

第6章 北欧におけるセルロースナノファイバー開発研究の
最新動向

第6章 北欧におけるセルロースナノファイバー開発研究の最新動向

1. スウェーデンにおけるセルロースナノファイバー研究拠点の形成

スウェーデンでは、今年の2月にセルロースナノファイバーの製造・利用研究を進める Wood Science Center が立ち上がった。本センターは基礎的な研究を主とするが、その内容は極めて現実的かつ戦略的である。例えば、バイオテクノロジーをセンターの柱の一つに据えているが、それはナノファイバー化を促進する酵素に関するもので、研究成果が出るまでに時間がかかる樹木育成に関わるバイオテクノロジーは含まない。また、センター名を木質科学としているが、木質系複合材料や紙・パルプ製造といった旧来の技術に関する開発研究も一切行わない。

このセンターのリーダは、KTH (スウェーデン王立工科大学)、パークラント教授である。教授によれば、これには経費を負担している企業側の意向が強く働いているそうだが、これからの木材利用に関するパークラント教授の強いコンセプト、リーダーシップが表に出ているともいえる。パークラント教授は現在52才で、KTH の中では比較的若手の教授である。2002年にルレア工科大学から KTH に移ってきた。それまでは、炭素繊維やガラス繊維を使った繊維強化材料研究を行っていた研究者である。そのいわば木材研究に関して門外漢ともいえる教授が今回の新設センター: Wood Science Center で行う研究は、一言で言えば、木材が形態を変えただけのナノ複合材料、の開発である。

木材はナノからミクロのレベルまで極めて精緻な構造を有する複合材料である。その骨格成分であるセルロースナノファイバー (セルロースマイクロフィブリル束) は、鋼鉄の1/5の軽さで、鋼鉄の2/3の弾性率と5倍の強度を有している。すなわち、木材は本質的に軽量で高強度の材料であるといえる。しかし、乾燥によって木材中にはナノからミクロのレベルまで様々な欠点が生じる。その様な欠点が、木材の強度を大きく低下させる。その様な強度低下がない、軽量・高強度材料へと、木材成分を上手に利用しながら、木材の形を、例えば、携帯電話やノートパソコンの筐体、自動車のボディ、あるいは高エネルギー吸収の発泡材料へと変換しようというものである。それは、木材の形を、その優れた潜在的強度特性を発揮できる形へと“形状変換”するものであり、基本的には木材の基本骨格物質であるセルロースナノファイバーだけでなく、ヘミセルロースやリグニンといったマトリックス成分すべてを利用して、持続型木質資源である木材を、環境負荷の少ない方法で、軽量かつ高強度で、かつ高機能を有する材料へと“形状変換”するものである。

このテーマに対してワーレンバーグ財団から KTH と Chalmers 大学が共同で進めるプロジェクトに年間500万ユーロの研究費が10年にわたり与えられる。KTH に設置されるこのセンターは、既存のセンターが形を変えるのではなく、バイオテクノロジー、酵素科学、高分子精密合成、繊維科学、木材成分化学、複合材料科学といった分野を対象に50人の研究者 (その内20人が教授、20人が博士研究員) が戦略的に一から集まり、全く新しいセンターとして立ち上がる。

それぞれのカテゴリーに、それを責任持って進める教授がおり、2週間毎に集まっては、それぞれの最新データを付き合わせ議論を行い、研究の効率的な推進を図る。プロジェクトの採択が決まってから、ボードメンバーと共に半年間かけて議論を行い、プロジェクトの骨格を決め、いよいよこの2月から Wood Science Center は動き出した。既存の木質科

学、製紙科学から脱皮すべく、それとほとんど縁のない研究者であったバークランド教授を迎え新しい木質資源材料の方向性を探っていた KTH の大胆な改革の真価が問われるといえる。最近のバークランド教授の発表論文を見ていると、従来の木質材料学や高分子科学、複合材料科学にない斬新な研究成果が多く、科学者としての優れた資質が伺われる。当面は、機能性材料を中心に開発を進めるが、出来るだけ多くの木質資源を使ってほしいとの企業ボードメンバー（紙パルプ・木材関連企業）からの要請もあり、将来



木材蒸解装置：新たに木材蒸解方法をセルロースナノファイバー製造やヘミセルロース・リグニン抽出の観点から開発する。

的には機能性材料だけでなく、社会の基盤材料としてのバイオ材料開発を進めたいとのことである。環境負荷の少ない方法で、高機能材料へと形を変えた“木材”が、北欧から戦略的にマーケットに現れる日も遠くないとの印象を持った。

2. フィンランドにおけるセルロースナノファイバー拠点の形成

フィンランドもスウェーデンと同様、紙パルプ産業、木材産業が国の基幹産業である。その国の将来を展望し、国の木質資源を石油に変わる資源とすべく、バイオリファイナリーとナノセルロースに集中して多額の研究費を投入している。ナノセルロース研究の拠点として産官学（UPM：フィンランド最大の紙パルプ会社、TKK：ヘルシンキ工科大学、VTT：フィンランド産業総合研究所）の連携により1年前に立ち上がったのが、ナノセルロースセンター（The Finish Center for Nanocellulosic Technologies）である。センターは40名の研究者から構成され、内訳は UPM から8名、TKK から12名、VTT から20名である。年間500万ユーロ（10年間）の研究費を投入し、1-3年で実験室レベルの検討を終え、3-5年でパイロットプラントレベルでの検討に移り、5-8年後には目的にあわせたセルロースナノファイバーの販売を目指す。TKK はセルロースナノファイバーの表面科学や酵素科学あるいは先端機能材



KTH Berglund 教授（左）と TKK Ikkala 教授（右）ヘルシンキ工科大学にて

料の開発、といった基礎科学を進める。例えば、酵素についてはセルロースを切断するだけでなく、架橋も出来るようにしたり、リグニンの変性も出来るように検討をすすめる。一方、VTT はセルロースナノファイバーの実用化、産業化に向けた応用研究として、酵素を利用した省エネルギーでのナノファイバー製造技術や効率的なナノファイバー複合材料製造技術の開発を進めている。UPM は、この両機関の成果を企業化する立場にあり、さらに、コーティング、パッケージング、接着剤、食品、医薬品などに関わる企業10社が、Potential company としてナノセルロースセンターから提供される材料を優先的に評価出来る立場にいる。現在は、グラインダーやマイクロフレイクサーを用いてナノファイバー製造を行っているが、これに変わるナノファイバー製造技術も模索している。UPM のナノセンターのディレクターの話では、当面のナノファイバー用途は紙パルプ関連で、それだけでも大量に消費可能であると考えている。このため、当面は、ナノファイバー製造技術の開発に力を注ぎ、次第に、紙パルプ以外への利用を拡げていく模様である。

結び

結び

持続性植物資源から製造した軽量高強度グリーン材料による自動車部材の軽量化、それによる自動車の燃費向上は、二酸化炭素の固定と排出削減の両面から、革新的な温暖化対策につながる。このことから、本調査では、文献調査・特許調査・学会情報・聞き取り調査により、1) 自動車の軽量化技術、部材要求性能を調査し、我が国発の国際的競争力のある自動車用バイオ材料の方向性を調査するとともに、2) 国内外におけるバイオプラスチック（熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、エラストマー（ゴム））およびバイオフィラー（繊維およびナノフィラー）の開発研究動向や関連市場の現状を調査し、バイオ材料における材料物性の到達可能範囲や、高機能・高性能の材料開発を可能にする未来技術の予測を試みた。さらに、上記1) および2) に基づき、3) 「サステナブルバイオを自動車部材に積極的に利用したエコイノベーション」がもたらす我が国の未来像について、高機能バイオ材料による石油由来プラスチックや金属の代替可能範囲、高機能バイオ材料による温暖化ガス削減効果や自立的資源保証の可能性などから予測した。主な結果は下記のとおりである。

- 1) 自動車保有台数は、2030年までに現在の倍の台数、すなわち14億台になると予想される。2030年においても内燃機関による自動車が約6割を占めると予想されることから、温暖化ガス削減に直結する自動車燃費の向上は不可欠である。
- 2) 10%の車体重量軽量化は、燃費を10%向上させることから、自動車燃費の向上には、動力システムの改良とともに車体重量の軽量化が重要である。
- 3) 車体重量の軽量化においては、単位重量あたりの強度に優れた材料の開発が重要である。現時点では、高強度化鋼鉄、軽量高強度アルミニウム合金、軽量樹脂材料の開発と採用が進められている。
- 4) 金属材料は比強度、信頼性の点で優れているが、樹脂材料は成形・加工性に優れ、多くの部品を一体成形（モジュール化）できることから、部品数の削減による軽量化が図れる。これは生産性の向上においても有利である。
- 5) 樹脂材料の性能向上には、ガラス繊維や炭素繊維による強化（繊維補強）が有効であるが、ガラス繊維が燃えないためにサーマルリサイクルが困難である。我が国の埋め立て処理地はすでに飽和状態にあることから、その多用は環境負荷、リサイクルコストの増加につながる。
- 6) 炭素繊維強化材料は、金属材料を凌駕する優れた強度特性を有しており、すでに自動車のプロペラシャフト等に実用化されているが、製造プロセスの複雑な炭素繊維は基本的に高価であり、革新的な製造プロセス開発がなされない限り自動車部品には多用出来ない。
- 7) 樹脂材料は、“安くて軽くて使い出しが良い”点で自動車材料として優れており、さらに、近年は石油ベースからバイオベースへの転換がもためられている。これまで構造用プラスチックとしてはポリ乳酸を中心に検討が進められてきた。しかし、ポリ乳酸は、耐久性、結晶化速度に課題が有る。
- 8) 昨年からは、バイオエタノールやバイオエチレンからPPやPEといった自動車用汎用樹脂を製造する動きが活発化している。世界的なバイオエタノール製造増加が後押し

となり、今後、樹脂原料のバイオベースへの転換が加速すると思われる。

- 9) 以上から、サステナブルバイオによる軽量自動車部材とは、植物系繊維でバイオPPやバイオPEといったバイオベースの汎用樹脂を強化したりサイクル容易な部材であるといえる。その際、通常の植物繊維補強では破壊の起点が多く存在し、ガラス繊維補強に匹敵する強度が得られない。これに対して、植物繊維から製造したセルロースナノファイバー：バイオナノファイバーは、資源的に豊富であるだけでなく、鋼鉄の5倍以上の強度を有し、また、広い温度範囲において熱膨張が小さく、大きな温度変化にさらされる自動車用樹脂材料の補強繊維として極めて高いポテンシャルを有している。
- 10) 現在、自動車用バイオ材料開発は、ヨーロッパが先導して研究を進めている。中でも、バイオナノファイバーについては、フィンランドやスウェーデンにおいて40—50人規模の「ナノセルロース材料研究拠点」が立ち上がるなど、北欧や北米を中心に数十億円の規模のプロジェクトが動き出している。
- 11) これに対して、我が国では、バイオベースポリマーの製造・構造制御、高機能化について、世界をリードして産・官・学の研究機関で開発研究、事業化が進められている。また、セルロースナノファイバー材料についても、複数の研究機関において、高分子科学やセルロース科学の蓄積を基に世界最先端の基礎研究が進められている。しかし、海外の関連分野の熱気は持続性環境材料への意識の高まりや原油高を背景に急激にヒートアップしており、将来にわたり、我が国の自動車産業、化学産業、製紙産業が、持続的バイオ資源に立脚した“高度なもの作り技術”により高い国際的競争力を維持していくには、広範な産官学の異業種・垂直連携による“サステナブルバイオによる軽量自動車部材の開発”に関する大型プロジェクトの立ち上げ、研究基盤の整備が急務である。

最後に、本報告の結論として、下記の、エコイノベーションに向けたアクションプラン：サステナブルバイオ20を提案する。

バイオナノファイバーの製造と利用に関する大型プロジェクトを広範な産官学の異業種・垂直連携により推進し、**20年後（2030年）には、BNF添加率を全構造用プラスチックの20%にまで増やす**ことで、製品の高強度化、薄肉化により製品重量を平均で**20%低減**し、温暖化ガスの大幅削減と持続性資源保証を可能にする。

さらに、プラスチックの40%をバイオベースにすることで、全構造用プラスチック（国内生産量：800万トン）の植物度を50%にする。その内の10%を自動車部材で達成することを目指したい。

今回の調査を行うにあたり、NEDO研究開発推進部の皆様、京大大学生存圏研究所 梅村研二博士、トヨタ車体株式会社新規事業部 西村拓也主任、豊田中央研究所株式会社環境材料研究部 加藤誠主任研究員、財団法人バイオインダストリー協会事業推進部 大島一史部長、京都市産業技術研究所 北川和男研究部長に大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

