「繊維への期待」特集

新しい複合系の構築に向けて

西 尾 嘉 之

1. 繊維を再認識する

本原稿を執筆するに及んで、先月（'93年9月）に体験した、繊維にまつわる2つの出来事が思い起こされる。

日常ノータイ姿で職場に通う私には、ワイシャツを着用する機会がが少ない。そのためか、学会や講習会等で出張する際、スーツ姿への変身は「いざ出陣」の気分で心身共に引き締まる効果がある。その反面、違和感と摺動感を払拭するのに時間を要し、目的地に到着してから、窮屈さで煩わしいことがしばしばであった。ところが先日のお出張の折、初めて「シンゴウセン」のワイシャツを着用したのだが、「なるほど、これはいい。」と得心した次第である。キャッチフリーズ通り、肌に優しくフィットし、動き易く着心地満点、意気揚々とスケジュールをこなすことができた。出張の翌週、某社製顕微鏡“マイクロウォッチャー”のデモンストレーションに居合わせた折のこと…。当方にその装置の購買意志のないことは直ぐにお察しの業者の方であったが、「ご遠慮なく、どうぞ自由にお試しを。」との親切な言葉に甘えて、学生共々大いに楽しませて頂いた。ポリマーフィルム、濾紙・ワイパー類をはじめ、手近にあるもの片っ端からその表面をカメラプローブにあてがい、TVモニターに現れる映像を見ては、「ウワァー」の連発で、大はしゃぎのひとときであった。特に、服飾の映し出す精緻なテクスチャーの美しさは実に見事、編・織・染・縫の妙趣に魅了され、ただ感服するばかりであった。知識として承知はしていたものの、遅ればせながら実際に肌と視覚を通して、我が国の繊維技術の水準の高さを改めて認識させられた思いである。

衣料素材としてのイメージが強い繊維であるが、身近なスポーツ・レジャー用品から航空・宇宙関連に至るま

で、見渡せば、新繊維素材とそれをベースにした複合材料のオンパレードとなっている¹⁾。近年著しい発展をみせた各種FRP（繊維強化プラスチック）に代表されるように、いわゆる先端複合材料の進歩に貢献し、真の主演を演じてきたのは、他ならぬ一次元高度配向物質としての繊維である、と言っても過言ではあるまい。繊維高分子材料に対して、高強度・高弾性率化をはじめとするハイパフォーマンスを追及した基礎並びに応用研究の成果であり、この分野でご活躍の諸学兄の熱意には率直に敬意を表したいと思う。しかし現在のスーパー繊維といえども、分子構造論的に予測される性能には未だ相当及ばないレベルで使用されていることに鑑み、次世代に向けて“超”スーパー繊維へのブレイクスルーを期待したい。

2. 生体組織の妙に学ぶ

繊維形成高分子をベースとした複合材料に限定すべきことではないが、上に述べた力学的・熱的極限性能の飛躍的發展を目指す路線とは別に、生体系にみられる緻密な組織構造とそれに基づくインテリジェントな機能発現機構をよく理解することは重要であり、新規材料設計を推し進める上でもっと強調されて然るべきであろう。この点に関して、E. Baerらが提唱した“生体組織を範とする階層構造論的アプローチ”²⁾は非常に示唆に富む。彼らは腱、腸（壁）、椎間板を例にとり、それらを階層構造に細分化して組織の形態学的特徴を明確にし、機械的機能や拡散輸送機能等との密接な関係について考察している。

生体結合組織の基本構成要素となるのはコラーゲンである。その分子形態は15 Å 径、2900 Å 長の棒状で、ポリペプチドの3本鎖ラセンから成り、トロポコラーゲン

For the Design of New Advanced Composites

筆者紹介 YOSHIYUKI NISHIO

Department of BioEngineering, Nagaoka University of Technology

長岡技術科学大学工学部生物系 助教授 工学博士

本稿では、生体組織、天然高分子を例に、新規複合系の構築とその高性能、高機能化に対する抱負を述べていただいた。

と称される。トロポコラーゲンが5本1束に平行配列して3.6nm径のミクロフィブリルを形成するモデルが一般に広く受け入れられている。この際、隣接分子間に約1/4長(～67nm)の配置のずれ(stagger)が生じ、電顕下では特徴的な横紋構造が観察される。ミクロフィブリルは約20nm径のサブフィブリルへと凝集し、そのサブフィブリルが集合して50～450nm径のフィブリルを形成する。この段階までは、腱、腸、椎間板の各組織においてほぼ共通的な構造形成過程である。フィブリルが更に集合して数十 μ m径以上の繊維生成に至るが、フィブリルより高次の構造レベルでは、配向様式(layup)並びに他成分(プロテオグリカン、ヒアルロン酸)との複合化形体が、各結合組織間で大きく異なっている。

図1 椎間板の模式図。クリンプしたコラーゲン繊維は脊柱軸に対して傾斜配向し、diskの圧縮に伴い伸張する。

図1には椎間板を模式的に表した。diskの中心部は髄核(nucleus pulposus)と呼ばれ、コラーゲン(Type IIが主体)の他に、プロテオグリカンと多量(>85%)の水を含みゲル状になっている。髄核の周囲には、主としてType Iコラーゲンの繊維束から成るラメラシートが同心円的に配置され、線維輪(annulus fibrosis)が構成されている。各ラメラ内ではコラーゲン繊維が脊柱軸に対して傾斜配向し、周期的なクリンプ形態を有している。diskが圧縮されると、ゲル状の髄核はその含水率を変えながら横方向に拡がり、線維輪領域のラメラを外側へ膨張させる。この際、圧縮荷重はクリンプした無数のコラーゲン繊維の引張り変形のためのエネルギーとして分散転用されるので、椎間板は硬骨間padとしての緩衝機能を首尾よく全うできる。また、隣接する2つのラメラシート間でコラーゲンの脊柱軸に対する配向角を

比べると、正負の符号だけが逆の関係(即ち交互配向の関係)にある。このため、振りや曲げの応力印加に対してもdiskは安定に機能することができるしくみになっている。

合目的に構築された生体各組織はまさに巧妙な複合系と言う他なく、今後それらに学ぶべきことはきわめて多い。

3. 天然高分子を活かす

動・植物体の繊維質構造を形成する高分子は、生体系外に抽出され、比較的単純な(?)処理加工を経た後、やはり繊維素材を中心として広く実用に供されている。しかしながら、思うに、我々はこれまで天然高分子のもつ性質・機能(潜在能力を含む)のうち、ごく一部を借用してきたにすぎない。特にセルロース、キチンをはじめとする天然多糖類は、生産増殖できる巨大なバイオマスであり、その広範且つ高度な有効利用を謀ることは、地球環境問題とも絡んで特別な意味合いを帯びてくる。これら多糖の分子レベルでの特性(水素結合・被化学修飾能、半剛直性など)及び分子集合体レベルでの特性(ゲル化・液晶形成能など)をより深く理解すると共に、例えば合成高分子を併用して巧みにハイブリッド化していくならば、多糖をベースとした新たな機能開発への途も自ずと拓けてこよう。最近筆者らの研究室では、セルロース・キチンの有機系溶剤への非分解迅速溶解法、及び均一溶液からの凝固ゲルの構造固定化法等を駆使して、多種多様な多糖/合成高分子複合膜の作製を試み、優れた力学的・熱的性質や選択的透過・収着機能を見い出している³⁾。

以上、繊維形成高分子を基本に据えた新規複合系の構築とその高性能・高機能化に向けて、期するところと抱負を披露した。

文 献

- 1) 例えば、宮本武明、本宮達也、「新繊維材料入門」、日刊工業新聞社(1992年)。
- 2) E. Baer, J. J. Cassidy, and A. Hiltner, *Pure & Appl. Chem.*, **63**, 961 (1991)。
- 3) 西尾嘉之、木村悟隆、鈴木秀松、*高分子加工*, **42**, 470 (1993)。

(平成5年11月2日受理)