

## パルプ特集

- 1 第27回パルプ技術セミナー開催報告……紙パルプ技術協会 パルプ技術委員会
- 4 製紙用パルプからセルロースナノファイバー (CNF) への変換  
—多様な CNF の構造・特性・課題と国内外の研究開発動向—……磯貝 明
- 11 北欧におけるバイオリファイナリーの動向……岩崎 誠
- 19 世界の市販パルプ需給について……村上 健
- 24 パルプ工場建設に関する世界のトレンド……山下 宏
- 29 カーボンニュートラルに向けたキルンの燃料転換……大森一則
- 34 増大する原料異物に対抗する先端技術……岩谷陽一郎
- 39 マキシトラッシャ, マキシセパレータの操業経験……吉津正毅
- 43 オンラインパルプカラーダート計開発と実用化……藤山道博
- 49 バルメットオンライン分析計を用いた調成工程 LC 叩解の最適化  
……Ismo Joensuu, Marko Loijas, 佐藤武志, 松本健治
- 54 ポンプの制御による硫酸希釈装置のご紹介……川崎直紀, 新井 宏
- 58 クラフトパルプ製造工程用消泡剤について……島林克臣
- 62 第2回パルプ基礎講座 開催概要報告

### 総説・資料

- 63 製紙工場パルプ製造工程全体の操業最適化システム……駿河圭二, 柏木 聡
- 68 最新式パルパーデトラッシュ装置 S-PAL システム……萩原和馬
- 73 SKF の状態監視システム導入の操業経験とその効果……逸見宏伸

### シリーズ:大学・ 官公庁研究機関の 研究室紹介(146)

- 78 京都府立大学 大学院生命環境科学研究科 環境科学専攻  
森林資源循環学研究室  
生物材料利用化学研究室

### 工場紹介(98)

- 81 王子マテリア株式会社 呉工場

- 03 会告
- 77 知財散歩道 (139)  
お気に入りのデザインはありますか? ……大橋由人
- 80 Coffee break  
我が国に現存する最古の包装紙……辻本直彦
- 85 内外業界ニュース
- 91 特許公報
- 99 全国パルプ材価格
- 100 統計
- 102 協会だより

## 製紙用パルプからセルロースナノファイバー（CNF）への変換 —多様な CNF の構造・特性・課題と国内外の研究開発動向—

東京大学 特別教授  
大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻  
磯貝 明

今世紀に入り、セルロース繊維から様々な方法で「セルロースマイクロフィブリル」を分離してナノセルロース類に変換する方法が見いだされ、そのナノ構造や特性解析が進められてきた。さらに、各種高分子あるいは各種無機材料との複合化・機能材料化の研究・開発が世界レベルで検討されている。植物セルロース繊維の効率的な単離・精製プロセスと関連する技術は主に紙パルプ産業、繊維産業によって蓄積されてきており、原料となる木材セルロースは、製紙用パルプの生産量がある程度維持されている限り安価である。今後、ナノセルロース類の量産化・用途開発が進めば、低価格化が期待できる。プラスチック、ゴム等の成形用高分子の生産量は国内だけでも 2,000 万トン／年ほどに至るため、わずかな添加量の複合化により高強度・高弾性率・高靱性が高分子基材で達成できれば、結果的にナノセルロース類の生産量の増加となる。金属材料からの代替、化石燃料由来の高分子の使用量の削減、海洋マイクロプラスチックの削減、さらには、再生産可能な植物バイオマスから一部代替した循環型社会基盤の構築、大気中の CO<sub>2</sub> の固定化物である CNF の材料への利用量の増加により、グローバルな環境・資源問題の防止・低減につながる可能性がある。また、新規ナノセルロース類の調製を目的とした研究開発の過程で、これまで多様な化学前処理方法が見いだされてきており、それらはそのまま、「結晶性セルロースマイクロフィブリル表面への位置選択的な荷電基の導入による新しい、特異的な機能性パルプ繊維の調製と特性解析」という繊維状セルロース、製紙用パルプの新しい効率的な、元の結晶構造を維持したままの化学改質法としての研究・技術領域を構築しつつある。

(本文 4 ページ)

## 北欧におけるバイオリファイナリーの動向

MIP コンサルタント事務所  
岩崎 誠

日本製紙連合会は、日本政府の 50 年までに温室効果ガス排出を実質ゼロにする目標（カーボンニュートラル）に呼応して、2050 年までに、地球温暖化ガス（GHG）排出の実質ゼロを目指すカーボンニュートラル産業の構築実現のための長期ビジョンを策定した。この中で紙パ産業が CO<sub>2</sub> 排出量削減に貢献できる方法として、従来から行われている①省エネ、燃料転換（化石燃料から非化石燃料へ）、②植林による CO<sub>2</sub> 吸収量の増加させる以外に、③プラスチック代替可能な CNF やバイオ素材の開発（これらの製品のライフサイクルでの CO<sub>2</sub> 排出量削減）の 3 点を挙げている。この最後の項目③に関しては、GHG 削減に従来から積極的な欧州、とりわけ林産業の盛んな北欧、中でもスウェーデンとフィンランドは以前から、木材あるいは農業廃棄物を利用したバイオリファイナリーの研究開発が盛んである。ここでは、両国が現在、どのようなバイオリファイナリーの研究開発を行っているのか、また、どのような体制で行っているのかについて、その一端をまとめた。

北欧両国は、ほぼ同じような分野を研究開発しているが、スウェーデンではスタートアップ企業からの新技術が、フィンランドでは VTT や既存の紙パがリードして進めているように見えるが、両国に共通しているのは産官学、あるいはそれぞれのニーズに精通している川上・川下を受け持つ企業同士がしっかり連携しながら進めている。これらの点は、日本でも参考になるのではと思う。

(本文 11 ページ)

## 世界の市販パルプ需給について

丸紅株式会社 パルプ部  
村上 健

パルプは生産者によって一貫消費されるケースが多数ではあるものの、市販パルプとしても販売されている。その数量は2020年には世界で約70百万トンにもものぼる、国際市況商品であり、その価格決定には様々な要素がある。同価格決定要素の中で、最も重要な要素の一つが供給と需要のバランスである。

供給面では、近年生産能力は年々増加しており、今後も更に増加していく見通しとなっている。特に、南米での生産能力増加が著しい。既に同地域が世界最大の供給地になっているが、今後も大型の新增設が目白押しとなっており、同地域が供給面の主導権を握っていくものと考えられる。品種別では、NBKP（針葉樹漂白パルプ）の増産もいくつかあるものの、生育の早い植林木をベースとし、コスト競争力も高いLBKP（広葉樹漂白パルプ）の増産が主流となっていく。

需要面では、世界最大の需要地である中国において、2020-2025年の5年間でも3%程度需要増加すると見られており、需要面では今後益々中国の動向が肝要となってくる。また中国・日本・韓国以外のアジア地域でも市販パルプ需要は拡大すると考えられており、アジア地域の重要性が増していく。一方で、成熟市場である北米、西欧、日本市場などでは需要は横這い乃至は漸減していくと思われる。

供給並びに需要も今後増加していくことが予想されているが、需要は徐々に増加していくものの、供給は大型設備が稼働すると一気に増加する傾向にある。その中で今後は大型新增設の少ないNBKPにおいては、需給バランスは逼迫傾向、逆に大型新增設の多いLBKPでは緩和傾向にある。また、そうしたパルプの需給バランスは市販パルプ価格決定の一要素となるため、今後のパルプ価格推移を占う上でも需給動向の確認は欠かせない。

本稿では、需要、供給、需給バランスの過去からの推移、並びに今後の見通しにつき言及し、今後の市販パルプ需給動向を考察していくこととする。

(本文 19 ページ)

## パルプ工場建設に関する世界のトレンド

バルメット株式会社 営業部  
山下 宏

(本文 24 ページ)

## カーボンニュートラルに向けたキルンの燃料転換

アンドリッツ株式会社 技術営業グループ 技術営業第1部  
大森一則

(本文 29 ページ)

## 増大する原料異物に対抗する先端技術

相川鉄工株式会社 技術部  
岩谷陽一郎

古紙利用率の目標は年々上昇しており、これまで廃棄されていた古紙についても原料として扱う必要性が高まってきている為、原料中に含まれる異物は増大する傾向にある。その中でより高品質・低コストな製品作りだけでなく、地球環境への配慮も必要となってきている為、旧来の設備では対応が難しい状況である。

そのような状況に対抗すべく、2つのシステムを提案する。ひとつは、離解工程における連続式デトラッシュシステム「S-PAL」である。これまでのパルパーデトラッシュシステムは、一般的にはバッチ式の処理であった。これは確実な繊維回収には有効であったが、近年の状況には対応しきれず、異物処理効率を劇的に改善するシステムの開発が望まれていた。

「S-PAL」システムは、それぞれ新規に開発された無閉塞ポンプ・デトラッシャー・ドラムスクリーンから構成される。連続的に異物の処理が可能となった結果、処理効率は大幅に向上。供給される異物に対して、処理効率が上回る結果となった。

既設バッチ式デトラッシュシステムから S-PAL システムへの切り替えを行った実例では、処理量・廃棄粕量は必要より大きく向上し、動力源単位も下がっている。これにより、より異物の多い低品質原料の使用も検討可能となっている。

粗選工程においても、リジェクト処理の重要性は年々高まるばかりである。こちらでも S-PAL システムと同様に、旧来のバッチ式リジェクト処理から連続式リジェクト処理設備であるマキシトラッシャーシステムへの転換が進んでいる。

マキシトラッシャーシステムでは、離解・異物除去を担うマキシトラッシャーと、異物の高濃度脱水と連続排出を担うマキシセパレーターの2機によって構成される。このシステムによって最終的に排出される異物の濃度は平均でも30%以上であり、旧来のバッチ式リジェクト処理設備と比較して大幅に改善されている。これにより、歩留まりの向上だけでなく、粕処理設備の負担低減にも大きく貢献した。

これら新技術は、日本国内のみならず、全世界的に採用・実績が進んでおり、今後もより厳しくなる現状に対抗できる提案であると確信している。

(本文 34 ページ)

## マキシトラッシャ、マキシセパレータの操業経験

日本製紙株式会社 岩沼工場 製造部 原質課  
吉津正毅

日本製紙(株)岩沼工場は、3台の新聞専抄マシンを持ち年間約45万tを生産する新聞用紙の基幹工場である。近年のデジタル技術の発展による電子媒体の利便性から特に新聞用紙の国内生産は2004年の年間397万tをピークに減少し続け、現在200万tを割り込んでいる。岩沼工場で製造しているDIPは、新聞古紙を主な原料としているが発生そのものの減少や、国外への輸出により断続的に集荷が困難となっており、今後もこの状態が継続すると予想される。一方で、雑誌古紙は新聞同様に発生が減少しているものの低級な雑紙の混入が増えるなどの要因で回収量の減少は比較的緩やかであり、使用においても板紙向け低級品の活用枠を徐々に広げるなどして需給バランスを維持している。昨今の古紙集荷の環境変化に応じて低級な古紙の利用拡大は急務であると考えられる。

岩沼工場のDIP-2工程では、上記背景から低級古紙の利用拡大を目的にマキシトラッシャ及びマキシセパレータを粗選工程に導入する品質対策工事を2019年11月に実施した。本工事によって、雑誌古紙の増配合と洋紙工場では利用してこなかった低級な古紙を使用しつつも品質を維持することができ、新聞古紙の集荷競合緩和と安価な古紙の使用によるコスト削減に寄与した。今回、本対策工事で洋紙向けDIPに初めて採用したマキシトラッシャ及びマキシセパレータの操業経験を報告する。

(本文 39 ページ)

## オンラインパルプカラーダート計開発と実用化

日本製紙ユニテック株式会社 制御システム事業部  
藤山道博

パルプ製造工程の夾雑物管理において、オンラインダートカウンタとして普及していたオムロン株式会社（以下オムロン）が同製品から事業撤退したため、同社の代理店業務をしている当社は、後継機としてオンラインパ

ルプダート計を独自に開発した。開発コンセプトとしてオムロン製の既存基本機能を踏襲しながら、保守性向上と導入コスト低減を目標とし、種々改良を加えながら製品化した。

一方、パルプ原料はリサイクル気運の高まりや環境対応により DIP の使用比率が増加し、紙パルプ業界としても古紙利用率向上を目指している。DIP は原料古紙由来により、UV インク等の難離解性のインク粕や色チリが多く含まれる。特に古紙需要増加に伴い、低品質な古紙原料では一層の品質管理が必要となる背景から、当社は、日本製紙岩沼工場と共同でオンラインダート計のカラー化に取り組み、パルプ原料中のカラー夾雑物の傾向をリアルタイムで「見える化」するシステムを開発した。ハードウェアは、モノクロ版オンラインダート計で開発したフォトウィンドウ、オールインワン BOX をベースに、カラーカメラを採用し、適応した LED 照明装置の選定と併せて、原料中のカラーダートを適切に撮像する光学条件を整えた。ソフトウェアは、汎用の画像処理技術を活用して DIP における色チリを色区分や形状、サイズ区分により弁別計数し、夾雑物発生傾向を監視すると共に特徴点画像を常時監視できるものとした。より高度化が要求される DIP 工程の品質管理に有効に活用できるシステムとして実用化を図った。

(本文 43 ページ)

## バルメットオンライン分析計を用いた調成工程 LC 叩解の最適化

バルメットオートメーション Inc.  
Ismo Joensuu, Marko Loijas  
バルメット株式会社 オートメーションビジネスライン  
佐藤武志, 松本健治

叩解は、製紙用パルプの特性を変えることができる重要な手段の一つである。叩解エネルギーの制御が信頼性の高い測定に基づいて行われれば、投入繊維の品質のばらつきにうまく対応でき、均質な最終製品品質を生み出し、エネルギー消費量を最適化することができる。叩解に関する理論としてエッジロード理論があるが、これは電力原単位 (Specific Refiner Energy, SRE) とエッジロード (SEL, Specific Edge Load) によってパルプ微細化の量と性質を示すものである。これまで、叩解は、CSF (カナディアンスタンダードフリーネス) または SR<sup>o</sup> (ショッパーリグラ) 測定のいずれかに基づいて制御されてきたが、これのみでは不十分で、叩解結果の正確な制御には繊維自体のオンライン測定が必要である。オンライン分析計 Valmet MAPQ アナライザーの繊維画像解析モジュール及びそのアルゴリズムは、高速叩解プロセスでの閉ループ制御アプリケーションで確実に利用できる様な精度、再現性及びスピードを達成し、多変数予測制御 (MPC) ベースのソリューションは、予測モデルに基づき制御を行う多変数プロセスである。通常の PID ベースのフィードバック制御に対し、バルメットが開発した MPC ソリューションは、変動性の大幅な削減だけでなく、叩解におけるエネルギーの節約も達成する。バルメットファイバーファーニッシュコントロール (Valmet FFC) は、プロアクティブ多変数制御アプリケーションを叩解プロセスに必要な特殊機能と組み合わせることで、叩解に関する課題を解決する。自動化されたインテリジェント制御により、手動介入の必要性が減り、オペレータはプロセス制御の他の側面に集中できる。

(本文 49 ページ)

## ポンプの制御による硫酸希釈装置のご紹介

株式会社イワキ 製品戦略部  
川崎直紀, 新井 宏

紙パルプ工場では蒸解、漂白、調成、抄紙から排水処理の工程に至るまで様々な化学薬品が使用される。強アルカリや強酸性の薬品も多く使用されており、事故を防ぐための機械保全が重要であるが、腐食性の強い薬品を使用している機器の故障は大きな事故につながる可能性があるため、特に注意しなくてはならない。紙パルプ工場における漂白工程での pH 調整や排水処理における廃液中の中和処理には主に硫酸が使用されるが、使用量も多いため原料の輸送コストを削減できる濃硫酸を希釈して使用する方法が一般的である。弊社で実績のある連続的に硫酸を希釈するインライン希釈方式を紹介する。古くから製紙業界ではインラインでの混合を行なってきた

るが、混合点での圧力変動による流量変化が少ない容積式ポンプや往復動ポンプを使用する方法の方が一般的である。容積式ポンプは定量性に優れているが、硫酸に耐食性を持ちながら移送できる容積式ポンプは高価であり、種類も非常に少ない。また、往復動ポンプは脈動が発生するため、特に吐出量の多い大型のポンプを使用したい場合には脈動や振動の対策を必要とする。逆に渦巻ポンプやカスケードポンプは価格や脈動面では優位となるが、圧力変動に伴って流量が極端に変化するため、いかに吐出量を安定させられるかが重要なポイントになる。必要な流量と圧力から選定すると、容積式ポンプでは要求流量を満足できない場合や、希釈水はポンプを使用せずに既設の工業用水のラインからの圧力を利用したい場合もあり、それぞれの運転特性に見合った制御が必要となる。また、混合の際に発生する希釈熱の冷却や、沸騰防止などの安全対策が重要である。

(本文 54 ページ)

## クラフトパルプ製造工程用消泡剤について

サンノブコ株式会社 研究本部 第2 研究部  
島林克臣

私たちの日常生活では、ヘアシャンプーなどのように泡を利用した用途がある。一方、様々な産業分野の製造プロセスなどでは、泡の発生により生産効率を低下させたり、製品に欠陥を与えたりするなど悪影響を与えることがある。

苛性ソーダと硫化ソーダを用いて木材チップを高温高圧下で蒸解し、パルプを取り出すクラフトパルプ法において、化学的に変性したリグニンがアルカリ液中に溶出する。このアルカリ液は黒液と呼ばれ、溶出したリグニン、樹脂酸および脂肪酸などがアルカリにより界面活性をもつために非常に泡立ちやすい性質になっている。クラフトパルプ製造の洗浄工程では洗浄設備の種類や処理量によって黒液が泡立つ。泡はパルプの洗浄速度を下げ生産性が低下するほか、洗浄効率も低下させる。そこで、泡をコントロールすることはパルプの生産性を安定化させために重要なポイントとなる。泡をコントロールする方法には機械的方法と化学的方法があるが、クラフトパルプ製造工程では消泡剤を用いる化学的方法が広く採用されている。消泡剤は、少量でありながら対象とする工程の生産性や品質を大きく左右する重要な薬剤である。

本稿では、消泡剤の基礎とクラフトパルプ製造工程用消泡剤として従来から用いられている鉱物油系消泡剤とシリコン系消泡剤の特長、試験方法、およびその使用例などを紹介する。

(本文 58 ページ)

## 製紙工場パルプ製造工程全体の操業最適化システム

栗田工業株式会社 プロセスソリューション推進部  
駿河圭二  
栗田工業株式会社 デジタル戦略本部 DX 開発部  
柏木 聡

パルプ製造工程で使われる原料には多くの不純物が含まれる。例えば、Fe, Si, Mg, Al などである。結果として、それらの不純物はパルプ化工程に入り、回収ボイラーで燃焼された後にスメルトになり、緑液に含まれる。多量の不純物は緑液クラリファイヤーでの沈降分離を阻害し次の工程にリークすることになる。次の工程はスレーカーと苛性化タンクであり、消和反応と苛性化反応が行われている。不純物は苛性化反応を阻害し、苛性化率低下を招く。苛性化の際にできる炭酸カルシウム（以降、炭カルと記す） $\text{CaCO}_3$  粒子のサイズも小さくなる傾向がある。これらは白液フィルター、ライムマッドフィルターでの脱水不良を引き起こす。さらには焼成率の低下も起きる。焼成率の低下はリサイクルしている生石灰が少なくなるため新しく購入する生石灰量が増えることになる。苛性化率の低下は、デッドロードケミカル（以降、デッドロードと記す）の増加につながる。デッドロードは、回収されて薬品が蒸解工程で使われるシステムで、蒸解に関与しない無用物となる。本報では主なデッドロードは $\text{Na}_2\text{CO}_3$  である。デッドロードは回収サイクルの中で、付随する水とともに移動する。そのため余分にエネルギーを使うことになる。

本稿では、まず使用する原材料の変化による問題点について述べる。次に、苛性化工程向け生産性向上剤と

S. sensing<sup>®</sup> システムを組み合わせせた効果的なアルカリ薬品回収システムを紹介する

(本文 63 ページ)

## 最新式パルパーデトラッシュ装置 S-PAL システム

相川鉄工株式会社 技術部  
萩原和馬

従来のパルパーデトラッシュシステムは、その殆どがバッチ運転であり、1バッチの中でパルパーより原料を引き抜いている時間の比率は50%以下が多く、低いところでは10%程度の場合もある。近年の悪化する古紙事情の中でも古紙リサイクルの維持と安定化を図り、資源循環型社会の構築へ貢献するためには、原料調成設備にて適切に処理ができるように設備更新を進めていく必要があると考えている。そこで、本稿では最新の古紙用パルピングシステム（連続式デトラッシュシステム）について実績を元に紹介させて頂く。

パルパーからの連続拔出し・流送には新型 S-ANP 型無閉塞ポンプを用いる。これまでの ANP 型のケーシング、インペラー等の改良を実施。安定的に供給される原料は、S-PAL 型デトラッシャーにて連続的に処理を行う。軽量異物を中心部に集めて効率よく拔出しを行い、重量異物も下部より排出される。抜き出した軽量異物は、ドラム式マルチウォッシャーにて洗浄。コンパクトの圧縮・脱水を併用すれば、廃棄物処理も容易となる。

機密古紙を主原料とした家庭紙製造工場にて、バッチ式から連続式デトラッシュシステムへと設備更新した結果、パルパーのブロー回数が1日に8回が夕方停止時の1回となり、改造前は180 t/d 処理を15時間で操業していたが、改造後は10時間で操業可能となった。街中の工場の為、騒音などの問題から日中の短時間で仕込み工程を終わらせたい都合もあったが、大幅に改善された。

(本文 68 ページ)

## SKF の状態監視システム導入の操業経験とその効果

レンゴー株式会社 金津工場 施設部施設課  
逸見宏伸

製造業では少子高齢化により人手不足が深刻化している。また設備の老朽化により突発的な故障が増加傾向にあり、保守メンテナンス業務の安全性の配慮が必要とされている。

そこで今回、レンゴー金津工場2号抄紙機にSKFのベアリング状態監視システムを導入し24時間遠隔監視することで異常を早期発見しその効果を検証した。

2020年1月より監視対象のロールにSKFの状態監視システムを導入し運用を開始しているが、導入前と導入後では事故止転回数が削減されていることが分かった。これは、センサー設置により普段点検のできないベアリングについては常時監視が可能となったことで、異常を早期発見できるようになった。また、ベアリング以外にも、ロールのアンバランスやハウジングの取付けボルトの緩みといった機械的な異常も評価できるようになったことが考えられる。

今後は引き続き2号抄紙機全ロールのベアリングを対象に状態監視システム導入し一層の保全強化を図っていく。振動解析を重ねていくことで、閾値の精度を高め2号抄紙機に適したシステム作りの構築を進めていく。

そして、状態監視システムをレンゴー全工場に水平展開しスマートファクトリーに向けた取り組みを実施していく。

(本文 73 ページ)