

## 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24年6月8日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21651033

研究課題名（和文）

竹資源有効活用のための竹炭・バイオエタノール・緑化資材の一貫生成

研究課題名（英文）

Development of a new technology based on bamboo Coal, bioethanol and Green structures aimed for effective utilization of bamboo resources

研究代表者

倉敷 哲生 (KURASHIKI TETSUSEI)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30294028

研究成果の概要（和文）：使用済み繊維ならびに生分解性樹脂との組み合わせによる環境対応型緑化材を目指し、竹繊維を含有した複合材料を作成した。最外層に竹繊維を配置するサンドイッチ構造を提案し三点曲げ試験を実施した結果、剛性・強度は向上し、そのばらつきも低減することを確認した。さらに、竹炭製造技術により発生する竹酢液に着目し、エタノールへの物質変容を進めるべく、種々の放射線量を変えた竹酢液を作成し、成分変化を評価した。竹酢液の主成分である酢酸を基質としメタンを産生する菌株を調査し、竹酢液を油脂化する系が存在することを確認した。

研究成果の概要（英文）：The waste fabric composites with bamboo fiber and biodegradable resin have been developed for the green structures. The sandwich structures with bamboo fiber on outside layer are proposed, and the mechanical properties are estimated by three-point bending tests. As the results, the stiffness and strength of the proposed structures are improved better than that of conventional structures. Furthermore, the acid based on bamboo is irradiated with  $\alpha$ -rays, and the change of the constituents is estimated. The bacterial strain which can be transformed from the acid to methane is investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 800,000   | 0       | 800,000   |
| 2010年度 | 1,400,000 | 0       | 1,400,000 |
| 2011年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,000,000 | 240,000 | 3,240,000 |

研究分野：複合材料工学・信頼性工学

科研費の分科・細目：環境学／環境技術・環境材料

キーワード：竹資源, 竹繊維, 複合材料, 竹酢液, 物質変容, 緑化材, 環境技術

### 1. 研究開始当初の背景

石油、石炭、木材といった主要資源の枯渇化が指摘され、近年、現実味を帯び始めているのは言及するまでもない。一方で、竹は成長が早い優良な資源であるが、輸入製品や他の素材の製品に押され需要が低迷し、その結果、我が国内で竹林の放置化が顕在化している。放竹林の問題点として、森林資源の劣化（竹林が森林を浸食し他の樹木成長を駆逐）に伴う地球温暖化防止機能の低下や、生物多様性の低下を招き、さらに、景観の劣化や土砂災害の増加などを招く危険性がある。全国の竹林面積は約8万haとされ800万トン以上の放置竹林が存在しており、放置されれば環境破壊の原因となるが、有効活用できれば貴重な資源となる。

### 2. 研究の目的

竹資源の有効活用を目指し、「石油、石炭、木材」といった主要資源枯渇化に対する新技術創出が本研究目的である。特に、放竹林問題の解決として竹炭製造技術に基づく竹のバイオエタノール化ならびに緑化資材の実現による竹資源の有効活用を目指し、研究を遂行した。

### 3. 研究の方法

(1) 竹を繊維形状として扱い複合化する事による緑化資材を考え、使用済み繊維（故繊維）ならびに熱可塑性樹脂を用いて複合化した試験片の作成を行った。特に、生分解性樹脂との組み合わせによる環境対応型緑化材を目指し、竹繊維・故繊維・生分解性樹脂からなる複合材料試験片を作成した。最外層に竹繊維を配置するサンドイッチ構造を提案した。

(2) 竹炭製造技術により発生する竹酢液に着目し、竹酢液からエタノール化への物質変容を進めるべく、放射線の照射による物質変容を提案し、種々の線量を変えた竹酢液を作成し、成分変化を評価した。

### 4. 研究成果

(1) 竹繊維・故繊維・生分解性樹脂からなる複合材料の作成

故繊維 50wt%、熱可塑性繊維(ポリプロピレン繊維) 35wt%、ポリエチレンテレフタレート 15wt%を混ぜた材料（以下、フェルト(F)と称する）を加熱圧縮し、繊維板を作成した。また、フェルトにセラック樹脂（岐阜セラック(株)GH-24）を含有し成形した材料（FS）、竹を爆砕処理しポリプロピレン樹脂でシート状に成形した竹繊維シート(バン(株)製)をフェルトの最外層に配置して成形した材料（FB）、竹繊維シートとセラック樹脂の両者を含有し成形した材料（FBS）を作成した。

これらの材料より短冊形試験片を切り出し、JIS K 7171に基づき3点曲げ試験を実施した。試験片本数はいずれも5本である。

### (2) 生分解性樹脂の効果の確認

ペースト状セラック樹脂をフェルトに含有し作成した試験片を用いて3点曲げ試験を行った結果、試験片Fに比べて弾性率・強度の変動係数が増加する結果となった。試験片内部を観察した結果、ペーストの影響により気泡の存在が確認でき、成形不良を招いたものとする。そこで、ペースト状ではなくドライ状セラック樹脂を適用し、さらにセラック樹脂を一定間隔ごとに配置した。その結果、加熱圧縮成形時のローラーの影響により均一にセラックが引き伸ばされ均一にセラック樹脂が含浸した試験片（FS）の成形が可能となった。試験片FSの3点曲げ試験結果を図1に示す。損傷状態観察結果により試験片FSは内部層の特性向上には良いが、最大応力を示した後に応力値は低減し、最外層から内部層へ損傷が生じる。したがって、最外層の損傷進展を抑制する構造を考慮する必要がある。

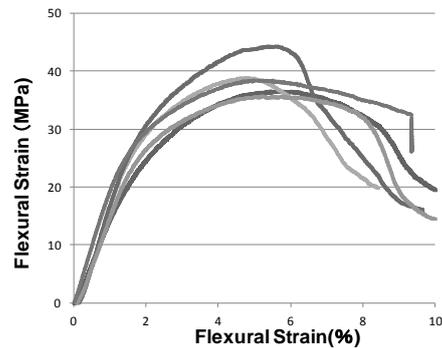


図1 曲げ応力-ひずみ特性(試験片FS)

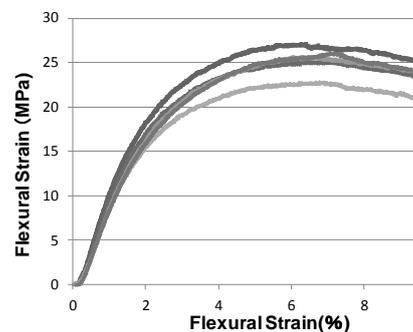


図2 曲げ応力-ひずみ特性(試験片FB)

### (3) 竹繊維の効果の確認

フェルトの最外層に竹繊維シートを含有した試験片FBを成形し、3点曲げ試験を行った。その結果として応力-ひずみ関係を図2に示す。竹繊維を用いた場合、最大応力を

示した後に急激な応力低下は生じず、最外層の損傷も確認できなかった。竹繊維により、最外層からの損傷進展を抑制できることが分かる。

(4) 生分解性樹脂及び竹繊維の効果の確認

セラック樹脂による内部層の特性向上効果と、竹繊維による最外層の損傷進展の抑制効果の両者を図るため、セラック樹脂と竹繊維を含有した材料 (FBS) を提案し、その試験片を成形した。3点曲げ試験結果として、曲げ弾性率、強度の平均値と変動係数を整理し、図3に示す。フェルトのみで成形した場合(F)に比べ、竹繊維およびセラック樹脂が含有されることにより弾性率は向上し、そのばらつきも低減することが分かる。

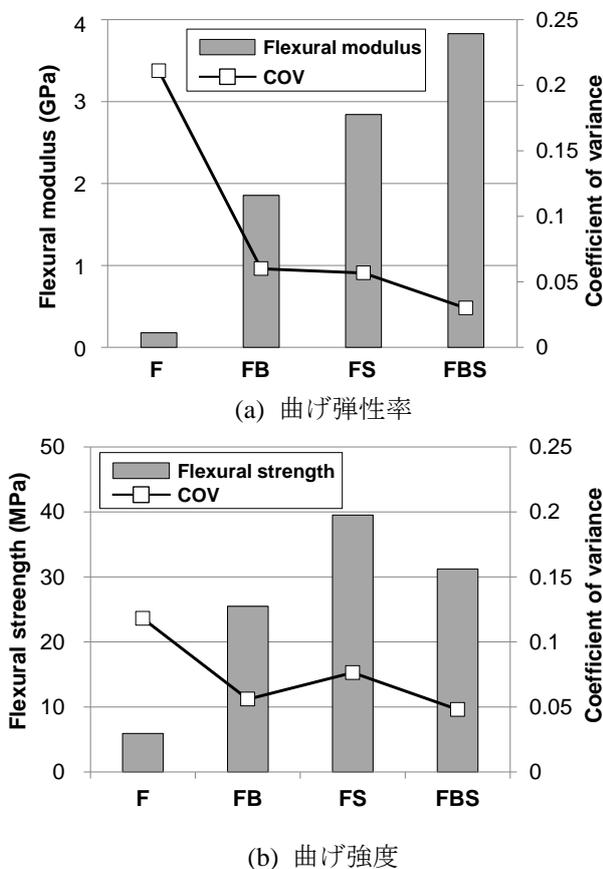


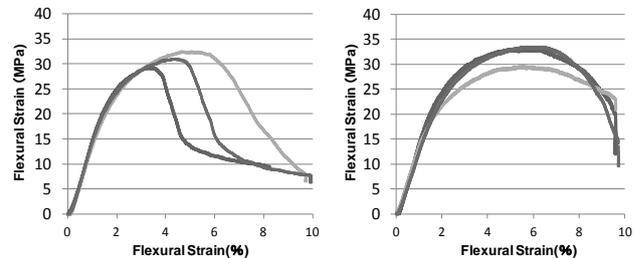
図3 各試験片による3点曲げ特性の比較



(a) 層間はく離型 (b) 曲げ変形型  
図4 試験後の試験片断面

FSに比べFBSは強度が若干低下している。その原因を調査するため、試験後の試験片の変形状態と応力-ひずみ関係を確認した。図

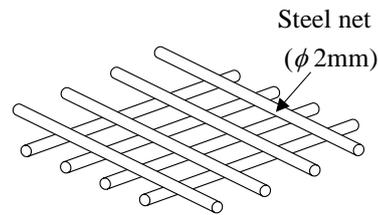
4に示す通り、変形状態は大きく2つに分けられる。層間はく離支配型と、層間はく離が生じず曲げ変形が支配的となる変形状態である。図5に示す応力-ひずみ関係においても両者の明瞭な差異が確認できる。前者は竹繊維シートとの界面における接着不良が挙げられ、今後の改良の余地があるものと考えられる。



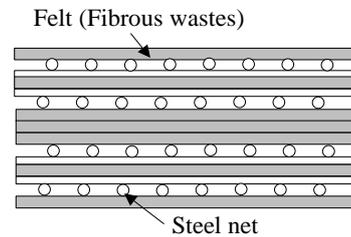
(a) 層間はく離型 (b) 曲げ変形型  
図5 応力-ひずみ関係

(5) スチールファイバー含有複合材との比較

本研究で提案する竹繊維/生分解性樹脂製複合材料との比較として、図6に示すスチールファイバー含有複合材試験片(Fsteel)を作成した。故繊維50wt%, 熱可塑性繊維(ポリプロピレン繊維)35wt%, ポリエチレンテレフタレート15wt%を混ぜて作成したフェルトを加熱圧縮し、繊維板を作成する。その際に強化材としてフェルトの層間にスチールファイバーを挿入する。形状をネット状とすることにより成形し易く、加熱圧縮時に内部まで熱伝導し易く、一方向だけでなく直角方向にも強化され、さらに安価である利点がある。



(a) スチールファイバー製ネット



(b) 試験片断面

図6 スチールファイバー含有複合材

FBSとFsteelについて、ほぼ同一の密度の試験片を作成して評価した結果を表1に示す。弾性率・強度ともにFBSはFsteelよりも良い特性を示しており、ばらつきも少ないことが

分かる。

表1 Fsteel と FBS との比較

| Type   | Flexural modulus (GPa) | Flexural strength (MPa) | Density (g/mm <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Fsteel | 3.12                   | 26.7                    | 1.14                         |
| FBS    | 3.83                   | 31.2                    | 1.06                         |

竹繊維を用いて提案したサンドイッチ構造の試験片を用いて三点曲げ試験を実施した結果、剛性・強度は向上し、そのばらつきも低減することを確認した。これらの成果の一部を学会発表にて報告した。

(6) 竹酢液の資化及び有用物質生産菌の調査  
竹酢液の物質変容試験を実施した。竹酢液の主成分は酢酸、ギ酸、プロピオン酸、フェノール類、カルボニール化合物から成る。この酢酸を資化し有用な物質に変容させることを考え、メタンを産生する菌株を調査した結果、表2に示す菌株が存在することを確認した。

表2 酢酸資化菌株

| 菌株             | 詳細                                 |
|----------------|------------------------------------|
| Enterococcus 属 |                                    |
| Clostridium 属  | Clostridium kluyveri<br>NBRC 12016 |

(7) 放射線の照射による物質変容試験結果  
放射線照射による物質変容を提案し、種々の線量を変えた竹酢液を作成し、成分変化を評価した。その結果、未照射に比べて、照射済み試験溶液では、竹酢液に含まれており資化に不要なタール成分が分解し、他の成分に変容することが確認できた。具体的には、フルフラールやフェノール、プロピオン酸といった有機成分が増加しており、竹酢液からの資化の純度を上げることに寄与するものと考えられる。

## 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0件)

〔学会発表〕(計5件)

(1) Vipavee Sivatevintra, 倉敷哲生, 藤田雄三, 池内智彦, 森裕章, 竹繊維及び生分解性樹脂を用いた故繊維複合材料の機能評価に関する研究, 日本機械学会関西支部 第87期定時総会講演会, 2012年3月17, 18日,

関西大学

- (2) 倉敷哲生, 信頼性工学・複合材料工学に基づくテクノロジー創成, 日本材料学会 関西支部 第6回若手シンポジウム(招待講演), 2011年12月9, 10日, 東大阪市
- (3) 孫立超, 倉敷哲生, 故繊維を用いたスチールファイバー強化複合材料の力学的特性に関する研究, 日本機械学会関西支部 第86期定時総会講演会, 平成23年3月20日, 京都工芸繊維大
- (4) 藤田雄三, 倉敷哲生, 繊維廃材を利用したグリーンコンポジットの開発, VBL異分野融合研究会 2010, 平成22年11月21日, 淡路市
- (5) 孫立超, 倉敷哲生, 故繊維を用いた複合材料の強化材に関する研究, 日本繊維機械学会 2010年度 年次大会, 平成22年5月21日, 大阪市

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

倉敷 哲生 (KURASHIKI TETSUSEI)  
大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 30294028

(2)研究分担者

森 裕章 (MORI HIROAKI)  
大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 10294026

池内 智彦 (IKEUCHI TOMOHIKO)

大阪大学・大学院工学研究科・特任研究員  
研究者番号: 50346293