

## 紙パルプ産業のエネルギーフロー

## Energy Flow in Japanese Pulp &amp; Paper Industry

高橋 確\*

Akira Takahasi

紙パルプ産業は文化産業として、実質GDPの成長と高い相関性を持って伸びてきた。紙・板紙生産量は1973年の1,598万Tから、2回のオイルショックの都度落込みはあったが、それ以降は多少の凹凸はあるも、総体的には順調に伸びて、1995年（平成7年）2,966万Tと史上最高を記録している。

今後も基本的には伸びるものと見られるが、品別には構成が変化して行くものと考えられる。

紙パルプ産業の最近のエネルギー状況を報告すると共に、関連する問題について簡単に述べる。

## 1. 紙パルプ産業に於けるエネルギーフロー

紙パルプ産業の製品の種類は多種多様で、パルプの種類、薄い紙や厚い紙、原料の配合や種類による変化、塗工の有無や塗工量の変化、塗料の組成などによって製品の性質や用途は千差万別である。エネルギー原単位も製品の種類により大きく変わる。

各個別についての説明は省略し、概括的な木材チップ・パルプ・紙製造工程（図-1）と共に入熱量を100とした時の全体的なエネルギーフロー（図-2）を示す。

主たるエネルギー使用箇所は、

（蒸気）…パルピング（蒸解，晒，黒液濃縮）

抄紙工程（ドライヤーパート）

（電力）…各工程の動力源

## 2. 紙パルプ産業はエネルギー多消費の素材産業

紙パルプ産業に於けるエネルギーの特色は以下の3点が挙げられる。即ち、

- ① エネルギー多消費型産業である。
- ② コージェネレーション（熱電併給システム）が発達している。
- ③ 回収黒液がエネルギー源として使用可能である。

① エネルギー多消費型産業である。

「総合エネルギー統計」によれば、1994年（平成6年）、日本の最終エネルギー消費量は原油換算376百万Kℓ、この時、紙パルプ産業はその3%、原油換算11百万Kℓの消費量で、一般家庭などの民生用、自動車などの輸送機関を含む運輸を除く日本の産業界では化学、鉄鋼、窯業土石に次いで第4位にランクされ、産業界の中では6%弱を占めている。（表1）

表1

産 業	化 学	44(12)	民 生 94 (26)	家 庭	52(14)
	鉄 鋼	42(12)		業 務	42(12)
	窯業土石	13(4)			
	紙パルプ	11(3)	運 輸 87 (24)	自 動 車	76(21)
	その他 製造業	42(12)		その他	10(3)
	その他	20(5)			
181 (50)	非エネルギー	9(3)			

（ ）内は百分比

② コージェネレーション（熱電併給システム）が発達している。

紙パルプ産業はパルプ化工程（蒸解，晒，黒液濃縮）や抄紙工程（乾燥）で多量の中低圧蒸気を使用することから、購入燃料或いは回収黒液をボイラーで焚いて得られる高温高圧の蒸気を抽気背圧タービン等にて発電し、その中低圧蒸気を工程に送り、本来の加熱、乾燥の目的に使用するいわゆるコージェネレーション（熱電併給システム）が発達した。蒸気の使用量は電気事業を除けば、単一産業としては最大である。

この為、紙パルプ産業の自家発電比率は全産業の中で最も高く、1994年の自家発電比率は72.4%になった。

③ エネルギー種別消費量…回収黒液からエネルギー消費量の1/3を得る

\* 日本製紙連合会 技術環境部長  
〒104 東京都中央区銀座3-9-11 紙パルプ会館

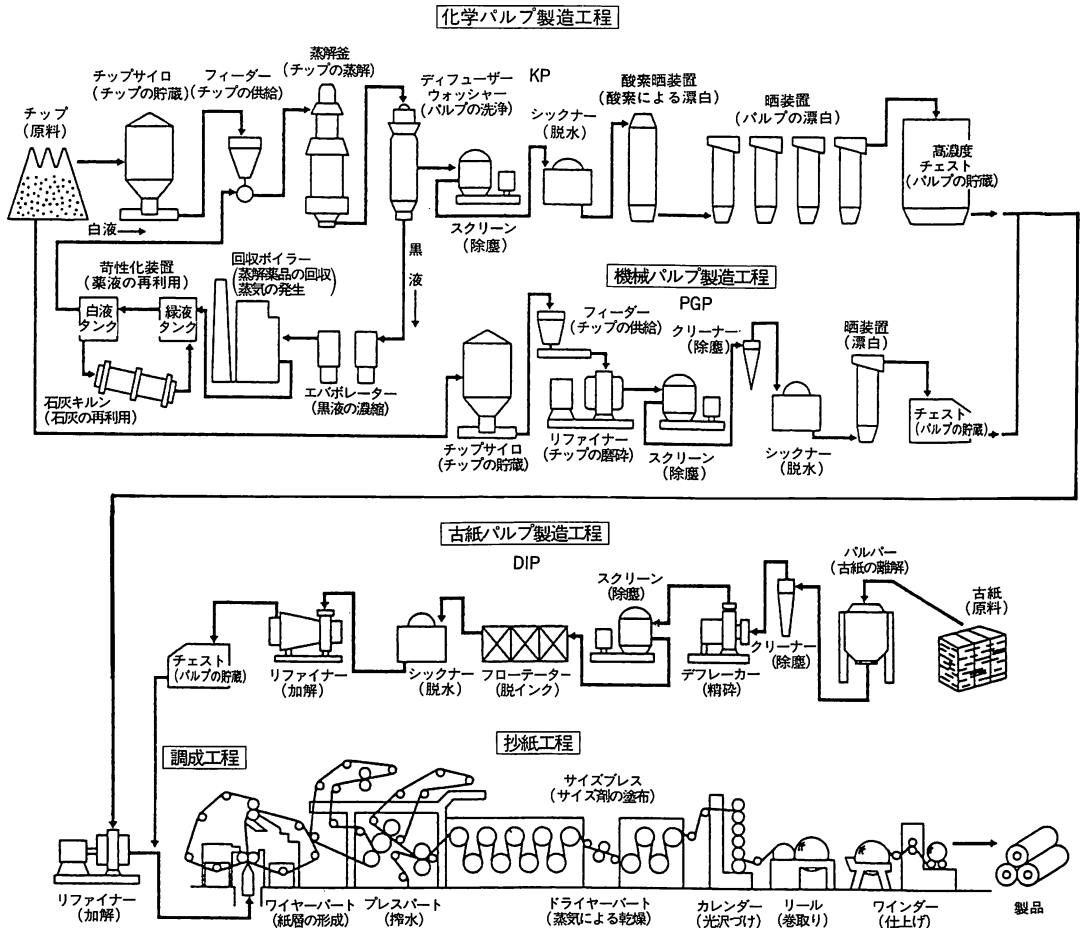
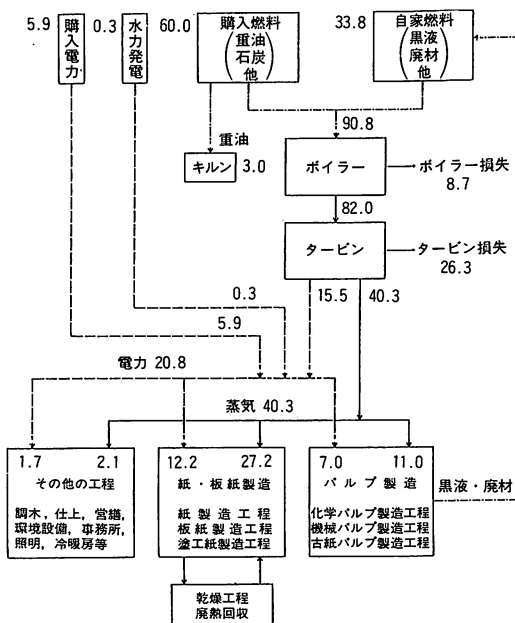


図-1 紙パルプ製造工程



蒸気条件	圧力kg/cm <sup>2</sup>	温度℃
ボイラー発生蒸気	60~100	400~500
工程蒸気 (中圧)	10~14	180~200
工程蒸気 (低圧)	2~4	130~150

数字は、全投入エネルギーを100とした時の比率(熱量換算)

— 蒸気  
 - - - 電力  
 - · - · 燃料

(1994年…電力は860Kcal/KWHにて熱量換算)

図-2 紙パルプ産業エネルギーフロー

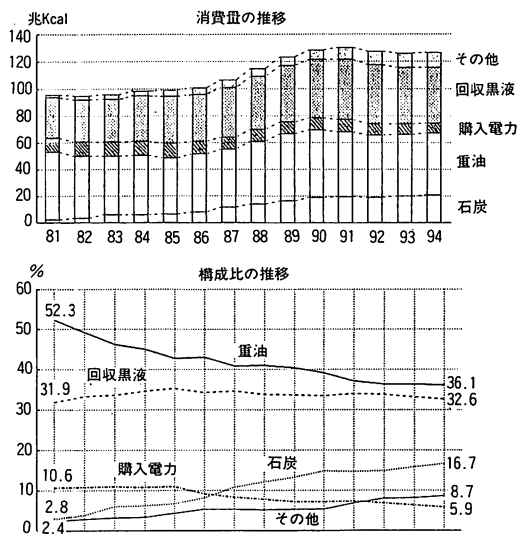


図-3 紙パルプ産業エネルギー種別消費量及び構成比の推移

購入エネルギー源としてはカロリーベースで重油が大半を占め主流だが、最近では石炭（輸入炭）ボイラーを設置するところが増加している。コスト重視の表れである。総購入エネルギーの内、購入電力はカロリーベース（2250Kcal/KWH換算）では22.5%だが、コスト比率では約55%と大きい。電力単価が高いことを表している。（図-3）

紙パルプ産業のエネルギーの最大の特徴はクラフトパルプ工場における回収黒液がエネルギー源として使用可能な事である。

パルプ廃液（黒液）はエバポレーターで濃縮、回収ボイラーで燃焼され、蒸解薬品が回収されると共に、蒸気が取り出され、木材チップの持つ約1/2の有機物成分がエネルギーとして回収される。回収量はカロリーベースでパルプから製紙までの一貫工場のエネルギー消費量の1/3強を占める。これはクラフトパルプのみの工場であればパルプ生産に必要な蒸気と電力を供給しても余裕があるが、製紙までの一貫工場では乾燥用の蒸気が不足する。

### 3. 紙パルプ産業に於ける省エネルギーの推移

紙パルプ産業も1973年（昭和48年）と1979年（昭和54年）の2度のオイルショック以来、業界を挙げて省エネルギーに取組み、省エネ型設備の導入や操業の工夫・改善、古紙の利用などエネルギー節減対策を強力に進めて来た。

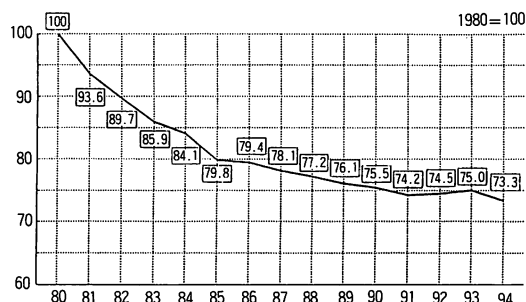


図-4 エネルギー原単位（全エネルギー消費量÷紙・板紙生産量）の推移

オイルショック後は重油が50~60千円/Kℓと暴騰し、まさにエネルギーを制するものがコスト競争の勝者、経営的に優位となった。勿論、現在でもエネルギーコストは重要だが、比率としての優位性は比喩が無い。

その結果、図-4に示される通り1994年（平成6年）実績では紙・板紙1トンを作るのに必要なエネルギーは過去15年間で27%削減されている。

しかし、当初の華々しい省エネ成果は80年代後半以降原単位に大きな変化が見られず足踏み傾向にある。これは省エネ投資の一巡、製品の付加価値化や環境設備の増強などが影響していると考えられる。合理化が進んだ現在では大規模な省エネ投資を行わないと、効果の挙がらない状況になっている。加えて、重油価格が16~17千円/Kℓと低落した現在、今一步省エネの切実性が薄れた事であると判断される。

### 4. 省エネルギーの推進体制と関連設備

省エネは夫々の会社で必死になって進めてきたが、政府主導の“投資減税”制度によるところも大きい。現在の「エネルギー需給構造改革投資促進税制」(略称：エネ革税制)である。

対象設備の主なものにはパルプ関係では、向流式連続蒸解装置、高性能パルプ洗浄装置、パルプ流動化漂白装置、並びに再生紙製造設備。抄紙機関係ではプレス面圧脱水装置、高性能サイズプレスなどがある。動力関係では液膜流下型蒸発缶と高効率高温高圧回収ボイラー、加えて製紙用廃棄物ボイラーである。

個別説明は省略するが、液膜流下型蒸発缶を持つ黒液蒸発装置とこれと組合わせた高効率高温高圧回収ボイラーについて記すと、

黒液濃縮では従来の長管型エバポレーターで最終濃度55%近辺だったが、液膜流下型蒸発缶を持つ黒液濃

縮装置を導入する事により75%強と大幅な濃度アップが可能となった。黒液濃度が55%程度では回収ボイラーでの安定燃焼は期待出来ず、カスケードエバポレーター或いはサイクロンエバポレーターで煙道ガスとの直接接触プロセスにて濃度アップ(70%弱)を図っていた。また、場合によっては重油混焼により操業して来た。しかし、液膜流下型蒸発缶の黒液の大幅な濃度アップ(75%強)が達成された事により、この濃黒液-煙道ガスの直接接触は排除出来た。

これにより黒液中の臭気成分は直接燃焼プロセスに導かれるので、ここで分解、無臭化される。

これは環境面の臭気対策に大きく貢献している。この設備が設置されたクラフトパルプ工場は臭気改善が著しい事は衆知の事実である。

高効率回収ボイラーは500℃以上、100kg/cm<sup>2</sup>以上(排ガス温度120~130℃以下)と材質改良により従来の耐腐食性を大幅に向上させた。

上記黒液濃度アップと相まってボイラー効率も従来の50%台から70%以上と大幅に高められた。即ち、同一の黒液から、より多くのエネルギー(蒸気、電力)が取出せるのである。

この他、肌理細かな省エネ努力の積重ねとしてVVVF(インバーター制御)などによるポンプ、ファン類の徹底した省電力化、工程のコンピューター制御による改善、加えて当然ながら熱損失の防止と廃熱の回収利用並びに燃焼合理化が実施されている。

更に、省資源の目的で古紙の利用拡大を図って来ているが、これが省エネ型原料として大きな役割を担っており、既にパルプ化工程を経ている古紙は、処理工程の必要エネルギー原単位が低い。因って、古紙配合は製紙時のトータルエネルギーが少なく省エネとなる。

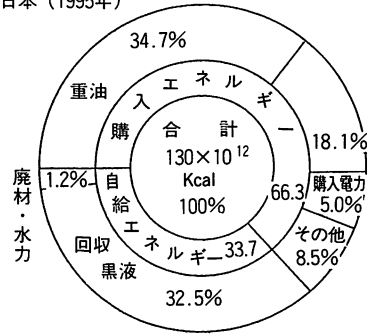
紙パルプ産業としては業界を挙げて古紙リサイクルに取組み、利用率アップを進めて来た。1994年55%利用率を目標に掲げてきたが、53.7%とやや未達であった。しかし、年産2,900万Tもの生産規模でのこの利用率は世界トップである。現在、改めて2000年56%を目標に掲げて、奮闘中である。

5. 海外(USA)との比較…(図-5)

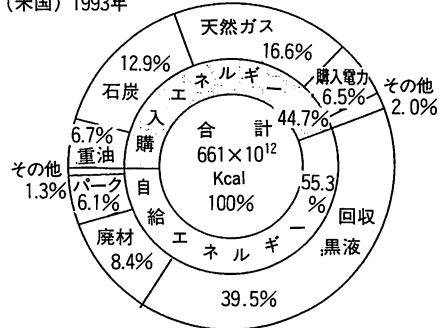
USAとは紙とパルプの生産比が違う事や紙の品種構成が異なるので単純に比較するのは妥当ではないが、概略対比すると、

消費エネルギー原単位は日本474ℓ-原油/紙・板紙T、同じくUSA824ℓ/TとUSAは約2倍の消費量

日本(1995年)



(米国) 1993年



資料：通産省「紙・パルプ統計」「石油動態統計」、AFPA統計年報

図-5 紙・パルプ産業のエネルギー源(日米比較)

購入エネルギー比率は日本66.3%、USA44.7%とUSAのエネルギー自給率は高い。

化石燃料使用量は日本305ℓ-原油/紙・板紙T、USA353ℓ/Tと日本がやや少ないと推定される。

但し、電力分の内、化石燃料分(火力系)は(東電)加納氏により日本62%、USA72%として計算す。

購入エネルギー源は日本は重油、石炭の化石燃料主体。USAは天然ガス、石炭主体で重油の比重は低い。全体的にはバランスが取れ偏っていない。

省エネの観点ではUSAは劣るが、これは各エネルギー源単価が低廉である事が省エネ推進を鈍らせているとも考えられる。言い換えれば、未だ省エネルギー/コスト低下の余地が大いにあると言える。

6. 気候変動枠組条約(地球温暖化防止行動計画…CO<sub>2</sub>抑制対策)

本来、既に地表にあるCO<sub>2</sub>の循環は一つのサイクルを形成して大気中CO<sub>2</sub>濃度とバランスしていたが、人間活動が加わり、産業革命前280ppmから徐々に上昇、現在約360ppmで更に増えつつある。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書では人間活動に起因する大気中の温室効果ガス（GHG=Green House Gas；CO<sub>2</sub>，CH<sub>4</sub>，フロン系，N<sub>2</sub>Oなど）の増加により「このままでは10年毎に0.3℃づつ気温上昇し，海水面は21世紀末には65cm上昇する」と述べている。気候変動枠組条約の締結国である日本は先進国として地球温暖化防止の行動計画の以下の目標を掲げた。

『1人当たりCO<sub>2</sub>排出量（第一目標），総量基準（第二目標）で2000年以降概ね1990年の水準で安定化する様努める。』

政府は1994年9月本部へ「国別報告書」を提出した。これには『第一目標は達成の見通したが，第二目標は更なる努力が必要との認識』とした。

CO<sub>2</sub>は燃料燃焼の結果の生成物がその殆どで，他に工業副生物などからのものがある。発生したCO<sub>2</sub>は陸上の植物成長過程並びに海中の藻や珊瑚の成長活動で取込まれ固定される。経済活動の進展速度が早く，自然界とのバランスに追付かずCO<sub>2</sub>蓄積が急速に進んでいる状況である。

紙パルプ産業は木材チップを原料として使用しており，消費エネルギーの約1/3は化石燃料ではなく，木材チップから溶出する成分から得ている。

発生したCO<sub>2</sub>ガスにより植物が成長し，その植物を原料として紙パルプ産業が成立している。まさに密接に関連している産業である。また，原料資源の面から，植林（国内，海外）に力を入れている。日本は国土の64%，24百万haの森林面積を持っているが，現在使用木材チップの65%は海外から輸入している。この輸入チップを天然木でなく，植林木からすべく海外植林を進め，現在の植林実績14万ha，現時点の目標41万haである。1995年の植林木チップの輸入の比率は針葉樹では50%を超えた。今後は更に増加傾向である。

CO<sub>2</sub>吸収の最も有効な方法は樹木による吸収である。因みに，森林のCO<sub>2</sub>ガス吸収量は熱帯林7T-C/ha・年，温帯林1.2~1.3T-C/ha・年と推定されている。本来，バイオマス系の循環は増分CO<sub>2</sub>に入れるべきものではなく，問題になるのは化石燃料系である。紙パルプ産業としても，化石燃料使用減を更に一層推進しなければならない。

## 7. 卸電力販売の件

今回，電気事業法が本格的に改正され，電源開発などの卸売専門企業以外の企業も卸事業に許可なしに参

入出来るようになった（IPP：独立電気事業者）。

紙パルプ産業は鉄鋼，化学等と同様に自家発電の経験，実績があり，参入に近いところにいる。

しかし，鉄鋼，石油等は進出のニュースが新聞などを賑わしているが，紙パルプ業界では，これまで余剰電力を販売しているところはあるが，IPP（独立電気事業者）へ参入を目指して名乗りを挙げるところは未だ出ていない。

## まとめ

紙パルプ産業は着実に発展して行くと予想しているが，今後のコンピューター社会で，マルチネットワーク，電子出版，電子伝票等の進展に伴い紙がどれ程の位置を占めるか注意して見て行かねばならない。

今後の発展を前提としても検討しなければならないテーマは数多い。それぞれがエネルギー即地球環境問題と強く結び付いている。

第一に資源問題，古紙利用率を高めても，今後の需要を満たすためには，新規パルプ増が必要と予想される。しかし，最近の資源ナショナリズム，環境保護やCO<sub>2</sub>吸収機能の重要性の観点から，また，それにも増して重要な世界人口問題（2025年までに1.5倍）への対応として，食料増産との競合を視野に納めて行く必要があるものと推測される。

第二にエネルギー問題，CO<sub>2</sub>抑制対策の面から使用エネルギーの制約が出て来る可能性がある。

また，アジアの発展に合わせて，途上国との協業体制による「共同実施」の考えが試行から実施に進み，世界的な協調関係が求められる。

わが国紙パルプ産業は植林，製造技術，環境対策並びに省エネ技術とも高水準にある。

これからも，これら諸技術を有効に活用し，世界の信頼を得て行くことが必要である。

## 引用文献

- 通産省「紙パルプ統計」「石油動態統計」
- 資源エネルギー「総合エネルギー統計」
- 「エネルギー需要構造改革投資促進税制」
- 政府「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書」
- 日本製紙連合会資料
- 加納時男「ウラン協会創立20周年シンポジウム基調報告1995.9 ロンドン」
- NEDO資料「電力中研試算結果…U92003，U91054，Y95005 より」