



強い樹木を支えるCNF 潜在力を引き出すには

木材由来のナノ繊維であるセルロースナノファイバー (CNF) は、樹脂の補強材や増粘剤などの用途で研究開発が進むほか、環境負荷の低い材料としてもそのポテンシャルが期待されている。こうした産業利用の流れの中で、独自性の高い研究成果を生み出しているのが、大阪大学産業科学研究所 能木雅也教授らの研究グループだ。「土に還るIoTデバイス」や「短絡を防ぐコーティング技術」など、

CNF だからこそ達成できたユニークな成果が目を引く。能木教授自身は、木材物理学の専門家で、強い樹木を支えるCNF (当時はセルロースマイクロフィブリル) の潜在力に惹かれて研究者になった。「樹木が好き」だからこそ、そのコア材料であるCNFの新たな用途開発にも力が入る。

(高橋綾子)

木を支えるセルロースマイクロフィブリル

「木はなぜ強いのか」「なぜ曲がるのか」。今でこそCNFの研究者として知られる能木教授だが、キャリアのスタートは大学・大学院で学んだ木材物理学だった。



能木雅也教授

「私は生きている木、土に根差して生えている木が好きです。その木を支えるのが、セルロースマイクロフィブリルであり、今でいうCNF。木が曲がったり、直立したりする理由は、セルロースマイクロフィブリルが傾いたり、真っすぐになったりしているからです。大学院では東南アジアにフィールドワークに出掛け、現地ならではの

の樹木の特性や木が曲がる理由などを研究しました」

「学問は、物事を単純化して本質を見極めるものですね。木の研究も同じで、木を知るにはリグニンなどを取り除いた、セルロースマイクロフィブリルを知るべきだというのが私の基本的な考え方。あと、少し細かいですが、『木』と書くのと伐採した後の木材という印象を持ってしまうので、私の好きな地面に立っている木は『樹』と書く方がしっくりきます。記事での表現はどちらでもいいですが」

「研究の話に戻りますと、近年、CNFが注目されるようになった時に、私たち林産学系で木材物理学を学ぶ研究者は、もちろんその存在を知っていたわけですが、それを産業利用しようなんてことは思い付きもしなかった。でも、それを実現しようとされたのが、京都大学時代の恩師である矢野浩之教授です」



左から木材チップ、パルプ分散液、CNF、ナノペーパー

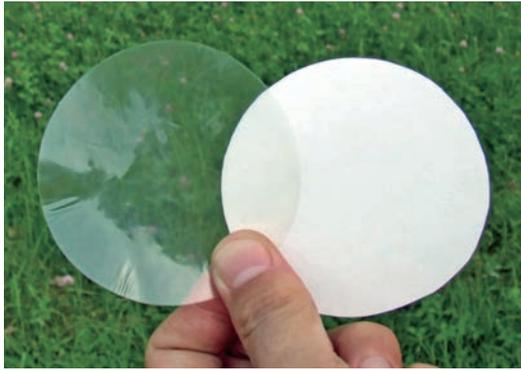
透明な紙「ナノペーパー」の発明

能木教授は、2002年に名古屋大学大学院で博士号(農学)を取得した後、03年に京都大学へ移り研究員(ポスドク)を務めた。ここで出会ったのが、今ではCNF研究の第一人者として知られる矢野教授。この時能木教授は、セルロースマイクロフィブリルを木から取り出して活用しようといった研究に、とまどいはなかったのだろうか。

「それはなかったですね。矢野先生は、木が強いのはセルロースマイクロフィブリルが強いため、セルロースマイクロフィブリルを研究すれば、強い材料を作れるとお考えでした。『木はセルロースマイクロフィブリルがすべて』と捉えていた私と共通する部分があり、先生の研究には、強く惹かれました」

能木教授は、京大時代の2008年に、CNF分散液(繊維幅3~15nm)をフィルム状にした「透明な紙(ナノペーパー)」を発明した。紙は白いものだという常識を覆す、画期的な研究成果だった。

CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH CONVERTECH



透明な紙「ナノペーパー」

CNF 水分散液を乾燥させると、CNF が絡み合って表面の水酸基が強固に結びつき（水素結合）、フィルム状となる。通常の紙も、マイクロオーダーのパルプ繊維が絡み合って水素結合しているが、繊維が太いために繊維同士に隙間が生まれ、その隙間で太陽光が乱反射して白く見える。

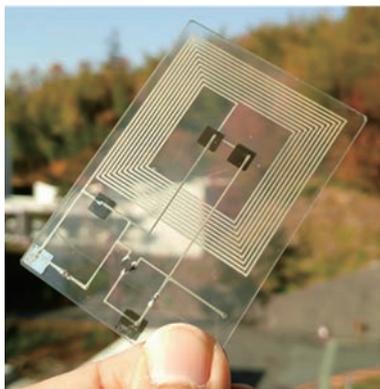
一方、ナノオーダーの CNF は、パルプ繊維に比べて圧倒的に細い上、比表面積が大きく表面に水酸基が豊富に存在する。そのために、絡み合った繊維同士に隙間が非常に小さくなり、光による乱反射が起こらず、透明になる。

「ナノペーパーは、100% CNF の材料であり、接着剤やプラスチックは一切使っていません。何かを補強するために CNF を使うのではなく、ただ CNF だけを用いて作れたことに、大きな喜びがありました」

他の人と同じことはしたくない

2009 年に大阪大学産業科学研究所へ移り、17 年から教授を務める。研究室には、教員として古賀大尚准教授、春日貴章助教が在籍する。

CNF の研究開発は、製紙会社や化学メーカーなどが取り組んでおり、用途としては樹脂の強化材や増粘剤などが想定される。だが、能木研究室が発表する研究成果は、これらとは一味違ったユニークなものが多い。「土に還る IoT デバイス」や「短絡を防ぐコーティング技術」がその一例だ。



土に還る IoT デバイス

土に還る IoT デバイスは、紙の吸水性に着目し、ナノペーパーを湿度センサとして用いたもの。デバイスは CNF と金属、鉱物だけでできており、その 95% 以上（体積比）は土の中で分解する。使用後の回収が不要であり、自然環境中で用



ナノペーパーを用いた「ペーパー太陽電池」

いるデバイスとして有効だ。

また、短絡を防ぐコーティング技術は、電子回路上に CNF 分散液をコーティングし、乾かすだけで、回路の短絡を抑制できる。デバイスの水濡れ故障を、CNF を用いた簡便な手法で防ぐことに成功し、注目を集めた。

「(ユニークな研究成果を追い求めるのは) やはり、他の人と同じことをしたくないのでしょうね。これは性格だと思います。学生の頃ですが、大学で樹木の研究をすると話した時に、誰もが『え?』って聞き直すんですよ。『樹木ですか?』って。私としてはこれ以上素晴らしい研究対象はないと思っていますが、その魅力が全く伝わらない」

「そんな時に、矢野先生が『CNF を用いて強い材料を作る』とおっしゃった。そうすると、一気にみんなが注目するようになり、そういう PR の仕方をすれば良いのかと学びました。同じように、私が透明な紙を作り、電子デバイスに



研究室に置かれたサペリの木を使ったテーブル

応用できると提案すると、みんなが振り向いてくれ、仲間が増えていきました」

「樹木の魅力を知ってほしいという思いで、様々なデバイスを作ってきましたが、私としてはそれも樹木研究の一部に過ぎません。もちろん、デバイスなどに実用化できたら嬉しいのですが、それ以上に、木材から生まれたあの紙の透明さ、美しさに心惹かれます。根っからの樹木研究者ですね」

「昔の自分に追いつく」ために

能木教授は現在 48 歳。今後の研究目標を尋ねると、「昔の自分に追いつきたい」という謙虚な答えが返ってきた。

「博士課程やポスドクの際は、自分で手を動かして実験をしたり、現場に足を運んだりしていました。あらゆる論文を読み、研究の最前線に立っている実感がありました。教授になった今は、学生らに指示を出すことがメインになり、以前より勘所が鈍っていると感じることも。これじゃ、あかんと思い、手は（学生らが動かすので）動かさなくても、脳だけは動かそうと、必死に論文を読んでいます」

「また、長引くコロナ下で、リアル学会が減ったことも、勘所が鈍った理由の 1 つかもしれません。先日、久しぶりに学会に出席しましたが、生で講演を聴き、参加者と話すことで、自分のやりたいことが随分まとまりました」

CNF の社会実装を進めるには

CNF はその注目度の一方で、実用化の範囲はまだ限定的だ。材料としてのポテンシャルが指摘されながら、社会実装が進まない理由はなぜか。能木教授が考えるその理由は、「CNF の本質をまだ解明できていないから」だった。

「CNF を（強化材として）プラスチックに入れてもいいのですが、それは CNF の使い方としては one of them に過ぎないと思います。そもそも樹木の使い方が 1 つではないのに、そのコア材料となる CNF が、プラスチックと混ぜる使い方しかないわけがない。新しい用途がどこにあるか



「後進を育て、CNF の研究者を増やしたい」と話す能木教授

はカードめくりをした時に、いつ当たりが出るかに例えられて、絶対に当たりはあるけれど、私たちが CNF の基礎的なことを解明できておらず、知見が少ないから、新しいカードをめくれない状況にあると思います」

「なぜ知見が少ないのかは、研究者が少ないことや研究が始まってまだ時間が経っていないことが理由として挙げられます。私は教育者として後進を育て、研究者を増やしていくことが 1 つの役割だと考えています」

企業との共同研究で期待すること

CNF を使ってどう新製品を作っていくか。企業から相談を受けることも多い能木教授だが、共同研究では、互いの理解を深め合うことが大事だと言う。

「企業側のできることで、得意分野が分かれば、課題に対する解決策も提案しやすいです。逆に企業が何ができて何をできないのかが分からない場合には、（私は）的外れな回答をしてしまっているかもしれません」

「あと、その課題をいつまでに解決したいのか。そうしたスケジュール感もあればありがたいです。人間同士の信頼関係を築きながら、ゆっくりお付き合いできれば最高です」

のぎ・まさや

1973 年、広島市生まれ。2002 年、名古屋大学大学院で博士（農学）を取得。産業技術総合研究所中部センターを経て、03 年から京都大学国際融合創造センターで産学連携研究員を務める（同大生存圏研究所 矢野グループ所属）。07 年から日本学術振興会特別研究員。09 年に大阪大学産業科学研究所助教、11 年に同准教授、17 年から現職。



能木研究室の YouTube 「セルロースなの」



能木研究室の研究成果は、YouTube でも確認できます。「チャンネル登録、お願いします」（教授）とのことです。



<https://www.youtube.com/channel/UCYrTfJC06RqJw1X15xYyDA>