

オフセット印刷機用色調管理システムの開発

Development of Color Control System for Offset Printing Press

技術本部 服部 幸治^{*1} 尾崎 郁夫^{*2}
山本 昇志^{*2}
三原製作所 金子 雅仁^{*3} 中村 先男^{*4}

オフセット印刷機の自動化が進む中で、色調整は作業者の経験とスキルに依存することから自動化が難しいとされていた。当社は、印刷機ローラ間のインキ流動や水とインキのバランス、転写と乳化などへの長年の取組みをベースに、このたび、高精度な色計測装置と印刷機の特性を考慮した制御により、熟練者並みの速さと正確さで目標の色に一致させるシステムを開発した。システムでは印刷色の分光反射率を計測精度、色差 $\Delta E^* \leq 0.1$ でとらえ、測定値からインキ供給量を推定する独自の制御アルゴリズムにより、実機（三菱枚葉印刷機 DAIYA-3 H）にて制御精度 $\Delta E^* \leq 2$ を実現した。印刷工程における色標準化の動向にもマッチした技術と考える。

In the process of printing, the most important job of producing color is matching an aim color. So, we have developed a printing color control system with a spectro-measurement sensor and ink control, which considers the characteristics of the printing machine. The error of the spectro-measurement sensor is less than $0.1\Delta E^*$ and its efficiency of color control is less than $2.0\Delta E^*$, minimizing the deviation between an aim color and a measurement color. This paper gives an outline of measuring system and flow of ink control, as well as accuracy of this system, which is confirmed with the MITSUBISHI DAIYA-3H sheet-feed printing machine.

1. ま え が き

印刷物の色は通常、藍（あい）、紅、黄、墨の4色の混色によって成立っている。色を調整するには各色インキの配分と供給の量で決まるが、印刷機での制御はインキ供給量の調整で行われる。しかし、実際のオフセット印刷機ではインキ供給量だけでなく、インキと水のバランス、温度、運転状況などによっても色調が異なってくるため、色調管理の自動化は困難とされ、熟練者の視覚、勘に依存するところが多かった。

当社は今までに、インキと水のバランスをインラインで保持するためのインキ膜厚・含水率計⁽¹⁾を開発、さらにインキローラの温度コントロールを付加することにより印刷安定化の実現のめどを得ている。今回、これらに加え印刷物の色を高精度に計測し、インキ供給量としてフィードバックすることにより目標色との差を最小に制御するシステムを開発した。

本システムの特徴を以下に示す。

- 色計測精度 色差^(注1) $\Delta E^* \leq 0.1$ の性能を持つ分光測色計
- 計測が約15s^(注2)で完了する高速処理回路
- 目標の色に対して分光スペクトルで一致させる制御
- 現在の印刷状況に応じて、インキ供給量を調整する制御

また、実際に使用するオペレータの作業負担を減らすためのカラーズケール自動追従装置（最小幅3mmまで対応可能）や、測定したデータや印刷状態のトレンドを随時表示、保存できるIPC^(注3)などのユーザインタフェースも重視した。

本報では、上記特徴を実現するための主要部分である、高速色計測装置及びインキ供給量制御アルゴリズムについて述べる。

（注1）：均等知覚色空間上での2色間の距離を指す。詳細はJIS Z-8730参照。

（注2）：横幅939mm（菊全紙）に印刷された182個のカラーズケールの色調計測、制御量の計算、画面への表示までの時間。

（注3）：Intelligent Press Controlの略。

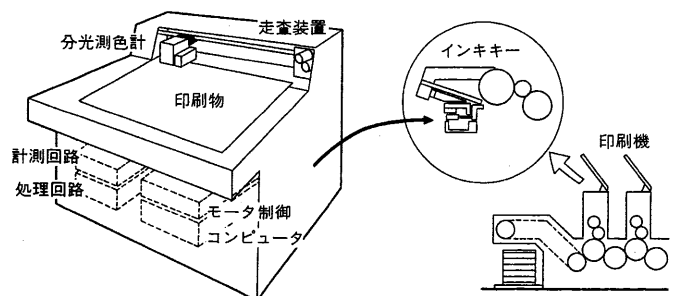


図1 色調管理システムの概要 印刷物の色を計測し、目標との差をインキ供給量で調整する。
Outline of color control system for offset printing machine

2. システム構成

2.1 システムの全体構成

システムの全体構成を図1に示す。計測部はカラーズケール上の各色を波長幅20nmごとに分解して計測する分光測色装置と、その測色装置をカラーズケール上に自動追従させる位置合せ装置で成立っている。また、これらの計測部は横方向に高速で移動する走査装置に取付けられ、真空吸着で色見台上に密着させた印刷物上を自動で走査計測する。計測されたデータはIPC内の制御ソフトウェアにて処理され、インキ供給量を算出後、表示し、オペレータの了承後にインキ供給量を自動調整する。また、IPCには現在の印刷状況（速度、印刷枚数など）が同時に取込まれている。

2.2 ハードウェア構成

ハードウェアは分光測色部、自動位置追従部に大別できる。

2.2.1 分光測色部

使用する分光測色計には精度のほかに、高速性、測定径の小型化が要求される。特に測定径の小型化は、後述する色合せ用のカラーズケールが本来印刷物としては不要なものであり、紙面上で

*1 広島研究所色彩・画像研究室主務

*3 印刷機械設計部開発課

*2 広島研究所色彩・画像研究室

*4 電子制御部メカトロ開発課

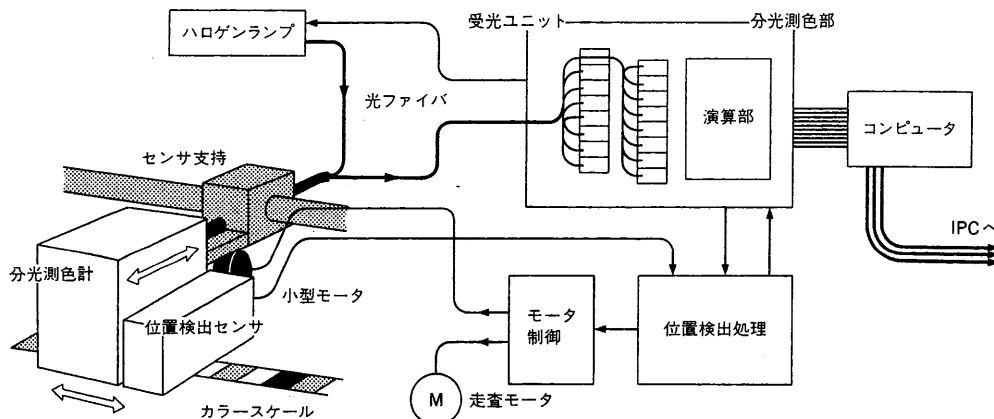


図2 ハードウェアの構成 カラースケールを分光する回路と位置を検出する回路から成立つ。
Construction of hardware

の割合を最小限にするために必要である。そこで以下の対策を講じた独自の分光測色計を開発した。

主な構成を図2に示す。光源には光量が安定したハロゲンランプを採用し、シャッタにより測定ごとに暗出力補正を行っている。センサヘッドは小型化のために分離方式とし、高効率で光を集めるための環受光方式を実現している。

センサヘッドで得られた光は投光と受光が同軸になっている光ファイバで受光部に送られる。受光部はPIN型フォトダイオードと干渉フィルタ、ファイバカップリングを一体にしており、400～700 nmを20 nmピッチで分光するため、16ユニットが並列となっている。出力は16ビットでA/D変換される。

2.2.2 自動位置追従部

狭幅のカラースケールでは測色計を幅以内に合せる作業が困難になる。そこで図2に示す位置検出センサと位置合せを行う小型モータによりこれを自動化した。

位置を検出するセンサはカラーCCDとし、印刷4原色（藍、紅、黄、墨）以外の色を含むスケールでも検出可能とした。本システムの追従範囲はカラースケール幅中心を基準に±10 mmで、オペレータはカラースケールを位置基準LEDに大まかに合せるだけで自動計測が可能である。また、位置検出センサはカラースケールの情報を先読みしているため、色ごとの変り目が検出でき、走査計測が片道で完了する。

2.3 ソフトウェア構成

本制御ソフトウェアは、測色計で測定される分光反射率を基に、インキ供給量を自動制御するためのコンピュータに与えるプログラムである。フローを図3に示す。特徴は、色座標からインキ供給量を演算せず、分光反射率からインキ供給量を演算している点にある。色座標を用いないため、環境光及び観察視野の影響を受けにくい高度な色一致が期待できる。また、図3中の実線矢印を選択することにより、網点の色的一致、あるいは点線矢印を選択することにより、ベタの色的一致が可能である。さらに、特色で形成された色を合す機能も追加しており、印刷機で印刷されるほとんどの色をカバーできる。

3. 色計測装置

2章でもふれたが、分光測色計には高速性、測定径の小型化が要求される。測色時間は5 sで考えており、その場合の1色の測定は5 msで完了させる必要がある。また、カラースケール幅を最小3 mmとすると測定径はφ2 mmとなる。これらを満足しつ

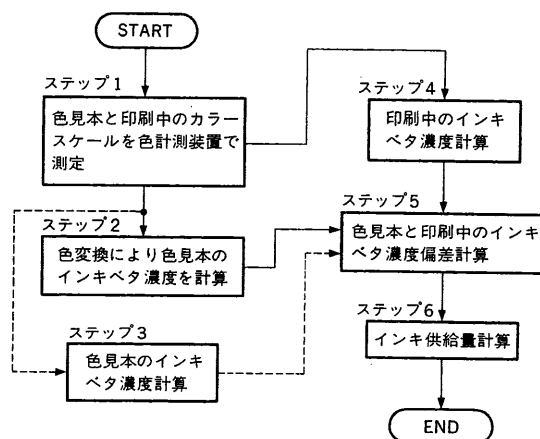


図3 制御フロー 色調制御の流れを示す。
Control flow diagram

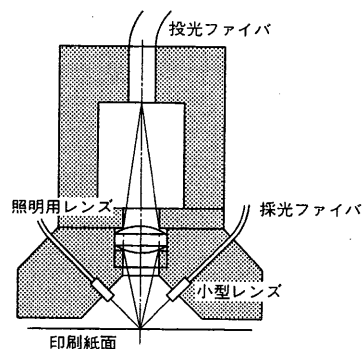


図4 センサヘッド部の拡大図
垂直方向から照射された光は印刷紙面にて拡散反射し、その反射光は円周上に設置されたレンズにて採光される。
Magnified figure of sensor head

つ、必要な計測精度を得るには印刷紙面の拡散反射光を最大限有効に利用する必要がある。

3.1 投光採光部

光源が1つの場合、図4に示すように投光を垂直方向から行い、45°方向全円周から採光するのが最も効率が良い。投光はファイバからの光を、収差を補正した高精度アクロマートレンズにより、正確にφ2 mmに集光させる。このとき、センサヘッド鏡筒の内壁からの余分な反射を防ぐため、光線追跡シミュレーション

を用い、内壁構造を最適化した。採光には先端に小型レンズを装着した16本のファイバを円周上に配置し、効率を上げる工夫を行った。

3.2 分光部

分光素子には回折格子などの分散素子と、干渉フィルタなどの帯域素子がある。回折格子は光の損失が大きく、また、高次回折光カットのため、装置が大掛りになる。そこで、16本の採光用ファイバそれぞれに干渉フィルタを装着する方法とし、損失の少ない、簡易な構成を実現した。干渉フィルタは半値幅15~20 nmで最大透過率が70%以上、高次遮へいが透過率が0.1%以下のものを使用した。また、干渉フィルタとファイバの間には損失防止のカップリングレンズを挿入した。

3.3 蓄積部

受光素子には逆バイアスをかけたPIN型フォトダイオードを使用しているが、この素子は本来蓄積型ではない。そこで各フォトダイオードの後段にコンデンサを設け、出力電荷を5 ms間蓄積させた後、高速で読み出す回路とした。これにより高感度検出が可能になりA/D変換器も1台で構成できる。

3.4 精度検証

測定時間を5 msとし、標準白板上で連続200回測定したときの測色結果を図5に示す。平均色度値に対する標準偏差を誤差量とすると色差 $\Delta E^* \leq 0.1$ の精度を有していることが分かる。

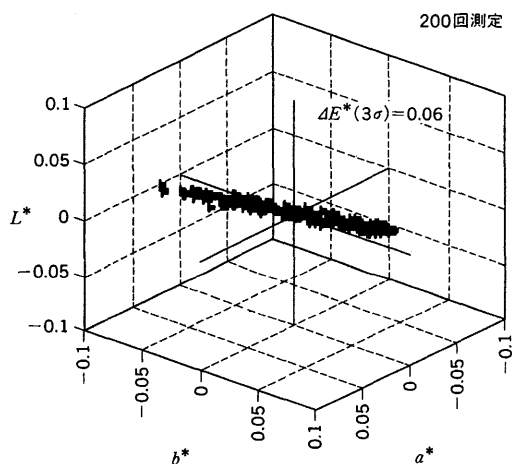


図5 分光測色計の精度検証結果 標準白板上で連続200回測定したときのセンサ出力を $L^*a^*b^*$ 表色系上で示す。
Accuracy of spectro-colorimeter by CIE $L^*a^*b^*$ color space

4. 制御ソフトウェア

インキ供給量を自動制御するためには、色見本と印刷中の各色ベタの過不足分に相当するインキ供給量を求める必要がある。

図3中、ベタで色を合す場合、色見本のベタ及び印刷中のベタの色は色計測装置で測定できるので、両者の過不足分は既知となり、自動制御可能となる。しかし、網点で色を合す場合、網点の測定値を単色のベタ相当に変換する必要がある。

この変換には、印刷中のカラースケールの網点面積率、インキトラッピングパラメータ、分光反射率とインキベタ濃度の関係を求める必要がある。以下、この場合の変換方法を述べる。

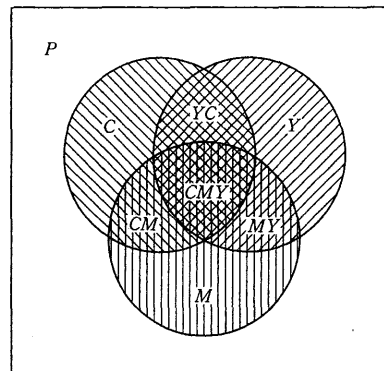


図6 C, M, Y 網点で構成される合成色 藍 C, 紅 M, 黄 Y の網点で構成された合成色が灰色に見えることを示す。
Resulting colors in three-color half-tone printing

4.1 制御アルゴリズム

印刷物は、藍、紅、黄、墨インキの細かな網点で構成される。人間の眼は網点の個々の色は判別できず、例えば図6では灰色のように合成された色として感じとる。図6では、藍インキの網点をC、紅をM、黄をYで表している。したがって、同図の灰色は、前記網点の色のほかに、CとMが重なったCMの部分、同様にMY, YC, CMYの部分及び白紙の部分Pによって合成される。

Neugebauerの理論⁽²⁾及びDemichelの理論⁽³⁾を適用すると合成色の分光反射率は各構成色の分光反射率からの寄与の総和に等しく、藍の網点面積率をc、紅をm、黄をyとして次式で表される。

$$R(\lambda) = (1-c)(1-m)(1-y)R_p(\lambda) + c(1-m)(1-y)R_c(\lambda) + m(1-y)(1-c)R_m(\lambda) + y(1-c)(1-m)R_y(\lambda) + cm(1-y)R_{cm}(\lambda) + my(1-c)R_{my}(\lambda) + yc(1-m)R_{yc}(\lambda) + cmyR_{cmY}(\lambda) \quad (1)$$

ただし、それぞれの分光反射率は、合成色 $R(\lambda)$ 、藍 $R_c(\lambda)$ 、紅 $R_m(\lambda)$ 、黄 $R_y(\lambda)$ 、藍と紅の重ね $R_{cm}(\lambda)$ 、紅と黄の重ね $R_{my}(\lambda)$ 、黄と藍の重ね $R_{yc}(\lambda)$ 、藍と紅と黄の重ね $R_{cmY}(\lambda)$ 並びに白紙 $R_p(\lambda)$ である。また、 λ は色計測装置の16波長に対応する。

色変換するために、まず、式(1)に印刷中のカラースケールの分光測定値を代入し、各色の網点面積率c, m, yを最小二乗近似等の解析的手法により求める。

次に、インキトラッピングパラメータ⁽⁴⁾を導入して、重ねの色を単色に分解する。例えば、藍と紅の重ね色の分光反射率 $R_{cm}(\lambda)$ は、藍の分光反射率 $R_c(\lambda)$ 、紅の $R_m(\lambda)$ 並びに白紙の $R_p(\lambda)$ を用いて次式で表される。

$$R_{cm}(\lambda) = \left(\frac{R_c(\lambda)}{R_p(\lambda)} \cdot \frac{R_m(\lambda)}{R_p(\lambda)} \right)^{t_{cm}(\lambda)} R_p(\lambda) \quad (2)$$

ただし、 $t_{cm}(\lambda)$ は藍と紅の重ねのインキトラッピングパラメータである。

次に、各色の分光反射率とインキベタ濃度の関係を式(3)で近似する。式は例として藍色の場合を示す。

$$\log_{10} \frac{R_p(\lambda)}{R_c(\lambda)} = k_c(\lambda) D_c \quad (3)$$

ただし、 $k_c(\lambda)$ は直線近似の係数である。また、藍色のインキ濃度 D_c は次式で求める。

$$D_c = \log_{10} \left(\frac{\sum R_p(\lambda) F_c(\lambda)}{\sum R_c(\lambda) F_c(\lambda)} \right) \quad (4)$$

ここで、 $F_c(\lambda)$ は赤色フィルタの分光透過特性であり、 Σ は 16 波長にわたって積算することを意味する。

以上により、式(1)の未知数はインキベタ濃度 D_c (藍), D_m (紅), D_y (黄)のみとなり、色見本の分光測定値に一致する各色のインキベタ濃度が最小二乗近似等の解析的手法により求まる。

また、特色のインキベタ濃度 D_s は、式(1)の網点面積率を 1 と置くことによって同様に求められる。

4.2 制御手法

図 3 の制御フローに基づいて、それぞれのステップ演算内容を簡単に示す。

ステップ 1 : 色見本及び印刷中のカラーズケールにおける、 R , R_c , R_m , R_y , R_{cm} , R_{my} , R_{yc} , R_{cm} 並びに R_p を測定する。

ステップ 2 : 式(1)から、前述のアルゴリズムに従って網点で形成された色見本の合成色 R を単色のベタ D_c , D_m , D_y に変換する。

ステップ 3 : ベタで色合せする場合、式(4)により各色のインキベタ濃度 D_c , D_m , D_y 並びに D_k (墨色ベタ濃度) を求める。

ステップ 4 : 式(4)により、印刷中の各色のインキベタ濃度 D_c' , D_m' , D_y' , D_k' , D_s' を求める。

ステップ 5 : 目標とする色見本の各色のインキベタ濃度と印刷中のインキベタ濃度の偏差を式(5)で求める。

$$\left. \begin{aligned} \delta D_c &= D_c - D_c', & \delta D_m &= D_m - D_m' \\ \delta D_y &= D_y - D_y', & \delta D_k &= D_k - D_k' \\ \delta D_s &= D_s - D_s' \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ステップ 6 : 上記濃度偏差分 δD と実機のインキ供給量の変化分との関係をあらかじめ調べておくことで、実機のインキ供給量を自動制御する。

5. 実機検証結果

本分光式色調管理システムを当社 DAIYA-3H 機に搭載してその性能を検証した。

色一致の評価は、分光反射率を色座標 ($L^*a^*b^*$) に変換して、色差 ΔE^* で行う。

制御性能として、通常の人間の色判別能力 $\Delta E^* \leq 2$ 程度を目標とした。

検証条件は、以下のとおりである。

- (1) 70 枚印刷ごとに印刷サンプルを抜取り、カラーズケールを測定して、インキ供給量を自動制御する。
- (2) 検証に使用した色は、藍、紅、黄の網点で形成された灰色部及び特色のベタで形成された紫色部とする。

検証の結果、図 7 に示すように制御回数 3 回目、すなわち 210 枚

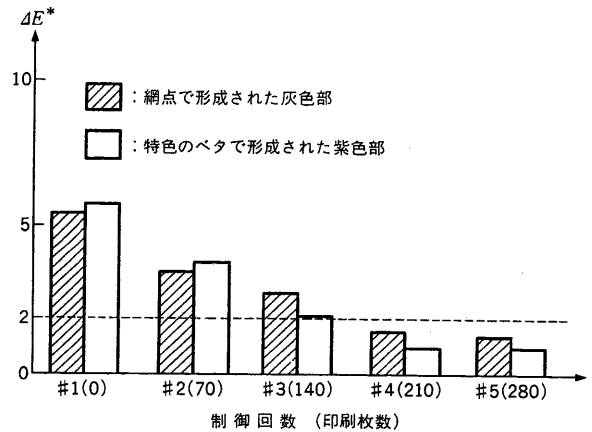


図 7 検証結果 分光式色調管理システムを実機に搭載して得られた色制御結果を示す。
Result of inspect

で目標との色差が $\Delta E^* \leq 2$ に収束することを確認した。本性能は、熟練オペレータが、この色調に 100~500 枚要することから、熟練オペレータと同等以上の色合せ性能を有すると評価できる。

6. む す び

従来、熟練オペレータの感覚に頼っている印刷物の色調評価を客観的に計測し、数値管理できるシステムと、さらにその結果を基にインキ量を自動的に調節するシステムを開発した。

このシステムは、従来のオペレータの経験と勘に頼った印刷から誰でも印刷できる印刷機への 1 ステップであり、また熟練オペレータにとっても、印刷作業のアシストとなるものと期待している。

ベタ濃度制御にしろ、網点濃度制御にしろ、本システムを有効に活用していくためには、製版過程の焼き度管理などの品質管理が重要になる。

印刷業界では標準化が上流工程から進んできており、印刷工程においても今後これに対応していく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 磯野ほか, オフセット印刷機用インキ膜厚・含水率計とその応用, 三菱重工技報 Vol.21 No.3 (1982)
- (2) Neugebauer, H. E. J., Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbenbuchdrucks, Z. Wiss. photo. Vol.36 No.4 (1937) p.73
- (3) Demichel, M. E. (written by Clerc, L. P.), Le Procédé Vol.26 No.3 (1924) p.17
- (4) Yan Liu, SPECTRAL REFERENCE MODIFICATION OF NEUGEBAUER EQUATIONS