カラーファクシミリとカラー複写機

正会員 窪 田 啓 次 郎[†]

カラーファクシミリ等への関心が高まっているが、この稿では、ファクシミリ、プリンター、カラー複写機に共通するカラー記録としての電子写真、インクジェット、感熱記録などの原理と方法を述べ、ついで、これらの装置について概説する。2色あるいは3色の装置は実用期に入っているとみられ、また最近では画像情報をデジタルに扱う傾向が強い。

1. ま え が き

昨今、カラーファクシミリへの関心が高まってきており、電気4学会のシンポジウム¹⁾にとりあげられたり、試作品の発表が行われたりしてきた。

その背景を考えると、カラーディスプレイやカラー印刷が普及し、鮮明なカラーの印刷物が出廻り、カラーの複写機も一部で使用されるようになり、印鑑や赤字の入った文書なども増えてきて、カラーファクシミリへの漠然とした期待が高まってきたと見られる。

一方、技術的には今までもいくつかの開発が行われてきており、赤黒の文書用のファクシミリはすでに実用期に入っている。天然色のものも技術的には充分可能になってきたといえる。また、カラー印刷におけるスキャナーは、高解像度のファクシミリと原理的には同一のものであり、カラー印刷の一般化から逆にファクシミリのカラー化へと影響している面もあるかとみられる。

カラーファクシミリは1947²⁾年、4本の色鉛筆による方法が米国で実験された。また電子写真による方法は、セレンウム板に4色に色分解した静電像をカラートナーで現像し、転写して合成する方法が、昭和36年³⁾、KDD研究所で徳江、中尾らによって行われた。実用機は昭和43年⁴⁾、3色に色分解し信号を送り、ポラロイドカラーフィルムによって受信する方法がNHKによって開発されている。一方、大きな4本のインクノズルを用いる拡大カラー印写装置⁵⁾も早くから利用されてきた。

一方、カラー複写はカラー写真で試みられてきたが、1970年頃には3M社等でカラー写真以外の記録方法によるものが試作され、電子写真によるものがつくられてきている。

カラー複写機は3色に色分解して、いわゆる光学的に複写するものと、ファクシミリと同様に走査するものがある。

最近では情報処理出力のカラー記録が出ており、カラーディスプレイの普及とともに、この傾向は今後強まるものとみられる。

この稿では、ファクシミリ、プリンター、カラー複写機に共通するカラー記録の原理や方法についてまず述べ、つぎにこれらの装置について概説することとしたい。

2. カラー 記 録

2.1 混 色⁶⁾⁷⁾

カラーの原画は赤、緑、青といった色を呈しており、有彩色である。有彩色には明度のほかに色相、彩度があり、これらは色の3属性といわれている。色相は色を特性づけ、彩度は鮮やかさの度合いである。完全なカラー記録ではこれらの情報を全部再現させなければならないが、現状のファクシミリなどでは色相のみのものが多い。

2つ以上の色を混合して別の色を表すのを混色ということは知られている。混色の方法には図1に示すように加法混色と減法混色とがある。

加法混色は、例えば赤色光と緑色光とを白色スクリーン上に投影してまぜると、より明度の高い黄色となるように、色光を加えて混合することにより色を表す方法である。3原色の色光(赤、緑、青)を適当な強

[†] 成蹊大学 工学部

"Color Facsimile and Color Coping Machine" by Keijiro Kubota (Faculty of Engineering, Seikei University, Tokyo)

図 1 加法混色と減法混色

さに調整して加法混色を行えば、ほとんどすべての色を合成できる。また、3原色を等分に混色すれば白となる。テレビのカラー受像管は3原色の光点の合成で、一種の加法混色である。

一方、減法混色は、印刷等でカラーを表すのに広く用いられている方法で、顔料、染料等を混合したり、重ね合せたり、色フィルターを重ね合わせたりすることによって任意の色をつくり出す方法である。3原色としてシアン(C)、マゼンタ(M)、イエロー(Y)を用いる。この3色は赤、緑、青の補色である。

減法混色では、混色することにより明度が低下し、3原色を等分に混合すれば黒となる。そこで赤、緑、青の3色でとり出された原画の情報を減法混色で記録するには、原色間の色信号の変換を電気回路で行う必要がある。例えば、青の情報はマゼンタとシアンに色変換し、この2つの混色として青を記録させることになる。

また原画のコントラストはまちまちなはずである。そこで記録方法を決めると、原画のハイライト、シャドウ両端の濃度を受信記録の濃度範囲に合わせる必要がある。この調子範囲の設定も電子回路で行う。また、電子回路の入力対出力の特性を変えることによって、カラー画像の調子の再現性を制御することができ、これを調子修正といっている。

2.2 カラー電子写真

電子写真(electrophotography)による方法は、セレンウムの板あるいはドラム上に色分解、色補正を行った像を露光し、色トナーでそれぞれ現像し、これらの像を上質紙に転写してカラー記録を得る方法である。KDD³⁾で行ったものは色分解、色補正を行った分解ネガ像をつくり、これを80線/時の網目をほどこしたセレンウム感光板に密着露光し、各色トナーで現像し、黄、マゼンタ、シアン、黒の順に上質紙に転写し、定着して色再現の良好なカラー画を得ている。このとき各色の感光板の網目の角度(スクリーン角度)は黄90°、マゼンタ75°、シアン15°、黒45°であった。図2は、網目のセレンウム感光板とカラートナーを用

図 2 3原色トナーによる分光反射率

いて上質紙に記録したものの分光反射率を示している。

セレンウム板やドラムをカラー記録に直接用いるには、テルルで増感するなどして感光波長域を広げる。一般に感光性記録体を用いるには、光源と感光性記録体との感光波長域を合わせることが重要である。

電子写真の一種である静電記録を用いる方法では、カラー情報で正、負の電圧を加えるなどして直接電気信号を与え、カラートナーで現像して記録を得る。

2.3 カラーインクジェット記録

インクジェット記録は初め、欧州で発明され、1960年代にアメリカのテレタイプ社等で実用化され、わが国でも各方面で研究されてきた。形式としては電界制御形、帯電制御形、オンデマンド形など各種のものが開発されて実用になっている。カラーインクジェット記録は、色インクを用いたインクジェット記録の合成として天然色の記録ができる。色相のみのものが多かったが、最近は濃淡もかなり工夫されている。

電界制御形は、直流の高圧(+2000V)と情報の信号電圧を重ねたものを、インクノズルと記録紙を巻きつけた対向電極(接地)との間に加える方法である。インク粒子は信号に応じて電界に引かれ飛翔して記録される。

帯電制御形はインクを励振し、ノズルから飛び出し帯電したインク粒子を情報の信号に応じて制御用電極で偏向して記録を行う方法である。

オンデマンド形は図3に示す方法で、情報の信号に応じて圧電効果でピエゾ振動子を励振し、インクをノズルから噴出させ、記録を得る。カラー記録を行うにはこれを3~4個用意し、図のルーム1に入るインクにそれぞれ異なるカラーインクを用いる。

図3 オンデマンド形インクジェット記録

図4 記録機構部の概略

最近はこの方式や、これらの改良形や新しい試みが各所で行われている。

(1) 多色多階調カラーインクジェット記録⁷⁾

粒子形成時間が短い帯電制御形のインクジェットノズル4個を用いて27色のカラー記録を行っている。すなわち図4に示すように記録機構部はノズル、加振機構、荷電電極を一組とした4個のシアン、マゼンタ、黄、黒用インクジェットユニットと、各色共通の1個の偏向電極と、不用インク回収用の4個のガターからなっている。この記録機構部は記録用紙に対して水平方向に移動する。

記録動作は、まずポンプから一定圧力で加圧されたインクが直径30 μm のノズルからジェット流として一定速度で噴出する。ジェット流は圧電振動子により120kHzの微小振動が与えられ、振動周期と同期した直径約60 μm の規則正しいインク粒子列に分裂する。分裂した粒子は荷電電極によりカラー情報に基づく一定の電荷が与えられ、一定の高電圧が印加されている偏向電極によって偏向され、記録用紙の所定の位置に衝突して直径100 μm のドットを形成する。

カラー画像の形成はインク粒子の偏向量によって垂直方向32段階、水平方向は送りによって0.1mmすなわち10dot/mmの記録を行う。0.1mmのドットの3 $\times$ 3を考え、これを2色のインクの組合せとすると

図5 カラープリンターの記録機構

27色の記録が得られる。すなわち人間の眼の分解能は0.3 $\times$ 0.3mm位の大きさだと充分分解しないで、1つの色と認識され、しかも明度の低下がない。この方法で27色のカラー記録あるいは10段階の階調記録を実現している。

もちろん普通の印刷のように同じ位置に2色を重ねて記録すれば130 μm 位の記録となり、いわゆる減法混色の記録となる。

(2) オンデマンド形カラーインクジェット記録

図5はカラー記録を行うため黄、マゼンタ、シアン、黒の4色のインクヘッドをドラムの円周上に配置したカラー記録の構成例である。主走査はサーボモーターによるドラム回転、副走査はステップモーターによる水平移動とした例である。この場合、記録は減法混色で8色程度を表すことができるが、インクヘッドは主走査方向に対して時間遅れがあるので、各信号をバッファメモリに蓄え、時間的に遅らせて、結果的に同じ位置に加わるように印加することが必要である。この形には圧電振動子の部分が2室のもの(図3)、1室のもの、メタルダイヤフラム形⁸⁾などがあり、記録速度は20kHz程度である。

平面のまま記録する方法としては、ノズルが1列に並んだ記録ヘッドを用い、記録紙の送り方向にこれを3層または4層にして用いればカラー記録が得られる。例えばキャノンで開発したバブルジェット記録⁹⁾は、1列にヘッドが81/mmの密度で並んでおり、各ヘッドが信号でコントロールできる。この1列のヘッドを3層または4層に重ねて各色に対応させ、各層間の信号印加を時間的に遅らせて、結果として減法混色になるように信号を加えれば、色相を重ねたカラー記録が得られる。

このバブルジェット記録の原理を図6に示す⁹⁾。すなわち各ノズルの内部にパルス電流に応答する発熱部がある。この発熱部に信号に応じてパルス電流を加えるとヒーターが急熱し、これに接するインクを気化しバブルが膨張し、インク液滴を吐出する。パルスが終り冷却するとバブルが収縮し、さらに消滅して元に戻る。この原理で、パルス幅10 μs 、2500個のヘッドを

図 6 液滴の形成過程

図 7 2色感熱記録紙の波長特性

駆動し、くり返し 10 kHz の記録を得ている。

層をなした記録ヘッドには通研のスリットジェット記録¹⁰⁾¹¹⁾がある。これはスリット状の記録ヘッドを用い、この内部に多数の記録電極を用意し、この記録電極と記録紙背面の対向電極との間に電圧を加えることにより記録を得るものである。記録電圧 0.35 kV 以上、記録周期 4 ms で、記録濃度 1.2、記録密度 8 l/mm の A 4 判の良好な記録を得ている。

2.4 カラー感熱記録

記録温度によって 2 色に発色する感熱記録紙がある。これは図 7 に示すように、熱記録ヘッドの温度が低い場合と高い場合とで発色する色相が異なることにより 2 色を表す。図の場合は低電圧で青、高い電圧で赤を示す¹²⁾。

原理は低温で感熱記録紙のビスフェノール A (BPA) が溶けてクリスタルバイオレットラクトン (CVL) を発色させて青色を得る。高温では下層のグアニジン誘導体が溶けて上層にじみ出て青色を消すとともに、赤発色酸性ロイコ染料を発色させ赤色を得る。

白黒の感熱記録紙に別の赤の転写用の記録体から転写して赤、黒、白の記録を得るものもある。

転写用感熱記録体は染料により各色の記録体がある。これらを用いて後述するように多色プリンターが実用化されている¹³⁾。

なお、熱記録ヘッドには、薄膜形、厚膜形、半導体形などがあるが、応答の良い薄膜形で記録時間は 1 ～数 ms である。

2.5 電磁式による方法

この方法は、4 色のボールペンを用意し、それぞれ電磁駆動で色わけした情報に応じて駆動させる方法である。黒のボールペンによる記録は古くはフランスで開発され、中国にも伝わっている。しかしカラーについては、わが国で試作されている。

4 色 (黄、シアン、マゼンタ、黒) のカラーリボンと、電磁駆動のワイヤードットとでカラーの記録を得る方法があり、プリンターに広く用いられている。

3. カラーファクシミリ

4.1 カラーファクシミリの原理

カラーファクシミリの代表的なものとしては、

図 8 カラーファクシミリ送信色分解構成図

図 9 カラーファクシミリ受信部構成図

NHKが実用化したカラーファクシミリ装置がある。これは実用化は古いが原理的に基本的な機能をそろえているので引用することとする。図8はその送信の撮像系の構成、図9は受信記録の原理図である。

撮像系は、カラー原画の色分解、色補正部からなる。色分解部はカラー原稿を巻き付けた円筒を回転させて走査し画信号を出し、ダイクロイックミラーを通して赤、緑、青の3色の信号に分解している。このあと色補正部に加えられる。一般に色分解を行うとき、光源の波長特性、光電変換系（図では光電子増倍管）の分光特性をあわせて考慮することが必要である。

この例のものは、カラー写真の電送用につくられたもので、伝送方式は線順次方式で、受信にカラーのポラロイドフィルムを用いている。線順次では、3色に色分解された信号を1走査分ずつ伝送する。受信では図9に示すように色補正を行ってから、信号に応じて変わる光源の光を3色のカラーフィルターの1つを通してとり出し、ポラロイドカラーフィルム上に1走査分ずつ順次露光して記録画を得るものである。

色補正としては、色相調整、濃淡調整などがあげられる。

3.2 カラーファクシミリの伝送

カラーファクシミリの伝送の標準はまだ確立されていないが、伝送の方法としては線順次、面順次、同時式などがある。

線順次はすでに述べたように1走査線毎に送る方法である。面順次は3色に色分解された画面を3回（あるいは黒を入れて4回）送る方法である。カラー印刷では色分解した版を用いるので、面順次で写真電送装置で送られてきた版をその原版として用いることになる。

同時式とはカラー情報を同時に送ることで、例として次にあげる2色のファクシミリがある¹⁴⁾。しかし、一般には同時式の方式は確立されておらず、今後の課題であろう。

最近ではデジタル伝送が盛んであるが、カラーファクシミリ信号の伝送方法としての研究も行われている。すなわち、カラー原画の表示をまず赤、緑、青のドットの加法混色で表し、この濃淡の表示を閾値の異なる1, 0の判別回路を通すディザ手法で表現する。この方法で1ビット/画素以下でカラー画の濃淡を見掛上表している¹⁵⁾。

また、レベルプレーンコーディングの手法をカラー原画に応用したシミュレーションの報告もある¹⁶⁾。すなわち、各色のプレーンを考え、この1, 0の状態を順次MR方式（前走査線を参照する可変長符号化の一

図10 2色ファクシミリ伝送方式例

種)で送る方法である。

3.3 2色ファクシミリ

2色ファクシミリでは、原画からの情報はダイクロイックミラーで赤の波長以上の光と、赤よりも短い光とに分け、赤信号と黒信号とに分離して図10に示すように、赤は180°位相を変えて送ることでAM-PMの信号で2色の情報を送ることになる。この信号をVSBで送れば、AM-PM-VSB信号として2色のファクシミリ信号を普通のグループ2の白黒信号と同様な形で送ったことになる¹⁴⁾。

受信記録では赤と黒のインクジェットヘッドを2個独立に用意し、2色の記録画を得ている。また中間調レベルに対しては、インクのパルス密度を変えることで、ある程度表すことができる。

3.4 インクジェットカラーファクシミリ

有線のカラーファクシミリ信号、テレビ信号に重畳されたカラーファクシミリ信号などの画像信号の記録用に開発されたインクジェット記録装置がある¹⁷⁾。

カラーファクシミリの受信では、赤、緑、青の色分けされた信号から黄、マゼンタ、シアンの成分に変換すると共に、視感度に合わせるためレベルを対数変換

表1 カラー記録装置の仕様

項目	内容
1 入力信号	時系列3原色信号 またはカラーNTSC信号
2 走査方式	ドラム回転（主走査） およびキャリジ移動（副走査）
3 記録方式	インクオンデマンド形インクジェット
4 記録密度	6 dot/mm
5 記録速度	20,000 dot/s, 2 mm/A4判
6 記録色数	Y, M, C, R, G, B, BK または real color
7 記録濃度	O. D. 0.3~1.0
8 記録紙	297 mm (W) × 80 mm 巻ロール紙
9 インク	Y, M, C, BK 4色カートリッジ式
10 インク消費量	~0.3cm ³ /A4判
11 使用温度範囲	5~40°C
12 電源	AC 100V, 500VA
13 重量	60 kg

写真 2 カラーインクジェット記録画

図 11 カラープリンター原理図

図 12 2色半導体レーザービームプリンター

して濃度を示す信号にしたものを、表 1 に示す装置に加える。

この装置は、ドラム回転による主走査とキャリジ移動による副走査で画像をつくり、ヘッド相互間の差は信号を数 ms 遅らせることで補償している。

4. カラープリンター

入力がデジタルな情報、あるいは処理された画像信号をカラーで記録するケースが増えてきた。ここではこのようなカラープリンターを幾つか例示する。

4.1 カラー感熱プリンター

図 11 は、カラー感熱転写形プリンターの原理図である。すなわちシアン、マゼンタ、黄のインクを塗布したインクフィルムを用い、順次熱ヘッドを情報で加熱することでインクを1色ずつ転写し、これを3回行うことでカラーの記録を得るものである¹³⁾。写真 1 はそのカラー記録画で、8 ドット/mm、1 辺 1728 ドットで A 4 判記録画を 30 秒で出力し、7 色（黄、マゼンタ、シアン、赤、緑、青、黒）を表示する。

4.2 2色レーザービームプリンター

レーザービームプリンターは情報の高速記録手段として開発されてきたが、2 ビームを用いた赤と黒の2色を記録するプリンターがあり、図 12 はその構成である。

テルル増感のセレンウムドラムを用い、帯電後第1のレーザービームによる像を黒色トナーで、第2のレ

表 2 印字仕様

項 目		仕 様
ドット密度	縦	9.4ドット/mm
	横	〃
有効印字幅		350.5 mm
用紙速度		160 mm/s
色数		赤、黒 2色

ザービームによる像を赤色トナーでそれぞれ反転現象転写して赤、黒の2色の記録を得ている。印字の様子は表 2 の通りで、160 mm/sec の高速である。

5. カラー複写機

電子写真の方法を用い、3 色色分解して重ね合わせてカラー画像を得る方法についてはすでに述べた。

5.1 2色カラー複写機

電子写真法を用い、1つのドラムで2色を出せるカラー複写機が開発された¹⁸⁾。このドラムは赤色光に感度を有する U 層と不感の L 層からなる複合感光体層からなっている。そして均一赤色露光のものとで1次正帯電を行う。このとき正電荷は U 層、L 層の界面に保持され、表面電位は正となる。次に暗において表面電位が負側に反転し黒画像の形成に充分な電位となるまで2次負帯電を行う。この状態で画像露光を行うと白色部分は中和され電位は零となる。赤色部は U 層が赤感度を有するため表面の負電荷が支配的となる。このように、1回の露光で正負の潜像を形成できる。

図 13 は、この場合の電荷の状態をモデル的に示したもので、このドラムを露光後、逆の極性の赤および黒のトナーで現像し、これを普通紙に転写して記録を得る。

5.2 高品位カラーインクジェット記録装置

スキャナーにより原画を走査分解し、デジタル信号として扱って調子の忠実再現のための処理を行い、オンデマンド形のインクジェットで記録を得ている。

原理的にはファクシミリに近く、またスキャナータイプの印刷装置に似ているが、インクジェットで比較的高品位のカラー画を得ている例としてあげる¹⁹⁾。図

図 13 2色電子写真の原理

図 14 高品位カラーインクジェット描画システム構成図

14 にこのシステムの構成図を示す。

画像情報は 4 色の 64 レベル (6 ビット/色) とし、これを表すのに 1 mm 当り 2 画素で、1 画素を例えば 3×3 のドットの組合せと大きさ (大、小) とを変えて階調を得ている。データはすべて 8 ビットのデジタル情報として扱い、図 14 に示すようにマイクロコンピュータによる A/D 変換、指数圧縮、ミニコンピュータによるファイルと処理 (トーン補正、色補正)、ならびにマイクロコンピュータによるインクジェットの制御を行っている。写真 2 はその受信画 (縮小) である。

なお、印刷ではカラースキャナーとデジタル画像処理が大いに活用されている²⁰⁾²¹⁾。

6. む す び

カラーファクシミリやカラー複写機について、カラー記録の方法と装置を概説してきたが、最近の傾向はデジタル化であろう。

カラー記録の方法は高価なカラー写真を別として、電子写真、インクジェット、感熱記録 (熱転写記録) などがあげられる。

2 色あるいは 3 色の色相の装置は実用期に入ったといえよう。色相、濃度、彩度まで備えたものは、特にファクシミリの場合、その伝送方式のこともあり、研究を要する課題であろう。(昭和 57 年 10 月 18 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) “昭和 57 年電気 4 学会全大予稿, S-26” (1982)
- 2) “Color facsimile”, Electronics, p.104 (Oct., 1949)
- 3) 嘉数, 小林, 徳江, 中尾, 成田: “カラー電子写真について”, 電子写真, 1, 1, p.31 (Sep., 1959)
- 4) 池田: “カラー写真電送装置”, 写真工業, 26, 11, p.42 (June, 1968)
- 5) 速水, 笹部: “カラーファクシミリ”, テレビ誌, 26, 4, p.330 (Apr., 1972)
- 6) “テレビジョン・画像工学ハンドブック, 1 編, 2 章, 色”, テレビ学会刊 (1981)
- 7) 小林ほか: “多色多階調カラーインクジェット記録法”, 信学会画像工学研究会, EMC-81-15 (1981)
- 8) 安藤ほか: “インクジェットによるカラー記録”, 画像電子学会第 64 回研究会予稿, 81-05-01 (1982)
- 9) 原, 遠藤: “バブルジェット記録について”, 画像電子学会第 63 回研究会予稿, 81-04-5 (1981)
- 10) 一之瀬, 清水, 大庭: “電子平面走査形インクジェット記録方式の提案”, 画像電子学会全大予稿, 7 (1980)
- 11) 一之瀬, 樋口, 松本: “スリットジェット記録方式における A4 判ヘッドの検討”, 画像電子学会第 66 回研究会予稿, 81-07-4 (1982)
- 12) 中野, 永井: “2 色画像の読取りと記録に関する研究”, 沖電気研究開発, 47, 2, p.43 (Dec., 1979)
- 13) 大野ほか: “高速熱転写カラープリンタ”, 画像電子学会第 10 回全大予稿, 23 (1982)
- 14) 内藤, 細貝: “圧力制御式インクジェットファクシミリ”, 画像電子学会誌, 10, 3, p.163 (1981)
- 15) 田部ほか: “組織的ディザによるカラー画像表示とそのエントロピー符号化”, 昭和 57 年信学会全大予, No. 1195 (1982)
- 16) 瀬政, 上野: “多色レベルブレイク信号の Modified READ 符号化”, 昭和 57 年信学会全大予, No. 1157 (1982)
- 17) 鈴木ほか: “インクジェットによる映像のカラープリント”, 信学会画像工学研究会, IE 80-62 (1980)
- 18) 松本ほか: “電子写真法による 2 色カラー複写機”, 画像電子学会第 64 回研究会予稿, 81-05-4 (1982)
- 19) 大垣, 小寺ほか: “高品位カラーインクジェット描画システム”, 画像電子学会第 66 回研究会予稿, 81-07-6 (1982)
- 20) 小野: “カラースキャナ概観”, 画像電子学会誌, 9, 2 (Sep., 1980)
- 21) 小野: “カラースキャナにおける画像処理”, 画像電子学会誌, 10, 5 (Dec., 1981)