製紙および紙加工の技術展望

小 寺 五 郎

はじめに

日本の紙の生産量は、戦前昭和 16 年には 151 万トンの最高を示したが、戦争による破壊と、敗戦による樺太朝鮮などの当時の主力生産地の喪失により、昭和 21 年にはわずか 21 万トンに減少してしまった。しかしその後の経済復興にともなう旺盛な需要と、欧米の技術導入にはじまる技術の進歩に支えられ、昭和 42 年には 900 万トンを超え、アメリカ、カナダに次いで世界第 3 位となり、名実ともに紙生産国の地位を占めるに至った。

第1図 パルプおよび紙、板紙生産高推移および主要国の生産高 (1963 年)
(Pulp and Paper誌, 紙・パルプ連合資料より)

Technical Aspect of Pulp and Paper Industry in Japan

GORŌ KODERA

本州製紙株式会社取締役 中央研究所長

I 紙・パルプ

1. 原料対策の歩みと今後の方向

紙パルプの主原料が木材であることは衆知の通りである。日本は全国土の 60% 以上が森林であり、有数の森林国といわれるが、いかんせん国土が狭く、木材蓄積量は巨大な製紙原料をまかなうには余りにも少ない。その上木材蓄積量の約半分が広葉樹である。このような環境が日本のパルプ技術ひいてはそのパルプを利用する製紙技術のあり方を決定づけてきたといえる。

1・1 低級原木のパルプ化とその利用

1・1・1 化学パルプ —KP と改良 SP—

パルプ用原木としては戦前までは「えぞまつ」とどまつなどのいわゆる北洋材が主力であった。また化学パルプとしてはカルシウムベース SP が大部分で、その他の樹種、パルプはほんのわずかであった。

敗戦により紙パルプ工業の主力は内地へ移り、原木も赤松を主力に考えざるを得なくなった。赤松はカルシウムベース SP では、芯材がその特殊成分のため蒸解が不可能に近く、また含有樹脂分が多いため、抄紙機におけるビッチトラブルが大きく、当初はその使用は困難をきわめた。蒸解条件の検討、ビッチ分散剤、原木シーズニング法などが種々研究されたが、現在では可溶性ベースの使用により芯材蒸解が可能となり、またリファイナーの発達により、高収率化が可能となって原木費のコストダウンが出来、また副産物として高収率化によるビッチトラブルの軽減も得られた。新聞用紙、下級印刷紙などに使用される未晒 SP はほとんどがこの方法で作られている。

しかし、上記の蒸解困難性も一因ではあったが、この他に産業用紙の急激な増加により、強いパルプが必要とされるようになってきたこと、また排水による公害問題がシビヤになってきたこと、一方では漂白技術が進歩し、難漂白性の KP も容易に漂白できるようになったこと、そして設備的には連続蒸解釜が出現したことなどの

第2図 パルプ材樹種別使用高比率
1967 年度総使用高 20,257 千立方メートル

第3図 パルプ種類別生産高比率
1967 年度総生産高 6,231,819 トン

諸理由によって、KP 法が急激に増加してきた。このことは、原木としては丸太が入手困難となり、太材から細材，更に廃材チップへと移り変わる時代になってから、ますます強調され、化学パルプの王座は SP 時代から、完全に KP の時代へと移っていった。

赤松の利用にややおくれて広葉樹の利用が研究され始めた。広葉樹繊維は針葉樹繊維より短細で、長さは約3分の1、幅は約2分の1しかなく、強度が極めて弱くパルプ用としては最下級の樹種である。広葉樹の利用は赤松と同じく当初 SP 法で考えられ、やや暫くして、アメリカから SCP 法が紹介され、一時期ブームの感を呈したことがあった。SCP 法は低リグニンの広葉樹を対象とし、ヘミセルローズ含量の多い強いパルプを高収率で得ることに主眼がおかれている。しかし蒸解程度が低く、機械的に離解するため、蒸解の困難な樹種は結束繊維となり易く、これがチリとなり、またパルプの漂白に多量の薬品を要し、大規模の設備ができないなどの理由から伸びなやんでいる。現在では晒 SCP は極く限られた所でしか製造されていない。

これに反して KP 法では樹種を選ばず、強度も強く、大量生産も可能であり、また漂白も容易にできるようになったことからコスト的にも SCP よりすぐれ、広葉樹

第4図 パルプ材の丸太購入チップ比率
1967 年度総使用高 20,257 千立方メートル

KP が爆発的に増加していった。

ここで見逃せないことは、広葉樹パルプは前述の如く繊維が短細であって、特に抄紙機上での湿紙強度が極めて弱く紙切れを起し易い。このためこの点の解決なくしてはいかに安いパルプといっても到底使い切れない。このため日本の製紙業界はこの対策に全力を注ぎ、叩解を含めた抄紙法の研究、またより強いパルプの製造法等各社それぞれの紙に応じた研究を行ない、現在ではライナーから、薄葉紙に至るまで一部の包装用紙、特殊紙を除いてはほとんどの分野に広葉樹パルプが使用され、その使用率は世界に例を見ない状況である。

1.1.2 機械パルプ—CGP, RGP の発達—

機械パルプ—GP—は木材をグラインダーで磨砕しただけのものであって、成分は木材とほとんど変わらず、繊維形状としては破砕されたものが多く、このため強度は化学パルプに比して極めて弱い。しかし収率が高い—原料木材の 95% 前後—でコストは最も安く、新聞用紙、下級、中級印刷紙および板紙の中、裏層に多く使用されている。パルプ製造法から考えても、繊維長の短い広葉樹は材質が緻密なこともあって、繊維が破砕されることがひどく、余りにも強度が弱すぎて使用に耐えず、GP には針葉樹のみが使われていた。

えぞまつ、とどまつなどの北洋材は勿論、ピッチトラブルの多い赤松さえひっばくしてくるにおよび、GP 用原料として何としてでも広葉樹を使用せざるを得ないようになってきた。

当初は針葉樹の中にかばなどの良質の広葉樹を申し訳程度に混合して使用していたが、本格的に使用するために、広葉樹から針葉樹に匹敵する強度のパルプ、しかもコスト的には針葉樹 GP と同等以下でできるパルプの製造開発が望まれてきた。

原理的には、広葉樹繊維を磨砕により容易に離解できるようにすればよいわけであり、このためには薬品処理によって木材組織を膨潤させ、一部のリグニンを溶出す

ればよい。このような考えから、広葉樹丸太を釜の中に入れ、薬品処理した後、グラインダで磨砕する方法が採用された。しかしながら、丸太に薬液を均一に浸透させることは極めて難しく、バキューム法、高温法等が使われたが満足すべき結果は得られなかった。

たまたまその頃から精度の良いリファイナーが開発され、チップの磨砕が可能となるにおよんで、チップの形で薬品処理、磨砕によって、優秀なパルプを作ることができるようになった。この方法をチップ法 CGP と称したが、現在では CGP といえばチップ法と考えてよいくらいとなっている。この方法によって長繊維を多く含むパルプが得られ、強度は針葉樹 GP に匹敵し、またチップであるため細材や廃材が使え、また 2,000 馬力、3,000 馬力という大型のリファイナーが開発されて生産規模も大きくすることができるようになって、コストダウンが図れるようになってきた。一方薬品処理のため起る着色化は、過酸化水素、ジンクハイドロサルファイト等の酸化または還元漂白剤が安価に入手できるようになり、歩留を下げずにかなりの白さまで漂白することが可能となった。現在では、新聞用紙、下級印刷紙はもとより、中級印刷紙にさえも CGP が多量に配合使用されており、新しい漂白剤、例えば有機過酸などの導入および新しい漂白シークエンスの研究などによって更に高白色度の CGP を作ることが検討され、近い将来には中級紙以上の紙にも広葉樹 CGP が使われるようになるであろう。

一方従来かえり見られなかったからまつの GP 化が研究され、リファイナーを使用する RGP 法と、漂白の組合せにより新聞用紙、下級印刷紙には十分の白さと強度を有する GP が得られるようになった。さらにアメリカでは白さが極めて低いので不適当として使用されていないダグラスファーチップの GP 化がからまつと同じく、RGP 法と漂白法の組合せによって開発され、一部使用している所もある。

1.2 故紙の利用

紙の原料としては木材から得るバージンパルプがもとより主力であるが、パルプ資源の少ない日本では、故紙を再生して使用することが極めて重要な意義を持っている。板紙、下級チリ紙などには従来からも故紙が使用され、量的には極めて多く、故紙利用の大部分を占めているが、使用法としては、故紙を離解精選してパルプ代用とするにとどまっている。

これに対して技術的に興味あるものは、新聞故紙、雑誌故紙などの印刷カーボンを除去して使用することである。この脱墨工程をいかにうまくこなうかがこのキーポイントであり、脱墨された後は、GP、CGP などと同

様の方法で漂白し得る。脱墨法については外国の脱墨工程をそのまま使用する所もあるが、主要な会社では独自の脱墨法を開発して、板紙、下級印刷紙は勿論、中級印刷紙にも大量に使用している。

日本の故紙回収率は 40% 近く、世界一である。しかし紙の用途拡大のため加工された紙が今後ますます増加することおよび、故紙回収のための人手が段々集まらなくなってくるのが予想され、離解などの技術的問題と、集荷の経済的問題が今後大きくクローズアップされてくると思われる。この解決が今後の故紙利用に残された大問題の一つである。

1.3 南方材の開発

国内広葉樹の供給も需要に追いつかなくなることが予想され、数年前から南方熱帯樹のパルプへの利用が真剣にとり上げられてきた。しかし熱帯樹は一般にリグニン含有量が多くてパルプ収率が低く、繊維細胞膜が厚くて強度の劣悪なものが多い。さらに伐採、運搬などに多大の努力を要し、価格的にも国産広葉樹よりはるかに割高である。このため現在では極く限られた樹種例えばゴムの木、一部のユーカリが実際に使用され始めた段階で、価格、品質両面に亘って解決しなければならない問題が多い。

1.4 パルプなどの最適使用法の研究

パルプ、故紙ともに天然繊維がその根源をなしているが、元の植物の種類により、また同一種類からでもパルプの製造法によりその品質特性は大いに異ってくる。ここ数年来紙の新用途拡大のため、各種加工が発達してきたが、その基体となるべき原紙においても用途に応じた性質を持たせることが必要であることはいままでもない。このため各種のパルプをいかに適材適所に使用するか紙の用途を広めるために極めて重要なことである。幸い日本はパルプを多量に輸入する状況になってきつつあり、適材のパルプを国際的視野で選択することができる。また天然繊維以外の合成繊維は日本は世界有数の生産国であり、その特徴ある性質を、従来の天然繊維とからみ合せて考えることが非常に有利な立場にある。またさらに繊維としてはガラス、アスベストなどの無機繊維も当然考慮に入れるべきであり、今後紙の用途拡大のためには、これら各種の繊維の適材適所使用を研究していかなければならない。

2. 設備の推移とコンピューターの導入

2.1 大型化、連続化とコンピューターの導入

パルプ紙産業は製鉄、石油精製などと同じく装置産業の性格が強い。このため設備の大型化連続化により生産性向上が実行され、最近においてもこの傾向はますます

強調されている。

2・1・1 パルプ設備

パルプ設備の中核となるものは蒸解釜とリファイナーおよびグラインダーがある。グラインダーについては前述の如くリファイナーにおきかえられつつあるので、蒸解釜とリファイナーについて簡単に述べる。

蒸角釜は戦後数年間まではバッチの釜ばかりであった。昭和 28 年に王子製紙春日井工場に世界で 3 番目の Kamyr Continuous Digester が導入され、その優位性が立証されるや、大企業ではこぞってこの釜を採用し始めた。この釜で蒸解の連続化が確立し、能力も 60 トンから現在では日産 400 トンを越えるものが据付けられている。なお世界的に見れば 1,000 トンに近い声も聞かれるようになった。Kamyr Continuous Digester も当初の設計から種々の改良が加えられ、蒸解後の洗滌を同一 Digester 内で高温下、拡散方式で洗滌することができるようになつた。ここで特記すべきことは、この Kamyr Digester の開発はスウェーデンの Kamyr 社が行なつたものであるが、それを使用してパルプを生産する運転技術は日本が最もすぐれ、現在では設計能力の

第 1 表 パルプ製造設備統計

通産大臣官房調査統計部編“紙パルプ工業設備調査報告書”

1-1 表 化学パルプ、セミケミカルパルプ

調 査 年 度 パ ル プ 種 類	昭 和 42 年		
	蒸解釜 基 数	合 計 日産高トン	1 基 当 り 日産高トン
サルファイトパルプ			
堅 型 固 定 式	68	2,644.0	38.9
ク ラ フ ト パ ル プ			
堅 型 固 定 式	154	7,584.0	49.2
カ ミ ー ヤ 連 続 式	13	3,221.0	247.8
計	167	10,805.0	64.7
ソ ー ダ パ ル プ			
堅 型 固 定 式	4	11.0	2.8
球 型 回 転 式	7	45.0	6.4
計	11	56.0	5.1
わ ら パ ル プ			
計	2	18.0	9.0
セミケミカルパルプ			
堅 型 固 定 式	8	208.0	26.0
横 置 円 筒 式	2	14.0	7.0
球 型 回 転 式	36	728.0	20.2
連 続 式	5	564.0	112.8
計	51	1,514.0	29.7

1-2 表 ケミグラウンドパルプ (チップ法)

調 査 年 度 滲 透 装 置 型 式	昭 和 40 年		
	滲透装 置基数	合計日産 高トン	1 基 当 り 日産高トン
堅 型 固 定 式	13	658	50.0
球 型 回 転 式	5	178	35.6
日 立 連 続 式	3	152	50.7
パ ウ ー 〃	4	637	159.2
ス プ ラ ウ ト ワ ル ド ー ン 〃	3	341	113.7
ア ス ブ ル ン ド 〃	3	222	74.0
イ ソ プ レ サ フ ァ イ ナ ー 〃	2	120	60.0
計	33	2,308	69.9

1-3 表 ケミグラウンドパルプ(丸太法)、リファイナーグラウンドパルプ、碎木パルプ

調 査 年 度 パ ル プ 種 類	昭 42 和 年		
	リファイナー 又はグライン ダー台数	合計日産 高トン	1 台 当 り 日産高 トン
ケミグラウンドパル プ (丸太法)	(1,040 kW) 3	60.0	20.0
リファイナーグラウ ンドパルプ	(32,700 kW) 20	426.0	21.3
碎木パルプ			
2-ポケット	(25,510 kW) 25	517.0	20.7
3-ポケット	(27,335 kW) 88	550.0	6.2
4-ポケット	(23,710 kW) 39	480.0	12.3
マ ガ ジ ン	(80,540 kW) 55	1,641.0	29.8
リ ン グ	(5,700 kW) 3	117.0	39.0
計	210 (162,795 kW)	3,305.0	15.7

150% 以上の生産量を出しても珍らしくなく、極端な場合は 2 倍にも達している。このようなことは世界に例を見ず、日本人の操業技術の優秀さを誇ってよいと考える。

Kamyr Digester は専ら KP に使われているが、SCP、CGP などには他に各種の Continuous Digester があり日本でも色々のものが使われている。しかし Continuous Digester といえば Kamyr とう程 Kamyr が世界的なもので他のものは能力的にも小さいものが多い。

リファイナーについても Kamyr Digester と全く同様なことがいえる。原型はアメリカ、スウェーデンなどで開発され、日本の機械メーカーが技術提携して製作しているが、その馬力数はかつての数百馬力から、現在では 2,000 ないし 3,000 馬力のものが出現し、生産性向上

第2表 紙製造設備統計

通産大臣官房調査統計部編“紙パルプ工業設備調査報告書”(昭和42年現在)

マシン種類	板紙			洋紙			機械抄き和紙		
	台数	合計日産 高トン	1台当り日 産高トン	台数	合計日産 高トン	1台当り日 産高トン	台数	合計日産 高トン	1台当り日 産高トン
長網多筒式	30	3,193.1	106.4	250	12,529.9	50.1	1	14.5	14.5
長網ティッシュ式	3	44.2	14.7	13	188.9	14.5	—	—	—
長網ヤンキー式	3	45.6	15.2	44	628.1	14.3	4	38.8	9.7
円網多筒式	184	7,224.6	38.8	8	54.7	6.8	8	61.6	7.7
円網ティッシュ式	65	1,068.1	16.4	21	146.8	7.0	18	124.2	6.9
円網マンキー式	41	517.0	12.6	12	50.9	4.2	435	1,227.3	2.8
円網直火式	—	—	—	—	—	—	72	95.8	1.3
短網ティッシュ式	—	—	—	7	47.8	6.8	14	106.9	7.6
短網ヤンキー式	1	9.7	9.7	17	119.9	7.1	54	287.4	4.4
懸垂ヤンキー式	—	—	—	—	—	—	8	6.6	0.8
長網コンビ円網ネーション式	18	1,228.2	68.2	3	55.2	18.4	2	2.3	1.2
短網コンビ円網ネーション式	2	23.5	11.8	2	11.8	5.9	30	79.1	2.6
懸垂コンビ円網ネーション式	—	—	—	1	1.0	1.0	17	26.1	1.5
インバーフォーム式	4	663.4	165.8	—	—	—	—	—	—
合計	357	14,017.4	39.9	378	13,831.0	36.6	663	2,020.6	3.0

に大いに寄与している。また広葉樹を使った CGP の製造およびそのパルプの使用については、前に述べた如く日本が世界一である。

設備が大型化する一方では、品質の安定を図るため、コンピューターの導入が行われ、その例として本州製紙釧路工場では Kamyr Digester にコンピューターを取付け、品質の安定化は勿論生産量の変更、品質の変更を自動化するまでに至っている。このことは Kamyr 社でも驚たんしており、その Know how は高く評価されている。

2.1.2 抄紙機

抄紙機についても、新聞用紙、段ボール原紙、包装用紙、一般印刷用紙などのマスプロ製品については、Digester と同じく大型化、高速化が進められ、10年前までは、200 吋幅が最高であったのが、現在では 300 吋幅にまで至っている。

抄紙機についてはコンピューターの導入は Digester より一歩おけている感じであるが、数社では抄紙機えのコンピューター導入に極めて意欲的であり、品質の安定はもとより、抄物の変更、生産量の変更などを原料配合から製品仕上げの面まで自動化しようとの考えを持っている所もある。

一般的なマスプロ製品については大企業が多く大型化連続化が進んでいるが、中小企業では大規模な設備投資に耐えられず、今なお、以下の生産量に甘んじた設備を据付ける所が多い。しかしその中でも省力化について

は個々の会社毎に意欲的に考えている。

2.2 特殊化とコンピューターの導入

紙の用途は広がる一方で、また紙パルプ業界としてもこれが現在における一大テーマともなっている。新しい紙の用途を開発するためには、従来の紙になかった性質が要求され、このために加工が広く行なわれるようになったが、原紙においても特殊の性質が要求されるものが多い。このためには特殊の原料を使用することは勿論、抄紙法の従来のような型式とは異ったものが要求される。この分野では個々の品質特性に応じて特殊の抄紙機が開発されなければならず、用途に応じた特殊化が進められている。マスプロ製品用と異り大型化はさほど必要とされていない。

なおこの場合においても、類似の紙を1台の抄紙機で抄造する多種少量生産の方向へ向うことが多い。このため抄物変更の自動化に対して、コンピューターの導入が考えられるが、現在のところまだそこまで行っていないのが実状である。

3. 紙の新しい用途の創造

昔は紙といえば字を書くもの、印刷するもの、あるいはものを包むものくらいにしか考えられていなかった。このためかつては「紙は文化のバロメーター」といわれてきたが、産業の発展にともない、各種産業用の紙、板紙が急激に増加し、産業の発展とともにその使用量も増加してきた。すなわち文化用紙から産業用紙の時代に入っ

たといわれ、「紙は産業のバロメーター」とまでいわれようになった。

産業用紙の代表的なものとしては、包装用紙、段ボール原紙、電気用紙などがある。この中でも段ボール原紙は量的に断然他を圧しているが、これとてここ 10 年間に急激に膨張したものである。現在さらにその用途を開発するために、耐水段ボール、化粧箱用段ボール、重量物包装用段ボールなどが開発されつつある。

包装用紙については、プラスチックフィルムとの競合がはげしく、浮沈しながらも徐々に使用量は増加しているが、紙の長所とプラスチックの長所とを兼備するために合成樹脂による加工、プラスチックフィルムとの貼合せなどにより、新しい包装材料の開発が活発に行なわれている。

またコンピューターで代表される事務の機械化、集中管理などに、また情報伝達の手段としての複写機の発達にともない、これらに適した新しい性質の紙の需要が増加しつつある。これらは事務用紙と総称されているが、社会生活の高度化とスピードアップ化にともないこれら用紙の需要は急激に伸びることが予想される。

最近に至り欧米の生活様式が段々と普及してくるにつれ、使い捨ての紙が目立ちはじめ、Tissue Paper を中心にして、衛生用から台所、茶の間へと使い捨て用の紙製品がどんどん開発されている。

一方従来の紙は繊維の水に浮べ、脱水、乾燥して作るのが常法であったが、水を使用せず空气中に懸濁してシートを作る方法が開発され、いわゆるノンウエブンとして従来の紙と全くおもむきの変った紙を作ることができるようになった。この紙は非常にポーラスであることが従来の紙と特に異なる点であり、この性質を利用して、フィルター、ワイパーなどの新製品が創造されつつある。

また原料としては天然繊維のほかに、合成繊維や無機繊維を使用して特殊の性質例えば耐薬品性、耐熱性、耐候性などのすぐれた特殊用途の紙が開発されつつある。これらの紙の用途になると、従来の書いたり印刷したりする紙の概念からは全く離れ、材料としての概念の方が重要になってくる。

現在一つのブームの如くなっているものに合成紙がある。これは天然繊維の代りに合成繊維が生れたと同じく天然繊維を使った印刷用紙などの代りに、プラスチックフィルムそのものを紙状化して印刷用紙などの目的に使うものである。この合成紙の特徴は耐候性にすぐれ、湿度の影響がなく印刷が非常にきれいであるなどがあるが現在はまだ価格が高く、一般印刷用には使い切れない。しかしこれとても現在の研究開発の進み方のテンポから見れば、近い将来相当安くなるものと考えられる。

Ⅱ 加工 紙

“紙の加工”の定義は非常に困難であり、また非常に広範囲にわたっている。しかし、大きく 2 種類に分類できる、すなわち、紙の物理的変形を主とする加工と、種々の品の添加および樹脂加工等のいわゆる紙の改質の加工である。本稿においては主として前者の紙加工について述べるので改質については、数多くの優れた報文を参照されたい。

製紙工場で生産された紙のほとんどは、何らかの加工をされて、消費者の手に届く、このとき、紙は色々と姿を変え消費者の要求を満足させる。紙とその加工は密接不可分であり、経営的に技術的にお互いが影響を受けながら、今後も永く続いていく。

製紙工場が、幅広化、高速化、高能率化、巨大化されるにつれて、加工工場も、大型化、高能率化され、また需要家の要求が、複雑化、高度化されるにつれて、製紙技術も、紙加工技術も、複雑化し、高度化されてきている。現代の文明は消費文明であり、ティッシュペーパーの如く one time の文明であり、また、段ボールの如く

第 3 表 各種材料の縦弾性係数

材 料 名	(a) 縦弾性係数 (kg/mm ²)	(b) 比 重	(c) 概略単価 (円/kg)
クラフト ライナー (たて) ⁽¹⁾ (よこ)	400~500 170~200	0.8~0.83	56
セミ 中芯 (たて) (よこ)	200~300 90~120	0.55	45
白 ボ ー ル	100 前後	0.7	60
0.4 mm 鋼 板	20,000	7.9	55
50μ スチール箔 (米国)	17,000	7.5	250 ⁽²⁾
(日本)	12,000	6.4	
アルミ箔 (9 μ)	7,000	2.7	560
〃 (30 μ)	7,000	2.7	500
え そ 松	700~1,200	0.4~0.5	50 ⁽³⁾
ぶ な	800~1,500	0.5~0.8	
ポリスチレン	120~ 280	1.1	140 ⁽⁴⁾
硬質ビニール	360~ 900	1.4	100
高圧ポリエチレン	13~ 25	0.9	140
低圧ポリエチレン	17~ 39	0.9	180

注(1) 紙、板紙の「たて」「よこ」とは、抄紙機での紙の流れの方向、巻取であればその巻の方向を「たて」と言い、それと直角の方向を「よこ」と言う。

(2) 50μ スチール箔の価格は輸入価格

(3) 木材の価格は製材価格より換算したもの

(4) プラスチックの価格は原料の価格

one way の文明である。あるアメリカの経済学者は、「紙というものはわがアメリカのシステムを現在の如く動かせるもの」ともいっている。このことは、貴方の身のまわりを見わたせば、すぐ判ることである。

紙とは、ほとんどあらゆる形で、しかも品質は優れた均一性をもち、安定して安価に供給できるものであり、また、鋼鉄のような力をもち、重工はアルミニウムより軽く、誰でも容易に加工することができるものということになる。

1. 紙の強さを利用した紙製品

紙は強い、鋼鉄よりも強い、それは下記の表より証明される。

一般に長方形薄板の挫屈強度は、板の曲げこわさ

$$Et^3/12(1-\nu^2)$$

に比例する。

(注) E; 材料の縦弾性係数

t; 薄板の厚さ

ν ; ポアソン比

したがって、薄板のこわさを、その価格(c)、比重(b)、および縦弾性係数(a)を基準として概算的に比較するためには、 $(a)/(b)^3(c)^3$ なる指数を比較すればよい(ポアソン比は、各材料共 0.2~0.3 なので無視できる)。

第4表から2, 3の例を算出してみると

表4は、同じ価格の材料を使って薄い板の箱を作った

第4表 同一価格からみた薄板のこわさ

材 料 名	$a/(b)^3(c)^3$
クラフト ライナ (たて)	$4,740 \times 10^{-6}$
0.4 mm 鋼板	245×10^{-6}
50 μ スチール箱 (米国)	2.58×10^{-6}
30 μ アルミ箔	2.58×10^{-6}
えぞ松板	$86,500 \times 10^{-6}$
硬質ビニール	233×10^{-6}

第5図 温度による物質の強度変化

場合、圧力による挫屈に対して、一番強いのは木の箱で次に強いのは紙の箱であることを示している。

また、紙の強度は、図5の如く温度変化に対しても強いことが知られている。

紙は温度変化に対して、特に低温に対して非常に強い物質である。今次南極越冬隊は -70°C といわれる南極点征服の予定であるが、このために、特別の設計による段ボール箱を、荷物輸送用として準備持参した。鉄その他の容器は、重い上に、酷寒による脆化の可能性があるため、避けたと聞いている。

2. 段 ボ ール

主として紙の強度を利用した紙製品は、全紙製名の約1/3を占めるほど多く利用され、また、普及している。段ボール箱を始め、ソリッドファイバー、カートンボックス、ファイバードラム、各種ラミネート製品、ハニカム等の各種サンドウィッチ芯材、クラフト袋、あるいは、これらの複合材料等、多くの種類のものが、幾多のアイディアのもとに、各方面で使われている。そして、包装用として、建材用として、重宝がられている。

これ等の中、何といっても代表的なものは、段ボールである。

段ボールは、1956年英国で帽子の汗取り用にフルートにしたものを使用したのが発祥である。日本においては約60年前に故井上貞次郎氏が、始めて段ボールの製造に成功してから、その製造技術の発達は目覚しく、現在世界有数の段ボール生産国になり、産業の重要な部門としてその地位を確立した。戦後の日本における段ボールの生産量を表5に示す。

成長率はそのまま段ボール工業の発展を示し、商業的色彩の強かった業界から急速に工業へ脱皮している。また、外装用段ボールと、総生産量との割合が、逐年変化し、段ボール需要の主体が、昭和29年を境として、内装用、個装用段ボール箱から、外装用段ボール箱へ移行していることが判る。そして包装革命をまきおこしている。

この間の製造技術の発展は次のように分けられる

- (i) 大型、高速機への移行
- (ii) 澱粉を主体とした高速貼合用糊の開発
- (iii) 構造デザイン技術の発達
- (iv) 複雑かつ高精度のケースの高能率製函機の

第5表 日本における段ボール生産量(通産統計)

年 度	外 装 用 (百万 m ²)	総 生 産 量 (百万 m ²)	前年比(%)
昭和 26	8.2	29.4	
27	24.2	54.7	186
28	49.7	99.3	183
29	85.3	148.0	149
30	123.6	197.2	134
31	184.1	287.2	145
32	258.7	391.0	151
33	314.1	480.3	123
34	467.0	725.4	151
35	650.4	978.6	135
36	890.0	1,267.2	129
37	1,074.3	1,484.0	117
38	1,365.0	1,833.5	123
39	1,594.2	2,115.3	132
40	1,815.1	2,408.9	133
41	2,169.0	2,888.6	133
42	2,590.0	3,455.3	133

第6表 コルゲーター性能比較

時 期	製作機の幅 (A)	製作機の 最高速度 (B)	A × B	指 数
昭30年前期	1200~1600 mm	80m/分	112	100
" 後期	1400~2000 mm	135m/分	230	206
40 年 代	1800~2200 mm	150m/分	300	268
米国の現在	2200~2700 mm	200m/分	490	438

開発

(v) 美粧化段ボールの製造技術の確立

(iv) 耐水段ボール等、段ボール性能の改良技術

段ボールの製造技術は、大きく分けて、段ボール貼合技術と、段ボールケースの構造デザイン技術に分けることができる。

2・1 段ボール貼合技術

日本におけるコルゲーター（段繰機）の大型高速化の推移を見ると一般段ボールの場合、次のようである（表6）。

段ボール箱の需要が外装箱に移行し始めた昭和30年前期に比し、約10年間で、機械性能は約2.5倍に達しているが、米国の現状に対しては、なお約60%である。この理由は、資本力の差および需要ロットの差であり日米両国の経済力の差である。ごく最近、日本において、2,400mm クラスの音がきかれるようになったが、原紙輸送上の問題から、日本においては、2,400mm クラスに限界であろう。

大型化以外にコルゲーターは、基本的に大きな進歩は

していないが、今後、全く新しい idea により、たとえば縦ダンボール、ノーフィンガー方式、ノーバックカー方式等が、必要に応じて新しい貼合技術として開発、工業化されて行くと思われる。

貼合技術としてもう一つ大きな進歩に、糊の開発があげられる。1950年頃に米国において完全に実用化されるもので Stein-Hall Process と呼ばれ、従来硫酸曹達（水ガラス）によって貼合わされた段ボールが、でん粉糊を主体とするようになり、この技術によって、コルゲーターの大型高速化が一段と促進されたともいえる。この糊は、ライナーと中芯を瞬時に貼り合わせることができ、でん粉の性質を活用した素晴らしい発明といえる。しかしながら、段ボールの多用化が進んでいる現在、その耐水性のないことが需要の増加を妨げていることから、耐水接着剤の研究開発が活発になっており、最近日本合成化学および本州製紙が完成した。

2・2 段ボール製函技術

コルゲーターが大型高速化されるにしたがって、各種製函機が、大型高速化の方向をたどることは必然の結果である。製函工程は、消費者の要求を直接引きうける工程であるため、従来はとかく人海戦術が用いられたが、現在、次第に省力化、自動化の方向に移行し始めている。一方において、近年大きくクローズアップされてきたのが、段ボールの構造デザイン技術である。このデザインいかんによって、消費者の消費価値が著しく異なることを知っておく必要がある。これを分ければ、a) 段ボールシートの消費量減少、b) 段ボールケースの機能増加、c) 自動製函適性の向上、d) 段ボール・ケース使用時の省力化である。

最近、包装は「第3のセールスマン」、あるいは「無言のセールスマン」といわれ、包装革命の時流にのって各種の美粧ダンボールが登場し始めてきた。

2・3 耐水段ボール

段ボールの用途が多用化するにしたがって、水に強い耐水ダンボールが要求される時代になってきた。生鮮食料品の流通のために、One way で衛生的な段ボール箱が最も好ましいにもかかわらず、水に弱いので使用できずその出現が望まれてきた。

耐水ダンボールの製法には多くの種類があるが、その代表的な方法は、コーターによる塗工法と、含浸法である。塗工法の一例としては本州製紙（株）の開発による方法を紹介する。耐水度を任意にコントロールできることを特徴としており、ロールコーター、カーテンコーター、耐水接着剤（キノボンド）の組合せによる方法である（図6）。

図6に見られる如く、段ボールの各パートを、各々独

処理 コート	①	②	③	④	⑤	⑥
HH	○	○	○	○	○	○
H	○		○		○	○
PP					○	
P ₁	○					
P ₂					○	

第7表 米国におけるホットメルトカーテンコーターの設置推移(1958~67年)

年	台数
1958	1
62	6
63	27
64	40
65	56
66	80
67	107

第6図 本州式

塗工法および含漬法の長短所、得失についてはいろいろと論議されているが、防水度、耐水度の関係から纏めれば、図7が結論的なものといえよ

第7図 防水-耐水関係図

立した塗工法で必要最小量の WAX で処理し、いつでも、どのパートの処理でも自由に加減できて、しかも量産性をもっている。需要の多角化により、軽い耐水度から、厳しい使用条件に耐える耐水度をもつ段ボールが同一設備で任意に製造できるように工夫されている。

含浸法は一般に「どぶづけ」といわれている。この方法は、まず、シートまたはケースを溶解ワックス槽に漬けて、ライナーおよび中芯にワックスを含浸させ、その後、高温部と低温部を通過させて、繊維に吸収させる方法である。この方法によると、ワックス含浸量は 40~50% に達し、コントロールはむずかしいが、段ボールの内部のいずれの部分にもワックスが浸透する。しかし、生産性および、表面外観性、低温適性等に難点がある。

いずれも試験販売の段階であるが、透明性、弾力性、耐水耐候性等の長所がある。問題点としてはコスト、二次加工性（印刷、製函性）、量産性等があり、これらが解決すれば、その成長性は今後十分期待できると考えられる。

3. カートン・ボックス (Folding Carton)

紙の二次加工製品で、段ボールに劣らぬ需要分野は白板紙の包装箱である。ボール、マニラ・カートン等の名で代表されるこれらの紙は、大半がカートンボックスに印刷製函加工されて包装材料として用いられている。これは、前述の如く紙の優れた剛性と加工適性および量産性、そして安定して安価な供給体制のためである。その

用途は、洗剤等のケースからコップやマッチ箱に至るまで、多種多様にわたっているが、いずれも経済生長と共に、年々確実な需要増加を示している。なかでも、欧米で著しい成長を示しているミルク・カートンは one way packaging の代表として、段ボールと共に知られており日本においても、数年後には爆発的な需要が起るといわれている。

カートン・ボックス製造技術は、段ボールと同様に大型化高効率化の傾向をたどっているが、特に紙を主体とする材料の複合化による需要開発が特徴といえる。

カートン・ボックスの製造技術

カートン・ボックスがいつから作られ、使用され初めたかは明確でないが、18世紀後期頃といわれている。商業的に作られたのは1934年頃に作られた紙を折り曲げ、これを鋸でしめ、ひもで縛った箱状のものである。1879年 Rovert Gari が断截、野線加工の可能性を発明量産化の目的を示した。その後、無数のアイデアによるケースの構造デザイン面の開発、ケースのブランク製造のための多量打抜き機の開発、さらにケースの封緘の面では、鋸からワイヤー止め、さらに接着剤による糊接着へと改善されてきた。近年では、でん粉系糊から酢ビ系を主体とする合成樹脂系接着剤へ移行し、さらにホットメルと接着剤、感圧接着剤、あるいはコールド・シール・システム等、消費の要求により多くの新しい接着剤が開発され実用されてきている。

使用される材料としては、最初は薬から作った薬板紙が使われ、箱を印刷する必要がある時には、白か、あるいは適当に色の付いた紙を手で貼りつけた。しかしながら19世紀の1890年代に箱を美粧化する傾向が始まり、木版により印刷されていたがさらに高級な絵画的な構成が、写真製版の発明により可能になった。板紙も、薬板紙から白色の晒バルブを表面に抄き合わせた白板紙へ、さらに高級多色オフセット印刷を可能とするアート紙の塗工術が応用された。MC 白板紙 (Machine Coated Paper Board) が開発され、現在のごとき素晴らしい化粧箱が、大量に消費されることが可能になった。しかしながら、白板紙は、そのままでは耐水性がなく、また、透気性その他の欠点のため、たとえば、液体容器等の需要に対しては、硝子、鉄、アルミ、プラスチック等に譲っていたが、近年、ワックス、ポリエチレン、PVDC、アルミニウム等との複合により、紙の長所と他材料の長所を組み合わせることによって、たとえば、ミルク・カートン、モーターオイル用ペーパー缶、あるいは多目的の Bag in Box 等、次々と液体、粉体、防温等の容器が開発され新しい需要分野が確立されつつある。

カートンボックス製造および消費の面から、白板紙に

要求される性質は次の通りである。

- (1) 包装される製品を適当に保護するための強度
- (2) 折り曲げ部が破損することなく 180° まで曲げ得る可能性
- (3) 包装の視覚アピールを高めるための外観
- (4) 表面の印刷適性
- (5) 必要な形を保ち、自動供給機の機能が発揮できるための剛性
- (6) 水、油、湿気等の滲入あるいは吸収に対する抵抗性

カートンボックスの大半は、毎葉印刷機の工程を初めてとして印刷製造されるため、紙は断截されてシートとして流通されている。最近、印刷、打抜機が on line で連動した高性能機が開発され、白板紙が巻取のまま供給されるまでになった。このボブストチャンプレン機に代表される大量ロットの大量生産方式が、大きくクローズアップされてきたことは、カートンボックス需要の大きさを知ると共にさらに飛躍の成長が期待できる。

最近、白板紙製カートン・ボックスと段ボール箱のちょうど中間に位置する E フルーツ段ボールが開発された。この E フルーツは、段ボールの一種であるが、その山は小さくて低く、30cm 当りの山の数は 91~96、山の高さは 1.1~1.5 mm と縫針がやっと入るくらい小さな山の段ボールである。この特徴は、白板紙に比して剛性がある、しかもクッション性があり、また、段ボールに比して薄く、しかも白板紙のごとき印刷適性をもっている。消費面から見れば白板紙に近いものであり、段ボールは工場でシート生産が行なわれ、カートンボックス工場で印刷製函される。この E フルーツは、大型カートンボックス、瓶包装等の包装の最適化と共に急速に需要を拡大していることにも注目したい。

4. 使い捨て紙製品

Tissue Paper に代表される紙の衛生的利用分野でも、紙の本格的な利用時代になってきた。

現在では紙は、洗面所以外に、台所、食堂等、住宅の事のあらゆる場所に配置され、手軽に使われ、そして、屑箱に捨てられている。Tissue Paper ; 紙ナプキン、ウェス、紙製テーブルクロス、紙コップ、紙皿、さらに、ペーパードレス、衛生綿に至るまで、多くの紙製品が開発され、実用化されている。これには多くの理由があるが、基本的には、家庭内労働の省力化、生活における衛生観念の発達、紙と人間の肌合いの良さ、安定した安価な供給力等をあげることができる。特に、人間の肌に合う物質であることは、他の物質にはない重要な特徴といえる。200°C 近い高温下に強い化学薬品により抽出され

てきた繊維は、化学的に非常に安定した物質であると共に、その硬さや柔らかさは、あるいは吸湿性、保水性等、人間の肌にぴったりの物質である。

5. 事務用紙

紙の最も紙らしい利用は、むしろ文化面における利用である。すなわち、筆記用紙、印刷用紙、事務用紙等、紙が中国で発明されて以来、人類が最も永く親しみをもって使ってきた紙である。文明の記録は紙の上に記録され、保管され、また現在社会が最も必要としている情報の蓄積、交換も紙があって可能である。20世紀の後半から急速な発展を見せている新しい産業の一つ情報産業には欠かせない材料である。

複写用紙、事務用紙としては従来から広く使用されている。カーボン紙、連続伝票用紙、ワнтаイムカーボン、ジアゾ感光紙等があり、また、この1、2年急速に伸びてきたNo Carbon Paperがある。しかし現在写真機材メーカー、製紙メーカーの最も関心の深いものの一つであり、また高額の研究費を費しているものは、電子複写機およびその用紙である。

それは電子複写が、将来の情報伝達手段の一つであるからであり、身近な例としては、家庭のテレビと連動させ複写印刷することにより、将来は新聞にとって替る可能性もあるからである。

電子複写に関して略述すると、電子複写方式は原理的には光導電体を利用する点では一致しているが、実際に応用されている面では大別して次の2法に分けることができる、すなわち、一法は転写法と称し、もう一つは直接法と称されこれの違いを表8に示す¹⁾。

おわりに

今後の紙パルプの業界の問題点としては、次のような諸項目が挙げられる。

(i) 原料対策

木材、チップ、パルプの輸入、および合成紙用原料のコストダウン等によって、今後ますます増大する巨大な需要をまかなうための原料確保がまず第一の問題点である。

表 8

表 8	転写法 (Xerox法)	直接法 (Electrofax法)
● 発明メーカー	Battelle Memorial Institute Xerox社	RCA社
● 使用光導電体	セレン	ZnO, TiO_2, SiO_2
● 複写方式	<p>(i) 光半導体(金属版)への荷電 コロナ放電 </p> <p>(ii) 露光(静電潜像) </p> <p>(iii) 現像 </p> <p>(iv) 転写 </p> <p>(v) 定着 </p>	<p>(i) 光半導体(ZnOコート紙)への荷電 コロナ放電 </p> <p>(ii) 露光 </p> <p>(iii) 現像 </p> <p>(iv) 定着 </p>
● 価格	やや高い	やすい
● 複写品質	ハーフトン値にくい	極めて良好
● 複写紙制限	一応ほとんどよい	ZnO コート紙に限る

る。

(ii) 工場立地の変革

原料の入手、公害問題、市場への則応性等の観点からパルプ、紙、紙加工工場の立地は昔と違ってこなければならぬ。

(iii) 付加価値向上による企業の体質改善

今までの紙パルプ工業は原紙供給に偏し、付加価値の低い製品を生産していたが、これからの厳しい生存競争に打ち勝つためには、より価値の高いものへ、また新製品の開発を意欲的に行う必要がある。

(iv) 業界再編成

国際的な貿易、資本の自由化時代に入り、紙パルプ業界も国際的な視野でものを見、考える必要がある。このための企業体質の改善、企業協調、再編成を行なう必要がある。

文 献

- 1) 栗田、石渡；高分子，17，278 (1968)