薄葉紙に要求される特殊性と軽量化, 多色化への対応

三島製紙㈱ 原田工場 原 啓 志
開発研究所 吉 村 隆 重

The speciality of thin paper on demand and an approach to the lightening and multicolor printability

Hiroshi Hara
Harada Mill, Mishima Paper Co., Ltd.

Takashige Yoshimura
Research Laboratory, Mishima Paper Co., Ltd.

The first thin paper was made as printing paper for the Bible at Oxford in 1841.

The basis weight of thin paper is up to 40 g/m². And this paper includes cigarette paper, India paper and carbon copying paper.

India paper is printing paper for dictionaries or the Bible. The origin of this paper is NAJIO-TORINOKO which is a kind of WASHI, or Chinese rice paper made from pith of rice paper tree. This thin printing-paper has characteristics of thinness and is highly opaque. And in order to keep its quality, pulp is refined elaborately and good scattered filler is added.

Recently, ultra-light-weight coated paper which is coated with light weight coating color by the gate roll coater has been developed.

In order to produce paper with many different characteristics, we make good use of many kinds of pulps, ways of refining, many sorts of fillers, surface sizing agents and calendering methods. And the fabrics for paper making are selected after due consideration.

Now, ways of recycling and improving the stiffness of thin paper are being studied.

In the future, it is expected that the use of thin paper will increase as the media produces higher information density per unit of paper weight.

1. はじめに

私達が広く目にする印刷用紙の多くは、1 m²当たりの重さが40 g以上であるが、それ以下の軽い紙(薄い紙)は薄葉紙といわれている。

この薄葉紙の歴史は、英国の商人がインドで買い求めた1枚の紙から始まったとも言えるかも知れない。1841年オックスフォードで初めてバイブルを印刷するための薄葉紙が作られた¹⁾²⁾。この時にモデルとされた紙は蔡候紙とは別の流れの中国南部、台湾で盛んに作られていた蕰草紙³⁾⁴⁾といわれている。これはカミヤツテの髄を桂剥きにして作るシート状の紙である。これを紙と呼ぶかについての議論は別にして、この蕰草紙は軽く、白く、不透明であり、ちょうど発泡スチロー

ルを極く薄くした様な外観をしている。紙力はないものの画描に適するため、絵を施して土産物、インテリア用に広く売られていた⁵⁾。

その後、紙の製造技術は時代とともに進歩していくが、日本においては雁皮紙をはじめ典具帖紙、吉野紙など薄い紙がその用途に応じて造られていた他、名塩鳥子紙という一風変わった手漉き和紙もあった。これは抄紙する時に神戸近郊の山からとれる泥(石粉)を水に分散して、独特の方法で和紙に配するもので一種のピグメント含浸紙になる。手漉きの場合、比重の重い鉱物質の粒子は漉き舟の下に沈んでしまい、内填紙を漉き上げることができないために考案されたと思われるが、一説には日本におけるインディア紙の原型と伝えられている⁶⁾⁷⁾。機械抄きの薄葉紙は、明治35年頃

から流行り出した煙管から紙巻きたばこへの嗜好の変化をうけて、東洋製紙で抄造されたライスペーパーが初めである。日本でのインディア紙の製造は大正10年(1921)、ポケット版辞典の用紙用として始まった⁸⁾。インディア紙製造を試みた折、ライスペーパーを厚く抄いて圧縮すればと発案し製造に至ったと言われている¹⁾。

現在のインディアペーパーは本来の聖書用紙、辞典用紙に限らず通信販売用カタログ等の軽量多色印刷用紙として分岐発展し、新聞用紙、上質紙等からの軽量化との接点にある。

1988年1月以前の通産省統計による紙の分類によれば、薄葉紙の分類の項目があり、その中にグラシンペーパー、ライスペーパー、インディアペーパー、カーボン紙原紙、複写原紙、コンデンサーペーパーが品目として掲げられている。通産省統計の分類改定後の新分野では薄葉紙という分類項目は無くなり、インディアペーパーは非塗工印刷用紙の薄葉印刷紙に、ライスペーパー、グラシンペーパーは工業用雑種紙に各々分類されている。1990年の薄葉印刷紙の生産高は86,117t、うちインディアペーパーは40,979tであった⁹⁾。図1にインディアペーパーの生産高の推移を示す。情報用紙、薄葉紙部門全体での売り上げ高は約3,000億円とも言われている¹⁰⁾。

Fig. 1 The change of India paper output.

2. 薄葉紙の特性

2.1 不透明性

薄葉印刷用紙においても上質紙等の印刷用紙同様、不透明度、白色度、平滑度、引張り強さ、表面強度、さらには印刷機での作業性などが要求される。薄葉紙は坪量が低く、薄いので要求される特性を満たすためには、紙の不透明性についても使用する原材料の選択が重要な意味を持つことになる。

紙の不透明度を、層状構造をなすシートの厚さ方向の光透過量を示す尺度と考えると、坪量が低くなるに

Table 1 Types and properties of filler

Type	Chemical composition	Particle size μm	Specific gravity	Refractive index	Brightness %
Clay kaolin	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0.1~3	2.58	1.55	80~90
	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2~5	2.84	1.55	82
Calcium carbonate precipitated ground	CaCO_3	0.5~1	2.7	1.49~1.66	90~97
	CaCO_3	1~5	2.7	1.49~1.66	90~95
Titanium dioxide rutile anatase	TiO_2	0.2~0.5	4.2	2.70	97~98
	TiO_2	0.2~0.5	3.9	2.55	98~99
Talc	$3 \text{MgO} \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3~8	2.7	1.57	70~85
Aluminum trihydrate	$\text{Al}(\text{OH})_3$	0.5~1	2.4	1.57	98~99
Satin white	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$	3			
Blanc fixe	BaSO_4	0.5~2	4.35	1.65	98
Calcium silicate	$80 \text{SiO}_2 : 7 \text{CaO}$	1~5	2.1	1.62	90~95
Silica	SiO_2	2~10	2.3	1.40~1.49	90~92
Diatomaceous silica	$83 \text{SiO}_2 : 4 \text{Al}_2\text{O}_3$	0.1	2.08	1.50	96
Calcium sulfate	CaSO_4	1~5	2.96	1.58	96
Zinc oxide	ZnO	0.3~0.5	5.6	2.01	97~98
Zinc sulfide	ZnS	0.3~0.5	4.0	2.37	97~98
Plastic pigment	$-(\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_5)_n-$	0.5	1.05	1.59	

つれて層数が減少するために、不透明度は低下する。そこで、表 1¹¹⁾ に示すようなシートを形成する繊維に比べて屈折率が大きく、比散乱係数の大きな高白色度の填料を配合して、紙の不透明度を高める事が行われる。

単色の印刷では、紙の白色度は印刷された情報を読み取るためのコントラストを与えることを重点とするが、多色の印刷においては紙の白色度がインキの色相、彩度と明度を左右する要素となり、印刷品質に大きな影響を与える。

沈降性炭酸カルシウムを添加した手すきシートの観察から、多くの填料集合体が繊維表面に接するように存在していること、かつ、これら填料集合体は繊維ネットワークの空間を埋めるように存在していることが報告されている¹²⁾。また、填料含有率が増加すると面積の大きな填料集合体も出現するが、填料集合体の面積分率が増加する(図 2)ことから、填料含有率が変化しても填料集合体内部の密度がほとんど変化しないことが知られている。

填料含有率と比散乱係数の関係を図 3 に示す¹³⁾が、填料含有率の増加に伴い比散乱係数はいずれの填料を用いた場合でも増加する傾向にある。同一填料含有率においてはアラゴナイト型沈降性炭酸カルシウムを充填したシートがもっとも比散乱係数は高く、次いでカルサイト型沈降性炭酸カルシウム、重質炭酸カルシウム、クレー、タルクの順に低くなっている。シートの比散乱係数は、パルプ繊維と填料の比散乱係数と填料含有量、繊維間結合の一つの指標であるデボンディングにより決定される。シート断面、即ち Z 方向における填料の光学的有効層数は填料集合体の Z 方向における数および幅、填料を水に分散した時に生じる 2 次粒子の直径により決定される。

Fig. 2 Change in area fraction of filler aggregates with increasing filler content.

Fig. 3 Change in light scattering coefficient of filler loaded papers with increasing filler content.

○ : Talc, ● : Clay, △ : Ground calcium carbonate, □ : Precipitated calcium carbonate (calcite), ■ : Precipitated calcium carbonate (alagonite)

よって紙、殊に薄葉紙の場合にはこれら填料の種類だけでなく分散、凝集状態などを含む紙中での分布も不透明性とは密接に関係する。

2.2 物理的強度特性

紙の強度は、単繊維強度と繊維間結合で決まるが、特に繊維間結合の影響が大きい。紙の繊維間結合は繊維が実際に接触している面積、単位体積当たりの繊維の接触数と結合数によって決定される。

図 4 は各種パルプをビーターで叩解した時の保水値

Fig. 4 Relation between W. R. V. and freeness.
key ○ Bleached flax waste pulp
△ NBKP
□ LBKP

(W. R. V.) を示している¹⁴⁾。叩解を進めると繊維の膨潤性は高くなり、高叩解度領域ではLBKPの膨潤性が最も高くなる。図5は叩解を進めていく過程での単繊維から分岐しているフィブリル束の長さ(B1)を示している。LBKPに比べてNBKPはこのフィブリル束の長さが長くなる傾向にある。日本でインディア紙が抄造され始めた当時に使用されていた亜麻パルプでは、70°SR以上に叩解を進めると木材パルプに比べてこのフィブリル束の長さは著しく大きくなる傾向にある。即ちNBKP、亜麻パルプはLBKPに比べて外部フィブリル化が進行しやすく、比散乱係数の増大、填料の歩留向上、高不透明性、緻密なシート形成が期待出来る。

図6～8¹⁵⁾には叩解による各種シート強度の変化を

Fig. 5 Relation between length of B1 and freeness.

Fig. 6 Relation between breaking length and freeness.

key ○ Bleached flax waste pulp
△ NBKP
□ LBKP

示している。NBKPシートはLBKPシートに比べて同一叩解度における裂断長、引裂き強さ、耐折強さにおいて高い値を示している。

薄葉紙においては、坪量が低く、シートを構成する繊維が少なくなるが、印刷、製本等を考えた場合、紙の諸強度が必要となる。そこで裂断長、引裂き強さを高めるためにNBKPの配合を、破裂強さ、耐折強さを

Fig. 7 Relation between tear factor and freeness.

key ○ Bleached flax waste pulp
△ NBKP
□ LBKP

Fig. 8 Relation between folding endurance and freeness.

key ○ Bleached flax waste pulp
△ NBKP
□ LBKP

高めるために叩解を進めることを各々行ってこれらの紙質バランスを保持させている。

2.3 表面性

合成 SEM 像は広い面積にわたり、微細な構造まで観察できることが特長である。図 9, 10 は 50° SR まで叩解した NBKP 及び LBKP のシート表面の合成 SEM 像である¹⁶⁾。これらを次に示す 3 次元触針粗さ図と合せて見ると、NBKP シートでは繊維交差部周辺に幅数十 μm のポアが多数存在している (図 11)¹⁷⁾ こと、LBKP シートでは NBKP 手抄きシートに比べて、深さと幅の小さい凹凸が存在している (図 12) ことが観察できる。

図 13 に NBKP シートを光学的に接触させた状態でのシート表面の正反射像を示す。黒い部分が光学的に接触している部分であり、長い繊維の集合体として紙表面が圧力下で平板と接している様子が見える。図 14 は LBKP シートの場合であり、NBKP シートに比べて細かな凹凸からなっている。オフセット印刷では

インクはブランケットに転移した後に紙へ転移してゆく。この時、紙表面はブランケットに押しつけられるが、NBKP シートに比べて LBKP シートの方が均一にブランケットに接することが考えられる。図 15 は填料を多く含むインディア紙の正反射像であり、填料が

Fig. 11 The map of three dimensional roughness of handsheet from NBKP beaten to 50° SR.

Fig. 9 Composite scanning electron micrograph of handsheet from NBKP beaten to 50° SR.

Fig. 12 The map of three dimensional roughness of handsheet from LBKP beaten to 50° SR.

Fig. 10 Composite scanning electron micrograph of handsheet from LBKP beaten to 50° SR.

Fig. 13 Positive reflection image of hand-sheet from NBKP beaten to 50° SR.

繊維交差部周辺のポアを埋めるため、加圧下で平板と接する接触域が増加、均一化されており、印刷適性が付与されていることが推察できる。

紙表面へのインキの転移の均一さの表現の一つである印刷網点再現性は、繊維集合体としての紙の2次元の繊維分散状態、加圧下での平板との接触部の均一性¹⁸⁾、さらに吸油性の高い填料の存在により、印刷適性を向上できる。

Fig. 14 Positive reflection image of hand-sheet from LBKP beaten to 50° SR.

Fig. 15 Positive reflection image of top-side of India paper.

2.4 紙層構造

印刷時または印刷後の紙とインキの相互作用を考えると、紙へのインキの浸透性は重要な挙動である¹⁹⁾²⁰⁾。水銀圧入法により得られる紙の細孔分布と各紙に印刷した時に生じるインキのストライクスルーを画像解析した結果との関係を表2²¹⁾に示す。紙面の表から裏に通じるトゥルーポア (true pore) が多く空隙経路が短い上質紙の場合、ストライクスルーは多く、相互連結性細孔が多く空隙経路の長い新聞用紙はストライクスルーが少ないことを示している。ストライクスルーを防止するには、空隙の相互連結性を多くして、インキの浸透経路を長くすることが考えられるが、薄葉紙においては一定面積における空隙量、あるいは体積が少ないことから、填料の有効な利用を行う必要がある。

そこで叩解度合の填料添加シートの構造に及ぼす影響についてみると(表3)²²⁾、シート中の填料集合体の幾何学的特徴量には叩解の影響がほとんど見られないことがわかる。このことは、繊維に比べて吸油量の高い填料を配合することにより、インキの浸透をコントロールすることが可能であることを示している。またNBKPシートではLBKPシートに比べて填料集合体の面積分率が大きくなっており、この場合においてもNBKPシートにおいては、繊維交差部周辺のポアが大きな構造をとると考えられる。

2.5 紙層形成

分散された繊維はワイヤーを介して脱水されて互いに重なり合った集合体を形成するが、紙層が固定化するまでの間の繊維分散状態²³⁾のほか、脱水も紙の均質性や密度に影響を及ぼすことは良く知られている。

紙の不均一性の一つの現われであるワイヤーマークは印刷時にインキ浸透の不均一化を招き、裏写りやインキ光沢むらを生じさせる²⁴⁾。ワイヤーマークは抄紙において、初期脱水時に形成されるシートのワイヤー

Table 2 Result of image analysis

	Newsprint	Coated paper	Woodfree paper 1	Woodfree paper 2
Total frame mm ²	433.1	409.1	204.6	397.2
Fields	36	34	17	33
Total quantity	1,035	1,012	1,565	1,029
DA (Diameter of arithmetical μm average)	35.05	22.18	57.89	43.08
Sigma	5.98	3.71	9.49	7.55
Quantity per 1 cm ²	239	247	756	259
Total strike-through area %	0.231	0.095	2.013	0.377

Table 3 Geometrical parameters estimated from cross section of filled sheets

	C.S.F. ml	Filler content	Number of fibrous layers (n_f)	Filler aggregates			
				z-directional count	z-directional width, μm	Area μm^2	Area fraction $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}$
Softwood kraft pulp	560	21.5	6.6	5.8	3.3	21.2	14.5
Hardwood kraft pulp	90	21.0	6.8	6.0	3.2	19.5	15.8
Hardwood kraft pulp	470	21.1	8.5	5.1	2.9	17.2	18.1
Hardwood kraft pulp	240	18.8	7.7	5.1	2.9	17.8	18.5

Fig. 16 Stereo SEM pair of the wire side of standard handsheet.

サイドにおける繊維分布に起因する密度むらと考えることができる²⁵⁾²⁶⁾。抄紙において初期脱水が強ければ、水はワイヤーの細孔に向かって強い流れを形成し、繊維はその細孔へ引き込まれる。この結果、紙層のワイヤーに接する部分にワイヤーの構造、表面凹凸と一致する繊維分布が形成されるほか、紙層のワイヤーサイド部分の繊維ネットワークが緻密となりワイヤーマーク、地合の乱れ、脱水の低下を惹起すると考えられる。

図16は53°SRに叩解したLBKPをプラスチック2重織りワイヤーを用いて作製した手抄きシートウェットウェブのステレオSEMペア像²⁷⁾である。図17はこのステレオSEMペア像を画像処理して凹凸の状態を3次的に示したもので、ワイヤーの織り構造と類似する規則的な凹凸パターンが見られる。高さ60~80 μm の領域が、MD方向で約350 μm 、CD方向で約320 μm の間隔を持つことがわかる。これらの数値はワイヤーの構造と一致していることから、ワイヤーの中のボイドにおいて生じる脱水時の吸引力によって繊維が引き込まれて、紙のワイヤー側の表面に凸部を形成することが推察される。また、シート形成

Fig. 17 The map of wire side surface on handsheet after couching.

時にろ水時間が長く初期脱水が弱い場合には、繊維の堆積作用が大きく、脱水時の流れの強さも弱いため、ウェットウェブのワイヤー面の凹凸は小さくなる。抄紙機においてはサクションピックアップなどウェットウェブを加圧する時に圧縮変形が生じて、紙のワイヤー面においては凹凸の大きさが助長されと考えられる。

Fig. 18 Change in area fraction of filler aggregates with increasing filler content.

- None pressed sheets
- ▲ Wet pressed sheets

図18は手抄きシート作製時にウェットプレスを加えたシートとそうでない場合の各シート断面における填料分布について検討した結果²⁸⁾で、同一填料含有率での面積分率がプレス処理シートでは小さくなっており、プレスにより填料集合体が圧密化されること、またプレス過程で水の移動により填料集合体が細かく分解されることが推察できる。よって、これら紙層形成時の各作用により、紙の光学特性や表面性、紙層構造が変化するために印刷適性等に及ぼす影響について考慮する必要がある。

2.6 サイズプレスとゲートロールコーター

紙の印刷適性を上げるために、塗工を行って表面強度、平滑度、白色度などの改善が行われる。前述の理由から印刷用薄葉紙は上質紙に比べて白色度、不透明度が高く、平滑度の高いシートとなっているが、紙表面に多くの填料が存在しているため、印刷時に紙粉によるブランケット汚れ等の問題が起こり易い。

サイズプレスでは、低濃度の塗工液を使用するために紙表面だけでなく、内部へも塗工液が浸透する²⁹⁾ことにより紙の表面強度、引張り強さ、内部強度、表面の化学的性質の改善を行うことが可能である。

これに対して近年良く用いられているゲートロールコーターは、アウターロールとインナーロールにより塗工液の付着量を制限してアプリケーションロールに転移させた後にシート表面に塗工する装置である。新聞用抄紙機で900 m/min以上の速度で稼働している³⁰⁾等各方面で使用されている。また、澱粉を主体としたク

リヤー塗工だけでなく微塗工に相当する顔料塗工も行えることが特徴である。

いずれの場合にもロール塗工の系においては塗工液の粘度特性、塗工速度により発生するロールパターンなどについて配慮する必要がある。ロールに発生するリングパターンについては、ローラー間のニップ部圧力分布の影響についての解析例³¹⁾があるほか、塗工方式に適した表面サイズ剤やバインダーの開発も行われている³²⁾。このため、紙の印刷適性は更に改善し易くなってきていると言えるが、塗液の特性等には充分配慮して装置設計、処方設計を行わなくてはならない。

2.7 スーパーカレンダー加工

シートの表面に高い平滑性を与えるには、弾性ロールと金属ロールからなるスーパーカレンダーが使用される。これは高圧下で平滑なロール面に紙の表面を押し当てて塑性変形を起こさせて紙の表面を平滑化させる装置である。スーパーカレンダーはマシンカレンダーに比べてニップ幅が広く、ニップ圧も高いために、用紙に対する変形効果については差が生じる。

シートを平滑にすることはシートの厚さの減少につながるが、紙の不透明性やこわさを維持するために、低圧下でのカレンダー加工が望まれている。Kleine Wefers社のコンパクトカレンダーをはじめとして、小ニップ数でカレンダー掛けをするソフトカレンダー法では弾性ロールに特殊合成樹脂被覆ロールを使用している³³⁾。マシンカレンダーでは2本の金属ロール間にはさまれて紙がニップを通過するために、紙の厚さを均一化する様にニップ圧が作用するが、ソフトカレンダーではニップ後のシートは密度が均一化される³⁴⁾。このためシート表面の光沢むらを防止でき、また低圧ニップによりシートの嵩を高めることが可能となる。

カレンダーのニップ圧を0~100 kg/cm²に変化させた時のNBKPシート、LBKPシートの表面粗さとカレンダーニップ圧との関係を図19に示す³⁵⁾。いずれのシートでもニップ圧が増加するにつれてパーカーブプリントサーフラフネスが減少して、表面粗さは減少する傾向にある。またNBKPシートに比べてLBKPシートでは、同じニップ圧におけるパーカーブプリントサーフラフネスの減少が大きく、高平滑化され易いことが示されている。カレンダー処理においてはシート表面の小さなポアを平滑化するものの、大きなポアを平滑化するには到らないと考えられる。

填料が充填されたインディア紙では、シートの持つ表面粗さも小さく、圧力下での表面の圧力分布も填料により繊維交差部周辺のポアが埋められて均一化している。このため、カレンダー効果が出やすい特性を

Fig. 19 Relationship between parker print-surf roughness and nip load for NBKP sheets and LBKP sheets.

Key clamping pressure
 $\triangle$ NBKP sheet $\triangle$ $\square$ 5 kg/cm²
 $\square$ LBKP sheet $\triangle$ $\blacksquare$ 10 kg/cm²
 $\blacksquare$ 20 kg/cm²

持っており、細かい活字が印刷される辞書用紙としての適性を有することになる。

3. 薄葉紙の印刷

3.1 印刷適性

紙表面の粗さや構造、および構造的、密度的不均一性は印刷時のインクや湿し水の転移、浸透に影響をおよぼすことが知られている。Bristow³⁶⁾ および Lyne³⁷⁾ によって考案、改良された液体の転移性の測定装置は、紙の進行方向と直角な開口部を有するヘッドボックスを介して液体と紙を接触させ、一定量の液体の転移、吸収を行わせて、紙の吸液特性を測定するものである。紙との接触時間はドラムの回転速度 v とヘッドボックスの幅 l で算出される (図 20)。

図 21 は各種シートの吸液特性を示したものである。100 msec 以下の短い接触時間では NBKP シート >

Fig. 20 Liquid transferring model.

Fig. 21 The absorption of water by LBKP sheet NBKP sheet, India paper and coated paper.

key
 $\square$ LBKP sheet $\triangle$ NBKP sheet
 $\star$ India paper $\circ$ Coated paper

Fig. 22 Diagram of depth obtained by the stylus type smoothness tester for LBKP sheet and NBKP sheet.

LBKP シート > インディア紙 > コート紙の順に水の転移量は少なくなっている。100 msec 以上の接触時間では水の吸収速度が大きくなっており、繊維間への水の浸透が生じるものと考えられる。

NBKP シートはシート表面に大きなポアが存在しており、LBKP シートに比べて水の転移量が多くなっている。インディア紙は填料により繊維交差部周辺のポアが埋められているため NBKP シート、LBKP シートに比べて水の転移量は少なくなっている。

3次元粗さの測定で得られた、シートの累積深さと分布曲線および深さ分布曲線(図22)を見ると、LBKPシートはNBKPシートに比べて、シート表面のボアの分布幅が狭く、浅くなっていることがわかる。図21において接触時間0での水の転移量を外挿して算出すると、NBKPシート>LBKPシート>インディア紙>コート紙の順になる。インクの転移においても同様の傾向であると仮定するならば、NBKPシートでは表面の凹部にインクが侵入する量も多く、また表面の粗さにより印刷時の圧力も不均一な分布を示すために、濃度むら、光沢むらも大きくなると考えられる。インディア紙ではインクが表面の凹部に侵入する量も少なく、印刷時にも均一な圧力分布を示し、濃度むら、光沢むらの生じにくい特性を持つことになる。

3.2 オフセット印刷

オフセット印刷では版に湿し水を転移させた後にインクを付け、画像部のインクがブランケットに移り、紙に転写される。製版コストが他の印刷方式に比べて安いこと、弾性のあるブランケット上のインクを紙に転写するために、比較的平滑度の低い紙表面にも印刷が可能であることなどの利点を有している。

オフセット印刷では印刷インクが版面と同一平面上に付けられるために、画像部と非画像部は化学的な処理によって付与され、少量の酸を含んだ湿し水を使って非画像部にインク反発性を持たせている。

繊維、微細繊維、填料、顔料塗工剤などの細かい粒子がブランケットにたまるリンティングやパイルングは、オフセット印刷の深刻な問題でもある。叩解により発現する微細繊維および填料的の多い薄葉紙ではインクの粘度、湿し水の供給速度³⁸⁾と併せてリンティング等の印刷トラブル対策を施さなくてはならない。特に填料については、インディア紙等填料内添紙のステレオSEM観察から、紙中での填料は繊維マトリックス上に単にファンデルワールス力によって付着しているだけである³⁹⁾ので注意を要する。このため薄葉紙においては、表面サイズ等を施して印刷や加工時に填料が剥落することがないようにする。

3.3 カラー化の流れ

商業印刷を中心にカラー化、ビジュアル化の傾向は世界的に共通の流れとなっている。電話帳のような情報媒体の場合には、単色印刷における適性を持つ紙で機能を果たすが、画像そのものにより情報を伝達する場合はもちろん、この様な媒体を含めて多色の印刷に対する適性を持つ紙が必要となる。

雑誌のビジュアル化、印刷物の軽量化は情報社会の進展に伴い要求が高まり、微塗工紙の需要も拡大して

いる。広告宣伝の活発化によるチラシやカタログの増加、雑誌の広告ページの増加が考えられ、宣伝効果を期待するものでは印刷の色数も増大する方向にある。軽量化の動向と相まって更に厳しい印刷適性の付与が薄葉紙にも求められている。

3.4 高速印刷、オフ輪時代

4年毎にドイツのDüsseldorfで開催される印刷関係の展示会DRUPA(1990年)をみると、オフセット輪転印刷機の傾向として機械の高速化があげられる。日本の新聞用オフセット輪転印刷機のスピードは450~680 m/minであるが、DRUPA'90ではMAN Roland社が810 m/minの機械を展示しており、コート紙を主体とする多色の商業印刷オフセット輪転印刷機では毎分400 m/min以上の印刷機が増加している⁴⁰⁾。また、図23に示すようにオフセット輪転印刷機の設置台数は年を追うごとに増加する傾向にある⁴¹⁾。これは薄葉紙においても相似され、本格的なオフ輪時代に入っていると言える。即ち薄葉紙にもオフ輪適性が必要不可欠となっている。

3.5 折りと製本

出版用の印刷物は一般的には印刷後に折機にかけられ製本される。

印刷機の高速化に伴い、最近の印刷機には印刷インキの乾燥を目的とした乾燥装置が設置されている。オフセット輪転印刷機ではオープン内で200℃という高温にシートがさらされ、オープンを出た直後にチルドロールで冷却され、折りたたみと切断作業をうけて最終折り丁となる。

紙を折ると折り目の外側は引っ張り、内側は圧縮の作用を受けることになる。これらの作用はX-Y方向、X-Y面内での物理的挙動、エッジワイズ特性として取り扱うことができる。エッジワイズ圧縮特性については多くの試験法⁴²⁾も紹介されているが、繊維セグメントまたは細胞壁中の一部で生じる座屈により、繊維構造内での局部破壊が引き起こされ、これがシート中に

Fig. 23 The change of printing speed.

Table 4 Effect of oven temperature on hot creased burst strength.
Duration in oven maintained at 60 seconds

Temperature ℃	Burst strength kPa		Reduction in burst Strength %
	Originally	After hot creasing	
25	292	280	4.1
50	309	230	25.6
75	296	174	41.2
100	293	140	52.2
125	309	136	56.0
150	294	133	54.8

剪断座屈として伝播され、圧縮破壊が生じると考えられている。折りはエッジワイズの圧縮と引っ張り、そして層間のズリで決まるものと考えられる。

紙の水分が変化すると紙質も変化するが、一般に低湿度下では紙の水分が減少するにつれて引っ張り強さは高くなり、耐折強さは低くなる傾向を示すことになる。シートをオープン中で60秒間加熱したときの折りたたみ部の破裂強さを測定した結果を示したのが表4である⁴³⁾。加熱温度が高くなるにつれて破裂強さの減少率が大きくなっている。

N材化学パルプ、N材RMP、L材SCP、L材ソーグパルプを用いた高温折りたたみ破裂試験では、N材化学パルプの配合率が多くなるにつれて高温折りたたみ破裂強さは高くなる傾向にある。図24は高温折りたたみ破裂強さを示しているが、叩解がすすむにつれて高

温折りたたみ破裂強さが増加している⁴⁴⁾ことが分かる。薄葉紙ではN材を配合している例が多く、叩解も上質紙に比べて進められており、折り適性に対する改善も図られている。

4. インディア紙

4.1 インディア紙の特性

インディア紙は、高精細の文字を主体としたオフセット両面印刷となるために、薄いこととそれに相反する高い平滑性及び不透明性が要求される。そこで、パルプを高度に叩解した上に多量の填料を添加するほか、内添、表面サイズを施した後、スーパーカレンダーで平滑化、圧密化して製造される。要求に合わせて耐候（光）性に優れた染料を配合する。

インディア紙と上質紙の紙質を比べて見たのが表5である⁴⁵⁾。インディア紙は上質紙に比べて、薄く、高密度、高灰分、高不透明度である。また、クラークこわさが小さく、しなやかである。これは、辞書をひく時のめくり適性が良いことや、用紙が倒れやすいために頁の見開きがよく、辞書が見やすくなる特性を有することを意味する。

インディア紙表面の合成SEM像を図25に示す¹⁶⁾。インディア紙の場合には不透明性やしなやかさなどが要求されるために、多くの填料が内添されており、表面には填料が均一に分散して存在している。上質紙で見られる繊維交差部周辺のポア、あるいは繊維表面の凹凸はほとんど填料で埋められている。

インディア紙のステレオSEMベア像（図26）から表面の凹凸を測定すると10μm以内の凹凸であり、触針式3次元粗さ図（図27）においても平坦な表面となっていることが裏づけられる。

インディア紙の動的吸液特性からは、紙表面に存在する凹部の41%まで初期転移で水が転移することが明らかとなっており（図28）、ステキヒトサイズ値は

Fig. 24 Strength development of typical semi-bleached kraft softwood pulp.

○ Cold burst

● Hot creased burst

Table 5 Paper property of India paper and wood-free paper.

		India paper	Wood-free paper
Basis weight	g/m ²	38.2	53.0
Density	g/cm ³	0.802	0.780
Smoothness	sec/10 m/	177	44
Opacity	%	83.3	71.1
Clark stiffness	cm	12	16
Ash	%	14.9	4.9

Fig. 25 Composite scanning electron micrograph of top-side of India paper.

Fig. 27 The map of three dimensional roughness of top-side of India paper.

Fig. 26 Stereo pair of SEM (upper) and surface profile (lower) of India paper. Tilt angle are 0° (left) and 30° (right).

低いにもかかわらず印刷適性、ペン書き適性を有することが明らかである。

4.2 インディア紙の製造

LBKP, NBKP を叩解して繊維の形態、構造の変化

を調べてみると、NBKP の場合、外部フィブリル化の進行が認められるのに対して、LBKP の場合はあまりみられないという特徴が現れる。亜麻パルプを使用すれば、薄くて不透明なインディア紙の製造は可能とな

Fig. 28 Diagram of depth obtained by the stylus type smoothness tester for India paper.

るが、マイナス要因もあるため、LBKP と NBKP の叩解特性を利用して、均一でかつ高不透明な紙を抄造する。光学特性を付与するためには、沈降性炭酸カルシウムを 20% 前後内添する。このとき、填料のファーストバズリテンションを高く維持することが、内添サイズ剤の定着と合わせて必要であるが、高填料内添紙の場合には容易ではない。そのため、脱水特性のコントロールや適切なワイヤーの選択も必要となる。また、スーパーカレンダー加工も含めて、厚さの CD、MD プロファイルの均一化も重要である。

5. 超軽量多色印刷用紙

5.1 超軽量多色印刷用紙の特性

通産省の紙パルプ統計年報によると、調査品目分類が 1988 年 1 月分から大幅に変更され、微塗工印刷用紙が新たに加えられた。1 m² 当たり両面で 12 g 以下の塗料を塗布した紙の生産量が増加してきていることがわかる。

超軽量多色印刷用紙はカラー印刷が行われることが前提であるため、高白度で高不透明度の紙であることが要求される。

多色印刷では、多数回のインク転移が紙に対して行われ、かつ印刷時の画線部の面積も広い。このため重要なのは、印圧をかけた時の印刷平滑性であり、圧力を受けた時に圧着される表面とインクが馴染むことである。

超軽量多色印刷用紙では塗工量も少ないために原紙の平滑性が重要となる。先にも示した様に填料を充填したシートでは、繊維交差部周辺のポアが生められ平滑化されており、微量な塗工が行われる超軽量多色印

刷用紙に適する原紙特性を有する。また、印刷適性も優れている。

5.2 超軽量多色印刷用紙の製造

塗工紙においては、塗工液の特性が重要であり、顔料、バインダー、保水剤などの選択、配合量も重要なポイントとなる。

高白度塗工には沈降性炭酸カルシウムを配合することも行われる。粒子形状では、ロゼット状（紡錘形粒子が合わさった形状）粒子がキュービック状粒子に比べて塗工層の比散乱係数は高くなる傾向にあるが、高固形分で強いシェアーをかけるとロゼット状粒子においてスパイク破壊が生じて光学的特性は低下することになる⁴⁶⁾。

また、インクのもットリングは、塗工層のバインダーマイグレーションによるバインダーの不均一分布がもたらすと考えられているが、ドライヤー前で塗工液と原紙が接する時間の長いもののほどもットリングは悪化する傾向にある⁴⁷⁾。塗工液の水が原紙へ移動するときにはバインダーも同様に移動してゆくものと考えられ、原紙の表面粗さを減少させることも重要である。

水の転移による繊維の膨潤はデボンディングを生じさせ、塗工紙の表面特性を悪化させる。叩解を進めた繊維を用いる薄葉紙では塗工液の組成とともに塗工時に表面を加圧することも必要と考えられ、塗工装置の選択を考えなければならない。

6. その他の薄葉紙

薄葉印刷用紙のうち、インディアペーパー、微塗工紙を中心に述べたが、上記以外の薄葉紙としては、裏カーボンペーパー、電気絶縁紙、グラシン紙、ライスペーパー、たばこ用チップペーパー、フィルタプラグラッピングペーパーなど多種ある。

個々の特性等については別に譲るとして、ライスペーパーについて少し触れる。

前述の葦草紙の英名はライスペーパーであり、インディアペーパーの製造の起源となったのは、厚く抄造したライスペーパーであり、ライスペーパーは薄葉紙の歴史と密接に関係している。ライスペーパーの語源についてはクリミヤ戦争あるいはピラミッドの戦いにおいて、兵士が弾薬の包装紙、次いで配給米の袋を転用したのを起源とする説などいくつかある⁴⁸⁾が、葦草紙を見本としたため名前が残ったとも考えられる。

現在ではたばこの嗜好が軽い方に移行しており、煙成分をコントロールすることと合せて、ライスペーパーも、プラグ用紙、チップ用紙を含めて高機能化されている⁴⁵⁾。

余談ではあるが、陶磁器の焼き物の大量生産、あるいは非常に高価なヨーロッパの磁器などの製造において用いられる絵柄の染めつけ用転写紙も、ライスペーパーと呼ばれる薄葉紙の一つである。

7. おわりに

近年では廃棄物処理の負担軽減や資源保護の面から印刷、情報用紙への古紙配合が積極的に行われている。表6には紙と板紙の古紙消費原単位を示すが、薄葉紙における消費原単位は低下してきている⁴⁹⁾。薄葉紙においては品質要求の面から古紙を配合することが難しいが、薄葉紙分野でも昨年、帳票用紙に新聞や雑誌を主体とした脱墨古紙を50%程度使用したものが上市された。白色度で従来品に比べて10~14ポイント低下する傾向にあり、コストも従来品に比べて10%強高くなっている。塗工量の少ない上質系多色印刷用紙ではカラー印刷等への対応が難しく実用化されていないのが現状である。

リサイクルしたパルプにおいては図29の様に、リサイクル数3回で、裂断長がもとの繊維から成るシートの30~40%に低下することが知られている⁵⁰⁾。リサイ

Fig. 29 Relation between breaking length and recycle number.

○ LBKP ● LUKP
△ NBKP ▲ NUKP

Table 6 Unit requirement of consumption of waste paper according to the kind of paper and paper board

	1977 April—Nov.	1982 April—Nov.	1989 April—Nov.
Paper	0.156	0.251	0.224
Newsprint	0.101	0.466	0.423
Printing, writing, drowing	0.102	0.142	0.132
Wrapping paper	0.087	0.034	0.011
Thin paper	0.017	0.002	
Tissue paper	0.905	0.891	0.703
others	0.085	0.037	0.023
Paper board	0.693	0.829	0.889
Kraft liner	0.243	0.446	0.569
Jute liner	0.886	0.890	0.983
Liner board	1.117	1.059	1.095
Corrugating medium	0.447	0.817	0.998
Special medium	1.103	1.033	1.120
Manila board	0.331	0.641	0.515
White board	0.916	1.028	0.919
Chip board	1.201	1.127	1.131
Straw board	0.693	1.157	
Color board	1.097	1.099	1.121
Total		0.485	0.498

Table 7 Properties of various fillers

	True specific gravity	Refractive index	Particle diameter μm	Specific surface area m^2/g	Brightness %
UF-filler	1.45	1.65	0.1~0.3	10~30	97~98
white carbon	2.0	1.4~1.5	0.01~0.04	100~200	90~98
TiO ₂ (anatase)	3.9	2.55	0.15~0.25	12~25	98.5
CaCO ₃ (ground)	2.7	1.49~1.66	0.3~10	1~6	70~90
CaCO ₃ (pptd)	2.6	1.49~1.66	0.2~5	5~20	80~95
clay	2.6	1.55	0.2~5	0.5~1	80~90
talc	2.7	1.55	1~10	3~10	80~90

クルしたパルプでは繊維細胞壁内にその後の湿潤、膨潤によっても破壊されない結合を多く持つため繊維のコンフォーマビリティが低下して、繊維間結合を阻害することになる。一方でリサイクルしたパルプは不透明度の高いシートとなることから、紙力増強剤の利用等により活用の道は残されている。

この様に、古紙にはいくつかの問題点があるために、特に薄葉紙においてはその配合に解決しなければならない技術的難題があるが、資源、環境問題から再生紙について、薄葉紙といえども避けては通ることができない。しかし、見方を変えるならば、薄葉紙は同一資源で数倍の情報、機能を提供しているとも言えるので、二重の意味から資源問題、環境問題に対応していることになる。

薄葉紙における課題は、こわさと不透明度である。低坪量であるがゆえに紙の厚さも薄く、かつ繊維に比べて比重の大きな填料を配合するために、クラークこわさも低くなる傾向にある。枚葉印刷機などの機械通紙適性を改善するには、いわゆる用紙の腰を改善することが必要となる。このためには、嵩を維持したまま紙の表面を平滑化することが必要となる。

尿素樹脂系填料⁵¹⁾は、製紙用として使用されている無機填料に比べて真比重が小さく、かつ高白色度の填料であり、比散乱係数は二酸化チタン並に高い特徴を有している(表7)。このため新聞用紙、超軽量塗工原紙等への利用が検討されている。

繊維間結合を妨げることなく、白色度、不透明度を向上させるには、パルプ繊維の腔内に填料を充填すること⁵²⁾⁵³⁾など、填料の充填量を高める工夫も検討されている。

嵩を保ったままで平滑化するには前述のソフトカレンダー法もある。従来のカレンダーでは、厚さを均一

化するようにシートの厚い部分に圧力が集中するため、表面の平滑性を得るには、シートの密度が高くなることが避けられない。このソフトカレンダーでは凹凸のある紙に対してニップ圧を平均化して、嵩の均一な紙をつくることができる。

塗工に関しては、中空球形重合顔料の利用も考えられる。嵩高の塗工層を形成するとともに、顔料中の空隙が光の散乱を生じさせる界面を有するために、光学特性の面からも有利である。さらに中空球形バインダーも開発されている。

マクロ的かつミクロ的に均質な紙が理想的ではあるが、紙の主体を構成している繊維は天然物であるがゆえに、全ての面において均質化することは難しい。しかし、情報記録用紙をはじめとして、要求特性に合わせて部分的ではあるが均質性を付与することが可能となっている。

薄葉紙では、上質紙とコート紙の中間的な印刷適性を有しており、単位重量当たりの情報密度の高いシート状記録媒体として今後も成長が期待される。

引用文献

- 1) 長田浩宣：百万塔，33，9-12 (1972)
- 2) 村山 浩，岡島 敏：紙パ技協誌，15，309(1961)
- 3) BO RUDIN：MAKING PAPER, RUDING, Sweden
- 4) DARD HUNTER：PAPER MAKING, DOVER PUBLICATION
- 5) 中村直次郎：和紙雑考，榛原商店 (1960) など
- 6) 久米康生：和紙の文化史，木耳社 (1976) など
- 7) 小林嬌一：紙の今昔，新潮社 (1986)
- 8) 柳沢英士：紙パ技協誌，28 (9)，387-391 (1974)
- 9) 日本製紙連合会：紙統計月報

- 10) 矢野経済研究所：特殊紙市場の展望と戦略(1986)
- 11) 堀越 勉：紙パ技術タイムス, 20 (9), 1 (1977)
- 12) 桂 徹, 村上浩二：紙パ技協誌, 40 (7), 663-670 (1986)
- 13) 桂 徹, 村上浩二：紙パ技協誌, 40 (12), 1145-1150 (1986)
- 14) 原 啓志：紙パ技協誌, 38(11), 1144-1156(1984)
- 15) 原 啓志：亜麻パルプの製造に関する研究(東京大学博士論文)(1984)
- 16) 分部春樹, 原 啓志, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 40 (1), 79-84 (1986)
- 17) 分部春樹, 原 啓志, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 40 (3), 275-283 (1986)
- 18) 正木栄一：紙パ技協誌, 35 (5), 403-411 (1981)
- 19) 江 屹, 甘利武司, 渡辺綱市郎：日本印刷学会誌, 26 (5), 251-257 (1989)
- 20) 渡辺綱市郎, 甘利武司：紙パ技協誌, 42 (8), 679-709 (1988)
- 21) 原 啓志, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 35 (3), 263-269 (1981)
- 22) 桂 徹, 寺尾知之, 村上浩二：紙パ技協誌, 41 (11), 1135-1142 (1987)
- 23) O. J. Kallmes : Paper Trade Journal, 161 (4), 44-52 (1977)
- 24) R. Danby : Pulp and Paper Canada, 87 (8), T 309-T 318 (1986)
- 25) R. L. Wood : Tappi, 42 (1), 14-17 (1985)
- 26) T. S. Duchnichi : Pulp and Paper Magazine of Canada, 67 (8), T 356-T 366 (1966)
- 27) 吉村隆重, 原 啓志, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 42 (6), 573-578 (1988)
- 28) 寺尾知之, 村上浩二：紙パ技協誌, 43 (8), 803-811 (1989)
- 29) 分部春樹：第49回紙パルプ研究発表会要旨集, p 51-53 (1982)
- 30) 高橋嗣郎：紙パ技協誌, 44 (1), 48-51 (1990)
- 31) 鈴村 洋, 杉原正浩, 藤井照重, 竹中信幸：紙パ技協誌, 44 (3), 294-304 (1990)
- 32) 小保方隆夫：紙パ技協誌, 43(4), 388-394(1989)
- 33) H. Malkia : Tappi, 69 (10), 78-80 (1986)
- 34) R. H. Crotogino, M. F. Gratton : Pulp and Paper Canada, 88 (12), T 461-T 465 (1987)
- 35) 分部春樹, 原 啓志, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 42 (9), 871-876 (1988)
- 36) J. A. Bristow : Svensk Papper Stiding, Nr 19, 623-629 (1967)
- 37) M. B. Lyne, J. A. Aspler : Tappi, 65 (12), 98-101 (1982)
- 38) U. Lindqvist, S. Meinander : Tappi, 64 (12), 61-63 (1981)
- 39) 原 啓志, 分部春樹, 大江礼三郎：CELLCON 88 要旨集, p 94 (1988)
- 40) 岡田 勇：印刷雑誌, 74 (3), 3-9 (1991)
- 41) 佐藤俊一：第23回紙パルプシンポジウム要旨集 58-67 (1988)
- 42) 門屋, 白田, 大江編：製紙科学, 中外産業調査会 (1982)
- 43) James Colley : Appita, 35 (4), 299-301 (1982)
- 44) James Colley : Appita, 35 (6), 499-504 (1982)
- 45) 原 啓志：第23回紙パルプシンポジウム要旨集 37-48 (1990)
- 46) A. J. Hebet, Hector A. Lopez : Tappi, 68 (7), 86-92 (1985)
- 47) G. Engström, I. Fineman, A. Persson, R. Akeson : Tappi, 65 (11), 81-84 (1982)
- 48) 「たばこと専売史」第2巻 日本専売公社 (1964) など
- 49) 大江礼三郎：紙パルプ技術タイムス, 33 (9), 1-5 (1990)
- 50) 山岸良央, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 35 (9), 787-797 (1981)
- 51) 大喜多泰郎, 松原次男：紙パ技協誌, 44 (8), 865-874 (1990)
- 52) 岡山隆之, 雲 和雅, 花田淳成, 大江礼三郎：紙パ技協誌, 43 (5), 495-506 (1989)
- 53) H. V. Green, T. J. Fox, A. M. Scallan : Pulp and Paper Canada, 83 (7), T 203-T 207 (1982)