

自動スキャン分光測色計FD-9の開発

Development of the Auto Scan Spectrophotometer FD-9

山本 謙*
Yuzuru YAMAMOTO

長嶋 義幸*
Yoshiyuki NAGASHIMA

原田 孝仁*
Koji HARADA

後藤 泰史*
Yasushi GOTO

山本 信次*
Shinji YAMAMOTO

要旨

測色データを用いたカラーマネジメントが一般的になり、プリンターの色調整、校正及び品質評価において、色再現性を評価するためのカラーチャートを測定する機会が増加している。しかし、カラーチャートの測定は、印刷ワークフローの中で「手間のかかる作業」であり、作業の単純化、省時間化が望まれている。この課題を解決し、カラーマネジメントの作業効率向上を実現するために、1) どんなチャートでも手間なく測定できる、2) 高速かつ正確に測定できる、3) 複数のチャートを自動で測定できる、自動スキャン分光測色計FD-9を開発した。

測定作業の単純化に最も寄与する技術は、測定位置自動検出である。コニカミノルタが得意とする画像処理技術を活用して、専用のチャートを用意したり、測定毎に手作業での位置合わせをしたりすることなく、どんなチャートでも測定ができることを実現した。

また、センサーの測定径、測定露光時間、センサーの移動シーケンスなどを最適に組み合わせた測定制御により、スポット測定方式を用いた自動スキャン測色計において世界最速の測定を実現している¹⁾。

さらに、コニカミノルタが複合機(MFP)で培った技術を活用した自動給紙ユニットは、複数枚測定での手間を大幅に軽減し、自動測定を可能にした。

これらの技術により、FD-9は、既存の自動測定タイプの測色計に対して、測定時間とチャート作成などの手間を大幅に削減し、印刷ワークフローにおける作業効率の大幅な向上に貢献している。

Abstract

In color management, the use of colorimetric data is now widespread, and measuring color charts when evaluating color reproduction is essential to those who deal with such processes as color printer adjustment and quality evaluation. Unfortunately, conventional approaches to measuring color charts are especially time-consuming and labor intensive.

To support color management work efficiency, we developed the Auto Scan Spectrophotometer FD-9. With the FD-9, measuring color charts is no longer time-consuming, yet color measurements are made with fine accuracy. In addition, an optional sheet feeder further facilitates workflow.

In achieving all this, it was essential that the measurement point on each patch of the color chart be located automatically, swiftly, and accurately, and the FD-9 does exactly that. More, this precision capability applies to virtually any color chart. Thanks to Konica Minolta's history of expertise in image processing technology, the FD-9 requires no special charts or manual locating of measuring points.

The FD-9 provides the world's fastest measurement of any auto-scanning spectrophotometer¹⁾. In the FD-9's measurement control technology, the sensor's measuring diameter, the light exposure time, and the sequence of sensor travel are optimally combined. Further, the auto sheet feeder technology long cultivated in Konica Minolta's MFPs makes it possible to batch load multiple color charts dramatically saving work hours.

To the professionals for whom evaluating color reproduction is critical, great improvements in work flow efficiency are now available, thanks to the technologies behind the Auto Scan Spectrophotometer FD-9.

*センシング事業本部 開発部

1 はじめに

測色データを用いたカラーマネジメントが一般的になり、プリンターの色調整、校正及び品質評価において、色再現を評価するためのカラーチャートを測定する機会が増加している。また、デジタル印刷機の校正では測定が必要な色の数も増えており、4,000色以上の測定が必要なケースも多い。従来はTable 1のような製品が使用されていたが、作業効率の観点で、それぞれ課題があった。さらに、1日に数10枚以上のカラーチャートを測定するケースもあるが、一括で自動的に測定できる製品は存在しなかった。

Table 1 Types of spectrophotometer and their practical considerations.

Manual scan spectrophotometer ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Low equipment cost • Labor intensive • Measurement error from human error
Stage type auto scan spectrophotometer	<ul style="list-style-type: none"> • Three marks on each chart have to be read manually using the system. • Chart beds must be larger than the charts to be measured.
Paper feed type auto scan spectrophotometer	<ul style="list-style-type: none"> • The special chart including the marker for chart position detection is necessary.

我々は、これらの課題を解決し、印刷ワークフローにおけるカラーマネジメントの作業効率の大幅な向上を実現するために、1) どんなチャートでも手間なく測定できる、2) 高速かつ正確に測定できる、3) 複数のチャートを自動で測定できる、自動スキャン分光測色計FD-9を開発した (Fig. 1, 2)。本稿では、作業効率向上の原動力となっている以下の技術について紹介する。

- 1) 画像情報を用いた測定位置自動検出技術
- 2) 高速かつ高精度なスキャン測定技術
- 3) 複数枚自動測定可能な自動給紙システム



Fig. 1 The Auto Scan Spectrophotometer FD-9.



Fig. 2 The FD-9 with an optional auto sheet feeder.

2 システム構成

FD-9は、Fig. 3のように、二つのモーターを使用して、カラーチャートのフィードと、測色を行う分光センサーユニットの移動を行うことで、チャート上に格子状に配置されたパッチの色を順に測定することができる。また、コンタクトイメージセンサーを搭載することで、チャートをフィードしながら二次元画像を取得できる。この二次元画像を利用して後述の測定位置自動検出を実現している。

Fig. 4に、測定のフローチャートを示す。

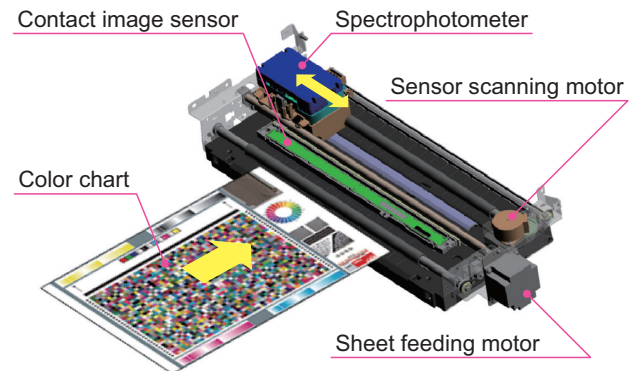


Fig. 3 The FD-9's major components.

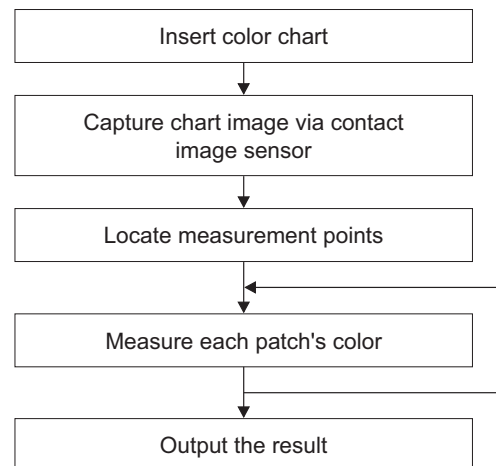


Fig. 4 The FD-9 measurement process.

3 作業効率化のためのFD-9コア技術

3.1 画像認識による測定位置自動検出技術

どんなチャートでも手間なく測定できることを実現するために、画像認識を用いた測定位置自動検出技術を開発した。

3.1.1 FD-9画像認識技術の概略

カラーマネジメントに用いられるカラーチャートは、Fig. 5 に示すような縦横格子状に矩形のカラーパッチが並んだチャートが一般的であり、Fig. 5 (A)のようにパッチのみが整列したものと、Fig. 5 (B)のように画像と混在したものがある。

各パッチの測色は、矩形の中央付近を計測中心として行うので、その中心座標 (Fig. 6 (A)の+で示される位置) を検出すべき測定位置として定義した。

チャートを認識する方法は、各パッチの境界の縦・横線をハフ変換によって検出する手法を採用した。その中心線の交点を測定点として検出する。Fig. 6 (B)は、検出された縦境界線 (オレンジ実線)、横境界線 (紫実線) とその中央線 (オレンジ一点鎖線、紫一点鎖線) の模式図である。

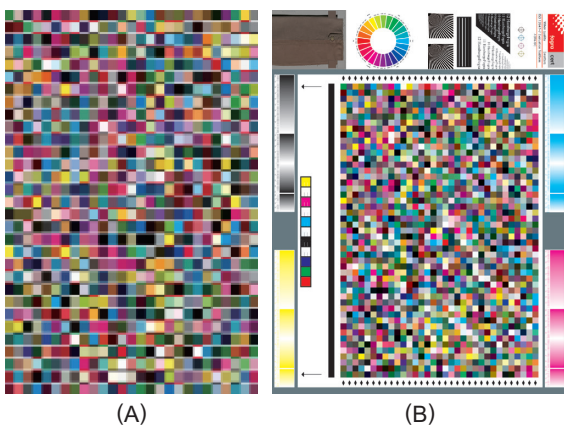


Fig. 5 Examples of the variety of color chart forms. The FD-9's free-format function accommodates virtually any color chart.

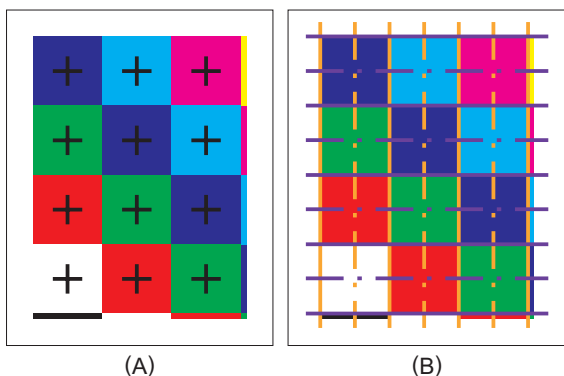


Fig. 6 On the left, the measurement point of each of the 12 patches is indicated by a "+" sign. On the right, the boundary lines of each patch are drawn with solid lines, and the centerlines of each patch are indicated by dashed lines.

3.1.2 画像認識技術の特徴

カラーチャートは等間隔で整列した矩形の集合体で構成されることが特徴であるため、縦線画像と横線画像とを生成し、縦線処理と横線処理に分離して行っている。画像認識する特徴形状は、縦線と横線であり、曲線などの非直線や傾きをもった線は検出する必要がない。この時、チャート画像の傾き成分はあらかじめ補正されている。

この処理をFig. 7に示したフローに従って説明する。例えば縦線検出では、すべてのフィルター処理は縦方向にのみ実施する。すなわち、元画像 (Fig. 8 (A)) に対して、縦微分フィルターで縦線化した画像を二値化後 (Fig. 8 (B)) に縦方向収縮処理を複数回行うことで、縦方向に繋がらないノイズは削除される。さらに細線化することにより Fig. 8 (C) の線画像が得られる。

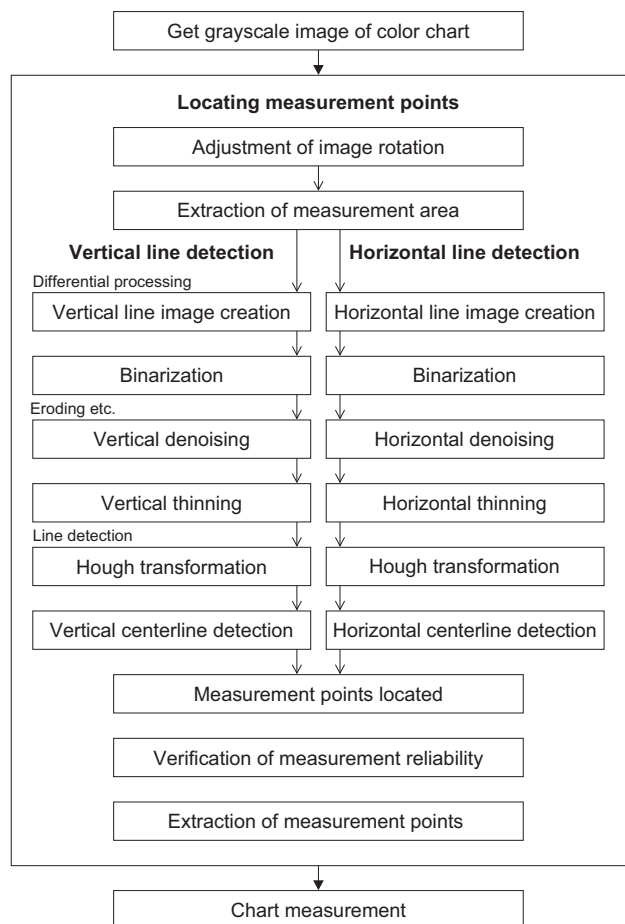


Fig. 7 Automatic location of measurement points.

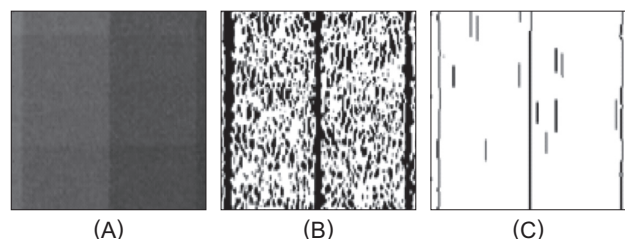


Fig. 8 The original image of a color chart patch (A) undergoes binarization with a horizontal differential filter (B) and then contraction and thinning to result in vertical line images (C).

このようにして得られた縦線画像に対してハフ変換を実施して線検出する。ハフ変換では、一般に探索パラメータである動径(ρ)と角度(θ)の組み合わせの数に処理時間が比例する。ここで、縦線がほぼ垂直であることを利用して θ の探索範囲を $0^\circ \pm \delta$ とし、 δ をごく小さな値とすることとした。この処理の最適化により、測定時間を短縮しながら、探索範囲の高分解能化を維持している。横線検出においても同様である。

このように、カラーチャートの特徴に着目して、縦線処理と横線処理に分離することにより、ノイズの影響を受けにくい線検出処理を高速で実現している。

3. 1. 3 画像認識の実施例

実際のカラーチャートを処理した例をFig. 9に示す。このチャートは、測色データを用いて色評価を行うカラーパッチ領域と目視で官能評価をする画像領域とに分かれている。FD-9では、前記の画像処理技術により、画像領域と測色領域を高速に分別して、測色位置 (Fig. 9の赤点) の検出を可能にしている。



Fig. 9 The automatic location of measurement points. Red points indicate the located centers of the patches.

3. 2 高速かつ高精度なスキャン測定技術

既存製品ではセンサーユニットを等速移動させながら測定しているが (等速移動方式), FD-9は、カラーパッチの測定中はセンサーユニットを停止させ、測定が終了してから次のパッチへ移動させることで (STOP&GO方式), 高速測定を実現した。

等速移動方式は、測定時間を短くするために移動速度を上げると、パッチを測定する時間が短くなりS/Nが悪くなる。このため移動速度は、必要な測定時間が確保できる速度に制限される。

Fig. 10 (A)は、移動しながら順次、短時間の測定を繰り返し、有効なデータだけを採用して各パッチを測定する状態を表している。ここで、赤点線の位置にセンサーがあるときには、2つのパッチの境界部分を測定することになり有効なデータが得られない。例えば、パッチサイズ6mm、測定サイズ (横方向) 3mmとすると、1つのパッチを有効に測定できる時間は、パッチ間をセンサーが移動する時間の1/2にしかない。S/Nを確保してパッチを測定するために必要な時間が130msであった場合、パッチ間をセンサーが移動する時間は260msになり、1つのパッチを測定するために必要なトータル時間は260msになる。

一方、STOP&GO方式では、停止して測定するため、Fig. 10 (B)のように測定サイズをパッチ幅程度にまで大きくできる。等速移動方式に対して約2倍の光量が得られることから、測定に必要な時間は半分の65msとなる。また、センサーの移動速度はS/Nに影響しないため、パッチ間の移動時間を、等速移動方式に対して1/4の65msにすることができれば、1つのパッチを測定するために必要なトータル時間は130msとなり、等速移動方式の1/2の時間で測定できる。

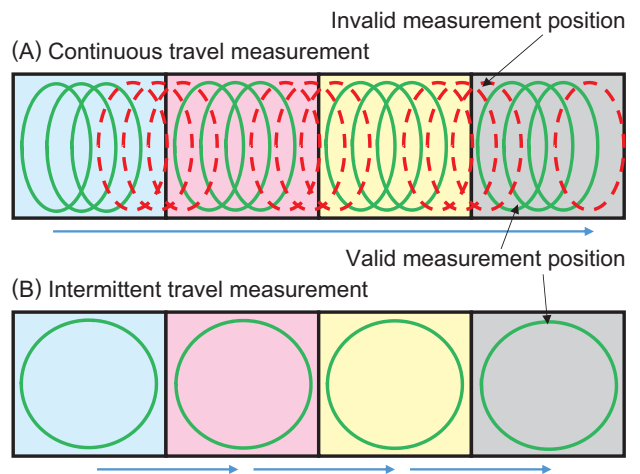


Fig. 10 Continuous travel and intermittent travel methods of positioning the measurement head. With continuous travel measurement (A), the solid green ovals each occupy a single, valid measuring location, while the red dashed ovals fail by overlapping two separate measuring locations. With intermittent travel measurement (B), the measuring unit completely stops at the center of each patch, measures color, and then moves on. Unlike the smaller areas of the ovals, the circular measurement areas here are enlargeable to the size of the patch, so the measuring sensor receives maximum light, which greatly shortens measuring time.

一般的に、高速移動と停止を繰り返すには、駆動するモーターのトルクを大きくする必要があるが、MFPで培った技術を活用して駆動シーケンスを最適化した。具

体的には、台形駆動を用いた加減速制御、マイクロステップ制御、駆動電流などのパラメーターを組み合わせるシミュレーションを行い、適切な安全率が得られるよう駆動条件を設定した。その結果、音や振動などの悪影響を与えることなく、モーターのサイズアップを最小限に抑えて高速化を行い、スポット測定方式を用いた自動スキャン測色計において世界最速の測定を実現した。

3.3 自動給紙システム

FD-9は、複数のチャートを自動で測定するために、自動給紙ユニットFD-A09を別売オプションとして用意した。このユニットを装着することで、複数枚のカラーチャートを本機にセットし、ソフトウェアから測定を開始するだけで、全てのチャートを自動で測定することができる。(Fig. 11)

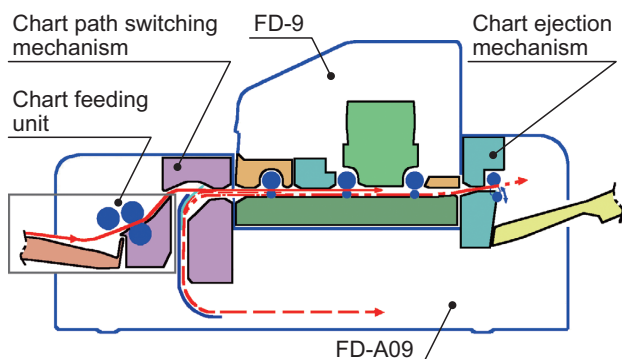


Fig. 11 Color chart travel using optional sheet feeder FD-A09. From a stack of charts, a chart is 1) fed into the FD-9, 2) and then reversed and past a sensor in the FD-9 for chart information scanning and momentarily held at the bottom of the FD-A09, and then 3) carried through the FD-9 for color measurement.

3.3.1 給紙部

給紙ユニットはコニカミノルタのMFPに搭載されているユニットと共通化を図った。これにより、短期間・低コストで信頼性の高い給紙機構の開発を実現した。

FD-9ではMFPとは異なり、印刷後のトナーやインクが載った様々なチャートを捌き、搬送する必要がある。これらのチャートは、張り付きやすいなど通紙の難易度が高い。一方で、搬送時間への要求はMFPほど高くない。そのため、給紙速度をMFPの1/2にすることで、通紙ローラーとチャートとの摩擦力を上げることができ、温湿度などの環境条件に関わらず、印刷されたチャートの安定した通紙が可能となった。

3.3.2 搬送部

チャート搬送経路を、Fig. 11に赤実線、破線、一点鎖線で示す。

カラーチャートが傾いて挿入されても常にパッチ中心を測定するために、測定時にはチャートを前後に動かす必要がある。一方で、前述した給紙ユニットはチャートが後退できない構成になっている。そのため、給紙時は

チャートを全て搬送し、給紙ユニットから引き抜くシーケンスとした。しかし、チャートを搬送経路内で引き抜くにはチャートの長さ分の搬送距離が必要になり装置が大型化してしまう。小型化を実現するために、①一旦チャートを給紙ユニットから引き抜いてから (Fig. 11の赤実線)、②後退 (赤破線) してFD-9本体下部の収容空間に進み、③再度前進 (赤一点鎖線) させて測色を行うシーケンスと構造を採用した。なお、②の動作の間に、測定位置自動検出に用いる画像の取得を行う。

給紙部と本体の接点部分には、アクチュエーターを使わずに通紙経路が切り替わる機構(chart path switching mechanism)を採用した。チャートが給紙ユニットからFD-9本体へ進む時には、切り替え機構内搬送経路の上方に湾曲した形状に沿って前進する。そして、完全に給紙ユニットから引き抜かれ、チャート後端は切り替え機構を通過する。後退時には、切り替え機構内の斜めに配置された柔軟性のある板に案内され、C字形の搬送形状に沿って本体下側の収容空間に進む。

このような、アクチュエーターを使わない通紙経路切り替え機構を採用することで、低コストと高信頼性を両立した。

4 まとめ

1) 画像情報を用いた測定位置自動検出技術、2) 高速かつ高精度なスキャン測定技術、3) 複数枚自動測定可能な自動給紙システム、の搭載により、Table 2のように、既存の用紙フィード型自動測定タイプの測色計に対して、カラーチャート測定時間を1/2に短縮し、さらに作業の効率化、省時間化を実現することができた。

Table 2 Advantages of the FD-9 over existing auto scan spectrophotometers.

Chart patch marking	No manual chart patch marking is needed. The FD-9 can measure virtually any chart.
Measurement time	The FD-9 can measure 1,500 patches in four minutes, twice the speed of existing spectrophotometers.
Batch processing	The FD-9 can batch process multiple color charts while unattended, for example, overnight.

今後は、コニカミノルタのプロダクションプリンターとの組み合わせなどで、印刷ワークフローにおける、さらなる作業効率アップに貢献できるシステムを提案していきたい。

●参考文献

- 1) 世界最速の自動スキャン分光測色計「FD-9」発売、
<http://www.konicaminolta.jp/about/release/2015/0907_01_01.html>
- 2) 山本信次, 後藤泰史, 松原範明: 紙の傾向を反映した測色が可能な分光濃度計FD-7のコア技術, KONICA MINOLTA Tech. Repo., Vol.8 138-142 (2011)