

特集「木から学ぶ粉体技術」を企画して

岐阜大学、東北大学 高井 千加
マジエリカ・ジャパン株式会社、東北大学 池田 純子
中部大学 黒川 卓

厳しい自然界を生きる木から学ぶことは多い。木を構成するセルロースを鉄骨、ヘミセルロースを鉄筋、リグニンをコンクリートと例えると、細胞壁はまるで鉄骨鉄筋コンクリート構造のようである。樹木の強固な細胞壁から構成されている木材は建材として利用されているほか、細胞壁からとれた繊維は紙の原料としても利用されている。

一方、エネルギー問題や地球環境問題の対策として、カーボンニュートラルな生物由来資源（バイオマス）をバイオエタノールやバイオプラスチックの製造原料に用いる動きが高まっており、蓄積量の多い樹木や、コスト面で有利な植物の細胞壁の集合体（木質、またはセルロース系バイオマス）が原料として注目されている。本特集では、主に樹木を中心とした有効活用について、木質をそのまま活かす粉体技術（木質バイオマス粉体、コークス）や、化学反応を経由して得た構成成分（リグニン、セルロース、セルロースナノファイバー（CNF））を高度利用する技術について紹介する。

「バイオマス粉体の成形技術開発」と題して三重大大学の野中寛氏より、多様な生物由来資源（バイオマス）の分類とこれらの現状を概観いただくとともに、バイオマス粉体の成形性およびその発展性を紹介いただいた。木を構成するセルロース、ヘミセルロースリグニン以外に、サトウキビなどから得られる糖質や穀物などから得られるデンプンの糖化・発酵、大豆などから搾油される油脂、硬い茎などの飼料・肥料化など、樹木や植物の構成成分を余すところなく用いることができる可能性が示唆されている。しかし、製紙パルプ業で行われている木材チップのパルプ化以外の成分利用は、国家プロジェクトが実施されているものの実用化に至っていない。一方、バイオマス粉体を原料とし、化学的処理を経ない成形技術が開発されてきた。プラスチックとは異なり熱可塑性のない粉体であることから、セラミックス粉体の成形と共通した技術を展開することが可能である。同氏が開発された技術の特徴は、助剤として水溶性セルロース誘導体を用いた「オールバイオマス成形」であり、従来のプラスチックとの混合成形技術とは大きく異なる。押出成形だけでなく、ブロー成形、鋳込み成形など異なる成形プロセスにも挑戦され、多様な形状を持つ材料設計が可能であることが示された。

「バイオコークスを用いたダクタイル鉄管製造における CO₂排出量削減」と題して株式会社栗本鐵工所の太田慧氏より、同社で取り組んでいるキュボラ用燃料の研究開発と事業化について紹介された。キュボラは、コークスの燃焼熱を利用して鉄を溶かし鋳物の溶湯を得るための溶解炉である。一般に化石燃料である石炭由来の鋳物コークスを主燃料としており、CO₂排出量の大部分を占める要因であった。そこで、固形バイオ燃料の一つであるバイオコークスに着目した。間伐材、竹材、廃菌床、もみ殻など異なる原料から成るバイオコークスの成分・水分・発熱量の違いを考慮し、追込コークスをこれらのバイオコークスに置き換えた比率を変え、実際にキュボラを運転させた際の溶湯温度および炭素濃度、排ガス成分を比較した。置換率は20%までキュボラ操業に問題がないことが確認されている。そして、約120tのそば殻由来バイオコークスを用いた長期運転を行い、80tのコークス使用量削減とCO₂排出量削減を達成した。

「リグニン — 再生可能な原料の最適利用に貢献する粉体技術」と題してホソカワミクロン(株)の井上義之氏（原文：HOSOKAWA ALPINE AG のソニア・ザイラー氏）より、従来副産物と見なされていたリグ

ニンの有効活用を目的とした粉碎・造粒技術について紹介された。リグニンは木材重量の2割から3割を占める芳香族化合物の一種である。分解しにくく長い年月をかけて石炭化することから、熱源としての利用が主であった。近年、コンクリートにリグニン粉末を加えることでCO₂の固定化や、紫外線吸収と抗酸化活性を持つことから化粧品への応用のほか、Liイオン電池の負極材、タイヤ用新規ゴム材料、カーボンブラックの代替など、さまざまな工業製品としての利用可能性が期待されている。これらの多様な需要に応じるためには、リグニンの親和性、溶解性向上などハンドリング性の制御が必要となる。本稿ではホソカワアルピネ社で注力してきたリグニンの微粉碎と造粒による性質改善の試みについて紹介された。

「物理化学的相互作用で作られた紙の構造とその利用」と題して**東京農工大学の小瀬亮太氏**は、セルロースを主成分とするパルプとCNFの乾燥収縮率の違いを利用して、意図した方向に湾曲させるという紙の新しい立体成形を考案した。主成分はセルロースという共通した素材であるが、パルプはマイクロメートルサイズの径を持つ繊維の集合体、CNFは100 nm以下の径を持つナノ繊維である。このスケールの違いが大きな物理化学的相互作用の違いを生み出し、立体構造設計だけでなく機械的強度の増加、分散性向上による均一性改善が見込まれる。具体的には、多層板紙として厚みを持たせると、アルミニウム板を上回る曲げ剛性を有する。パルプは水と混ざらないが、CNFが水との親和性を仲介してくれる。樹木は、現在の技術では作り得ない複雑で精緻な構造の繊維を、生合成により作り出している。これを人の手で取り出し使いこなすことで、水の蒸発だけで実現する新しいものづくりへ発展させることができる。

「深海のプラスチックごみ汚染の現状とセルロースを用いた海にやさしい素材の開発」と題して**国研海洋研究開発機構(JAMSTEC)の磯部紀之氏**より、海洋に存在するセルロースについて概観したのち、セルロースゲルを原料として開発した新しい板材が紹介された。世界中の海洋で生活する生物の一種であるホヤは、海水から栄養分を濾し取るために、セルロースが主構成成分であるフィルター状の構造体をいくつも作ることから、これらを栄養分にしている生物、つまりセルロース分解菌を持つ生物が存在すると考えられる。海洋におけるセルロースの生分解度は製造工程の残留物にも左右されるため、セルロースそのもので、かつセルロースのみで成形加工する必要がある。同氏はセルロースを溶解したゲルを基材として厚みのある透明なバルク材を作ることに成功した。機械的な強度と適度なしなやかさを兼ね備え、4.5か月間の深海底における分解試験で厚みが半分になるという良好な生分解性を示し、環境調和型バルク材となり得ることが示唆された。

「疎水改質セルロースナノファイバーによるエマルジョン形成と「汚れの付かない表面」への応用」と題して**花王(株)の竹内黎明氏**より、表面を疎水基で改質したCNF(ここでは酸化反応でCOOHを導入したTOCN)の水中油滴乳化剤としての機能(ピッカリングエマルジョン)を利用して作ったカプセル状構造を塗膜化し、防汚・防雪、離型剤として応用した事例が紹介された。本プロセスの特徴は、水系TOCNを出発原料とし、基板に塗布・乾燥するだけで滑液表面が得られる点である。例えば建造物の外壁に付着した鳥糞や泥を取り除く作業や、屋根への積雪に対する雪下ろし作業など、危険な高所作業が必要な場合がある。これらの付着物に対して本滑液表面は防汚性能をよく発揮した。また、樹脂製品の成形において、PFAS規制による制約のない離型剤としての応用が可能であることが示された。滑液表面は、TOCNの繊維が集合しナノレベルの凹凸を自己組織的に形成することにより生まれる。高い乳化性能、表面改質の自由度、透明性、ネットワーク形成といった特性を併せ持つサステナブルな材料として今後の応用展開が期待される。

日本は国土の約2/3を森林が占め、その約4割が人工林である。自然が生み出したテクノロジーによって作られた複雑で精緻な構造を持つ木質バイオマスに、人のアイデアと技術が加わる相乗効果によって、新しい機能が見出された。カーボンニュートラルに貢献するという観点からも木材の高度利用が推進されている。本特集が読者の興味を掻き立てる一助になれば幸いである。