

情報用紙製造技術の系統化

1

Survey on Technologies Developed in Communication Paper Production in Japan

飯田 清昭 Kiyoaki Iida

■ 要旨

20世紀中頃から出現したコンピュータにより新しい情報の処理・伝達の方法が生まれると、それに合わせて情報用紙として分類される紙が開発されてきた。1970年以前ではコンピュータ用の統計機カードであり、テレックスのさん孔テープであった。日本の製紙産業はこれらの高価な特殊紙と言うべき紙を国産化することで技術力を高めてきた。1970年代に入ると、情報処理分野で力をつけてきた日本の電機メーカーや事務機メーカーが世界と対等のレベルで技術開発を進める。それに引っ張られるように製紙会社も関連する情報用紙の技術開発に参画した。製紙会社の間では、情報用紙が新しい紙の分野として期待されていたこともそれを推し進めた。

具体的には、ファクシミリであり、コピー機であった。日本では漢字を扱えることが求められ、それまで普及していたテレックスに代わるものとしてファクシミリの開発に大きなエネルギーが投入された。1970年代には、そのシステムとして放電記録、静電記録、感熱記録等が競合したが、開発間もない感熱システムがその主流となった。感熱紙は、NCRが開発した複写システムであるノーカーボン紙の技術から派生したもので、ポイントは、装置が簡単で、使用する感熱紙のコストが単層塗工のため他の方式より安いことであった。この感熱システムは、ファクシミリが高速化するのに合わせて品質が高度化し、結果として、テレックスに拘った欧米に対して装置、用紙共に抜きでた日本の製品が世界に広がっていった。

コピー機の分野でも、日本メーカーがゼロックスに対抗して技術開発を進め、低価格の高速機を開発し、市場が急速に拡大していった。この印字方式は、ノンインパクトプリンタやレーザービームプリンタにも利用された。この過程で、高速で印字する際の紙の走行性が問題となり、その主要原因が紙面でのパルプの配向にあることが日本で見出され、抄紙機の上で管理する技術が開発された。これらの技術発展により1980年代に紙の使用量が急増し、オフィス古紙の回収が社会問題となった。

1980年代の成功で輸出展開していた感熱紙は、急激な円高で現地生産に代わっていった。そして、さらなるファクシミリの高速化、レーザープリンタの低価格化から、ファクシミリの主役の座を奪われる。そこへ電子メールが追い打ちをかけた。これに対し、感熱方式はプリンタが簡単なことを武器にリテール分野（レジロール、値付けラベル等）へ転身する。ここでは、皮肉にも多層塗工により要求品質を満たすこととなった。

1990年代に入るとインクジェットプリンタが急速に普及する。インクジェットプリンタは水性インクを使用するため今までと異なった紙の品質を求める。これにたいし、製紙会社は感熱紙に続くものとして開発に注力した。この方式は個人向けの印刷（文書の印刷からデジタル写真のプリントアウトまで）から大型の商業印刷にまで利用され、それに合わせた用紙の開発がすすめられている。

2000年代に入って、情報がネットワークで保持されることで、情報流通の方式が大きく変化している。それは紙の使用方法にも変化を引き起こし、使用量の減少となっている。

情報用紙の技術開発から日本の特徴と言えるものが見える。時系列として、まず、輸入品の国産化で力をつけ、国内の競争で技術レベルを高めて世界をリードするまでなり、それを武器に輸出、海外生産と展開する。同じことが電機メーカーや事務機メーカーを含めあらゆる業界で時期を合わせたように起きている。そして、日本全体が一つの動きに纏まったことで分厚いインフラが形成され、1980年代以降の日本の発展の原動力となっていたと推論する。その要因として、狭い国土のため情報がより早く効率的に共有されたことを上げたい。

現在では、グローバル化、インターネット等による情報の共有化により、以前の日本の情報伝達の優位さが失われている。新しい時代に合わせて、競合相手より、情報をより早く効率的に運用するシステムを作り上げるのが急務であろう。

■ Abstract

The computer, which was invented in the midst of the 20th century, has changed the way of processing and transferring information among people. As new systems have been developed one after another, new types of paper have also been developed alongside these systems, and they have been labeled “communication paper” as a group. In the 1950s and 1960s, the main such product was punched cards and punched tape, which were used to input data. Because they were imported and expensive, Japanese paper companies strived to manufacture them by themselves and were highly successful. This effort greatly improved the capabilities of the paper companies.

In the 1970s, facsimile (“fax”) machines and plain paper copiers (PPCs) were targets for product development. As Japanese companies had already acquired a certain level of technological ability, they soon became competitive with world-leading companies. The paper companies were involved in the R&D efforts by supplying paper for their printouts.

The facsimile machine looked very promising, and therefore, many electrical product companies got into the market and competed fiercely with each other with help from the paper companies. Although the telex system was commonly used in other countries, the Japanese preferred facsimiles because their complicated kanji characters were difficult to transfer by telex. Several systems such as electric discharge recording, electrostatic recording, and thermal recording were in rivalry. Thermal recording became dominant in the market because thermal printers were easy to handle and the paper was less expensive than others due to its single-layer coating. The fierce competition continued, which led to the development of advanced and refined products (machines and paper), which were successfully exported worldwide.

Japanese manufacturers worked hard to develop models of PPC machines that were inexpensive and that operated as quickly as those made by their rivals in the world, after the patents held by Xerox expired. The products were welcomed in the market, which expanded very quickly. This type of printing system was also applied to non-impact printers (NIPs) and later to laser beam printers (LBPs). As printing speeds increased, the printers, especially NIPs, required ever higher performance from the paper used with them. The fiber orientation in the sheet was found to be critical in satisfying this requirement, and thus, techniques to control it in the paper machine quickly became common in Japan. Then, the paper machine itself was redesigned, and an on-machine sensor was developed.

In the 1980s, the export business of thermal paper was hurt by the strong yen. Thermal paper makers set up manufacturing units abroad, including in Europe and the U.S. Then, facsimile machines were overtaken by other systems that used plain paper such as LBPs. Further, the increasing use of e-mail diminished even the market itself. Manufacturers of thermal systems, making use of their simplicity, explored new applications in the retail industry such as register rolls and food labels. Ironically, these applications required a multi-layer coating on the sheet.

In the 1990s, the inkjet printer surged into the market, although its development took a fairly long time. Because the ink used in these printers is aqueous, a different kind of quality is necessary for the paper. Paper companies took it to be a successor to thermal paper and have developed various kinds of ink jet paper suitable for documents, digital photos, and large commercial printing runs.

In the 2000s, an evolutionary change is occurring in communication, and more and more information is being stored in the network. This is changing the way paper has been used, and its consumption will undoubtedly decline.

The history of product development in communication paper shows certain characteristics in Japan. First, by substituting imported products with locally made ones, the technological level was improved. Then, fierce competition in Japan led to the products being refined to the highest quality, and they were then successfully exported worldwide. Similar moves occurred in every industry over the same course of time. Because of that spontaneity, a large and efficient nationwide infrastructure was quickly built in Japan, which was a driving force for growth in the 1980s and on. One factor that helped to spur the spontaneous growth was that information was exchanged rapidly and efficiently in Japan, where many people live in a small land area.

As the world becomes more globalized, and information is increasingly stored in the network, the advantage of this quick information exchange in Japan is disappearing. Japan therefore needs to develop a new model that fits the new generation.

■ Profile

飯田 清昭 *Kiyooki Iida*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和35年 東京大学工学部応用科学科卒業
同 年 十條製紙株式会社入社
昭和40年 トロント大学大学院化学工学科卒業(修士)
平成 2年 十條製紙(株)中央研究所長
平成 5年 紙バルブ技術協会 専務理事
平成15年 同 退職
平成 2年より平成12年まで九州大学非常勤講師
現在、製紙産業技術遺産保存・発信活動にボランティアとして協力している。
学協会賞 昭和60年 紙バルブ技術協会賞
昭和61年 紙バルブ技術協会賞

■ Contents

1. はじめに	3
2. 情報用紙概説	4
3. 情報用紙の変遷	6
4. 紙製造技術概説	13
5. 1970年代までの情報用紙各論	35
6. PPC用紙の技術開発	44
7. 感熱紙の技術開発	50
8. インクジェット用紙の技術開発	63
9. 情報用紙の変遷から見える日本の技術開発	73
情報用紙製造技術の系統化図	78
情報用紙の登録候補一覧	79
謝辞	80
情報用紙技術開発年表	81

1 | はじめに

紙は2000年前に中国で発明されて以来、唯一の情報媒体として使用されてきた。そして、20世紀の中ごろから出現したコンピュータにより新しい情報の処理・伝達の方法が生まれると、それに合わせて新しいタイプの紙が開発された。その情報処理の分野が大きく成長するにつれ、情報用紙と呼ばれる紙の分野が形成された。したがって、情報用紙は、新聞用紙のように一つの種類の紙を指すのではなく、情報処理の発展により生まれかつ消え、また新たに生まれてきた紙の総称である。その変遷は情報処理技術の変化に伴っており、長い間使用され続ける紙製品が多い中で特異的である。さらに、技術的にも特殊紙に近く、他の品種とは異なった技術も求められてきた。

その情報用紙の主要品種であるノーカーボン紙、感熱紙、インクジェット用紙では、日本での技術開発が世界に先行し、輸出から海外生産（後の2品種）へと展開している。この過程は、国内需要を品質の優位性で守ってきた新聞用紙や段ボール用紙とは異なっている。

また、ノンインパクトプリンタ用紙の品質改善から見出されたパルプの配向性管理の技術は、情報用紙の

みならず一般の紙の製造にも大きな影響を与え、その品質改善に寄与した。

これらの技術開発の過程を系統化としてまとめる。

具体的には、第2章で情報用紙の特徴を概説し、第3章でその歴史的な変遷を紹介する。

第4章では情報用紙を含め紙の製造技術を概説し、その中で、この報告の一つのテーマである配向性管理技術の開発過程を紹介する。

第5章では現在では使用されていない1970年代までの各種の情報用紙を概説する。第6章では、量として最も多いPPC用紙の製造技術を紹介し、併せてオフィス古紙の利用について考察する。第7章では、ノーカーボン紙の技術から感熱紙が生まれ、日本での技術開発の進展から、輸出さらに海外生産へ展開した過程を追ってみる。第8章では、感熱紙に続くものとしてインクジェット用紙が開発される過程を紹介する。

第9章では情報用紙の技術開発から見える日本の技術開発の特徴について考察する。巻末に年表及び技術開発の系統化図を載せる。

2 | 情報用紙概説

2.1 情報用紙とは

コンピュータと通信技術の発展により紙の新しい用途がいろいろ開発されてきた。それらの用途に使用される紙をまとめて情報用紙と称する。この分類は比較的新しく、日本製紙連合会により1988年から新たに設けられた。当初は日本独特で、communication paper との訳語を用いたが、情報用紙に対応する汎用的な英語がなく、翻訳に苦勞する時代があった。では、具体的にどのような紙であるのか。じつは、情報用紙はコンピュータと通信技術の発展により次々と変わってきている。

例えば、1960年代では、コンピュータへの入力には統計機カードが使用され、通信用のテレックスにはさん孔テープが使用されていた。コンピュータからの出力にはドットプリンタが用いられ、ファンフォールドのプリントアウト用紙が用いられていた。入力伝票は裏カーボンの複写用紙が使用されていた。文書等の複写には、ジアゾ感光紙が使用されていた（いわゆる青焼き）。

それらが、技術進歩により、入力はOCRや直接入力に変わっていき、統計機カードはその使命を終えた。テレックスはファクシミリへと変化し、感熱紙のファクシミリ用紙がそれを支えた。裏カーボンの複写用紙は感圧発色型の複写用紙（ノーカーボン紙）へと変わっていく。ファンフォールドのプリントアウトは直接ディスプレイで見るシステムに移行して使用量が減少していく。

一方、コピー機の普及からコピー用紙（PPC用紙）の需要が増加するが、コピー機の性能が良くなるにつれて紙への要求が厳しくなってくる。その要求をより薄い（軽量の）紙で満たすための努力から、紙面でのパルプの配向を管理する技術が日本で開発された。この技術は、単に情報用紙のみならず、印刷用紙の製造にも応用され、大きな技術革新となった。

また、ノーカーボン紙の技術から、感熱紙が生まれファクシミリに使用されていたが、さらに感熱プリンタを組み込んだ新しい用途、例えば商店のレジでのレシートや商品の値札ラベル等に対して、その機能を満足する感熱紙が開発されていった。一方、ファクシミリは高速化を求めて感熱タイプからレーザービーム方式に代わり、用紙も感熱紙から普通紙へ置き換わり、

さらに電子メールにより衰退していった。また、新しいプリンタとしてインクジェット方式が開発され、パソコンの出力プリンタとして幅広い用途（単なるページプリントから高級写真印刷まで）が開発されると、それに合わせて出力用のインクジェット用紙も高機能化していく。このようにコンピュータと通信技術の発展に伴って生まれ、変化してきた用紙を総称している。

2.2 情報用紙の位置づけ

2.2.1 紙の品種の中では生産量は多くない

紙は、用途別に、紙（主として印刷の媒体）と板紙（段ボール等の包装用途）及びその他（ティッシュ、特殊紙）に大別できるが、量的には紙・板紙で代表される。

2009年総生産量は2630万トン、その内の紙が1580万トン、板紙が1044万トンである。

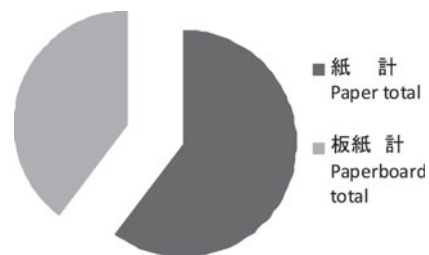


図 2.1 紙、板紙の生産量比率¹⁾

紙として用いられる用途では、新聞用紙及び印刷用紙の量が圧倒的に多い。この分野での技術開発は、大型装置産業の一つの典型で、2007年度に「新聞用紙製造技術の系統化調査」²⁾としてまとめられている。

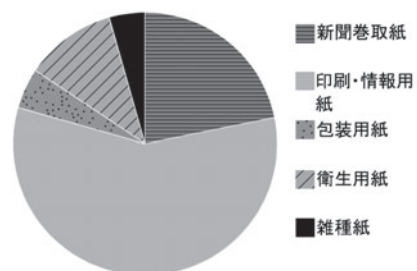


図 2.2 紙生産量の内訳（凡例は上から時計まわり）¹⁾

情報用紙は印刷・情報用紙の中に入る。その内訳は

次のようになる。

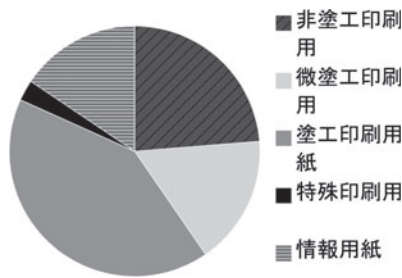


図 2.3 印刷・情報用紙生産量の内訳 (凡例は上から時計まわり)¹⁾

情報用紙は図にみられるように生産量として多いものではなく、142万トン/年で、紙全体の9%である。

2.2.2 印刷媒体、包装材に続く新しい用途である

別に章を改めて考察するが、紙は、2000年前に文字の媒体として発明され、グーテンベルグの印刷術の発明により需要が急増し近代的な製紙産業となり、さらに、約100年前に包装材としての新しい機能を開発してきた。現在は、コンピュータと通信技術の発展が社会を大きく改革しているが、製紙産業としてその変化への対応が情報用紙であり、製紙産業にとって量的には少なくとも重要な用途である。

具体的な製品別の生産量を以下に示す。

表 2.1 情報用紙の品種別生産量 2009年 単位:トン¹⁾

情報用紙		1,419,528
複写原紙 Manifold base paper		173,676
フォーム用紙 Business form paper		279,320
PPC用紙 Paper for plain paper copy		798,233
情報記録紙 Recording paper		127,048
その他情報用紙 Other communication paper		41,251

複写原紙とは、加工されてノーカーボン紙(感圧複写紙とも呼ばれる)になる。フォーム用紙は、ビジネスフォームに加工される。PPC用紙は通常のコピー用紙である。情報記録紙は、この報告の一つのテーマである感熱紙及びインクジェット用紙である。その他の情報用紙には磁気記録紙等量の少ないものが含まれている。

2.3 なぜ情報用紙を取り上げるか

日本の製紙産業は歴史的に国内需要を対象として発展し、中国が急速に生産を伸ばすまではアメリカに次いで世界第2位(現在は第3位)であった。製紙産業には原木資源が豊富なことが必要条件であるが、それに乏しい日本は広葉樹材の利用、海外からのチップ輸入、古紙の積極的な利用等の原料開発で対抗すると共に、国内のユーザーの厳しい品質要求を満たすことで国内の需要を守ってきた。その中で、情報用紙は海外輸出、海外生産の比率が大きく、技術的にも世界レベルに追い付き、さらにリードしてきた製品群である。また、その発展は情報処理装置の変遷と密接に結びついており、その意味でも紙製品の中で特殊で、技術開発の進め方も汎用の新聞用紙や印刷紙とは異なっている。これらの特徴を系統化としてまとめたい。

2.4 技術的な特徴

情報用紙を製造する技術は、新聞用紙や印刷紙を製造するために開発された大型装置産業の技術が利用され、それに種々の情報用紙のニーズを満たすように付加的な技術開発が組み込まれることが特徴である。このため、大型装置産業としての側面とニーズに合わせた少量多品種生産の側面を持っている。これが今回の調査の重要な視点となる。

多くの場合、使用される装置(例えばプリンタやコピー機)と密接に結び付いて発展し、それに合わせて紙の品質が設計される。その装置が高機能化すると、当然紙に対する要求も高機能化して厳しくなり、それが技術発展を生み出してきている。その過程を系統化したい。

引用文献

- 1) 経済産業省経済産業政策局調査統計部 紙・印刷・プラスチック・ゴム製品統計年報(2009)
- 2) 飯田清昭:新聞用紙製造技術の系統化調査 国立科学博物館(2007)

3 | 情報用紙の変遷

3.1 情報用紙の統計

情報用紙は時代と共に主役が代わっている。その歴史の流れを追ってみる。現在、情報用紙として分類、統計のある品目の生産量の変遷を図 3.1 に示す。情報用紙として統計が取られたのは 1988 年からで、それ以前は特殊紙、または雑種紙に分類され、その中で品目として統計があるのは統計機カード、連続伝票用紙及び感光紙用紙である。それらを表 3.1 に示す。これらの統計データを補足するものとして 1970 年頃の各種情報用紙の推定生産量を表 3.2 に示す。図 3.1 はこれら二つの表から作成した（用紙分類の内容については 2.2.1 参照）。

1970 年頃は、代表的情報用紙であった統計機カードで年間 2 万トン、もう一つの代表であったさん孔テープで年間 5000 トンである。コピー用の感光紙（いわゆる青焼き）が 9 万トン弱、連続伝票用紙（フォーム用紙）が 7 万トン、ノーカーボン紙が 4 万トンで合計 23 万トン程度であったと推測される。当時の紙の生産量は 700 万トンで、その 3% に過ぎない（現在の情報用紙生産量は 142 万トンで紙全体の 10% 弱である）。この情報用紙が製品を変えながら大きく伸びた背景は、情報産業が社会のシステムとして大きく発展したことによる。この過程で、日本の製紙産業は輸入品の模倣・国産化から始まり、その後、独自の技術開発により世界をリードするまでになった。その経緯をまず概説する。

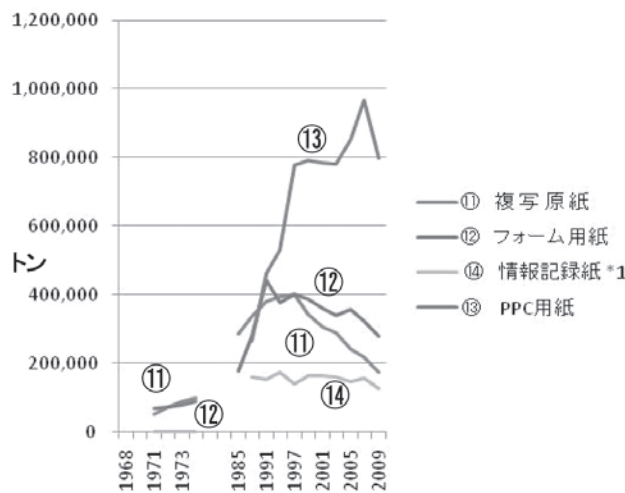


図 3.1 情報用紙の生産量の推移

表 3.1 各種用紙の生産量（トン）（日本製紙連合会統計）¹⁾

	紙合計	情報用紙合計	複写原紙	PPC用紙	フォーム用紙	情報記録紙	その他情報用紙	感光紙用紙	統計機カード
1963	3,770,128				6,054			31,378	11,874
1965	4,219,260				12,530			49,737	9,240
1970	7,135,486				67,093			94,206	20,964
1975	7,710,862				71,635			88,296	16,997
1980	10,536,295				109,604			100,759	16,182
1985	11,789,963		285,536		177,095			80,527	7,621
1990	16,428,685	1,527,511	394,951	434,311	449,234	156,699	60,251	62,065	
1995	17,466,407	1,785,532	322,471	629,616	431,034	151,552	76,872	46,301	
2000	19,036,765	1,737,274	400,167	815,961	369,811	167,496	61,535		
2005	18,901,072	1,657,719	243,593	853,156	358,302	145,767	56,901		
2009	15,831,919	1,419,528	173,676	798,233	279,320	127,048	41,251		

表 3.2 1970 年頃の各種用紙の生産量 (推定)²⁾

	種 類	単 位	昭和43年	昭和46年	昭和47年	昭和48年	昭和49年
感 光 記 録 紙	電子写真用紙	1,000 m ²	14,600	28,750	90,560	104,144	116,369
		前年比%			115	115	112
	銀塩複写用紙	A 4 版 1,000枚	630,000	755,000	348,000	332,000	314,000
		前年比%			46.1	95.5	94.5
	ジアゾ複写紙 (1本=800m×100m)	千本	12,347.5	14,999.4	16,367.8	18,183.8	18,250
					109	111	101
電 気 感 応 記 録 紙	静電記録紙	1,000 m ²	350	1,440	2,400	5,040	6,600
		前年比%			167	210	131
	放電記録紙	1,000 m ²	500	1,500	2,000	2,500	2,900
		前年比%			134	125	116
	電解記銀紙	1,000 m ²	600	1,300	1,720	2,200	2,690
		前年比%			132	128	122
感 熱 紙	感熱紙	1,000 m ²	224	830	1,000	1,200	1,200
		前年比%			121	120	100
感 圧 紙	ノーカーボン紙	t	27,000	52,661	72,104	93,735	98,760
					137	130	105
	裏カーボン紙	t	15,000	16,269	15,705	14,920	12,800
					96.5	95.0	85.7
	カーボン紙	t	4,521	7,481	6,300	7,400	8,000
					84.2	118	108
コ ン ピ ュ タ 用 紙	パンチカード用紙	t	16,855	24,949	25,542	20,308	21,672
		前年比%			102	103	107
	さん孔テープ用紙	t		5,220	5,740	6,600	7,420
		前年比%			110	115	113
	MICR 用紙	t	1,450	2,500	3,000	3,600	4,350
		前年比%			120	120	121
	OCR 用紙	t	3,620	6,250	7,500	9,000	13,450
		前年比%			120	120	150
連 続 伝 票 用 紙	連続伝票用紙	t	37,936	68,242	72,607	79,868	89,000
		前年比%			106	110	111

3.2 1970年以前の情報用紙

最初の情報用紙は、テレックス用のさん孔テープであろう。テレックスは1930年代に欧米で開発され、1950年代に広く使用されるようになっていた。日本でも通信の重要性を理解し、ぜひ国産化すべきとして特殊紙メーカー（電気絶縁紙メーカー）が中心となり苦勞の末作り上げた。篠田・永井³⁾は次のように記している。「わが国に電気通信事業がはじまって以来それに使用される電気通信用紙はすべて外国よりの輸入に依存していたが、このような重要な用紙をいつまでも外国に依存することは国策の見地より問題があったので、なんとか国産化しなければならないという気運が早くより生じていた。（中略）電気通信用紙はその製造の初期より、随分長い間、マニラ麻を主原料として製造されてきたが、最近においては、研究の結果より主としてBSPやBKPが使用されるようになっている。」その技術的な特徴は5.2で紹介する。

もう一つの代表が統計機カード（パンチカード）である。1950年代からコンピューターの導入が進むと需要が急増した。これについて佐伯⁴⁾は「当時はこの統計機用カードは特殊紙として君臨し、その紙質は高く、厳しい条件を要求していた。例えば、その耐久強韌性、平滑円滑性、温湿度安定性、均質均厚性等々。このため、原料・純度などの質的なものはもとより、生産工程上の品質管理に極めて高度のレベルを必要とした」としている。さらに「1960年代に入って一般の民間巨大企業や金融、官公庁で実用化されるようになった。この新時代に入って、もはや戦前や戦後のような特殊紙としての限られた需要の電算機用紙から、大量需要に応えるべき低単価の情報用紙が要望されるようになってきた。かかる時に、電算機用紙を生産するメーカーとしては電算機の国産化と相俟って、電算機メーカーやその利用産業と協力して、三者相互の十分な情報の交換が必要ある。」としている。この製品の特徴は5.1で紹介するが、既成の統計機カードの模倣から抜けだし、新しい製品開発の必要性を述べている。

この時期、二つのことが言える。一つは、アメリカの製紙産業が、コンピュータや通信機のメーカーの要望に答えて、これらの高度の品質の製品を開発する力を持っていたことである。アメリカの製紙業は1900年代に入り、先進国であるヨーロッパ特にドイツを追いかけて発展してきた。それが、アメリカの他の産業の発展と歩調を合わせて実力を蓄え、情報産業の誕

生をサポートしたことになる。さん孔テープはともかく、統計機カードは電算機と結びついたアメリカの発明で、IBMは1930年代よりこのカードの供給で大きな利益を得ていたとされている（5.1参照）。もう一つは、日本の製紙産業がプライドを持ってそれらを国産化できる技術をこの時期までに蓄えてきたことである。

3.3 1970年代の情報用紙

この時期、日本の製紙産業は多角化に乗り出していた。本州製紙は日本で初めてのクラフトライナーの生産に乗り出す。十條製紙はキンパリー・クラークのライセンスでクリネックスを、山陽国策パルプはスコットペーパーのライセンスでスコッティを、王子製紙は遅れて自社技術でネピアを事業化する（いずれもティッシュ事業）。本州製紙はカートン事業（包装用の箱）に、十條製紙はミルクカートンのライセンス生産を始めた。このような中で、情報用紙は量的には少ないがこれら伸びる紙の分野として期待されていた。少し後であるが、中村⁵⁾が次のように記している。「各種塗工記録紙があるが、面積換算にすると約34億m²（昭和49年度）（推定11万7千トン（飯田））と推定される。その内90%がジアゾ感光紙と考えてよい。残りの9%が電子写真の酸化亜鉛紙であり、その他がわずか1%にしかならない。その1%に対して、研究者、技術者、各社の研究開発が集中している。それは残り1%の記録紙に期待される付加価値が大きいためであろう。」この1%に満たない分野の将来に期待し、静電記録紙、放電記録紙、通電感熱紙（5.2、5.3にて説明）、感熱紙（7章）等が市場の主導権を争った。

この1970-80年頃は、日本の産業全体が先進国に追いつけを合言葉に技術レベルを上げ、世界のトップレベルと太刀打ちできるところまで来ていたと思われる。今回の情報用紙の調査でも、1969年にアメリカで感熱ヘッドと感熱プリンタが開発されると、1971年にすでに日本の電機メーカーが生産している。ゼロックスのPPCの基本特許が1970年頃から切れ出すと、日本の事務機メーカーが一斉に市場に参入する。この後で紹介する静電記録システムでも、日本の通信機メーカーが世界と同等のレベルで技術開発をすすめる、それに製紙会社がプリントアウト用紙の開発で参画していた。

日本の産業全体が、世界のトップレベルの技術に追いつき、国全体として技術レベルの高い大きなインフラが形成されるまでになっていた。これらがその次の

時代の日本の各産業の独自の技術発展につながっていったと考える。その背景の中で、1970年代の情報用紙の変遷をまとめる。

3.3.1 通信及びファクシミリ

通信にはテレックスが使われていたが、これは文字をコード化してさん孔テープに穴をあけ、光学的に読み取り電気信号として送信、デコードして文字に戻しプリントアウトしていた(5.2参照)。アルファベットと数字の欧米ではこれでもよいが、日本では漢字を扱いたいことから、画像情報として送信できるファクシミリが独自の大きな開発対象であった。

最初に使用されたのが放電記録紙である。これは、1930年代半ば米国で発明され、間もなく同用紙を使ったファクシミリが発表された。類似の紙として蒸着記録紙があり、1955年頃に西独で開発された。これらの記録方式では、記録針を多針化すると印字トラブルを起こすため高速化・高画質化が難しく、新たな記録方式の登場を待つしかなかった。

これに対し、ファクシミリの高速化の動きをねらって、静電記録方式が主流の一つになってきた。静電記録紙は、基紙を導電処理した後に片方の面に誘電層を設けた構成である。記録方式については5.2で紹介するが、高速、高画質、広幅化が容易という特徴から、新聞の紙面電送が試みられるなど一時期主導的な地位を確立する。この開発はもはや欧米の模倣でなく、多くの日本の通信機メーカーと製紙会社(参入したのが9社)が手を組んで、世界レベルでの技術開発を競った。しかし、その装置も記録用紙も共に高価なことから衰退していった。

代わって伸びてきたのが感熱システムである。感熱紙の技術開発は本系統化の一つのテーマであり、第7章で紹介する。この分野にも多くの電機メーカーと製紙会社が参入した。そして、電話回線の開放と相まって技術開発競争に拍車がかかり、結果として、世界を抜きんできたファクシミリと感熱紙が日本で生まれることになった。

3.3.2 コンピュータへの入力

中村が「戦後のような特殊紙としての限られた需要の電算機用紙から、大量需要に応えるべき低単価の情報用紙が要望されるようになってきた。」²⁾と述べるように、高価な統計機カードやさん孔テープに代わるものとしてOMR、OCR用紙が開発されてくる。OMR(Optical Mark Reader)用紙はマークシートである。OCR(Optical Character Reader)用紙は、手

書きの英文字・カナ文字や数字を直接読み取るものであった(当時)。これらの用紙は、1965年頃から使用され始め、大量のデータ入力に欠かせないものとなっていく。

3.3.3 コンピュータの出力

1960年頃からのコンピュータの普及により、急速に出力用の専用紙が求められてきた。当時のプリンタは、ワイヤードットインパクト方式で、ワイヤーの先端でインクリボンを叩くため騒音がひどかった。大量に出力されるようになり、走行性や印刷性などの作業性が重要視された。しかし、高速で騒音のないレーザービーム方式に代わっていく(1980年代)。

3.3.4 文書複写システム

この時期、文書等の複写の分野でも大きな動きができる。これまでの主役はジアゾ感光紙で、いわゆる青焼きと呼ばれるものであり、1951年にコピーが複写機として発売した。しかし、保存性が悪く紙が湿るなどの問題があった。この事務複写機の領域へ電子写真が参入してくる。その一つのタイプが感光剤(多くの場合ZnO)を塗布した感光紙を用いるもので、Coated Paper Copier(CPC)と呼ばれていた。RCA社が開発したElectrofaxタイプ(狭義の電子写真)である。日本の事務機メーカーはこの酸化亜鉛タイプのCPCを生産することで力をつけてきた(1960年代)。

もう一つがいわゆるゼロックスタイプでPlain Paper Copier(PPC)と呼ばれるものである。原理は1938年のカールソンの発明になるが、日本では、1962年に発売されPPCの時代が始まった。1970年代に入りゼロックスの基本特許切れるに伴い、日本の事務複写機メーカー(キヤノン、小西六工業、リコー等)が続けざまに低価格の複写機を投入し、PPC市場の成長時代を迎えることになる。

PPC用紙は、単純な普通紙にみえるが、コピー機の厳しい品質要求を満足するために製造ノウハウが求められ、当時はコピー途中で紙詰まりが多発した。これに対し、抄紙機の改良等も含めた技術開発で、次の時代に品質が改善されていく。

3.3.5 ノーカーボン紙

その中で多少異なった性格の紙が伝票等の複写用のノーカーボン紙である。それまでの裏にカーボンを塗った裏カーボン紙に代わって急速に需要が伸びた。ノーカーボン紙のシステムはアメリカのNCRが1954年に開発した。非常に独創的な商品で(原理等は7.1

で紹介する)、当時としては画期的な塗工システムで製造された。世界的に特許網がはられたが、たまたまその基本特許が日本に出願されず、将来性に注目した日本の製紙会社3社(十條、三菱、神崎)と富士フィルムが1963頃より順次生産を始めた。1970年代に、この4社間で激しい品質改良競争がおこなわれ、結果として、NCRの製品を超えるまでになった。そして、NCRの特許が1968年より切れ出すと、各社は品質の良さとコストを武器に製品の輸出や海外への技術提携を始めた。この経験と基盤が次の感熱紙やインクジェット用紙の国際展開を引き出すことになる。

3.4 1980年代の情報用紙

この時期、情報用紙の分野でも、模倣から抜けだし、独自の技術開発が行われた。

3.4.1 感熱紙の拡大とインクジェット用紙の誕生

ファクシミリが日本で急速に普及するにつれ、その主流となった感熱紙は生産量を急増させていく。併せて、感熱紙メーカー間で特許出願に見られるように(7.3で説明)技術開発競争が過熱する。さらにファクシミリの高速化が要求されてくると(1976年にはG2、1980年にはG3)、それに合わせて感熱システムも高感度化され、さらに技術レベルを上げた。そして、ファクシミリが世界で普及しだすとその用紙として世界へ輸出されていった。これには、ノーカーボン紙で作上げた輸出基盤が大きく役に立った。この過程は7.4で紹介する。

この時期、1950年代に実用化されながら、技術的難点から足踏みしていたインクジェットシステムが新展開を始め出す。きっかけはキャノンが見出したサーマル方式で、いち早くHPが実用化、すぐにキャノンが続く。さらにエプソンがピエゾ式で高性能の機種を発表、小型プリンタはインクジェットシステムの時代となっていく。これに対し日本の製紙産業は感熱紙に続くものとしてその用紙開発に積極的に関わっていくことになる。

3.4.2 パルプの配向性管理

コンピュータの出力では、1979年に高速で、騒音のないノンインパクトタイプのレーザープリンタが開発され、急速にドットプリンタに取ってかわる。ここで一つの問題が起きた。大量のプリントアウトがファンフォールド(ジグザグに折りたたまれながら)で積み上がっていくと、徐々に斜傾していき、突然崩れる。

この原因が紙中のパルプの配向角のずれによることが日本で見出され、その管理の重要性が理解され、さらに、パルプの配向性の改善のために抄紙機の構造にも変革がもたらされた。そして、パルプの配向性を管理することで、情報用紙のみならず印刷用紙の作業性も大幅に改善された。これについては、情報用紙の開発の中から日本で生まれた技術として4.4で紹介する。この技術はPPC用紙の品質改善にも大きく寄与した。

3.4.3 PPCの品質改良

PPCが広く使用されだすと、日本のPPCメーカーの品質要求はますます厳しくなり、製紙会社はその対応を迫られる。この時期に日本のPPC用紙の品質は大きく改善され(軽量化に成功)世界をリードする。これについては第5章で紹介する。

3.4.4 オフィス古紙問題

1975-1990年にかけて、PPCとノンインパクトプリンタの普及により情報用紙の量が急増しだした。具体的には、1990年には約100万トン/年の紙がオフィスに流れ込み、古紙として排出され、これが目について、これからの社会はパーパーレスにすべきであると言われた。併せて、古紙の回収が社会問題となった。これに対し、自治体が回収システムを進め、オフィスがそれぞれ回収ルールをつくったことで社会的な対応がなされた(2008年の古紙回収率76.7%)。しかし、古紙が社会問題になったことから、何が何でも古紙を使えとの風潮がうまれた。政府のグリーン購入であり、古紙パルプを使用した名刺となる。この問題は、古紙使用のPPC用紙の技術開発を取り上げる際(6.3.3項)に考察したい。

3.5 1990年代の情報用紙

3.5.1 ファクシミリからレジロールへ

感熱紙がファクシミリを中心に市場を拡大してきたが、その一つの特徴である塗工紙であること(普通紙でないこと)が消費量に影響してくる。ライバルとして登場してきたのがレーザープリンタである。その原理はPPCとおなじで、半導体レーザー素子の価格が低下したことで普通紙仕様のファックス・プリンタ・スキヤナを兼ねた複合機が企業などで使用されるようになった。家庭用も感熱紙タイプから普通紙タイプのもの(熱転写インクリボン方式やインクジェット方式)に代わっていった。さらに電子メールの急速な普及に伴ってファクシミリは衰退する。

ファクシミリ市場を失った感熱システムは、ファックスで培った技術を、新しい市場（リテール分野）のレジロール紙（レジでの小巻のプリントロール）、値付けラベル等に向け、ファクシミリ用途の衰退をカバーする。また、1985年のプラザ合意後の急激な円高に対応するため、輸出から現地生産に切り替えていった（この様子は7.4で紹介する）。これが後のインクジェット用紙の国際展開につながっていく。

3.5.2 PPC用紙の中性紙化と古紙の利用

PPC用紙は、社会的な要請から、製造技術面でさらに変化する。その一つが中性紙化である。1980年代中ごろより、日本の製紙産業は紙の劣化を少なくするため中性抄紙に取り組み、1990年代に情報用紙（PPC用紙、フォーム用紙）の中性紙化を達成する（中性抄紙については6.3参照）。さらに、多くの問題点がありながら古紙を主体としたPPC用紙を製品化する。情報用紙の中性紙化と古紙使用は、日本が特別早かったわけではないが、従来の品質基準を保ちながら達成したことは、日本の製造技術のノウハウの高さによる。それには関連産業の技術開発（古紙処理技術、中性サイズ剤等）も大きく寄与している。

3.5.3 インクジェットプリンタの急伸

1990年代は、小型のインクジェットプリンタが爆発的に売れ出した時代である（1998年国内で320万台）。インクジェットプリンタは手軽さから、単色やカラーの一般的な資料のプリントアウトに伸びていくが、もう一つの用途が写真のプリントアウトである。この時期デジタルカメラが急速に普及しインクジェットによるプリントが普及していく。このデジタルカメラを普及させたのが日本のメーカーであり、当然、日本がこの分野の用紙開発の先頭を行くことになる。その結果、多くの印刷品質レベルのプリントアウトに対応できる用紙をラインアップとしてそろえることになった。

3.6 2000年代の情報用紙

3.6.1 インクジェット方式の多様化

小型のインクジェットプリンタが引き続き伸びて行く。例えば2010年の販売台数は全世界で6000万台、日本でも500万台弱である。日本国内では、日本の2社（キャノンとエプソン）がHPと競合しているが、世界規模で見るとHPに大きく水をあけられている。当初の技術開発では遅れてはいなかったのになぜその

ようになったのか、技術史のテーマとして興味もたれる。

身近なインクジェットプリンタが注目されている中で、その高速性に注目してフォーム印刷の分野で地道な用途開発が進んでいた。例えば、高速性と低コストを武器に、封筒の宛名や、電話や公共料金の請求書等で可変情報を高速で印刷するのに用いられてきた。さらに最近では、オフセット印刷機に代替するような大型のインクジェット印刷機が開発されている。その利点は、オフセット印刷に必要な版の作成と版の取り換えがなく、迅速に比較的部数の少ない印刷ができることである。当然この分野の用紙にはそれに適した物性が求められ、新しい課題となっている（8.2参照）。

3.6.2 感熱紙からインクジェット用紙へ

この時期になると、情報用紙メーカーの中でもR&Dが感熱紙からインクジェット用紙に移っていく。そのR&Dの進め方にも違いがある。感熱紙では、自分で発色することから、発色剤、顕色剤、増感剤等、多くの化学薬品の開発と組み合わせが大きな対象で、特許による陣取りが激しかった。インクジェットでは、紙はインクを受け取るだけで、研究の対象も大きく変わっていく。残念ながら用紙メーカーにとってはより付加価値の少ない方への動きと言える。

3.6.3 情報用紙の減少

2000年に入ると、情報用紙の使用量が減少しだす。ノーカーボン紙は伝票複写の枚数が減り（例えば従来4枚複写であったのが2枚の複写になる）、全体の使用量が減少しだした。フォーム用紙についても大量のファンフォールドのプリントがなくなっていく。その背景には、コンピュータが文字どおりパーソナルコンピュータ（パソコン）として普及し、それがネットにつながる社会システムができたことがあげられる。

20世紀に入り新しい情報の媒体が生まれ多様化すると、その中で紙の比率（シェア）は低下し続けている。しかし、情報量が大きく増加し続けることで、シェアの低下にもかかわらず紙の絶対量は伸びてきた。その中で現在見えてきたのは、日本のような成熟した社会では情報の媒体としての紙の使用量は今後大きな伸びが期待できないことである。情報量の全体量とそれを担うメディアについては4.1.8でさらに考察するが、現代の社会は間違いなしにペーパーレスへ動いている。

引用文献

- 1) 日本製紙連合会統計
- 2) 中村孝一：情報産業と紙（IV） 紙パ技協誌 Vol.29, No.4 p.17（1975）
- 3) 篠田 鎌、永井 勇一：特殊紙－電気絶縁紙・電気通信用紙・乾式放電記録紙 紙パ技協誌 Vol.13, No.7 p.103（1959）
- 4) 佐伯忠夫：電算機用紙について一考察 紙パ技協誌 Vol.24, No.4 p.9（1970）
- 5) 中村孝一：情報産業と紙（IV） 紙パ技協誌 Vol.29, No.4 p.9（1975）

4 | 紙製造技術概説

情報用紙の生産では製紙産業としての汎用技術がその基礎にあるので、その基礎技術を解説する。

4.1 紙の技術史概説：発明から産業の持続性、情報流通の爆発まで

最初に、紙の2000年の歴史を簡単に概説する。この項は文献1)を参考としている。

4.1.1 発明の伝播

現在の紙の製法の基本的なものはA.D.105年中国の蔡倫(サイリン)の発明とされている。これは、草木類や衣類のボロを原料として手抄きで紙にする。おそらく、彼が各地の技術を集大成したと考えるのが妥当とされている。

この中国で発明された手抄きの技術が、東西に広がっていった。東へは日本へ7世紀に伝わり、日本独自の発展をとげ、明治時代となる。西へ伝わったものは、中央アジア、イスラム社会を経由して、イベリヤ半島(1150年頃)からヨーロッパに広がり(1200-1300年)、大西洋をわたりアメリカ大陸に上陸する(1690年)。この技術が産業革命の洗礼を受け、原料、製法の革新から大量生産技術として確立され、明治維新と共に日本に入ってくる。

この結果、日本では伝統的な製法を基にする産業(和紙)と欧米式の大量生産方式の産業(洋紙)が併存し、今日に至っている。和紙をベースとする産業は、生産性の低さから特殊紙に限られ、市場が衰退しているが、産業用資材として特徴的な製品を世界的な規模で供給している例もある(例えばコンデンサーペーパーやバッテリーセパレーター)。

中国の手抄きによる技術が、如何にして今日の大型装置産業に発展したのだろうか?その歴史を概観してみる。

4.1.2 産業革命

イギリスで始まった産業革命により、草木及びボロくずを原料とした手作業の中国方式に対し、木材を原料とし機械力で抄紙する新しい製紙法が開発され、これが近代製紙業の基本的なプロセスとなる。

木材の植物繊維に最初に注目したのはフランスのレオミュール(1683-1757)であり、ついでドイツのシェファール(1718-1790)であった。そして、1840年にケラーが碎木パルプを工業化した。又、薬品によ

りリグニンを溶解し植物繊維を得る方法が次々開発され(アルカリ法、亜硫酸パルプ化法、クラフト法)、豊富で安価な木材を利用できるようになった。一方、手抄きというバッチ・プロセスにたいし機械力による連続プロセスをフランスのルイ・ロベール(1798)が発明し、1804年にイギリスのフォードリニアにより実用化された。

この二つの基本技術の開発により、1800年代後半に製紙産業が急速に発展した。例えば、ドイツで当時から発行されている週刊の技術雑誌(Wöchentlich für Papierfabrikation)(現在も月刊誌として存続)1908年分は4500ページになり、当時のドイツ製紙産業の底力を見せつけている。

4.1.3 アメリカにおける用途開発

ヨーロッパの近代製紙技術は1900年代にアメリカに渡る。ここで、文明・情報の媒体としての紙に新しく包装材とティシューの用途が1920年代に開発され、これにより紙の需要は倍以上にふくれあがる。薄くて弱い紙を、強度と耐久性を求める包装材(段ボール、白板、ミルク・カートン)にしたあげたのは製紙産業の最大の発明の一つと言えよう。又、この時期に現在の主要なパルプ化法であるクラフト法が薬品回収を組み込んだプロセスとして完成し、現在のパルプ生産の原型ができあがった。これらの技術は第2次世界大戦後に日本に導入され製紙産業は飛躍的に拡大した。

4.1.4 近代大型装置産業としての発展

1900年代に入り、情報の媒体(印刷用紙)、包装用途、その他の用途(ティシュー、工業用途)により市場が急速に広がったことから、紙の生産は、近代的な大型・装置産業として発展する。それは装置をできるかぎり大型にして生産性と投資効率を良くすることを目指す。製紙産業においても、設備の大型化を目指す技術開発が急速に進展し、例えばパルプ化設備では1ラインで日産5000トン、抄紙機では幅10m、抄速1800m/分にまでなっている。工場が大きくなったことから、原料、製品の物流システム、工場の効率的な管理システムが作り上げられてきた。

4.1.5 社会の情報化

コンピュータと通信の発展は新しい種類の紙(情報用紙)を生み出した。これは、本報告書のテーマであ

り、第3章で概説している。オフィスでの情報化が進むことで使用される紙の量が急増し、結果として、オフィスからの古紙のリサイクルが社会的な問題となり、それを新しく原料として利用する技術が開発された。

この分野は急速に技術開発が進みつつあり、新しいメディアが開発されるとともにいろいろの形で紙の用いられ方に影響する。現実にも、2000年代に入ると情報流通の在り方に大きな変革が起きつつある(4.1.8)。

4.1.6 環境との折り合い

産業が大型化してくると、環境との折り合いが問題となってくる。製紙産業も、現在は非常に良いレベルにあるが、かつては問題を引き起こしてきた。その過程も、製紙の技術史といえよう。これについては、紙面の都合で割愛する¹⁾。

4.1.7 産業の持続性

大型産業の存続にかかわるもう一つの視点は、産業の持続性である。

幸せなことに、製紙産業は下記の図4.1のようにその基礎に持続可能な循環(炭素循環)を組み込んだ数少ない大型産業であり、したがって、この循環を効率よく回すことが存続のための技術開発となる。この循環の要は森林(バイオマス)であり、ここで、二酸化炭素が日光のエネルギーによりバイオマスに変換され蓄積される。製紙産業はそのバイオマスから紙を造り、その紙を古紙としてリサイクルする。再使用できなくなった紙から焼却によりエネルギーを回収する。実は、この部分の社会システムが未完成で、ゴミ焼却炉からのエネルギー回収が進んでいない。スウェーデン等では焼却炉の熱は温水として地域で利用されているが、日本では温水でなく、電力を求めることからその利用が限られている。製紙産業では紙廃棄物をペレッ

完結するサイクル

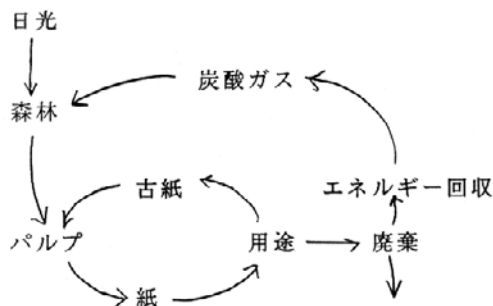


図 4.1 完結する炭素循環

ト化(RPF)して、発電用の石炭の代替とする動きが進んでいる。この部分で発生する二酸化炭素は森林として吸収され、炭素のサイクルが完結し、持続可能となる。

4.1.8 情報流通の爆発

1900年代に入り情報伝達が多様化するにつれ紙の情報媒体としての様子が変わってくる。その変化を追ってみる。

総務省は情報の流通に関し、1965年より統計を取っている。最近では情報流通センサスとして公開されている^{2)、3)、4)}。

その方法は、メディアを電気通信系、輸送系、空間系と分類し、それぞれの情報をワードなる単位に変換して総量を算出する。電気通信系には、電話、ラジオ、テレビ、インターネット、ETC等が含まれる。輸送系には、新聞、書籍、印刷物、コピー文書、CD、DVD等が含まれる。空間系には、学校教育、映画・スポーツ、講演、会話等が含まれる。それらを以下の表によりワードと称する単位に換算する。

表 4.1 各種情報の換算係数⁴⁾

情報形態		計測単位	新換算比価	従来換算比価(参考)		
記号情報	書き言葉	かな文字	字	0.22	0.3	
		漢字かな文字	字	0.3	0.4	
	話し言葉	字	71	120		
パターン情報	静止画	音楽	分	120	120	
		白黒	枚	80	80	
			カラー	枚	120	120
	動画	カラー	直視	分	1200	1200
			TV	分	672	
			HDTV	分	1032	
映画	分		1032			

(注) 新換算比価は平成4年度から使用している。

集計は、情報発信量と情報消費量で示されている(他に原情報発信量、消費可能情報量等もあるが省略する)。入手した統計データの集積が完全ではないが、その傾向は以下の図で読みとれる。

図4.2は情報発信量である。縦軸は対数目盛である。1965-70年の電気通信系の発信量の値が1990年の値より大きいことが気になるが(換算係数の変更などが考えられる)、1965-1970年の統計を参考とみなして、大きく見ると、1995年までは、3分野ほぼ同じレベルと言える。その後電気通信系が急増している。現時点では、二目盛以上の差があり、実に99%以上を電気通信系が占めている。

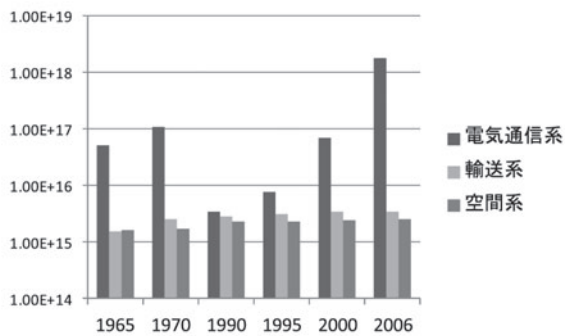


図 4.2 情報発信量^{2) 3) 4)} 単位：ワード

図 4.3 は情報消費量である。

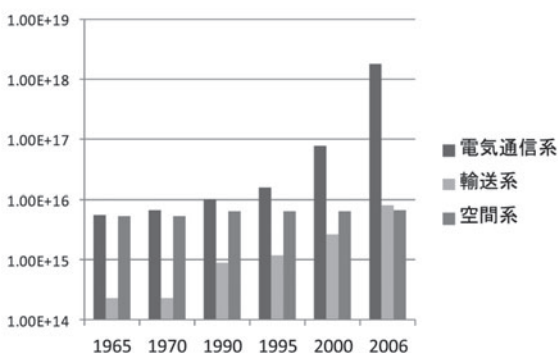


図 4.3 情報消費量^{2) 3) 4)} 単位：ワード

ここでも、1995 年以降電気通信系が爆発的に増え、その比率は 99% を優に越えている。

紙が発明される以前は、言葉による伝達（空間系）が主であった。2000 年前の紙の発明により、人類は輸送系の伝達を手にした。そこへ電気通信系が加わり、1990 年まではそれらが同じような割合で利用されてきた。それが最近の十数年で電気通信系が爆発的に広がり、社会を大きく変えつつあると言えよう。この社会変革は、情報の媒体としての紙の使命にも大きく影響するであろう。

4.2 パルプとは 紙とは

情報用紙は基本的には紙からできている。その種類によっては紙の表面に塗工することで目的の機能を付加している。従って、コスト競争力のある情報用紙を製造するには、まずコスト競争力のある原紙を得る必要がある。紙は抄紙機により製造される。抄紙機は典型的な大型装置で、設備費が高く、生産性が大きくコストに影響する。その技術開発は大型化、高速化の歴史であった。それを基に、新聞・印刷用紙や段ボールのライナーが生産され、コスト削減がはかられてき

た。一方、情報用紙の市場はそれらの商品に比べるとはるかに小さく、そのため、如何にして汎用の技術を使って特殊な紙を生産するかが求められてきた。ここではまず、その基本技術である抄紙と塗工について概説する。

4.2.1 パルプ

紙はパルプからできている。では、パルプとは何であるか？

紙を引きちぎって見ると切り口が細く毛羽だっているのが見える。この毛羽 1 本 1 本がパルプで、これが無数に絡み合って紙を構成している。このパルプは木材から得られるが、このパルプの視点で木材または樹木を見てみる。

植物は成長するために、根から吸った水分を葉に送り、光合成で養分を作りそれを必要なところにする。したがって、植物体は水分と養分を送るパイプを必要とする。このパイプは成長にあわせて伸ばす必要があり、一番効率的なのは、一定の長さのパイプを単位として、それをつないでいくことである（石油の輸送パイプラインのように）。まず、ジュース等を飲むストローを考える。このストローを 1 万本長さ方向につないだとしてつもなく長いパイプを考える。ついでこのパイプの外側に接着剤を塗り、それを 1 億本束ねたものを考える。このストローは、ほぼパルプを 100 倍に拡大したものに相当し、この巨大なストローの集合体が、径 1m、高さ 20m の樹木を同じ尺度で拡大したものに相当する。このように、木の幹は根と葉の間で水分を運ぶパイプの集合であるとともに、断面がハニカム構造をなす剛直な構造体ともなっている（このため樹木は高く立っていられる）。(図 4.4)

樹木の断面

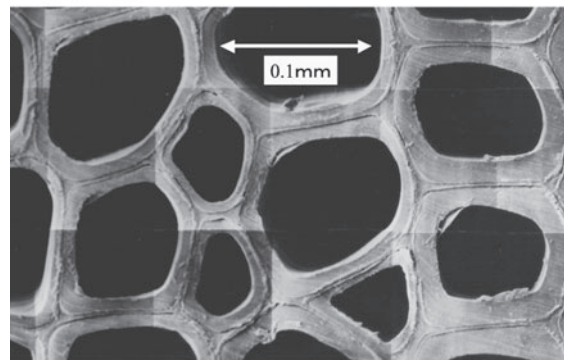


図 4.4 ダグラスファー樹幹の断面（拡大）

パルプを得るには、木材（植物）をこの単位のスローにばらばらにする。その方法として、強引に力でひねると、接着剤のところでばらばらに剥がれる。これが機械パルプと称される。このやり方が強引なため、一部スロー（パルプ）も破壊される。

また、接着剤（リグニン）を薬品で溶出すると単位ユニットのスロー（パルプ）がきれいな形で得られる。これを化学パルプと称する。それらの電顕写真を示す（図 4.5、図 4.6）。化学パルプの実際の大きさは、針葉樹からのものは長さ 3mm、幅 0.1mm 程度、広葉樹からのパルプは長さ 1mm、幅 0.03mm である。

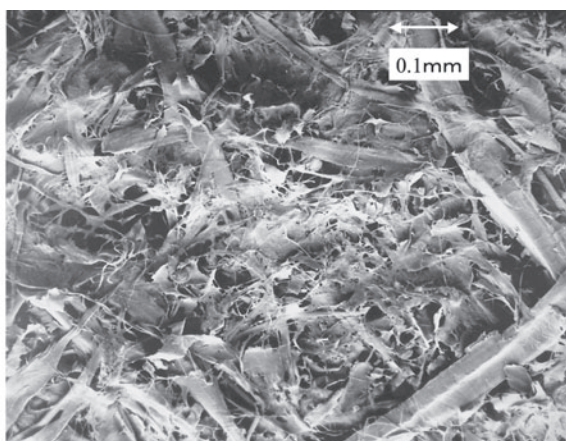


図 4.5 機械パルプ (groundwood) (拡大)

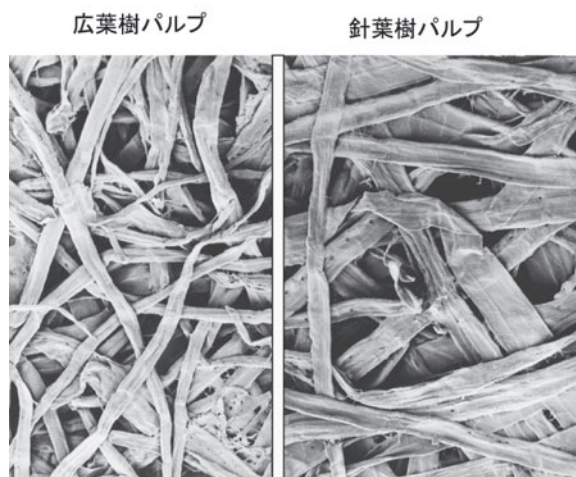


図 4.6 化学パルプ (拡大)

このパルプコストが最終製品の紙のコストに大きく影響する。化学パルプでは、近年生産設備の大型化によるコストダウンがはかられている。例えば、ブラジルでは 5000 トン / 日の設備が稼働し、そのパルプを世界に販売している。日本国内では、輸入チップを原料とするパルプ化設備が主流であるが、それほど大型でなく（1000 トン / 日クラス）、パルプ生産と抄紙を

一貫生産することでコスト削減を図っている。なお、情報用紙の主体は広葉樹の化学パルプである。

4.2.2 紙とは？

上述のように紙はパルプで構成されている。その様子を電顕写真で示す（図 4.7、図 4.8）。断面写真から分かるように、パルプが 5-7 本程度層状に重なっている。

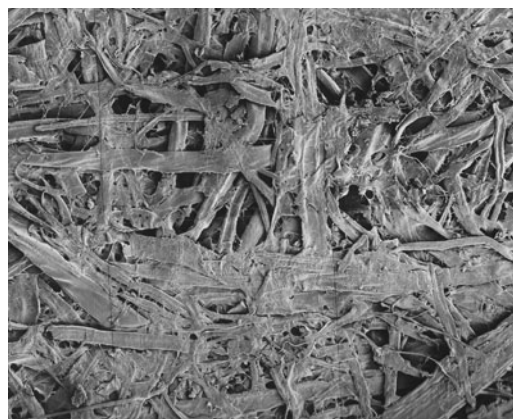


図 4.7 新聞用紙の表面写真

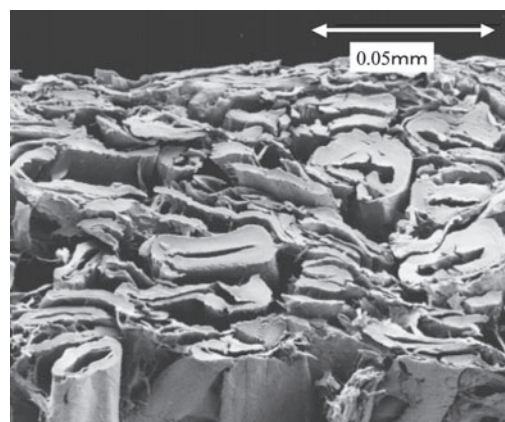


図 4.8 新聞用紙の断面（45度切断）(拡大)

パルプの表面には主要構成成分であるセルロースの水酸基が露出しており、その親水性でパルプは水に分散する。この分散スラリーを金網ですくいとり均一の 2次元のシートが得られる。パルプは水で濡れていると柔軟で互いに絡み合う。このためシートはそっと支えれば破れない程度の強さを持っている。このシートを 2 枚のフェルトにはさんで圧力を加え脱水する。これを戸板に貼り、水分を蒸発させる。シートが減るにつれてパルプ間に水素結合が形成され、強い紙となる。従って、紙の強度は 1 本 1 本のパルプの強度とパルプ間の水素結合による結合強度の両者により

作られる。

日本では昔ながらの手抄き（バッチ・プロセス）で工芸的価値のあるものが作られているが、その工程を連続の大量生産方式で行っているのが近代製紙産業である。

4.2.3 古紙としての再利用

この紙を水に浸して攪拌すると、形成されていた水素結合が切れて元のバラバラなパルプに戻る。パルプは一度加熱乾燥処理を受けているので物性が多少劣化するが、本質的には充分使用に耐えるもので、これが、古紙として再利用できる原理である。現在の日本の製紙産業はこの古紙の利用抜きでは存在できず、古紙の80%近くが回収、再使用されている。

古紙は、段ボール原紙や白板紙の裏面の原料として古くから使用されてきた。その古紙（主として新聞古紙）から得たパルプを脱インクして（脱インクパルプ：DIP）、付加価値の高い新聞用紙の原料として使いこなしてきたのが過去20年間の日本の製紙産業の技術開発の大きな成果であり、日本の新聞用紙製造を存続させてきた。一方、情報用紙は基本的には古紙を使用せず新しいパルプで製造されてきた。しかし、オフィスから大量の古紙が発生してくるとそれを再利用することが求められ、古紙パルプとして再利用する技術が開発され、古紙パルプを含有するPPCが生まれた（グリーン購入）。この技術については6.3で紹介する。

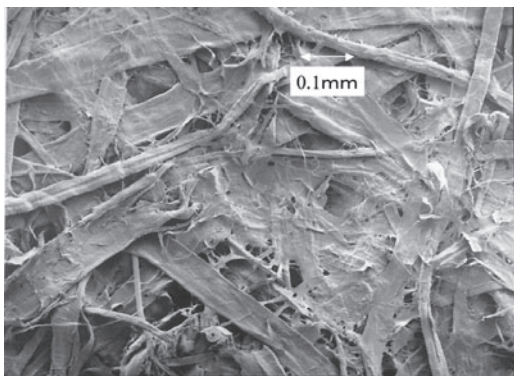


図 4.9 新聞古紙からの脱インクパルプ (DIP)

古紙パルプは、元の古紙をバラバラにしたものであるから、その品質は元の古紙に近い。したがってどのような古紙（例えばオフィス古紙、新聞紙古紙、段ボール古紙）を集めるかが重要な選択となる

なお、4.2 項は文献1) を参考としている。

4.3 抄紙の原理と抄紙機の発展

4.3.1 抄紙機

情報用紙を含め紙は抄紙機で製造される。この抄紙機で製造する際の特性が、情報用紙の品質、特に情報出力装置（例えばコピー機やインクジェットプリンタ）での操作性（例えば紙詰まり）に大きく影響し、技術開発の一つの対象領域となっているので、まず抄紙機の原理を概説する。

紙抄きの基本プロセスは中国で発明された。まず、パルプのスラリー（濃度1%以下）から、すのこでパルプを均一にすくい取る。これをはがして重ねてプレスして脱水する。脱水されたシートを一枚ずつ戸板に貼りつけ乾燥する。この方法が、機械力による連続プロセスとなり、1800年代に急速に発展した。

ここで、1950年頃の抄紙機の基本的な形態を概説する。（図4.10）この構造が技術開発により変化していくが、その根本の原理は同じなので、それを理解しやすい古典的なモデルで説明する。

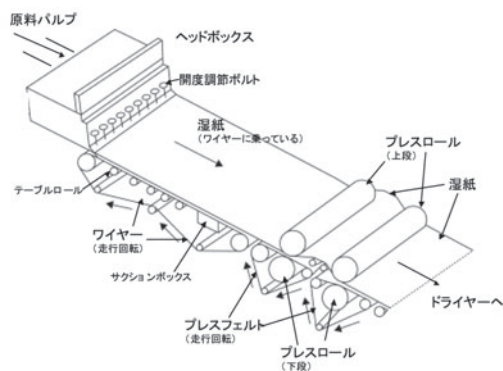


図 4.10 ワイヤーパートとプレスパートの概念図

まず、走行する金網（製紙産業ではワイヤーと称する）の上に原料スラリーを流して載せ、走行中に水を切り、湿紙を形成する。この部分をワイヤーパートまたはワイヤー部と呼ぶ。湿紙ができたところで金網は下方へ折り返して元に戻る。すなわち金網はぐるぐる走行し続ける。金網の折り返し点で湿紙は剥がされプレスパート（またはプレス部）へ移る。プレスパートでは、湿紙はフェルトの上に乗せられ、2本のプレスロールの間を通る際にロールの圧力（ニップ圧）で脱水される。このプレスロールの回転が湿紙をワイヤーパート（金網）から引っ張り、乾燥部へ送り出す。プレスが終わると、フェルトは下に折り返し、元に戻ってワイヤーパートからの湿紙を再び乗せる。

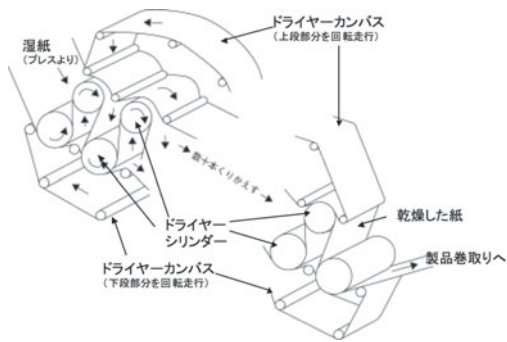


図 4.11 ドライヤー部分の概念図

フェルトからはがされた湿紙は回転する加熱ドラムであるドライヤー（例えば直径 1.5m）に貼り付けられ乾燥される。この部分はドライヤーパートまたはドライヤー部と呼ばれる。ドライヤー1本では乾燥しきれないので、途中で湿紙をはがして次の加熱ドライヤーに貼り付ける。これを紙が乾燥するまで数十本つないでゆく。このドラムの回転が紙を前方へ進めていく。乾燥途中で紙が蛇行するのを防ぐため、カンバスで紙をドライヤーへ押し付けている。

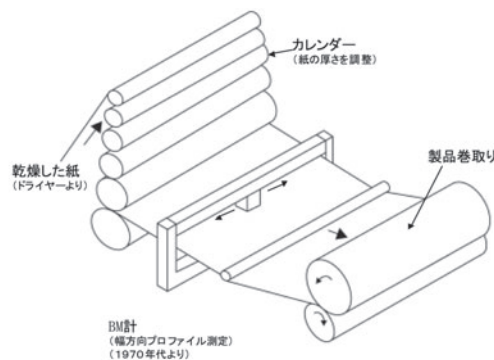


図 4.12 リールパート（製品巻取り部）の概念図

最後に乾燥した紙をロール状に巻いていく。実物を見たことのない人に説明するのは困難であるが、図を参考にしてほしい。このモデルが、技術開発により大きく変わっていき、それが情報用紙の品質を改良していく。

その大きさのイメージを図 4.13 及び図 4.14 に示す。

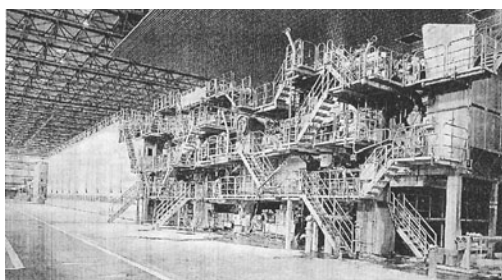


図 4.13 現在の抄紙機の外観

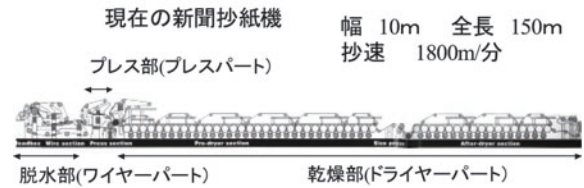


図 4.14 抄紙機の大きさ

この古典的な抄紙機が、原理は同じであるが、50年で全く形を変えたものになる。

4.3.2 紙が抄紙機で製造されることからくる品質上の制約

紙が抄紙機で製造されることからくるいくつかの品質上の制約がある。以下その制約を解説すると共に、如何に対処してきたかを紹介する。

(1) 紙の縦横差（パルプの配向）

原料をワイヤー上に流し出す際に、ワイヤーの走行速度と同じ速さで噴出させる。古典的な抄紙機では、原料を箱（ボックス）で堰き止め高さ h の水圧（ヘッド）をつくり、堰の下部を少し開けることで原料を噴出させる。最近の抄紙機では形が全く変わっているが、古い名前をそのまま使い、この原料噴出部分をヘッドボックスと呼んでいる。その速度は理論的には $(2gh)^{1/2}$ (g : 重力加速度) となる。実際の操業では、開口部の形状により補正が必要であり、噴出する原料が微妙な角度（ジェット角度）でワイヤーに衝突するように調整すること、噴出速度とワイヤー速度の間にわずかに差をつけること等のノウハウが必要である（これが後に説明するパルプの配向に影響する）。

ところで、パルプは今までみてきたようにストロー状（長さ / 幅 (L/D) が 30 程度）で、柔軟で曲がりやすく、スラリーで放置するとすぐフロックになる。そのため、攪拌しながらワイヤーの上に噴出する。ワイヤー上のパルプは、高速で流し出されるため、流れの方向に並ぼうとする（配向しようとする）。この配向の度合いは、抄速が大きければ大きいほど大となり、高速化による生産性を求める製紙工程で避けて通れない課題である。パルプ配向の実感は、PPC 用紙を小さく縦と横に引き裂いてみるとわかる。一方の方は素直に引き裂けるが、他の方はまっすぐ引き裂けず、かつ、抵抗がある。前者が、パルプが配向している方向にそって引き裂くから容易であり、後者は配向しているパルプを横断してちぎろうとするからである。ただ、配向していると言ってもどの程度であるかを図 4.15 に示す。



図 4.15 紙の表面 (パルプの配向)

確かに縦方向 (上下方向) に並んでいるパルプのほ
うが、横方向に並んでいるパルプより多く見える (残
念ながらこの紙の配向度 (定義は後ほど説明する) が
測られていないが、1.5 程度と推定される)。このパル
プの配向のため、紙に縦横差が生じ、引っ張り強度は
縦方向 (抄紙の際紙の進行する方向) が大きく (例え
ば横強度の 2 倍程度)、引き裂き強度は横方向 (抄紙
機の幅方向) の方が大きくなる。また、パルプが配向
している縦方向では、弾性係数が高く伸びが少なく、
横方向はその逆である。ここまでは、古くから知られ
ている性質である。これをさらに一歩踏み込んで、定
量的に配向比率を測定し、品質管理に反映しようとし
たのが日本製産業の開発技術でこの章の中心課題でも
ある。

(2) 紙の表裏差

抄紙機のワイヤー部分の特性からどうしても起き
るもう一つの問題が紙の表裏差である。パルプはある
程度の大きさでそろっているが、詳細にみると、一本
の木の中でも分布を持っており、より長いものや、より
太いものが混ざる。さらに樹種が異なるとその形状
(例えば L/D) が異なる。普通の PPC 用紙は、図 4.16
のような繊維長分布⁵⁾ (製紙産業では「繊維」が「パ
ルプ」と同じ意味で用いられるが、この報告ではでき
るかぎりパルプを用いる。しかし、文献の引用等で「繊
維」を用いることもある) のパルプからできている。

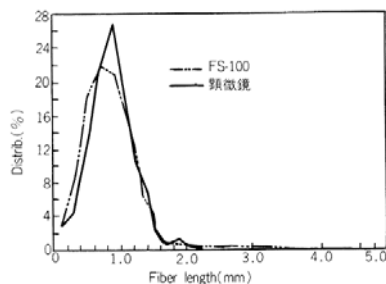


図 4.16 広葉樹パルプの繊維長 (パルプの長さ) 分布 (重
さ加重繊維長)

顕微鏡で実測したものと、測定器 (FS-100 :
KAJAANI 測定器) によるものである。

いずれにしろ、長さや太さのばらつきがあるパルプ
をワイヤーで脱水・ろ過する。脱水の際に、短く細い
パルプは抜け落ちる。その際、ワイヤーに接している
面からより多くの短いパルプが抜けおち、厚さ 0.1mm
以下の紙でもワイヤーに接している面 (W 面または
裏面と称する) は細かなパルプが抜け落ちその反対面
(F 面または表面と称する) より粗くなる。(図 4.17)

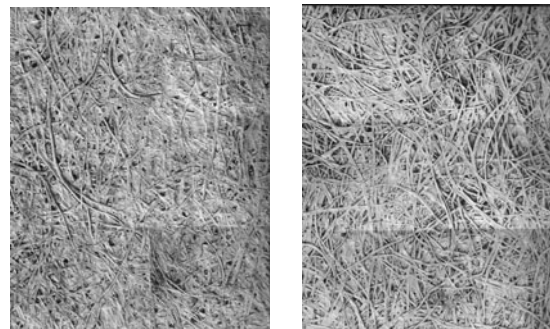


図 4.17 長網抄紙機による上質紙の表面 (F 面) (左) と
ワイヤー面 (W 面) (右)

見た目では大きな差に見えないが、構成の異なる 2
枚のシートをかさねた構造に近似できる。これが吸湿
すると伸びるが、2 層モデルに近いので、より伸びや
すい層を下側にして上方へ湾曲する (カールする)。
また、印刷されると印刷の見栄えはより緻密な F 面
の方がよく、印面の差となる。

この表裏差は、1970 年代のツインワイヤーフォー
マやハイブリッドフォーマの開発 (後に解説するが、
紙を両面で脱水する) まで製紙産業を悩まし続けた問
題であった。これらの技術開発で表裏差問題は大きく
改善されたが、紙への要求がより高くなるとより厳し
いレベルでの表裏差が問題となっている。現在では、
さらに踏み込んで、表裏でのパルプ配向のコントロ
ールまで目指している。

(3) 紙の乾燥収縮及び吸湿伸び

パルプ自体は乾燥すると収縮する。一本のパルプ
は、セルロースの長鎖が約 30 度の配向角で螺旋に巻
き上がってできている。したがって、パルプの中では
セルロース分子鎖が長さ方向に配向しているため、長
さ方向では収縮は少なく、幅方向に大きく収縮する。
すなわち、パルプ自身が収縮に関して異方性である。
このパルプを全くランダム (配向なし) にシートを形
成して乾燥すると、パルプの種類や抄紙前の処理条件
によるが、約 1-2% 収縮する。紙では、このパルプ

が配向して並んでいるので、結果として、乾燥の際に、パルプの配向に対し直角の方向（横方向）により大きく（ランダムなシートより大きな値で）収縮し、逆に配向方向ではより少ない収縮となる。収縮した紙は、吸湿したり、水分を与えられたりすると膨潤する。この乾燥による収縮が管理されていないと、実際に使用される時にトラブルを起こす。オフセット印刷（印刷の際に微量の湿し水を紙が吸う）では紙が蛇行する。PPC やノンインパクトプリンタ（NIP）ではトナー定着の加熱で収縮のパラツキを生じ、紙詰まりを引き起こす。

抄紙機で紙が乾燥するのはドライヤーパートである。この構造は前に解説したが、湿紙が一本のドライヤーから次のドライヤー移っていく。湿紙がドライヤーに貼りついている間は、横方向の収縮は抑えられる。次いで、紙がドライヤーを離れ次のドライヤーに接するまでの間はサポートがなくフリーになっている（フリーランと称する）。しかも、紙は、前に進むために強く引っ張られる。このフリーランの部分で横方向に乾燥収縮する。これが繰り返されることで、横方向が通常約3%収縮する。その際、収縮は抄紙機の幅方向で均一でなく、その両側で大きくなる。結果として抄紙機の両側の部分の紙はより大きく収縮しており、吸湿するとより大きく横方向に伸びる。（両端部は中央部の2倍近く伸びる）。抄紙機が高速化するとこの幅方向での収縮のばらつき（結果として、吸湿や放湿での伸縮のばらつき）がますます大きくなる。その1例を示す。図4.18の横軸は抄紙機の幅を示し、片側が操作側（操業者が操作する側）、他側が駆動側（駆動装置が置かれている側）で、これらの両端部分で紙が大きく収縮している。

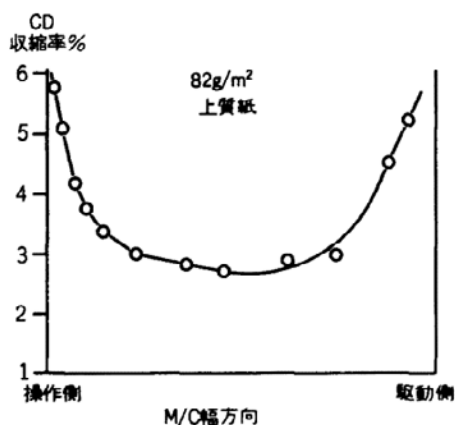


図 4.18 抄紙機幅方向の各場所における収縮率⁶⁾

4.3.3 抄紙機の三つの制約への対策

抄紙機に付もののこれらの三つの制約は、結果として使用時での紙のねじれ、反り返り等（カールと総称する）を引き起こす。それらに対し、以下の技術開発が行われた。

(1) 抄紙機のワイヤーパートの改善

今まで、ワイヤーの上にパルプスラリーを乗せ片側からのみ脱水していたから表裏差が生じた。そこで、狭いギャップで平行に走行する二枚のワイヤーの中にパルプスラリーを噴きだし、ワイヤーを湾曲させ、その押し圧により圧力をかけ（従来は重力と減圧による脱水）、ワイヤーの両側に脱水することを考えた。ツインワイヤーフォーマ（ワイヤーが2枚なのでツインワイヤーフォーマ (twin wire former)）と呼ばれるタイプの抄紙機で、いくつかの試行錯誤の末、図4.19のデザインのものが実用化された。ここでは、ワイヤーは水平でなく上へ登っていく。確かに、両面で脱水するのであるから水平である必要はない。これにより長かったワイヤー部が短くなり、かつ抄速が大きく向上した。

この装置（日本での1号機：1971年－世界的には数台目）が一般化し新聞用紙向けの標準設備となる。これにより表裏差の問題は大きく改善された。この開発はアメリカの抄紙機メーカー（Beloit Corp.）で、この当時のアメリカは世界最大の生産国で、技術力はだれもが認めるNo.1であった。残念ながら日本の抄紙機メーカー（主としてライセンス生産）はこのような独創的なものを生み出せなかった。

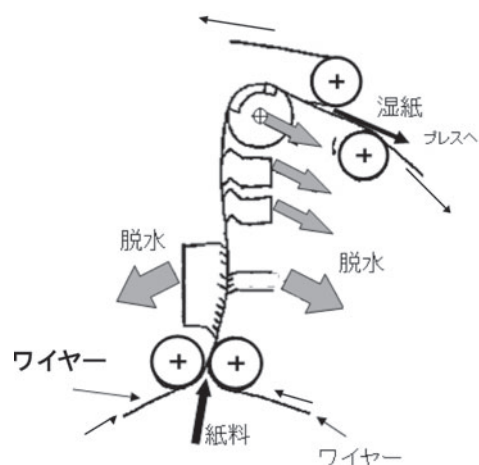


図 4.19 ツインワイヤーフォーマ（バルベフォーマーフォーマ）

この装置は、脱水がかなり強引で、製造される紙の表面や地合いは印刷用紙には不十分のため、新たな工夫がなされる。従来の片面脱水の部分と両面脱水の部分を組み合わせたハイブリッド型 (hybride former) が考案され、これが印刷用紙向けの標準設備となる (1980 年代に普及しだす)。このタイプの主力メーカーはドイツで、1990 年代からフィンランドのメーカーが参入してくる。情報用紙は基本的にこのタイプで生産され、後に解説するが紙の表裏の差が改善されるのみならず、紙の表面が良くなり、品質は数段に向上した。

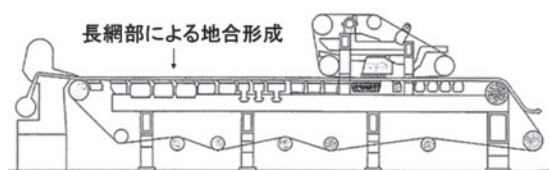


図 4.20 ハイブリッドフォーマ (デュオフォーマ)

日本の製紙会社はこれらの装置を初期の段階 (まだ実績の未だ前) に導入し、ライセンスである日本の機械メーカーと協力して改良・改善を進め、実用化の糸口を作ってきた。

では、なぜ 1990 年頃からフィンランドができたのか。フィンランドでは、森林産業が国の基本産業であり、紙パルプの研究技術開発に多くの資源を割いてきた。ヘルシンキ工科大学の紙パルプ部門は優秀な学生の集まる部門でもあった。1980 年代にフィンランドは大不況に見舞われた。ここで国の方針として研究資源を森林産業とエレクトロニクスに集中した。そして、紙パルプの研究も、産学をあげて、基礎的なことから産業に結び付くものに転換した⁷⁾。紙パルプ産業もスクラップ & ビルドを行い、工場生産の競争力強化をはかった。また、製紙関連の設備機械メーカーも統合して開発力を増した。このような背景から 1990 年に入りフィンランドの開発技術が世界をリードするまでになった。一方、この頃からアメリカの技術開発力に陰りがみられ、現在では活力を失っている。なぜアメリカがその地位を失ったのかは 9.2 で考察したい。また、ライセンスとして海外設備を日本に紹介し、かつ、その設備の改良・改善に力を貸し、かつ、十分に実力のある日本のメーカー (三菱重工、IHI、住友重機械) がなぜ展開できなかったのかは別の視点で興味がある。

(2) 紙の乾燥収縮のコントロール

紙は乾燥により収縮することは前に述べた。では、乾燥工程での収縮を如何にコントロールするか。その解決策として、紙が自由に収縮するフリーラン部 (ドライヤーから次のドライヤーへ移る繋ぎの部分) をなくせばよい。それで考案されたのが図 4.21 (トータルベルランドライヤー) である。参考までにその下に従来の構成を示す。実用化されたのは 1989 年である。

トータルベルランドライヤー (1989年頃)
(フリーランの部分がない)

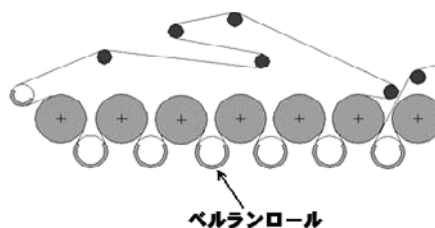


図 4.21 トータルベルランドライヤー⁸⁾

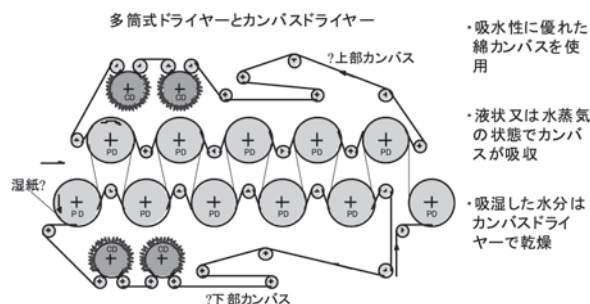


図 4.22 従来のドライヤー⁹⁾

このアイデアもアメリカの開発で、前述の Beloit の最後の開発と言える⁸⁾。

図からわかるように、トータルベルラン (新しいシステム) では、ドライヤーからロールを介してドライヤーへつながるので、フリーランがなくなっている。乾燥に必要な熱はドライヤーから供給されるので、必要なドライヤーの本数は変わらない。そのドライヤーを千鳥から一列に配したので当然必要な場所が長くなる (長さが倍近くになる)。前出の図 4.14 の新聞用紙抄紙機の図がそれを示している。象徴的なことは、設備が不細工になっても品質優先で設計されたことである。ツインワイヤー化が設備的にも品質的にも改善であったのと大きな違いである。

その効果の一例を図に示す。図 4.23 の CD 伸びとは、その場所で採取した紙を横方向に引っ張った時、破断するまでの伸びである。これが少ないことは乾燥時に横方向の収縮が少ないことを意味する。2 段ドラ

イヤーは千鳥に組んだ配置で、BEL-CHAMPはトータルベルランの一つのタイプである。

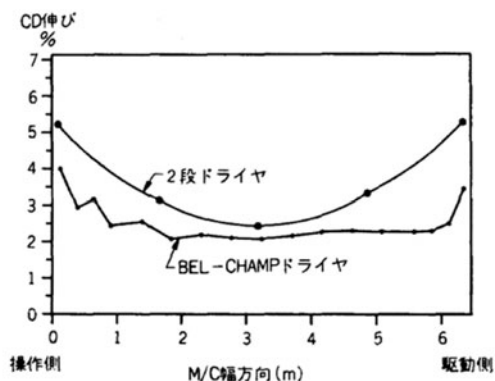


図 4.23 幅方向各部の横方向の伸び⁶⁾

また、トータルベルランタイプでの幅方向各部のCD湿潤伸びを示す。CD湿潤伸びとは、その部位の紙が、吸湿して幅方向にどれだけ伸びるかを表している。フリーランをなくすことで収縮がコントロールされていることがわかる。

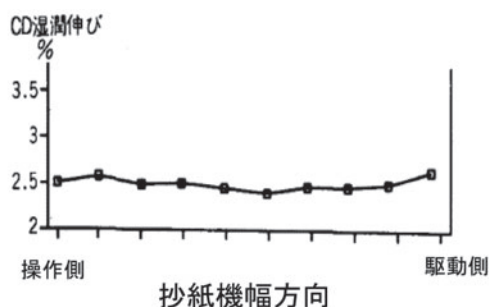


図 4.24 幅方向各部の吸湿伸び (横方向)⁶⁾

これらに代表される紙の品質を改善する設備開発が情報用紙の生産にも採用され、品質が向上し、1970年以降に情報用紙が急速に普及した一因になったと言える。

4.4 パルプの配向性のコントロール

4.3で紙の表裏差と収縮の不均一への技術開発を紹介したが、残るのはパルプの配向性である。

4.4.1 1980年以前の認識

パルプの配向から生ずる紙の縦横差は抄紙機が開発されて以来の特性として興味もたれ、その配向比率を定量化しようとの試みがあった。一般的には、縦方向の引っ張り強さを横方向の引っ張り強さで割って

求めた。この方法は手数がかり、かつ、誤差も大きかった。石黒の総説¹⁰⁾によると、1963年にI. Hendryらが縦方向±45度にあるパルプ本数と横方向±45度にあるパルプ本数を数えて(全体で数百万本)、抄紙機の幅方向のパルプ配向比を測定し、カールを含めた紙品質を議論している。また、門屋¹¹⁾によれば、1979年のPaper Physics ConferenceでゼロックスのC. J. Green Jr.が「紙のカールが発生する原因は紙のフェルト側とワイヤー側の力学的なバランスが崩れることによって発生する。これは紙の構成および熱履歴が表裏で違うため、抄紙時の繊維配向性(製紙産業では繊維と言う語をパルプの同義語として使っている。この報告ではできるかぎりパルプ配向とするが引用文献等では繊維配向の語が出てくる)、乾燥工程での紙の内部応力の不均一性が支配的である。フェルト側とワイヤー側の繊維配向を一致させることが重要である」と論じている。配向の測定にはゼロスパン強度(引っ張り強度の変形で、パルプの強度を測る)を使用している。フェルト面とワイヤー面の配向を一致させると言っているが、実際に測定する方法がなく、いたって観念的で具体性に欠けている。

また、石黒によると¹⁰⁾、R. Lebel & M. Stradalは1982年に図4.25のグラフを示し、スライスジェット/ワイヤー比1.01で引っ張り強度比が最小になりカールが安定するとしている。

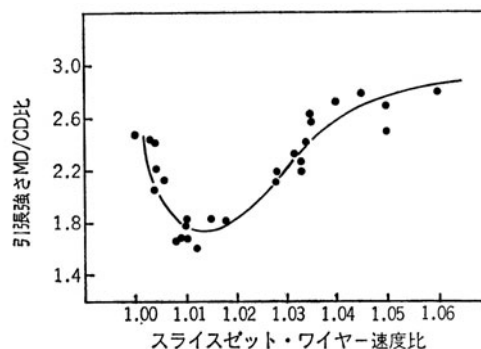


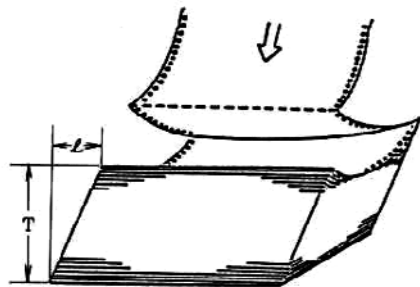
図 4.25 スライスジェット/ワイヤー比とパルプ配向

このように1980年代初めまでは、パルプの配向と言う概念はあったが、適切な測定法がなく、それから一歩踏み込んで配向角を論じたものはない。カールコントロールの具体的な方法は、石黒が述べるように、ドライヤーの操業や原料の品質を安定させて、カールを安定させるのが第一で、その変動がなければ繊維配向や表裏差があっても市場(通常の印刷紙)で通用するとしている。

4.4.2 配向角の意義とその測定

この時期に、情報用紙の分野では、1975年にIBMが従来のインパクト方式の10倍以上の速度で印字可能な世界初の電子写真式ノンインパクトレーザープリンタ IBM 3800 (13,000行/分) を発表した。これを契機に国内でも各社が同方式の高速プリンターの開発に着手し、1977年に日本電気が漢字印刷のできる高速ページプリンターN7380 (14,000行/分) を、1979年には電電公社 (現 NTT) が世界最高速 15,000行/分の漢字プリンター (日立製作所 H8196-30) を完成させた (数年遅れでトップレベルに追い付いていく様子は、後に述べる日本の PPC メーカーの展開に似ている)。これにより、連続伝票用紙の使用量は1983年から急速に伸長し、NIP (ノンインパクトプリンタ) 用紙の比率も高まってきた。同時にカット紙である PPC 用紙を使用する Xerox9700 (120枚 A4/分) などの高速 PPC も普及し、この分野の紙の作業性が関心を集め出した。

ここで最初に問題となったのは、ノンインパクトプリンタ (NIP) でプリントアウトされ、ファンフォルドに積み上げられた紙が少しずつ斜めに傾き (「斜傾」または「かたぎ」)、突然崩れ落ちるトラブルであった。坂本等は、1979年にこの問題に迅速に対応し、紙面のパルプの配向角 (紙の縦方向に対するパルプ配向の主方向がなす角度) (定義及び測定法はこの項後半にて説明する) が大きいと斜傾が大きくなることも見出し、抄紙機の操業条件により配向角をコントロールし、斜傾を防止できることを示した (1982年)。これが、パルプの配向角を具体的な現象と結びつけた最初の事例であった。その研究の経緯は文献12) にまとめられている。



斜傾量: l/T

図 4.26 印字後に斜傾した連続伝表用紙 (イメージ)

この当時、紙のパルプ (繊維) 配向角と言う概念はほとんど認知されておらず、その制御方法も知られていなかった。坂本等は、自社の旭川工場においてパル

プ配向に影響を及ぼすと考えられる J/W (噴射速度 / ワイヤ速度) 比やワイヤーシェイキング、ダンディロールなどの条件を変更したテストを実施した。この時の抄紙機全幅での評価結果の例が表 4.2 に示されている。

従来の抄紙条件ではプリンターでの斜傾トラブルを起こす可能性が高い部分 (配向角と斜傾量が大きい部位) があったが、条件の適正化により全幅で製品化できることが示唆され、実際の印字テストでも改善が確認された¹³⁾。

表 4.2 配向角の改善による斜傾量の減少

幅方向取位置	1	2	3	4	5	6	7	8
条件1 配向角(°)	8.2	6.7	4.2	5.0	4.2	-1.0	-2.3	-4.0
(従来) 斜傾量(l/T)	0.90	0.54	0.28	0.29	0.23	0.10	0.14	0.27
条件2 配向角(°)	4.5	4.1	3.5	0.6	1.2	-1.0	-2.1	-3.4
(改善) 斜傾量(l/T)	0.29	0.25	0.21	0.03	0.10	0.05	0.12	0.18

配向角は反時計回りを (-) とする

この結果を基に1982年8月に特許を出願 (1984年2月公開) し、斜傾を改善した新製品として拡販に乗り出した。その頃から製紙業界でも「繊維配向角」が認知されるようになった。そして、このパルプ配向 (配向角と配向度) が紙の作業性に大きく影響するとの概念が日本の製紙産業に一気に広がった。

その後、配向性と紙の作業性のトラブルとの関連がいろいろ明らかになってきた。例えば、オフセット輪転印刷機において、紙が蛇行したり、斜めじわが発生したりして、断紙につながることもある。この現象は紙の縦方向とパルプの配向方向がずれていると起きることが判明している (進行方向に対し配向が11時の方向の時は、紙は1時の方向 (右側) へずれる)。ノンインパクトプリンタでは、先に述べた斜傾の原因となる。PPC では、配向角がずれているとねじれカールとなり紙詰まりを引き起こす。後の PPC 用紙の章 (6.3) でふれるが、配向が強すぎるとカールが大きくなり、カラーPPC では問題となる。

この時期、一つの測定機がタイミングよく開発された。それまでは、配向の測定は縦横の引っ張り強さの比で測定されていた。通常の引っ張り試験では、15mm × 100mm の試験片を5枚測定しその平均を取る。これを縦と横で繰り返すが、試験片は隣り合った別の場所から採取され、同一場所での縦横比は物理的に得られない。これで配向角を求めるには、角度をずらしながら全方向で縦横比を測定する必要があり、サンプリングによる誤差が避けられない。

一方、歴史的に紙物性の理論的な研究では、弾性

係数が取り上げられてきた。この弾性係数の測定には、固有振動から動的弾性係数を測る装置（Dynamic Modulus Tester）や、超音波の伝搬速度から求める方法があった。一本のパルプでみると、縦方向は弾性係数が高く、横方向は低い。したがって、パルプが配向している方向は弾性係数が大きく、配向していない方向は低くなる。紙面上のある点の周り全方向でこれらの物性を測定すると、それはパルプ配向を示していることになる。1983年に野村商事が超音波を用いて、非常に簡単に紙の弾性係数を測定するSST測定機（ソニックシートテスター）を販売した（最初は、弾性係数あるいはそれから推測できる引っ張り剛性の測定（弾性係数が大であれば大きくなる）を目的としていた）。それが測定の簡便さから一気にパルプの配向性測定機として形を変えて普及した。このシリーズは、自動化を組み込みながら、発売台数を伸ばし、現時点で400台を超えている（ちなみに日本の製紙工場数は約100工場）。内、輸出は175台（紙の自動試験機の配向性測定モジュールとしての分も含む）。最近では、紙のみならずフィルムの子配向の測定にも使用されている¹⁴⁾。

その測定原理は以下の通りである。

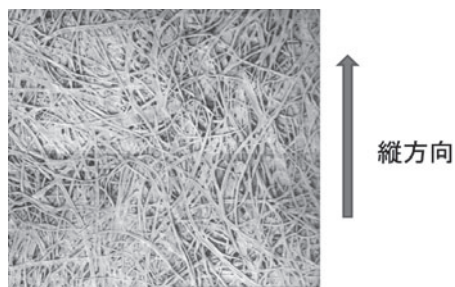
紙やフィルムのシート状サンプルに縦波の超音波パルスを送り、一定長さ“L”に対する伝搬時間“T”を測定すれば、下式の関係が成り立つ。

$$(サンプルの弾性係数: E \quad 密度: \rho \quad 伝播速度: C)$$

$$E \propto \rho C^2 \quad \text{又は} \quad E \propto \rho (L/T)^2$$

紙上のある点を中心に角度を変えながら伝搬速度また伝搬時間を測定し、プロットで得られる図形を楕円に近似し、長軸と短軸の比率が縦横比となり、長軸と縦方向とのなす角が配向角となる。

具体的な例を示す。



紙の表面

図 4.27 紙の表面（縦方向）

この紙より以下の図 4.28 が得られる。

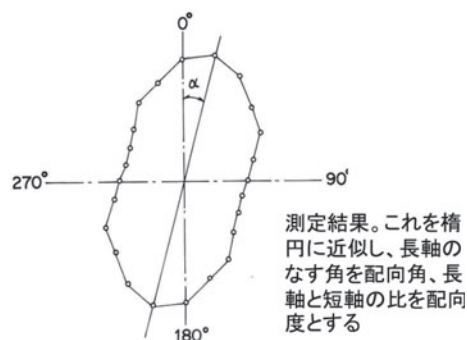


図 4.28 伝搬速度の測定結果例

配向角と配向比のイメージモデルを図 4.29 に示す。

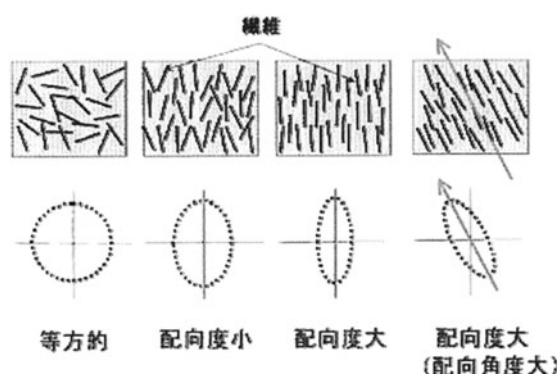


図 4.29 配向モデルと伝搬速度測定例

また、測定器の外観を示す。いたって簡単なものであった。

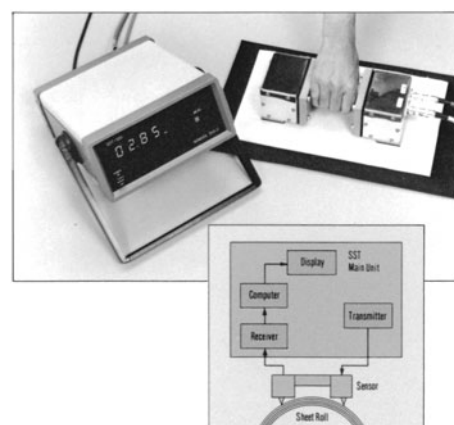


図 4.30 最初の手動機¹⁴⁾

これはその後自動測定可能なモデルに変わっていった。

4.4.3 抄紙機の改良

製紙会社での配向性への関心が高まると、抄紙機メーカーにおいてもパルプの配向性をコントロールす

る研究が進められ、報告も現れ、設備の改善がはかられた^{15) 16) 17)}。

1980年代後半には抄紙機両端部の配向（端部はどうしても斜めに流れ、配向角が大きくなる）を制御するためのエッジフローコントロールやサイドブリードが抄紙機に装備される。90年代に入ると白水希釈方式のヘッドボックスが各抄紙機メーカーにより開発された。その原理を図4.31で説明する（わかり易くするため古い抄紙機モデルを使用）。

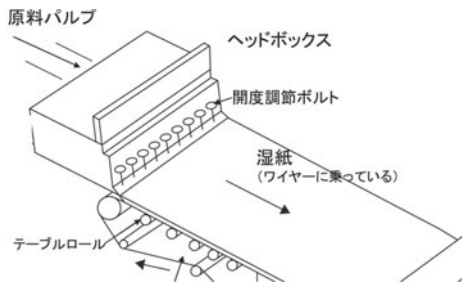


図 4.31 開度調節ボルトのイメージ

ハイブリッド抄紙機では、原料をワイヤーの上に流し出すが、最後にその出口の開き具合を、幅方向に一定の間隔で並べたボルトの押し圧で部分的に調整して、幅方向のプロファイル（例えば坪量）を調整する。ここで面倒な問題が起こる。もし、一本のボルトを押し込むと、その下の開度が狭くなりその部分のみが坪量の低下になるならば調整は容易である。しかし、実際は、原料がスラリーのため、押し圧を受けると左右に微妙に影響し、プロファイルを良くするにはさらにいくつかのボルト（ジャッキ）の調整が必要で、熟練の技が求められた。当然のこととしてパルプの配向もその都度影響を受けた。抄紙機がさらに大型になり、出口開度の調整がより困難かつ負担になってきたことから、次の工夫が生まれた。坪量の制御のために、流体（スラリー）の原料を上から押さえるから左右に影響がでる。それなら、その部分のみ原料を希釈してやれば流れを乱さずにその部分の坪量を下げることができる。そこでリップ全幅を幅3-6cm程度に分割し、その部分に流入してくる原料の濃度を、対応する坪量のデータ（近年の抄紙機はオンラインで全幅の坪量をモニタリングしている）から個別に希釈・調整する。これにより、原料の流れを乱すことなく（結果としてパルプの配向に影響を与えずに）幅方向の坪量プロファイルを調整できることになった。言い換えると、この白水希釈型のヘッドボックスの開発により、パルプの配向と坪量を独立してコントロールできるように

なった。

村川の論文¹⁸⁾の一部を引用する。

「ヘッドボックスに求められる基本機能を要約すると以下ようになる。

- ・分散性能
- ・幅方向の均一性（坪量プロファイルと繊維配向性）
- ・脈動減衰性能
- ・操作性
- ・メンテナンス性

坪量の幅方向制御が濃度コントロールで行なえるようになったことで、配向角の制御をスライス開度を調整することで行えるようになった。配向性に影響を与える要因は、主に幅方向におけるジェットスピードの差異に起因している。モジュールジェットヘッドボックスでは、スライス開度を常に均一に保つことができ、従来に比べ配向性を大幅に改善することができる。現状では何度かのトライ・アンド・エラーを繰り返して最適な配向角プロファイルを作り出している。図4.32は、トライ・アンド・エラーを繰り返して得たものである。IHI-vSPT（IHIとVoithの合弁会社の名前）では、これらの関係を統計的に処理し、流体計算と合わせて制御プログラムを作り出すことに現在取り組んでいる。」

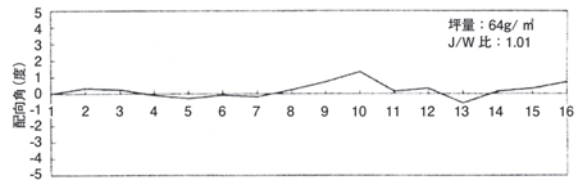


図 4.32 トライアンドエラーを繰り返して得られた配向角の幅方向プロファイル

では実際に、配向性の改善を目的の一つとして、抄紙機を白水による濃度調整型のヘッドボックスに改造した一例を示す¹⁹⁾。この改造では、幅方向の配向角プロファイルが、これまでの抄紙機の最大の目的であった坪量や厚さのプロファイルと同等に取り扱われている。

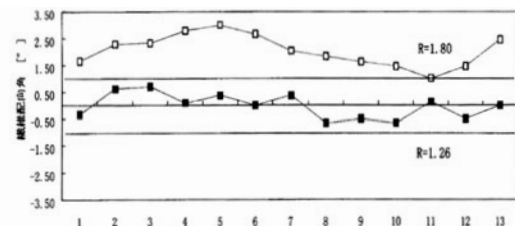


図 4.33 抄紙機改造前後での配向角の比較

表 4.3 配向角がプロファイルと同じレベルで評価されている。

		改造前	改造後
プロファイル	調整方法	ヘッドボックス機側での手動操作。この間オペレーターは機側に1名付ききり。	CRTからの遠隔操作。自動に切替, 手動調整は必要ない。
	収束時間	R=3.0以下で製品規格内まで30~40分	R=2.5以下で製品規格内まで15~20分
繊維配向角	調整方法	該当部分のスライスを手動で調整。プロファイルはある程度犠牲にする。	エッジフローレシオの設定値変更。前回と同条件ではほぼ再現できる。
	収束時間	全列規格内まで2~3hr	抄出しより全列規格内

Rは範囲(最大値-最小値)

この時期の世界の抄紙機メーカーは3グループにまとまっていた。そのいずれにも、日本の代表的な大型機械メーカーが加わっていた。

三菱重工 - Beloit (USA)

石川島播磨重工 - Voith (ドイツ)

住友重工 - Valmet (フィンランド)

これらの日本のメーカーは、その実力から、提携先(ライセンサー)の技術開発に間違いなく力を貸しているはずで^{15) 16) 17)}、それが配向性管理を組み込んだ抄紙機の開発につながっていると推測する。残念ながらそれらの日本の機械メーカーは、その後、製紙機械の事業から撤退した。三菱重工はベロイトの技術を引き継いで世界展開を目指したが、2000年代初頭に撤退した。IHIはVoithと日本向けに合弁会社を設立したが、それは近年Voithの完全子会社となった。Metso(元Valmet)は住友重機械との提携を解消し、日本法人(メッツオジャパン)を設立した。

4.4.4 オンライン測定

配向の測定にはSSTが用いられてきた。これは、手軽ではあるが、紙のサンプルを切り取ってからの測定である。その重要性がわかってくると、抄紙機の上で、オンラインで測定しようとする開発が始まった。現在、二つのシステムが日本で開発されている。

一つが、1990年代の旧神埼製紙の研究を引き継いで王子製紙が開発中で、矩形マイクロ波誘電体共振器を使って誘電率を測定する方法である。パルプの配向方向でこの誘電率は最大になる。原理的には、1個の共振器を回転させれば配向パターンの測定が可能であるが、これではオンラインの測定はできない。そこで、このユニット5個を72度の角度でずらして配置し、その測定結果を楕円に近似することで配向角及び配向比を算出する²⁰⁾。

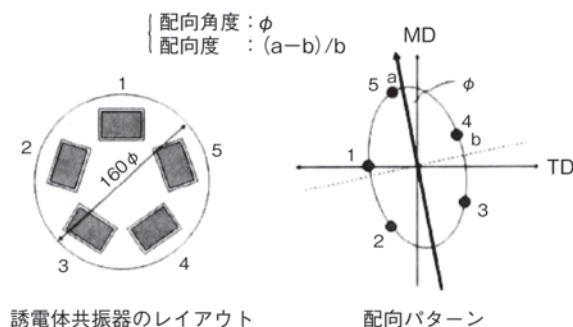


図 4.34 誘電体共振器のレイアウトと配向パターン

高速テストコーターにおける実証実験において、1,000m/分の速度で紙のパルプ配向を測定できることを実証した²¹⁾。さらに、2工場にて実操業にオンラインで設置され実用化を目指している²²⁾。もう一つは、旧山陽国策パルプの研究を引き継いだ日本製紙と横河電機との共同開発である。

阿部らは、紙表面の光の反射から紙の異方性を測定することを検討し、いろいろの光学系を試す中で、図4.35のように垂直入射光に対し一定の煽り角をつけた方向の反射がパルプの側面部の反射を捉え、配向性と強く相関することを見出した²³⁾。

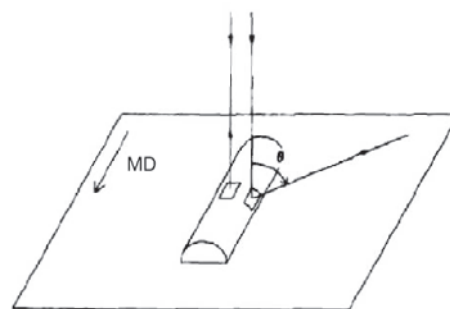


図 4.35 垂直入射法の測定原理

これを発展させ、図 4.36 の光学系によるセンサーを開発、これを既存の BM 計に組み込むことで抄紙機でのオンマシンモニタリングを可能にした²⁴⁾。

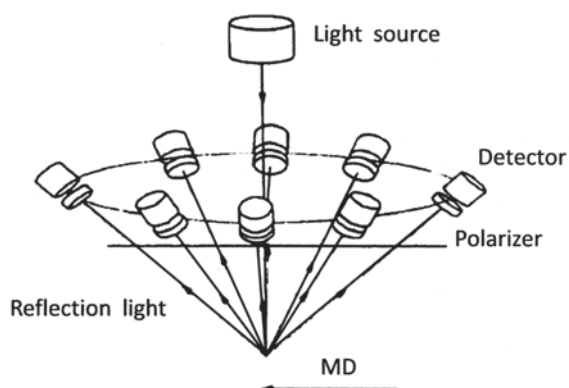


図 4.36 オンライン表面繊維（パルプ）配向計の光学配置

この測定法の特徴は、紙の表面の状態を測定するので、センサーを紙の表裏に別々に配置することで配向性の表裏差を知ることができる（一方、先のマイクロ波誘導体を用いるものは紙全層の値を測定する）。

BM 計（横河電機の商品名であるが国内では一般名のように使用されている）とは、抄紙機のドライヤー部の後ろで、巻き取られる紙の幅方向の物性（坪量、水分、厚さ）をオンラインで測定し、操業にフィードバックすることを可能にした装置で、このデータにより、抄紙機の各パートの操業因子の調整（スライプ調整（機械的及び濃度調整）、プレスパートでの幅方向水分調整（CC ロール、スチームボックス）、ドライヤーパートでの水分プロファイル制御）や、その他の紙物性のモニタリングを行っている。その構造を図 4.37 で簡単に紹介する。

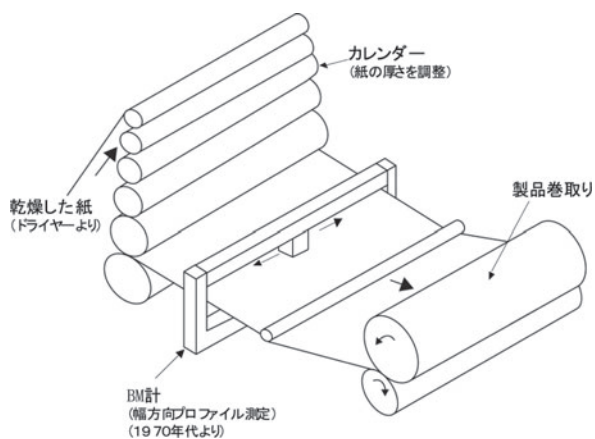


図 4.37 BM 計の概念図

フレームにつけられたセンサーヘッドが、紙の上を非接触で幅方向に往復運動（片道約 1 分）する。この間、紙は全幅で流れてくるので、結果として、紙を斜め方向にスキャン（測定）していることになる。しかし、統計処理により、信頼できる幅方向プロファイルが得られている。さらに、これらのデータは、幅方向のみならず経時による変動も可視化し、記録として残すことで抄紙機の操業を一変させ、ほとんどすべての抄紙機（古い小型のものまで）に装備されている。この BM 計にセンサーヘッド（図 4.38 及び図 4.39）を追加して、1999 年より市販された。

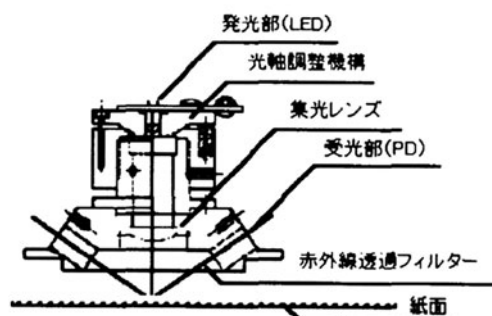


図 4.38 BM 計用オンライン配向計の光学部分

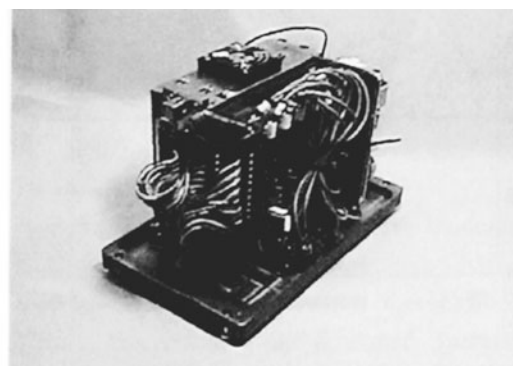


図 4.39 BM 計用オンライン配向計の外観

その後さらに、繊維配向自動制御システムとしての開発をめざし、BM 計に組み込んだオンラインセンサーによる表裏のパルプの配向からエッジフローパルプとスライプアクチュエータを制御して、地合い等の品質に対する影響を少なくして、配向を最適にするシステムを開発、2007 年より PPC 用紙の生産機に装備し実績を上げている²⁵⁾。

現在までの納入実績は、配向計として 14 セット（センサーとしては表裏測定のため 28 台）、配向制御として 1 セットである²⁶⁾。

4.4.5 なぜ日本で見出されたか

このように紙面でのパルプ配向角と配向度の概念は、情報用紙の分野で、日本で見つけられ発展した。きっかけは高速NIPや高速PPCでのトラブルである。この装置は世界で販売され、同じトラブルはどの国でも起きていたと考えられるし、日本でも多くの製紙会社はその対策を研究したはずである。事実、山陽国策パルプの研究より少し遅れて十條製紙でも同じクレームを受け、紙の縦横の熱収縮による配向角のずれがその原因と推定している。そのような動きから、日本では配向角の重要性が産業全体に一気に共有された。一方、海外の動きはどう見てもワントempo遅い。例えばNiskanenのPPC用紙に関する一連の報告²⁷⁾は1989年からである(彼も配向の測定にはSST測定器を使用している)。アメリカでは、弾性波の紙面伝播については1979年より研究されているが²⁸⁾、理論的なもので、かつ、紙の強度(特に剛性)との関連で論じられている。1988年には5種類の超音波による測定器をテストしているが、配向性との関連は論じられていない²⁹⁾。そして1990年にSSTでパルプ配向が測定できることが紹介されている³⁰⁾。1992年に段ボールシートのねじれカーブが表層のライナーのパルプ配向によるとの研究が発表され³¹⁾、1994年に抄紙機の操業因子で配向を管理し、段ボールのねじれを解決できるとの報告がなされている³²⁾。

この違いは何からくるのであろうか。製紙会社(メーカー)はクレームが厳しければそれだけ迅速に行動する。日本の製紙会社の対応の早さは、日本のユーザーが世界標準以上に神経質であったからとしか言いようがない。ある意味では、この神経質さが日本の技術レベルを鍛えてきたのかもしれない。同時に、日本国内の製紙会社間の激しい競争がそれに拍車をかけたと言える。

この時代の研究体制のあり方も影響しているかもしれない。アメリカ、カナダでは大学と製紙産業界が協力していくつかの研究機関を持っていた(IPC、PPRIC、ESPRA等)。これらが大学院の学生を受け入れると共に、基礎から応用までの広い範囲での研究を進め、かつ、製紙産業界に人材を供給してきた。企業にとってみると研究はそれらに任せればよいとの見方があり、製紙会社の研究体制は分厚いものではなかった。日本ではそのような産学の研究機関の必要性が言われていたが、なかなか進まず、結果として製紙会社が自前である程度の研究体制を整えていた(製紙会社は現場の生産志向で、研究体制は決して多いものではなかったが、個人的な感じで(統計はないが)、1970

年代以降、研究者(生産を支援する研究スタッフも含む)の総数では日本は世界のトップレベルを維持している)。その中で、情報用紙には、これから伸びる分野として力を入れていた。また、山陽国策パルプは製紙会社の中では研究部門が充実していた。そこにクレームが生じた時、どちらがより迅速に対応できるかは明らかである。また、ユーザーからの新しい要求(ニーズ)への対応でも同じ動きが予想され、この後、感熱紙、インクジェット用紙で日本が展開できたことにつながっていると言えよう。

4.5 塗工の原理と塗工技術の発展

抄紙機で生産される紙は何らかの塗工がされる場合が多い。情報用紙の中でも、感圧紙、感熱紙、インクジェット用紙等の生産には、その用途に合わせていろいろの塗工法が組み合わせて使用されている。それぞれの塗工法も、抄紙機のように技術開発により変化し、それが製品の品質の改良を生み出してきている。ここでは、それらの塗工法の基本原理と技術改良について概説する。

4.5.1 内添サイズと表面サイズ

(1) サイズ度(撥水性)

紙はパルプで構成されているが、パルプは非常に親水性で、水を一滴落とすと滲んで広がっていく。この滲みを起こさないように、通常、紙はその用途に合うようにサイズ処理されている。サイズ(英語表記ではsize)は大きさを表す語として用いられているが、別の意味としてラテン語の *assise* (*setting*, *fitting* の意味) から派生し、プラスター、紙、布の上に光沢を与えるため、又は充填剤として使用されるペースト状の物質の意味がある。後で説明するサイズプレスや表面サイズはこの意味に近い。それが拡大され、紙に撥水性を与えるために添加される物質をサイズ剤と称し、その撥水の度合いをサイズ度と表記している。例えば葉書はペンで書かれるためインクがにじまないように強いサイズ度になっている。PPC用紙でも、サイズ度は品質規格として守られている(ペン書きサイズ度で4.0以上)。オフセット印刷用紙は、印刷時のしめし水に耐えるようにある程度の撥水性を付与されている。インクジェット用紙では、水性のインク滴を滲みなく保持する必要がある、サイズの度合いは他の印刷紙の場合よりもずっと重要な因子となっている。

(2) 内添サイズ

撥水性を与えるサイズ剤は、古くは松やに（ロジン）（主成分のアビエチン酸）を利用するもので、ロジンをアルカリに溶解したロジン溶液を添加した。その方法は、抄紙する前にパルプスラリーにサイズ剤液を添加し、硫酸アルミニウム（硫酸バン土）によりそれをパルプの表面に吸着（定着）させ（酸性抄紙）、抄紙（ワイヤーパート）後の紙の中に残るようにする。さらに、ドライヤー部で乾燥されると、ロジンがパルプの親水基をふさぎ、撥水性を発現してくる。1950年頃にフマル酸やマレイン酸を付加した強化ロジン、その後、グリセリンを反応させて疎水変性ロジン等が開発されてきた。

1970年代から、印刷用紙、PPC用紙を中性で抄紙する動きが出てくると（6.3 PPC用紙の章を参照）、大きな技術的な問題がサイズ剤であった。ロジン系サイズ剤は、バン土（硫酸アルミニウム水溶液）を添加することで（抄紙系を酸性にすることで）、パルプに定着されていた。中性抄紙では硫酸アルミニウムが使用できず、サイズ剤としてASA（アルケニル無水コハク酸）やAKD（アルキルケテンダイマー）が使用された。しかし、ASAは抄紙系が汚れること、AKDを用いると紙が滑りやすくなることから、ロジンをベースとした中性ロジンエマルジョンが1990年代に開発され、現在の主流となっている。これは日本のサイズ剤メーカーの独自開発である³³⁾。

抄紙の際には、このサイズ剤のみならず、紙の強度を増す紙力増強剤、填料のリテンションを改善するリテンションエイド（retention aid）等が添加され、ウエットエンドケミストリー（wet end chemistry）、あるいは、ウエットエンドコントロール（wet end control）として重要な抄紙機の操業技術となっている。余談になるが印刷紙には5-15%の無機填料（主として炭酸カルシウムやクレイ）が入っているが、この填料は抄紙前にパルプスラリーに添加される。ワイヤーパートで紙層を形成する過程で、填料の約50%が脱水される水と共に抜け落ちる。これは水と共に循環されて抄紙前に戻される。この紙層へのリテンション（ファースト・パス・リテンション）を改善するのがリテンションエイドである。

今まで説明したものは、抄紙工程で添加して、紙の内部に吸着しているので内添サイズと呼ばれている。一方、乾燥した後の紙に軽く表面処理するためにサイズプレスと呼ばれる簡易な塗工システムがあり、この処理で塗布されるものを表面サイズまたは外添サイズと呼んでいる。この方がサイズ本来の意味（表面に

ペースト状のものをのせる）に合うのかもしれない。

いずれにしろ、これらの内添サイズと表面サイズの組み合わせにより、紙には用途に合わせた微妙な撥水性が付与される。例えば、段ボールを構成するライナーや中芯は強度の耐水性、撥水性を持つように処理されている。先に紹介した感熱紙においても、感熱層の塗工前の重要な前処理技術であり、ノウハウである。

(3) 表面サイズとサイズプレス

表面サイズは一度乾燥した紙の表面に軽く薬品を塗布することで紙の品質（特に表面の性質）を調節する。そして、そのための塗工機をサイズプレスと呼ぶ。プレスの由来は、互いに逆方向に回転する並んだ2本のプレスロール（互いに押しつけあっている）の間にサイズ剤液（塗工液）のポンドを作り、紙を、その間を通すことで紙表面にサイズ剤を塗布・浸透させるからである。

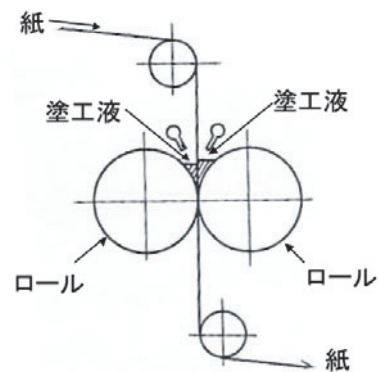


図 4.40 サイズプレス（ポンド型）

この装置は基本的には水溶液を両面に一度に塗布する簡易さを持っている。実際の設備配置としては、ドライヤーで乾いてきた紙を通すことでその表面に薬液を塗布、浸透させ、さらにもう一度ドライヤー（アフタードライヤー）で吸液した水分を蒸発させる。抄紙機に追加する形であるため連続して処理できるので、サイズ剤のみならずでんぷん等の簡易な表面塗工法として古くから使用されてきた。ただ、水溶液で塗布するため塗布量が少なく、例えばでんぷんでは $1\text{g}/\text{m}^2$ 程度である。このサイズプレスが簡便性から構造を変化させ、塗工液の適用範囲を広げて、多くの場合の地下塗工として利用されている。

ポンド方式では、塗工速度を上げようとするともポンドまわりの操業が不安定になる。そこで目をつけたのが、ゲートロールコーターである。このコーター（塗工機）は、1930年代に塗工印刷紙のために開発された

ロールコーターの一つのタイプである。ゲートロール型コーターでは、液の中を紙が通過するのでなく、ロールに薄く液を均一に塗りそれを紙に転写する。ただし、そのロールに塗布するために数個のロールを介して均一な塗膜を作る。これにより、1000m/分以上の高速操業が可能になった。さらに、このサイズプレスを使いこなすことで日本の新聞用紙の品質は飛躍的に向上した。

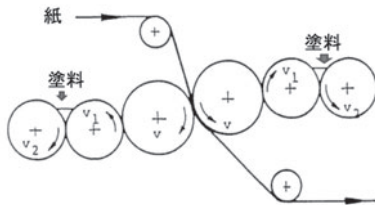


図 4.41 ゲートロール型サイズプレス

さらに高速が要求されてくると、ゲートロールでは飛沫で周りが汚れる、塗工むらが出ることからアプリケーションヘッドメタリングサイズプレスと呼ばれるタイプが開発された。これは直接転写ロールに塗布する。

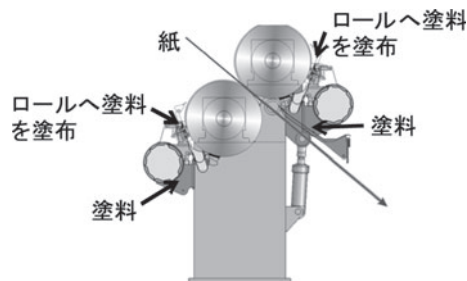


図 4.42 アプリケーションヘッドメタリングサイズプレス³⁴⁾

ゲートロールでは均一な塗工膜を得るのに手間をかけているが、この装置では一気に塗ってしまう。これは、種々の制御技術（例えば紙幅方向の圧力プロファイル）が大きく進歩したからはじめて可能となった。

参考までにサイズプレスが抄紙機のどの部分に組み込まれるかを図 4.43 で示す。

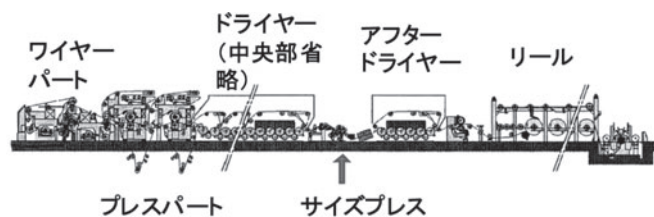


図 4.43 抄紙機の中のサイズプレスの場所³⁵⁾

4.5.2 塗工

(1) 塗工紙とは

内添、表面サイズはいわば塗工のための下地準備で、これに塗工機（コーター：coater）で塗工する。まず、一般的な塗工紙の製造について解説する。その表面と断面を示す。表面は無機顔料（填料と称する）で覆われている（塗工されている）。ちなみにその粒径は大きなもので数ミクロンである。

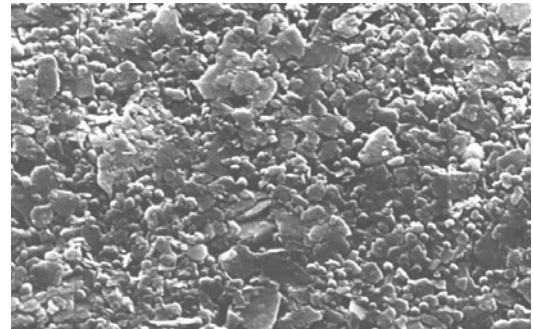


図 4.44 一般的な塗工印刷紙の表面

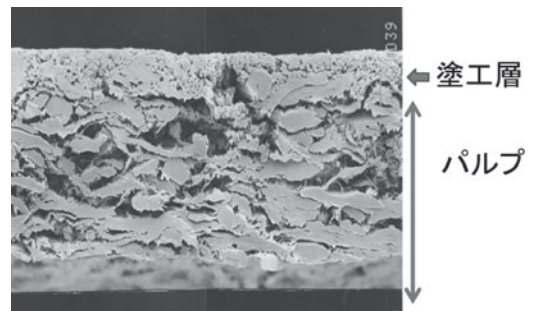


図 4.45 感熱紙の断面

印刷紙が塗工されるのは、紙の表面を平滑にし、印刷の見栄えを上げるためである。まず、無機顔料（主として炭酸カルシウムやカオリン）を水に分散してスラリー（塗料）にする。これを薄く均一に紙の表面に塗布（塗工）する。それを乾燥する。塗布量はサイズプレスよりずっと多く、10-20g/m²（片面）である。乾燥した顔料を紙の上に固定するため、塗工液（塗工スラリー）にはバインダー（接着剤）が配合されている。塗工印刷紙のために開発された技術が情報紙の製造にも利用されてきた。

(2) 塗工機（コーター）の歴史と種類

紙に塗工する塗工機の機能は二つに分かれる。一つは紙全体に均一に塗料を塗布することと、もう一つは、それを乾燥することである。まず、塗工システムの変遷を簡単に紹介する。

最初は紙に光沢を与えたり、色をつけたりするために塗料をブラシで手塗りしていた。それが大変なので、1800年代の後半から、紙に乗せた塗料を機械的にブラシで平らにする塗工機（coater）が考案され、いろいろ改良がくわえられ、1900年頃には図のようなブラシコーター（brush coater）が使われていた。紙は左から右へ搬送されていく。その紙の裏面はロールにより塗料を塗布される。表面では、紙の上に塗料を乗せる。そして、2本のロールのニップ圧により塗布量を調整し、その後いくつかのブラシで平らにならしていく。

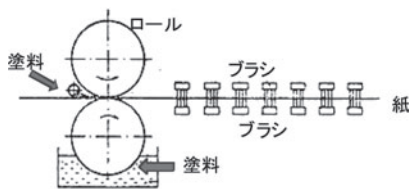


図 4.46 初期のブラシコーター

しかしこれでは、塗布量むらがどうしても生ずる。そこで、ロールそのもので塗料を均一に紙に塗布する工夫がされ、各種のロールコーターが1930年頃から開発された。サイズプレス項で紹介したゲートロールコーターはその一つタイプで、基本的には、塗料がロールに転写されながら移っていくことで均一に広げられ、最後のロールの表面になめらかな均一の塗料層を形成し、これを紙に転写する。このロールタイプのコーターにより塗工紙が安価に大量に生産できるようになった。このロールタイプのコーターの開発は主としてアメリカで行われ、それを工夫したメーカーの名前をつけて呼ばれていた（例えば Consolidated (Massey) coater, Kimberly-Cark coater, St. Regis coater, West Virginia coater）。その多くは製紙会社で（機械メーカーでなく）、後に大手の製紙会社に成長していった。この時期、アメリカでは塗工紙の需要が急速に拡大しており、それがこの技術開発を引き出したのであろう。

しかし、この装置は塗布量を多くすることができず、また、塗工面に特有のパターンができやすい（塗料がロールから剥がれる際に生まれる）欠点があっ

た。

1940年にもう一つ画期的なコーターが開発された。紙に多量の塗料をのせ、余分の量をエアージェットで掻き落とすメーテリング（metering：計量）タイプのエアーナイフコーター（エアージェットコーター）である。これは、紙幅全体に、スリットから空気を噴きつけて余分の塗料を掻き落とす。これによりいろいろの物性の塗料の塗工が可能になり、かつ、塗布量を大きく増すことができた。塗工表面も滑らかでその一つの利用例が後に述べるノーカーボン紙の塗工で、この技術により NCR 社の独創的な情報用紙が生産された（1953年）。現在もエアーナイフコーターは使用されている。この方式は、エアージェットで余分な塗料を吹き落すので、塗料には低粘度が必要で、かつ、塗料濃度を上げることができず後で述べる乾燥工程が長くなる。

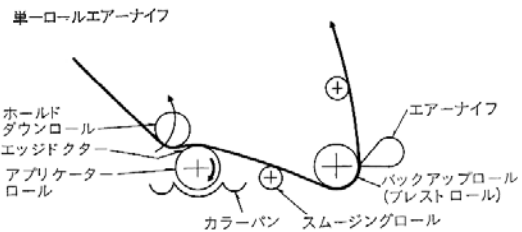


図 4.47 エアーナイフコーターの配置図³⁶⁾

余分に乘せた塗料を掻き落とすには、もっと単純に機械的にドクター（ブレード）をあてて掻き落とせば良いとの工夫から、一連のブレードコーターが1950年頃から開発されだす。そしてこの方式が現在の塗工の主流となっている。これは機械的にブレードで掻き落とすので、装置は単純化され、塗料濃度を上げることができ、高速塗工も可能で、生産性を大きく改善した。

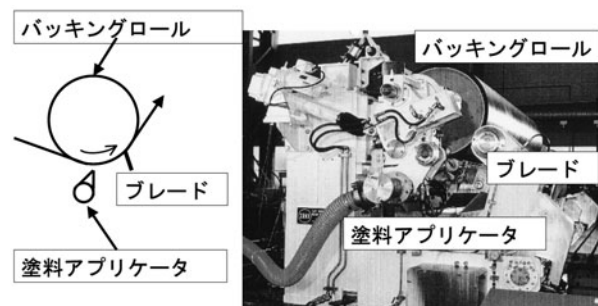


図 4.48 ブレードコーターのイメージ³⁷⁾

このコーターの基本的構成は、紙に塗料を乗せるアプリケータと掻き落とすブレードである。この組み合わせでいろいろのモデルが開発されている。

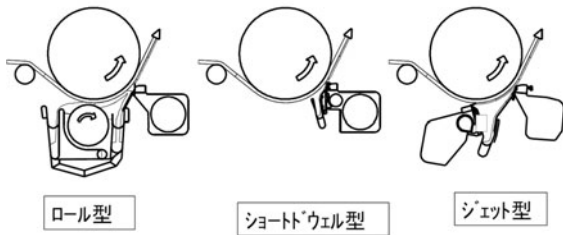


図 4.49 各種のアプリケータ³⁷⁾

現在の大型機では、10m 幅で 1500m/分以上の速度で塗工が行われている。サイズプレスの項で、ゲートロールからメータリングアプリケーションタイプへの移行でもふれたが、ブレードで紙幅全体で均一に塗料を掻き落とすには、より高度の制御と高性能の付帯設備が必要であり、それができてはじめて可能となる。

ブレードで掻き落とされた塗料は回収再利用されるが、やはりロスを生む。塗料が高価な場合は、例えばノーカーボン紙のカプセル塗料や感熱紙の発色塗料では、そのロスが問題となってくる。そこで必要な量だけ均一に塗布する方式が見直され、カーテンコーターが情報紙の分野で実用化されている。さらに、カーテン塗工は、一般印刷紙の塗工法としても興味をもたれており、情報紙からの技術移転である。

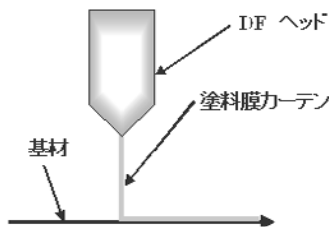
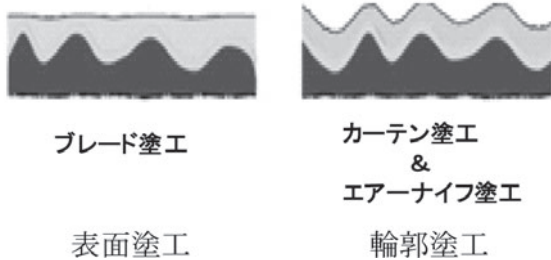


図 4.50 カーテン塗工のイメージ

その特徴は、設備が単純で（ブレードやアプリケータが不要、）操作性が良く（塗工量の調整が容易）、輪郭塗工（Contour coat）で塗工量を節約できることである。



(灰色部分：塗工層 黒色部分：原紙)

図 4.51 塗工方式による紙の断面モデル

輪郭塗工では、塗工層の厚さが均一なため、ノーカーボン紙や感熱紙では発色むらが起きにくい。一般の印刷紙においても、塗布量むらにより引き起こされる印刷むらがなくなる利点がある。ただ、塗料がカーテンになることが必要で、塗料濃度はブレード塗工には及ばない。

これらの塗工方式のほかに強光沢の塗工紙を製造するために、キャスト塗工が以前から用いられてきた。この方式が強光沢の写真用のインクジェット用紙の製造に用いられている。キャスト (cast) とは、一般的には鑄型に流し込んで成型することであるが、紙加工の分野では、塗料を乗せた紙を回転ドライヤーに貼りつけ（塗料面をドライヤー面に）、乾燥した後で剥がす方法で、ドライヤー表面の光沢と同じ光沢の塗工面が得られる。塗料がドライヤー表面に固定され形作られるのでキャストのイメージが拡大されたのかもしれない。塗料の塗布方式はいろいろあるが、ドライヤーに貼りつけることがポイントで、その一例を示す。（下図）。

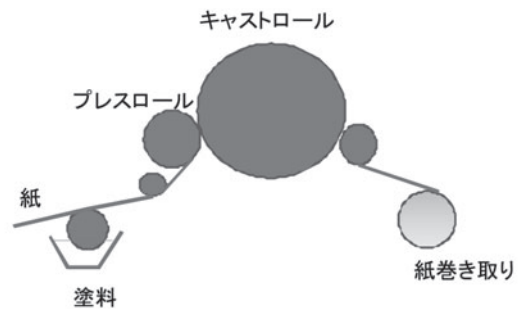


図 4.52 キャストコーターの一例

情報紙の製造には、エアーナイフ（ノーカーボン紙のカプセル塗工）、ブレード（感熱紙、ノーカーボン紙の顕色剤塗工、塗工インクジェット用紙）、カーテン（ノーカーボン紙のカプセル塗工、感熱層の塗工）、キャスト（強光沢のインクジェット用紙）等の塗工方式が目的に合わせて使い分けられている。

(3) 塗工紙の乾燥

表面に塗料が乗った紙をとどのように乾燥するかが次の技術となる。サイズプレスの場合は、水溶性の塗料が中心で、かつ、塗布量が少ないので、従来の回転ドライヤーに貼りつけて乾燥できる。コーターではドライヤーに貼りつけると塗料がドライヤーに付着する。このため非接触の乾燥システムが必要で、その一つが赤外線照射して乾燥させる赤外線乾燥である。

赤外線乾燥はコストが高く、予備的な乾燥としての

み使用され、残りを熱風により乾燥する。塗工機では通常片面ずつ塗工される。塗工面を上にしてロールの上を搬送しながら熱風を流し乾燥する片面エアードライヤー（インピンジメントドライヤー）が多く用いられている。次いで折り返してもう一面を塗工して同じように乾燥する。場合により最後にシリンドラードライヤー（抄紙機のドライヤー）をつけたす。片面乾燥の一例を図 4.53 に示す。

しかし、最近では乾燥においても、高速化、均一、高効率化が求められ、フローティングエアードライヤーが用いられてきている。これは図 4.54 のような熱風の吹き出しノズルを上下に配置し、その間に紙を通して行く。紙は上下のから噴き出した空気の中を浮かんで通る。

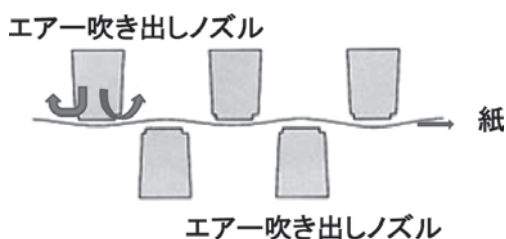


図 4.54 フローティングドライヤーの原理

このユニットを図 4.53 の搬送ロールの代わりに配置する。

(4) 無機顔料（填料）

塗工紙の品質には、塗料の構成成分である填料（無機顔料）とバインダー（接着剤）が重要である。填料としては、初期の塗工紙ではクレー（カオリン）が主として用いられた。しかし、日本では良質のカオリンが得られないことから炭酸カルシウムを積極的に使いこなしてきた。炭酸カルシウムは日本が豊富に持っている唯一と言える鉱物資源で、日本の炭酸カルシウムのメーカーは、鉍石を粉碎した重カル（重質

炭酸カルシウム）や、溶解後結晶や粒度をコントロールして析出させた軽カル（軽質炭酸カルシウム）を開発し、その使用を後押しした。炭酸カルシウムを主填料とした塗工紙が古紙として回収されパルプ原料になると、どうしても炭酸カルシウムが混入してくる。これは、酸性抄紙（pH 4）で分解してスケール等のトラブルのもとになる。このため、塗工古紙の利用の面からも日本では中性抄紙へより普遍的に転換が進んだ。

情報用紙では、その目的に合わせた填料の選択が行われる。インクジェット用紙では吸水性の要求からシリカやアルミナが使用されるケースもある。

(5) バインダー（接着剤）

もう一つの成分であるバインダーは通常、填料 100 部に対し 10 - 20 部添加される。初期には、にかわ、ゼラチンが使用された。1900 年になるとカゼイン（ミルクカゼイン）が用いられだす。1930 年頃よりロールコーターが普及し、塗布量を増すため塗料濃度を上げると塗料粘度が高くなり（問題となり）、カゼインに代わってでんぷんが使われだした。しかし、でんぷんは耐水性がないため、その耐水化剤としてメラミン-ホルムアルデヒド樹脂や尿素-ホルムアルデヒド樹脂が 1930 年頃から使用された。1950 年頃から合成樹脂ラテックスが使用されだす。最初は塩化ビニリデンで、1950 年代後半から SBR ラテックスが使用されだした。塗工方式がブレードで、高速化するとバインダーに対する要求も厳しくなり、バインダーメーカー間で品質開発競争が激化し、製品が特化して行った³⁸⁾。

情報用紙でもバインダーの選択は製品品質に大きく影響するので重要なノウハウである。一般的に SBR が主体であるが、たとえば、インクジェット用紙で PVA が選択的に使用されたりした（8.2 項参照）。

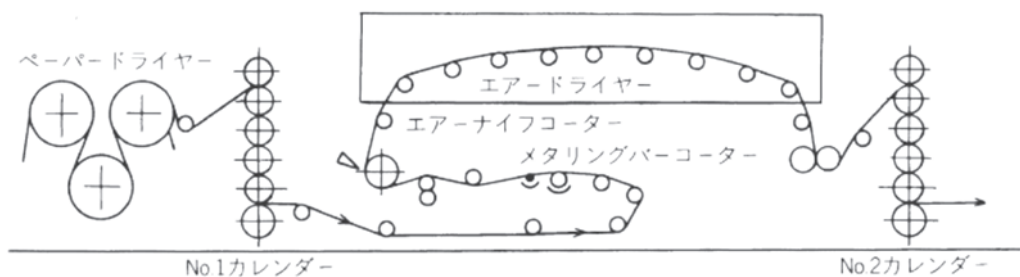


図 4.53 片面塗工のレイアウト

引用文献

- 1) 飯田清昭：新聞用紙製造技術の系統化調査 p.4
2008年3月 国立科学博物館
- 2) 通信白書 p.29 昭和54年3月 総務省
- 3) 平成12年度情報流通センサス報告書 平成14年
3月 総務省
- 4) 平成18年度情報流通センサス報告書 平成20年
3月 総務省情報通信政策局情報通信経済室
- 5) 本田 篤、矢口 忠平：光学的自動計測法について
紙パ技協誌 Vol.43, No.5 p.39 (1989)
- 6) 井上聡：最新抄紙技術の展望 紙パ技協誌
Vol.45, No.1 p. 81 (1991)
- 7) Stenius P.：フィンランドにおけるパルプ学・製
紙学の研究動向 紙パ技協誌 Vol.48, No.8 p.1
(1994)
- 8) 芦田昌之：製紙産業技術30年の変遷 ドライヤー
パート p.5 紙パルプ技術協会 (2004)
- 9) 住吉誠：製紙産業技術30年の変遷 ドライヤー
パート p.35 紙パルプ技術協会 (2004)
- 10) 石黒久三郎：紙の寸法安定性，特にカールについ
てII 紙パ技協誌 Vol.37, No.7 p.11 (1983)
- 11) 門屋卓：海外技術ニュース 紙パ技協誌 Vol.35,
No.3 p.66 (1981)
- 12) 坂本祥：NIP用紙の斜傾について 紙パ技協誌
Vol.66, No.2 p.51 (2012)
- 13) 特開昭59-31186号 “印字加熱定着方式の連続伝
票用紙”
- 14) 野村商事情報 (2011年8月)
- 15) 江口 晃、田島 俊美、藤田 得生、牧野 哲夫：抄
紙機ヘッドボックスの流動特性と紙の繊維配向
紙パ技協誌 Vol.47, No.7 p.77 (1993)
- 16) 坂東貴司、坂本 一秀、増田 弘、蓮池 牧雄、岩田
弘：三菱新型フォーマの開発について 紙パ技協誌
Vol.47, No.1 p.94 (1993)
- 17) 白倉透雄：高速新聞マシン 紙パ技協誌 Vol.52,
No.1 p.50 (1998)
- 18) 村川潤：ヘッドボックスに関する最近の設計思想
紙パ技協誌 Vol.53, No.12 p.45 (1999)
- 19) 小澤弘：8PM シムフロ-D ヘッドボックスの操
業経験 紙パ技協誌 Vol.54, No.1, P.76 (2000)
- 20) 酒井清和、富田蔵、永田紳一：オンライン紙配向
計 紙パ技協誌 Vol.48, No.3 p.52 (1994)
- 21) 永田紳一：誘電率の異方性測定を利用した新しい
オンライン繊維配向計の開発と実証実験 紙パ技
協誌 Vol.57, No.2 p.58 (2003)
- 22) 黒沢雅弘、古川郁子、澤本英忠、永田紳一：誘電
率異方性に基づく新しいオンライン繊維配向計の
開発 紙パ技協誌 Vol.63, No.6 p.77 (2009)
- 23) 阿部裕司、轟伸、竹内伸夫、坂本祥：紙の表面
繊維配向測定法 紙パ技協誌 Vol.49, No.5 p.71
(1995)
- 24) 阿部裕司：オンライン表面繊維配向計の開発 紙
パ技協誌 Vol.55, No.1 p.44 (2001)
- 25) 藤山道博：繊維配向自動制御システムの開発と実
用化 紙パ技協誌 Vol.63, No.3 p.48 (2009)
- 26) 横河電機情報 (2011年8月)
- 27) K.J.Niskanen：Evaluation of some fiber
orientation in paper J. Pulp Paper Sci. 15) : 6,
J220-224 (1989)
- 28) R.W. Mann, G.A. Baum, C.C. Habeger: Elastic
wave propagation in paper Tappi Journal
Vol.62, No. 8 p 115 (1979)
- 29) D.W. Vahey: Correlating the on-line
measurement of ultrasonic velocity with
strength properties Tappi Journal Vol.71, No.4
p.149 (1988)
- 30) S.S. Fine: Sonic sheet testing: its use in the
paper industry Tappi Journal Vol. 73, No.7 p.169
(1990)
- 31) B. Wennerblom: Twist wrap-causes and
remedies Tappi Journal Vol.75, No.4 p.97
(1992)
- 32) I. M. Hutten: Paper machine evaluation by fiber
orientation profile analysis Vol.77, No.9 p.187
(1994)
- 33) 原哲也：製紙産業技術30年の変遷 パルプ (2)
p.36 紙パルプ技術協会 (2009)
- 34) 結城幸一：製紙産業技術30年の変遷 サイズブ
レスーフインダー p.1 紙パルプ技術協会 (2005)
- 35) 水野明仁：三菱新シリーズ高速抄紙機 紙パ技協
誌 Vol.56, No.4 p.31 (2002)
- 36) 鴻野銃二郎：印刷用塗工紙の最近の技術について
(II) 紙パ技協誌 Vol.39, No.5 p.1 (1985)
- 37) 森田博文：製紙産業技術30年の変遷 塗工及び
仕上げ (1) p.1 紙パルプ技術協会 (2006)
- 38) 松井尚：製紙産業技術30年の変遷 塗工及び仕
上げ (2) p.1 紙パルプ技術協会 (2007)

5 | 1970年代までの情報用紙各論

1975年に中村は当時の情報用紙生産量を推定としている(表3.2)。2000年代の主力品種がその当時いかなる状況であったかは、3.2及び3.3項で紹介している。この章では1970年代以前の主力の情報用紙や期待されていた情報用紙の技術をまとめてみる。

5.1 統計機カード(パンチカード: Punched card or Punch card)

5.1.1 統計機カードとは

用語として統計機カード、パンチカード等が使われているが、基本的に統計機カードを使用したい。英語では、Punched card または Punch card が使用されている。統計機カードについては、佐伯が1970年に以下の解説をしている¹⁾。

「昭和35年~38年(1963年)は年率100%の高い伸びを示したが、43年(1968年)は5%の伸びに止まった。この伸びの鈍化はパンチレスカードとしてOCR用紙やOMR用紙の普及や、国産電算機メーカーがカードシステムから紙テープシステムへの移行や、情報保存の媒体としてのパンチカードから磁気テープへの変更などが考えられる。現在、年間約60億枚、400枚/kgとして、年間15,000トン、月間1,200トンである。」最初の情報用紙と言える統計機カードとはいかなる紙であったそれを紹介してみたい。

幅8.2cm、長さ18.7cmで一枚2.5gのカードである。必要な情報の箇所をパンチで穴をあけ(1個の穴が1個の情報に対応)、その穴を光が通り抜けることで情報が読み取られる。このカードを連続して読み取り装置を通すことにより、コンピュータに入力される。余談であるが、このシステムを世界に広げたのがIBMで、筆者が入社した年(1960年)に会社にIBMのコンピュータが導入された。その能力は現在のパソコン1台にも及ばなかったと思うが、そのために一部所(計数室)を新設し、大勢のプログラマーとキーパンチャーを抱えていた。このパンチの作業は単純労働で、腱鞘炎が多発し、労災問題ともなった。

このカードの規格は当然アメリカのもので、以下の通りであった。

5.1.2. 統計カードの規格と特性

(1) E.1.A. スタンダードの概略(米国電子産業協会)¹⁾

(a) カードの寸法、状態

寸法並びに公差の指定 エッジがなめらかでバリのないこと。直線度、平行度も指定通りのこと。

高さ 3.247~3.257 インチ (82.47~82.73mm)

長さ 7.370~7.380 インチ (187.20~187.45mm)

角度 $90 \pm 5/60$ 度

(b) コーナーカット

寸法並びに公差の指定場所は上左端。長辺に対して60度。

長辺から 0.250 ± 0.016 インチ (6.35 ± 0.41 mm)

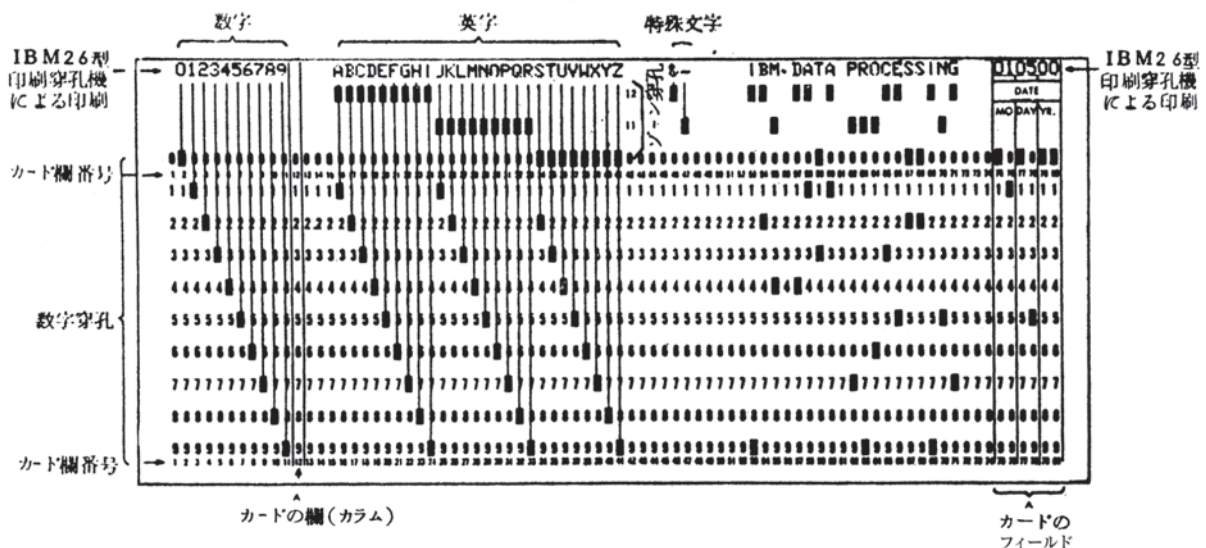


図 5.1 統計機カード (IBM カードの標準コード)¹⁾

短辺から 0.433 ± 0.016 インチ ($11.00 \pm 0.41\text{mm}$)

(c) 紙目

繊維の縦方向がカードの長手方向であること。

(d) 傷

光電導性の微粒子、粘着性の汚れ、抄き孔、薬品の残りカス、繊維のカス、ほこり、電流を妨害したり装置を極端にすり減らす物質があってはならない。

(e) パンチホール

穴および形や大きさ、場所の指定。

(f) 印刷

インキの着き過ぎや印圧が強過ぎることでカードを曲げる要因にならないこと。印刷は正確な位置に印刷されて、欄の文字が正確に入るようにすること。インキが乾いた時に電導性や塊がないこと。また、送りロールやブラシに附着しないこと。

(g) カール

20~75% R.H. の湿度において、次に示すカールの程度以内であること。

A. 紙目に添った反り (MD カール) 0.12 インチ (3.05mm)

B. 紙目に直角の反り (CD カール) 0.25 インチ (6.35mm)

C. 紙目に対角線のプロペラ反り (ツイストカール) 0.25 インチ (6.35mm)

(2) カードの紙質

(a) 材質

100%ケミカルパルプであり、メカニカルパルプを含まないこと。

(b) 重量

24 インチ × 36 インチ ($609.6\text{mm} \times 914.4\text{mm}$) 500 枚が $99 \pm 5\%$ ポンド ($44.9 \pm 5\%$ kg)

(c) 厚味

0.007 ± 0.0004 インチ ($0.1778 \pm 0.001\text{mm}$)

機械が正確にカード処理するためにはすべてのカードが均一な厚さのものでなければならない。

(d) 破裂強さ (ミューレン)

最低 5.5 ポンド ($3.8\text{kg}/\text{cm}^2$)

(e) 剛直度 (テーバー)

紙目の流れにそって $17.0 \text{ g}/\text{cm}$ 以上

横の流れにそって $8.0 \text{ g}/\text{cm}$ 以上

カードをデータ処理装置に送り込む場合に、カードが曲らずにどれほどの応力に耐えられるかを剛直度 (硬度係数) で測定する。

(f) エージング後の耐折強さ

105°C 、72 hr エージングした後 MIT 耐折度が、紙

の流れ方向で 25 回以上のこと。なお平均値の範囲は 25%以内とする。カードは貴重なデータを長い期間保管しておく媒体でもあるから、人工的に約 20 年の経過状態にして検査する。

(g) 引裂き強さ (エレメンドルフ)

どちらの方向にも最低 125g のこと。

(h) 灰分

2%以上有ってはならない。紙中に混入する物質が多すぎると粉が多量に発生して、カードを穿孔するパンチダイスを摺り減らす。

(i) 酸性度

pH = 5.0 以上のこと。紙に含まれる酸が多いと、時が経つにつれてカードの質が急激に老化する。

(j) 摩擦係数 (すべり度)

静止摩擦 0.35~0.45

動摩擦：静止摩擦の 75%以上のこと。

この検査はカードをデータ処理装置に送り込む場合に、どうしたら最も能率的に送りこめるか、またカードを手で取扱う場合どうしたら扱い易いかを調べるために行なわれる。

(k) 伸縮度と水分

20% → 75% → 20% R.H. の湿度変化による伸縮度

縦 0.25% 以下

横 0.70% 以下

水分量 4.5~6.5% (平衡水分含有量)

湿度の変化によりカードの水分が変り、寸法や重さに変化して、所定の印刷位置にパンチされなかったり、ミスリードしたり、カードに反りやふくらみが出て、データ処理上能率に支障を来すことがある。このため、寸法や形の変化は最少限に抑えなければならない。

(l) 筆記性

万年筆でペン書したとき、文字や線がクリヤーで読み易いこと。

(m) その他

この他、更に多くの検査が試験室では行なわれる。例えば電氣的接触に欠陥がなきよう電氣的テストや、温湿度の環境変動による検査や印刷インキの電導度、蓄積量、乾燥度、粘性、密度均一性、色調等々。

5.1.3. 要求品質に対する考察

これらの規格を考察してみる。

(1) 紙の強度：当時として最高級のパルプ (針葉樹のケミカルパルプ) を使用することで初めて強度要求を満たすことができる。しかも、20 年間の保存を想定した加速試験で一定の強度を保持することを要求し

ている。1960年頃は、日本においてこの基準を満たすパルプ（針葉樹の漂白クラフトパルプ）の生産は非常に少なく、国産の初期では高価な輸入パルプを使用したと推測される。

(2) 酸性度：1800年代後半から紙が大量生産されるようになると、抄紙の際に硫酸アルミニウムを添加することが普及した。これにより抄紙しやすくなり、トラブル（例えばピッチトラブル）があると特效薬のように使われた。硫酸アルミニウムにはどうしてもフリーの硫酸が残存し、抄紙の際のpHが4.0あるいはそれ以下になる。それをpH = 5.0で抄紙するには特別の配慮が必要であったであろう。カード用紙の生産者であった巴川製紙所や特種製紙はコンデンサーペーパーのメーカーであり、中性に近いpHで紙を抄くノウハウを持っていた。同時に彼らは電気的な試験もクリアする技術も持っていた。

(3) カードの重さと紙厚：

カード重量：44.9kg/ (61x91.4x500) 換算すると
 $44.9 \times 1000 / 279 = 162 \text{g/m}^2$

厚さ：0178mm

これはかなり重い紙である。例えば新聞用紙は42g/m²、PPC用紙は64g/m²である。厚みの変動が0.1778 ± 0.001mm (± 0.6%に相当) は非常に厳しい。現在のPPC用紙では89 ± 3ミクロン (± 3.4%に相当) である。当時はオンラインのモニターもなく、全く勘と熟練で達成していたのであろう。

(4) カードのカール：紙のカールコントロールは、PPC用紙の品質改善で重要な働きをした技術である。その前の時代では、カールのコントロールの文献等も見当たらず、経験による職人芸の域であったと推測される。

(5) 伸縮度と水分：紙は乾燥過程で収縮する。これが、湿度が高くなると伸びてくる。従って、紙の伸縮度をコントロールするには、乾燥過程での収縮を管理する必要がある、現在でも重要な管理項目となっている。また、製品水分を、4.5-6.0%に管理するのは現在では標準技術と言えるが、オンラインの計測器のない時代にどのように管理したのか興味を持たれる。当時の新聞用紙や印刷用紙の製造では、4-6%の水分で止めるのが難しいので、ほぼ水分がない状態にまで乾燥していた（過乾燥の状態）。

(6) まとめ

当時の抄紙機は、幅は2-3mで、抄紙速度は100-200m/分であったと考えられ、現在のものに比べると小型であるが、モニタリングの計器はなく、制御の精度も大きく劣っていた。このようは装置で製品の規格を満足するには、特殊紙専門メーカーが苦勞の末経験と職人芸で造っていたとしか考えられない。ちなみに、1970年の推定生産量は15,000トン/年である。ここで感心するのは、これに先立つ時代のアメリカの製紙産業がIBMの要求を受け、このような紙を開発する底力（見本をまねて作るのではなく）を持っていたことである。それがアメリカのコンピュータ（当時はまだ統計機）の世界展開を支えるインフラの一つとなっていたのであろう。

5.1.4 統計機カードの歴史

この統計機カード（パンチカード）は如何にして生まれたのであろうか。パンチカードの歴史は、機械機の織をコントロールするために、穴をあけた紙のロールを使ったことから始まった。これが1801年にフランス人のJoseph Marie Jacquardによりカードを用いるシステムに大きく改良されジャカード織機（Jacquard loom）となった。カードの穴の位置で織のデザインをコントロールし、カードを替えることでデザインを変えることができた。紙ロールに穴を開けるアイデアは自動ピアノにも使用された。紙のロールに穴を開け、この穴が読み取り装置（tracker bar）の上を通るとそれに相当する音が鳴らされる。1900年初頭に欧米で使用された。これは後のさん孔テープにつながる可言えよう。

これに対して、Herman Hollerithは機械で読み取ることのできるデータの記録媒体を探した結果、テープでなくカードにたどり着く。そして、これが、それまでの機械をコントロールするためでなく（プログラムでなく）、データの記録のために初めて使われた例となった。彼は、このシステムを、1890年のUS census（人口動態調査）に使用した。このため、パンチカードはHollerith cardとも呼ばれることがあった²⁾。そして彼の起こした会社が後のIBMになる。

IBMはパンチカードによるデータ処理システムを発展させ、パンチカードは計算機（Tabulating machine）におけるデータの入力、保存、計算処理の一次媒体となった³⁾。「1937年にはIBMはEndicott, N.Y.の工場で毎日500万から1000万枚のカードを生産していた」と言われている。1950年頃にはIBMのシステムは、政府、大企業に広く使用されていた。こ

の原紙は、インタナショナルペーパー、クラウンツェラバック、スコットペーパー等の製紙会社が供給し、IBMでカードに加工していた。これらの製紙会社は1920-30年頃に設立され、その後アメリカの製紙産業の発展とともに大手の製紙会社に成長していく⁴⁾。このアメリカの製紙産業の発展を別章にて考察してみたい。

日本での導入は大正12年国勢院と鉄道省で、画期的な早さでデータを処理する機械として注目を集めたとされている。そして、鉄道省ではその使用量が年間3500万枚にも達したと言われている。太平洋戦争で輸入が途絶えたことで日本の特殊紙メーカーが国産化に動き、阿部川製紙と特種製紙が苦勞して成功したとされている⁵⁾。その後主力メーカーとなる巴川製紙所の年表では、1949年に生産開始となっている。

5.2 通信に使用された情報用紙

5.2.1 さんこうテープ (さん孔紙)

パンチカードはコンピュータへの入力のための紙(特殊紙と定義すべきもの)であり、さん孔テープは、通信のための入力及び出力の特殊紙であった。篠田、長井は1959年に以下のように記述している⁶⁾。

「電気通信は1837年にアメリカ人、サミュエル・モールスによって発明されたものであるが、それから18年後に電信機をはじめわが国にもたらしたのは、アメリカの水師提督ペルリである。ペルリは1854年(安政元年)の再度の来朝の際に、エンボッシング・モールス電信機を幕府に寄贈した。しかし、その当時は、いわゆる幕末の物情騒然とした時代であったので、このような文明の利器も、かえりみられず、空しく数十年を経過してしまっただけで、明治維新の大業が成就したときに、政府は廟議一決して電話事業を行うことを決定し、イギリスより電信機を購入するとともに、技師を雇い入れた。これより電気通信に関する諸般の研究がはじめられるようになったが、これが現在のように盛んになったわが国の電気通信事業の礎となった。わが国に電気通信事業がはじまって以来それに使用される電気通信用紙は、すべて外国よりの輸入に依存していたが、このような重要な用紙をいつまでも外国に依存することは、国策的見地より問題があったので、なんとか国産化しなければならないという気運が早くより生じていた。しかしながら、電気通信用紙は、精密な通信機に使用されるために、紙の厚さや紙の幅はもとより他の諸特性についても極めて厳格な規格が必要とされ、従って、この用紙の製造は非常に

高度の技術を要するので、その国産化の道は極めて厳しかった。その後、政府の指導奨励のもとに研究が進み、現在では完全な国産化が達成されている。電気通信用紙を大別すると、送信用と受信用とに分けられる。」

この入力の代表的な紙がテレタイプさん孔紙であった。

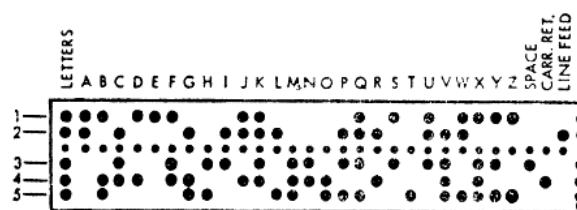


図 5.2 さん孔テープ
テープに開けられた孔が文字に対応している。

さん孔紙の特性に関しては、佐伯¹⁾、篠田・永井⁶⁾の解説に詳しいが、その一部を引用する⁶⁾。「さん孔紙は17.5mmの幅をもっており、送受信に際しては、文字をテレタイプさん孔機による、さん孔によって表示し、電文を形成するので、さん孔機の保守のため、適度に油浸されている。さん孔は、テープ上に印字するという目的があるために、完全に打ち抜かないで、半さん孔の形にとどめ、孔に馬蹄形の紙片を残すように行われる。含油度が高いと、べとべととして作業を困難にし、反対に含油度が低いと、さん孔機の鋼針を損傷するので、適度の含油度をもっていることが必要である。さん孔機の鋼針の保守は、この紙にとって重要な性質であり、鋼針を摩耗させるような不純物を含むことは許されない。」

その物性に関する規格の一部を示す。

紙テープの紙質

材質：すべて化学パルプで構成し、地合均斉にして未叩解繊維やスライム斑点などを含まないこと。

引張強さ：6.0kg/15mm幅以上のこと。

耐折強さ：500回以上のこと。

爽雑物：50個以下のこと。これは1m²当りに0.16mm²以上の大きさの黒点の個数。

灰分：1%以下のこと。

石英グリット分：0.04%以下のこと。

含油量： 一般用 17 ± 5%

電算用 10 ± 3%

これも、統計機カード用紙と同じ、もしくは、それ以上に厳しい規格で、統計機カード以上に紙の強度を要求している。

さん孔紙テープの用途は其の90%以上が通信用テレタイプ用紙であったが、近年、電算機の周辺機器用として大きく伸び、また、新聞社で自働鑄造機用にも利用されているとある¹⁾。しかし、その後の通信の技術革新がさん孔テープを消滅させていく。

5.2.2 電気感応記録紙（静電記録紙、放電記録紙等）

一方、通信の出力用として注目されていたのが中村の表（表3.2）にある電気感応記録紙（具体的には放電記録紙であり静電記録紙）である。さん孔紙の使用されるテレタイプは、文字を電気信号に変換し、受信後デコードして文字に戻す。これに対して、紙面を画像情報としてそのまま電気信号に変換し、連続して送られてくる電気信号を直接紙の上に出力しようとするファクシミリが注目され、それに使用されるのが電気感応記録紙である。中でも、静電記録方式は電子式プリンタ、ファクシミリ、高速レコーダ等の用途に伸びると期待されていた。しかし、いずれも衰退の運命となったが、電気信号対応の草分けとして紹介すると共に、

なぜ衰退したか考察してみたい。

少し余談になるが、1962年に木練⁷⁾は通信に対応できる電気記録紙として表5.1をまとめている。そしてその内の一つ電子謄写原紙につき以下のようにコメントしている。

「文字や図表等のガリ版切りが自動化できたら」、更に一步進んで、「各官庁、会社と出先機関との間の文書の記録通信がそのまま直ちに謄写原紙または複写原紙として多数の印刷ができたなら」これは従来の謄写原紙をガリ版で切った経験のある人は一度は考えるほど所謂ガリ版切りには悩まされ、これらの読み合わせ、労力等は軽視できないものがある。また日常事務における複写作業の仕事量は益々多く複雑化している。なお写真、数表、精密な設計図などは一般オフィスにおいては複写原紙を作ることはほとんど不可能とされていた。本記録紙はこれらの要求を満足する謄写あるいは複写原紙である。」

この電子謄写原紙は、電気信号をそのまま謄写版の原紙に出力し、謄写版で印刷しようとするものである。残念ながらこれは商品として伸びなかったが、通信の出力がらみの事務の合理化が重要な課題であったことが読み取れる。

表 5.1 各種乾式電気記録紙の比較⁷⁾

品名(種類)		放電記録紙	電子謄写原紙	電子記録紙	静電記録紙
項目	表面記録層	TiO ₂ (顔料) ZnO (") その他(")	TiO ₂ + 樹脂 (顔料) (バインダー)	ZnO + 樹脂 (光半導体)(バインダー)	樹脂 (誘電体)
	支持体	半導体(カーボン抄込) 絶縁体(普通の紙)	ビニール又は紙 半導体(カーボン抄込) 複写原紙 オフセットマスター	紙, 複写原紙 オフセットマスター	紙, 複写原紙 オフセットマスター
記録のプロセス		表面記録層を放電破壊	放電によるせん孔記録	荷電→露光→現像→定着	荷電→現像→定着
感度	記録電流 記録時電圧	3~30mA 20~250V	5~30mA 50~300V	コロナ放電(荷電) 6000V以上 (")	1μA 以下 400~1500V
	走査速度	50~200cm/sec (一般) 10m/sec	50~100cm/sec	約50lux.sec (増感)市販 ASA 1~20(文献)	数m~数10m/sec
画質	解像度l/mm	約10~25	約10~20	約 10~50	約 10 以上
	中間調 記録層の色 記録の色	4~6 白又は灰色 黒	3~5 灰色 インキにより変る	5~7 白, ピンク, オレンジ 黒(トナーにより変る)	4~6 白(支持台の色による) 黒(トナーにより変る)
記録針の消耗 暗室の要, 不要 主なる用途		あり 不要 ファクシミリ, 一般計測	あり 不要 ファクシミリ, 謄写原紙, 複写原紙	なし 必要 複写原紙, オフセットマスター	なし 不要 ファクシミリ, 高速度記録

なお、表中の電子記録紙は5.3で電子写真として紹介する。残りの放電記録紙、静電記録紙を以下に説明する。

(1) 放電記録紙

放電記録紙は、1930年代半ば米国で発明され、間もなく同用紙を使ったファクシミリが発表されたとされている。その原理は、基紙の上に着色導電層を設け、更にその上に記録層（白色隠蔽層）を設けたものである。

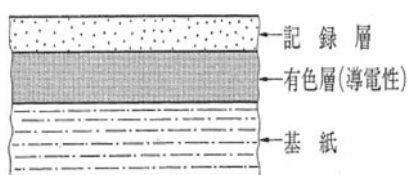


図 5.3 放電記録紙の構成

記録は、記録針と導電層との間で放電を起こさせ、白色隠蔽層を破壊し下層の着色導電層を露出させることにより行う。現像・定着などを必要としない direct imaging であり、比較的簡便な記録方式として広く使われていた（例えば船への天気図の電送）。類似の紙として蒸着記録紙があり、1955年頃に西独で開発された。放電記録紙との違いは、白色隠蔽層がアルミニウム蒸着層に代わっている点である。

具体的には以下の処方⁸⁾が記されている。記録層は、ゼラチンあるいはビニル系樹脂中に酸化チタン等の白色顔料を分散して、膜厚約 $10\mu\text{m}$ に塗工する。 $10^{6-8}\Omega\text{cm}$ の抵抗率にすることが必要である。有色層（導電性塗工層）は、導電性カーボンブラックを硝酸セルロースあるいは酢酸ビニル共重合体をバインダーとして塗工する。膜厚を $10-30\mu\text{m}$ に塗工し、表面抵抗を $450-650\Omega/\text{cm}^2$ に調整する。

用途は、ファクシミリが主であったが、プリンター、チャートレコーダー向けもあった。放電記録紙の印加電圧は、走査速度 $0.5-150\text{cm/秒}$ の場合で $50-350\text{V}$ の電圧で良好な記録が得られた。また、記録電力は通常の記録速度 $5-100\text{cm/秒}$ の範囲で $0.5-6\text{W}$ 位であった。上に述べたようなタイプの放電記録紙は、記録の際の放電によって異臭、カスなどを発生し、記録のシャープネスなど難点も多かった。また記録針の摩擦などの欠点もあった。この記録方式では、記録針を多針化すると印字トラブルを起こし易くなるため高速化・高画質化が難しく、新たな記録方式の登場を待つしかなかった。

(2) 静電記録紙

静電記録紙は、基紙を導電処理（導電材を抄きこむ、あるいは塗布する）した後に片方の面に誘電層（約 $10\mu\text{m}$ ）を塗布した構成である。記録方式は、紙の幅方向のライン上に並んだ多針電極（ラインヘッド）が用紙の誘電層に接触し、電極一本毎に高電圧のパルスが印加され、放電により誘電層に電荷を与える。これにより静電潜像が形成され、その後、この静電潜像をトナーで現像することで画像が可視化され、熱・圧力等により定着されるというものである（電子写真に類似）。

静電記録方式は、高速、高画質、広幅化が容易という特徴から、1960年代から注目され、1980年前後からのファクシミリの高速化の動きに対応しその主流の一つになった。また、プリンタープロッタ分野で一時期新たな地位を確立することになったが、装置も記録用紙も共に高価なことから衰退していった。

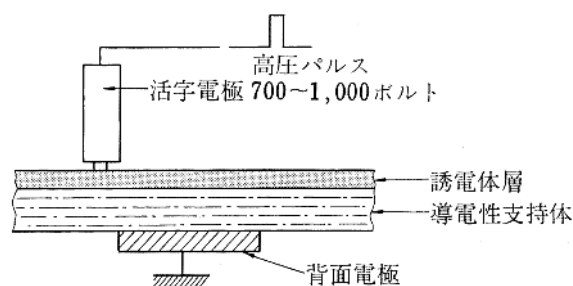


図 5.4 静電記録の原理

その詳細は中村⁸⁾、木練⁷⁾の文献に詳しいが、湿度変化に対し電気的な特性を維持する苦勞・工夫が記されている⁸⁾。

「誘電体層の役割は、現像時に十分な記録濃度を保持できるだけの電荷を表面に保持し得るだけの抵抗 ($10^{12}\Omega$ 以上) を持つことである。また耐圧が高く、高電圧印加時に絶縁破壊を起さぬこと、装置との摩擦による帯電を起しにくいこと、現像剤による地汚れを起さないこと、加熱定着時に悪臭を出さないことなどの特性が要請される。実用上は塩ビ・酢ビ共重合体、メタアクリル系樹脂、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、アルキッド樹脂、ポリエチレンなどが使われている。」

「2層タイプにおいて基紙の体積抵抗率は $10^{10}\Omega/\text{cm}$ 以下の抵抗が外気湿度の変化に対して保持されなければならない。そのためには、無機塩類、低・高分子電解質の含浸が必要であり、ポリスチレンスルホン酸塩（例えば巴川オリゴZ）、第四級アンモニウム塩などの含浸により、 $10-90\%$ R.H. の湿度変化に対して抵抗変化が2オーダーに押えられることが可能に

なった。」

静電記録の特徴は高速記録（文字・ビットが10万個/秒程度）が可能、記録に必要な電力が少なくすむ（電圧600～2,000V、電流 μ A以下）、電極の消耗が殆んどない、記録時に臭い、カスの発生が無い、更に暗室を必要とせず紙が自然紙様であるなどの利点が多い。欠点としては、コントラストの高い画像が得られるが、中間調がでにくい（普通4～6階調）、湿度の影響を受け易いなどがあげられている。

その一つの用途として、騒音、印刷速度の制限がある機械式出力プリンタに代るものとし静電記録紙を使った電子式ラインプリンタ、あるいは図形記録を行なうプロッタなどが1960年台から登場した。さらに、画素形記録が高速でできるため、漢字のように複雑な構成、種類の多いものに好適で、静電記録紙が漢字情報処理システムの出力記録用として使われ始めた。「静電記録方式がファクシミリに応用され始めたのは1968年頃からであり、以後着実に伸長している。現在は文書連絡用、電報集配信用、地方自治体では戸籍謄本、抄本印鑑証明などのサービスで各官庁、企業、銀行、証券会社などの利用は延びる一方である。近い将来には、加入ファックス、ホーム・ファクシミリなどへの発展が予測されている」⁸⁾とされた。

このように1970年代に注目されていた通信の出力に使用された紙は、通信システムの技術革新により使用されなくなった。

5.3 複写システム

表3.2の生産統計をベースにする。その表で感光記録紙との分類があるが、これは事務用複写機で使用される紙である。PPC用紙もこのカテゴリーに入る。1974年（昭和49年）の量が m^2 で記されているが、それらを他と比較するため重量で推定してみる。

ジアゾ複写紙が約15億 m^2 /年（推定約11万トン/年）

電子写真 1.2億 m^2 （推定約1万トン）

一方、現在のPPC用紙消費量は140万トン/年、内国産100万トン/年と言われている。この転換期が1970年代なので、その様子をもう少し調べてみる。

5.3.1 ジアゾ複写紙（感光紙）

ジアゾ感光紙は、所謂青焼きであり、1951年にコピーが複写機として発売した。この複写のプロセスは次の通りである。まず、ジアゾ化合物が塗工された感光紙の上に、原稿（高光透過性の紙、例えばトレーシ

ングペーパー、の上に情報が記されたもの）を重ね、紫外線を照射して、非画線部のジアゾ化合物を分解し潜像を形成する。次に、感光紙の画線部に相当する部分に残ったジアゾ化合物を現像剤により青く発色させて複写物を得る。保存性が悪く紙が湿るなどの問題があったが、大型化が容易、寸法精度が高いことから設計製図用途では、今でも使用されている。

また、ジアゾ方式では、原稿として光透過性の高い用紙が必要であり、通常トレーシングペーパーや樹脂含浸した透明紙が、第二原図用紙として使用されていた。

5.3.2 電子写真

この事務複写機の領域へ電子写真が参入してくる。その一つのタイプが感光剤（ほとんどがZnO）を塗布した感光紙を用いるもので、Coated Paper Copier (CPC) と呼ばれた。RCA社が開発したElectrofaxタイプ（狭義の電子写真）である。

酸化亜鉛は微細な結晶（ $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{cm}$ ）になると著しく電気抵抗を増す（ $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上）。コロナ放電などで負の高電圧を加え、更にその上に酸素マイナスイオンを蓄積させて荷電すると、その表面には負の電荷が蓄積される。これに光を照射すると、酸化亜鉛の抵抗が減少するので、表面に付いていた電荷が消滅するが、未露光部の電荷はそのまま残る。すなわち、静電潜像ができる。それを乾式または湿式で現像する。

乾式ではトナー（着色樹脂粉末で多くの場合黒）とキャリア（鉄粉）を混合したものを用いる。樹脂は鉄粉との間で摩擦帯電により正帯電するものが選ばれる。このような混合物（現像粉）を酸化亜鉛にふりかけると、電荷が残っている部分に反対電荷を持ったトナーが電気吸引力によって付着し、光の当たった電荷の残らぬ部分はトナーが付着しない。付着したトナーを熱で融着するか、溶剤で溶着固定することにより現像定着が行われる。湿式では、トナーを高抵抗の石油（アイソパー）中に分散し、その中を、酸化亜鉛紙を通過させると、電荷を帯びたトナーは電気泳動により酸化亜鉛の荷電部分に付着する（現像）。また、溶剤の逸散により定着が行われる⁹⁾。

もう一つがいわゆるゼロックスタイプでPlain Paper Copier (PPC) と呼ばれるものである。原理は1938年のカールソンの発明になるが、その後研究を重ねられ1948年にゼログラフィ法が確立され、1950年に米国ハロイド社（現ゼロックス社）から商品化された。更に、1959年米国で事務用普通紙複写

機「Xerox914」が発売された。日本では、1962年同機が発売されPPCの時代が始まった。これに対して日本の事務複写機メーカーはRCA社の技術供与を受けて、Electrofax方式のいわゆるCPCで対抗してきたが、1970年代に入るとゼロックスの基本特許切れに伴い、キャノン、小西六工業、リコー等が続けざまに低価格の複写機を投入し、PPC市場は成長時代を迎えることになる。この1970年代の事務用複写機の生産台数を示す¹⁰⁾。

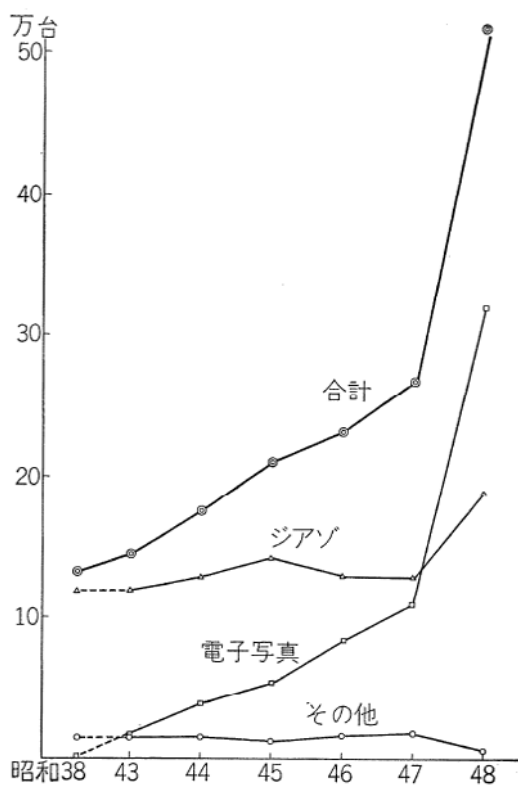


図 5.5 複写機を生産台数

このグラフを中村は以下に解説している。「昭和48年(1973年)度には電子写真がジアゾを超越し首位となっている。電子写真機械の生産台数のうち、PPCが約1/3、CPCが2/3と思われる。ZnOがコピー用紙として20年近い歴史を持ち、PPC方式にくらべて、多くの欠点を持ちながら今日もなおその稼働台数がPPCよりも多い実情は数多くのメリットを持つことにはほかならない。特徴を列挙すると光伝導体が比較的安価でコピー用紙も安価、機械も安価にできる。ただ紙が重く、自然紙感が少ない。PPCは機材の安い普及形と、高性能の印刷機との区別がつかぬものとの両極化の方向が予想される。一方CPCが機械コストダウン、画質の向上、軽量化、自然紙感を持たせるなどが今後の課題であり、キャリアレストナー、キャリア

レス・ヒーターレス化の方向におのずと進むことが予測される。PPCの普及率は現在、シアゾ並みにまできているといわれ、今後の事務複写機分野での技術革新がどのような形で行なわれるか、今後の課題として興味がある問題である。」

この中からPPCが抜け出してきたわけである。その様子は6.2で紹介する。

5.4 OCR用紙

コンピュータの普及に伴い入力に統計機カードが用いられてきたが、いかんせん高価であり、使用量が増えるとより安価な入力システムが求められた。それに代わるものとしてキーボードからの直接入力も普及していく。一方、現場で発生した原票から直接入力するためのシステムとしてOCR(Optical Character Reader)、OMR(Optical Mark Reader)、MICR(Magnetic Ink Character Recognition)が開発された。OCRは記入された文字や数字を、OMRは記入されたマークを光学的に読み取りコンピュータに入力する。MICRは酸化鉄を含む磁気インクで記録された情報を読み取り入力する。これらの中でOCRについて概説する。

開発はアメリカで、1955年に最初のOCRがリーダーズダイジェスト社に納入され、その後改良が加えられ電話会社や航空会社で伝票やチケットの入力で実用化された。さらに1965年にはアメリカの郵便局も使用しだした。

日本では1965年の国勢調査での利用が最初であった(この時代、日本はすでにアメリカのすぐ後に続けるまでに力をつけてきていることが読み取れる)。次いで、電力、ガス、生命保険さらに官公庁の一部でも使用され出し、普及が期待された。製紙会社としては、紀州製紙、特種製紙、巴川製紙所、阿部川製紙(中堅規模のメーカー)が開発を進めた。しかし、ハードメーカーが使用時のトラブルを恐れることから、用紙や印刷に対し厳しい品質管理を要求し、ユーザーも神経質になっていたため普及は限られていた。また、装置が高価であり、当時はまだ技術的な問題(カナと数字のみで、手書きには強い制限が付いていた)も多くあった。生産量は統計が取られておらず、1980年頃で1000トン-1100トン/月と推定されている¹¹⁾。1990年よりOCR、OMR、MICR等と合わせて「その他の情報用紙」として統計が取られてくるが(表3.1)、現在では4万トン/年で、情報用紙の3%弱である。結局、入力システムとして期待されたが大きく伸びな

かったと言える。

それではどのような紙であったか。光学的に読み取るため、紙は白もしくは淡色（例えば白色度76%）で、裏からの影響を受けないように高不透明度が求められた（不透明度81%以上）。また光沢はとくにつけないようにする（ギラギラしない）。当然のことながら塵の混入は誤読の原因となるので厳しく管理された。読み取りのため機械を通るので、統計機カードほどではないが腰（剛直性）が求められ、厚い（重い）紙であった（坪量 84g/m²から157g/m²：最初の国勢調査の用紙は152g/m²）。摩擦係数（用紙のフィードを一定にする）、電気抵抗（静電気によるダブルフィードを防ぐ）もコントロールされた。紙の湿度変化による伸縮度合いは印刷の精度に影響するので、それを抑えることが重要な管理項目であり、メーカーのノウハウであった。ミシン切れや破損を防ぐために各種の強度も要求された。

このように使用されだした頃は品質要求の厳しい特殊紙として生産されていたが、見た目では普通の紙と変わらないことから価格の安い製品（品質管理の基準の低い製品）が主流となっていった。さらに、読み取り機の性能が向上し、紙への要求のレベル（例えば塵の混入）が下がってきた。結果として、高度の正確さを求める際にのみ高品質のOCR用紙が使用されている（例えば大学センター試験）のが現状である。なお、この項は文献11)等を参考としている。

引用文献

- 1) 佐伯忠夫：電算機用紙について一考察 紙パ技協誌 Vol.24, No.4 p.9 (1970)
- 2) The Early Office Museum ホームページ (2011年12月)
- 3) The U.S. Computer Printer Industry : Erwin Tomash ISBN 2-9502887-3-1, Paris, mars 1990 ; volume 2, p.287-315
- 4) The U.S. paper industry and sustainable production: Maureen Smith (1979) MIT
- 5) 安田勝彦：情報産業用紙 p.51 (1981) 紙業タイムス
- 6) 篠田 鎌、永井 勇一：特殊紙－電気絶縁紙・電気通信用紙・乾式放電記録紙 紙パ技協誌 Vol.13, No.7 p.103 (1959)
- 7) 木練 清蔵：特殊記録紙の二三について 紙パ技協誌 Vol.16, No.4 p.368 (1962)
- 8) 中村孝一：情報産業と紙 (II) 紙パ技協誌 Vol.29, No.2 p.6 (1975)
- 9) 中村孝一：情報産業と紙 (III) 紙パ技協誌 Vol.29, No.3 p.3 (1975)
- 10) 中村孝一：情報産業と紙 (IV) 紙パ技協誌 Vol.29, No.4 p.4 (1975)
- 11) 安田勝彦：情報産業用紙 p.69 (1981) 紙業タイムス

6 | PPC 用紙の技術開発

6.1 PPC の原理と PPC の発展

PPC 用紙は年間 80-100 万トン生産され、輸入紙も合わせると市場は 140 万トンになると言われている。一見、PPC 用紙は何の変哲もない普通の紙に見えるが、PPC (コピー機) で紙詰まり等のトラブルが起きないように、いろいろの技術開発がなされてきた。20 年前には頻繁に紙詰まりを経験したと思うが、最近ではまず起きない。これが技術開発の成果であり、その最大のものは 4.4 項のパルプ配向性管理の技術である。それも含めてこの章でまとめてみる。

6.1.1 PPC の原理

PPC の原理を、ゼロックスのシステムにより説明する¹⁾。

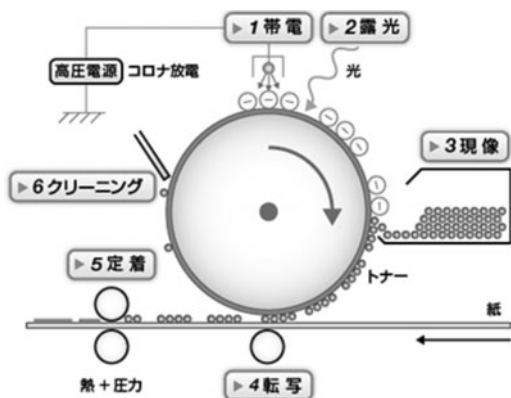


図 6.1 PPC の原理

①帯電

ドラムとも呼ばれる「感光体」の表面全体に、コロナ放電によりマイナスの電荷をのせる。

②露光

感光体表面の印刷されない部分に光を当てて、電荷を逃がす。これにより印刷される部分とされない部分につき、電荷による潜像ができる。

③現像

ドラム上のマイナスの電荷の残っている部分にプラスの電荷をもったトナー粒子を吸引させる。この段階で、最終的な印刷物の像が目視できるようになる。

④転写

感光体上に現像されたトナーを紙に転写する。転写は、トナーと逆の極性、つまりマイナスの電荷を紙に与え、トナーを紙に吸引させる。

⑤定着

トナーの載った紙に熱と圧力をかけることで、トナーを定着させる。

⑥クリーニング

物理的、電気的の両方から、感光体に残ったトナーを落としくリーニングする。

この中で、紙に要求されることは、給紙から排紙までスムーズに通ること、転写、定着が適切に行われることである。

6.1.2 PPC の発展

PPC の発展の様子は 5.3.2 で紹介しているが、1970 年代に入りゼロックスの基本特許切れに伴い、キャノン、小西六工業、リコー等が続けざまに低価格の複写機を投入し、PPC 市場は成長時代を迎えることになる。その参入の様子を中村²⁾ は表に示している。現在残っているのは、ゼロックスのほか、キャノン、リコー、コニカ・ミノルタで、これらが独自の転写媒体を開発し、その後世界に展開している。何が日本の事

表 6.1 1970 年代の PPC メーカーとその転写媒体

名称 特性	セ レ ン	酸 化 亜 鉛	硫 化 カ ド ミ ウ ム	ポ リ ビ ニ ル カ ル バ ソ ー ル (PVK)	複 合 体 (セ レ ン +PVK)
相 対 感 度	1	1	10~30	0.8	3~5
感 色 性	青 色	黄 緑 色	可 視 光 全 域	可 視 光 全 域	可 視 光 全 域
帯 電 々 圧 (ボルト)	600	600	500~600	1,000	2,000
耐 刷 力 (推定)	5×10 ⁴	5×10 ²	2×10 ⁴	4×10 ³	2×10 ⁴ 静電転写 2×10 ³
実 用 化 メ ー カ ー	ゼロックス Van Dyk Agfa-gevaert Gestetnerなど	小西六 大 東 東京航空計器 三 田 Friden など	キャノン 柱川電機 Aylward	I. B. M. (増感剤として トリニトロフ ルオレノン を 利用)	(開発松下電器) 実用化は ミノルタ リコーなど

注) 耐刷力の単位: 枚

務機メーカーの世界展開を可能にしたのか興味がある。

その経緯を「キヤノン通信12号(1989年6月30日)」が物語っている³⁾。

最初に目指したのは、完璧と言われたゼロックスの特許網を如何に逃れるかであった。これは後に、NHKの「プロジェクトX」(2002年11月5日(火)21:15~)で、「突破せよ 最強特許網 新コピー機誕生」(仮)というタイトルのもとで放映されたとのことである。そのポイントは、高感度材料としてCdS(硫化カドミウム)を見出したことで、これはカメラの露出計に使われており、いわばキヤノンの得意技であった。CdSのパンクロマチック特性によって、後に色ものや中間階調の再現にもすぐれた高画質が可能になったのはラッキーであったと記している。その結果、1970年に「第3の電子写真方式キヤノンNPシステム」を発売。最大B4サイズで10枚/分の自動給紙タイプで、価格は88万円であった。

並行して、乾式の複写機でも、1975年には最大A3サイズ、22枚/分のキヤノンNP-5000が120万円で登場し、さらに2段階縮小機能がついて26枚/分の高速機NP-5500が1977年の発売で158万円であった。これは月に600台という大ヒットになった。

しかし、日本の複写機が1970年に10枚/分(キヤノンNP-1100)、1974年に30枚/分(キヤノンNP-L7)が最高であったとき、ゼロックスは120枚/分、IBMが75枚/分、イーストマン・コダックが70枚/分と、米国勢は圧倒的な優位を保っていた。

これに対し、1978年にキヤノンNP-8500が誕生。500万円の超高速PPCとして77枚/分を達成してゼロックスに次ぐ世界第2位の位置を確保した。1981年にはこの改良型、キヤノンNP-8500 SUPERが135枚/分の世界最高速機となった。1989年には売上が500万台に達した。1970年代のゼロックスに追い付けから1980年代にライバルとしての競争に入っている。キヤノン通信は、これを可能にした独自の開発技術についても紹介しているが、それらは省略する。

これは、キヤノンの例であるが、同じことが他のPPCメーカーでも行われていた。(例えば文献4))。この複数の日本メーカー間の技術競争が日本のメーカーの技術力を高め、国際展開を可能にしたのあろう。同時に、それが国内でPPCの市場を大きく広げ、それに合わせてPPC用紙の需要も伸びた。この間、日本の製紙会社は眠っていたわけではない。PPCの高速化による紙への要求を満たす努力を続けた。現在の品質を紹介する。

6.2 PPC用紙の品質規格

PPC用紙にもっとも要求されることは、とにかくジャムすることなくコピーがとれることである。そのためにいろいろの品質管理基準が規定されている。表6.2はビジネス機械・情報システム産業協会による電子写真式複写機・プリント用カット紙の規格(JMBS-32)である。

表 6.2 PPC用紙の規格

項目		規格値	備考
坪量	g/m ²	62-85	JIS-P-8124
厚さ	μm	83-110	JIS-P-8118
平滑度	表	秒	J.TAPPI No.5-2
	裏		
クラークこわさ	表	cm ³ /100	JIS-P-8143
	裏		
電気抵抗率	表面	Ω	JIS-K-6911
	体積	Ω·cm	
カール値	mm	0±5	JMBS-32解説

坪量(紙1m²当たりの重さ)と厚さは紙の基本的な物性で、PPC用紙としては、共に値が大きいほど作業性がよくなる(ジャムらなくなる)。しかし、品質を満足しながら坪量を下げるのがコストダウンにつながることから、日本の製紙会社は軽量化の技術ノウハウを磨き、日本では64g/m²まで軽量化している。海外では例えば78g/m²程度のもが多い。日本の製紙会社は、さらなる軽量化を狙って、60g/m²のPPC用紙を上市した。しかし、両面印刷した場合の裏抜け(不透明が足りず裏面の印刷が透けて見える)と腰(こわさ)の不足で市場では受け入れられなかった。

こわさは重要な物性で、2次元シートである紙とフィルムの基本的な違い(ぴんと立つことができる)でもある。こわさは厚さの3乗に比例するので、厚さを維持することが必要で、印刷紙においても如何に嵩高(厚くする)にするかが技術ノウハウとなっている。

平滑度が悪いと均一なコピー像が得られない。一方、平滑度を良くするには、カンレンダーなる機械で、圧力をかけながら紙の表面をしごく。この作業は、平滑性を改善するが、加圧により厚さが減少する。これがこわさを失うことになり、そのバランスがノウハウとなる。

表面固有抵抗値は、PPCのドラムの上に形成されたトナーの顕像を紙に転写する際に意味を持つ。特に

高湿下でのこの値が下がると転写した像に白抜けが生ずる。このほかに、規格には入っていないが紙が安定してPPCの中を通り抜ける（走行性）ことを担保するために、表面摩擦係数が管理されている。近年、填料として炭酸カルシウムが使用され、摩擦係数が増加傾向にある。これが高すぎると、紙の重送（2枚重なって送られる）が起きる。

また、ペンによる手書きにも使えるように、サイズ（撥水性）が付与されている。

しかし、製造現場におけるPPC用紙の日常的な品質試験は、一台のコピー機で連続して1500枚のコピーをトラブルなく印刷し続けることができるかどうかで判断される。日本の市場では、メーカー指定紙と汎用紙がある。指定紙はPPCメーカーが品質を保証するため、その受け入れ検査は非常に厳しく、この厳しさに日本の製紙会社は鍛えられてきた（品質基準が厳しい分だけ、納入価格は高い）。製紙会社は基本的にはこの2グレードを生産している。しかし、市場は安い汎用品（輸入も含め）に押されている。指定紙の場合、品質チェックの印刷テストは、例えば、ロットごとに、3機種プラス紙粉テスト1機種で行う。高速機では1500枚の連続印刷を行う。製造条件を変えると十数機種でテスト確認する。

ここで取り上げられていないが、パルプの配向性は抄紙過程でルーチンとして管理されている。これがあって初めてコピー機での走行性が安定する。

6.3 PPC用紙の製造技術

6.3.1 パルプの配向角と配向度管理

PPC（コピー機）の中でのPPC用紙の走行性（紙詰まり）に関しては、先に述べたパルプの配向角と配向度（慣例的に繊維配向と言われているがこの報告ではパルプ配向とする）の管理が大きく寄与し、その品質を安定させてきた。

前にふれたように、パルプは、加熱や吸湿により、長さ方向には伸縮が少なく（変化が少なく）、幅方向には大きく変化する。したがって加熱されると、紙としての配向の度合いにより以下の図6.2及び図6.3のモデルが成り立つ⁵⁾。

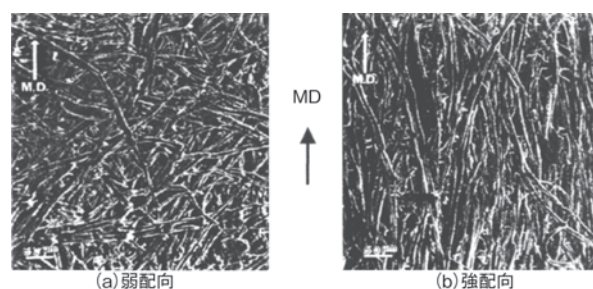


図6.2 パルプの配向を示す紙の表面モデル

左：パルプ配向度 弱 右：パルプ配向度 強
MD：紙の縦方向（抄紙の方向）

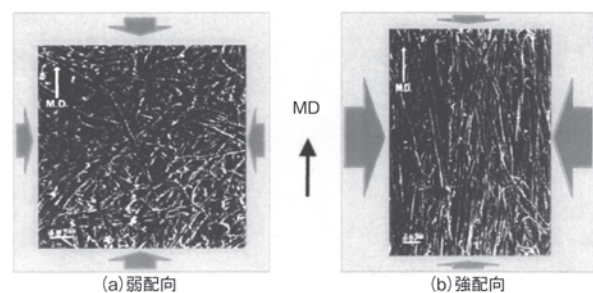


図6.3 上図のモデルの加熱（乾燥）による収縮イメージ

左：上下左右同じ程度に収縮
右：幅方向に大きく収縮

PPCではトナーの定着のため片面のみが加熱され、その面がより収縮するので、パルプの配向軸にそって加熱された面の方に反り返る（図6.4参照）。配向度が大きければ大きいほどこの反り返りが大きくなる。

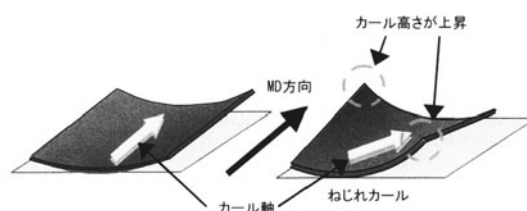


図6.4 パルプ配向角のずれによるねじれカールの増大

この時、配向角がずれているとねじれカールとなり、ねじれたことでカールの高さがより大きくなり、装置内で詰まることになる。藤山等⁵⁾は、ハイブリッド型ツインワイヤー抄紙機（ワイヤー幅5.6m、抄速1000m/分、オンマシン配向計を表裏に装備）でのPPC用紙生産において、エッジフローコントロールとスライスリップコントロールにより、F面（表面）の幅方向の配向角プロファイル（抄紙機の全幅）をほぼゼロに近づけると共に、その表裏の差もゼロに近づ

けることが可能なことを示した。

標準的な PPC 用紙製造において、抄紙機の幅方向の配向角の変動が年代と共にどの程度であったかをデータとして示すのが難しいが、配向角管理の一般化する 1980 年以前では ± 10 度以上、管理が定着した後の 1990 年代は ± 5 度、2000–2010 年では ± 1 度にコントロールされていると推測する。これによりねじれカールによる紙詰まりはほとんど解決された。

PPC 用紙ではねじれカールが最もトラブルを引き起こすが、最近のカラー PPC の普及から配向度も重要になってきている。カラー画像は、モノクロ画像に比べて画像面積やトナー量が増えるため、定着後の熔融トナー硬化時により加熱され、それだけ大きなカールを引き起こす。このため、カラー PPC では、カールの絶対量の少ない紙、言い換えると、パルプがよりランダムな（配向していない）紙が求められる。富士ゼロックスでは次のデータをホームページに示し⁶⁾、カラー PPC 向けの用紙の配向度を管理しているとしている。

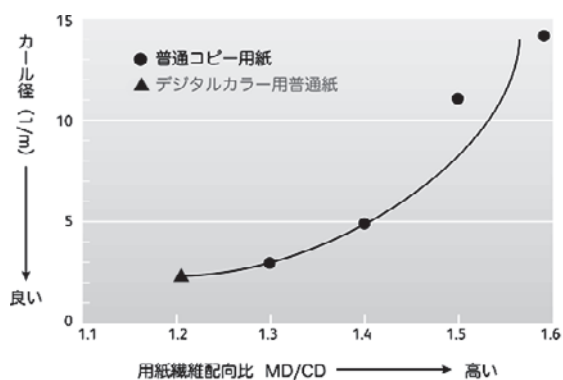


図 6.5 パルプ配向比とカールの関係⁶⁾

一般に、抄速を上げると配向度が大きくなるので、如何に生産性を落とさずに、配向度を低くするかが操業ノウハウとなっている。

6.3.2 酸性紙から中性紙へ

1980 年代に日本の製紙産業が取り組んだ一つのテーマが中性抄紙であった。これは PPC 用紙の生産にも即利用された。

1800 年代から、紙を抄紙する際に硫酸アルミニウム水溶液を添加し（パルプに対し数%）、酸性（pH4–5）で抄紙してきた。この理由の一つに針葉樹のメカニカルパルプの使用が考えられる。このパルプは樹脂分を持っている（松やにに代表される）。これは、パルプ化の際に水中に分散するが、抄紙中に凝集

し、あちこちに付着し、トラブルを引き起こす。対策は、大きく凝集しないように硫酸アルミニウム（硫酸バン土と呼ばれている）を添加し、抄紙系全体を pH 4–5 として抄紙することであった。そのため、papermaker's alum として特効薬のように使われた。硫酸アルミニウムは製造過程でフリーの硫酸が混ざり、それを添加して抄紙した紙にも微量の硫酸が残存する。この紙が長期間保存されると色が茶色くなり（退色）、ボロボロになる。

この紙（それを使った書籍）の劣化については、欧米では 1885 年頃から報告されている。その後、Barrow らの研究を通じて紙の酸性度が劣化の主要原因であることが明らかになり、傷んだ本の脱酸処理（本を密封容器内に入れ、脱気し、次いでアルカリ性の液またはガス（4 級アミン）を注入、数時間以上保ち、本全体をそのままで中性化する）が欧米で行われている。また、保存性のある紙の規格の制定等が行われてきた。国内では、1983 年に国会図書館で蔵書の実態調査が開始され、欧米と同様の状態が認識された。（ちなみに和紙はバン土を使用しないので問題はない）。対策は、硫酸バン土を使用せずに抄紙することで、中性抄紙と呼ばれる。

これを受け、欧州では 1980 年までに急速に上質紙の中性抄紙転換が進み、フランスでは 65%、西ドイツでは 43%、イギリスでは 35% が中性紙になっていた。米国でも 1981–82 年にかけて転換が進んだ。日本の製紙会社もこの問題に取り組み 1980 年より次々と中性抄紙の紙を市場へ出してきた。その結果、NIP 及び PPC 用紙は、その技術の転用で、ほぼ完全に中性紙に転換している。

中性抄紙には、使用薬品及び填料の変更、工場全体での水循環系の改善等の課題がある。さらに、日本では酸性抄紙の時のような高い操業効率を維持することが求められた。これについては、一つの工場が如何に取り組んだかを三菱製紙がまとめている。貴重なケーススタディである⁷⁾。

彼らは、28 ヶ月の間に 18 回の工場実験を繰り返して、3 台すべての抄紙機の中性化を完了した。その過程で、中性抄紙ではプレスでの脱水が効きにくいこと（パルプの濾水度を 50mlcsf 高めること対応）、ワイヤーパートの歩留まりが非常に敏感で、ストックインレットの濃度変動が紙の坪量変動に大きく影響すること（この関連を見出すために 4 分ごとに歩留まり測定を繰り返した）、内添サイズ剤の AKD によるスーマーロールの汚れに悩まされたこと等を述べている。

これらの問題は、酸性抄紙での抄紙機の操業効率

と製品品質を（日本の抄紙機の操業効率は90%以上で、世界の中で抜きんでて高い）、中性紙でも同じレベルで達成しようとしたことによるのであろう。おそらく、単に中性紙化するだけとする場合と比べ、三菱製紙での取り組みはより高次のものであったと推測する。

6.3.3 再生PPC用紙の生産

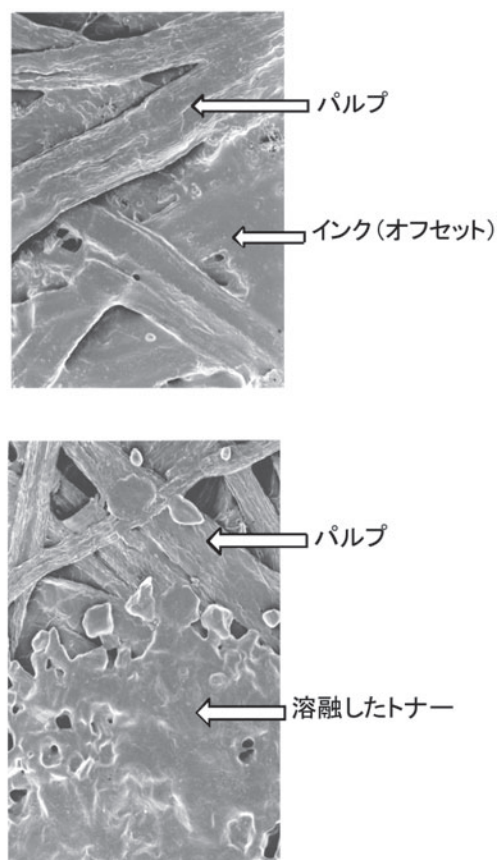
1975-1990年にかけて、PPCとノンインパクトプリンタの普及により情報用紙の量が急増した。ここで、これからの社会はパーパーレスにすべきであると言われた。製紙産業でのその動向に危機感を持った。例えば、岩津は以下のように述べている⁸⁾。「1969年に北米のUSAA (United Services Automobile Association) という保険会社の社長でRobert F. McDermottという方が、ある日、自社の廊下に出てみますと書類がボダンボールの中に詰められて所狭しと置いてある。いかにも見苦しい。もう少しパーパーレスの環境整備ができないのかと思わず口走ったそうです。この一言が日本にも最近進出しているアメリカのADL (Arther D. Little) というコンサルティング会社の情報ルートなどに乗って、パーパーレス・ソサエティーという言葉が世界中で紹介されたらしい。そのために我々は一時心胆を寒からしめられた時代があったわけです。しかし、その後も依然として紙の消費量は年率2~3%で伸び続けました。これではどうも予測にならんということで1983年、IRD (International Resources Development Inc.) という会社がレポートを出しました。続いて、フィンランドのヤコペリ、イギリスのウオーカー・ワトソン、こういうところが次々とレポートを修正いたしました。高度情報化社会の発達と紙の消費量は正の比例関係にあると言うようになってきました。」この説明が当時の製紙産業の技術者の理解を代表していよう。

日本では古くから古紙を回収し再使用するシステムが機能していた。例えば1975年の回収率は42.2%、1990年の回収率は49.7%である。紙の使用量が増えたこともあるが、特にオフィスでの古紙の急増が目につき、それに回収システムが対応できなかったことから前述の社会問題になったと推測する。そのため、自治体が回収システムを整備し、オフィスがそれぞれ回収ルールをつくったことで2008年は古紙回収率が76.7%となり、対応の目途がついた。

1980年代までは、古紙を回収し、主として板紙に使用していた。これに対し、日本の製紙産業が開発したシステムは、新聞を回収しそれを新聞用紙の生産に

使用するもので、一種の自己循環システムである⁹⁾。2010年では、紙向け（板紙を除く）の古紙使用量は年間640万トンで、内、新聞用紙生産には新聞古紙415万トン、雑誌古紙42万トンの大部分が使用され、新聞用紙原料の80%をまかなっている（残りの20%は品質を保つために新しいパルプが使用される）。これが、日本の開発した新聞用紙の自己循環システムで、オフィス古紙に対してもこのような自己循環システムの開発が求められている。

NIPやPPCによる印刷物は、通常の印刷物（その主力はオフセット印刷）と大きく異なる。オフセット印刷のインクは、有機系の顔料をベヒクル（以前は重合あまに油ワニスを用いたが、現在は合成樹脂と乾性油を加熱溶融し石油系溶剤に溶解）に分散したものである。これが印刷されると、加熱工程のあるもの（オフ輪）とないもの（平版）があるが、最終的にはベヒクルが酸化重合して平らなインク表面と形成する。一方、PPCではトナーが紙表面に加熱定着される。紙の表面に載った様子を以下の写真（図6.6）で示す。正確な倍率は不明であるが、パルプの幅が約10ミクロン程度である。



上図：オフセット印刷：インクが下半分を覆っている。
下図：PPC：トナーが下半分を覆っている。

図 6.6 オフセットインクとPPC トナー

これらの印刷物をパルプに再生するためにはインクを除く必要がある。オフセット印刷物については1980年代から新聞古紙（これはオフセット印刷）を中心に脱墨システムが開発されてきた。その技術をベースにPPC古紙の脱墨システムの開発が進められている。

紙は水に浸して攪拌すれば古紙パルプになり、基本的には再利用できる。しかし、一度紙になったパルプ（加熱により乾燥したパルプ）は、厳密に言えば元のパルプから変質しており、水をより容易に吸収する、剛性が低い、強度が劣る等の欠点を持っている。また、パルプに再生するために、脱墨（インクを除く）が必要である。PPC古紙は、前出の写真からわかるように、オフセット古紙にくらべて脱墨が困難で、脱墨設備を強化する必要がある（より細かい目孔（スリット）のスクリーン使用、常温ニーディングに加えてホットディスパーションの追加、2段フローテーション等）。この過程でどうしても白色度が低下するが、求められる白色度が高いため（新聞用紙よりPPC用紙の方がより白い）漂白の強化（例えば過酸化水素の2段漂白）が必要となる。

もう一つの難点は、量的に安定して大型プラントに供給できる体制の構築が困難なことである。PPC用紙の年間消費量が140万トンで、この回収ルートは新聞古紙のように整備されてはいない。

これらの理由から、PPC古紙からのPPC用紙の生産は、技術的には不可能ではないが、原料供給、製造技術に無理があり、結果として、高コストとなり、エネルギーその他の付加的な資源の無駄使いとなる。現実には、PPC古紙はオフィス古紙として回収され、仕分け（「込頁」）された後、家庭紙の原料に回っている場合が多い（家庭メーカーの多くは小規模で、現状でのPPC古紙のルートはそれを満たす程度である）。そして、古紙配合のPPC用紙には、新聞用の古紙パルプをさらに精製したものが用いられている場合が多

い。（古紙パルプのPPC用紙適性については細村¹⁰が述べている）。さらに、古紙パルプの品質が劣ることから、古紙配合の高いPPC用紙の坪量は69g/m²と重くなっている（新しいパルプのものは64g/m²）。価格は、古紙配合品は同程度か、あるいは、高めとされている。国のグリーン購入が再生PPC用紙を求めて、また、「古紙を用いることが環境に優しい」とのある意味での誤解から何が何でも古紙と言う風潮があるが、逆に資源の無駄遣いの場合もある。

PPC用紙は、分類として情報用紙とされてきたが、かなり普遍的になってきたことから、一般の印刷用紙のセクションで取り扱う製紙会社が増えてきている。また輸入紙も低価格で脅威となりそのシェアを伸ばしている。

引用文献

- 1) 富士ゼロックスホームページ（2011年8月）
- 2) 中村孝一：情報産業と紙（Ⅲ）紙パ技協誌 Vol.29, No.3 p.3（1975）
- 3) キヤノン通信12号（1989年6月30日）
- 4) 山崎公人：シャープ技報 第97号・2008年5月「シャープ複写機開発ことはじめ」
- 5) 藤山道博：繊維配向自動制御システムの開発と実用化 紙パ技協誌 Vol.63, No.3, p.48（2009）
- 6) 富士ゼロックスホームページ（2011年8月）
- 7) 三菱製紙八戸工場中性紙技術調査チーム：八戸工場における塗工紙中性紙化の技術確立 紙パ技協誌 Vol. 66, No. 3 p.67（2012）
- 8) 岩津徳衛：これからの紙パルプ産業 紙パ技協誌 Vol.41, No.11 p.11（1987）
- 9) 飯田清昭：新聞用紙製造技術の系統化調査（2007年）科学博物館
- 10) 細村弘義：ゼログラフィ機器に適したリサイクル紙の開発 紙パ技協誌 Vol.48, No.8 p.21（1994）

7 | 感熱紙の技術開発

最初に用語について触れる。学術的な文献では「感熱記録紙」が使用される場合が多いが、この報告では一般的な「感熱紙」を使うことにする。また、発色のためのヘッドにはサーマルヘッド（日本語訳の感熱ヘッドでなく）を使用する。

7.1 ノーカーボン紙から感熱紙へ

7.1.1 ノーカーボン紙とは

ノーカーボン紙は、感圧紙やカーボンレスペーパーとも呼ばれているが、複数枚重ねて筆圧をかけて記入すると、その下の複数枚に複写がとれる。このシステムは、1954年にアメリカのNCR（National Cash Register）社によって従来のカーボン紙に代わる画期的な複写システムとして開発された。カーボン紙は、カーボンブラック、紺青のような顔料あるいは染料をワックス又は油剤で加熱混和し、薄紙の両面あるいは片面に塗布して常温で固化したものである。紙の裏面の必要部分だけにカーボンワックスを塗布、または印刷したものは裏カーボン複写紙と呼ばれていた。各種伝票類、コンピュータ計算出力記録用に使われていたが、手が汚れ易く、耐久性、鮮明度に問題があった。これに対して、ノーカーボン紙は全く別の機構により発色し、通常のカーボン紙に比較して取扱いが便利、清潔、能率的であった。しかし難点は価格で、カーボン紙より高価であった。

日本の製紙会社はこのノーカーボン紙の将来性に期待し生産を始めた。NCR社はノーカーボン紙（NCR紙とも呼ばれた）に関する特許を世界の主要国で確立していたが、たまたま日本へ初期の特許の申請がなされていなかったため、NCR社のほかに、神崎製紙（現王子製紙）（1963年）十條製紙（現日本製紙）（1963年）および富士写真フイルム（現富士フイルム）（1969年）が自社技術で、三菱製紙が技術導入（1964年）で生産を開始した。その後、1980年に十條製紙がNCRの日本での生産を引き継ぐことになった。

ノーカーボン紙の需要は、前出の図3.1に示しているが、1970年代から着実に増え、1990年代にピークを記録した。この間の伸びは、日本経済の発展によりオフィスでの伝票複写需要の増加したこと、価格の高いノーカーボン紙を機能性と使いやすさから使いこなせるまでに日本経済が成熟したことを示す。その後の停滞は、オフィスにおける伝票の流れがペーパーレス

へ移行し、複写の枚数が減少してきたことによるもので、今後とも減少傾向が続くと予想されている。しかし、情報用紙の先駆けとなり、現在も主要な製品であり続け、かつ、感熱紙を派生させた商品であるので、その概要を紹介する。

7.1.2 ノーカーボン紙の製造技術

その発色機構は次の通りである。基本になるのはロイコ染料である。この染料は還元体では無色で、酸化されることにより（電子を奪われること）により発色する。したがって、この染料が使用される際には電子を受け取る物質（電子受容体）（顕色剤と称する）が相手に必要である。代表的なロイコ染料の発色機構の例を示す。顕色剤の存在で無色のロイコ染料の構造が変化し発色する。

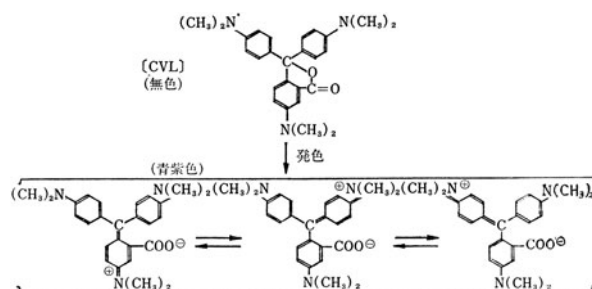


図 7.1 CVL の発色機構

CVL：代表的な青色に発色するロイコ染料

まず、ノーカーボン紙の初期の製造方法を紹介します。最初に、還元体のロイコ染料（無色）をマイクロカプセルに閉じ込める（大きさは数μ）。ロイコ染料は水に不溶なため、それをまずオイルに溶解する。それを、2種の親水性コロイド（一種はゲル化し得るものであり（アラビアゴム）、もう一つは等電点を持つ両性コロイド（ゼラチン））を使用する複合コアセルベーションでカプセル化する。そのカプセル化例を示す。まず、ゼラチン水溶液に染料を溶解したオイルを乳化分散させる。次いでアラビアゴム水溶液を混合する。そこへ酢酸を滴下してpHを変化させ複合コアセルベーションを起こさせ、油滴の周りに濃厚液体膜を形成させる。ここまでは50°以上で行う。これを10°Cに冷却しゲル化させ、さらにホルマリンを加えて膜を硬化させ、アルカリ処理で膜をさらに硬化させる。

このカプセルを紙表面に塗布することになる。塗工

液は、カプセルとそれを紙表面に接着させるバインダーからなる。当初はカゼイン（塗工紙のバインダーとして当時一般的に使用されていた）が用いられた。カプセルは非常に壊れやすいので直接カプセルに過剰の力が加わらないように工夫する必要がある。そのため、塗工にはエアナイフ方式（4.5項参照）が用いられた。さらに、カプセルが伝票化等の取り扱い作業中に圧力で破壊するのを防ぐためにでんぷん粒子（ステイ剤と称する）を添加する。図7.2（写真）の大きな粒子がそれであり（小さい粒子はカプセル）、これが支えになってカプセルの圧壊を防ぐ。



図7.2 紙表面のカプセルとでんぷん粒子（ステイ剤）

この染料を発色させるにはもう一つの仕掛けがある。カプセルが筆圧等で破壊されると、流れ出した無色の染料が顕色剤と接して発色する必要がある。そこで、複数の複写をとるために図7.3のような構成にする。一番上の紙は裏面にカプセルを塗工する。中用紙は、表に顕色剤を微粉末にして塗工、裏面にカプセルを塗工する。中用紙は必要に応じて枚数を増やすことができる。一番下の紙は表にのみ顕色剤を塗布する。

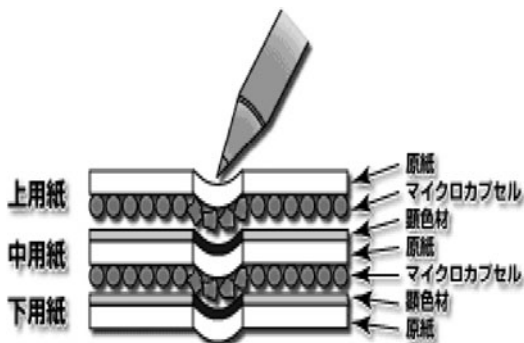


図7.3 複写のメカニズム¹⁾

筆圧が加わり、紙の裏面に塗工されたカプセルが破壊されると、その中の染料（まだ無色）が一枚下にある紙の表面に塗工されている顕色剤と反応して着色す

る。これで、一枚下の紙の上に複写が行われる。その紙の下側に塗工されているカプセルも筆圧で破壊されているので、同じ機構でもう一枚下の紙の上にも複写が取られる。このようにして、中用紙を増やすことで一度に多くの複写が得られる。

このシステムを発明したNCRに感心すると共に、この技術を1950年代に生産ラインで商品化したAppleton Paper Inc.（当時はAppleton Coated Papers:NCRのライセンサーの中で最大の生産を行っていたアメリカの中堅特殊紙メーカー）の技術には敬意を表したい。

NCR社については後で（7.2項）少し紹介する。カプセルの製造はNCRの工場（Dayton, Ohio）で行い、塗工はAPI（Appleton, Wisconsin）と一部Mead Paperが引き受け、それをNCRが引き取り販売していた。塗工技術については4.5で紹介してきたが、現在の塗工機の原型ができたのが1930年代のアメリカで、この頃から塗工紙の需要が急増し、それに合わせて塗工紙の大量生産が可能となりつつあった。その技術開発の中でエアナイフコーターが開発され（1940年代）、それがノーカーボン紙のカプセル塗工に用いられた。このタイプの塗工機が大型の生産機として使用された最初のケースであったと思われる。

この初期のNCRの処方が技術開発により如何に変化したかを表7.1に示す。これらの改良技術は日本の開発で、後で紹介するが、品質、価格で世界をリードすることになる。

表7.1 製造法の発展

	初期の処方	現在の処方
染料	CVL BLMB	CVL ODB-2
顕色剤	アタバルグait(鉱物)	サリチル酸亜鉛化合物
オイル	PCB	SAS296(石油系の溶剤)
カプセル化	コアセルベーション	界面重合またはin-situ重合
カプセル膜	アラビヤゴム+ゼラチン	メラミン(in-situ重合) ウレタン(界面重合)
膜硬化剤	ホルマリン	
バインダー	カゼイン	ラテックス系
塗工方式	エアナイフ	カーテン

染料は基本的にはロイコ染料で大きくは変化していない。しかし、ノーカーボン紙の製造技術は大きく変わっている。カプセル化法は日本の独自の開発で、日本製紙（元十條製紙）と三菱製紙はAppletonの技術を基に尿素-フォルマリンカプセルを自製、その後

メラミンやウレタン系を独自で開発した。また、王子製紙（元神埼製紙）はゼラチンカプセル後に独自でメラミンカプセルへ、富士フィルムは、やはりゼラチンカプセル後、独自開発にてウレタンに移行し現在に至っている。

顕色剤は、アタパルガイト、ゼオライト、酸性白土等の鉱物系が使用されていたが、日本の技術（元神埼製紙の開発技術）でサリチル酸亜鉛化合物が開発され、国内で広く使用されると共に一部輸出もされている。染料を溶解するオイルは、PCBの使用禁止に伴い、いち早く石油系のものに変わっている。

バインダーは、カプセルが合成樹脂系に代わるにつれて、スチレン-ブタジエン系ラテックスに代わっていく。これには、日本のラテックスメーカーの技術レベルの高さが助けとなった（例えば文献2）。このように、日本国内で独自の技術開発により発展した。その理由を解き明かす資料がある。

7.1.3 ノーカーボン紙の国際展開

1981年に当時の国内最大の生産者であった十條製紙で営業を総括した岡野と研究を総括した山戸がまとめた資料がある³⁾。日本の製紙産業は本質的には内需志向で、印刷紙や新聞用紙では国内市場を輸入品から守ることに努力してきた。しかし、ノーカーボン紙に関しては、国際展開している様子がその報告書に記され、特異な存在であったことがわかる。その内容をまとめてみる。

1. NCRの初期の基本特許が日本に出願されていなかった。このため日本で4社が生産を始めた。4社が出たことで、競争が激しく、技術開発に力を入れた。結果として、初期の製法から脱却した改良された技術が日本で生み出された。かつ、4社が特許網をそれぞれ張めぐらしたことで、その優位性が維持された。一方、世界では少数のライセンス（アメリカではAPIとMead、ヨーロッパではWiggins Teape）の独占のため技術開発がどうしても遅れぎみになった。結果として1980代では、日本のメーカーの技術動向が彼らの関心を集めた。
2. 日本でのノーカーボン紙の需要が早く立ち上がった。当時の複写伝票に占めるノーカーボン紙の比率は、日本では60-70%、ヨーロッパでは30-40%、アメリカは20-30%と推定している。
3. 1968年からのNCRの特許切れにより日本メーカーの製品輸出が可能となり、品質の良さから輸出へ展開できた。1981年の日本の生産量は約20

万トンでその1/3を輸出していた。

4. 当時の世界の需要は約90万トン。NCRの特許切れに伴い多くの会社が生産を開始した。しかしいずれも小規模で内需志向。輸出志向はWiggins、API、十條製紙、神埼製紙、三菱製紙であった。
5. 生産能力の推定（トン/年）：API 20万トン Wiggins 17万トン 十條 10万トン 神埼 4.5万トン 三菱 3.6万トン 富士フィルム 4.8万トン
6. 技術輸出も活発に行われた。富士フィルムはスペインのサリオ社及び英のディッキンソンソビンソン社へ、神埼製紙は独のサンダース社へ。

1970-80年の間、製紙産業は過剰の設備投資により構造不況に陥り、収益が圧迫された時期であった。その中で、ノーカーボン紙は数少ない利益品種として健闘していた。しかし、1995年をピーク（約40万トン/年）にその後漸減する。需要が減少しだすと研究開発体制も減少しだした。しかし、ノーカーボン紙の実績から情報用紙への期待は大きく、研究開発の主力が感熱紙やインクジェット用紙へ向かっていった。これについては別章で紹介する。その後の動きでは、2004年に富士フィルムはOEMに切り替え、生産を日本製紙に委託している。

7.2 感熱紙の誕生と変遷

7.2.1 感熱紙の発色原理

感熱紙では基本構成の化合物はノーカーボン紙とおなじである。ただ、無色の染料と顕色剤が共に微粒で分散している塗工層を紙の表面に作る。熱がスポットで加わると、その場所の染料と顕色剤が融解し、互いに反応して発色する。発色システムが大きく単純化されている。

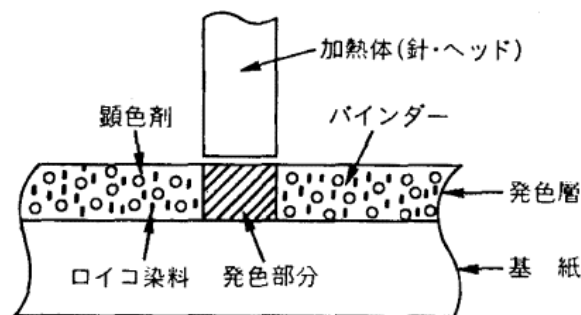


図 7.4 感熱紙の発色機構

7.2.2 サーマルヘッドと感熱紙の誕生

熱を利用して記録する方式を感熱記録と定義すると、最も古いものに熱ペンで記録するワックス型感熱紙がある。これは黒色層の上に不透明のワックスを塗工し、熱ペンでワックスを溶解・透明化することで画像をつくる。1930年頃に心電図用途で使用された。その後、1940年には有機金属塩と還元剤によるキレート生成物を利用したタイプの感熱記録方式が開発され、1950年に3M社により製品化（サーモファクシミリ）されたが、その後電子写真方式の登場により、PPCに置き換えられ衰退する。

山戸は⁴⁾ 当時取り上げられていた感熱記録法を以下の表に分類している。上記の他にもいろいろの方法が試みられていたことがわかる。

表 7.2 感熱記録法の分類⁴⁾

	分類	応用例
物理的方法	熔融透明化	心電図(ワックスタイプ)
	不透明化(収縮、気泡)	プロジェクト用フィルム
	転写	ステンシル用マスター
	昇華、揮発、過冷却	
化学的方法	単独発色系	
	2成分発色系(金属化合物)	3M
	2成分発色系(染料)	NCR
複合システム	揮発、転写潜像のトナー現像	Imagic Process, Adherography
	熱変化静電潜像のトナー現像	Electrothermography
	熱変化磁気潜像のトナー現像	Magnetothermography
	熱変化感光潜像トナー現像	Photochromography
	光変化感熱潜像のトナー現像	Photothermography

この章で取り上げる感熱紙は、上記の表の2成分発色系(染料)である。そして、ロイコ染料を利用する原理の同じ技術が、なぜ手書きのノーカーボン紙からデジタル出力の感熱紙に1968年に生まれ変わったのか興味もたれる。

まず、NCR社の説明をする⁵⁾。1884年にレジスター事業のために設立された。元の名前がNational Cash Registerである。金銭の記録として複写が必要であり、先の複写用のノーカーボン紙を開発した理由がわかる。それが1954年である。一方で、その年に世界で初めて磁気ファイルを持つNCR最初のコンピュータを発表している。1970年に世界初のPOSTターミナル、1971年に世界初のオンライン現金自動支払機を発表している。1991年にAT & Tと合併、1997年に分離、現在、世界規模でレジスターのビジネスを行っている。この会社がすでにコンピュータの世界に舵をきっている中で、1968年にロイコ染料系の感熱記録方式を開発、併せて感熱プリンタ(260 Printer)(キャッシュレジスター用)を発表している。NCRの感熱紙の特許の経緯をみると、1961年に原稿

と複写シート(感熱紙:基本構成は現在のものと同じ)を重ね、赤外線照射することで文字部を発熱させ複写シートにコピーを作るとしている(赤外線サーモグラフィ)⁶⁾。加熱針記録機にも応用できるとしているが、当初はコピーを作成するのが目的のようであった。これに自社開発のサーマルヘッドと組み合わせてデジタルのプリントシステムに仕上げたことになる。そのきっかけは、NASAから単純なプリントシステムの開発依頼があったからと聞かされている。

一方、1969年にはテキサス・インスツルメンツ社が、その感熱紙と5x7ドット同時加熱印刷方式のコンピュータ用印刷表示機SILENT 700シリーズを発表した。当時の騒音のうるさいドットプリンタに対し、名前の通り「静かな」ことを特徴に小型コンピュータの出力に使用された。さらに音響カプラーとモデムを介して30文字/分の受信ができ、300baudでコンピュータとつなぐことができた。すでに通信機能をもったプリンタであった。

ポイントはサーマルヘッドで、当時のTI社は集積回路の先頭メーカーで、その技術を生かして作成し、それが今日の感熱プリンタのヘッドへつながっている。このような背景で見ると、ノーカーボン紙の技術が、思い出したように15年後に最先端のIC技術の応用製品に組み込まれたわけである(アナログ対応のノーカーボン紙がデジタル対応になった)。日本では1962年よりノーカーボン紙を生産開始し、1968年の生産量27,000トンとようやく軌道に乗り出したところであった。残念ながら、この時点で、日本でサーマルヘッドと感熱紙の発想は到底生まれえなかった。

この時代のサーマルヘッドのもう一つの使用例がサーマルプリンタ付の電卓である。1967年テキサスインスツルメント社がCaltechを開発した。充電電池を内蔵しており、携帯が可能だった。これは、LSIチップ応用製品として同社のチップ販売の宣伝材料に使われただけで、実際に販売はされなかった。この技術をキャノンが購入し「キャノン・ポケットロニク」として販売。ディスプレイはなく、サーマルプリンターで印字した。ポケットロニクは、米国で発売され大きな人気を博した言われている。それを受け、日本でもキャノン、オリベッティ等から感熱プリンタ付の電卓が売りだされる。ヒューレットパカード、沖電気が感熱プリンタを発売、医療機器や小型コンピュータの記録装置として組み込まれた。小型軽量に適した比較的簡単な構造で、コストが抑えられるという特長を生かして、心電図等の医療用計測器等や端末プリンタとして市場を広げていった。

山戸によると⁴⁾サーマルヘッド製法として、①セラミック基板上に蒸着技術を用いて酸化錫のような半導体化合物の抵抗体を発熱素子として形成する薄膜方式(NCR、AJ. = AndersonJacobson、沖電気など)と、②シリコン基板上に、主に拡散技術を用いて抵抗体マトリックスを形成するモノリシックIC方式(TI、Display.tek、沖電気、松下など)とに大別されるが、③基板上に抵抗体をスクリーン印刷する厚膜方式(H-P = Hewlett-Packard、NCRなど)も行われているとしている。

注目すべきは、1969年にサーマルヘッドが生まれ、1973年ですでに複数の日本のメーカーがサーマルヘッドを作成していたことである。

7.2.3 1970年代—各種情報用紙間の競争

1970年代の情報用紙の様子を、前にも引用した中村の二つの報告^{7) 8)}から統計を合わせて得た次の表7.3で見ることができる。

表 7.3 情報用紙の生産量

	1968	1973	1978
1000m ² /年			
電子写真用紙	14,600	104,144	969,000
ジアノ複写紙	1,020,000	1,500,000	1,303,929
静電記録紙	350	50,040	24,000
放電記録紙	500	2,500	15,000
電解記録紙	600	2,200	—
感熱記録紙*1	224	1,200	2,696,220
通電感熱紙			350
感熱記録紙*2			46,000
その他			8,000

1970年では記録紙としてはいろいろの方式(静電、放電、電解、感熱)が競合しているが、中でも静電記録紙が印字速度と印字紙面の良さから期待され、神埼製紙、巴川製紙所、王子製紙、リコー、十條製紙、興人、特種製紙、ゼネラル、山陽国策パルプの計9社がしのぎを削っていた。ただ、この時点で、後の感熱紙メーカーとなる各社の動きは早く、アメリカで開発された1968年から3年後(1971年)の日本で十條製紙がNCRとの技術提携で生産を始める(ノーカーボン紙ではアメリカでの開発から10年後)。1980年には、十條製紙、三菱製紙、神埼製紙、興人、巴川製紙所、リコー、本州製紙、王子製紙、北越製紙が生産していた(推定生産量計3500トン)(7.4.1で触れる)。これは、日本の社会が急速にデジタル化し、感熱プリンタがアメリカのように伸びていくとの期待があった

ことを示す。しかし、当時の感熱紙は決して見栄えの良いものでなく、地色着色しており、耐候性(長期間保存すると記録が消えてしまう)もよくなかった。この中から感熱紙が一気に量的に抜け出そうとする様子(1973年と1978年の比較)が表から見て取れる。これには、それまでの用途に加えて、1973年に電話回線が開放され、ファクシミリが急成長を遂げ、もう一つの競合市場となったことがある。「我が国におけるファクシミリ利用状況調査」(1977年)⁹⁾によると、稼働台数72,900台、このうち、放電記録方式が37.5%、静電記録方式が36.9%、通電感熱方式が13.1%、感熱方式がまだわずかに3.9%である。1981年には、ファクシミリ総数15万台で、中・高速機が伸びていると推測されていた。

この競争の中で、プリントの見栄えが悪く、耐候性もよくない感熱方式が使いやすさと用紙の価格から、当時期待されていた静電記録紙の分野(医療・計測器からプリンタ、中・低速のファクシミリ)を侵食した。

ここで、感熱紙とファクシミリに使われていた他の記録紙(放電、静電、通電感熱)の違いを考えてみる。静電及び通電感熱は、はいずれも、電気信号を電極で紙にあたえ、紙を通して帰路の電気回路を形成する。放電記録紙では電気信号のところで紙の表面塗工が破壊される。静電記録紙では、電気信号で紙の上に静電気をチャージする。通電感熱では、電気信号のところで紙が発熱する。これらの装置は、どうしても複雑になり、導電層プラス記録層の複数の塗工層が必要である。これに対し、感熱紙では電気信号を熱に変換して紙に与え、帰路の電気回路は不要である。装置もIC技術を応用したサーマルヘッドで、小型、簡略化され、量産が可能で、価格が安い。感熱層の塗工も単純で(その後多層塗工に発展していくが)、当時の資料で、感熱紙90-110円/m²に対し静電記録紙は150-170円/m²とされている¹⁰⁾。また、湿度等に影響を受けないのもサーマルヘッドの威力である。

当時の感熱紙はまだ感度が低く、低速のプリンタにしか使えないとされていた。ここへファクシミリの動きが重なる。ファクシミリは表7.4にあるごとく、G1、G2、G3と規格をどんどん高速化していく。

例えば、G1からG3(業務用)では(1968年から1980年)、電送時間は6分から20秒に、解像度が100dpiから200dpiにあがっている。感熱紙はこれに対応できる技術開発を行なうことで(それらの技術開発は後に紹介する)、性能を改良し、競争力を増していった。

表 7.4 ファクシミリ規格の変遷

規格	公称伝送時間(A4 1枚当たり/秒)	使用回線	最大解像度 (dpi)	特徴	モデム	最大通信 速度 (kbps)	制定年
G1	360	0.3 - 3.4kHz音声回線	100x100	アナログ伝送		DSB AM	1968
G2	180	0.3 - 3.4kHz音声回線	100x100	アナログ伝送		VSB AM	1976
G3	60-20	0.3 - 3.4kHz音声回線	200x200	家庭用-業務用	V.29-V1.7	4.8-14.4	1980
G4	3	ISDN	400x400	G3の機能も備える	デジタル	64	1988

7.2.4 ファクシミリとテレックス

ここで、ファクシミリについて少し紹介する。日本では、欧米と大きく異なり、ファクシミリへの期待が大きかった。

遠方への情報の伝達は古くからの願いで、烽火から伝書鳩までつながっている。1800年代になると多くの研究がなされ、1930年代に欧米にてテレックスのシステムが確立し、1950年代には、企業に広く普及し、物流や商取引、通信社のニュース配信、気象通報で多く使われた。これは Teletype Exchange Service の略で、国内網である加入電信網と、国際網である国際テレックス網により不特定の相手方に文字情報を送ることができた。テレタイプ端末から紙テープ穿孔機によりさん孔テープ (5.2 項参照) にコード化された穴をあけ、紙テープ読取機により電気信号として送信される。この信号はデコードされ活字プリンタにて印字される。まだ通信回線やコンピュータの記憶装置などが非常に高価であったので、このテレックスが普及していた。要点は、このシステムは、アルファベットと数字の欧米の言語には便利であるが、日本語では、漢字が取り扱えず (漢字テレタイプも開発はされていたが) 仮名と数字になり、不便であった。

ファクシミリはラテン語の fac simile (同じものを作れ) ← {facere (為す) + simile (同一)} が語源とされ、送信側で原稿の二次元情報を線または点に分解し読み取り、データ圧縮や変調等の信号処理をして、通信回線 (多くは電話網) に送出し、受信側で信号を復調して原稿を復元する。ここでは、漢字も画像情報として送られるため、日本語の取り扱いにはテレックスより格段に適し、使いやすいファクシミリが望まれていた。この時代はまだ通信コストが高いのが難点であった。日本におけるその歴史は、戦後は、報道や電報、警察における手配写真などの伝送に利用されたが、1973年の公衆電話回線開放を機にファクシミリの分野が急成長を遂げることとなる。1970年代後半には業務用ファクスが開発され、そして1台目の電話機に接続する形で大企業にファクシミリが入り始める。1981年には日本電信電話公社により、通信料金

の安いファクシミリ通信網 (F ネット) が開始され、「電話ファクス」が発売される。その間、実用レベルに達した G3 ファクスが開発された。また 1985 年に電話機を始めとする端末設備の接続が自由化されると、中小企業や商店などで急速にファクシミリが普及し始め、さらに家庭へと拡大した。この市場には、日本のほとんどの電機メーカーが参入して製紙メーカーとの協力の下、機能と価格を競うようになった。結果として、その感熱紙は世界の最高水準のものとなり、ノーカーボン紙に次いで世界展開が可能になった (これについては 7.4 で考察する)。

このように、日本ではテレックスから一気にファクシミリの時代となった。一方、欧米では通信はテレックスで十分とする意見が根強く、その開発がワンテンポ遅れ、その便利性に気がついた時には日本のメーカーが世界を席巻することになっていた。そしてテレックスは特殊な用途を除き、その任務を終えた。

余談であるが、静電記録方式が期待された理由に画像情報を高速記録 (文字・ビットが 10 万個 / 秒程度) できることであった。このため、高速ファクシミリには適しており、新聞社間の紙面電送などに試みられていた。

7.2.5 ファクシミリからレジロール、ラベルへ

ここで感熱紙のもう一つの特徴である普通紙でないことが影響してくる。感熱紙自体は、初期のものに比較して格段に見栄えもよく、保存性も改善された。

しかし、そこへライバルとして登場してきたのがレーザープリンタである。その原理は PPC とおなじみで、マイナスの荷電で潜像を作りトナーで顕像化して、紙に定着する。この潜像を作る作業をレーザービームで行う。そして、半導体レーザー素子が普及すると、その価格が一気に低下し、普通紙仕様のファクシミリが広がった。さらに、レーザー方式の複写機・プリンター・スキャナなどの複合機が企業などで使用されるようになった。結局、印刷単価よりも機器の価格の安さが優先される家庭用は、感熱紙タイプが用いられていたが、それも最近では普通紙タイプのもの

(単色の場合は熱転写インクリボン方式、カラー複合機の場合はインクジェット方式が使用されることが多い)に代わっている。このように、ファクシミリについては感熱記録方式から普通紙記録へと置き換わり、やがて電子メールの急速な普及に伴って衰退する。感熱紙のもう一つの欠点は、基本的に片面塗工であるため紙はどうしても片側にカールする。このため、カールが使用の際に問題となり難いロール紙として使用された。例えばA4サイズに断裁した感熱紙をファクシミリ用紙として使用することはできなかった。

ファクシミリ市場を失った感熱システムは、ファクシミリで培った技術を、新しい市場としてレジロール紙の分野に向ける。その分野の感熱紙化が急速に拡大し、ファクシミリ用途の衰退を完全にカバーするほどに市場は成長した。

また、この時期ファクシミリ用途と並んで開発されたものにラベル用途の感熱紙がある。日本ではプレパック用で保存性を重視したオーバーコートタイプ、欧州ではセルフパッケージ用(量り売りをユーザーが自分で袋に入れる方式)ノンオーバーコートタイプが主流となった。このラベル用感熱紙は現在もレジロール用途に次ぐ市場を形成している。この過程での技術開発は7.3で紹介する。

7.3 感熱紙の技術開発

7.3.1 感熱紙の発色原理

感熱紙の発色原理を簡単に紹介したが、もう少し説明する。

ロイコ染料としては、トリフェニルメタン系、フルオラン系、フルオレン系、ローダミンラクタク系、ジビニル系等各種のものが知られている。染料の選択は、地色、発色色調、発色感度、染料の昇華性、画像の保存性から最適のものが選ばれる。

顕色剤はビスフェノール類、アルキルフェノール類、ノボラック型フェノール類、芳香族カルボン酸の誘導体及びその金属塩、ヒドロキシ安息香酸エステル、スルフォニル尿素系化合物、活性白土等が知られている。地色の白さ、発色感度、画像の保存性等が選択の基準となる。染料と顕色剤の種類が多く、その組み合わせの選択が感熱紙の品質を決める。

その反応例を示す。ラクトン環が解裂することで発色する。この反応は可逆反応で、電子を奪われると無色に戻る(この性質が保存性を悪くしている)。

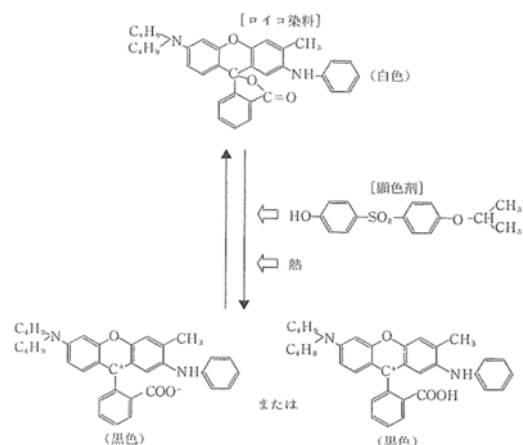


図 7.5 感熱紙の発色機構

この組み合わせの多さが、以下の感熱紙の技術開発の特徴を生み出すことになる。

7.3.2 特許を巡る動きと日本における技術開発競争

ノーカーボン紙の技術開発では、NCRが基本特許を日本に出していなかったことで、日本での生産が可能になった。そして、複数の会社が技術開発にしのぎを削ったことから日本の技術が世界をリードし、その結果世界展開ができた。感熱紙では、NCRは1961年の優先権で、最初に感熱紙の基本構成の出願をしている(NCRの生産は1968年)。ところが1971年の十條製紙の生産開始に続き、1980年には日本で9社が生産、最大手の十條製紙は約半分を輸出していた。ここでも、特許を巡る駆け引きが働いていた。

NCRの最初の一連の出願(1961年の優先権)は、無色の染料と顕色剤を分散させて塗工し(感熱紙の基本構成)、その上にマスターをのせ、赤外線を照射することでマスターの文字の所が発熱し、その下の顕色剤と染料が熔融・反応して発色する複写シートであった(赤外線サーモグラフ)。顕色剤としてはフェノール類のみを列挙している⁶⁾。しかし、この一連の特許は日本では成立しなかった。続いて1964年優先権で出願されている一連のものは、発色剤52品種と顕色剤(フェノール類のみ)23種の組み合わせを出しているが、目的は同じく赤外線サーモグラフである。これは日本特許が成立している¹¹⁾。しかし、顕色剤がフェノール類のみであることで、いろいろのタイプの染料と顕色剤が発見されてくるとカバーしきれなくなる。用途も、赤外線サーモグラフによる複写としていたことで、サーマルヘッドとの関連が不明確であった。これらの特許の弱さで、日本のメーカーは強気で生産に入れた。

もう一つ、NCR側の事情もあった。前にふれたよ

うに1970年頃には、NCRはデジタルに舵を切り、紙の自社生産に対する興味を失いつつあった。そして、後には、その部門をAPIに譲り渡し、技術者もAPIへ転籍した。また、1971年には十條製紙にライセンスをだし、その日本での生産を可能にしたが、いたって友好的で（ライセンス料なし）、特許を盾に縛り上げる意思のものではなかった（個人的な情報）。NCRにしてみれば、より品質の良い感熱紙はだれが作ろうが歓迎したのかもしれない。

結局、ノーカーボン紙と事情は異なっているが、日本のメーカーの生産が可能となり、その将来性に期待した多くの企業が進出した。

また、新しい市場としてファクシミリが注目されたことで多くの電機メーカーが参入、要求もG1からG3と高性能が求められる。これに合わせて、製紙会社も技術開発にエネルギーを投入する。そうなるとその関連薬品メーカーの開発も加速する。結果として従来の製紙産業では考えられない研究開発投資が感熱紙に向けられた。

図7.6は、日本での特許出願件数で、関連薬品メーカーも含まれている。

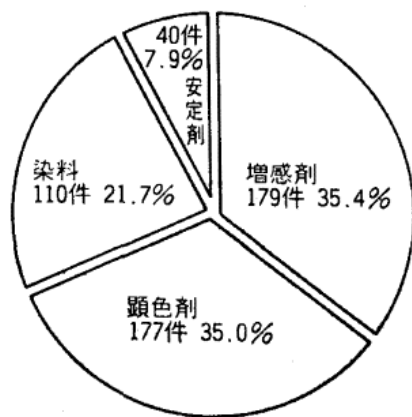


図7.6 感熱紙主要材料の特許出願件数（昭和56-60年公開）¹²⁾

まず、その数に注目してほしい。あとでのべるが、増感剤、顕色剤、安定剤は感熱紙の品質を改良し、多くの用途に適応するために必要な技術であった。その特徴を藤村¹²⁾は以下のように紹介している。「材料探索の流れをみると、1980年以前は主として既存の材料（酸化防止剤など）を対象に感熱材料としての有用性が検討され、その後は、新規物質の合成に目が向けられている。分子構造と感熱材料としての機能性の関係を整理することによって、分子設計がなされ、実用化された例もある。」

特許に関するもう一つのデータがある。以下は最近の感熱紙関連の公開特許数である¹³⁾。

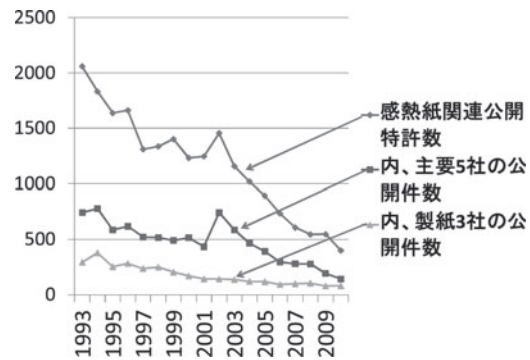


図7.7 感熱紙に関する公開特許数¹³⁾

+FI: B41M 5/18 = 「加熱するもの」（電流によるものを除く）…B41M 5/18 103 = 「ロイコ」、B41M 5/18 106 = 「ロイコを発色させる材料」など。

FI: B41M 5/26 = 「他のサーモグラフ法」…B41M 5/26 101K = 「色剤」など。

主要5社：日本製紙、王子製紙、三菱製紙、富士フイルム、リコー

製紙3社：日本製紙、王子製紙、三菱製紙

FIとは、特許庁が審査等の際に先行特許文献の抽出に用いている検索キーで、今回の調査においては、FIとしてB41M 5/18 または B41M 5/26 という分類が付与された公開特許を抽出した。感熱関係の特許は、このB41M 5/18 または B41M 5/26 という分類で検索することにより、大部分が抽出されるものと考えられる（某社特許で確認済み）。検索のシステムとして、多めに数えていると予想されるが、少なくとも製紙3社のものは感熱紙に関するものがほとんどであろう。

検索の方法の違いから藤村のデータとこのグラフのデータを直接並べることはできないが、これらの特許の数は、世界の中でも突出しており、この結果として、日本の感熱紙の生産技術は世界をリードするものになった。2000年頃を過ぎると件数が減少するのでも感熱紙の用途開発がピークを過ぎたこと重なって見える。

7.3.3 サーマルヘッド

感熱紙が発色するために、サーマルヘッドにより、スポットで熱が加えられねばならない。一般的なサーマルヘッドの構成は1970年代のものと驚くほど変わっていない（例えば文献14）。グレース層の上に

発熱体をのせ、その上に電極をのせる。電極間の隙間で発熱し、保護膜を通して紙に伝わる。サーマルヘッドは紙に押しつけられているので、保護膜が電極の摩耗を防いでいる。最近では、グレースの発熱体の部分を凸型にし、高精細画質、高熱効率のものもある。

その性能は、印字速度 (IPS) (1秒あたりに印字される距離をインチで表現したもの)、ドット密度、印加エネルギー等で表現される。ドット密度は、Dots/mm (mmあたりのドット数) または dpi (インチあたりのドット数: Dots/inch) で表される。印加エネルギーは、発熱体を印字に必要な温度にまで上昇させるために与えるエネルギー (電力と時間の積) (E_0 , mj/dot) である。他に印字寿命も重要な物性である。

基本構成が同じでも、サーマルヘッドの性能は大きく改善された。それがファクシミリの高速化 (G1からG3) から読み取れる。前出の表7.4にあるように、約10年の間に、単位面積当たり、4倍のドット数 (100dpiから200dpi) を18分の1の時間で処理できるようになっている。これを可能にするために、紙にも高感度化の要求がなされ、対応が図られてきた。もっと高速のG4規格については、感熱ファクシミリも検討されたが、結局レーザープリンタ方式になった。

7.3.4 感熱紙の高感度化

感熱紙の高感度化の歴史の一例を図7.8に示す。

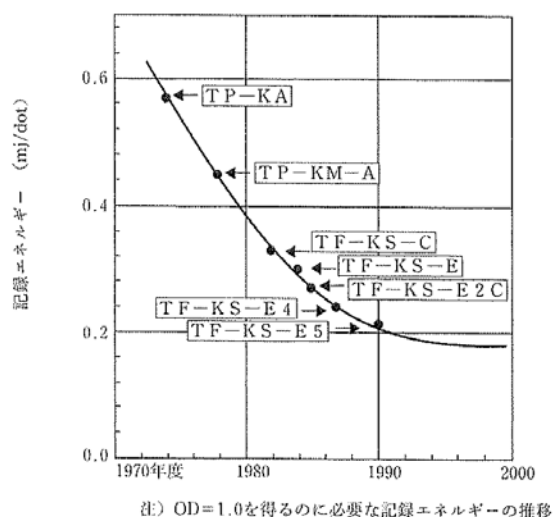


図7.8 感熱紙の感度向上の推移例

このための基本技術は、増感剤の利用、構成材料の微細化、アンダーコート層の付与である。

(1) 増感剤

染料の融点は比較的高いため、BPA (ビスフェノールA) のように高融点の顕色剤を使用する場合、通常、熱発色温度を低下させるような増感剤と組み合わせて使用される。増感剤としては、従来高級脂肪酸アמיד類が使用されていたが、G3ファクシミリなどの高速用紙に対しては感度が不足する。それに対し、p-ヒドロキシ安息香酸ベンジル (日本の技術開発) が熱応答性の優れた顕色剤として開発され、増感剤なしでG3用として十分対応できるため、急速に市場に広がった。そのことがインパクトになり、性能の優れた増感剤の開発によるBPAの高感度化も一方で検討された。現在では、熱応答性を飛躍的に向上させる増感剤が開発されている。これらの化合物の特徴は、融点が90~110°Cの間であり、ベンゼン核が2~3個で、分子量は240~350の範囲にある。また、一般に極性の官能基を保有していない。

なお、BPAは環境ホルモンとの類似が指摘されており、日本ではもはや使用されていない。しかし、ヨーロッパでは認められている。

(2) 構成材料の微細化

染料、顕色剤、増感剤等の感熱材料は湿式粉碎機で粉碎処理を行ってから使用されるが、感熱材料の微粒化により、感度向上が図られる。微粒化による高感度化の例を図7.9に示す。

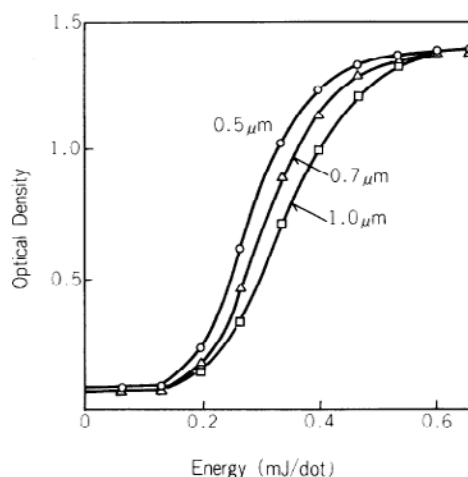


図7.9 材料の微粒化による増感効果

分散液中の粒子を小さくすると分散液の安定性が悪くなる。その安定性を維持・向上させるため分散剤の選定も重要になってくる。

(3) アンダーコート層

感熱層と原紙面の間にアンダーコート層を設けることにより高感度化を図ることができる。

アンダーコート層の効果の一つは、原紙表面の凸凹の上にコート層を載せることでより平滑な表面にし、サーマルヘッドと感熱層の接触を良くし、熱伝達効率を上げることである。もう一つは、アンダーコート層に断熱層の機能も持たせ、サーマルヘッドからの熱がより感熱層に残るようにする。そのため焼成カオリン等の填料が使用される場合が多いが、中空材料、或いは発泡層を設ける試みも知られている。焼成カオリンのアンダーコート層を設けることによる高感度化を図7.10に示す。

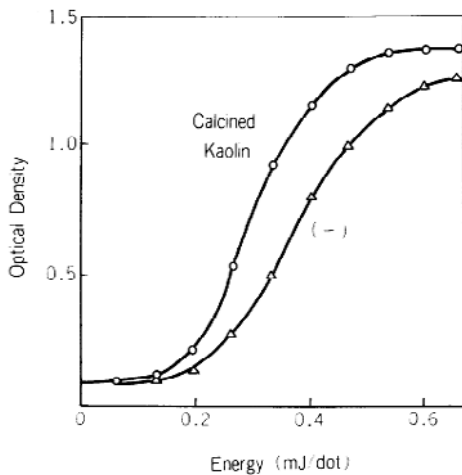


図 7.10 アンダーコート層による増感効果例

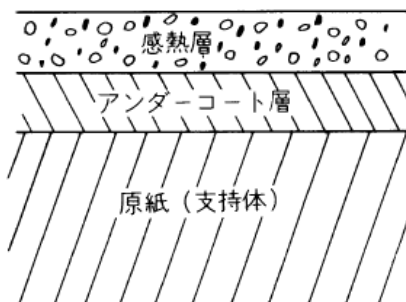


図 7.11 アンダーコート感熱紙の層構成

7.3.5 保存性の改善

ファクシミリに代わる用途としてレジロールやラベルが伸びてくると、それに適応する物性が要求されてくる。それが保存性の改善である。感熱紙の保存性の改善は、画像の退色を防止する画像保存性と白紙部分の着色や変色を防止する地色保存性の両者を含む。その使用環境が多様で、厳しくなることから種々の技術開発が積み上げられてきた。

(1) 耐油・耐可塑剤性

ロイコ染料は可逆性のため油や可塑剤に弱く、長時間で消色する。これはラベル分野で問題となる。対策は、オーバーコート層を設け、それらの物質が画像に接触しないようにすることとエポキシレジン等の安定剤を使用することである。しかし、用途の広がりから極度に劣悪な条件でも画像の消えない感熱紙の要求が強くなってきた。これに対し、イミノ化合物とイソシアナート化合物による不可逆反応を利用した感熱紙が商品化されているが価格が高い。近年、耐油・耐可塑剤の優れた顕色剤が実用化され、高感度で安価な保存性の良い感熱紙が商品化されている。

(2) 耐熱性

用途の広がりから、夏場の自動車内（ガソリンスタンドの領収書）電子レンジによる加温（惣菜用ラベル）、熱ラミネート（スキーチケット）等、高温下にさらされるケースが増え、従来の感熱紙の耐熱性（60℃）を越えた要求が生じている（ある場合は120℃まで）。これにたいして、サーマルヘッドのミリ秒と言う短時間で反応するが、高温環境下では反応しない特殊な顕色剤が開発され超高耐熱感熱紙が作られている。

(3) 耐光性

屋外での使用が増えると耐光性の要求も厳しくなってくる。感熱紙の画像や白紙部は蛍光灯のもとでは十分安定であるが、長期間紫外線（太陽光）にさらされると黄色くなる。これにたいし、紫外線吸収剤（ベンゾトリアゾール系、ベンゾフェノン系）をオーバーコート層に添加するが、印字カス、スティキング、ヘッド摩耗などのトラブルが生じやすかった。近年、紫外線吸収剤を塗工層中に添加する技術が開発され、耐光性感熱紙が商品化されている。

(4) 写真画像記録性

感熱紙に階調記録を行う方法として、一般的に濃度変調法（パルス幅を制御して各画素に濃度変調を施す）が用いられる。紙ベースの感熱紙は16階調程度にしか対応できなかったが、塗料処方改善と塗工方法の進歩で紙ベースでも256階調のプリンタに対応できるものが開発され用途が広がっている。

(5) 光沢性

ラベルやチケットでは高級感を出すために光沢が要求される場合がある。一般の感熱紙の光沢度は10%

程度であるが、強光沢（光沢度80%以上）を得るため、UV（紫外線硬化）ニスやEB（電子線硬化樹脂）ニスが塗工される。これらのニスは高価で、塗工速度が遅く、印刷適性が悪く、ヘッド寿命を短くする。最近、特殊な水系光沢オーバーコート塗料が開発され、高光沢の感熱紙が商品化されている。この塗工は水系のため、感熱紙生産設備で生産できる。

(6) 低ヘッド摩耗性

サーマルヘッドは直接紙に接するので、その発熱体の上に保護の耐摩耗層が設けられているが、長期間の使用でこれが摩耗する。その摩耗には、物理的摩耗と化学的摩耗がある。物理的摩耗は、感熱紙の表面に存在する摩耗性の材料（填料など）による。化学的摩耗は電触と呼ばれ、主として感熱紙中のナトリウムイオン、カリウムイオン、塩素イオンなどにより引き起こされる。これには、填料を中心として材料の選択とイオン量のコントロールにより、ヘッド摩耗が大幅に改善された感熱紙が商品化されている。

なお、7.3.4、7.3.5は木村の文献15)を著者の了解の上参考としている。

7.3.6 まとめ

感熱紙は塗工層が1層のため、多層塗工の他の情報記録紙（静電記録紙、放電記録紙等）に対してコストが安く、これが競争力の一つになり販路を広げてきた。皮肉なことに、普通紙のレーザープリンタにファクシミリの市場を奪われ、多層塗工で新たな用途を開拓したことになる。最近の手の込んだ品種では表3層、裏1層の塗工にまでなっている。その様子を図7.13に示す。また、多層塗工の例として、その断面写真を示す。

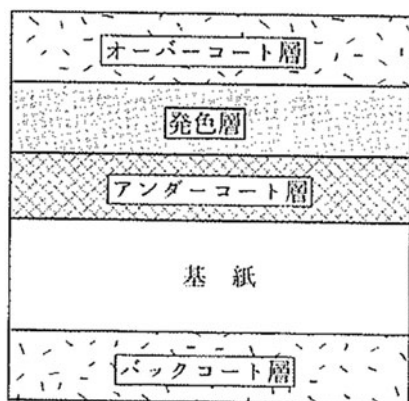


図 7.12 アンダー、オーバー及びバックコート層を設けた感熱紙の例

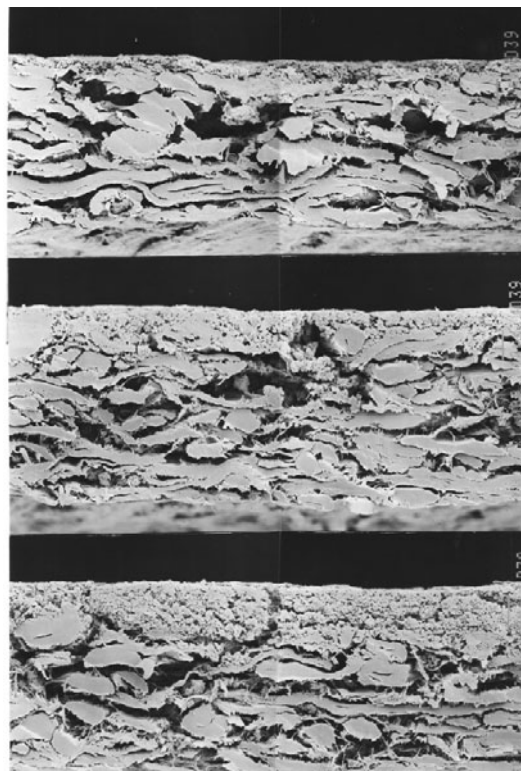


図 7.13 3層塗工の感熱紙の断面
上から1層、2層、3層塗工の順

7.4 感熱紙の海外展開

日本で生産された感熱紙は、ファクシミリを含む感熱プリンタが世界で使われるに伴い輸出が伸びていった。その経緯を追ってみる。

7.4.1 海外展開（輸出から現地生産へ）

感熱紙の主力の生産会社にはノーカーボン紙の生産者（日本製紙（旧十條製紙）、王子製紙（旧神埼製紙）、三菱製紙、富士フイルム）が重なる。そのため、技術開発を含め事業展開にノーカーボン紙の経験が色濃く影響している。激しい特許競争に見られるように、技術開発を加速させ一気に世界のトップレベルの品質を開発、それを背景に世界へ輸出する。これにはノーカーボン紙で築き上げた販路が役に立った。

1980年の様子を袖山、小宅が紹介している¹⁶⁾。日本での生産開始から10年で世界の主要な生産国になっている。

推定生産量3,500トン 当時世界の推定生産量は13,000トンで、日本の生産量が30%近くを占め、その内1,500トンを輸出している。

表 7.5 感熱紙メーカー別生産比率（1980年）

十條製紙	64.7%	内輸出比率 50%
三菱製紙	21.0%	内輸出比率 60%
興人	4.9%	
神崎製紙	3.9%	
巴川製紙	1.6%	
その他	3.9%	

この頃、日本では、ほとんどの電機メーカーがファクシミリに参入、ファクシミリが急速に普及しだしており、それらのメーカーがさらに世界展開を図っていた時期でもある。ファクシミリの拡販に伴い感熱紙も国際展開した。同時に品質競争も激しくしのぎを削っていた。

そして、2000年の様子を木村、小山がまとめている¹⁵⁾。日本の生産量は、世界生産量の約35%で、123,000トン、内需が約95,000トン、輸出が約23%の約28,000トンである。なお日本のメーカー別の生産量は以下の通りであった。

表 7.6 感熱紙メーカー別生産量 トン（1999年）

王子製紙	51,000
日本製紙	23,000
三菱製紙	24,000
富士フイルム	9,000
リコー	12,000

また、世界の地域別需要を表 7.7 に示している。

表 7.7 感熱紙の世界地域別使用状況¹⁵⁾

	年	ファクシミリ		プリンター		ラベル		その他		合計	
		(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)
北 米	1990	54,000	60.0	18,000	20.0	14,000	15.6	4,000	4.4	90,000	100.0
	95	54,000	57.4	20,000	21.3	15,000	16.0	5,000	5.3	94,000	100.0
	99	47,000	47.5	26,000	26.2	17,000	17.2	9,000	9.1	99,000	100.0
西 欧	90	43,000	65.2	10,000	15.2	10,000	15.2	3,000	4.5	66,000	100.0
	95	53,000	58.9	14,000	15.6	15,000	16.7	8,000	8.9	90,000	100.0
	99	47,000	48.0	22,000	22.4	17,000	17.3	12,000	12.3	98,000	100.0
日 本	90	47,000	73.4	7,500	11.7	6,000	9.4	3,500	5.5	64,000	100.0
	95	50,000	61.0	16,000	19.5	10,000	12.2	6,000	7.3	82,000	100.0
	99	45,000	50.0	22,000	24.4	12,000	13.3	11,000	12.2	90,000	100.0
その他	90	13,000	86.7	1,000	6.7	1,000	6.7	—	—	15,000	100.0
	95	35,000	87.5	2,000	5.0	2,000	5.0	1,000	2.5	40,000	100.0
	99	45,000	83.3	4,000	7.4	3,000	5.6	2,000	3.7	54,000	100.0
合 計	90	157,000	66.8	36,500	15.5	31,000	13.2	10,500	4.5	235,000	100.0
	95	192,000	62.7	52,000	17.0	42,000	13.7	20,000	6.5	306,000	100.0
	99	184,000	53.9	74,000	21.7	49,000	14.4	34,000	10.0	341,000	100.0

引用先の文献が不明であるが、多分調査機関のまとめと推測され、ある程度信頼できるであろう。この時期、もうすでに先進国地域ではファクシミリの需要が減少しつつあり、プリンタ、ラベルの需要が伸びつつある。その他の地域ではまだファクシミリの需要増が期待できるとしている。

感熱紙の海外展開に、もう一つの特徴がある。日本の感熱紙メーカー各社は、ノーカーボン紙に倣い最初から海外輸出を念頭に置いて進めてきた。当初は日本からの輸出を行っていたが、1985年のプラザ合意の後、円高が急速に進行し特に米国向けの感熱紙の輸出採算性が悪化した。このため、各社は海外での現地生産に乗り出すこととなった。

7.4.2 海外生産の現状

主な現地生産拠点は以下の通りである（2010年）。

日本製紙	Jujo Thermal (フィンランド)
王子製紙	Kanzan (ドイツ) Kanzaki Speciality Papers (アメリカ) Oji Paper Thailand (タイ)
三菱製紙	Mitsubishi Hi-Tec (ドイツ)
リコー	Ricoh (フランス), Ricoh (アメリカ), Shindo Ricoh (韓国) Ricoh Thermal Media (中国)
富士フイルム	Torras (旧 Sarrío / スペイン) ライセンス Corimex (スペイン) ライセンス→1999年撤退

海外メーカーは技術的に劣っているとされていたが、日本メーカーとの技術提携や、市場で競争することで技術レベルは向上してきている。また、ラベルやレジロール等はその地域特有の使用方法などがあり、ユーザーと直結した用途開発や品質開発はもはや日本のものだけではなくなってきたと言われている。

海外工場の詳細を紹介する。

Jujo Thermal Ltd.

日本製紙、Ahlstrom 及び三井物産の合弁

場所：Kauttua, Finland

従業員：230 名

三菱ハイテクペーパー社ビーレフェルト工場¹⁷⁾

場所：Bielefeld, Germany

1979 年よりノーカーボン紙を生産、1999 年三菱製紙がオーナーとなる。

2001 年に多目的新鋭コーターを導入、ノーカーボン紙、感熱紙、インクジェット用紙を生産 生産能力：15 万トン/年

従業員：540 名

抄紙機 2 台 塗工機 7 台（情報用紙向け 3 台
キャストコート 4 台）

ノーカーボン紙：顕色剤は活性白土。日本より高白色度の紙の要求が強い。

キャスト紙：ビーレフェルトの設備による。

感熱紙：2 ヘッドコーターにより感熱層とアンダー層をワンパス塗工。1,710m/分の世界最高速で生産。

インクジェット用紙：光沢タイプ（キャスト紙を利用）とマットタイプの 2 種類

（この工場の設備の規模は、日本の最大規模の情報用紙工場である日本製紙勿来工場をしのぐものである）

Kanzaki Specialty Papers

場所：Springfield, MA 01144, U.S.A

1986 年設立 王子製紙の子会社

感熱紙、インクジェット用紙の生産

従業員 233 名

これらの海外工場が、インクジェット用紙の市場が拡大するに伴い、その生産も始めることになる。

引用文献

- 1) 日本製紙ホームページ（2011 年 8 月）
- 2) 内田 明、石川 哲雄、山崎 健一：感圧複写紙用ラテックスバインダー 紙パ技協誌 Vol.42, No.9 p.14（1988）
- 3) 岡野浩敏、山戸昇：情報産業用紙 3.7 章 ノーカーボン紙 p. 111-138 紙業タイムス（1981）
- 4) 山戸昇：紙パ技協誌 Vol.27, No.8 p.43（1973）
- 5) NCR 社ホームページほか
- 6) 特公昭 39-27579, USP.3,242,122
- 7) 中村孝一：情報産業と紙（II） 紙パ技協誌 Vol.29, No.2 p.6（1975）
- 8) 中村孝一：情報産業用紙の現状と将来 紙パ技協誌 Vol.35, No.11 p.7（1981）
- 9) 画像電子学会誌 7, 1（1978）
- 10) 山本国夫、岡村昭、津島克彦：情報産業用紙 3.15 静電記録用紙 p.222 紙業タイムス（1981）
- 11) 特公昭 44-3680, USP.3,451,338
- 12) 藤村章夫、佐竹寿己：感熱記録紙の現状と技術動向 紙パ技協誌 Vol.40, No.10 p.1（1986）
- 13) 日本製紙知的財産部調査（2011 年 8 月）
- 14) TDK 技術情報 THE HOTLINE Vol.29 p.28（1998）
- 15) 木村義英、小山一正：情報用紙 2000 11 章 感熱記録紙 p. 136 紙業タイムス（2000）
- 16) 袖山宏、小宅茂夫：情報産業用紙 3.13 感熱記録紙 p.178 紙業タイムス（1981）
- 17) 外山孝治：三菱ハイテクペーパー社ビーレフェルト工場の紹介 紙パ技協誌 Vol.60, No.6 p.115（2006）

8 | インクジェット用紙の技術開発

8.1 インクジェットプリンタの歴史

8.1.1 インクジェットプリンタの原理

インクジェット用紙の技術開発を紹介するために、インクジェットプリンタの歴史をまず調べてみる。感熱プリンタが生まれてから短期間に急速に市場を開拓したのに比べ、インクジェットプリンタは原理が発明されてから製品が市場に受け入れられるまで時間がかかった。

よく引用されているが、1867年に Lord Kelvin が最初に特許を出願し、1951年に Siemens が最初の製品 (medical strip chart recorders) を発表した。この方法はコンティニュアス方式 (Continuous inkjet technology) と分類され、他にオンデマンド方式 (Direct-on-demand technology) がある。それらを簡単に説明する。

(1) コンティニュアス方式 (Continuous inkjet technology)¹⁾

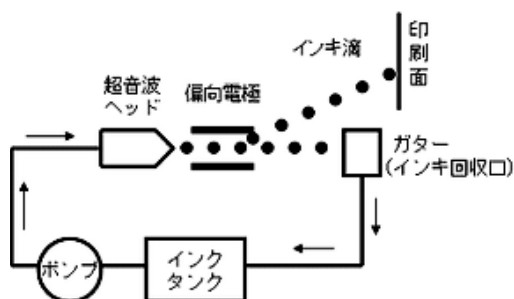


図 8.1 コンティニュアス型インクジェット装置

超音波発振器によって微小な液滴になったインクは電極によって荷電され、印字の必要に応じて偏向電極で軌道を曲げられて紙面の印字場所に到達する。偏向電極で曲げられなかったインクは回収口 (ガター) に吸い込まれ、インクタンクに戻る。インクは常に連続的に噴射されているのでコンティニュアス型または連続吐出型と呼ばれる。超音波振動で作られるインク滴は毎秒 100 滴以上で生成することが可能であるが、小型化が難しく、マルチヘッド化も困難なので、工業用のマーカー (生産ラインで部品に製造番号などを記入する) として利用されている。

(2) オンデマンド方式 (Direct-on-demand technology)¹⁾

現在個人向けに出ているインクジェットプリンタはオンデマンド型で、印字時に必要なときに必要な量のインク滴を吐出する。オンデマンド型はピエゾ方式、サーマル方式に分けられる。

*ピエゾ式



図 8.2 ピエゾ方式オンデマンド型インクジェット装置

ピエゾ方式とは、電圧を加えると変形するピエゾ素子 (圧電素子) をインクの詰まった微細管に取り付け、このピエゾ素子に電圧を加えて変形させることでインクを管外へと吐出させる。1960年代から研究がなされていたが短所の克服に時間がかかったため、本格的な商品化は1980年代になってからであった。

*サーマル式



図 8.3 サーマル方式オンデマンド型インクジェット装置

その基本原理は1970年代半ばにキヤノンの中央研究所で偶然見つかった現象に由来する。インクの詰まった微細管の一部にヒーターを取り付け、これを瞬時に加熱することでインク内に気泡を発生させてインクを噴出させる。

8.1.2 インクジェットプリンタの開発

プリンタとしていつ頃から注目されだしたのか興味もたれる。紙パ技協誌で調べてみると、1970年までにはインクジェットなる語は見つからない。1975年になり、中村の報告に以下の記載がある²⁾。「また、インク・ジェットによるコンピュータの出力記録方式は、新記録方式として脚光を浴びているが、これを印刷に応用したインクジェット印刷がムーア社 (米国) で開発され、フォーム印刷機を設置してコンピュータ出力を印刷するシステムが実用化している。」ムーア社 (Moore Corporation) はビジネスフォーム印刷の

大手で、おそらく連続方式で印刷していたのであろう。実用化は、このような業務用の方が、後に出る個人向けのインクジェットプリンタより早かった。

当時十條製紙でインクジェット用紙の開発の責任者であった永井が以下のように回想・紹介している³⁾。「1974年から複数のプリンタメーカーから用紙の依頼があり折衝して開発を進めた。各社の目標は異なり、シリアルプリンタ、ファクシミリのモノクロからカラープリンタまで幅広く、それに合わせた仕様で紙の試作を繰り返した。国内での最初のインクジェットプリンタはシャープと電電公社のインクジェットポイントであるが、後に1978年にシャープがライターシリーズIO260を発表、端末用としては唯一の商品であった。」

1987年に澤村⁴⁾は「歴史的には100年以上も前に原理が発見されている古い技術であるが、実際にプリンタとして世にとわれ出したのは1960年以降であり、その後も特別な伸びを示すことなく近年に至っている。最近になってヘッドの形状、材質の改良、クリーニング機構の開発により実用上、殆んど問題の無い段階に至った。ワープロ、パソコンプリンター、ビデオプリンターで実用化され、今後もカラー複写機、カラーファクシミリ分野での実用化が期待される。」としている。

小島は⁵⁾当時の電機メーカーの取り組みを表8.1にまとめている。多くの日本のメーカーが、連続式、オンデマンド式、双方に参入している様子がうかがえる。「インクジェット記録方式の優位性も改めて見直されつつあり、更に信頼性やメンテナンスの問題も克服され、プリンタの出荷台数も徐々に増えつつあるのが現状である」としている。

多分ムーア社の使用例等が注目を集めたことから、1970年前半から日本の電機メーカー各社が開発に動き出し、1980年代である程度技術的な目途がきつつあったのであろう。1984年に前に引用した永井³⁾は、自社開発のインクジェット用紙の海外売り込みに回っている。その中で、HPがすでにカラーインクジェットプリンタを開発中で、熱バブル方式のThinkjetを\$500で販売していたこと、IBMの写真タイプのインクジェットプリントの素晴らしさに驚いたこと、コダックの子会社Diconixでインクジェット方式のフォームプリンタが封筒の宛名を連続で印刷していたこと、テクトロニクス社へカラーインクジェット用紙の納入に成功したこと等を述べている。日本のみならず、アメリカでもインクジェットプリンタは開発の対象であったようである。

このような中で、1984年にヒューレット・パカードが世界で初めてサーマル方式のインクジェットプリンタを発売した。1985年にはキヤノンも自社開発のサーマル方式を「バブルジェット」と命名しBJ-80を発売した⁶⁾。富士ゼロックス、レックスマーク（もとはIBM）などでもサーマル方式のインクジェットプリンタの開発および販売が行われていた。

さらに1990年代にセイコーエプソンがピエゾ素子を複数に重ねて使用した「マツハジェット」を開発⁷⁾、カラー高画質化にいち早く成功し、優れた性能でマーケットでの地位も確保した。ブラザー工業もピエゾ方式でインクジェットプリンタを製品化しているほか、CADや大判用プリンターとしてはローランドなどでも採用されている。

表8.1に各種のインク粒子化方式を示す。

表8.1 インク粒子化方式の分類とインク・用紙

	インク粒子化方式	インク	用紙	メーカー例
連続噴射型	荷電制御型 ① Sweet型	水性	専用紙	日立製作所、IBM、NTT 沖電気、A.B. ディック
	② Hertz型	水性	専用紙	APPLICON、ミノルタ
オンデマンド型	空電制御型	油性	(普通紙)	松下技研
	圧力バブル ① Stemme型	水性	専用紙 普通紙	松下電子部品、三洋、富士フイルム シャープ
	② Kyser型	水性	専用紙 (普通紙)	コニカ セイコーエプソン
	③ Gould型	水性	専用紙	シーメンス、日本電気
	サーマルジェット (バブルジェット)	水性	専用紙 普通紙	HP キヤノン
	磁性インクジェット	磁性	普通紙	松下電産
	熱溶解インクジェット	固体	普通紙	Howtek

注) 専用紙……インクジェット用に開発された特殊紙
普通紙……市販上質紙

その結果販売台数は爆発的に伸びた。

1997年度 283万台 1998年度 320万台
(JETIA 統計)³⁾

その後のインクジェットプリンタおよび複合機の市場規模を以下に示す(数字は台数)。世界全体で伸びていることがわかる。

表 8.2 インクジェットプリンタの市場規模

単位:千台

年	世界市場		日本市場	
	プリンター	複合機	プリンター	複合機
1999年	51,232	(統計なし)	4,689	(統計なし)
2000年	63,690	(統計なし)	6,414	(統計なし)
2001年	60,590	(統計なし)	6,104	(統計なし)
2002年	58,200	10,700	5,545	500
2003年	55,706	25,500	5,043	140
2004年	51,616	38,100	4,192	2,200

出典 - JEITA 情報端末動向

そして、以下が 2010 年の統計である。

表 8.3 インクジェットプリンタ販売台数 (2010 年)

	千台
世界市場規模	
合計	121270
ドットマトリックス	2463
インクジェット単能機	17466
インクジェット複合機	66266
ページプリンタ	22080
ページプリンタ複合機	12995
日本市場規模	
合計	7383
ドットマトリックス	42
インクジェット単能機	971
インクジェット複合機	4900
ページプリンタ	880
ページプリンタ複合機	590

出典 - JEITA 情報端末動向

この過程での用紙の開発については 8.2 項で触れる。

8.1.3 商業印刷への展開

身近なプリンタが注目されている中で、その高速性に注目し、いくつかの地道な業務向けの用途開発が進んでいた。

ビジネスフォームの分野ではデジタルプリントサービスの伸長に伴い、インクジェットプリンタが 1960 年代のムーア社に始まり導入されてきている。利点

は、高生産性と低コストで、電話や公共料金の請求書等に可変情報を高速で印刷するのに適している。また、欧米では高級フルカラー印刷(オフセット印刷)に高速インクジェットヘッドによるバリエーションを組み合わせ、高品質の個人向けダイレクトメール(DM)制作が行われている。日本では折加工機やシートフィダーにプリンタヘッドを組み合わせる例が多い。

もう一つは、オフセット印刷の代替である。飯森は 2008 年の Drupa (国際総合印刷機材展)の様子を紹介している⁸⁾。「この展示会はインクジェット Drupa と言われたくらいに各社が新型のオンデマンドインクジェットプリンタを発表していた。コダックの Stream、Versamark、HP の inkjet web press、富士フイルムの Jet Pres 720、大日本スクリーンの Truepress Jet、アグファの Anapurna、ミヤコシの MJP、Oce の Jetstream で、商業印刷分野への進出を目指したもので(大きさは印刷機なみのものまで)、現行のオフセット印刷の一部がこれらインクジェットに置き換わると予想している。」

一例としてミヤコシのモデル MJP600 に仕様を見てみる⁹⁾。

長さ:6605mm 高さ:2225mm

印刷方式 ピエゾ式 ドロップオンデマンド方式
ラインヘッド

解像度 600dpi × 600dpi

最高印刷速度 100-150m/min

使用インク 水性染料及び顔料インク

最大印刷幅 541mm

なお、三菱製紙はこの印刷機に合わせた用紙を開発販売している。

その性能、生産性を標準的なオフセット印刷機(印刷速度:500m-600m/分、印刷幅:600-800mm)と比較してみる。印刷速度では、インクジェット印刷機はまだ遅い。しかし、オフセット印刷機では、4色印刷が普通で、4つの胴があり、原稿が替わる度に4枚の版を付け替える。最近では、個人向けのダイレクトメールなどに代表されるように印刷物の多品種・少部数化が進み、加えて短納期でタイムリーな印刷物の作製が求められる。この目的には、版を取り替える必要のないインクジェットシステムでは大きなメリットが見出せる。

印刷の解像度(精細度)では様子が異なる。印刷の精細度を示す指標とし古くから「線数」が使われる。

この線数の2倍が dpi (ドット/インチ) に相当する。一般的な印刷の適正解像度は次のように言われている。

- 新聞 (モノクロ) : 85 線 = 170dpi
- 新聞 (カラー) : 100 線 = 200dpi
- オフセット印刷 : 175 線 = 350dpi
- 高精細印刷 (写真集など) : 200 線以上 = 400dpi 以上
- グラビア印刷 (凹版印刷) : 200 線以上 = 400dpi 以上

インクジェット印刷の解像度は先のミヤコシのもので 600 dpi で、商業印刷として十分に高いことがわかる。ちなみに、コピー機 (PPC) は通常 300dpi で、高精細のコピー機では 600dpi のものもある。感熱プリンタでは、漢字プリントでは 600dpi、ファックス用途で 200dpi である。

もう一つの例として、富士フィルムが 2008 年に発表したインクジェットデジタルプリントシステム『Jet Press 720』を紹介する¹⁰⁾。2008 年の drupa で、世界で初めて シングルパス方式 (印刷用紙に対してヘッドを 1 回だけ走査させて印刷を完成させる方法。高速印刷が可能) で、1200dpi の高解像度で、菊半サイズ (728mm × 515mm) の用紙に印刷できる。

まず、印刷用紙にインク (水性) の凝集、定着を短時間に可能にするプレコート層を塗工する。次いで描画、乾燥、定着を行う (図 8.4)。これにより、従来の水性インクが抱えていた紙変形やカール (8.2 参照) を大幅に改善して、多様な印刷用紙に対応できるようにした。

また、標準的な 600dpi の解像度は 23.6 ドット/mm に相当する。この解像度でプリントヘッドを毎秒 500mm で移動させながら全面印字するためには毎秒 11,800 (23.6x500) 発ものインクの噴出が必要となる。当然、カラー印刷の場合では色数 (通常 4 色から 7 色) 分の同じ場所に重ね合わせて噴出する技術が必要である。また、プリントヘッドの動作と被印字媒体送りを同期させる制御や色ごとに塗布位置が若干ずれても目立たないような画像処理をあらかじめ行うなどのプリンタ周辺技術も高度なものが求められることになる。

このインクジェットプリンタのもつ、非接触で微小液滴を正確に着地させることができるという特長を応用したさまざまな研究が行われている。

- 捺染 (なせん) 装置
- 回路基板製造
- DNA チップ
- ディスプレイ装置

日本の製紙産業では、感熱紙に続く情報用紙としてインクジェット用紙に期待し製品開発に力をいれ、インクジェットプリンタの発展に合わせて用紙の開発を進めてきた。

8.2 インクジェット用紙の技術開発

8.2.1 インクジェット用インクの特徴

紙は親水性のバルブで構成されているため、水を一滴落とすと滲んで広がっていく。この滲みを起こさないように、通常、紙はその用途に合うようにサイズ処理 (撥水処理) されている。サイズについては 4.5.1 (内添サイズと表面サイズ) にて説明しているのので省略する。インクジェットの特徴は、インクが水性であることで、通常の印刷用紙と異なった品質を求める。

一般の印刷インクとインクジェットインクの違いを少し説明する。近年では、オフセット印刷が多く使われている。そのインクは、6.3 で説明しているが、油性で紙の膨潤を引き起こさず、酸化重合により平らなインク表面を形成する (蒸発しない)。もう一つの印刷方式であるグラビア印刷では、有機溶剤 (油性) が媒体で (近年では水性グラビアも開発されているが)、これも紙を膨潤させず、溶媒は加熱により蒸発する。

これに比べ、インクジェット用のインクはペン書き以来の水性で、それに着色剤、浸透剤、乾燥防止剤、pH 調整剤、防腐剤、防かび剤などが添加されている。しかも、媒体の水は大気中へ自然蒸発するのを待つことになる。

インクの色は着色剤によるが、それには染料と顔料

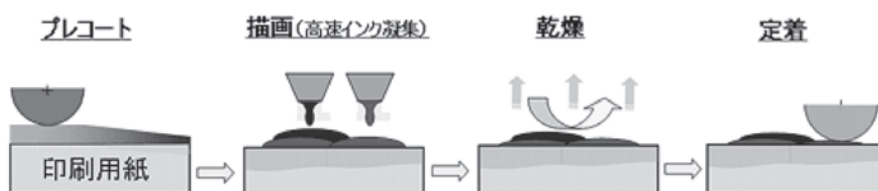


図 8.4 高速インク凝集の概念図

がある。プリンタヘッドのノズルの目詰まりを起こしにくいことから、水溶性染料インクが主流である。染料の種類としては、酸性染料と直接染料が主に使用されている。顔料は、水に対する分散方法やノズルの目詰まりなどの問題から実用化が遅れていたが、優れた耐光性、耐水性を生かして大型のインクジェットプリンタでは広く使われだした。

浸透剤は、インクの表面張力を下げて紙へのインクの浸透を助けるもので、界面活性剤や有機溶剤が添加されている。また、エタノールやイソプロパノールなどの低沸点の水溶性有機溶剤は、表面張力を低下させると同時に蒸発を早めて滲みを抑制する効果がある。

乾燥防止剤はプリンタヘッドのノズルの目詰まりを防止するために、吸湿性化合物、例えばジエチレングリコール、ポリエチレングリコール、グリセリンなどが使用される。

ほかに、溶けた着色剤を安定に保つための pH 調整剤、保存中の微生物の増殖を防ぐ防腐防かび剤（例えば安息香酸ナトリウム、ソルビタン酸カリウム、チアベンダゾール、ベンズイミダゾール、チアゾスルファミドなど）、インクの泡立ちを防止するための消泡剤、顔料インクでは顔料を分散するための分散剤、インク中の溶存酸素を除く脱酸素剤などが加えられている。

8.2.2 インクの吸収

初期のインクジェットプリンタの水滴は大きく、一滴の直径は $100\ \mu$ 以上であった（現在では $20\ \mu$ 以下）。ここで要求されるのは、インクを滲ませないと同時に速くインクを紙中に吸収することである。たとえば、カラー印刷では、次々に色の異なったインクが飛んでくる。インクの吸収が遅いと色の異なるインクが水滴状態で混ざってしまう。インクを滲ませないでかつ迅速に吸収しようとする相反することが要求され、この問題は単純にサイズ度を上げるだけでは解決できない。

紙の構造は、パルプが層をなしているが、約 40% は空間である。このように空間が多いことで光がパルプの表面で乱反射し、不透明になる。この空間でインク（水）を吸収する。紙に吸収されたインクはなるべく紙中を拡散することなくその形を保ちつつ蒸発する必要がある。空間が多ければインクを吸収しやすいが、一方では拡散しやすく形状が崩れやすい。

もう一つの考えは、紙の表面に塗工層を設け、そこでインクを保持しようとする。この方法は、プリント画質を大きく改善するが、コストがかかり、高画質を求められる際にのみ用いられる。次に、印刷物として

は、なるべく見栄えが良く、光沢のある印刷が求められる。印刷光沢を出すためには、インクが紙の上で平らな表面を形成して残った方がよく、これはまたインクの吸収性と相反することになる。小島⁵⁾はその様子をモデル的に4つに分類し、インクジェット用紙に要求される物性との関連を調べている。

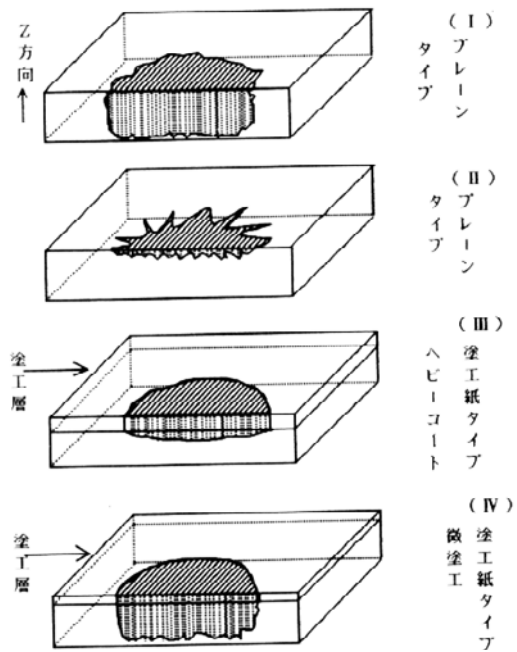
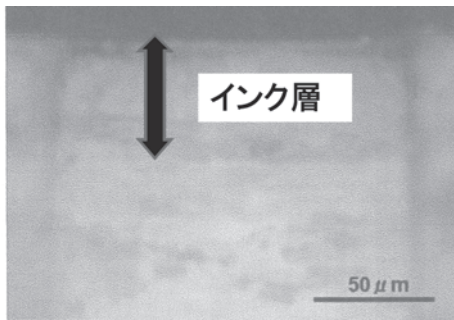


図 8.5 インクジェット記録用紙の分類インクの吸収状態とドット形状

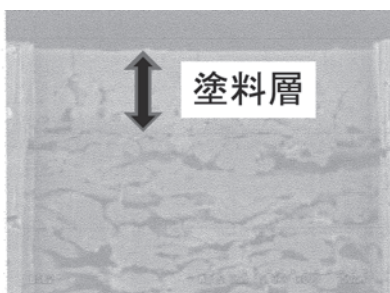
塗工紙、非塗工紙の表面の状態は図 4.44 及び図 4.15 に示してある。これらの写真から、細かな填料が表面を覆っている塗工タイプのインクジェット用紙とパルプの集積で空隙の多い普通紙のインクジェット用紙ではインクの保持メカニズムが異なることが理解される。

インクの性能も重要な因子である。染料が水に溶けている染料インクではプリンタのノズルの詰まりが起きにくく、コストも安い。しかし、当然のことながら、耐光性が劣り、耐水性も弱い（水滴がつくと滲む）。発色は良く、印字部では光沢がでやすい。顔料タイプのインクでは、数 $10\text{nm} - 100\text{nm}$ の顔料を水に分散しているので、プリンタのノズルが詰まりやすい。しかし、耐光性、耐水性に優れている。一方、色剤（顔料）が表面に残るので摩耗に弱く、光沢が出にくい。尾崎¹¹⁾は光沢紙（塗工紙）での顔料インクと染料インクの浸透の違いを光学顕微鏡像と反射電子像による紙断面写真で示している（図 8.6 及び図 8.7 参照）。光沢紙では、染料インクは塗工層 $30\ \mu$ を通り抜け $47\ \mu$ （原紙の中に $17\ \mu$ ）まで浸透している。顔料インクは

塗工層表面の空隙に詰まっているが、塗工層の中には浸透していない。

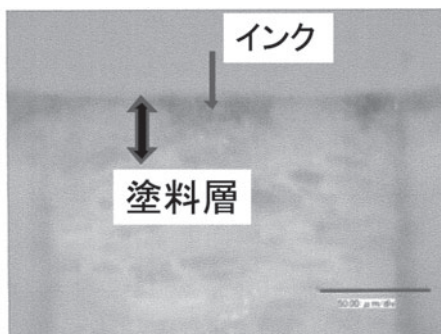


(A)

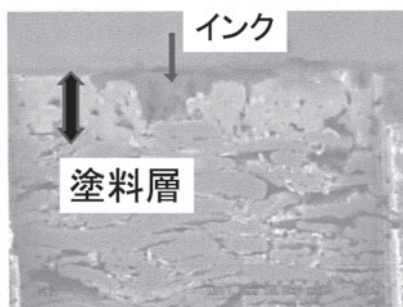


(B)

図 8.6 染料インクが塗工層の下まで浸透している。
((A)が光学顕微鏡像、(B)が電子写真像)



(A)



(B)

図 8.7 顔料インクは塗工層の上に載っている。
((A)が光学顕微鏡像、(B)が電子写真像)

このインクの動向も紙への品質要求に影響してくる。

もう一つの因子が、印刷物の品質要求である。大きく分けると、家庭用またはオフィス用の小型のプリンタと商業用の大型プリンタでは求められる品質が異なる。さらに、単なる黒一色のプリントか、多色の写真グレードなのかではまた異なってくる。当然、紙はそれらの要求に合うように多くのグレードが準備されねばならない。

8.2.3 インクジェット用紙の分類

感熱紙では、熱を受け取るとあとはすべて紙サイドの問題であり、用途が多様化しているが、ある大きな枠の中（発色機構は同じ）である。インクジェットでは、印刷物は紙とインクとの相互負担であり、印刷後の品質（見栄え）も感熱紙に比べると非常に多様である。これらのことから、インクジェット用紙メーカーはそれぞれの製品ラインアップをそろえているが、以下のように分類されよう。

*普通紙インクジェット用紙（非塗工）

PPC との共用紙が一般的であるが、他にインターネットホームページや大型のプリンタの出力に最適なインクジェット専用紙があり、特殊な表面処理により、発色に優れ、染料インクでも高い耐水性を持たせている。

*塗工インクジェット用紙（光沢のない塗工紙）

インターネットホームページ等のカラー出力に最適な用紙として各種厚みで用意されている。年賀状はがき、さらにカードの作成に最適な両面タイプもある。より高品質の画像を得るため、高い発色性を持つつやなし写真用紙も範疇にはいる。

*光沢インクジェット用紙

強光沢、高白色の光沢紙で、写真出力は勿論のこと、カード作成やラベル用の上紙としても使用でき、顔料インク対応タイプも用意されている。

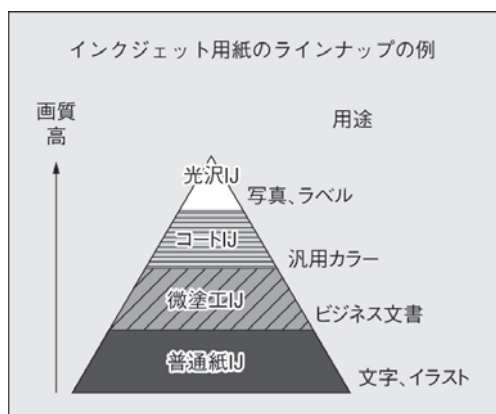


図 8.8 インクジェット用の分類例¹²⁾

分類の例を図 8.8 に示す。それぞれのグレードに合わせて用紙の設計が異なってくる。

8.2.4 インクジェット用紙の製造技術

* 普通紙インクジェット用紙

普通紙タイプのインクジェット用紙は、PPC との共用の場合が多く、インクジェット適性を持ちながら PPC (電子写真) 適性を満たさねばならない。このため、パルプの叩解度 (この報告では説明していないが、抄紙時のパルプの脱水性と、製造された紙の品質に大きく影響する) や使用する填料 (炭酸カルシウム) は基本的には PPC 用紙の処方となり、その上で、インクジェット適性を与える。基本的にはサイズ度のコントロールにより液の浸透を調節する。

黒山¹³⁾ は、紙の臨界表面張力 (紙の上での接触角がゼロとなる液体の持っている表面張力) とインクの吸収性や滲みとの関連を調べている。臨界表面張力の異なる紙を作成し (具体的には複数のサイズ剤を用いて、それぞれサイズ度の異なる紙を作成し、その臨界

表面張力を測定)、試作インクを落とした際の挙動を調べている。その結果、臨界表面張力が低い方がドットの面積が小さく、フェザリング (インクドットの形が羽根のようにけば立つ) が少ないが、インクの乾燥時間が長くなる。これらを勘案して最適のサイズ剤とサイズ度を定めることになる。

もう一つの改良は、より積極的に紙表面でインクを凝集させる方法で、塩析を用いる。塩析とは、親水性高分子の溶液 (この場合、水に溶けた染料) に塩 (えん) を添加すると、多量に発生したイオンが水和するため、溶媒の活量が減少し、溶解度が低下、溶けている溶質 (この場合染料) が凝集する。方法としては、弱酸のアルカリ金属塩 (例えば、炭酸水素塩、各種のリン酸塩) をサイズプレスにより表面塗工する。この場合、紙の濡れ適性は未処理と変わらないため、染料のみに作用していると考えられている。また、この効果は、酸性紙より中性紙においてより顕著である (例えば文献 14、15))。いずれにしろ、細かな仕様は、各用紙メーカーのノウハウである。

* 塗工インクジェット用紙 (光沢のないもの: マットコート)

塗工紙のインクジェット用紙は、表面の塗工層でほとんどのインクを吸収・保持しようとする。その方法に二通りある。

一つは、多孔質の無機填料、具体的には非晶質シリカ (まれにはアルミナ) を塗工する。そのシリカにはインクジェット用紙向けの微妙な適性が求められることから、填料メーカーの技術開発がすすめられている。(例えば、高橋ほか¹⁶⁾)

表 8.4 非晶質シリカを用いたインクジェット記録紙の機能化

〔インクジェット記録紙に要求される特性〕	〔コート層での非晶質シリカの必要特性〕
(1) インクの吸収性 ドットが重なった場合でも、インクが流れ出したり、にじんだりしないこと	⇒ 吸湿速度、吸湿容量
(2) ドットの真円性 インクドットが真円状で、その大きさが均一であること	⇒ 粒度分布
(3) 色彩性 印字の濃度、光沢、色相、鮮明度に優れていること	⇒ 透明性、表面染着能
(4) 耐光性 印字が紫外線などで退色、変色しないこと	⇒ 酸強度分布
(5) 表面強度 記録紙表面のバインダーの効きが良好で粉落ちしないこと	⇒ 吸油量、見掛比重、粒度分布

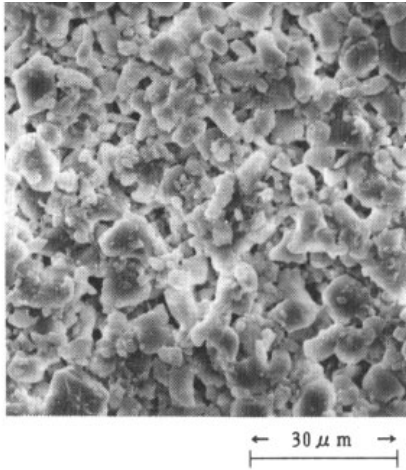


図 8.9 シリカ塗工紙の表面写真

シリカを析出させる際に、粒径、細孔分布、比表面積、吸湿量、シラノール密度、酸強度分布（後者の二つはインクの耐光性に影響する）等をコントロールする。シリカ塗工紙は画像記録特性に優れているが、保存状態によっては退色する。そのため、シリカの上にアルカリ土類金属化合物をコーティングすることも行われている。

バインダーとしては、PVA が一般的で、R タイプ PVA（ケイ素含有ポリマー）、でんぷん、CMC、SBR 等も使用される。非常に多孔質のシリカをつなぎとめるため、バインダーにはより強い接着力が求められる。その添加量は、填料 100 部に対し 20-50 部である。一方、製造上の制約から PVA の高分子化には限界があり、未変成の PVA を金属架橋剤（例えば塩基性塩化ジルコニル等）と組み合わせる工夫もされている。その技術開発の例を万台他が示している¹⁷⁾。

これらの構成物の技術開発をもとに、汎用の塗工機で、高効率で生産することが製紙会社の技術力となる（4.5. 塗工の原理と塗工技術の発展）。

もう一つの方式は、高分子化合物を塗布し、その皮膚の膨潤作用によってインクを吸収する。ちょうど、紙おむつと同じ原理である。しかし、インクの溶媒が高分子間に取り込まれて膨潤しており、なかなか乾燥しない。極端な場合数十分も乾燥時間を必要とすることがある。

市販のインクジェット用紙では、コート層が高分子系であるか多孔性微粒子系であるかを区別して販売をしておらず、外観では両者を区別はできない。皮膚がベトベトしてくる場合は高分子系コート紙と考えられる。

*光沢インクジェット用紙（写真向け）

市場で最も高価とされるインクジェット用紙で、プリントアウトは写真印画紙やアート紙などの高級な印刷質感を示す。その製法は大きく分けて三通りある。

写真用印画紙あるいはフィルムなどのベースに多孔性微粒子系コート層を設けたもの、写真用印画紙あるいはフィルムなどの平滑性のあるベースに高分子系コート層を設けたもの及び紙をベースに多孔性微粒子系コート層を設けたもので、それぞれ一長一短がある。今後の傾向としては多孔性微粒子系コート層（シリカを主成分）を設けたインクジェット用紙が主流となっていくと考えられている。

前二者は、従来の写真印画紙の製造技術の延長であり、三番目のものは、塗工紙の中でキャストコートと呼ばれてきた技術の延長である。この光沢紙の分野はメーカーの数が少なく、それぞれのノウハウが絡んでおり、プリンタメーカーの指定紙として納入され、プリンタメーカーの銘柄で販売されている場合も多い。三菱製紙のホームページがそれらの光沢紙の特質を紹介している¹⁸⁾。

1) 印画紙／フィルムベースの多孔性微粒子系光沢紙
ベースもコート層も高価。

最も画質がよい。

速乾性である。

耐水性がある。

白紙部分の変色が起こる場合がある。

コロイド状の粒子を1平方メートル数十グラム塗工。

製造が困難。

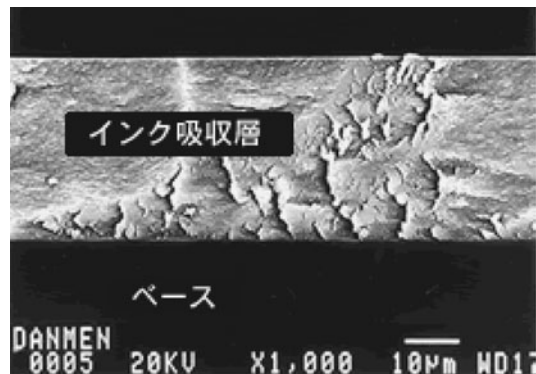


図 8.10 多孔性微粒子系光沢紙

2) 印画紙／フィルムベース高分子系光沢紙

ベースは高価だが、コート層は安価。

微粒子系よりも画質が劣る。

白紙部分の変色はし難い。

印字部分の乾燥速度に劣る。

耐水性に劣る。

製造方法が容易であり、高生産性である。

高分子溶液をベース上に塗工するだけである。



図 8.11 高分子系光沢紙

3) 紙ベース多孔性微粒子系光沢紙（キャスト光沢紙）

ベースが紙であり比較的安価。

高精細では、印画紙やフィルムベースに一步及ばず。

インク吸収性に優れる。

印字について、速乾性である。

白紙部分の変色が起こる場合がある。

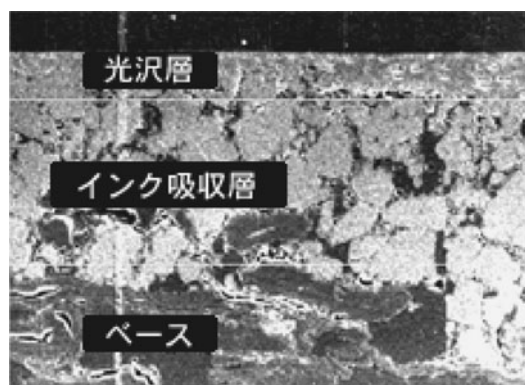


図 8.12 キャスト光沢紙

少し古いデータであるが、土田が、各社の写真用プリンタとその指定インクを用いて、各種光沢紙（メーカー指定紙も含む）のプリント品質、特に保存性を比べている¹⁹⁾。

表 8.5 インクジェットプリントの保存性評価

プリンタ (メーカー)	項目	専用紙							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
PM 800 C (エプソン)	インク吸収性	○	○	△	△	×	×	×	×
	耐光性	○	○	△	△	△	△	○	△
	耐オゾン性	×	○	×	×	○	○	×	×
F 850 (キャノン)	インク吸収性	○	○	○	○	×	×	○	○
	耐光性	△	△	×	×	×	×	×	×
	耐オゾン性	×	○	×	×	○	○	×	×
895 Cxi (HP)	インク吸収性	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐光性	△	×	△	×	×	×	×	×
	耐オゾン性	×	×	×	×	○	○	×	×

専用紙：①：PM 写真用紙（エプソン）
 ②：フォトプリント紙 2（エプソン）
 ③：プロフェッショナルフォトペーパー（キャノン）
 ④：フォト光沢紙（キャノン）
 ⑤：プレミアムフォトペーパー（HP）
 ⑥：インクジェットフォトペーパー（コダック）
 ⑦：フォト光沢紙 EX（富士写真フィルム）
 ⑧：フォトライク QP（コニカ）

土田は、エプソンの純正紙がキャノンのプリンタの能力をキャノンの純正紙以上に引き出しているのは興味深いとし、保存性は基本的にはインクが主役であるが、インクの方が十分発揮できるような専用紙の設計が不可欠であるとしている。

インクジェット用紙の技術開発のもう一つの特徴は、日々進歩するインクジェット技術に対し、如何に早く変化・適応させていくかである。

8.3 インクジェット用紙の海外展開

情報用紙の海外展開はノーカーボン紙から始まる（7章と重複するが、その動きを簡単にまとめる）。1953年にNCRが開発したが、日本にその基本特許が申請されていなかったため、1962年頃から日本国内で製紙3社と富士フィルムが生産を始めた。これら4社が競争したことで品質が改善され、国内の需要を喚起し（世界的に見ても早く立ち上がった）、それがさらに技術開発と生産量の増大によるコストダウンを生み出した。一方、海外ではNCRがコンピュータに志向したことや独占によるライセンスの少ないことなどから技術改良が遅れ気味になり、日本の製品が評価され輸出されだした。これが生産規模の拡大につながりコストダウンを押し進めた。さらに、ノーカーボン紙は、次の感熱システムやインクジェットシステムのようなプリンタとの組み合わせを必要とせず、それ独自で販売できたことも輸出に寄与したであろう。

この輸出の経験をベースに感熱紙が展開する。感熱紙を最初に開発したのはNCRで、さらにそれを利用した感熱プリンタを開発したのもNCRであった。しかし、NCRの最初の感熱紙の特許は日本で成立せず、それを補強する追加の特許は成立したが、感熱紙の特

徴（多くの薬品の組み合わせが可能）のため、強力なものでなかった。このため、感熱紙には多くの製紙会社他が参入してきた。この時期（1970年代）、通信の分野で開発の対象となったのがファクシミリであった。海外では、アルファベットと数字を扱うテレックスが依然として評価されていたが、日本では、漢字を使うことへの要望が強く、静電記録方式、放電記録方式等が多くの日本の電機メーカーで検討されていた。このなかで、感熱システムがプリンタとしての簡便さからファクシミリの主流になっていく。この過程で解像度を上げる要求から感熱紙も技術開発が進められる。結果として、日本のユーザーを満足させたファクシミリと感熱紙が世界に広がり、テレックスに置き換わっていった。この際、ノーカーボン紙の販売ルートが助けとなり、ノーカーボン紙のメーカーが感熱紙の主力生産者となっていった。感熱紙の市場が大きくなるとの期待から、その技術開発が素材メーカーも含めて過熱し（例えば、7.3の膨大な特許の出願数）、これがさらに日本での品質改善を生み出した。

1980年代に急速な円高が進むと、輸出から海外生産へ切り替えざるを得なくなった。このため、主力製紙3社はアメリカ、ヨーロッパに生産拠点をつくった。ところが、ファクシミリの市場は、普通紙タイプ（レーザープリンタや熱転写方式）に急速に置き換わっていく。さらに、電子メールの普及でファクシミリそのものが使われなくなった。これに対し、技術開発をレジロールや値付けラベルに向けることで新たな市場を生み出すことになった。

これらのノーカーボン紙、感熱紙の海外展開に乗った形でインクジェット用紙の海外展開が進んでいる。インクジェットプリンタでは、日本では日本の2社が主力であるが、世界の販売量としてはHPに水をあけられている（2009年のHPのシェアは72%（米調査会社Gartner Inc.））。このため感熱紙のように日本仕様で押し通すことができない。さらに、普通紙グレードはPPC用途と共用が多く、品質での技術的優位性を発揮しにくい。これらのことから海外展開の主力は塗工紙特に強光沢紙になっている。

具体的な展開では、王子製紙はアメリカの工場で感熱紙と合わせてインクジェット用紙の生産を進めている。三菱製紙はヨーロッパの工場と同じように感熱紙とインクジェット用紙を生産している。日本製紙はフ

インランドの工場で生産を検討したが取りやめ、感熱紙のみを生産している。それらの工場の生産規模等は7.4を参照してほしい。

引用文献

- 1) Wikipedia より
- 2) 中村孝一：情報産業と紙 (I) 紙パ技協誌 Vol.29, No.1 p.12 (1975)
- 3) 永井弘一：紙パルプ技術タイムス 2000年5月号 p.56
- 4) 沢村 貴和、森下 貞男：情報産業用紙 紙パ技協誌 Vol.41, No.10 p.141 (1987)
- 5) 小島裕：インクジェット記録用紙の最近の技術動向 紙パ技協誌 Vol.43, No.12 p.1 (1989)
- 6) 太田徳也：バブルジェットカラー記録の現状と将来 紙パ技協誌 Vol.47, No.10 p.19 (1993)
- 7) 碓井稔：インクジェット記録の高画質化と高速化 紙パ技協誌 Vol.48, No.7 p.19 (1994)
- 8) 飯森武史：インクジェット技術基礎講座 紙パ技協誌 Vol.64, No.6 p.78 (2010)
- 9) (株)ミヤコシ 製品カタログより
- 10) 富士フイルム(株)ホームページ (2012年1月) より
- 11) 尾崎靖：用紙断面におけるインクジェットインキの浸透とカラーレーザープリンタのトナーの転移の観察 紙パ技協誌 Vol.61, No.4 p.90 (2007)
- 12) 日本製紙(株)ホームページ (2012年1月) より
- 13) 黒山良弘：インクジェットメディアにおける受容層設計技術と吸液性の制御技術 p.28 技術情報協会 (2000年)
- 14) 特開平- 04-331182
- 15) 特開平- 05-042757
- 16) 高橋 正男、佐藤 悌治、小川 政英：インクジェット記録紙用非晶質シリカの開発 紙パ技協誌 Vol.42, No.10 p.24 (1988)
- 17) 万代 修作、平井 良明：インクジェットシリカバインダー用ポリビニルアルコール-架橋性PVA ゴーセファイマーZの応用— 紙パ技協誌 Vol.58, No.11 p.61 (2004)
- 18) 三菱製紙(株)ホームページ (2012年1月) より
- 19) 土田実：インクジェット画像の保存性について 紙パ技協誌 Vol.54, No.11 p.113 (2000)

9 | 情報用紙の変遷から見える日本の技術開発

9.1 近代製紙産業の歴史から見える技術開発

古くから、紙の使用量は文化のバロメータと言われてきた。そのため、一人当たりの紙消費量が紙の需要予測に使われてきた。先進国と言われる国は一人当たり年間 200kg 以上である (表 9.1)。

表 9.1 一人当たりの紙・板紙消費量 (2010 年)¹⁾

	kg/人
ベルギー	330.3
フィンランド	290.6
ドイツ	242.6
アメリカ	240.2
日本	220.4
デンマーク	210.3
スイス	203.8
中国	68.6
世界平均	57

一方、紙・板紙生産量では世界 1 位の中国は、68.6kg と世界平均 (57.0kg) は超えているが、先進国等と比較すると未だに低い水準にある。このため、世界中の製紙産業に関連する企業は中国に関心を持っている。

また、紙の需要は GDP にほぼ比例して伸びるとされてきた。これらの言葉の意味することは、社会が豊かになると紙への需要が高まり、それに合わせた技術開発が行われ、紙の使用が伸びてきた現実を表している。事実、産業革命以後社会が豊かになると、それに歩調を合わせて製紙産業の技術開発が進んできた。その歴史を見てみる。

9.1.1 イギリスの産業革命と抄紙機

最初の連続抄紙の技術革新はフランスで起きた。そのルイロベールの抄紙機の縮小模型が紙の博物館 (東京都北区王子) にあるが、桶の上でワイヤーを動かす程度で、機械力を組み込んだ装置には程遠い。そのプロトタイプの抄紙機が、当時の産業革命の中心であったイギリスでその後 150 年間使われる抄紙機の原型に作りかえられる。それは、紙の需要が急増し機械力により生産性を上げよとする要求と当時の最先端機械工業国イギリスの産業技術力の共作であろう。抄紙機がメカニカルの部材と機械力の組み合わせであるから、1800 年頃にそのインフラを持っていたイギリスで可

能になったと推測する。しかし原料のパルプの製造には化学知識の発展が必要で、そのため 19 世紀後半まで待つことになる。

9.1.2 19 世紀後半のドイツの化学発展とパルプ製造

紙の原料となるパルプが産業革命の恩恵を受けるのは少し遅れてからである。ゲーテンベルグの印刷術の発明、ルネッサンスの文明革新により出版物が急増し、原料のぼろ (ヨーロッパのパルプの原料は家庭から回収された衣類のぼろが主体であった) が不足し、ぼろ回収者が町中を廻っていた。その代替原料として木材が目ざされていたが、それを使いこなすには、新しい化学的な知識とそれを可能にする産業技術力が必要であった。例えば、19 世紀後半に開発されたサルファイト法で使用する蒸解液は、硫黄を燃焼して亜硫酸ガス (SO_2) を生成し、炭酸カルシウムと反応させた亜硫酸水素カルシウムとし、それを亜硫酸の水溶液に溶解したものである。これを得るには硫黄の燃焼炉、 SO_3 の生成を防ぐための燃焼条件のコントロール (SO_3 ができると硫酸になり腐食が起きる)、炭酸カルシウムとの反応塔 (炭酸カルシウムの積み上げたタワー) 等のエンジニアリングが必要である。蒸解釜は 5 - 6 気圧の耐圧が必要であり、酸性蒸解液のため内面はレンガ積みライニングのバッチ式の容器である。別のアルカリ蒸解では、苛性ソーダが必要で、その製造法 (例えばソルベール法) が開発されねばならなかった。

19 世紀後半の化学の発展をリードしたのがドイツで、染料の合成がその象徴であろう。そして、ドイツはこの時代ヨーロッパの中央にあり、急速に国力をつけ、産業技術力を発展させていた。社会の発展に合わせて紙の需要も増加したと想像され、ドイツは当時の世界最大の製紙国であった。原料不足が新しいパルプ化法の開発を促し、ドイツの総合的な産業技術力 (化学知識とその製造プラント) がそれを可能にしたと考える。そして、20 世紀前半では、パルプ化の化学から木材化学 (高分子化学の始まり) が花開き、そこからレーヨン、セロハン、セルロイドが生まれた。さらに、レーヨンから合成繊維へとつながっていった。

その実力を示すものとして、ドイツで当時から発行されている週刊の技術雑誌 (Wochenblatt für Papierfabrikation) (現在も月刊誌として存続) 1908 年分は 4500 ページになる。この技術雑誌は、日本の

代表的な製紙会社であった王子製紙（現王子製紙の前身）がこの年から定期購入し、そのバックナンバーがすべて日本製紙の図書館に揃っている。ようやく立ち上げたばかりの日本の製紙会社が先端技術を知るために定期購読を始めたのである。おそらく貴重な技術資料として扱われたと想像する。4500ページとはどの程度の意味があるのか紹介する。この雑誌、現在も続いているが、月刊誌に代わり、年間頁数は400 - 500頁である。ちなみに、紙パ技協誌（対応する日本の技術雑誌）の年間頁数は2000頁程度、後で述べるアメリカの紙パルプ技術協会の月刊誌（TAPPI Journal）の1950年代（当時世界最大の規模であった）の頁数は3000頁程度であった。その内容は、ニュース、研究論文、特許、広告等多彩で、広告に出ている設備は筆者が製紙会社に入った頃（1960年）のモデルに近い（ただ、ドライブに機械的な要素が多い）。このドイツの紙パルプ技術協会 ZELLCHEMING（The Association of Pulp and Paper Chemists and Engineers）は歴史がほぼ100年になる。

9.1.3 1920年代からのアメリカの発展

その後続いたのがアメリカであった。アメリカの製紙産業の発展は1920年代から始まる。この時代のアメリカは産業技術が開花し、あらゆる分野で存在を示し出した時代である。T型フォードであり、ナイロンであり、ベークライトであり、その他等々。社会も豊かになり、紙への需要が増え、要求も高まってくる。ここで、包装材とティシューの用途が1920年代に開発され、これにより紙の需要は倍以上に膨れあがる。薄くて弱い紙を、強度と耐久性を求める包装材（段ボール、白板、ミルク・カートン）に仕立てあげたのは製紙産業の最大の発明の一つと言えよう。

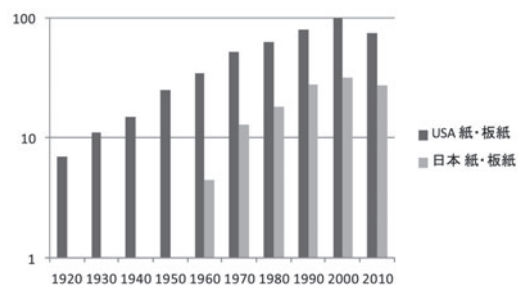
この時期にアメリカで塗工紙が開発された。P. J. Massey（彼の名前をとったMassey coaterが有名である）によると²⁾、1933年（この年に最初の連続式の塗工機が稼働したとしている）の生産量は100トンであった。それが、1950年には102万トンであり、その前の1948-1950年の3年間に実に39.3万トン増えている。その理由は、印刷者が望むような良い品質の塗工紙を生産できるようになったこととそれを彼らが使用できる価格で提供できるようになったことであるとしている。

この連続式の塗工機により塗工紙が安価に大量に生産できるようになった。この塗工機はロールタイプのコーター（4.5項参照）で、それを工夫したメーカーの名前をつけて呼ばれていた（例えば Consolidated

(Massey) coater, Kinberly-Cark coater, St. Regis coater, West Virginia coater)。その多くは製紙会社で（機械メーカーでなく）、後に大手の製紙会社に成長していった。アメリカが豊かになり、塗工紙の需要が急速に拡大しており、それがこの技術開発を引き出したのであろう。

1950年は日本の戦後復興が始まったところで、日本でも紙パルプ技術協会が生まれ、技術雑誌（紙パルプ工業雑誌、後に紙パ技協誌となる）を発刊していた。その年間頁数は445ページで、もちろん塗工紙ではない（本文用紙と呼ばれ、いわゆるざら紙）。この時期、アメリカの技術協会（TAPPI）の発刊するTAPPI Journalは塗工紙を使用し、年間頁数は前に述べたように約3000ページであった。

そのアメリカの紙・板紙の生産量推移を図9.1示す³⁾。縦軸は対数である。1920-1980年の間、ほぼ同じ勾配で伸びている³⁾。言い換えると、60年間に亘って、ほぼ同じ増加率で成長し続けたことになり、ある意味驚異的である。それを支えたのがMasseyの言うように良い製品を安く提供したことで、技術力がその根底にある。技術力をさらに分解すれば、安く製造できる設備を開発する力と、それを使って良い製品を生産する生産力になる。（2000年以降生産量が落ちているが、これについては後に（9.1.4）考察する。）



単位：100万トン/年 縦軸は対数目盛

図 9.1 アメリカにける紙・板紙生産量の変遷
(参考として日本の紙・板紙生産量も併記)

当時のアメリカでは、世界最大の紙生産を支えるインフラと、その紙を使用する豊かな使用者がいたと言える。余談になるが、当時、日本の製紙会社では海外（主としてアメリカと一部スウェーデン）の設備を導入するか、そのコピーの国産設備を使用していた。しかし、それを操業することでは負けないとの自負を持っていた。また、日本の塗工紙生産は1970年頃より急速に伸び出す。

ドイツはどのようになったのか。ドイツ製紙産業は

第二次世界大戦で壊滅的打撃を受け、その後、マーシャルプラン等で復興支援を受ける⁴⁾。しかし、クラフト法（パルプ化法の一種で、この後世界の主要なパルプ化法となる。臭気がひどいのが欠点であった）を禁止したことで、化学パルプの供給が限られ、その成長は限定的となった。立地的にも北欧に近く、その輸入国となる。しかし、機械加工の実力は健在で、現在でも抄紙機製造の一翼を担っている。

9.1.4 2000年からのアメリカの凋落

1980年頃まで隆盛であったアメリカにも陰りが見え出す。現在は、中国に追い抜かれ世界第二位の生産国になっている。一人あたりの消費量は世界トップクラスであるが（かつては世界でトップ）、技術開発の分野で凋落が目立ってくる。

TAPPIにその例を見てみる。1990年代までのTAPPIは、世界最大の紙生産国であり、最高の技術レベルの国の技術団体として君臨していた。TAPPIの主催するそれぞれの技術領域の会議にはアメリカ、カナダのみならず世界各国から製紙技術者が参加し（例えば1000名以上）、盛会であった。それが、参加者が減少しだしたことから、従来は単独で開催していた会議を複数まとめて開催せざるお得なくなり、さらにそれが隔年開催になった。事務局には、100名以上の職員を抱えたいのが半数に減らすまでになる（個人的な情報）。

具体的な動きとして、1990年代中ごろより、製紙会社の研究部門の切り捨てが始まった。カナダの大手製紙会社アビティビヤ マクミランブローデル、アメリカのボイスカスケードでは100-150人規模であった研究所の閉鎖が行われた。産学で支えていたIPCやESPR等の研究機関も財政難に落ち込み、IPCはIPSTとしてアトランタへ移転した。製紙産業全体で技術部門の縮小が進行した。

それを裏付ける資料がある。1997年にSmithがまとめた「U. S. Paper Industry and Sustainable Production」では以下のように述べている⁵⁾。「製紙産業のR&D支出はすべての製造業の中で最も少ない部類である。1971-1990年では0.8% / 販売額で、製造業平均（2.8%）の1/3である。1980年代には主な製造業は2.1%から3.5%に増やしているのに、紙パルプは逆に0.9%から0.7%に減少している。政府の支出も紙の生産に関するものはほとんどなく、一方forestry, cell biology, biotechnologyの分野はそうではない。政府と企業によるR&D fundは、他の製造業では売り上げの3.7%から4.7%に増えているが製紙

産業のFundは0.8%に減っている。産業自身が「かつては間違いなしにU.S.がもっていたtechnological leadershipは、過去20-30年間にカナダやスウェーデン諸国に移った」としている。AFPA（American Forest and Paper Association）も「設備投資額が大きく、設備の更新に伴う経済的な結果が思わしくないことから大型の、新しい核となる技術の開発、応用が制限される傾向にある」としている。

当然、設備投資も停滞する。設備メーカーも開発の方向を紙パルプ以外に向け、マーケティング（具体的には雑誌への広告）も減りだす。そのあおりを受け、広告の掲載が減りだしたTAPPI Journalは、コスト軽減のため電子版にする等の試みをしたが失敗し、かつてのステイタスのあった雑誌が見る影もなくなってしまった。

その背景には、依然として需要があるにもかかわらず、今後の製紙産業の伸びに見切りをつけた冷徹な資本の論理があると考えられる。設備投資の停滞から、設備開発力の停滞次いで生産技術力の停滞さらにはそれらが縮小する過程が、象徴的にアメリカ製紙産業の衰退に表れている。

9.2 装置産業の技術開発

今まで見てきた近代製紙産業の技術史においては設備開発が重要な技術要素となっている。これは、製紙産業がその典型とみなされている装置産業の技術開発の特徴と言える。そこで、塗工紙生産をモデルに、装置産業の技術開発は如何に進むのか考察してみたい。現在の主流であるブレードコーターは1950年頃からアメリカで開発されだす。1930年代のロールコーターは、生まれて間もない製紙会社が工夫したのに対し、市場が大きくなってからのブレードコーターは製紙会社でなく設備のプロの機械メーカーが設備開発の主役になっている（日本でも、戦後は製紙会社が自分で設備を設計していたが、市場が大きくなると設備メーカーが主体になった）。その彼らでも、現在の高性能のコーターにたどり着くまでに数十年かかっている。ブレードコーターでは、塗料濃度は60%以上（填料60%のスラリー）で、これが紙の上に乗って、1500m/分の早さで走ってくる。これをブレードでバックアップロールに押しつけてかき落とす。これは、逆にカオリンや炭酸カルシウムのやすりでブレードを削っているようなものである。したがって長期の使用に耐えるブレードの開発が不可欠になり、ブレード（鋼板）の材質、ブレード先端の硬質化処理等

の技術が必要になる。紙幅が10mであれば、その全幅にわたってブレードのたわみをコントロールする制御（幅方向に塗工量むらが出ないように）が必要になる。カオリンや炭酸カルシウムも塗工に適するように粒状、粒径がコントロールされたものが求められる。バインダーも、単に接着力のみならず、塗工中の高いせん断応力（高速のため）に耐える安定性が必要になる。このため、バインダーの性質を分子構造のレベルでコントロールすることになる。塗工ではできるかぎり塗料粘度を下げる方が良い。そのための分散剤も量はほんの少しであるが、重要なノウハウとなる。塗工紙の巻き取りも大径化（この方が長時間連続して操業できる）するので、装置には、機械的な強度や安定性が求められる。もちろん塗工速度が変動してはいけないし（抄紙機ではもっと複雑で、複数の駆動装置が連動して速度を制御している）、定量的に原料を供給し続ける制御システムが必要になる。操業状況をモニタリングするシステムも不可欠であり、製品に欠陥が生じた時は一刻も早く警告をだす必要がある。このようないろいろの分野の技術レベルがそろって現在のブレード塗工が可能になり、塗工紙のコストダウンに寄与している。

では、製紙会社は何をしているのか。ユーザーの求める品質の塗工紙をより安く製造することである。品質を良くするため無制限に塗料を選択すると高価なものになり、競争力をなくしてしまう。如何にコストの安い塗料配合でユーザーの要求を満たすかが技術力となる。当然生産性もコストに大きく影響する。たとえば、塗料の中に異物が混ざりこみ、ブレードにひっかかると、その箇所筋状のむらができ、不良品となる。塗工工程で断紙が起きると、操業効率が大きくダウンし、コストアップになる。乾燥温度のプロファイルは塗工層の品質を左右するので、最適な条件を選ぶ必要がある。塗料を乗せる原紙の性能も重要で、パルプ配合、サイズ度に始まり原紙の幅方向のプロファイル等、製紙会社の生産技術力がものを言う。

塗工システムの技術開発には、それを促す社会の発展があった。基本的には、より見た目のきれいな印刷への要望で、社会が豊かになるにつれ塗工紙の需要が伸びてきた。アメリカでは、1930年頃から需要が急増し、それがアメリカでの塗工技術を発展させた。日本でも1970年ころより需要が伸びだし、今日に至っている。その中で、ブレードコーターは塗工紙の生産性をあげ、コストダウンに寄与し、塗工紙の価格を安くしたことでさらなる需要を生み出してきた。例えば、日本独自の分類である微塗工紙は、日本のパルプ

原料事情と国内市場の要望を満たすことで生み出され製品である。

パルプ化設備、抄紙機、塗工機いずれも巨額の設備投資を必要とする。その償却年数は長く、（抄紙機では40年以上運転されている装置もかなりある）一度設備すると長期に運転することになる。一方、技術革新により、古い装置（設置当時は最新鋭の大型機）で生産される製品は品質、価格の競争力を失っていく。これをどう折り合いをつけるかが産業の浮沈にかかわってくる問題で、日本の製紙産業が苦勞してきたところである。

例えば、中国はいま最新鋭の設備をつけることでコスト競争力を生み出している。その設備は今後数十年稼働する。10年後に如何に競争力を保ち続けるかが問われてくるであろう。

9.3 情報用紙の変遷から見える技術開発

9.3.1 技術開発の特徴

情報用紙の変遷については第3章に述べているが、その中から浮かび上がってくる技術開発の特徴を改めてまとめてみたい。

* 追いつけに執念

1970年以前で気がつくのは、輸入紙（統計機カード、さん孔テープ）をなんとか国産化したいとの意志とその努力である。そして電気絶縁紙等を製造していた特殊紙メーカーがそれを可能にする技術力を蓄えていた。これは、装置メーカーにも言えることで、電算機メーカー、事務機メーカーが国産化に必死になっていた。これが以後の展開へつながる。

* 激しい競争

もう一つの特徴は、激しい競争である。情報用紙の将来への期待から多くの製紙会社が参入してきた。ノーカーボン紙は4社、静電記録紙や感熱紙では約10社。これらが技術的に激しく競争した。装置メーカー間でも同じ競争が起きていた。PPC、ファクシミリ、インクジェットプリンタ然りである。この競争が技術的に一歩世界から抜きこいでる原動力となった。

* 厳しいユーザー要求

日本の市場の特徴に、ユーザーの厳しい要求がある。それを受けるメーカー側が大勢いるので、ユーザーの意向が絶対となる。感熱紙の品質改良、NIP用紙やPPC用紙におけるパルプ配向の管理等はこの厳しい要求から生まれたと言える。

* 急速に豊かになった市場

日本が急速に豊かになったことが新製品の市場を急

速に立ち上げてきた。ノーカーボン紙（裏カーボン複写より高価）の普及率は1980年代には日本が世界で一番高く、新製品のファクシミリをいち早く使いだし、インクジェットプリンタも急速に普及した。

9.3.2 意識の方向がそろったことによる急速な技術開発と分厚いインフラの形成

上記の特徴を考えに入れて歴史的な流れを見ると別の視点が生まれる。1970年以前の国産化に執念を燃やした時代から、1970年代になると、技術開発に世界と対等のレベルで参加している。ノーカーボン紙の品質改良、国内の通信機メーカーと組んだ静電記録紙、感熱記録紙の開発、コピー用紙の品質改良等は模倣でなく、新しい技術領域へ踏み込んでいる。設備メーカーの方も同じで、国産のPPCが海外勢のライバルに挑戦しているし、ファクシミリの開発が日本で急速に展開した。1980年代になるとその前の技術開発をベースに積極的に世界に展開する。ノーカーボン紙、感熱紙の輸出であり、国産のファクシミリ、PPC等のメーカーにも同じことが言える。

この一連の時間軸での動きは、日本の国全体で、あらゆる産業で起きていた。国全体で意識のベクトルが揃い、その結果技術開発が同じように急速に展開し、産業のインフラが急速に厚くなった。

これと同じことが、産業革命の時のイギリス、19世紀後半の化学をリードしたドイツ、1920年以降の豊かな社会作り上げたアメリカで起きていたと推測される。なぜそのようなことが起きるのか技術史のテーマと言えよう。

9.3.3 なぜベクトルがそろったのか。

日本の社会が均質的で、教育水準が高いこと等が考えられる。これらについては多くの解説があるので省略したい。

このほかに日本の特徴として一億人の市場が狭い国土の中に集中していることを上げたい。韓国などは人口が少ないため国内市場を対象とした技術開発が困難と聞いている。それに対し、日本では一億人の規模が新製品の開発に有利に働いた考える。そして、市場が集中していることが技術開発の効率を上げてきた。例えば、アメリカやカナダの製紙工場は全国に散らばっ

ている。技術交流の会議を持つとすると、方々から数時間から十時間近くをかけて集まらねばならない。中国ではもっと大変である。日本では、飛行機で一時間で全国から東京へ集合できる。この時間の節約は大きく技術開発を加速する。新しい技術が広がる際にも同じことが起こり、日本では急速に全国に浸透する（例えば配向性管理のように）。結果として国全体として一つの考えが共有され、ベクトルがそろい、技術開発が加速する。ユーザーが身近にいることから要求に敏感に反応せざるを得ず、ユーザーをめぐって激しい競争となる。「カンバンシステム」もこのような背景で生み出されたとも言える。そして、これが戦後の日本型の技術開発モデルと言えよう。

一方、イギリス、ドイツ、アメリカで起きた急速な分厚い技術開発はこの日本型モデルでは説明できないであろう。これらを比較、分析することで技術発展の本質が見えてくるかもしれない。

9.3.4 今後の課題

現在の日本は国全体が停滞感、閉そく感にとらわれている。その根底には、日本型モデルの限界がある。これからの製品開発は日本人一億人のためだけではありえない。情報の流通・伝播もグローバルにならざるを得ず、日本国内の場合の早さや効率は期待できなくなっている。市場も多様化している。新しい時代に合わせて、情報を早く効率的に運用するシステムを作り上げるのが急務であろう。

引用文献

- 1) 日本製紙連合会 ホームページ (2012年1月)
- 2) P. J. Massey: New Horizon in Paper Coating TAPPI Journal 35, 7 p.8A (1952)
- 3) M. Smith: U.S. Paper Industry and Sustainable Production p.45 MIT (Massachusetts Institute of Technology) 1997
- 4) J.A. Atchison: The European Pulp and Paper Industry Moves Ahead TAPPI Journal 35, 6 p.10A (1952)
- 5) M. Smith: U.S. Paper Industry and Sustainable Production p.42 MIT (Massachusetts Institute of Technology) 1997

情報用紙製造技術の系統化図

年代	1960	1970	1980	1990	2000	2009	
技術開発の特徴	国産化を目指した時代	技術開発競争により、海外と競争できるレベルになる。	品質の良さとコストを武器に海外展開			使用量の減少、普通紙化が進む	
抄紙機の改良 ハルプ配向		両面流水方式の抄紙機 (この時代、ハルプ配向角は管理されず、±10度以上であったと推定)	ハルプ配向の重要性が見出される サイドブリード、エッジコントロール オンマシナリ オートマシナリ 自動制御	シンクジェット系乾燥 白木希釈型ヘッドボックス			
製造技術 巻紙 サイズプレス ハインダー	ロールコーター エアナイフ差工 ポンドタイプ カゼイン	でんぶん+断水化剤 ラテックス	ゲートロールタイプ PVA(インクジェット用紙)	この頃、ブレード差工が一般化する PVA(インクジェット用紙)	カーテン差工 メーテリングタイプ		
情報処理 装置 入力 出力	統計機(メカニカル) (統計機カード(国産化)) (統計機カード、さん孔テープ)	コンピュータ 直接入力 OCR ドットプリンタの先端でリボンを叩く ・騒音	(計数処理から情報処理へ。メインフレームからネットワークへ) パソコンの普及、必要に応じ出力	インクジェットプリンタの急増 インクジェットプリンタの急増 インクジェット方式の新たな展開(写真プリントと商業印刷)	オフイスと通信の融合(ネットワーク化)		
用紙	統計機カード、さん孔テープ ・職人芸による高度の特殊紙(非差工) ・国産化に注力 ・より使いやすいシステムが求められた	フォーム用紙 ・ドットプリンタ用で伸びる ・80年代にNIP用紙となる	NIP用紙 ・高速印刷適性 ・高速作業適性 ・配向性管理のきつかけ	インクジェットプリンタの急増 インクジェットプリンタの急増 インクジェット方式の新たな展開(写真プリントと商業印刷)	インクジェットシステム ・水性インク(実質) ・多様な用途(写真、パソコン、商業印刷) ・高速、高精細印刷		
伝票	裏カーボン紙	ノーカーボン紙(国産化) ・複写伝票用紙 ・NCR社の独創的なシステム	技術開発により高品質、低コスト実現	輸出拡大	生産量がピーク、以後漸減		
複写 装置 用紙	ジアノ複写 ・感光ドラム ・ジアノ化合物を感光させ、 アンモニアで染色 ・透明な原紙が必要 ・臭いが出る、不鮮明	PPC(ゼロックス方式) PPC用紙 ・普通紙を使用 ・特殊切れに伴い多くの事務機メーカーが参入 ・高速化に伴い紙に走行性を要求	PPCに国内メーカー参入(国内メーカーが急速にレベルアップ) PPC用紙の軽量化 PPC用紙の回収利用が社会の関心となる。→古紙利用のPPC 紙の保存性改善のため中性紙化が進む。後にPPC用紙も中性紙化				
モード	pier to pier の時代	ファクシミリ (多くの電機メーカーと製紙会社が参入、激しく競争)	(高速化) → (デジタル化) → ネットワークの時代				
通信 装置	テレックス	放電記録 静電記録 ・高速、普通紙 ・オフセット ・多量生産用紙が得意 ・感熱システムに負ける	電子メール(ファクシミリ)の衰退				
システム & 用紙	さん孔テープ(国産化)	放電記録 ・紙面を放電電線で顕像化 ・多層差工紙 ・臭い、カスができる	電子メール(ファクシミリ)の衰退 LBPほかが取ってかわる LBPほかによる技術開発(高品質)を武器に輸出 → 海外生産 感熱紙、リテール分野へ転移(多品種化)				
背景	情報量 紙生産量 百万トン/年 情報用紙生産量 万トン/年 国内総生産 米円 47	2.9 4.2 7.1 18.2 188	10.5 7.7 7.1 17.7 234	11.7 11.7 54.9 351	16.4 17.4 178.5 447	19.0 15.8 141.9 504 475	電気系情報量が急増(シェア98%以上)(新しい時代) (消費量の減少) (消費量の減少による生産減) (消費量の減少による生産減)

備考
*1 電気系、電話、テレビ、インターネット等
輸送系、新聞、印刷物、CD等
空間系、教育、スポーツ観戦、会話等

情報用紙の登録候補一覧

*2:特に重要なものをまとめて「1」としている。「2」はそれに続く。

*1:生産開始年次。見本の年代は不明であるが、当時の制作のもの

No.*2	名称	資料形態	所在場所	郵便番号	所在地	制作年	コメント
	パンチカード用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1939*1	記録整理用カード用紙。印刷済みのカードの四辺に丸い穴を開け、手動棒で差し通した多数の中からあらかじめ設定したデザインの必要なカードを拾い出せる。紙には剛度(こわさ)があり、平滑で、伸縮が少なく、パンチ穴がきれいに開けられるなどの性能が求められた。
1	レミントン統計機カード	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1938*1	国内のパンチカードシステム計算機に対応すべく開発された国産初のパンチカード用紙。当時の鉄道省、統計局、保険局、横浜税関、中部電力など日本における事務簡素化のバイオニアに納入し省美化に貢献した。
1	潜水艦探知機用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1942*1	戦時中、軍の依頼を受けて開発された電解湿式記録紙。ヨードカリ澱粉水溶液を含浸し、海中に超音波を放射したエコーの強弱、時差を電流に変換し用紙と反応させることで、潜水艦や海底の画像を成形した。戦後は平和利用され魚群探知機などの記録紙に使用された。
1	模写電送受信用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1943*1	ファクシミリ用紙の黎明期の製品。放電記録紙とも呼ばれる乾式の記録紙。カーボンブラックの黒層とその上にステアリン酸鉛などの白層をコートし、受信した超音波の強弱、時差を電流に変換し画像を成形した。当時は警察庁、気象庁、航空自衛隊などの空陸通信ならびに遠隔地通信などに用いられた。
1	IBM統計機カード	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1945*1	終戦直後、日本IBM社の依頼を受けて開発されたパンチカード用紙。耐久性、寸法安定性、静電気の発生低減、パンチ穴の打ち抜き適性などが求められたが、計算機の処理能力が向上し高速化された為、より高品質が求められた。
	タコグラフ記録用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1954*1	タクシーやトラックなどの運行記録紙。運転と休止時間、走行距離、スピードを記録する。海老茶色などの各種ベース紙に白色塗料をコート。細い針先で表面を引っ掻いた時、白コート層がきれいに剥がれ落ち、ベース紙の色が鮮明にあらわれる。
	気象庁計測記録紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1956*1	気象庁で使われる無人観測所などの気象データ記録用紙。もとは欧米から輸入された計測記録機械の付属品であった用紙を国産化したもの。伸縮が少なく、強靱な薄紙であり、ペン書きがなめらかでインキがにじまないことなどが求められた。
1	テレタイプ用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1957*1	テレックスやコンピューターのデータ入出力用紙。紙に油を含浸したものでさん孔機によってパンチ穴がきれいに開けることが出来、適正な強度と均一な厚みを持つ。顧客は当時の海上自衛隊、航空自衛隊、郵政省、気象庁、社会保険庁、各銀行、証券会社、出版社、印刷会社、電算機メーカーなど。紙には白、紫、橙、青、黄、桃、黒など顧客や用途によって様々な仕様があった。
	円型記録紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1958*1	気象庁計測記録紙に続き開発された円板状気象データ記録紙。伸縮が少なく寸法が一定で目盛り狂いを生じさせないこと、カールがないこと、記録用のペン書き適性などが求められた。
	心電図用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1959*1	心電図用感熱記録紙。黒、赤、黄、青などに着色された厚さ0.04mm程度のベースとなる紙の表面に、微細粒子の白色ワックス、脂肪酸金属石鹸、微多孔化された熱可塑性プラスチックなどをコートして製造された記録紙で、熱ペンが記録紙を走ると、白色塗料が熔融して透明化しベース紙の色彩が出てくる。
1	MICR用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1961*1	手形・小切手用紙。MICRは磁気インク文字認識(Magnetic Ink Character Recognition)の略であり、一般的に酸化鉄を含む磁気インクにより個別情報を紙に印刷し、コンピューターにより読み取るシステムのこと。誤作動を防ぐために鉄粉や錆びなどの鉄分の混入を極限まで抑え、また顔面誤認等を防ぐために異物の混入を極力排除したものの。
1	OCR用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1963*1	OCRとは光学的文字読取装置(Optical Character Reader)の略で、手書きや印刷された文字や数字に光を当て、コンピューターに読み取らせるもの。電気、ガス、水道などの検針、領収証、大量データ処理を伴う調査票などに用いられる。誤認識を防止するため異物の混入を極端なく、高速処理に対応した強度などが求められた。
	OMR用紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1963*1	OMRとは光学的マーク読取装置(Optical Mark Reader)のこと。マークシート用紙と呼ばれるものであり、試験回答用紙、国勢調査の記入用紙など大量情報処理に用いられる。異物混入の低減や寸法安定性等が求められた。
	パンチカード印画紙	実物	特種東海製紙Pam	〒411-8750	静岡県静岡県駿東郡長泉町本宿437	1965*1	昭和初期のパンチカードとバライタ用紙(初期の写真印画用紙)の特長を併せ持つ用紙。用紙の強度と寸法安定性、パンチ穴がきれいに開くことなどが求められ、特許庁の意匠登録整理カードや各種事務分類用紙として用いられた。
2	Sonic Sheet Tester SS	実物	野村商事株	〒103-0027	東京都中央区日本橋3-15-2	1984	超音波の伝播速度を測ることで、シート状サンプルの異方向性を測定。紙のバルブ配向性を測定でき、NIP用紙、PPG用紙、さらに普通の印刷紙の走行性を大きく改善するのに寄与した。

謝辞

この報告をまとめるにあたりご協力頂いた多くの方々に感謝いたします。中でも報告作成に協力を約束して頂いた日本製紙株式会社副社長林昌幸氏、同社研究開発本部長南里泰徳氏、工場を見学させて頂いた同

社勿来工場長濱沖賢氏、そして資料や情報を頂いた同社の木村義英氏、黒山良弘氏、金崎誠一氏、丸谷修平氏、さらに同社 OB で開発初期の情報を提供頂いた山戸昇氏、永井弘一氏、坂本祥氏にお礼申し上げます。

情報用紙技術開発年表
出典:紙バ技協誌

年	ノーカーボン紙	感熱紙	インクジェット用紙	PPC用紙	その他
1953	NCRノーカーボン紙特許				
1962	十條製紙都島:ノーカーボン紙開発。三菱製紙NCRとノーカーボン紙技術提携。神崎製紙:ノーカーボン紙生産				
1964	三菱製紙高砂:ノーカーボン紙製造開始(6号)				
1967	十條製紙都島ノーカーボン紙用コート(2150mm)				
1968	NCR特許切れ出す。日本の生産量27000トン	NCR染料発色型感熱紙			
1969	富士写真(富士宮3760mm感圧紙原紙)				
1970	十條製紙勿来工場新設(1号3800mmノーカーボン原紙, コータ1号, 2号2000mm)。三菱製紙(高砂10号2100mmノーカーボン)				
1971		十條製紙感熱紙生産開始。国内生産量100トン			本州製紙放電記録方式の特許をボッシュから取得
1972					日本バルブ日南1号塗工機(エレクトロフアックス)
1976		ファクシミリG2規格			
1977		感熱紙本格開始(電電公社の小型ファクス)			
1978		巴川製紙所感熱磁気記録用紙開発。			松下電器, フルレンジ静電記録用紙の技術を王子製紙に供与
1980	ノーカーボン紙メーカー世界で37社。推定需要90万トン。日本の生産量20万トン	ファクシミリG3規格。国内生産量推定3500トン..			
1981	富士写真富士宮ノーカーボン紙塗工機(コンピュータによる省力が特徴)1500t/月。大王製紙ノーカーボン進出のため200t/月テスト販売。	三菱製紙, 耐水性熱転写紙開発			
1982		王子製紙, 日南で感熱紙100t/年開始。十條製紙, 高速高感度感熱紙開発			
1983		三菱製紙高砂感熱紙コート(400t/月に)。富士写真, 感熱紙に本格進出(100-150t/月)。神崎製紙, 感熱紙の大増産(600t/月)			
1984		三菱製紙, 高平滑(通常の10倍)感熱紙開発			
1985		感熱紙需要急増により, 他業界を巻き込み競争激化 電話機の開放			
1986		三菱製紙, ダイレクトプリンティングシステム開発。三菱製紙高砂感熱コート(1250t/月)			
1987	十條製紙, ノーカーボン用新顔色剤を開発。日本情報用紙加工ノーカーボン(2000t/月)	十條製紙勿来感熱2号改造(1800t/月へ)。三菱製紙高砂感熱小ロール断裁, 梱包を無人化。神崎製紙神崎感熱紙塗工機(1400万m ² /月)。			
1988		リコーは米子会社で感熱紙現地生産(12000t/年)。三菱製紙, 西独フェルドミュラー社にfax用感熱紙製造技術供与			
1989	日本情報用紙加工, 塗目的コーターを稼働(1,7000mm、1,000m/分)、ノーカーボン紙4,000t/月。神崎製紙、ブラジルのシモン製紙工場とノーカーボン紙、感熱紙の製造技術援助を契約	王子製紙日南工場で感熱紙4号コーター(1500t/月)稼働。十條製紙、フィンランドのアールストローム社と感熱紙技術提携。日本情報用紙加工、多目的コーターで感熱紙1,000t/月			
1990		神崎製紙、普通紙に近い風合いで、半永久的保存の感熱紙を開発。同時にカットしたシートタイプも発売。			

年	ノーカーボン紙	感熱紙	インクジェット用紙	PPC用紙	その他
1991	三菱製紙、光に対し感度の高い染料を開発、OCRで読み取れるノーカーボン紙。	神崎製紙、ヨーロッパで現地生産(独サンダース他2,5000t/月)。神崎製紙、感熱紙利用のプリンタ(シートフィード)を開発。			
1992		十條製紙、三井物産、アールストローム合弁でファックス用感熱紙生産(15,000t/年)を合意。リコーのフランス子会社、感熱紙生産工場が完成(3万t/年)。			
1993		神崎製紙、耐候性を改善した感熱紙を開発。紫外線を遮断する特殊コーティングによる。神崎製紙では、米国にて普通紙型感熱紙を生産開始する予定(来年2月)。三菱製紙、繰り返し書き換え可能な感熱材料を開発。1年以内の商品化を目指す。王子製紙、油や可塑剤にふれても文字の消えない感熱紙向けの発色剤を開発。		リコーはコピー済みの紙から文字を取り除き白紙に戻す技術を世界で初めて開発したと発表した(8月18日)	
1994		日本製紙はフィンランド、ロシア資本と共同でファクシミリ用感熱紙の断裁加工を開始。能力70t/月。			
1995	ノーカーボン紙生産ピーク	新王子製紙はブラジルの大手紙パルプ会社シモン社と感熱紙用コーター設置に関する技術援助契約を締結した。	三菱製紙は高精細で光沢があり、ヒートシールが可能なインクジェット記録用紙を開発した。家庭で簡単にはがき等に張り合わせることができる。		
1996		新王子製紙は退色のため困難とされていた青発色の感熱紙を開発。独自開発の顕色剤が可能にした。			
1997	三菱製紙高砂工場ノーカーボン紙生産を新コーター(2,600mm,1500m/min)に集約			郵政省は官製はがきを2001年までに全面的に再生紙に切り替える。富士ゼロックスではコピー用紙の古紙配合率(現在27%)を2000年に50%に引き上げる。	
1998		王子製紙3枚複写可能な感熱紙を開発。王子製紙2食感熱紙を発売。日本製紙ラミネート可能な感熱紙を開発。			
1999		日本製紙光沢感熱紙を開発。	王子製紙100%古紙のカラーインクジェット用紙を開発。日本製紙インクジェット用紙を前年比20%増の4200トン計画。コニカ両面インクジェット用紙を開発。 三菱製紙インクジェットプリンタ用紙を増産。99年には月間生産量を前年比35%増の650トンとする。王子製紙インクジェット用紙を3工場に拡大。99年販売量を前年比25%増の1800トン計画。現在シェア7%(三菱、日本に次ぐ)		
2000		三菱製紙高砂工場11号コーターを改造。感熱紙を30%増産。王子製紙ドイツの感熱紙合弁会社を子会社化。			三菱重工エベロイト社の特許権落札
2001		王子製紙、上海に感熱紙拠点(加工を一貫化)。	三菱製紙、インクジェット用紙を豪製紙最大手に供給。日本製紙、岩国でキャストコート紙増産(光沢インクジェット用紙向け)。		三菱製紙ドイツの子会社に情報用紙コーター新設。2001年稼働 2.9m、2250m/min。塗工能力15%増の16万トン
2002			日本製紙岩国、キャストコーター増設稼働。		
2003	日本製紙、富士フィルムにノーカーボン紙をOEM提供		富士ゼロックス、インクジェット関連技術を強化(大型プリンタの開発を目指す)。	王子製紙、電子写真方式のオンデマンド印刷向け薄物コート紙発売。富士ゼロックス、全コピー用紙をECF化	官製郵便はがき、すべて再生紙に。
2005	日本製紙、オランダに事務所、欧州事業を拡大。	日本製紙、フィンランドの合弁会社を買収。			
2006		日本製紙、高感度のナンディターミナル用感熱紙を開発。王子製紙、高速鮮明なラベル用感熱紙を開発。			

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第17集

平成24(2012)年8月20日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉 敏彦)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- 印刷 新高速印刷株式会社