

金属イオンの導入によるナノセルロース紙の熱拡散性制御

上谷幸治郎*[†]・宇都卓也**

*東京理科大学工学部工業化学科 東京都葛飾区新宿6-3-1 (〒125-8585)

**宮崎大学工学部応用物質化学プログラム 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1 (〒889-2192)

[†] Corresponding Author, E-mail: uetani@ci.tus.ac.jp

(2022年12月26日受付, 2023年1月11日受理)

要 旨

ホヤ殻や木粉などのバイオマス原料を化学的に精製し、ナノ解繊処理を施すことで、高結晶性のセルロースナノ繊維 (ナノセルロース) が製造される。表面にカルボキシ基を導入したナノセルロースを成膜して自立ペーパーを作り、金属塩化物の水溶液に浸漬すると、ペーパー中に金属イオンを導入することができる。この金属イオン導入ペーパーの熱拡散率を低湿度環境中で測定したところ、イオン半径や電気陰性度に依存して変化することを見いだした。本稿では、最近明らかになってきたナノセルロース製ペーパー材料の伝熱特性について概説し、イオン導入による熱拡散性制御について紹介する。

キーワード：熱拡散率, イオン半径, 電気陰性度, セルロースナノファイバー

1. 緒 言

生体組織を形成するセルロースは、マイクロフィブリルと呼ばれる伸び切り鎖結晶構造の繊維を構成しており、その結晶幅は生物種に依存して異なる。マイクロフィブリルを化学的に精製し、結晶構造を壊すことなくナノレベルに解繊することでセルロースナノファイバー (CNF) やセルロースナノクリスタルなどのナノセルロース (NC) が抽出される。これまでホヤ、木材、酢酸菌が合成するナタデココ、コットンなどさまざまな原料から幅3~20 nm程度の高結晶性NCが得られている。NCを濃縮あるいは濾過成膜し、乾燥工程を経ると、繊維同士が接着したNCペーパー (紙) 材料が得られる。ここで紙とは、JIS P0001:1998によると「植物繊維その他の繊維を膠着させて製造したもの」¹⁾ と定義され、一般的なパルプ繊維とNCでは繊維の寸法が違うものの、どちらも単独で紙を形成する。NCペーパーは、その結晶構造に起因する高い力学性能や低い熱膨張係

数、ナノスケールの細さによる高透明性、また柔軟性・軽量性・生分解性・ガスバリア性などが次々と明らかにされ、ガラスやプラスチックに代わる次世代の新規フィルム素材として産業利用が期待されている。

NCの先進用途の一つに、エレクトロニクス向け基材が挙げられる。とくにCNFペーパーの透明・柔軟・低熱膨張性という特性をエレクトロニクスに活かして、これまでさまざまなペーパーデバイス (たとえば、折り畳める太陽電池²⁾、アンテナ³⁾、不揮発性メモリ⁴⁾、透明導電膜⁵⁾、生分解性センサ⁶⁾、オールセルロース製湿度センサ⁷⁾、フレキシブルOLED⁸⁾、分散型EL素子⁹⁾、など) が開発されてきた。このような次世代の薄型でフレキシブルなペーパーエレクトロニクスが発展すれば、その熱管理に向けて熱対策部材の熱伝導率制御がますます重要になると考えられる。現在主流となっている熱対策部材は、ポリマーマトリックスに高価な熱伝導性フィラーが大量に複合されており、環境的にも経済的にも負担が大きい。次世代社会の環境適応性に対応するため、環境調和型熱伝導材料の開発が同時に重要となっている。一方最近、生体組織由来のCNFペーパーが汎用プラスチックの3~10倍の熱伝導率 (ホヤ殻由来のCNFフィルムで~2.5 W/mK) を示すことが報告され¹⁰⁾、セルロースを用いた熱伝導材料^{11,12)} や切り紙構造を用いた斬新な放熱プラットフォームの開発への扉が開かれている¹³⁾。より高い熱伝導性をもつ材料をCNFベースで設計可能とするためには、その物理化学的な制御指針を解明することが不可欠である。

CNFペーパーにおけるCNF間の界面相互作用力を向上させる手法として、多価金属イオンの添加が有望視されている。表面に多くのカルボキシル基を有するCNFによる紙中に多価金属イオンを添加すると、CNF間の界面に金属イオンが吸着してイオン架橋構造を形成すると考えられ、紙の機械特性が向上することが知られる¹⁴⁻¹⁶⁾。さらに、多価金属イオンの導入に



〔氏名〕 うえたに こうじろう
〔現職〕 東京理科大学工学部工業化学科 講師
〔趣味〕 音楽鑑賞, ドライブ
〔経歴〕 2010年日本学術振興会特別研究員 (DC1)。2013年京都大学大学院農学研究科森林科学専攻博士課程修了。博士 (農学)。同年技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構 (TASC) 博士研究員。2014年立教大学理学部化学科助教。2018年大阪大学産業科学研究所助教。2022年東京理科大学工学部工業化学科講師。現在に至る。



〔氏名〕 うと たくや
〔現職〕 宮崎大学工学部応用物質化学プログラム 准教授
〔趣味〕 コンピュータグラフィックス, サーバー構築
〔経歴〕 2014年日本学術振興会特別研究員 (DC2)。2014年宮崎大学大学院農工学総合研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。2016年日本学術振興会特別研究員 (PD)。2018年宮崎大学テニュアトラック推進機構助教。2021年11月宮崎大学工学部応用物質化学プログラム准教授。現在に至る。