

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月4日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760072

研究課題名（和文） 天然繊維強化バイオマスプラスチックの疲労機構の解明

研究課題名（英文） Fatigue Property of Natural Fiber Reinforced Biomass Plastics

研究代表者

島村 佳伸（SHIMAMURA YOSHINOBU）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：80272673

研究成果の概要（和文）：天然繊維強化バイオマスプラスチックは、カーボンニュートラルな材料であり、ガラス繊維強化複合材料の代替材料として期待されている。そこで本研究では、一方向ジュート紡績糸強化生分解性プラスチックの疲労特性と疲労機構について検討を実施した。本研究で用いた母材は PLA および PBS である。疲労試験の結果より、複合材料の  $10^6$  回時間強度は引張強度の 50% 程度であることと、疲労機構への母材の延性の影響が大きいことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Natural fiber reinforced biomass plastics are carbon neutral materials and anticipated for alternative materials of GFRP. In this study, the fatigue property and mechanism of unidirectional jute spun yarn reinforced biomass plastics were investigated. PLA and PBS were used as matrix. As a result, it is shown that the fatigue strengths at  $10^6$  cycles were about 50% of the tensile strength for both matrix resins and the fatigue mechanisms was dependent of the ductility of matrix resin.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料力学・機械材料

キーワード：疲労, 植物由来材料

## 1. 研究開始当初の背景

近年、石油資源の枯渇・高騰への対応と二酸化炭素排出量の削減を目指して、資源循環型社会の構築を見据えたバイオマス（生物由来資源）を用いた複合材料の研究が実施されている。なかでも、麻繊維・竹繊維などの天然繊維を強化材に、植物のデンプンから合成される熱可塑性樹脂であるポリ乳酸を母材に用いた複合材料が自動車産業を中心に注目を浴びている。現在の天然繊維バイオマス

プラスチックの応用の主流は短繊維強化の射出成形品であるが、より高強度なマット強化複合材料を用いた自動車部品への適用も検討されている。今後はさらに高強度な一方向撚糸強化複合材料の開発により、耐高荷重部材への適用拡大が期待できる。耐高荷重部材としての利用には耐久性に関する知見の蓄積が必要であり、特に疲労特性に関する知見は欠かせない。しかし天然繊維バイオマスプラスチックに関する疲労特性の報告自体が

ほとんどなく、とくに一方向撚糸強化複合材料の疲労特性に関する知見は極めて限られている。

## 2. 研究の目的

繊維強化プラスチックにおいては、強化材である繊維自体の疲労特性と繊維／樹脂界面の疲労特性が複合材料の疲労特性に大きな影響を及ぼすことはよく知られている。天然繊維は有史以前から人類に利用されているが、衣料への利用が主であったため、天然繊維の疲労強度特性、疲労機構については従来全くといってよいほど知見がない。

以上のことより、天然繊維強化バイオマスプラスチックの疲労特性の本質を理解する上で重要な疲労機構を明らかにしていくには、単繊維、単繊維をつむいだ紡績糸、それをよりあわせた撚糸、母材のバイオマスプラスチック、複合材料のすべての材料構造レベルにおいて系統的に疲労機構を解明していく必要がある。

天然繊維強化バイオマスプラスチックの疲労機構に関しては未解明の部分があまりに多いため、すべてを研究期間内に実施するのは不可能である。そのため、本研究ではまず、複合材料の強度発現において最も重要な繊維の疲労強度特性の取得と疲労機構の検討に重点をおくこととし、さらに繊維と母材の疲労強度特性、疲労機構が一方向紡績糸強化複合材料の疲労強度特性、疲労機構に及ぼす影響に着目して研究を実施した。

## 3. 研究の方法

強化材となる天然繊維にはジュート繊維、母材にはポリ乳酸 (PLA) とポリブチレンサクシネート (PBS) の2種を用いた。

強化材であるジュート単繊維、母材である PLA と PBS、さらに一方向ジュート紡績糸強化複合材料の疲労試験を実施することで、それらの疲労特性を取得するとともに、その損傷過程ならびに破面観察の結果から疲労機構を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) ジュート単繊維の疲労試験

#### ① 試験片と試験条件

試験材料にはジュート単繊維 (あさのひも、BMS (株)) を用いた。単繊維長は約 50mm、単繊維径は約  $50\mu\text{m}$  である。試験片作成にあたり、ジュート繊維表面の付着物を除去することを目的にアルカリ処理を実施した。アルカリ処理条件は、濃度 1wt%、処理温度  $35^\circ\text{C}$ 、処理時間 30min. とした。アルカリ処理後、室温乾燥させたのちジュート単繊維を取り出した。

疲労試験は、相対湿度 20~30%を保ったデシケータ内において、応力比 0.1、負荷周波

数 10Hz、最大負荷応力  $0.6\sim 1.0\sigma_B$  の条件で繰返し荷重試験を実施した。試験片形状は、引張試験と同様とし、最大繰返し数を  $10^6$  回とした。

#### ② 試験結果

図 1 に S-N 図を示す。 $10^6$  回におけるプロットはジュート単繊維の引張強度、エラーバーは標準偏差を示す。ジュート単繊維の S-N 特性は、右肩下がりの結果を示すことがわかる。また  $10^6$  回での時間強度はおおよそ引張強度の半分の値であることがわかる。

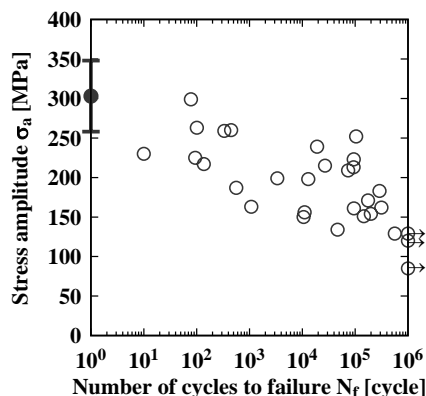
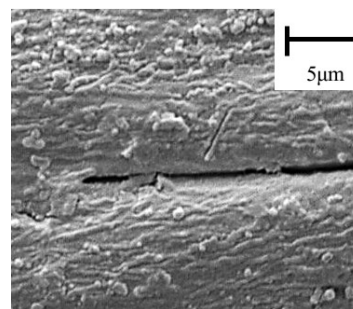


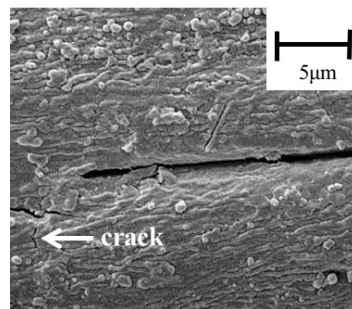
図 1 ジュート単繊維の疲労強度

#### ③ 損傷過程・破面の観察

疲労試験を適時中断し、繊維表面の損傷過程を観察した結果を図 2 に、疲労試験の破面を図 3 に示す。



(a) 疲労試験前



(b)  $10^4$  回繰返し負荷後

図 2 ジュート単繊維の疲労損傷過程 ( $\sigma_{\max}=0.6\sigma_B$ )

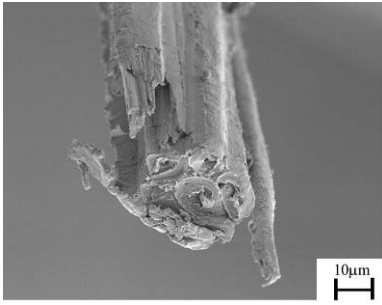


図3 ジュート単繊維の疲労破面 ( $\sigma_{\max}=0.6\sigma_B$ )

観察の結果は、比較的初期の段階から素繊維自体ならびに素繊維間にき裂が発生することを示しており、その進展合体により単繊維の最終破断に至ったと考えられる。

## (2) 複合材料の疲労試験

### ① 試験片と試験条件

母材に水分散 PLA (PL-2000, ミヨシ油脂株) および PBS 樹脂ペレット (ビオノーレ#1010, 昭和電工株), 強化材にジュート紡績糸 (あさのひも, BMS株) を用いた。

ジュート紡績糸の一方方向プリフォームを作製するために、NaOH5%の水溶液を用いて、ジュート紡績糸を室温で3時間アルカリ処理をした。その後、洗浄したジュート紡績糸を金属板に一方方向に巻き付けて乾燥させてプリフォームを作製した。

PLA をマトリックスとする場合、まずプリフォームに水分散 PLA を塗布し常温で24時間乾燥させて中間材を作製した。その中間材を一方方向に積層し、ホットプレス法により一方方向ジュート紡績糸強化 PLA を作製した。PBS をマトリックスとする場合、まず PBS ペレットからフィルムを作製してから、プリフォームと積層させホットプレス法により一方方向ジュート紡績糸強化 PBS を作製した。

複合材料の成形条件は、強化材である繊維の機械的特性に影響を及ぼさないよう、PLA, PBS のいずれの母材の場合にも同一条件とした。成形圧力 0.1MPa, 成形温度 140°C で20min 保持し、その後、自然冷却した。疲労試験に用いた Jute/PLA 複合材料の繊維体積含有率は 34%, 41%, 42%, Jute/PBS 複合材料の場合は 43%, 49%である。

各複合材料の静的引張試験および疲労試験には JIS K 7054 を参考として、同一形状の短冊状試験片を用いた。疲労試験は、室温大気中にて最大応力  $0.9\sigma_B-0.4\sigma_B$ , 繰返し速度 10Hz, 応力比 0.1 の正弦波で実施した。

### ② 試験結果

Jute/PLA 複合材料と Jute/PBS 複合材料の疲労試験結果を図4に示す。両者の時間強度

は繰返し数の増加にともない低下するが、Jute/PBS 複合材料の疲労特性は Jute/PLA 複合材料の場合と比較して大きく (応力振幅で 20MPa 程度) 向上することがわかった。また、S-N 曲線の勾配は Jute/PBS 複合材料と Jute/PLA 複合材料でほぼ同じであり、 $10^6$  回疲労強度と静的強度の比は、Jute/PBS 複合材料で 58%, Jute/PLA 複合材料で 55%であり、これも同程度であった。

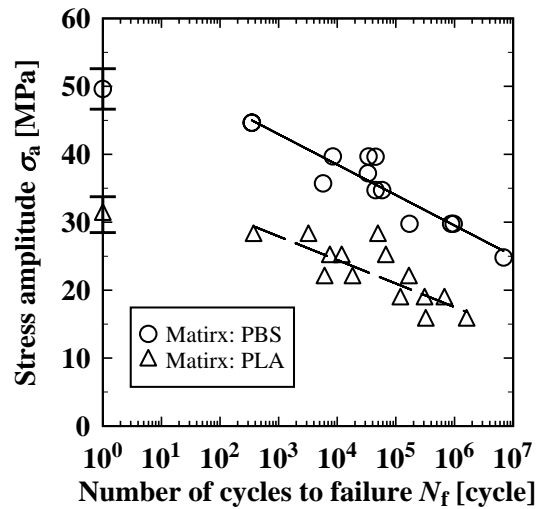
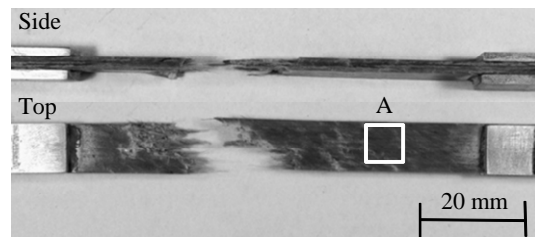


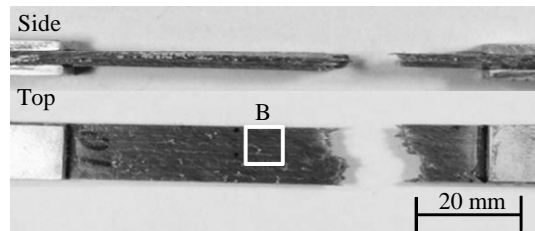
図4 Jute 紡績糸強化複合材料の疲労強度

### ③ 疲労損傷の観察と疲労破壊機構の考察

最大応力 60%での疲労負荷後の巨視的な破壊様相と試験片表面の写真をそれぞれ図5, 図6に示す。

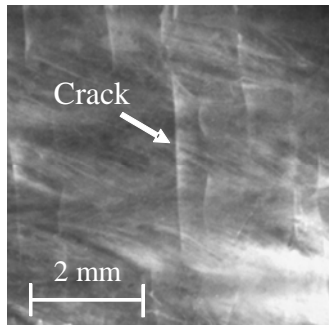


(a) PLA ( $\sigma_{\max}=0.6\sigma_B$ ).

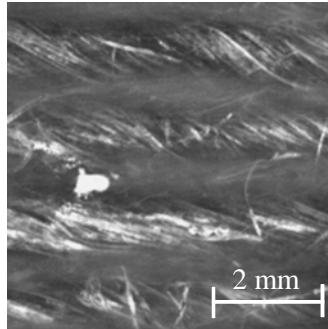


(b) PBS ( $\sigma_{\max}=0.6\sigma_B$ ).

図5 疲労負荷後の巨視的破壊様相



(a) Detail in A area (PLA).



(b) Detail in B area (PBS).

図6 疲労負荷後の試験片表面

Jute/PLA 複合材料の疲労負荷の場合には、まず試験片表面の樹脂部に疲労負荷方向に垂直なき裂が多数発生した。その後、その樹脂中の疲労き裂が試験片内部に進展し、さらに樹脂き裂に起因する応力集中により紡績糸の繊維の破断が生じた。この繊維破断が蓄積することによって最終破断に至ったと考えられる。

一方、Jute/PBS 複合材料の場合には、試験片表面の樹脂部の疲労き裂の発生は観察されなかった。PLA に比べて PBS は高い延性を有しているため、同じひずみ振幅の繰返し負荷に対して疲労破断寿命が長くなると考えられる。よって、樹脂部の疲労き裂の発生が抑えられたと考えられる。その結果、荷重負担部である繊維の疲労破断の蓄積により最終破断に至ったと考えられる。

#### (5) 結論

ジュート単繊維ならびに一方向ジュート紡績糸強化バイオマスプラスチックの疲労試験を実施し、その疲労強度特性を取得した。その結果、短繊維、複合材料とも  $10^6$  回時間強度は引張強度の 50%程度であることを明らかにした。また、複合材料の疲労機構への母材の延性の影響が大きいことを明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 加藤木秀章, 島村佳伸, 東郷敬一郎, 藤井朋之, 竹村兼一, 一方向ジュート紡績糸強化生分解性プラスチックの疲労特性に及ぼすマトリックスの影響, 日本複合材料学会誌, 査読有り, Vol. 39, No. 1, 2013, pp. 24-30  
DOI: 10.6089/jscm.39.24
- ② Hideaki Katogi, Yoshinobu Shimamura, Keiichiro Tohgo, Tomoyuki Fujii, Fatigue Behavior of Unidirectional Jute Spun Yarn Reinforced PLA, Advanced Composite Materials, 査読有り, Vol. 21, No. 1, 2012, pp. 1-10  
DOI: 10.1163/156855111X610226
- ③ 加藤木秀章, 島村佳伸, 東郷敬一郎, 藤井朋之, 一方向ジュート紡績糸強化 PLA の疲労特性とその疲労機構, 日本複合材料学会誌, 査読有り, Vol. 37, No. 6, 2011, pp. 203-208  
DOI: 10.6089/jscm.37.203

〔学会発表〕(計16件)

- ① Effect of Biodegradable Resin on Fatigue Property of Unidirectional Jute Spun Yarn Reinforced Composite, Hideaki Katogi, Koji Iwata, Yoshinobu Shimamura, Keiichiro Tohgo, Tomoyuki Fujii and Kenichi Takemura, IWGC-7, 2012. 8. 30, Hamamatsu
- ② 加藤木秀章, 植松和徳, 島村佳伸, 東郷敬一郎, 藤井朋之, ジュート単繊維の疲労特性とその疲労機構, 繊維学会 2012 年度年次大会, 2012. 6. 8, 東京都
- ③ Fatigue Properties of Unidirectional Jute Spun Yarn Reinforced Biodegradable Resin, Yoshinobu Shimamura, Hideaki Katogi, Keiichiro Tohgo and Tomoyuki Fujii, JISSE-12, 2011. 11. 9, Tokyo

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

島村 佳伸 (SHIMAMURA YOSHINOBU)  
静岡大学・工学部・准教授  
研究者番号: 80272673

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし