

## 2.2 繊維（ファイバー）分野

7回シリーズの第二回目となる「繊維（ファイバー）分野」の講演会・見学会を2008年2月15日（金）に実施した。午前に講演会を東京商工会議所（東京都千代田区）で開催、午後に「テイジン未来スタジオ（東京都千代田区）」および東京ビッグサイト（東京都江東区）で開催中の「nanotech 2008」を訪問した。

表 2.2.1 繊維（ファイバー）分野講演プログラム

項目	内容
政策説明	「我が国繊維産業の動向について」 経済産業省製造産業局繊維課 課長補佐 桜井 孝史氏
講演 1	「ナノファイバーで世界を駆ける」 東京工業大学大学院理工学研究科有機・高分子物質専攻 教授 谷岡 明彦氏
講演 2	「ナノテクノロジーの繊維分野への応用」 帝人ファイバー株式会社取締役研究開発部門長 飯室 弘之氏
講演 3	「PAN系炭素繊維の現状と将来」 東レ株式会社ACM技術部航空・宇宙技術室 室長 京野 哲幸氏
講演 4	「繊維系産業の今後の展開」 社団法人化学繊維技術改善研究委員会所属、 信州大学・京都工芸繊維大学 特任教授 山崎 義一氏

### < 本分野の狙い・特徴 >

- ・繊維（ファイバー）分野最先端研究開発の理解：  
「ナノファイバー」をキーワードにした研究開発が、様々な分野を支える基盤であるという現状と今後について理解を深める。
- ・繊維産業における技術開発の理解：  
天然素材に学びながら日々進歩を続けてきた合成繊維産業の技術開発事例や近年急速な需要拡大が進んでいる炭素繊維複合材料の開発の現状の説明を通して、世界における日本の繊維（ファイバー）分野の技術的優位性についての理解を深める。
- ・繊維産業の今後についての理解：  
繊維産業の今後の発展について、自動車・電子・情報・バイオなどの重要・先端産業との関わりから理解を深める。
- ・繊維（ファイバー）分野の最先端技術・製品の見学：  
最先端技術による製品を実際に見て触れることができる展示会場を訪問し、日本の技術力の高さを実感する。

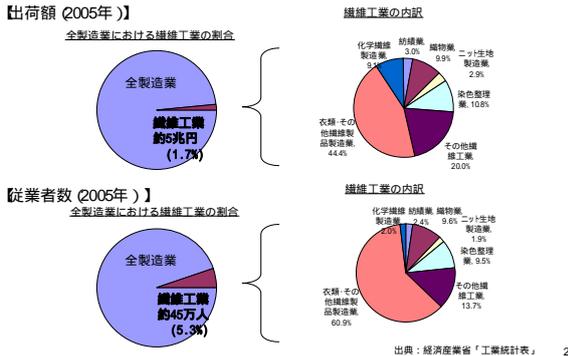
## 2.2.1 繊維（ファイバー）分野講演会

# 我が国繊維産業の動向について

経済産業省製造産業局繊維課

桜井 孝史 課長補佐

### 繊維産業の出荷額、従業者数



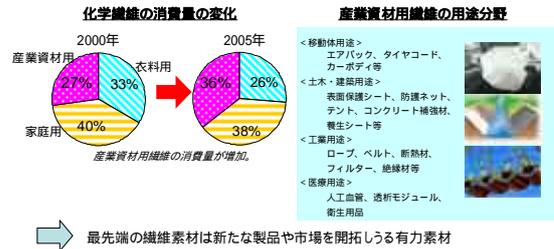
2005年の日本の繊維工業の出荷額は、約5兆円で、全製造業における比率では1.7%、従業者数は約45万人で5.3%を占める。従業者数の割には出荷額が少ない産業であることが特徴。出荷額の中身は「衣類・その他繊維製品製造業」が約44.4%を占め、糸を作る「化学繊維製造業」は9.1%である。また、従業者数は、「衣類・その他繊維製品製造業」では非常に人数が多く60.9%を占め、「化学繊維製造業」の従業者数は約2.0%しかない。「化学繊維製造業」の従業者数は少ないが大手企業が多く、出荷額としては大きな割合を占めている。

### 産業資材用途で拡大する化学繊維

化学繊維の消費量では、産業資材用繊維が拡大しており、2000年の27%から2005年には36%まで増加した。代表的な用途は、車のエアバッグ、河川での保護シートや防護ネット、工業用ロープなど。産業資材用途の化学繊維は、高強度、軽量、高耐熱など非常に高性能・高機能化しており、新たな製品や市場を開拓する期待が高い素材だ。中でも、炭素繊維とアラミド繊維は非常に高機能な繊維として材料革命を担うと期待されている。

### 産業資材用繊維の用途拡大

アジア諸国の追い上げ等により衣料分野の生産規模が縮小する中で、我が国繊維技術は、量産型衣料用途を対象としたものから、様々な技術革新を重ね、高機能衣料や生活資材・産業用途を中心に多くの製品・部材を提供している。



### 材料革命を担うハイテク産業、高次加工産業



炭素繊維は、ボーイング社のB777に重量比で半分使用され、軽量化により20%の燃費向上に寄与している。炭素繊維は、日本の企業3社で約7割の世界シェアを持っており、極めて国際競争力の強い素材であるとともに、年十数%の伸びで成長している重要な素材だ。アラミド繊維は、防火服や防弾チョッキ、タイヤの補強材に使われ、これも日本の企業グループで44%と世界シェアの半分近くを占め、やはり極めて高い国際競争力を持っている。

# 環境に貢献する化学繊維

## 環境調和型ライフスタイル・経済活動の担い手



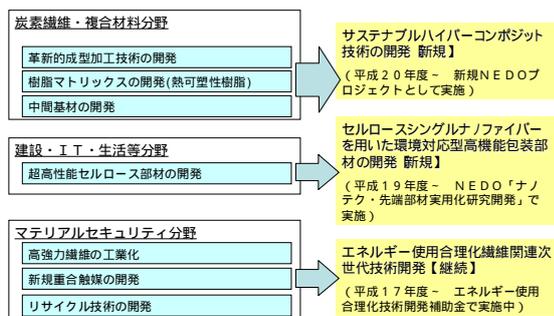
近年は人口増加の影響もあって世界的な水不足が深刻化しており、水資源が非常に重要になってきている。2000年の世界人口は60億人だが2025年には79億人に達すると推計され、必要な水は2000年の3,973兆リットルから2025年には5,235兆リットルになるといわれている。安全な飲み水にアクセスできることも含めて、将来的にはかなり水に対する重要度が増してくると考えられる。

そうした水不足が深刻な国・地域への支援という意味で、日本の最先端技術を駆使した中空系型の逆浸透膜を使った、海水を淡水化する設備が、中東を中心に実際に設置されてきている。

## 技術開発を支援するプロジェクト

2006年、経済産業省では炭素繊維・複合材料分野、建設・IT・生活等分野、マテリアルセキュリティ分野の3つの分野からなるファイバー分野の技術戦略マップを作り、いろいろな技術開発テーマで活動している。

### 技術戦略マップに基づく技術開発支援



## 新規技術開発プロジェクトの立ち上げ

**サステナブルハイパーコンポジット技術の開発**

研究開発期間 平成20～24年度(5年間)  
平成20年度要求額 3.2億円(新規)  
(NEDO交付金/委託)

**研究開発の背景**

高機能炭素繊維は、世界をリードする我が国の国家戦略物質であり、高付加価値な素材の開発は我が国の競争力維持に寄与。自動車などの運輸部門等で消費されるエネルギーの大幅低減を図るには、大量生産される一般大衆車に炭素繊維を普及させることが必要。本素材を大量生産に用いるためには、炭素繊維複合材料の加工の迅速性を上げるなどのプレイクスルーが必要。

**期待される効果**

自動車部材の軽量化による、重量の大幅な引き下げ。

**プロジェクトの概要**

加工の迅速性やリサイクル性が向上する新たな炭素繊維複合材料(サステナブルハイパーコンポジット)を開発  
炭素繊維と熱可塑性樹脂による中間基材の開発  
熱可塑性CFRP(炭素繊維複合材料)加工技術の開発

このため、現在航空機等に使用される熱硬化性炭素繊維複合材料とは異なる新たな技術開発が必要となる。

例えば、建設・IT・生活等の分野では、「セルロースシングルナノファイバーを用いた環境対応型高機能包装部材の開発」が、NEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)の「ナノテク・先端部材実用化研究開発」平成19年度下期公募において採択され、東京大学を中心に既に研究を実施している。

炭素繊維・複合材料分野では、「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」がある。炭素繊維をつなぐマトリックスとしてはエポキシ樹脂のような熱硬化性樹脂が用いられる。比強度、比剛性が高いという利点はあるが、成形時間が長い(加工しにくい)、一度硬化すると容易には樹脂と繊維を分離できないため、リサイクルが難しいなどの欠点をもつ。また成形品が大変高価になる事から、これまでは大衆車には不向きであった。そこで、マトリックスを成形時間が短く、リサイクルし易く、尚且つ成形品が安価な熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料を開発し、一般大衆車用材料として、軽量化による燃費改善効果が極めて高いものを目指している。

このように、今後とも高機能繊維等の開発は極めて重要であり、その成果は繊維の分野だけにとどまらず、日本の技術力全体の強化にも貢献するものである。

# ナノファイバーで世界を駆ける

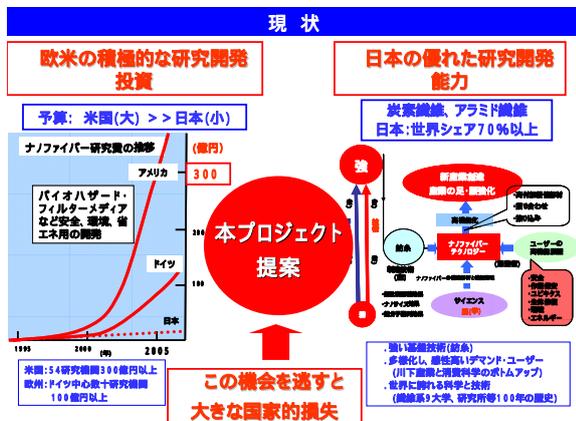
東京工業大学大学院理工学研究科有機・高分子物質専攻  
谷岡 明彦 教授

NEDO ( (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構) では「先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発」プロジェクト、即ち「ナノファイバー」プロジェクトを進めている。ナノファイバーでイノベーションをもたらし、新しい産業を興そうというものだ。

## ナノファイバーがもたらすイノベーションと大変革



耐熱性・防炎性の消防服、高強度繊維を利用したロープ、炭素繊維を採用した飛行機、撥水性に優れた繊維を利用した防護服、高性能のフィルター等、衣服だけではなくいろいろなところにファイバーが応用されている。



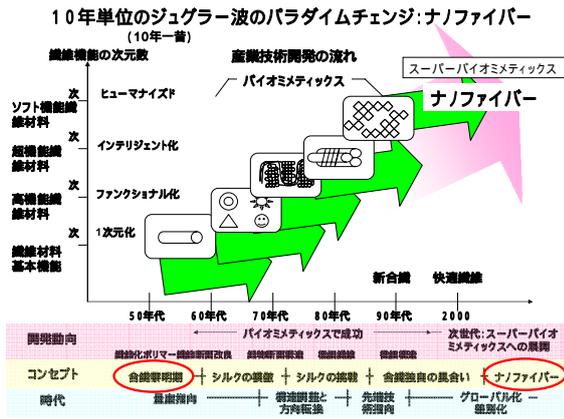
繊維産業は、もう斜陽産業だと思われがちだが、ファイバーは最先端の技術開発が行われ、米国は年

間約300億円をナノファイバー、繊維関係に研究投資している。日本の研究投資額はまだまだ多くないが、炭素繊維やアラミド繊維の研究開発はすでに相当強い。この機会を逃さぬよう、ナノファイバープロジェクトが始まった。

米国のMITや英国のケンブリッジ大学などでは、繊維の研究が盛んに行われている。MITでは、兵員ナノテクノロジー研究所を立ち上げ、兵員の服や装備の重さを半分に軽量化する目的でナノテクノロジーを使い始めている。

ケンブリッジ大学では、カーボンナノチューブの長繊維を数キロメートルにわたってダイレクトに紡糸できる技術を開発し、航空機、ロケット、ロボット、自動車にも使おうと考えている。このように世界のトップランキングの大学が最先端の繊維の研究を始めているのだ。これが、非常に重要なことで、今後、世界中に広がっていくだろう。

# 様々な分野でのナノファイバーの応用



美容、生命科学、再生医療、防護服、フィルター、センサー、光電子デバイスなど、新しい分野にどんどんナノファイバーを使っていく動きがある。

合成繊維ができたのは今から70~80年前で、その後、繊維技術は発展してきて様々な新しい繊維が開発されてきた。繊維では10年に1回新しいことが起こるといわれるが、現在のナノファイバー技術の展開は100年に1回くらいの規模の新しい動きが起きていることを、実感させられる。ナノファイバーがあって、その先にはスーパーバイオメテックスがあるといわれている。

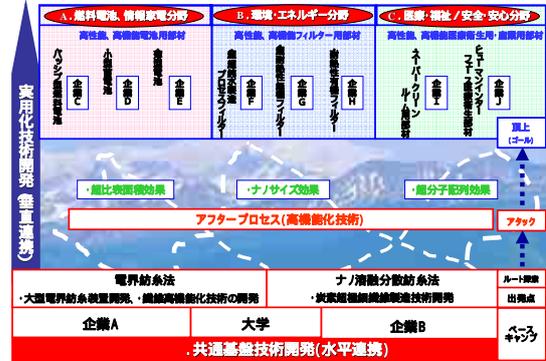
日本人はけっして物真似ではなく、たくさんの独創性のあるものを開発してきた。これまでも繊維の世界には数多くの独創性があったのだから、自信をもって研究開発を進め、「日本発の独創性」を進めていくことが大事だ。



ナノファイバーは、比表面積が大きい、ナノサイズ効果がある、超分子配列効果があるといった特徴がある。このような他にはない効果を用いて、例えば再生医療、電子デバイスのキャパシタ、ウェアラブルエレクトロニクス、燃料電池、防護服に使う。

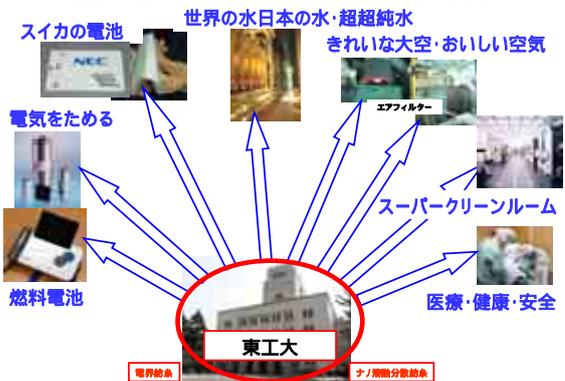
このような新しいことが繊維の世界で可能になると考えている。

# ナノファイバープロジェクトと東京工業大学の取組み



ナノファイバープロジェクトは大学の中に、電界紡糸法、ナノ溶融分散紡糸法という基盤技術を置いて、その上に実用化技術開発として、高性能・高機能電池、高性能・高機能フィルター、高性能・高機能の産業用及び医療用部材などを作るというもの。要するに、をベースキャンプにしての三つのヒマラヤの山頂を極めようというものだ。

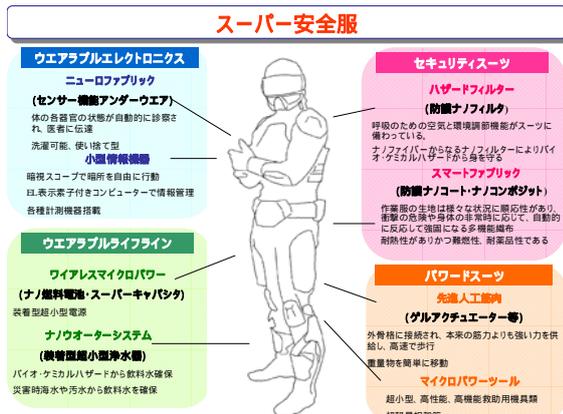
# 東工大発のナノファイバーはここに使う！



東京工業大学では、燃料電池、電気を貯めるスーパーパワーキャパシタ、Suicaの電池と呼ぶ有機ラジカル電池(Suicaのカードの中に電池を入れて、駅の改札口でも充電できる電池)、超超純水やきれいな空気を作るためのフィルターを開発している。さらに、スーパークリーンルーム用のナノファイバー材料の開発や医療、健康、安全へのナノファイバーの応用も考えている。

人間の顔にも、簡単に繊維をぐるりとコーティングできる技術を開発した。凹凸のところに直接コー

ティングできると、手袋や靴下を型にあわせて直接製造できるようになる。



セキュリティスーツやパワードスーツなどのスーパー安全服の開発も行っている。ウェアラブルエレクトロニクス、ウェアラブルライフラインにナノファイバーが用いられ、開発されていくのである。

セキュリティスーツは要するに防護服なので、安全性、耐熱性が高いといった特徴がある。パワードスーツには、人工筋肉を埋めこむことにより、重量物を簡単に移動できることが可能となる機能を持たせることができる。ウェアラブルエレクトロニクスは、衣服の中に様々なエレクトロニクス機能を埋めこむことが可能となる。それから、ウェアラブルライフラインは、燃料電池や、浄水器を埋めこむことが可能となる。

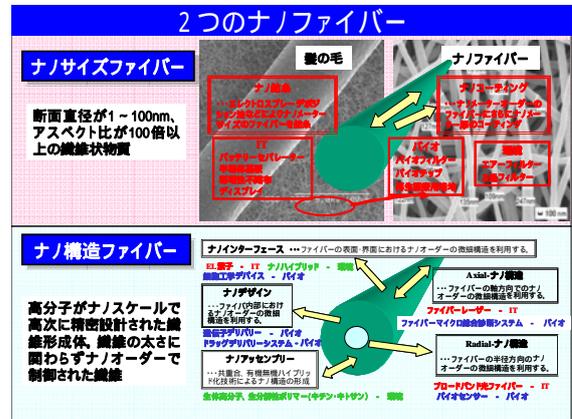
このようなものを開発していくことが、大きな目標になっている。

### ナノファイバーの特徴



ナノファイバーは、髪の毛の1 / 1,000ほどの太さだが、このときのナノには2つの意味がある。太さがナノ、即ちナノサイズファイバーは、強い、

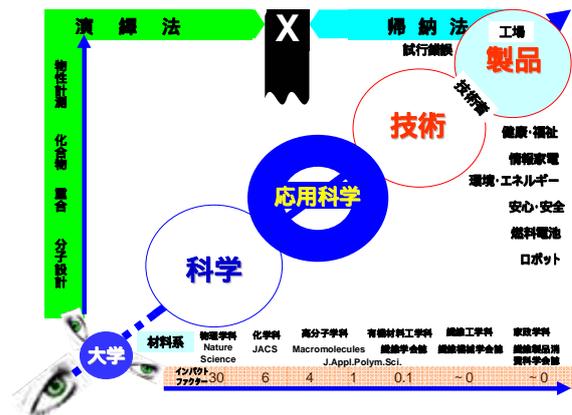
軽いなどの性質を持っている。また、中身がナノ、即ちナノ構造ファイバーは、直径がミクロンオーダーで太くても、中の構造がナノオーダーになっていて、きれい、利口、ファッショナブル、汗を逃がす、雨をはじく等の機能性を有している。



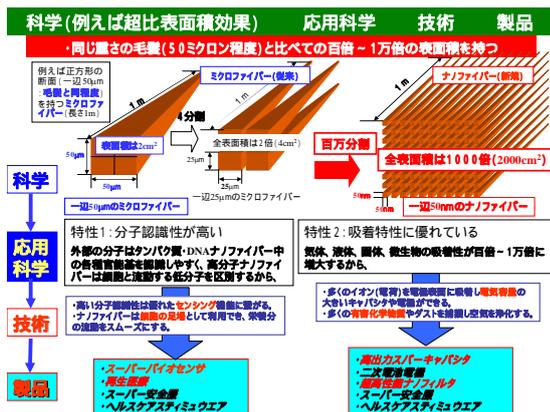
「太さがナノ」のナノサイズファイバーで、重さが半分以下になれば、飛行機の軽量化も一段と進むことになり、「中身がナノ」のナノ構造ファイバーで、機能的でお洒落な消防服や防護服ができることになる。

人間の体の中は実はバイオナノファイバーだらけだ。繊維といえば髪の毛がそうだが、実はDNAも神経繊維も、さらには筋肉、腱もナノファイバーだ。骨はコラーゲンというナノファイバーに、カルシウムが沈着しているナノコンポジットなのだ。

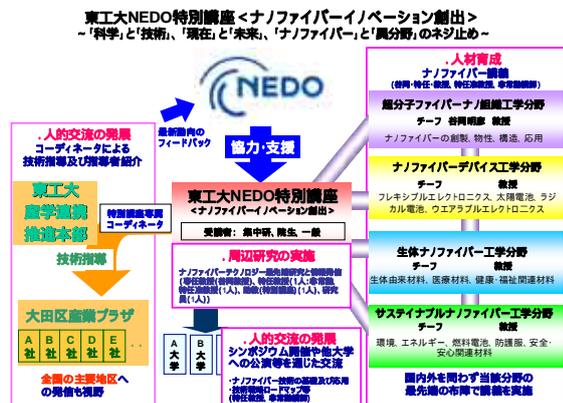
さあもっと大きく目を開いて!!



大学の人間は「論文を書け、書け」と言われて、狭い世界しか見ないというきらいがあるが、本来、大学はそうではなく、科学があり、応用科学があって、その先の技術や工業製品まで考えなければいけない。



例えばドイツなどは、最近、アプラインド・サイエンス即ち応用科学という名の付いた大学を創り始めている。細かいことだけをやっているのではなく、最後の製品まで考えて研究を進めていくことが大事である。



東京工業大学のNEDO 特別講座「ナノファイバーイノベーション創出」では有機高分子材料だけでなく、ナノファイバー材料として金属やセラミックスまで考え、テクノロジーを融合させつつ、「繊維」を進めている。

産業革命によって紡績産業が興り、1900年代に入って合成繊維産業が興り、化学産業が非常に大きく成長した。

テクノロジーの融合で繊維分野以外の人たちが繊維にどんどん参入してきて、新しいファイバー産業が興っていく。今は、小さな動きにすぎないが、今後、大きな産業として発達していくことになるだろう。

# ナノテクノロジーの繊維分野への応用

帝人ファイバー株式会社  
飯室 弘之 取締役研究開発部門長

## バイオミメティクスとは

Biomimetics Bio(生物・生体) + Mimetic(模倣)  
:生物が持つ体の構造や機能の人工システムへの応用。

生物には、その進化の過程で、優れた機構・機能を身につけたものが多くいる。  
これらに学び、特別な機能を持った人工システムを作ること。

もっとも有名な例:蜂の巣を模倣した軽く強い構造、ハニカム構造



バイオミメティクス(Biomimetics)とはBio(生物・生体) + Mimetic(模倣)であり、生物が持つ体の構造や機能の人工システムへの応用である。蜂の巣を模倣したハニカム構造は最も有名な例であろう。合成繊維は、バイオミメティクスによりどんどん発展をしてきた。人間も含めて、生物は、様々な神秘的な構造や機能を持っていて、それを繊維で表現しようと合成繊維産業は取り組んできた。

## ポリエステル素材開発の変遷

ポリエステル素材開発の変遷  
- バイオミメティックによる新規機能繊維 -

年代	'60	'70	'80	'90	'00	'05
開発コンセプト	天然繊維の模倣					
模倣した自然と開発素材	シルク(63) ・シルバール ・光沢 ・柔らかさ ・ドレープ	天然蜘蛛(84) ・シルドーム ・作製例	蜂(93) ・エアロゲル ・軽量	蝶の角質(84) ・軽量	樹木(80) ・リモノキ ・吸汗速乾	ミズゴケ(05) ・MRT ・汗に反応して 形無変化
		葉の葉(84) ・マイロリカリス ・超撥水	キノコ(03) ・モノテックス ・特殊発色			昆虫の鱗毛他(07) ・ナノロッド™ ・繊維繊維による超機能
	天然繊維の模倣			自然の仕組みの模倣		

今年、帝人と東レはポリエステルを事業化して、50周年を迎えたが、研究開発はますます盛んに行っている状況だ。

日本人もヨーロッパ人も、昔から絹の光沢、ある

いはタッチに強い憧れを持っていて、ポリエステル繊維で、絹、あるいは絹以上の繊維ができないかということから、合成繊維産業の歴史は始まって、その後いろいろなものが開発されてきた。

## シルクに学ぶポリエステル繊維

### シルクに学ぶ ポリエステル繊維 「シルバール」 1970年代

(1)シルクの断面形状と光沢 (2)シルバールの断面形状

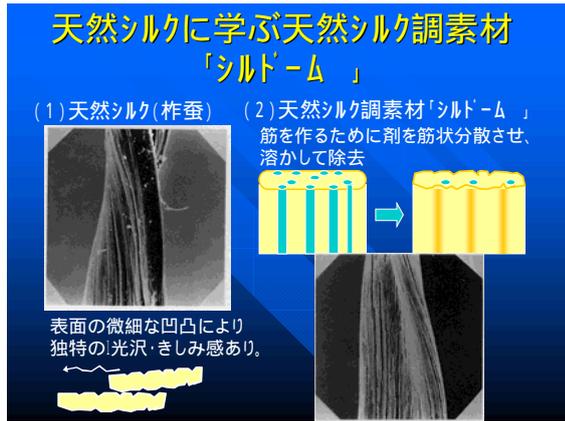


三角断面なので平面で光を反射し独特の光沢を持つ

三角断面糸で光沢を模倣

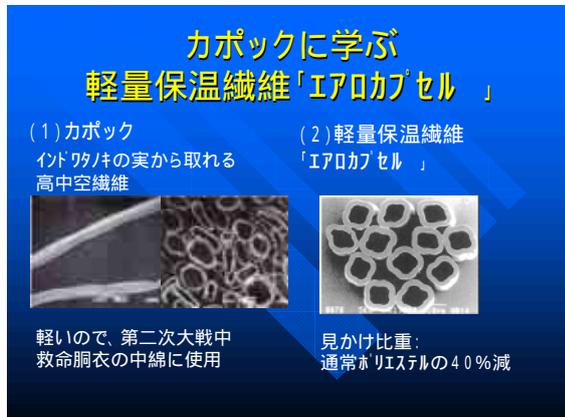
絹には独特の光沢があるが、絹の繊維の断面を見るとやや扁平、あるいは三角形になっている。そこでノズルから溶融サンプルを押し出してポリエステルの糸にする際、断面が三角形の繊維を作った。ただ、これだけでは絹のふっくらとした暖かさが出ない。

絹には空隙が非常に多く、これが暖かさを出している。そこで、ポリエステル繊維を三角断面にした上に、アルカリ溶液で処理をすると、表面が加水分解して溶け、空隙を持った三角断面の織物ができる。このように非常に絹に近い化学繊維の開発に成功したことから、日本の合成繊維産業はシルキーなポリエステルで一世を風靡した。これが、40年ぐらい前の技術開発である。



その後も絹に学んだ繊維をどんどん開発し、いろいろな商品が出たが、絹を触ったときに出る衣擦れの音がするポリエステル繊維も開発。天然の蚕から作った糸の断面は、若干、偏平な断面の表面にミクロの筋が付いていることが分かり、同じような断面をした繊維の開発に取り組んだ。筋を作るために剤を筋状分散させ、アルカリ等で剤の部分を溶かすことで、絹に非常に近い断面のポリエステルができ、繊維間のズレで音が出るものをつくることができた。

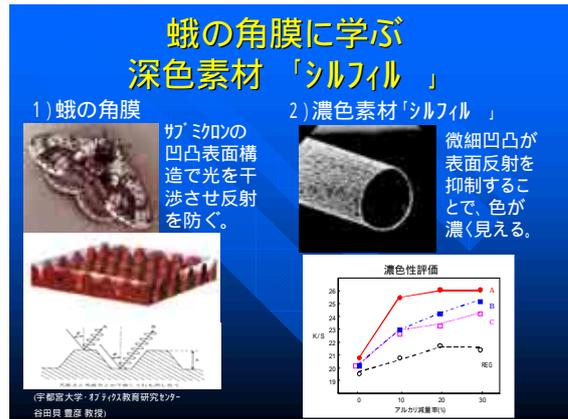
### カポックに学ぶ軽量保温繊維



インドワタノキ(カポック)という実からできる繊維は、非常に中空率が高く、戦時中は救命胴衣の中綿に使われていた。これに着目して開発したのが、軽量保温繊維で、救命胴衣ではなく、軽くて暖かいウェアが今の大きなニーズで、それに応えたものになっている。

これはポリエステルをマカロニのような中空の繊維とするのだが、中空率が高ければ高いほど暖かいが、工業的には大変難しかった。現在ではこの課題を克服し、「エアロカプセル」という名で実際に大量に使われている。非常に軽くて暖かい繊維だ。

### 蛾の角膜に学ぶ深色素材

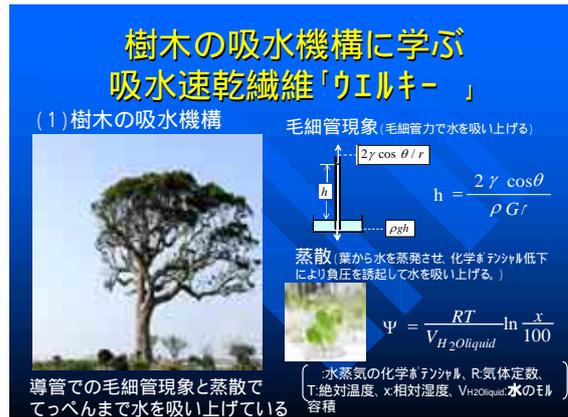


次は蛾の目に学んだ繊維。蛾の目の表面にはサブミクロンの凹凸構造があり、光が入ったときに、凹凸構造の山の頂と谷底の深さが、光が干渉したときに打ち消し合うような設計になっていて、反射を防ぐ構造になっている。

これを繊維で作るため、繊維の表面に微細な溝を設置したところ、反射がないので、極めて綺麗な色に見える。同じ染料で染めても、非常に鮮明な糸に見える。ポリエステルの欠点であった染色性の改良につながり、今でも広く使われている。

### 樹木の吸水機構に学ぶ吸水速乾繊維

次は樹木の吸水機構に学んだ繊維。樹木は毛細管現象と、葉から水を蒸発させることで負圧を誘起する蒸散という2つの機能で水を吸い上げている。



導管での毛細管現象と蒸散で、葉から水を蒸発させることで負圧を誘起して水を吸い上げている。水蒸気の化学ポテンシャル、R:気体定数、T:絶対温度、x:相対湿度、V<sub>H<sub>2</sub>Oliquid</sub>:水のモル容積

### 樹木の吸水機構に学ぶ 吸水速乾繊維「ウエルキー」

(2) 吸水速乾繊維「ウエルキー」

汗を中空部で運び、貫通孔から蒸発させることで、すばやい吸汗速乾性を得る。

● 吸水速度と排水率を最大にする繊維構造のシミュレーション

吸水速度式 (水分子移動)  

$$v = \frac{r \cdot \Delta P}{2 \mu l}$$
 貫通孔と中空部での圧力損失  

$$\Delta P = \frac{8 \mu Q l}{\pi r^4}$$
 連続式  

$$v \cdot D^2 \approx N \cdot \mu \cdot r^2$$

吸汗性能

このメカニズムを模倣するため、繊維を中空にして、さらに表面に真ん中の孔に貫通している小さい孔を開ける。

この繊維でできたウェアを着てスポーツをした場合、表面の小さな孔(貫通孔)から、汗が入って、中空部で運び、小さな孔から蒸発させることができる。つまり吸汗速乾性がある、汗をかいても濡れない、繊維の中が濡れないため、干しておくやすく乾くのである。

### 蓮の葉に学ぶ撥水織物

蓮の葉の表面では雨水は極めて球に近い状態でコロコロと動く。これがあれば、雨の日でも絶対濡れないものが作れるのではないかと考え、蓮の葉の構造を学んだ。葉の表面には小さい突起が出ていて、凹凸内の空気が水をはじくのでこの上に水滴が落ちたときに、撥水性が生じることが分かった。

### 蓮の葉に学ぶ超撥水織物 「マイクロフト レクタス」

1) 蓮の葉の撥水機構

Cassieの式

$$\cos \theta_f = A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2$$
 1,2: 物質1,2の平滑面での接触角  
 A1:A2: 物質1,2の占める割合  
 空気の  $\theta = 180^\circ$ 。  
 水をはじく。

### 蓮の葉に学ぶ超撥水織物 「マイクロフト レクタス」

2) 超撥水織物

3) 用途例

蓮の葉

マイクロフト レクタス

コート

雨傘

表面凹凸構造(極細繊維) + 撥水加工  
 接触角  $> 150^\circ$

小さい突起を持つ、蓮の葉の撥水構造を模倣した布帛(ふはく: 伸び縮みがしにくく、型くずれにくい織物)を作った。マイクロファイバーという非常に細い繊維をバルキー(かさばった感じ)に出すことで、蓮の葉と同じような機能を出すことができ、スポーツウェアやコートなどに使われている。

### 汗で形が変わる繊維・衣服

### ミズゴケに学ぶ 汗で形が変わる 繊維・衣服 「MRT™」

1) ミズゴケの吸水形態変化

天然の高吸湿吸水素材 - 水苔

表面拡大図

吸水前

吸水後

水を吸って大きく膨らむ。

ミズゴケの吸水形態変化に学んだものもある。ミズゴケは、乾くとカサカサで、非常に体積が小さい。ところが、水を含むと一気に膨らむ。

### ミズゴケに学ぶ 汗で形が変わる 繊維・衣服 「MRT™」

(2) 吸放水で長さが変わる繊維「MRT™」

水分子が吸水/放水し、繊維が可逆的に伸縮

吸放水で約20%伸縮する

ハードセグメント

ソフトセグメント

水分

吸湿前

吸湿後

しかし、ポリエステルは疎水性で、水をまったく

吸収しないので、ネットワーク構造にして、ハードセグメントとソフトセグメントを繋ぐことによって、水が入ったときに水の分子がこの真ん中に納まるというものを開発した。

この繊維の上に水滴をたらすと、あっという間に吸水と放水で20%動く。これをスポーツウエアにした。



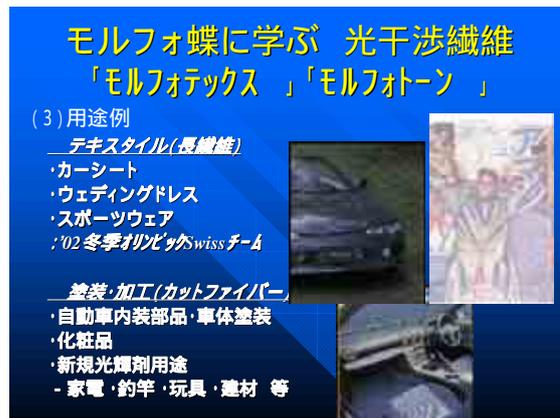
汗をかくと、網目が開いて汗が外に出ていく、あるいは、汗をかくと盛り上がり凸構造が出てきて、肌に触れる側に山がくる構造であれば、べとつかない。そういうスポーツウエアができ、テニスウエアとして製品化されている。

### モルフォ蝶に学ぶ光干渉繊維



南米のモルフォ蝶は非常に綺麗なブルーに見えるが、実は材料は透明。透明なのに青く見える理由を探るため、この蝶々の表面を電子顕微鏡で観察した。すると樹木のような構造のものがずっとつながっていた。これはタンパク質でできているが、光干渉の原理で青く見えることがわかった。光が入ったときに、樹木状のタンパク質の屈折率と、空気の屈折率の差、それと非常に奇妙に干渉するような枝の厚み

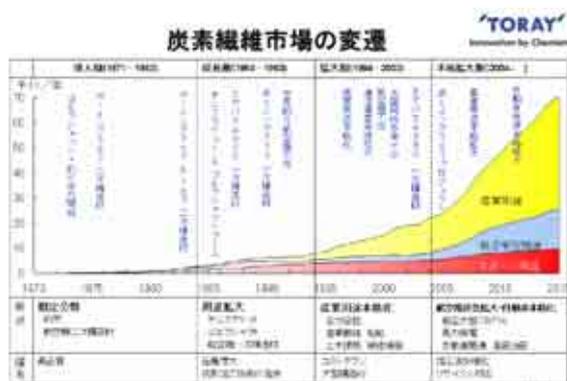
によって青く見えるのだ。これを繊維で再現するため、1本の繊維の中にナノ構造で、ポリエステル/ナイロン/ポリエステルが60層からなる構造体とした。1つの層の厚みは青色にする場合80nmくらい、赤色にする場合は100nmにする。透明なのに、色が付いて見えるモルフォ蝶のような光干渉繊維である。



繊維1本の中に80nmの層が60層入っているが、80nmが83nmになってしまうと色が消えてしまうので、青1本作るには80nm±2nm以内に管理した生産が要求される。ここが、工業生産の難しいところで、ラボでの試作完成の後、安定的に作ることに、数年を要した。その間の努力があってこそ、夢のような話が製品として実現する。これが、企業における研究開発だ。

# P A N系炭素繊維の現状と将来

東レ株式会社 A C M技術部航空・宇宙技術室  
京野 哲幸 室長

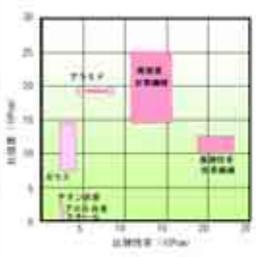


炭素繊維の工業生産が1970年代初頭に開始されて以来、約37年経過した。この間、性能を活かした高価格ゾーンから用途開発が始まり、最近では自動車などの産業分野にまで展開されるに至り、ようやく一般工業材料に仲間入りしようとしている。

## 炭素繊維と複合材料

炭素繊維とは **一特徴**

- 1. 軽い—比重は鉄の1/4
- 2. 強い—比強度は鉄の10倍
- 3. 伸びない
- 4. その他
  - ・高強度性、耐腐食性、耐熱性、耐圧縮性、etc
  - ・軽質である(航空機)
  - ・異材同士を接合する



炭素繊維の比重は鉄の1/4のため、比強度は鉄の10倍ある。つまり、金属よりも軽くて強い。

炭素繊維の製品形態は、髪の毛の1/10ぐらいの太さのフィラメントを1,000本から2万4,000本程度集めた束状の連続繊維を紙の管に巻いたものである。

## 先端複合材料(ACM)

◆繊維強化複合材料 (Fiber Reinforced Composite Material)

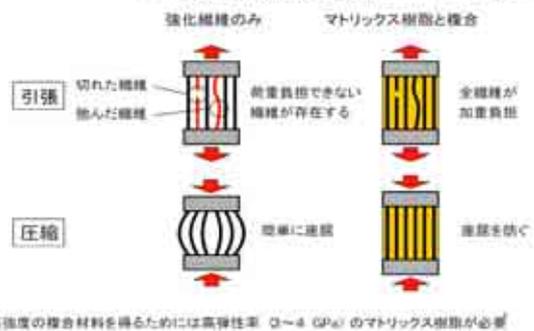
強化繊維 (Fiber)	マトリックス
ガラスGlass繊維	プラスチック
炭素Carbon繊維	熱可塑性樹脂(Thermoplastics)
アラミAramid繊維	ゴム(Rubber)
	コンクリート(Concrete)
	金属(Metal)

◆先端複合材料=先進複合材料=ACM(Advanced Composite Material)  
第一世代の複合材料(GFRP)より高性能な複合材料を指す

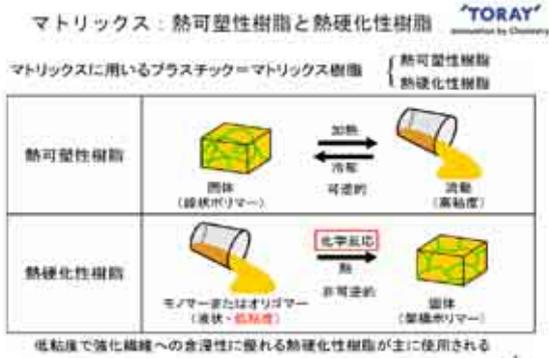
実際的にはCFRPがほとんどを占める。

炭素繊維の使用に際しては、束状の炭素繊維だけでは性能発現しないため、炭素繊維どうしをマトリックス樹脂によって互いに結合して、複合材料とすることにより実用化されている。

## マトリックス樹脂の役割

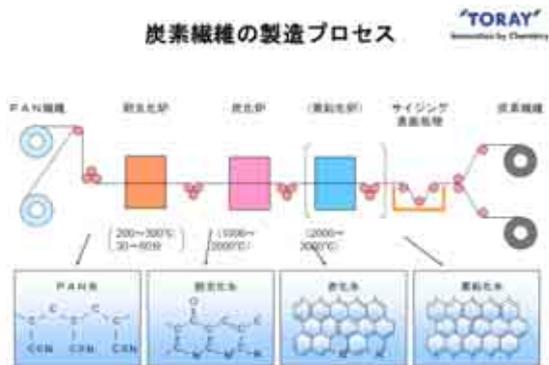


マトリックス樹脂の役割は、繊維どうしに力を伝えたり、繊維が曲がったりすることを防ぐことであり、複合材の構造の中で仮にフィラメントの何本かが切れたとしても複合材構造全体としては強度を維持できるメカニズムになっている。



マトリックス樹脂には熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂の2種類があって、今、世の中に出回っているもののうち、ほとんどの場合が熱硬化性樹脂で、炭素繊維複合材料の場合は、主にエポキシ樹脂が使われる。

### 炭素繊維の製造プロセスと応用



炭素繊維の製造方法は次の通りである。まず、原料のアクリルニトリルを重合してポリアクリルニトリル (Polyacrylonitrile; 略称 PAN) という高分子を作り、これを製糸してポリアクリルニトリル繊維とする。次に、耐炎化、炭化、黒鉛化といった高温の熱処理を経て炭素繊維とする。更に、表面にマトリックス樹脂と結合しやすくなる処理を行った後、紙の管に巻いて製品にする。



炭素繊維は、そのままでも樹脂含浸して最終製品にすることができるが、更に織物にしたり、未硬化樹脂を含浸してプリプレグという中間素材にしたり、繊維を切ってチョップド・ファイバーにしたりして、色々な形態に加工された後、それぞれに適した成形法によって最終製品になる。



プリプレグは炭素繊維の束を数百本引きそろえ、未硬化のエポキシ樹脂を含浸し1m幅ぐらいのシート状にしたものである。プリプレグを所定幅のテープ状にして金属製のツールと呼ばれる型の上に積層した後、オートクレープ(圧力釜)の中で180程度に加熱し、樹脂を硬化させることにより、例えば航空機の翼の表面板(スキン)などを作ることができる。

### 航空機におけるコンポジット化率の拡大



航空機用途は2001年に起こった米国の同時多発テロの影響で低迷が続いていたが、その後、世界経済が回復基調となったこと、エアバスA380、ボーイングB787といった大型プロジェクトが具体化したことによって活況を呈して来た。これらの航空機では、軽量化による燃費向上と機体価格低減が強く求められたため、炭素繊維を大量に使用する計画が立てられた。航空機の機体の構造重量のうち

何%が複合材料(コンポジット)になっているかを示すコンポジット化率は、昨年就航したエアバスA380で約25%(30トンがコンポジット)であり、2008年、初フライトで、2009年に商業飛行開始といわれているボーイングB787は、50%である。

エアバスA380では翼をつなく胴体の下の部分(セントラルウイングボックス)、圧力隔壁、尾翼などが複合材料でできている。2013年に商業飛行といわれ、現在開発中のエアバスA350XWBも、主翼と胴体の一部がコンポジット化される予定であり、更なる炭素繊維の需要増が見込まれる。

### 優れた特性で一次構造部材に採用

ボーイング社では1980年代の初めから、二次構造材で徐々にコンポジット化を進め、B777で初めて一次構造材(損傷すると飛行に重大な影響を与える部材)に炭素繊維を用いている。

複合材料は、積層構造なので、物が当たって衝撃を受けると、剥離が起こることがある。これは目には見えないことが多いが、圧縮強度を測ってみると、衝撃前に比べて、下がっていることがある。この問題を解決すべく各社開発を進める中、東レは衝撃エネルギーを吸収して剥離の拡大を抑制できる特殊な粒子をプリプレグ表面に配置するコンセプトと技術を開発した。この技術を適用したプリプレグは、ボーイング社の衝撃を受けた後の残存圧縮強度の要求値を満たしたため、B777の一次構造部材である、客室の床の下にあるフロアビーム(梁)と尾翼の主要構造に採用された。

この技術による複合材料は、B787の胴体や主翼、尾翼に採用されている。世界中の様々な会社がそれぞれB787のパーツを作っているが、主翼、胴体など構造部材の35%を日本の会社(富士重工、三菱重工、川崎重工など)が製造している。

### 幅広い分野での炭素繊維の応用が展開

航空機以外の用途では、スポーツ用品があり、釣竿、ゴルフのシャフト、テニスラケットなどに炭素繊維が使われている。最近では自転車やソフトボール用のバットにも使われている。

また、産業用途として、エネルギー関連、輸送機

器、自動車(プロペラシャフト、スポイラーやフードなど)、土木、建築、パソコンの筐体などに使われている。

エネルギー関連では、風力発電機の発電量が大きくなるにつれて風車の羽根も大きくなり、軽くて剛性の高い材料が必要となってきた。このため、従来使用されてきたガラス繊維に代えて、炭素繊維が使われるようになってきている。世界最大の風車メーカーであるデンマークのVestas社は、3メガワット級の大型風力発電機V90の羽根のスパー材に炭素繊維を本格適用することを決定したが、これは羽根長44m、直径90mもあり、この機種だけで数100~1,000トン/年程度の炭素繊維需要が期待されている。

また、少し先の話になると思うが、海底油田のケーブルに炭素繊維を使おうとする動きもある。

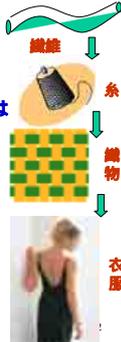
炭素繊維の工業生産を始めて40年近くになる。日本の産業の一つとして、炭素繊維産業が徐々に大きくなっているのは、国からの支援と、産業界で応用を考えた開発を一所懸命やってきたからである。その成果として、今、身の回りに炭素繊維を使った製品が随所に出てきている。

# 繊維系産業の今後の展開

信州大学・京都工芸繊維大学  
 ( 社団法人化学繊維技術改善研究委員会 )  
 山崎 義一 特任教授

## 繊維とは

繊維は、「細くてしなやかなもの」  
 衣服に使われる繊維+「強さ」、「軽さ」  
 糸とは繊維を集めて、細長くして、「より」を加える。  
 衣服は、織物や編物を縫い合わせたもの。  
 織物や編物を手でほぐせば、糸にほぐれ、その糸は  
 繊維にほぐれる。  
 繊維とは、繊維製品を構成している材料の最小  
 の単位。  
 天然で繊維状で存在するものが天然繊維。  
 天然に存在する繊維の基となる高分子を化学的  
 に取り出し繊維状に再生したものが再生繊維。  
 石油などを原料として、繊維の基となる高分子を  
 化学的に合成し、繊維を形成させたものが合成  
 繊維。



繊維は「細くてしなやかなもの」と定義されている。衣服に使われている繊維は、これに「強さ」と「軽さ」が加わる。繊維を集めて糸にして、その糸を織物や編物にして、それを衣服や繊維製品にするわけだが、繊維製品をどんどんほぐしていくと、これ以上ほぐれない最小の単位に行き着く。これが繊維そのものだ。

## 繊維の特徴

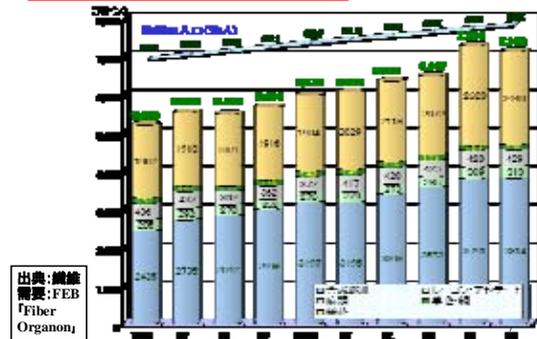
繊維は細くて長くて軽い。例えば、ナイロン繊維の中で一番細いものを使って、東京～大阪を1本の繊維でつないでも、その重さは20gにしかない。

繊維は強くて軽い。例えば、高強度繊維といわれるパラ型アラミド繊維は同じ太さで比較して鉄の1.5倍の強度があり、しかも重さが鉄の1/5である。

## 繊維産業の概要

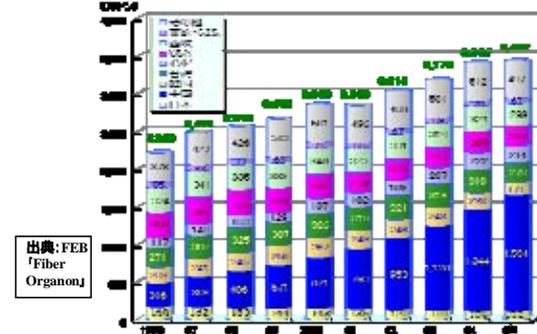
### 繊維の需要は伸びている

世界の人口と  
 繊維需要



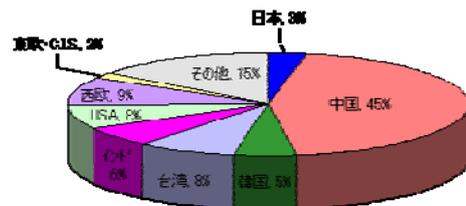
### 化学繊維の生産は増加している

繊維主要国の化学  
 繊維の生産推移



世界の人口と繊維の需要をしてみると、繊維需要は近年、人口増加以上の伸びを示しており2005年には7,132万トンとなっている。

化学繊維生産量構成比(2005年)



化学繊維の生産も右肩上がり、1990年代より中国が生産量を急激に増加させ、全世界の生産の45%を占めるにいたっている。逆に日本や欧米はだんだんそのシェアが小さくなっている。

日本の全製造業に対する、繊維産業の従業者数、出荷額の比率を見ても、中国、インドなどの追い上げで減少傾向にある。

### 日本の繊維産業の方向

それでは、日本の繊維産業は、今後、どうあるべきなのだろうか。

一つはグローバル戦略、すなわち海外生産。すでに多くの日系企業が中国、タイ、インドネシアなどに進出し、海外での生産基地を持っている。次に、高付加価値化。ファッション衣料、高機能性衣料など高付加価値のある製品へのシフトである。

水処理用の中空糸膜、あるいは有機系の光ファイバーなど繊維系産業と呼ばれる分野での展開もどんどん進んでいる。

### 日本が得意とする分野 (先端繊維材料の開発)

成功例

人工皮革(極細繊維)



中空糸(水処理フィルター・浄水装置など)

炭素繊維



15

### 繊維製品の拡がり

衣料など



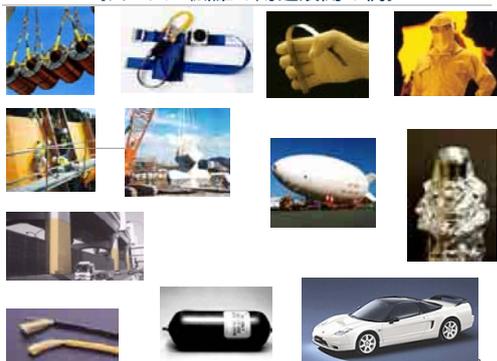
寝装・カーテン・カーペットなど



自動車をはじめとした産業資材や建築資材・農業資材など



### 【スーパー繊維の用途展開の例】



さらに、高性能の繊維を用いた新しい産業資材用途の展開がある。例えば、スーパー繊維と呼ばれるアラミド繊維や炭素繊維は、自動車、電気・電子、情報、バイオ、環境など、日本で重要産業、先端産業との協業で、これからさらに展開が進むと思われる。

### 近未来の化学繊維

#### 近未来の化学繊維

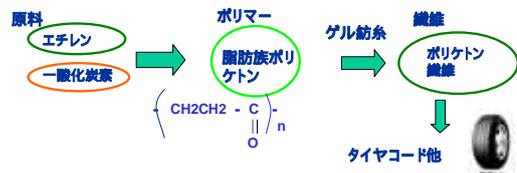
#### 1. 高性能の追求

##### 合成の高強度化開発プロジェクト

ナイロンやポリエステル等の汎用ポリマーを用い現状強度(約1Gpa)の2倍の強度を有する合成繊維を2倍以下のコストで達成する。

##### 高性能ポリケトン繊維の工業化基盤技術の開発

原料価格の安い一酸化炭素(CO)とエチレンを用い、脂肪族ポリケトンを合成し、これを特殊な溶液中で糸にして、高強度のポリケトン繊維を開発する。



近未来の化学繊維の方向性の第一は、高性能の追求だ。

ナイロンやポリエステル繊維をさらに強くする研究は、現状では理論強度のまだ5%ぐらいしか出ていないが、それを現在の2倍の強さにするプロジェクトが産学連携で7年間かけて実施された。

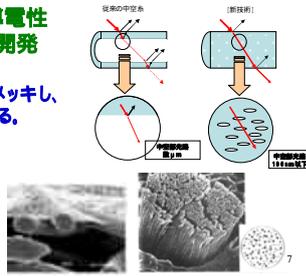
また、原料価格の安い一酸化炭素とエチレンを用いてポリケトン繊維という強い合成繊維を作る研究が「高性能ポリケトン繊維の工業化技術の開発」ということで進められている。

## 2. 高軽量繊維の開発

従来の繊維の約半分の比重であるにも関わらず、実用耐久性などに優れ、発色も良好な軽量素材を開発する。

## 3. 銅線に匹敵する導電性を有する有機繊維の開発

アラミド繊維の表面に銅メッキし、強く軽い銅線を開発する。



## 4. ナノ繊維の開発

それから、高軽量繊維の開発。繊維に中空部分を作れば軽くできるが、空隙部分で光が乱反射して白っぽくなったり、強度が低下するなどの欠点があるが、光の波長より小さいミクロの孔を開けてやることによって、白っぽくなるのを防ぐなど、現状の性能を落とすことなく、半分の軽さにする研究が行われている。

また、電気をよく通す銅線は、繰り返し曲げると結晶に転位が発生して断線してしまうが、アラミド繊維の表面に銅をメッキしたアラミド線は、銅線より5倍以上強い。ロボットなどの動きの激しい部分に使用される予定だ。

## 5. バイオ改変技術の進展

### 「スパイダーシルク」

クモの糸は人工繊維にない優れた性質を持つ。クモの糸の遺伝子を銅糸を吐かなくなった蚕に導入して作ったスパイダーシルクが開発される。スパイダーシルクは、強度は、ナイロン並で伸度は35%。

「蚕に蜘蛛の糸を吐かせる」信州大学 中垣雅雄 教授

顕微鏡を見ながら産卵後5時間前後の蚕の卵に微細な孔を開け、ガラス管を通じて蜘蛛糸のDNAを注入する。注入卵からふ化した成虫を交配して得られた約4万個の卵のうち、123個で遺伝子組み替えが成功。成功卵からふ化した蚕が蜘蛛糸成分を含む繭糸を吐いた。繭糸成分に含まれる蜘蛛糸成分はまだ1~2%であるが、10%台になれば蜘蛛糸の性質が付与されるであろう。

出典:中垣雅雄、パリティ 2004年7月号



天然にある繊維を改質する研究も進められていて、蚕にクモの糸の遺伝子を組み入れてスパイダーシルクを作る研究が行われている。

## 6. テキスタイルと電子が融合したスマート(賢い)テキスタイルの開発

衣服にセンサーを付ける



環境に対応して衣服内の温湿度を調整する



テキスタイル製のキーボード

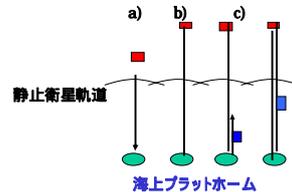


また、テキスタイルと電子を融合させた、スマート(賢い)テキスタイルの開発がある。例えば、障害のある赤ちゃんに生理センサーを付ける必要があるとき、これを肌着に付けることにより、この赤ちゃんは動くことができ、モニタリングもできる。あるいは、環境をコントロールする衣服、テキスタイルでキーボードを作るといった研究も行われている。

## 8. カーボンナノチューブを利用した宇宙エレベーターの開発

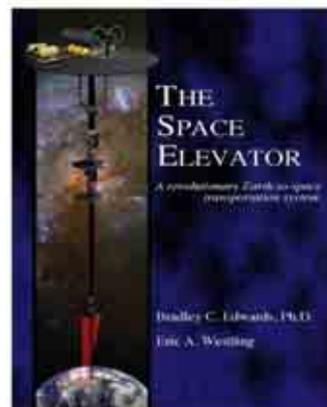
始めに宇宙船を静止衛星軌道(地上より35,785Km)に停止させ、最初にガイドラインとなる幅が最上部で35.5cm、地上到達部で13.5cm幅のリボン状テープを設置する。この最初のテープが完成すると、そのテープを使って、折り返し新たなテープを敷設する。以後、それを繰り返し最終的に実用に耐える太いケーブルを敷設する。このリボンに使用する材料は、スチールなどでは自分の重みで切れてしまうが、カーボンナノチューブであれば、これが可能としている。

宇宙エレベーター構想の開発シナリオ



出典:大田康雄、スーパーバイオミメテックス

21



宇宙エレベーター・イメージ図 (出典:amazon.com)

22

カーボンナノチューブを利用した宇宙エレベーターの開発。これは静止衛星から海上プラットフォームに繊維を垂らし、これを何度も繰り返して、ロープを作り、これで宇宙を往復する構想で、NASAが進めている。普通の繊維では、自重で切れてしまうが、

カーボンナノチューブであれば可能になる。現在のところ、長いカーボンナノチューブを作るのが非常に難しいが、それができれば、理論上可能だ。

## 繊維系産業の今後の方向のまとめ

### 繊維系産業の今後の方向のまとめ

1. 繊維産業は歴史のある伝統的な産業である。
2. 従来型の繊維産業は、中国をはじめとする近隣繊維国との競合で厳しい環境にある。
3. 従来型の繊維産業においても、世界的な需要は人口の増加につれて着実に伸びており、誰がどこでどのような製品を作るかの棲み分けの問題だけである。この対策として、日本の繊維産業はグローバル化、高付加価値化で生き残りを図っている。
4. 一方、近年、航空機分野での炭素繊維複合材料の利用拡大に見られるように、高性能繊維の需要が急増している。この分野では日本の技術水準が高く高い国際競争力を有している。
5. さらに、繊維技術を応用した、高機能性膜や有機系光ファイバーなどを含めた繊維系製品も高度情報化、環境問題、安全・安心問題などへの対応から需要が拡大している。

#### 結論

日本の繊維系産業は、これからも成長を続け、魅力ある産業として発展を続ける。<sup>23</sup>

日本の繊維産業は歴史のある伝統的な産業だが、従来型の繊維産業は、中国をはじめとする近隣繊維国との競合で厳しい環境にある。日本の繊維産業はグローバル化、高付加価値化により、この状況に対処している。

一方、炭素繊維、複合材料などの新しい高性能、高付加価値の分野、繊維技術を応用した高機能膜、有機系光ファイバーなど繊維系の製品も、高度情報化、環境、安全・安心といった分野で注目され、日本が得意とする産業として発展している。

日本の繊維系産業は、これからも魅力ある産業として成長を続けるに違いない。

## 2.2.2 繊維（ファイバー分野）見学会

2008年2月15日、テイジン未来スタジオを見学、その後、東京ビッグサイトで開催中の nano tech 2008 を見学した。

### テイジン未来スタジオ見学

フロア面積はおおよそ70坪。見学者は1日25名程度で、今回の約40名という来館は昨年11月オープン以来初めて。

ここにはテイジンの最先端技術が150点、サンプルにして250点展示しており、自動車・航空機ゾーン、環境・エネルギーゾーンに大別される。

#### <自動車・航空機ゾーン>



このゾーンの中央にはPUPAと命名された、帝人の新機能繊維材料を各所に使用しているコンセプトカーがある。

例えば、タイヤの中のPEN（ポリエチレンナフタレート）繊維。これは「伸びない」という特性があるのでタイヤを円形に保ち、その結果、振動を抑えた走行を可能にするといった効果がある。また、ブレーキホースやファンベルトなどに用いられるVベルトの補強にも使われている。また、アラミド繊維は、引張強度が鉄の8倍ある繊維でかつ耐熱性等にも優れているため、ブレーキパッドやガスケットなどのシール材としてアスベストの代わりとしても使われるようになってきている。

現在、車1台には1,500m ぐらいの電線ワイヤー/ハーネスが使われており、かなりの重さになっているが、導電性のPENのフィルムを使用すれば、70%の軽量効果がある。

従来からある人工皮革はハンドル部分に使われて

おり、サッカーボールやスパイクシューズにも使われている。



PTT（ポリトリメチレンテレフタレート）繊維ソロテックスという製品はナイロンに近いポリエステルで、やわらかいというのが特徴で、新幹線の背もたれにも使われている。従来のウレタンに近いが、軽くて通気性があり、しかもリサイクルができるというのが強みだ。

PUPAの天井、窓、ボディにはポリカーボネートが使われている。ポリカーボネートはガラスの20倍の強度があり、透明性も高いことが特徴で、新幹線の窓にも使われている。また、CD、DVDや次世代光ディスクのブルーレイのディスクもポリカーボネート製だ。

炭素繊維は鉄の5倍の強度があるが、重さは鉄の1/5、アルミの1/2という繊維で、樹脂と組み合わせた炭素繊維複合材料として自動車の軽量化用途などとして需要が伸びている。例えば、実際に自動車のプロペラシャフトに使われているが、強度を調節できるので、衝突したときに中央部分が壊れるような設計が可能、といったメリットもある。炭素繊維複合材料は航空機の軽量化用途としても多く使用されている。ここには炭素繊維複合材料製の航空機の「柱」が展示してあるが、実際に手にとって持ち上げることができ、その軽さがよくわかる。

## <環境・エネルギーゾーン>



カメラとその映像が映っているモニターが設置してあるが、両者の間はコードでつながれていない。実は下においてある特殊な通信用シートにより電氣的に接続されているのである。さらに、電磁波シールドされているので情報が外に漏れる心配もないということである。近く、この技術を使ったミーティングテーブルが発売される予定になっている。

PEN フィルムはPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルムに比べると剛性があるため、薄肉化でき、スピーカーの振動板に使われる。ここに展示してあるのはプロジェクタースクリーン全体がスピーカーとなっているもので、クリアな音が出せ、臨場感があるのが特徴だ。

染色していないのに色を発する繊維(モルフオテックス)は、染色工程がないので廃液を出さないという点で環境にやさしい繊維である。この展示の近くにはアラミド繊維の防弾チョッキや消防服の展示もあり、これらは日本が世界をリードしている技術である。

ナノファイバーを使った各種衣料の展示もある。汗をかくと表面に凹凸ができ、張り付き感をなくす繊維や、濡れると網目が開いてムレを外に出す機能がある繊維を使ったスポーツウエアなどが展示されている。

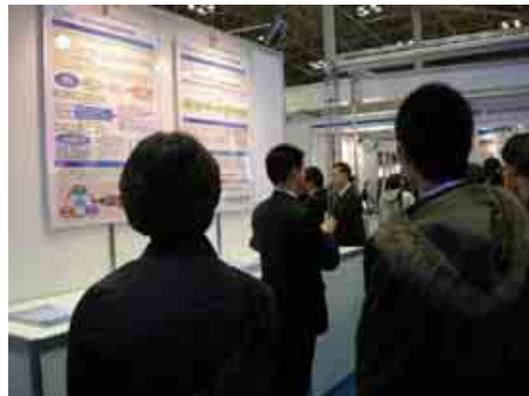
在宅医療機器の展示もいくつかある。在宅用酸素吸入器は入院が必要だった人にも自宅での療養を可能にし、日常生活を過ごしながら酸素療法を受けることができるというメリットがある。また、呼吸が止まるとセンサーが感知して気道を確保してくれる睡眠時無呼吸症候群の患者用の安眠機器や、花粉症の患者用の、通気はできるが花粉は通さない繊維な

ど、帝人はヘルスケア分野の製品も多く手がけている。

## nano tech 2008 見学

NEDO( (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)、東レ、東洋紡績のブースを訪問した。

### NEDO 概要説明



ここではまず、NEDO そのものの説明から入り、NEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部が推進している異業種/異分野の連携、あるいは垂直連携研究体制による、各種プロジェクトによるナノテク実用化への取り組みや成果について説明を受けた。ナノテクが将来どういう使われ方をするのかの「未来予想図」のイラストがあり、イメージするのに役立っている。

### NEDO 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発



ナノファイバーの製造実演をしており、ポリマーを溶媒に溶かし、電界を印加したときに生じる反発力を利用した薄膜製造工程を20回強繰り返し返すことで、ナノファイバーが堆積していく様子を見ることができる。

### NEDO 自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発

炭素繊維を使った自動車軽量化への取り組みの紹介をしており、整形加工時間の短縮化の成果、スチールなどの周囲の金属材料との組み立て・接合性の強化、衝突安全性の確保、リサイクル性の確保の4つの側面で開発を進めている。

### NEDO 精密高分子技術

高分子チェーンの絡みをナノレベルで制御することにより、従来の汎用繊維の約1.7倍の強度を持つ高強度PET 繊維が紹介された。

### 東レ ナノ積層フィルム、ナノアロイ、カーボンナノチューブ、PVDF 中空糸 UF 膜モジュール

10nmレベルの穴の大きさをもつ水処理分離膜、屈折率の異なるPET フィルムを何枚も組み合わせることによって金属光沢をもたせることができるナノ積層フィルムが紹介された。

### 東洋紡績 高機能性樹脂、機能性材料

130年の歴史のある紡績会社だが、最近は新材料に取り組み、PET やアクリル樹脂を中心に新製品を開発していることが紹介された。

### NEDO 作成ビデオ「ナノテク最前線」視聴



これはNEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部が実施してきた研究開発の内容、成果を紹介したもので、NEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部の概要、いろいろなプロジェクトによるナノテク技術の成果、ナノテクチャレンジ制度の成果、NEDO 講座の成果などがわかりやすく紹介されている。

### 繊維業界との交流会

東レ株式会社 ACM 技術部山本氏、東レ株式会社人事部小西氏、日本化学繊維協会野原氏と東京ビッグサイトの会議室で実施した。



学生からはこれからの繊維産業の課題について、企業での研究開発の進め方についての意見、質問が活発に出された。