「機能紙」特集

バイオ・メディカル関連機能紙 —その理念と範ちゅう—

小林 良生

1. はじめに

紙・パルプ産業の産業統計は昭和63年1月に大幅な改訂を見たが、新しい分類によると、①新聞巻取紙、②印刷・情報紙、③包装用紙、④衛生用紙、⑤雑種紙である。このうち①、②及び③が生産の大部分を占め、紙の機能(6W 説¹⁾)の主体は書写材料としての機能(Write)と包装材料の機能(Wrap)が特出していることが判る。④の衛生材料としての用途は、本来ディスプレイ製品としての用途(Wipe & Waste)で、本来紙が安価な製品であったことに由来する。

しかし、紙が本来的な使用目的(上記3W)を超越して、「繊維状の2次元展開物」の1ジャンルとして、その機能を拡大して行くに従い、その用途も産業資材、土木建築材料、医療衛生材料、電気・電子産業材料など、幅広い細分化された分野に拡大されてきている。

はっきりした統計はないが、三木特種製紙(株)社長の三木輝久氏の言によると、「紙製品の価格と生産量をプロットすると、キロ当たりの単価が300円が分岐点で、それより安価な製品は量産品として大量生産されているが、それを越えると生産量は著しく低下する。しかし、後者の市販価格は一般に高く金額を尺度とするとかなりいい位置を占める」という。

このように紙は大量生産型の一般紙と小ロット生産型の高機能性紙とにかなり明確に2分極化されているように思える。そこで、後者を筆者らは「機能紙」と呼ぶことを提唱してきたが、本稿では機能紙のうちでも高機能の故に将来の発展が期待されているバイオ・メディカル分野で使用する機能紙について考察して見たい。

2. バイオ・メディカル関連分野ペーパーの範ちゅう

「バイオ(bio-)」というのは、ギリシャ語の“bios”

つまり life を意味し、ラテン語の *vivus*(living) と類似の言葉である。それ故、バイオ関連とは、生物・生体関連、つまり動・植物、微生物関連と解することができる。また、メディカル関連とは生体のうちでも人体に関わる分野で医療及び保健・生理衛生関連と考えることが出来る。そこで、筆者はこれらの関連分野の紙を“バイオペーパー”と名付けて、先に解説した^{2,3)}。

まず、バイオ関連分野のペーパーを概観する。

第1のカテゴリーである動物関連では農畜産業関連の分野で、古くは蚕座紙、最新ではゴキブリなどの誘引紙、防虫紙、忌避紙などが挙げられる。

第2の植物関連分野では、農林業資材としてのペーパーが主体で、育苗紙、遮光紙、移植用紙、温床紙、果実袋用紙などの例示がある。この分野は単に産業のみでなく、近年園芸分野として、豊かさ、ゆとり、高齢化、余暇利用などからきめ細かい紙加工品の市場が期待される。しかし、この分野は不織布のジェオテキスタイル、アグロテキスタイルと競合することも多く、これらの素材が天然セルロース以外の素材で構成されていることが多いことから、生分解性プラスチック・フィルム⁴⁾の研究開発の熱い要望と相まって素材的な再考慮が求められてきている。

第3の微生物関連は、紙の分野でいえば主として食品工業との関係が密接であるし、同時にメディカル分野とも関連性を持つ。この分野は大別すると、発酵食品などの食品生産に関与する紙と一般食品の保存・輸送などに関係する包装紙・板紙とがある。前者では酵素・微生物固定紙、後者では防カビ紙、耐水・耐油紙、滅菌包装紙が代表で、また近年では鮮度保持紙などが注目されており、主に機能性の包装紙としての用途である。

メディカル関連ペーパーは、医療関連と保健生理衛生分野に大別できる。医療関連を考えると間接的に医療に

High Performance Paper Related with Biotechnology and Medical Field

筆者紹介 YOSHINARI KOBAYASHI

Government Industrial Research Institute, Shikoku

工業技術院四国工業技術試験所 システム技術部長 工学博士、農学博士

筆者は、天然高分子化学、製紙化学が専門で、靱皮繊維の生化学パルプ化の研究を行っておられる。趣味は紙郷探訪と随筆で、ずいひつ「遅路宿」の同人でもあり、「和紙周遊」(ユニ出版、1988)をものにされ、趣味の面でも活躍されている。本稿ではバイオメディカル分野における機能紙の現状と今後の展開を中心に総説していただいた。

関与する紙と直接的に関与する紙との2つに大別できる。前者は手術室・実験室などに無菌的なクリーンな環境を作り出すに供されるクリーンペーパーである。これには紙粉を生じない無塵紙と無塵環境を提供するのに使用される高性能エアフィルターがある。直接医療に関与するペーパーは大別して直接あるいは間接的に生体または生体成分と接触する医療材料とこれらの材料を無菌的に保持する無菌的被覆材の2つがある。

医療材料は基本的には目的とする効果(医用機能性)と使用に際しての安全性(生体適合性)を備えることを求められ、その用途は図1のようである⁵⁾。このうち紙はデ

図1 医用材料の用途と具備すべき条件

(医用高分子材料編集委員会編, 「医用高分子材料」から引用)

ィスポーザブル医療用品が主体を占める。この分野は乾式不織布とかなりの分野で競合する。検査用センサーの範ちゅうには臨床化学検査のドライケミストリーと呼ばれる臨床検査紙⁶⁾がある。人工臓器の紙関連分野は人工皮膚⁷⁾である。無菌的被覆材は医療器具の包装材としての用途である。

保健衛生関連ペーパーとはいわゆる家庭・衛生紙で、ティッシュ、トイレットペーパー、ペーパータオル、ナプキン、生理用品、紙おむつ、除湿紙、脱臭紙、芳香紙、ティーバッグ、コーヒーフィルターなどである。

3. バイオ関連ペーパーの技術的・市場的特徴

製紙業が専ら対象としてきた紙の主要3大機能(Write, Wrap, Wipe & Waste)を充足する紙は木材パルプを主体として、大量生産型の一般紙である。しかし、この機能を越える、上記のようなバイオ・メディカル関連分野のペーパーはまた別の技術上の要求特性を持つ。

第1の特性は用途が多種で、生産ロットが小さく、きめ細かな対応を要求されるということである。ここに従来の技術にない小ロット生産技術の開発が必要になって来る。

第2はセルロースのみの特性では十分な対応ができな

いということが多い。強度、弾性、疲労強度、クリーブ、透明性、電気熱伝導性、融点・軟化点、比重、湿潤強度、耐摩耗性、気体透過性などの物理特性、吸水性、撥水性、耐水性、溶出性、耐薬品性、溶解性、紫外線耐性、耐放射線特性、耐酵素性、劣化特性、耐熱性などの化学特性、毒性、炎症誘起性、抗原性、凝血性、発ガン性などの生物特性など用途に対応した特性である。このような場合に、天然、合成あるいは半合成の新しい素材を製紙技術の基本である湿式法や新素材を応用した紙加工技術を駆使して対応することが求められている。

このようなニーズに対応できる紙を筆者らは機能紙(high performance paper)と呼ぶことを提唱しているのである。従来“特殊紙(specialty paper, specialties)”という言葉がある。これは“製紙工業で標準品の中に入らない紙・板紙で特殊な目的、特殊な規格を満足するユニークな特性をもってつくられたもの”(John R. Lavigne: Pulp & Paper Dictionary)であり、“天然セルロース紙を内添加工または塗布含浸加工などによって機能改質を図った紙”である⁸⁾。つまり、特殊紙とは天然セルロース紙の1分野に過ぎない。機能紙は繊維の種類を問わず、短繊維を構成ベースにするので、天然セルロース繊維を構成物とするときには特殊紙と一部オーバーラップするところがあるが、そのカバーする範囲ははるかに広い。それと同時にそれは先端技術をにらみ、新しいニーズに対応できる紙の新しいジャンルなのである。

バイオ・メディカル関連ペーパーの市場特性を眺めると、第1の特徴は概して高付加価値製品が多いため、小ロット生産に適していることである。その第2は高齢化・高福祉社会への移行、生活の豊かさ・ゆとり・簡便さへの要求から市場の将来性が大きいことである。しかしながら、第3の特徴として合成高分子、特殊な天然高分子など新素材、特殊素材をベースと2次元展開物として、技術的には乾式不織布、フィルム・膜など2次元機能材料(面状機能材料)との競合性、特に共存性があることである。機能紙はあくまでも短繊維を水の媒介で2次元に展開したものであるが、水の代わりに空気を媒介とした乾式不織布との接近、技術交流は不可避であろう。

ところで、この分野の全体的な技術動向は、先の総説に譲り¹⁻³⁾、本稿では衛生紙の代表である紙おむつと海洋バイオマスからの紙につき製品開発の具体例を述べる。

4. 高吸水ポリマーベースの紙おむつの研究開発

紙おむつは、1940年半ばにスウェーデンで誕生した。1961年米国でプロクター・アンド・ギャンブル社で all in one タイプと呼ばれる吸収体と防水体を一体化して、

普及率が急速に向上した。わが国では1962年白十字社の販売が初めてであるが、1977年に all in one タイプの生産で低迷から脱し、その後1981年高吸水ポリマーと綿状パルプと吸収紙からなる吸収体の開発で、乳幼児の動きに応じた薄くて、軽くて吸収力の優れた高機能の製品開発が進み、爆発的な需要の伸びを示している^{9,10)}。これは機能の向上と同時に核家族化による育児環境、育児習慣の変化及び家事の省力化にみられる便利なものを使用し、その価値を求める生活意識の変化によるものと見なされている。しかし、紙おむつの使用率、つまり布おむつからの転換率をみると1985年ではスウェーデンを100としたときわが国は20で先進諸国の中では英国と並んで最も低く、大人用のものと相まって大きな市場が期待されている。

4.1 紙おむつの要求機能

おむつに求められている機能は、“濡れない、漏れない、蒸れない、かぶれない”である。そのための機能は、①排泄された尿を素早く吸収し、一旦吸収された尿は吸収体に保持され、押ししても肌には戻らなく、また、おむつ外には漏れ出さないこと、②おむつ表面の肌触りがよく、③おむつ内部の温湿度が抑えられ、④おむつを着用したとき、動きが妨げられず、特定の部位を適度に締め付けたりしないこと。

表1 紙おむつ構成の各素材とその機能

部 位	素 材	機 能
表 面 材	不 織 布	肌ざわり(乾・湿)、液透過性がよい
吸 収 体	フラッフパルプ クレープ紙 高吸収性ポリマー	素早く吸収、拡散 押ししても戻らない
防 漏 材	ポリエチレンシート	感触がよく漏れない、透湿性
レ ッ グ ギャザー	エラスティック材 湿感性弾性体	適度に身体にフィット 漏れを防ぐ
結 合 材	粘着テープ	しっかり固定、繰り返し着脱

(文献¹⁰⁾から引用)

4.2 紙おむつの基本的構成とその機能

上記の要求機能を満足させるために、紙おむつは3つの主要部分から構成される⁹⁾。①尿の吸収に関与する部分、②結束に関与する部分、③漏れ防止に関与する部分である。①は表面層として使用する不織布と尿を受ける内部吸収体からなる。②は3つのタイプのテープ成分、つまりファッسنテープ、インターテープ、リリーステープから構成されている。③は裏面の防漏機能のバックシート、背部、腹部への防漏機能のエンドパート、大腿

部からの漏れに備える伸縮性のギャザーから構成されている。

その基本構造を断面図で表すと、図2のようになる。

図2 紙おむつの断面樹略図(例)

(文献¹⁰⁾から引用)

図3 吸収体への吸収機構

(文献¹¹⁾から引用)

構成素材とその機能分担は表1のようである。言うまでもなく、その心臓部は吸収体である。効率的な吸収を達成出来るのは図3の模式図の機構が取れるように構成されているからである¹¹⁾。身体から排泄された尿をまずフラッフパルプで素早く拡散、吸収させ、その後、フラッフパルプの間隙に存在する尿をポリマーが吸収し、漏れたフラッフパルプをドライなパルプに戻す。従って、次の排泄に待機することが出来る。ポリマーに移行した尿はパルプ中に存在する尿と異なり、体圧が加わっても容易に流出せず、身体表面は濡れ感がない。

その構成は紙、乾式不織布、フィルムの巧みな配列であり、機能性面状素材の機能を結集させていることがうかがえる。

4.3 高吸水紙の開発

吸収体を構成する高吸収紙について、筆者は特許を中心にその開発動向を紹介した¹²⁾。静岡県製紙工業試験場でもその製法と応用研究がなされ、加工性を有した数種の吸水紙が開発されているが、その詳細は明らかにされていない¹³⁾。吸水紙は初期のナプキンなどではクレープの大きな薄紙が用いられていたが、紙おむつでは天然セルロースと合成ポリマーの複合体のようである⁹⁾。フラッフパルプにはCTMPの検討もなされている¹⁴⁾。

4.4 廃棄処理性

紙おむつの着用性能については、被服学的な見地から評価がなされている^{15,16)}が、近年重要なことはその廃棄性である。東京都の清掃工場に搬入されるごみの中に、昭和61年7-8月の調査で1トン当り含まれる紙おむつの個数は平均60.4個、重量割合は1.0%で、1個当りの重量は180gであった¹⁷⁾。底位発熱量は1237kcal/kgと推定され、その寄与率は0.74%である。この結果、焼却への影響は殆ど考えられず、燃焼性硫黄、揮発性塩素などの寄与率かなり低く、焼却処理上の問題は無いと判定された。

5. 海洋多糖類からの機能紙の研究開発

メディカル用途の紙を開発する場合の重要な視点は、素材を生体適合性のあるものを選定することである。海洋多糖類は生体適合性を有し、しかも、生体内分解吸収性を持つものが多い。

資源的な面を考慮すれば、海洋地球の3/4を占め、200海里の排他的経済水域を入れれば、わが国は世界で6位の大国となり、海洋バイオマスは豊富である。加えて、近年海洋バイオのプロジェクトが通産省で発足し、新しい資源探査もなされる。

それ故、海洋多糖類からの紙は、特異な機能を保持したシート材料を提供すると期待される。この分野で製紙分野の研究開発が進んでいるのはキチン・キトサン及びアルギン酸である。

5.1 キチン・キトサン

キチンはセルロースのグルコース残基のC-2位の水酸基がアセトアミド基で置換した(1→4)-2-アセトアミド-2-デオキシ-β-D-グルカンであり、キトサンはその脱アセチル化物である。キチンはセルロースのように繊維状に抽出することは出来ないで、紙にするには、繊維化することが必要である。キチンドープは辛酸、トリクロル酢酸、またはジメチルアセトアミド/LiClの溶媒で調整でき、その紡糸で繊維化できる^{18,19)}。

キチン繊維はレーヨンと同様にそれ自身では繊維間強度が弱く、そこで筆者らはアセチル化キチン繊維をバインダーとして純キチン繊維紙を製造した²⁰⁾。キチンは創傷治癒効果があることが、Pruddenらによって明らかにされていることから、創面被覆材への検討が、ユニチカ(株)でなされ、キチン繊維をPVAバインダーで抄造したキチン繊維紙が市販された²¹⁾。

臨床試験では鎮痛効果、密着性、溶解に対する耐性、乾燥、表皮形成などに優れていた。

5.2 アルギン酸繊維紙

アルギン酸繊維のガーゼ(織布)が毛細管出血のカバー

材に利用されたことから、アルギン酸繊維紙の創傷保護材への検討がなされている。アルギン酸はD-マンヌロン酸とL-グルロン酸のブロックコポリマーである。そのナトリウム塩が水溶性、カルシウムなどの高価塩が不溶性であることを利用して紡糸する。その短繊維は自己接着性を有し、天然セルロースパルプのように抄紙出来る²²⁾。紡糸が温和な条件でなされるので、酵素などの活性物質の繊維状での包括が可能で、耐水加工を施せばバイオリアクターなどの応用が考えられる。

6. おわりに

製紙技術とは短繊維を水を媒介にして、2次元に配列する技術である。それは天然セルロースパルプに限る必要はなく、広く様々な繊維に応用できる普遍的な技術である。媒体に使う水に代わって空気をういたものが乾式不織布である。この両者は流体を媒介にして1次元の繊維から2次元のシートを作ることは共通である。従って、この両技術はある時は競合し、またある時は共存する。

機能紙研究会が目指すものは、そういうフィロソフィーの上に構築された湿式をベースにした、新しい思考パターンと技術展開であり、バイオ・メディカル分野は、この思考を展開するのに格好なフィールドである。

引用文献

- 1) 小林良生, 紙バ技協誌, **39** (6), 527 (1985)
- 2) 小林良生, “特殊機能紙”(テクニカルレポート No. 38), pp. 137-159 (1983) シーエムシー社
- 3) 小林良生, “高機能紙の開発と応用”(監修稲垣寛), pp. 149-172 (1988) シーエムシー社
- 4) 西山昌史, 機能材料, **10** (1), 29 (1990)
- 5) 浅原照三, 岡村誠三, “医用高分子材料”(医用高分子材料編集委員会編) pp. 1-14 (1981) 学会出版センター
- 6) 濱中 忠, 機能紙研究会誌, No. 26, 7 (1987)
- 7) 小林良生, “機能性不織布の開発と応用”(編集村義男), pp. 166-183 (1989) シーエムシー社
- 8) 門屋 卓, “最新紙加工便覧”(テックタイムス編), pp. 6-9 (1988) テックタイムス社
- 9) 鈴木 磨, フラグランス ジャーナル No. 65, 96 (1984)
- 10) 奥田真知子, 水谷 浩, 織消誌, **27** (12), 518 (1986)
- 11) 小林隆俊, コンバーティク, **15** (9), 1 (1987); 材料技術, **6** (9), 361 (1988)
- 12) 小林良生 (匿名), 紙パルプ技術タイムス (臨時増

- 刊号 技術アニュアル), 29 (2), 112-113, 118 (1986)
- 13) 久保嶋勝巳, 桑原啓至, 倉田俊彦, 兼子知行, 静岡県製紙工業試験場報告, No. 36, 57-66 (1984)
- 14) Anon., *Paper* 208 (9), 49-50 (1987)
- 15) 豊間 和子, 小松 真弥, 織 消 誌, 30 (5), 223 (1989)
- 16) 中橋美智子, 有賀敦子, 日本衣服学会誌, 28 (1), 16 (1984)
- 17) 田村和男, 中村 豊, 北島義文, 本田 正, 東京都清掃研究所研究報告, 1985, 51 (1987)
- 18) 西山昌史, 機能紙研究会誌, No. 22, 11 (1983)
- 19) 西山昌史, 紙パルプ技術タイムス, 31 (4), 6 (1988)
- 20) M. Nishiyama, Y. Kobayashi, S. Tokura and N. Nishi, U. S. Patent 4, 392, 916 (1983)
- 21) 木船紘爾, 機能紙研究会誌, No. 27, 43 (1988)
- 22) 小林良生, 蛋白質・核酸・酵素, 31 (11), 1066 (1986)
- (平成2年1月16日受理)

マリンテキストラクチャー(MTS)推進協議会 設立記念講演会

わが国にとって、沿岸海の開発とその環境保全は極めて重要な課題であります。化学繊維業界と建設業界では、学界、官界の協力を得て、本年2月21日、繊維およびその複合材の海洋における需要創造を目的とした標記推進協議会を設立致しました。これを記念して、下記により、講演会を開催致します。

多数のご参加をお待ち申し上げます。

記

主 催：マリンテキストラクチャー推進協議会

協 賛：(社)繊維学会ほか

日 時：平成2年7月2日(月) 13:00~16:30

場 所：コープビル6階 第三大会議室

東京都千代田区内神田 1-1-12

電話 03-294-3821

地下鉄 丸の内線・千代田線・東西線
大手町駅から徒歩5分 鎌倉橋交差点角
日立ショールーム西隣 11階建ビル

プログラム：

(1) 海洋開発への期待

東京大学名誉教授・放送大学教授 奈須 紀幸

(2) 海洋生物資源の開発

東京水産大学教授 中村 充

(3) 海洋空間の利用開発 日本大学教授 佐久田昌昭

(4) 繊維と複合材料 東京工業大学教授 高久 明

定 員：130名(定員に達し次第締切らせていただきます)

申込方法：官製ハガキに所属・氏名・電話番号をご記入のうえ次の宛先に6月15日(金)までにお申し込み下さい。なお、参加費は無料と致します。

〒541 大阪府中央区瓦町 4-6-8

日本化学繊維協会・大阪事務局内

MTS 推進協議会事務局(古川・山崎)

電話 06-231-6783