生体医療用マイクロ及びナノファイバー

Micro-and Nano-Fibers in Biomedical Application

H. プランク

1. ITV の役割

我々の所属する研究所は、非常に大きく、バーテンヴェルテンベルグ州の経済省の主導のもと公益組織で、1921年に創立され、ドイツ最古で最大である。繊維技術、繊維機械の基礎と応用研究が行われており、ドイツだけではなく日本でも有名である。

このテキスタイルの生産ラインに沿って新しい産業用のテキスタイル、防護服、フィルター、バイオニックス等の研究が行われている。バイオニックスというのは、自然を見て、自然界の現象をテキスタイルに人工的に再現しようという取り組みである。また、ナノ材料の研究も行われている。さらに、ライフサイエンス分野として、環境技術、排水処理などの研究も行われており、アジア、中国、インドネシア、南アメリカなどでも活動している。テキスタイルの廃棄物というのは、環境にとって大きな問題であることから、何ができるかという研究が行われている。さらに、各種のテキスタイルも研究している。例えば、バイオ材料ということで、人工臓器などの材料やスマートテキスタイルということで、電子デバイスをこのテキスタイルに織り込むことも研究している。

産業界の要求をもとに研究が行われており、各種製品のプロセス研究をそれぞれ要求に対応して行っている。特殊なポリマーの開発や、プラスチックの改質など、原材料の改質を行っており、最適なものができると、産業界に移転していくという流れになっている。この研究所の研究分野は、ファイバー・ヤーン技術、表面構造技術、機能化技術、近代的な生産管理などに分けられており、その他のテーマも扱われている。このうちのファイバー・ヤーン技術に関しては、原材料として、綿などの天然の材料からステープルファイバーに至るまで研究が行われており、これに関する機械も作製している。さらに、ポリマーの合成も行われ

ていて、主に医療用を目的としている。それらを紡糸してフィラメントを作ることも行っている。また、フィラメントの機能化、即ち、ねじったり、テキスタイルにしたり、コーティング等を行っている。

ヤーンのサイジング化、即ち、織物に使うための処理技術も行っている。

2. ナノ及びマイクロの定義

ところで、ここでナノとマイクロの定義をしておきたい。つまり、何がナノで、何がマイクロなのかということは、実ははっきりしていないので、国際的に同意できる定義を定めるべきである。ナノの研究をしているといいながら、マイクロのレベルでやっているということが、往々にしてあり、ナノとマイクロの区別を明確にする必要がある。まず図1にナノ及びマイクロの定義を行う。濾過に関しては、エアゾール、微粒子、微生物、自動車の排気ガスなどに関して、マイクロとナノを組み合わせて行われている。テキスタイルでは、ロータス効果(蓮の葉の超撥水性)に関しては、マイクロファイバーとナノファイバーで行われている。アルカンタラ(合成皮革)もマイクロ、ナノ構造で作られている。いろいろな応用例があり、図1の左下は、不織布のフィルターと電界紡糸の不織布と組み合わせたもの、右下はロータス効果を示している。

図2に示すように、この研究所においては、マイクロ及びナノファイバーで不織布を作る技術を有している。まず標準的なフィラメントとして20 μ mの径のものを作ること

HEINRICH M.F. PLANCK

ドイツ・シュトゥットガルト大学教授
(繊維機械工学), Ph.D.

ITV デンケンドルフ繊維技術研究所所長
URL: www.itv-denkendorf.de/welcome.htm

〈専門〉医用工学、テクニカルテキスタイル

図1 ナノ及びマイクロの定義

ができる。マイクロファイバーは $5\mu\text{m}$ 以上の径である。メルトブロープロセスも行われており、これによって $1\mu\text{m}$ ぐらいが可能である。乾式紡糸も行っており、 $0.5\mu\text{m}$ の径を有する糸の紡糸が可能である。

100nm以下の直径を有する繊維がナノファイバーで、2成分高分子による海島構造を利用したナノファイバーの研究が行われている。また、フラッシュ紡糸では100nmまで可能であり、電界紡糸では10nmまで可能である。

図2 ITVにおけるマイクロナノファイバー不織布技術

図3に示すように本研究所では、織物、編物の技術、不織布の技術、また、組紐、巻取りの技術も行っている。また、こういうものを組み合わせて、ファイバー補強材料も作れ、引き抜き技術も有している。例えば、衣料用のステントを作るための組紐技術、立体的な編み機によって作る3次元編物技術、メルトブローによる押し出し成型技術等を有している。こういうメルトブローの技術によって、将来的にはナノオーダーのものができる。

3. ロータス効果の応用

本研究所では、図4に示すように、コーティング、ラミネート、凝縮、プラズマ処理等の機能化技術を有している。図4の左側は、大気圧下でのプラズマ処理装置で、表面特

図3 ITVにおけるファブリック及び立体構造形成技術

性を変えることができる。これを利用して、ロータス効果を生み出すためのナノテクノロジーを行っている。バイオニックスということで自然界が過去200万年の間に生み出したものを見て、技術的に応用できないかということを研究している。

図4 ITVにおける機能化技術

図4の真ん中がロータス効果を示しており、150から160度の接触角で、水が流れて、表面の埃などが除去される。非常に効果があるが、力学的な安定性はまだ満足できるものではない。表面を傷つけば、その性質が変わってしまう。

図5に示すように同じシステムであるが、空気を保持するような表面というものも開発している。つまり、空気を中に持っていて、このテキスタイルを水の中に入れると、空気が固定化されてぬれない。これは、水中のアプリケーションに使えろと考えている。つまり、水の中で使えるものとか、医療用のテキスタイルとして使用できろと考えている。図5に示すように、バイオニックスという意味では、クモが水の中に入ってから出てきても、濡れていないという性質があるが、非常に小さなナノファイバーが足に生えているからである。

図6に3つの構造を組み合わせた自己洗浄テキスタイルの例を示す。織ったファブリックは、大体 $500\mu\text{m}$ 程度の次元で、ファイバー単位で見ると $20\mu\text{m}$ 程度である。さら

図5 超疎水性空気保持表面

にファイバーにナノコーティングを行う。そのスケールは0.05 μ m(50nm)程度の大きさになっている。この3つの違ったスケールで組み合わせたことによって、ロータス効果が得られる。クリーニングを行うと、普通のフロロカーボン仕上げを行った場合は、汚れが付いているが、ナノでわざわざざらつかせた表面の場合は、汚れは残っていない。

図6 自己洗浄テキスタイルにおけるスケール目安

4. インテリジェント製品への応用

図7にその他のイノベティブでインテリジェントな製品への応用を示す。

スチールのプレートを2枚組み合わせ、その間にテキスタイルが入ると非常に軽量で、また絶縁性もあることから、携帯電話等のさまざまな携帯電子機器に使用できる。繊維というのは、表面活性があるのでバクテリアをそこで育成されることができることから、排水の処理に使うことができる。さらに、医療の世界、例えば、手術室で使うような素材というものがあり、この分野は非常に重要な分野と考えられる。また、バイオメディカルエンジニアリングとか、スマートテキスタイルが挙げられる。

スマートテキスタイルは、手術室で使うものとして、できるだけ長く使用できるものでなければならない。ある程度使うとそれを洗って、滅菌しなおすという作業が必要に

なるので、そのうちにコーティングが取れて、患者や医師を守るという保護作用がなくなってしまう。そこで、寿命を長くするという研究が続けられており、100回以上の使用を目指している。また、ここにナノファイバーを使うとどうなるかということで研究されており、バクテリアが透過できない膜が作れるのではないかと考えられている。

このスマートテキスタイルは、モニタリングに使用できる。例えば、赤ちゃんが着ているベストの中にセンサーが入っている。ナノ粒子を使ったもので、赤ちゃんの生体反応の心拍数、呼吸、体温、水分などを測定して、それがコンピュータに繋がっていて、一定の限界値の中にあるかをモニタリングすることができる。何か問題があった場合は、アラームが鳴る。データは記録されているため、解析可能で、医師が見ると詳しい経過がわかる。これは、高齢者にも使用できるし、いろいろな病気の患者に使用可能である。なお、このテキスタイルは洗えるようになっている。というのは、センサーがテキスタイル自体に入っているの、洗う前に外したり、後から再度付けるという作業が不要になる。センサーを付けたフレキシブルな太陽電池も作られている。これをテキスタイルの中に入れても、テキスタイルとしての挙動には変化はない。例えば、発光ダイオード入りの膜は、夜は発光するので、車からも見え安全である。

次にこのテキスタイルを体の中に埋め込むために、いろいろな方面への応用が考えられている。心臓をサポートするための人工血管、心臓の弁、やけどをした時の人工皮膚、また、骨の結合が考えられている。

人工血管、ヘルニアのネット、再吸収性のステントなどを作っている。図8に示すように再生医療工学の観点から、バイオハイブリッドの組織を作るとすることも研究している。患者に新しい臓器が必要になった場合、その患者さん本人の細胞も使うこともでき、また、その他の動物のものを使うということも考えている。日本ではできないと思われるが、ドイツでは他の人、動物からの細胞を使うことができる。細胞を洗浄して、テキスタイルの構造体と組み合わせ、培養を行い、それをもう一度患者に移植する。つまり、体外で一度培養したものを入れることになる。

細胞もそうであるが、テキスタイルというのは基本的には単なる単体であるから、体の中に残る性質を利用したり、あるいは溶けて消失する性質を利用することができる。

軟骨の再生に関しては、ファイバーの構造を細胞が認識し、ファイバーの径にしたがって成長する。例えば、軟骨細胞がファイバーの上を歩いていくことになり、ある種の結合体、凝集体のようなものを作って、新しい軟骨を形成する。

バイオメカニクスといったものを使用して、この糸を改良すれば、軟骨や耳とか鼻ではなく、関節の軟骨も作れるのではないかと考えている。また、バイオハイブリッドの肝臓に関しては、豚の肝細胞を使うことが可能であり、また、大人から取った肝細胞を使うことも可能で、非常にうまく行っている。生成を行って、それをテキスタイルの

図7 イノベティブでインテリジェントな製品への応用

図8 テキスタイルを用いたバイオハイブリッド

システムに植えつけると、その糸の中で、テキスタイルが細胞キャリアとなる。そのシステムが体外のシステムとして、患者の体内に導入される。

図9は人工肝臓で、血液がポンプで体外循環している。

肝細胞は、血清をきれいにするという役割があり、患者から来た血液中の血漿を分離させる役割を有している。バイオリアクターにきて、酸素が与えられる。血液浄化したものが患者の体内に戻り、肝臓をサポートするシステムになっている。例えば、患者が肝不全であったりした場合、その人の血液を浄化することによって、肝臓の機能が回復することがあり、また、肝移植をするまでのサポートのために使うこともできる。

図9 人工肝臓

図10に人工膵臓を示す。膵臓についても、マイクロあるいはナノのファイバーを使用してシステムを実現できる。インシュリンは膵臓の中のランゲンハンス島でつくられるが、血管の中に毛細管膜があり、その中にこのインシュリンを作るものを入れる。そのとき、外から入れた細胞を拒絶しないようにする。即ち、ケプラーの膜で対外由来の細胞が守られるようになっている。この細胞がインシュリンを作ったり、止めたりするようになる。

図10 人工膵臓

この細胞は、今のところ 150 日生き続け、一定の期間がたった後、古い細胞を取り出して、新しいものと交換するが、それも問題なくできた。

神経の再生も可能である。例えば、神経が切断された場合、つなぐ必要があるが、それはなかなか難しい。そこで、体の中に再吸収されるような素材で細い管を作り、切れてしまった神経をこの管を用いて繋ぐと、神経の末端が伸びてきて、再結合する。

5. おわりに

研究に当たっては、いろいろなネットワークが作られている。研究所内はもちろんのこと、ドイツ国内や州の間でも作られている。また、大学間のセンターでもジョイントベンチャーとして、2つ以上の大学と一緒にあって、活動が行われている。産業界ともバイオミメティクス、バイオニクス、燃料電池といった分野で共同研究が行われている。さらに、ヨーロッパには「テキストラネット」という組織があり、この一員にもなっている。

この半年、信州大学の方々がこの研究所に来て、プロジェクトをどのように進めるか、大学間や産業界とどういう連携をするか、という話をしている。ITV 研究所は、9 部門で活動がいており、それぞれの部門の責任者がどのようなことを実施していくかを決めている。またそれぞれの部門は密接に連携している。さらに、産業界との連携を密にして、開発されたノウハウが産業界で利用してもらえるように技術移転も積極的に行っている。

なお、ドイツでは、連邦政府、州からの補助があり、また、基礎研究を推進するための DFG(ドイツ学術振興会)からも補助が出ている。本研究所の全予算の約 45% は産業界からのものである。

テキスタイルの研究はもう限界にきているという意見もあるが、そうではなく、まだまだ十分研究の余地があり、特に、ナノの世界においては、今後大きな期待ができる。

(文責 谷岡明彦)