

コンピュータグラフィックス・プリンティングシステム

東 吉彦

大日本印刷株式会社 画像研究所

コンピュータグラフィックス (CG) による映像表現能力の向上により、印刷用映像ソースとしての利用価値が高まってきた。本報告では、従来のようにカラーフィルムやハードコピー出力から印刷を行うのではなく、フロッピーディスクや磁気テープから直接デジタル処理により高品質の印刷用分解版を作成する「コンピュータグラフィックスプリンティングシステム」を紹介する。本システムを利用することによりCGだけでなく、ビデオテックス、リモートセンシング等種々のデジタルデータを高品質に印刷することができ作品集、ポスターなどへの広範な応用展開が可能となった。

Computer Graphics Printing System

YOSHIHIKO AZUMA

Image and Information research institute, Dai Nippon Printing Co., Ltd.

This report describes the Computer Graphics Printing System (CGPS), new development to print Computer Graphics images. CGPS outputs high quality color separations to make printing plates by digital image processing technique. CGPS has two advantages. One is that sharp and blurless images are obtained. The other is that color on images are vividly reproduced. CGPS also deal with other digital image data, such as videotex data or remotesensing data. CGPS allows them to be printed for various applications.

1. はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) の映像表現能力の向上により、印刷メディアにおける映像ソースとしての利用価値が高まってきた。従来は、映画・放送用に作られたCGが、二次利用という形で印刷に使われてきたのが、最近では、最初から印刷を目的として作られたCGが使われるようになってきている。その背景には、テレビ画素数 (512x512 画素) 程度の画像しか扱えなかったCGシステムの処理能力が向上し、十分印刷に耐えるだけの解像度 (1000x1000 ~ 2000x2000 画素) を持つ画像が作れるようになったことがある。このように映像としてのCGの品質向上に伴い、印刷物としても画質の優れたものが望まれるようになってきた。

我々はこうした要求に応える為、CGのデータを直接コンピュータ処理して印刷用の分解版を作成するコンピュータグラフィックス・プリンティングシステム (CGPS) を開発し、すでに実用化している。

本稿では、CGPSの基本的な処理の内容を解説し、そこでの色再現について検討した結果を報告する。

2. CGの印刷方式と特徴

CGPSについて詳しく解説する前に、CGの一般的な印刷方式と特徴について述べておく。図1に各方式の処理概要を示す。いずれの方法においても最終的には印刷用の分解版が得られるが、大きく分けてカラーフィルムやプリンタ出力のようなハードコピーを使用する方式と、データから直接処理する方式の2通りがある。ハードコピーを使用する方式では (a) のCRT管を直接撮影する方式が最も手軽で広く用いられてきた。しかしこの方法では、管面上での走査線構造やシャドウマスクのパターンがカラーフィルム上にそのまま現れてしまい、画質を損なうだけでなく、オフセット印刷においては網点の規則的なパターンとの干渉によりモアレを発生してしまう。さらに電子ビームのぼけやコンバージョンのずれ、蛍光体のにじみなどの影響により、色調の不鮮明なカラー原稿しか得られず、印刷物として良質の画像を得ることは非常に難しい。(b) のフィルムレコーダ (特に高解像度のもの) を用いる方法によれば、比較的良質のカラー原稿を得ることができるが、ポスターなどに使う用途ではフィルムを引き伸ばして使わなければならない、光学的なぼけや歪が発生したり、フィルムの粒状性も目立ってくるため、やはり無理がある。

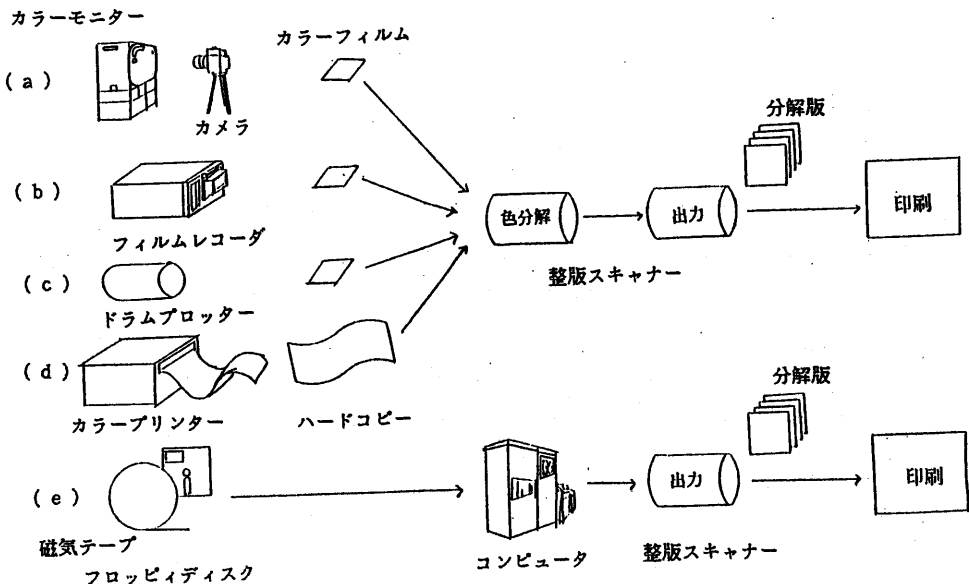


図1 CGの各種印刷方式

(C) のドラムプロッタを使う方法は、主にリモートセンシングの分野で画像出力用に使われており、かなり高品質の画像が得られる。但し装置が高価なため、一般にはあまり使われていない。(d) はコンピュータ用のカラープリンター出力を使う方法で、ぼけや歪のない画像が得られるが、再現される色が限られ、ドットマトリックス構造も現れるので、色数の少ないパソコン画像などごく一部の用途にしか使えない。(e) は本稿で紹介するCGPSで用いている方法で、中間媒体としてカラーフィルムやハードコピーを使用せず、データを直接処理するため画質劣化のない極めて高品質の画像が得られる。

3. CGPSの構成と処理の流れ

図2にCGPSの処理の流れを示す。CGPSでは、フロッピーディスクや磁気テープに格納されたCGのデータそのものが言わば「原稿」となる。これらはコンピュータに読み込まれた後、フォーマット変換、色変換、階調変換、サイズ変換などの印刷に必要な処理を施された後、印刷用の分解版として製版スキャナーから出力される。読み込みから出力までの全ての処理がデジタルで行われるため、画質劣化のない高品質の分解版が得られる。

3-1 フォーマット変換

フロッピーディスクや磁気テープに記録されたCGのデータをコンピュータに読み込み、以後の処理に適した共通のフォーマットに変換するための処理である。通常のCGシステム（ハード、ソフトを含め）が異なればデータフォーマットも異なるため、変換ソフトは各システム毎に準備しなければならない。しかし現実的には不可能な為、一般的に使われているシステムについては変換ソフトを準備し、それ以外のものについては独自のフォーマットを定め

なるべく合わせてもらうようにしている。

3-2 色変換

CGの色を印刷インキで表現するために必要なデータの変換を行う。一般にCGの色はR、G、Bの光の3原色の成分データで表され、これを変換してシアン(C)、マゼンタ(M)、イエロー(Y)、ブラック(K)の4色の印刷インキ量をあらわすデータに置き換える。しかし、前者は加法混色であり、後者は減法混色（実際には加法混色も含まれ、平均的に混じり合っている）であるという原理的な違い、及び蛍光体と印刷インキの発色特性の違いなどによって両者の色を忠実に合わせることは難しい。そのため、CGPSでは後述する方法により、カラーモニターの色になるべく近い色が再現されるようにインキ量をコントロールしている。

3-3 階調変換

カラーモニターと印刷とは、色だけでなくその階調特性（いわゆる γ 特性）にも違いがある。これを補正する為の処理で、この処理についても後で詳しく述べる。

3-4 サイズ変換

CGのデータから所望のサイズの印刷物を作成するには、印刷の解像度に見合うだけのデータ量が必要となる。たとえば、テレビ画素数(512x512画素)程度のCGを1.50線(12画素/mm)のオフセット印刷で出力したとすると43X43mmの大きさにしかならない。そこでCGPSでは、印刷に必要なサイズに合わせて新たに画素データを計算し、補間処理を行なっている。(図3)これにより、大きなサイズ(大型ポスター)であっても、ボケや歪を生ずることなくシャープな画像が得られる。尚、補間方法としては、隣接画素と同じ値をもつ画素を並べるNearest-Neighbor法や、隣接画素の値から線

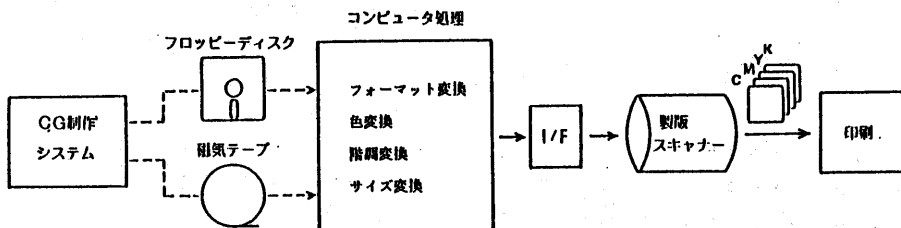


図2 CGPSの処理の流れ

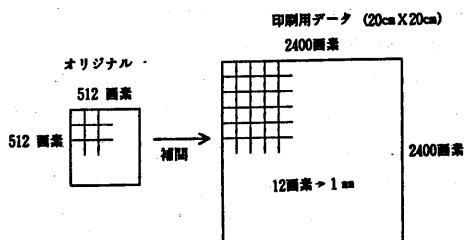


図3 補間処理

形近似した値を補間画素の値とするBi-linear法、及びCubic-spline関数で補間を行なうCubic法があり必要に応じて選択できるようになっている。

(図4)

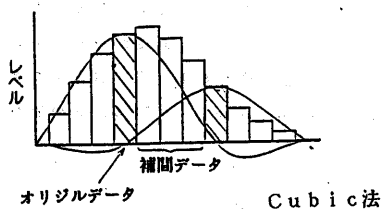
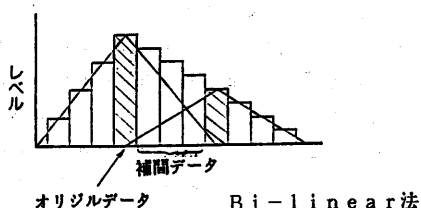
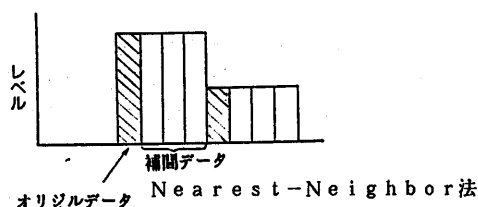


図4 補間処理の方式

4. CGPSにおける色再現

他のハードコピーと同様にCGPSにおいても、カラーモニターに表示されたCGの色は印刷物として忠実に再現されなければならない。しかし現実的には、種々の問題がありほとんど不可能に近い。

そこでCGPSでは従来とは異なる独自の色再現法を用いている。

4-1. 色再現の考え方とモデル

CGデータから印刷インキにより色再現を行なう場合の理想モデルを考える。図5はこれを示したものである。CGは通常R、G、Bの数値データで表されている。これは、R、G、Bの3原色光に与えられる相対強度を表しており、実際にカラーモニター上で表現される色を知るにはそこに使われている蛍光体の発光強度データ、 R' 、 G' 、 B' を求める必要がある。このデータからその色を再現するために必要な印刷インキ量C、M、Y、Kが計算されなければならない。

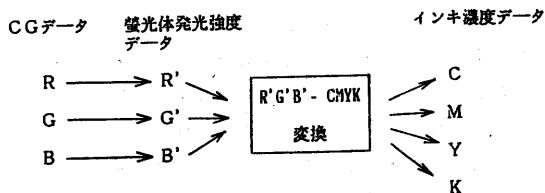


図5 色変換の理想モデル

一方、実際に我々がカラーモニター上でCGの色を観察するときの条件を考えると図6のようになる。CGデータはR、G、Bの各メモリに蓄えられ、ここからの信号がDA変換されてカラーモニターに入力される。これが内部の回路を経てCRT管の印加電圧として加えられ、電子ビームとなってR、G、Bの各蛍光体を発光させる。ここで再現される色はカラーモニターの調整条件によって影響を受ける。たとえば、ホワイトバランスの調整は色相に影響をおよぼすから、これが異なれば同じR、G、Bの値でも違った色に見える。また、明るさやコントラストの調整は色に影響を与えるだけでなく、表示画像の階調表現にも影響を与える。さらに内部回路的にR、G、Bのバランスがくずれていればグレースケールとして表示されるべきデータがカラースケールとして表示されることすらある。もしCGのデータが表示系に依存したデータであるとすれば表示系が異なるごとに色再現の条件を変えなければならなくなりあまり合理的ではない。

そこで我々はCGのデータを表示系によらない理想的な三原色データとして仮定し、それにより表現

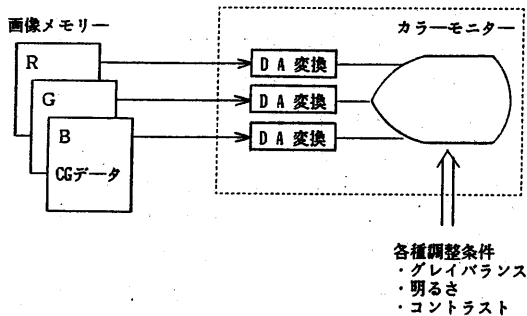


図6 通常の観察条件

される色を表示系の特性に合わせて印刷再現することにした。

4-2 色再現の処理

図7に基本的な処理の流れを示す。ここでR, G, Bは白色成分の含まれない理想的な原色を表すものとする。以下、項目ごとに説明する。

(1) r補正

CGのデータはまずカラーモニターのr特性を補正するための処理が施される。一般にモニター系では蛍光体を発光させるビーム電圧Eと発光出力Lと

$$L = k E^r \quad (k, r \text{ は定数}) \quad (1)$$

なる関係があるとされており、カラーモニターでは $r = 2.2$ となっている。カラーモニター上での色を忠実に再現するにはこの関係を考慮しなければならないがこれは理想的な場合であって、実際には前述のような問題も含め(1)式は成り立たない。また、この関係を考慮して忠実に補正したとしても印刷物として見るとボリューム感の乏しい絵になってしまう。そこでCGPSでは印刷したときの効果も加味して補正条件を定めている。(図8)

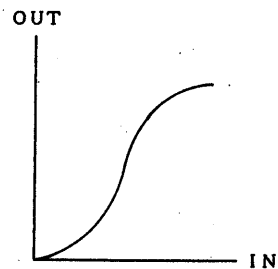


図8 r補正

(2) 1次色補正

印刷インキに合わせて考えるために、R, G, Bの加法混色系からC, M, Yの減法混色系のデータに変換する。ここでは単に補色関係によりデータを変換している。(図9)

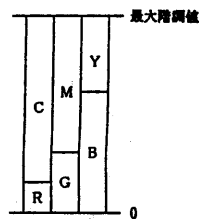


図9 一次色補正

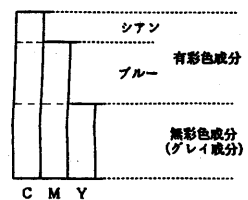


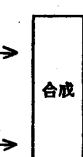
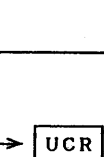
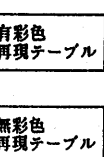
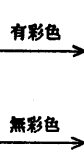
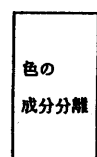
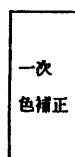
図10 色成分の分離

(3) 色成分の分離

1次色補正したデータから有彩色成分と無彩色成分とを分離する。図10にその考え方を示す。ここでC, M, Yの重なった部分は無彩色成分(グレイ成分)を表し、それ以外の部分は有彩色成分を表している。有彩色成分と無彩色成分はそれぞれ別々に処理される。

CGデータ

R
G
B



インキデータ
C
M
Y

K

図7 色再現処理のフロー

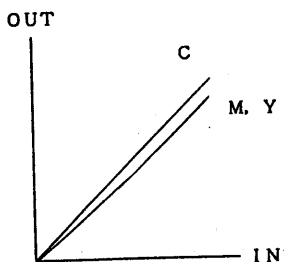


図11 グレイバランスの補正

(4) 有彩色成分のインキ再現

有彩色成分は、さらにレッド、グリーン、ブルー、シアン、マゼンタ、イエローの基本6色成分に分けられる。そして、その成分量に応じて印刷再現に必要なインキ量のデータとして変換される。ここでの変換は色再現にとって最も重要であり、CGPSでは標準的と思われるカラーモニターを選び十分な調整を施した上でその表示色に合うように変換条件を定めている。これについては後で詳しく検討する。

(5) 無彩色成分のインキ再現

無彩色成分は、図11に示すような印刷インキのグレイバランスの条件に基づいて変換される。これはC、M、Yの印刷インキを3色刷り重ねてもニュートラルなグレイにはならないためである。

(6) UCR

印刷では、濃い濃度の色を再現しようとするときC、M、Yのインキ量を多く刷り重ねなければならない。しかし、紙に吸着されるインキ量には限度があるのですべてのインキがのることはない。そこで、3色の重なる部分（無彩色成分）の何%かが墨インキで置き換えられるようにしている。UCRを受けたデータは有彩色成分から求められたデータと合成されてC、M、Yの最終データとなる。

(7) 墨データの作成

無彩色成分からはさらに墨インキのデータ（K）が計算される。墨インキは3色インキの重ね合わせによる濃度不足をおこなう働きをし、墨インキを重ねることによって画像が全体的にしまった効果がえられる。もちろん前述のようにUCRによって置き換えられた無彩色成分の再現も行なっている。

以上のようにしてR、G、BのCGデータからC、M、Y、Kのインキデータが求められる。

4-3 モニター色再現上の問題

印刷インキによる再現色をカラーモニターの表示色に近づけるため以下の点を考慮した。

(1) 蛍光体の種類と発光特性

パソコンも含め一般のCGシステムに使用されるカラーモニターには、種々のものがあり使用される蛍光体も異なっている。図12はその一例としてあるメーカーのカatalogから調べた蛍光体の発光特性を色度座標上に表したものである。使用される蛍光体によってかなり違いがみられる。

(2) 色再現域の違い

カラーモニターと印刷では蛍光体と印刷インキの発光特性の違いにより色再現域が異なっている。図13はその違いを色度図上で比較したものである。ここでわかるように印刷インキではカラーモニターのブルー系の色（高彩度のブルー）は再現できない。

(3) 白色点の違い

色再現を検討する上で白色は特に重要な意味をもつ。色に対する評価は白色を基準に行われるため、その設定は他の色に対して与える影響が大きい。図13に示したようにカラーモニターでは白色がかなりブルーよりに調整されており、したがって、ブルーからシアンにかけての範囲は元のCGデータの変化に対して再現域が狭くなっている。

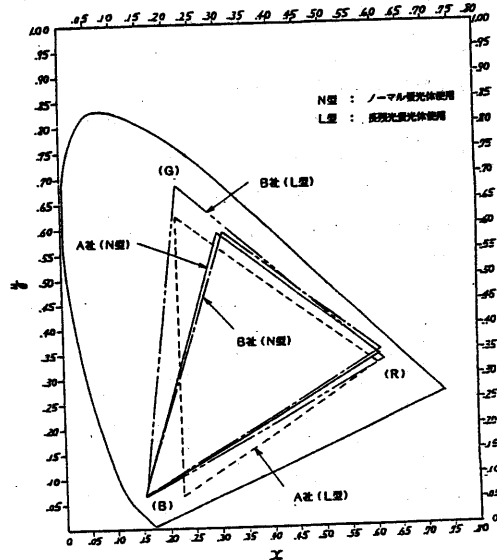


図12 蛍光体による発光特性の違い

一方、印刷では紙の白が白色の基準となり、標準的な照明条件（色温度5000°K）ではやや黄色色によっている。しかし全体の再現範囲からするとほぼ中央にありバランスはとれている。

（4）原理的な違い

カラーモニターは加法混色により、印刷は減法混色により色再現を行うため、根本的に両者の間では明るさ（明度）の再現範囲が異なっている。しかも印刷の場合、反射光のもとで観察されるため、照明条件により色の見えかたが変わってしまう。

以上のような点を考慮して、CGPSでは色の3属性である色相、明度、彩度のうち、特に色相に重点を置いて色再現条件を定めた。

4-4 色再現条件の決定

まず、各種CGシステムで使用されているカラーモニターの中から、標準的な発色特性をもつと判断される機種を選び、標準の調整を施した上でこれに印刷の色を合わせることにした。

次にこのカラーモニター上でレッド、グリーン、ブルー、シアン、マゼンタ、イエローの各色相に対し、CGデータとして最大の輝度（8ビット階調で256の値）を与え、その表示色を基本の6色とした。この6色について実際に色度測定を行ない、その結果に基づいて印刷の色合わせを進めた。（図13）

カラーモニターの基本6色に印刷物の色度点を完全に一致させることは困難なため、色度図上で等色相線（基本6色の各色度点と白色点とを結ぶ直線）を想定し、この直線上にのり、かつ基本6色の色度点に最も近くなるC、M、Yのインキ量の組み合わせを実験的に求め、これを基本6色の再現色とした。なお簡単のため墨インキはここでは省いてある。

こうして求めた基本6色に対する再現条件に基づいて、他の色に対する再現条件は内挿により求めた。

以上述べた方法により、（R、G、B）のCGデータから（C、M、Y）のインキデータへの変換を行って印刷した結果、カラーモニターの色に近い再現を得ることができた。この結果は有彩色を印刷インキで再現するためのテーブルとして利用している。

5. むすび

コンピュータグラフィックスの画質を劣化させることなく高品質な印刷画像として出力するCGPSにつ

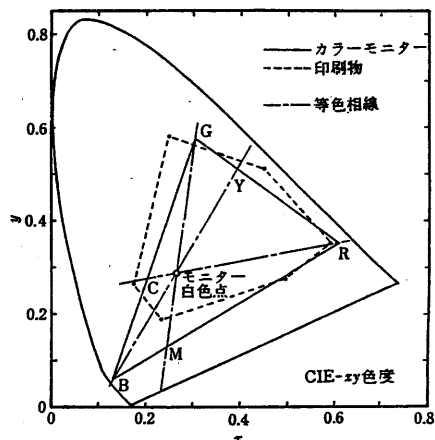


図13 カラーモニターと印刷の色再現域の違い

いて、色再現処理を中心に報告した。CGPSはコンピュータグラフィックスだけでなく、それ以外にもビデオテックス画像やランドサット画像などのデジタル画像データにも適用でき、さまざまな応用展開の道が開けている。今後、カラー画像のデジタル化が進むにつれてますますその利用価値が高まってゆくものと期待される。

参考文献

- ・ J.A.C.Yule : Principle of Color Reproduction, John Wiley (1966)
- ・ R.W.G.Hunt : The Reproduction of Colour, Fountain Press (1975)
- ・ 池田光男 : 色彩工学の基礎, 朝倉出版 (1980)
- ・ テレビジョン・画像工学ハンドブック, オーム社 (1980)
- ・ 田島 : "デジタル・カラー整版における色再現処理" 電子通信学会論文誌, J68-D.48 (1985) pp.710-717
- ・ 藤田, 東, 会津 : 第74回日本印刷学会春期研究発表会予稿集 (1985) pp.9-12
- ・ 東 : "コンピュータグラフィックスの印刷" 応用物理学会誌 54 (1985) pp.1064-1065