「機能紙」特集

製紙会社からみた機能紙開発の問題点
—エアーフィルターメディアの例—

長谷川 久・数 森 康 二

1. はじめに

北越製紙(株)はパルプ、紙、板紙を一貫生産する総合製紙会社である。主要商品は洋紙、コート板紙そして特殊紙であり、全4工場の内研究所に隣接する長岡工場は特殊紙専門工場である。特殊紙と機能紙の区別については本誌にて諸先生が鮮明にされるはずであり、ここでは特に言及しないが、当社の特殊紙商品の中には機能紙として分類されるものもあると考えるが、それらは天然繊維を主体として構成されているものである。一方、約1年前より本格生産体制にはいったガラス繊維シートは高性能エアーフィルタ用メディア(濾材)として用いられるものであり、使用する極細ガラス繊維とそれから構成されるシートが濾過作用という機能を果たす主役であるという点ではまさしく機能紙と呼ぶにふさわしいものと考えている。高性能エアーフィルタ用メディアについては、国内では日本無機(株)他数社が手掛けている。またガラス繊維シートという点では製紙メーカーである本州製紙(株)、三菱製紙(株)が長年の経験と実績を有しておりその意味では筆者等が機能紙について語る立場にはないかも知れないが、この分野に経験のない当社が、どのような考えのもとに機能紙の開発、マーケティングにとり組み、その結果どのような問題点を感じているかを示すことも意義あると考え、以下高性能エアーフィルタ用メディアを具体例としてとり上げ私見を記してみた。

2. エアーフィルタ用メディア開発の背景

当社はもとより、パルプに樹脂を多量に混合し積層し

たボード(商品名:パスコ)や原料紙を塩化亜鉛浴中で膠化して製造されるバルカナイズドファイバーといった工業特殊加工紙の製造を行っており、その製造工程ではガラス繊維の混抄など無機繊維の使用には経験を積んでいたが、無機繊維や合成繊維を主体とするシート化については設備的にも限界があり、躊躇せざるを得ない状態であった。一方、天然繊維以外の繊維を多量かつ高度に利用していくことは、特殊紙メーカーとしては新展開をはかるために、また既存ユーザーの要望に応じていくためにも必要不可欠な選択であり、また異業種との交流、ハイテク分野との係りは願望であった。

そして世界的に環境問題、健康ブームに代表されるように、クリーンな空間への関心が高まってきており、一方、先端産業であるエレクトロニクス工業において、高度化の中心的役割を果たしている半導体産業では超LSIの微細化と高密度化が進められており、その進歩を支えている一つがクリーン化技術である。超LSIが製造される空間は高度にクリーンな空間であり、人間の生活空間と比較すると単位容積中の塵埃の個数は 10^{-6} 以下である。このクリーンな空間を作り出すために主要な役割を担っているのが後述するHEPAフィルタ、ULPAフィルタと呼ばれる高性能エアーフィルタである。これらフィルタについては、すでに市場が形成されていることから、具体的商品ターゲットを持てることを重視し、前述した背景を踏まえ開発に着手した。

3. 高性能エアーフィルタ用メディアについて

HEPA(High Efficiency Particulate Air)フィルタは第

長谷川 久氏

数森 康二氏

Problems in R & D of High Performance Paper from Papermaking Company's Viewpoint —In Case of Air Filter Media—

筆者紹介 HISASHI HASEGAWA and YASUJI KAZUMORI

Central Research Laboratory, Hokuetsu Paper Mills Ltd.

北越製紙株式会社 研究所

長谷川 久氏は常務取締役研究所長

数森康二氏は主任研究員

筆者は製紙技術の中でも特に特殊紙の開発研究に広く従事してこられたが、最近では特に機能紙による異分野への展開に深い関心をもたれている。長谷川氏は社交ダンス、数森氏は読書を趣味とされている。本稿ではフィルタメディアの開発経験から機能紙開発に伴う数々の問題点を企業の立場から浮き彫りにして頂いた。

2次世界大戦中、米国において原子爆弾の開発中に放射能ダストを除去する目的で軍事用に開発されたものである。当初、セルロース繊維、アスベスト繊維が用いられていたが、1960年代になりガラス繊維だけのメディアが作られるようになった。このような経緯からメディアの規格は米国陸軍規格 MIL-F-51079C に規定されており、メディアメーカーもこの規格に準じた性能評価を行っている。この規格ではメディアの捕集効率¹⁾は面風速 320cm/min において 0.3 μ m の DOP(Dioctyl phthalate)エアロゾルに対し、99.97%以上と規定されている。

その後超 LSI の集積度が高まるにつれ、制御対象粒子径が 0.1 μ m で捕集効率が 99.999% 以上というさらに性能の高いフィルタが 1980 年代に日本、次いで米国で開発された。これを ULPA(Ultra Low Penetration Air)フィルタと名付けて従来の HEPA フィルタと区別している。

ガラス繊維から成るエアフィルタを性能別に分類すると表 1 になる。中性能の一部と粗塵用フィルタはガラス繊維以外に合成繊維を材料とした不織布が多く使用されているが、それ以外はほとんどすべてガラス繊維を材

料としている。これらは通常平面なシートの形態で用いられることはなく、濾過面積を上げるために幾重にもヒダ状に折られ(ブリーツ加工)枠内に納められフィルタ(ユニット)となる。ユニットの表面積に対し、折り込まれるメディアの総面積は数倍から数百倍に達する。またヒダとヒダの間にはセパレーターと呼ばれる波状のスペーサーがはいるか、セパレーターの代わりにリボン状のものをメディアに接着させスペーサーの役割を持たしている(セパレーターレス)。

エアフィルタ用ガラス繊維シートの市場は表 2 の通りである¹⁾。1989 年の予想量は HEPA, ULPA フィルタが 370t、中性能フィルタを含めると 750t である。これは日産能力 3t のマシンが 1 台あれば国内需要量を賄える量であり、汎用紙マシンが日産 300~400t の紙を生産することを考えると決して大きなマシンではないことがわかると同時に市場はかなり小さいと言える。この市場の大部分は国内メーカーもあるが、Lydair, H & V といった米国メーカーからの輸入に依存していると言われている。ガラス繊維シート全体量に対する割合も 11% と低い²⁾が、価格レベルは最も高い。これらは主として原料である極細ガラス繊維が米国からの輸入に依存しており、価格が 1000~3000 円/kg と高価であることによる。

表 1 エアフィルタの性能と用途

種 類	測 定 法	捕集効率(%)	主たる用途
ULPA	0.1 μ mDOP	99.999 $\leq$	クラス 1~10 のクリーンルームメインフィルタ
HEPA	0.3 μ mDOP	99.97 $\leq$	クラス 100~10,000 のクリーンルームメインフィルタ
中性能	比色法	60~95	ビル空調用メインフィルタ
粗塵用	重量法	20~98	プレフィルタ

4. 開発実務における問題点

(1) 開発ターゲットの策定

開発のターゲットを何にするかは最も悩む問題である。テーマの選定を誤り徒労に終わることも多い。しかし機能紙に限らず開発というものは常にリスクを伴うものであり、リスクが少ければリターンも少ないということも事実であろう。目的とする商品の性格がシーズ型商品かニーズ型商品か、すでに市場のある商品か、あるいはその延長線上にあって数年先の商品かといった見極めが必要であり、それによってアプローチの仕方も異なる。

表 2 ガラス繊維ペーパー用途別需要推移 (1)

(単位: トン)

用 途	1987年	1988年(予)	1989年(予)	価格(円/kg)
プリント配線基板	800	1,000	1,200	1,000~2,000
床材(クッションフロア)	2,800	3,000	3,000	700~1,000
ルーフィング	720	600	600	700~1,000
中性能フィルター	280	330	380	2,000~3,000
HEPA・ULPA フィルター (輸入品を含む)	270	320	370	3,000~4,000
バッテリーセパレーター(完全密閉型)	600	720	860	2,000~3,000
その他	100	130	160	—
合 計	5,570	6,100	6,570	—

(大阪ケミカル調べ)

ってくる。商品ターゲットを何にするかは、市場調査結果を基に、会社のポリシー、自社の研究開発力、共同開発パートナーの有無、マーケティング能力その他諸々の観点と照らし合わせて決定される。新分野にはいる場合には共同開発の良きパートナーに恵まれるか否かで開発のスピード、成果は大きく影響されよう。しかしながら、双方がメリットを認め、良きパートナーと認めて初めて共同開発が成立するのであり、一方が望んでも相手側がパートナーとして不十分と考えれば成立せず、簡単な問題ではない。

エアークリタメディアの場合は小さいながらすでに市場のある商品であり、商品ターゲットとしては具体的であるが、後発メーカーの製品が市場に受け入れられるためには品質にどのような特徴を付与できるか、現流通品との差別化ができるかといった点が課題となる。実際、現流通品と同等の性能を有する製品を出したが、市場の反応は冷たかったという経験もある。エアークリタの最も重要な機能は圧力損失と塵埃の捕集効率であり、より低圧力損失化、高捕集効率化は永遠の課題である。ある一定の製法でメディアを作る場合、圧力損失を上げるとそれに伴い捕集効率は上昇し、片対数グラフの横軸に圧力損失、縦軸に捕集効率をとるとほぼ直線になる。この直線上での品質設計は比較的容易であり、目標とする捕集効率を得るにはある点以上まで圧力損失を上げれば良いという結果となる。この直線上からはずれ、同一圧力損失でより高い捕集効率、または同一捕集効率でより低い圧力損失のメディアを作るには別な製品設計が必要であり、この点を主要な研究課題とした経過がある。同一捕集効率で1ポイントでも2ポイントでも低い圧力損失のメディアを作るという課題は間違った選択ではなかったし、今後も研究すべき課題である。クリーンルームの運転には多量の電力が消費されており、フィルタの圧力損失を下げることは送風機の負荷を下げることで消費電力に貢献するという意義をもっている。

(2) 研究開発段階

実務者にとって大きな問題は、素材の選定、処方作成もさることながら、機能の評価する方法、設備をどうするかといった点にある。従来の紙の物性を評価するシステムだけでは機能紙の性能を十分評価することができないのが普通である。例えばフィルタでは当然ではあるが、その機能は濾過作用であり、圧力損失、捕集効率の評価は欠かせない項目である。測定法を規定するものとして前述の MIL 規格があるものの、市販の測定装置はなく、これらの装置を独自に準備する必要がある。

機能紙は何らかの加工を経て最終製品となる場合が多い。プリント配線基板用ガラスペーパーではプリプレグ

工程（樹脂含浸工程）、積層工程を経て基板となる。エアークリタ用メディアではブリーツ加工を経てフィルタユニットとなる。これら加工に対し紙が十分な適性を具備していることも必要である。フィルタメディアの場合、折り目にクラックが発生すれば、その機能が損われるし、シャープに均一に折れなければメディアの性能が発揮されないケースもある。ペーパー段階の物性評価で加工時の挙動を推定できる場合もあるが、実際加工機に通してみても初めてわかる問題もある。ブリーツ加工機を導入することは一つの方法であるが、ユニットメーカー各社によって加工方式が多少異なり、ある加工機で良いものが別の加工機では不満足な結果を示すこともある。機能そのものではないが、機能を十分発揮させるために加工適性は重要な要件である。

最終製品形態がペーパーと異なる場合には、あくまで最終製品の性能でもってペーパーの評価は決まる。フィルタの場合、フィルタユニット構造が性能に影響し、メディアの性能が発揮されないケースもある。ユニットの性能に及ぼす構造因子としては、メディアの折り込み数、スペーサー、折り曲げ部、接着剤の影響があり、これらは圧力損失に影響してくる。メディアだけ製造していると、予測できない問題が介在している。最終製品まで加工し、最終製品の性能を評価し、ペーパーにフィードバックできる一連の研究評価システムを持てれば理想であろう。いずれにしても最終評価はユーザーであり、ユーザーとのパートナーシップが重要であろう。

開発用製造設備の選定、導入は不可欠である。通常の木材パルプを対象とするペーパーマシン、調成システムは対象とする繊維が長繊維であることもあってそのまま転用することは難しい。また製造設備を運転するには習熟したオペレーターが必要であり、均一なシートフォーメーションを達成するには、製造設備、処方のみならず製造上のノウハウを必要とすることも多い。この辺は製紙メーカーが比較的得意とするところであろう。

(3) 品質トラブル

生産した機能紙が製品仕様からはずれ、所期の性能を発揮しない場合、当然ではあるが製品の価値は著しく低下する。木材パルプを原料とした紙と異なり、再生、転用が効かないことも多く、その場合には産業廃棄物の運命をたどる。フィルタメディアの例では所定の捕集効率を持ってなかったとすれば、もはやフィルタとしての価値はなくなり、せいぜい不燃性のガラスペーパーでしかない。最終製品になった後のトラブルはさらに大きくなる。物によっては安全上の問題にまで及ぶこともある。そのリスクをどこが負担するかは別にして多分にリスクな一面を機能紙は持っていると感じる。

5. 開発マネジメントからみた問題点

総合製紙メーカーにとって機能紙が一般紙のように単純的存在になり得るかという点に甚だ疑問である。むしろノーというべきかも知れない。研究開発用員、設備導入、開発費と投入した人、物、金に対し回収される収益は従来の一般紙、特殊紙と比較すると満足すべきレベルにはない。短期的収益を追求した場合とても意味のある分野とは言えないであろう。しかし、国内製紙産業の将来を考えた場合、機能繊維の抄紙技術、機能性を付与する加工技術を持つことは、経済大国日本で生き残れる一つの手段であり、世界一の人件費と世界一の地価の環境で並のものを製造していたのでは採算はとれないであろうという指摘ももっともと考える²⁾。

製紙会社が機能紙開発を新しく始めようとするとき、経営上のいくつかの決断が必要である。

第1に研究開発費である。製紙会社は一般紙を中心とする大手企業にあっては、売上高に対して0.3~1.0%程度の研究開発比率である。トップクラスの製紙会社は数千億円の上売があるから1%以下の研究開発比率でも莫大な金額になる。しかしながら、紙パトプ企業以上の規模をもつ電気メーカー、医薬品メーカー、化学薬品メーカー等は数%の研究開発比率はざらであり、10%をこえるメーカーもある。今朝の日経産業新聞(2.1.9)によれば、化粧品の中堅メーカーのマンダムが大手に対抗して研究所を拡大し、人員を増強するとともに研究開発費を売上高の2%にするということである。それでも業界としては少ないのではないか。

製紙会社でも特殊紙関連の企業は、一般紙メーカーより規模が小さいこともあって、研究開発比率がきわめて高いところが多い。たとえばコンデンサーペーパーメーカーとして、日本市場をほぼ独占しているし、世界の市場の65%を占めているという日本高度紙工業の研究開発費は売上高の10%にも達するが、それでもなお少ないのではないかと言っている。

当初から特殊紙、機能紙専門でスタートをするときはそのような高い研究開発費も計画のなかに折り込んでゆけるが、一般紙メーカーが特殊紙、機能紙分野に進出しようとするときは、その辺の割り切りがなかなかむづかしい。

第2に特殊紙、機能紙の開発に当たっては、情報は皆無であることを覚悟してかからなければならない。一般紙については、他社が新しい抄紙機で新銘柄の製品を市場に出した場合あるいは出す以前から、おおよそどんな抄紙機で、どんな設備で、どんな原料を使って、どんな薬品を添加してというようなことは、おおよそ見当がつ

く。

それは機械メーカーや、薬品メーカーなどから自然に情報が入ってくる。製品が市場に出れば、簡単に手に入るし、手に入れば日ならずして、製品の物性から原料構成、使用薬品のはてまでたちまちに分ってしまう。分ったからといってそう驚くこともない。大体想像していた範囲内の技術であり、やっぱりそうかという程度の受けとめ方である。

しかるに特殊紙、機能紙となると、ひとつひとつの製品がユーザー指定のスペックに合わなければならないし、そのためにどんな抄紙機でどんな原料と薬品で作らなければならないかは、全く自らの研究に頼るしかない。かりに市場で競合するものがあつたとしても、大抵の場合サンプルを手に入れることがむづかしく、入つたとしても切れ端程度の紙片で、一般紙のように徹底した分析に耐えるほどの量ではない。

だから求められる物性を出すのに、研究者自らの経験と知識に頼るしかなく、それはまたごく限られた分野についてエキスパートとしてのキャリアをつんだもののみに、効率的に可能である。

かくして特殊紙、機能紙はいかに小ロットといえどもそれぞれの品種に、専門に研究するエキスパートが必要で、売上額の割合では一般紙の研究者の何倍か、何十倍かの数の研究者をかかえてゆかなければならない。

このことは単に研究者あるいは操業現場のみではなく営業担当者にも同様のことが言える。従って、当然ながら売上高に対する人件費比率は高い。

コスト面でのこういう問題をカバーするには、一般紙にくらべ、限界利益率がずばぬけて高くなければならない。原料、薬品が特殊なものであるから高いのは当然として、それに限界利益をうんと多くということになれば売値は相当に高くせざるを得ないが、それでもユーザーが、その銘柄指定で買ってくれるような品質の優秀性を維持しなければならない。

第3に、特殊紙、機能紙は一般紙のように転用がきかない。一般紙はたとえば印刷用紙でオフ4色刷には表面強度が不足して紙むけをおこしたが、単色刷ならなんとか使えるという場合があり、若干の値引きで他へ転用してもらうことができる。しかし特殊紙、機能紙は、品質スペックがユーザー指定のそれより1つでも外れていれば、すべて返品になる。これはもはや他へ転用する手段がない。かといって、一般紙のように損紙として原料戻しすることもできない。

したがって、一般紙以上にユーザーとの綿密な打合せによるスペックの確認、テスト抄造のくりかえし、そして最終使用段階に至るまでの加工工程でのトラブル有無

のチェック等、非常に神経を使うことが多い。

それは計画、研究、製造、販売、アフターサービス等に時間と人手がかかるし、それぞれに個々の商品に関するエキスパートが必要なのである。

このように一般紙の会社が特殊紙、機能紙に進出しようとするときには、多くの金と人材と時間を投入する覚悟が必要であり、それにはそれに耐え得る一般紙分野での収益が見込まなければならない。

さらに、一般紙のように資材の購入や製品の販売についておおよその既存のルートがあるわけではなく、新しく開拓しなければならない、さらにそれらの技術情報について全社をあげて応援する心構えがなければ、特殊紙、機能紙の部門は孤立のなかに消滅してしまうおそれなしとしない。

同時に全社あるいは経営の期待にこたえて、特殊紙、機能紙の部門とくに研究担当者は、市場品並ではなく、それをこえる技術、品質を確立しなければならない。それによって既存市場に確固たるシェアを占有することが必要である。

6. 今後の展望とまとめ

各種の新規な繊維、素材とそれらを利用した機能紙の発表が誌上を賑わせている昨今であり、機能紙メーカーとしても非常に注目している。これらの中には今後用途

開発が必要なものも多いと見受けられる。一方、ある分野にはいってみるとその分野だけでも数多くの開発テーマがあることに新めて驚くこともしばしばである。エアーフィルタの例を挙げれば、前記したメディアの低圧力損失化、クリーンルームの空気清浄度が高まるにつれ捕集効率では表現できないような問題、例えばメディア自体からの発塵までが問題になっているがこの問題への対応、耐熱フィルタの要望、一方で焼却可能なフィルタの要望、抗菌フィルタ、耐薬品性フィルタ等々である。これ等は前記した新素材等のシート化による機能紙の開発、新分野開拓と同様に今後検討すべき重要な課題であると考えている。

以上、エアーフィルタメディアを具体例として機能紙開発の問題点を一製紙メーカーの経験を基に記してみたが、話がフィルタという狭い分野に偏りすぎたのではないかと反省している。読者の参考に少しでもなれば幸いである。

参考文献

- 1) 大阪ケミカルリサーチシリーズ, VOL. 3, NO. 110 (1988)
- 2) 藤原, 工業材料, VOL. 37, NO. 10 (1989)
(平成2年1月18日受理)

第27回 理工学における同位元素研究発表会

主 催 日本アイソトープ協会
共 催 (社)繊維学会ほか
期 日 7月2日(月)~7月4日(水)
場 所 国立教育会館
(東京都千代田区霞ヶ関三丁目2番3号)
申込先・問合せ先 〒113 東京都文京区本駒込
日本アイソトープ協会

第14回 人間-熱環境系シンポジウム

共 催 生理人類学会(幹事学会)ほか
協 賛 繊維学会ほか
期 日 平成2年12月6日(木)~7日(金)
場 所 日本女子大学 桜楓館
〒112 東京都文京区目白台2-8-1
TEL 03-942-6091
発表申込締切日:平成2年6月30日
英文抄録提出日:平成2年7月31日
原稿提出締切日:平成2年9月15日
参加費:5,000円
懇親会:平成元年12月6日(木)17:30~19:30
(会費5,000円予定)
連絡先:〒240 横浜市保土ヶ谷区常磐台156
横浜国立大学工学部生産工学科内
人間-熱環境系シンポジウム準備委員会
TEL 045-335-1451 (内線2666 川島)