

氏名	とう かずひさ 藤 和久
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第747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	射出成形用繊維強化複合材料の高強度化に関する研究
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 横山敦士 国立大学法人名古屋大学ナショナルコンポジットセンター特任教授 長岡 猛 株式会社プレジール代表取締役社長 梅村俊和

論文内容の要旨

経済成長に伴い、環境問題は、局地的な問題から、地球規模の問題となっており、自動車の抱える課題に対し、複数の解決策が必要である。そして、車両軽量化はその解決策のベースとなると考える。現在、樹脂は、車両の軽量化用材料として活用され、その重量比率は、8-10wt%である。しかし、既存の樹脂の特性、例えば、低比重や高い成形自由度、さらには金属とは大きく異なる電気特性、熱特性を上手く活かした形での自動車への適用は成熟時期にきており、その比率は期待したようには増加していない。将来に亘り、樹脂材料で車両の軽量化に貢献していくためには、これまでより優れた性能や新しい機能を有する新規樹脂材料、及び成形加工技術の開発が強く求められている。本研究では、樹脂材料としては、自動車用樹脂として使われている材料の40wt%以上を占めるポリプロピレン(以下 PP)、成形法として、樹脂成形工法の中では、もっとも生産性が高く広く使われている射出成形に着目し、樹脂の物性向上、及び補強繊維として、ガラス繊維(以下 GF)及び炭素繊維(以下 CF)を用いた繊維強化複合材料の成形品物性を向上させるための研究を行った。

第2章では、熔融粘度の低い、すなわち低分子量の材料がスキン層を構成し、熔融粘度の高い、すなわち高分子量の材料がコア層を形成するとの仮説に基づき、これまででない機能を有する材料に関する研究を行った。結果として、新しく開発した5成分系のTPO材、すなわち2種類のPP、2種類のゴム、そしてタルクが、通常の射出成形機により、サンドウィッチ構造化させることを可能にすることを明らかにした。これまで、低熔融粘度樹脂と高熔融粘度樹脂を混ぜて流すと、低熔融粘度樹脂が表面層を形成する可能性があるとの推論はあったが、これを具現化し、バンパの重量を約20%軽量化した。

第3章では、独自に開発した圧力センサーを金型内に配備したバーフロー金型により、繊維強化複合材料の熔融粘度を正しく測定することが出来ることを確認した。これまで、繊維強化複合材料の熔融粘度を正しく測定することは難しかったが、この金型の開発により、それが可能になった。このバーフロー金型を用いた実験により、マトリックス樹脂に補強繊維を添加することで、複合材料の熔融粘度は大きく上昇することが確認できた。特に、熔融粘度の低いマトリックスPPを用いた場合、増粘効果は、高かった。また、CFがGFに比べて、より複合材料の熔融粘度を上昇させること、長い繊維は、より複合材料の熔融粘度を上昇させることを確認した。さらに、無水マレイン酸変性PP(以下 MAH-PP)添加によるCFPP、GFPPの界面の状態がどう変化するかを観察し、CFPPの場合は、界面の特性に変化が見られず、GFPPの場合は、界面の特性が向上すること確認できた。しかし、CFPP、GFPPいずれもMAH-PP添加による複合材料としての熔融粘度への影響はないことを確認した。

第4章では、射出成形用の長繊維CFPP(以下 L-CFPP)を用いて、材料の熔融粘度や成形機の混練スクリュウの圧縮比及び背圧が、成形品中の残存繊維長に及ぼす影響について明らかにした。供試材料として、4つの熔融粘度の異なるPPを用いてCFを30wt%含む長さ7mmのL-CFPPを調製し、圧縮比の異なる混練スクリュウにて背圧を変えて射出成形を行い、成形品中の残存繊維長、及び引張特性と衝撃強度を評価した。その結果、高熔融粘度の材料と低せん断スクリュウを用いて、低い背圧で成形することで、成形品中に1mm以上のCFを残すことが可能であり、それに伴いより高い物性を発現させることが可能であることを見出した。

第5章では、MAH-PPの添加によりGF/PP間の界面せん断強度を高めた材料を用い、マクロな

GF/PP 間の界面せん断強度を算出する手法として、Kelly-Tyson 法、ミクロンオーダーの径を有する繊維 1 本と樹脂の界面せん断強度を直接測定する手法として、ナノインデンテーションを用いた押し込み法、オングストロームオーダーの界面せん断強度をシミュレーションする手法として、分子動力学法の有効性を確認した。その結果、マクロな手法として Kelly-Tyson 法、ミクロな手法としてナノインデンテーションを用いた押し込み法が同様の結果を示すことが確認できた。ナノインデンテーションを用いた押し込み法が使えることを明らかにすることで、種類の異なる繊維で補強された樹脂複合材料中の繊維と樹脂の界面せん断強度を測定することが可能になり、工業的な利用価値が高いことを示した。一方、今回の解析手法として用いた分子動力学法は、単純化した形で界面形成をシミュレーションしたが、この時には MAH-PP の添加が強固な界面形成に寄与しないことが分かった。しかし、本研究において、解析をオングストロームオーダーまで踏み込んで検討した工業的価値は高い。

第 6 章では、本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

本研究では、非繊維強化複合材料の特性向上において、熔融粘度の異なる樹脂を混合して通常の射出成形機によって成形することで、これまでにない機能を発現するサンドウィッチ構造化を具現化し、自動車用バンパの量産化に導いた研究は、バンパ以外に採用されている PP や PP 以外の樹脂についても適用拡大が期待でき、工業的価値が高い。一方、繊維強化複合材料に関して、射出成形時の熔融粘度を正しく測定する金型を独自に製作し、これができることを示したことは本分野の研究において新規性及び工学的意義が高いことと認められる。また、複合材料の熔融粘度と繊維の種類や樹脂/繊維の界面強度を向上させる成分との関係を明確にした事、加えて、混練スクリュウのデザインを含む射出成形条件が、射出成形品の機械的物性に及ぼす影響についての詳細な研究によって得られた知見は、今後のさらなる繊維強化複合材料の新機能、性能向上につながると言える。さらに、マトリックス中の MAH-PP 含有率と GF 表面改質の関係を調べ、ナノインデンテーションを用いた押し込み法の有効性を検証すると共に、界面強度を分子動力学的に説明しようと試みている点は、工学的に有意義である。

本論文の内容は次の 5 報に報告されている。

- 1. SANDWICH-STRUCTURED THERMO PLASTIC OLEFIN RESIN FOR LIGHT WEIGHT AUTOMOTIVE BUMPER FACIAS ENABLES MOLDING BY A CONVENTIONAL INJECTION MOLDING MACHINE**
Kazuhisa To, Masaaki Onishi, Chiaki Asano, Masao Hara and Kazuhiro Furuta
ANTEC 2013 Proceedings of the 71st Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers 2013, Volume 1 of 3, pp. 200-204 (2013)
- 2. INFLUENCE OF CARBON FIBERS USED IN COMPOSITES ON MELT VISCOSITY OF COMPOSITES IN THE INJECTION MOLDING PROCESS**
Kazuhisa To, Megumi Kobayashi, Kenji Moriwaki, Yushi Matsuda, Hiroyuki Hamada, Cuntao Wang, Sungeon Kim, Hiroaki Yamada
ANTEC 2014 Proceedings of the Technical Conference & Exhibition, pp. 196-200 (2014)
- 3. 複合材料の熔融粘度と混練スクリュウが炭素長繊維強化ポリプロピレン射出成形品の繊維長及び機械的強度に及ぼす影響**
藤和久, 小川淳一, 松田祐之, 小林めぐみ, 森脇健二, 平本健治, 金成彦, 山田浩明
王存涛, 濱田泰以
科学・技術研究会, 第 4 巻 1 号 (2015) (掲載予定)
- 4. ガラス繊維強化ポリプロピレンの界面特性評価方法に関する研究**
藤和久, 平本健治, 松田祐之, 小川淳一, 森脇健二, 濱田泰以
成形加工 (受理済み)
- 5. INFLUENCE OF RESIDUAL FIBER LENGTH ON PUNCTURE IMPACT BEHAVIOR OF INJECTION MOLDED GLASS FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE WITH AND WITHOUT ELASTOMERS**
Kazuhisa To, Junichi Ogawa, Kenji Moriwaki, Yushi Matsuda, Hiroyuki Hamada
Polymer Composites (Submitted)

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。