

樹木細胞壁を工業規格へ ～新しいセルロース／リグニン複合系の設計とその応用展開～

大学院生物資源学研究科・生物資源学部／ 船岡 正光(教授)
現社会連携研究センター特任教授

1. 樹木細胞壁の規格標準化

二酸化炭素と水から光合成により形成されるリグノセルロースは、太陽エネルギーの構造エネルギーとしてのストック体であり、生態系の基礎をなす最重要ユニットである。

樹木細胞壁では、セルロースマイクロフィブリル(3-5nm)を基本ユニットとするセルロース束が多層に配向することにより強靱な骨格が形成され、その間隙にはリグニンが緻密にパッキングされマトリクスとして機能している。このセミ相互進入高分子網目構造とリグニンの精密構造は個体毎に異なり、それが生育する環境に最適化されている。木材の際だった強度と機能は、環境毎に最適化されたこの多様な細胞壁構造に由来しているが、一方これは構造的振れを極度に嫌う工業原料としての活用を困難にしている。

近年、セルロースをナノ繊維(CNF)化し、高強度材料(航空機部品、自動車部品、家電製品)、高機能材料(住宅建材、内装材)へと展開する取り組みが世界で活発化している。石油系樹脂中でCNFの繊維特性を発現させ(セルロース系FRP)、その材料機能の改善、軽量化、持続性付与、リサイクル性能の向上などが試みられているが、疎水性樹脂と親水性CNFの相溶性、分散性は低く、実用化には至っていない。疎水性の高いリグニンを保持したCNF(Ligno-CNF)も提案されているが、リグニン除去なしではセルロースの自由膨潤性に乏しく、効果的なナノ化は困難である。工程への高エネルギー付加は繊維質の破断を引き起こすのみならず、リグニンの高変性を導き、さらに不安定なリグニンは樹脂中で経年変化し、これらは全てリグニンを保持したCNF複合製品の信頼性低下に繋がっている。

リグニンの機能を生かすLigno-CNF製造のポイントは、多様性に富むリグニンを構造的に規格標準化すること、安定化すること、セルロースをナノ化すること、そして両素材からなるストレスフリーな新しい複合構造を誘導することにある。さらに、リグノセルロースから直接工業規格を有するLigno-CNFを誘導すること、そして両素材の複合形態、機能を目的に応じて制御するシステム設計も重要となる。

2. 新しいセルロース／リグニン複合系の設計と誘導

リグノセルロース複合体をその構成分子セグメントへとなめらかに解放するとともに構造的振れを収束させ、工業原料として利用可能な特徴あるナノセルロース-リグノフェノール複合体(LNCC)へと転換する新しいプロセスを開発した。本システムのキーポイントは、化学的作用と物理的剪断力を組み合わせるメカノケミカル制御により、常温常圧下でリグニンを新素材リグノフェノール(LP)へ、セルロー

スバンドルをナノセルロース(CNF)へと選択的に変換・解放し、自己再配列により環境に最適化された新しいナノ複合系を形成させることにある。

LNCCは乾燥粉末として得られ、CNFはLPマトリクス中に均一包埋されている。CNF/LP比は、概ね1:1であり、この比、LP画分の特性、CNFのサイズは制御可能である。すなわち、LNCCは複合対象樹脂の構造と特性にマッチするように誘導可能であり、リグノセルロースから一段処理で誘導される世界初のテーラーメイド型新規工業原料である。

3. ナノセルロース・リグノフェノール複合体(LNCC)の機能

LNCCは、LPの可塑化温度領域(150℃～170℃)で総体として流動し、注型成形などによって任意の形状に成形可能である。水酸基のアシル化によって、流動温度の低下と高い流動性が発現し、緻密な連続層と高耐水性を有する成形体が得られる。アシル化LNCCは総体としてクロロホルムなどに溶解、キャスト法にて透明フィルムへの応用も可能である。また、LP画分の架橋により、優れた耐熱性と素材の安定性が発現する一方、高湿度環境下での膨潤、乾燥による形状復帰特性を有し、環境変化で呼吸する木材様の材料が誘導される。

LNCCはポリプロピレン(PP)との相溶性に優れ、電子顕微鏡観察において大きなセルロース束は認められず、セルロースの高度なナノ化、PP中での効果的なナノ分散化が示される。一方、リグノフェノールのドメインも確認されず、リグノフェノール単体添加より、その相溶性は著しく向上する。

セルロース単体と比較し、LNCC複合化の場合、PPの弾性率は大きく向上する。リグノフェノールは弾性率の増大にほとんど寄与せず、これはセルロースのナノ化と優れた分散性に基づく。一般的に繊維質を配合すると、樹脂の流動性は低下するが、LNCC複合化により、反対にその流動性は向上する。さらに、PPに難燃性、耐熱老化性、金属接着性が付与される。

4. リグノセルロースの新しい展開

生態系は絶妙の平衡で成り立っている。生物素材を基盤とする脱石油型社会には、生態系を攪乱することなく芳香族、脂肪族両素材を機能的に逐次活用するシステムが必須となる。

20世紀型のピンポイント的な資源評価とその利用システムから脱却し、地球上に普遍的に存在するリグノセルロースを基盤とする新しい社会システムを早急に立ち上げなければならない。