

セルロースナノファイバーの製造コストを削減する



森林資源化学研究領域 野尻 昌信・戸川 英二・下川 知子 研究ディレクター 真柄 謙吾

セルロースナノファイバー(CNF)は、木質資源から造られ、様々な用途に利用できる新素材の一つです。塗料、繊維、地盤改良材など幅広い用途開発を進めていますが、実用化のためにはコスト削減が絶対条件となっています。塗料用途でのCNFの品質仕様が確定したため、それに適合するように製造工程を見直し、省略できる部分は削り、薬剤投入量を再検討し、機械の稼働効率を向上させるスケジュールとすることでCNFの性能を落とすことなく、平成27年度には乾燥物として12,106円/kgだった製造コストを4,858円/kgまで削減することができました。

成果

セルロースナノファイバー(CNF)とは

CNFとは、植物細胞壁の主成分であるセルロース繊維を繊維幅が数ナノメートル程度になるまで細く解きほぐしたもので、さまざまな材料に混ぜることでその物性を変化させ、新しい機能を付与できる自然素材です。乾燥すると繊維同士が固着し、元に戻らなくなるため、水に懸濁した状態が完成品となります(図1)。

製造工程の見直しによるコスト削減

平成26年度から森林総合研究所で開始したベンチプラントを使った約1年間のCNFの製造技術実証試験により選定した製造条件に基づいて、平成27年度に製造コストの試算を行いました。この時の製造工程(表1、改良前)は、①蒸解、②固液分離、③酸素漂白、④固液分離、⑤洗浄、⑥過酢酸漂白、⑦固液分離、⑧洗浄、⑨過酸化水素漂白、⑩固液分離、⑪洗浄、⑫濃度・pH調製、⑬酵素処理、⑭超音波処理、⑮酵素失活、⑯ビーズミル処理、⑰殺菌の17工程で構成され、全工程に34.5時間かかっていた。1バッチを24時間ごとに開始し、年間330バッチ製造することで乾燥物として35t/年(水に懸濁したスラリーの状態では1,458 kL/年)のCNFを生産する条件で試算した製造コストは、乾燥物として12,106円/kg(水懸濁スラリーとして290円/L)となりました(表2、改良前)。

その後、塗料用CNFの実用化を目指してコスト削減に向け、製造条件を見直しました。見直しの前提として、改良前と同等のCNF性能を保持することとし、特にパルプ化工程(①~⑪)では、パルプ品質の指標となるパルプ粘度と白色度の2項目を測定し、改良前のパルプと同程度のパルプ粘度(5mPa・s)と白色度(70% ISO以上)となる低コストの製造条件を見出しました。

製造工程の改良(表1、改良後)として③、⑥、⑨と3段あった漂白工程を⑥の過酢酸漂白1段に変更し、⑭の超音波処理を省略しました。これにより、各工程後の洗浄などと合わせて③、④、⑧、⑨、⑩、⑭を省略することができました。その結果、機械設備費が14%削減され、製造時間が5h短縮されました。改良前と同品質のパルプを得るために、①の蒸解で使用するアルカリ薬剤を1.25倍、⑥過酢

酸漂白で使用する薬剤を4倍に増量することになりましたが、コスト削減効果の方がはるかに大きくなりました。また、改良されたプロセスで作ったCNFの各種用途への適合性は、改良前のCNFと同等であることを確認しました。

次に、製造機器の稼働率を向上させるため、製造スケジュールを見直しました。改良前は、⑬酵素処理と⑯ビーズミル処理でタンクとポンプを共用する計画だったため、⑬酵素処理中(6h)に⑯ビーズミル処理(7.5h)が行えず、それぞれの機器の稼働率が低く、コスト高の原因となっていました。そこで、⑯の工程にタンクとポンプを増設し(図2)、機器稼働率を最大限に上げたスケジュールを検討しました。その結果、ビーズミル機の稼働時間が3倍に増加して7.5h/日から22.5h/日となり、それに伴い生産量も3倍に増やせることが分かりました。増設した機器分だけ費用が増えましたが、前述の機械設備費の削減と合わせると改良前に比べて9.5%の削減になると試算されました。これらの改良により、製造コストは、平成27年度の試算と比べて60%減の4,858円/kg(水懸濁スラリーとして117円/L)と試算されました(表2、改良後)。

製造工程の数が減ったことで、CNFの生産管理が容易になったばかりでなく、製造コストが大幅に下がったことでCNFの実用化が促進されると考えられます。現在、この方法で製造したCNFを配合した木部用塗料の製品化が共同研究企業によって進められています。

研究資金と課題

本研究は、令和元年度林野庁補助事業「地域材を活用したセルロースナノファイバー利用技術開発」による成果です。

専門用語

蒸解：木材をアルカリ液中で160~170℃の高温高圧化で煮込み、木材からリグニンを取り除き、セルロース繊維を取り出す処理

漂白：蒸解で除去できなかったリグニンを薬剤を使って分解除去し、パルプの白色度を増加させる処理

酵素・湿式粉碎：水中でセルラーゼという酵素を使ってセルロース繊維にダメージを与え、硬いビーズと衝突させることでセルロースを粉碎する処理



図1 セルロースナノファイバー懸濁液
CNFは、乾燥させると繊維同士が固着して、再分散しなくなるため、水に懸濁させた状態で製造されます（写真はCNF2.4%含有）。

表1 製造工程の改良

		改良前	改良後
パ ル プ 化 工 程	1	蒸解	蒸解
	2	固液分離	固液分離
	3	酸素漂白	
	4	固液分離	
	5	洗浄	洗浄
	6	過酢酸漂白	過酢酸漂白
	7	固液分離	固液分離
	8	洗浄	
	9	過酸化水素漂白	
	10	固液分離	
	11	洗浄	洗浄
ナ ノ 化 工 程	12	濃度・pH調整	濃度・pH調整
	13	酵素処理	酵素処理
	14	超音波処理	
	15	酵素失活	酵素失活
	16	ビーズミル処理	ビーズミル処理
	17	殺菌	殺菌

表2 改良前後のコスト試算ほか

項 目	改良前	改良後	単 位
製造コスト (乾燥物として)	12,106	4,858	[円/kg]
製造コスト (水懸濁スラリーとして)	290	117	[円/L]
乾燥 CNF 生産量	35	99	[t/年]
生産効率	24	8	[h/バッチ]
機械設備費	100	90.5	[%]
薬剤費*	100	102.9	[%]

*薬剤費には、酵素費用などが含まれるため、パルプ化工程での薬剤増量によるコスト増は2.9%となっています。

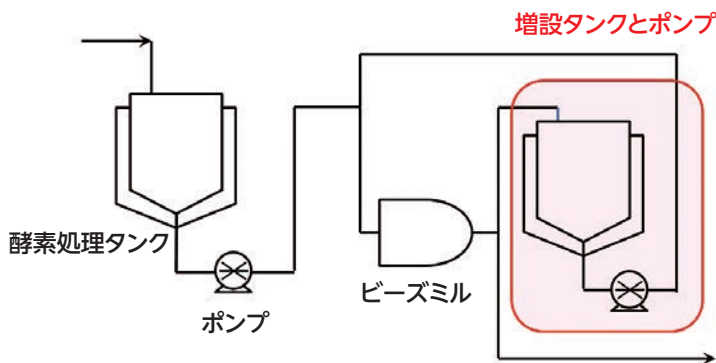


図2 稼働率向上のために増設するタンクとポンプ
酵素処理タンクとポンプはビーズミル循環運転時にも使用する予定でしたが、ビーズミル専用のタンクとポンプを増設することで、同時に運転できるようになり、生産効率が3倍向上しました。