

FDi サービスの色処理アーキテクチャー

竹本 文人*, 大久保 彰人*, 依田 章*

Color Image Processing Architecture on FDi Service

Fumito TAKEMOTO*, Akito OHKUBO*, and Akira YODA*

Abstract

Color image processing architecture of FDi digital imaging service is designed so as to achieve high quality photo prints with high color consistency in a variety of services. We defined a reference color reproduction device and a viewing condition on which preferred color reproduction is designed. Consistent colors are reproduced on any printer or display by our color matching technology based on accurate colorimetry. Almost every shots, including improperly exposed ones, are reproduced in desired contrast and brightness by a proprietary automatic color control technology. The color image processing software is used in every service applications.

1. はじめに

パソコンやデジタルカメラ(DSC)の急速な普及を背景に、パソコンへの写真取りこみ・加工・出力といった画像の利活用やインターネットで画像を楽しむ人の数が急増している。また、DSCの画質満足度も急速に高まり、従来以上に高い画質を保ちつつ、デジタル化がもたらす加工性・伝送性など、新しい写真の楽しみ方を享受することが可能になっている。このようなデジタル化の恩恵を一般ユーザーに広めるため、富士写真フィルムは高速デジタイジング・高速レーザープリントなど独自の基本技術をベースとした機器を写真ラボ向けに導入すると共に、画像ファイル・カラーマネージメントなどの基本技術をベースにしたFDiサービスを1997年より開始し、デジタル写真インフラの整備を進めてきた¹⁾。FDiサービスは、銀塩フィルムの画像を専用CD-Rに書き込むサービス、CD-Rに記録された画像データやDSCデータからのプリントサービスのほか、反射型スキャナーを使ったプリント焼き増しやPCで加工したデータからのプリントなど、多様な入出力デバイスを接続した柔軟な写真プリントサービスが可能となっている(Fig. 1)。

デジタル写真システムにおいて、ユーザーに安定した高い品質の写真プリントサービスを提供するためには、

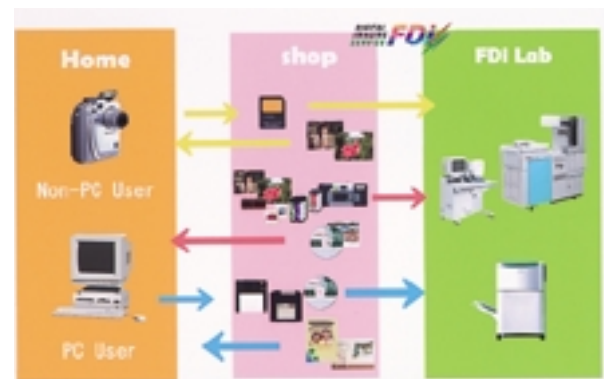


Fig. 1 FDi digital imaging service.

銀塩フィルムをスキャナーで読み取ったデータやDSCなどの撮影データを、プリントとして適した階調と色再現を与えるデータに変換することが必要である。ここでは、撮影されたシーンを見る場合とプリントを見る場合との観察環境の違いや、プリントで再現可能な階調レンジを考慮し、シーンごとに適切な明るさとカラーバランスを設定する処理が必要となる。

プリント用に最適化されたデータをどこでも忠実に再現するために、以下の色管理を一つのシステム内だけでなく、複数のラボ間で正確に行う必要がある。

- (1) モニターとプリントの色対応
- (2) 異なるプリントデバイス間における色一致
- (3) 反射原稿と複製プリント間の色忠実再現

ラボ間で共通の色再現を実現するためには、画像設計の基準となるプリント再現を規定する必要がある。また、デバイス間の色合わせにはプリント色の正確な計測は必須であり、さらにこれらに基づく色変換を多様なラボアプリケーションに共通に提供することが重要である。

本誌投稿論文(受理2000年9月29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.
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun,
Kanagawa 258-8538, Japan

われわれは、デジタル写真プリントサービスに適した色管理の仕組みをラボ画像処理端末のミドルウェアとして組み込んだ。以下に、画像品質保証の考え方および色管理アーキテクチャーについて述べる。

2. FDi サービスにおける色保証体系

2.1 色管理の基本的な考え方

FDi サービスにおける色管理の体系はFig. 2のように表すことができる。ネガスキャナーやDSCなど撮像系デバイス、表示デバイス、プリントスキャナーおよびプリンターの色が、共通色表現である基準プリンター(Reference Printer)色に対してそれぞれ $f_0 \sim f_3$ の変換として対応付けられる。

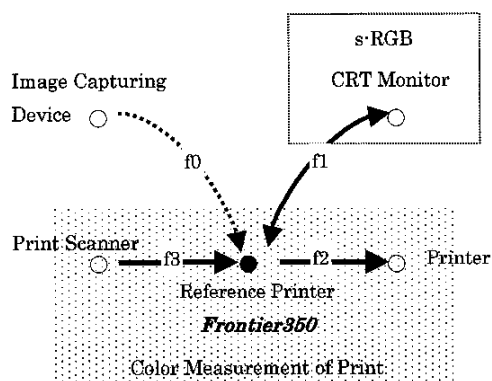


Fig. 2 Color transform between devices.

プリント再現設計ターゲットであり、色管理の核となる基準プリンターは、写真表現に十分な色再現域を有し、目標となる写真画像を再現できることが要求される。また、色管理基準として再現特性は数値で厳密に定義される必要がある。オープンな環境での画像データ交換のためには、国際標準とも対応していることが必須の条件となる。以上の観点から、基準プリントとしては、レーザー方式銀塩プリンター(Frontier 350)でプリントした時の色再現をベースに、CIE 測色値により色再現特性を定義したプリントモデルを用いる。また、IECがDefault色空間として定めているsRGBと1対1の対応関係を定め、標準色空間との整合性を取っている。これを基準に、次のようにデバイス色と関係づけた。

DSCやフィルムスキャナーなどの撮像系デバイスからの入力データは、被写体の見えをプリント上で好ましく再現する変換 f_0 を経由し、基準プリント上で最適な画像を与えるデータとなる。基準プリントの見えとsRGBで規定される標準モニターの見えをほぼ同じ印象にする変換 f_1 が施されて、CD-R書き込みサービス用のデータが作成される。また、基準プリント色を各種のプリンター色再現域にマッピングする変換 f_2 を介してプリントデータが作成される。この変換 f_2 は、基準プリントに対してグレーバランスと色相の忠実再現性および階

調再現性を考慮して設計されている。反射スキャナーからの入力データは、原稿プリントの色を基準プリント上で忠実に再現する変換 f_1 が施される。

2.2 カラープリントの測色方法

基準プリントの色再現は、色の定量値であるCIE測色値で定義される。プリントの測色値は測色計を使って求めることができるが、ほとんどのカラープリント支持体に含まれる蛍光増白剤の影響により、視覚評価とは対応しないことが多い。

Fig. 3は、蛍光増白剤の量が異なる3種のカラープリント支持体(サンプルA, B, C)について実測した測色値をCIE $L^*a^*b^*$ 表色系の $a^* - b^*$ 平面にプロットしたものである。一般に、色評価に用いられる色温度5000Kの蛍光灯下において、この3種のプリント支持体を視覚的に評価したところ、サンプルAとBが一致して見えた。ところが、通常の測色計による計測結果(白抜きマーク)ではサンプルAとCが一致しているような結果を示している。これは、視覚評価に用いた観察光源である色評価用蛍光灯と測色計光源の紫外域分光分布が異なることによる、蛍光増白効果の違いである。こうした違いは、写真再現に重要なハイライト表現に大きく影響する。たとえば、この測色値に基づいて色変換を行った場合、サンプルCはハイライト部が黄色味を帯びたプリントになる。

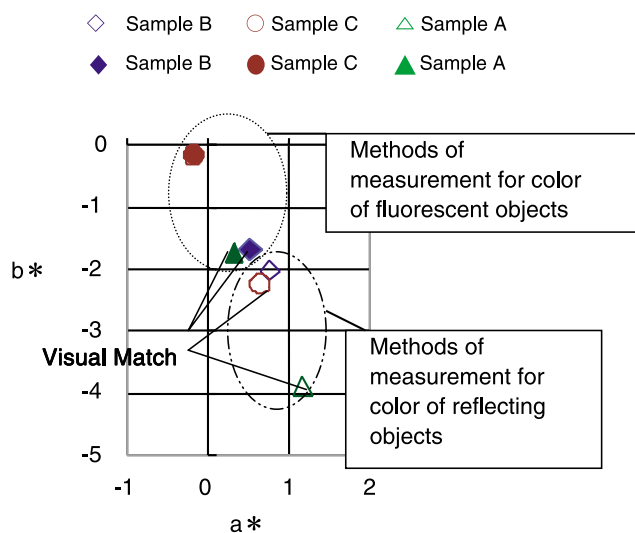


Fig. 3 Plots of colorimetric values of photographic color papers obtained with two different measurement methods. Samples A and B match visually.

われわれは、フィルターを用いて蛍光成分を除去して測定した値と、蛍光成分を含んだ通常の測色値から、観察光源下の蛍光成分の影響を見積もって補正する方法を用いた。この補正方法を用いた結果(Fig. 3の色塗りマーク)では、サンプルAとBが近い値となり、視覚的に一致して見える2つのサンプルは数値の上でも一致する。この蛍光効果を考慮した測色値算出方法は、本デジタル写真システムの色設計すべてにわたって用いられている。

3. デジタルカメラからの色変換系

撮像デバイスからの画像データをプリント上に好ましく再現するための色変換系 f0 の代表例として、FDi DSC プリントのフローを Fig. 4 に示す。DSC は撮影対象となる広い輝度域、色再現域を持つ実在シーンを、ITU-R BT.709²⁾(以下、BT.709) に準拠した信号形式でエンコードする。

BT.709 は、ITU が高精細度テレビ(HDTV)の撮像系の標準として推奨しているものであり、シーン輝度を基準 CRT 蛍光体の発光強度で置き換え、輝度信号(L)を知覚的に等間隔となるように変換したデータとして次式により定義されている。

$$V = 1.099 L^{0.45} - 0.099 \quad \text{for } 1.0 \geq L \geq 0.018 \quad (1)$$

$$V = 4.50 L \quad \text{for } 0.018 > L \geq 0.0$$

L ; luminance of the image (0 ≤ L ≤ 1)

V ; corresponding electrical signal

また、CRT 蛍光体の三原色と参照白色の色度を Table 1 のように定めている。

DSC は上記の BT.709 準拠の V(R/G/B)信号を 8 ビットに量子化して出力する。

3.1 DSC プリントに要求される課題

DSC 撮像画像をプリント上へ再現する場合、以下に示す課題がある。

- (1) BT.709 でエンコードされた信号から得られるシーン輝度をプリント上で再現すると、一般にコントラストの低い絵として知覚される。これは、シーンとプリントの観察環境の違い、プリントの表面反射などに起因する現象として良く知られている。このため、好ましい色調のプリントとするために階調を硬調化する必要がある。
- (2) 人物の肌色、植物の緑色、空色などの記憶色をシーンに忠実に再現しても一般に好まれない。それぞれの好ましい色に変換する必要がある。
- (3) 濃度、ホワイトバランスはプリントとして最適な条件にしなければならない。特に、人物の肌色は精度の高い調整が必要である。
- (4) DSC の機種やメーカーごとに特性は微妙に異なる。上記の(1)~(3)の調整を正確に行うためには、DSC の機種間差を抑える必要がある。

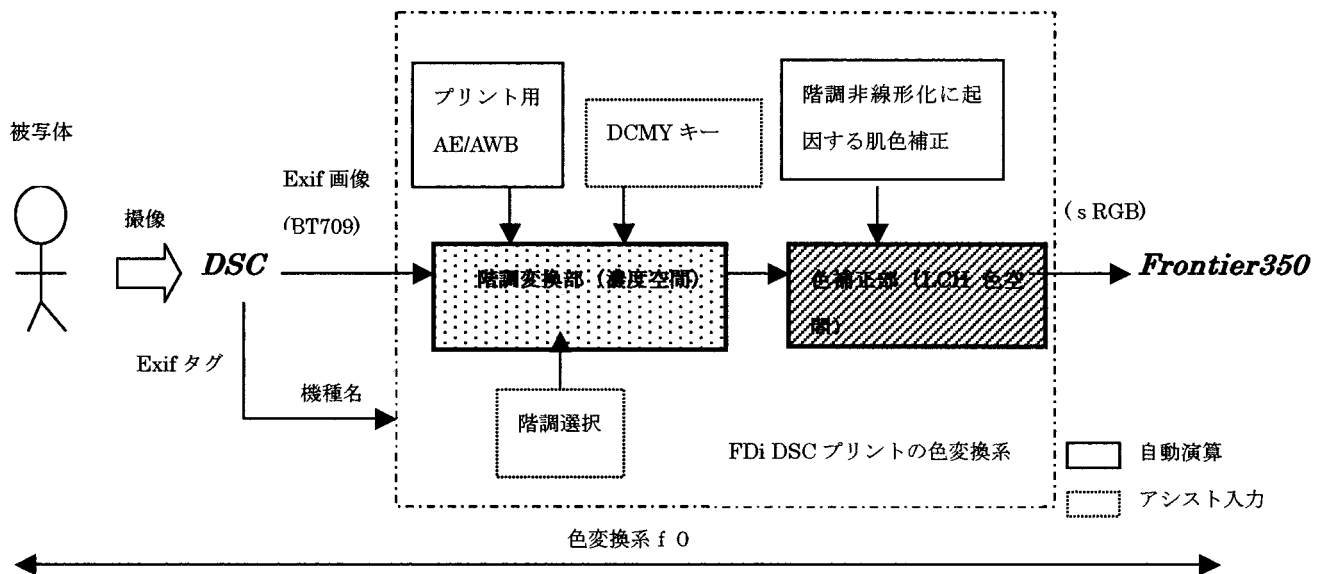


Fig. 4 Color conversion system f0.

Table 1 Chromaticity Coordinates of Primaries and Reference White.

Primary	Chromaticity coordinates (CIE1931)
Red	x=0.640, y=0.330
Green	x=0.300, y=0.600
Blue	x=0.150, y=0.060
Reference white (D65)	x=0.3127, y=0.3290

FDi DSC プリントの色変換系は、階調変換と色補正の 2 段階からなる構成でこれらに対応した処理を行う。前段では、シーン輝度信号を対数変換した濃度空間においてシーンからプリントへの階調特性を決めている。その後、明度 / 彩度 / 色相 (CIE L*a*b* 色空間の L*, Cab*, hab) 色空間で記憶色を好ましい色に微調する。前段の階調変換部にプリント用の自動露光およびホワイトバランス制御 (AE / AWB) 機能を加え、色変換系の先頭で DSC の機種間差を抑えている。こうして変換された信号は、基準プリンターである Frontier 350 に対応つけられた sRGB 信号として出力される。

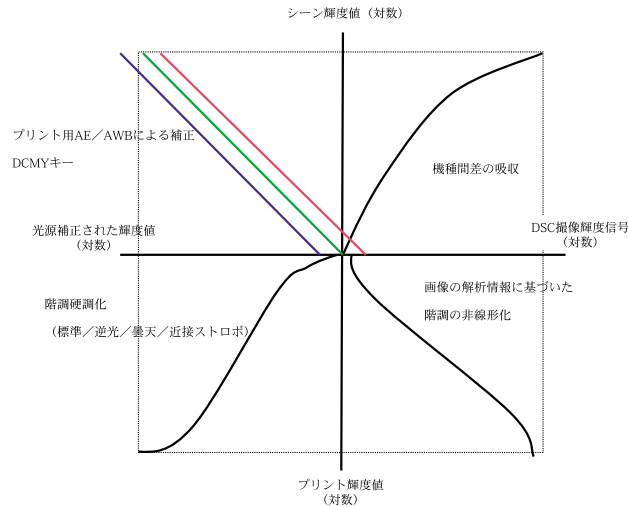


Fig. 5 Gradation curve diagram.

3.2 階調変換部

階調変換部は画質の主要部分を形成している重要な処理である。シーンに応じて画像の全体的な色、濃度および階調再現を制御する。階調変換はBT.709でエンコードされたDSC画像データからシーン輝度を算出し、さらに、対数化した濃度値に対して行う(Fig. 5)。まず、第1象限で機種ごとの色階調特性を吸収し、第2象限でプリント用AE/AWBによる露出、撮影光源の補正を行う。次に、第3象限で階調の硬調化を行い、第4象限で階調のハイライト、シャドー部の非線形化を行っている。つまり、第1,2象限で撮像デバイスと撮像条件のロバスト性に対する補正を行った上で、第3,4象限でシーンとプリント間の物理的、かつ心理的条件の違いを吸収している。

3.2.1 機種特性の吸収

多くのDSCはExif準拠³⁾の画像フォーマットを採用している。ヘッダ部(タグ)に記述されたDSCの機種名に対応した機種特性吸収ファイルにより、第一象限で機種間の色階調差を抑えている。機種特性吸収ファイルは階調特性と色再現特性を有する。前者は、グレースケールを撮影して得られたDSC信号を規格化された輝度信号((R, G, B) = (255, 255, 255)が白色点)へ変換する。後者は、特定色の色度だけをシーンの測色値へロワードに補正する。後述する色補正部と同様の方法を用いて、肌色、植物の緑色、空色などの記憶色にウェイトを置いて補正する。

3.2.2 プリント用AE/AWB

第2象限のプリント用AE/AWBの最も重要な役割は、人物の肌色を適正な濃度と色に再現することである。撮影は屋外順光下だけでなく、逆光、曇天、ストロボ発光、タングステン光源下など、さまざまな環境下で行われる。プリント用AE/AWBは、画像のさまざまな解析情

報に基づいて、撮影環境を推定し、濃度とホワイトバランスの補正值を求める。解析情報として、たとえば、累積ヒストグラムのハイライト側濃度値のような一次的な特徴量から、人物の顔を自動的に抽出し、抽出した領域の平均濃度値のような高次の特徴量まで、さまざまな情報を求めている。また、必要に応じて操作者はDCMYキーを使うことにより濃度、ホワイトバランスを補正することができる。

3.2.3 階調変換

第3象限の階調変換は、ネガ、階調特性と同様なS字型カーブであり、なおかつ中間濃度域を硬調化した特性としている。色変換系のなかで最も画質への寄与が大きい部分である。ここでは、シーンとプリントの観察環境の違いやプリントの表面反射を吸収するだけでなく、プリントとしての好ましさも加えている。階調の硬調化は画像のコントラストを高め、有彩色の彩度を増すと同時に色相の変化をもたらす。この変換では有彩色の色味も適切となるように設計している。また、最適な階調特性は画像のシーンに依存するため、標準シーンとは別に設定した逆光、曇天、近接ストロボシーン用の階調を選択できる。

第4象限では、プリントの狭い再現濃度域をできるだけ有効に活用するため、画像の解析情報に基づき、コントラストを推定し、階調のハイライト部とシャドー部を非線形化している。この変換により、画像全体のコントラストを高めながら、雪景色や雲などの階調を損なうことなく好ましいプリントが再現できる。ただし、この階調非線形化は肌色を好ましくない方向へ変化させるため、後述する色補正との併用が必要となる。

3.3 色補正部

色補正部は、階調変換後の濃度信号をCIEのLAB信号へ変換し、主として記憶色を好ましい色に微調するもので、肌色/植物の緑色/空色の3色に加え、R/G/B/

C / M / Yの主要6色の明度 / 彩度 / 色相を独立に補正できる。また、階調の非線形化の程度に依存して肌色の彩度 / 色相の変化を、本色補正部で抑えている。これにより、好ましい肌色を保ちながら階調非線形化の効果を十分に出すことが可能となった。本色補正は、均等色空間であるCIE L*a*b*色空間の特性を利用し、9色それぞれ独立に中心からの距離を変数とした関数(中心1, 周辺0) (Fig. 6)により入力信号に対する重み付けを行い、色補正パラメータを乗じて各色の明度 / 彩度 / 色相ごとの補正量が演算され、各色独立に明度 / 彩度 / 色相変更の程度をコントロールしている。

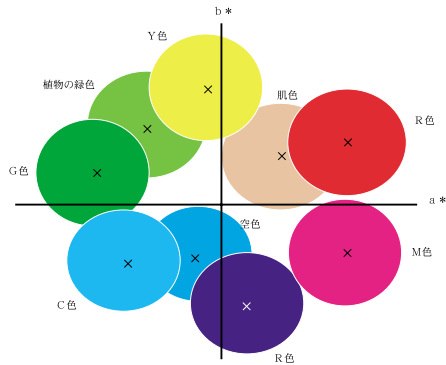


Fig. 6 Color correction function.

4. 基準プリンターとsRGB再現

色空間の国際標準であるsRGBと、当社基準プリント色を1対1に対応させることで、CRTモニター表示色とプリント再現色との対応や、各種アプリケーションからのデータとプリントとの対応を行い、パソコンやインターネット環境と写真ラボの一貫した色管理を実現している。これにより、一般PCユーザーは色について意識せずにデジタル写真データのハンドリングが可能となる。

4.1 想定する基準プリントとCRTモニター

基準プリント色とsRGB標準モニター色の変換f0は、規定された観察環境下で両者の見えがほぼ同じ印象になるように設計されている。sRGB標準モニターは、IECにより以下のようにR、G、B三原色と白色の色度座標、および階調特性が定義されたCRTモニターである。

- Red : (0.6400, 0.3300, 0.0300)
- Green : (0.3000, 0.6000, 0.1000)
- Blue : (0.1500, 0.0600, 0.7900)
- White : (0.3127, 0.3290, 0.3583)

CIE XYZとの関係は以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} R_{s-RGB} \\ G_{s-RGB} \\ B_{s-RGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

sRGB標準モニターの階調特性は以下のように規定される。

$$\begin{aligned} R' &= 12.92R_{s-RGB} (0 \leq R_{s-RGB} \leq 0.00304) \\ R' &= 1.055R_{s-RGB} \sqrt{(1.0/2.4) - 0.055(0.00304 - R_{s-RGB})} \\ R_{8bit} &= 255 * R' \end{aligned}$$

G, Bについても同様である。

CRTの色特性が同じでも、順応輝度や順応白色などの観察環境が異なると色の見えは異なる。sRGB色空間はTable 2のように条件を定めることにより、色の見えを一意に規定している。

一方、基準プリントは、先に述べたようにFrontier 350によるプリントの測色値として規定され、その観察環境はICCのPCS観察環境に準拠したものを想定している (Table 2)。観察光源に関しては、PCS観察条件と同じ色温度をもつ色評価用蛍光灯F8を用いている。

Table 2 Viewing Conditions for Print and CRT Monitor.

	PCS空間 (理想プリント観察条件)	s-RGB標準モニターの観察条件
Viewing Flare	1.00%	0.5~1.00%
Image surround	20%反射グレー	20%反射グレー
Luminance level	160~640cd/m ² (200-500lux)	80cd/m ² (100lux)
Adaptive white	X=0.3457 y=0.3585 (D50) (照明光源: F8蛍光灯)	X=0.3127 y=0.3290 (D65)

4.2 色順応変換とGamut Mapping

sRGBと上記プリント観察光源の色温度が異なるため、sRGBから基準プリント再現色への変換f0ではVonKries型順応変換を用いて色順応の補正を行っている。さらに、プリント(印画紙)とsRGB標準モニターの再現できる色の範囲は大きく異なる。Fig. 7は、L*=45におけるsRGB標準モニターの色再現域(赤線)と基準プリンター(緑線)の色再現域を示したものである。このように色再現域が大きく異なるため、必ず色再現域を圧縮または伸張する変換(Gamut Mapping)をする必要がある。変換f0におけるGamut Mappingでは色階調性を保存し、かつ色相をなるべく保つように、色域ごとにMappingする方向と量を最適化している。これにより、ほぼ全再現

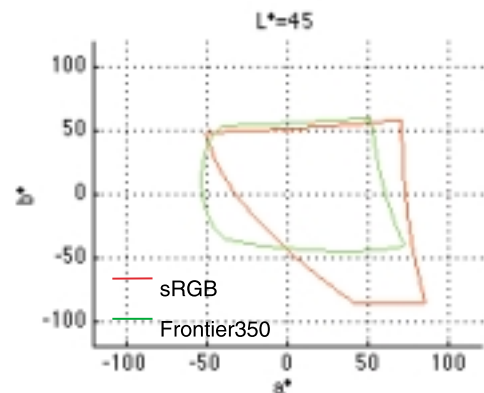


Fig. 7 Color Gamuts of sRGB & Frontier 350.

域を無駄なく使い、かつ、どの色再現域においても良好な色階調再現が得られる。

また、基準プリント sRGB 方向に変換したデータを、再度 sRGB 基準プリント方向に変換した場合でも、オリジナルの基準プリント色を再現するように、Gamut Mapping 変換の可逆性が保たれている。これにより、ある想定環境で、基準プリントの見えと CRT モニターの見えがほぼ同じ印象になるだけでなく、CD-R に書き込まれたデータからのプリント色調が、同時プリントの色調と同等になる。

5. 多種デバイス間カラーマッチング

デジタルラボシステムにおいては、サービスの規模に応じてさまざまなデバイスの組み合わせが考えられ、それらのデバイス間では色が正確に合っていることが要求される。プリントデバイスでは銀塩プリント方式のほかに、サーモオートクローム方式、熱現象銀塩プリント（ピクトログラフィー）方式、電子写真方式など、対象となる種類は多く、どのようなプリント方式に対してもデータとプリント再現色の関係記述（デバイスモデリング）を高精度に行わなければならない。われわれは、独自カラーチャートと仮想色信号データを用いたデバイスモデリング法⁴⁾を用いることで、それぞれの色再現域境界まで忠実な色再現が可能なデバイスプロファイル作成を実現している。

反射スキャナーにおいては、一般的には IT8 チャートなどをスキャンしモデリングを行う。Fig. 8 の上段の図がそのモデリング過程を概念的に示した図である。左側がスキャナーの RGB 空間（図では RG 面）、右側が CIE $L^*a^*b^*$ 色空間（図では L^*a^* 面）を表し、左図の黒丸が各カラーパッチのスキャンデータ、右図の黒丸が測色値を

示す。たとえば、左図の A の黒丸と右図の A の黒丸が同じカラーパッチに対応する。これらのデータをもとに、RGB $L^*a^*b^*$ の関係を参照テーブルとして求めることがモデリングである。たとえば、スキャナーデータの左側の白丸に対応する $L^*a^*b^*$ を求めるには、最小 2 乗法などを用いて RGB と $L^*a^*b^*$ の関係を行列で近似する方法や、その発展手法が一般的に用いられる。しかしながら、この方法は近似的な手法であり、必ずしも実測値がそのまま参照テーブルに反映されないのがデバイスプロファイルを高精度化できない。

そこで、われわれは、独自カラーチャートをスキャンすることで、Fig. 8 の下段の図のように中間格子パラメータを介して補間演算する手法を開発し、デバイスモデリングを行っている。中央の図はチャートを作成する際のインデックスデータ（たとえば、プリンターのデバイスデータ）を示しており、この空間でインデックスが格子状になるようにチャートを作成してある。インデックス空間から CIE $L^*a^*b^*$ 空間への変換は補間演算を用いて行い、スキャンデータからインデックス空間までの変換はニュートン法などの逐次演算を用いることで、補間演算と等価な変換が行える。このように補間演算と等価の計算で演算することで、スキャナーデータから測色値に変換することができるため、対象となる色空間全域をカバーするカラーチャートの実測値をすべて使うことになり、大幅に精度を高めることが可能となる。

6. 画像処理系のアーキテクチャー

前節まで述べた色変換系 $f_0 \sim f_3$ を組み込んだ、FDi サービスの画像処理アーキテクチャーの全体構造を Fig. 9 に示す。

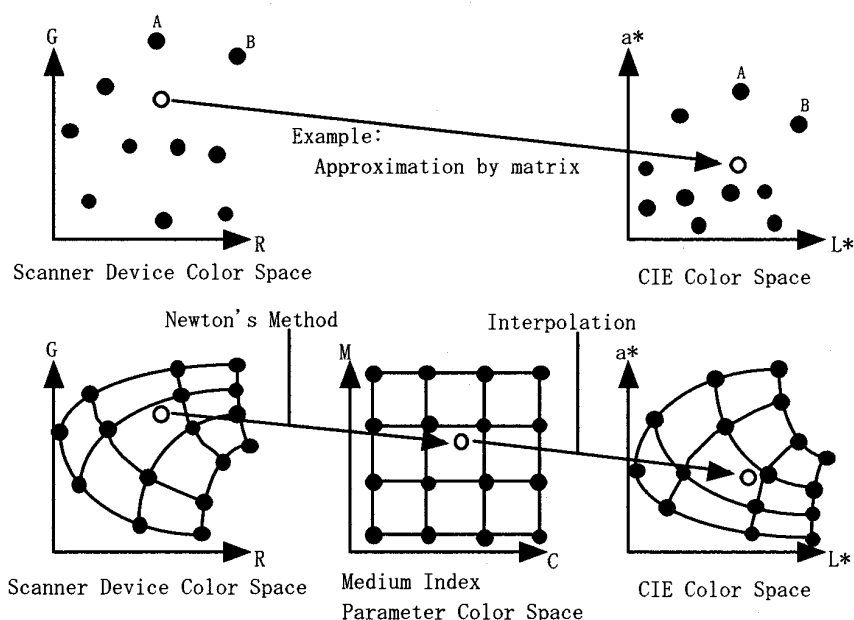


Fig. 8 Device profiling method using a medium parameter grid.

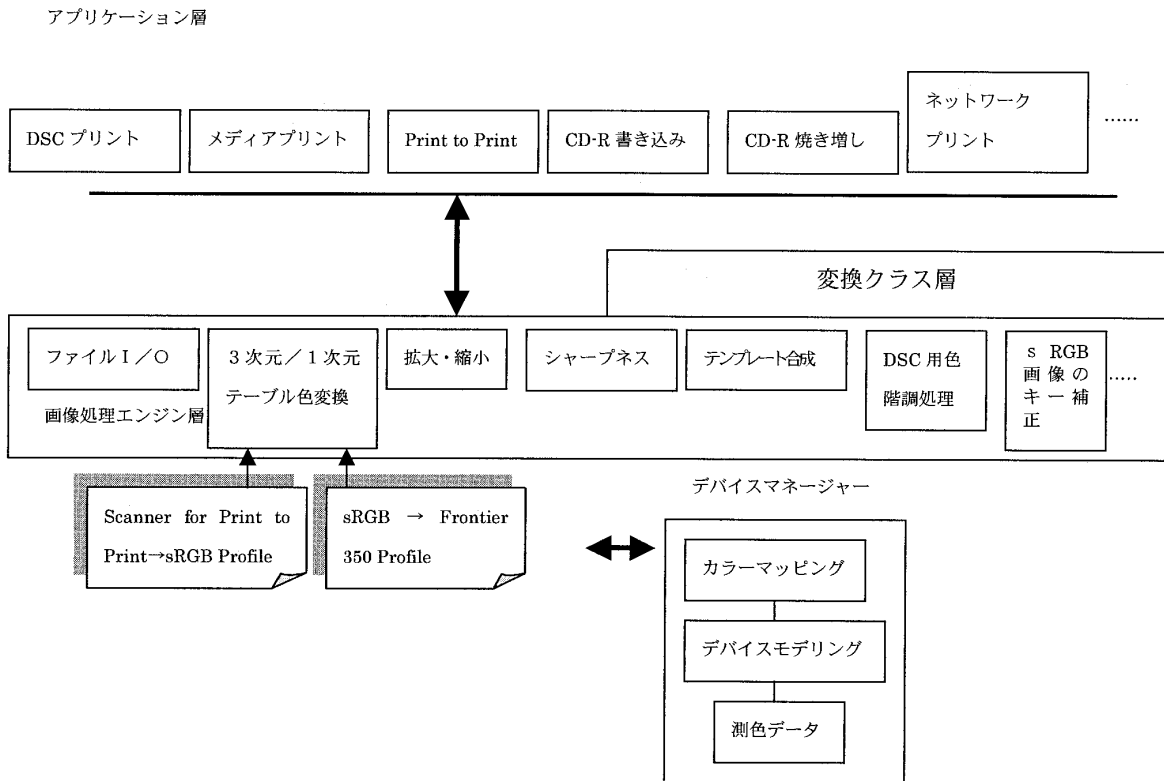


Fig. 9 Image processing architecture of FDI service.

本アーキテクチャーは、基本となる画像処理エンジン層と、これらを組み合わせて所望の画像変換を行う変換クラス層の2階層構造で構成され、その上に各種アプリケーションが構築されている。デバイスマネージャーは、入出力デバイスのプロファイルを生成、管理し、画像処理エンジン層へ渡す。

(1) 画像処理エンジン層

この層は画像処理に関係するさまざまな画像処理モジュールを用意している。

3次元および1次元テーブル色変換、拡大・縮小処理、シャープネスなど、画像処理の基本となるモジュール、DSC用の色階調処理、sRGB画像のキー補正などのセットアップに関するモジュール、Exif画像の解凍/圧縮、入出力画像の読み込み/書き込みを行うファイルI/Oモジュール、テンプレート画像との合成を行うモジュールなどから構成される。

たとえば、DSC用の色階調処理モジュールは、画像ごとに入力デバイスの撮像信号とsRGB信号間の3次元テーブルを生成する。また、3次元テーブル色変換モジュールは、デバイスマネージャーで生成したプロファイル、あるいは画像処理エンジン層内で生成されるDSC用色階調変換3次元テーブルの補間演算を行う。

(2) 変換クラス層

この層は予め決められた画像処理を画像処理エンジン層の各モジュールを用いて実行する。

たとえば、DSCプリント処理の場合、Exif画

像の解凍に始まり、色階調処理、拡大・縮小処理、シャープネス処理を行い、出力画像を生成する。ただし、演算時間の高速化を図るため、色変換処理と拡大・縮小処理は、拡大または縮小率に依存して入れ替えるようにしている。

(3) アプリケーション層

この層は画像処理エンジン層の各モジュールを単独で利用するインターフェースと、DSCプリント処理のように画像処理エンジン層の必要なモジュールを統合した変換クラスのインターフェースの2種類を提供している。

前者のインターフェースには、CD-R焼き増しサービス、ポストカードサービスなどがある。また、後者のインターフェースには、DSCプリントサービス、ユーザー作成の画像をプリントするメディアプリントサービス、CD-R書き込みサービス、プリントをコピーするPrint to Printサービス、ネットワークを経由したプリントサービスなどがある。

(4) デバイスマネージャー

デバイスマネージャーは測色データに基づき、デバイスの色再現特性を計算し、入出力データ間の対応関係を求めて、プロファイルを生成、管理し、画像処理エンジン層へ渡す。

たとえば、プロファイルには、Print to Printサービス用として、反射スキャナーの読み取り信号とsRGB信号間の3次元テーブル、あるいはDSCプリントサービスなど用として、sRGB信

号とプリンター出力信号間の3次元テーブルがある。

7. おわりに

安価で高品質なデジタル画像入出力デバイスが次々と提供され、誰でもデジタル写真プリントを作ることが可能となっているが、その自由度ゆえにいつでも好ましいプリントを実現することは容易ではない。

われわれは、以上に述べたようなカラー画像品質保証の仕組みをミドルウェアとして組み込んだことにより、デジタル写真システムにおいても従来のネガ・プリント系と同様な画質管理を実現した。

今後、ますます多様化が進むデジタル写真サービスにおいて、本色管理を確実に組み込んでいくことは、デジタル化が進むラボ業界の発展に確実に貢献するものと考ええる。

参考文献

- 1) 中島, 山田, 大塚, 加藤. FDi 規格. FujiFilm Research & Development No.43, 72-80(1998)
- 2) ITU-R Recommendations BT.709-2(1995)
- 3) デジタルスチルカメラ用画像ファイルフォーマット規格(Exif), Version 2.1, Japan Electronic Industry Development Association (1998)
- 4) 宇佐美, 大久保, 依田. 印刷物を基準としたカラーマネージメントシステム. FujiFilm Research&Development No.43, 81-86 (1998)

(本報告中にある“ FDi ” は富士写真フイルム(株)の商標です。)