

本田財団レポート No. 161

第 136 回 本田財団懇談会（2015 年 12 月 7 日）

「セルロースナノファイバー ー日本には資源も知恵もあるー」

京都大学生存圏研究所
生存圏開発創成研究系教授、農学博士

矢野 浩之

公益財団法人 **本田財団**

講師略歴

矢野 浩之 (やの ひろゆき)

京都大学生存圏研究所 生存圏開発創成研究系教授、
農学博士 (専門: バイオ系ナノ材料)



《略 歴》

- 1982年 京都大学農学部林産工学科 卒業
- 1984年 京都大学大学院農学研究科修士課程林産工学専攻 修了
- 1986年 京都大学大学院博士課程 退学
京都府立大学農学部 助手
- 1989年 農学博士号 取得
- 1992年 京都府立大学講師
- 1998年 京都大学木質科学研究所 助教授
- 2002年 秋田県立大学木材高度加工研究所 客員助教授
- 2004年～ 現職

《主な受賞歴》

- 1989年 日本木材学会奨励賞
- 2005年 セルロース学会 林治助賞
- 2009年 日本木材学会賞

《主な著書・共編著》

- 2013年 『機能性セルロース次元材料の開発と応用』
(分担執筆、シーエムシー出版)
- 2014年 『バイオプラスチック技術の最新動向』
(分担執筆、シーエムシー出版)
『高分子ナノテクノロジーハンドブック』(分担執筆、株式会社NTS)
- 2015年 『木質バイオマスのマテリアル利用・市場動向』
(分担執筆、シーエムシー出版)
『図解よくわかるナノセルロース』 (分担執筆、日刊工業新聞社)

ほか多数

セルロースナノファイバー — 日本には資源も知恵もある —



京大大学生存圏研究所 矢野浩之

ただいまご紹介いただきました京大生存研の矢野でございます。たいへんていねいなご紹介ありがとうございました。私はこういったタイトルできょうお話をさせていただきます。最初にこの場を借りて財団の皆様には、こういう機会を与えていただきましたことにたいへん厚く御礼申し上げます。実は当初私にここで話をしないかというお話を頂いたときに、財団がどういふものなのかよく分からなかったのですが、あとで財団の設立趣意書というものが送られてきてそれを読ませていただいて、非常に自分がいま考えていることと合う部分があるなと思いましたので、話を始める前に、最初にこの設立趣意書を簡単に読ませていただきたいと思います。

「現代社会は、さまざまな技術革新を通じた生産性の向上、製品の改良、交通・運輸・通信手段の発展等により経済が成長し、繁栄を続けてきました。その繁栄は、さらに人々の生活様式の変化や行動範囲の拡大などの変革をもたらしました。しかしそのような技術革新と経済成長は、一方で、環境破壊や公害、都市の過密化、人口増加による食糧問題、人種・民族・宗教間の意識格差の拡大など、深刻かつ複雑な問題を派生させることになりました。もちろん、これらの問題を解決するために、これまでもさまざまな研究と努力が続けられてきました。しかしこれらの問題の原因は、現代文明の諸要素を複雑に反映したものにほかならないため、これらの解決にあたっては、従来の発想とは次元を異にした新しい接近方法を必要としています。」ということがこの設立趣意書には書かれております。人間性あふれる文明の創造ということを掲げてこの財団は設立されたと伺っておりますが、私のこれからお話させていただくことも、そういう意味では人間性あふれる、新しいものづくりができないだろうかということをやっていることです。

最初はちょっと分かりにくい話かもしれませんが、我慢して聞いていただけますと最後のほうになって「あ、そうか」というふうにお分かりいただけるのではないかと思いますのでよろしく願いいたします。

■ 太陽エネルギー依存型社会の構築と植物資源

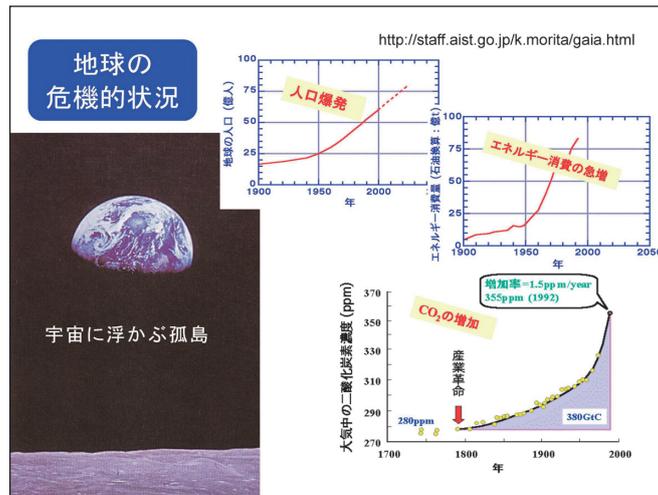


図-1

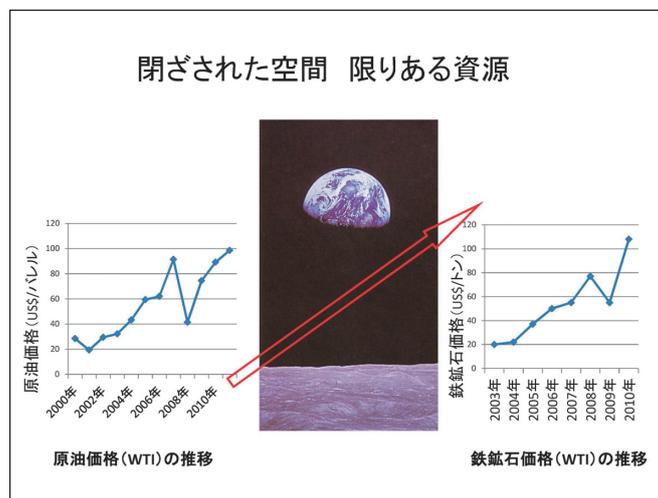


図-2

〈図-1、2〉 現在の地球の抱えている問題をこちらに示しております。ご存じのようにこの地球というのは宇宙に浮かぶ小島です。本当にぽっかりと浮かんでいます。この閉鎖された空間の中で人口の爆発が起こり、エネルギーの消費が急増し、CO₂の排出が増加してます。地球は空間的に限られていて、外から物質が来るわけではない閉鎖された空間です。そこにある資源には限りがあるということで、原油価格は上がっていきまますし、鉄鉱石もこのようにどんどん価格が上がってきている。これがこの地球上に起こっている状況です。

そういった閉ざされた空間、限りある資源の中で、これから人類はどうやって生きて行かなければいけないのか、どうやって生きていくべきなのかというのは非常に大きな命題になっています。そのときにあらためてこの地球を眺めてみたいわけです。真っ暗な闇の中にぽっかりと浮いた島が地球ですけれども、ちょっと不思議に思うのは、地球というのは惑星ですから、自らが光を発するのではないわけです。しかしながらこう鮮やかに映って見えるということは、地球の外から唯一来るもの、つまり太陽の光によるわけです。太陽の光こそが持続的に地球の圏外から来

るような「資源」と言っているものです。ですからこれからの社会というのは、太陽エネルギーに依存した社会でなければいけないと思うわけです。



図-3

〈図-3〉 太陽エネルギーに依存した社会の構築に当たって、これまでは人間が生きていくための、生存に必要なものというのは衣食住と言われていましたが、今はエネルギー・食料・マテリアルです。人間が生きていくために必要なこういったものを太陽のエネルギーから持続的に作り出していく社会こそが、これからの社会のあり方であろうと考えるわけです。エネルギーに関してはもちろん太陽光発電もありますし、風力を使ったりするような自然エネルギーというものもあります。食料については、私たちはお米であるとか野菜を育て、あるいは穀物やそういったものを家畜が食べそして肉になりという形で、やはり太陽の恵みを受けて作っています。

すると3つ目のマテリアルは何になるでしょう。エネルギーというのもちょっとイメージできる。食料もそうですが、マテリアルをどうやって太陽の光から作るのでしょうか。太陽の光というのは、何か物として触ることのできるものではないわけですから、それが直接材料に変わるということはなかなか難しいだろう。やはり変換器が必要になります。それが植物です。

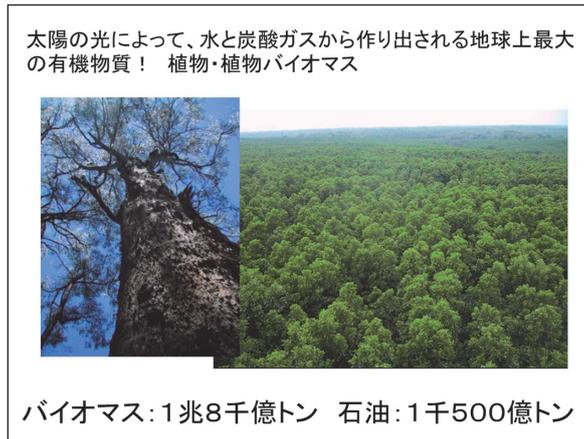


図-4

〈図-4〉 植物というのは太陽の光によって水と炭酸ガスからつくり出される、地球上最大の有機物質です。植物バイオマスと呼びます。現在この地球上には、こういったバイオマス資源は1兆8000億トンあると言われてしていますが、これは埋蔵が確認されている原油が1500億トンです。その10倍以上の量があるわけです。毎日太陽の光、大気中のCO₂、そして水によって持続的につくり出されているのが植物資源です。

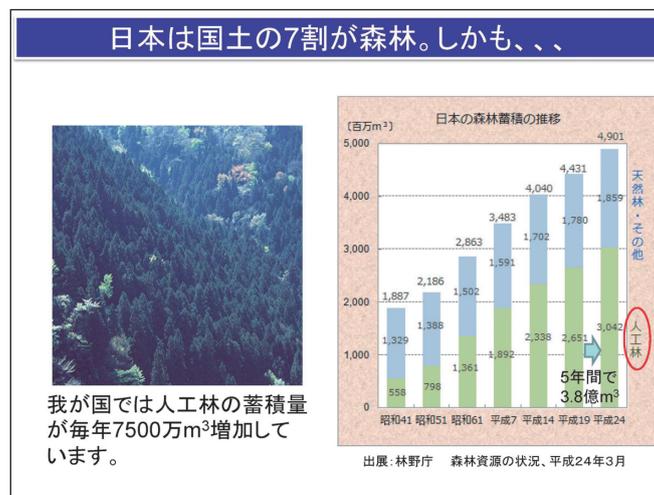


図-5

〈図-5〉 特にこの日本は、皆さんもご存じのように国土の7割は森林なのです。しかもその森林のうちの、実は今3分の2弱は人工林になっています。これは、植えて育てて、あるいは管理して伐採して、そして使って、また植えて育ててということが持続的に行われている森林です。そこにおいては木材という材積に換算しますと、毎年7500万m³ずつの量が実は増え続けているのです。私たちはもちろんこの人工林から、建築用の材料であるとか紙の材料となるようなチップだとかいうのを使っているわけです。使っているにもかかわらず、この国では毎年7500万m³ずつ木材が増え続けているということになります。

■ 1400 年以上にわたり強度を保つ木材



図-6

〈図-6〉 さて、私たちはいま木材をどう使っているかといいますと、身近なところではもちろん建築用の材料ですね。あまりご存じないかもしれませんが、ヒノキでも径の小さな丸太から板を作って、それを幅と長さ方向につなげることで、こんな大きなドームをつくることができます。野球をやっていますが、このような大きなドームを木材でつくることができます。それから家具の材料です。先進国の木材利用で半分ぐらいを占めるのは紙になります。こういったことで、私たちは今まで木材を使ってきています。



図-7

〈図-7〉 さらに日本は木の国です。ご存じのように法隆寺五重塔というのは、今から 1400 年前に建てられた木造の建築物です。ちょっとご覧いただきたいのは、この心柱しんばしらというものです。五重塔の真ん中あたりにある太い柱ですが、その柱は構造を支えているのではなくて、中央に存在して地震やそういうものに強い構造になっているらしいです。この心柱円盤という板は私の研究所にあるコレクションの一つです。法隆寺というのは外に木材を出したことがないそうです。

一度腐った部分や古い部分を取り替えて新しくする。その古い部分というのもちろんどこかで修復に使おうと置いているのですが、唯一お寺の外に出た材料というのがこの心柱だと言われています。ずっと長いことうちの研究所では倉庫の隅に放って置かれていたのですが、いろいろ調べてみるとそういう由緒の正しいものだということが分かりました。年輪年代学という方法を使いますと、一番端のところに木の皮がちょこっとだけ残っていたのでそこから推測して、いつこの木が伐採されたかというのが分かったのです。そういうことによって、実は法隆寺というのは1400年前に建てられたけど、木材自体はもうちょっと前から実際は伐採されていたらしいということも分かりました。そういう貴重なコレクションです。

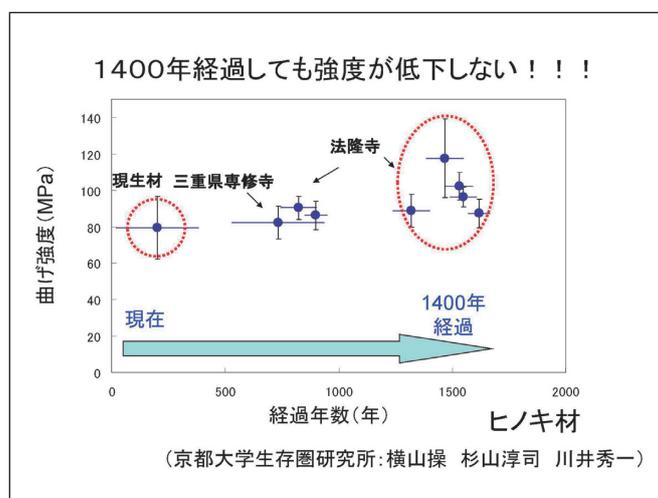


図-8

〈図-8〉 このように、1400年にわたって木材は建築物としてずっと構造を支えてきている。関心事は、それだけの時間が経つと木は弱くならないのかということです。実際にコレクションで心柱以外に法隆寺から頂いた非常に貴重な木がありますので、それについて強度試験を行いました。今伐ったばかりのヒノキ、そして今から500~600年ほど前に建てられた建物からきたヒノキ、法隆寺修復のときの古いヒノキを調べてみますと、強度は実はずっと変わっていないのです。1400年も経って強度が変わらないような材料というのは、実は非常に珍しいのです。プラスチックがどれだけでもつか、正直なところ分かりません。私たちはプラスチックを本当に産業的に使うようになってから、まだ100年ぐらいいしか経っていません。日本の歴史の中では木材という材料は、ちゃんと使ってやれば1400年も強度が変わらないのだということはおもう明らかになっています。

300年経過しても、いまだに豊かな音が！！

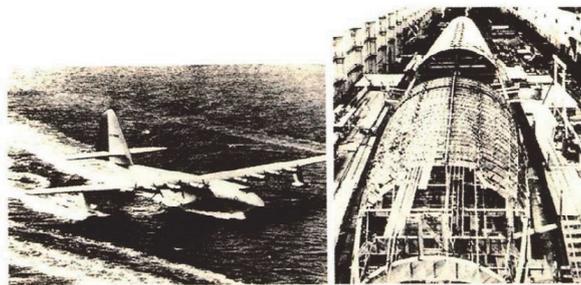


アントニオ ストラディバリ(1644-1737)

図-9

〈図-9〉 それからバイオリン。アントニオ・ストラディバリです。アントニオ・ストラディバリが生きていたのは 1644～1737 年ですから、これは今から 300 年ほど前に作られたバイオリンです。木でできていて、いまだに素晴らしい音を出します。全然音や構造にへたりがない。だから 1 台 1 億円とか 2 億円で取引されます。

世界最大の木造飛行艇



Spruce Goose、700人乗り

図-10

〈図-10〉 そしてこれも昔、第二次世界大戦の最後のほうなのですが、木造の飛行機というのがつくられました。正確に言うと飛行艇です。翼が 100m あります。700 人乗れる。今の国際線を飛んでいる飛行機がだいたい 300～400 人乗り程度のものですから、それよりも大きなものがスプルースという木でできて、実際にこれは飛んで着水までしました。

■ 木材の強度の秘密

では、なぜこんなに木は強いのかという話をさせていただきたいと思います。100mにも及ぶ巨木もありますし、1000年を超えて生きる樹木もありますし、使われて1400年経ってもいまだにちゃんと塔を支えるような木材もあります。なぜそんなに強いのか。

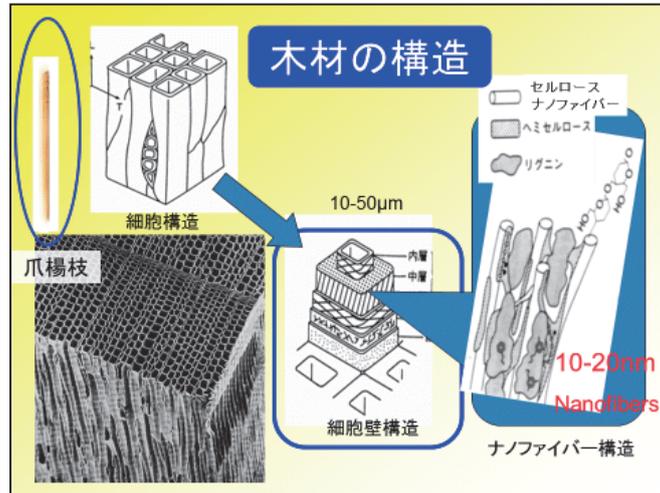


図-11

〈図-11〉 そのためにはまず、木材の構造というものを見てみなければなりません。爪楊枝をスパッと切って少し斜め上から見ています（左下）。50倍ぐらいでしょうか。木材は拡大して見ますと、こういったダンボールを切ったような構造になっているのだということが分かります。これは多くの方はご存じだと思いますが、一つ一つが細胞で、木材というのはこういった繊維状の細胞でできています。その細胞がどうなっているのかというのは、実はあまり知られていません。

少し拡大して見てみます（中央）。細胞一つ自体はだいたい10~50μmぐらい、髪の毛より少し細いぐらいの太さです。それを拡大して見ていきますと、こういった鉄筋コンクリートのような構造をとっていることが分かります（右）。鉄筋が今日のタイトルにありましたセルロースナノファイバーという物質です。幅が10~20nm。コンクリートの成分がヘミセルロース、リグニンという物質です。こういった鉄筋コンクリートの、それもナノの構造でできあがっているのが木材なのです。

50μmという、細い髪の毛ぐらいの太さの繊維だとだいたいイメージできます。髪の毛を触ってみたときのこのぐらいの感触が木材の繊維なのだというのが分かるのですが、10nmというのはどのぐらいか。1μmの1000分の1が1nmです。実はこれは、髪の毛1本の断面を山手線の内側全部まで拡大してみて、その中に立つ直径1m程の木というのが10nmの大きさのイメージです。そのくらい細い繊維で細胞はできているのです。

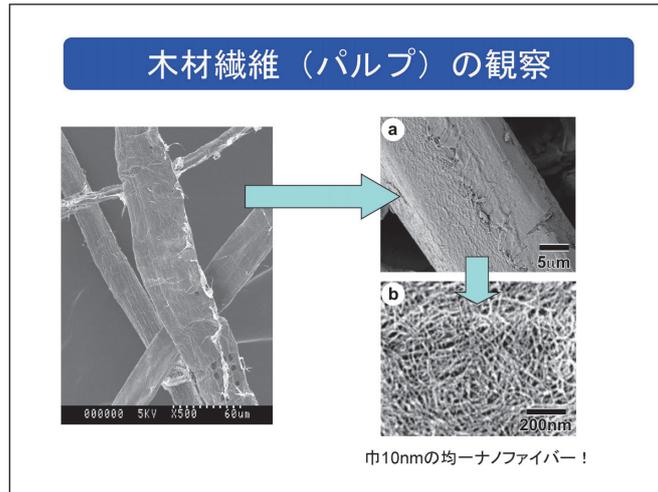


図-12

〈図-12〉 この鉄筋を何とか取り出したい。鉄筋コンクリートですから、そのまま壊したのではミンチ解体になって、鉄筋とコンクリートがグチャグチャになって出てきてしまいますから、まずコンクリートを除きましょう。何をやっているかといったら、実はこれは紙パルプを作る方法で、アルカリの溶液の中で高温でぐつぐつ煮てやりますと、コンクリートの成分というのは溶け出してくるのです。ヘミセルロースとカリグニンという物質が溶け出してきました。いま皆さんがお手元に持っておられる紙というのは、そういった鉄筋コンクリートからコンクリート成分が溶け出した繊維が集まってできているものなのです。

この紙一つは細胞でできているのです。それを 50 倍ぐらいの倍率で見ますと、何か均質な材料のように見えます(図-12 左)。2000 倍に拡大して見てもあんまり分からない(図-12 a)。ところが 5 万倍まで拡大しますと(図-12 b)、実は幅が 10~20nm ぐらいの細い細いナノの繊維でできているのだということが分かります。ですからいま皆さんが持っておられるコピー用紙も、ナノの繊維の集合体なのです。

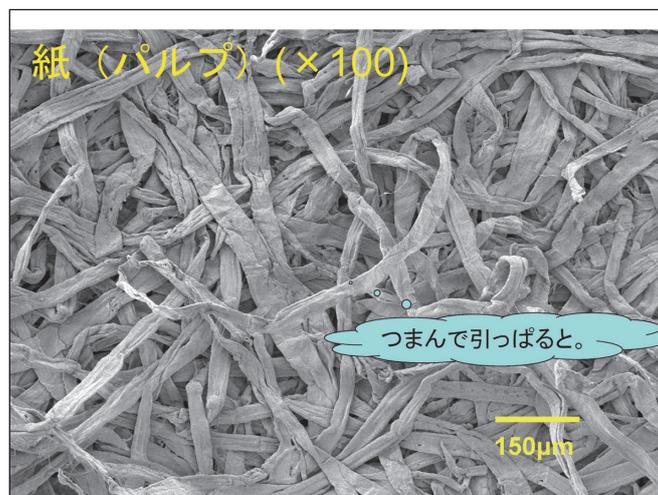


図-13

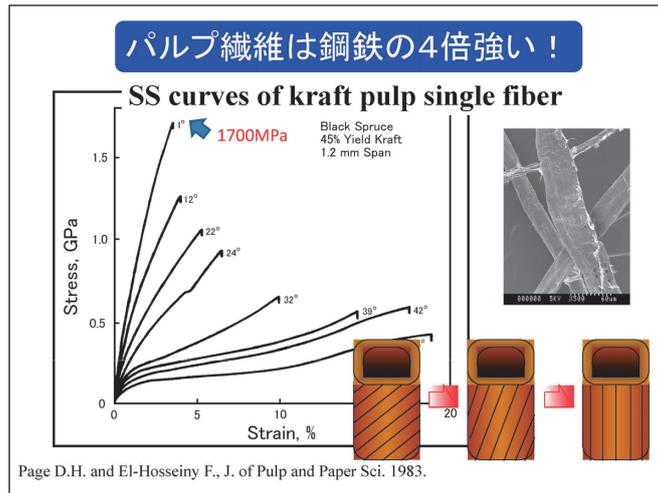


図-14

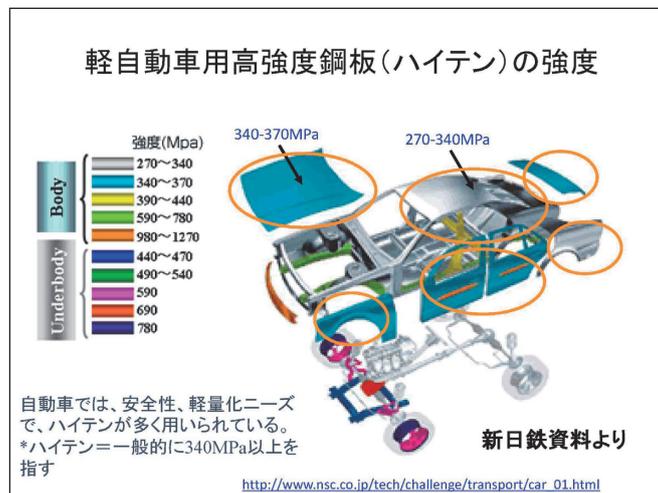


図-15

〈図-13、14、15〉 1983年、今から30年以上前になりますが、パルプの強度がどのくらいかを調べた人がいます。髪の毛ぐらい細いのでなかなか技術的には難しかったのですが、ちゃんとつまんで引っ張ってみました。そうしますと驚くことに、このパルプの強度というのは1.7GPaでした。この数字がどういう数字かピンとこないのですが、これは1700MPaということになります。1700メガと言われてもやはりピンとこない。どのような強度かといいますと、自動車の外板に使われますハイテン、300~400MPa以上の強度を有する鋼鉄をハイテンと言うそうですが、フードの部分、ボンネット、ドアの部分に使われる鋼鉄の強度がだいたい300~400MPaです。すると、この紙を作っている原料のパルプというのは、場合によっては鋼鉄の4倍も強い繊維だということなのです。紙というのは、実はものすごく強い繊維でできているのです。



図-16

〈図-16〉 紙の繊維であるパルプがなぜそれほど強いのかというのは、パルプを構成しているセルロースナノファイバー、鉄筋が強いからなのです。パルプの構造を考えていきますと、パルプ自体は1.7GPaですが、鉄筋はどうも3GPaぐらいありそうだ。3GPaというのは鋼鉄の7~8倍強い。しかもナノの繊維です。木材に限らず全ての植物の基本骨格物質は、このセルロースナノファイバーと言われるナノの繊維なのです。

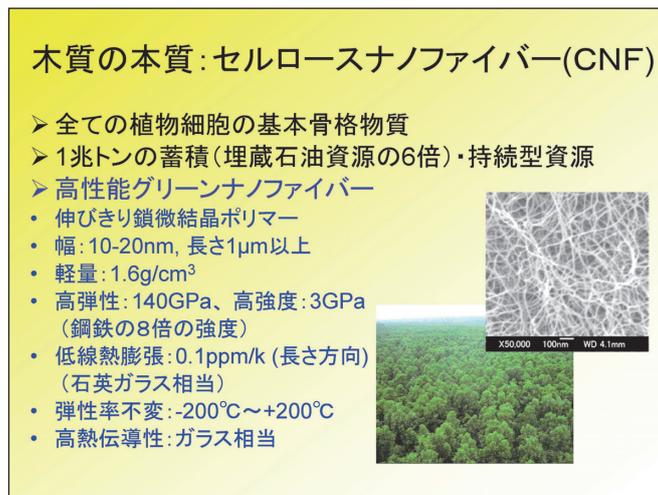


図-17

〈図-17〉 強度以外の性質もいろいろ調べています。密度はだいたい1.6g/cm³、鉄の5分の1です。つまり、セルロースナノファイバーは鉄の5分の1の軽さで7~8倍強いナノの繊維です。弾性率140GPaというのは剛性ですが、だいたい鉄の3分の2ぐらいです。強度は先ほど言いましたように3GPa。さらに、熱膨張がとても小さいです。熱膨張が小さい材料としてはガラスが思いつくのですが、だいたい7~8ppmです。セルロースナノファイバーが0.1ppmということは50分の1。熱による伸び縮みがガラスの50分の1しかないのです。これは石英ガラス並みです。しかも弾性率は-200℃~+200℃、400℃もの温度範囲でほとんど変化しない。こういったナノの繊維がこの地球上にはほぼ無尽蔵に存在しています。

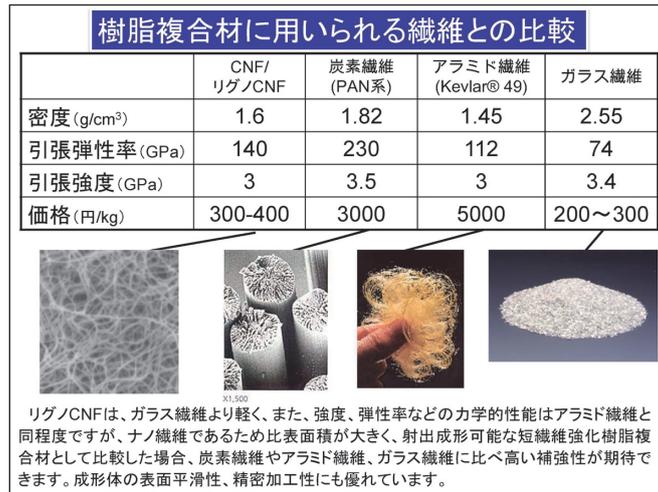


図-18

〈図-18〉 先端的な繊維材料とされています炭素繊維、あるいは防弾チョッキに使われるようなアラミド繊維、そういったものと密度・強度的な性質を比べていますが、ほぼ変わらないということが分かっています。そして資源的にも木材だけでなく稲ワラとかサトウキビ、ショ糖を絞ったあとの搾りかすをバガスと言いますが、あるいはキャッサバからでんぷんを取ったあとの搾りかす、北海道ですと、サトウダイコンからショ糖を抽出したあとの搾りかす、ジャガイモからでんぷんを取ったあとの搾りかす、そういうものはみんなかすと呼ばれますが、植物からセルロースナノファイバー以外のものを取り出したものだと考えることができます。稲ワラもサトウキビもみんな作り方によってはナノファイバーに化けます。

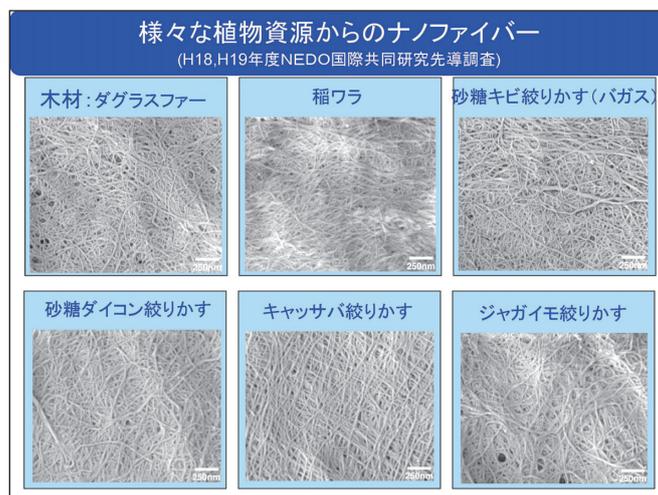


図-19

〈図-19〉 これは同じスケールで比べていますが、いずれもみんな幅がだいたい 20~50nm のナノの繊維です。強度的な性質は原料によって違うのではないかと思ったのですが、そんなに変わらないです。もうこのオーダーまでいきますと、植物はほとんどそこにバリエーションがないということになります。



図-20

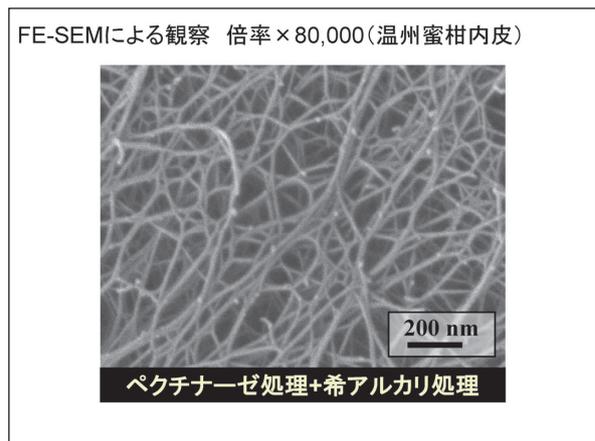


図-21

〈図-20、21〉 身近なところで、ミカンの搾りかすです。これからミカンをたくさん食べられると思うのですが、その房の部分の少し白いような部分だとか皮だとかいうのも、みんなつくっているのはナノの繊維です。同じく身近なところで言いますと、コットンです。皆さんいまカッターシャツを着ておられると思いますが、これはナノの繊維でできたものを身にまとっているのです。鋼鉄の 7~8 倍強い、石英ガラス並みに熱膨張の小さなナノの繊維でできたもので皆さんはいま身を守っている。だからといって鋼鉄のようにカッターが強いかといったらそんなことはないのですが。やり方によってはちゃんとコットンからナノの繊維を取り出すことはできます。

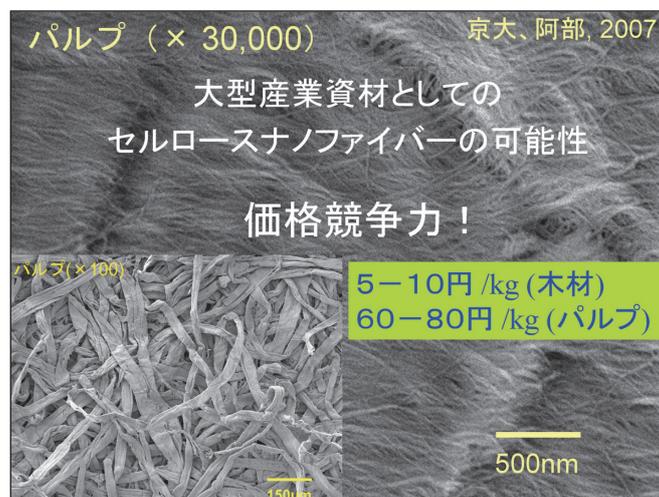


図-22

〈図-22〉 ただ、将来の産業として考えますと、やっぱり圧倒的な価格競争力という点では、木材が主たるナノファイバー源になるだろうと考えています。鋼鉄の 7~8 倍強くて、しかも軽さは 5 分の 1 といったナノ繊維の集合体、それがパルプです。製紙会社では、今の価格は 50 円/kg です。炭素繊維はどんなにがんばっても 3000 円/kg だと言われているのに対して、パルプは 50 円/kg です。ここまではもう 50 円でできています。あとはいかにお金をかけずにセルロースナノファイバーのパフォーマンスを最終の部材に発現させるか、部品に発現させるかということが勝負するところになります。この価格競争力を途中で失ってしまうと、炭素繊維とか

アラミド繊維と同じ土俵で戦わなければいけない。そうすると非常に厳しい状態になりますから、知恵を使うところは、いかにこの構造をお金をかけずにナノファイバーの性能が出た部品や製品に変えていくかということになります。

■ セルロースナノファイバーの用途

さて、ここから実際にどんなアプリケーションがあるのかということで、ビデオをご覧くださいと思います。(テレビ映像上映)

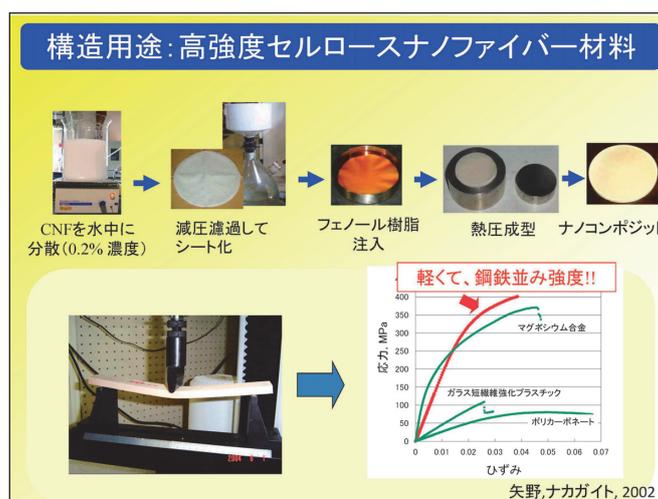


図-23

〈図-23〉 今のビデオの内容について少し説明させていただきたいのですが、まず構造用途ということで、これから皆様のお席に回しますものがセルロースナノファイバーです。1%、正確に言いますと0.65%ぐらいで、残りは水です。こんなドロツとしたくず湯のようなものが、パルプ、紙をほぐすとできます。パルプが100%これになります。途中でなくなるものはありません。そういったものを大量の水の中に分散させてシートに仕上げ、そして樹脂を染み込ませて何枚か重ねて熱圧成型する。そうしてできたコンポジットがこんなようなものですが(右上)、実際に曲げ強度試験をやりますと400MPaぐらいでポキッと折れるのです。マグネシウム合金が密度1.8ぐらいでほぼ同じぐらいの強度です。鋼鉄も先ほどお話がありましたが、強度が300~400MPaぐらいがハイテンだと。セルロースナノ材料の密度は1.4ぐらいですので、実際に植物、紙を原料として鋼鉄並みの強度の材料をその5分の1の軽さでつくることができるというのが、このデータです。

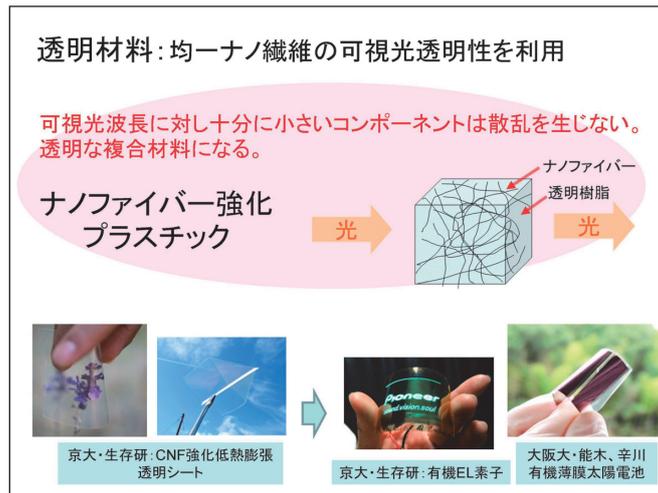


図-24

〈図-24〉 そしてもう一つは透明材料です。何で透明になるのかという話があります。実は可視光の波長、私たちがいま見ている光というのは、400~800nm という波長を持ったものが赤橙黄緑青藍紫というスペクトラム（波長分布）であるわけです。そういった400~800nmの波にとっては、50nmとか40nmの構造体というのは見えないのです。そのまま光の波は通り越してしまうということで、散乱を生じない。従って透明のプラスチックの中にナノファイバーがしっかり入っても、そのまま透明性が保たれる。透明なFRP（Fiber Reinforced Plastics、繊維強化プラスチック）をつくることのできるわけです。



図-25

〈図-25〉 私たちは、セルロースナノファイバーを使って低熱膨張、ガラス並みに熱膨張の小さい、しかも折り畳めたり曲げたりすることができるフィルムを作りました。

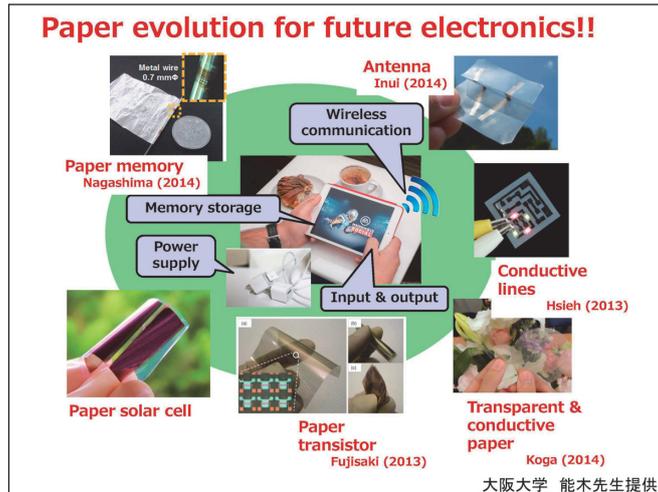


図-26

〈図-26〉 実際に有機 EL を光らせてみたり、あるいは大阪大学の能木先生はこれを使って有機薄膜の太陽電池をつくっています。木材から人間がくれなかったものをつくることができました。鋼鉄のように強く、ガラスのように熱膨張が小さくて、プラスチックのようにフレキシブルな透明材料です。能木先生はいろいろなどころでの利用について、この材料を使って検討しています。アンテナをつくりました、トランジスタをつくりました、先ほどの有機薄膜の太陽電池、最近ではメモリーまでもつくってしまった。この図は、将来的にはタブレットが全部セルロースナノファイバーでできるんだということを示しています。



図-27

〈図-27〉 これが産業にとってうれしいのは、曲げられて透明で熱膨張が小さい点です。こういう材料になりますと、実はディスプレイをつくる際に、今は大型の厚さ 0.7mm ぐらいのガラスの板を持ってきて真空蒸着してトランジスタとかを載せていくわけですが、投資の初期コストがすごくかかってしまうのです。シャープはそれによって非常に厳しい状況に追い込まれてしまったわけですが、この材料を使いますと、Roll to Roll というのですが、サララップみたいな

透明なフィルムを巻いた、しかもサランラップに比べて全然熱による伸び縮みが小さいフィルムのロールからピューッと引っ張ってきて、この部分だけにいろいろな回路を印刷してやる。で、チョンチョンと切って電気をつなぐとディスプレイになるよという、そういう製造システムに変わるわけです。

自動車もつくれる、いろいろな電子デバイスもつくれる。私は先週 MRS という材料関係の学会でボストンに行っていたのですが、いま、この材料はものすごく盛り上がってしまっていて、一番のターゲットはキャパシタ、スーパーキャパシタ、あるいはリチウム電池のセパレータ、そこにセルロースナノファイバーのフィルムを使おうという研究が活発に行われています。今『Nature』とか『Science』クラスの雑誌にどんどん論文が出てきている。非常に熱い、ホットな状況になっていました。



図-28

〈図-28〉 透明材料に加えてもう一つ面白いアプリケーションを紹介します（映像上映）。今度はものすごく柔らかな話になりますが、何をやっているかといいますと、ソフトクリームです。35℃の部屋の中に置きました。右は、セルロースナノファイバーを0.1%だけ入れたもの。先ほどお話ししたドロツとした液体は0.7%ぐらいですから、あれをさらに7倍に希釈したぐらいのレベルでソフトクリームに入れました。左のものは何も入っていません。35℃の部屋に置かれたら普通は何が起こるかといえば、溶けますよね。ご覧ください。今ヨーイドンでストップウォッチが回っています。3分経ちました、4分経ちました。5分、6分ぐらい経ちますと左側の普通のソフトクリームはポタポタ垂れてくる。もちろん35℃の部屋で溶けないソフトクリームなんてないわけですよね。ところが右側のソフトクリームは全然形が変わりません。今ポタッと落ちました。19分です。3倍長持ち。

35℃の部屋の中で、もちろん氷は溶けているんです。溶けているのですが、ナノファイバーのネットワークがそれを抱き込んで形を保つのです。セルロースナノファイバーにはそういう保形性があります。そうすることによって垂れ落ちないソフトクリームが開発されています。



図-29

〈図-29〉 こういった食品系でのアプリケーション、それから電子デバイス、パワーデバイス、自動車。セルロースナノファイバーというのはいま、いろいろなところでその利用について検討されています。

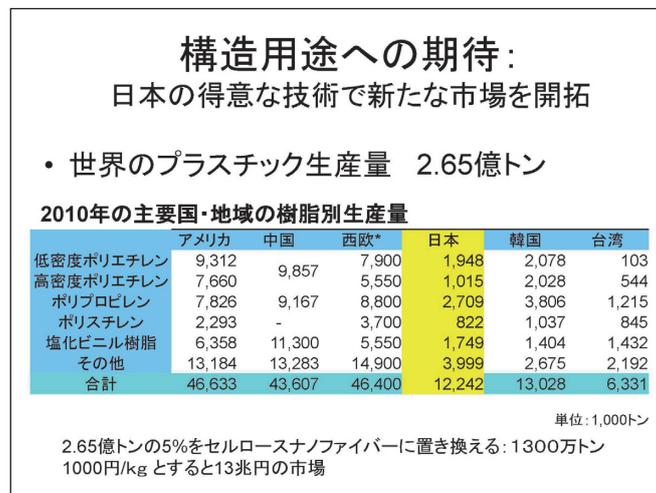


図-30

〈図-30〉 そういったものの中でも私が一番力を入れているのは、構造用途への展開です。日本の得意な技術で新たな市場を開拓したいと思っているわけです。ターゲットはいわゆる普通の汎用性プラスチック、あるいはエンジニアリングプラスチック。そういったものにセルロースナノファイバーを5~10%ぐらい入れて、プラスチックの強度あるいは剛性を2倍、3倍に上げたいと思っています。

いま世界のプラスチック生産量は約 2.7 億トンあると言われていますが、その 5%をセルロースナノファイバーに置き換えますと、たぶん 13 兆円ぐらいのマーケットがあるだろうと期待されています。

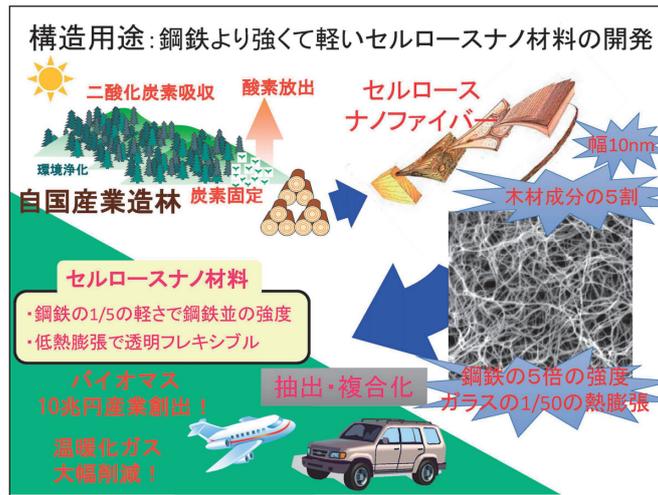


図-31

〈図-31〉 日本の資源でセルロースナノファイバーを複合したプラスチック材料をつくって、それで自動車、あるいは将来は飛行機の、さすがに翼は無理だとしても、その内装部分に使ってどんどん軽量化を図っていこうということで、私どもの研究室は構造用途へのセルロースナノファイバーの展開にもものすごく力を入れています。いま NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) のほうから大きな研究費を頂きまして、30 人ぐらいの研究員が私どもの研究室を集中研として、日夜この技術開発に取り組んでいます。

■ CNF を取り巻く国内外の状況

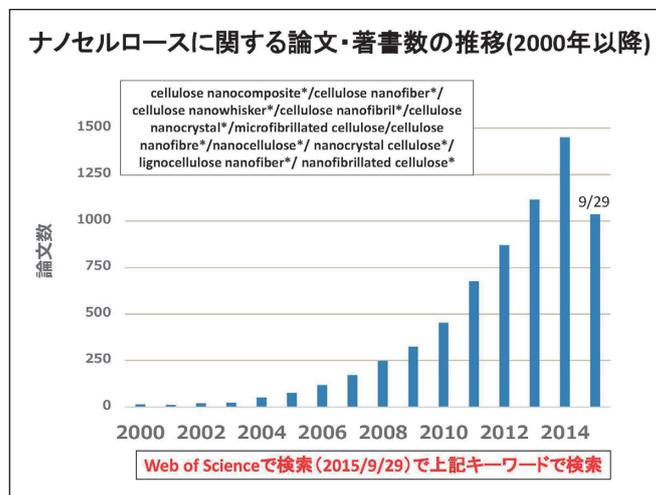


図-32

〈図-32〉 さて、セルロースナノファイバーの研究というのはもちろん私たちだけがやっているわけではなく、いま世界中で活発に研究が行われています。私たちが最初にセルロースナノファイバーに触りだしたときが 1999 年あるいは 2000 年ぐらいだったのですが、今から振り返りますとその当時、そういう研究をしていた研究グループというのは世界で私たちも入れて 3 つぐらいでした。そこからグーッと数が増えてきてまして、2014 年の段階で発表された論文・著書と

いうのは 1400 ぐらい。2015 年は 9 月の段階で 1000 です。もうおそらく 1700~1800 ぐらいは行くだろうと。急激にこの分野、研究が活発化しています。

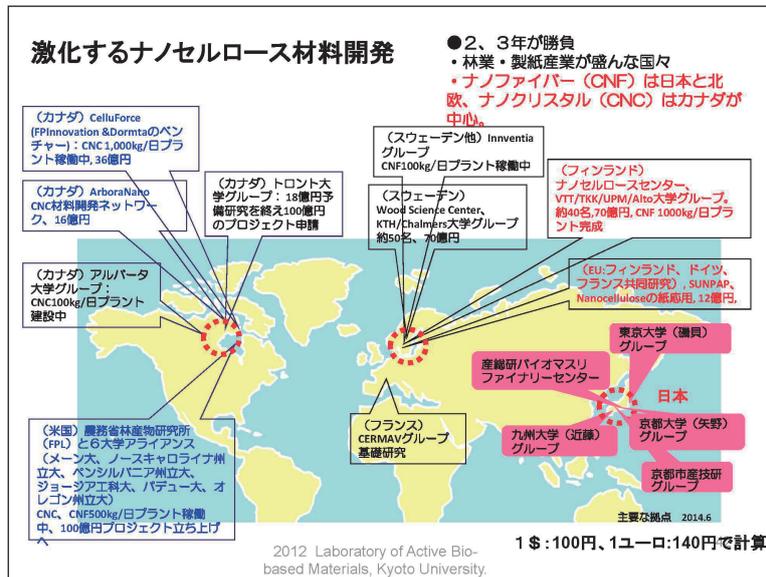


図-33

〈図-33〉 中心は北米、北欧、そして日本です。北米と北欧は森林資源が豊富な地域です。そして紙パルプ産業が国の基幹産業になっている国です。そういった国で、紙を普通につくっていたのではもうやっていけない。次の世代として産業をどうしていくのだというときに、このセルロースナノファイバーという材料に注目して、何十億というお金を投入した研究をしているわけです。

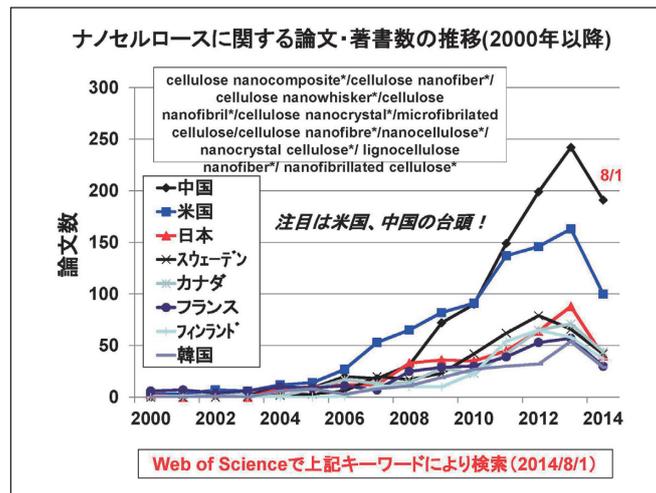


図-34

〈図-34〉 論文数を国別に調べてみたら、ちょっとびっくりしました。ずーっと毎年毎年数は増えてくるのですが、一番増えているこの黒い線は中国なのです。次にアメリカです。中国に至っては、2000年代前半はそういう材料研究はほとんどされていなかったのですが、この研究は今ではもうすごい勢いで行われていますし、アメリカにも大きな研究費が投入されています。

ナノセルロース国際標準化の動向

- 2011年6月にカナダ、フィンランド、米国、日本などが参加してワシントンでワークショップ。
- 2011年11月のTC229会議(ヨハネスブルグ)において、北米紙パルプ技術協会(TAPPI)を通じて共同提案。
- 2012年6月、イタリアでの会議で命名法と試験法についてプレゼン。
- 国際標準化はTC229に従い、ナノセルロースに関して、
1)命名法、2)計測、3)安全性、4)商品規格について議論。
- 計測、安全性については、カナダ、フィンランドが先行。
- 2014年:ナノセルロースフォーラムに国際標準化分科会を設立
- 2015年:日本からDraftを提出。

図-35

〈図-35〉 川上側である製紙産業が、このセルロースナノファイバーをつくってどんどん川中へ流していこうという動きが今あります。そうなりますとやはり国際標準化が重要になってきます。そこで、現在世界で、特に北欧、北米、そして日本を中心として、この国際標準化に関する議論が進んでいます。日本は実は少し出遅れたのですが、経済産業省のリードによってナノセルロースフォーラムの中に国際標準化分科会ができて、今年日本から初めてドラフトを提出することができました。

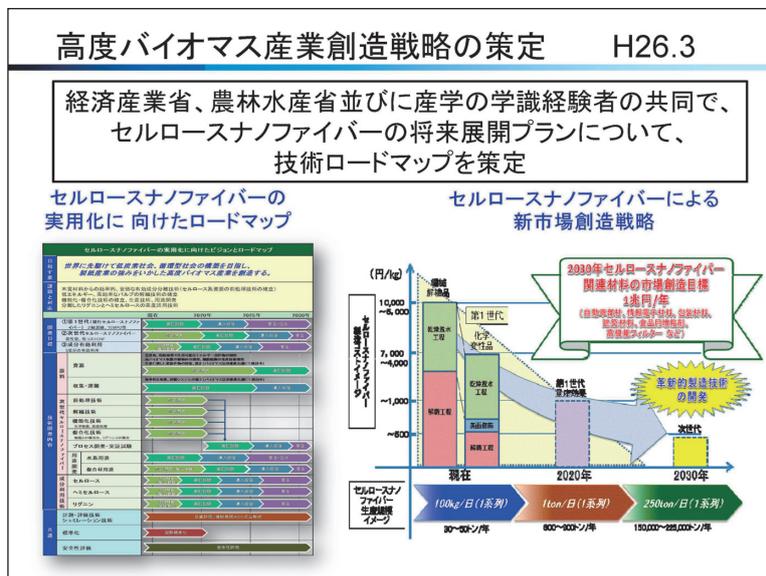


図-36

〈図-36〉 国の支援ということで話をしたいのですが、最初にロードマップが2014年の3月に策定されました。将来的にコストをずーっと下げていって、マーケットを育てるんだという話がありました。

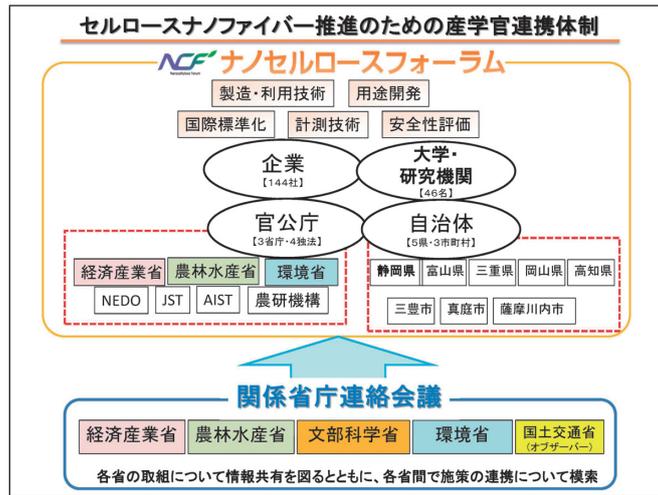


図-40

〈図-40〉 そしてそれを支援する体制としまして、ナノセルロース関係省庁連絡会議が 2014 年の 8 月に発足しました。そこは一番川上が農水省、そして川中のものをつくるところが経産省、実際に社会実証、社会実装をする部分が環境省、基礎的な研究は文部科学省、建築用途等への展開ということで国交省がオブザーバーで入るといような、日本の省庁の力関係の中ではあまりあり得ないことが起こりました。横串が一つ通ってみんなで情報共有を図るとともに、施策の連携についての相談をしましょうと。それによってこのフォーラムを支援していこうという体制ができました。2014 年の 8 月のことです。

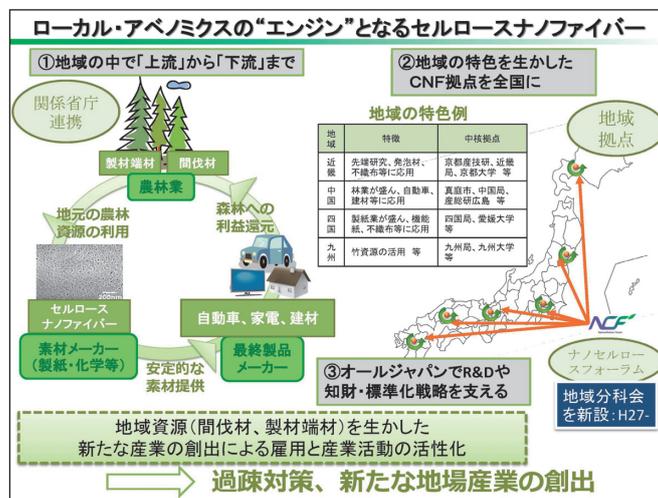


図-41

〈図-41〉 その後それが今、地域地域にどんどん展開されています。近畿経済産業局が部素材産業—CNF 研究会を 2014 年の 11 月に発足させました。静岡は 2015 年の 6 月だったと思いますが、ふじのくに CNF フォーラムを静岡県知事がヘッドになって立ち上げました。今さらに熱いのは四国です。四国は「紙国」ということで、愛媛、高知は昔から紙産業が盛んな地域ですが、そこで新しい産業を起こそうじゃないかと。四国全体で考えれば森林資源は豊富ですし、紙産業は盛んですし、先端的な素材をつくっていく企業としては帝人などもあるわけですから、みんな

が連携することによって新しい産業を起こせるのではないかということです。さらには九州です。そんなことで今どんどんどんどん、地域地域へとナノセルロースに関する動きというのは広がってきています。

「日本再興戦略」改訂2015

テーマ4: 世界を惹きつける地域資源で稼ぐ地域社会の実現
 テーマ4-①世界に冠たる高品質な農林水産物・食品を生み出す豊かな農山漁村社会

林業の成長産業化

- 木質バイオマスについて、本年4月から固定価格買取制度において小規模(2,000kW未満)で未利用間伐材等を活用した木質バイオマス発電の調達価格区分を新設したことを踏まえ、地域密着型の小規模発電や熱利用との組合せ等によるエネルギー利用や、セルロースナノファイバーの国際標準化に向けた研究開発を進めつつマテリアル利用への取組を推進する。

図-42

〈図-42〉 そして今年、『「日本再興戦略」改訂 2015』にもセルロースナノファイバーの研究開発の促進がもう一度明記されました。

日本の人工林ではセルロースナノファイバーが毎年1500万トン増えています。

我が国では人工林の蓄積量が毎年7500万m³増加しています。スギ、ヒノキ中心の木材1m³の重量を約400kgとすると、その半分はセルロースナノファイバーなので、人工林で毎年1500万トンのセルロースナノファイバーが蓄積していることになります。それは我が国における年間プラスチック消費量の約1.5倍の量に匹敵します。固定価格買取(FIT)制度でのバイオマス使用量は年間500万m³で増加量から見て影響は小さいといえます。

年	天然林・その他	人工林	合計
昭和41	1,329	558	1,887
昭和51	1,388	798	2,186
昭和61	1,361	1,502	2,863
平成7	1,892	1,591	3,483
平成14	2,338	1,702	4,040
平成19	2,651	1,780	4,431
平成24	3,042	1,859	4,901

5年間で 3.8億m³

出展: 林野庁 森林資源の状況、平成24年3月

図-43

〈図-43〉 少しまとめたのですが、日本の人工林では毎年 1500 万トンずつセルロースナノファイバーが増えています。先ほど言いましたように、人工林は使っているけれども 7500 万 m³ ずつ増えているのです。これはセルロースナノファイバーの量として、1500 万トンあります。1500 万トン増え続けています。どういう量かといいますと、1 年間にわが国が消費するプラスチックの量というのは 1000 万トンです。その 1.5 倍の量が、この軽くて高強度で熱による伸び縮みが小さく、場合によっては食べてもいいセルロースナノファイバーとしてあります。ミカンの房に含まれています。セロリ、レタス、みんなセルロースナノファイバーでできています。筍はセルロースナノファイバーと蛋白質、でんぷんでできたものですが、それを皆さん食べています。

24

そういう食料として食べているもの、あるいは構造用途に使えるもの、そういったセルロースナノファイバーがこの国では毎年、年間消費するプラスチックの1.5倍の量が増えており、資源的には非常に豊富なものです。

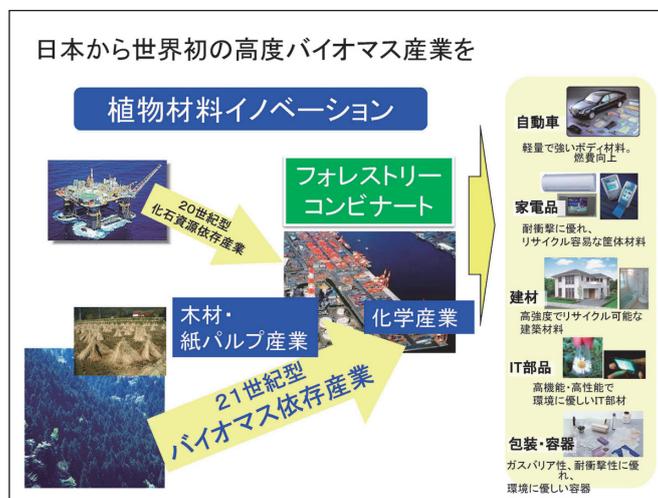


図-44

〈図-44〉 ということ将来のイメージなのですが、20世紀はこれまで化石資源依存型の産業として、遠い距離を原油をタンカーに積んで日本に持ってきて、コンビナートでナフサ等に分けていろいろなものをつくっていた。この材料がもっともっと発展していくと、将来は裏山の木を持ってきて高性能の部素材をつくり、それが自動車、家電品、建材、IT部品、包装・容器といったところに使われ、海外にどんどん輸出していくような時代が来るのではないかと考えています。

■ まとめ：未来資源としての木材



図-45

〈図-45〉 ここからまとめです。実は人間性あふれる文明の創造がこの財団の趣旨である、狙いであるという話を最初にさせていただきましたが、この材料がそういうものとどう関わってくるのだろうということを、少し説明させていただきたいと思います。未来の資源として木材をどう考えるか、ということです。

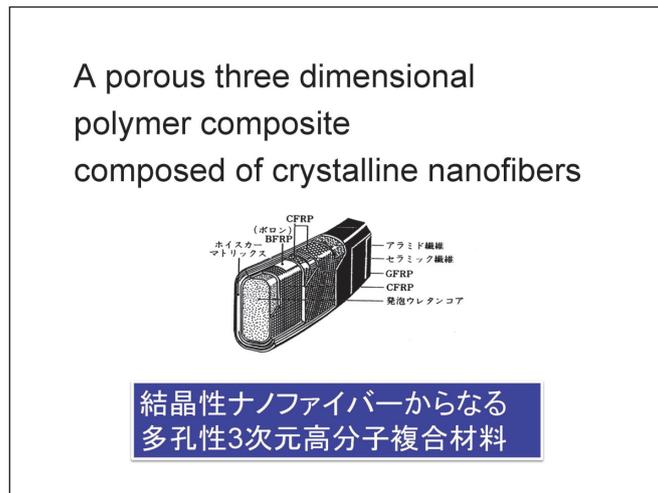


図-46

〈図-46〉 「A porous three dimensional polymer composite composed of crystalline nanofibers」という言葉があります。日本語に訳しますと「結晶性のナノファイバーからなる多孔性 3 次元高分子複合体」。テニスのラケットなんかはその一番いい例なのですが、ただ、ナノのファイバーではありません、炭素繊維ですから普通のマイクロファイバーですけど、そういったものからそのような構造をつくってテニスのラケット、ゴルフのシャフト、そんなものができるわけです。それがもっと将来進化して発展していくとどうなるかということ、ナノ繊維からできた多孔性の 3 次元の高分子複合材料になっていくだろう。もうむちゃくちゃ先端的な材料の形です。porous で three dimensional なポリマー材料、しかもそれは結晶性のナノ繊維で補強されている。普通聞くとものすごいことだ。そんなものを人間がつかれるのかと思うわけですが、身近にある木材がまさにそれなのです。

面白い話がありまして、Roger Rowell という先生から聞いた話です。この先生は木材の化学修飾、薬品を使っていろいろな性質を変えろということに専門にされてきている先生なのですが、あるアメリカの学会で木材の化学的な修飾について講演をするといったら、ほとんど人が集まらなかった。だけれども、porous three dimensional polymer composite composed of crystalline nanofibers の chemical modification (化学修飾) について話をするといったら、会場に人があふれるくらい集まってきた。そんな笑い話をその先生はされるのです。木材というのは実はそういう材料なのです。ものすごくポテンシャルがある。あまりに身近すぎて、私たちはその可能性を日頃あまり感じることはないのではないかと思うのです。例えば割り箸。お弁当を食べたらちょっと邪魔だからポキンと折って、その食べかすの中に入れてしまおうとか、ティッシュペーパーで鼻をかんで丸めて捨ててしまおうとか、コピー用紙でミスコピーがあったら、腹が立ったらビリビリッと破ったりする。何か紙とか木材というのは弱い存在だと思っていたんじゃないかなと思いますが、実はこれは鋼鉄の 7 倍も 8 倍も強いナノ繊維で出来上がった、しかも配向性もちゃんと制御された素晴らしい先端素材なのです。

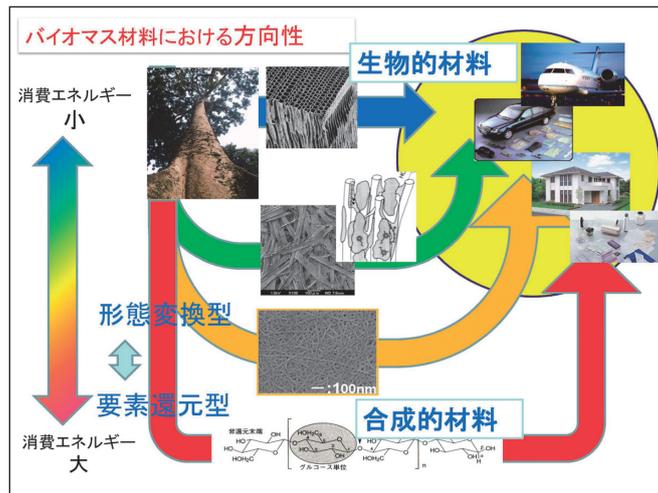


図-47

〈図-47〉 そこでこれからのバイオマス材料というのはどこに行くだろうかということ、ちょっとこの図で考えてみたいと思います。木材があります。これをブレイクダウンしていきますと、細胞からできていて、そこから鉄筋だけを取ったのが紙の原料のパルプです。それをさらにほぐしたのがナノファイバー。それをさらにほぐし、分子のレベルまでいってセルロースにして、酵素の働きで切っていってグルコースにし発酵させてエタノールにすればお酒になります。でんぷんからももちろんつくってもいいわけですが、セルロースからもエタノールをつくることのできる。エタノールができればいろいろなプラスチックができます。でもこれは何をやっているかという、エネルギーをものすごくかけてブレイクダウンをして、またエネルギーをかけて、結局できるのは今の石油由来の製品を置き換えた程度のものでしかないわけです。きょうお話したセルロースナノファイバーというのは、そこまではほぐさない。ナノファイバーで止める。結晶性のナノ繊維という形にしておいてもう一度再構築していきますと、車をつくれるようなものになります。

そうすると次は何だろうか。私はパルプだろうと思っています。世界でみんなセルロースナノファイバーの研究をやっている中で、私たちも「ナノファイバーだ、ナノファイバーだ」と言っているのですが、心の中では実はパルプを何とかしようと思っています。このほうがよりつくるエネルギーは少ないですし、素晴らしい構造をもともと樹木は作り出してくれているのです。その構造をうまく使うことが、より高性能のものをつくることにつながるのではないかと思います。

将来的にはたぶん、木材がそのまま飛行機の方法に変わる、そういう時代が来るかも知れないと思います。木造の飛行機をつくるという話をすると笑われるわけですが、でもこういった木材の構造というのを理解しますと、そういうことが起こっても決して遠い将来を考えたときには不思議ではないのではないかと、私は思っているわけです。省エネルギー的にものをつくるということは、いかにお金をかけないか、です。低コストでより高性能のものをつくるということが、これからの時代で重要になってくるだろうと思います。

■ 未来に向けて “Made in Japan” から “Made by Japanese” へ

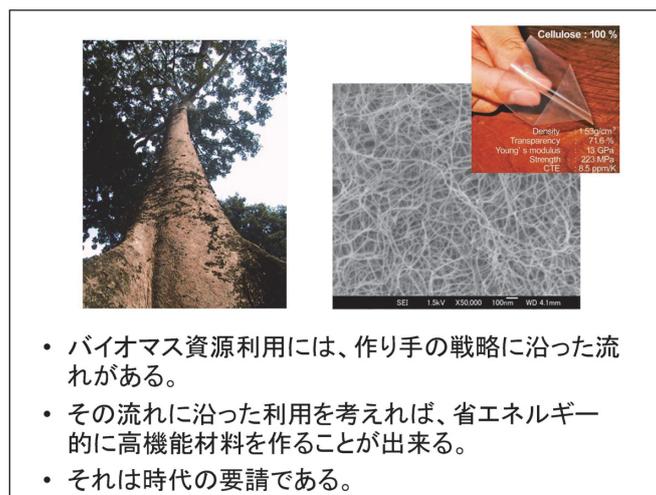


図-48

〈図-48〉 未来に向けてということで、私は「“Made in Japan” から “Made by Japanese” へ」だと思っています。それにはすごく強い思いがあります。日本でつくったというのではなくて、日本人がつくった。何かそういうものがつくれないかなと思っています。そのためには、バイオマスの利用というのは日本人に非常にうってつけなものではないかと思うのです。

例えばこんな考え方です。バイオマス資源を利用するということには、作り手の戦略に沿った流れがあります。石油由来のものとか鉄鉱石由来のものというのは、人間がつくったマンメイドなのです。ところがセルロースナノファイバーの材料を作る中で、一番難しいこのセルロースナノファイバーをつくる部分は、もう植物が何億年も前からやってくれているのです。もともと陸の上に植物が上がったのは5億年前と言われていますが、そのさらに何億年も前から、海の中でこのセルロースナノファイバーというのはつくり出されていたのです。そういうことを植物はやってきている。その戦略が必ずあるはずで、その戦略に沿ったつくり方をしないと、お金ばかりかかって大して性能の出ないものになってしまうのではないかと。

でも、その流れに沿った利用をうまくすることができれば、省エネルギー的に高機能の材料をつくることができるだろうと思っています。それはこの21世紀に求められるもの、時代の要請だろうと思うわけです。いかに省エネルギー的に高機能のものをつくっていくのかということになります。

バイオ(生物)系の材料について

- バイオという言葉が付くもの: 人知を超えた* * * *
- 生物資源を用いた材料の開発:
 - 生き物の力の借り方の研究
- "Sense of wonder of nature": 自然への驚き
- バイオテクノロジーであっても、人間は生物と同じ目線でありたい。

“Made in Japan” から “Made by Japanese” へ
「日本人の感性によるバイオマス文明の創造」



「人間性あふれる文明の創造」

図-49

〈図-49〉 その際やはり考えなければいけないことは、この4つかなと思っています。一つは、バイオという言葉が付くものというのは、人知を超えたものなのだと。まずそういうことから入ったほうがいいのではないのでしょうか。「バイオの力で」とときどきテレビのコマーシャルの中です。バイオのブリーチングだとかもありますが、ああいうものは人間ができないことを実はやってくれているから商品としてこういうふうにあるのですよ、ということですね。

そういう人知を超えたものの力を借りて材料をつくっていくというのが、生物資源を用いた材料の開発である、つまり、それは生き物の力をどうお借りするのかという、借り方の勉強がバイオ材料の開発なんだろうなと思うんですね。そのためにはやはり作り手の思いを何とか理解しようとして、植物の構造とかそういったものを明らかにしていく。

その中で“Sense of wonder of nature”、自然への驚きということが一番大事です。「こんなすごいことをやっているんだ」と。木材をただ割り箸として見るのではなくて、その構造、構造を深く深く理解していくと、やはりそこには驚きがあるのです。こんなすごいことを何億年も前から植物はやっていたんだという、そういう尊敬の念というリスペクトがありますと、やはりバイオテクノロジーといっても同じ生物として同じ目線で開発をしていくことができるだろうと思います。人間が上に立って、全て人間がコントロールするんだと思うようなことでいくと、必ずどこかで歪みが生じると思うのです。つまり、人間の都合に合わせて材料開発をし何かものをつくっていかうとすると、必ずそこには歪みを生じると思っています。バイオテクノロジーといっても人間が決して偉いわけではなくて、自然への驚き、“Sense of wonder of nature” というものを大切に、どうやったら生き物からその力をお借りすることができるのか。そういうことを一生懸命考えていくと、いつかは人知を超えた、人間の力ではつくり出せないものをつくり出すことができるのではないかと思っています。

きょう冒頭で、この財団の設立趣意書ということで少し紹介をさせていただきました。これからの社会というのは新しい発想に基づくものづくりが、あるいは社会のあり方が必要なのではないかと。私はその一つが、こういった作り手をリスペクトしてその力をお借りするんだよという考え方だと思っています。これは日本人にはわりあいしっくりくるのです。木の気持ちとか、私は tree's feelings と外国の人に言うのですが、「何だそれ」とだいたい彼らは言うのです。「木が

気持ちを持ったら、それはモンスターだろう」と言うのですが、日本人はわりあいそうは思わないですね。神社に行って大きなスギの木にしめ縄を張って、パンパンと手を叩いてお参りする。やっぱりそれは大木に対するリスペクトの念であるとか、独特な感性を持っているわけです。そういった、感性が生きたものづくりができるようになれば、日本から世界に向けて新しいものづくりのやり方と申しますか、そういった部材の加工の仕方であるとか、素材の作り方というのを提案できるのではないかと考えているのです。

それが人間性あふれる文明の創造の一部になっていくのではないかと、私はこの財団のパンフレットを頂いたときに思いました。「ああ、自分が考えていることとこの財団が目指す方向性というのは、わりあい近いところにあるな」と思いました。ただ単に車をつくり、電子デバイスをつくり、パワーデバイスをつくり出すというのではなく、そのつくるベースには“Sense of wonder of nature” があって人間の知恵を超えたものをつくりたいという思いがやはり必要でありますし、私はそうありたいなと思って研究をしています。



図-50

〈図-50〉 最後になりましたが、日本にはセルロースナノファイバーについて資源も知恵もあります。国土の7割は森林です。毎年こういった研究の成果を京都で3月に発表しております。今年は3月22日です。500~600名の方に毎年お出でいただいているのですが、今年はこの材料づくりのちょっと進化したところを皆さんにご紹介したいと思っていますので、もし関心がありお時間のある方がおられましたらご参加いただきたいと思います。ご清聴どうもありがとうございました。

【質疑応答】

参加者： たいへん興味あるお話をありがとうございました。これを使い終わったときの捨て方といいますが、例えばまた木に戻って循環していくのか、プラスチックも捨て方がいろいろ問題ですけども、廃棄の方法というのはどのようになりますか。

矢野： プラスチックでも私たちが自動車に使いたいと思っている材料は、熱可塑性の樹脂にセルロースナノファイバーを分散させた FRP（繊維強化材料）にしようと思っているのですが、これは実はマテリアルリサイクルができるのです。今の炭素繊維とかガラス繊維というのは、一度 FRP の形にしてしまってもう一回砕いて再利用しようとしても性能がどんどん落ちてくるのですが、この材料は落ちないのです。ナノの繊維が数 mm 単位のペレットに砕かれたとしても、それで壊れる部分というのはほとんどないので、もう一回それを溶かして型に打ち込んで成形ができることになります。でも最終的にはサーマルリサイクル（熱回収）ということで燃やして CO₂ に還るわけですが、もともと大気中の CO₂ を固定してできた材料ですので、それがもう一度還るのだということで、大きな目で見ればセルロースナノファイバーの部分については、大気中の CO₂ は増やさない。そういう材料だと考えています。

参加者： たいへん面白いお話をありがとうございました。硬い板にしたものは結構重いのですが、あれはつくり方からいうと普通は、セルロースはそんなに多くないですよ。フェノール樹脂を含浸させたような形になっているというふうにプロセスが出ていたと思うんですが、これでバインダー（接合剤）としてのフェノール樹脂とナノセルロースとの割合、混合比、それからなぜそれが比重が 1.6 なんていう重い値になるのか、教えてください。

矢野： 先ほどお話しした白い板は、実は 100%セルロースのナノファイバーなのです。バインダーは一切入れていません。セルロースナノファイバーが、表面にある水酸基を介して水素結合でバチッとくっ付いている。そこまでグーッと密度が上がってきますと、もともとセルロースの結晶というのは密度が 1.6 あるので普通のプラスチックよりは少し高い密度なのですが、そこまでしっかりと密着していくと、あの白い板も密度 1.5 近くになります。それであんな重いようなものになっています。

参加者： これは熱をかけてこういうふうにするのですか。

矢野： いや、普通に乾かすだけです。実はノウハウがありまして、熱をかけて乾かしていくとなかなか中の水分がうまく飛んでくれなくていろいろ変形してしまうので、冷蔵庫に入れておくのです。ナノファイバーのドロツとしたもの、お餅のような感じのドロツとしたものを冷蔵庫に 1 カ月間入れておくにあたるのです。その間、勝手に接近していきます。例えば炊飯器で炊いたお米が干からびたらガチガチになりますね。あれはそのまま水分が抜けて、でんぷんがガチガチになるからです。ああいうことがナノファイバーで起こっているのです。

今おっしゃったように、確かに密度 1.5、1.6 というのはプラスチックとしては重いわ

けです。そこで、密度が 0.92 とか 0.96 ぐらいのポリプロピレン、ポリエチレン、そういうところにセルロースナノファイバーを 1 割ぐらい入れて、密度 1 を切るぐらいの、ナイロンに入れて密度 1.05 ぐらいのものにします。それで 3 次元的な成形ができるような形にして、さらに発泡させるのです。プーッとふくらませますと、半分ぐらいの密度ですが非常に剛直な成形体にすることができます。そういった技術をいろいろ合わせていって、自動車の外板をつくりたいと思っています。

参加者： セルロースのレベルにまで持って行ってそして加工するわけですけど、どういう木がこれにいいのかという、木の種類とかそういう違いはないのかなと。それによっては、これからどういう木を植えたらいいかという話になってくるわけですよ。そのあたりを聞かせていただきたいです。

矢野： 非常にいいご質問だと思います。植物は、実はナノのレベルにまで持っていくとみんな一緒なんですね。スギが来ようがヒノキが来ようが稲藁が来ようがみんな 20~50nm で、それをシートにして強度を調べたり結晶を調べても一緒なのです。ですから何億年も前からその構造をいじっていないのです。しかし、やはりいろいろなスギがあったりヒノキがあったりするようになり、進化の過程でその高次構造、ナノの繊維をどうやってさらに木材のようなああいいう形にまで作り上げてくるかという高次の構造はバリエーションがあります。それはナノファイバーまで解繊していくときに影響します。ほぐれやすい木もあればほぐれにくい木もあります。鉄筋だけじゃなくて間に入っているコンクリートの成分も、抜けやすいものもあれば抜けにくいものもある。そういったものを眺めて、ビジネスとしてどれを使うのが一番いいのかということ、今私たちの研究室で一生懸命やっているところです。

だから最終的なナノファイバーにまでなればみんな一緒なのだけれど、そこまで持っていく、あるいは樹脂の中にうまく混ぜ込んでいくコストを考えると、原料はやはり最適なものがあるだろうということです。

参加者： たいへん面白いお話でありありがとうございました。論文数がわずか 10 年足らずで数百倍から 1000 倍近くにも増えているというのは、世界中がそれを認めてその開発に集中しているのだと思うのですが、何かそれにきっかけになるような初期のころの発見とか開発とかがあったのでしょうか。

矢野： 一つ重要な技術は、東京大学の磯貝先生が開発された、TEMPO という触媒を使ってすごく簡単にパルプをナノファイバーにまで持っていくという技術です。それが 2006 年に発表されたのです。それまではパルプを持ってきていろいろ機械的にほぐして、ナノファイバーにまでするためのエネルギーをかけてそれなりの特殊な装置がなければいけなかったのですが、TEMPO 酸化触媒という触媒さえあれば、これは普通に薬品として手に入るのですが、誰もが、家庭にあるジューサーやミキサーで、TEMPO 酸化で処理したパルプを、牛乳パックをほぐしてドロツとするようなあんな要領でガーッと攪拌すると、ナノファイバーができてしまうのです。

すると、それまでは装置を持っていないと研究できなかった人たちが、みんな TEMPO の触媒さえあればできるようになった。世界中にこの技術がワッと広まった一つはそこだと思います。ものすごくきれいなナノファイバーができます。4nm までできます。それが一つのブレイクスルーの原因だと思っています。

参加者： ナノファイバーとちょっと違うかもしれませんが、セルロースが硝酸とか銅アンモニウム液に溶けて、レーヨン等ができますよね。それで糸にはできて、もっと太い糸だと思いますけど、これは紡糸を工夫すればかなり細い糸もたぶんできえると思うんですけども、そういった可溶性セルロース成分は、レーヨンの利用とどこでくっ付いてくるのかなと。

矢野： 出来上がる繊維の太さというのが、レーヨンですとがんばってつくっても 5~10 μ m。ナノの繊維はその 1000 分の 1 になりますので、同じ重量のものを持ってきたときに比表面積はもう全然違います。そういう意味ではだいぶ違うものができるということが一つ。それと、やはり銅アンとかそういうもので一度溶かして紡糸しますので、結晶構造というのが壊れたり乱れたりするのです。セルロースナノファイバーが鋼鉄の 7 倍も 8 倍も強い理由というのは、このグルコースでできたセルロースという分子鎖がピーンと伸びて、お互い水素結合で結晶をつくっている。伸びきり鎖結晶というのですが、その結晶構造があるゆえに軽くて強いのです。だから一度銅アンモニアレーヨンや何かで溶かしてもう一回紡糸しますと、そういう構造というのが壊れてしまうのですね。そこでなかなかそれだけの強度のものが出ない。その 2 つの理由だと思います。

参加者： 文系の私でもすごく興味深いお話だと思って熱心に聞かせていただきました。先ほど回ってきた板の場合ですと、例えばミカンの房とか分かりやすい素材でいうと、どのぐらいの量を使うとあのぐらいの大きさのものができるのでしょうか。

矢野： 例えば木材から話をしますと、木材が 1kg ありますとパルプはだいたい 500g 作れます。リグニンやヘミセルロースを溶かし出して出てきたときというのは、だいたい収率が 50% です。これを機械的にほぐしたりしていきますとナノファイバーになるわけですが、500g はそのまま 500g になります。その間での量の減少というのはありません。しかしながら、ミカンの房とかそういうものは、セルロース以外のペクチンだとかをいっぱい含んでいます。そういうものをきれいに取り除いて行ってナノファイバーだけにしなければなりません。その過程で、だいたい収率が 20% くらいに落ちてきてしまいます。ただ、せっかくもともと食品であったものですから、そういったペクチンや何かも上手に使って、食べ物の中だとか化粧品の中だとかそういうところに入れていくということを考えますと、それほど大きな減少はなく使えるのではないかなと思います。

ちょっと余談なのですが、いま化粧品の話が出ましたので一つご紹介したいのですが、先月『日経トレンドィ』という雑誌があって、そこが来年の注目商品・アイテムトップ 10 を発表しました。その第 4 位がナノセルロースコスメでした。化粧品の中にセルロー

スナノファイバーが入っていくと、非常にみずみずしく、いつまでも保水性が高い。先ほどお話ししたのは 0.7% ぐらいですし、つくり方によってはもっと少ない量でああいうプルプル感が出せますから、そういったものが来年は来るだろうと、『日経トレンディ』でも取り上げられるようになった、そういう材料です。

参加者： たいへん素晴らしい講演をありがとうございました。一つだけご質問させてください。素晴らしい目標はいろいろお聞きして感動しておりますけれども、途中で出てきた、実用化に向けて一番大きな障壁というのはどういうものかを教えていただければと思います。

矢野： 出口はさまざまです。化粧品に使うのか食品に使うのか、構造用途に行くのか、電子デバイスの透明材料なのか、あるいはパワーデバイスなのか。やっぱりそれぞれに応じてハードルというのはいくつかあります。そのうちの 2 つだけちょっと説明させていただきますと、一つは、食品・化粧品への添加ということに関して、安全性の問題があります。ナノ材料というのはいま、社会的にその安全性についていろいろ言われることがあります。カーボンナノチューブであるとかそういうものが本当に安全かという話ではありますが、やはりそこをしっかりと明らかにしていかなないと、食品とか化粧品添加というのは難しいかなと。これはいろいろ研究が行われています。それから、構造用途への展開というのは、2.7 億トンのマーケットがプラスチックであるともしました。そのうちの 5% をこれに置き換えれば 13 兆円だという話をしました。非常に大きなマーケットです。ところがそういうマーケットというのはいかに低コストでハイパフォーマンスなものを提供してくれるかということを目指すわけです。ですから、パルプというのは実は 50 円/kg なのですが、先ほどもお話したようなああいうドロツとしたナノファイバーまでもっていきますと、つくり方にもよりますが今は 4000~5000 円/kg してしまうのです。せっかくあそこまでの構造が 50 円でできているのに、5000 円になってしまうと途端に炭素繊維、アラミド繊維と勝負しなければいけないということになって、非常にハードルの高いものになってしまいます。そこで私たちが開発している技術というのは、先ほどもパルプの話をしたのですが、パルプはナノファイバーの集合体です。これをプラスチックと練って、練っている間にパルプがほぐれてナノファイバーになってプラスチックの中に混ざるという技術を開発しました。それでようやく、プラスチックに混ぜた状態で、従来のいろいろな添加剤を入れているプラスチックと変わらないぐらいの値段でつくれるようになりました。そういう技術をさらに上げていかなければいけないというハードルは、実用化に向けてはあります。

■ このレポートは平成 27 年 12 月 7 日コートヤード・マリオット銀座東武ホテルにおいて行われた、第 136 回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。本田財団のホームページにも掲載されております。

講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得てください。

発行所 公益財団法人 **本田財団**
104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル
Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103
<http://www.hondafoundation.jp>
発行者 山本雅貴