



DDCP でのカラーマネジメント

木村 克巳*

Color Management in DDCP

Katsumi KIMURA*

* Integrated Manufacturing Technology Laboratory, Dai Nippon Printing Co., Ltd.
1-1-3, Midorigahara, Tsukuba, Ibaraki, 300-2646 JAPAN

1. はじめに

印刷工程のデジタル化によりデジタルデータからダイレクトにカラープルーフを出力する DDCP (Direct Digital Color Proofing) が登場したのは今から既に十数年も前のことである。しかし、DDCP は一部で実用化されていたものの本格的に導入が進んだのは、近年の CTP (Computer To Plate) の導入と共にである。これは、CTP 運用にはデジタルデータからダイレクトにカラープルーフを出力すること、すなわち DDCP が必要となったためである。また、インクジェットプリンタ等の安価な出力デバイスの品質向上やカラーマネジメント技術の進展も DDCP の普及にはずみをつけている。

最近では印刷の標準化の動きが活発であり、ジャパンカラーや雑誌広告基準カラーといった色基準に DDCP の色を合わせ込んだり、印刷会社が自社内で本機印刷の標準条件を設定し、それに DDCP の色を合わせ込むといった運用も行われている。

このように DDCP の運用は本格化してきたが、そのカラーマネジメントに関しては、必要とされる機能や精度等が大分明らかになってきたものの、依然として高精度なカラーマッチングを実現および維持するのは容易なことではない。

本稿では、DDCP の要件や DDCP の構成要素等、基本的な事項を整理した上で、DDCP におけるカラーマネジメントの現状や課題について述べる。

2. DDCP とは

DDCP はデジタルデータからダイレクトにカラープルーフを出力することであり、カラープルーフ自体を指し示すことも多い。当初、一般的なカラープリンタと区別して網点出力可能なプルーフを指していたが、最近ではインクジェットプリンタ等のカラープリンタとカラーマネジメント機能を持った RIP もしくはプリンタドライバを組み合わせたものも含めて DDCP と呼んでいる。

2.1 DDCP の要件

DDCP は最終印刷物の仕上がり品質を事前に確認するためのものであり、うまく機能するためには以下の要件を満たす必要がある。

- 色合わせのターゲットとなる印刷の色再現域をカバーしていること
- 印刷と同等の階調を再現できること
- 印刷と同等の文字や細線が再現できること
- 用紙の地色、光沢、質感が印刷本紙と近似していること
- 繰り返し再現性に優れていること
- 出力物が経時変化しないこと

—木村 克巳—

1987 年早稲田大学理工学部数学科卒業、同年大日本印刷株式会社に入社。デジタルカラープルーフや製版システム等の研究開発を経て、現在カラーマネジメントシステムの研究開発に従事。



* 大日本印刷(株)生産総合研究所 SPI 推進第 1 部
(〒 300-2646 茨城県つくば市緑ヶ原 1-1-3)

これらは主に品質に関わる要件であり、他に生産性やコスト面での要件もあるが、本稿では省略する。

色変換に関する条件設定は、画像の品質だけでなく、プルーフの役割の1つである文字品質やレイアウトの確認にも影響を与えるため、DDCPにおけるカラーマネージメントを論じる際に重要な要素となる。

2.2 主な出力方式と特徴¹⁾

現在DDCPのプリンタエンジンとして用いられている主な出力方式と特徴を示す。

① レーザー溶融熱転写方式

フィルムに塗布された色材をレーザー光により中間転写媒体に熱転写し、ラミネータにより中間転写媒体から印刷本紙に再転写する方式である。網点形成、本紙出力が可能で、安定性も極めて高く、現状のDDCPで最も高品質な出力が可能である。しかし、装置コスト、材料コストが非常に高いのが欠点である。

② 銀塩湿式現像方式

銀塩カラーペーパーにレーザー光で直接露光し、現像、定着することで画像を形成する方式である。網点形成が可能で、品質、安定性、出力速度、コストの面においてバランスが取れているのが特徴である。しかし、現像処理に伴う不安定性要素やメンテナンス負荷が高いという欠点がある。また、専用紙を用いるため、多様な本紙への適応性に欠けるといった問題もある。

③ インクジェット方式

現在の主流はオンデマンド方式であり、ピエゾ方式とサーマル方式がある。ピエゾ方式は画像信号に応じた電圧をピエゾ素子にかけ、その振動による物理的な変形によりインクを圧縮し噴出させる方式である。サーマル方式は画像信号に応じた電気パルスヒーターに与え、インクを急激に加熱することにより気体を発生させ、その体積変化によりインクを噴出させる方式である。

大サイズ化が容易で、高速に安定した出力が可能なのが特徴である。また装置コスト、ランニングコストの面で上記網点出力可能な方式に比べ有利である。近年のインク色材の改良とノズルの高密度化により、色再現性および解像性が向上し、DDCPとしての利用が進んでいる。

④ 電子写真方式

感光体上にコロナ放電により均一に帯電させ、レーザーやLED等で画像データに応じた露光を行い電荷を取り去り潜像を形成する。次に、トナーで現像を行い、転写紙の裏面よりトナーとは逆極性のコロナ放電をすることにより転写する。色数分のこのプロセスを繰り返し、最後に熱、圧

等により定着させる方式である。

温度、湿度の影響を受けやすく、面内均一性や出力安定性の面で他の方式に比べて劣る。しかし他方式に比べて高速な出力が可能であること、ランニングコストが安いことが長所である。

2.3 フロントエンド

DTPアプリケーションで作成されたデジタルデータからカラープルーフを出力するフローには、様々なシステム形態が考えられるが、必要となる処理全体をフロントエンドと位置づけた場合、基本的に以下の3つの処理から構成される。DDCPにおけるカラーマネージメントのワークフローを考える場合、これらの処理について理解が必要である。

① 入力処理

ポストスクリプトの記述を解釈し、紙面上に配置すべき各オブジェクトの位置を割り出す。画像以外のオブジェクトに関してはアウトラインの記述を行う。

最近では効率的で安定した出力を実現するため、入力処理により印刷用に最適化されたPDFを中間ファイルとして生成するワークフローが注目されている。このようなフローでは、RGB画像のCMYK変換やトラッピング等の各種製版処理も行われる。

② レンダリング

ベジェやスプラインでアウトライン記述された線画を、出力解像度に合わせてランレングスやベクトルデータに変換する。画像に関しては通常8ビットのピクセルデータのままである。

③ スクリーニング

指定された出力解像度に従い、最終的な出力データであるビットマップデータの生成を行う。網点出力可能な出力機の場合は通常網点パターンを生成し（AMスクリーニング）、インクジェットプリンタ等ではランダムドットパターン（FMスクリーニング）を生成する。

システムによって実装のされ方は様々であるが、DDCPの出力を印刷物に合わせるための色変換処理は通常①、または②のタイミングで行われる。

2.4 カラーマネージメント機能

ほとんどのDDCPがICC (International Color Consortium) プロファイルに対応したカラーマネージメント機能を実装しているものの、実装の仕方はデバイスの種類やメーカーの設計思想を反映して実に多様である。主なカラーマネージメント機能を以下に示す。

2.4.1 リニアライズ機能

カラーマネージメントを行うには DDCP からプロファイル作成用のカラーチャートを出力して、その測色値からプロファイルを作成する必要がある。このとき、どのような階調特性でカラーチャートを出力するかは、作成されるプロファイルの精度に影響を与える。通常、出力特性はメーカー側で設計された条件に合うように調整がされているが、必ずしも DDCP 用途に最適化されているとは限らない。

特に色再現特性が非線形な出力デバイスの場合、この機能を用いてリニアライズすることが、高精度なプロファイル作成には非常に重要である。

2.4.2 色変換機能

ICC 対応といっても必ずしも ICC 仕様準拠の色変換を搭載しているとは限らず、ICC プロファイルのインポート機能を持ち、独自形式の LUT (Look-up Table) と色変換方式を採用している場合もある。ICC 仕様準拠した色変換に関わる主な設定を以下に示す。

① プロファイル設定

設定方法として、2つのデバイスプロファイルを設定する場合と1つのデバイスリンクプロファイルを設定する場合がある。

前者ではソースプロファイルに印刷のプロファイルを設定し、デスティネーションプロファイルに DDCP のプロファイルを設定する。この場合色変換は、ソースプロファイルの CMYK → L*a*b* テーブルとデスティネーションプロファイルの L*a*b* → CMYK テーブルが参照される。一旦 L*a*b* に変換されるため、元の K 版の特性が保持されないという問題がある。

後者は2つのデバイスプロファイルを結合したもので、CMYK → C'M'Y'K' テーブルを用いた色変換が行われる。CMYK の対応関係が記述されているので、特定の色を保持した色変換を行いたい場合に有効である。

どちらの場合も、画像と平網で異なるプロファイル設定ができるシステムもある。

② レンダリングインテント

印刷の色再現域と DDCP の色再現域は異なるため、どのように両者の色の対応づけをするかを指定する。ICC では4つのインテントが定義されているが、DDCP では印刷の色をできるだけ忠実に再現することが求められるので、測色値を一致させる対応づけが基本である。すなわち、Absolute (絶対的) と Relative (相対的) の2つが設定できる場合が多い。また、画像と平網でインテントを個別に指定できるものもある。

③ 墨 100% 保持

色変換を行うと、墨 100% の文字は色を合わせるために色版を混在した再現となる。これは文字の太りや色にじみ等の品質劣化の原因となる。そこで大部分のシステムが墨 100% を保持する機能を設けている。

2.4.3 色調整機能

プロファイルを設定しても所望のカラーマッチング精度が得られない場合に、プロファイルや内部の色変換テーブルを調整するための機能である。大きく分けてトーンの調整と特定の色域に関する調整がある。

従来はこれらの機能を利用した目視調整が一般的であったが、最近になって色変換出力したカラーチャートの測色値をフィードバックし、精度を追い込む機能を搭載するシステムが増えている。

2.4.4 キャリブレーション機能

DDCP の出力は、周囲環境の影響、出力デバイスの経年劣化、使用する色材や用紙のロット間のばらつきの影響を受け、出力特性が変動する。当初のカラーマッチング精度を維持するには、出力特性をプロファイル作成時の状態に保つ必要がある。

多くのシステムでは内部的に1次元のテーブルを持っており、トーン補正によりキャリブレーションが行えるようになっている。

3. DDCP におけるカラーマネージメントの構築

3.1 ワークフロー

DTP で作られたデジタルデータからどのようにプルーフを出力するかについては様々な方法がある。図1に主なワークフローを示す。(1)と(2)はポストスクリプト出力によるダイレクト出力のフローであり、(3)から(6)は PDF を中間ファイルとしたワークフロー RIP を用いたフローである。

(1)は最もシンプルな構成で一番手軽にプルーフ出力を得ることができるフローである。しかし、プリンタの RIP と刷版出力に使われる RIP の違いから両者の出力結果が異なる可能性があり、このフローで校了が得られても刷版出力で同一の出力結果が得られるかの確認や場合によってはデータの修正が発生する。

(2)も(1)と同様に PS 出力のフローであるが、プリンタ RIP のカラーマネージメント機能が不十分な場合に取りることができる構成である。このフローの問題は、(1)に比べてスループットが低下することと、PS ファイルを色変換することによる出力の確実性が低下することである。

(3)はワークフロー RIP に直結された DDCP から出力

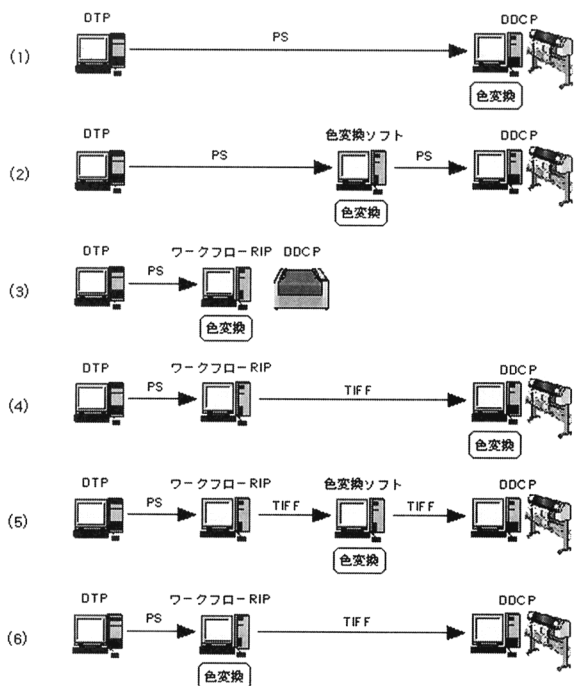


図1 DDCP 出力のワークフロー

可能な場合である。網点出力可能な DDCP はこのような形態で出力できることが多い。一方、インクジェットや電子写真等のプリンタは直結ではなく、(4)から(6)のようにワークフロー RIP で TIF ファイルを作成して出力する形態を取ることが多い。(4)から(6)のフローの違いは色変換を行う場所の違いである。これらのフローの利点は、刷版出力と同一の RIP を用いるため、最終出力との同一性が保証できる点である。しかし、通常 300 から 360 dpi の TIF を作成する運用となるため、文字や細線の再現性に関して問題となることが多い。

3.2 印刷プロファイルの作成

色合わせのターゲットにする印刷を何にするかは、DDCP を運用する側の立場や状況によって異なる。自社の印刷部門で標準印刷を設定する場合や、ジャパンカラーや雑誌広告基準カラーといった外部の基準カラーを利用する場合もある。

自社で印刷の標準条件を定める場合、多くの本機印刷テストが必要であり、大きなコストと時間がかかるという問題がある。また、標準印刷物を作成する際に、設定した目標濃度で均一に刷ることは難しいという問題もある。そこで、印刷本機で標準印刷物を作成するのではなく、DDCP を使って標準印刷物を作るというアプローチもある。

3.2.1 ターゲット印刷の設定

印刷では様々な種類の用紙が使われており、用紙により

色の再現性は異なる。しかし、膨大な種類の用紙別に標準印刷条件を決定し、印刷プロファイルを作成して運用するのは現実的に不可能である。そこで、特性の近い用紙をグループ化して、各グループの代表的な用紙を用いてターゲット印刷を作成するのが現実的な方法である。

さらには、同じ用紙でも印刷方式やスクリーニング条件が異なれば色再現性は変化するので、ターゲット印刷の設定にはこれらの条件分けも必要である。

3.2.2 標準印刷条件の設定

ターゲットとする用紙やスクリーニング等の条件を決定した上で、印刷の標準条件を決定する必要がある。どのように標準条件を設定するかは、印刷会社の考え次第であるが、安定して再現しやすい条件で決めるべきである。

標準印刷条件を設定し色の標準を決めるとは、各 CMYK 値に対応する色とその許容範囲を数値で規定することである。しかしそれは印刷の安定性や再現性のレベルを考慮して決定すべきである。一般的には、CMYKRGB 各ベタ色の $L^*a^*b^*$ 値や 50% のドットゲイン値で規定する。

3.2.3 印刷プロファイルの作成

印刷では機構上、用紙幅方向の濃度ばらつきが大きいため、プロファイル作成用のカラーチャートを印刷する際は、インキキーをコントロールしてできるだけベタ濃度を均一にすることが重要である。そのためには、各インキキーごとのインキ消費量をできるだけ平準化させることが重要である。カラーチャートに関しては、図2のようにインキ消費量が平準化されるようパッチ配列を変えたものを利用すると良い。

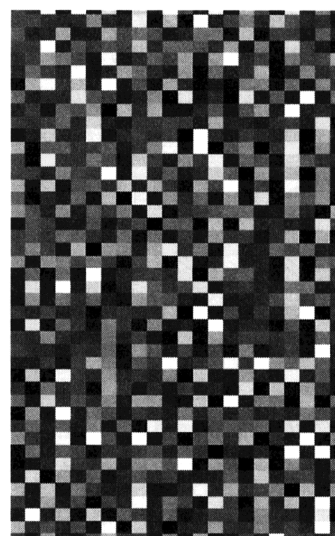


図2 パッチ配列を変えた IT8.7/3
(GretagMacbeth 社 ProfileMaker Pro4.1.5 より)

3.3 プリントプロファイルの作成

カラーマッチング精度は、基本的には以下の3つの要素によって決定する。

- ① プロファイルの精度
- ② 色変換エンジンの精度
- ③ プリンタの再現性、安定性

②については、Apple, Adobe, Heidelberg, Creo, Kodak等がそれぞれ色変換エンジンを提供しているが、エンジン間の差はそれほど大きくなく、エンジンの補間精度も悪くない。

③に関しては、ターゲットとする印刷の色再現域を十分にカバーし、安定性に優れた出力機を用いれば大きな問題はない。

従って、①のプロファイルの精度を確保することが、高精度なカラーマッチングを実現する上でのポイントとなる。

3.3.1 出力条件の設定

プリントプロファイルの作成にあたり、まずはDDCPの出力条件を決める必要がある。単に色の再現性という観点からだけでなく、出力品質やスループットも考慮して最適な出力条件を決定する。出力方式やシステムによって設定可能な項目は異なるが、主に以下のような項目が関係している。

- ① 出力解像度
- ② スクリーニング方式
- ③ 各色の最大濃度
- ④ トーンカーブ

この他、インクジェットプリンタの場合には、出力方向(双方向/単方向)、印刷モード(品質設定)、総インク量等の設定も関係する。

3.3.2 プリントプロファイルの作成

プリントプロファイルの精度は、使用するカラーチャートやプロファイルの作成条件の影響を大きく受ける。網点出力可能なDDCPの場合、色再現性は線型性が高い場合が多く、比較的少ない点数のパッチからなるカラーチャートを用いても実用上十分な精度でプロファイルが作成できる。一方、インクジェットプリンタのように色再現の非線型性が強いデバイスの場合、一般に1000点以上のパッチからなるカラーチャートを使用しないと十分な精度が得られない場合が多い。ただし、闇雲にパッチ点数を増やせば精度が上がるわけではない。パッチ点数が増えると測定負荷が増えるだけでなく、プリンタの不安定要素の影響を受けることになる。すなわち、プリンタの特性を良く把握して出力すべきカラーチャートを決定することが重要である。

プリントプロファイルの作成条件としては、主にプロファイルのサイズと墨発生条件がある。プロファイルのサイズとは、内部の多次元LUTの持ち方のことであり、高精度なカラーマッチングを得るためには最もサイズが大きくなる設定を選択すべきである。一方、墨発生条件とは、ある $L^*a^*b^*$ に対応するCMYKの組み合わせは複数通り存在するため、その制約条件を決めることである。通常プロファイル作成ソフトがデバイスの種類に応じてデフォルトの墨発生条件を設定しているが、必ずしもその条件が最適であるとは限らない。高精度なカラーマッチングを実現するには、いくつかの墨発生条件を評価して最適な条件を選択する必要がある。

プロファイルを作成したら、プロファイルの作成条件やDDCPの出力条件を記録し、管理しておくことが重要である。また、出力デバイスは経時変化するため、プロファイル作成時の出力デバイスの状態を測定値で保管しておくことも必要である。

3.4 色変換条件の設定

① プロファイル設定

殆どのシステムはホットフォルダという色変換出力を自動化する機能を持っている。ホットフォルダにファイルを投入すると、設定された条件に従って色変換処理が行われ出力まで自動で行われる。異なる条件で出力する場合は、条件別にホットフォルダを作成し、ファイルを投入するホットフォルダを切り分けることによって行う。ホットフォルダの設定においては、プロファイルの設定とプロファイル作成時の出力条件を正しく設定することが重要である。

② レンダリングインテント

2.4.2で述べたように、AbsoluteとRelativeが使われることが多い。ただし、これらのインテントはDDCPで再現できない色再現域をクリッピングするため、階調のつぶれが発生するという問題がある。ターゲットとする印刷の色再現域をほぼカバーしているDDCPではそれほど問題とはならないが、色再現域の狭いDDCPの場合には大きな問題となる。

AbsoluteとRelativeの違いは、主に用紙地色付近の色の再現性である。Absoluteの場合、印刷本紙の地色に合わせて色をつけて再現するが、Relativeの場合は色をつけずに再現する。

用紙地色部分に色をつけると、CMYK 0%でも色が載ると思われ、顧客の了解を得られない場合がある。そのため、Relativeを設定し紙白に色を載せない運用を取るケースがある。印刷本紙とDDCP用紙の違いがわずかであ

る場合にはこの運用は成り立つが、大きく異なる場合は、紙白部分に色をつけて再現しないと見た目の印象を合わせることはできない。レンダリングインテントの選択は、カラーマネージメント運用の意図に合わせて適切なものを選択する必要がある。

③ 墨 100% 保持

墨 100% の文字や罫線については、通常その色を問題にすることはないため、体裁確認のための再現が求められる。すなわち、墨 100% を特別扱いし、色変換の対象外にするのが通常の運用である。

この設定で問題となるのは、TIFF 出力運用のように画像と線画の区別ができないワークフローにおいて、墨単色のグレースケール画像を出力する場合である。ベタが墨単色で再現され、ベタ以外は 4 色再現となるため、色の飛びが発生する。

3.5 色調整

2.4.3 で述べたように多くの場合、トーン調整と特定色再現域の調整を目視で行えるようになってきているが、目視での調整はわずかな調整に留めておくべきである。なぜならば、これらの調整は多くの場合、階調の滑らかさを損ねることになるためである。また、ある特定の絵柄でのカラーマッチング精度を改善できたとしても、その絵柄に存在しない色の領域をかえて悪い方向に修正してしまうこともあり得る。

著者の経験からすると、目視での色調整はあまり効果をもたらしきない。十分な精度が得られない場合に、この機能を利用して実用レベルまで修正しようとしても多くの場合うまくいかない。それよりも、本稿で述べている高精度なプロファイル作成のポイントをおさえることの方が重要である。

3.6 出力管理

出力管理の項目としては、DDCP の出力状態の確認とキャリブレーションがある。前者は、DDCP の出力状態がプロファイル作成時と同一であるかの確認を行うことであり、後者は出力状態に変動が起きている場合に、それをプロファイル作成時の状態に調整することである。

出力状態の確認は、プロファイル作成用に使用したカラーチャートを定期的に出力し、その測色値と基準値を比較することによって行う。しかし一般にプロファイル作成用チャートはパッチ点数が多いため、頻繁に状態確認する場合には簡略化されたパッチが必要である。多くの DDCP は、コントロールストリップを付加して出力する機能を持

っており、これを利用することができる。

DDCP の出力が基準値からどれだけ変動したらキャリブレーションを行うかについては、決まった基準があるわけではない。用途、要求品質、DDCP の特性やキャリブレーションの手間等を考慮して総合的に判断するべきである。

キャリブレーションに関しては 1 次元の LUT を用いたトーン補正を行う方法が一般的である。しかし、デバイスの変動は必ずしもこのような一次色ごとの調整だけで対応がとれるとは限らない。その場合は、プロファイルの再作成が必要となる。どちらの方法で対応するかは、要求する精度や作業の手間を考慮して決めることになる。

4. 課 題

CTP の普及に伴い DDCP 運用も本格化してきているが、カラーマネージメントに関しては課題が多い。

① 印刷の標準化

3.2 で述べたように、どのような単位で標準印刷を設定すべきか、またそれをどのように定めるのが良いのかについてはまだ答えがないのが現状である。用紙の印刷適性を評価して、再現しやすい印刷条件で決めるべきであろうが、印刷テストにかかるコストは膨大になる。また、現行の画像の入力条件やこれまで蓄積された画像データの存在を無視して決めることもできない。

② プロファイル作成

高精度なカラーマッチングには、出力デバイスのプロファイルを高精度に作成することが前提となる。しかしそのためには、デバイスの特性を十分に把握して細心の注意を払いながら作成する必要がある。誰にでもできることではない。現状ではこのことが十分に理解されておらず、安易に色調整機能を利用して対応しようとするケースが多い。

③ 出力管理

選択に迷うほどの様々な DDCP が登場したが、出力管理までをシステム化したものはまだ存在しない。コントロールストリップを付加する機能やキャリブレーションの機能は持っているものの、それらをどのように使えば良いかまで示しているシステムはない。また、以前に比べて手軽に測定できる環境は整ったものの、有効な測定をするには細心の注意が必要であり、依然として測定は大きな手間である。

④ DDCP 間の色合わせ

DDCP 運用が本格化してくると、同一機種 of DDCP 複数台運用や異機種 DDCP 間のカラーマッチングが問題となってくる。同一機種で出力条件を合わせ、同じプロファ

イルのセットを用いたとしても、出力デバイスには個体差があり、両者の出力には差が生じる。個々のDDCPごとにプロファイルを作成すれば、ほとんど差が認識できないレベルでの色合わせは可能であるが、その状態を維持するのが非常に難しい。さらには異機種DDCP間の色合わせになると、色再現域の違い、印刷とのマッチング傾向の違いから、色の違いが認識できないレベルで合わせるのは現実的に不可能である。

5. あとがき

印刷とDDCPでは印刷方式や使用する色材が異なるため、両者の色再現や出力品質を完全に一致させることはで

きない。また、カラーマッチングの処理は画像品質だけでなく、プルーフの役割の1つである文字品質やレイアウト確認にも影響を与えるため、これらの要素を考慮した運用も必要となる。完全なDDCPは存在しないということを前提に、用途や要求品質に応じたDDCPの選択と運用上の制約事項を明確に定めることが重要である。

カラーマネジメントにはまだ多くの課題があるのが現状であるが、DDCPを運用する側はこのような視点を持ってうまく使いこなしていくことが必要である。

参 考 文 献

- 1) 中川 力：日本印刷学会誌，38, 391 (2001).