

## 特集

## 非金属廃棄物の再資源化

## 紙類のリサイクル

## Recycle of Papers

原田 種 臣\*

Taneomi Harada

## 1. まえがき

1985年の実績では、わが国の古紙回収率は50.3%、古紙利用率は49.1%で、回収率は主要国中1位、利用率はオランダ、英国に次ぎ3位の位置を占めている<sup>1)</sup>。その30年前の1955年の回収率が24.9%、利用率が20.0%であったのに比べ、前者は2.0倍、後者は2.5倍に増えている。この伸びが今後どのように推移するか注目されるが、回収率の上限は一応63%<sup>2)</sup>と想定されている。

日本国民1人当たりの年間紙（紙・板紙）消費量の推移は、1955年24kg、65年74kg、75年117kg、85年167kgであり<sup>3)</sup>、30年間に約7倍の増加を示している。この間に人口も増えているので、紙の生産高は1955年の220万tが、85年の2,047万tへと9.3倍の伸びをみせている。これらを主要国の順位で比較すると、1人当たりの消費量では米国、スウェーデン、カナダ、デンマーク、フィンランド、西独、スイス、オランダ、ベルギーに次ぎ10位、生産高では米国に次ぎ2位（いずれも1986年実績）となっている。

紙類リサイクルの意義は、森林資源の愛護と製紙エネルギーの節減の双方が達成できることにある。森林資源の愛護は、単にパルプ原料の確保のみでなく、地球上の炭酸ガスの増大の抑制、地崩れや洪水防止等、われわれの保健および防災上きわめて重要な意味をもつ。

なお、わが国のパルプ用木材の海外依存率は1985年に38%であり、10年前の1975年に比べ増えていない。

以下本稿では、古紙発生状況、古紙再生技術、古紙利用で配慮すべき点、製紙原料としない古紙利用等を順に述べてみよう。

## 2. 古紙発生状況

図-1によると、1985年には紙・板紙が20,202千t消費された。この量が古紙発生量に相当し、その50.3%すなわち10,152千tが回収された。回収されなかった古紙49.7%のうち、約13%分が回収強化により回収される可能性をもった量と推定されている。

古紙の発生源は、家庭、市中、小規模発生坪、大規模発生坪の4者に分類される。家庭で発生したものはチリ紙交換業者と買出人により、それ以外で発生した古紙はそれぞれ収集人、専門買出人、業者などにより回収される。

1985年に製紙メーカー向出荷された古紙は10,326千tであり、紙・板紙生産のために消費された古紙は10,442千tである。なお同年には、300千tの古紙輸入と18千tの古紙輸出がなされている。

家庭で消費される紙・板紙の量は年間約500万tで、そのうち約400万tが回収されている<sup>4)</sup>。したがって、回収古紙の4割は家庭から出たものである。そしてその主体が新聞と雑誌であることは、われわれがよく承知している。

図-2に示すように、古紙には種々の品種が、またそれを配合してつくる紙・板紙やその製品にも種々の品種がある。図の紙品種のうち、ダンボール原紙・紙管原紙・建材原紙・紙器用板紙等は板紙に、他は紙として分類される。

1985年の古紙品種別消費量（単位千t）を量の大きい順に示すとダンボール4,544、新聞2,563、雑誌1,155、模造・色上969、台紙・土台紙・ボール493、茶模造紙303、切付・中質反古218、上白・カード131、特白・中白・白マニラ66である。同年の実績で、回収率の高い古紙品種は新聞93%、ダンボール76%、回収率の低い品種は茶模造紙21%、台紙・土台紙・ボール19%となっている<sup>5)</sup>。

\* 早稲田大学理工学部資源工学科教授  
〒169 東京都新宿区大久保3-4-1

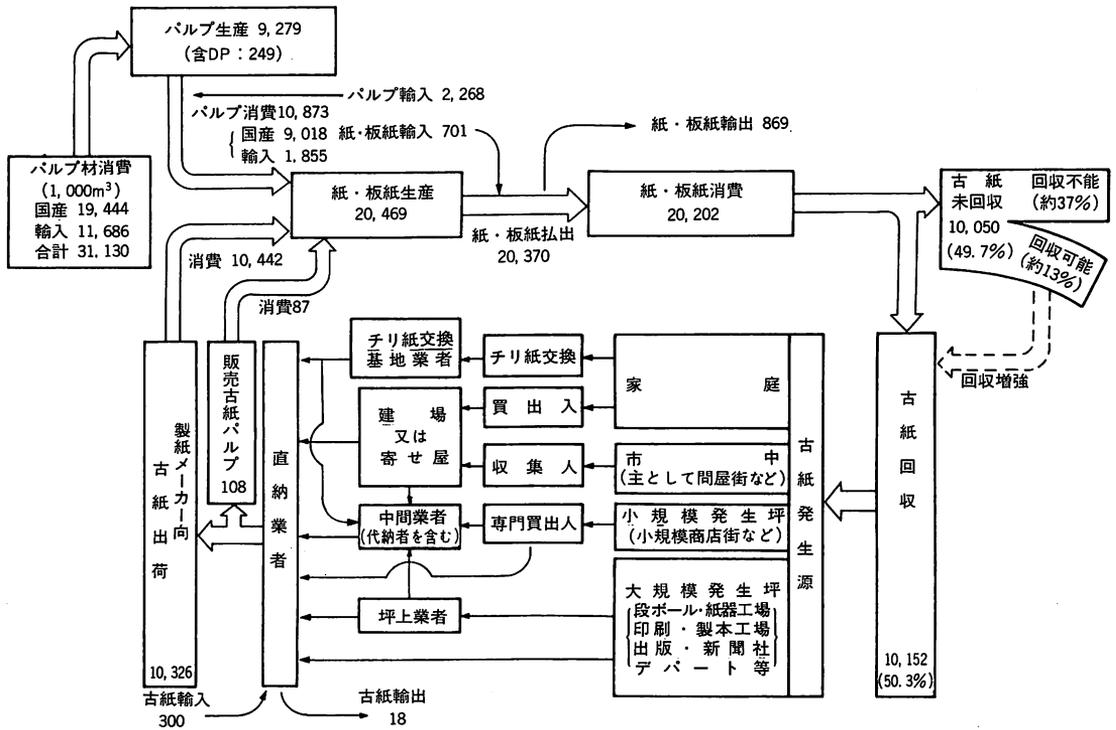


図-1 古紙の発生・流通経路 (1985年, 単位千t)  
(古紙再生促進センター<sup>1)</sup>による)

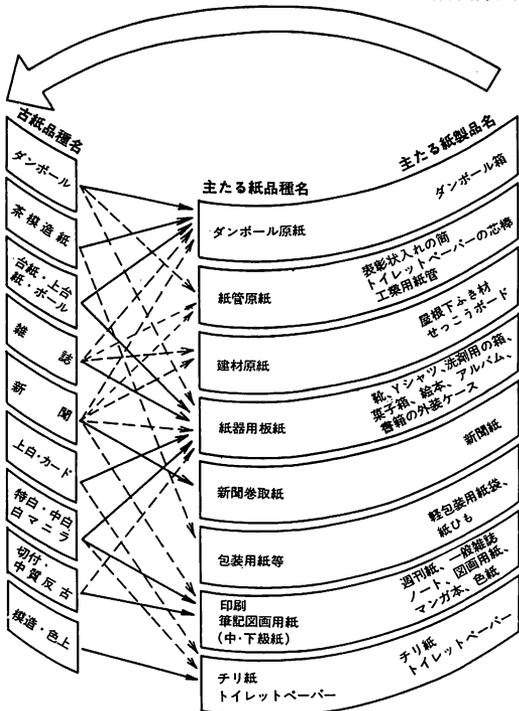


図-2 古紙が配合される紙・板紙品種と主たる製品名  
(古紙再生促進センター<sup>2)</sup>による)

1985年の紙・板紙別生産高は、前者が11,790千t、後者が8,679千tである。すなわち、前者の構成比が58%、後者のそれが42%となる。

ここで新聞を例にとり、古紙価格の推移をみてみよう。この価格は1970年から86年まで、3回の高騰期を別にすれば1kg25円以下(製紙メーカー購入価格)で推移している。3回の高騰期とは1973年末から74年春にかけて(第1次オイルショック)、79年末から80年夏にかけて(第2次オイルショック)、および82年末から83年春にかけてである。最高値を記録したのは74年3月で、1kg55~56円に達した<sup>5)</sup>。

### 3. 古紙再生技術

#### 3.1 再生工程

古紙の再生技術は、古紙を繊維状にほぐす離解操作と、インクその他の異物除去操作が中心になっている。またこれに付随して、水洗、漂白、濃縮、脱水等の操作も工程に組み込まれる。以下、二つの代表的工程について述べる。

(1) 地球釜—スクルーシクナを主要設備とする工程 図-3に示すように、離解装置として地球釜を、

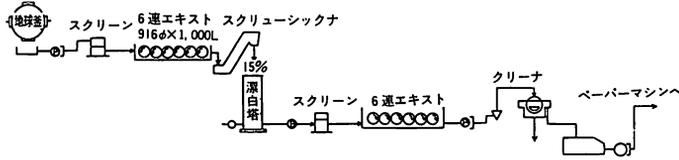


図-3 地球釜—スクリュウシクナを主要設備とする再生工程の例 (クリーン・ジャパン・センター<sup>6)</sup>による)

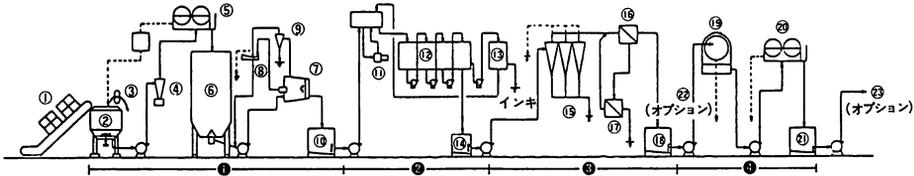


図-4 パルパー—浮選機を主要設備とする再生工程の例 (クリーン・ジャパン・センター<sup>6)</sup>による)

脱インク装置としてスクリュウシクナを用いる工程である。ほかに木片、未離解紙、プラスチックフィルム等の除去用にスクリーンが、砂(場合によっては金物)等の比重の大きい異物の除去用にクリーナが、水洗・脱水用にエキストラクタが、漂白用に漂白塔などが工程に組み込まれている。

(2) パルパー—浮選機を主要設備とする工程 工程の例を図-4に示す。図において、①は古紙コンベア、②はパルパー、③はラガー、④は高濃度クリーナ、⑤はシクナ(濃縮機)、⑥は高濃度タワー、⑦は2次パルパー、⑧は振動スクリーン、⑨は中濃度クリーナ、⑩は貯留槽、⑪はデフレカ、⑫は1次浮選機、⑬は2次浮選機、⑭は貯留槽、⑮はクリーナ、⑯と⑰はスクリーン、⑱は貯留槽、⑲は洗浄機、⑳はシクナ、㉑は貯留槽である。

上記のように、離解装置として1次、2次パルパーが、脱インク装置として1次、2次浮選機が用いられており、これは最も近代的な古紙再生システムの例といえよう。図-4の③は中心に集まるひも類を撚り集める、⑥はパルプをアルカリ熟成してインク等をはがす、⑪は繊維上の取り残しのインクをとる、⑲はパルプ中の汚濁分をスクリーンをとおして洗い流す、などの役割を果たす。品質上の要求で付加するオプションの㉑はごみの分散装置、㉑は漂白装置である。

3.2 再生のための主要単位操作

紙数の都合上、ここでは離解と脱インクに関連する装置の代表的なものを例示するにとどめる。

(1) 地球釜 かつては離解装置の主役を演じた機種であり、蒸煮方式により、パルプ原料の離解を行う。

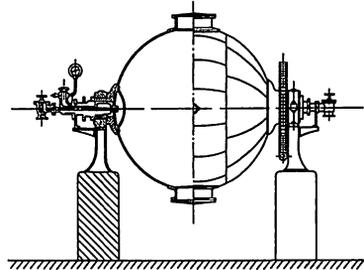


図-5地球釜 (クリーン・ジャパン・センター<sup>6)</sup>による)

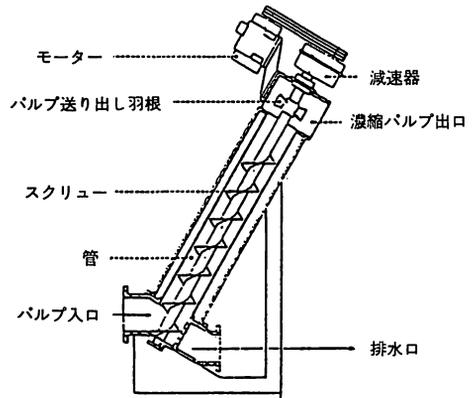


図-6 スクリューシクナ (Galland<sup>7)</sup>による)

今日でも、パルパーで処理しにくい古紙類の離解に使用されている(図-5参照)。

(2) スクリューシクナ 浮選を適用しない場合の脱インク装置としてよく用いられる。図-6において、バルブが管内をスクリュウの作用で上昇し濃縮される間に、繊維よりも遥かに微粒のインク粒子は最下端の



されている。

1) 機械攪拌式 図-8(a)は Voith 型の構造を示す。容量は3.5㎡または10㎡であり、インペラはバルブと空気の混和を達成する。図において、1は空気導入口、2はバルブ供給口、3は脱インクバルブ流出口、4はインクを付着した泡沫のかき出し口である。インク粒子は疎水性であるから、攪拌部で生成した多数の気泡に付着し、気泡の浮力により液面に浮上して、かき出し装置の働きで機外に排出される。

第1系列は通常約10台からなり、インクを付着した泡沫はさらに第2系列(通常2台)で処理される。第1系列で浮上しなかったものが脱インクバルブ、第2系列で浮上した泡沫が系外に排除されるインク分、第2系列で浮上しなかったものは繰り返し処理される。10㎡機10台構成の場合、脱インクバルブを日に110～120t産出できる。Voith型には空気攪拌式のものもある。

日本で考案された機械攪拌式浮選機の例として、三菱MPF型<sup>8)</sup>を挙げることができる。

2) 空気攪拌式 図-8(b)の Lamort-Feldmühle 型は、設置面積が小さい、エネルギー消費が小さい、バルブ濃度を従来型の1.0%から1.5%程度にまで上げられるなどの特徴をもつ。空気とバルブの混和は、導入空気量の調節が可能なインジェクター・システム内でなされる。バルブは上昇後、下降する円運動へと導びかれ、これによりデッドスペースがはぶかれる。インクを付着した泡は、吸引機構により表面部から吸い上げられ、脱インクされたバルブは第2槽目へ送られる。

(c)図は Swemac 型の構造を、(d)図は同機の断面を示す。この型の浮選機はなん段か重ねて設置される。これにより、設置面積の大幅な節減が達成される。バルブは槽底から円筒に対し接線方向に空気とともに圧入され、中心管の周囲を回る。インクを付着した泡は表面に集まり、中心管への溢流口から管底へ流下し排出される。脱インクされたバルブは、槽底から横方向に導びくパイプで上段の浮選槽へ送られ、処理が繰り返されたのち最終産物となる。第2、3、4槽の底から排出する泡はバルブ分も混入するので、図のように第1槽へフィードバックされる。

(e)図の Escher-Wyss 型は、直方体の単一槽からなるもので、1槽の処理能力の大きいことが特徴である。バルブは、図の左手から槽内に供給され、槽底に固定された空気吹出し管の上を通過する。インク粒子

は泡に捕捉されて浮上し、泡沫回収樋に流入する。脱インクされたバルブは、図の右手の出口から流出する。Escher-Wyss 型には、機械攪拌式のものもある。

### 3.3 脱インク用薬品

(1) 浮選法を適用しない場合 主剤は、アルカリ(カセイソーダ、炭酸ソーダ)と洗剤である。これに漂白剤、分散剤その他が適宜加えられる。

(2) 浮選法を適用する場合 浮選はpH8～9といった中程度のアルカリ性のもとで低濃度(普通1%前後)で行う。pH調節は、離解時に加えるアルカリの作用でなされる。このpHは、捕収剤として多用される脂肪酸が脂肪酸石けんを形成するのに好都合である。脂肪酸として一般に用いられているのはオレイン酸であるが、ときにステアリン酸も使用される。ケロシンも安価な捕収剤として使われる。

## 4. 古紙利用で配慮すべき点

### 4.1 古紙に含まれる不良品・禁忌品<sup>5)6)</sup>

最も消費量の多い古紙3品種に含まれるものの例を示すと次のようである。

(1) ダンボール ロー引加工品、樹脂加工品、発泡スチロールつき、ピッチ、アスファルト、金・銀・アルミ箔加工品、ベニヤ板との貼合わせ品、油・ロー付着品。

(2) 新聞 黒損、濃色の広告(チラシ)、変色品、ロー付着品、塵介付着品。

(3) 雑誌 ホットメルト接着剤使用品、帳簿のバインダー、ひもつき、ゴムバンド、帳簿の表紙つき。なおホットメルト接着剤は、ベースポリマー(接着剤の主体をなすもので80%以上を占める)、ワックス、粘着付与剤、可塑剤、充填剤、酸化防止剤等からなる。

### 4.2 古紙の劣化<sup>5)</sup>

無機物質から作られた製品は、再生を繰り返しても処理・加工法が適切であれば、原則として品質は劣化しない。しかし紙類は、再生を重ねるとあるいは再生品の混入率を高めると、紙力(伸び、引張強さ、耐折強さ等)が低下する。

手すき紙に対する試験の1例では、古紙混入率30%とした場合伸びは数%、引張強さは10数%、耐折強さは30数%低下し、混入率60%とした場合伸びは20数%、引張強さは20数%、耐折強さは60数%低下が認められている。しかし劣化は、古紙繊維のアルカリ処理により、ある程度まで防止できる。

紙と板紙を比べると、後者のほうが劣化による問題

が起りにくいので古紙混入率が高い。1984年度の数字によれば、紙製品1 t製造のため消費された古紙の原単位は、板紙0.85 t、紙0.26 tである。

## 5. 製紙原料としない古紙利用<sup>6)</sup>

古紙の大部分は製紙原料に利用されており、またそれが最善の道と考えられてきた。しかし、最近の古紙余剰ぎみの現象や古紙混入による劣化の問題等を背景にして、古紙を製紙原料以外に利用する方法も考えられている。ただし、量的にはまだごくわずかに過ぎない段階である。

(1) 断熱材・吸音材 無機質系のものに代って新聞、ダンボールくずを原料とするセルローズ系のものが普及しはじめている。生産量は月2,000 tぐらいである。

古紙を綿状に解繊して薬品処理を施したもので、断熱性だけでなく吸音効果も優れているといわれる。

(2) 成形材 湿式法の場合は、古紙をスラリー化して熱可塑性のある合成樹脂その他の薬剤を抄き込み、ワイヤ上で積層して圧縮・加圧、乾燥して作られ、箱、器、部品等多種の用途に使用されている。

乾式法の場合は、古紙を粗砕後、熱硬化性樹脂等と混練してペレット化して作られ、自動車内装用の深しぼりを要求するものに用いられる。

(3) ペレット化燃料 例えば新聞古紙のように機械パルプ含有率の高い古紙は、ペレット化して燃料にするのに適している。特に新聞は木材と同じ組成をもつので、カロリーも高く燃料に好適である。また、製紙原料として忌避されるポリラミネート古紙、ワックス含浸紙等も燃料化に向く古紙で、カロリーの向上に役立つといわれる。

古紙をペレット化する造粒機の例としては、円筒型造粒機が挙げられよう。

(4) その他 1) 玉子トレイとしてよく見られるパルプモールド品、2) 建築の内装材として利用され

るパルプセメント板、3) 糖化・発酵して、アルコール燃料、メタノール燃料とする用途などが知られている。

## 6. むすび

以上紙類のリサイクルと題し、紙および板紙の再生利用技術の現状とそれに付随する事項について概説した。

本稿で最も誌面をさいたのは、古紙再生技術に関する章である。特に単位操作としての浮選技術は、近代的再生システムには欠かせないものとなっているので、比較的詳細に記述したつもりである。

古紙の再生利用の促進に支えられて、過去ほぼ10年にわたり、わが国のパルプ用木材の海外依存率が増えていないことは、国民経済の上で好ましいことといえる。わが国の古紙回収率が、上限値といわれる63%に少しでも近づくこと、さらには、わが国で培われた古紙再生利用技術が国際協力に役立つこと、などを期待しつつこの文を終わる次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 古紙再生促進センター；昭和60年古紙需給統計
- 2) クリーン・ジャパン・センター；リサイクル'87
- 3) 通商産業大臣官房調査統計部編；昭和60年紙パルプ統計年報
- 4) 三藤利雄；全国地下資源関係学会合同秋季大会，分科研究会資料「資源リサイクリング」(1986)，1～4
- 5) 古紙再生促進センター；古紙ハンドブック1987
- 6) クリーン・ジャパン・センター；クリーン・ジャパン・センター10年の歩み (1986)
- 7) Galland, G.; Industrie Minérale — Les Techniques, Mai (1983), 259～265
- 8) 檜山俊一；古紙の再生—フローテーション式脱インキシステム，浮選，23巻，3号 (1976)，135～143