資 料

色材, 69 [3], 167-174 (1996)

レーザ加熱による高精細熱転写記録

入江 満*・北村孝司**

1. まえがき

ディジタル技術の飛躍的な革新に伴い、情報ネットワークシステムによる高精細画像伝送を始めとしたマルチメディアの普及が進展してきた。これに伴い情報出力装置であるプリンタには、記録密度の向上、記録速度の高速化やフルカラー化の要求が高まっている^{1), 2)}。

これらの要求に対応するために、実用化されている種々の記録方式において、システムの特長を生かした検討が行われている。表-1に各種記録方式とその特長についてまとめて示す³⁾。

この中で、レーザ光を記録エネルギー源として用いた新たな画像記録プロセスの研究が進められている。これは、レーザ光がコヒーレント性、高集束性によって高エネルギー密度の微小な光スポットを形成することができ、さらに高速変調や空間伝送が可能であるなどの特長を有し、飛躍的な高密度記録や高速記録の実現が期待できるためである³⁾。

レーザ光を用いる記録方式には、電子写真方式をベースとするレーザ走査記録がある。これは、感光体上に高圧帯電によって形成された高ポテンシャル電位分布に対して、レーザビームの高速走査露光によって静電的に記録するフォトンモードを用いた記録方式である^{4), 5)}。比較的少ない光エネルギーで記録が実現できるため、高速、高解像なノンインパクト記録方式として、すでに複写機、各種プリンタ、ファクシミリなど広く実用化されている。

一方、ここで紹介するのは、集束された高エネルギー密度のレーザ光スポットをヒートモード（レーザ加熱）として画像記録プロセスに適用する記録方式である。

レーザ加熱方式では、単一基本モードのレーザビームを回折限界にまで集光し、数 μm 径の光スポットを形成して、この光スポットの発熱により熱転写インク層を直接加熱転写する。このため μm オーダーにおける画素形成が可能となる。これによって、従来、発熱体（サーマルヘッドのエレメント）の大きさで支配されていた熱転写記録方式の解像度の飛躍的な向上を図ることができ、高精細デジタルフルカラー記録の実現が期待できる。

レーザ加熱を記録プロセスに用いる試みは、1960年にレーザ光源が出現した直後から検討が行われてきた。1964年には、わが国においてレーザ加熱による感熱記録方式⁶⁾、熱転写記録方式⁷⁾の考察が行われている。その後、1970年代には Ar^+ や He-Ne 等の気体レーザを

〔氏名〕 いりえ みつる
〔現職〕 三菱電機(株)映像情報開発センター主事研究員
〔趣味〕 アウトドアスポーツ
〔経歴〕 昭和60年千葉大学工学研究科修士課程修了、同年三菱電機(株)入社。以来、光ディスク用光ヘッド、レーザ熱転写などレーザ光源を用いた映像情報機器の開発に従事、現在に至る。工博。

〔氏名〕 きたむら たかし
〔現職〕 千葉大学工学部画像工学科助教
〔趣味〕 テニス
〔経歴〕 昭和47年千葉大学工学研究科印刷工学専攻修了、同年助手、平成1年工学部画像工学科助教、現在に至る。有機光導電材料の光電物性、電子写真製版、レーザ熱転写記録などの研究に従事。工博。

平成7.6.5受理

High-definition Thermal Transfer Printing by Laser Heating

Mitsuru Irie* and Takashi Kitamura**

*三菱電機(株)AV統括事業部映像情報開発センター
京都府長岡京市馬場岡所1番地(〒617)

**千葉大学工学部画像工学科

千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号(〒263)

表-1 各種記録方式とその特長

記録技術		方式内容		特長				
手段	方式			記録速度	解像度	階調性	カラー化	コスト
光	電子写真	原稿反射光結像		◎	◎	○	◎	◎
		パルス 光照射	レーザ					
			発光 ダイオード					
			液晶 シャッター					
イオン	静電記録	直接放電		◎	◎	◎	△	△
		イオン流制御						
熱	感熱記録	感熱発色		△	○	○	×	○
		インク 転写	熔融型	△	○	×	×	○
			昇華型	△	○	◎	◎	△
磁気	磁気記録	磁性粉		○	×	○	○	◎
インクジェット記録		バブルジェット		○	○	◎	◎	◎
		固形インクジェット						

表-2 レーザ光源を用いた情報の記録・保存方式

	光プリンタ	光メモリ
ヒートモード	熱転写記録 (熔融型, 昇華型)	1. 書き換え型光ディスク (光磁気, 相変化) 2. 追記型光ディスク (金属, 有機) 3. 光カード, 光テープ
フォトンモード	レーザ/LED 方式 電子写真	1. 有機フォトクロミック 2. フォトケミカルホールバーニング (PHB) 3. ホログラフィ記録

用いたレーザ記録の実験的報告^{8)~11)}がなされ、レーザ加熱による熱転写記録方式が実証された。しかし、光源として用いられた気体レーザや固体レーザは高出力が得られた反面、レーザビームの直接変調が困難であることやレーザ装置や駆動装置が大型化するなど実用上の多くの問題があった。

その後、1980年代には光メモリや光通信等の分野において小形で直接変調が可能な半導体レーザが実用化され、近年では出力が1Wを越える大出力半導体レーザ素子が商品化されるにいたっている。この半導体レーザ

がヒートモード記録の実用的な光源として注目され、再びレーザ加熱による画像記録プロセスの研究が活発に行われている^{12)~31)}。さらに、最近ではレーザ加熱をインクジェット記録方式に適用する試みも行われている³²⁾。

表-2はレーザ光源を用いた主な情報の記録（プリンタ）、保存（光メモリ）の技術分野をまとめたものであり、レーザ加熱による熱転写記録方式の位置付けを示している。

ここでは、筆者らが検討を行った半導体レーザを光源とするレーザ加熱を用いた熔融型熱転写記録方式（以後

(a) サーマルヘッドによる熱転写記録

(b) レーザ加熱による熱転写記録（レーザ熱転写）

図-1 溶融型熱転写記録の記録原理

「レーザ熱転写」と称す)について、その記録原理、特長および高精細記録特性を解説する^{33)~38)}。

2. レーザ熱転写の記録原理と特長

レーザ熱転写は、従来の熱転写記録の記録熱源であるサーマルヘッドの代わりにレーザ光源を用い、集束されたレーザ光のヒートモードによりインク層を溶融して転写記録を行う記録方式である¹²⁾。

レーザ熱転写の記録原理を従来のサーマルヘッドによる熱転写記録方式と比較して図-1に示す。図-1(a)は従来のサーマルヘッドを用いた熱転写記録方式、図-1(b)はレーザ加熱を用いた熱転写記録方式を示している。レーザ光源から出射されたレーザ光は、熱溶融性インク中の着色剤である顔料に吸収され、光エネルギーが熱エネルギーに変換される（レーザ加熱）。回折限界までに集束されたレーザ光は高い光エネルギー密度をもつため、インク層融解に必要な熱エネルギーを瞬時に発生することができる。この熱エネルギーによってバインダ剤であるワックスが溶け、顔料やその他の添加剤とともに受像紙に転写、記録が行われる。

これによりレーザ熱転写記録は

- (1) レーザ光は数 μm 程度まで容易に集光することが可能であり、高密度記録ができる、

図-2 レーザ熱転写によるカラー記録の原理

- (2) 集光スポット径を任意に設定できるため、容易に解像度の選択ができる、
 - (3) 非接触記録が可能である、
- の特長を有することがわかる。

特に μm オーダの画素形成が可能となるため飛躍的な記録密度の向上が期待できる。すでに、モノクロ熱転写リボンを用いて3,000dpi (dots per inch)を越える高精細記録が得られることが実験的に確認されている²⁵⁾。

3. レーザ熱転写によるカラー記録

レーザ光により加熱を行う場合、レーザ光を吸収し、熱を発生させる光熱変換作用が要求される。現行のカラーインク (Cyan, Magenta, Yellow) 層は半導体レーザ発振波長域 (近赤外域) における吸光係数が非常に小さく、また各色材によってその吸光係数が異なる。このためカラーインク層のみを用いた場合では、安定したレーザ加熱を行うことは困難である。従って、レーザ加熱によるカラー記録を安定に効率良く行うためには、カラー溶融転写層の以外にレーザ光を吸収して光・熱変換を行う光熱変換手段を設けることが必要となる。

この解決策として、光熱変換手段をカラーインクリボンに付加した2層型カラーインクリボン (光熱変換層/カラー溶融転写層)を用いたカラー記録方式が提案されている¹³⁾。

2層型カラーインクリボンを用いたカラー記録の原理を図-2に示す。この図において、インクリボンに集光照射されたレーザ光はカラーインク層上に塗布された光熱変換層によって吸収され、高効率で色材に依存しない安定な光熱変換が行われる。これによって発生した熱は熱伝導によって拡散伝達し、カラーインク層のバインダ剤 (ワックス) を溶融して、顔料とともに受像紙に転写される。2層型カラーインクリボンでは、光熱変換効率

が色材に依存しないためフルカラー化への対応も可能である。

この記録方式を実験的に検証するため筆者らは、2層積層型カラーインクリボンを試作した。図-3に、2層型カラーインクリボンの概略構成図を示す。試作したカラーインクリボンは、カーボンブラックを充填したポリマー層を透明フィルム上に塗布し、さらにその上にカラー溶融転写層を塗布する一体積層構造とした。光熱交換層はポリエステル樹脂 (Vylon200) 溶液にカーボンブラックを分散したものを、カラー溶融転写層はカルナバワックスにカラー顔料を混合したものを用いた。表-3には、試作したインクリボンの仕様を示す。図-4には、光スポットの強度と転写線幅の関係を示す。図より、光熱変換層厚 $0.7\mu\text{m}$ の試料において、最小転写線幅 $10\mu\text{m}$ 、解像度 $2,540\text{dpi}$ (光スポット強度 1.5mW 、記録速度 18.0mm/sec) での転写開始を確認できる。

レーザ加熱によるカラー熱転写記録では、2層型カラーインクリボンを用い、光熱変換層の最適化を図るこ

となどによって高精細記録が可能であることがわかる。

図-5は 1mm^2 の文字パターンチャートを用いた転写記録例である。記録には、受像紙にカラー印画紙の光沢面を用い、カラーインクリボン、パターンチャートのネガマスクの順に重ねてドラム上に配置した。そして、ドラムを回転させながら、半導体レーザを連続発振して記録した。記録条件は横送りピッチ $40\mu\text{m}$ 、照射光強度 8.0mW とし記録速度は 14.2mm/sec とした。

画像の一部に転写の不安定性が見られるが、ほぼ良好なマイクロ印字の転写が確認できる。転写の不安定性の要因は、チャートネガマスク、インク層および受像紙間の密着が完全に行われていないこと、記録紙の表面粗さや接着性が不均一であること、試作したカラーインク層の膜厚むら等によるものと考えられる。

今後、レーザ熱転写によるカラー記録特性を向上させるためには、2層型インクリボンを用いたレーザ加熱による熱応答特性の改善や転写プロセスについての解析が要求される。

図-3 カラーインクリボンの構成

図-4 転写線幅と光スポット強度の関係³⁷⁾

表-3 カラーインクリボンの仕様

			Type 1	Type 2
Laser absorbed layer	Polyester resin (Vylon200)	g	6.0	3.0
	Carbon black content	wt%	16.7	28.6
	Thickness	μm	2.1	0.7
	Absorption	%	90.0	90.0
Color ink layer	Carnauba wax	g	7.2	
	Color pigment	g	3.0	
	Pigment content	wt%	20.0	
	Thickness	μ	2.5	

4. 高精細画像記録

ここでは、筆者らのレーザ熱転写による高精細画像記録の実験の評価結果を紹介し、高精細画像記録プロセスとしての有用性を明らかにする。

高精細記録を実現するためには記録システムに精密な送り機構や位置合わせ機構、また大容量画像情報の信号処理、記録コントロール信号の制御およびレーザ光源の高速変調手段等が要求される。筆者らは、ドラム型記録装置をもとに、高出力半導体レーザの変調、記録走査および信号処理などがマイクロコンピュータで制御されるレーザ熱転写記録装置を新たに試作した³⁸⁾。

ここでは、レーザ熱転写記録装置におけるレーザ光学系、装置構成を概説し、マイクロ印字、高精細画像記録の評価結果について述べる。

図-5 カラーインクリボンを用いた印字例 (拡大写真)³⁷⁾

4.1 装置の構成・仕様

図-6 にレーザ熱転写記録装置の概略構成を示す。記録装置は、高出力半導体レーザを光源とし、レーザ照射光学系を備えた光ヘッド部、ドラムの回転によって主走査を行う記録部、および記録光ヘッドをマイクロステージによって移動させる副走査部の3つの要素から構成されている。画像記録信号にもとづく半導体レーザの駆動、ドラムの回転およびマイクロステージの移動はマイクロコンピュータによって制御している。

記録の主走査は、記録ドラム ($\phi 31.8 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$; ゴムローラ) をエンコーダ付 DC モータの PLL 制御によって回転させることにより、また、副走査は記録光ヘッド部を精密微動ステージのパルスモータ駆動 ($1 \mu\text{m}/\text{パルス}$) によって移動させることにより行っている。

レーザ照射光学系の概要を図-7 に示す。光源には最大連続発振出力 100mW、発振波長 $0.83 \mu\text{m}$ の単一基本モード半導体レーザを用いた。レーザ照射光学系において、半導体レーザからの発散放射光はコリメータレンズによってビーム径 4.6mm の平行光とした後、対物レンズ (開口数 0.26) を用いて約 $3 \mu\text{m}$ の光スポットに集光されている。インクリボンは熱転写用黒色インクシート (ベース層 $5.8 \mu\text{m}$ 、インク層 $2.7 \mu\text{m}$; 三菱電機製) を受像紙には熱転写用紙 (富士写真フィルム製) を用い、受像紙上にインクシートを密着して記録ドラムに固定した。

4.2 マイクロ印字

24×24 ドットパターンを用いたマイクロ印字特性を示す。図-8 は、最小画素の解像度を 1,524, 2,032, 2,540dpi (60, 80, 100dot/mm) と変化した印字

図-6 レーザ熱転写記録装置の概略構成

図-7 レーザ照射光学系

(a) 最小画素の解像度: 1,524dpi(60dot/mm)

(b) 最小画素の解像度: 2,032dpi (80 dot/mm)

(c) 最小画素の解像度: 2,540dpi (100 dot/mm)

図-8 24×24 ドットパターンを用いた高精細印字記録 (拡大写真)

例の拡大写真である。それぞれ文字の大きさは、400, 300, 240 μm^2 に相当する。記録は光パルス周期 150 μsec ., 光パルス幅 40 μsec ., 光パルス強度 40mW とし、記録速度 83.3mm/sec にて行った。解像度 2,540 dpi まで良好な印字が行われていることがわかる。

(a) 解像度2,032dpiのグレースケール

(b) 拡大写真 (15倍)

図-9 グレースケールの記録例³⁸⁾

4.3 高精細画像記録

高精細記録時の階調再現特性を評価した。8×8組織的ディザ法（ハーフトーンタイプ）により16階調のグレースケールを作成した。図-9にグレースケールの記録例を示す。図-9(a)は、記録条件を最小画素の解像度 2,032 dpi (80 dot/mm), 光パルス周期 150 μsec ., 光パルス幅 40 μsec ., 光パルス強度 40mW とし、記録速度 83.3mm/sec として作成した16階調グレースケールであり、図-9(b)にはグレースケールの一部分の拡大写真 (拡大率15倍) を示す。

図-10には解像度を1,524, 2,032, 2,540dpi (60, 80, 100dot/mm)と変化した場合の階調再現特性の評価結果を示す。記録ドットの解像度を高くするに従い再現濃度域が狭くなる傾向があることがわかる。このように高精細記録を行った場合には、記録画素の高密度

図-10 再現面積率と解像度の関係³⁸⁾ 図-11 2,032dpi 高精細画像
(オリジナルデータ; SCID「自転車」)³⁸⁾

化に伴い画素形成の物理的ドットゲイン(画素つぶれ, 記録位置づれ)に加え, 光学的ドットゲイン(受像紙の光散乱など)によって階調再現域が制限される場合があることがわかる。このため高精細画像記録には, 受像紙, インクを含めた総合的なシステム設計を行う必要があると考えられる。

次に解像度 2,032dpi の高精細 2 値画像 ($2,048 \times 2,560$ pixel) 記録を試みた。画像データには, 高精細カラーデジタル標準画像 (SCID: Standard Color Image Data, 助日本規格協会) を用いた。図-11 には誤差拡散法により 2 値化処理して記録した結果を, 図-12 に組織的ディザ法 (ハーフトーンタイプ; スクリーン線数 175) により 2 値化処理して記録した結果を示す。両図とも, (a) には記録画像 (サイズ 25.6×32.0 mm) と (b) にその一部の拡大増 (拡大率 15 倍) を示す。(記録条件は図-9 と同一)

記録画像の一部や周辺部には, 受像紙とインクシート間の密着の不完全性によると思われる転写の不安定性が

図-12 2,032dpi 高精細画像
(オリジナルデータ; SCID「カフェテリア」)

見られるが, 2,000dpi を越える高精細画像記録において良好な画素形成と画像転写が行われていることが確認できる。

5. むすび

デジタル情報処理技術の進展に対応した新たな高精細記録方式として期待されるレーザ加熱を用いた熱転写記録方式を解説した。

特に, 半導体レーザを光源とするレーザ加熱による熔融型熱転写記録方式 (レーザ熱転写) のその記録原理, 特徴および高精細記録特性について解説を行い, 超高精細な画像記録プロセスやデジタルフルカラー画像再現の可能性などの検討結果を紹介した。

今後, レーザ光源の高出力化, マルチビーム化および赤, 緑, 青の 3 原色レーザ光源などの開発が進むにつれ, 「レーザ熱転写」を含めレーザ光源を記録エネルギー源とした様々な高性能画像記録プロセスの開発, 検討が活発化していくものと考ええる。マルチメディア社会を迎え, 高精細フルカラー画像記録が可能なパーソナルユースのプリンタの実現が期待される。

参 考 文 献

- 1) 小門宏編: “記録・記憶技術ハンドブック”, 第 1 章, 丸善 (1992)
- 2) 面谷信: 第 23 回画像工学コンファレンス論文集, 14-3, 285 (1992)
- 3) 藤井陽一, 西澤紘一: “先端光技術”, 第 1 章, 承風社 (1988)
- 4) 坂井幸雄: 電子写真学会誌, 27 [2], 342 (1988)
- 5) 河村尚登: 画像電子学会誌, 20 [1], 29 (1991)
- 6) 特願昭 39-47534 (1964)
- 7) 特願昭 39-57467 (1964)
- 8) M. L. Levene: *Applied Optics*, 9 [10],

- 2260 (1970)
- 9) D. Maydan : *Bell Sys. Tech. J.*, **50** [6], 1761 (1971)
 - 10) C. A. Bruce and J. T. Jacobs : *J. App. Photo. Eng.*, **3** [1], 40 (1977)
 - 11) 窪田恵一, 西田信夫, 坂口光人 : 昭和 55 年春季応用物理学会講演会 1 p-P-8, 48 (1980)
 - 12) 北村孝司, 江口浩司 : Japan Hardcopy '89 論文集 NIP-13, 185 (1989)
 - 13) 入江満, 加藤充, 小川克秀, 北村孝司 : Japan Hardcopy '91 講演論文集 B9, 237 (1991)
 - 14) C. DeBoer : Proceedings of 7th NIP congress, IS&T, 449 (1991)
 - 15) M. Irie and T. Kitamura : Proceedings of 8th NIP congress, IS&T, 362 (1992)
 - 16) K. W. Hutt, I. R. Stephenson, H. C. V. Tran, A. Kaneko and R. A. Hann : Proceedings of 8th NIP congress, IS&T, 367 (1992)
 - 17) 住谷浩一, 星川潤, 金子明成 : 電子写真学会誌, **31** [4], 524 (1992)
 - 18) M. Irie, T. Kitamura : Proceedings of 9th NIP congress/Japan Hardcopy '93, 366 (1993)
 - 19) W. A. Tolbert, S. Lee, M. M. Dextader, E. W. Ilis and D. D. Dlott : *J. Imaging Sci. Technol.*, **37** [4], 411 (1993)
 - 20) S. Sarraf, C. DeBoer, D. Haas, B. Jadrich, R. Connelly and J. Kresock : Proceedings of 9th NIP congress/Japan Hardcopy '93, 358 (1993)
 - 21) Y. Odai, M. Ohnishi : Proceedings of 9th NIP congress/Japan Hardcopy '93, 362 (1993)
 - 22) K. Sumiya, J. Hoshikawa, A. Kaneko : Proceedings of 9th NIP congress/Japan Hardcopy '93, 370 (1993)
 - 23) A. Kaneko, J. Hoshikawa, K. Sumiya : Proceedings of 9th NIP congress/Japan Hardcopy '93, 374 (1993)
 - 24) 梶光雄, 遠藤寿, 森脇一, 新田尚道 : 日本印刷学会誌, **31** [6], 25 (1994)
 - 25) 齊藤一, 北村孝司, 小門宏 : 日本印刷学会誌, **31** [6], 52 (1994)
 - 26) 金子明成, 星川潤, 住谷浩一 : 電子写真学会誌, **33** [2], 118 (1994)
 - 27) 村田章, 望月貞成, 森本泰正, 江頭典孝 : 日本伝熱シンポジウム講演論文集, 268 (1994)
 - 28) 酒井伸和, 北村孝司 : Japan Hardcopy '94 講演論文集, 149 (1994)
 - 29) T. Kitamura, Y. Odai and N. Sakai : Proceeding of the 10th NIP congress, IS&T, 340 (1994)
 - 30) 酒井伸和, 北村孝司 : Japan Hardcopy '94 fall 講演論文集, 1 (1994)
 - 31) 尾台佳明, 加藤雅敏, 北村孝司, 小門宏 : Japan Hardcopy '94 fall 講演論文集, 5 (1994)
 - 32) 吉沢徹, 中島俊之, 大谷幸利 : 平成 5 年秋季第 54 回応用物理学会講演会 27p-Z-9, 1-350 (1993)
 - 33) M. Irie and T. Kitamura : *J. Imaging Sci. Technol.*, **37** [2], 231 (1993)
 - 34) M. Irie, M. Kato and T. Kitamura : *J. Imaging Sci. Technol.*, **37** [2], 235 (1993)
 - 35) 入江満, 落合誠, 北村孝司 : 電子写真学会誌, **32** [2], 52 (1993)
 - 36) 入江満, 落合誠, 北村孝司 : 電子写真学会誌, **32** [2], 59 (1993)
 - 37) 入江満, 加藤充, 落合誠, 北村孝司 : 電子写真学会誌, **32** [3], 8 (1993)
 - 38) 入江満, 落合誠, 北村孝司 : 電子写真学会誌, **32** [4], 12 (1993)
 - 39) 画像処理技術標準化委員会編 : 高精細カラーデジタル標準画像 (Standard Color Image Data) SCID 取扱説明書, (財)日本規格協会 (1989)

用語解説

1. 半導体レーザー

半導体中の電子と正孔の再結合発光を劈開面による共振器ミラーを用いてレーザー発振を生じさせる発光素子。電流による直接励起, 10GHz を越える高速変調, 小形, および半導体製造技術による量産性など他のレーザー光源にはない特徴を有する。

今日, レーザプリンタ, 光メモリ, 光通信を支えるキーデバイスとなっている。

2. 熱転写記録

熱エネルギーによる融解, 昇華の転移現象を利用する記録方式。インク層として溶融型は熱可逆性材料と顔料を, 昇華型は昇華性の染料を用いる。記録はインク層と受像紙を圧着し, インク層に背面からサーマルヘッドによって熱を与えインク層を転移させることにより行う。

3. 「誤差拡散法」, 「組織的ディザ法」

デジタル画像において疑似的に中間調を表現する濃淡表示手法。各画素の濃度値を画素ごとに変化するしきい値マトリックスで 2 値化する方法 (ディザ法) で, 周期的にしきい値と比較し, 2 値化する手法を「組織的ディザ法」という, また, 2 値化によって生じた濃度誤差を分散させ, 画質の向上を図る 1 手法として「誤差拡散法」がある。