

高濃度セルロースナノファイバー成形体のトライボロジー応用

Tribological Applications of Concentrated Cellulose Nanofiber Molding

横国大（正）*大久保 光 横国大（正）中野 健

Hikaru Okubo*, Ken Nakano*

*Yokohama National University,

1. 緒言

近年、世界規模で深刻化する環境問題を背景として、環境調和を志向した工業製品の素材転換が進められている。とりわけ、生分解性・生物資源由来（バイオマス）素材の活用は、現代の大きな潮流であり、軸受・オイルシール等の摺動機械要素においてもその導入が検討され始めている。しかしながら、バイオマス素材の多くは、機械特性・熱安定性・寸法安定性・原料調達等の観点で問題を抱えており、機械要素への導入には多くの困難が伴う。

一方、次世代のバイオマス産業資材としてセルロースナノファイバー（cellulose nanofiber :CNF）の研究開発が進められている。CNF は、セルロース分子が集めたセルロースマイクロフィブリルから構成されるファイバー状の構造体であり、鋼の 5 倍の高強度・1/5 の低比重・低熱膨張率・高界面制御性を有したバイオマス材料である¹⁾。筆者らは、従来バイオマス素材の欠点を克服した CNF の優れた特性に着眼し、100%の CNF 分散液を加圧成形することで得られる高強度かつ軽量のバイオマス摺動材料：「高濃度 CNF 成型体」を創製した²⁾。

本報では、高濃度 CNF 成型体のトライボロジー応用を志向した基礎的な検討状況について紹介する。とりわけ、本報告では、乾燥摩擦環境における高濃度 CNF 成型体の基礎的なトライボロジー特性について報告する。

2. 実験材料及び方法

水中カウンターコリジョン法にて調整した CNF 水分散液を用いて、圧縮脱水成形により CNF 成型体（密度 1.41g/cm^3 , Sa: $0.1\mu\text{m}$, ナノインデンテーション硬さ 0.37GPa ）を作製し、クラウニング形状を有したリング試験片（ $\phi 20\text{mm}$ ）に加工して摩擦試験機に供した。相手材料として、SUJ2 軸受平板（HV750, Sa: $0.05\mu\text{m}$ ）を用いた。Figure 1 に高濃度 CNF 成型体の外観図を示す。摩擦試験には、レーザー走査型の Raman 分光分析装置（Raman Touch YNU, Nanophoton Co., JP）に接続可能なボール・オン・ディスク型の摩擦試験機を使用した。Figure 2 に摩擦試験機の概要図を示す。本研究では、「恒温摩擦試験」と「昇温摩擦試験」の 2 種の試験を実施した。恒温摩擦試験では、荷重 10N 、ヘルツ最大接触面圧 約 150MPa （CNF-SUJ2）、試験温度 30°C ・ 100°C 、相対湿度 50-70%、摺動速度 10mm/s で 600 秒間の摩擦試験を行った。昇温摩擦試験では、相対湿度 50-70%、摺動速度 10mm/s で各試験温度：30, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110°C で 10 サイクル（10 回転）の摩擦試験を行った。

3. 実験結果と考察

Figure 3 に恒温摩擦試験の結果を示す。Figure 3 (a-c) より、試験温度 30°C と比較して、試験温度 100°C において高濃度 CNF 成型体は摩擦係数 0.03-0.04 程度の低摩擦性を示し、高濃度 CNF 成型体側の摩耗量も低下した。高濃度 CNF 成型体の摩擦特性の温度依存性についてさらに検証するため、昇温試験を実施した。Figure 4 に昇温試験の結果を示す。

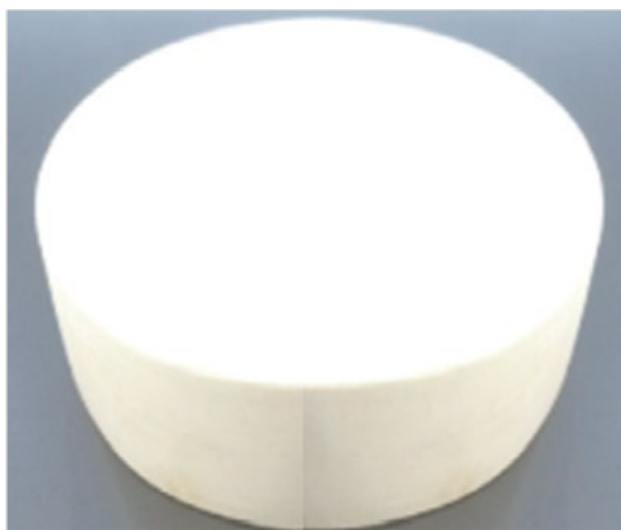


Fig. 1 Appearance of the CNF molding

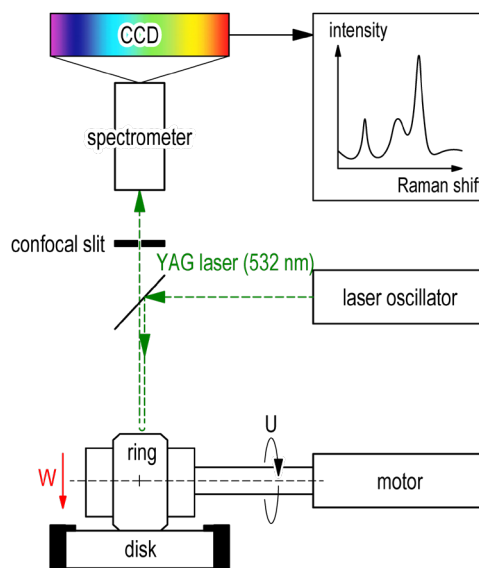


Fig. 2 Schematic of the friction tester

Figure 4 (a, b) より、高濃度 CNF 成形体は試験温度の増加に伴い、摩擦係数が徐々に減少し、90℃以上で摩擦係数 0.04 以下の低摩擦性を発現した。上記した結果より、高濃度 CNF 成形体は、温度の上昇に伴って何らかの界面・内部構造の変化が伴うことで、摩擦係数の減少に繋がったものと推定される。

4. 結言

本報では、高濃度 CNF 成形体のトライボロジー応用を志向した基礎検討の中でも、乾燥摩擦下における高濃度 CNF 成形体のトライボロジー特性について取り挙げた。その結果、高温・乾燥摩擦条件下において高濃度 CNF 成形体は顕著な低摩擦性を示すことが明らかとなった。

講演では、界面・内部構造変化をその場 Raman 分光分析により追跡した結果について報告し、結晶構造・水素結合状態の変態と鉄鋼材側に形成される CNF 移着膜の観点から、高濃度 CNF 成形体の低摩擦性機構について議論する。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K20402・24K17195 の助成を受けたものです。CNF サンプルをご提供いただいた中越パルプ工業株式会社 橋場 洋美様、福岡大学 八尾滋教授には研究遂行上の有益な助言をいただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

文献

- 1) Amita Sharma et. al., Biotechnol. Rep., 21 (2019) 1-15.
- 2) H. Okubo et. al.: Tribol. Lett., 71, 83 (2023) 1-10.

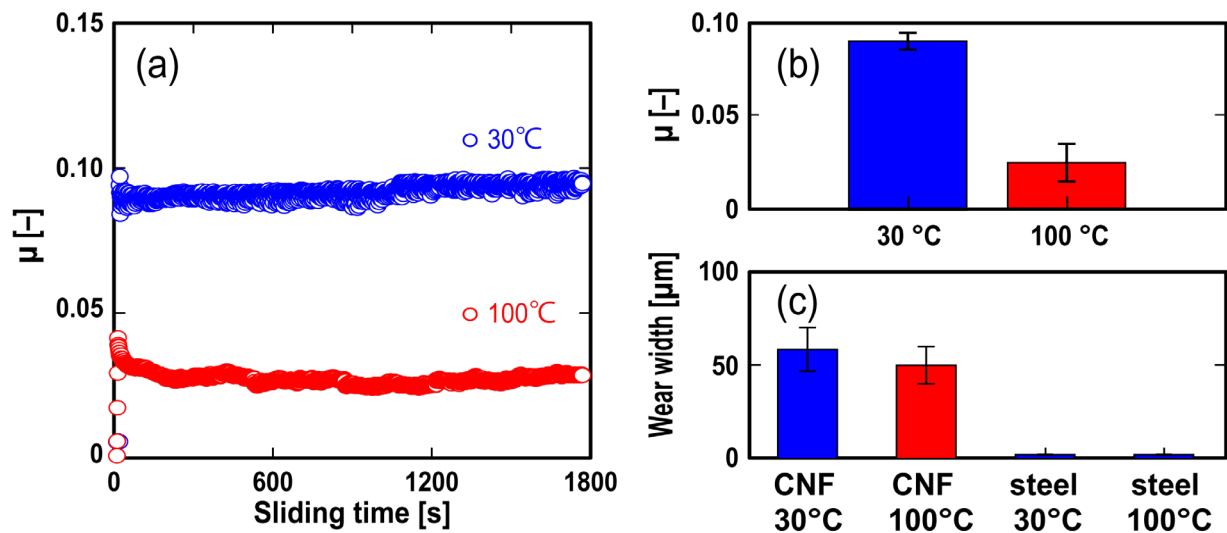


Fig. 3 (a) Frictional behavior, (b) average friction coefficients and wear volumes of the CNF/steel tribopair

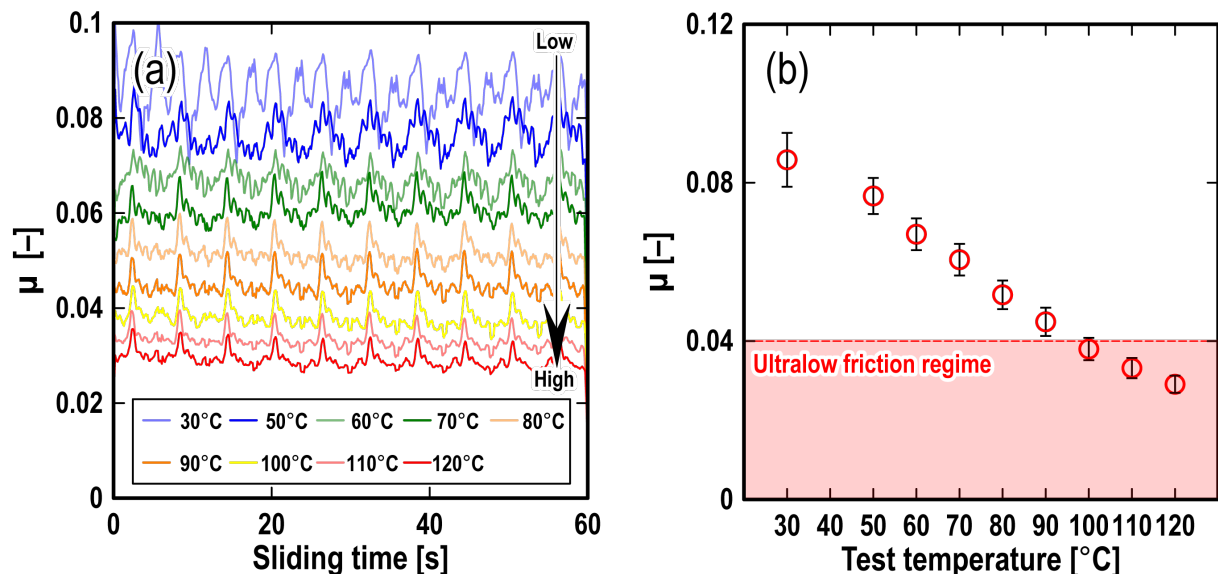


Fig. 4 Temperature-rising test results: (a) the frictional behavior at each temperature and (b) temperature-dependence of the average friction coefficient