

セルロースナノファイバーの ナノ構造解析・評価方法の構築

今世紀に入り、セルロースナノファイバーに関する研究開発が産官学連携によって世界レベルで進められている。樹木等の植物細胞壁は、直鎖状のセルロース分子 30~40 本が規則的に束ねられた、約 3 nm と超極細均一幅で結晶性の「セルロースマイクロフィブリル」を骨格成分としている。この高強度・高弾性率で鉄筋のような役割のセルロースマイクロフィブリルと、非晶性でセルロースに比べて低分子量の多糖であるヘミセルロース、ベンゼン環を有し疎水性で生分解性の低いリグニンの三主成分が、分子からナノレベルの複合構造を形成することで、植物体は高強度・高耐水性・長寿命を発現する。例えば樹木は数十年から千年を超える長期間風雨に耐え、重力に反して樹体を数十メートル上方に成長させ、土中からやはり重力に反して水を先端の葉に送り、光合成によって樹体生命を維持している。この機能は、植物細胞壁中の三主成分の複合化によって達成されている。

植物細胞壁成分からセルロース繊維を単離し、さらに化学処理、酵素処理、機械的処理によってセルロースマイクロフィブリル構造に由来するナノ素材に分離・分散することによってセルロースナノファイバー (Cellulose Nanofiber = CNF) が得られる。その幅は 100 nm 以下でナノサイズの繊維状あるいはネットワーク構造を有している。すなわち、CNF は地球上で最大蓄積量、最大の年間成長量の、再生産可能なバイオ系ナノ素材である。日本はこれまでエネルギー源や原料用としての化石資源を輸入に依存し、生産技術・加工技術・商品開発・輸出で経済を支えてきた。化石資源のエネルギーや材料利用は、特に 20 世紀には人類の文化的な生活と発展を支えてきた。一方、その結果、地球温暖化、異常気象、化石資源の枯渇のリスク、生分解性の無いゴミの蓄積などの環境・資源問題が今世紀に入ってクローズアップされてきた。

日本は国土面積の約 66 % が森林であり、急斜面ではあるが、セルロースナノファイバーを多量に蓄積している豊富な未利用森林資源がある。樹木は成長段階で多量の二酸化炭素を吸収-固定化して自らの樹体を成長させ、同時に酸素を放出する。すなわち、植物が地球上で唯一、大気中の二酸化炭素を炭素含有成分と酸素に還元する光合成の機能を有している。一方、成長が止まった樹木は樹体を成長させるための炭素成分が不要なので、もはや二酸化炭素を吸収しないで、むしろ生命の維持のために呼吸によって二酸化炭素を放出する。したがって、成長した樹木は伐採して材料として利用し、伐採後は必ず植林して、間伐処理等によって樹木を円滑・安定的に成長させる、「植林-育樹-伐採-二酸化炭素の蓄積物としての木材利用-植林」の循環を進めることが、結果的

磯貝 明

東京大学 大学院農学生命科学研究所 生物材料科学専攻 教授
ナノセルロースフォーラム 副会長

に大気中の二酸化炭素の削減とそれによる地球温暖化を防止できる。すなわち、国内の森林資源、特に未利用針葉樹間伐材資源を、セルロースナノファイバー素材として先端部材へ利用するマテリアルストリームを構築し、同時に、植林と育樹のサイクルを進めることが地球温暖化の防止につながる。

セルロースナノファイバーの先端部材への利用に関する研究開発については、世界レベルで競争的な状況にあり、再生産可能な新規バイオ系ナノ素材として注目されている。一方、日本にはセルロースナノファイバーの原料となる未利用針葉樹間伐材資源が豊富にあり、セルロースナノファイバーに関連する学術および生産技術の蓄積、利用に向けた産官学の連携体制で世界をリードしている。すなわち、日本がセルロースナノファイバーの利用によって地球温暖化を防止し、化石資源だけに依存しない、再生産可能なバイオマスを利用した次世代型の循環型社会基盤の構築で世界の先頭に立つことができる可能性がある。

一方、セルロースナノファイバーを用いた華々しい研究成果の報告が進められている中で、基礎的な実験データの蓄積、理論的あるいは計算科学を用いたナノ構造解析、耐熱性や耐水性の付与、品質変動の制御など、実用化に向けた多くの課題の解決に関してはどちらかという遅れている。現在、汎用あるいは先端材料として生産・利用されている素材である、金属、紙、ガラス、プラスチック、繊維、コンクリート等は、長期にわたる実験・理論データの蓄積がある。しかし、セルロースナノファイバーはまだ生まれたばかりの新素材であり、基本的なナノ構造解析および評価方法、耐水化や耐熱化方法、長さ・長さ分布・幅・幅分布の測定法、ナノネットワーク構造の分析方法などの構築・標準化が確立されていない。これらの課題解決は、セルロースナノファイバーの汎用および先端材料としての実用化を進める上では不可欠である。

セルロースナノファイバーはセルロースという多糖、天然高分子のナノレベルの集合体なので、これまでに蓄積されてきた高分子に関連する分析・解析方法がある程度適用できる。また、ナノテクノロジーの進展に伴って開発された分析方法である原子間力顕微鏡、電子顕微鏡観察等のナノ構造解析法も利用できる。しかし、バイオマス由来の原料の大きな変動・多様性や、微量含有成分の定量・評価・制御・精製方法など、セルロースナノファイバーを対象とした特有の新しい分析・解析方法の構築が必要である。学術レベルでの先端材料への応用・利用の論文数が毎年増加傾向にある中で、企業レベルでの汎用および先端材料としての実用化の質的・量的拡大のためには、依然として多くの克服すべき基礎的課題がある。



略歴

- 1985年 東京大学大学院農学系研究科博士課程修了(農学博士)
米国The Institute of Paper Chemistry化学科博士研究員
- 1986年 東京大学農学部助手
- 1989年 米国農務省Forest Products Laboratory客員研究員
- 1994年 東京大学農学部助教授
- 1996年 東京大学大学院農学生命科学研究科助教授
- 2003年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

主な受賞歴

- 1999年 セルロース学会賞
- 2002年 繊維学会賞
- 2015年 Marcus Wallenberg賞
(スウェーデン)
米国化学会Anselme Payen賞
- 2016年 日本農学賞・読売農学賞
本田賞
フィンランドAalto大学より名誉
学術博士号授与
空気清浄とコンタミネーション
コントロール研究大会会長賞
- 2017年 日本弁理士会会長賞
藤原賞
紙パルプ技術協会賞