

話題を追う

セルロースナノファイバー

— 京都大学 生存圏研究所



矢野 浩之 氏

Hiroyuki Yano, Ph.D.

京都大学 生存圏研究所
生物機能材料分野
教授
農学博士

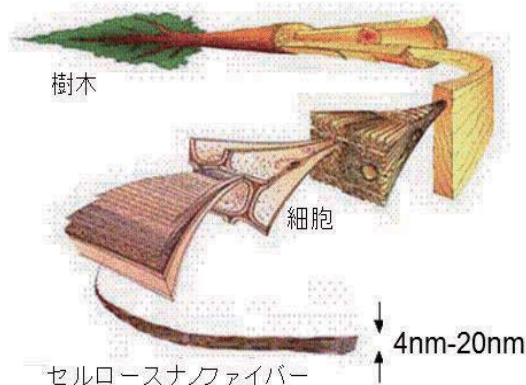
● INTERVIEWER
荻野 晃 (当社調査部次長)

鋼鉄のように強い植物由来の材料

荻野 石油価格の高止まりなどを背景に、従来の石油ベースのモノづくりから、植物などのバイオマスを利用したモノづくりへの転換が進められています。先生は、植物由来の繊維であるセルロースナノファイバーを利用したモノづくりの研究に取り組まれているとお聞きしています。まずは、セルロースナノファイバーとはどのようなものなのかお聞かせください。

矢野 セルロースナノファイバーは、全ての植物細胞の基本骨格を成しているものです。生き物はそれが出来てくる過程で階層構造を持ちます。例えば、樹木ですと、製材すれば板になり、

■ 樹木の階層構造とセルロースナノファイバー



資料提供：京都大学 矢野教授 Mark Harrington, 1996を一部改変



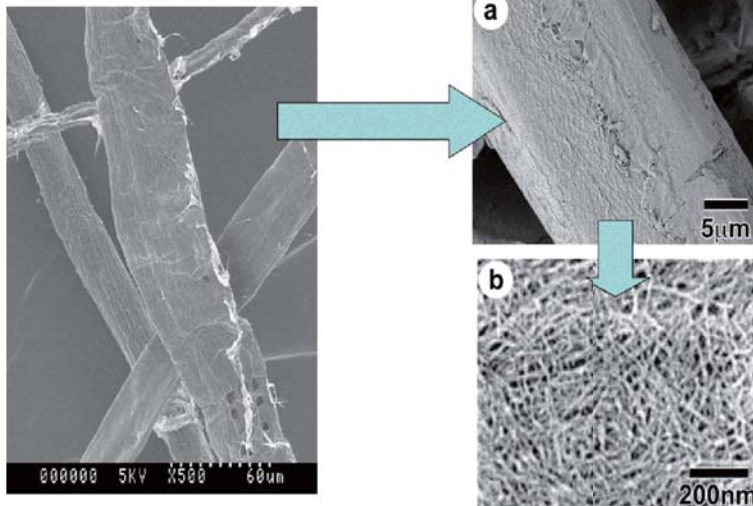
その板は細胞の集合体です。その細胞は更に薄い層から出来上がっていて、その層はよく見るとナノの繊維が集まって出来ています。このナノの繊維がセルロースナノファイバーです。その他にも、例えば私達が普段使っている紙は木材繊維であるパルプの集合体です。このパルプを顕微鏡で500倍に拡大してみます。そうすると何か繊維の様なものがあるのが分かります。更に2000倍まで拡大してみます(パルプの観察の図a)。幅が $50\mu\text{m}$ (マイクロメートル)ですので大体髪の毛1本くらいの太さです。なんとなくしわしわしたものの集まりであることが分かります。更に3万倍まで拡大してみます(パルプの観察の図b)。そうすると、500倍や2000倍では何もないように思っていたものが、実は、非常に細い繊維が集まってできているということが分かります。この非常に細い繊維がセルロースナノファイバーです。

荻野 セルロースナノファイバーは、非常に私達の身近なところに存在するものなのですね。樹木に含

まれているとなると、その量はちょっと想像がつかないのですが、地球上にはどれくらいのセルロースナノファイバーが存在するのでしょうか。

矢野 生物が作り出す資源をバイオマスと言いますが、地球上にはバイオマスが約1兆8,000億トンあると言われていています。埋蔵が確認されている石油が約1,500億トンと言われていていますから、石油の10倍以上の資源量となります。生物は、動物、昆虫など様々ですが、量として圧倒的に多いのは植物です。地球上のバイオマスの99.99%は植物で、その内の92~95%は樹木です。そして、樹木の半分がセルロースナノファイバーですので、この地球上にはセルロースナノファイバーが1兆トン近くあると言われています。木材以外にも植物系の資源は全て細胞の集合体で、その細胞はセルロースナノファイバーで出来ています。稲ワラやサトウキビ、キャッサバ、砂糖大根などからも木材と同じセルロースナノファイバーがとれます。セルロースナノファイバーが注目されているのは、資源的に豊富ということもあり

■木材繊維(パルプ)の観察



写真提供: 京都大学 矢野教授



ますが、もう一つ大事なことはその優れた特性です。樹齢何百年といったような樹木は高さが数十メートルにもなりますので、凄く重いわけです。それが重力に逆らって倒れなくて、風が吹いても折れないのは、細胞がセルロースナノファイバーで出来ているからです。セルロースナノファイバーは、鋼鉄の5分の1の軽さです。弾性率は大体、鋼鉄の3分の2程度なので鋼鉄の様に變形しにくいのです。更に、強度で言うと鋼鉄の8倍くらいあります。軽くて強くて、しかも熱による伸び縮みもガラスの50分の1と小さいのです。セルロースナノファイバーはこれだけ高性能で、しかも環境負荷が少なく、資源的にも豊富で、質・量ともに優れています。このセルロースナノファイバーを用いて新しい材料を作りたいというのが私達が取り組んでいる仕事です。

価格の優位性を維持した 材料開発が重要

荻野 セルロースナノファイバーから何か材料を作るとなるとその価格も重要になりますが、他の材料と比較して優位性はあるのでしょうか。

矢野 セルロースナノファイバーは非常に高性能な均一な繊維と言いましたが、いまの人間の技術ではこの様なナノの繊維自体は作れません。将来的にもし作れるようになったとしても、様々なエネルギー、薬品を使って非常にコスト・労力がかかります。今まで高性能な材料を作ろうとすると、お金と手間がかかるのは当然という考え方もありました。しかし、セルロースナノファイバーは、この一番コスト・労力がかかることを生き物がやってくれています。木材を持ってきて、色々薬品を使って処理して、そこからきれいにセルロースナノファイバーだけが残るようにしたパルプの状態での価格はキロ当たり50円～80円です。炭素繊維やアラミド繊維といっ

た高機能繊維との大きな違いはこの価格です。産業資材として考える時には価格競争力がないといくら高性能なものが出来たとしても市場では使ってもらえません。ですから、やはり、セルロースナノファイバーを用いた材料の肝は、この優れた価格競争力を、いかに最後の部品のところまで維持できるかにかかっていると思っています。私達は、その観点でいろいろ材料開発のプロジェクトを立ち上げて取り組んでいます。

様々な用途への展開が見込まれる

荻野 セルロースナノファイバーが既に実用化されている用途としてはどのようなものがあるのでしょうか。また、将来的にはどのような用途への展開が検討されているのでしょうか。

矢野 食品添加剤などでは既に使われています。セルロースナノファイバーを加えることによって食品の質感や食感を変えることができますし、清酒を発酵、醸造する際のろ過材などにも使われている様です。現段階で実用化されている用途は限られていますが、将来的な用途展開に向けて様々な研究が行われています。例えば、紙の表面平滑化、紙力増強にセルロースナノファイバーを利用する研究や、人工血管、人工腱、人工軟骨などの医療用途でも研究が進められています。その他にもフィルター素材、二次電池のセパレーターなど、世界中で数多くの研究が行われています。

そして、私達が取り組んでいる分野の一つが、透明材料です。セルロースナノファイバーの特性を生かした透明材料を私達が世界で初めて開発しました。この透明材料は、プラスチックの様にフレキシブルでありながら、ガラスの様に熱による伸び縮みが小さく、熱伝導率もガラス並みに高いという特徴があります。そして、その材料を基板に用いた有機



EL 発光素子を三菱化学、パイオニア、日立製作所、ローム、NTT などとの共同研究によって開発し、2005年2月に新聞発表しました。また、2010年1月から三菱化学と王子製紙が事業化に向けた研究開発を行っています。

荻野 透明材料の他に組み込まれている分野などはあるのでしょうか。

矢野 もう一つ私達が取り組んでいる分野として構造材料があります。もともと、樹木においてセルロースナノファイバーの役割は、構造を支える、樹体を支えるためであったわけですから、進化の過程で目指した方向性を考えると、構造材料に使うのは一番理にかなっていると考えています。そして、私達は、構造材料の中でも特に、自動車用途に一番力を入れています。

荻野 セルロースナノファイバーは、鉄よりも軽くて頑丈な訳ですから、自動車ボディなど、いままで鉄が使われてきた部材にセルロースナノファイバーが使われる可能性があるわけですね。

矢野 近年は、自動車部材の軽量化の観点から鉄などの金属部品をポリプロピレンやポリエチレンなど

の軽量樹脂に置き換える取り組みが進んでいます。ただ、これらの樹脂は強度が低く、熱膨張も大きいいため、金属部品の代替とするには限界があります。そこで、樹脂にセルロースナノファイバーを混ぜて複合材にすることで軽量・高強度な構造材料が提供できると考えています。

荻野 産業資材として考えた場合、市場規模の大きい自動車は非常に魅力ですね。

矢野 そうですね。しかし、実用化に向けて解決しなければならない課題もあります。一つは、ポリプロピレン・ポリエチレンとセルロースナノファイバーの複合です。セルロースナノファイバーは、水を凄く吸う材料ですが、ポリプロピレンやポリエチレンなどのプラスチックは油の様なもので、本来は混じり合いません。ですから、複合材料を作るには、水と油をナノレベルで均一にブレンドして水と油の間になじみを持たせる必要があります。本来は正反対なものである水と油がくっついて離れなくなる。その様な構造をナノレベルで作らなければいけません。

荻野 具体的にはどうすれば良いのでしょうか。

■セルロースナノファイバー補強透明材料(左)とそれを基板に用いた有機EL発光素子(右)



写真提供：京都大学 矢野教授



矢野 添加剤を加えたり、セルロース側に化学的な変化（化学修飾）を起こしたりすることで、セルロースナノファイバーの構造をより油に近づける（疎水化する）のです。そうすると、樹脂との親和性を高めることができ複合材料が作れます。

従来、樹脂との複合化のプロセスでは、パルプを一度ナノ化した後に化学的な修飾を行っていました（下図の上段のプロセス）。しかし、この方法ではパルプを一度ナノ化するだけで5,000円、そこに化学的な修飾をしたら更に5,000円かかりますので、1キロ1万円とコストが非常に高くつきます。ところが、パルプをナノ化する前にそのまま化学修飾して樹脂と一緒に練ると、パルプがほぐれてナノ化しながら樹脂の中にきれいに分散してなじませることができ（下図の下段のプロセス）。このプロセスであれば、多分1キロ1,000円程度で複合材料が作れるのではないかと考えています。この価格なら産業資材などでの展開の可能性が広がって来ます。

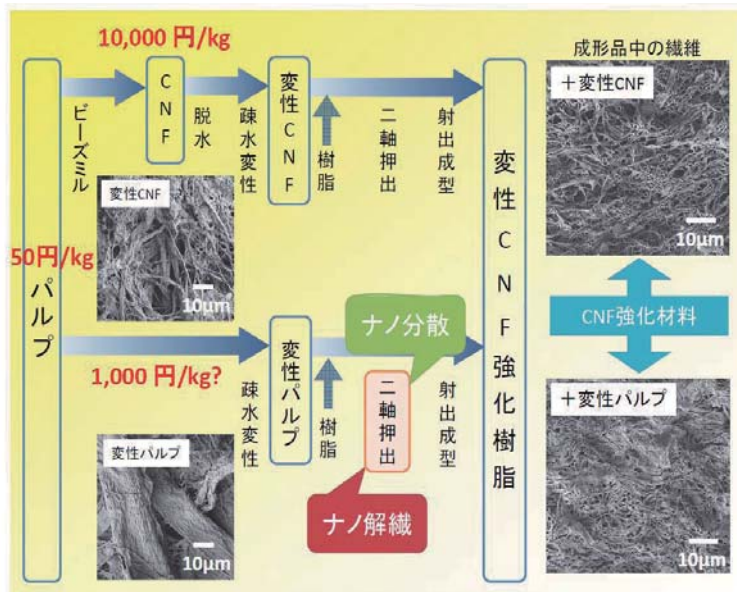
荻野 その他にクリアすべき課題などはあるのでしょうか。

矢野 もう一つは加工性ですね。鉄はプレス加工ができます。ある形をとるのにぐっと力を加えると曲げられますよね。セルロースナノファイバーはお互いに水素結合でくっついていますので曲げられません。ただ、水素結合を一回切って変形させて、また結合させるようなことができれば加工はできるでしょう。また、自動車部材に使われるようになったら年間数千トンのオーダーが出てくると思いますので、生産能力も整えて行く必要があります。セルロースナノファイバーの実用化・普及に向けてクリアすべき課題は沢山ありますが、私は夢の話とかではなくて、将来的には現実的なものだと思っています。


セルロースナノファイバーの活用は日本の競争力向上に繋がる

荻野 先ほどの用途開発の話の中で、世界中で数多

■セルロースナノファイバーと樹脂の複合化プロセス



資料提供：京都大学 矢野教授



くの研究が行われているとおっしゃっていましたが、日本の研究レベルは世界的にみてどの辺りに位置づけられるのでしょうか。

矢野 セルロースナノファイバーの構造用途への利用や有機ELなどのエレクトロニクスデバイスへの利用は日本発の技術です。また、先ほどお話ししたパルプを練ってナノ化して複合材料にする技術なども日本が世界をリードしています。しかし近年、欧米諸国も国の積極的な支援などを背景に、その技術水準はどんどん高まってきています。例えば、カナダでは国や州政府が約30億円を出資して1年ほど前にナノセルロースを日産1トンつくれるプラントを稼働させました。また、フィンランドやスウェーデンでも国が支援して70億円程度のプロジェクトが進んでいます。

世界中で研究が活発化していますので論文・特許の件数もどんどん増えています。日本は、材料開発などの基盤技術で世界に先行しましたので物質特許は比較的抑えています。用途特許に関してはあまり進んでいません。しかし用途特許は重要です。例えば、アメリカが用途特許をとってしまったら、日本が材料・物質を作る機能を持ったとしても日本の企業はアメリカにおいてその材料を用いた用途、製品を展開できません。折角、川上側で材料を供給できる体制を作ったとしても川下に展開できない。ですから、両輪で行かなければ行けません。用途開発を進めてどんどん用途特許をとっていく。それと並行して用途開発を支える基盤技術の開発も更に強化する。これを短期間で実行しないと海外に負けてしまいます。

荻野 海外では国が本腰を入れて援助してくれている状況ですから、やはり日本も国からの援助・支援の体制をもっともっと整備してもらわないといけませんね。先日のiPS細胞のノーベル賞受賞など

を受けて、最先端の研究などに対する国の理解や支援のムードは高まってきている様にも感じられますが、何か具体的な動きなどはあるのでしょうか。

矢野 そうですね。有り難いことに、その様な動きも一部出始めています。実は、昨年の10月に経済産業省の紙業課がコーディネートして、ナノセルロース事業化戦略検討委員会が立ち上げられましたので、今後、日本でも川上から川下までが連携した開発体制が整って行くのではないかと考えています。

私は、セルロースナノファイバーは、今後の日本の国際的な競争力を向上させることができると思っています。日本は、国土の約7割が森林で覆われている世界的に見ても珍しい森林国です。その日本の持っている森林資源を使って、高性能の材料を作って、それを海外に輸出するのが、これからの一つの産業の在り方だと思っています。1960年から70年代以降の日本は、海外から原油を持ってきてコンビナートで精製して化学産業に供給し、作った製品を海外に輸出するなどしてきたわけですね。しかし、セルロースナノファイバーの技術が進んでいくと、自国の資源を使って同じことができるようになる。そして自国の資源を使って高付加価値の製品を作って海外に輸出する。TPPとか色々言われていますけども、農林水産物だって、方法によっては非常に高付加価値で競争力のあるものを日本の資源で作ることが出来ると思っています。

荻野 資源が乏しいと言われている日本の現状を変える可能性があるわけですね。セルロースナノファイバーの活用が今後益々広がっていくことを私たちも期待しています。本日は貴重なお話を有難うございました。

(対談日:1月18日 金子)