

(阪大産研) ○上谷幸治郎、(宮崎大 TT) 宇都卓也、  
(ウィスコンシン大マディソン) 安藤大将、(立教大理) 鈴木望

### 【緒言】

植物細胞壁から抽出されるセルロースナノファイバー (CNF) は、右巻きのねじれという固有キラリティを持つ特徴的なキラルナノファイバーである<sup>[1]</sup>。この CNF1 本の力学特性として、強度や弾性率が実験ならびに計算科学から実測・算出されているが、いずれも捻れ形状を加味しない系を用いており、捻れ形状に基づいた力学的特徴については未だ明らかになっていない。しかし、形状は機能と表裏一体である。紙を折ると強くなるように、同じ物質であっても形が変わるだけで力学性能が大幅に変動する。すなわち、CNF のねじれた形状は、非ねじれ形状にはない力学性能を有していることが強く推定される。そこで本研究は、この形態力学の考え方を CNF に対して初めて導入し、捻れた CNF1 本が示す力学的特徴を明らかにすることを目的とする。

### 【実験方法】

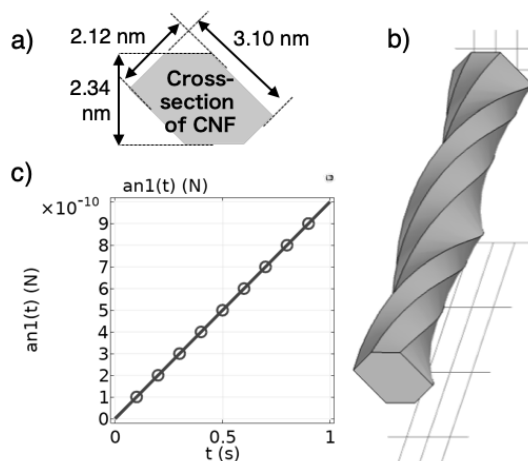
有限要素法シミュレーションソフトウェア COMSOL Multiphysics® (COMSOL Inc., Stockholm, Sweden) 上で、木材 CNF を数理モデル化した 6 角形断面の捻れ棒を曲線座標で作成した。断面形状ならびに捻れ率、各方位の弾性率・せん断係数・ポアソン比については既報<sup>[1,3]</sup>を参照した。この数理モデルに対して端面を固定拘束し、もう一方の端面に時間依存で軸方向荷重を印加し、変位やフォン・ミーゼス応力の分布等を解析した (Figure 1)。

### 【結果および考察】

境界荷重の印加によって、捻れ形状に起因するとみられるフォン・ミーゼス応力の不規則な分布が観測された。非ねじれ形状モデルと比較して、捻れた形状では局所的な応力集中と分散が顕著に発生することが判明した。境界荷重面近傍における変位を観測したところ、印加した応力ベクトルと異なる回転変位が観測された。加えて、捻れ周期を増やした場合、回転変位と同時に湾曲変位も生じることが観測された。捻れた形状により、入力荷重とは異なる方向へ応力を伝達可能であると考えられる。本特徴は、CNF を集積した紙材料ナノペーパーに最近見出された、応力に応答する伝熱性スイッチング<sup>[4]</sup>や異方的な応力複屈折 (光弾性) <sup>[5]</sup>など、物性ダイナミズムの発現にも関与している可能性が高い。また、木材細胞壁中で傾角を持って集積する CNF は、傾いていても鉛直方向に荷重を伝達できている可能性も示唆されている。

### 【参考文献】

- [1] G. Nyström, M. Arcari, J. Adamcik, I. Usov, R. Mezzenga, *ACS Nano* **2018**, *12*, 5141.
- [2] 本木材学会 組織と材質研究会 (編), *あて材の科学—樹木の重力応答と生存戦略*, 海青社, **2016**.
- [3] a) K. Daicho, T. Saito, S. Fujisawa, A. Isogai, *ACS Appl. Nano Mater.* **2018**, *1*, 5774; b) P. Chen, Y. Ogawa, Y. Nishiyama, A. E. Ismail, K. Mazeau, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2016**, *18*, 19880.
- [4] 上谷幸治郎ほか, 第 68 回 本木材学会要旨集 z16-02-0915 (2018 年 3 月 16 ).
- [5] 上谷幸治郎ほか, 平成 30 年度繊維学会年次大会予稿集 2D07 (2018 年 6 月 14 ).



**Figure 1.** Simulation condition of chiral CNFs. (a) Cross-section of CNF. (b) Mathematical model of chiral CNF. (c) Relationship between the applied stresses ( $An1(t)$ ) and time  $t$ .