複写古紙の脱墨過程における紙の構成成分およびトナーの量的変化

東京大学大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻製紙科学研究室

申 准燮, 磯貝 明, 尾鍋史彦

Quantitative Changes in Paper Components and Toner during Deinking Processes of Wastes of Copying Paper

Jun-Seop Shin, Akira Isogai and Fumihiko Onabe

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

申 准燮

磯貝 明

尾鍋史彦

Quantitative changes in paper components and toner during deinking processes of wastes of copying paper were studied using analytical techniques, such as energy dispersive X-ray analysis (EDXA), glucose sensor, pyrolysis-gas chromatography (Py-GC), and image analysis. First, the method for determining residual toner content in recycled handsheets were established by means of Py-GC. Brightness and k/s values also had good correlation with the residual toner content. Percentages of toner area obtained by image analysis of the recycled handsheets were, however, found to be unsuitable for evaluating the residual toner content. Since disintegration at temperatures lower than the glass transition temperature (65°C) of toner binder was better for removing the toner, disintegration under alkaline conditions was carried out at 50°C in this study. The original copied paper contained calcium carbonate filler, ASA (alkenyl succinic anhydride) size, aluminum compounds originating from alum, and starches originating from wet-end additives and a surface size. Quantitative changes in these paper components and toner were evaluated for recycled handsheets in terms of the following deinking stages; 1) disintegration under alkaline conditions, 2) disintegration under alkaline conditions with a deinking agent, 3) bleaching treatment with hydrogen peroxide, and 4) flotation treatment.

Most of filler, size, aluminum and starch present in the original copied paper were removed by the disintegration process under alkaline conditions followed by the handsheet-making. The residual toner content gradually decreased as the disintegration, deinking agent treatment and bleaching treatment proceeded, although only lower than 17% of the toner was removed from the wastes of copying paper by these treatments. More than 80% of the toner was removed by the flotation treatment. However, since yields of recycled pulp after the flotation treatment was 67-74%, the removal of the toner in the flotation process was accompanied with the partial loss of pulp fibers; removal of toner components from fibers did not proceed efficiently during the processes used in this study. Thus, more

efficient removal of toner components was necessary for utilization of wastes of copying paper.

Keywords : Copied paper, Toner, Py-GC, Flotation, Glass transition temperature, Filler, Starch, Brightness.

1. 緒 言

最近、古紙の利用率がさらに向上させようとする動きが一段と活発になってきた。中でも、古紙の利用率を2000年までに56%にしようとする「リサイクル56計画」がその一例として挙げられる。古紙利用率をこのように向上させるには様々な手段が考えられるが、オフィスの情報関連機器から出てくる、いわゆるオフィス古紙の利用拡大がその一つの鍵である。

1994年度の日本の古紙利用率は53.3%と製紙原料の半分を越えたが¹⁾、その内容をみると、新聞・雑誌古紙、段ボール古紙の利用が大部分である。一方、オフィス古紙の場合は回収率も高くないが、更に、回収された古紙はほとんどが板紙の原料として使用されており、印刷・筆記用紙に再生されるのは1~2%にとどまっている。

オフィス古紙には各種の古紙が混ざっており、MOW (Mixed office waste) と表現されるが、電子複写機の使用により発生する複写古紙 (Wastes of copying paper) やレーザープリンターの印字により発生するレーザープリンター古紙 (Laser-printed wastepaper) が主なものであり、両者の印字方式はほぼ同じである。

オフィス古紙の中でも、複写古紙には上質パルプが多く含有されており、再生資源としての利用価値が高い。しかし、従来の脱墨方式ではトナーの分離がかなり困難であり²⁾、より効果の高い脱墨剤や脱墨システムの開発を目指した研究が活発になっている³⁻⁷⁾。

以上のような古紙の利用技術の開発とともに、古紙の評価・分析技術、中でも、再生紙に残留するインキの分析方法が重要となってきたが、従来、残留インキによる反射率の変化で評価する白色度が一般的方法であった。最近ではこれと共にスキャナーから取り込んだ画像をコンピュータ解析し、紙の表面上の一定大きさ以上の残留インキの個所及び面積率を計算する方法も行われている⁸⁻¹²⁾。また Jordan と Popson は新聞古紙に対し、紙とインキの光吸収係数を利用した式から残留インキ量を求めている¹³⁾。

一般にオフィス用紙には、サイズ剤、填料、歩留り向上剤、紙力増強剤、表面サイズ剤等の複数の成分が

含まれており、これらのオフィス用紙成分は古紙の脱墨過程で部分的に失われるものと考えられる。オフィス古紙中のトナーやトナーバインダーのみならず、オフィス用紙に本来含まれていた構成成分の脱墨過程における挙動を明らかにすることは、得られるオフィス古紙の特性や利用を考える上で重要であるばかりでなく、古紙の脱墨を行う際の廃棄物や排水の管理の上でも重要である。

そこで本研究では、古紙の脱墨過程によるトナー成分の変化に伴い、オフィス用紙の構成成分、すなわち、填料、デンプン、歩留り向上剤の残留量がどのように変化するかを調べるため、オフィス古紙の一種である複写古紙の脱墨過程を取り上げて検討した。また、特に残留トナー量の測定法としては熱分解GC (Py-GC) の応用可能性を検討した。

2. 実 験

2.1 古紙試料の調製

古紙試料としては、市販の坪量68.0 g/m²の複写用紙を電子写真方式のコピー機を用いて、5×5 cmの正方形のべた塗り部分を基本単位として印刷面積(トナー被覆面積)0~100%に印字して得た。離解を容易にするために予め試料を約2 cm×2 cmの細片に切断した。

2.2 古紙の処理

2.1で調製した古紙の離解、漂白及び熟成、フローテーションなどの脱墨処理は次のような流れで行った(図1)。

(1) 離解及び漂白

離解はパルプ濃度5%、温度50℃の条件でTAPPI標準法のT 205 sp-95で示されている離解機を用いて15分間行なった。離解する際に水酸化ナトリウムのみを添加して得たパルプをT1、脱墨剤と水酸化ナトリウムを一括添加して処理したパルプをT2とする(表1)。市販の脱墨剤(固形分=90%、花王㈱)を10%に希釈し、水酸化ナトリウム(特級試薬、和光純薬㈱)を30%の溶液にしてそれぞれ添加した。離解後、ナイロン製の80メッシュの袋状ワイヤーに入れ、遠心脱水してパルプ濃度25%まで濃縮した。

脱水濃縮したパルプT2に、水酸化ナトリウム

Table 1 Conditions of deinking treatments

Treatment	Sequence
T 1	Disintegration (NaOH, 1.5%)
T 2	Disintegration (NaOH, 1.5%+deinking agent, 0.35%)
T 3	Disintegration (NaOH, 1.5%+deinking agent, 0.35%) and flotation
T 4	Disintegration (NaOH, 1.5%+deinking agent, 0.35%) and bleaching (Na ₂ SiO ₃ , 3.0%+NaOH, 1.0%+H ₂ O ₂ , 1.0%)
T 5	Disintegration (NaOH, 1.5%+deinking agent, 0.35%), bleaching (Na ₂ SiO ₃ , 3.0%+NaOH, 1.0%+H ₂ O ₂ , 1.0%) and flotation

Percentages represent weight percent on dry weight of papersheets.

Fig.1 Flowchart of deinking processes.

1.5%, ケイ酸ナトリウム 3.0%, 過酸化水素 1.0%, 脱墨剤 0.15% (いずれも対絶対乾パルプ重量比) を添加し, 60°C で 2 時間漂白及び熟成を行った。この漂白段階まで処理したパルプを T 4 とする。

(2) フローテーション

脱墨剤と水酸化ナトリウムで離解したパルプ (T 2) または, 更に漂白を行ったパルプ (T 4) をそれぞれ離解機で約 1 分間再離解を行った後, 水を加えてパルプ濃度を 1% とし, 水温を 50°C に保ち, フローテーター (FW 型浮遊選別試験機, 共伸産業㈱) を用い 15 分間フローテーション処理を行った。

(3) 脱水及びサンプルシートの調製

T 2, T 4 のパルプにフローテーション処理を行ったパルプをそれぞれ T 3, T 5 とし, 80 メッシュのワイヤーを用いて固形分 10% にまで濃縮した後, 希釈して TAPPI 標準法に従い坪量 80 g/m² の手抄きシートを調製した。また, 各処理パルプの一部を採取し, 繊維長測定機 (Kajaani-FS 200) を用いて繊維長分布を測定した。

2.3 オフィス古紙の構成成分の測定

脱墨各処理段階における構成成分の変化は以下の方法で測定した。

(1) 填料とアルミニウム化合物

本研究で用いた複写用紙に含まれる填料及びアルミニウム化合物の量的変化の分析については, エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX: EMAX-5770 X, 堀場㈱) を付属した走査型電子顕微鏡 (SEM: S-4000, 日立㈱) を用いた。各処理を行った手抄きシートのプレート面を 100 秒間プラチナコートし, 以下の条件で元素分析を行った: SEM の電子線発生条件 20 kV, 倍率 40 倍, EDX の測定時間 500 秒, 定量モード P 5。プラチナコートを各試料同時に行うことにより, 各試料とも同一量のプラチナがコートされたと見なし, プラチナのピークに対する填料成分やアルミニウムのピークの相対値を求めた。

(2) デンプン

シート中のデンプンの定量にはグルコースセンサー (BF-3 T, 新王子製紙㈱) を用いた¹⁴⁾。報告に従い, 二種類のアミラーゼを用いてシート中のデンプンをグルコースに加水分解した後, グルコースセンサーで定量した。

(3) コピートナー

再生紙中のトナーの残留量測定には熱分解 GC (Py-GC: 島津㈱) の GC-14 B に Yanaco 社の GP-1018 を付属させた) を用いて行った。測定条件は, 熱分解温度 450°C, 注入部温度 250°C, FID 検出器温度 280°C,

カラム温度は初期温度 150°C として, 5°C/min で 300°C まで昇温した。それぞれの試料に対して最低 3 回の測定を行い平均を求めた。同様に, シート中のサイズ剤成分の定量も行った¹⁵⁾。また, スキャナーを用いて再生手抄きシートの 5 cm×5 cm の領域から 600 dpi で画像を撮り込み, 1,200 dpi の出力でトナー部分の面積を画像解析によって求める方法も用いた。その際の画素数は 561 万で, 255 のグレーレベルからしきい値によって二値化してトナー部分の面積を求めた。しきい値としては 200 と 215 を選択した。トナーの DSC 分析には, Perkin Elmer 社製 DSC 7 を用いて 5°C/分の昇温速度で空気の下で測定した。

3. 結果及び考察

3.1 残留トナー量の定量

(1) 熱分解 GC による残留トナー量の測定

複写機用トナー粉末を熱分解 GC で分析したところ,

Fig.2 Pyrolysis-gas chromatograms of PPC toner (a), wastepaper (b), and recycled handsheet (c) treated by T5 in Table 1.

図2に示すようにパルプの熱分解物のピークとは分離できる位置に2本(保持時間=27.6と28.5分)の典型的なピークを与えた。これらのピークを熱分解 GC-MS によって分析したところ, トナーのバインダー成分の一種と考えられ, 分子量 300~400 程度のベンゼン環を含むアルキル鎖であった。GC-MS のフラグメントとしては以下の分子量のピークが現れた。保持時間 27.6 分のピーク: $m/e=57, 77, 91, 105, 117, 131, 145, 163, 176, 207, 218, 232, 263$ 。保持時間 28.5 分のピーク: $m/e=91, 117, 194, 207$ 。レーザープリンター用トナーにもほぼ同様の物質が含まれており, これらのピーク面積からオフィス古紙中の残留トナー量を測定できる可能性がある。

そこで, コピー面積が 0~50% の 6 種類の古紙を調製し, 離解だけを行って手抄きシートを調製し, 熱分解 GC によって, コピー面積と熱分解 GC によるピーク面積との関係を調べた。その結果, 図3に示すようにコピー面積と熱分解 GC によるトナー成分由来のピーク面積の間には良好な比例関係が得られた。図3における相関係数は 0.9932 であった。この結果から, 熱分解 GC のピーク面積から, 古紙中の残留トナー量を定量できることが示された。コピー面積 50% の際のトナー含有量は 0.00312 g/g であった。従って, 図3の直線関係から, トナー成分のピークの面積比とシートに残留しているトナー重量の関係は次のよう式で示される。

Fig.3 Relationship between printed area of wastepaper and relative peak area of toner obtained by pyrolysis-gas chromatography.

$$R = P \times 0.06$$

ここで、R は再生紙の g 当たりの残留トナーの重量 (g)、P は熱分解 GC で測定したトナー成分のピークの面積比 (熱分解 GC 全体のピーク面積に対するトナー成分のピーク面積) である。なお、トナーバインダーの種類が複数混入した場合には、トナーの種類によって各ピークの量がやや異なるため、定量性は若干変動する可能性がある。

(2) k/s 値と白色度による分析

更に、k/s 値及び白色度による残留トナー量の定量可能性について検討した。複数の成分からなる紙の光学特性を評価する際に用いられる Kubelka-Munk 理論から、ある紙の R_{∞} は式(1)のように記述される¹⁶⁾。

$$R_{\infty} = 1 + k/s - [(k/s)^2 + 2(k/s)]^{1/2} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、k と s はそれぞれ吸収係数と散乱係数であり、 R_{∞} は紙の厚さが無限大の場合の反射率である。上の式(1)を k/s について書き替えると、式(2)となる。

$$k/s = (1 - R_{\infty})^2 / 2 R_{\infty} \quad \cdots \cdots (2)$$

そこで、式(2)から再生紙の R_{∞} を実測し、コピー面積と得られる k/s の関係を調べた。Kubelka-Munk の式から、トナー成分が微粒子となって均一にシート中に存在していると仮定できれば、コピー面積と k/s との間には直線関係が得られるはずである。図 4 に示すように、コピー面積の増加、すなわち再生紙中のトナーの量が多くなればなるほど、k/s 値も増加し、よい直線関係が得られた。この場合の相関係数は 0.9923 であり、k/s 値によっても残留トナー量が定量できることが示された。しかし、トナー自身の k 値、s 値については種類によらず一定と見て差し支えない

Fig.4 Relationship between printed area of wastepaper and either ISO brightness or k/s value of recycled handsheets.

が、コピー用紙側の k 値、s 値が染料等の色材の混入により変化した場合には誤差が生じるであろう。

コピー面積の増加による再生紙の白色度の変化は、図 4 に示すようにコピー面積の増加、すなわち、残留トナー量が増加するに従い直線的に低下した。白色度は異なった光学特性を有する複数の紙の構成成分に対して定量性が成り立つ根拠はない。しかし、検量線があればある程度残留トナー量を把握することができることを示唆している。

(3) 画像解析による分析

これまで、再生紙の残留インキ量やトナー量を把握するために、再生紙表面に占めるインキやトナー面積を画像解析によって求める方法が用いられてきた。そこで、この方法について検討してみた。図 5 に示すように、スキャナーで取り込んだ画像に対して、2 つのしきい値で検討してみたが、いずれのしきい値を用いた場合でも、コピーの面積率が上がるに従って直線から外れるようになり、本実験で用いた方法では、残留トナー量の定量法としては常に適用可能ではない。以上の結果から、原紙の光学特性によらずに残留トナーの絶対量を求める場合には、熱分解 GC 及び k/s 値が適していることが示された。また、本実験の条件では白色度によっても残留トナー量の変化を把握できることが分かった。

3.2 脱墨処理温度が残留トナー量に与える影響

図 6 には、離解処理の温度を 3 段階に変化させ、フローテーション処理はすべて 50℃で行った場合に得

Fig.5 Relationship between printed area of wastepaper and residual toner area obtained by image analysis.

られた手抄きシートの白色度と熱分解 GC によって求めた手抄きシート中の残留トナー量の関係を示す。50%のコピー面積の複写用紙を用い、全体の処理としては表1のT5の処理を行った。再生シートの収率は約67%であり、この値は処理温度に関わらず一定であった。この図から、50℃での離解処理が最もトナー成分の除去効率がよく、70℃、90℃と処理温度が高くなるに連れて除去効率は低下し、白色度も低下した。

Fig.6 Effects of disintegration temperature on ISO brightness (bar graph) and residual toner content (○) of recycled handsheets.

図7には、本実験で用いたコピー用トナーの示差走査熱量 (DSC) 分析による変化のパターンを示す。トナーバインダー由来と思われる T_g が 65℃ に現れた。従って、トナーバインダーの T_g 以上の温度でオフィス古紙の離解を行った場合、トナーバインダーが軟化し、粘着性が上がるためにパルプ繊維からの脱離性が低下するものと考えられる。そこで本実験では、オフィス古紙の離解—脱墨剤処理及びフローテーション処理を 50℃で行った。

3.3 脱墨処理過程におけるオフィス古紙の構成成分の量的変化

EDX 及び熱分解 GC の測定結果から、本実験で用いた複写用紙は填料として炭酸カルシウムを約5%含む中性紙で、サイズ剤としてはアルケニル無水コハク酸 (ASA) を用いていることが分かった。この複写用紙に50%の面積被覆率でコピーした試料を図1の処理工程に従い脱墨処理し、表1のT1~T5の処理によって得られた再生手抄きシートについて構成成分の量的変化を検討した。

(1) 各処理における収率変化と繊維長分布変化

T1~T5の処理によって得られた手抄き再生シートの収率を図8に示す。フローテーション処理を含まない、T1、T2、T4の処理では、手抄き再生シートとして得られた収率は95%程度であり、フローテーション処理を含むT3では74%、フローテーション

Fig.7 DSC curve of PPC toner. Measured at 5°C/min in air atmosphere.

Fig. 8 Yields of pulps obtained by various deinking treatments of copied wastepaper. T3* represents disintegration of no-printed paper with NaOH and deinking agent followed by flotation treatment.

と漂白処理を含むT5では67%となった。従って、フローテーション処理によって元の複写用紙の25%以上が失われたことが分かる。複写用紙そのものをコピーせずに離解—脱墨処理—フローテーション処理(T3*)した場合は、収率が90%程度であった。従って、T3、T5の収率低下は、脱墨処理の選択性の低下によって、トナーが接着したままの状態でパルプ繊維ごとリジェクト部分に移行したことを示している。これらの結果からも、複写古紙の場合は、より脱墨選択性の高い脱墨剤及び脱墨処理が必要である。

図9には、複写用紙を解繊したパルプ及び、T3、T5処理でフローテーション操作後に得られた再生パルプの繊維長分布を示す。離解のみの場合と、フローテーションを行ったT3及びT5の場合とを比較しても、平均繊維長及び繊維長分布はほとんど同じであり、特に微細繊維部分がフローテーション処理で除去されることはない。従って、フローテーション処理後の収率低下は、トナー成分のパルプ繊維からの脱離性が低いことに由来する。

(2) 各処理における複写用紙中の構成成分の量的変化

以下の構成成分の量的変化の検討は、図8の収率で得られた再生手抄きシートについて行った。

元の複写用紙に填料として約5%含まれていた炭酸

Fig. 9 Distribution of fiber length of recycled pulps obtained by various deinking treatments of copied paper.

Fig. 10 Changes in residual filler content of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper.

カルシウムの各処理段階における量的変化を図10に示すが、約70%の炭酸カルシウムが離解処理で除去された。更に、脱墨剤の添加やフローテーション処理によっても除去され、全脱墨処理工程後では90%以上の炭酸カルシウムが除去されたことが分かる。このような填料成分の除去は、得られる再生紙の光学特性にとってはマイナスの要因となる。すなわち、脱墨処理でも填料成分がある程度保持されれば、再生紙の白

色度及び不透明度の維持に寄与するものと思われる¹⁷⁾。一方、電子顕微鏡観察による複写用紙中の填料分布はある程度凝集しており、このように一旦凝集した填料成分を、再生紙中に保持させることは、均一なシート構造形成にとってはかえってマイナスとなる可能性がある。

内添サイズ剤である ASA 成分は、アルカリ性下の離解処理のみで、そのほとんどすべてが除去された。シート中の ASA 成分のほとんどは加水分解したアルケニルコハク酸あるいはその塩としてシート中に存在していることが報告されており¹⁸⁾、水酸化ナトリウム存在下の離解処理中にナトリウム塩となって溶解除去されたものと考えられる。

本実験で用いた複写用紙には約 1.4% のデンプンが含まれていた。このデンプン成分は、歩留り剤あるいは乾燥紙力剤としてウェットエンドで添加されたものと、表面サイズ剤として塗布されたものに由来すると思われる。各脱墨処理過程でのデンプンの挙動を見ると、デンプン及び製紙用デンプン誘導体類は希アルカリ水溶液に可溶であるため、そのほとんどがアルカリ性下の離解処理で溶解除去されている(図 11)。従って、紙中に含まれるデンプン量によっては離解処理排水に負荷を与えることになる可能性がある。紙中デンプン成分をアルカリ不溶化することができれば、フローテーション処理等で固形分として除去、あるいは再生パルプの一成成分として再利用できる可能性がある。

EDX 分析で検出された複写用紙中のアルミニウム

Fig.11 Changes in residual starch content of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper.

Fig.12 Changes in residual aluminum content of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper.

成分は、他の元素との関連から填料成分としてではなく、内添の硫酸アルミニウム由来と考えられる。このアルミニウム成分は、アルカリ性下の離解処理ではほぼ 80% が除去された (図 12)。

その後の脱墨処理やフローテーション処理、漂白処理後でも 20% 程度が再生シート中に残留しており、複写用紙中のアルミニウム成分は、希アルカリ性の離解処理で容易に除去される部分と、残留する部分に大別された。このようなアルミニウム成分の挙動の差異の原因については不明であるが、この複写用紙が中性紙であることから、シート中のアルミニウム成分の構造や分布の差を反映している可能性がある。

以上の結果から、元の複写用紙中に含まれていた填料、サイズ剤成分、歩留り剤として用いられたアルミニウム成分、更に内添及び表面サイズ処理で添加されたデンプン成分のほとんどは、アルカリ性下の離解処理及びそのパルプによる手抄きシート調製の段階で除去されることが示された。

(3) トナー成分の量的変化及び光学特性の変化

各脱墨処理での残留トナー量の変化及び白色度、k/s 値の変化をそれぞれ図 13, 図 14, 図 15 に示す。

熱分解 GC を用いた残留トナー測定法を用いて脱墨それぞれの段階における残留トナーの量を測定したところ、図 13 の T1, T2, T4 に示すように、離解処理、脱墨剤処理、漂白処理の進行と共に残留トナー量が低下し、T4 処理までで元の約 17% のトナーが除去された。しかし、依然として 83% 以上のトナー

Fig.13 Changes in residual toner content of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 50%.

Fig.14 Changes in ISO brightness of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 50%.

成分が残留しており、これらの処理のみによるトナー除去の効率は低い。一方、フローテーション処理を含む T3 及び T5 の処理によって残留トナー成分は激減し、T3 で 83%、T5 で 92% のトナー成分が除去

Fig.15 Changes in k/s value of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 50%.

され、フローテーション処理がトナーの除去に必須であることを示している。しかし、図 8 に示すように、T3 及び T5 の収率はそれぞれ 74 及び 67% であり、トナー成分の 80% 以上を除去するために、パルプの収率低下を伴うことを示している。

図 14 には、T1~T5 の処理における白色度の変化を示す。T1, T2, T4 処理による白色度の僅かな向上、T3, T5 処理による白色度の向上は、図 13 の残留トナー量の傾向とほぼ一致していた。図 15 には、k/s 値の変化を示した。T4 処理によって k/s 値が増加しているが、この理由は不明である。しかし、T4 処理の結果を除けば、白色度の変化同様、k/s 値も残留トナー成分の量に対応している。

以上のように、脱墨処理の各段階による残留トナー成分量の変化は白色度、k/s 値にはほぼ対応しており、トナー成分は主としてフローテーション処理によって一部分の繊維と共に除去された。従って、パルプ収率をある程度維持しながら、残留トナー量を更に減少させるような処理が必要であることを示している。また、今回の脱墨処理は、50% の面積でべた塗り状態にコピーした試料を用いている。しかし、コピー面積の変化やコピー状態の変化（細かい点によるコピー等）によって変化する可能性がある。実際、100% べた塗り状態でコピーした試料を前述と同様、T1~T5 処理したところ、残留トナー量の変化、白色度の変化、k/s 値の変化は図 16、図 17、図 18 となり、特にアルカリ性

Fig.16 Changes in residual toner content of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 100%.

Fig.17 Changes in ISO brightness of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 100%.

下の離解処理で40%程度ものトナーが除去されている。なお、フローテーションによる除去の傾向は50%のコピー面積の場合と同じであった。

Fig.18 Changes in k/s value of recycled handsheets by various deinking treatments of copied paper. Printed area of the original copied paper was 100%.

4. 結 論

(1) 複写古紙の残留トナー量の評価方法として、熱分解GC法を検討し、白色度、k/s値、画像処理による結果と比較した。その結果、熱分解GC法は残留トナー量の定量法として適していることが示され、熱分解GCによるトナー成分のピーク面積比から残留トナー量を求める関係式を導いた。

(2) 脱墨処理温度と残留トナー量の関係を検討したところ、トナーのガラス転移点以下の温度で離解—脱墨処理した再生紙中の残留トナーの量が少なく、ガラス転移点以上ではトナーの除去効率が下がった。

(3) これらの知見を基にして、複写古紙の各脱墨処理過程での紙の構成成分およびトナーの量的変化を測定した。その結果、元の複写用紙中に含まれていた填料、サイズ剤成分、歩留まり剤として用いられたアルミニウム成分、更に内添及び表面サイズ処理で添加されたデンプン成分のほとんどは、アルカリ性下の離解処理及びそのパルプによる手抄きシート調製の段階で除去された。

(4) 脱墨処理の各段階による残留トナー成分量の変化は白色度、k/s値にほぼ対応していた。トナー成分は離解、脱墨剤処理、漂白では除去率が低く、主としてフローテーション処理によって微細繊維部分と共に、その80%以上が除去された。しかし、パルプ収率も74~66%に低下した。これは、パルプ繊維が一部接着

したままの状態のトナー成分がフローテーションリジエクトとして除去されてしまうためである。従って、トナーとパルプ繊維の分離性を上げて、パルプ収率をある程度維持しながら残留トナー量を更に減少させるような脱墨処理が必要である。

謝 辞

脱墨剤を提供いただいた花王株式会社及び、繊維長分布測定にご協力いただきました日本製紙株式会社中央研究所の田部井宏一、飯森武志の両氏に感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) PPI Annual Review, 37 (7), 19 (1995)
- 2) 本間彰：紙パルプ技術タイムス, 1994 年臨時増刊号, p.97 (1994)
- 3) Matzke, W. : Sulzer Technical Review, 3, 11(1991)
- 4) Lumiainen, J. : Paper Tech., 35 (9), 41 (1994)
- 5) Jackson, L. S. ; Heitmann, J. A. ; Joyce, T. W. : Tappi J., 76 (3), 147 (1993)
- 6) Jeffries, T. W. ; Klunness, J. H. ; Sykes, M. S. ; Rutledge-Cropsey, K. R. : Tappi J., 77 (4), 173 (1994)
- 7) Anderson, J. : Sandoz Publication, p.176 (1995)
- 8) McCool, M. A. ; Taylor, C. J. : Tappi J., 66 (8), 69 (1983)
- 9) Gray, R. T. ; Simon, G. C. : Proc. Tappi Papermakers Conf., p.247 (1992)
- 10) Trepanier, R. J. : Pulp Paper Can., 95 (12), T 547 (1994)
- 11) Jordan, B. ; Nguyen, N. ; Trepanier, R. : Proc. Tappi Recycling Symp., p.377 (1993)
- 12) Borchardt, J.K. : Proc. Tappi Recycling Symp., p.485 (1994)
- 13) Jordan, B. D. ; Popson, S. J. : J. Pulp Paper Sci., 20 (6), J 161 (1994)
- 14) 林隆之, 津村直樹：紙パルプ技術タイムス, 9 月号, p.1 (1992)
- 15) Isogai, A. ; Nishiyama, M. ; Onabe, F. : Sen'i Gakkaishi, 52, 195 (1996)
- 16) Casey, J. P. : "Pulp and Paper-Chemistry and Chemical Technology", Vol. 3, p.1858 (1981).
- 17) Borchardt, J. K. ; Rask, J. H. : Tappi J., 77 (9), 161 (1994)
- 18) Nishiyama, M. ; Isogai, A. ; Onabe, F. : Sen'i Gakkaishi, 52, 180 (1996)

(受付：'96.12.26)