技術予測—日本とカナダ 第三報 パルプ化及び抄紙技術*

Forecasting of Pulp and Paper Technology in Japan and Canada Part III. Pulping and Papermaking Technology

東京大学農学部 飯山賢治**

(株)日本紙パルプ研究所 可知省吾**, 浅岡 宏***

Kenji Iiyama

Faculty of Agriculture, University of Tokyo

Shogo Kachi, Hiroshi Asaoka

Japan Pulp and Paper Research Institute, Inc.

1. はじめに

カナダ紙パルプ研究所 (PPRIC) が 1973 年 9 月より 1 年半かけて実施したカナダ紙パルプ産業の技術と市場についての予測結果 (K.M. Jegr, K.M. Thompson; "The Canadian Pulp and Paper Industry, Threats and Opportunitities 1980~1990" PPRIC (June, 1975)) と, 1975 年 4 月に創設された紙・パルプ技術予測研究会¹⁾ (代表幹事近藤民雄九州大学農学部教授, 中野準三東京大学農学部教授, 浅岡宏(株)日本紙パルプ研究所所長) が, 1976 年 2 月より 8 月に実施した我国の紙・パルプ産業の技術予測の結果 (紙・パルプ技術予測研究会編; 「紙・パルプ技術予測調査結果報告書, No. 1~7」(1976 年 11 月)) について, 第一報²⁾ で概括的に比較紹介した。また, 第二報³⁾ で我国の技術予測では一つの項目としてはまとめられていないが, カナダではその市場との関係からいくつかの項目がたてられ, また関連する事項が随所にみられる新聞用紙に關しての予測結果の比較を行なった。

本報では, 我国の技術予測のいわば中心項目ともいふべきパルプ化及び抄紙技術についての予測について, カナダのそれらの予測 (項目: G. Pulping Technology 及び H. Papermaking Technology) に対応しながら, 両国の紙・パルプ産業のおかれている状況の

違い, その違いからくる考え方の差などを比較し, 更に両技術予測結果が示唆する今後のパルプ化及び抄紙技術のあり方についての考察を試みた。

2. 予測を求められた課題

本報では主としてカナダの技術予測であつかわれた課題に対応するかたちで, 我国の関連する予測結果とを比較するが, はじめにカナダの技術予測のうちパルプ化 (項目 G) 及び抄紙技術 (項目 H) で予測を求められた課題を紹介する。

G: パルプ化技術について

課題 1 今日までの生産量の推移をもとにして, 1980 年及び 1990 年におけるカナダでの全パルプ生産量を予測せよ。(註: デルファイ法による第 3 回目の質問では, パルプ生産量を British Columbia 州と他の地域にわけて答えさせている。)

課題 2 過去 20 年間, カナダでは生産量の増加に加えて, パルプの種類についてもかなり大きな変化があった。1980 年及び 1990 年に生産される種々のパルプの割合を予測せよ。

課題 3 以下の項目が実現する時期 (5 年きざみで) を予測せよ。

(1) カナダでリファイナード碎木パルプ (以下 RGP と略す) がメカニカルパルプの 25% となる。

* 第二報: 本誌, 31, 366 (1977)

** 紙・パルプ技術予測研究会事務局員

*** 同副代表幹事

- (2)北米での新聞用紙生産量の25%が、100%メカニカルパルプで製造される。
- (3)カナダで碎木パルプ（以下GPと略す）を混合したサーモメカニカルパルプ（以下TMPと略す）がティッシュ及びある種の印刷用紙につかわれる。
- (4)100%TMPでできた新聞用紙がカナダの全新聞用紙の10%を占める。
- (5)アルカリ性サルファイトパルプ（以下アルカリ性SPと略す）及びソーダパルプ（以下APと略す）法がカナダで実用化される。
- (6)現在の化学パルプ製造法にかわる新しい非硫黄パルプ化法が開発され、カナダで実用段階に入る。
- (7)クラフトパルプ（以下KPと略す）の平均収率が60%まで上昇する。
- (8)樹皮つきチップを用いた化学パルプ化法が開発され、カナダで実用化される。
- (9)不織布の需要のために溶解パルプ及び α -パルプの生産量が少くとも現在の2倍になる。
- (10)酸素漂白パルプがカナダの全漂白パルプ生産量の25%を占める。
- (11)他のガス状漂白（ Cl_2O 、 ClO_2 等を用いた）が開発され、カナダで実用化される。
- (12)カナダのすべての工場で、漂白薬品回収が実用化される（漂白廃水は回収工程にもどされる）。
- (13)針葉樹材を用いた全材パルプ化及び漂白法がカナダで工業化される。

課題4 全材パルプ化及び漂白は紙質にどのような影響を及ぼすか。

課題5 どんな種類のパルプが古紙におきかえられ、どのような製品になるか。

H：製紙技術について

課題1 カナダにおいて新しい紙層形成法はどの程度まで実用化するか。1980年及び1990年にカナダの紙生産に用いられる種々の紙層形成法の割合を予測せよ。

課題2 次の紙質の標準偏差値が現在の値の1/2になる時期を予測せよ。

- (1)坪量、(2)含水率、(3)厚さ。

課題3 技術的、経済的及び環境的にみて、カナダの製紙工場の25%で水のクローズ化が実用化される時期を予測せよ。

課題4 物理的限界や騒音など、技術的、経済的にみて、以下の事項は将来どうなるか予測せよ。

- (1)最大級の抄紙機での最高設計生産能力。
- (2)最大設計抄速

課題5 カナダでの紙製品中の化学パルプ平均含有率

図1 全パルプ生産量の推移と予測結果

は、メカニカルパルプ（TMP及びケミメカニカルパルプ（以下CGPと略す）を含む）の改質によって低下すると考えられているが、下記製品中の化学パルプ及びメカニカルパルプの平均的比率を予測せよ。

- (1)新聞用紙、(2)GP印刷用紙、(3)他の印刷用紙、(4)特殊紙（衛生紙を含む）、(5)コンテナボード、(6)ボックスボード、(7)工作用紙及び板紙。

課題6 下記製品に用いられる繊維物質の割合を予測せよ。

- (1)新聞用紙、(2)ライナーボード、(3)申しん原紙、(4)折畳みボックスボード、(5)非折畳みボックスボード、(6)固状漂白ボックスボード、(7)その他のボックスボード、(8)GP印刷用紙、(9)その他の印刷用紙、(10)包装紙、(11)ティッシュ及び衛生紙、(12)工作用紙及び板紙。

以上に対応する我国での予測については、その都度ふれることにする。

3. パルプ生産量について

図1にカナダでの技術予測の質問の際に付された1950年代から今日までのカナダにおけるパルプの年間全生産量の推移を、我国におけるパルプ生産量の推移⁴⁾とともに示す。このデータをもとにして予測された結果は、1980年には現在(1970年1,830万t)の1.4倍の2,600万tとなり、1990年には1970年の2.1倍である3,800万tとなって、今後年間4%弱づつ生産量は増加するということであった。

1980年の予測値のバラツキは比較的少なかったが、1990年のそれはかなりバラツキがみられる。IQR（第1四分位数と第3四分位数の範囲）より高い生産量を予測した人は、「カナダは引続いて世界の主要なパル

プ供給国であって、1980年代になると再生産可能な木材繊維への需要が高まり、成長率も高くなる」とのコメントをつけており、逆に IQR より低い生産量を予測した人は、「奥地森林資源の開発をよぎなくされ、木材コストが上昇するとともに、インフレと高利子が引続くと考えられることもあって大規模な工場を多数新設することは困難であり、生産量の伸びはおさえられる」との意見を出している。しかし我国と違って興味深いのは、IQR より低い値を予測した人（すなわち、より悲観的にみている人）から「環境問題もある程度は影響するが、繊維需要には大きな変化はないであろう」というコメントが出されていることであり、同様なことは中間値を予測した人からも言われていることである。

我国の技術予測では、生産量予測はなされていない。我国での現在までの生産量の推移をみると、カナダよりかなり成長率は高いようである。パルプ生産量ではないが、全世界の紙・板紙需要量については、Keays⁵⁾ 及び FAO（国連食糧農業機構）⁶⁾ で予測されているが、Keays は過去の需要の推移から、それらが継続すると考えて、1975年に16,500万t（1970年から75年の平均年間成長率4.9%）だった紙・板紙需要量は、1980年には21,000万t（1975年から80年の平均年間成長率4.9%）、1990年には30,000万t（1980年から90年の平均年間成長率3.6%）になるとしている。FAOの結果では1980年22,000万t（1975年から80年の年間平均成長率5.9%）、1985年には27,600万t（1980年から85年の平均年間成長率4.6%）と急激な増加となっている。このようにいずれにしても1990年ごろまでは、今回のカナダの技術予測でみられたように、年成長率4~5%程度が維持され、生産量は指数関数的に増加すると考えられており、パルプの高収率化や古紙回収による再利用がはかれるにしても、同時に指数関数的に増加するであろう木材供給をどう保障していくか、興味あるところである。またこれらの予測においては、木材繊維及び紙・板紙製品の利用形態の変化、利用の集約化（例えば軽量化等）などがあまり考慮されていないと考えられる点は問題がないとはいえないだろう。

4. 全パルプ生産量に占める各種パルプの比率

4.1 クラフト及びサルファイトパルプ

図2にカナダにおける各種パルプの生産比率の年度変化及び1980年、1990年の予測値を、図3に我国の各種パルプの生産比率の変化を示す。KP は臭気問題があるにもかかわらず、その問題は都市近郊から離し

図2 カナダにおけるパルプ生産比率の推移と予測結果（ケミメカニカルパルプはメカニカルパルプに、セミケミカルパルプはその他に含まれる。）

図3 我国におけるパルプ生産比率の推移（ケミメカニカルパルプはメカニカルパルプに、セミケミカルパルプはその他に含まれる。）

て設置することによって、また他の方法で解決され、強度への要求からより主要なものになってくる。しかし、メカニカルパルプより高い比率を占める木材コストの上昇及び製品でのメカニカルパルプとの競合、非硫黄パルプ化法など新しいパルプ化法の出現によって、現在の成長率は維持できず、成長率は低くなると予測されている。

一方サルファイトパルプ（以下 SP と略す）は新聞用紙への化学パルプ混合率の低下、低強度及び汚染負荷が高いなどの理由で減少するが、ベース交換や汚染の制御などがほどこされるため、完全になくなるとい

うことはなく生き残ると考えられている。SP に関して興味深いのは1回目の回答に付されたコメントに「リグニンケミカルスとしての需要のため SP は増加するだろう」というがあり、第2回目の回答に際してはこのコメントに賛成する人はなく、逆に「過去50年間、リグニンケミカルスの試みがなされているにもかかわらず、何ら成果があがっていない」「そうなればすばらしいのだが!!」とのコメントが付されていたことである。

4.2 メカニカルパルプ

カナダでは1950年代に全パルプ生産量の50%以上を占め、パルプ生産の中心となっていたメカニカルパルプ（カナダの場合にはCGPを含めている）は、1970年には40%に低下してきている。しかし、①木材資源の有効利用、②汚染負荷が少ない、③化学パルプを混合しなくてもよいような新しいメカニカルパルプ製造法の確立などによって、1980年、1990年にかけて生産量の絶対量は増加し、全生産量に占める割合は40%程度でほとんど変化しなくなるだろうと予測されている。更に表1に示すように、メカニカルパルプの改良によってすべての紙製品に占めるメカニカルパルプの割合の増加によるメカニカルパルプの需要の増大も、この傾向を促進すると考えられている。また古紙による代替については、古紙パルプ製造による汚染負荷の増大のため、あまり影響されないと考えられている。

メカニカルパルプの生産量に関しては我国の技術予測でも、「No. 2 高収率パルプ編」で数課題ふれられている。我国のメカニカルパルプのパルプ全生産量に対する生産比率は、主に「中下級紙だけに用いられ、高成長分野であった印刷、産業用紙分野には入れなかった」こともあって、図3に示すようにカナダの比率よりかなり低く（CGPをのぞいたメカニカルパルプだけでは1960年28.6%、1970年15.4%、1974年14.8%）、漸減傾向にあったが、今後1985年までにストーンGPは1974年の生産量の1/2以下になるものの、①比引裂強さが大きく、結束繊維の少ない⁷⁾ TMPの開発、実用化、②リファイナーの改善によるRGP製造法の改善、③品質改良による印刷、産業用紙への進出、④原木難、などによって増加に転じ、1986～1990年の間には全パルプ生産量の30%を占める、すなわち現在の比率の約2倍（GP、RGPだけで）、（実現度80%）と予測されている。更に全パルプ生産量の19.1%（1974年）を占めていたCGP及びセミケミカルパルプ（以下SCPと略す）も増加し、1985年～1990年には30%程度（実現度は60%とあまり高くない

表1 種々の紙・板紙製品のメカニカルパルプ含有率の変化（%）

紙・板紙製品	1970年 実績	1980年	1990年
新聞用紙	75	82	90
G P 印刷用紙	70	75	80
その他の印刷・筆記用紙	8	10	15
特殊紙（衛生紙を含む）	25	30	35
コンテナボード	3	10	18
ボックスボード	20	25	35
工作用紙・板紙	28	35	43

が）になると予測されていることを考えると、現在全パルプ生産量の60%以上を占めているKPがどうなるのか、不明な点も残されている。なお、メカニカルパルプが30%を占めるようになった時には、全メカニカルパルプの30%はTMPになると考えられている（実現度100%）。

4.3 新しいメカニカルパルプ製造法—TMP—

カナダの予測結果でふられている「新しいメカニカルパルプ製造法」にはTMPも含まれていると考えられ、両国ともTMPに対する期待が非常に大きい。TMPの原理はいうまでもなく、チップをリグニンの軟化点（二次転移点）以上の温度に加熱し、破断することによって結束繊維を少なくするとともに、リファイニング動力を減少させるというものであるが、加熱によるリグニンの軟化によってリファイニング動力は減少するものの、加熱のためのエネルギーが必要であって、トータルとしては省エネルギーにならない⁸⁾と考えられ、省エネルギーパルプ化ということには必ずしもならない。しかし、最近比引裂強さだけでなく、比破裂強さ、裂断長も大きい、より紙質が改良され、しかもリファイニング動力もより少ないTMPということで、チップを亜硫酸ソーダ又はカセイソーダで前処理する方法⁹⁾も研究され、実用化されてきており、このような改良も含めて、今後より一層TMPへの期待が高まるものと考えられる。

4.4 その他のパルプ

カナダにおいては「その他のパルプ」（SCPを含む）は、1970年までは全パルプ生産量の8%程度でほぼ一定であったが、メカニカルパルプと同様に、今後絶対量は増加するものの比率は現状とほぼかわらないと考えられている。この「その他のパルプ」の中では「省資源、省エネルギー」ということで、収率75～90

％程度のパルプ化, すなわち SCP が重要視されているが, 酸素・アルカリ蒸解は設備に大きな資本が必要であるとともに, 製品の強度が低く, またソーダのバランスがとれないなど問題をかかえ, 今すぐ実用化されるというよりも, むしろ 2000 年位までの長い目でみて有力になってくるというコメントが付されている。

また未開発の新しいパルプ化法がありうるか否かということに関して, 「過去 70 年間に基本的に新しいものとしては, 1930 年代に開発された中性サルファイトセミケミカルパルプ (以下 NSSC と略す) と, 1950 ~1960 年代に開発された RGP であったにすぎず, 今後現在のパルプ化法の改良法はできたとしても, 経済的になりたっていけるような新しいものは困難である」との意見が出されていた。

4.5 革新的パルプ化法

以上のようにカナダでは強度への需要の故に, KP の大幅な伸びと, TMP 等の出現によるメカニカルパルプの現状維持 (絶対量は増加するが) が予測されており, いわゆる「新しいパルプ化法」の出現にはさほど大きな期待を寄せていない。

木材資源問題, 環境問題がカナダと比較にならない位きびしくうけとめざるを得ない我国でも, TMP の出現によるメカニカルパルプの生産量の大幅な増加を予測しているが, 同時に我国では KP 製造時の臭気対策は 1985 年までに実用化 (実現度 90%) するとしているものの, KP 蒸解時にかなり多量に発生する硫化水素, メチルメルカプタン, ジメチルスルフィド, ジメチルジスルフィド¹¹⁾とテルペンとの合成臭気である臭気は, Weber-Fechner の法則により成分を 99% 減少させても 2 単位しか低下せず, 人家から隔離して KP 工場を設置する条件にない我国では, 完全に対策をたてることは困難といわざるをえない。そこで我国の技術予測ではホロパルピング, 酸素・アルカリ蒸解などへの期待も強く, 紙質や経済性に問題はあるとはしながらも, 1990 年までには酸素・アルカリ蒸解が 1,000 t/年 (実現度 74%) になり, さらに 1990 年にはホロパルプ, 酸素・アルカリパルプを含めた現在の化学パルプより 5~10% 収率の高い非硫黄系パルプの実用化が実現する (実現度 95%) と予測されている点は異なっている。

更に我国では先にも述べたが, 100% とはいかないまでも, 排水規制の強化によって, CGP, SCP の薬液回収法が 1985 年までに普及し, CGP 及び SCP は 1985 年に全パルプ生産量の約 30% になる (1974 年実績は 19.1%) (実現度 60%) との予測があるとともに, CGP 及び SCP 製造法についても具体的に, Worster

¹¹⁾の提案した炭酸ソーダを用いる方法 (Worster の方法は, 6% 炭酸ソーダで, 170°C, 30 分間処理) や, スルホメチル化, オゾン処理に加えて, 例えばアクリル酸のグラフト化¹²⁾, スルホン化¹³⁾など親水性基の導入等による高収率パルプの改質の可能性 (親水性基導入による改質については, 1990 年までに実現し, 実現度 90% と予測) についてもふれている。このように我国では技術的内容についてふれることができたのは, 第一報でふれたようにカナダでは回答者中に占める専門家の割合があまり高くなかったが, 我国の今回の予測調査における回答者のほとんどが選別された専門家であったことによるであろう。

しかしながら「現在の技術の延長線上にあるものについては予測可能だが, そうでない革新的技術についての予測は困難である」¹⁴⁾というデルファイ法の弱点もあって, いわゆる「革新的技術」については, 両国の調査ともほとんどふれられていない。ただ一行ではあったが, カナダの報告書の別の項目のところで, “Use of laser or sonar in pulping” (「パルプ化へのレーザー又は超音波の使用」) とふれられ, 「パルプ化への微生物の利用」ということが我国の予測にコメントとして付されていたにすぎない。パルプ化への微生物, バクテリア及び酵素の利用, すなわち “Biological pulping” はスウェーデンにおいて, Henningsson ら¹⁵⁾が研究を進めており, 多くの解決しなければならない問題はあるが, 我国では例えばチップ船中又は野積み中での部分的蒸解などの可能性もなきにしもあらずであろう。なおこの点については最近総説¹⁶⁾も出されている。

また, パルプ化へのレーザーの応用については現在にいたってもまだ一件の報告もみられないが, 極めて単色性の優れたコヒーレントな強力な光源であるレーザー光を照射することによって, (1)赤外部である特定の振動準位を励起して化学反応をおこさせる, (2)強力なレーザーより発生する高熱を利用して反応をおこさせる, (3)通常の条件で反応しない 2 つの化合物の混合系にレーザー光を照射して, 一方の化合物をいったん活性種に化学変化させて他の一方の分子と熱反応をおこさせる, などが可能¹⁷⁾であることから, 例えば蒸解中のリグニンの β -アリルエーテル結合の選択的開裂による脱リグニンの促進や, 酸素や塩素などを励起させて反応させるなど応用は不可能ではないであろう。なお, 高分子のガラス転移点の降下や流動時間等の短縮をもたらすことが知られている超音波, 高周波のパルプ化への利用も考えられなくはないと思われる。

更にこれら以外にも, 現在研究がすすめられている

表 2 カナダにおけるパルプ化及び漂白技術の実現時期（回答者率，％）

項 目	実 現 時 期				非実現
	～1980年	～85年	～90年	～95年	
1. カナダで RGP が MP の 25% になる。	47 45	47 50	6 5	0 0	0 0
2. 北米で 100% MP の新聞用紙が 25% になる。	2 0	21 16	59 63	13 16	5 5
3. TMP がティッシュ、ある種の印刷用紙につかわれる。	47 59	32 12	13 12	8 7	0 0
4. カナダで 100% TMP の新聞用紙が 10% になる。	5 0	36 44	59 56	0 0	0 0
5. アルカリ性 SP 及びソーダ法の工業化。	22 17	19 17	0 0	22 24	37 42
6. 新しい非硫黄パルプ化法の開発と実用化。	14 13	43 47	29 20	14 20	0 0
7. KP の平均収率が 60% まで上昇する。	0 0	11 8	24 15	24 23	41 54
8. 樹皮つきチップの化学パルプ化法の開発と実用化。	62 67	20 13	5 0	5 7	8 13
9. DP, α -パルプの生産量が倍になる。	0 0	21 21	9 7	49 36	21 36
10. カナダの全漂白パルプの 25% が酸素・アルカリになる。	0 0	17 7	69 64	8 22	6 7
11. 他のガス状漂白が開発され、実用化する。	53 50	36 36	8 7	0 0	3 7
12. 漂白薬品の回収がすべての工場で実用化。	3 0	57 53	20 20	14 20	6 7
13. 針葉樹の全材パルプ化の工業化。	12 26	56 53	20 7	3 7	9 7

*：上段：全回答者，下段：専門家

MP：メカニカルパルプ，RGP：リファイナードグランドウッドパルプ，TMP：サーモメカニカルパルプ，
SP：サルファイトパルプ，KP：クラフトパルプ，DP：溶解パルプ

ものとしては、水媒体中での r 線照射，電子線照射によって生成した $\cdot\text{OH}$ ， $\cdot\text{OOH}$ などのラジカルの蒸解への利用又はパルプの改質¹⁸⁾なども考えられるだろう。これら「革新的技術」については、今後の研究の進展

をみながらその可能性をさぐっていききたいものである。

5. パルプ化及び漂白法について

カナダにおけるパルプ化及び漂白に関する 13 の事

項についての実現予測結果を表2に示す。以下第2表に示した項目を(1)メカニカルパルプ製造に関して、(2)KPの高収率化と新しい化学パルプ製造に関して、(3)漂白技術に関して、(4)その他、と整理して記述する。

5.1 メカニカルパルプ製造に関して

先にも述べたように、我国とカナダでは集計の仕方が違うので、カナダの集計に従って我国のCGPを含めてメカニカルパルプとして考えると、我国では1976年度でRGPは全メカニカルパルプの約30%（全パルプ生産量の8%）に達し、今後1985年までに、例えば高圧リファイニング¹⁹⁾などリファイニングの改良によって改質されたRGPの実用化が進む（実現度80%）と考えられているが、カナダでもRGPの生産が増し、1985年までには全メカニカルパルプの25%を占める（実現度94%）ようになると考えられている。

このように今後のメカニカルパルプ製造法として、ストーンGPより比引強さの大きなTMP及びRGPが期待されており、TMP及びRGPなどによるメカニカルパルプの紙質の改良によって、100%メカニカルパルプ又は100%TMPの新聞用紙の出現が、カナダでもまた我国でも待ち望まれている。カナダの予測では、北米で100%メカニカルパルプの新聞用紙が全新聞用紙生産量の25%になるのは1990年（実現度82%）、カナダの新聞用紙の10%が100%TMPから製造されるようになるのはやはり1990年（実現度100%）となっている。我国でも生産量は問われていないが、1985年までに化学パルプ5%以下の新聞用紙がつくられる（実現度95%）と予測されている。しかし両国とも、現状の紙質、印刷速度がそのときまで継続していった場合には可能であろうが、軽量化及び印刷速度の高速化が進んだときには問題は残るとのコメントが付されている。更にカナダの予測では100%メカニカルパルプの新聞用紙を実現するためには、具体的にはふられていないが、新しいメカニカルパルプ製造法の開発が必要とも述べられている。その点で裂断長の向上が報告されたBecherら²⁰⁾によるJet Alkali法、及び引強さがTMP以上に優れた、チップにアンモニアを含浸させた後、急激な降圧、爆砕によるアンモニア爆砕法²¹⁾なども、TMPとともに新しいメカニカルパルプ製造法として期待されるであろう。また前章で述べたように、製造されたメカニカルパルプに親水性基などを導入してパルプの改質をはかる方法の開発も含めて考える必要があろう。

省資源、低汚染負荷のメカニカルパルプは両国とも今日以上に期待されているが、それをささえる用途の

拡大が検討されねばならない。この点についてカナダではティッシュ及び印刷用紙としてのTMPの用途の拡大（1985年まで、実現度79%）が期待されており、我国でもメカニカルパルプの含有率が30~40%のティッシュの実現（1985年まで、実現度97%）、上質紙へのメカニカルパルプの利用（1990年まで、実現度80%）がされると期待されている。しかし、印刷用紙にメカニカルパルプを添加する点に関しては、高収率パルプの白色度、退色性、印刷適性などの問題があり、技術的には可能であっても高級品指向という現在の消費者の趣向の変化がないとむずかしいという意見が我国のアンケートに付されており、「メカニカルパルプを含む印刷用紙が我国の全印刷用紙の80%を占めるようになる」という設問に対して実現度は60%（1990年まで）と他に比べて低くなっている。

5.2 KPの高収率化と新しい化学パルプ製造に関して

カナダでは今後KPが大きく伸びパルプ製造の主力となると予測されているが、省資源という立場から高収率化の実現が期待されている。しかし収率60%のKPは実現しないか、したとしても熱回収などの問題もあって1990年以降になると回答した人が65%を占めている。我国では収率が2~5%高いKPは1985年までに実用化する（実現度93%）と予測されているが、これはボリスルフィド蒸解、硫化水素前処理又は緑液処理によって実現すると考えられており、臭気問題との関係がどうなるのか心配な点もある。しかし最近、反応メカニズムは不明であるが、KP蒸解液及びソーダ蒸解液に0.1%程度という極少量のアントラキノン系の薬品を添加することによって、収率を5%程度上昇しうることが報告²²⁾されており、臭気も廃水も、また製品の着色もさほど問題にならずに高収率を実現するKP蒸解の改良法が開発されてきている。

すでに指摘したようにデルファイ法による未来予測では現在の技術の延長線上にある技術、又はすでに開発され、実用化の一手手前までいっている技術が今後どうなるかという予測は可能だが、まったく新しく、まだ検討もされていないような革新的技術を予測することは困難である。両国の技術予測にも、新しい化学パルプ製造法についてふれられているが、それらは上記の範囲を出ていない。

カナダでは①アルカリ性サルファイト蒸解、ソーダ蒸解法の実用化、②非硫黄系蒸解法の実用化、について予測が求められ、前者については回答者の60%の人が、実現したとしても1990年以降になるだろうとしている。しかし後者については、酸素・アルカリ蒸

解などによって 57% の回答者が 1985 年までに、また 86% の人が 1990 年までに実現すると考えている。

我国の技術予測においては回答者の専門度が高いこともあって、この点はより具体的に検討されており、ソーダ蒸解、アルカリ性サルファイト蒸解、紙パルプ研究所で開発されたホロパルピング（PFP 法）、東洋パルプで開発された酸素・アルカリ蒸解法の一つである HOPES 法、さらに「微生物によるパルプ化」など無臭化蒸解が 1990 年までに全化学パルプの 30% を超す（実現度 80%）と考えられている。しかし、優れた紙質をもつ KP の放棄につながる非硫黄系蒸解を考えなくても、KP の密閉化、臭気成分の捕集、釜内酸化などによる無臭化、低臭化の実現（1985 年まで、実現度 90%）によって考えればよいとの見方もある。更に KP の臭気発生の原因となっている硫化ソーダにかわる薬品が実現するかどうかとも予測されているが、これについては回収工程も含めて硫化ソーダにとってかわるような薬品の実現の可能性はあまり高くない（1990 年まで、実現度 60%）としている。しかし前述のように、アントラキノンのソーダ蒸解液への添加は実現可能なものの一つといえよう。更に硫化ソーダにかわるというものではないが、強度的にも KP 匹敵し、しかも収率が 5% 程度高いアルカリ・メタノール蒸解法²³⁾は、メタノールの価格及び回収法の確立によって実用化される途もあるように思われる。この蒸解のメカニズムについては、最近リグニンのベンジル位の水酸基がメチル化され、蒸解中のリグニンの縮合反応を妨害し、脱リグニンを容易にするとともに、セルロースのピーリング反応の阻止によって高収率化と強度増加がもたらされることが明らかにされた²⁴⁾。

5.3 漂白技術に関して

カナダの技術予測では漂白に関し、①酸素漂白、② Cl_2O 、 ClO_2 などによるガス状漂白、③漂白薬品回収、がふれられ、我国では、④高収率パルプの過酸化水素以外の酸化漂白及び亜ニチオン酸塩以外の還元漂白、②酸素漂白を含む塩素系以外の多段漂白、③漂白のクローズド化、がふれられている。

酸素漂白は汚染負荷が少ないなどの利点をもつため、すでに実用化が進んでいるものの、コストが高く、強度が低く、さらに薬品バランスがとれないなどの理由から、カナダで酸素漂白が全漂白法の 25% をこすのは 1990 年になるだろう（実現度 86%）と予測されている。なお当然のことながら、この予測にあたっては何よりも現在用いられているマグネシウム塩より優れた炭水化物のプロテクターの開発が鍵であるとのコメントが付されている。プロテクターの挙動については

近年精力的に研究が進められてきており、例えば C-13 NMR を用いてキレート形成による作用などが明らかにされてきている²⁵⁾。

一方我国では工場立地がカナダとは大きくことなり、着色規制なども含めて廃水規制が厳しくなると考えられることから、カナダの予測で指摘された欠点はあるものの、酸素漂白への期待は大きく、1985 年までに酸素漂白が 30% をこし（実現度 93%）、さらに 1995 年までには 50% をこす（実現度 90%）と考えられている。また同時に廃水規制との関係から 1990 年までに漂白のクローズド化が 20% 以上になる（実現度 93%）と予測されているが、この点はカナダの予測でも 1990 年までには漂白はクローズド化され、薬品回収が実用化する（実現度 80%）と考えられている。

カナダでは Cl_2O や ClO_2 など塩素系漂白剤による高濃度ガス状漂白の実用化が予測され、これはかなり早い時期（1985 年まで、実現度 89%）に実現すると考えられているが、高品質の新聞用紙用の新しい RGP 漂白法の必要性も指摘されている。この点我国では具体的に、過酸化水素又は亜ニチオン酸塩にかわる酸化（例えばオゾン、酸素、過酢酸）及び還元剤（例えば水素化ホウ素ナトリウム）の実用化が予測されているが、主に経済的な理由により、前者については 1990 年（実現度 80%）、後者については同じころであろうが実現度は 60% と低くなっている。なお前述したが、カナダの予測ではこの項目で「パルプ化へのレーザー及び超音波の使用」がコメントとして付されている。

5.4 その他

カナダの予測では以上のメカニカルパルプ及び化学パルプ製造法、漂白技術に加えて、樹皮つきチップ及び全材パルプ化（whole tree pulping）、漂白に関する項目がたてられている。樹皮つきチップについてはすでにコンテナボード用 KP 及び NSSC として広範に使われており、早い時期に実用化（1980 年；実現度 62%、1985 年；実現度 82%）すると考えられている。また、全材パルプ化及び漂白についても、白色度、ゴミの混入及び強度低下などの問題もあり、今後の研究の重要性が指摘されているものの、資源問題との関連から 1985 年までに実用化（実現度 68%、1990 年までには実現度 88%）すると予測されている。我国ではこの問題はカナダ以上に深刻であるにもかかわらず、我国の予測ではふれられていない。

更にカナダの予測では、紙質への全材パルプ化への影響について具体的に検討されており、蒸解能力の低下及び漂白コストが増大してメリットはなく、枝、葉などは予じめ分別して燃料などに用いた方がコスト的

にも安く、効果的であるとの否定的な意見もあるが、低級紙としては十分利用できるという見方も出されている。しかし、回答者の多くは全材パルプ化のためには技術開発が必要であり、その技術開発はなされると考えている。

6. 古紙による木材パルプの代替について

カナダでは1974年の古紙回収率は12%、利用率は6%と我国の40%及び37%に比べ、木材資源が豊富なこともあって極めて低い(OECD加盟諸国の平均で回収率27%、利用率24%)が、古紙の利用については大きな興味はがられ、第一報¹⁾に示したように「F. 回収再生繊維の供給」の項目で主にふれられている。ここでは回収された古紙がどのように再生利用されるかということが検討されており、その結果の一部を表3及び表4に示すが、特に技術との関連でとられているわけではない。結論としては大部分のパルプは古紙で代替されうるが、実際に代替されるには古紙の品質と価格が問題となってくるということである。

我国の予測においても「古紙」を課題としてとりあげ、検討しているが、そこでとりあげられている項目の多くはカナダの場合の「回収再生繊維の供給」の課題と同じで、「回収技術、選別技術、古紙の劣化」などの問題が中心としてあつかわれており、古紙のパルプ化に関する技術的課題についてはあまりふれられていない。しかし、技術進歩及び需要構造の変化にともなって、板紙の古紙消費原単位は1985年までに0.70をこえ(1968~1974年は0.60、実現度95%)、また1968~1974年まで0.12~0.14であった紙の古紙消費原単位も1985年までに0.30をこえる(実現度86%)と予測されている。またそのときまでには、40%程度の古紙回収率は45%に上昇(実現度96%)し、さらに1990年までには50%(実現度78%)に達し、「試算による古紙回収率の限度である57%」にせまると考えられている。しかし、現在手がつけられていない都市塵芥中にも紙、布、木材など繊維原料も含まれているが、これからパルプを製造しようとする試み²⁰⁾もなされており、これが実現すれば回収率はさらに上げられよう。

この古紙再生は省資源ということは当然のこととし、さらに一旦繊維化したものを再用するのであるから省エネルギーにつながる。また、古紙の再生には蒸解工程がないためBOD、COD 廃出負荷が低下するという利点はあるものの、SSの水質汚染負荷量の増大、脱インクによる廃水着色の問題もあり、再生繊維の紙質

の問題とともに、これらの処理技術も今後検討される必要があろう。

7. 抄紙—紙層形成法について

紙層形成法が今後どのように変化していくかということについて、カナダ及び我国でも多大な関心をよせ、予測が行なわれている。カナダでもまた我国でも、その高速性、軽量紙化、品質管理の容易さ及び表裏差のない紙の需要の伸びなどによって、低速性能、地合、填料歩留、層間強度、印刷適性などの改善を要する点もあるが、ツインワイヤーが今後伸びていくだろう(表5)。しかし、現在の主力である長網式を一挙にツインワイヤーにきりかえるにはあまりにも転換コストが高くつくため、急速な伸びというのではなく、スクラップアンドビルドによって徐々に切りかえられると考えられている。なお、我国の予測においてはツインワイヤーでの紙層形成時間は従来のものより1ケタ短かく、コンマ数秒であって、従来の静的脱水挙動の検討ではだめで、その動的検討、評価の方法の確立が必要である、とのコメントが付されている。

乾式抄紙法は無公害抄紙という点では重要であり、我国では廃水規制次第では実用化にむかっていくこともありえよう。しかし、セルロースの膨潤や分散、地合形成には水がなくてはならず、水による水素結合形成にかかわるような繊維間結合をさせることは技術的にも、また経済的にもひきあわず、実用化されたとしても極く一部の品種、例えばティッシュ、ボード等に限定されるだろうというのが、両国の一致した予測結果である。

高濃度抄紙(我国の予測設問では2.5~4%と考えている)は、地合の問題及び厚さ方向の強度の問題をかかえているが、汚染及びエネルギー問題から重要視され、繊維の均一分散法や連続汙水管理技術などが近々開発されて、我国でもまたカナダでも1985年ごろまでには実用化されると考えられている。カナダの予測では現在使われなくなってきた円網式マシンも、古紙の再利用の増加にともなって部分的に利用されるようになると考えられている。

我国の予測では以上の現在稼動中か、実用一步手前にある紙層形成法だけでなく、テストプラントでは成功している不透明性の高い発泡抄紙法の実用化及びこれもテストプラントで成功している Strata-Flo-Headbox など新しい紙層形成法についての設問もあるが、ディスポ、軽量紙、薄物では発泡抄紙法は1990年までに実用化(実現度81%)され、また1985年までには新しい紙層形成法が開発される(実現度100%)

表 3 古紙によって代替されるパルプと製品

代替されるパルプ	古 紙	製 品	回答者(人)	
			賛 成	反 対
メカニカルパルプ	新聞用紙	新聞用紙, 印刷, 筆記用紙, ダンボール, ボックスボード, ティッシュ	31	0
未漂白クラフトパルプ	ダンボール, 封筒用紙, 紙袋古紙	ライナー, 中芯原紙, 包紙, 紙袋, ボックスボード	22	0
中性サルファイトセミケミカルパルプ (NSSC)	ダンボール	ライナー, 中しん原紙, ボックスボード, 下級紙	20	0
新聞紙用パルプ	新聞紙	新聞用紙	18	1
短繊維パルプ		新聞用紙, ダンボール, ボックスボード	16	1
多くのパルプ（古紙の品質と価格によっている。）		大部分の製品	10	0
漂白化学パルプ	高級な白古紙	印刷・筆記用紙, ティッシュ, 衛生紙	21	0

表 4 紙・板紙中の古紙繊維の割合

紙・板 紙		古 紙 の 割 合 (%)			
		1980年		1990年	
		全 回 答 者	専 門 家	全 回 答 者	専 門 家
新聞用紙	平 均 範 囲	0.2 (0~10)	0.3 (0~3)	2 (0~10)	2 (0~5)
ライナー	平 均 範 囲	16 (7~25)	16 (7~20)	22 (10~40)	20 (12~30)
中しん原紙	平 均 範 囲	16 (5~90)	12 (8~20)	26 (8~30)	20 (10~26)
折畳み ボックスボード	平 均 範 囲	38 (25~42)	36 (30~40)	50 (35~60)	48 (45~50)
非折畳み ボックスボード	平 均 範 囲	60 (40~80)	57 (50~60)	63 (50~68)	62 (50~65)
その他のボックスボード	平 均 範 囲	52 (35~90)	50 (40~55)	60 (45~90)	60 (50~75)
印刷用紙	平 均 範 囲	4 (1~10)	4 (3~6)	5 (3~10)	5 (4~8)
包紙	平 均 範 囲	1 (0~4)	1 (0~2)	3 (0~10)	2 (0~10)
ティッシュ, 衛生紙	平 均 範 囲	4 (2~10)	5 (2~10)	5 (3~20)	7 (3~20)
工作用紙・板紙	平 均 範 囲	35 (10~90)	35 (30~50)	40 (33~90)	41 (35~60)

表 5 カナダにおける紙層形成法の変化

紙 層 形 成 法		1973年実績	カナダの全紙生産量に対する割合 (%)			
			1980年		1990年	
			全 回 答 者	専 門 家	全 回 答 者	専 門 家
長 網 式	平 均 範 囲	94	82 (70~90)	82 (70~90)	61 (45~80)	60 (50~80)
ツインワイヤー	平 均 範 囲	6	17 (10~30)	17 (10~26)	37 (25~50)	38 (20~50)
乾式抄紙	平 均 範 囲	0	1 (0~3)	1 (0~3)	2 (0~5)	2 (0~5)
その他 (円網式など)	平 均 範 囲	0	+ (0~2)	+ (0~2)	+ (0~2)	+ (0~2)

と予測されている。カナダではこれらに関してはふれられていない。だがその内容は不明であるが、おそらく合成ポリマーの接着に用いられていることからの発展として、「二層形成への高周波の利用」というコメントが付されていることは指摘しておいた方がよいであろう。

8. 紙質の管理について

カナダの予測では、抄紙時における坪量、水分量及び厚さのパラツキが制御され、そのパラツキの標準偏差が1/2になるのはいつごろか、という質問がされた。しかしこの設問に対し、「現在の標準偏差値が示されていないので回答しにくい」という意見、また「現在の値で十分でありそこまでする必要もない」「そこまでするにはコンピュータ制御が必要であって、旧式のマシンでは経済的にひきあわない」とのコメントもあったが、坪量、水分量及び厚さともに1980年までに1/2にできると答えた人が過半数いた。そして1990年までには回答者全員が実現すると回答している。これに直接対応する設問は我国にはないが、「紙の最終製品特性（下記のうち一つでも）が抄紙機上で自動的に検査可能になる。（肌、代表的紙力、表裏差）」があるが、これによると代表的紙力に関しては光学的手段で非接触オンライン測定が1985年までに可能になるだろう（実現度89%）と予測されている。しかしそれら測定値をフィードバックし、自動的に制御しうるかどうかについてはふれられていない。

9. 製紙工場における水のクローズド化について

「カナダの全製紙工場の1/4で水のクローズド化が実用化するのはいつか」とのカナダの設問に対して、カナダの回答者の何人かの人は「パルプ工場における水のクローズド化」と勘違いして答えているという面もあったが、専門家の75%の人は、繊維及び熱の回収、汚染負荷の減少がせまられていることもあって、1985年までに実現すると予測している。

我国でも84%の回答者が1985年までに製紙工場における水のクローズド化は実現すると答えている。しかし両国とも完全にクローズド化するにはあまりにもコスト高になってしまうので、完全にはならず、用水原単位が現在の1/5程度（日本）にすればよいのではないかとのコメントが付されていた。カナダではこれが実現するかどうかは政府の規制にかかっているが、カナダの工場は都市から離れて立地しており、また水量が豊富なこともあってクローズド化する必要がないのではないかとのコメントに対する賛成者もあり、この点でも我国の工場立地との違いを思い知らされる。

10. 新聞用紙用マシンの動向

この点については第二報³⁾で詳しくふれているので、簡単にふれるにとどめるが、カナダにおいては新聞用紙用の最大設計能力の抄紙機で、生産能力は20万t/年（1973年）から25万t/年（1980年）、さらに27.5万t/年（1990年）になり、また抄速は4,000ft/分（約1,220m/分）（1973年）から4,500ft/分（約1,370m/

分）（1980年）、さらに5,000 ft/分（約1,520 m/年）（1990年）になると予測された。今後の抄紙機の動向としては、幅もスピードも増すと答えた人は少なく（回答者の23%）、高速化に対応するワインダーの改良（2ワインダー化も含めて）を経て、幅は変わらず現在のままで高速化するようになり、しかも自動化が進展すると考えられている。

この点について我国の予測でも新聞紙用マシンでは、現在の1,000 m/分が1985年までに1,500 m/分になり（実現度92%）、ティッシュ用マシンでは現在の2,000 m/分が3,000 m/分（1990年、実現度80%）、コーター用マシンでは1,000 m/分が1,500 m/分（1985年、実現度91%）になるなど高速化し、幅は現状の約10 mが経済的、技術的限界であり、幅の増加はないと予測されており、カナダの結果とよく一致している。しかし我国の予測においては、需要から考えて我国でこれだけの高速化を必要としないし、高速化は必ずしもコスト低下につながらないというコメントがつけられている。

また、カナダの予測ではマシンの自動化及び一人の作業員が多くの単位をうけもちうるような省力化した小型マシンの必要性を指摘する人があり、我国でも紙切れ対策などのため無人化は実現しないが、省力化は進むと予測され、抄紙機の複雑さと抄紙のノウハウの問題がなげかけられていた。

11. おわりに

以上、一部分整理したところもあるが、できるかぎりカナダの予測を基本にし、それに我国の予測内容を対容を対応させるようにして、両国のパルプ化及び抄紙技術に関する予測結果を紹介、検討してきた。本稿をまとめるにあたって、例えば我国では重視しているがカナダの予測においては廃水処理技術にふれていないなど、工場立地条件の差による環境問題のとりえ方の差、資源状況の差、製品市場の差などによる両国の紙・パルプ産業のおかれている状況の違いをおもいしらされた。その違いによって、パルプ化及び抄紙技術について総体的にみれば、カナダではすでに実用化されている技術が今後どうなっていくかということが予測の中心にあり、我国ではそれに加えて、どんな新しい技術がでてくるか、それをどう実用化していくかという積極的な面を含んでいるという違いとして表われているように思われた。ただこの差は両国の紙・パルプ産業のステータスの差だけでなく、今回の予測に対して回答した人の専門度が我国が極めて高く、カナダは低いということによってもたらされているのかもしれない。

対応する設問に対する回答は、我国の方が全般的に楽観的であり、この点にもよりきびしい状況におかれている我国の紙・パルプ産業の現状が反映しているのであろう。

両国の予測ともデルファイ法でなされたため、個々の予測結果を関係付けてみると若干矛盾する結果もでている点もあり、また現在未開発の技術、特に現在の技術の延長線上では考えられない革新的技術についてはふれられていない。本稿ではそれらについて著者の責任で若干のコメントを付してきたが、技術予測の信頼性をより高め、利用しうるようにするためには、今後これらの点を補っていく努力ものぞまれる。

また、この技術予測を単に予測としてだけで終らせるのではなく、実現するためにはこれから何が必要なのかを、例えば両国の予測調査に回答者として加わった専門家の間の討論などで明らかにしていくことが必要ではないかと痛感した。

文 献

- 1) 中野準三：紙パ技協誌，**30** (2)，71 (1976)
- 2) 浅岡 宏，可知省吾，飯山賢治：同上，**31**，246 (1977)
- 3) 可知省吾，浅岡 宏，飯山賢治：同上，**31**，366 (1977)
- 4) 紙パ技協誌「統計」から集計
- 5) J.L.Keays : Tappi, **58** (No. 11) 90 (1975)
- 6) C.W.Wettergren : ibid., **58** (No. 12) 77 (1975)
- 7) R.P.Pecke : Pulp & Paper, **1975** (No. 6) 108
- 8) G.Gavalin : Svensk Papperistidn., **77**, 189 (1974)
H.Haglund, et al. : Tappi, **59** (No. 6) 144 (1976)
- 9) R.Leask : Pulp Paper Canada, **76**, T-294 (1975)
- 10) K.Wndersson : Svensk Papperistidn., **73**, 1 (1970)
- 11) H.E.Worster : Paper Trade J., **157** (No. 34) 31 (1973)
- 12) Th.Krause, M.McGahin, J.Schurz : Das Papier, **29**, (10A) 6 (1975)
- 13) K.P.Kringstad, J.Olausson : Svensk Papperistidn., **77**, 480 (1974)
- 14) 紙・パルプ技術予測研究会編「紙・パルプ技術予測調査結果報告書，No. 3 無公害パルプ編」p. 36 (1976) 東京
- 15) B.Henningsson, M.Henningsson, Th.Nilsson : Department of Forest Products, Royal College

- of Forestry, Research Notes, No. R. 78, "Defibrillation of Wood by the Use of a White-rot Fungus" (1972), Stockholm.
- V. Westermarck, K. Eriksson : Acta Chem. Scand., **B 28**, 209 (1974)
- 16) 近藤民雄 : 紙パ技協誌, **31**, 306 (1977)
- 17) 吉原経太郎 : 応用物理, **44**, 1205 (1975)
- P.H.Kim, K.Taki, S.Namba : Bull. Chem. Soc. Japan, **48**, 2953 (1975)
- C.A.Sawicki, Q.H.Gibson : J. Biol. Chem., **251**, 1533 (1976)
- E.W.Fu, P.P.Dymerski, R.C.Dunbar : J. Am. Chem. Soc., **98**, 337 (1976)
- 18) 森 見二, 佐々木透, 花村憲男 : 紙パ技協誌, **31**, 54 (1977)
- K.Hunt : Tappi, **59** (No. 10) 89 (1976)
- G.A.Nicholls, L.Lindevall, G.W. Mitchell : ibid., **57** (No. 11) 91 (1974)
- D.Atask : Svensk Papperistidn., **75**, 89 (1972)
- 稲葉政満, 飯塚堯介, 中野準三 : 昭和52年度繊維学会年次大会講演要旨集, p. 80 (1977年6月) 東京
- 19) W.M.Orchard, M.T.Charters : Tappi, **56**, 142 (1973)
- 20) J.J.Becher, G.R.Hoffman, J.W.Swanson : Tappi, **59** (No. 1) 140 (1976)
- 21) J.J.O'Conner : Tappi, **55**, 353 (1972)
- 22) 中村正人, 野村芳夫 : 昭和52年度繊維学会年次大会講演要旨集, p. 86 (1977年6月) 東京
- H.H.Holton : Canadian Industries Limited Chemicals Research Laboratory, Technical Report "The Major New Process, The Soda Additive Palping of Softwoods" (1977) McMasterville, Quebec.
- 23) 中野準三, 高塚千代子, 李宗藩, 小林正明, 佐々木坤彪 : 第25回日本木材学会大会講演要旨集, p. 133 (1975年4月) 福岡
- 中野準三, 高塚千代子, 大間秀紀 : 紙パ技協誌, **30**, (12) 33 (1976)
- 24) 大間秀紀, 細谷修二, 中野準三 : 紙パルプ技術協会第40回研究発表会講演要旨集, p. 13 (1977年6月) 東京
- 大間秀紀, 細谷修二, 中野準三 : 木材誌, **22**, 539 (1976)
- 25) J.Defoye, H.Drigues, A.Gadelle : Applied Polymer Symposium, **28**, 955 (1976)
- 26) 御田昭雄, 町田 収, 加来武彦 : 紙パルプ技術協会第40回研究発表会講演要旨集, p. 19 (1977年6月) 東京