



2026年4月2日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

## 竹シートで高強度化した生分解性複合材料を開発 —海水環境における分解挙動を力学特性に基づいて予測—

### 【発表のポイント】

- 竹シートと海洋生分解性ポリマーPHBH<sup>(注1)</sup>を積層した高強度なグリーン複合材料<sup>(注2)</sup>を開発しました。
- 最適な積層構成では竹単体を上回る力学性能を実現しました。
- 生分解試験により、分解進行に伴う強度低下の関係を導出し、力学特性から海水環境での分解進行を推定する方法を示しました。
- 海水魚を含む水槽環境で約5ヶ月間曝露しても有害影響は観察されず、海洋・沿岸用途を含む環境調和型材料としての展開が期待されます。

### 【概要】

プラスチックごみによる環境負荷の低減に向けて、使用後に自然環境中で分解する材料の開発が求められています。しかし、生分解性を持つだけでは実用材料として十分ではなく、使用期間中に必要な強さや剛性をどのように確保するかが大きな課題です。

東北大学工学部材料科学総合学科の Rova Lovisa 助教、環境科学研究科の Das Snigda 大学院生、王真金助教、栗田大樹准教授、成田史生教授（工学部材料科学総合学科兼任）らは、竹シートと海洋生分解性ポリマーPHBHを熱圧縮により積層した新しいグリーン複合材料を開発しました。最適な積層構成では、引張強さ 71.2 MPa を達成し、PHBH 単体および竹単体を上回る力学性能を示しました。また、コンポスト環境では 45 日後に約 45% の生分解に達し、分解の進行に伴って力学特性が低下する様子を定量的に捉えました。

さらに、海水環境および温水条件（水道水）での浸漬試験では、いずれの環境でも力学特性の低下が確認され、特に海水中でより速い劣化が見られました。研究グループは、コンポスト試験で得た「引張強さ保持率<sup>(注3)</sup>と生分解度<sup>(注4)</sup>の関係」を基に、水環境での分解進行を推定する方法を示しました。これにより、生分解性材料を「どれだけ分解したか」だけでなく、「いつまで機能を保てるか」という観点から設計・評価する新たな道筋を示しました。

本研究成果は 2026 年 3 月 31 日、高分子材料の劣化・分解現象とその制御・活用を扱う専門誌 Polymer Degradation and Stability に掲載されました。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

近年、石油由来プラスチックの廃棄や自然環境中への流出が深刻な環境問題となっており、バイオ由来かつ生分解性を有する材料への関心が高まっています。一方で、生分解性ポリマーは環境負荷低減の観点では有望であるものの、剛性や強度、耐久性が十分でない場合があり、適用範囲が限られることがありました。そこで、天然由来補強材によって機械的性能を高めつつ、使用後には適切に分解する複合材料設計が重要となっています。

竹は、軽量で高剛性・高強度を有し、成長が速く、再生可能な天然資源として注目されています。また、PHBH は土壌、コンポスト、水環境での分解性が期待される生分解性ポリマーです。本研究では、この 2 つを組み合わせることで、高性能と環境調和性を両立する新しい複合材料の実現を目指しました。

### 今回の取り組み

研究グループは、竹シートと PHBH シートを熱圧縮により積層した複合材料を作製し、力学特性に及ぼす積層数や配向の影響を調べました（図 1）。その結果、PHBH 1 層と竹 2 層からなる P1B2 構成が最も優れた性能を示し、ヤング率 1.19 GPa、引張強さ 71.2 MPa を達成しました。これは PHBH 単体の 21.4 MPa、竹単体の 61.8 MPa を上回る値であり、竹と PHBH の積層構造による相乗的な補強効果が示されました（図 2）。また、断面 SEM 観察からは、P1B2 では竹繊維が PHBH 中に比較的良好に埋め込まれ、応力伝達に有利な構造が形成されていることが分かりました。一方で、より厚い積層体では、界面接着が不十分となり、層間にはく離が生じやすく、力学性能が低下することも明らかになりました。すなわち、天然素材を多く入れればよいわけではなく、界面と積層構造の最適化が重要であることが示されました。

次に、コンポスト環境における生分解試験を実施したところ、P1B2 は 45 日で約 45% の生分解に達しました。作製直後の試験片は健全な形状を保っていましたが、コンポスト曝露後には外観にも明瞭な変化が現れ、使用後に分解が進行する様子が確認されました（図 3）。また、分解に伴ってヤング率と引張強さは大きく低下し、とくに引張強さ保持率は生分解度に対して指数関数的に減少しました（図 4）。研究グループは、この挙動を、分子鎖のランダム切断理論に基づいて説明し、分子レベルの分解とマクロな力学劣化をつなぐ理論モデルを構築しました。さらに、分解の進行に対する強度低下の速さ、長期分解後に残る強度および劣化が顕在化し始める初期段階を同時に表現できるモデルを提案し、生分解性複合材料の機能寿命を理論的に評価・予測する方法を示しました。

その後、海水環境および温水条件で浸漬試験を行ったところ、いずれの環境でも力学特性の低下が確認され、海水環境の方がより速く強度が低下しました。これは、海水中では塩類や微生物の存在によって PHBH の鎖切断や竹-ポリマ

一界面の劣化が促進されるためと考えられます。実際に、海水中ではヤング率が43.7%、引張強さが50%低下し、温水条件ではそれぞれ30%、26%の低下にとどまりました。加えて、海水魚を含む水槽内で試料を19週間曝露した試験では、魚への有害影響は観察されませんでした（図5）。これは、本材料が海洋・沿岸環境を想定した用途に対しても、環境安全性の観点から有望であることを示唆しています。

本研究の特徴は、コンポスト試験で直接測定した生分解度と引張強さ保持率の相関を基準として、海水環境のように直接鉍化度測定が難しい条件でも、力学特性の変化から分解の進行を推定できる理論式を示した点にあります（図6）。これにより、材料の分解しやすさだけでなく、どのくらいの期間、どの程度の性能を保てるかを予測する設計が可能になると期待されます。



図1. 竹-PHBH 複合材料の積層構造と試験片形状。竹シートとPHBHシートを積層した (a) P1B2 および (b) P2B3 構成の模式図と、(c) 引張試験片の形状。

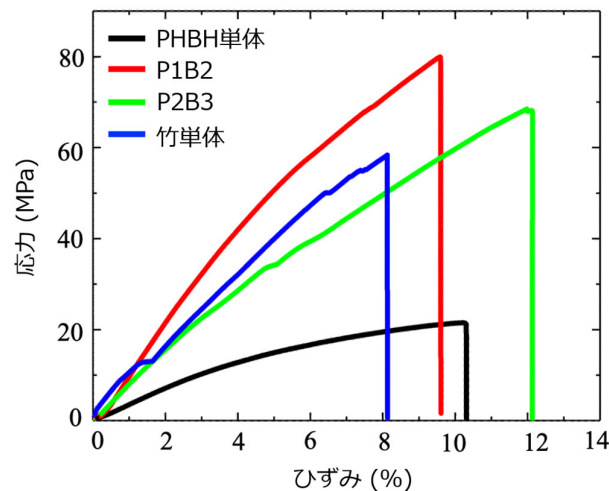


図2. PHBH、竹および竹-PHBH 複合材料の応力-ひずみ曲線。

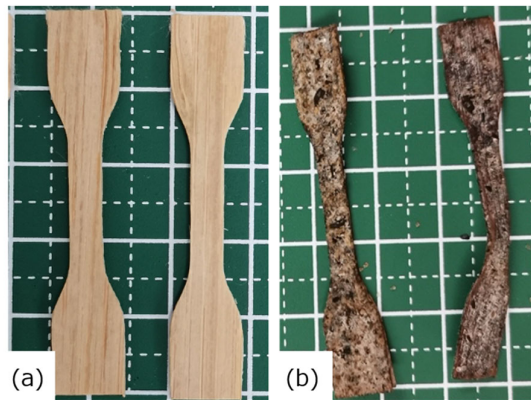


図 3. 竹-PHBH 複合材料の外観変化。P1B2 試験片の (a) 作製直後と (b) コンポスト環境で 5 週間曝露した後の外観写真。

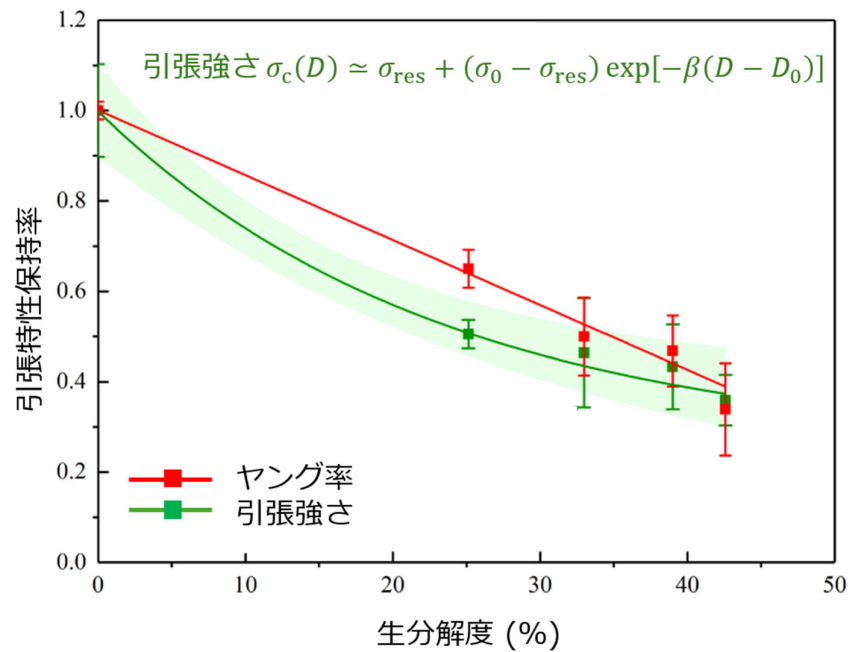


図 4. 竹-PHBH 複合材料 P1B2 における生分解度と引張強さ保持率およびヤング率保持率の関係。図中の式は分解の進行と強度低下の関係を示す。ここで、 $\sigma_0$ は初期引張強さ、 $\sigma_{res}$ は長時間分解後に残る引張強さ、 $D$ は生分解度、 $D_0$ は分解発現閾値、 $\beta$ は引張強さの低下と分解進行の関係を表す係数である。



図5. 海水環境における曝露試験の様子。海水魚を含む水槽内で竹-PLA 複合材料を長期間曝露し、海洋環境を模擬した条件下で劣化挙動を評価。

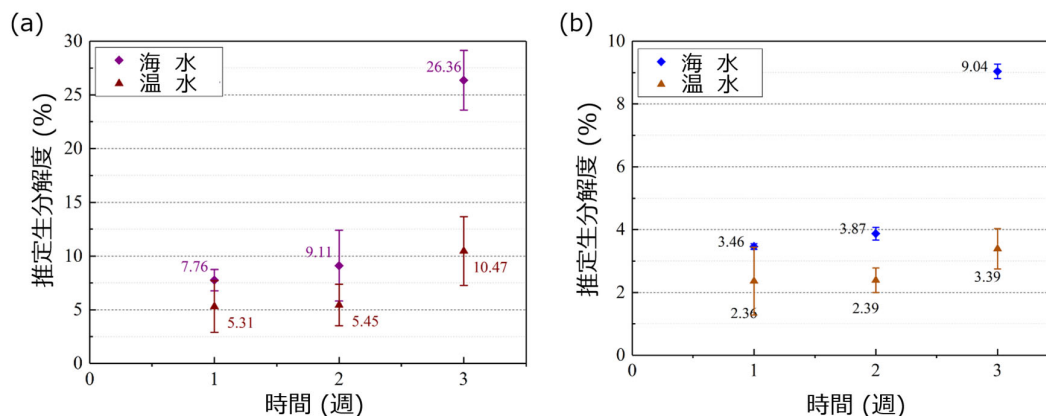


図6. コンポスト試験で得た相関に基づく竹-PLA 複合材料の水環境における分解進行の推定結果。(a) 引張強さ保持率と生分解度の相関を直接用いて求めた海水および温水条件（水道水）での推定生分解度。(b) 環境条件の違いを考慮して補正したモデルによる推定生分解度。

### 今後の展開

本研究で示した考え方は、竹-PLA 複合材料に限らず、天然由来補強材と生分解性ポリマーを組み合わせた複合材料全般に応用できる可能性があります。

研究グループは今後、竹の配向や積層数、界面設計、成形条件をさらに最適化することで、必要な期間だけ機能を維持し、その後に分解する「機能寿命設計型」材料の実現を目指します。また、海水、土壌、コンポストなど環境ごとの分解機構の違いを詳しく比較し、多様な使用シナリオに応じた寿命予測手法

を高度化していく予定です。これにより、包装材、農業用資材、簡易成形品、海洋・沿岸関連製品など、環境負荷低減と機能性を両立した持続可能材料の社会実装が期待されます。

#### 【謝辞】

今回の研究成果の一部は、科学研究費助成事業 特別研究員奨励費 (25KJ0588) の支援を受けて得られたものです。また、本研究で使用した PHBH ポリマーは、株式会社カネカより提供を受けたものです。

#### 【用語説明】

- 注1. PHBH : poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate)。微生物由来のポリヒドロキシアルカノエート系生分解性ポリマー。土壌、コンポスト、海水を含む水環境で分解性を示す。
- 注2. グリーン複合材料 : 植物由来や生分解性材料などを組み合わせて作製した環境負荷低減型の複合材料。
- 注3. 引張強さ保持率 : 初期の引張強さに対して、劣化後にどの程度の強さが残っているかを示す値。
- 注4. 生分解度 : 材料中の有機成分が微生物の働きによって分解され、最終的に二酸化炭素や水などへ変換された割合。

#### 【論文情報】

タイトル : Quantitative Coupling Between Mechanical Deterioration and Biodegradation in Bamboo-Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) Composites: Toward Predictive Modeling Across Compost and Aquatic Environments

著者 : Snigdha Das, Lovisa Rova, Zhenjin Wang, Hiroki Kurita\*, Fumio Narita\*

\*責任著者 : 東北大学大学院環境科学研究科 准教授 栗田大樹、教授 成田史生

掲載誌 : Polymer Degradation and Stability

DOI : 10.1016/j.polymdegradstab.2026.112107

URL : <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2026.112107>

**【問い合わせ先】**

(研究に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

教授 成田史生

TEL: 022-795-7342

Email: narita@material.tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

情報広報室

TEL: 022-752-2241

Email: kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp