

印刷物を基準としたカラーマネージメントシステム

宇佐美 良徳* , 大久保 彰人* , 依田 章*

Color Management System for Printing and Graphic Arts

Yoshinori USAMI*, Akito OHKUBO* and Akira YODA*

Abstract

In order to implement color consistency of digital image data throughout the entire process for press make-up, a technology for color management system (CMS) has been developed, where colors of the final printed matter are standards of reference for reproduction. This describes precisely the relationship between colorimetric values of printed matter obtained by a production press machine and the CMYK dot percentages, and makes it possible to simulate the colors and gradation of the final printed matter by utilizing this relationship when they are reproduced on the monitors or the digital color printers.

Since the finished colors of final printed matter are subject to the effects of dot gains or ink trapping, linear modelling with the CMYK dot percentages does not hold. Furthermore, a subtle change in colors due to non-uniformity in the ink density within paper makes it difficult to describe the relationship between colors and the dot percentages. We have studied these properties, developing a chart with an array for each ink combination and a modelling algorithm, and succeeded in describing the colors from a production machine with an accuracy of less than 2 of the average value of E in CIE Lab color difference. Also, in the transform of the colorimetric data into the device data, a localized reproduction model at the boundary of color gamut has been introduced to make it possible to maintain the continuity of tone and the reproduction accuracy up to the near threshold. With these achievements, it has become possible to reproduce the colors of final printed matter on the prints or on the monitors.

1. はじめに

フルデジタル化した製版印刷の工程において印刷品質の設計はデータのみを媒介として行われ、コンピュータ・トゥ・プレート (CTP) やオンデマンド印刷などの手段により直接刷版や印刷物が作成されるようになってきている。一方で、カラーデータの交換が正確に行われるようにとのニーズに対しカラーマネージメントシステム (CMS) が種々提案されている。これは、CMYKのような材料や装置に依存した色信号ではなく、CIE XYZもしくはCIELABの信号を使って色彩情報を正確に伝えようとするものである。たとえば、CMYK信号とCIELAB値の関係を色再現特性記述データとしてあらかじめ求めておき、これを使って異なるデバイス間で同一の色再現を実現しようとするものである。この

記述データはデバイスの色再現プロファイルと呼ばれている。CMSはプリプレス分野における色保証の要となるものとして注目され、ISO / TC130 / WG2など、種々の団体の検討が進められ、カラーターゲットやデータ交換フォーマットについての標準が提唱されている¹⁾。

従来の製版工程における色保証は、中間媒体である網点フィルムから校正刷りを作成し、それをもとにして行われていた。その主たる目的は以下の3つである。

- (1) 製版スキャナーなどでの画像処理結果の確認
- (2) 発注者から仕上がり品質の承認を得るため
- (3) 本機印刷時の刷り見本

これらはいずれも大量生産する印刷仕上がりを事前に確認することが目的であり、中間媒体における色の確認は仕上がり設計の重要な部分を担っている。しかしながら、仕上がり確認フローの中に網点フィルムから校正刷りを作成する工程を含むために、品質確認と直ちに費やされる労力とコストは非常に大きい。また、本機とは印刷方式の異なる校正印刷機において最終仕上がり色を正確にシミュレートしたプリントを作るのは困難であり、結果として本機印刷準備における色調整に

本誌投稿論文 (受理1997年10月3日)

* 富士写真フィルム (株) 宮台技術開発センター
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

* Miyanodai Technology Development Center
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 258-8538, Japan

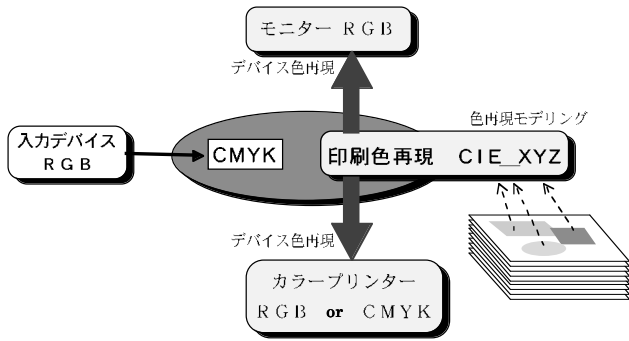


Fig. 1 Color management system for graphic arts and printing

手間がかかり生産効率を低下させている。さらに、CMYK分版用のデータを作る工程においては網%値の組み合わせと色の関係を経験的に知っている熟練者に頼らざるを得なかった。

これに対し、デジタル信号の色を測色値で表現するCMSでは、モニターやプリンターの機種によらず同じ色再現が原理的には可能である。したがって、CMYKデータに対して最終印刷の色をプロファイルデータとして精度良く関係づけておけば、上流工程で最終印刷の色確認が可能となる。これにより、工程すべてに渡って一貫した色保証が実現可能になり、前述した従来工程の欠点大幅に解消できる。われわれはこうした観点に基づくCMSのコンセプトを提案しており²⁾、その概念を示したものがFig. 1である。

特に、スキャン分解された写真画像の品質保証を考えた場合、以下の特性が品質シミュレーションとして要求される。

- (1) グレーバランスおよびグレー階調特性を忠実に再現できること。
- (2) 肌や緑、空などの記憶色を正確に再現できること。
- (3) 有彩色に対しても階調再現が正確に再現できること。
- (4) これらの特性について用紙などの材料差による違いを表現できること。

特に、高品質なカラー印刷では色差 Eの値が2以下の精度が要求されており、こうした用途に対応できるCMSの構築が必要となる。

われわれはこのような観点到に立ち、色および階調再現において高い精度実現を前提とした製版印刷用CMS技術の開発を行った。ここではその概要を報告する。

2. 材料や印刷方式による網点色再現特性の違い

CMYKデータを実際に印刷する場合の色再現は、印刷方式や材料の違いによって異なることはよく知られている。網点画像のグレー再現や色再現に対して印刷方式や材料の違いがおよぼす影響を調べるために、各版の単色、2次色および3次色の網点スケールを印刷し、これらを測色したデータをL*a*b*空間のグラフにプロットしてその特性を比較した。印刷条件が異なる場合の

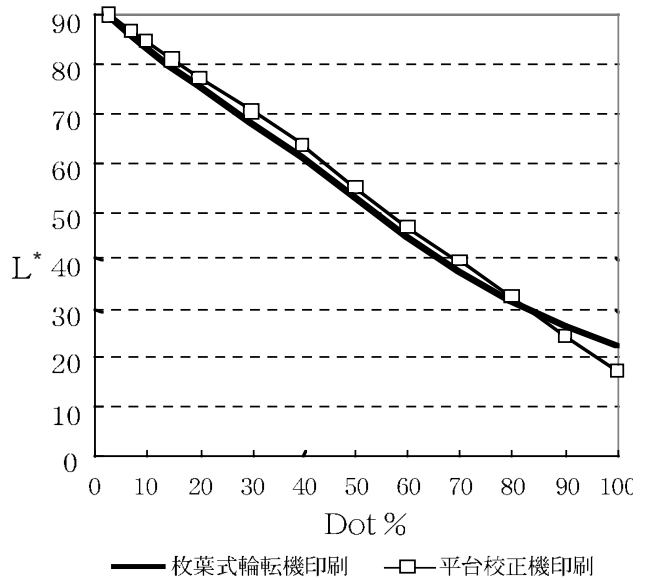


Fig. 2 L* curve of CMY gray

一例として、枚葉式輪転印刷機と平台校正機についてグレー再現特性を比較した結果を以下に示す。Fig. 2は、CMY網点面積率を同じにした3次色スケールの明度L*再現を、Fig. 3は、色座標a*, b*再現をそれぞれプロットしたものである。この例では網点面積率の小さい側で枚葉式輪転印刷機の方が硬調な階調再現を示し、シャドウ側では逆に軟調な再現になることがわかる。また、a*, b*の値の変化のようすも面積率の小さい側と大きい側で著しく異なっており、色差 Eも最大で8と大きい。こうした違いを生じる要因としては、印刷時の網点太り(ドットゲイン)特性の違いのほか、インク網点の重なり部分における再現特性の違いが大きいことが考えられる。

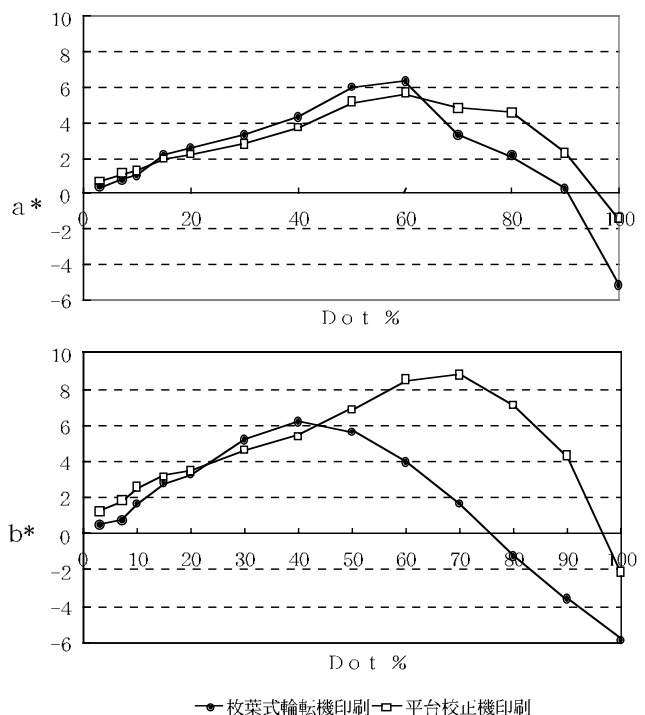
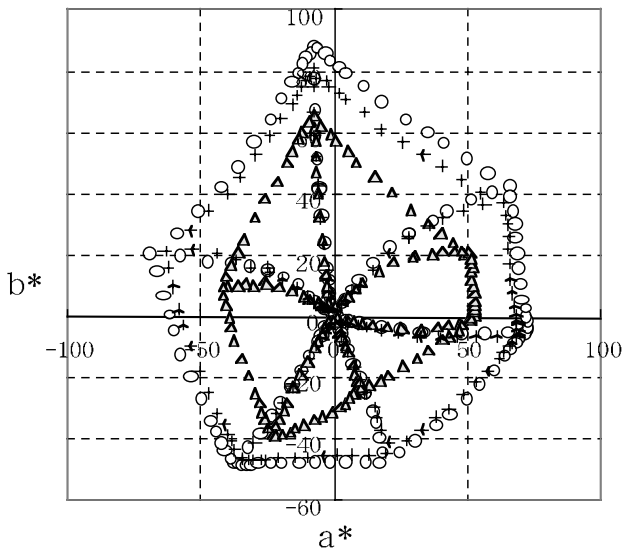


Fig. 3 Color balance of CMY gray



○ アート紙 ▲ 非コート上質紙 - マット紙

Fig. 4 Plots of halftone printing colors on various papers

Fig. 4は、同一条件、同一インキで光沢コート紙、マットコート紙、非コート上質紙にそれぞれ印刷したものを測色し、 a^*b^* 平面にプロットしたものである。インクの紙への染み込みを反映して色再現範囲が大きく異なっており、上流工程での仕上がり品質チェックにおいてはこれらを考慮することが必須であることがわかる。

以上のように、印刷方式や使用する材料の違いにより、色の再現範囲やグレー階調、グレーバランス再現特性が多様に異なっていることがわかる。こうした最終印刷の仕上がりを数値データで表現し、上流工程においてプリンターなどで再現させる技術が必要となる。これについて以下の章で述べる。

3. 印刷色再現色のモデリング

一般に、カラー反射プリントは発色メカニズムが複雑であり、デバイス制御データと再現される色の関係を簡単な数式で表現することが難しいことから、色再現プロファイルは、一万から百万点の要素からなるルックアップテーブル (LUT) 形式で記述される。通常は代表色の測色データを基に色再現モデルを作り、CMYK空間で等間隔に分布させた格子点に対応する測色値を計算し、LUTを作成する。

網点印刷の色再現モデルとしては、Neugebauer方程式が古くから知られている³⁾。これは白地、単色インク部、2次、3次、4次色インクベタ部分を代表色として計測し、そのXYZ3刺激値に各色部分の出現確率を乗じて任意のCMYK組み合わせに対する再現色を求める方法である。網点太りの特性を組み入れる方法など、幾つかの改良がなされているが、特に、3色または4色グレーなど、網点の重ね合わせ部分の特性を正確に記述することは難しい。

一方、CMYKの組み合わせ色パッチを数百から千数百印刷して、その測色データを高次多項式で近似することにより、色再現特性をモデル化する方法もよく用いられている⁴⁾。この方法は原理的にはCMYKのあらゆる組み合わせに対して忠実なモデリングが可能であるが、チャートを配置する面積が広がるため、印刷紙面内のムラの影響を受け易い。これは色再現特性の歪みとして反映され、特に、自然画の調子再現では障害となる。ムラに影響されにくいチャート、およびモデル化アルゴリズムの設計をすることも重要なポイントとなる。

われわれは網点階調再現とグレーバランスを重視した再現色予測アルゴリズムとして色空間フレーム補間法を開発した。通常の測色データ補間による色再現モデルでは、CMYK空間において格子点上に配置していた色パッチを、この方法ではFig. 5に示すようにCMY各軸および対角線上に配置する。それぞれの軸に沿って色再現カーブを求め、次に2次元平面内に補間し、さらに全空間に補間することで全体の特性を求める。計算フローは次のようになる。

- (1) チャートの計測値から単色、2次色、3次色の各スケールの再現特性カーブを算出する。
- (2) 3つの軸で構成される面の色再現特性を $L^*a^*b^*$ 空間における補間により算出する。
- (3) CMY立体内の格子点の測色値を $L^*a^*b^*$ 空間における補間により算出する。
- (4) CMY代表色のサブセットをK値を変えて印刷し、その計測値と上記で求めたCMY立体の特性から異なるK条件に対するCMY再現色特性を予測する。

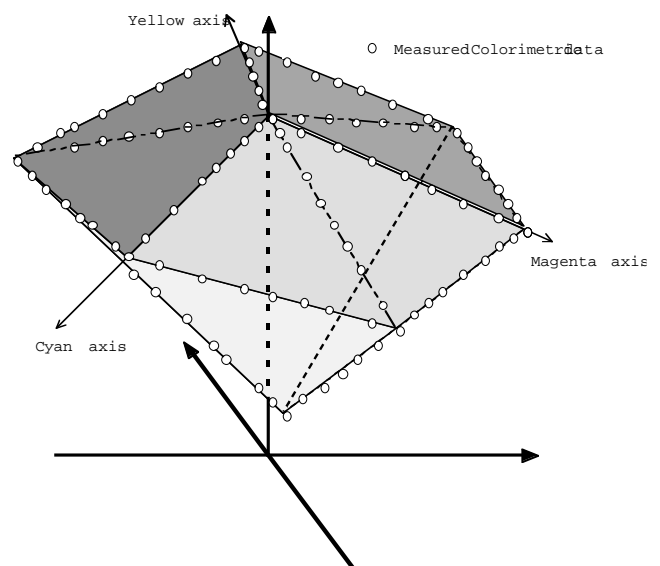


Fig. 5 Measured points for color frame interpolation mapped on color gamut of a halftone press printing in CIELAB color space

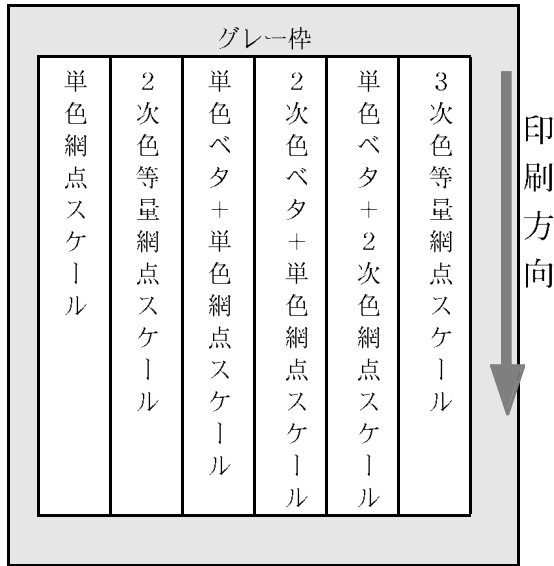


Fig. 6 Color target design for color frame interpolation

この方法は、調子の連続性に影響する同系列のパッチを近接して配置することが可能であり、小さい面積範囲にカラーチャートを納めることができるため、紙面内の不均一性の影響を最小限に押さえることが可能となる。Fig. 6には、この色予測モデルで使用する代表色を配置したカラーチャート構成を示す。この方法は単色から3次色の各スケール上に計測点を重点的に配置しているため、色版ごとの網点タリ特性やインク重なり部分の色調再現を忠実にモデルに反映できることが特徴である。

約100色の任意のCMYKデータに対し本モデルによる計算値と実測値を比較したところ、平均色差 E が1以下で一致することを確認している。これは、先に述べた印刷方式や材料による色調再現特性差を数値表現するのに必要十分な精度といえる。

4. 色再現アルゴリズム

プリンターやモニターなどの装置で予測された色を忠実に再現するためには、XYZやLabなどの色データから装置固有の制御信号 (たとえばRGB信号) への変換が必要となる。特に、最終仕上がりのシミュレーションを行う場合には、色再現域境界まで正確な色一致が要求され、かつ調子つながりの良さを実現することがポイントとなる。

色データからの変換用LUTを作成するには、ある再現色を与えるデバイス制御信号を次のような2段階のプロセスで求める工程が使われる。

- (1) 装置固有の色信号RGBに対する再現色を記述するLUT作成
- (2) 上記テーブルを使った繰り返し演算により、XYZやLABなどの色空間で等間隔に刻まれた格子データに対応したRGB値を算出する工程

このプロセスにおいて、プリンターやモニターの再現可能な色範囲においては解が得られるが、再現域の外側に相当する色データは原理的に解がない。Fig. 7はこの様子を2次元で模式的に示したものである。左は色空間におけるデバイス色再現域とLUTの格子を示してあり、右図はデバイス色空間であり、網がけ部分が再現範囲である。丸印で示したように色空間の格子点の中にデバイス空間で対応する信号値がない格子点が出てくる。色データを変換する際には、複数格子点のデータ補間により変換後の値が算出されるため、再現域境界付近では色再現域外の格子点データが使われる領域が生ずる。この領域のデータを再現範囲内にマップするという手法をとると、その点近傍の色再現特性に歪みを生じさせる。こうしたことから、再現域外の色データのマッピングが高彩度色の忠実再現性や階調再現に非常に重要な要素となる。

われわれは拡張色再現域マッピングアルゴリズムを開発し、高彩度色および階調の忠実な再現を可能にした。

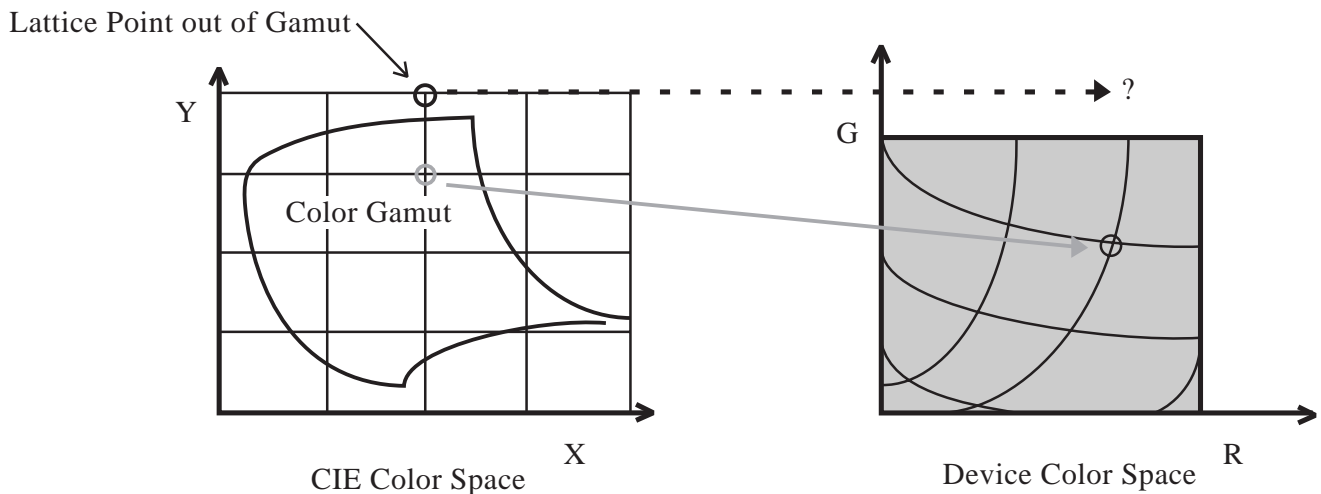


Fig. 7 Color transform from CIE color space to device color space

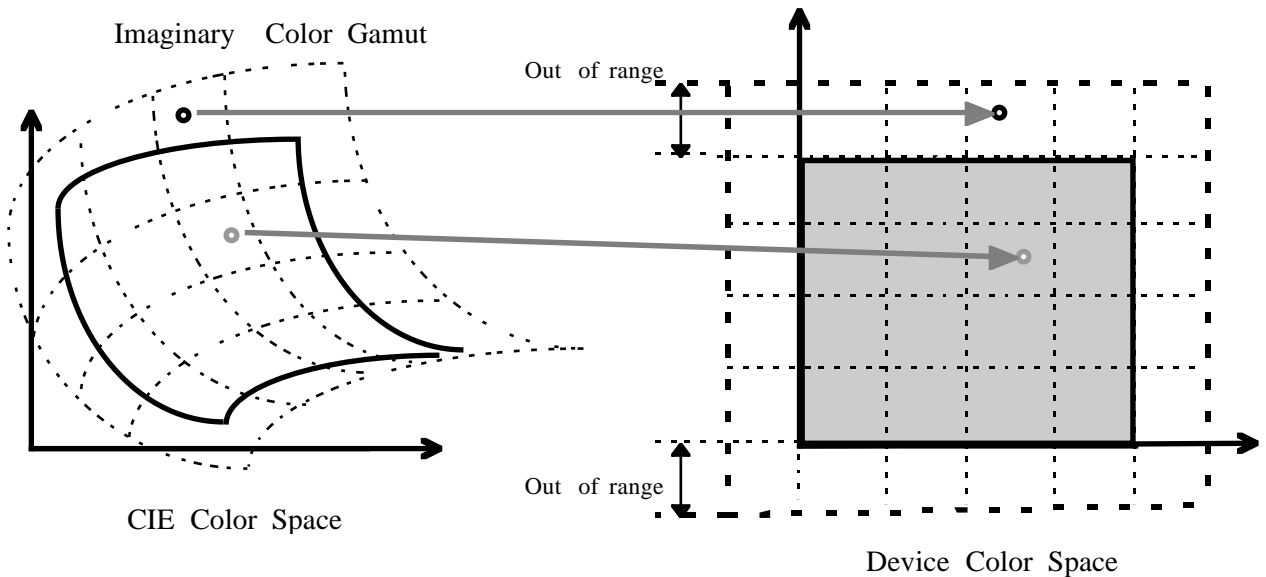


Fig. 8 Extended color gamut mapping

この方法はデバイス制御信号を実際の範囲より拡大し、この領域に対する色再現特性をモデル計算により色の連続性を保つよう拡張することによって、再現域境界近傍の対応点を設定する方法である。Fig. 8はこの方式を説明したものであり、右図中の網がけ部分で表示されたデバイス信号範囲の外側点線部分がモデルで拡大する領域を示している。拡大部分に対応した色領域が、左図における実線で描かれた色再現範囲の外側の部分に相当する。

この方法により、再現域境界ぎりぎりまで忠実な色再現が可能となり、デバイスの色再現範囲をフルに活用できる。これにより、ハイライトから高彩度色まで階調再現性を損なわずに印刷色の忠実なシミュレーションが可能となった。

5. カラーイメージチェックシステムへの適用

本技術を組込んだシステムの実例として、カラーイメージチェックソフトを開発した。これは、フルデジタルの流れの中で次工程に対する品質管理という要請から、写真画像をスキャナ分解する工程で最終仕上がりの色のチェックを可能とするものである。このシステムでは写真画像チェック用途であることを考慮し、調子再現性に優れたPictography3000を品質確認用の出力機として使用した。

このシステムにおけるCMS処理のフローをFig. 9に示す。印刷の代表色を配置したカラーチャート印刷物を測色したデータをもとに、色空間フレーム補間法により印刷色再現をモデリングし、CMYKとCIEXYZ値の関係をLUTとして記述する。Pictography側に関しても同様に、カラーチャートプリントを測色したデータをもとに色再現モデリングを行なう。さらに、拡張色再現域マッピングを行い、CIEXYZ値からRGB信号への変換

用LUTを作成する。作成された両者のテーブルを結合すると共に色再現域圧縮処理を行い、CMYKからRGBへの変換用のLUTを作成する。色分解されたCMYK画像データは、このLUTにより印刷色にマッチするように調整されたRGBデータに変換され、Pictography3000に出力される。

このシステムについて印刷色の再現精度を調べたところ、グレー部分でターゲットに対する色差は平均 E

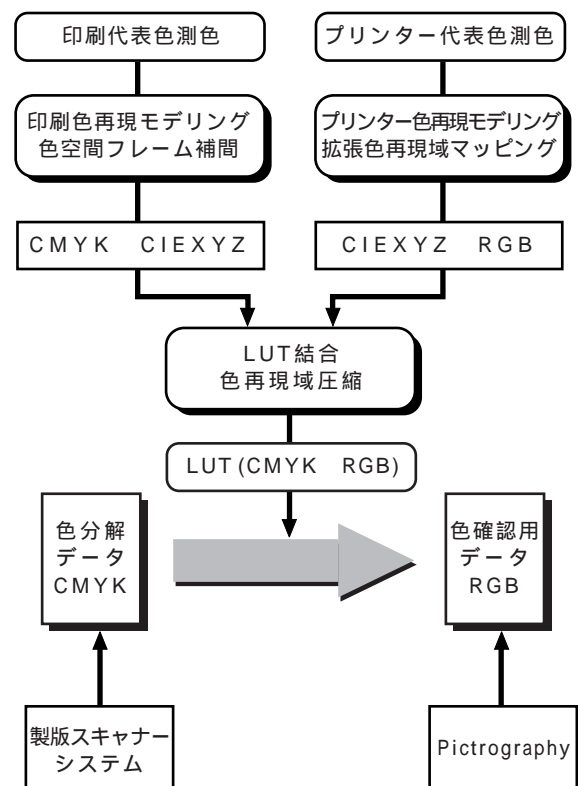


Fig. 9 CMS data flow

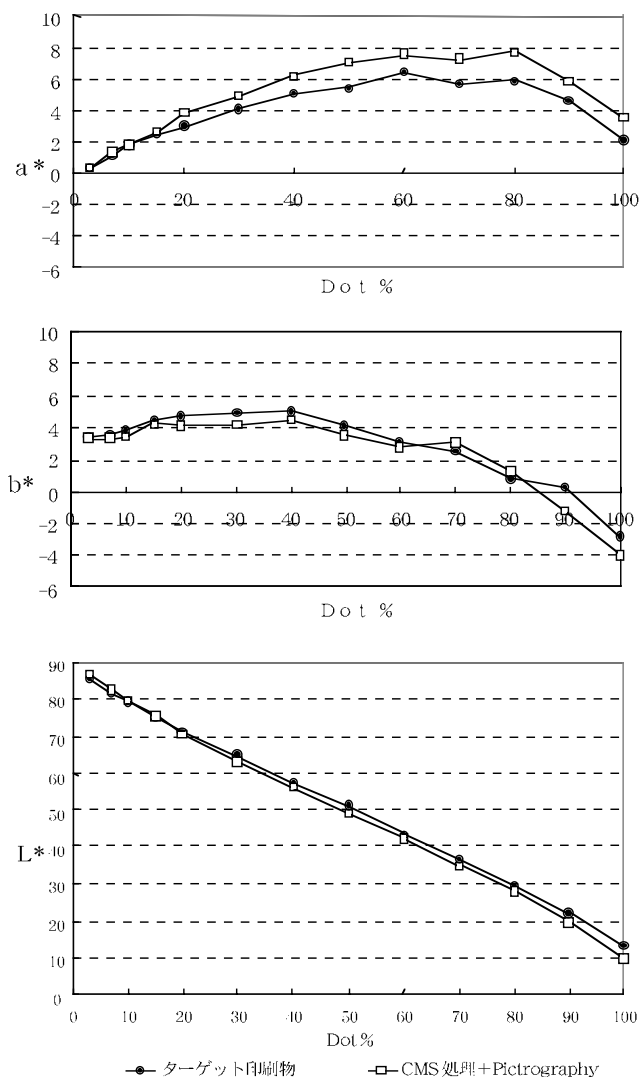


Fig. 10 Reproduction of color and tone by CMS

で1.05であった。Fig. 10に示すグレー部分の再現特性を比較したグラフから、印刷のグレーバランスや階調を忠実にシミュレートできていることがわかる。肌色、緑など、写真から抽出した全色についての色差も平均Eが1.7であり、全色域にわたって良好な再現が得られることが確認できた。

6. 終わりに

近年、International Color Consortium (ICC) によりCMSプロファイル記述の国際標準が制定され、デジタルデータをオープンな系において色管理する環境が整いつつある。フルデジタル製版工程の長所である自動化、生産性の向上を最大限に活かすために、こうしたオープンなCMS環境の枠組み構築に加えて、ピクトリアルな画像品質保証を可能とする高精度なデジタル色処理アルゴリズムがより重要になってくる。本報告で述べたCMS技術要素は、製版分野の品質管理のニーズに答えることのできる信頼性の高い色保証を提供するものとして期待される。

参考文献

- 1) 梶光男, 「カラーデータ交換に係わる標準化の動向」, 日本印刷学会誌, 31 (3), 186-194 (1994)
- 2) 富士写真フイルム, 「印刷画像の品質保証」, 印刷雑誌, 79 (4), p.18-19 (1996)
- 3) J.A.C. Yule, "Principles of Color Reproduction", John Wiley & Sons, INC. (1967)
- 4) Franz Herbert, "CIE color space and IT8 at work" in "Device-Independent Color Imaging and Imaging Systems Integration", Ricardo J. Motta, Hapet A. Bererian, Editors, Proc. SPIE, 1909, 168-172

(本報告中にある "Pictography" は富士写真フイルム(株)の商標です。)