

バイオリファイナリー・プラスチック代替特集

- 1 紙素材の活用には有用な松由来のバイオマス樹脂……………奥村明日華
- 8 脱炭素化に向けた木質資源から化学製品を製造するバルメットの「バイオリファイナリー」技術……………毛受正治, 都 友徳
- 14 焼酎廃液等の有機廃液の有効利用処理について
—宮崎モデルの紹介—……………伊須 豊
- 19 クラフトリグニンを活用したバイオアスファルト混合物の開発……………杓野拓斗
- 23 セロファンのリサイクル技術の開発……………石川竣平, 築田憲明
- 26 フィルムに替わる紙製包装素材……………竹本圭佑

総説・資料

- 33 バルメットの新設回収ボイラおよび回収ボイラ新設後の既設ボイラの有効活用について……………平川和也
- 38 製紙業界におけるエネルギープラントへのタクマの取り組み……………藤原祐治
- 41 超音波技術を用いた黒液濃縮装置のスケーリング対策……………館松正人
- 46 エネルギー価格急騰に立ち向かう！
工場エネルギーマネジメントシステムの価値を最大化する組織的アプローチ……………堀内康行
- 51 過熱水蒸気乾燥の紙パルプ産業への応用……………中須賀 朗
- 55 大学・官公庁研究機関の研究題目に関する調査結果……………紙パルプ技術協会 木材科学委員会

研究報文

- 65 食用途に向けた竹由来セルロースナノファイバーの健康成人への安全性評価：非盲検長期摂取試験……………下川知子, 林 徳子, 高尾哲也

工場紹介(106)

- 86 特種東海製紙株式会社 三島工場

- 03 会告
- 64 Coffee break
正解のない発信, そして果てしない問いかけ……………池田晴彦
- 92 パピルス
ビリヤニ……………服部 景
- 97 内外業界ニュース
- 101 特許公報
- 108 全国パルプ材価格
- 109 統計
- 111 協会だより

紙素材の活用には有用な松由来のバイオマス樹脂

ハリマ化成株式会社 研究開発カンパニー 研究開発センター 製紙用薬品開発室
奥村明日華

木材から紙の原料となるパルプを生産する際に得られる、リグニンや樹脂酸といった天然樹脂は、枯渇するおそれがある石油や石炭のような化石資源とは異なり、植林により数十年のサイクルで再生可能（リニューアブル）な資源である。欧州や北米では、松を植林し、松材由来のパルプを生産すると共に、天然樹脂として脂肪酸やロジンを工業的に生産するプロセスが完成しており、自然とテクノロジーの調和を大切にしながら、「松（パイン）」から得られる化学物質を最大限に活用している。

ハリマ化成グループは、松材からパルプを製造するときに副生する粗トル油を原料として活用し、トルロジンやトル油脂肪酸等を生産、製紙用薬品等の製品を製造している。本稿では、私たちが取り組む「パインケミカル」と共に、松から得られる化学製品として、紙素材の活用には有用な水系樹脂“製紙用サイズ剤”と“紙素材用バリアコート剤”を紹介する。

製紙用サイズ剤は、ロジン系樹脂をアルカリでケン化して水溶化させた液体サイズ剤「ハーサイズ L-50」、ロジン系樹脂を乳化分散させたエマルジョンサイズ剤の「ハーサイズ NES」シリーズと「NeuRoz」シリーズがある。「ハーサイズ L-50」および「NeuRoz」シリーズは、「間接食品添加物」として、米国・FDA、ドイツ・BfR、中国・GB9685等の海外食品包装材料規制に対応できる製品である。また、紙素材用バリアコート剤は、ハリマ化成グループのLawter社がバイオマス率 80% 以上のロジン系水性コーティング剤「XW」シリーズを開発している。この「XW」シリーズは、溶液型とエマルジョン型の製品があり、紙素材に対して、耐水性、耐油性、水蒸気バリア性等の機能を付与すると共に、紙製食品包装材料のバイオマス率上昇が可能である。もちろん、欧州や米国の海外食品包装材料規制にも対応している。

ハリマ化成グループは、中国や北南米、欧州といった海外拠点と技術協力して、安心して使用できる紙・セルロース素材の更なる活用を目指し、環境負荷の低減に寄与できる安全な製品の開発に取り組んでいる。

(本文 1 ページ)

脱炭素化に向けた木質資源から化学製品を製造するバルメットの「バイオリファイナリー」技術

バルメット株式会社 営業部
毛受正治

バルメット株式会社 フローコントロールビジネスライン
都 友徳

脱炭素化に向けて様々な取り組みが進められている。二酸化炭素を吸収することができる木質資源を有効利用することは重要な取り組みのひとつであると言え、その木質資源からバイオエタノールおよびブラックペレットを製造する技術として蒸気爆砕技術の概要について紹介する。バルメットの蒸気爆砕技術は連続方式であることが最大の特長で大量生産に適している。連続方式の蒸気爆砕ユニットは 5 つの主要な装置から構成され、その中で最も重要な装置がプラグスクリーフィーダーである。プラグスクリーフィーダーは原材料を圧縮しながら連続的に圧力容器へ送る装置で、圧縮された原材料がプラグの役目を果たし、20 気圧強の内圧になる圧力容器からの蒸気漏れを防ぎつつ、安定的な連続生産を可能にしている。

本報の後半では、バイオリファイナリー工場だけでなく、石油、化学、精油、ガス精製、再エネなどの様々な工場で使用されている制御用バルブ類について、そのラインナップの一部を紹介する。ネレス社との合併により、高品質かつ長寿命で操作性に優れたネレス社の製品群がバルメットのラインナップに加わった。この結果、設備、プロセス、制御用バルブ類を効果的に組み合わせた総合的なソリューションを提供できる体制となった。

(本文 8 ページ)

焼酎廃液等の有機廃液の有効利用処理について —宮崎モデルの紹介—

王子製紙株式会社 日南工場 安全環境管理室
伊須 豊

日南工場では、地域貢献の一環として焼酎廃液を中心とした有機廃液（以下焼酎廃液）の産業廃棄物としての受入れ処理を2006年9月から行っている。当工場での処理は、既存の活性汚泥処理設備を利用した高効率汚泥回収、発生した汚泥の循環流動層ボイラー焼却による高効率な熱利用、更に焼却灰の有効利用処理を行っており、本処理行程は、「宮崎モデル」として焼酎廃液処理における先進性から「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（経済産業省）」の認定を2021年に得ている。

当初は日南市内の焼酎メーカー限定で受入れ、年間数量は数百t程度であったが、2017年からは市外からの受入れを開始し、更に2021年には県外産廃受入れ許可も取得したため宮崎県外からの受入れも開始し2022年度の受入処理量は、11,000tを超えるに至っている。

本「宮崎モデル」は、LCA（リスクアセスメント）評価でも高いエネルギー回収が実現されており、持続可能かつ環境にやさしい処理方法であることが確認できた。日南工場は、環境への負荷を最小限に抑えながら焼酎廃液処理を行い、「宮崎モデル」を通してCO₂排出量の削減と持続可能な社会の実現のために貢献していく。

（本文14ページ）

クラフトリグニンを活用したバイオアスファルト混合物の開発

日本製紙株式会社 研究開発本部 基盤技術研究所
杓野拓斗

わが国では、2020年10月に地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出量を2050年までにゼロにする「カーボンニュートラル」、「脱炭素社会」の実現を目指す宣言がされた。これを受け各省庁からは、カーボンニュートラル・脱炭素社会実現のための様々な政策が打ち出されている。

この背景のもと、舗装分野で脱炭素社会を実現させる一つの技術として、舗装用石油アスファルトを植物由来の樹脂であるリグニンで一部置換するバイオアスファルト混合物（以下、バイオアスコン）の開発をNEDO戦略的省エネルギー技術革新プログラム（助成事業）内で大成ロテック株式会社と共同で取り組んでいる。今回、室内にて製造したバイオアスコンの性状とバイオアスコンを用いて工場内舗装で実施した試験施工結果について検討した。

その結果、室内試験においては、アスファルトをクラフトリグニンに5、10%置換したバイオアスコンで混合物性状の向上が見られた。実際に日本製紙石巻工場で行った試験施工においても施工性は良好であり、2年後の経過観察でも特に異常は見られていない。

昨今の脱原油、カーボンニュートラルへの要求の高まりにより、今後石油需要が減退する方向にある。また、近年の国際情勢の不安定による原油の高騰など、石油アスファルトの安定供給が困難な状態が継続している。石油アスファルトが不足することによる補充分をクラフトリグニンで代替することで、安定供給が可能になり、アスファルト舗装の需要に持続的に対応できると考える。今後は、クラフトリグニンの置換率をより高めて、舗装材料としてのカーボンニュートラル化を目指す予定である。

（本文19ページ）

セロファンのリサイクル技術の開発

レンゴー株式会社 中央研究所
石川竣平、築田憲明

セロファンは木材パルプを原料とする透明フィルムで、生分解性を有するという点では環境に配慮した素材であると言えるが、一方でプラスチックフィルムのようにリサイクルシステムがないことが弱点である。そこで、

セロファンの有効活用を検討した結果、製造工程で発生する端材を原料の一部として再利用できることを見出した。

セロファンはポリエチレン等のシール材とラミネートして包装材料として使用されるのが一般的で、市場からの回収品を再原料化するにはセロファンとシール材との分離が必要であり、コストの面から現実的ではない。一方でセロファンの製造工程では、裁断時に端材が発生するがその大部分は廃棄されているため、この端材の再原料化を検討した。

まずセロファンの製造工程は、木材パルプを原料にアルカリ化と硫化の2段階の反応を経て溶液状のビスコースを製造し、このビスコースをセルロースに再生して広幅のロールを製膜する。このロールをスリットして製品化する工程でセロファン端材が発生する。今回の研究ではこの端材からビスコースを製造することを試みたが、化学構造が同じであるにもかかわらず木材パルプと同様のビスコースが得られなかった。そこで、アルカリ化と硫化の反応を同時に行い、得られたセロファン溶液を木材パルプの溶解に利用することで、従来と同等のリサイクルビスコースを調製した。このリサイクルビスコースから作製したセロファンは通常品と比較して遜色ないのであり、セロファンのリサイクルシステムの可能性を示した。

(本文 23 ページ)

フィルムに替わる紙製包装素材

王子エフテックス株式会社 営業本部 製品開発部
竹本圭佑

プラスチック製品の海洋流出による環境汚染対策には世界中が関心を寄せており、日本においても政府がワンウェイプラスチックの排出抑制目標を掲げるなど、プラスチック製品の3R+Renewableは重要な課題である。このような社会情勢の中、プラスチック代替素材として、カーボンニュートラルな木質バイオマスを原料とする紙・セルロース素材に注目が集まっている。今回の講演では、プラスチック代替用として特殊性能を付与した紙包装素材について紹介する。

プラスチック製品の性能として「耐水性（撥水性）・耐油性・透明性・ヒートシール性・ガスバリア性」が優れており、紙素材への置き換えの課題として、これらの性能を付与することが重要である。弊社では、様々なパルプ素材をベースに抄紙・塗工技術を組み合わせることで上記の性能を持った紙を生産している。開発品である「SILBIO シリーズ」では、多くの包材に求められるガスバリア性、ヒートシール性をベースとして、透明性、隠蔽性等の特性も選定でき、多様なニーズに応えることができる。

「SILBIO EZ SEAL」は、二次包装向けに開発したヒートシール紙であり、水系塗工技術を用いて紙にヒートシール性を持たせた。「SILBIO BARRIER」は、パルプ間の隙間を埋めるバリアコート層をコーティングすることでガスバリア性を持たせた。「SILBIO CLEAR」は、高透明紙にヒートシール OPP を組み合わせることで、透明性、ガスバリア性、ヒートシール性を両立させた。「SILBIO ALBA」は、バリアコート層にアルミ蒸着技術を組み合わせることで高いガスバリア性を達成した。

社会のニーズに合わせた紙製素材を提供することで、カーボンニュートラル社会への貢献を目指す所存である。

(本文 26 ページ)

バルメットの new 回収ボイラおよび回収ボイラ new 後の 既設ボイラの有効活用について

バルメット株式会社 パルプ&エネルギー技術部
平川和也

2023年2月10日、「GX 実現に向けた基本方針」が閣議決定された。GX=Green Transformation Investment は、脱炭素化の取り組みをさらに加速させ、発電、産業、交通、家庭部門等における脱炭素化につながる投資を国が支援し、脱炭素社会への早期移行に向けた準備を進めている。紙パ産業についても回収ボイラの更新等が GX の投資先として挙げられている。このため、今後は回収ボイラの更新が検討されることが予想される。

最大限の効率、安定した連続操業性、安全な作業環境、低い環境負荷を実現したバルメットの回収ボイラをご

紹介する。また、既設ボイラは新設ボイラへの更新後に遊休として残されることが多く、ほとんど有効活用されていない。今回はこの遊休ボイラに焦点を当て海外で多くの実績があり、新設ボイラ建設コストに比べて有利であり、最新ボイラとほぼ同等の性能を有する、既設回収ボイラをバブリング流動床（BFB）への改造についても紹介する。

(本文 33 ページ)

製紙業界におけるエネルギープラントへのタクマの取り組み

株式会社タクマ エネルギー技術 1 部
藤原祐治

製紙業界向けの株式会社タクマの取り組みについて紹介する。

2010 年頃、それまで運用されていた重油焚ボイラの更新や CO₂ 量削減のため化石燃料からの燃料転換を目的として、当時燃料コストが安価であった RPF（Refused derived Paper and Plastics densified Fuel）焚のボイラを相次いで納入した。

このボイラでは、高塩素 RPF に配慮した設計が必要となり、燃焼室内の全面耐火物施工や過熱管や層内伝熱管への工夫・改善を実施した。

2012 年より固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）が開始された。製紙・パルプ業界においても、原料として使用しているチップの調達・収集のネットワークの強みを活かした木質バイオマス燃料とした FIT 対応の発電プラントの建設計画が相次いだ。

当社では、それまで都市ごみ焼却炉や下水汚泥焼却炉として使用していた階段ストーカをアレンジして、バイオマス発電ボイラに適用することとした。

未利用材などの木質バイオマス燃料の高水分への対応や、灰分の少ない燃料への対応などの改善を施し、製紙業界向けにおいて階段式ストーカのバイオマス発電プラント 5 件を納入した。

(本文 38 ページ)

超音波技術を用いた黒液濃縮装置のスケーリング対策

三菱製紙株式会社 北上工場
館松正人

パルプ製造過程において副生する黒液は回収ボイラの燃料に利用するため、固形分濃度を約 75 wt%まで濃縮する必要がある。北上工場では 8 缶 6 重効用の黒液濃縮装置を有しており、その第 2 効用缶での炭酸カルシウムによるスケーリング発生が顕著であった。対策として、スケール抑制剤の注入などを実施したものの根本的解決には至っていなかった。本報告では新たな解決策として、強力超音波を用いたスケール付着防除の効果について報告する。超音波が引き起こす黒液中の核化誘導により、効用缶の伝熱面表面における新規核形成を抑えスケールリングを防除するものである。本実証には、高効率強力超音波を印加できる日鉄エンジニアリングの超音波装置を使用した。第 2 効用缶の黒液供給ラインに超音波発振装置を設置し、2020 年 12 月～2022 年 3 月において実証を行った。超音波の印加有無による有効温度差の推移についての操業データを比較したところ、超音波を継続的に印加することによって明確に改善が見られ、開放点検に置いてもスケールの発生が減少していた。超音波によるスケール付着防除の一定の効果を確認できた。

(本文 41 ページ)

エネルギー価格急騰に立ち向かう！ 工場エネルギーマネジメントシステムの価値を最大化する 組織的アプローチ

横河ソリューションサービス株式会社 インダストリー統括本部 インダストリーソリューションセンター 3部 1Gr
堀内康行

近年、エネルギー価格が高騰しており、工場における省エネルギーの重要性が、ますます高まっている。DXの推進やAI/MLの技術進歩により、世の中の流れは、人手を削減する方向にむかっているが、省エネルギーの活動は現場の知恵や経験が不可欠で、必要なところには人手をかけなくてはならない。工場エネルギーマネジメントシステムの導入の本質的な目的は、単にデータを蓄積し「可視化」することではなく、現場の知見を取り入れ、データの洞察を通して、可視化の先の「原因究明」と「施策立案」につなげることにある。

本稿では、工場のエネルギー効率を向上するため、組織運営により、製造現場を主体とした改善活動を進めると共に、可視化されたデータから、洞察を通して導いた改善事例を紹介する。また、洞察を容易にする工夫を施したYOKOGAWAの工場エネルギーマネジメントシステムの特長も合わせて紹介する。

(本文 46 ページ)

過熱水蒸気乾燥の紙パルプ産業への応用

タンジュンエニムレスタリ紙パルプ社
中須賀 朗

紙パ産業でも良く用いられるボイラーでは、加圧下で沸騰した水をスーパーヒータに導き、外部から加熱して過熱水蒸気を得ている。だが、常圧下でも水蒸気を導管で導き、例えばその外部をバーナで炙れば過熱水蒸気は作れる。常圧の過熱水蒸気も加圧下と同じく『乾いて』いる。その中に少量の水を含んだ布を入れると、水は過熱水蒸気から熱を奪って水蒸気となり、他方の過熱水蒸気は温度がやや下るものの過熱水蒸気であることを保つ。つまり過熱水蒸気を用いて布を乾燥させることができる。

筆者はティシュマシンの操業に携わる中で、ティシュの乾燥工程が過熱水蒸気乾燥の応用であることに気付き、モデル化した工程でティシュ乾燥の最適化について研究した。その結果、それまで常識であった『意図的な外気導入』を止める事により熱効率が改善するとの結論に達し、これを複数の実機テストで確認した。また、乾燥速度の低下も見られなかった。

この結論はティシュ乾燥以外での過熱水蒸気乾燥工程について一般的に成り立つと考えられる。パルプ乾燥用のフラクトドライヤやフラッシュドライヤでも外気を取り込んでいる例が良く見られるが、これら意図的な外気取り込みは廃止すべきである。各装置の内圧を測定し、やや負圧に制御することで空気の流入が最小化され熱効率は改善すると考えられる。

また、外気取り込みを止めることによりハンドリングすべきエア量が減るので、ダクトやファン類のダウンサイズなど電力面・投資面でのメリットも見込める。

(本文 51 ページ)

研究報文

食用途に向けた竹由来セルロースナノファイバーの健康成人への 安全性評価：非盲検長期摂取試験

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林資源化学研究領域
下川知子, 林 徳子
昭和女子大学 大学院生活機構研究科
高尾哲也

本研究は、セルロースナノファイバー（CNF）を食品に添加する提案の一環として実施した。CNFs はナノ物質であることから、食品に添加するためには包括的な安全性評価が不可欠である。そこで、竹（モウソウチク）からパルプを調製し、これを原料として酵素処理後にビーズミル処理でタケ CNFs スラリーを製造した。得られたタケ CNFs を使用した試験食品を用い、ヒトに対する非盲検の長期摂取安全性試験を実施した。試験協力者は疾病による治療を行っていない日本人成人男女 22 名であり、CNFs を 1 日当たり乾燥重量で 1 g の摂取となるように 12 週間摂取した。試験食品は 45 g のパウチ袋で製造し、この食品サンプル中の CNFs 濃度は 0.556% であった。パウチ袋 1 袋当たり乾燥重量で 0.25 g 相当の CNFs を含むため、試験協力者は朝に 2 袋、夜に 2 袋のサンプル食品を摂取した。試験の脱落者はなく、身体測定、理学検査、血液検査及び尿検査の値に有意な変動のある項目が認められたものの生理的または軽微な変動であった。また、排便の回数および量の増加傾向が生じたが、問題のある変化とは認められなかった。そのため、医学的に問題のある変化が生じたとは言えず、本試験の条件下では安全性に問題はないとする医学的判定を得た。

(本文 65 ページ)