非木材資源の現状と可能性

元大蔵省印刷局研究所長 森 本 正 和

Nonwood Plant Resources

—The Status Quo and Their Feasibility to Paper Industry—

Masakazu Morimoto

Ex-director of the Institute of the Printing Bureau, Ministry of Finance

In 1998 nonwood plant fiber pulp formed about 11% of total pulp produced in the world. People's Republic of China was the top producing country of the pulp and produced a good part of paper and board from the pulp. USA was the third producing country and Japan was the third importing country of the pulp. To cope with the difficulties on the growing demand for paper and board, fast-growing plant resources such as eucalyptus and kenaf are being watched with keen interest in the paper industry. In this paper kenaf and eucalyptus were both shown to be eco-plants with citing most reliable reports from USA and Japan on the annual yields of these plants. As for eco-pulping, neutral sulfite method that had been already developed by the author et al. as the most suitable cooking method for abaca in 1953 was shown to be applicable to kenaf, rice straw, jute and even softwood with several reports. It was found that neutral sulfite and neutral sulfite anthraquinone method of cooking produce pulp of increased yield, high brightness, high strength properties and no ill-smell, enable the recovery of heat energy and chemicals in black liquor and furthermore make it possible to convert recovered chemicals into original cooking chemicals without using any compound such as calcium and others.

分類：H₁ 茎幹繊維（竹，わら，バガス），H₂ 葉繊維（麻，エスパルト），E₁ 亜硫酸パルプ一般

1. ま え が き

21世紀を迎えて世界の製紙産業は、避けて通れない二つの問題の解決を求められている。すなわち、(1)紙・板紙の漸進的な需要増が見られ、特にアジアの途上国を中心に需要の急増が見込まれる。(2)森林資源の過伐による地球温暖化への影響が危ぶまれ、しかも熱帯林の減少が途上国で著しい。(2)は必ずしも製紙産業が要因ではないが、(1)は製紙用原料資源の供給に工夫を必要とする問題であり、持続可能な発展を望むには無用の議論をする余地のない状況と言える。FAO統

計によれば、最近の紙・板紙消費量上位3か国のうち米国は潤沢な木材資源に恵まれ、パルプ用を含む全木材生産量は消費量を超えて輸出余力を残し、中国は必要な製紙用資源をほとんど非木材に依存しているが、いずれも資源は自給しているのに、日本は輸入パルプ及びパルプ用チップを含め輸入に大幅に依存している。このため、日本では紙・板紙生産量を増加する対策として、ユーカリ、アカシア等の海外植林が注目されている。一方、中国の実状は旺盛な紙・板紙需要が非木材により賄えるのを証明している。これらの背景が、日本で木材と非木材の相互関係に関心が集まる要因の

一つになっているのは確実である。現在、日本では古紙の最大限利用は当然のこととして、次に木材ではユーカリ、アカシア等、非木材ではケナフという早生植物を大量育成して製紙原料にする方策が議論されているのは、環境と原料資源の課題を解決するための知恵の出し合いである。したがって、2000 年末に入手した FAO 年報林産編（以下 FAO 年報）の最新データにより、まず世界での製紙用非木材資源の利用状況を解説し、次に話題のケナフを中心に置いて非木材資源の可能性を考察してみる。

2. 世界での非木材パルプ生産、消費の動き

2.1 世界の非木材パルプ生産量の 10% 以上を非木材パルプが占めている

FAO 年報に「他繊維パルプ」の項目があり、同書の定義によれば非木材パルプに該当するので、非木材パルプと読み替えて 1995-1998 年の生産量を木材パルプのそれと共に表 1 に示す。なお、ミツマタ等の韌皮を利用する植物は非木材として扱われている。1998 年の世界の非木材パルプ依存率は約 11% である。これは非木材の存在理由を如実に示す数値である。過去の FAO 統計を見ると非木材パルプ依存率は上昇の一途をたどり 1995 年にピークの 13.53% に達し、1996 年に一旦下がったものの再度上昇基調に戻っているのが分かる。

2.2 国別非木材パルプ生産量で 1 位は中国、3 位は先進国の米国

表 2 は 1998 年に 10 万 t 以上非木材パルプを生産し

た生産上位 10 か国を生産量の多い順に配列し、その経年変化を示す。中国が断然トップであり、1998 年で世界の 82.9% を占めている。紙・板紙の繊維原料は基本的にはパルプと古紙から成るから、中国での 1998 年の木材パルプ生産量は 224 万 t、輸入量 220 万 t であり、表 8 から分かる古紙使用量を参考にして計算すると、中国は紙・板紙生産に必要な繊維原料の 45.3% を非木材パルプで賄っている。1996 年の数値が急減しており、これは表 1 に示した世界での 1996 年の異常値に直接影響している。パルプ工場の廃液による環境悪化を防ぐため、生産規模年間 5 千 t 以下の工場を整理統合したのが原因とされる。2 位はインドでこれも変わらないが、米国が 1994 年以来 3 位の位置を不動にし、イタリアも上位生産国にランクされている。

とかく非木材パルプの生産は途上国に偏ると見られていたが、先進国でもかなり生産されており、今や非木材は先進国でも無視できない製紙用資源になりつつあると言える。

2.3 米国は非木材パルプの世界一の輸出国、

日本は世界 3 位の輸入国

表 3~6 は 1998 年の FAO 年報に特記事項として掲載されたもののうち、非木材パルプに関する輸出、輸入、生産、消費上位国を示す。輸出では米国が断然 1 位であり、生産量の約 52% を輸出しているのが分かる。

輸入では日本は 3 位であるが、1997 年はトップであった。日本で製造される非木材紙の 2/3 は輸入パルプを使用している。参考に日本での非木材パルプの生産、

表 1 世界の非木材パルプ、木材パルプ生産量の経年変化

年	非木材パルプ 生産量千 t	木材パルプ 生産量千 t	全パルプ 生産量千 t	非木材パルプ/全パルプ (非木材パルプ依存率) %
1995	25,302	161,675	186,977	13.53
1996	15,608	156,416	172,024	9.07
1997	19,055	162,329	181,384	10.50
1998	19,279	159,281	178,560	10.80

表 2 非木材パルプ生産上位国の生産量の経年変化

年	単位千 t									
	中国	インド	米国	タイ	メキシコ	パキスタン	コロンビア	イタリア	アルゼンチン	南アフリカ
1995	22,206	920	240	134	117	160	142	131	166	99
1996	12,566	920	251	94	154	165	138	137	128	99
1997	15,986	930	239	108	134	170	141	125	124	115
1998	15,986	1,020	247	232	182	175	136	123	115	115

消費、輸入、輸出の経年変化を表7に示す。年々生産とともに消費、輸入も増えており、日本でも非木材に対する関心が高くなっているのが分かる。

3. 世界の紙・板紙・古紙の動きと非木材パルプ生産国中国の関連

1998年の紙・板紙生産量が多い順に配列した15か国の紙・板紙・古紙の動きを表8に示す。世界の紙・板紙の生産、消費は共に2億9000万t台で、1994→1998年の4年間に生産で1.5%、消費で2.0%増加している。中国（台湾を含む）は世界2位の紙・板紙生産国であるが、同時に世界一の非木材パルプ生産国であるので、世界2位の背景には非木材パルプの大きな役割が窺える。使用する非木材資源は、麦稻のわら、バガス、竹、アシが大部分で、これらのパルプは木材パルプに比べて良質ではないが、コストが安いので不可欠のものとして中国の製紙事情を支えている。同じことがインドその他の途上国でも言える。

1994→1998年の4年間に中国の紙・板紙の生産、消費は26.2%、36.1%と大幅に増加し、アセアン諸国を含む東アジアの途上国でも紙・板紙の需要増の傾向が指摘されている。

1人当り年間紙・板紙消費量では中国は31kgで世界平均の49kgをかなり下回る。先進国では米国が293kg、日本が239kgであるから、先進国に追い付くのを念願とする途上国の代表である中国の紙・板紙

の潜在需要は極めて大きく、しかも非木材パルプへの依存率は高水準を続けると見られる。中国が製紙用に木材を大量に使い始めたらどうなるか、「中国及びアセアン諸国の急激な生産の伸びを考えると、近い将来海外森林資源を巡って激しい競合が起こることを予感させるに十分である」¹⁾という事態が現れるのは明白である。古紙については、本題から離れるので詳しい解説を避けるが、世界の1998年の古紙回収率は38.2%、利用率は40.0%であり、中国、韓国、インドネシアの古紙輸入量が際立っており、いずれも回収紙である2次繊維資源にも依存する姿勢が見られる。中国の古紙回収率は30.5%で世界平均より低く、利用率45.9%は世界平均より高い。ここで製紙用非木材資源の用途について触れてみる。

表 5 1998年生産上位国

国名	単位千t			
	生産	輸入	輸出	消費
中国	15,986	20	7	15,999
インド	1,020	0	1	1,019
米国	247	6	129	124
タイ	232	6	—	238
メキシコ	182	11	0	193

表 3 1998年輸出上位国

国名	単位千t			
	輸出	生産	輸入	消費
米国	129	247	6	124
カナダ	50	40	43	33
フランス	39	2	40	3
スペイン	15	12	3	0
チュニジア	10	16	—	6

表 6 1998年消費上位国

国名	単位千t			
	消費	生産	輸入	輸出
中国	15,999	15,986	20	7
インド	1,019	1,020	0	1
タイ	238	232	6	—
メキシコ	193	182	11	0
パキスタン	175	175	—	—

表 4 1998年輸入上位国

国名	単位千t			
	輸入	生産	輸出	消費
カナダ	43	40	50	33
フランス	40	2	39	3
日本	38	19	0	57
イタリア	27	123	1	149
スウェーデン	24	—	0	24

表 7 日本での非木材パルプの動き

年	単位千t			
	生産	消費	輸入	輸出
1994	4	38	34	0
1995	4	45	41	0
1996	4	40	37	1
1997	19	63	45	1
1998	19	57	38	0

4. 製紙用非木材資源はどのように使われているか

非木材の用途は特殊紙用と一般量産紙用に分かれる。

4.1 特殊紙用非木材

1) 紙幣用紙には世界的には木綿、亜麻、ラミーが広く使われているが、大麻、ニュージーランド麻を使う例もあり、日本ではミツマタ、アバカその他のが使われている。いずれのパルプもセルロースの平均重合度が木材パルプに比べてかなり高く、紙は耐摩耗性に富むのが特徴である。

2) 伝統和紙用にはコウゾ、カジノキ、ミツマタ、ガンビ、サラゴ、アバカ等が使われている。いずれも木材パルプに比べて繊維は長く、流しすぎ又は溜めず

きによる伝統和紙の製造に適している。紙は強度高く、保存性に優れる。

3) フィルターペーパー用にはアバカ、リンター、ケナフ等が使われている。無塵室用フィルターペーパー、掃除機用フィルターペーパーにはアバカパルプを、コーヒーフィルターにはリンター、ケナフを使うケースが多い。

4) その他の特殊紙用には黄麻、サンヘンブ、ケナフ(靱皮)、ローゼル(靱皮)、クワ、オクラ、サイザル麻、バナナ、青檀等が使われている。多くは証券用紙用であるが、青檀は中国の優れた書画用紙として知られる宣紙の主原料である。バナナの擬茎の繊維から中性亜硫酸ソーダ法により得たパルプは、筆者等の研究結果²⁾によればアバカとはほぼ同等の品質を示す。

表 8 1998 年世界の紙・板紙・古紙の動き

単位千 t

紙・板紙				古 紙					
国名	生産量	消費量	消費量/人 kg	回収率=回収量/紙・板紙消費量(%)		利用率=消費量/紙・板紙生産量(%)			
				回収量	回収率%	消費量	利用率%	輸入量	輸出量
米国	75,812	80,175	293	33,028	41.2	26,190	34.5	511	7,349
中国	32,333	39,359	31	11,987	30.5	14,848	45.9	3,057	196
日本	29,886	30,126	239	14,841	49.3	14,574	48.8	294	561
カナダ	21,207	9,678	317	2,694	27.8	4,343	20.5	2,226	577
ドイツ	16,311	16,856	205	9,917	58.8	7,921	48.6	1,007	3,003
フィンランド	12,703	2,164	420	633	29.3	591	4.7	34	76
スウェーデン	9,879	1,888	213	1,760	93.2	2,140	21.7	549	169
フランス	9,143	10,613	181	4,635	43.7	4,951	54.2	1,154	838
イタリア	8,246	9,584	167	3,300	34.4	4,112	49.9	854	42
韓国	7,749	5,241	114	3,869	73.8	5,831	75.2	1,963	1
ブラジル	6,524	6,599	40	1,287	19.5	1,306	20.0	22	3
英国	6,477	11,786	200	3,675	31.2	3,299	50.9	57	434
インドネシア	5,487	4,080	20	1,163	28.5	2,194	40.0	1,382	351
スペイン	4,196	6,189	156	2,117	34.2	2,854	68.0	795	58
オーストリア	4,009	1,981	243	1,096	55.3	1,665	41.5	661	92
世 界	293,558	291,856	49	11,607	38.2	114,367	40.0	20,797	18,037
世界 1994	268,330	265,724		101,739	38.3	102,955	38.4	16,511	15,295
世界 1995	282,096	276,839		103,935	37.5	105,985	37.6	18,528	16,479
世界 1996	282,012	280,483		106,913	38.1	109,379	38.8	17,693	15,227
世界 1997	289,285	286,245		110,453	38.6	111,807	38.6	18,707	17,350
中国 1994	25,627	28,910		10,378	35.9	12,109	47.3	2,193	462
中国 1995	28,517	31,468		11,353	36.1	13,246	46.4	2,400	507
中国 1996	30,913	36,422		11,867	32.6	14,065	45.5	3,143	1,106
中国 1997	31,763	38,670		11,987	31.0	14,457	45.5	3,034	1,603

4.2 量産紙用非木材

印刷用紙、筆記用紙を主体とする量産紙には、麦わら、稲わら、バガス、竹、アシ、サバイグラス、エスパルト、ケナフ（全茎）、ローゼル（全茎）、パピルス、その他が使われている。FAO 及びアチソン・コンサルティング社が各国から得た情報³⁾によれば過去の非木材パルプの生産実績からみると、わら、バガス、竹で世界で生産される非木材パルプの 2/3 以上を占める。中国ではこの 3 種の次にアシが多く使われる。コストの関係で、農業副産物（わら、バガス等）や野生植物（竹、アシ、サバイグラス、パピルス等）が多く使われているが、栽培植物でも生長が早く、単位時間、面積当りの収穫量が多ければ、コストも低減するし、二酸化炭素吸収能力も高く、パルプ品質も木材パルプ並みであれば十分利用できる。ケナフはこのような諸特徴を保有する非木材である。

5. 量産紙用植物資源では早生植物への志向が見られる

世界の動向に大きく影響するのは量産紙用植物資源である。これには木材が王座を占めるが、非木材も利用されている。ではなぜ早生植物が注目されるのだろうか。

5.1 栽培植物、野生植物、植物体廃物から成る製紙用植物資源のどれが最適か

製紙用植物資源はすべて栽培植物、野生植物、植物体廃物に分類でき、量産紙用植物資源も同じである。この分類に従って量産紙用植物資源の適性について考察してみる。

1) 植物体廃物—木材では林産廃物がこれに当り、製材残材、林地残材、低質材等がある。非木材では農産廃物が該当し、麦稲わら、バガス等がその例である。本来肥料、燃料又は廃棄の対象物を有効利用するので農業副産物とも呼ぶ。廃棄されていたバイオマスの製紙への活用は広く行われているが、林産廃物は製材、森林管理等に随伴するものであるし、農産廃物も第一目的の作物の残滓であるので、生産量は当然限定されるのが短所である。

2) 野生植物—生育コストが事実上 0 であるから低コストの期待は残る。しかし、量は限られ、集荷は得てして困難であり、収奪的な伐採は連続的な生育を妨げるので、長期的に再生産が保証されない限り製紙原料を野生植物に依存するのは難しい。木材では、現在でも原生林を保有し量に余裕のある国は、低コストなので自国のパルプ生産に利用するとともに、パルプ及びパルプ原料用原木、チップ、廃材等を他国へ輸出し

ている。しかし、最近では地球環境維持の観点から、木材産出国で天然林の伐採抑制が始まり、非木材では東アジアで広大な竹林を形成する竹や中国、欧州の河岸で大量に生育するアシも、大規模伐採が始まれば速やかに枯渇すると見られるのは野生植物の宿命である。

3) 栽培植物—需要に合った生産ができるのが特徴で、野生植物や植物体廃物と異なり量的制限を受けない。大量栽培ができる早生植物であって、単位時間、単位面積当りの収穫量が著しく多ければ、二酸化炭素吸収量は増えて地球環境に貢献するだけでなく、生産コストも下がり経済面でも有利になるはずである。このような植物として木材ではユーカリ、アカシア等が該当し、栽培林業により樹木を計画的に効率良く生育させ、パルプ原料を確保する考えが世界の趨勢になっている。非木材でも、収穫量、パルプ収率が木材以上で、パルプ品質が木材パルプ並みかそれ以上であれば、木材の役割を補完する原料として十分利用できるはずで、ケナフが注目されている。すなわち、量産紙用植物資源としては木材、非木材共大量栽培が可能な早生植物に大きな期待が寄せられているのが分かる。正に紙・板紙の需要増に対応する切り札は早生植物の大量育成にあると言える。

5.2 木材も非木材も早生植物への志向は同じである

環境改善を図り、持続可能な発展を目指して増大する紙・板紙需要に対処するには、世界の森林資源蓄積量を維持又は増やす方向を取りながら、製紙用資源を大量に生育させるしか方法がなく、早生植物を栽培し活用するのが最重要と考えられる。幸い木材も非木材も再生可能な植物資源であり、その増産は二酸化炭素固定量の増加により地球温暖化防止に貢献する。したがって、日本では紙・板紙の需要増に加え、円高による輸入チップ価格の低下、木材産出国での天然林の伐採抑制の動きから、製紙企業が中心になって早生樹種のユーカリ、アカシア等の海外植林を行い、現地でチップ化して輸入する方策が強力に推進される⁴⁾のは当然と言える。一方、非木材ではケナフが有望な早生植物として注目されている。木材も非木材も早生植物への志向及び地球環境の維持と紙・板紙の需要増を解決する役割は共通している。次に非木材、木材の取扱い上共通する点を次に紹介してみる。

5.3 早生植物への志向は非木材、木材の生産過程を共通化している

非木材の綿花、アバカ、バナナ等の大量栽培にプランテーションなる用語が昔から使われている。早生樹種のユーカリ、アカシア等の植林では耕耘、施肥を行

うため「フォレストेशन」と言わず「プランテーション」の用語が使われ、最近では「トリーファーム」と称する企業もある¹⁾から、「栽培林業」への林業の移行は、植林に対する基本概念をプランテーションのそれと同じものに変えることになったと言える。木材の場合、日本では国内での製紙目的の植林の拡大が難しく、海外植林は海外の荒廃した牧地、農地等を対象に推進できる²⁾とされるが、ケナフは栽培適地が広く海外の荒廃牧地、農地及び国内では北海道を含む全土で栽培できる。工業的に大量使用するには海外での大規模栽培を必要とするが、遊休地があれば面積の多寡にかかわらず国内でも各地で栽培が可能なのである。

6. ユーカリ、ケナフは環境配慮型植物である

6.1 ケナフは非木材を、ユーカリは早生材を代表する早生植物である

今や製紙用資源も環境を抜きにしては語れない。木材ではユーカリ、アカシア等の早生植物が環境側面だけでなく経済側面にも適合する製紙用資源として注目され、非木材ではケナフが類い希な早生植物であり、環境及び経済の条件にも合格するのが分っている（後述）。すなわち、環境と経済の両側面が十分に考慮された植物こそが、これからの世界及び日本の製紙産業を支える切り札と言える。これらを「環境配慮型植物」と呼ぶならば早生植物こそ環境配慮型植物である。これら植物の固有特性のうち環境との関連で最重要視されているのは単位面積当り年間収穫量（以後年間収穫量）であるので、ケナフ及びユーカリの年間収穫量について信頼度の高い米国及び日本の文献から引用して紹介してみる。

6.2 ケナフの年間収穫量

ケナフの収穫量は諸説あり混乱さえ見られるので主要栽培条件も付記して紹介する。

6.2.1 米国農務省の「新繊維作物探求」12報⁴⁾で公表された年間収穫量

1) 「新繊維作物探求」について

米国の農務省は「新繊維作物探求 (A search for new fiber crops)」のテーマ名で 1957～71 年に大規模な研究を行い、44 科 387 種の非木材 826 件の試料からケナフを選出し、栽培からパルプ化、抄紙、経済評価まで詳細な実験を行い、成果を Tappi 誌に 14 報に分けて報告している。研究の目的は、予想される木材枯渇を想定し、穀物や綿に代替できる製紙用早生植物を選び出すことであった。12 報「ケナフの圃場収率」では、全米各地で行った試験栽培でのケナフ収穫量について詳細に報告しているので、要点を紹介してみる。

2) 米国各州での試験栽培と年間収穫量

各州での栽培条件と年間収穫量の地域差の検討結果を表 9～表 17、図 1 に示す。原報は収穫量を ac 当りの収率（乾燥重量での収穫量）で示しているが、本文中の主要データは ha 当りの換算値も併記した。

インディアナ州：表 9 はベイツヴィルでの通常の農

表 9 1962 年インディアナ州ベイツヴィルで 5 ac の栽培で得た収率と草丈

窒素 lb/ac	乾燥物収率 t/ac	草丈 in	ac 当り本数 $\times 10^{-3}$
除草剤なし			
40	4.3	86	148.1
80	3.8	82	143.7
120	3.8	83	130.7
EPTC 使用 (3 lb/ac)			
40	3.9	88	117.6
80	3.6	83	122.0
120	3.2	82	113.2

表 10 1962 年インディアナ州ラファエットでのケナフ収率と草丈に及ぼす畝幅、窒素、播種率の影響

窒素量 lb/ac	播種率 lb/ac	下記畝幅での乾燥物収率 t/ac				草丈 in
		7 in	14 in	35 in	平均	
0	15	14.6	9.5	7.0	10.4	107
	30	15.7	10.3	7.4	11.2	109
	15	16.7	8.6	7.7	11.0	112
100	30	15.3	9.7	8.1	11.0	106
平均		15.6	9.5	7.5		

機具を使う大規模栽培の結果。植付け遅く、9月の雨量少なく予想外の低収量。肥料と除草剤（EPTC）は効果なし。表10はラファエットでの繰返し栽培の結果でエバグレース71の平均収率は15.6 t/ac（38.5 t/ha）と高い。肥料の効果はなく、播種率上げても収率増は僅か。表11はエバグレース71, 41 共 14 in の狭い畝幅の収量が最良。エバグレース71は41より収率多く、畝幅14 in で3年間の平均収率は8.9 t/ac（22.0 t/ha）。インディアナでは畝幅の狭い密植で高

収率を得る。薬品による雑草管理を要し温度の影響が大。

ミズーリ州：表12はポータージヴィルでの7種の変種の試験結果。播種前に除草剤を散布。エバグレースは2種共収率4.6 t/ac（11.4 t/ha）で7～9月の干天による水不足が影響。クバーノ、BG 52-75は病害ひどく、G-45とG-108は植付け密度過大。早期播種が望ましい。

オハイオ州：表13は州の2地区の結果。リブリー

表 11 1963-1964 年インディアナ州ラファエットでの各種耕作条件におけるケナフ乾燥物収率^{a)}

播種年月日	種類	畝幅 インチ	乾燥物収率 トン/エーカー	草丈 インチ
1964年 5 月 4 日	エバグレース71	14	10.9	77
		21	10.8	83
		38	4.9	86
1964年 5 月 4 日	エバグレース41	14	9.9	83
		21	8.6	83
		38	4.5	88
1963年 5 月10日	エバグレース71	14 (Nなし)	6.6	63
		(50 ポンド N)	6.4	68
		38 (Nなし)	3.8	62
		(50 ポンド N)	3.8	69
1963年 5 月10日	エバグレース41	14 (Nなし)	6.3	70
		(50 ポンド N)	5.2	66
		38 (Nなし)	3.9	64
		(50 ポンド N)	4.3	68

^{a)} 降霜後収穫 N 窒素

表 12 1968 年ミズーリ州ポータージヴィルでの各種ケナフの乾燥物収率、栽培密度及び病害

種 類	乾燥物収率 ^{a)} トン/エーカー	エーカー当たり 本数 × 10 ⁻³	病 害
エバグレース 71	4.6 a	118.3	痕 跡
エバグレース 41	4.6 a	96.3	痕 跡
BG 52-75	4.2 ab	68.8	顕 著
C-108	4.2 ab	148.6	痕 跡
G-45	3.8 bc	176.1	な し
BG 58-10	3.6 c	112.8	な し
クバーノ	3.3 c	46.8	顕 著

^{a)} 平均値の次の文字が同じものはダンカンの多値域検定で 5 % 危険率で有意でないもの

表 13 1968 年オハイオで栽培したケナフの耕作条件と収率

地域名	播種日	畝幅 インチ	灌紙	乾燥物収率 トン/エーカー
リプレー	5 月 8 日	14	あり	5.3
			なし	4.2
ウースター	6 月 5 日	14	あり	7.3
			なし	6.2

図 1 フロリダ州パラッカ近郊での 1965 年と 1967 年の大規模栽培における収穫時期がケナフ茎幹と穂先の収率に与える影響

の低収率は畝幅狭く株数が過多のため、北部地区での早期植付けは不適。

フロリダ州：パラッカで 2 回試験を実施。開墾直後のレオン系砂質土壌に ac 当り苦灰石系石灰石 1 t、8-8 肥料 400 lb を入れ、エバグレース 41 を 7.5 lb/ac、畝幅 40 in で播種。図 1 から播種後 182 日で茎収率は最高の 6.7 t/ac (16.6 t/ha)、草丈は平均 15.4 ft に達し、穂先部分（上部の 24 in）は生育期間が増すと減る。栽培密度は生育 182 日間の 18,700 本/ac から 92 日間の 28,500 本/ac まで変えた。株立ちが見事に均一だと枯死率が高い。線虫は 65 年はほとんど無害、67 年は目立たぬ程度。67 年にエバグレース 41 と 71 を畝幅 40 in、10 lb/ac で下層が砂の高度有機土壌に播種し、2 回中耕（図 1）。エバグレース 71 は収率が 41 より常に多く草丈は 16 ft 以上。栽培密度は生育期間 120 日で 60,400 本/ac から 180 日、47,400 本/ac の範囲。エバグレース 41 は 47,600～39,500 本/ac の範囲。67 年は周期的な渇水と線虫のため葉が多く、同年ゲイン

表 14 1968 年アラバマ州タラシーで生育した各種ケナフの乾燥物収量と倒伏率

種 類	乾燥物収率 ^{a)} トン/エーカー	倒伏率 %
BG 58-10	6.9 a	1
エバグレース 41	6.6 ab	0
C-2032	6.3 abc	0
BG 52-75	6.3 abc	30
G-4	6.2 abc	1
エバグレース 71	6.0 abc	1
クバーノ	4.9 abcd	26
G-45	4.8 bcd	2
C-108	4.3 cd	10
P.I. 196988	4.0 d	50
P.I. 208832	—	100

^{a)} 平均値の次の文字が同じものはダンカンの多値域検定で 5 % 危険率で有意でないもの

ズヴィルでエバグレース 71 は小地区での収率が 20 t/ac (49.4 t/ha) を示したのに、畝幅 19 in、38 in 共 10 t/ac (24.7 t/ha) 以下であった。

パラッカ付近の大規模栽培は収率が多い。増収には早植付けと栽培密度の増が良く、広い畝幅に播種量を増やすより畝幅を狭くするのが良い。肥沃度は高度有機土壌は関係なく砂質レオン土壌は関係する。線虫汚染土壌は耐性品種の出現を待つか薬品処理しない限り避けるのがよい。

アラバマ州：表 14 はタラシー近郊で 11 種の変種を畝幅 20 in で植付け、除草剤を 0.75 lb/ac 使用の結果。根腐れ倒伏で PI（導入植物）208823 は無収獲、エバグレース、キューバ及びグアテマラ種の倒伏率は低く 6 種の収率が 6 t/ac (14.8 t/ha) を超えたが期待値より低い。

南カロライナ州：表 15 はクレムソンの結果。畝幅 21 in で十分熟成させた C-108 種が収率は最高、南アフリカ種の SH/15 R が続く。SH/15 R と SH/11760

は注目に値する。この地は 8 t/ac (19.8 t/ha) 以上の収率を得たことがあるので 68 年の収率としては低い。植付け時期の遅れと土壤水分の不適切が原因。PI 208832 と 196988 は株立ち悪く、病気で無収穫。

ルイジアナ州：表 16 はパラディー近郊での 15 種の変種の結果。畝幅は 36 in, 収率は 7 種が病気と未成熟で測定不能, 5 種が 8 t/ac (19.8 t/ha) 以上を示し, C-2032 は 9.85 t/ac (24.3 t/ha) で最高。栽培密度は

むしろ低い。耐病性が高ければ 10 t/ac (24.7 t/ha) 以上が妥当。

テキサス州：表 17 はオレンジ近郊 2 か所の結果。大規模植付け（表上欄）は植付け前に 27 lb/ac の窒素を散布, 植付け時に 24 lb の窒素, 40 lb のカリを側方施肥。栽培密度は過剰の平均 101,600 本/ac で葉と穂先部が約 3 t あった。散布植栽では窒素 58 lb, リン 51 lb, カリ 86 lb/ac を施肥, 茎の収率 6.5 t/ac (16.1

表 15 1968 年サウスカロライナ州クレムソンでの各種ケナフの乾燥物収率, 栽培密度及び草丈

種類	乾燥物収率 ^{a)} トン/エーカー	エーカー当たり本数 ×10 ⁻³	草丈 インチ
エバグレース 41	4.2 bc	85.0	102 efg
エバグレース 71	4.8 b	97.6	109 bcd
G-4	4.3 bc	88.3	110 bc
G-45	4.3 bc	92.1	101 fgh
C-108	5.8 a	94.1	109 bcd
C-2032	4.1 bcd	89.2	108 bcde
GR 25/63 ^{b)}	3.6 cd	83.6	103 defg
SH/15 R ^{b)}	4.9 b	73.1	121 a
ST/11760 ^{b)}	4.6 b	66.5	113 b
BG 52-75	3.1 d	53.2	95 h
BG 58-10	4.9 b	53.2	104 cdef
クバーノ	3.0 d	61.9	97 gh

^{a)} 平均値の次の文字が同じものはダンカンの多値域検定で 5% 危険率で有意でないもの

^{b)} 南アフリカからの導入種：それぞれ P.I. 326023, 326024 と 326025

表 16 1968 年ルイジアナ州パラディでの各種ケナフの試験結果

種類	乾燥物収率 ^{a)} トン/エーカー	エーカー当たり本数 ×10 ⁻³	熟成度 ^{b)}
BG 58-10	4.85	18.4	3.5
BG 52-75	8.62	13.2	1.0
C-2032	9.85	61.6	3.5
C-108	8.01	70.1	1.0
G-45	5.91	62.9	1.0
G-4	8.03	45.8	4.0
エバグレース 71	8.39	66.8	1.0
エバグレース 41	6.66	66.5	1.0

^{a)} 収率は収穫時の 20% 乾燥度基準での全植物体量で推定（3 回繰り返し）

^{b)} 9 月 23 日の判定：判定基準は 1～5 で, 1=蕾なし, 5=成熟萌芽し

t/ha) 草丈 10 ft を超え早期植付けが成功。ここは土壌水分多くケナフに適し早春から初夏まで植付けでき収率も多い。畝の敷薬が望ましい。

3) ま と め

上記及び原報考察からケナフの収穫量は次のようになる。

- ①エバグレーズ 71 は各地で長年高収率を維持でき、第一選抜種として推奨できる。
- ②ケナフの ha 当り年間収穫量はインディアナ州ラファエットで平均 38.5 t, 連作 3 年の平均 22.0 t, ミズーリ州で 11.4 t, アラバマ州で 14.8 t 以上, 南カロライナ州で 14.8 t, ルイジアナ州で 20.6 t を記録し、繰返し実験の収穫量はジョージア州で 29.7 t, テキサス州で 37.1 t, フロリダ州で 49.4 t という高い値を示した。

そして、「気候が温暖で雨量の多い南部及び南東部地区のケナフの収穫能力は優れており、栽培特性と利用特性が良いのでケナフは将来有望な作物と言える」と結論している。

6.2.2 王子製紙の研究⁵⁾で示されたケナフの年間収穫量

ケナフの年間収穫量に関するアジアでの正確なデータはほとんど無いが、王子製紙から 1976 年に紙パ技協誌に発表された貴重な報告がある。この報告はケナフという新しい製紙用原料の紹介が目的のようであるが、かなり関心を持った様子が窺える。すなわち、当

時の亀山育種場で播種育成栽培した、ケナフ変種のエバグレーズ 41 とタイ国産品種（品種不詳）について、収穫量等を確認するとともにこれらとフロリダから直接入手したケナフについてクラフト法とメカニカル法でパルプ化試験を行い、ケナフパルプ配合の印刷用紙、クラフト紙、新聞用紙の抄紙試験も実施している。亀山育種場で栽培したケナフの性状を表 18 に示す。収穫したケナフは十分乾燥した後 5 cm の長さにチップ化し、全茎のまま靱皮部と木質部に分けずにパルプ化している。一方、フロリダから直接入手したケナフは靱皮部と木質部に分け、別々にパルプ化するとともに、両者混合のパルプ化も行っている。収穫量関係の結果だけを紹介すると、エバグレーズ 41 及びタイ国産品種について、それぞれ 18.5 及び 13.6 ODt/ha の収穫量を得ている。また、王子製紙が行った各地での栽培実績では、三重県、四国、九州などで、草丈 2.5~3 m, 根径 2.5~3 cm の一応の成績を示し、収穫量も 8~12 t/ac (19.8~29.7 t/ha) 程度には達すると報告している。

6.3 ユーカリの年間収穫量

ユーカリの植林地域、植林面積、伐期、パルプ生産量の報告⁶⁾⁷⁾は見かけけるが、年間収穫量は見当たらない。しかし、年間生長量は日本製紙連合会の公表値⁸⁾があり、これによれば 11.0 BDt/ha (BD=OD, 乾燥重量) である。また、タスマニアでの植林で樹齢 6 歳時の計測では、Eucalyptus globulus と Eucalyptus nitens で、

表 17 1968 年テキサス州オレンジ近郊での 2 か所でのケナフ栽培結果

栽 培	播種日	収穫時 乾燥度 %	草丈 インチ	乾燥物収率 トン/エーカー		エーカー 当たり 本数 ×10 ⁻³
				全植物体	基	
1 エーカー (30 インチ畝)	5 月 20 日	29.7	174	16.8 ^{a)}	13.8 ^{a)}	101.6
散 布	7 月 2 日	27.8	129	8.5 ^{b)}	6.5 ^{b)}	135.9

^{a)} 3 回の収穫物基準

^{b)} 1 回の収穫物基準

表 18 亀山育種場で栽培したケナフの性状

	エバグレーズ 41	タイ国産品種 (品種不詳)
草 丈	3.4 m	2.6 m
根本茎径	2.9 cm	2.5 cm
乾燥収穫量	7.5 t/ac (18.5 t/ha)	5.5 t/ac (13.6 t/ha)

年間 $12.1, 17.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ (約 $6.7, 9.4 \text{ t}/\text{ha}$) の生長量⁹⁾が報告されている。非木材と早生材のポプラに興味を示すウクライナの報告¹⁰⁾によれば、ポプラの年間生長量はバイオマス量として $12.6 \text{ t}/\text{ha}$ である。

6.4 総 括

以上の説明でケナフ、ユーカリ共年間生長量は $10 \text{ t}/\text{ha}$ を越えており、二酸化炭素吸収量が非常に多いのは明らかである。すなわち、ケナフ、ユーカリは環境配慮型植物であると言える。また、ケナフは米国産、日本産共ユーカリより生長量が多いことが分かる。

次に、環境に配慮しながらケナフ、ユーカリを有効にパルプ化する方法を考えてみる。

7. 環境配慮型蒸解の理想型

最近 LCA (Life Cycle Assessment) 又は LCI (Life Cycle Inventory), すなわち原料を利用する段階での CO_2 排出量により環境評価する研究結果がケナフ及びユーカリについて報告¹¹⁾¹²⁾されている。環境配慮型蒸解を目指す具体的な利用法を前提としているので進んだ論議として評価したい。現在、ユーカリ等の木材の環境配慮型蒸解としてはクラフト法が挙げられている。排液中に糖類が多量に溶出するためパルプ収率は低いが高強度は高く、排液中に溶出したリグニンその他の有機分解物の熱量及び蒸解薬品は回収できるが、メチルメルカプタン、硫化ジメチル等の悪臭除去が課題である。したがって、①パルプは高収率、②強度が高く、

③悪臭なく、④排液中の熱量と薬品が回収できれば、クラフト法に勝る環境配慮型蒸解であり、⑤未晒白色度が高く漂白負荷が少なければ、さらに良いはずである。この5項目に注目すると、ケナフについて①～③に該当する研究結果が前記「新繊維作物探求」に見られるので紹介する。

8. ケナフ中性亜硫酸ソーダ法蒸解の興味ある結果

「新繊維作物探求」の5報¹³⁾と6報¹⁴⁾で、中性亜硫酸ソーダ(以下 NS)法ケナフパルプが収率、強度共最高、広葉樹クラフトパルプより優れ、針葉樹クラフトパルプに匹敵し、悪臭は発生せず、市販木材パルプと混抄して好結果を得ているので、紹介してみる。

8.1 ケナフパルプ収率は NS 法が最高

5報では全茎パルプを目的としてクラフト、NS、ソーダの3法を比較している。イリノイ産ケナフの全茎を約1in長に切った試料を乾燥基準で9lb、毎分1回転する10ガロン容ステンレス製ジャケット付き蒸解缶を用い、薬品使用量は乾絶基準15, 18, 21%の3水準で液比1:7, 170℃, 2時間保持のバッチ蒸解を行い、晒しは3段漂白で白色度約75%である。結果を表19に示す(括弧内数字は薬品使用量%)。NS法パルプが粗収率59.4%、除塵収率56.9%、漂白収率47.9%の最高値を示している。

表 19 3 法によるケナフパルプの粗収率、除塵収率、漂白収率の最高、最低値
単位 %

蒸解法	クラフト		中性亜硫酸ソーダ		ソーダ	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低
蒸解パルプの粗収率	54.5(15)	45.5(21)	59.4(15)	57.9(18)	54.5(15)	45.3(21)
除塵収率	50.6(15)	44.6(21)	56.9(15)	52.8(18)	52.3(15)	45.1(21)
漂白収率	42.2(21)	40.9(18)	47.9(21)	46.5(18)	41.9(18)	40.2(21)

括弧内の数字は薬品量 %

表 20 3 法によるケナフパルプの比破裂強さ、裂断長の最高、最低値

蒸解法	クラフト		中性亜硫酸ソーダ		ソーダ	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低
比破裂強さ $\text{g}/\text{cm}^2/\text{gm}^2$	66(21 U)	30(15 U)	73(18 B)	39(15 U)	69(18 B)	40(15 U)
裂断長 m	10,710(21 B)	7,300(15 U)	11,190(21 B)	7,630(15 U)	11,510(18 B)	7,300(15 U)

括弧内数字は薬品量 %, U は未晒, B は晒

8.2 ケナフパルプの比破裂強さと裂断長は

NS 法が最高

叩解は晒、未晒パルプ共ナイアガラビーターで行い、ショッパー・リーグラフリーネス 600 ml に仕上げ、TAPPI 規格による手抄き法（坪量絶乾 60 g/m²）により抄紙し、規格に従って強度を測定している。表 20 に 3 法によるケナフパルプの比破裂強さ、裂断長の最高最低値を示す（括弧内数字は薬品使用量%、U は未晒、B は晒）。表では NS 法パルプの比破裂強さが 3 蒸解法中最高である。裂断長はソーダ法の 11,510 m があるが、同一誌の同一号に掲載の 6 報では NS 法で 11,800 m の最高値を得ている（表 21）。6 報の木材パルプとの混抄試験では、収率の劣るソーダ法は除外し、薬液使用量 21% のクラフト法と NS 法を採用している。NS 法が比破裂強さ、裂断長共最高値を示すのが分かる。

8.3 考 察

パルプ収率、強度が最高で悪臭もないから、NS 法は 7 章に示した環境配慮型蒸解の理想条件の 3 項目に適合する。しかし、何故か NS 法の特徴を無視し「新繊維作物探求」の 8 報¹⁵⁾ではクラフト法の硫化度を変えて詳細な追試を行い、パルプ収率、強度共 NS 法を超えるものは皆無という結果を得ている。恐らく木材で実績のあるクラフト法が最高のはずという先入主又は薬品と熱量が回収できる点を長所としたと思われる。

筆者が NS 法に注目したのは、筆者等が既に 1953 年に NS 法をアバカに適用して上記 3 項目の他に⑤にも適合するパルプを得ており、工業的に実用化してからもう長いことと、その実験室の研究から工業的作業まで筆者自身が関係したからである。NS 法は、その後アバカのみならず、リグニン量がケナフに近いわら、黄麻等の非木材及び最もリグニン量が多い針葉樹材にも適用され、アントラキノン添加 NS—AQ 法による黄麻、針葉樹材の蒸解では 7 章に示した 5 項目を全部クリアする例が報告されているので次に紹介する。

9. NS 法の汎用性と最近の改良法

9.1 NS 法によるアバカの蒸解

1953 年筆者等¹⁶⁾は、等級 K のアバカ原麻を液比 1 :

10、亜硫酸ソーダ 16%、140℃、4 h で蒸解し、排液 pH は 5.85、苛性ソーダ 16% のソーダ法に比べてパルプ収率は 9% 増しの 65%、TAPPI 式ボールミルでの叩解所要時間は 1/2、50° SR に叩解した絶乾 60 g/m² のシートの破裂強さは 1.1 kg/cm² 増えて 8.0 kg/cm² という稀有の値、白色度は未晒で 71.1 の最高値、悪臭はないという結果を得た。その後この方法は工業的に広く利用されている。

9.2 酸素—亜硫酸ソーダ法による稲わらの蒸解¹⁷⁾

シリカを保持しながら、リグニンをほぼ完全に脱離する技術の開発を目的として酸素—亜硫酸ソーダ蒸解を行った結果、グルコースの保持率は高く、脱リグニンが進んでもヘミセルロースに由来する中性糖の保持率もあまり減少せず、高収率パルプ化が可能である。

9.3 NS—AQ 法による黄麻の蒸解¹⁸⁾

黄麻の NS、NS—AQ、クラフト、ソーダ法蒸解を比較し、NS—AQ 法はクラフト法に比べて、①カップー価 20 の未晒パルプ収率が絶乾基準で 6.3% 増え、②未晒パルプの強度は未晒クラフトパルプと同等、晒パルプは未晒より強度が高く、③パルプは水切れ早く漂白叩解容易、離解、洗浄、除塵に問題なく経済的に有利、④悪臭の発生なし、⑤薬品回収は Tampella 法等により可能、⑥パルプ収率高く排液中の有機物量は減るが、洗浄水は少量で済み蒸発に要る熱量は少ない、⑦AQ 添加量は 0.1% で十分という結論を得た。また、各法の速度論的比較を行い、脱リグニン速度はクラフト > NS—AQ > NS、残留リグニン量が最低領域での炭水化物残留量はクラフト < NS < NS—AQ、同じカップー価でのパルプ収率は NS—AQ > NS > ソーダの結果を得ている。

9.4 NS—AQ 法による木材の蒸解

木材の NS—AQ 法蒸解は、野村氏ら¹⁹⁾の NSSC（中性亜硫酸塩セミケミカル）法にキノン添加が有効との報告があるが、「クラフト法に代る NS—AQ 法」の題名で、フィンランド United Paper Mills 社の重亜硫酸ソーダ法工場（後 NS—AQ 法工場に改変）で、針葉樹材について実施した実験結果²⁰⁾を要約して紹介する。

NS—AQ 法は針葉樹クラフト法に比べて、①収率は完全漂白パルプで 6—12%、ライナー用で 17—22%

表 21 ケナフパルプの強度的性質

蒸解法	フリーネス SRml	比破裂強さ g/cm ² /gm ²	裂断長 m	比引裂強さ g/g/m ²	耐折強さショッパー 回
クラフト	600	72.1	11,500	92.9	1,140
中性亜硫酸ソーダ	500	76.9	11,800	72.7	1,190

多い, ②パルプは易漂白で排水と新水消費が少ない, ③未晒パルプの白色度が高い, ④高収率なのに, 引裂きと引張り強さ及び光散乱性は極めて高い。

短所は, ①カップー価 35-40 を目標にした場合, 175℃でのパルプ化所要時間が 170℃のクラフト法より 25% 長い, ②排液蒸発の際粘質沈殿の生成を避けるため若干の NaOH を排液に加える必要がある, ③回収ボイラーが要り緑液は Tampella, Rauma-Repola, Stora の転化法により蒸解液に転化する必要がある, ④主な課題は NaOH を使用しないで行う薬品の転化である, ⑤パルプの収率が高いため排液の熱量は小さい という結果を得た。

以上で, NS 法及び NS-AQ 法は, 非木材だけでなく木材に応用しても 7 章に示した理想条件 5 項目の, ①パルプは高収率, ②強度が高く, ③悪臭なく, ⑤未晒白色度が高く漂白負荷が少ない と共に, ④排液中の熱量と薬品の回収についても可能な見通しが分かる。

10. NS-AQ 法での薬品・エネルギー回収と薬品循環の操業経験

1982 年の国際亜硫酸塩法パルプ化会議で, Tampella Engineering 社と Rauma-Repola 社の共同研究として発表された報告²¹⁾が参考になるので次に要約する。

10.1 Tampella 回収システムと NS-AQ 法の特徴

NS 法での薬品再生用 Tampella 回収システム (TRS) は, 同社の NSSC 工場で 1960 年代初頭に Sivola-Lurgi 法を基に開発しており, 前炭酸化, H_2S ストリッピング及び炭酸化の 3 段階の化学反応から成る (図 2)。緑液は煙道ガスにより前炭酸化する。前炭酸化した緑液はストリッパーに移し, そこで重炭酸塩を添加し, 蒸気を用いて硫化水素をストリッピングする。ガス中の硫化水素含量は蒸気の凝縮後で 95% である。硫化水素は直ちに硫黄燃焼機中で燃焼し SO_2 ガスにする。ストリッピングにより底部生産物として炭酸ソーダが得られ, これは結晶化なしに直接蒸解液の調製に使える。第 3 段階の炭酸化に必要な炭酸塩は, 煙道ガスからの二酸化炭素を炭酸ソーダ溶液中に吸収させることにより生産する。こうして, Tampella 法での最終生成物は二酸化硫黄と炭酸ソーダになる。

アントラキノンのアルカリ性蒸解への応用については, まずクラフト及びソーダ蒸解で脱リグニン速度が増すのが発見され, 引続き NS 法での AQ の効果が研究された。

実験によれば NS-AQ 法はクラフト法に比べて次の利点を持つ。①針葉樹パルプ収率は, 完全漂白パ

ルプで 6~8% 高い, ②晒パルプの t 当り生産コストが低い, ③液及び凝縮液に悪臭がない, ④未晒パルプの白色度が高く漂白しやすい, ⑤強度は引裂き強さが少し低い他はクラフトパルプと同じである, ⑥硫黄のない粗テレピン油とトル油を得る。NS-AQ 法は活性アルカリとして 75~90% の亜硫酸ソーダを含む蒸解液を必要とする。典型的な条件は亜硫酸ソーダが 85% で, 残りは主として炭酸ソーダである。冷時 pH は 10 付近で, 蒸解での活性アルカリ投入量は絶乾木材に対して NaOH として 21% である。

10.2 工場での操業経験

世界で初めて 7.5 万 t/年規模で NS-AQ 法木材パルプの生産を始めた United Paper Mills 社での回収システム (TRS) の工場実験の経験を要約すると次のようになる。

①パルプ洗浄は蒸解缶置換及び 2 段 Rauma-Repola 加圧洗浄機により行い, 洗浄効率は 97%, 排液固形分濃度は 17% である。原料がトウヒでトル油は生産できないが, 硫黄のない粗テレピン油がとれる, ②蒸発は Rosenlew 6 重効用蒸発装置を用い固形分濃度 17% から 65% まで濃縮する。この pH は 8.5~9.0 で NaOH により 10 に調整して薬品循環のための仕上がり薬品とする。スケール障害を起こすリグニンの沈殿はなく, 濃縮排液は粘度その他すべての点でクラフト黒液に匹敵するものであった, ③排液は $\text{S/Na} = 0.8$ の分子比を持つ。単独で焼却できるが, ここではクラフト工場からの黒液と共に回収ボイラーで焼却し, 排液中の熱量を回収する。重亜硫酸塩法に比べて無機物負荷は増すが障害はない, ④緑液薬品の変換再利用

図 2 Tampella 回収工程の化学

図3 未晒 NS-AQ パルプ工場での薬品循環

は既設の Tampella 回収システム (TRS) で行う。重亜硫酸塩法の NS-AQ 法への変更による TRS の改造及び蒸解液中のチオ硫酸塩の生成を防ぐための炭酸ソーダの結晶化も不要で工程が簡単になった。蒸解液は常法により調製し、NaOH により pH を約 10 に調整して仕上がり蒸解薬液とする。回収システム全体は始動以来信頼性の高い運転を継続している、⑤未晒 NS-AQ パルプ工場での薬品循環の配置を図3に示す。洗浄効率は薬品類の 97% で、蒸発工程から出る排液の固形分濃度は 60-65% である。トール油回収システムもあり、回収ボイラーは高硫化度用に設計してある。その後 Rauma-Repola 社と合併し、NS-AQ 法を考慮した設計による Tampella-Rauma 回収システムを開発した。

10.3 Tampella-Rauma 回収システム

この装置での薬品再生と蒸解液の調製の手順を次に示す。①緑液は洗浄した煙道ガスから得た二酸化炭素により前炭酸化する、②濃縮した二酸化炭素は重炭酸ソーダの生成用に炭酸化段で使う、③硫化水素はストリップング段で 2 次蒸気を使って炭酸化液から分離する。遊離した硫化水素は熱回収装置の付いた硫黄燃焼機で燃焼して二酸化硫黄にする、④二酸化硫黄は亜硫酸塩化段からの亜硫酸ソーダ液に吸収し、重亜硫酸ソーダを生成する、⑤重亜硫酸ソーダは、亜硫酸塩化段において、ストリップング段からくる炭酸ソーダ及び重炭酸塩と反応して亜硫酸ソーダとガス状二酸化炭素を生成する。二酸化炭素は緑液の炭酸化に再利用する、⑥二酸化炭素ストリップング段で、余剰二酸化炭素を蒸解液からストリップオフ（洗浄除去）し、吸収段からの残余 SO_2 は吸収する。このシステムは融通性が大きく、投資と運転コストを考慮して工程を最適化できる設計になっている。NS-AQ 法での薬品循環のシステムはクラフト法より簡単であり、NS-AQ 法は閉鎖サイクル系の排水なしパルプ工場の実現を容易にするものと予測できるとしている。

10.4 まとめ

以上を総括すると、NS-AQ 法での排液の蒸発及び Na_2SO_3 と Na_2CO_3 の回収は問題なく可能である。NS-AQ 法パルプは収率が高いため排液中の熱量はクラフト黒液より少ないが、パルプ洗浄水及び排液濃縮に必要な熱量も少ない。固形分濃度が 17% の洗浄排液は蒸発段で固形分濃度 65% まで濃縮が可能であり、濃縮排液は粘度その他すべての点でクラフト黒液に匹敵するものであり、焼却による熱量回収に問題はない。

回収設備は現在 Kvaerner Chemetics 社が Tampella 社から受け継いでおり、NSSC 用は日本で 1974 年摂津板紙、1975 年王子製紙、日本以外の 1980 年以降の実績ではイタリアで 1982 年 Calabria SPA、1991 年 Chimica del Friuli SPA、ロシアで 1992 年 Arkhangelsk SPK、イランで 1994 年 Mazandaran Wood & Paper Ind. Company が導入し、サルファイト用ではフランスで 1971 年 S. I. C. A、フィンランドで 1975 年既述の United Paper Mills 社、パキスタンで 1995 年わらパルプを製造する Packages Ltd. の導入が目される。また、マニラ麻の NS 法蒸解排液をクラフト法黒液と共に濃縮燃焼させて熱量と薬品を回収する混合回収 (cross recovery) 法は、日本でも行われている。さらに、Tampella 社ではその後 3 段階の基本回収反応を煙道ガス洗浄と結合させ、据付面積とエネルギーが節約できるコンパクトな TRP タワー²²⁾を開発し小規模生産にも対応している。

11. おわりに

上述から、非木材及び木材共 NS 法又は NS-AQ 法蒸解で、①パルプは高収率、②パルプ強度は高く、③悪臭なく、④排液の熱量と薬品は回収でき、⑤未晒白色度が高く漂白負荷が少ない、ことが分かった。木材も非木材も有効に使用してこそ、紙パルプ産業と地球環境が両立できると考える。新繊維作物探求 14 報²³⁾によればケナフの連続蒸解は 1971 年に成功しており、現にタイではローゼルで工業化されている。大量栽培が前提であるが少量栽培でもまとまれば工業規模になり、工業用蒸解缶によるケナフの集中パルプ化は既に日本でも始まっている。この場合コンパクトな薬品回収設備の活用は大きな可能性を秘めているのではなかろうか。上記の論文がなんらかの役に立つならば幸である。

参考文献

- 1) 渡辺恒, 海外植林と紙パルプ産業, 紙パ技協誌 53 (4) 23-30 (1999)

- 2) 山崎秀彦, 栗田利雄, 宮崎一正, 横溝秀尚, 森本正和; 紙バ技協誌 34 (4) 299 (1980)
- 3) Tappi 7 (10) 90 (1996)
- 4) White, G. A., Tappi 52 (4) 656-659 (1969)
- 5) 伊藤和郎, ケナフ—新しい製紙用原料 紙バ技協誌 30 (4) 23-29 (1976)
- 6) 泥谷直大, 紙パルプ技術タイムス 5-15 (2000年9月), ibid 9-19 (2000年10月)
- 7) 神田憲二, 資源問題から見た海外植林の現状と将来, 「紙パルプ産業における技術予測—回顧と展望—」 pp 16-21 紙パルプ技術予測研究会 (1999.12.8)
- 8) 森林はパートナー, p.21, 日本製紙連合会 (平成12年1月)
- 9) アラン・ジャミソン, 紙バ技協誌 54 (4) 53-59 (2000)
- 10) V. P. ザブラーチン, パルプ・紙・板紙 (ロシア誌) [7/8] 8-10 (1999)
- 11) 矢口時也, 濱口佳織; ケナフパルプの LCA 計算方法, 第 67 回紙パルプ研究発表会, 講演要旨集 p 90-93 紙パルプ技術協会 (平成 12 年 6 月 28-29 日)
- 12) 中澤克仁, 片山恵一, 桂徹, 坂村博康, 安井至; 上質紙の LCI 非木材パルプと古紙パルプの比較評価, ibid p 86-89
- 13) Clark, T. F., Nelson, G. H., Nieshlag, H. J., Wolff, I. A.; Tappi 45 (10) 780-786 (1962)
- 14) Clark, T. F., Wolff, I. A.; Tappi 45 (10) 786-789 (1962)
- 15) Clark, T. F., Wolff, I. A.; Tappi 48 (6) 381-384 (1965)
- 16) 研究所紙料研究室: マニラ麻試験報告書, 製紙課 (昭 25), 森本正和, 環境の 21 世紀に生きる非木材資源, pp 65-73, ユニ出版 (1999)
- 17) 朴承栄, 幸田圭一, 松本雄二, 飯塚堯介, 飯山賢治; 紙バ技協誌 54 (9) 81-87 (2000)
- 18) Akhtaruzzaman, A. F. M., Shafi, M.; Tappi 78 (2) 106-112 (1995)
- 19) 野村芳禾, 中村正人; 紙バ技協誌 33 (2) 37-42 (1979)
- 20) Virkola, N-E, Pusa R., Kettunen J.; Tappi 64 (5) 103-107 (1981)
- 21) Hauki, T., Reilama, I.; TAPPI Proceedings, 1982 International Sulfite Pulping Conference 41-46 (1982)
- 22) Hauki, T., PULP & PAPER CANADA 85 (2) T 28-32 (1984)
- 23) Clark, T. F., Cunningham, R. L., Wolff, I. A.; Tappi 54 (1) 63-65 (1971)

とアカシアの事例をもとに、植林関連技術について考察する。

(本文 19 ページ)

古紙資源の現状と将来展望

財団法人古紙再生促進センター 専務理事 高柳 晴夫

日本の紙リサイクルは古く平安時代（西暦 794～1185）から始まる。日本の古紙利用率は世界の中でも高いレベルにある。2000 年度古紙利用率 56% 目標は 1 年前に達成され、新たな古紙利用率目標が 2005 年度 60% とすることが日本製紙連合会で決定され、経済産業省令でも近く 60% 目標で制定される見通しである。

この古紙利用率向上に対して、現状を踏まえ将来に向けてどうなるか、どうあるべきか、種々検討したので報告する。

(本文 34 ページ)

非木材資源の現状と可能性

元大蔵省印刷局研究所長 森本 正和

非木材パルプは 1998 年の生産量が世界で生産される全パルプの約 11% を占め、中国は生産量 1 位で、米国に次ぐ紙・板紙生産量の大部分を非木材で賄っており、米国の生産量は世界 3 位、日本は輸入量で 3 位である。製紙産業では、地球環境に配慮しながら紙・板紙の需要増に対処できる製紙用資源として早生植物の木材ではユーカリ、アカシア、非木材ではケナフの大量育成に注目している。したがって、まず王子製紙及び米国農務省が実施した研究結果に基づくケナフの年間収穫量とユーカリの年間生長量の公表値を紹介して、これらが環境配慮型植物であることを示し、次に筆者がアバカ（マニラ麻）のパルプ化に応用して既に工業化されて久しい中性亜硫酸ソーダ法が、パルプ収率、未晒白色度、強度が高く、悪臭がなく、排液中の熱量と薬品回収ができる環境配慮型蒸解法として、ケナフ、わら、黄麻等の非木材原料だけでなく、針葉樹材にも利用できることを紹介し、クラフト法のようにカルシウムを使用せずに回収薬品を転化して蒸解薬品の中性亜硫酸ソーダと炭酸ソーダを得る方法も開発されているので、その原理を解説した。

(本文 49 ページ)

木材、非木材、古紙パルプと環境影響 —ライフサイクルアセスメントによる評価—

三菱製紙株式会社 経営企画部 桂 徹

海外における非木材パルプを配合した紙のライフサイクル・アセスメント（LCA）、及び三菱製紙㈱において試みた非木材パルプあるいは古紙パルプ配合した上質紙のライフサイクル・インベントリー分析（LCI）について紹介し、パルプの種類による環境影響の違いを明らかにすることを試みた。これらの結果から、非木材パルプより木材パルプの方が環境負荷（CO₂ 排出量や固形廃棄物量で代表される）は若干少ないことが示唆された。木材と非木材を資源として比較する場合、土地の利用形態、生育期間、農産廃棄物利用の可否等を考慮する必要があるが、その点をインベントリー分析に十分反映することは