
レーザ光強度分布制御によるサーマルリライタブル記録媒体の繰返し耐久性向上

Improvement of Repetition Durability by Controlling Intensity Distribution of the Laser Beam for Laser Recording on Thermal Rewritable Media

川原 真哉* 石見 知三* 堀田 吉彦*
Shinya KAWAHARA Tomomi ISHIMI Yoshihiko HOTTA

要 旨

サーマルリライタブル記録媒体をレーザ光により加熱して記録するレーザ記録では、非接触であるために離れたところから記録が可能であり移動体への記録も可能となることから、サーマルリライタブル記録媒体の用途が広がる可能性がある。一般にレーザ光の強度分布は中央部が強いガウス分布であるため、中央部に過剰のエネルギーが加わって高温になり、印字及び消去を繰り返すと記録媒体の層破壊や材料の分解等が起こり、濃度低下や消え残りが発生する。この濃度低下や消え残りを光強度分布を制御する事により改善できる事を見出した。さらに熱拡散シミュレーション計算の結果から、記録媒体が均一に加熱されている事が繰返し耐久性の向上に寄与している事がわかった。

ABSTRACT

We are studying laser recording on thermal rewritable media. As an image is recorded by an irradiation of laser beam out of contact between the energy source and the medium, the laser recording are expected to find new markets, because the image can be recorded even if the energy source and the medium is separated and the medium is moving. The decrease of the optical density of recorded image and the increase of the optical density of erased image are occurred by repetition of image recording and erasing by the irradiation of laser beam of Gaussian distribution, because the energy of the laser beam is too high. We found that the repetition durability improves by controlling intensity distribution of the laser beam. The calculated result by a thermal diffusion simulation shows that the repetition durability improves by uniform heating of the medium.

* サーマルメディアカンパニー 開発センター
Research and Development Center, Thermal Media Company

1. 背景と目的

リライタブル表示技術は、その利便性や環境負荷低減の点から注目度の高い技術分野として各種方式が提案されている。それらの中で、熱を利用したリライタブル熱記録媒体はいち早く実用化に至っている¹⁾。

従来、リライタブル熱記録媒体にはサーマルヘッドによる加熱記録が用いられてきたが、レーザ光により加熱して記録するレーザ記録についても検討されており²⁾、レーザ記録では従来のサーマルヘッド記録と異なり非接触であるために、記録媒体から離れた位置からレーザ光を照射して記録が可能であり、移動体への記録も容易となることから、リライタブル熱記録媒体の用途が広がる可能性がある。

一般にレーザ光の強度分布は中央部が強いガウス分布であるため、中央部に過剰のエネルギーが加わって高温になり、印字及び消去を繰り返すと記録媒体の層破壊等の劣化が起こり、画像濃度低下や消去温度に加熱しても消去できないような劣化による消去不良が発生する。本報告では、レーザ光の強度分布を制御する事により、レーザ記録での繰り返し耐久性が大きく向上する事を見出したので報告する³⁾。

2. 実験方法

2-1 記録媒体

今回用いた記録媒体の基本構成をFig.1に示す。

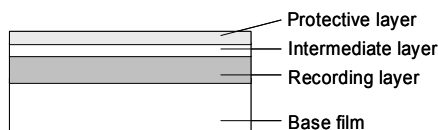


Fig.1 Basic structure of thermal rewritable medium.

ベースフィルムは白色PETフィルム ($125\mu\text{m}$) を用い、記録層 (約 $12\mu\text{m}$) はロイコ染料とフェノール系長鎖型顕色剤を主成分としたものを用いた。記録層上には紫外線遮蔽のための中間層 (約 $1.5\mu\text{m}$) 及び媒体表面を保護するための保護層 (約 $3.5\mu\text{m}$) を設けた。

Fig.2に基本的な発色・消色プロセスを示す⁴⁾。消色状態のロイコ染料と長鎖型顕色剤からなる組成物(A)を熔融混合するまで加熱すると発色する(B)。ここから徐冷すると消色して元に戻るが、急冷すると発色状態は固定化され発色画像が形成できる(C)。発色状態は、熔融温度より低い温度に加熱すると消色し(E)、これによって画像消去できる。

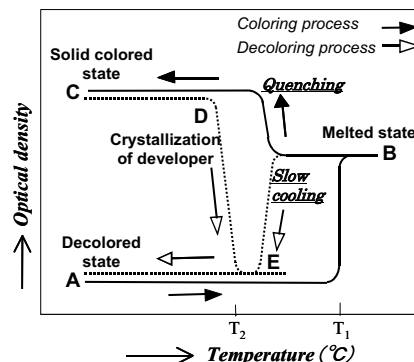


Fig.2 Coloring/decoloring process of leuco dye/long-chain developer systems.

2-2 実験装置

Fig.3に今回用いたレーザ実験装置の概略図を示す。光源にはCO₂レーザ (波長 $10.6\mu\text{m}$ 、最大出力 100W) を用いた。光分布制御のためのレーザ光遮断マスクを設置可能にするためにミラーを用いて光路長を長くしている。レーザ光の走査はX、Y軸ガルバノスキャナミラーを用いる事により行ない、 $f\theta$ レンズ (焦点距離： 184mm) により集光して印字及び消去を行なう。この時のレーザ光スポット径は最小で約 0.2mm であり、レーザ光スポット径を変えるための記録媒体までの照射距離の調整はスライドステージを移動させる事によって行なう。

CO₂レーザの場合は、記録媒体自体が波長 $10.6\mu\text{m}$ の光を吸収するために、レーザ光を吸収して発熱させるための添加剤が必要なく、サーマルヘッド記録で用いられる記録媒体がそのまま使用可能である。

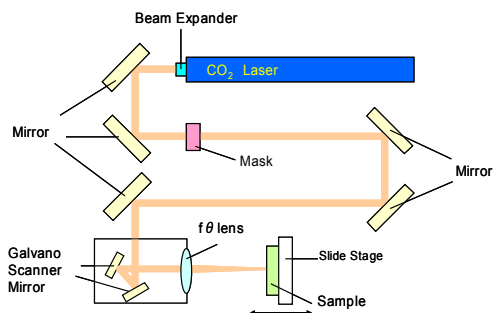


Fig.3 The schematic diagram of the experimental laser recording and erasing system.

3. 実験1

3-1 実験および評価方法

Fig.3のレーザ実験装置を用い、適度な線幅（約0.3mm）を得るために照射距離を焦点位置から6mm遠い位置にずらして（照射距離190mm），Fig.4に示す画像を印字して反射濃度を測定し，その後消去して消去部の反射濃度の測定を行なった．この時，レーザ光のスポット径（ $1/e^2$ ）は約0.5mmであり，レーザ光走査速度は市場で要求される標準的な処理速度を想定して1800mm/secとした．この条件でFig.4の画像を約50msecで印字可能であった．



Fig.4 Magnified view of recorded images.

反射濃度の測定は，印字部及び消去部をスキャナーで読み取り，反射濃度計と対応させた反射濃度に換算した．

レーザ光の光強度分布の測定は，ビームプロファイラーLPK-CO₂-16（Spiricon社製）を用いた．

3-2 結果と考察

3-2-1 レーザ光強度分布

Fig.5に実験1で用いたレーザ光の強度分布を示す．中央部の光強度が強いガウス分布に近い分布である事がわかる．

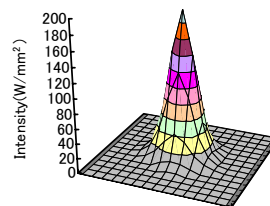


Fig.5 Intensity distribution of the laser beam of experiment 1 (Laser power on medium : 20.1W).

3-2-2 レーザ印字特性

Fig.6にレーザパワーを変えて印字した時の照射エネルギーと印字濃度の関係を示す．飽和濃度を得るに必要な記録媒体面上での照射エネルギーは約20mJ/mm²である．照射エネルギーは以下の式を用いて算出した．なお，Eは照射エネルギー（mJ/mm²），Pはレーザパワー（W），tはレーザ照射時間（sec），Sは印字面積（mm²）を表す．

$$E = P \times t / S$$

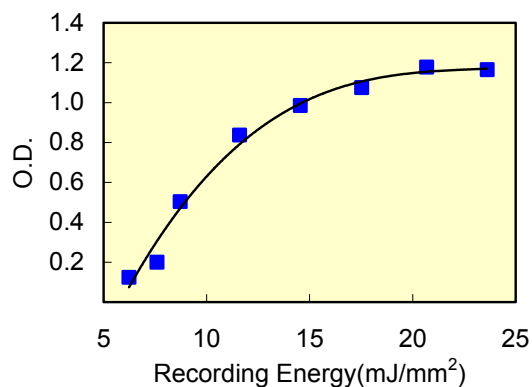


Fig.6 Relationship between recording energy and optical density of recording.

3-2-3 レーザ消去特性

Fig.7にレーザパワーを変えて消去した時の照射エネルギーと消去濃度の関係を示す。レーザでの消去は媒体全面を光走査して消去するために印字と比較して時間がかかる事から、レーザ光走査速度を速くしている(2000mm/sec)。光走査方法としては、照射距離を焦点位置から遠い位置に40mmずらして、媒体面上でのレーザ光のスポット径(1/e²)を約3mmと拡大し、かつ0.6mm間隔でずらしながらレーザ光が重複するように光走査し、記録媒体を均一に消去温度に加熱して消去を行なった。上記走査速度は、市販のCO₂レーザーマーカは出力30Wが一般的である事から、上記の光走査で、かつ30Wで消去可能となる最大の走査速度とした。

Fig.7に示すように、消去が可能となる照射エネルギーの範囲は約16~26mJ/mm²であり、この条件でFig.4の画像は約0.4secで消去可能であった。消去の照射エネルギーが印字の照射エネルギーと同程度になっているのは、レーザ光を重複させて光照射しているために消去に時間がかかり、熱拡散によるエネルギー損失が大きくなっているためと考えられる。

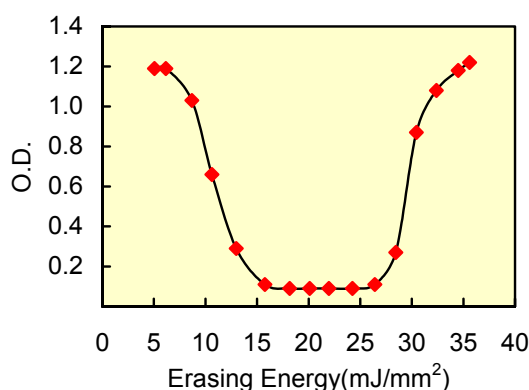


Fig.7 Relationship between erasing energy and optical density of erasing.

3-2-4 繰返し耐久性評価

Fig.5に示す強度分布を有するレーザ光を用いて繰返し印字を行なった時の印字部及び消去部をFig.8に示す。

印字はFig.6の20.7mJ/mm²、消去はFig.7の22.0mJ/mm²の条件で行なった。

印字において、1回目は画像濃度で約1.2の線画像が得られるが、3回、10回と繰返し印字を行なうと線中央部の画像濃度が低下していった。消去においては、1回目から劣化による消去不良がわずかにみられ、3回及び10回繰返し後には劣化による消去不良が目立つようになった。画像濃度が低下した部分の媒体断面をSEMで観察すると塗工層がなくなっている事がわかった。これは、レーザ光の強度分布がFig.5に示すように中央部が強い強度分布である事から、線中央部に発色に必要なエネルギーよりも極端に高いエネルギーが加わって高温になったためと考えられる。また、劣化による消去不良は、印字時に加わった過剰のエネルギーにより高温となり、記録層中の顕色剤が熱分解し、非可逆性の発色状態を形成するためと考えられる。なお、Fig.7の消去濃度は1回目の線周辺部の消去が良好な部分を測定した。

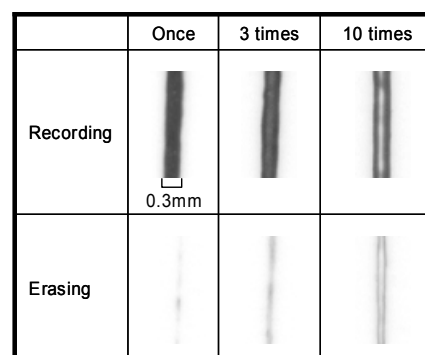


Fig.8 Recorded images and erased images by repetition.

この結果から、レーザ記録での繰返し耐久性を向上させるためには、記録媒体を均一に加熱し、かつ照射エネルギーを発色に必要なエネルギー以上の余分なエネルギーを加えないようにする事が重要であると考えられる。そのためには、レーザ光の強度分布をガウス分布と比較して中央部の強度が弱い強度分布に制御する事が必要であると考えられる。

この考え方を検証するために、レーザ光強度分布制御実験を行なった。

4. 実験2

4-1 実験方法

4-1-1 レーザ光強度分布調整方法

強度分布の調整は、レーザ光の外周部あるいは中央部を遮断するFig.9に示すようなステンレス製の光遮断マスクをFig.3に示す位置に設置して行なった。

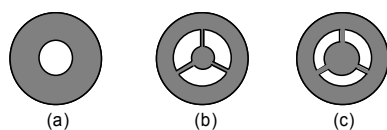


Fig.9 The figures of masks for cutting the laser beam.

Fig.9(b)およびFig.9(c)のマスクを用いて中央部の強度が周辺部より弱い強度分布を得ようとするマスクによるレーザ光の回折によりスポット径が大きくなり印字線幅が約0.5mmとなる事から、いずれの強度分布においても印字線幅を約0.5mmに揃えて評価を行なった（スポット径は約0.8～1.0mm）。

4-1-2 繰返し耐久性評価方法

光遮断マスクを設置した場合、印字時だけでなく消去時においても光強度分布が変わり、印字の強度分布制御の効果が判断しにくくなるため、印字のみを繰返した後、前述の消去条件でレーザ照射を行ない、消去部の反射濃度を測定し、さらにもう一度印字して印字画像の反射濃度を測定した。この時の印字条件は、Fig.9(c)のような中央部の遮断領域が大きいマスクの場合、エネルギーロスが大きいため、レーザ光走査速度を遅くした（1100mm/sec）。それぞれのレーザパワーについては、Fig.10に示す。

4-2 結果と考察

4-2-1 レーザ光強度分布

Fig.10に強度分布を制御した時のレーザ光強度分布を示す。

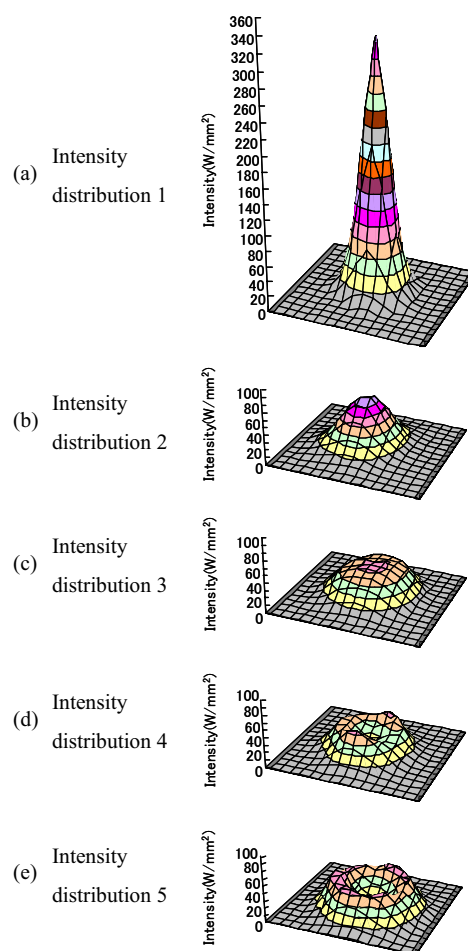


Fig.10 Intensity distributions of the laser beam (Laser power on each medium : (a)33.4W, (b)21.0W, (c)21.0W, (d)18.1W, (e)20.6W).

Fig.10(a)はFig.5のレーザパワーを約1.7倍にして印字線幅を約0.5mmとなるようにしたために中央部の光強度がかなり強い強度分布であった。Fig.10(b)は照射距離を焦点位置から17mm遠い位置（照射距離201mm）にずらした時の強度分布であり、Fig.10(a)と比較して中央部の強度が弱い強度分布であった。Fig.10(c)はFig.9(a)のマスクを用いた場合であり、中

中央部の強度が周辺部より若干強い強度分布であった。Fig.10(d)はFig.9(b)のマスクを用いた場合であり、中央部の強度が周辺部より若干弱い強度分布、Fig.10(e)はFig.9(c)のマスクを用いた場合であり、中央部の強度がさらに弱い強度分布であった。

4-2-2 レーザ光強度分布と繰返し耐久性の関係

Fig.10に示す強度分布を有するレーザ光を用いて繰返し印字を行なった時の印字部及び消去部をFig.11に示す。また、その時の画像濃度変化及び消去濃度変化をFig.12に示す。

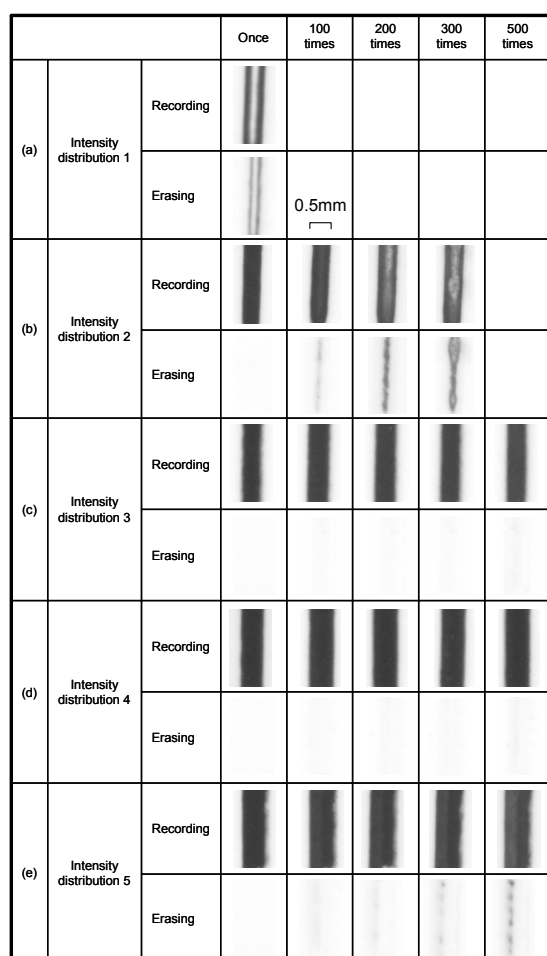


Fig.11 Recorded images and erased images by repetition.

Fig.11(a)では、1回目で線中央部の濃度低下および劣化による消去不良が発生した。これは中央部の強度が強過ぎるために線中央部に過剰のエネルギーが加

わったためと考えられる。また、Fig.11(b)では、繰返し100回で劣化による消去不良がみられ、繰返し200回で大きな画像濃度低下及び劣化による消去不良がみられた。これは光強度分布2でもまだ中央部の強度が強いために線中央部に過剰のエネルギーが加わったためと考えられる。

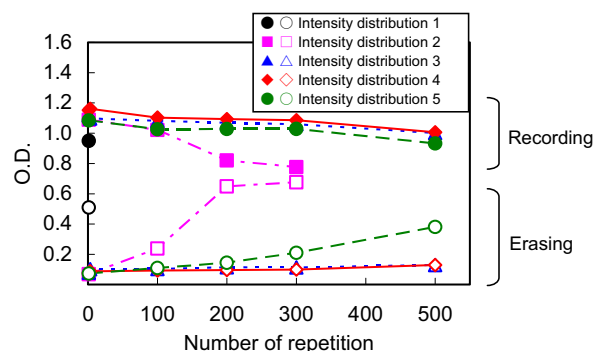


Fig.12 Repetition durability of controlling intensity distribution of the laser beam.

Fig.11(c)及び(d)では、繰返し300回では画像濃度低下及び劣化による消去不良がなく、500回でわずかに劣化による消去不良がみられた。これは中央部の強度と周辺部の強度の差が小さい強度分布とする事により、記録媒体上において中央部とその周辺部の温度差が小さくなり、均一に加熱されているためであると考えられる。

一方、Fig.11(e)では、線の中央部ではなく線のエッジ部に繰返し300回で劣化による消去不良がみられた。これは、中央部の強度に対して周辺部の強度が強くなり過ぎ、線のエッジ部に過剰のエネルギーが加わったためと考えられる。

4-2-3 熱拡散シミュレーション計算による考察

Fig.10に示す異なる光強度分布を有するレーザ光を走査させた時の記録媒体上での温度分布を求めるため、記録媒体上の温度分布をMSC社製Marc Mentatを用いて有限要素シミュレーションで計算した。この時、実験2のFig.10(b)～(e)に近い強度分布モデルを設定した(Fig.13(a)～(d))。

なお、今回のシミュレーション計算は以下の(1)，
(2)を前提として行なった。

- (1) PET基材上に記録層を設け、記録層は均一な材料で構成され、熱拡散が層内で均一に起こり、レーザ光は記録層のみに吸収され発熱する。また、記録層の上側は空気層と設定した。
- (2) レーザ光を走査速度1100mm/secで直線状に走査させ、0.1msec毎にエネルギーを加える。

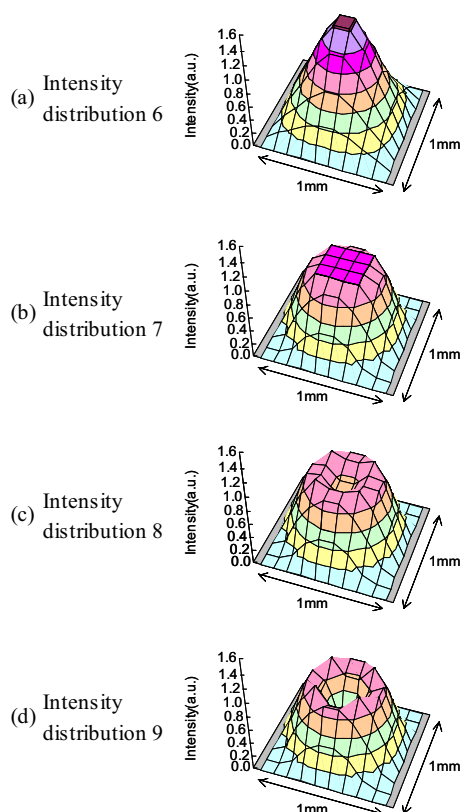


Fig.13 Intensity distributions of the laser beam for a thermal diffusion simulation.

Fig.14に、各光強度分布に対するシミュレーション計算によって得られた走査方向に対して直交面の媒体上の温度分布を示す。

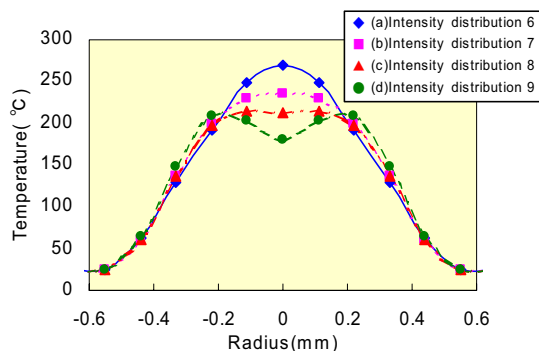


Fig.14 Simulation results for each intensity distributions of the laser beam.

Fig.13(c)の中央部の強度が周辺部より若干弱い強度分布で、Fig.14(c)のように記録媒体上の温度分布が均一となっているのは、レーザ光を走査している事から線中央部にも周辺部の強い強度のレーザ光が照射され、かつ熱拡散が起こるためと考えられる。

上記の結果から、Fig.11(b)での線中央部の画像濃度低下及び劣化による消去不良の発生については、Fig.14(a)のように中央部が高温となっているためと考えられる。Fig.11(c)及び(d)で繰返し耐久性が向上している事については、Fig.14(b)及び(c)のように中央部と周辺部の温度差が小さく、記録媒体が均一に加熱されているためと考えられる。

以上の事から、レーザ光強度分布をFig.10(c)及び(d)のような中央部と周辺部の強度の差が小さい強度分布にして記録媒体が均一に加熱する事が繰返し耐久性の向上に大きく寄与する事がわかり、レーザ光強度分布制御の考え方の検証ができた。

5. まとめと今後の展開

リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録において、光分布制御技術が確立でき、繰返し耐久性向上にはレーザ光の強度分布を中央部の強度と周辺部の強度の差を小さくして記録媒体を均一に加熱する事が重要である事がわかった。また、光強度分布制御技術により、リライタブルレーザ記録の価値が高まり、リライタブル熱記録媒体の用途が広がる可能性が高まった。

今後は、光遮断マスクではエネルギーロスがある事から、エネルギーロスが少なく、中央部の強度と周辺部の強度の差が小さいレーザ光強度分布となるような非球面レンズ等の光学系の検討を進めていく。さらに、次の段階として、小型化が可能で使用用途の拡大が期待できる半導体レーザを用いたリライタブル記録プロセス／装置の開発および半導体レーザ光を吸収してリライタブル記録が可能となる媒体の開発を進めていく。

参考文献

- 1) Y. Hotta : Development of Rewritable Card and Paper, International Congress of Imaging Science 2002, Tokyo., 503 (2002).
- 2) 堀田, 鈴木, 北村, 山岡 : リライタブル熱記録媒体へのレーザ書込み, 電子写真学会誌 第 35 巻, 168 (1996).
- 3) 川原, 石見, 堀田 : リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録(1)ーレーザ光強度分布制御による繰返し耐久性の向上ー, Imaging Conference JAPAN 2007 論文集, 51 (2007).
- 4) 古屋, 岡田, 山本, 折口, 筒井 : ロイコ染料を用いたリライタブルペーパーにおける長鎖型顕色剤の分子設計ー会合基の配置ー, Japan Hardcopy 2005 論文集, 293 (2005).