

セルロースナノファイバー 連続脱水シート化装置の開発

川之江造機株式会社

代表取締役社長 篠原 貴裕

愛媛大学

愛媛大学長 仁科 弘重

川之江造機(株) 設計部 取締役設計部長

合田 真二

川之江造機(株) 設計部

木下 聖也

川之江造機(株) 設計部

西内 大貴

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター センター長

内村 浩美

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 副センター長

藪谷 智規

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター

秀野 晃大

はじめに

セルロースナノファイバー (CNF) は紙の主原料である木質繊維を機械的・化学的にナノ化処理した幅 3 ~ 100 nm 程度の微細繊維である。軽量かつ高強度、高弾性などの優れた特徴 (図 1) を有しており、高強度材料 (自動車部品) や高機能材料 (住宅建材) への活用が期待されている。また、CNF は植物由来で再生可能な資源であることから、地球温暖化対策や環境適合性材料開発への貢献が期待されている。しかし、CNF は一般的に水を多く含んだ状態で提供されており、輸送や乾燥コストが課題となっているため、脱水・乾燥に対する新技術の開発が希求されていた。



セルロースナノファイバー (CNF)

木質繊維を機械的・化学的に解繊

〈特徴〉

- ・ 軽量 (鉄の1/5倍)
- ・ 高強度 (鉄の5倍)
- ・ 熱的寸法安定性
- ・ ガスバリア性

等

図1 CNFの特徴

開発のねらい

CNF の製造は、木質繊維を水中で機械的に解繊処理する方法が多いことから、製造時の CNF は、構成要素の大部分 (90 %以上) が水で占められている。製造された CNF の高い含水率は、製造プラントから CNF を利用した製品製造工場へ輸送する場合に、CNF と一緒に 9 割以上の水分も合わせて輸送することになり、輸送効率が悪いという問題を抱えている。また、CNF を成形体や樹脂混練など、構造物成形に利用する場合は、CNF が保有する多量な水分が、成形体製造プロセスの障害となることが容易に想像される。すなわち、この CNF の高い含水率は、CNF 輸送に関わる高コスト性や CNF 成形体製造時の高エネルギー消費等の問題をもたらす。今後の産業界での利活用を考慮すると、CNF の脱水に関わる課題解決は急務である。ただ、CNF は極めて微細であり、高い水分保持力を有するため、既存の脱水技術である遠心分離法やろ過法を適用することが困難である。また、加熱乾燥による高濃度化も可能であるが、加熱乾燥法は典型的な高エネルギー消費プロセス

となり、高い環境負荷とコストが問題となる。

CNFの脱水に関わる課題解決のために、抄紙に関わる高度な機械設計と装置製造を専門とする川之江造機(株)と、紙産業に関わる国内唯一の大学研究拠点である愛媛大学紙産業イノベーションセンターとの共同研究体制を基に、抄紙技術を応用したCNF連続脱水シート化装置を世界に先駆けて開発した(図2)。



図2 CNF連続シート化装置

装置の概要

抄紙技術を応用したCNF連続脱水シート化装置は、産業界での利活用を前提に、大量の脱水が可能な抄紙技術を基本とした装置である。CNFの捕捉効率向上のため、ワイヤパート前段では、新たな機構として抄紙用ワイヤとフェルトを多層とした吸引脱水機構を有し、非加熱で効率的かつ連続的な吸引脱水が可能である。また、本装置による吸引脱水後のCNFは、加圧しても紙層構造への影響が小さかったことから、ワイヤパート後段に新規に開発した面圧印加機構とプレスパートでRoll to Rollの段階的な加圧脱水機構を設置することで高固形分濃度のCNFウェットシートが成形可能である。最終工程のドライヤパートでは、ウェットシートを拘束しながら加熱乾燥することで連続的に地合いの良好なCNF乾燥シートを製作可能とした(図3)。

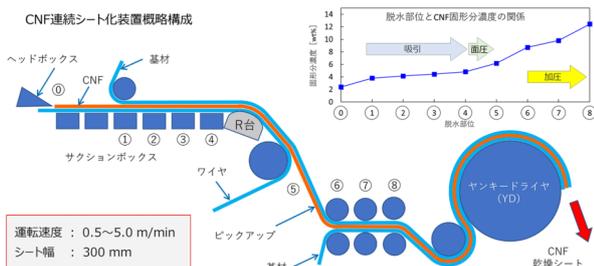


図3 装置概略図と固形分濃度の推移

技術上の特徴

本装置は、①吸引脱水、②面圧脱水、③加圧脱水、④拘束加熱乾燥の4つの機構を組み合わせて構成されている。以下に個々の機構を解説する。

① 吸引脱水機構

ワイヤパート前段の吸引脱水機構では、ベルトコンベヤのようなエンドレス形状の抄紙ワイヤ上にCNFを均等に塗布し、圧力調整可能な12基のサクシオンボックスで段階的に吸引脱水を行う。CNFの繊維は極めて微細なため、単層の抄紙ワイヤ上で吸引脱水を行うとワイヤの開きからCNFの漏洩が発生する(図4(a))。そこで、愛媛大学から、ワイヤからの漏洩対策としてワイヤおよび吸水性基材を重ねて多層化する方法が提案された。これは、CNFの通過流路を長くし、流路抵抗を増大させることを目的として、CNFの捕捉効率向上を目指した。実用化に向けて、愛媛大学と度重なる試作と改良を行い、多層化法として、抄紙用具のワイヤとフェルトを重ねることによって、実用的なCNFの捕捉効率向上を可能とした(図4(b))。

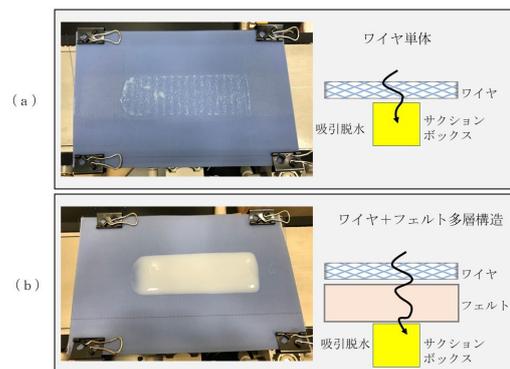


図4 吸引脱水の比較
(a:ワイヤ単体、b:多層構造)

② 面圧脱水機構

減圧吸引脱水では、ワイヤ近傍のCNF層下部から優先的に脱水が進行するためにCNF層上部は含水率が高いままとなる。特に、高坪量(CNFを厚くしたシート)の場合には、吸引脱水効率の低下が見られた。このシート表面層の脱水を可能

とするためには、上部からの減圧吸引脱水機構の装置も考えられるが、脱水装置の構造が複雑となることから、ワイヤパート後段に新たな面圧脱水機構を取り入れた（図5）。本機構は含水率の高い CNF 層上部に対し、動力を必要としないシンプルな構造で効果的な脱水ができる。しかも、抄紙幅全面にソフトな加圧を行うことにより、CNF 層の構造変化を起こさずに、CNF 層上部の脱水が可能である。装置の原理は、曲率半径の大きな R 台に沿って移動するワイヤと CNF に対して、上部から基材を被せ、基材にテンションをかけることで、CNF ウェットシートに対して面圧が印加される構造となっている。面圧により基材上部から水分が染み出し（図5）、脱水が進行する。

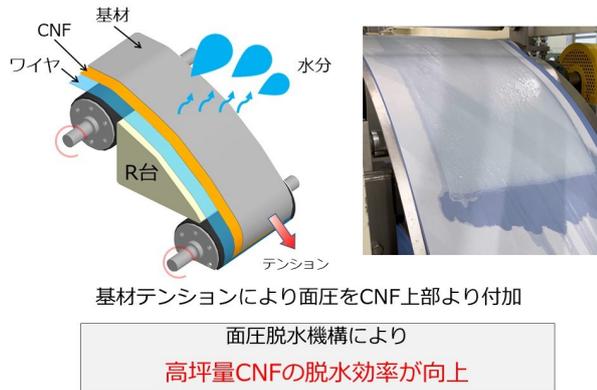
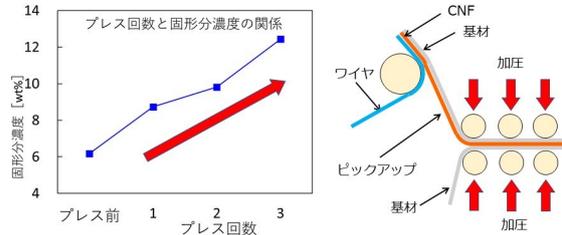


図5 面圧脱水機構の脱水効果

③ 加圧脱水機構

CNF シート化の実現には、乾燥時のエネルギー削減と収縮に伴うしわや割れを防ぐために、ウェットシート形状を保持した状態でさらに脱水する必要がある。そこで、プレスパートでは、面圧脱水後の CNF ウェットシートの加圧脱水機構を考案した。本機構は、CNF ウェットシートをシート基材でピックアップし、基材ごとロールで加圧することで、シート内部の水分を搾水する機構である。一度に高いプレス圧力で加圧するとシート形状が崩れてしまうおそれがあるが、加圧脱水機構では加圧力を調整可能な複数のロールが設置されており、段階的に加圧脱水を行う（図6）。具体的には、吸水およびソフトな圧力印加が可能な特殊素材ロールや軟質素材ロール、硬質

素材ロールを用いて、徐々に表面硬度の高いロールとなるように組み合わせることで、段階的な加圧を可能とし、吸引脱水終了後の6%の固形分濃度を約13%に高めることが可能となった。



段階的な加圧脱水により
シート形状を維持した効率的な脱水が可能

図6 段階的な加圧時の脱水効果

④ 加熱乾燥機構

ドライヤパートでは、前述の脱水機構で成形した CNF ウェットシートを乾燥させるために、抄紙機で用いられる、円筒内部に蒸気を通して加熱するヤンキードライヤ (YD) を使用した（図7）。一般的なパルプ繊維よりも保水性の高い CNF は乾燥による収縮・割れが生じやすい。この課題を解決するために、CNF ウェットシートに金網を被せた状態で拘束乾燥する。これにより CNF 乾燥シートを連続的に製作可能とした。なお、CNF の種類の違いによる保水性の差異や坪量増加による水素結合発生状況 (位置) の変動に対応するために、金網拘束位置を可変できる構造とした。



図7 CNFウェットシート乾燥機構

以上のように本装置は、実用的な抄紙用具のワイヤとフェルトを重ねた多層構造とし、CNF の捕捉効率を向上させている。さらに、新規に開

発した面圧印加機構 (R 台) や段階的な加圧機構で高濃度な CNF ウェットシートを得ることが可能となった。この高濃度 CNF ウェットシートを拘束して加熱乾燥することで、CNF 乾燥シート (図 8) を連続的に製作可能とした。

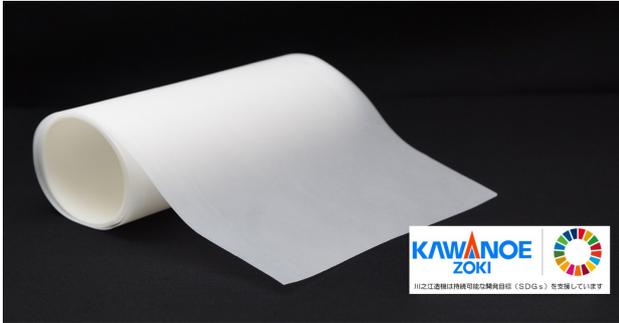


図8 CNF乾燥シート
(スギノマシン社製CNF ビンフィス使用)

実用上の効果

固形分 2% の CNF を脱水した場合、運転実績として、固形分濃度 10% 以上に脱水が可能のため、1000 kg の CNF を脱水すると、最低でも 800 kg の水分を脱水できる (図 9)。

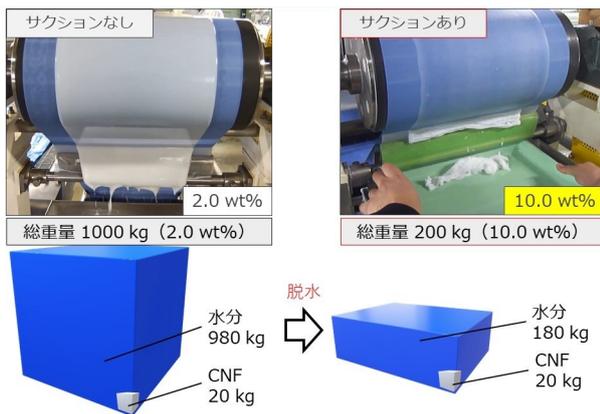


図9 吸引脱水の効果

輸送や乾燥コスト増加の原因となっている水分を大きく取り除くことが可能であり、加熱脱水法などのバッチ処理と違い、大量の CNF を連続的に処理できることが本装置の大きな特長である。

昨今の脱炭素や海洋プラスチック汚染などの

環境問題に対する関心の高まりから、植物バイオマスから調製可能な CNF は注目されているが、実用的な脱水およびシート化が課題であった。我々の技術で作製可能な CNF シートを樹脂製自動車部品や建材等と置き換えることで、プラスチック使用量削減や製品の軽量化に伴う燃費・輸送効率向上が見込めることから、持続可能な社会を構築するための重要な技術と位置付けることができる。

知的財産権の状況

本件に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第 6653891 号
名称: 微細繊維脱液装置
概要: ナノセルロースなどの微細な繊維を連続して脱液する装置。
- ② 日本国特許第 7156652 号
名称: 微細繊維シート製造装置
概要: 脱液微細繊維シート中の水分をさらに連続で加圧脱水、乾燥処理し、効率的にシート化する装置。

むすび

CNF 連続脱水シート化装置は、川之江造機テクニカルセンターに設置されている。現在も、さらなる改良改善を繰り返し、より効率的な脱水、シート化技術の確立に向け、技術データ、ノウハウの蓄積を行い、パイロット機として運用中である。

脱水困難なものを脱水するため、研究機関と企業が協力し、産学連携で独自の脱水技術を備えた装置開発に至った。この知見を有効に活用いただき、『お客様とともに』試作や共同開発の取組を積極的に行っていくことで、CNF に関する用途開発を一層拡大するための基盤設備として活用され、紙産業界の活性化や発展の一助となれば幸いである。