

# 多重積層によるナノセルロース透明板材の形成と寸法 - 特性相関

東京大学大学院 農学生命科学研究科 石岡 瞬 (指導教員 齋藤 継之)

**研究の概要** 構造物や機械などの形状を維持するための材料であり、木材・金属・セラミックスなど力学特性に優れたものが適用されているが、それらは一般的に不透明である。一方、木材由来の新素材であるセルロースナノファイバー (CNF) のフィルムは、透明性と高強度を兼ね備えるため、革新的な「透明な構造物材料」としての応用が期待できる。しかし、CNF フィルムは厚み約数十  $\mu\text{m}$  の薄膜しか成膜できず、構造利用に足る厚み (数 mm 以上) を得ることができない。そこで本研究では、CNF の薄膜を多重に積層・接着し、構造利用しうるミリメートル厚の CNF プレートを作製することに取り組んだ。

## はじめに

木材のバルブ繊維をナノレベルまで粉砕すると、**セルロースナノファイバー (CNF)** となる。CNF の分散液を乾燥・成膜させると、ガラス並に透明な **CNF フィルム** が得られる。加えて、このフィルムはプラスチック並に軽量で、金属並に強度が高く、セラミックス並に低熱膨脹性であるため<sup>[1], [2]</sup>、これらの際立った特性を活かした用途の開拓が進められている。

一般に、ガラスやプラスチック等、既存の透明材料は力学強度が低く、柱や壁などの耐荷重性が要求される構造物材料として適用されない。一方、透明 CNF フィルムは高強度であるため、木材由来の革新的な「**透明な構造物材料**」としての応用が期待できる。しかし、CNF フィルムの成膜工程は、希薄分散液を乾燥させるため、厚み約数十  $\mu\text{m}$  の薄膜しか成膜できず、構造利用に足る厚み (数 mm 以上) を得ることができない。

そこで本研究では、CNF フィルムを多重積層し、**ミリメートル厚の CNF プレート** の形成を目指した。そして、得られた CNF プレートの特性を解析し、CNF の新たな活用領域を探った。

## 研究成果

積層材料には接着層が不可欠であるが、力学強度の低い合成ポリマーを用いた場合、構造物の力学強度が減少する。そこで、CNF が水素結合等で自己接着して高強度フィルムを形成することに着目し、接着層には、これまでの検討で最適化した「CNF の水/エタノール分散液」を用いた。すなわち、得られるプレートは「**オール CNF 材料**」である。

本プロセスで、35 枚の CNF フィルム (厚み約  $30 \mu\text{m}$ ) を多重に積層・接着することで、**厚み約 1.2 mm** の CNF プレートを作製することに成功した (図 1)。CNF プレートは、出発材料の CNF フィルムと比べて厚みが約 40 倍であっても、波長 600 nm の光透過率が 83% であり良好な光透過性を維持した (図 2)。また、CNF プレートの引張強度は約 230 MPa であり、出発材料の CNF フィルムの値 (約 200 MPa) と比べ増加した。この値は、透明プラスチックやガラスより高く、アルミニウム合金並であり<sup>[3]</sup> (図 3)、CNF プレートが**透明性と高強度を両立**した、新規の構造物材料となりうることを示した。加えて、CNF プレートは、CNF フィルムの**低熱膨脹性** (熱膨脹係数  $8.3 \text{ ppm/K}$ ) を維持し、木材由来でありながら**難燃性**を發揮した (図 4)。

CNF は親水性が高いため、CNF プレートを水に浸漬すると激しく膨潤してゼリー状のゲルになる。そこで、CNF 間を架橋して固定化し、膨潤を抑制することを試みた。架橋型の CNF プレートは、3 日間に浸漬してもプレート状の構造を維持し、**耐水性**の付与に成功した (図 5)。

## 研究結果

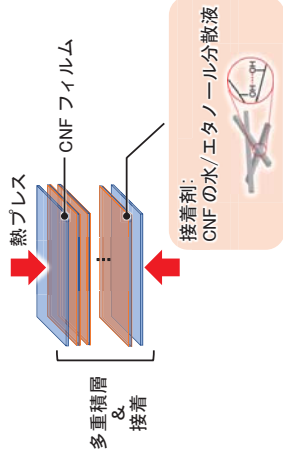


図 1 CNF プレートの作製プロセス・厚み約 1.2 mm の CNF プレートの外観

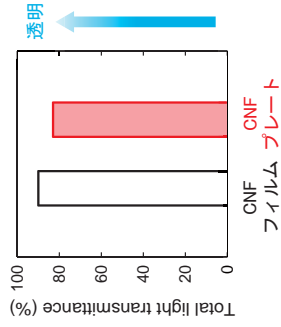


図 2 波長 600 nm における光透過率

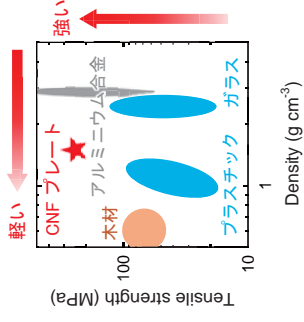


図 3 強度・密度のマッピング

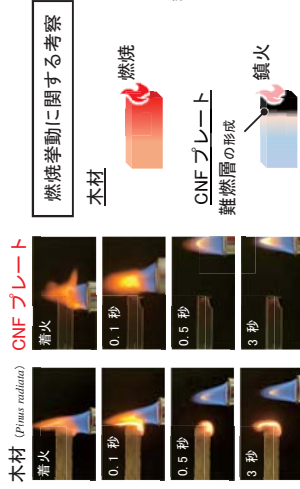


図 4 燃焼挙動

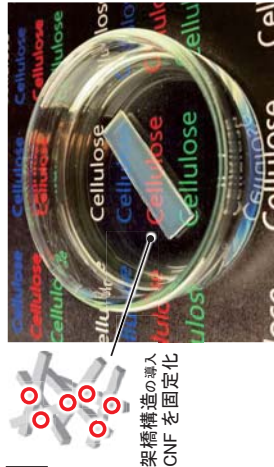


図 5 水に 3 日間浸漬した架橋型 CNF プレート

## まとめ

本研究では、多重積層による**ミリメートル厚の CNF プレート**の作製と、その特性解析を行った。接着剤には、CNF の自己接着性を活かして、CNF 分散液を用いた。得られた CNF プレートは**光透過性・高強度・低熱膨脹性・難燃性**を兼ね備えることが明らかとなった。また、CNF 間に架橋構造を導入することで、CNF プレートに**耐水性**を付与できた。

## 参考文献

- [1] Fukuzumi, H., et al. *Biomacromolecules*, 10, 1 (2009).
- [2] Zhao, M., et al. *Nanoscale Horizons*, 3(1), 28-34 (2018).
- [3] Ashby, M., F., et al. *Materials: Engineering, Science*,

## 参考文献

当研究課題は、(公財) PHOENIX 木材・合板博物館の令和 2 年度研究助成金による支援を受けた研究成果です。