

印刷紙からのトナー除去に関する研究

Study of removal of toner from used paper

井堀 春生* · 吹上 誠 · 藤井 雅治
Haruo IHORI, Makoto FUKIAGE and Masaharu FUJII

In spite of the spread of personal computer, amount of office papers to be used doesn't have tendency to decrease. In general, the used papers are withdraw and recycled in order to preserve the environment. If we could reuse used papers repeatedly without withdrawing those, it is very convenient. So, we try to remove toner from used papers using the laser.

keyword : recycle, environmental conservation, removing toner, laser, laser ablation

1. はじめに

パソコンの普及により、近年、論文・書籍や書類等の電子化が進み、「ペーパーレスの時代の到来」と言われているが、実際には電子化されたものではなく、これを印刷したものを使用するが多い。そのためミスコピーや使用済みコピー用紙は回収されリサイクルされるようになった。しかしながらそのリサイクルには回収作業・再生作業等のコストがかかり、また再生された紙は一般に紙質が低下する。そこで、例えば、使用済みのコピー用紙をコピー機やプリンタのような物に通すだけで印刷された部分を除去して再び紙が使用可能になるコピー機やプリンタのような物があれば、手軽にリサイクルが可能であり、しかも環境保全に大きく貢献できる。

一方、レーザはこれまでもあらゆる分野で利用され、本学機能材料工学科機能材料工学でも基板等に焼き付けられた金属部品の回収に利用されるなど、環境分野での応用も研究されている。その際、レーザブレーションと呼ばれる技術が応用されていることが多い。レーザブレーションとは固体表面に強いレーザ光を照射すると局所的に熱せられることにより、表面から原子、イオン、分子などが気体中に飛散する現象であり、工業の他、医療でも用いられている。このレーザブレーションを応用すれば、コピー用紙は一般的に白色であり、印刷部分は通常黒で着色されているため、それらの部分のレーザのエネルギー吸収率の違いから、印刷部分のみ除去することが可能ではないかと考えた。

これまで、コピー用紙から印刷部分であるトナーを除去するために使用するレーザの波長およびレーザエネルギーについて考察をおこなってきた結果、

- ・印刷された紙に、波長が300 nmから800 nmのレーザ光をパルス状に制御して照射すること
- ・レーザ光のパルス幅が1 μ s以下であること
- ・レーザ光を1回当たり4 mJ/mm²から20 mJ/mm²のエネルギーで照射することが必要であることが判明した¹⁾。この結果をもとにして印刷部分にレーザを照射すると、図1に示すように、印刷部分が除去され再利用可能な状態に戻す事が可能である。

* 松山市文京町3 愛媛大学工学部 機能材料工学科

* Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering Ehime University

原稿受理 平成16年10月29日

しかしながら、本手法においてはレーザー本体のエネルギーや波長だけでなく、雰囲気や印刷面の状態によっても変化すると考えられる。そこで本論文ではこれらを考慮して、過去にトナー除去において有効とされている印刷面に対する処理として界面活性剤希釈液塗布と紫外線照射の2つについて、本手法における効果を検討した、さらにはレーザー照射時の雰囲気を変えた場合にトナー除去をおこなった結果を報告する。



図1 コピー用紙全面を黒く印刷した試料(a) に最適なエネルギー条件でレーザーを照射した場合(b)

2. 紙のリサイクルの現状²⁾

新聞、雑誌、段ボールなどの紙はリサイクルによってほとんどが再び紙になり、再生紙と呼ばれる。使い終わった紙は古紙と呼ばれ、これが再生紙の原料になる。

紙は新聞、雑誌、段ボール等に分別して回収に出すと、回収専門の業者などを経て製紙原料問屋に集められ、そこから製紙メーカーに買い取られて、新たな紙に生まれ変わる。

古紙からの再生の工程は、

- (1) 古紙に混ざっている紙以外のもの（ビニール、プラスチック、他）を取り除く。
- (2) きちんと仕分けする。
- (3) 巨大なミキサーにかけてどろどろにする。
- (4) ホッチキスの針などを取り除く。
- (5) インク抜きをして漂白剤で白くする。
- (6) パルプ原料として再び紙にする。

となる。

1999年には古紙のリサイクルは約56%であった。トイレットペーパーなどのようにリサイクルが不可能な紙もあるので、それを除くと全体の約10%のリサイクル可能な紙が、回収されないで焼却場または埋立地に捨てられたことになる。日本は国民1人あたりでは世界第7位の紙の消費国（1999年）であり、紙のリサイクルを進めれば、地球上の森林資源の節約になると同時に、ごみを減らすことができる。

3. レーザブレーション³⁾

レーザーブレーションとは、レーザー光を無機・有機物、あるいは金属といった固体の表面に照射したとき発生するプラズマ発光と衝撃波を伴った固体表面の爆発的な剥離のことを言う。固体標的をレーザーで照射するとき、レーザーは固体密度以下のカット密度までしか透過できず、そこでプラズマにエネルギーを与える。このエネルギーは質量の軽い電子などによって輸送され、そこを加熱する。高温化し

た領域は、真空中に噴出すると同時に、その反作用によって固体標的を圧縮する。このはがれゆく領域のことをアブレーション領域と呼ぶ。はがれゆく部分の全質量を M として、噴出速度を u とすると、吸収されたエネルギー E は $E = (1/2) M u^2$ の噴出エネルギーに費やされる。このときの反作用として固体標的の受ける運動量は $M u = (2 M E)^{1/2}$ となる。

現在実用化されているレーザー加工は、主に CO_2 レーザや Nd:YAG レーザを用いたものであり、赤外域のレーザー光を熱エネルギーとして利用した熱プロセスである。その熱的レーザープロセスを大別すると、①除去(切断、穴あけ、マーキングなど)、②溶接、③改質(表面硬化、合金化など)などがある。

これに対し、紫外域で高出力なエキシマレーザーを用いたレーザー加工プロセスは、フォトンエネルギーの大きい紫外レーザー光による光励起化学反応を介して、材料の表面処理や創成を行うもので、光励起科学プロセスということがいえる。このエキシマレーザーを用いた光化学プロセスは、従来の熱プロセスに比べて低温のプロセスであり、選択的・局所的表面処理(CVD、ドーピングなど)や微細加工(エッチングなど)が可能となるので、半導体プロセスなどのエレクトロニクス分野への応用のみならず、生体処理・治療などの医療分野への応用でも注目されている。

現在、本研究に使用しているレーザーは YAG レーザの第 2 高調波であり、波長は 532nm である。YAG レーザの基本波を使用すると、熱作用により照射面が焦げることがすでに明らかとなっている。

4. 実験方法

4.1 表面処理をした場合

使用済みの印刷紙を回収しリサイクルする際、界面活性剤の液に浸す工程がある。これは印字部分、すなわちトナーを浮かせる効果をねらったものである。本研究においても、あらかじめ界面活性剤を塗布した印刷面にレーザーを照射した場合について検討を行っておく必要がある。

レーザープリンタによって全面にトナーを付着させ、表面に原液から 16 倍まで希釈した界面活性剤を塗布して乾燥させたものを試料とし、60mm×60mm の大きさに切って試験セル表面に貼りつけた。試験セルは図 2 に示すように一辺が約 10 cm のステンレス製の立方体容器で各面に直径約 30mm の穴が開いており、ガラス窓等を取りつけることが可能である。セルは X-Y-Z ステージ上に固定された。ステージは左に 1 mm/s の速度で 15 mm 移動し、下に 0.7mm 下がり、その後右に 1 mm/s の速度で 15 mm 移動し下に 0.7mm 下がる。この動作を 15mm 下がるまで繰り返し、試料にレーザーを照射した。実験装置の概略を図 3、実際のレーザー照射範囲を図 4 に示す。X-Y-Z ステージコントローラーはレーザー照射と同時に動作を開始する。光源には YAG レーザの第 2 高調波を使用した。レーザーの波長は 532nm で、試料に照射されるレーザーの単位面積当りのエネルギーは $10\text{mJ}/\text{mm}^2$ とした。

レーザー照射後、試料をスキャナーで取り込み、黒を 0、白を 255 とする白色度を求め、それぞれを比較、検討した。

なお、白色度の算出方法は次の手順とした。

- 1) レーザを照射した試料をスキャナーで取り込む。
- 2) 取り込んだ画像を画像処理ソフトによってグレイスケールにより白黒表示(256 階調表示)する。

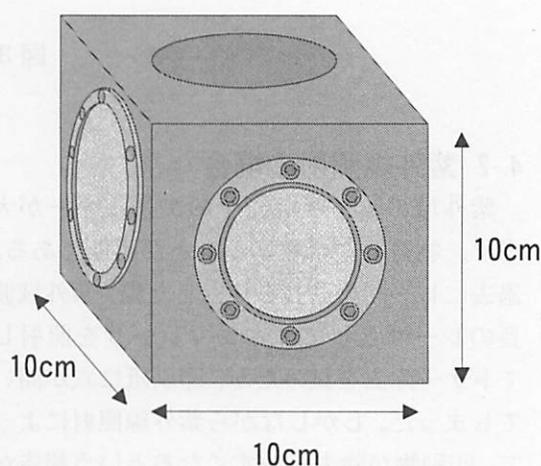


図 2 試験セル

- 3) トナーが除去できている部分の 100×100 ドットの範囲を指定し、この範囲内の階調数を合計して、平均階調を求め、これを 255 で割ったものを試料の白色度とする。

この算出方法で求めた白色度はレーザーを照射する前の紙では 99.6%，再生紙では 97.9%であった。

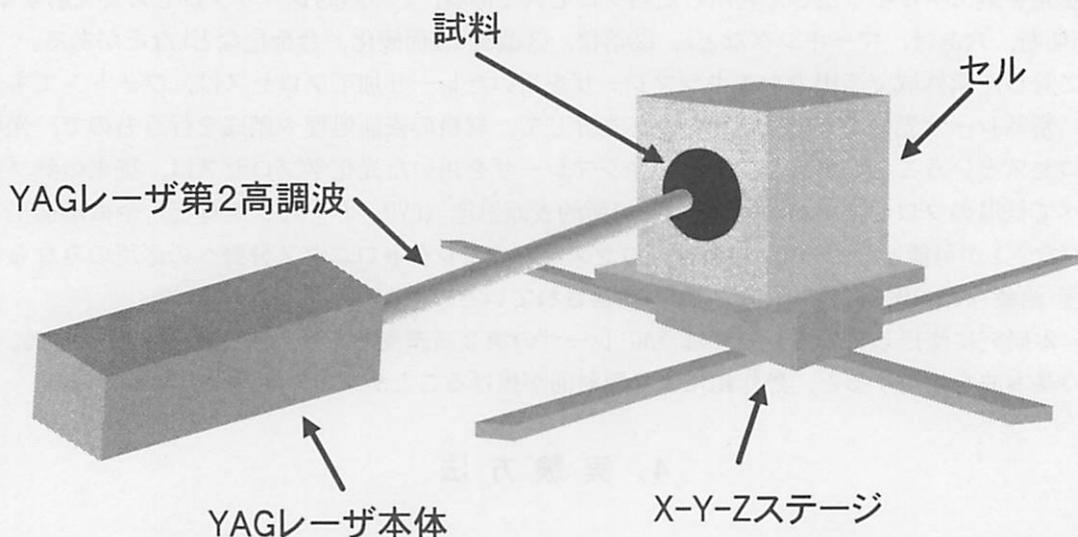


図3 実験装置の概略

4.2 紫外線照射の場合

紫外域のレーザーは光子のエネルギーが大きく、物質の結合を切ることが可能である。過去にレーザーの波長を検討した際、紫外域波長のレーザーとしてエキシマレーザーを照射してトナー除去を試みたが、印刷紙に穴が開いてしまった。しかしながら紫外線照射によって、印刷物が除去しやすくなるという報告があり、本手法においても有効であるかどうか検討しておく必要がある。

そこで図5に示すように紫外線ランプ(キセノンランプ)を用いて、紫外線を5分照射した後にYAGレーザーを照射する場合と、紫外線とレーザーを同時に照射する場合について、同様の方法でトナー除去をおこなった。得られた結果とYAGレーザー単体照射の場合と比較し、紫外線照射の効果を検討した。

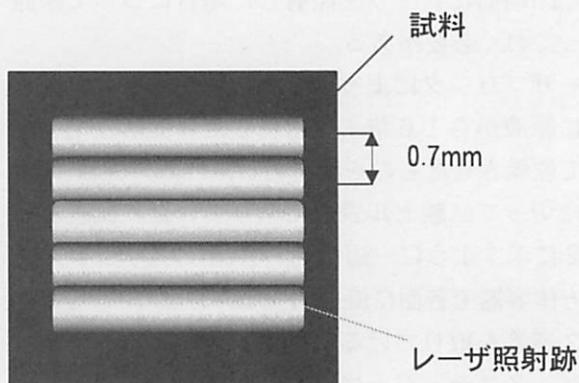


図4 レーザ照射範囲

4.3 雰囲気を変えた場合

我々がおこなっている研究の最終的な目的は、トナーを除去できるコピー機やプリンターのようなもの作ることである。将来的にはなにか容器の中でトナー除去を行なうことになることが考えられるため、セル内部でのトナー除去を検討しておく必要がある。そこで、次のような実験をおこなった。

図2のセル内部にコピー機によって全面にトナーを付着させ 6 cm×6 cm に切ったものを試料とし、これをセルの内部に貼り付けた。図6に示すように、セルの片側から窒素または空気を流し入れた。気体流入口の反対側は開放した。これは、気体の流れを作るため、狭い密閉された空間でレーザーを照射すると、セル内に一度除去したトナーが浮遊し再び試料に付着する現象が見られ、白色度が大きく低下することが明らかとなっているためである。窒素または空気の流量は流量計によって調整できるようになっており、流量を 0 l/min から 3 l/min まで 0.5 ずつ変化させ試料の白色度の変化を測定した。

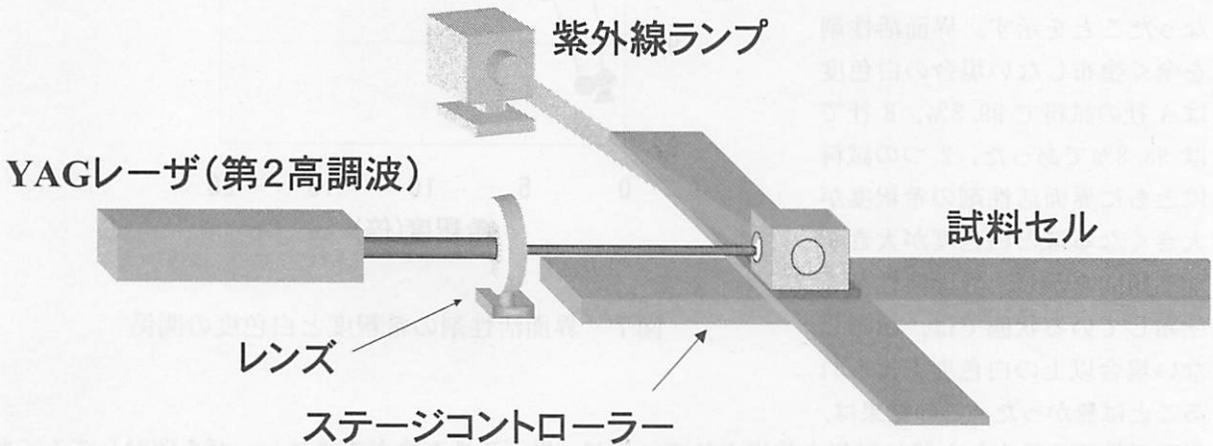


図5 紫外線照射によるトナー除去

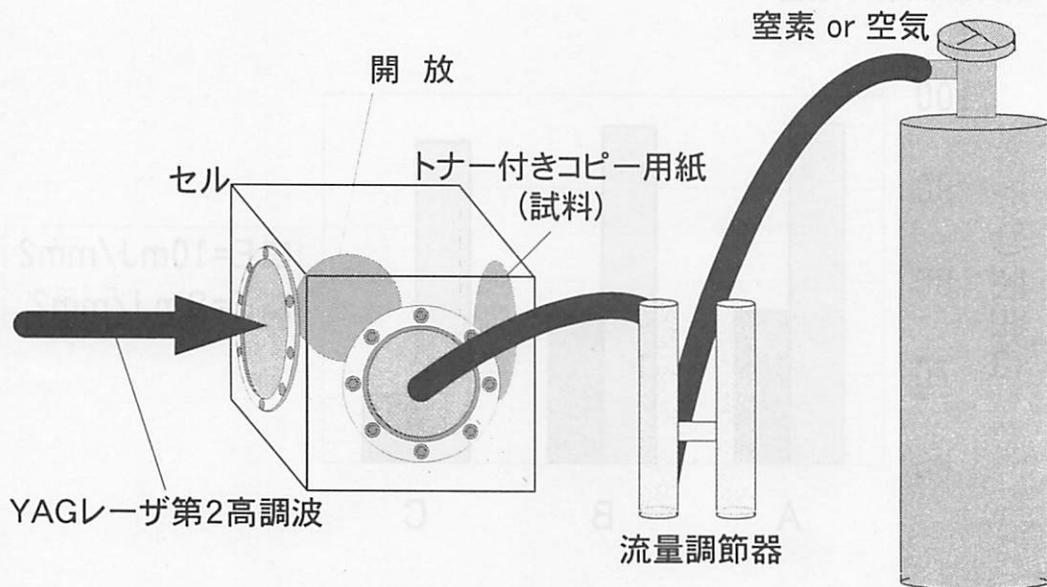


図6 雰囲気試験装置

5. 結果および考察

5.1 表面処理をした場合

界面活性剤の希釈液を印刷面に塗布した場合の白色度の変化を図7に示す。図中のA,B社は、トナーおよびコピー機に特殊性がある可能性を考慮して、異なるメーカー2社のコピー機を用いて試料を作成し、実験をおこなったことを示す。界面活性剤を全く塗布しない場合の白色度はA社の試料で99.3%、B社では98.8%であった。2つの試料はともに界面活性剤の希釈度が大きくなるほど白色度が大きくなる傾向を示し、界面活性剤を塗布している状態では、塗布しない場合以上の白色度を得られることは無かった。この結果は、界面活性剤を塗布した後に試料を乾燥させているが、界面活性剤塗布直後にレーザーを照射してみても同様の傾向が得られた。

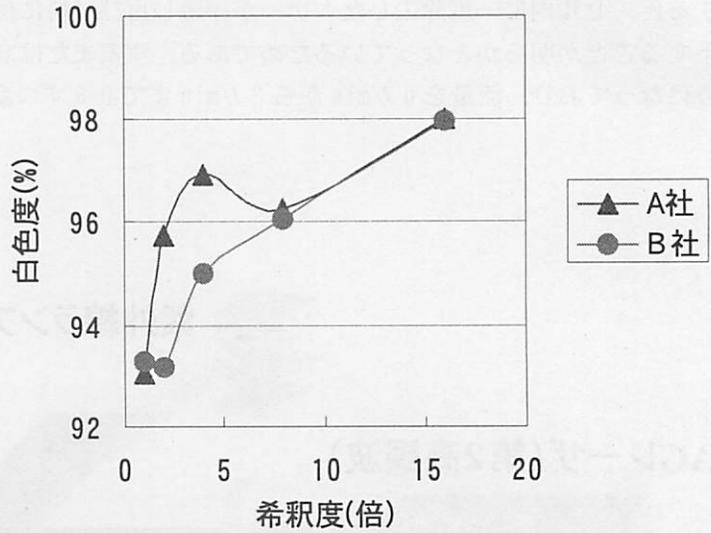


図7 界面活性剤の希釈度と白色度の関係

以上のことからレーザー照射によるトナー除去において界面活性剤塗布は効果が無いと判断できる。

5.2 紫外線照射の場合

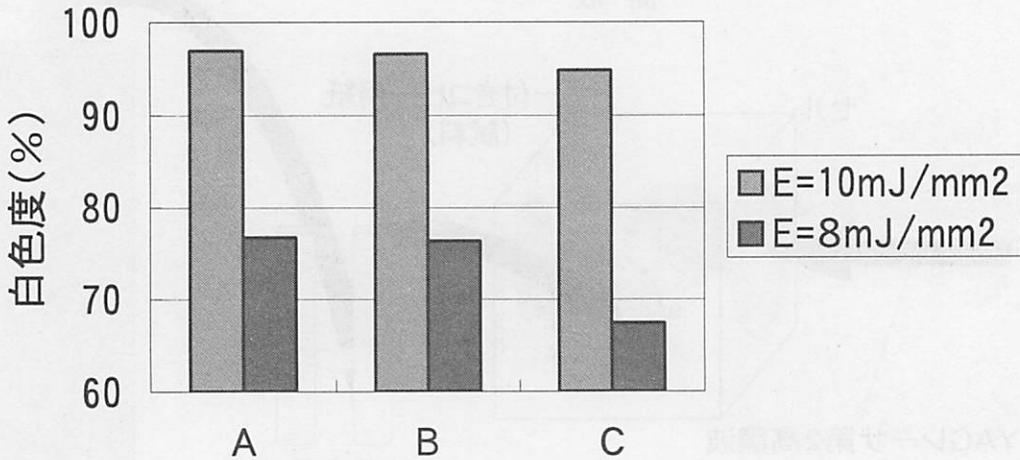


図8 紫外線照射した場合の白色度

A: 紫外線照射無し B: 5分間紫外線照射後 C: 紫外線同時照射

紫外線を照射した場合の結果を図8に示す。横軸のA, B, Cは実験の条件を表わしており、Aが紫外線照射せずにトナー除去をおこなったもの、Bが5分間紫外線照射後、YAGレーザを照射してトナー除去をおこなったもの、Cが紫外線とYAGレーザを同時照射してトナー除去をおこなったもので、それぞれの白色度を示している。

紫外線をレーザと同時に当てると白色度は若干低下した。また、五分間の紫外線照射では白色度ほとんど変化がなかった。紫外線の効果をやりはっきりさせるために、YAGレーザのエネルギーを小さくして同様の実験をおこなったところ、紫外線照射によって、トナー除去が容易になるという結果は得られず、本手法において紫外線照射は効果がないことがわかった。

5.3 雰囲気を変えた場合

実験結果を図9に示す。横軸は流量(l/min)、縦軸は白色度(%)を表している。空気・窒素共に流量0のときは白色度が大きく下がったが、流量を与えることによって白色度が大きくなっていることがわかる。しかしながら、流量の大きさの変化による白色度の変化はほとんどなかった。これはセル内に浮遊している除去されたトナーが軽量であるため、0.5 l/min 以上の流量を与えることで、トナーがセル外に流し出されるからである。よってセル内でトナー除去を行うときには、気体を0.5 l/min 以上流すか、トナーを回収する必要がある。

また空気より窒素の方が白色度は高くなった。この理由としては、気体中に含まれる酸素によって、レーザ照射時に紙が酸化し変色することが原因である。これより、酸素の有無によって、白色度が変化することが分かった。

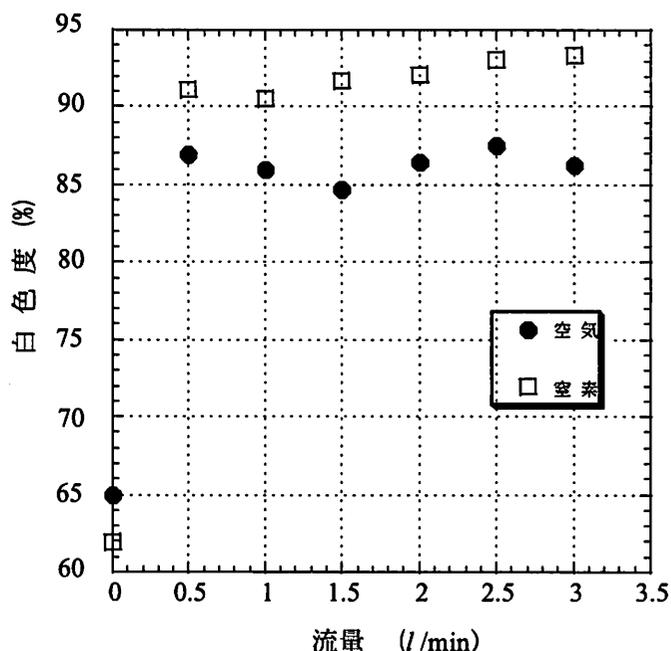


図9 雰囲気の流量と白色度

6. ま と め

トナー除去において有効とされている印刷面に対する処理として、界面活性剤希釈液塗布と紫外線照射の2つについて、本手法における効果を検討したが、これら2つの処理は、YAGレーザ照射によるトナー除去においては有効性が認められなかった。しかしながら表面処理もトナー除去の効率化を計る上で重要であり、今後も違うアプローチを検討する必要があると考える。

また、大気中より窒素中の方がトナー除去後の白色度が大きかったことから、少なからず紙面が酸化している可能性があることがわかった。さらに、密閉された容器内では除去されたトナーが浮遊し再付着することが明らかとなった。このことは装置化を検討する際に、例えば除去されたトナーを回収する装置を付加する必要があることを意味する。

参考文献

- 1) 特出願 2004-132234: "使用紙再生装置および使用紙再生方法"