レーザーを用いた印刷紙のトナー除去における波長の検討

正員 井堀 春生* 非会員 吹上 誠*
 非会員 吉田 剛規* 正員 藤井 雅治*
 非会員 二宮 英樹**

Study of Wavelength for Removal of Toner from used Paper by Laser

Haruo Ihori*, Member, Makoto Fukiage*, Non-member, Takenori Yoshida*, Non-member,
 Masaharu Fujii*, Member, Hideki Ninomiya**, Non-member

In spite of the spread of personal computer, amount of office papers to be used does not have tendency to decrease. In general, the used papers are withdraw and recycled in order to preserve the environment. If used papers could be reused repeatedly without withdrawing those, it is very convenient. So, we try to remove toner from used papers using some kinds of laser, and concluded that second harmonic YAG laser was one of useful laser.

キーワード：リサイクル，環境保全，トナー除去，レーザー，コピー用紙

Keywords: recycle, environmental conservation, removing toner, laser, printing paper

1. はじめに

金属加工や薄膜作成の他，医療でも用いられているレーザーアブレーションは，固体表面に強いレーザー光を照射すると，熱的，光化学的あるいは力学的エネルギーに変換され，その結果，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る。コピー用紙は一般に白色であり，印刷部分は通常黒で着色されているため，レーザーアブレーションを応用すれば，それらの部分のレーザーのエネルギー吸収率の違いから，印刷機種種に依存することなく印刷部分のみ除去することが可能ではないかと考えた。

一方，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，実際には印刷したものを使用する場合が多く，紙の使用量はむしろ増えている。そのためミスコピーや使用済みコピー用紙はリサイクルされる傾向にある。近年，環境保全意識の高まりから，紙のリサイクル率は年々上昇しているが，コピー用紙が分類される上質紙系のリサイクル率は伸びが鈍い。また，リサイクルには回収および再生作業等の手間がかかり，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

プリンタに通すだけで印刷された部分を除去して再び印刷可能にする装置があれば，コピー用紙の使用量を大幅に減少させることができ環境保全に大きく貢献できる。

このような観点から，我々はレーザー照射によってトナー除去をおこなう装置が実現可能であることを具体的に示すために研究を開始した。本論文では，レーザー照射によるトナー除去のための最適なレーザーの1つとしてYAGレーザーの第2高調波が有効であることを報告する。

2. 波長の選択

レーザーアブレーション技術を応用する際に広く用いられ，安定した出力を得ることできるパルスYAGレーザー（波長1064nm，パルス幅7ns，出力100mJ）とXeClエキシマレーザー（波長308nm，パルス幅62ns，出力24mJ）を用いてトナー除去を試みた。汎用のモノクロレーザーコピー機によってA4サイズのコピー用紙（コクヨKB用紙）の全面にトナーを付着させ（今後これを試料紙（sample paper）と呼ぶ），6cm×6cmに切ったものを試料とし，これに10mJ/mm²でレーザーを照射したところ，YAGレーザーでは熱作用により照射面が茶色に変色した。また，エキシマレーザーを用いると紙自体を破壊してしまった。

そこで，試料紙，未使用のコピー用紙に対して，分光光度計を用いて各波長の光に対する反射率を測定した。結果を図1に示す。横軸が波長（nm），縦軸が反射率（%）を表わす。試料紙の反射率は波長に関係なくほぼ一定で約5%であった。このことから印刷部分のエネルギー吸収率は波長に依存しないことがわかる。未使用紙の反射率は，波長が420から900nmの間では約70%でほとんど変化しなかつ

* 愛媛大学

〒7090-8577 松山市文京町 3

Ehime University,

3 Bunkyo-cho, Matsuyama, 790-8577

** (株) 四国総合研究所

〒761-0192 高松市屋島西町 2109-8

Shikoku Reserch Institute INC.

2109-8, Yashima-nishi, Takamatsu, 761-0192

図 1 波長によるレーザー照射面の反射率の違い
Fig. 1. Analysis of irradiated area with spectro-photometer.

たが、波長が 420 nm 付近で急激に減少した。また、XeCl エキシマレーザの波長領域では白色部分でも 50% 以上のエネルギーを吸収することがわかった。このことが、エキシマレーザを照射すると紙自体が破損してしまう原因であると考えられる。

以上のことから、トナー除去にレーザを用いる場合は、未使用紙での反射率が高く、なおかつ波長ができるだけ短い 420 nm に近い波長を持ったレーザを使用することが望ましいと考えられ、その 1 つとして YAG レーザの第 2 高調波 (532 nm, 8 ns, 30 mJ) が選択された。

3. YAG 第 2 高調波の有効性の検証

YAG 第 2 高調波を照射した試料を図 2 に示す。レーザー照射面はほぼ白色で、再利用に耐える状態であることが目視によって判断できた。実際に、この照射面に再び印字をおこなってみたが、全く問題なく印字することができ、さらに、再度除去することも可能であった。

より詳細に観察するために、レーザ照射面とトナー付着面の境界部分を電子走査型顕微鏡 (SEM) によって撮影した。その写真を図 3 に示す。図中の点線より上の部分がレーザが照射されてトナーが除去された部分で、点線より下の部分はトナーが付着している (レーザが照射されていない) 部分である。上下を比較すると明らかなように、レーザが照射された部分は下の部分と異なり、紙の繊維をはっきりと確認することができ、トナーが除去されていることが確認できる。

さらに、照射面の FTIR 解析結果を図 4 に示す。YAG レーザの基本波を照射した場合に特徴的であった C=O 結合の存在を示す 1720 cm^{-1} 付近の吸収ピークがほとんどみられず、水分に起因する 3300 cm^{-1} の吸収ピークは未使用紙と同程度存在していることがわかり、全体的に未使用紙のスペクトルと非常に良く似たスペクトルを示し、トナーが除去されていることが FTIR の結果からもわかる。

以上の結果から、トナー除去にレーザアブレーションを利用する場合、YAG レーザ第 2 高調波はトナー除去に有効なレーザの 1 つであることが示された。今後、レーザの

図 2 YAG レーザ第 2 高調波を照射後の試料の状態

Fig. 2. Photograph of sample paper irradiated by second harmonic YAG laser.

図 3 YAG レーザ第 2 高調波照射面の SEM 観察画像

Fig. 3. SEM photograph of area irradiated by second harmonic YAG laser.

図 4 YAG レーザ第 2 高調波を照射した面の FTIR スペクトル

Fig. 4. FTIR spectrum of area irradiated by second harmonic YAG laser.

パルス波形や照射エネルギー密度とトナー除去の関係などについてさらに検討していく。

最後に、本研究の一部は文部省科学研究費補助金の援助を受けておこなわれた。

(平成 17 年 2 月 9 日受付)