総説

High Performance Paper

by

Katsumi KUBOSHIMA

Shizuoka Prefectural Research Institute of Pulp and Paper industry,
3363, Dembo, Fuji-shi, Shizuoka 417

The title of this review, "High Performance Paper," was named after the High Performance Paper Society, which has been working on researches of specialities and/or characteristics of paper for twenty-five years. The "high performance paper" may be classified among the "special paper" in the paper industry, though the difference is not very clear at present.

This review describes recent developments in the manufacturing of the high performance paper in the modern sense. The following three groups of newly developed high performance paper and their properties are discussed:

- 1) Paper made with inorganic, carbon and metallic fiber and with other materials. High performance of this group of paper is based on properties of raw materials.
- 2) Paper used for separation technology. Separation function of the paper originates in the structure of paper.
- 3) "Paper Ceramics." New characteristics appear through treatments of paper.

Key words: High Performance Paper / Special paper / Inorganic fiber / Carbon fiber / Metallic fiber / Separation technology / Paper ceramics

機能紙の現状と期待

久保嶋勝巳*

(原稿受理: 1987年3月17日)

1. はじめに

日本レオロジー学会第13年会のシンポジウム「レオロジーの応用」で講演した「無機繊維紙」の内容を、「機能紙」と改めて、現在、製紙業界において展開しつつある技術的思想の一端を紹介したいと思う。

最近、当該業界において「機能紙」が注目されているが、著者も属する「機能紙研究会」¹⁾の先駆的活動に依るところが大であると思われる。この会は、21年の歴史を有する「化繊紙研究会」を継承し、現在の名称に改称して(昭和58年)今日に至っているものであるが、改称に当たり、「機能紙」と当該業界で既に慣用されてきた「特殊紙」との性格上の境界を設定するのに苦心した。当会の英語名²⁾から知られるように、「機能紙」を「仕事、作用、働きをする紙」であり「従来紙では達成が困難な性能を有する紙」と位置付けているが³⁾、この定義については紛議を醸しており、

未だ明確化されていない状況にある⁴⁾。

表1・1 機能紙研究会誌に見る研究対象の変遷

1962—1964	化学的変成繊維	(レーヨン, アセテートなど)
1965—1967	合成繊維	(アクリル繊維, ポリプロピレン繊維)
1968—1970	無機繊維	(ガラス繊維, 金属繊維, アスベストなど)
1971—1973	混在	(炭素繊維, 合成パルプ, 耐熱繊維など)
1974—1976	機能化	(熱接着, 伸延, 耐熱, 耐久性など)
1977—1979	機能化	(吸水, 混抄, 複合など)
1980—1982	機能化	(イオン交換, 異種素材接合, 導電, 静電除去など)
1984—現在	機能性無機素材	(電磁シールド, 不燃, 金属繊維, 吸着など)

* 静岡県製紙工業試験場 〒417 富士市伝法3363

表2・1 紙の性質を支配する重要因子と機能⁵⁾

紙の性質		長所, 短所 (他の素材と 比較して)	長所, 短所を支配する重要因子	長所の助長および短所の改良のための方法		用途
				on machine	off machine	
力学的性質	乾燥強度	適度に強い	(1) セルロース分子の構造 (2) 単繊維自体の強度 (3) 繊維のすべりによる破断への摩擦抵抗 (4) 繊維間結合の強さと数	パルプの選択, 叩解によるフィブリル化, 紙力増強剤の添加	補強用樹脂の含浸他	包装紙全般, 積層板, 化粧板
	湿潤強度	弱い		サイズ剤の添加, 湿潤増強剤の添加 (限界あり)	同上	紙タオル, ティーパーバッグ, 水系塗工厚紙
	剛性	腰が強い 柔軟性少ない		パルプの選択 (リントナー他), 填料の添加	硬質樹脂の含浸, 硬質フィルム又は箔とのラミネート	カード用紙, 切符用紙, 複写用紙, ペーパートレイ, タバコ包装紙
	塑性・変形性	比較的あり		パルプの選択他	柔軟剤の含浸他, Al 箔とのラミネート他	その他折りたたみ性が必要な用途
質化学的形態学的構造に関する性質	寸法安定性およびカー	湿度変化に対して安定性不良	(1) セルロースの反応性 OH 基の存在 (2) 木材繊維の形態学的構造 (3) 繊維集合体の構造	パルプの選択, 叩解の制限, 填料の添加, 乾燥方法の選択 (ヤンキードライヤー) 他	フィルムは箔とのラミネート, 樹脂塗工又は含浸	地図用紙, 各種記録紙, 粘着紙, 剥離紙等加工紙全般
	防湿 (水) 性	不良		サイズ剤の使用	同上	各種包装紙 (PVDC 塗工紙, ワックス紙他)
	吸湿 (水) 性	良		パルプの選択, サイズ剤の制限他	吸湿剤添加	紙タイル, 紙オムツ
	耐油 (脂) 性	吸油性大		粘状叩解による緻密化, 撥油性サイズ剤 (フッ素樹脂) の添加	硫酸処理, 耐油性樹脂の塗工又はラミネート	パーチメント紙, グラシン紙, 耐油紙
	多孔性	通気性, 含浸性大		パルプの選択, 叩解の制限他		含浸用厚紙, フィルターペーパー
	ガスバリアー性	低い		サイズプレス加工の強化等 (限度あり)	バリアー性ある材料との複合	保香紙, 食品包装紙
	反応性	染色性, 化学反応性, 汚染性				有機溶剤系塗工用厚紙
光学的性質	不透明性	高い	(1) 木材繊維細胞中のルーメンの空気 (2) 繊維集合体としての紙層中の空気	パルプの選択, 叩解の制限, 填料の添加他	顔料塗工, Al 箔のラミネート, Al 蒸着他	辞典用紙, チタン紙, 遮光性包装紙
	透明性	低い		同上, 叩解, プレス, カレンダー強化他	セルロースの屈折率に近い材料の含浸	トレーシングペーパー, 第2原図用紙, グラシン紙
	光沢	低い		カレンダー強化, 填料の添加, オンマシニコート	顔料塗工, Al 箔のラミネート, 蒸着	印刷コート紙, 金属光沢紙, 豊色紙
	色	黄色味帯びた白色		パルプの選択, 青味づけ染料の添加, 蛍光増白剤, 白色顔料の添加	白色顔料の塗工	同上
表面の性質	平滑性	低い	(1) 水の存在下における繊維集合体の形成 (2) セルロース繊維の可とう性	プレス, カレンダーの強化他	顔料塗工, スーパーカレンダー処理他	同上剥離紙, 工程紙
	接着性	良い			接着増進プライマーの塗工, コロナ処理他	各種塗工紙, ラミネート紙の基材
	表面強度	低い		サイズ剤の強化, サイズプレス加工	樹脂塗工	印刷用紙
熱的性質	耐熱 (寒) 性	良い	(1) セルロース分子の構造 極性基として OH 基を有し, 2 回ラセン軸をもった典型的立体的規則性結晶性高分子	無機材料, 耐熱性高分子材料の利用	シアノエチル化などの化学処理他	耐熱絶縁紙
	燃焼性	あり		同上, および難燃剤の添加	同上, および難燃剤の塗工又は含浸	難燃壁紙, 防災紙, 裏打ち紙
	熱可塑性 (ヒートシール性)	なし		合成パルプの混抄, 熱可塑性樹脂のカプセル化	熱可塑性樹脂の塗工又はラミネート	ヒートシール用紙 (防湿紙, ミルクカートン)
電気的性質	電気絶縁性	比較的あり	〃 〃	パルプの選択, 脱イオン水の使用他	絶縁性樹脂の含浸	電気絶縁紙 (コンデンサーペーパー), 積層板
	導電性	なし		導電性樹脂, カーボンブラックなどの添加	導電性樹脂, 帯電防止剤の塗工又は含浸 (Al 蒸着, Al 箔とのラミネート)	電気感応記録紙 (静電, 放電, 電子写真), 帯電防止紙

近代製紙は約100年を経ようとしており、この間に製紙産業は豊富な経験を資産として、極めて生産性の高いシート化技術を蓄積してきた。植物性繊維を水に分散し、漉き上げて「紙」にするという作業は、約2000年前の古代紙の製法と基本的には同一の原理に基づくものである。対象となる「紙」の原料は、親水性に富む天然セルロース系が主であり、現在でも「親水性繊維」の占める地位は変わらない。現在、国内で約950万トンの木材パルプが生産されていると推定され、「紙」と言えば「親水性繊維からなるシート物」であり、製紙産業は「親水性繊維」を取り扱う産業という概念が定着してきた。

しかし、ここ30年間に発達した素材開発に触発されて、従来の製紙技術の範囲を越えて新たな領域が開かれてきた。例えば、「機能紙研究会」の25年間の研究経過（表1・1）によって知られるように、非セルロース系繊維を対象としたシート化技術の展開である。これらの技術は長い「紙」の歴史から見れば極めて最近のものであり、またようやくシート化の目的が開かれたにすぎなくて、未だ現実の生産技術が確立されたわけではない。シート化技術自体も、今なお従来技術の延長線上で検討されている段階であり、その物性・機能の評価方法および用途開拓の面でも多くの課題が残されている。

しかし、生産現場の経験から、特許技術など多くの技術が無関係に開示されつつある状況にあり、今後、どのような状況になるか予想ができない分野でもある。今後、これらの「新規材料」の体系的な研究が行われる必要を痛感せざるを得ない。

ここでは著者らが実際に関与した「機能紙」を実例にして、「紙の機能化」という問題を考えてみたい。

2. 紙の機能化に関する思想

近年、「機能……」という言葉（用語）が氾濫している。先にも触れたように、「機能紙」なる呼称を設定するに当たり様々な考えが提起され、「性能」と「機能」の両概念をどのように定義するか判然としないまま暫定的に、先に触れた位置付けをした。

当該業界において「機能紙」なる名称が使われたのは、ここ5年ぐらいのことだと思う。以前は「特殊紙」なる名称が慣用され、今日、乱用されている「機能紙」も「特殊紙」の一概念としてされており、不都合があったわけではない⁹⁾。

従来、「紙の機能化」または「高性能化」と言えば、表2・1⁵⁾に例示したようなセルロース紙の持つ特性の改善、または改良を意味した。しかし、今日言われている「機能化」とは、本来の「紙」では対象にはなり得ない分野にまで作用させようとする素材設計の意志を包含している。例えば、本来「紙」は「燃えるもの」としてきたが、無機繊維などのシート化により「不燃物」として、高熱部の保護材への展開などである。更に、「紙」に他の作用機構を与えることで、作用効果を「紙」に求めるのではなく、付与された作用機構に求め、「紙」は単なる媒介物としか考えない指向もある。例えば、紙の多孔性を利用して、酵素、微生物の担体として、そのシート物の作用効果は「シート」にあるのではなく、適用した物質の作用効果に価値を求めている⁹⁾。

このような状況が生じた背景には、製紙産業が蓄積した高度なシート化技術と素材開発の進展があり、「紙の機能化」に関する思想がますます広義にとらえられつつある。

表2・2⁷⁾および表2・3⁸⁾は、機能紙の概念を材料または作

表2・2 高機能性繊維と紙の機能化⁷⁾

用から考察した例である。

著者の私見ではあるが、「紙の機能化」とは明確な用途を設定し、その用途に適合する作用機構を創作する行為と考えている。このように考えると、ことさら機能紙と言わなくとも、我々の周辺には必要とされる機能要件を満たさなければならない「紙」はまだ多い。表2・4に想定されるものを例示した。また、表2・5に例示したような異種技術の境界に、従来紙とは異なる新規用途が想定される。今日のいわゆる「先端材料」の出現と共に、従来紙では対象外であった分野への進出が可能となりつつある。

3. 機能紙の実例

「機能紙」なる所以を何処に求めるかは諸説があり、定説化したものは無いと思われる。著者の独断ではあるが、「機能」の実体を「需要・用途」と関係付けて考えたい。例えば、著者らはエビ、カニなど甲殻類の甲殻を構成する成分である「キチン」の誘導体である「キトサン」を適用したスピーカー・コーン紙を発表したが⁹⁾、オーディオの世界では音の発生源であるスピーカー・コーン紙の振動特性と関連して、「良い音色」つまり「感性」が設計目標であり、「良い音作り」が「機能化」の実体である。また食品容器などでは、被包装物の異常な着香・着色を極度に嫌い、「資材の無臭・安定化」も用途目的から見れば「機能」の実体と言えよう。

ここでは著者の私見ではあるが、「紙状シート」の構成要素から「機能発現」を考察し、読者の批判を受けたいと思っている。

3・1 材料の特性を利用した機能

表3・1・1に示したような「無機繊維」¹⁰⁾は、耐熱、耐薬品性、電気特性に優れているから、これらの特性を活かし、電池隔壁材、熱交換/蓄熱資材、触媒担体、防爆性防塵フィルタ、耐熱性摩擦板など期待される用途も多い（表3・1・2）。

また炭素繊維（表3・1・3）^{11),12)}、金属繊維（表3・1・4）¹³⁾の場合は、通電機能を有することから、静電気除去、電磁波遮蔽を目的とした精密電子部品保護資材の分野が期待されている。

更に、活性炭繊維（表3・1・5）¹⁴⁾では吸着機能を活かして、生鮮野菜/果実の鮮度保持資材などが開発されつつある。更に、イオン交換繊維（表3・1・6）¹⁵⁾シートの分離紙が、また酵素固

表2・3 機能性セルローズ⁸⁾

機 能	例	機 能	例
成形材料として	紙, 繊維, セルロイド, 膜, 塗料など本来の使い方	誘 電 性	Cell-OCH ₂ CH ₂ CN Cell-O(CH ₂) ₂ O(CH ₂) ₂ CN
反 応 性	Cell-OCH ₂ COOH Cell-OCOCH ₂ Cl Cell-OCH ₂ CH=CH ₂ Cell(CHO) ₂ Cell-O-	発色, 発光	Cell-O- ジチゾン (ホトクロミック) Cell-O(CH ₂) ₂ SO ₂ - (pH試験紙) Cell-OCH ₂ CH ₂ -NH-dye
グラフト幹 橋架け用 分解性	Cell- Cell-O-CS-SNa Cell-OCOCH ₂ S-SO ₃ Na	医 用	人工臓器材料 アセテート Cell-OSiMe ₃
キ レ ー ト 形 成	Cell-OSO ₃ H Cell-OP(=O)(OH) ₂ CH ₂ Oなどで橋架け後-CH ₂ COOH化, DEAE化 Cell- (両性電解質)	安定剤固定	Cell-OCH ₂ - (防腐蚀性) フェロセニルメチルセルロース Cell-R-(o-ヒドロキシベンゾフェノン)
酸 化 還 元	Cell-OCH ₂ CH-N(CH ₂ COOH) ₂ COOMe Cell-OCO- Cell-OCH ₂ CH ₂ CONHOH Cell-OCOCH ₂ SH Cell-OCH ₂ CH-CH ₂ SH SH	界面活性	anionic Cell-OCH ₂ COONa nonionic Cell-OEt (凝集分散剤)
感 光 性	Cell-OCOCH=CH- (光によるシワ回復性) Cell-OCOCH ₂ S-CSNR ₂ Cell-OCOCH ₂ S-CSOR	高分子触媒	Pdの担体 (不斉還元用) ビニルモノマーの無触媒重合 不溶性酵素 Cell-OCH ₂ CONH-Enzyme Cell-OCH ₂ - -N=Enzyme Cell-O- Cell- =N-Enzyme
		マトリックス として	アフィニティークロマト固定相 Cell-peptide Cell-nucleotide DEAE ECTEOLA CT-ドナー (クロマト固定相), アクセプター 各種吸着剤 オリゴ核酸合成支台など

表2・4 過去に話題となった紙と機能 (例)

機 能	昭和(年)	利 用 例
リン酸セルローズ・イ オン交換繊維紙	～35	アルコール, 酒, 液体食品の 脱鉄
無臭紙	～35	酒自動販売機用の紙コップ, 加温食品の紙容器, 有香食品 の包装紙
無臭・耐水紙	～40	コーヒー, 緑茶などの抽出パ ック
通気・防湿紙	～40	納豆醗酵容器など
非滑性紙	～45	重袋の滑落防止
臨床用検査紙	～50	糖尿, 肝臓/腎臓疾患などの 検査
防カビ, 防菌, 殺菌紙	～55	各種包装用紙
高吸水紙	～55	生理用品, 衛生紙, 紙オムツ
脱臭紙	～55	靴中敷紙, 衛生・看護用紙

表2・5 技術境界と紙の接点 (例)

表3・1・1 紙に使用される無機繊維と性質¹⁰⁾

繊維名	組成	密度 g/cm ³	繊維径 μm	引張強度 kg/mm ²	引張弾性 t/mm ²	融解温度 °C	最高使用温度 °C	特長欠点	紙の開発
温石綿	3MgO·2SiO ₂ ·2H ₂ O	2.4~2.6	1.4 (2~30)	56~75		1,500	550	柔軟性, 耐熱性大	第一世代
石綿青石綿	NaFe(SiO ₃) FeSiO ₃ ·xH ₂ O	3.2~3.3	9 (2~30)	75~225		1,200		柔軟性, 耐酸性大	
アモサイト	(Fe ₂ Mg)SiO ₃ · 1~5%H ₂ O	3.1~ 3.25	10 (5~50)	11~63		1,400	300	繊維太くもろい, 保温材	
ガラス繊維 (E ガラス)*	SiO ₂ ·CaO·Al ₂ O ₃ · Be ₂ O ₃ MgO	2.54	3~15	140~150	7.4	840°C軟化	400	比較的安価, 汎用 強化材	
炭素繊維	C	1.5~2.0	6~8	280	23	雰囲気で大 変異なる		軽量	第二世代
黒鉛繊維	C	1.9	6~8	220	40			高弾性率	
高硅酸繊維	SiO ₂	2.3	0.1~13	80	7	1,660	1,100	耐蝕性大	
アルミナ・シリカ繊維	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ 4~6:6~4	2.6~3.2	1~5	130	12	1,700~1,090	870~1,400	生産性高い	
アルミナ繊維	Al ₂ O ₃	3.2~3.5	9	260	25	2,000	1,500~1,700	耐熱性大	
ムライト繊維	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ 8:2	2.9~3.0	2~8			1,850~2,000	1,600	耐熱性大	
炭化ケイ素繊維	SiC	2.5	13	250	20		1,200		
ホウ素繊維	Bの結晶	2.6	100	320~400	42	2,450		高弾性率, 高強度 耐熱性大	
チタン酸カリウム繊維	K ₂ Ti ₆ O ₁₈	3.6	1	16.8		1,371	1,200	高温時の熱伝導率 小	
サファイヤ繊維(単結晶)	α-Al ₂ O ₃	3.99	250 (50~ 500)	240	46	2,000<	1,500~ 1,700<	高弾性率	第三世代

ウイスキー**, アルミナ, 酸化ベリリウム, 窒素ケイ素, 炭化ホウ素, 黒鉛など

* 日東紡ガラス繊維

** ウイスキーの性質は次表参照

		融点または 軟化点 °C	密度 g/cm ³	引っ張り 強 kg/mm ²	比強さ cm×10 ⁶	たて弾性 係 kg/mm ²	比弾性 係 cm×10 ⁶	直径 μ	実用性
セラミック	アルミナ (Al ₂ O ₃)	2,040	3.96	2,110	53	43,600	1,100	3~10	商品
	酸化ベリリウム (BeO)	2,570	2.85	1,340	47	35,200	1,230	10~30	試作品
	炭化ホウ素 (B ₄ C)	2,450	2.52	1,410	56	49,200	1,950	—	試作品
	炭化ケイ素 (SiC)	2,690	3.21	2,110	66	49,200	1,540	<1~3	商品
	窒化ケイ素 (Si ₃ N ₄)	1,900	3.18	1,410	44	38,700	1,210	—	商品
	黒鉛	3,650	1.66	2,000	120	71,700	4,320	—	試作品

表3・1・2 無機繊維紙の用途例

形態	主材料 (例)	製造設備	用途
連続シート (未焼成)	主繊維 アルミノシリケート 繊維	抄紙機	耐熱バックカー紙, 壁装用基材, 断熱ハニカムコア原紙, 複合基材, 各種フィルター, 電池電極材
単板多孔体 (未焼成) (焼成)	シリカ繊維 アルミナ繊維 ウイスキー類	抄造プレス メーカーロール	気体沔過材, 液体沔過材, 消音部材, 緩衝材, 散気板, 灯しん, 軽 量断熱材, 壁装横造材
高密度成形板 (未焼成) (焼成)	補助繊維・助剤 Li ₂ O·Al ₂ O ₃ ·8SiO ₂ Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O 2MgO·2Al ₂ O ₃ · 5SiO ₂	抄造プレス モールド成形	簡易基盤, 大形タイル, 極薄音響振動板
立体成形体 (未焼成) (焼成)	木材パルプ 無機系バインダー 有機バインダー	モールド成形	断熱部材, 緩衝材, ガス浄化用触媒担体, 熱電対保護管, 音響試験 室壁材, 低膨張容器類

表3・1・3 炭素繊維紙と特性

PVA/炭素繊維¹¹⁾

炭 素 繊 維	50	60	70	80	90
繊 維 状 PVA	50	40	30	20	10
米 坪 (g/m ²)	57.2	56.3	59.7	56.7	64.8
厚 さ (mm)	0.31	0.31	0.39	0.375	0.43
密 度 (g/cm ³)	0.19	0.18	0.15	0.15	0.15
裂断長 (km)	6.2	5.2	4.0	3.6	1.54
比 破 裂 強 さ	3.5	2.9	2.9	2.3	1.5
伸 び (%)	2.0	1.3	0.8	—	—
比抵抗 (Ωcm)	0.48	0.45	0.44	0.43	0.36

注) { 炭素繊維：呉羽化学KCF 100μφ, 繊維長 6m/m
引張り強さ 100kg/mm², 比重 1.6
PVA：クラレ VPB 105-2 1.5d, 繊維長 2m/m

Pulp/炭素繊維¹²⁾

炭素繊維含有率 (wt%)	0	6	11	38
米 坪 (g/m ²)	101	113	103	101
厚 さ (mm)	0.171	0.204	0.208	0.310
密 度 (g/cm ³)	0.59	0.55	0.49	0.32
引張り強さ MD (kg/15mm)	12	11	10	5
CD	5.3	5.3	5.2	2.5
伸 び MD (%)	2.5	2.5	1.8	0.6
CD	3.7	3.7	2.3	1.1
電 気 抵 抗 (Ω)	—	640	90	11

注) NBKP と炭素繊維クレハ KGF 200

表3・1・5 活性炭素繊維紙の性能¹⁴⁾

項 目	グレード	07	10	15	20	25
比 表 面 積	m ² /g	700	1,000	1,500	2,000	2,500
細 孔 半 径	Å	7	9	12	16	22
細 孔 容 積	ml/g	0.12	0.22	0.50	0.75	1.20
ベンゼン吸着量	Wt%	14	22	45	65	90
ヨード吸着量	mg/g	750	950	1,550	2,000	2,400
メチレンブルー脱色力	ml/g	0	0	270	340	380
pH		7	7	7	7	7
灰 分	%	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05
着火温度	°C	470	470	470	470	470

注) ビニロン炭化繊維

表3・1・6 イオン交換繊維紙の性質¹⁵⁾

種 別	Expapier®F-1	Expapier®F-2	Expapier®F-3
外 観	茶 色	白 色	白 色
官 能 基	スルホン酸ソーダ	イミノ酢酸	1級アンモニウム
総交換容量 (mg/枚)	6.0 as Na ⁺	5.5 as Cu ²⁺	8.2 as Cl ⁻
重 量 (g/枚)	0.34	0.29	0.28
厚 み (mm)	0.30	0.25	0.29
坪 量 (g/m ²)	200	170	160
透過速度 (ml/min cm ²)	~1.0	~2.0	~1.0
耐薬品性	0—14	0—14	0—14
捕捉イオン	カチオン全般	重金属類	アニオン全般
寸 法 (mm)	47φ (標準)	47φ (標準)	47φ (標準)

注) Expapier は住友化学工業(株)の商品名

表3・1・4 紙に使用可能な金属繊維の性質¹³⁾

	銅	6—4 黄銅	アルミ ニウム	ガラス 繊維	ポリエ チレン
密 度 (g/m ³)	7.8	8.4	2.7	2.55	0.94
引張り強さ (kg/mm ²)	40	34	23	200	3
比 熱 (cal/g°C)	0.12	0.09	0.23	0.19	0.55
熱伝導度 (kcal/mhr°C)	50	101	127	0.9	0.2
線膨張率 (10 ⁻⁶ /°C)	1.2	20	23	5	180
固有抵抗 (Ωcm)	1.4×10 ⁻⁵	6.2×10 ⁻⁶	2.9×10 ⁻⁶	10 ¹²	>10 ¹⁸
耐熱性 (融点°C)	1,540	960	560	750	120

表3・1・7 無機繊維紙の強度に及ぼすバインダーの効果¹⁷⁾

バインダー種類	破 裂 強 さ (kg/cm ²)	引 張 り 強 さ (kg)
ユリア樹脂エマルジョン	0.26	1.43
フェノール樹脂エマルジョン	0.61	2.06
SBRラテックス	0.53	2.55
塩ビラテックス	0.65	3.10
澱 粉	0.72	4.25
アクリル系樹脂	1.03	4.68

注) 1 繊維 アルミノシリケート 100%

2 バインダー添加 (対繊維)
無機系 30Wt%

3 紙料調整法

解繊濃度 1%スラリー (実験用パルパー)

定着処理 高分子凝集剤 (カチオン, アニオン)

4 抄紙 坪量 250g/m², シート化5 乾燥 プレス圧 2.5kg/m², 130°C

定紙、殺菌／消毒紙、動物忌避／誘引紙など「対生物機能紙」も出現しつつある¹⁶⁾。

しかしながら、これらの素材は天然繊維と異なり、いずれも親水性に欠け、極めて「抄紙適性」が悪いものである。また、天然繊維に見られるフィブリル化（微細繊維の解繊による毛羽立ち現象）がなく、繊維間の結合が弱い。従って、何らかのバインダー（表3・1・7）¹⁷⁾を使用せざるを得ない状況にあり、素材の優れた機能を阻害している。

3・1・1 具体例

ここでは、著者らが関与したものについて例示することにする。

(1) 活性炭素繊維による野菜／果実の鮮度保持シート¹⁸⁾

最近、野菜／果実の鮮度が劣化する原因として、エチレンガスの影響が指摘され、エチレンガスを吸着除去すると、鮮度保持に効果があると言われている。著者らは表3・1・5と類似の活性炭素繊維を用いて、図3・1・1に示したようなシートを作成し、エチレンガスの吸収効果を検討した。

供試シート：サンドウィッチ構造
表層部：112-117g/m²
活性炭繊維部：18g/m²
活性炭繊維の処理：臭素酸カリウム10-15wt%
(0.5mol 硫酸)液を用い、繊維の
20倍量に浸漬 (60℃30分)

紙力増強：3-5% PVA 繊維（対原料）を混抄

図3・1・1 活性炭素繊維紙のエチレンガス吸収
果実鮮度保持紙

図3・1・2 リン酸エステル系イオン交換繊維

(2) リン酸エステル系イオン交換繊維シートによる酒類の脱鉄紙¹⁹⁾

図3・1・2のリン酸エステル系イオン交換繊維紙を用いて酒類の脱鉄に適用することを検討した。ビール（ライオン・スタウト：福泉酒造）の鉄分は、ホップのタンニン物質と反応して貯蔵中の着色劣化の原因となる。脱鉄に活性炭、キレート樹脂などを使用すると、アミノ酸など香味成分も除去するために使用できない。結果を表3・1・8に示した。表中の T-Fe は総鉄分を示す。また、結合鉄はアミノ酸などと結合している鉄分を示している。実験(1)から知られるように、リン酸セルロースは脱色（タートラジン：黄色染料）には作用せず、脱鉄のみに作用することがわかる。

(3) ニッケル・メッキ導電繊維（アクリロニトリル）紙による静電気除去²⁰⁾

図3・1・3に示したような導電性繊維²¹⁾が製品化されている。この繊維を用いた一例を図3・1・4に示した。導電素材はシート

表3・1・8 リン酸セルロースによる除鉄

試験 (1) 供試体：鉄塩（硫酸第1鉄アンモン：モル塩）＋色素（タートラジン）

P-セルロース	Fe γ /10ml	色素濃度 T%
0mg	2.50	53.00
20	1.24	52.90
70	0.67	52.20
100	0.50	52.00
200	0.24	51.40

注) 実験条件

- 1) Fe イオン定量： α , α -dipyridil 試薬による比色法 (520nm)
- 2) PH4 1/10 N 酢酸・酢酸ソーダ緩衝液
- 3) リン酸セルロース：アベセル-P（安部川製紙）10% NaCl 液にて再生処理（イオン交換容量 2.0meq/gr）
- 4) 試験方法：50ml の緩衝液に被吸着物を加え、P-セルロースを添加、5時間後に測定（室温）

試験 (2) 発泡酒（ライオンスタウト）の除鉄処理と効果

供試体	*T-Fe	経日	0	20	60	120
対照供試体	γ /10ml 0.97	**結合鉄 γ /10ml	0.47	0.62	0.71	0.85
		***色変化 T1/T2	2.5	2.0	1.8	1.3
処理供試体	0.45	結合鉄 γ /10ml	0.33	0.43	0.43	0.45
		色変化 T1/T2	2.3	2.3	2.0	2.0

注) 1) 供試体：ライオンスタウト最終製品

2) 処理：フィルタープレス（現場）に P-セルロース紙を適用 (100L/10m²・sec)

3) * 灰化残分の総合分析

** PH4 緩衝液に供試体を稀釈した後、イオン交換樹脂処理して遊離鉄を除去した後の残留鉄

*** 日本醸造研究会提案（代表：小原）：分光比色法
T1 = T₄₃₀ - T₄₇₀ T2 = T₅₀₀ - T₆₀₀

T*** は波長*** nm における透過率(%)

T1/T2 が大になれば赤色に、小になれば黄色の傾向を示す。

4) 供試体は一般製品と同様にびん詰後、通常倉庫に保管（4月～8月）

	形態	社名	素材	名称
カーボン		du Pont	ナイロン	Antron III
	Monsanto	〃	Ultron
	ICI	ナイロン ポリエステル	Epitropic
	帝人	ナイロン	メタリアン
	〃	セルカット
	東レ	アクリル	SA-7
	ナイロン	アンテルII
	ユニチカ	〃	エレセー7α
	鐘紡	〃	ベルトロソ
	東洋紡	アクリル	KE-9
金属		Bayer		
	Ni			
その他		Rhone Poulenc	ナイロン	Rhodiastat
	CuS			

図3・1・3 導電性繊維²¹⁾

の表面に露出していなくてはならない。従って、露出を阻害することなくシートに固着することが肝要であるが、現在、安価で有効な手段を見いだしていず、シート表面の磨耗を防ぐ方法が今後の課題である。

3・2 構造を利用した機能

ここで言う構造とは、シート自体の内部構造とシートを成形して得られる構造を称している。紙の特徴として「多孔性」が挙げられ（図3・2・1）²²⁾、これにより汙過、分離に供されるフィルタ機能が発現する。3・1項の素材と組み合わせて耐熱性、耐薬品性のある多孔体が得られ、従来紙と異なる用途が開かれる（表3・2・1）。

また、シートを成形して構造体にして機能を付与する場合も多い。例えば、図3・2・2は交差する2枚の段ボール状の波状構造体で多孔性シートを挟む構造を一単位とし、このものを積層した熱交換体である。交差する段ボール状の空隙に温度の異なる空気を流し、多孔性シートを間に熱交換させようとするものである（表3・2・2）²³⁾。また、図3・2・3は段ボール状の波状シートを円盤状に巻き、断面の空隙に通気することで、空気を乾燥させようとするものである。この場合、耐薬品性および耐熱性に優れた無機繊維のシート物が適用され、臭化リチウムなど吸湿剤がシートに含浸される場合も多い。

3・2・1 具体例

(1) シート内部構造に機能設計した油／水分離フィルタ^{24)~27)}

紙の内部構造を利用した機能設計の例として、多量の水に含まれる少量の油を除去（以下、油水分離と言う）することを目的としたフィルタを紹介する。

油と水のように性質が相反する混合物が細い空隙を通過すると、混在状態が不安定になり、分離しやすい状態になる現象があり、「細管コアレシス (coalesce) 効果」と言われる。著者らはこの現象

静電気減衰曲線

(a) 原紙 フルスケール 50mV
(b) 導電性繊維 1% アクリルエマルジョンコーティング (14g/m²) フルスケール 20mV

表面抵抗と静電気特性

試料	表面抵抗 (Ω)	静電気帯電圧 (V)	帯電圧半減期 (sec.)
原紙	10 ¹⁰ 以上	300	7.2
導電性繊維	1 %	3.9×10 ⁹	19
	3 %	1.3×10 ⁷	11
	5 %	7.7×10 ⁴	11
	10 %	1.7×10 ⁴	6
※表面処理	1 %	10 ¹⁰ 以上	23
	3 %	10 ¹⁰ 以上	17
	5 %	10 ¹⁰ 以上	20
	10 %	4.8×10 ⁹	20

※ アクリル・エマルジョン 14g/m² 塗付
NUKP csf 500ml
アクリル繊維 3.5mm カット
紙力増強剤 SWP. PVA 繊維

図3・1・4 導電性繊維紙の特性²⁰⁾

と紙の多孔性に着目して、この効果を積極的に作動させる機能を紙層内に設けようとした。

図3・2・4に示したように、「集油—粗粒化—自力分離」作用をする機構を想定した。そのためには、油捕集作用と捕集油離脱作用を共存させる。微細油は油捕集作用で捕集されて粗大化し、隣接する油離脱作用を受けて、粗大油滴となって自力で浮上する。油捕集はポリオレフィン系合成繊維などの親油性を利用した。離脱はコンニャク、寒天など含水ゲルが全く油を付着しないことに着目して、シート内に含水ゲルを設けて構成した。具体例を表3・2・3に示した。このようにして得られたシートを図3・2・5の方法で、水溶性切削剤液に混入した乳化油に適用したときの粗

図3・2・1 紙の気孔量分布²²⁾

図3・2・2 熱交換体としてのハニカム構造体

図3・2・3 除湿用ハニカム構造体

表3・2・1 セラミック多孔体の応用例

機能	分離	分散	吸収	接触
特長	高透過特性	均一発泡	高吸気率	比表面積大
種類	セラミックフィルタ ターエレメント ブレンコート 透過	高温集塵 ミスト分離 分散板 電解隔膜	散気板 吸音板	触媒担体 熱交換体 充てん体
セラミックハニカム エレメント	高温集塵	整流格子	断熱材	触媒担体 熱交換体 充てん体

表3・2・2 紙の気孔を利用した熱交換機ロスナイの特長²³⁾

熱交換率表 (%)	温度 (顕熱) 湿度 (潜熱)	ロス ナイ	顕熱 交換機	一般 換気扇
		75	75	0
		65	0	0
熱交換後の 換気の温度 と湿度	夏	室内 外気		
		乾球温度°C 26 32	27.5	27.5
		相対湿度% 50 70	62	91
		回収全熱量 kcal/kg	636	132
	冬	室内 外気		
		乾球温度°C 20 0	15	15
		相対湿度% 50 50	52	19
		回収全熱量 kcal/kg	696	432

換気量 100m³/h 空気比重 $\gamma=1.2\text{kg/m}^3$

注) ロスナイ: 三菱電機製製品名

表3・2・3 油水分離フィルタ構成 (例)

原	料	コットン: オレフィン(2d, 5mm)1:1 PVAファイバー 3%対バルブ
抄	紙	丸網2層, 短網1層(7:3) 平均秤量 120 g/m ² 化学粘剤(アルコックス)1~3ppm(バット)
加工	耐水性付与	110~120℃熱ロール, 化繊融着
	耐水, 耐油 性強化	強化剤(水溶液) { N-メチロール アクリルアミド 5% 過硫酸アンモニウム 0.4 塩化アンモニウム 0.4 フッ素系耐油剤 0.1 含浸率100%対紙, 110℃30秒乾燥
	油水分離機 能	機能付与剤(メタノール) { 吸水性ゲルポリマー 2% カチオン系ポリマー 0.1 含浸率200%対紙, 110℃30秒乾燥
	エレメント 化工程	140°~150℃加熱

- 注) 1 吸水性ゲルポリマーは既成ポリマーであり, 親水性溶媒にコロイド状に分散可能。
 2 耐水, 耐油性強化の処法は, 紙層内重縮合反応による(機能紙研究会誌6, Oct. 9 (1967) 参照)。
 3 含浸処理は生産規模の含浸機使用。
 4 エレメント化工程で型付加工(ひだ付加工)が行われる。

図3・2・4 油水分離機能のモデル

原油の油粒（最小目盛 2.5μm）

図3・2・5 微細分散油の粗粒化実験方法

シート通過（全通方式）添の油粒（最小目盛 2.5μm）

写真3・2・1 微細分散油の粗粒化効果

表3・2・4 図3・2・5の方法による結果

フィルター	濾過方式	濾過圧力 kg/cm ²	濾過条件 l/分	供試体区分	*** 油分 vol % (浮上効率%)				
					0分	10分	30分	60分	90分
フィルター	分流方式	0.2~0.3	① 原液 1.0	① 原液	1.50	0.75 (50.0)	0.75 (50.0)	0.75 (50.0)	0.50 (66.7)
			① 第一次表層流 0.4	① 第一次表層流	1.25	0.75 (40.0)	0.75 (40.0)	0.50 (60.0)	0.50 (60.0)
			② 濾過液 0.4	② 濾過液	1.50	0.60 (60.0)	0.25 (83.3)	0.35 (76.7)	0.20 (86.7)
	全通方式	0.5~0.7	③ 第二次浮上流 0.2	③ 第二次浮上流	1.75	0.75 (57.1)	0.50 (71.4)	0.50 (71.4)	0.20 (88.6)
			① 原液 1.0	① 原液	1.00	1.00 (0)	0.75 (25.0)	0.50 (50.0)	0.25 (75.0)
			② 濾過液 0.8	② 濾過液	1.25	0.80 (36.0)	0.40 (68.0)	0.25 (80.0)	0.25 (80.0)
原紙	分流方式	1.2*	③ 第二次浮上流 0.2	③ 第二次浮上流	1.25	0.50 (60.0)	0.30 (76.0)	0.15 (88.0)	0.25 (80.0)
			① 原液 1.0	① 原液	1.00	0.75 (25.0)	0.95 (15.0)	0.70 (30.0)	0.50 (50.0)
			① 第一次表層流 0.4	① 第一次表層流	1.15	0.75 (34.8)	0.75 (34.8)	0.75 (34.8)	—
	全通方式	1.5~1.8**	② 濾過液 0.4	② 濾過液	1.00	0.85 (15.0)	0.75 (25.0)	0.75 (25.0)	0.50 (50.0)
			③ 第二次浮上流 0.2	③ 第二次浮上流	1.50	0.55 (43.3)	0.85 (43.3)	0.50 (66.7)	0.40 (73.3)
			① 原液 0.6	① 原液	1.00	1.00 (0)	0.95 (5.0)	0.80 (20.0)	0.60 (40.0)
			② 濾過液 0.4	② 濾過液	1.30	1.25 (3.8)	1.00 (23.1)	0.80 (38.5)	0.75 (50.0)
			③ 第二次浮上流 0.2	③ 第二次浮上流	1.25	1.25 (0)	1.00 (20.0)	1.00 (20.0)	0.75 (40.0)

油分濃度測定は、バブコック法による（機能紙研究会誌 17, Oct. 37 (1978) 参照）。

* 設定条件を維持するのに、最初の5分間で0.2 kg/cm²から0.5 kg/cm²に上昇、さらに3分間で1.2 kg/cm²に上昇した。

** 設定した条件は① 1.0 l/分、② 0.8 l/分、③ 0.2 l/分であったが、濾過圧力が上昇して設定条件を維持することができなかった。

*** 供試体 600 ml を内径 5 cm の円筒に入れ静置する。このとき、粗粒化した油は自力で浮上し、粗粒化が大であれば浮上速度が早いから、油分は速かに上部に移動する。従って、10分毎にロート下部より採取（50 ml）される液中の油分濃度が粗粒化効果と関連するものとした。0分（供試体全体）時の濃度 C_0 、7分（ロート下部より採取）時の油分 C_T として、

$$\text{浮上効率}(\%) = \frac{C_0 - C_T}{C_0} \times 100 \text{ で表現した。}$$

写真3・2・2 油水分離フィルタ装着装置 (実稼働装置)²⁹⁾ 図3・2・6 油水分離フィルタの実用形状²⁸⁾ 図3・2・7 自動車用燃料フィルタ³⁰⁾

粒化効果(上記したように、汙過機能ではなく細管コアレス効果を重視している)を表3・2・4に、処理前後の油の粗粒化状況を写真3・2・1に示した。このものは既に実用化され、図3・2・6に示した段ボール波状構造を利用した構造体²⁸⁾にして、写真3・2・2の如き装置²⁹⁾に装着されて、金属表面処理(メッキ、塗装など)の前工程の洗浄液の清浄化に使用されている。

(2) 構造化による自動車燃料用フィルタ³⁰⁾

最近、自動車燃料供給システムが、従来のキャブレタ方式に替り、噴射方式が採用されるようになった。その理由は停車、発進、高/低速時の燃料供給をコンピュータ制御で行う方式が採用されるようになったからである。これに伴って、燃料用フィルタも従来の「蛇腹型」に替るものが要求され、最小形状で最大汙過面積になるように設計されたものが考案された。著者らも、図3・2・7に示した構造を有するフィルタを考案し、その性能を試験中である。この例は、需要との関係から設計された「機能」であり、特別の材料を用いなくとも「機能」設定が可能であることを示している。

3・3 変体加工特性による機能

ここで言う変体加工特性とは、本来の「紙」が特別の処理により全く異質な性質に変わり、加工前の性状からは予想されない別用途に適用されることを意味する。例えば、施ユウ紙³¹⁾なるものがある。陶磁器のユウ薬に相当する成分と繊維を混抄して得られるシート物であり、このものを素焼の陶磁器に貼って焼成することで、ユウ掛けと同じ効果を狙ったものである。焼成前は紙状シートであり、焼成処理の後ではガラス質化して、処理前の性状とは全く異質な性状に変体して「機能」を発現する例である。この分

表3・3・1 ペーパー・セラミックの原紙組成と焼成結果

試料 No.	焼 成 後				焼 成 後			備 考
	坪 量 (g/m²)	収 縮 率 (横方向%)			曲げ強度 (kgf/cm²)			* 焼成片曲がり有
		800℃	850℃	900℃	800℃	850℃	900℃	配 合 割 合, そ の 他
1	578	9.8	23.0	27.3	91.1	190.3	281.7	名陶85.7, NPB—1 64.3
2	646	5.0	15.0	25.3	43.7	113.1	269.5	名陶80, NPB—1 60, カオリン 5, ベントナイト 5
3	632	11.5	15.0	20.0	59.8	129.8	127.9	名陶80, NPB—1 60, 炭カル 15
4	475	26.3	29.3	29.8	73.2	114.4	96.2	楽焼60, NPB—1 75, 炭カル15
5	478	25.0	26.0	26.5	74.5	80.9	102.1	〃
6	468	40.0	42.5	40.5	202.9	305.9	311.7	楽焼70.5, NPB—1 79.5
7	575	21.5	融 解	融 解	316.6	融 解	融 解	名陶70.5, NPB—1 79.5
8	604	7.5	17.8	20.5	25.9	171.5	209.9	名陶70, NPB—1 30
9	675	14.5	17.3	16.3	188.5*	98.5	259.2	名陶60, NPB—1 60, タルク30
10	678	21.0	22.5	21.5	27.9	63.3	69.1	名陶45, NPB—1 45, アルミナ60
11	611	20.8	30.5	26.8	62.4	954.1*	338.5	名陶65, NPB—1 65, カオリン20
12	635	13.5	23.8	26.0	94.6	217.7	149.7	名陶60, NPB—1 60, 珪石30
13	585	5.0	22.5	20.0	115.1	808.4*	220.7	名陶70, NPB—1 60, カオリン20
14	506	12.5	27.5	32.5	106.6	458.9*	398.2	名陶90, NPB—1 90, カオリン12, ベントナイト 8
15	438	9.5	24.5	27.5	83.1	217.2	314.3	名陶70, NPB—1 110, カオリン12, ベントナイト 8
16	269	25.0	27.0	破 損	138.3	689.3	破 損	名陶60, NPB—1 75, カオリン 9, ベントナイト 6, (熱衝撃弱)

(1)PULP：アバカ：NBKP＝2：8 (400ml CSF)

(2)填料/PULP＝800%：定着率（ワンパスリテンション）平均85～85%

(3)名陶：名古屋陶石（日本化学工業）

楽焼：楽焼土（伊勢久）

NPB—1：ペーパーセラミック用媒溶剤（日本化学工業）

(4)焼成物の曲げ試験方法（右図）

表3・3・2 ペーパー・セラミックの期待される用途例

A) 資材分野別用途

分 野	処 理	製 品 ま た は 用 途
複 合 資 材	プラスチックなど合成樹脂，カーボン・ガラスなどの繊維板，金属，と複合化	断熱・耐久性建材，電気部品の保護材，加熱部分の防護壁，金属部品の表面被覆材，輸送機械の耐久性防護壁材，耐薬品性保護資材，クラッチ板
被 覆 資 材	被覆焼結，焼結ライニング	金属ライニング，化学薬品貯蔵槽のライニング，鋼材の防錆被覆，耐熱部被覆保護，水中構築物の保護
耐 久 ・ 安 定 資 材	焼成処理	電子部品の基盤，断熱・絶縁資材，耐摩擦資材，铸造隔壁，電池・電解の隔壁
横 造 化 資 材	成形加工後の焼成	ハニカム構造体，蓄熱材，触媒担体，酵素固定化担体，活性汚泥処理装置の充填材，吸着体，ろ過材
美 装 化 陶 磁 器	成形加工後の焼成	陶磁器板，美装タイル，壁材，モザイク材，照明器具のシェード，装飾レリー，立体化装飾壁材
ホビー・陶芸用資材	貼合，型付，打抜，成形，折量，など加工後の焼成	陶板画，折紙，装飾具など造形資材

B) 特性別用途

特 性	処 理	製 品 ま た は 用 途
多 孔 質 性	焼成温度の変化で調整が可能	液・気体吸着体，接触反応媒体，充填材，耐久性ろ化体，隔壁材
耐 熱，耐 薬 品 性	焼成後は陶磁器化する．焼成温度変化で調整が可能	蓄熱材，熱交換体，熱板，耐熱絶縁体，化学反応媒体
成 形 加 工 性	コルゲート，エンボス，折畳，打抜，貼合，紙管，製函，プレス成形	横造化セラミック，電子オープン・トレー，漁礁構体，生物活性浄化処理の充填材，陶芸
薄層焼結性および融結性	自己接合，異種素材との接合	素焼セラミック体の表面処理，他の陶磁体との融結接合材，金属焼付ライニング，美装化材

表3・3・3 ペーパー・セラミックの主な技術的課題

技 術 分 野		現 状 と 問 題 点	予 想 さ れ る 技 術 目 標
セラミック 化基材	主 原 料	現在は主として天然の粘土を使用している。従って、品質が不安定であり、焼性収縮が大きい（平均30%の収縮）	組成設計がされた人工粘土の検討が必要である。例えば、一度焼成処理をした粘土（シャモット）は収縮率が著しく改善される。
	副 原 料	低温融結をさせるために「媒溶剤」が添加されているが、未だ未完成のもので、焼成初期の融結に効果的なものがない。	焼成時の初期に熔融接着する接着剤の検討が必要である。焼成過程で有機物が焼失し、灰分だけになると脆弱になり、型崩れを起す。
		焼成時の形状を保持するために自己固結性を有する粘土（例：セピオライトなど）を添加しているが、不十分であり焼成過程で形状が変形する。	焼成時の形状保持に効果的な資材が望まれる。原料に直接添加しなくても、シートの表面処理でもよい。珪酸ソーダ類は形状保持に効果がある。
		焼成後に再度施すように表面を装飾化する。更に、焼成物を陶磁器化するためにフリット類を使用しているが、いずれも工程が増え、作業が煩雑である。	原料配合時に直接使用が可能であるフリット類が望まれる。焼成時の強度保持、および焼成物の装飾化に効果がある。
シート化資 材	織 維	現在の水準では、繊維（パルプ）を加えないと抄紙ができない（10～20%含有）。有機繊維が焼失して生ずる空隙分だけ収縮する。	望ましくは、粘土だけで抄紙したいところであるが、現実には不可能であろうから、無機繊維など不燃性の繊維を混抄することが考えられる。
	定 着 剤	現在は、通常の抄紙で用いられる填料定着剤を適用し、処方と用法を工夫しているにすぎず、苛酷な条件でシート化している。	専用の定着剤の開発が望まれる。特に湿紙強度を改善し、併せてろ水度を向上するものがあればよい。
	紙 力 増 強 剤	現在は、通常の抄紙で用いられるものを転用しているにすぎない。耐折強度および表面強度が弱い加工適性に問題がある。	専用の増強剤が望まれる。特に、ろ水性を阻害せず、かつ粘土定着に効果があればよい。カチオン澱粉を多量に使用する（5～10%対原料）すると効果があることが参考となろう。
	粉 落 ち 防 止	粘土類をできるだけ多量に入れるために表面強度が弱く、粉落がする。現在では、サーフェースサイジングを施して対処している。	現実には表面処理をすることになる。そうであるなら、表面の紙力増強と同時に焼成適性を改善するものが望まれる。媒溶効果を有する塩類（例：リチウム）の有機化合物（例：ポリアクリル酸塩）が想定される。
	柔軟性の付与	焼性時の型崩れを防止するために、自己固着性粘土を使用したいが、この場合シートは固くなり、型付加工をするとき割れ、焼成物の亀裂の原因となっている。	ゴム系のラテックスの併用が考えられる。内添法か表面処理法のいずれかが検討の対象となろう。この場合、上記の焼成適性向上処理と併用することが望ましい。
抄紙方法	抄 紙 機	現在は、通常の抄紙機を使用しているが、これだけ填料が多いと、填料定着、地合構成、湿紙のハンドリング、プレスパートにおける潰れ、ワイヤー汚れなど多くの問題がある。	専用抄紙機の検討をする必要がある。特に、シートフォーミング部の構造、湿紙のハンドリングなどが重要になろう。不燃ボードを製造する設備が参考になろう。
	原 料 調 成	現在は、通常の抄紙で使用する凝集剤、紙力増強剤、ろ水度向上剤などを使用し、用法と処方を工夫しているにすぎない。通常の原料調成法を改良して適用している。主流は凝集処理である。かなり苛酷な条件で、無理やり定着させている。	原料サスペンションに順次薬品添加をする現在の方法にこだわるのではなく、粘土類と繊維の処理を別工程で処理をして、後で混合するような2段階処理が考えられる。例えば、粘土懸濁液にアニオン化物を加え粘土表面にアニオン化物を吸着せしめ、然る後に、繊維懸濁液に加える方法が想定される。
	原 料 輸 送 方 法	現在採用されているような強制凝集では、輸送過程のシェアー（例、ポンプなど）を受けてブロックの崩壊および再凝集が繰返され、地合の乱れ、粘土定着率の低下の原因となっている。	凝集ブロックをできるだけ破壊しない輸送経路を設ける必要がある。たとえば容量の大きいポンプを使用して、低速で運転するなどの方法が想定される。更に、凝集処理をできるだけワイヤーパートに近い所で行うなどラインの検討も必要であろう。
品 質 向 上	焼成収縮率の低減および安定化	現在の製品はいずれも30%前後の収縮をし、しかも収縮方向が均等でない。従って、焼成物が一定化しないために高度利用の用途がたてられていない。	粘土組成の設計、焼失性有機物の可能な限りの低減、焼成適性向上剤の処方と用法などが検討の対象となる。通常のセラミックスでも収縮は避けられない。従って、容認される収縮があっても、寸法安定性だけは確保したい。
	焼成温度に対する感応	現在の製品は焼成温度に対して鋭敏である。従って、焼成炉内の温度むらが微妙に影響し、均一な焼成物がえられない。更に、焼成時に熔融だれが起り変形が大きく、焼成に熟練を要する。	焼成初期（有機物の炭化および焼失する時点）に融着作用を呈するような形状保持剤、粘土自体が安定した融点をもつような組成設計などが検討の対象となろう。ゼーゲル処方が参考になろう。更に、骨材の添加が考えられる。
その他の付 随事項	物 理 的 処 理	現在の製品はいずれも可燃性繊維（パルプ）が存在し、焼成時にこれが焼失して空隙を生じ、熔融粘土がこの空隙をうめる。このことが収縮変形を大にしていると考えられている。	焼成時の収縮変形を防止するには、シート内に可燃性物の焼失による欠落空間をできるだけ少なくすることである。そのためには、シート組成ばかりでなくシートの均度を高める必要がある。プレス（カレンダー）効果が検討対象となろう。
	可 塑 性	現在の製品はいずれも可塑性に欠けている。従って、型付加工を行うと、応力のかかり程度と関係してシート組織の破壊がおこり、破壊が起きた箇所は融結強度が小さく、均等な焼成面が得られなく、波打つ状態になる。	一の解決方法として繊維分の一部を合成パルプ（ポリオレフィンなどの可塑性繊維）で置換し、シートを熱プレスして合成繊維を融着せしめ、フィルム化することが考えられる。あるいは、ゴム系ラテックスを含浸せしめることも有効であろう。

野は未だ開発途上であり、著者の知るものは少ない。今後、金属のライニング、路面修復、異種素材の溶融接合などを目的としたシート物が開発されると思われる。

3・3・1 具体例

(1) 低温焼結性填料高含有紙（ペーパー・セラミック）^{32~34)}

従来紙と異なり、繊維分を出来る限り僅少に抑えて、大部分を焼結性粘土にしたシートである。このものを成形した後、800～900℃で焼成すれば、焼成前の形状を保持して陶磁器化する特徴を有している。焼成物の特性は基材粘土に影響される。混入した可燃物（パルプ）が焼失して生ずる空隙のために多孔性である。この多孔性と成形加工性を活かして、触媒担体、吸着機能物などの分野で実用化研究の過程にある。成分配合と焼成結果を表3・3・1に、期待される用途を表3・3・2に示した。

ここでは製造方法について省略したが、繊維のシート化と粘土のような粉体物のシート化とは全く異なる技術であり、未だ完成された技術ではなく多くの課題が存在する（表3・3・3）。

4. おわりに

紙の長い歴史の中で、紙は「書く」、「拭う」、「包む」を基本的機能として、基礎産業資材として発展してきた。本稿で概説したように、機能紙は製紙産業の今日を支えるまでには至っていない。しかしながら、製紙産業との関係で他の産業が能動的に関与していることも事実であり、従来紙とは全く異なる分野での展開が期待される、いわゆる「境界産業資材」として位置付けられるものである。

本稿は「レオロジー」とは異なったものになり恐縮している。しかしながら、本稿の冒頭で触れたように、新規材料であるからこそ材料工学分野からの解明が要求される。

先にオーディオの世界を例に「感性」も機能だと言ったが、スピーカー・コーン紙の振動特性と「感性」は決して遊離している課題ではない。昨今、オーディオ分野のハードウェアはデジタル化され、当然ながらデジタル信号に応答する振動板（スピーカー・コーン紙）の特性解析が要求される。そのことは、「需要」を前提とした「機能設計」の実体である。同様に、カーボン繊維を利用したゴルフ用具や釣道具が生産されているが、それが娯楽用具であるにしても、使用勝手の優劣の背景には何等かの材料特質が存在するはずである。今後、機能紙なる「紙」が材料工学の対象となり、機能評価の方法が明らかにされるならば、機能設計または機能強化の有力な手掛りとなろう。

無機繊維の分散、原料の流動、填料的凝集、抄紙適性、シートおよび加工物の物性評価など、本学会と関連する課題は多い。今後、専門的な解析が加えられることを願って、あえて本稿を執筆した次第である。

最後に、紙上を借りて参考資料の提供者に深謝します。

文 献

- 1) 機能紙研究会（愛媛県川之江市川之江町港通912）.
- 2) High Performance Paper Society.
- 3) 機能紙研究会，昭和58年10月大会.
- 4) 紙・パルプ技術タイムス，1月（1987）.
- 5) 大野，機能紙研究会誌，20，Sept.（1981）.
- 6) 魚・畜肉の鮮度を測定する紙（昭和61年8月27日，日経産業新聞）.
- 7) 杉原，機能紙研究会誌，21，Oct.（1983）.
- 8) 大野，機能紙研究会誌，20，Oct.（1981）.
- 9) 例えば，日刊工業新聞（昭和61年9月26日）.
- 10) 稲垣，紙パルプ技術タイムス「特集／無機繊維紙」，4月号（1985）.
- 11) 松尾，紙パ技協誌，30，12，39（1976）.
- 12) 五味，工業材料とその開発（化学工業社，1971）.
- 13) アイシン精器(株)カタログ.
- 14) 内藤，田中，機能紙研究会誌，22，Oct.（1983）.
- 15) 青木，松本，機能紙研究会誌，20，Oct.（1981）.
- 16) 小林良生，「バイオペーパー」（四国工業試験所調査）.
- 17) 岐阜県製紙試験場，土屋孝次氏提供.
- 18) 著者，未発表.
- 19) 著者，未発表.
- 20) 横山，中田，静岡県製紙工業試験場報告，第38号（昭和61年）.
- 21) 稲垣，機能紙研究会誌，21，Oct.（1983）.
- 22) 門屋，白田，大江，製紙科学（中外産業），p. 680（1982）.
- 23) 三菱電機製品カタログ「ロスナイ」.
- 24) 著者，機能紙研究会誌，17，Oct.（1978）.
- 25) 著者，機能紙研究会誌，18，Oct.（1979）.
- 26) 著者，特公昭61-12729（出願人：静岡県外1名）.
- 27) 著者，繊維と工業，42，12，p. 491（1986）.
- 28) 著者，意匠登録，昭54-045231（出願人：静岡県外1名）.
- 29) 丸智工研(株)（浜松市：静岡県と共同研究者）.
- 30) 著者，実新案願昭61-108633（出願人：静岡県外1名）.
- 31) 特公昭57-35147，「通気性タイル施エウ紙」，（出願人：巴川製紙所）.
- 32) 倉田，久保島，機能紙研究会誌，23，Oct.（1984）.
- 33) 著者，紙パルプ技術タイムス，5月号（1986）.
- 34) 著者，特開昭60-155565，「低温焼結性無機填料及びその製造法」，（出願人：静岡県外3名）.