

令和元年5月20日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2018

課題番号：26709003

研究課題名(和文)湾曲天然繊維の強化機構を利用した高強度グリーンコンポジットの開発

研究課題名(英文)High strength green composite development due to the reinforced mechanism of bowing natural fibers

研究代表者

野田 淳二(Noda, Junji)

近畿大学・生物理工学部・准教授

研究者番号：00398992

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では廉価な単軸押出機とコーティング技術、また天然繊維専用定量フィーダーを組み合わせた新たな射出成形用GCペレット成形技術を開発し、GC材の高強度化、高分散化を実現した。また樹脂内部の湾曲繊維の形態を詳細に観察し、湾曲繊維の内部形態を分類してガラス繊維強化複合材料とは異なる形態分布を示すことを明らかにした。さらに、得られた観察画像に基づく有限要素法モデルを構築して湾曲繊維の周りの応力場解析を実施し、湾曲繊維の高強度化メカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カーボンニュートラルを実現するグリーンコンポジットは、欧米を中心に自動車への適用が広がるなど、注目される構造用材料である。本研究で開発したグリーンコンポジットペレットは、高強度でありながら、繊維高分散により強度にばらつきのない小さい材料であるため使いやすく、大量生産に適した射出成形により自動車等への実用化が進むことによって、我が国での循環型社会の構築に大きく寄与できる。

研究成果の概要(英文)：A continuous ramie single yarn reinforced polypropylene composite strand using a new and relatively simplified multi-pin-assisted resin impregnation process and the feeder for natural fiber strands were developed in this study. For the injection molded composite, tensile properties were measured. As the results, the drastically improvements in tensile strength were confirmed. The objective of this study is to clarify the reinforcing mechanism of bowing natural LFT composites. At first, the bowing natural fibers were classified in geometry. The bowing fibers exist near surface of the injected specimens. The difference of fiber geometry with GFRT case was derived from the fracture strain of fibers. Then, many initial crack observations for bowing natural LFT composites using SEM were carried out, and the finite element analyses were conducted to investigate the fracture mechanism of fiber breakages, matrix crack and interfacial crack between fiber and matrix.

研究分野：複合材料

キーワード：グリーンコンポジット ペレット 有限要素法

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今日、地球環境問題の解決に向けた様々な取組みが行われている。材料分野では、力学特性や機能性の確保と同時に廃棄時に人や環境に害を及ぼさない持続可能なバイオマス材料の開発が要請されている。バイオマス(植物由来)材料は、使用後の焼却時に排出されるCO₂を植物の光合成により吸収して植物が成長し、またバイオマス材料として加工されるという、カーボンニュートラルを実現する材料である(図1)。近年、このバイオマス材料である天然繊維を熱可塑性樹脂へ混入した天然繊維強化複合材料(グリーンコンポジット, GC)が自動車¹⁾や電子機器²⁾を始めとする各種産業分野へ応用展開されつつある。現在でも、複合材料にはガラス繊維が強化材として用いられることが多いが、製造に多大なエネルギー消費を要するだけでなく、廃棄が困難なことやリサイクルシステムが確立されていない等の理由から、GCをガラス繊維強化プラスチック(GFRP)の代替材料として使用する動きが国内外で進んでいる³⁾。

強化材としてよく用いられる麻やケナフなどの植物系天然繊維は靱皮繊維と呼ばれ、通常10mm程度の長さで取り出され、これを熱可塑性樹脂と混練してペレットを作り射出成形される。この行程において繊維と樹脂を均一に混ぜ合わせるためによく混練するので、繊維が折損しGC中の天然繊維長は平均で0.2mm程度と非常に短くなる。これはGFRPの従来の成形法をそのままGCに適用していることが原因であり、端的に言うと“混ぜすぎ”である。GCの高強度化を実現するためには繊維の長繊維化が必須であるので、GCに特化した成形法の開発が望まれている。

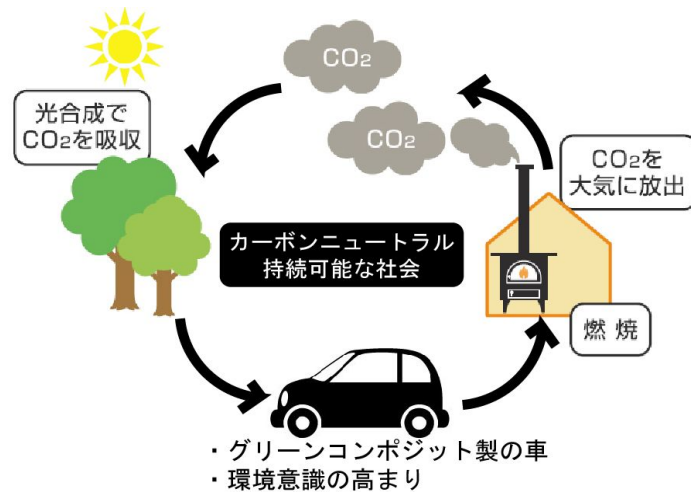


図1 カーボンニュートラル

- ・グリーンコンポジット製の車
- ・環境意識の高まり

研究代表者らは、廉価な単軸押出機とコーティング技術を組み合わせた新たな射出成形用GCペレット成形技術を開発し⁴⁾、従来法に比べ10倍以上の繊維長を有するGCの射出成形品を創製することに成功している。本手法で成形したGC材は、10%ラミー麻繊維とポロプロピレン(PP)との複合化で、引張強度にして20%の向上を実現した。この成果が実現された理由は、従来の混練行程に代えてコーティング技術を応用したからであるが、高強度化発現メカニズムの解明には至っていない。本手法で成形したGC材中の天然繊維の形態の様子を図2に示す。天然繊維の破断ひずみは、ガラス繊維のそれと比べて大きいので、適度に樹脂流動を制御することにより、繊維の折損を防ぐことができるので、同図に示すような湾曲した長い(1.5mm程度)天然繊維が存在できる。この湾曲した繊維が、高強度化を実現したと考えられるが、湾曲した繊維や繊維同士の交絡の複合化メカニズムを明らかにした研究はない。GC中の天然繊維の繊維長や湾曲の程度、交絡などの形態は、成形法に依存する上、それらが機械的特性にも影響を及ぼすことから、GCの材料信頼性向上のためにも明らかにする必要があるのである。

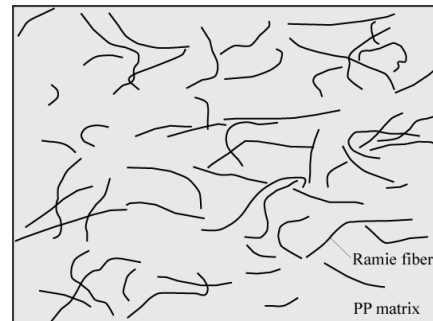


図2 PP中の湾曲繊維

2. 研究の目的

環境親和性を備えた天然繊維強化複合材料(GC)は、輸送分野における構造材料としての利用が強く期待されている。天然繊維の破断ひずみはガラス繊維のそれと比べて大きいので、成形中に工夫することにより繊維の折損を防ぐことができる。折損を免れた繊維は長繊維化できるため、ガラス繊維の数倍の繊維長を有するGCの射出成形が可能となり、高強度特性を有するGCの開発が期待できる。本研究では、未折損の湾曲した長い天然繊維を多く含むGCの成形法を開発し、複雑な形態で樹脂中に内在する天然繊維の強化機構も実験的・解析的に明らかにすることにより、従来手法により成形されるGC材料よりも、高強度を有する新規GCを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

研究代表者らは、破断ひずみの大きな天然繊維用のペレット成形装置(図3)を開発し、高繊維含有率で高強度な構造用GCペレットの創製に成功した。本システムは、廉価な単軸押出機を主装置とし、特殊なコーティングダイを設計して麻繊維束に樹脂をコーティングし、多重ピン迂回機構を介して繊維束内に樹脂を含浸させる機構を持つ。このコーティングダイの温度や繊維束数(図4)、多重ピン迂回機構の構造や温度を調整することにより、得られるペレット

の繊維間距離や繊維体積含有率が制御できる。射出成形に供するペレット内の繊維長や繊維間隔、体積含有率は、GC 射出成形品の繊維形態に影響及ぼすことから、これらの条件はGC 射出成形品の品質を左右する設計変数である。

本研究では、GC の高強度化を目指して長繊維化および繊維の湾曲・交絡作用を積極的に利用したGC 構造用材料の開発を行うため、以下のことを検討した。

(1) GC ペレット成形条件の検討と湾曲繊維の分類法の提案を行い、射出成形試料の内部まで観察を行って、湾曲繊維の形態と分布を調査した。

(2) 得られた湾曲繊維の形態に応じて有限要素法モデルを構築し、樹脂中の湾曲繊維周辺の応力場を調査した。

(3) スライバー状天然繊維を供給形態とする非燃系型 GC ペレット製造装置の開発を行い、比重の小さい天然繊維の定量供給手法の提案と GC の強度のばらつき低減による材料信頼性向上を検討した。

(4) 高繊維含有率 GC における湾曲繊維相互の影響を調べるため、応力場解析を行い、機械的特性向上メカニズムを明らかにした。

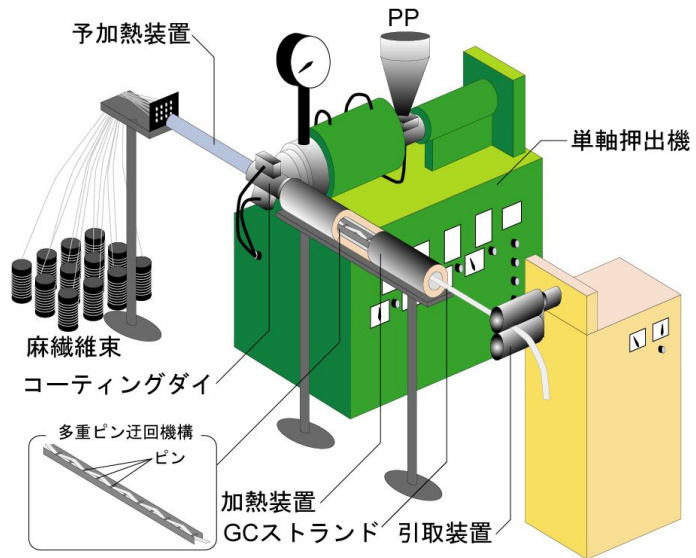


図3 GC 用長繊維ペレット成形装置

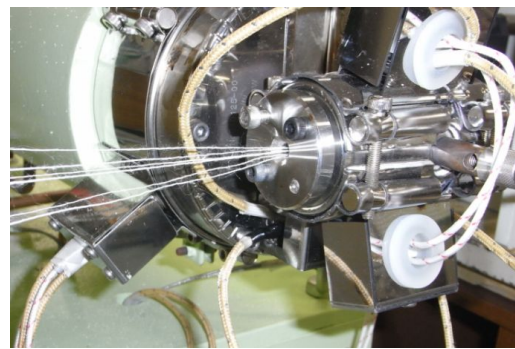


図4 コーティングダイ

4. 研究成果

まず、単軸押出機をベースとし被膜技術と多重ピン補助樹脂含浸法を組み合わせた長繊維 GC ペレットの成形装置を用いて種々の条件における GC 射出成形品の機械的特性を評価した。本手法により得られた GC 材の引張強度は、繊維含有率 20% で 44MPa を得ており、PP 材（非強化材料）の引張強度 20.7MPa に比べ 214% の向上を確認した。これにより環境負荷の高いガラス/PP 複合材料射出成形品に匹敵する強度が得られた。また、表層および内部の研磨面において 500 本の 2 次元繊維形態を観察し、X 線トモグラフィにより 2 次元観察手法の妥当性を検討しながら、GC 中の繊維様相を詳しく観察・分類した。デジタルマイクロスコープを用いて、湾曲繊維を含む繊維形態を 500 本調査した結果を図 5 に示す。その結果、表層では、金型による凍結層の影響で湾曲や屈曲した繊維が多く観察され、内部では、繊維長が比較的長く流れ方向に配向した繊維が多く観察された。この分布は、一般的なガラス繊維強化複合材料の形態分布とは反対の様相を呈しており、長い繊維を多く有する本 GC 材の特徴である。

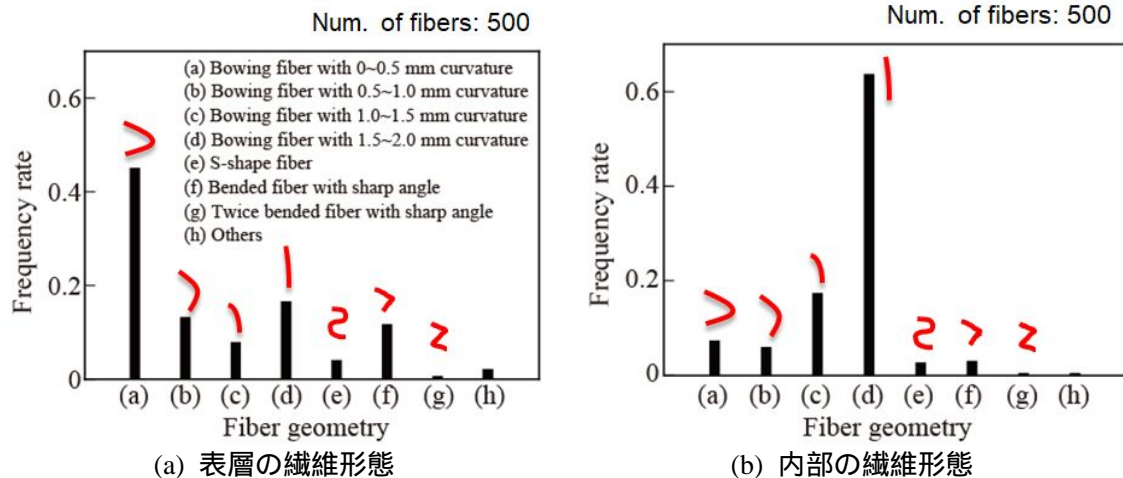
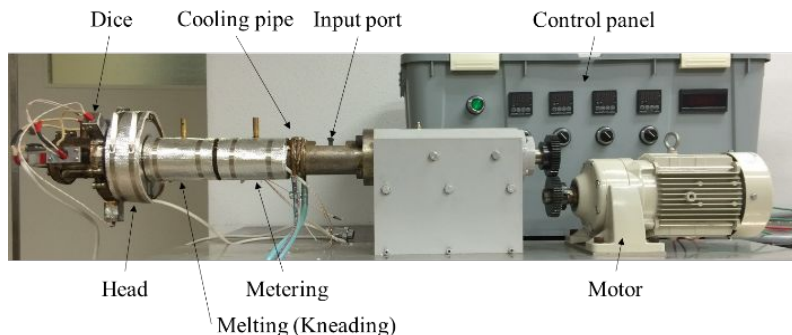


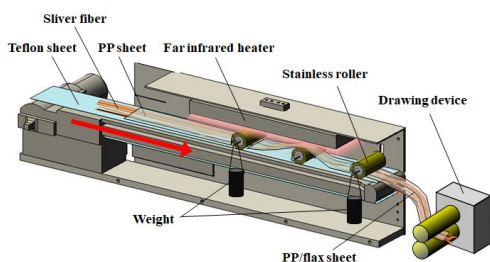
図5 湾曲繊維の形態分布

次に、天然繊維の定量供給を可能とする天然繊維束・PPシートを用いたGC プリプレグ作製

装置を開発した。さらに実用化を広げる薄層金型への成形が可能な天然繊維専用定量フィーダーも開発した。図6に本開発のため1から設計した単軸押出機，天然繊維専用定量フィーダーの内部構造，押し出された高繊維含有率 GC 材を示す。開発した GC プリプレグから成形した GC 射出成形材は，従来法ではヤング率で 8.6% ，引張強度で 3.5% あったばらつきを，それぞれ，3% ，1.3% に抑えることに成功し，材料信頼性の向上を達成した。



(a) 開発した GC 用長繊維ペレット成形装置（単軸押出機）



(b) 天然繊維専用定量フィーダー



(c) 作成した GC 押出材

図6 高繊維含有率，高分散 GC ペレット成形装置

また，走査型電子顕微鏡内で予負荷観察が可能な小型治具を製作し，低繊維含有率 GC における破壊の様相を観察した。有限要素法解析援用による湾曲繊維がもたらす応力場と破壊起点部の関係が調査できるシステムを構築した。電子顕微鏡内で観察した 45 個の湾曲繊維破壊写真から，特徴的な湾曲繊維を選別し，27 個の有限要素法モデルを構築し，繊維の湾曲に伴う応力分布と破壊起点部の関係を調査した。主な湾曲繊維電子顕微鏡画像と応力場を図7に示す。その結果，開口型き裂モードが発生する場合は，60~75°の配向部，せん断型き裂モードが発生する場合は，45~60°の配向部が寄与しており薄層化によって，より天然繊維の湾曲が引張破壊に寄与することが明らかとなった。また，この配向角の領域が狭まり，これが強度のばらつきが減少する結果の要因であった。最後に，ラボレベルではあるが，繊維含有率 20wt% にてゲージ長さ 15mm で板厚 1mm のダンベル型試験片の射出成形にも成功し，本研究で開発した高強度 GC ペレットの薄層化も実証した。以上より，開口型き裂とせん断型き裂の混合き裂の発生に繊維の湾曲が大きく寄与していることを明らかにした。

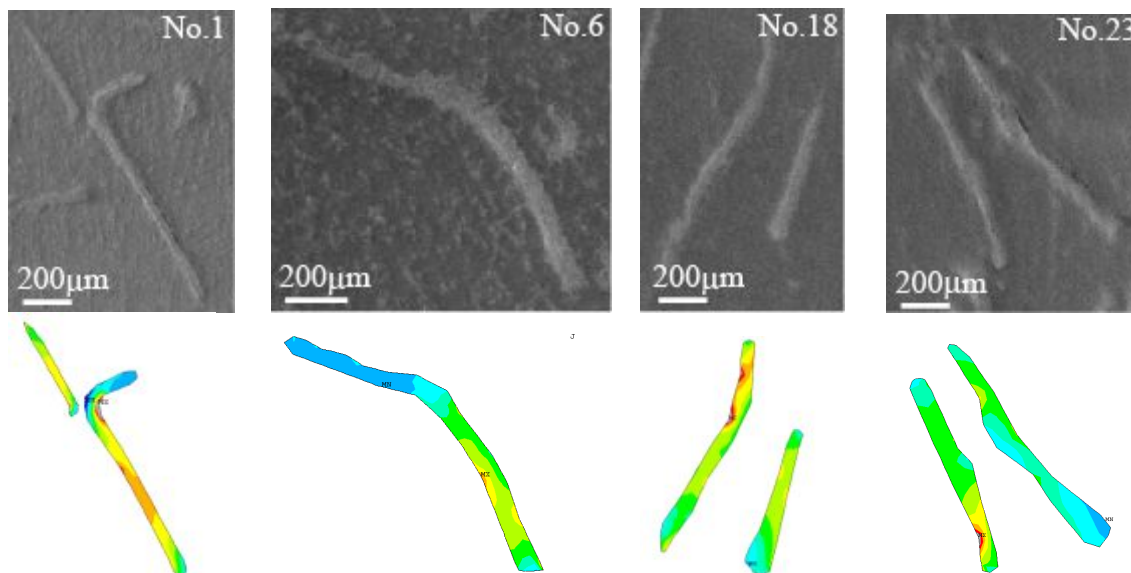


図7 湾曲繊維の電子顕微鏡画像と繊維の応力場

< 引用文献 >

稲生隆嗣, 日本機械学会誌, 109, pp.51-52, 2006

位地正年, マテリアルステージ, 45, pp.90-93, 2004

大窪和也, 高木均, 合田公一, 材料, 55, pp.438-444, 2006

S.V. Joshi, L.T. Drzal, A.K. Mohanty and S. Arora, *Composites: Part A*, 35, pp.371-376, 2004

P. Wambua, J. Ivens and I. Verpoest, *Composites Science and Technology*, 63, pp.1259-1264, 2003

特許第 5862109 号

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計6件)

Junji Noda, Syotaro Hiramatsu and Koichi Goda, “Fracture mechanism under tensile loading for bowing natural LFT composites”, 11th Asian-Australasian Conference on Composite Materials, 2018

Junji Noda and Syotaro Hiramatsu, “Pellet fabrication method, fiber morphology and its mechanical properties of Bowing-short natural fiber composites”, 2nd SEA-Japan Conference on Composite Materials, 2017

平松昇太郎, J.A.Ridzuan, 野田淳二, 合田公一, “湾曲短繊維強化グリーンコンポジットの破壊挙動に及ぼす繊維形態の影響”, 日本材料学会第66期総会・学術講演会, 2017年

Junji Noda, Kosuke Torii, Syotaro Hiramatsu and Koichi Goda, “Tensile Properties of Bowing Natural LFT Composites”, 17th European Conference on Composite Materials, 2016

Junji NODA, Kousuke TORII and Syotaro HIRAMATSU, “Young’s Modulus Prediction of Bowing Natural Fiber Composites”, 9th International Conference on Green Composites, 2016

野田淳二, 湾曲短繊維グリーンコンポジットの繊維形態観察, 2016年度 JCOM 若手シンポジウム, 2016年