

フジシール財団 研究助成事業
成果報告書

公益財団法人フジシール財団
理事長 岡 崎 裕 夫 殿

報告日 2026 年 5 月 31 日

研究課題	非線形ネットワークパターンを内包する新規セルロースフィルムの調製	助成金額
		300 万円
助成名	特別長期研究助成・研究助成・若手研究助成	
ふりがな	たつみ だいすけ	研究助成申請年度
研究者氏名	巽 大輔	2025 年度
所属機関	九州大学大学院農学研究院	研究期間
		2025 年 4 月～2026 年 3 月
役 職	准教授	

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要

<背景と目的>

持続可能社会の実現に向けて、バイオマスの利用に注目が集まっている。バイオマスを材料として利用するには、その成型加工性についての研究が不可欠である。しかしながら、バイオマスの代表例であるリグノセルロースをはじめ多くのバイオマスは熱可塑性を示さず、これらは従来の成形加工とは相容れない材料といえる。セルロースの成型加工品について見てみると、セルロースのフィルムすなわちセロハンが従来から食品パッケージ等に広く用いられてきた。セロハンには従来のプラスチックフィルムにはない種々の特性（耐熱性、ガスバリア性、耐油・耐薬品性など）があり、フィルムの分野では合成高分子由来のプラスチックフィルムが全盛の今日においても、根強い人気がある。しかし、フィルムとしてのセロハンのシェアは大きくはない。セロハンのシェア拡大を妨げているのは、製造工程において二硫化炭素という毒性の強い化合物を用いている点である。また、セロハンには裂けやすいという強度的な欠点もある。これらの点を改善すれば、セロハンの利用がさらに拡大し、ひいては持続可能な資源としてのセルロースを合成高分子の代替に用いることができる。

このような背景から、本研究では我々がこれまでに培ってきたセルロースの溶液特性に関する知見を基盤とし、プラスチックフィルムの代替に使用し得るセルロースフィルムの調製を試みた。具体的には、セルロースをイオン液体に溶解させ、水洗でセルロース分子を凝固させてフィルムを得る方法を検討した。さらに、フィルムに機能性を持たせる手段として、非線形パターンの導入を試みた。非線形パターンを導入する理由は、これで得られるパターンは自然が“自発的に（必然的に）”選んだパターンであり、人知が及ばない意味がそこには潜んでいる可能性があるためである。すなわち、最小の要素で最大の強度を得られる可能性を秘めている。ここでは、セルロースのイオン液体溶液を用い、非線形パターンとしてヴィスカスフィンガリングを導入したセルロースフィルムを作製した（Fig. 1）。樹状構造の配向方向と応力の伝達方向を一致させた条件下で引張試験を実施し、引張強度を中心とした力学特性を評価した。これらにより、ヴィスカスフィンガリングの枝分かれや方向性が強度に与える影響を明らかにし、包装用途に適した高強度かつ環境調和型フィルムの創出を目指した。

<実験>

セルロースをテトラアンモニウムアセテート/ジメチルスルホキシド混合溶媒 (TBAA/DMSO) に溶解させ、セルロース濃度 6.45 wt% の溶液を調製した。次に、調製した溶液 1~2 mL をシリンジでステンレス基板上に展開した後、2 枚の基板を近づけることで基板間を溶液で充填させた。基板を引き離すことでヴィスカスフィンガリングによるパターンを形成させた。この操作を引き離し速度 300~1000 mm/min の条件で実施した。形成後、試料を精製水中に浸漬し、ゲル化させることでパターンを固化した。固化後は、残留塩である TBAA を除去するために水洗を行った。最後に、洗浄後のセルロースゲルをステンレス板上で乾燥させ、パターンを施したフィルムを得た。得られた乾燥フィルムから、Fig. 1 に示すよう半径方向 (Radial direction) と接線方向 (Tangential direction) で試験片を切り出し、引張試験により弾性率を測定した。また、フィルムに導入したパターンの解析については、試験片の画像から ImageJ を用いてフラクタル次元 D および配向度 $f(\theta)$ を算出した。

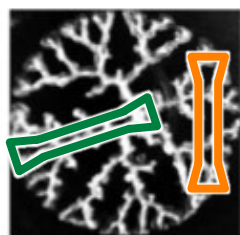


Fig. 1 ヴィスカスフィンガリングパターンを導入したフィルムと試験片の切り出し方向

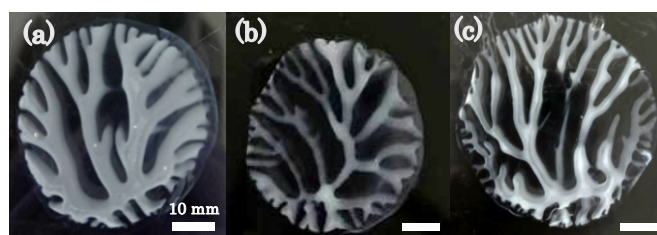


Fig. 2 引き離し速度とパターンの関係 (水洗過程)
(a) 300 mm/min, (b) 500 mm/min, (c) 1000 mm/min.

<結果>

引き離し速度がフィルム上に形成されるパターンに与える影響について検討した結果を Fig. 2 に示す。速度の増加に伴い構造が細かく分岐が増える傾向が見られた。これは界面不安定性が強まり、より微細なパターンが生じたためと考えられる。

ヴィスカスフィンガリング構造を導入したフィルムの引張試験の結果、フィンガリングの配向の違いにより異なる応力-ひずみ曲線が得られた。Fig. 3(a)にフラクタル次元 D と弾性率の関係を、(b)に配向度 $f(\theta)$ と弾性率の関係それぞれを示す。(a)より弾性率 E は D の増加に伴って減少することが示された。 D の増加は枝分かれが複雑になることを意味し、これによって試験片内の枝の分断 (目切れ) が生じたためと考えられる。また、 $f(\theta)$ と E の間には、とくに明瞭な相関は見られなかった。これは、フィルムの弾性率には枝の配向よりも先述の目切れの影響が大きいと推察される。すなわち、パターンをもったフィルムから試験片を切り出すのではなく、全体構造を対象に検討が必要であると考えられる。

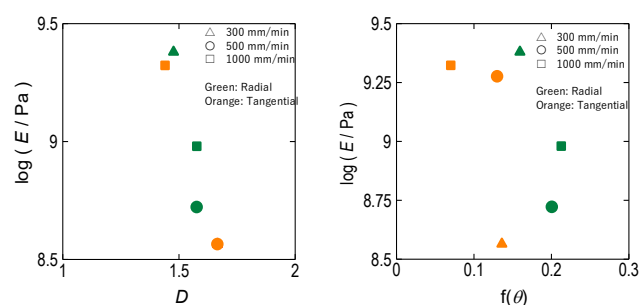


Fig. 3 フィルムの弾性率 E と (a) フラクタル次元 D および (b) 配向度 $f(\theta)$ の関係



Fig. 4 フィルムを張った円筒とその打刻音を検出する方法

そこで、Fig. 4に示すように、フィルムを張った円筒を太鼓とみなし、これに球を落下させたときの打音を解析することで弾性率を求める方法を検討した。結果を Fig. 5に示す。落球音の振幅の時間波形を高速フーリエ変換（FFT）により周波数依存性に変換し、一次共振周波数から弾性率を算出したところ、引張試験の結果とおおむね一致する結果が得られた。この方法により、パターンが付与されたフィルムでも物性を測定できることが示された。

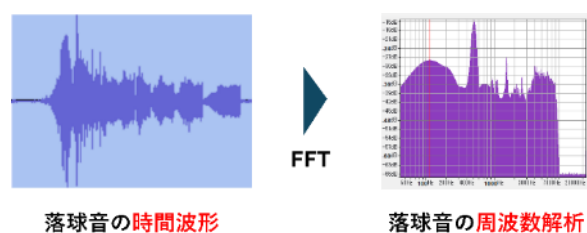


Fig. 5 フィルムを張った円筒に球を落下させたときの音の解析

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

パッケージ材料は、役目を終えると必然的に廃棄される運命にあり、したがってこれをどう捨てるか、あるいはどう再利用するかについては環境対策を講じるうえで喫緊の課題である。しかしながら、たとえば従来のプラスチック材料の使用量を減らし、これを環境調和型高分子に置き換えただけでは、課題を解決したことにはならない。本提案は、合成高分子材料の牙城であった包装用資材（フィルム）を天然高分子で置き換えることを念頭に置きつつ、新しい発想でネットワーク構造をフィルムに導入し、包装用資材として機能を発現させることを目標とした。本研究のパッケージ産業への貢献は、おもに次の2点からなる：

- (1) 低環境負荷の溶媒を用いて、天然高分子であるセルロースからフィルムを調製
- (2) 得られたセルロースフィルムにネットワーク構造を導入し、高強度という機能を付与

上記(1)については、セルロースのサステナビリティおよび生分解性を期待していることはいうまでもない。すなわち、持続可能資源を用いることで地球環境の保全に資することができると期待できる。ここに、製造時の溶媒を低環境負荷のものに転換することで、さらに環境負荷を抑えることができる。上記(2)については、本研究の独自の視点であり、非線形現象を用いたネットワークを導入する。これは少量の添加で高強度を発現できるようなネットワーク構造をもつ複合材料の創製に貢献できると期待できる。

さらに、Fig. 4および5に示すように、複雑な形状を有したフィルムの物性測定にも新たな方法を考案した。これを用いることで、さまざまな形状をもつフィルムの評価に貢献できると考えられる。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨 記載してください。）

学会発表

1. 山崎 璃子、巽 大輔、フラクタル構造の導入による材料強度向上の試み
日本木材学会九州支部大会（鳥栖）、P-06（2025）.
2. 山崎 璃子、巽 大輔、フラクタル構造導入によるセルロースフィルムの力学特性向上の検討
第63回化学関連支部合同九州大会（北九州）、PF-6-084（2026）.