

会社や大学、コンビニ等で見かけるコピー機やレーザープリンター。今回は、その中に用いられている露光装置についてご紹介したいと思います。

1. レーザープリンター、コピー機の原理

レーザープリンターとコピー機は、スキャナーがあるかどうかの違いのみで、画像を作成する原理は同じです。原理をごく簡単に説明すると、①感光体ドラム表面に負の電荷を与え、②画像パターンを露光して露光部分の電荷を消失させ、③負に帯電させたトナーを、電荷が消失した部分に付着させ、④電界をかけて、感光体から紙にトナーパターンを転写させ、⑤熱を与えて、トナーを紙に定着させる。より詳しく知りたい方は文献1)をご参照ください。カラー画像のときは、感光体を色数(通常はCMYKの4色)分だけ並列に並べ(「タンデム方式」といいます)、カラートナーを紙上に重ねて転写して、定着させます。以下では、②の露光装置について説明します。

2. 露光装置の原理

現在実用化されている露光装置は2つに大別されます。1つ目は、レーザー光を感光体上に集光させて走査する「レーザーラスタ方式(走査光学系)」、2つ目は、LEDをプリント解像度分だけ並べ、それを感光体上に結像させる「LEDアレイ方式」です。今回は、誌面の都合上、レーザーラスタ方式についてのみ説明します。以下の説明では、便宜上、走査する方向を「主走査方向」、それと直交する方向を「副走査方向」とよびます。

図1(a)は走査光学系の主走査断面図、および副走査断面図で、図1(b)は、ポリゴンミラーを共通化した4つの走査光学系を用いて、4つの感光体を同時に走査できる、タンデム方式対応の走査光学系の斜視図です。レーザー光をカップリングレンズに

より平行光とし、それをアパチャーで所望の光束幅にした後、シリンダリカルレンズによりポリゴンミラー上で副走査方向にのみ結像させます。ポリゴンミラーの回転によりレーザー光を走査し、走査レンズで感光体上に結像させます。ポリゴンミラーは4~12面、感光体上のビームスポット径は、一般的に50~100 μm 程度で設計されます。また、ポリゴンミラーの画角の制約により光路長が長くなりやすく、そのため、折り曲げミラーを用いて光路を折り畳みます。以下で、各部品の役割・特徴についてご説明します。

3. 半導体レーザー

出力は5~15 mW程度、波長は780 nmもしくは655 nmがよく用いられます。これは、ピックアップで用いられているCD用、DVD用の半導体レーザーの波長と同じです。よく使われるのは780 nmですが、最近はビームスポット径の小径化に有利な655 nmも使われるようになってきました。これは、DVDの普及が進み、780 nmの原価と655 nmの原価の差が小さくなってきたことためと思われる。ただし、プリンター用とピックアップ用とでは、レーザーに求められる特性が少し違います。プリンター用レーザーには、パルス信号入力時の光応答波形において、立ち上がり/立ち下がりの高速性、およびピーク強度の安定性(ドループ特性)といえます)が特に強く要求されます。ピックアップは、ビットのあり/なしのデジタル的な記録ですが、プリンターは感光体上にアナログ的な記録をしますので、立ち上がり/立ち下がりが遅かったり、ピーク強度の安定性が悪かったりすると、画像濃度が変化したり、濃度むらが出たりします。それを回避するため、上記の特性が強く要求されるわけです。

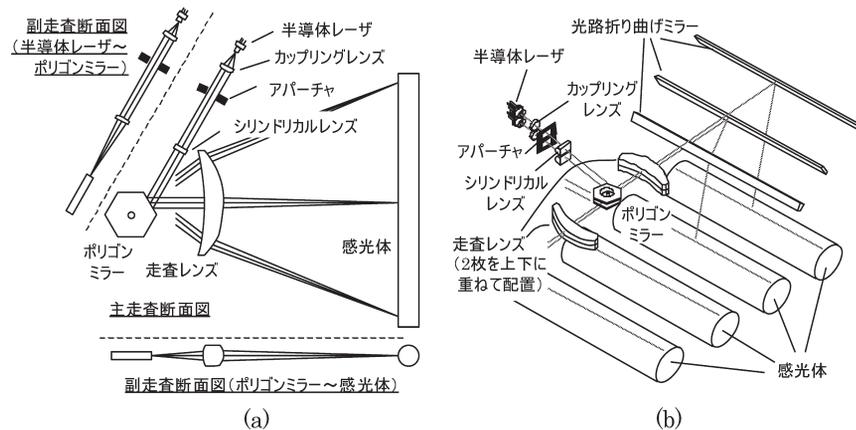


図1 走査光学系の模式図。(a) 主走査断面図および副走査断面図, (b) 斜視図 (タンデム対応).

4. アパチャー

アパチャーは、おもに2つの理由で用いられています。まず1つ目は、半導体レーザーの発散角ばらつきの影響を吸収するためです。発散角が変化すると感光体上のスポット径が変化してしまいますので、アパチャーを用いて感光体に到達する光束幅を一定にすることで、それを防止しています。2つ目は、感光体上で所望のスポット径を得るためです。1画素を走査したときに略円形の露光パターンが得られるように、主走査よりも副走査のほうが少し太いスポットに設計することが多く、そのためにアパチャーを用いて主走査および副走査の光束幅を制限しています。

5. 走査レンズ, シリンドリカルレンズ

走査レンズはおもに、「像面湾曲」と「リニアリティー」とよばれる特性を補正します。もちろん、波面収差の補正も行いますが、ここでは説明を省略します。像面湾曲の補正とは、すべての像高（感光体上の主走査方向の位置）において感光体上にビームが結像するようにすること、リニアリティーの補正とは、ポリゴンの回転に対して感光体上で等速に走

査されるように補正することです。リニアリティーの補正についてももう少し詳しく説明すると、理想レンズによる結像では、感光体上において $y=f \cdot \tan \theta$ (y : 像高, f : 走査レンズの焦点距離, θ : ポリゴンの回転角) となり、ポリゴンは等角速度運動 (θ : 一定) をするため、像高が高くなるほど走査速度が速くなってしまいます。これを補正して、 $y=f\theta$ の特性にすることで、ポリゴンの回転に対して走査速度が一定になるようにします。いわば、大きな負の歪曲収差を発生させているわけです。

さらに走査レンズには、ポリゴンミラーの製造誤差の影響を吸収する機能を付与しています。ミラー面に副走査方向への傾き誤差（面倒れ）があると、走査線の間隔が不均一になります。ずれ量自体は $10 \mu\text{m}$ 程度と小さくても、それがポリゴン1回転の周期で繰り返されると、人間の目には濃度むらとして見えてしまいます（「バンディング」といいます）。これを防止するために、シリンドリカルレンズを用いて、ミラー面上で副走査方向にのみ結像させ、ミラー面と感光体面を副走査方向について共役にしています。共役にすると、面倒れがあったとしても感光体上の走査線の位置はほとんど変化しませ

ん。この光学の原理を用いて、面倒れの影響を吸収しています。このような光学系を「面倒れ補正光学系」といいます。主走査方向については平行光でミラー面に入射させていますが、例えば、シリンダリカルレンズを用いずに、カップリングレンズでミラー面上に結像させるとどうなるでしょうか。ポリゴンミラーが小さくなり、よさそうな感じがします。しかしそのようにすると、実は走査ができなくなってしまいます。それは、主走査方向についてもミラー面と感光体面が共役になってしまうからです。

走査レンズの設計においては、非球面が多く用いられ、1枚もしくは2枚の走査レンズで、実用レベルの性能が得られています。また、光軸に対して非対称な非球面形状も用いられています。これは、サグ（ポリゴンの回転に伴う、ポリゴン反射位置の光軸方向のずれ）が、レンズの光軸に対して非対称に発生する影響を補正するため、特に副走査方向の像面湾曲の補正に有効です。このように、走査レンズでは複雑な非球面設計技術が発達しており、面形状は自由曲面に近くなってきています。走査レンズの設計技術について詳しく知りたい方は、文献2,3)をご参照ください。

上記のような走査レンズは、一般的には樹脂で成形されます。樹脂レンズでは、温度変化による焦点距離変化が懸念されますが、走査光学系はNAが小さく、ビームスポットの深度余裕が広いので、実用に耐えます。また、樹脂レンズは、面精度がガラスレンズに比べて劣りますが、これについては、場合によっては調整を行うことで、走査光学系としての性能を確保しています。

6. 調整

走査レンズや、それを収容するハウジングの製造誤差の影響を吸収し、感光体上のスポット径をなるべく小さくするため、シリンダリカルレンズの光軸

方向の調整が行われることがあります。カップリングレンズは焦点距離が短いので誤差感度が高く、光軸方向の調整がほぼ必須（ μm オーダーの精度が必要）です。また、走査線に傾きや曲がりが発生することも多く、それは、タンデム方式における色ずれにつながるため、光学素子を傾けたり、たわませたりすることで、走査線を補正することもあります⁴⁾。このように調整は、製造誤差を吸収することができるため、一見万能に見えますが、実はそうではありません。なぜなら、調整を行ったところは機械構造的に弱くなるため、経時で変化する危険性を伴うからです。調整後に接着剤で固定すると、接着剤の膨張・収縮の影響で、性能が劣化することもあります。調整を行うときは上記のことに十分注意する必要があります。調整・接着のための技術開発も必要です。

今回はレーザープリンター用露光光学系（レーザーラスタ方式）の基本的な部分について説明しました。原理は非常に単純ですが、製造誤差、環境変化に対しても安定した性能を保つため、また、高画質化のために、光学系、機械系、電気系にさまざまな工夫が盛り込まれており、幅広い分野の知識が得られる面白い光学系です。

（株）リコー 今井重明

文 献

- 1) 日本画像学会：電子写真プロセスとシミュレーション（東京電機大出版局，2008）
- 2) 小団扇平，高梨健一，鈴木清三：“非球面を用いたプリンター用レーザー走査光学系”，O plus E, 26 (2004) 1218-1223.
- 3) K. Sakai: “A technical overview of optical unit for tandem color laser printer”, *Proceedings of IS&T, NIP22* (2002) pp. 568-571.
- 4) 日吉隆之：特開平 9-292580.