

氏名	うあわんすわん ぷーていなん UAWONGSUWAN PUTINUN
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第751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	Structure and properties of short fiber reinforced polymer composite and hybrid composite fabricated by injection molding process (射出成形による短繊維強化複合材料およびハイブリッド複合材料の構造と特性)
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 京都工芸繊維大学伝統みらい教育研究センター研究員 居野家博之 株式会社グリーンプレジール代表取締役社長 野村 学

論文内容の要旨

短繊維強化複合材料は安価で成形性が良く、また熱可塑性樹脂単体よりも優れた機械的物性を持つことから、自動車・電子部品など幅広く広い分野において用いられている。本材料の機械的物性を制御するための重要な要素として繊維長分布・界面特性・繊維含有率・繊維配向などが挙げられるが、本研究においてはこれら主要な要素が短繊維強化複合材料に与える影響について検証、考察を行った。また他の要素として樹脂・繊維特性、材料構造による影響についても評価を行った。さらに、新しい繊維強化複合材料の成形技術として繊維直接投入射出成形法によって得られる成形品の物性についても検討を行った。以下、各章ごとに結果を示す。

複合材料においては材料構成・成形方法など要素が変化するたびに、成形品の機械的特性を解明するため新規に測定が必要とされるが、これには多大な時間とコストが必要とされる。最も一般的な成形法である射出成形による短繊維強化複合材料においても、同様に製品設計の観点から性能予測の手法が強く求められている。第2章においては複合材料の弾性係数を予測する理論モデルについて比較検証を行った。通常の短繊維強化複合材料については、MROM(Modified rule of mixtures)法に基づき引張弾性率の測定を行った結果、繊維含有率に応じて引張弾性率は向上し、またその値は繊維配向と繊維長に大きく依存することが確認された。また天然繊維強化複合材料では、天然繊維が部位によって繊維長・繊維径に広く変化するため、これら要素も MROM 法において考慮されるべきである。ガラス繊維/ジュート繊維のハイブリッド複合材料においては、ROHM(Rule of hybrid mixture)法・LAA(Lamination analogy analysis)法による弾性係数の予測結果を比較した。結果、繊維配向係数が高いケースにおいては ROHM 法による予測値が LAA 法による予測値よりも高くなり、この差異は繊維含有率の向上に伴って大きくなることが確認された。

第3章においては複合材料の最大引張応力を予測する理論モデルについて検証を行った。結果、ガラス繊維/ジュート繊維のハイブリッド複合材料における引張強度はガラス繊維/PP 複合材料よりも低く、ジュート繊維の含有率が高いと引張強度の向上には寄与しないことが確認された。

近年、環境問題への懸念の高まりと共にバイオコンポジットへの関心が大きくなっている。第4章においては、ポリ乳酸(PLA)をベースとして様々な天然繊維で強化したバイオコンポジットを作成、比較検証を行った。結果、剛性については補強材料によって改善することができたが、引張特性・曲げ特性・IZOD 衝撃特性については補強材の増加と共に低下することが確認された。また柔軟性のあるエポキシ系の表面処理によって PLA と天然繊維の結合を強固にし、機械的特性が改善されることを確認した。

第5章においては、ジュート繊維/ガラス繊維のハイブリッド複合材料の物性評価を実施した。結果、ジュート繊維強化ポリプロピレン(JF/PP)の機械的特性は主に繊維のアスペクト比、繊維配向、ジュート繊維の分散性に依存し、またガラス繊維とのハイブリッド化により機械的特性が改善されることが確認された。また GF/JF/PP のハイブリッド複合材料においては、ガラス繊維の含有効果を最

大限発揮させるためには、ジュート繊維の配向と分散をコントロールすることが重要であることが判明した。

第6章においては、サンドイッチ射出成形技術を用いた GF/JF/PP ハイブリッド複合材料の成形を行った。JF/PP のサンドイッチ構造複合材料に対し、ガラス繊維をスキン層/コア層それぞれに加えることで引張特性・曲げ特性を大幅に向上させることができた。このハイブリッド化とサンドイッチ構造のコンセプトにより、本研究では数種類のサンドイッチ構造ハイブリッド複合材料の組み合わせを設計・検討した。この設計の柔軟性は、製品設計において最適な物性を実現するために非常に有益である。

第7章、第8章においては新しい複合材料の成形方法である繊維直接投入射出成形法(DFFIM)の検討を行った。DFFIM はコンパウンド工程における繊維破断を無くすことで従来の繊維含有ペレットによる成形品に比べ、より長く繊維を含有させることができる技術である。本研究においてはガラス繊維/炭素繊維、ガラス繊維/ジュート繊維のハイブリッド複合材料を DFFIM にて成形し、各物性評価及び繊維・樹脂の界面特性に対してカップリング剤・表面処理が与える影響について検証を行った。

論文審査の結果の要旨

本研究においては表面処理・カップリング剤による界面特性の向上、またハイブリッド複合材料コンセプトについて研究され、射出成形による短繊維強化複合材料の今後の発展性が示されている。また成形における様々な要素の影響を解明し、より高い機械的物性の実現に向けては特に繊維配向・繊維長・繊維分布など繊維に関する要素が製造工程においては厳格に検討されるべきであると示されており、この考え方は複合材料設計において非常に意義が深い。

新しい射出成形技術である DFFIM については、コンパウンド工程を必要としないため、成形産業においてコスト削減に大きく寄与し、また現存する射出成形機に容易に適用可能であることから実用的な新技術であると言える。また繊維を直接投入できるため、最適な樹脂/繊維の選定・表面処理によって界面特性の改善が可能であり、これは射出成形技術における複合材料の機械的物性を向上させるための手法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、DFFIM 技術の発展、短繊維強化複合材料の発展に向けて非常に有意義である。

本論文の内容は次の8報に報告されている。

- 1. PREDICTION OF ELASTIC MODULUS OF HYBRID INJECTION MOLDED COMPOSITE**
Putinun UAWONGSUWAN, Yuqiu YANG, Tomoko OTA, Manabu NOMURA, Toshikazu UMEMURA, Hiroyuki INOYA and Hiroyuki HAMADA, *Proceedings of the 70th Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers*, pp 588-592(2012).
- 2. TENSILE STRENGTH PREDICTION OF HYBRID GLASS AND JUTE FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE INJECTION MOLDED COMPOSITE**
Putinun Uawongsuwan, Yuqiu Yang and Hiroyuki Hamada, *Proceedings of the 71st Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers*, pp 583-588(2013).
- 3. MECHANICAL PROPERTIES OF POLY(LACTIC ACID) BASED BIOCOSCOMPOSITES: COMPARISON OF DIFFERENT REINFORCEMENTS**
P.Uawongsuwan, W.Nuthong, W.Sujaritjun, N.Klomhadyay, K.Manaphak, P.Limparungsee and H.Hamada, *Proceedings of the 71st Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers, USA*, pp 534-540(2013).
- 4. Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites**
Wassamon Sujaritjun, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art, Hiroyuki Hamada *Energy Procedia*, 34, 2013, pp 664-672.
- 5. Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites**
Wiphawee Nuthong, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art, Hiroyuki Hamada *Energy Procedia*, 34, 2013, pp 839-847.
- 6. Long jute fiber-reinforced polypropylene composite: Effects of jute fiber bundle and glass fiber hybridization**
Putinun Uawongsuwan, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada, *Journal of Applied Polymer Science*, accepted 30 November 2014.
- 7. Mechanical Properties of Sandwich Injection Molded Jute/Glass Fiber Hybrid Composites**
Putinun UAWONGSUWAN, Tomoko OTA, Yuqiu YANG and Hiroyuki HAMADA

Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 5(12), 2011, pp 945-955.

8. **MODIFICATION OF INTERFACIAL BONDING OF HYBRID GLASS/CARBON FIBER POLYPROPYLENE COMPOSITE FABRICATED BY DIRECT FIBER FEEDING INJECTION MOLDING**

Putinun Uawongsuwan, Masayuki Okoshi, Hiroyuki Inoya and Hiroyuki Hamada

Proceedings of the 73rd Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers, accepted 16 January 2015.

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。