スウェーデンの紙パルプ産業の動向と研究態勢

九州大学農学部 田 中 浩 雄

The Trend of Pulp and Paper Industry and the Attitude of Research in Sweden

Hiroo Tanaka

Faculty of Agriculture, Kyushu University

1. はじめに

スウェーデンはアメリカ、カナダと並び紙パルプ産業の盛んな国としてよく知られている。しかし、生産量を日本と比較するとパルプではほぼ等量(1,000万t)であるが、紙はわずか1/3(800万t)に過ぎない。この点では我が国の方がずっと盛んであるが、日本の紙パルプ産業を活気に満ち、非常に人気のある分野と考える人はそう多くない。1%産業ともいわれ、国も余力を入れてくれないのは残念である。

スウェーデンでもご多分にもれず紙パルプ産業の人気はエレクトロニクス、メカニクス、コンピュータ、バイオテクノロジー、新素材などいわゆるハイテク産業に押されつつあるが、まだまだ高い地位を保っている。紙パルプの製造に留まらず、連続蒸解釜、回収ボイラー、酸素漂白装置、TMPなどの各種離解機、抄紙機などのプラント分野でも世界をリードしている。また、コンポジットなどのリテンションシステム、オンラインカップパー価計、同ワンパスリテンション計などの計測、動的吸収性のブリストー法などの試験法等々、世界の紙パルプ産業への貢献も著しい。発展途上国への技術援助、技術者の教育にも熱心であり、これは将来のプラントや製紙技術の輸出、合併企業の設立あるいはスウェーデン国内に不足している広葉樹輸入拡大の布石ともなろう。

筆者は1987年2月～翌年4月までの13ヵ月余り、そして昨秋2ヵ月ばかりストックホルムにあるスウェーデン紙パルプ研究所(通称STFI)で研究する機会を得た。その間2,3の工場やいくつかの研究所も訪問した。見たまま、聞いたままそして感じたままを延べてみたい。

2. スウェーデン経済に占める紙パルプ産業の役割

スウェーデンは100年前までは決して豊かとはいえない小農業国であったが、今では自動車、電気製品、鉄鋼・金属・機械産業が盛んで、石油の全てを輸入している点で日本によく似ている。また高い生活水準を維持するために国際貿易に大きく依存している点でも同様である。国民一人当たりのGNPもほぼ同じであるが、国の経済に占める紙パルプを主体とする木材関連産業の比率がきわめて大きい点では日本と著しく異なるといえよう。

図1はスウェーデンの主要産業別輸出入額を示したものである。外貨を最も多く稼いでいるのは突出して木材関連産業であり、そのうち70%が紙パルプに依存している。これは豊富な木材、なかんずく針葉樹資源と高い技術力、比較的安い電力それに需要地として、木材と水資源の乏しいヨーロッパ諸国を控えているからである。

しかし、スウェーデンの紙パルプ産業も決して順風万帆ではない。隣国フィンランドが紙の総生産量で超越し、特に印刷筆記用紙の分野で急伸している。片方の隣国ノルウェーは格安の電力を武器に機械パルプの分野で圧倒的な優位に立っている。これはスウェーデンにとっては現在発電量の40%を占める原子力発電を2010年までに全廃することと相俟って脅威である。沈滞していたイギリス、フランスなどヨーロッパの紙パルプ産業も次第に息を吹き返しつつある。内にあっては環境保全への要請が増々高まり種々の技術改善に迫られている。昨年の総選挙で反公害をスローガンに大躍進を遂げた緑の党が国民の要望を代弁しているといえる。

このように種々の難問に直面しながらもスウェーデ

図 1 スウェーデンの工業製品の輸出入額 (億 SEK, 1SEK 約 21 円)

ンの紙パルプ産業は国家経済へのインパクトが大きいので、国の強力支援を受けつつ、しかし基本的には業界自らの努力によって研究技術開発を一層進め、公害を一掃し、産業基盤を強化して経済上重要な地位を持続して行くものと思われる。

3. 紙パルプ産業の動向

表 1 に紙の種類別生産量と輸出量を示した。生産された紙の 78% (約 610 万 t) が輸出されている。全輸出量のおよそ 70% はイギリス、西ドイツ、フランスを主とする EEC 向けである。このように輸出の割合が高いので国際競争の影響を受け易い。ちなみに EEC 内でも 3,000 万 t の紙が生産され最近増勢にある。

表 2 にパルプおよび製紙工場の数と生産能力の変遷を示した。生産性を高めるために能率の低い小規模な工場が閉鎖され、一工場当りの生産量が増大していることがわかる。さらにパルプ・紙の一貫工場態勢への移行が完成されつつあるが、これはパルプ工場から出る余剰エネルギーを有効に利用しようとの目的にもよる。企業の統合、吸収合併も急速に進み、現在では Stora, SCA, MoDo の三大会社がそれぞれ約 1/4 ずつ全体の 3/4 のシェアを占めるに至った。残りの企業はいわゆる特殊紙メーカーである。高濃度叩解-クルパックユニット-エアフロート乾燥による超高タフネスを有する製袋用紙の Korsnas 社や不透明度、かさ、剛度に優れた CTMP を中層に漂白パルプの薄層を表裏に配した印刷用紙の Munkedel 社などを挙げることが出来よう。

表 2 より現在のパルプ工場数 55、製紙工場も同じく

表 1 スウェーデンの紙の生産量と輸出量 (千 t)

	生 産 量		輸 出 量	
	1981-85 年の平均	1987年	1981-85 年の平均	1987年
紙	4239	5167	3076	3907
新聞用紙	1476	1975	1157	1601
MP 含有印刷用紙	450	520	278	373
上質印刷用紙				
コート紙	235	356	156	249
非コート紙	477	631	323	459
製袋用紙	665	640	600	581
その他のクラフト紙	320	378	107	264
ティッシュ	250	286	105	133
セミケミカル紙	276	299	200	210
その他	91	82	43	37
板 紙	2216	2644	1768	2187
クラフトライナー	1144	1394	977	1175
その他	1072	1250	791	1026
合 計	6455	7811	4863	6094

55 であるが、パルプのみを製造している工場はわずかに 4、5カ所であるからスウェーデンには 60 ばかりの工場があることになる。なお近年ヨーロッパを中心に独自あるいは合弁で現地工場の建設を積極的に進めているのも注目に値する。

次に製品の品種構成からスウェーデンの製紙産業の特徴を見てみよう。表 1 からわかるように、日本にく

表 2 スウェーデンの
紙パルプ工場数と生産能力の変遷

	1960年	1970年	1988年
パルプ工場			
工場数	127	98	55
総生産能力 (千t)	5588	8918	10860
生産能力/工場(千t)	44	91	197
製紙工場			
工場数	76	68	55
総生産能力 (千t)	2280	4760	8580
生産能力/工場(千t)	30	70	156

表 3 パルプ材 (千m³)

	1985年	1987年
丸太		
針葉樹	22000	23000
広葉樹	5000	8000
副産物	9000	10000
合計	36000	41000

らべ新聞用紙の比率 (25.3%) が高く、印刷用紙で低い (19.3%)。したがってパルプでは TMP, CTMP を主体に機械パルプの比率がおおよそ 30% にも達する。日本ではパルプ原料に占める針葉樹と広葉樹の比は 1:1 であるが、スウェーデンでは 4:1 である。これは表 3 に示すパルプ用材の消費量からわかる。針葉樹 2,300 万 m³、広葉樹 800 万 m³、雑 (副産物) 1,000 万 m³ の大部分は松とトウヒから成る背板や小径木であるから針葉樹の比率が非常に高い。

国土の面積は日本の 1.2 倍であるが、55% が森林であり、大部分は平地かなだらかな丘陵である。気温が低いので樹木の生長は余り良くないが、平地林が多いので林業には都合がよい。針葉樹が 80% で、大半が松とトウヒで樹種構成がきわめて単純である。しかも材の色が白いので機械パルプにも適している。また単一樹種が大量に入手出来るので化学パルプの製造も容易で、品質も均質であり強度が高い。多種類の紙が製造されているが、このような原木事情から新聞用紙と高強度パッケージ用紙への関心が特に強い。地合の良い印刷筆記用紙を造るために広葉樹の利用拡大も計られているが、樺を中心に国内広葉樹は 15% と少なく供給に限度があるので、スペイン、ポルトガル等の国々から数百万 m³ のユーカリが輸入されている。ユーカリは過酸化水素による漂白が容易であるので

CTMP の原料としても注目されている。前述のように電力コストの点でスウェーデンはノルウェーに勝てないので、省エネルギーへの関心が非常に高く、CTMP の研究に積極的である。なお、電力を含む全エネルギー消費の割合は家庭およびサービス部門 40%、輸送用 20%、工業用 37% であるが、工業用の内訳はパルプ紙 43%、鉄鋼金属加工 17%、機械 9%、化学 7% であり、紙パルプ産業がいかに多くのエネルギーを消費しているかがわかる。なお、ユーカリの輸入拡大は広葉樹材の不足だけが理由ではなく、国産材より安価なことにも起因している。スウェーデンでは民有林が 50% を占めるが、伐出しても販売額の多くが世界一高い税金に消えるので林業意欲が余りわからないなどの事情もある。原木不足解消の手段として填料の利用拡大が今後大きく進むものと見られている。南部の豊富な天然石膏さえ検討されているが、高い溶解度が実用化の障害となっている。回収古紙の大半は輸出されていたが、自国での再利用にも本格的に取り組み始めた。

4. 研究の態勢と動向

スウェーデンでは紙パルプは基幹産業の一つであるが中小の企業や工場が多かったため独自に広範な研究を行うのは困難であり、非能率的であった。そこで共同研究機関として紙パルプ研究所 (STFI) が設立された。しかし、前述のように企業の統合が進み経営規模が拡大され、個々の企業独自の技術開発が可能になったため、STFI の役割も変化しつつある。その組織、財政、研究内容は次章で述べよう。

Stora 社はサッフルに、SCA 社はスズバル、そして MoDo 社はオルンスシャンスビクにそれぞれ立派な総合技術研究所を持つに至った。特殊紙の分野では従来通り活発な研究開発が続けられている。

研究がプロセス改良と新商品の開発に大別出来ることは世界に共通している。研究所には TEM, SEM, X 線解析, ESCA, FT-IR, NMR, HPLC, GC-MS, 原子吸光, 顕微鏡システム, 画像解析それに各種強度試験機など主な分析測定機器が揃っている。最近の特徴は多くの機器がコンピュータ化され、それぞれの工場特有なソフト開発が積極的に進められていることである。日本はハードの面でずっと先を走っているが、ソフト面では遅れているように思われる。新製品の開発は情報用紙、機能紙、高収率パルプからの高品質紙、紙-プラスチック複合材の分野に重点が置かれている。

スウェーデンも資本主義の国であるから勿論競争社会ではあるが、過当競争は少ないように見受けられる。前記三大会社では多くの製品を作っているから競合す

る部分も多いが、新分野の開拓に当って、Stora はパッケージングとコート紙（紙質を大幅に変え得るカレンダーリング-コーティングをドッキングさせたパイロットマシンを導入）、SCA は衛生紙などの機能紙、オフセット用紙、MoDo は情報印刷用紙にウェイトを置くといった具合である。過当競争の少ない理由には色々あるが、社会民主党の政権が長く、政府の指導監督と発言権が強いことを第一に挙げることが出来よう。

スウェーデンの紙パルプ産業が直面している大問題の一つは環境保全である。1960年代から70年代にかけてバルト海からアザラシが激減した。マスコミのキャンペーンにより国民の公害への関心が一挙に高まった。1974年には工場、都市からの汚染物質の流出を禁止したバルト海保護条約が沿岸7ヵ国により調印された。現在最大の問題物質は遺伝子に害を与える塩素化有機物、いわゆるダイオキシンである。スウェーデン全体で1年間に発生するダイオキシン10kgのうち紙パルプ工業から出るのは10g(0.1%)であるが、これを削減するために大きな努力が払われている。例えば、出来るだけカップ柄を下げないように蒸解を進め、漂白には塩素のかわりに二酸化塩素を含む酸素漂白法の積極的な導入である。この方法で製造された紙は、environmentally friendly paper（環境友好紙）としてコマーシャルされ、国民の不安を取り除くのに役立っている。紙生産量の増大にもかかわらずBODやCODも確実に減少を続け、また二酸化イオウを主とする大気汚染も著しく改善されて来たので、国民の反対意識も鎮静化しつつある。

5. スウェーデン紙パルプ研究所 (STFI)

既述のようにSTFIは紙パルプおよび関連企業の共同研究機関として設立された。隣接の王立工科大学とも相互乗入れの密接な関係にあり、学生、大学院生の教育にも関与している。近接の木材研究センター、表面化学研究所、金属研究所との交流も密である。STFIの役割は次の四つに要約される。

(1)研究 (2)情報交換の場 (3)教育 (4)国際交流の場、である。(2)~(4)の役割は今も変わらないが、研究に対する重点の置き方が変わりつつある。民間企業の研究態勢の整備に伴い、商品開発的あるいは現場に直結した応用的な事柄は各企業に任せられ、他方セルロース繊維の生合成や結晶構造、リグニンの化学構造、バイオテクノロジーなど長期を要する基礎研究は大学や他の研究機関に移りつつある。昨秋、この線にそった機構改革がなされ、生物漂白などのバイオ関連研究で著名なエリクソンもアメリカのジョージア

大学に転出した。STFIの現在の組織を図2に示す。カッコ内の数字は人員数である。STFIでは紙パルプの製造に直結した基礎的研究、プロセスコントロールのためのセンサーとシステム開発それに環境保全問題が主要なテーマとなった。紙パルプ産業にとって真に必要な研究は何かを模索しつつ、次第に長期を要する研究に重点が移っている。1988~90年の3ヵ年計画は次の通りである。カッコ内の数字は予算や人員の役割を示す。なお、STFIの研究計画は会社代表4名、政府代表3名から成る理事会で、STFIと会員会社の意見を十分に聞いた上で決定される。

I. 基礎研究 (20~25%)

①漂白前最大脱リグニン ②繊維の構造と性質 ③製紙における表面化学と表面物理 ④紙層構造 ⑤知識ベースコンピュータコントロールシステム

II. 目的研究 (60%)

①漂白排液 ②高効率回収サイクル ③高収率パルプ化のエネルギー節約 ④コーティング ⑤オンラインコントロール ⑥閉鎖系工場の障害物質

III. 特殊製品 (15~20%)

①多色印刷軽量新聞用紙 ②多層構造上質紙 ③表面高印刷性能ボード

その他フィンランドとノルウェーの紙パルプ研究所との共同研究としてクラフト法の代替蒸解プロセスの開発、塩素化有機物を発生しない漂白法がある。

スウェーデンの紙パルプ産業が年間に投じる研究開発費は60~70億円である。このうち15%がSTFIに移算される決まりになっている。他に紙パルプおよび薬品、計装、プラントなど関連業界との契約研究経費、政府や各種基金からの補助金を合せSTFIの総予算は25億円余りとなる。これには人件費やビル管理費も含まれるので、純研究費は5~6億円である。職員数は330名、このうち学卒150名、博士の学位取得者30名である。STFIの主要業務は勿論研究開発であるが、人材養成センターの一面も有している。業界の景気が悪いと研究者がSTFIに蓄積される。好況になると多くの人が民間へ転職して行くが、現在この時期に当る。

このように紙パルプ技術者にはSTFIのOBが多く気楽に来訪出来ること、協同研究が頻繁に行われていること、図書館には紙パルプに関する世界中の情報が集まっていること、所員あるいは外来講師によるセミナーが毎週開かれ最新の知識を吸収出来ることなどの要因が相俟ってSTFIは情報交換の場として実に良く機能している。

STFIの特徴の一つは多機能的なテストマシンを有することであろう。図3にそのフローチャートを示す。

図 2 スウェーデン紙パルプ研究所の組織 (数字は人員数)

図 3 FEX マシンのフローチャート (カタログより引用)

ヘッドボックスA (ロールフォーマー): ツイン, 等圧脱水

B (フレックスフォーマー): 高濃度用

C (ブレードフォーマー): ツイン, 脈動紙層形成

D (フォードリニア)

図 4 スウェーデン紙パルプ研究所全景

1. 製紙部 2. FEX マシン 3. パルプ部 4. 物理部 5. 分析部
6. 環境化学部 7. 図書館

なお、事務部は約 100 m 南（写真向かって左）にある。

- B. 王立工科大学（パルプ学，製紙工学，リグニン化学の 3 教室）
C. 金属研究所 D. ウェンナグレンセンター（外国人研究者の宿舎）

写真には映っていないが，木材研究センターと表面化学研究所がそれぞれ紙パルプ研究所の右と左に隣接している。

ストックホルムからはどの方向にも山は見えない。

1982 年にスタートアップし，年々改造されながら今日に至っている。4つのヘッドボックスを備え，また種々の添加物を送入するためにポンプ 13 機と添加口 50 ヶ所が付属している。年間 40 週稼動，およそ 70% を自前の研究に，残り 30% を民間との契約研究や協同研究に活用している。一週間（叩解などの紙料調整と後片付けに 2 日，運転 3 日）の使用料は約 500 万円である。設計抄紙速度は 250～2,500 m/min であるが，1,800 m を越すと紙片の採取が難しい。このマシンには現在ドライパートは無いが，近い将来付設される予定である。さらに新鋭のコーティングテストマシンの導入も具体化しつつある。現在はやむを得ずテストマシンを保有しているフィンランド紙パルプ研究所（KCL）と協同研究を進めている。

6. 紙パルプ製造の周辺技術と協同研究

周知のようにスウェーデンは北米と並び紙パルプ製造プラントの分野でも世界をリードしている。連続蒸解釜，薬品回収システム，各種解繊装置，酸素漂白プ

ラント，抄紙機械など著名である。これらのプラントメーカーは独自に技術開発に努めると共に，紙パルプメーカーや STFI などの研究機関との情報交換，協同研究も活発に行っている。操業データも積極的に提供され，マーケットニーズに即した装置の改良開発に役立っている。

STFI で見聞した協同研究のいくつかを紹介しよう。STFI は重電メーカーの ASEA 社およびボイラーメーカーのエータベルゲン社との協同研究で優れた回収ボイラーを完成させた。このシステムに使われている特許の 70% は STFI で開発されたそうである。黒液のスプレ特性に応じた噴射口，スメルトの効率的な取り出し法，熱量計などである。

オンラインカップパー価計は Kamyr-ASEA との協同研究の成果である。これについては STFI がすでに広く紹介し，日本でも馴染み深くなっているのが割愛する。他にチップサイザー，シャイブ分析機，繊維特性測定機それに酸素漂白，洗浄，叩解，CD プロファイルなどのコントロールシステムなど多数に及んでいる。

最近では、抄紙工程のドライエンドには優秀なセンサーが種々開発、導入されて製品の品質管理や操業指標に活用されている。しかし、ウェットエンドのオンラインコントロールは系が複雑な上、優れたセンサーが無いので非常に遅れている。その重要性に鑑み、STFIはBoliden社(薬品メーカ)とGrycksbo製紙工場の協力でワンパスリテンション(OPR)メータを開発、さらにウェットエンドコントロールのトータルシステムの構築に取りかかっている。余談であるが、OPRメータの開発にBolidenが1億円、Grycksboが5,000万円STFIに出資している。

OPRメータは填料等を含む完成紙料から繊維のみの濃度を知る光学系と全濃度の測定を行うオーストリアAnton Paar社のUチューブから構成されている。光学系には、0.1mmより大きい固体であればその大きさには影響されず濃度の方に比例する偏光が採用されている。0.1mmより大きい固体は実質的には繊維のみである。Uチューブは文字通りU字形をした共鳴管で共鳴振動数から密度(全濃度)を正確に測定出来る装置である。ヘッドボックス紙料とワイヤー白水についてそれぞれ繊維濃度と全濃度を測定し、繊維と微細固形分の歩留を測定する。精度を上げるために白水の遠心沈殿による上澄液を使ってその密度を測定し溶解成分の補正が行われる。測定装置はマシンと連結され、数分おきにサンプルが自動的に導入され、データはコンピュータに蓄積されて、何時でもリテンションプロファイルを画面上に映し出すことが出来る。この方法は上質紙にはうまく適合するが、0.1mm以下の微細繊維を含む新聞用紙には今のところ使えない。STFIのテストマシンを使ってpHや各種添加薬品のOPRに及ぼす影響が種々検討され、信頼性の向上に努力が払われている。さらにウェットエンドの測定指標としてカチオンデマンド(コロイド滴定値)、流動電流値の他に白液のPy-GC-MS(Pyは熱分解)、HPLC-MS、FT-IR、NMRなど最新の分析法の採用とコン

ピュータを駆使したトータルオンラインコントロールシステムの開発が活発に進められている。OPRメータは試作の段階からMoDo社Husum工場、同グループのHolmen工場、Stora系のGrycksbo工場にも導入され、実機によるテストがもう2年も続いている。そして驚いたことには、それぞれの工場のデータが全てSTFIのコンピュータに送られ、解析が行われ、工場でトラブルが起きた場合のアドバイスに利用されている。前に記したSTFIあるいは協同研究で開発したセンサーやコントロールシステムによるデータの大部分もまた各工場から集まる。これらの工場には営業上ライバル関係にある場合が多数存在するであろう。情報公開に対する考えが日本とは異なり、出来るだけ公開することがむしろ自らの利益に繋がるとの意識が強いように思われる。ゴルパチョフでさえグラスノチの必要性を認識し、かの国としては思い切った試みを展開中である。日本の紙パルプ産業でも秘密主義について再考すべき時期ではなかろうか。

なおSTFIが関与した開発技術の大部分はMoDo社Husum工場に導入され、多くのデータもSTFIに集まっている。したがって、日本はじめ外国からの商談に際し、実地見学のためHusum工場に案内することが多い。工場の全景をカタログから拝借して図5に示した。ここでは針葉樹パルプ30万t、広葉樹パルプも同じく30万t、上質紙を中心に紙40万tが製造されている。

7. 社員研修、海外技術協力

スウェーデン南部の町マルカリドに木材工業連盟が建設した研修センターがある。広々とした敷地の中に大小の研修室と300人以上を収容出来る宿泊施設がある。木材工業連盟の主力メンバーは紙パルプ関連企業である。森林の1/4は社有林であり、スウェーデンではアメリカのウェアハウザーやインターナショナルペーパーに似て木材の伐出、販売、製材、パルプ化、

図5 Husum製紙工場全景(MoDo社カタログより引用)

製紙の一貫企業が多い。その代表は三大製紙会社の Stora, SCA, MoDo である。研修センターでは年間のスケジュール表を関連分野に配布し希望者を募る。スウェーデンでは年間労働時間は 1,600 時間程度である。例えば Husum 工場では 1,612 時間の労働が義務であるが、現場は 6 組 3 交替制で 1,460 時間が割り当てられている。差額の 152 時間は社員啓発のため個人による情報収集、グループ勉強会、講習会、計算機などの実地訓練に当てられる。上記の研修会に派遣されるのも一つの方法である。研修の内容は基礎的科目からきわめて高度の専門的分野に及ぶ。講師は各方面の大学教授、研究所員、工場の技術者、場合によっては外国人であったりする。清新の気を養いまた他社、他分野との交流の好機ともなるので受講希望者が多い。

さらに特筆すべきことは、年に数度発展途上国の技術者のための研修会を開くことであろう。これは種々の基金から経済的な援助もなされている。紙パルプ業界が設立したものに 59 基金がある。これは、日本の三白景気と全く同じ時期に大利益を出した業界が出資して 1959 年につくった基金である。外国人技術者は紙パルプ工場やプラントメーカーに受け入れられることも多い。STFI ではスカンジナビア、ヨーロッパ以外の国々

とも協同研究が行われている。中国とのワラパルプからオフセット用紙の製造、キューバとのバガスの解繊と微生物処理などである。

8. おわりに

戦後の日本経済の復興とその後の高度成長は外国からの技術導入と、その高い消化能力による優れた改良技術により達成された。紙パルプの製造技術もまだ多くの借り物技術が残っているとはいえ世界一流の水準に達した。今後とも活力を維持し、さらに発展を続けるためには独創的な技術開発が切に要望される。

利根川博士によれば、二つの分野に精通していると全く新しい発想が生まれる。しかし、一個人がこれを達成するのは至難である。アインシュタインですら常に優れた数学者の協力を必要とした。比較的やり易いことは、一つの分野に通じた人、あるいはグループがいくつか集まって知恵を出し合うことであろう。そうすれば三つや四つの分野に精通することも可能になる。スウェーデンの製紙産業が世界をリードしている大きな要因は、基礎研究、プラント・薬品などの関連産業それに製紙業界の協力関係が実にうまく調和していることにあると思う。