4章では、第3章で提案した繊維配向予測手法を用いて実際の成形品内での繊維配向分布の予測を行い、その有効性・汎用性の確認を行っている。平板形状の単純流路における繊維配向分布において繊維含有率が異なる多様な成形品について実際の繊維配向分布と予測手法を用いたシミュレーション結果が良い一致を示し、本論文で提案している予測手法の有効性並びに汎用性についての確認を行っている。さらには樹脂合流部であるウエルドが発生する成形品においてウエルド部での繊維配向状況を3次的に検討し、その予測が十分な精度で可能であることを確認している。

第5章では、シボ形状を表面に加飾した射出成形品を対象として、その表面性状について定量的に評価を本論文で提案している予測手法で行う可能性について検討を行っている。表面性状を定量的に評価するパラメータを提案し、そのパラメータと繊維配向分布において成形品最表面部の繊維配向分布が良い一致を示すことを明らかとし、表面性状には成形品表面部の繊維配向が表面性状に影響を与え、本論文で提案している繊維配向分布予測手法が表面性状の予測に利用できる可能性があることを指摘している。

第6章では、各章で得られた知見をまとめ、短繊維強化複合材料射出成形品の繊維配向分布ならびにその予測手法について、各章で得られた知見をまとめている。最後に、本研究における今後の展望を述べ、本論文における結びとしている。

論文審査の結果の要旨

省エネルギーの観点から工業製品の軽量化が要請されている。このため、各分野において繊維強化複合材料の利用が進んでいる。複合材料の各種成形法のうち射出成形は複雑な3次元形状を高い生産性で製造できることで注目されている。このため複合材料射出成形品においても高剛性かの要求に従って長繊維化や高繊維含有率が進んでおり、その成形法の開発も行われている。このような状況で所望の成形品を得るためには成形品内部の繊維配向を適切に制御することが必要であるが、射出成形中の樹脂流動は複雑で最終成形品内での繊維配向を予測することは難しい。そのため数値解析技術を用いた繊維配向予測手法の開発が行われてきている。しかし、従来の手法では繊維は樹脂の流動状況にそって移動しているとの仮定に基づいており長繊維や高含有率化での成形では予測は困難であった。

本論文では、短繊維強化複合材料射出成形品内部のガラス繊維の配向状態についてその3次元配向状況を詳細に検討し、その予測手法の提案を行ったものである。射出成形品内の繊維配向分布についてX線CT装置を用いて3次的に計測し、その詳細な配向分布計測結果をもとに、繊維配向メカニズムの検討を行い、繊維含有率の影響等、繊維相互干渉に伴う繊維配分への影響を検討している。以上の実験的な知見を基に繊維配向予測手法の開発を行っている。この手法は従来から行われている繊維配向予測手法に繊維相互干渉による影響を加えたもので多様な繊維含有率の成形品並びに成形品形状に対して有効な予測手法であることを確認している。本論文で提案した繊維配向予測手法は、高分子系材料を用いた繊維強化複合材料射出成形品において、広範な繊

維配向分布予測に有効な手法であることが期待でき、複合材料射出成形品の設計技術向上ならびにその成形品の利用範囲の拡大に対して大きな役割を果たし得るものと高く評価された。

本研究をまとめるに当たり基礎となったレフェリー制のある4報の論文を下記に示す。

- (1) Thanh Binh Nguyen Thi, Mizuki Morioka, Atsushi Yokoyama, Senji Hamanaka, Katsuhisa Yamashita, Chisato Nonomura, Measurement of fiber orientation distribution in injection-molded short-glass-fiber composites using X-ray computed tomography, Vol. 219, pages 1-9, academic journal “Journal of Materials Processing Technology” (Year of 2015)
- (2) T. B. Nguyen Thi, A. Yokoyama, K. Ota, K. Kodama, K. Yamashita, Y. Isogai, K. Furuichi, and C. Nonomura, Numerical Approach of the Injection Molding Process of Fiber-reinforced Composite with Considering Fiber Orientation, Vol. 1593, pages 571–576, academic journal “AIP Conference Proceedings” (Year of 2014)
- (3) Thanh Binh Nguyen Thi, Mizuki Morioka, Atsushi Yokoyama, Senji Hamanaka, Katsuhisa Yamashita, Chisato Nonomura, Numerical Prediction of Fiber Orientation in Injection-molded Short-fiber/Thermoplastic Composite Parts with Experimental Validation, Being accepted, academic journal “AIP Conference Proceedings” (Year of 2014)
- (4) Thanh Binh Nguyen Thi, Atsushi Yokoyama, Katsuhiko Kodama, Katsuhisa Yamashita, Chisato Nonomura A numerical and experimental study on surface properties of embossed decorative injection-molded parts Has been submitted, academic journal “Journal of Materials Processing Technology” (Year of 2014)

上記4編は申請者が筆頭著者である。以上の結果より、本論文の内容には十分な新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。