シュリンクフィッタを用いたマルチポリゴン方式 レーザ走査装置の開発*

菅野明宏** 新田勇*** 小俣公夫† 井口敏†

Development of Multi-Polygon Laser Scanner Using a Shrink Fitter

Akihiro KANNO, Isami NITTA, Kimio KOMATA and Satoshi IGUCHI

A multi-polygon laser scanner system has been developed by using a shrink fitter, in order to produce a new laser direct imager having an ultra wide scanning width and high resolution. The shrink fitter is a new machine element which is cylindrical-shaped and made of plastic materials. This is developed to connect the two machine elements that have different thermal expansion coefficients with a shrinkage fit. In this joining method, the optical axes of the lenses coincide with the axis of the lens-barrel. The positioning accuracy of the lenses in the lens-barrel did not change at any temperature since the shrink fitter sufficiently expanded or contracted in the radial direction to compensate the change in interference. Therefore, the beam spot became very fine all over the wide scanning width at elevated temperature. In this study, we applied laser scanner units using the shrink fitter to the multi-polygon system, which arranged these units in a line. The performance of the new laser direct imaging system was confirmed experimentally.

Key words : optical lens, lens-barrel, laser scanner, shrink fitter, laser direct imaging

1. 緒 言

レーザスキャナは様々な分野で利用されている。身近な応用例としては、コピー機やバーコードリーダなどが挙げられる。また、産業用ではレーザ加工機やレーザ顕微鏡などで利用されている。さて、レーザスキャナの応用機器の一つにプリント配線板用のレーザ直接描画装置がある。プリント配線板は基板サイズの大型化と配線パターンの微細化が進められており、広い面積に対して微細なビームスポット径を高速走査させることが求められている。

高速走査を目的としたレーザスキャナは、一般的にポリゴンミラーやガルバノミラーのような光偏向器と $f\theta$ レンズで構成される^{1)~4)}。すなわち、レーザ発振器から射出されたレーザ光は、回転するミラーにより偏向され⁵⁾⁶⁾、その後 $f\theta$ レンズにより集光されて感光体上に照射される。その際、 $f\theta$ レンズは等角速度運動するレーザ光を結像面上で等速度化させる働きもある¹⁾⁷⁾⁸⁾。 $f\theta$ レンズ走査光学系の走査幅は走査レンズの焦点距離とレーザ光の光軸に対する偏向角度の積で計算される。したがって、広い走査幅を確保するためには、偏向角度が焦点距離を大きくする必要がある。しかし、偏向角度を大きくすると、走査幅中心と両端でスポット径を揃えるのが難しく、それを補正する光学系が複雑になり結果的に装置が大きくなるという問題がある。また、焦点距離を大きくすると、ビームスポット径がレンズの焦点距離に比例する⁹⁾ために、スポット径が小さくならず、また光路長が長いので装置が大型化する。

ビームスポット径を小さくしつつ走査幅を広げる試みとして、

複数のスキャナユニットを使用するレーザ走査装置も開発されてはいるが、各スキャナユニットが順次走査する方式¹⁰⁾であるため、1ライン走査あたりの走査時間はそれほど短縮できない。また、従来のレンズ接合技術に起因して、走査幅両端付近でスポット径が悪化したりするので、走査ライン接続の精度が保てないという問題があった。

そこで、本研究では広い面積に対して高精細な露光を行なうために、 $f\theta$ レンズ組込の際にシュリンクフィッタ法^{11)~13)}を適用した。そして、その $f\theta$ レンズを用いた複数個のスキャナユニットを並列に配置するマルチポリゴンシステムへ応用することを試みた(図1)¹⁸⁾。

シュリンクフィッタとは、著者らが開発した円筒形状の機械要素であり、レンズと鏡筒の間に挿入して両者を締め付け接合するために使用する。シュリンクフィッタは樹脂製で、レンズと金属製鏡筒に比べて熱膨張係数が高い。シュリンクフィッ

Fig.1 Developed multi-polygon laser scanner system

* 原稿受付 平成19年4月25日

** 正 会 員 新潟大学大学院自然科学研究科(現、新潟県県央地域地場産業振興センター；新潟県三条市須頃1-17)

*** 正 会 員 新潟大学工学部(新潟市西区五十嵐2の町8050)

† 株式会社オプセル(川口市上青木3-12-18埼玉県産業技術総合センター752)

Table1 Specification of the laser scanner unit

Light source	Laser diode ($\lambda=650\text{nm}$)
Scanning width	80mm (1 unit)
Spot size ($1/e^2$)	$12 \pm 5 \mu\text{m}$
Resolution	2,540dpi
Process speed	27.7mm/s

タにはスリット(切込み)があるため、半径方向の厚み分の熱膨張量が、温度変化によるレンズと鏡筒の間のすきまの発生を防止する(図2)。すなわち、本法は締りばめによりレンズの高精度な心だし接合を可能とし、環境温度が変化してもその精度が変化しない。したがって、本法によるf θ レンズでは、温度変化環境下でも走査幅両端でスポット径が悪化しない^{10)~17)}。マルチポリゴン構想を実現するためには、環境温度の変化や振動に対してもレンズ系の光学性能が悪化しないことが必要不可欠であり、シュリンクフィッタ法を用いることで初めて可能となる。

最初に、マルチポリゴンシステムの概要を述べる。次に、実験により、各スキャナユニットにより出力したドットパターンを評価して、シュリンクフィッタの有効性を確かめた。さらに、各ユニット間の画像を高精度に接続できることを実験により確認した。その結果、広い面積に対して高速で高精度な露光が可能となるマルチポリゴンレーザ走査法の有効性を示した。

2. マルチポリゴンシステムの概要

2.1 マルチポリゴン用レーザスキャナ光学系

表1に、本研究で用いたマルチポリゴン用レーザスキャナユニットの設計仕様を示す。図3には、スキャナユニットの光路図を示す。半導体レーザから射出された光は、ビームスプリッ

Fig.2 Principle of a shrink fitter

Fig.3 Schematic diagram of a laser scanner unit

タとシリンドリカルレンズを通り、ポリゴンミラーで偏向されf θ レンズによって結像面上に集光される。これらの露光用の光学系に加えて、本スキャナユニットには走査開始と終了の信号(それぞれS原点信号およびE原点信号と呼ぶ)を得るための検出光学系を取り付けた。この2つの原点信号は、レーザライン接続部でのレーザ光の出力制御に使用する。露光用レーザは感光体に応じて出力を変化させなければならないため、原点信号の検出用には不向きである。そのため、原点信号の検出には専用のレーザを用いている。

ポリゴンミラーの回転位相を検出するため、発光素子と受光素子が一体化した面検出光センサを取り付けた。このセンサは、ポリゴンミラーの上面に取り付けた基準マークを検出するもので、ポリゴンミラー1回転当たり検出信号を1回出力する。複数個のスキャナユニットを連結する場合には、基準マーク検出信号の出力タイミングが各ユニット間で一致することに加え、ポリゴンミラーの回転速度も一致することが必要である。

2.2 ユニットの姿勢制御機構

本システムでは、スキャナユニットを図4のように並列配置にする。ここで、各スキャナユニットをそれぞれU-1~U-4と呼ぶことにする。各ユニットの走査幅両端付近ではレーザ光がオーバーラップする領域が存在する。はじめに各スキャナユニットのレーザ走査ラインの傾きと副走査方向の位置を機械的に調整する必要がある。そこで、本装置には、各ユニット毎に前者を調整するための回転微調機構と、後者を調整するための光軸高さ微調機構がある。それぞれの調整によるユニットの姿勢変化方向の模式図を図5に示す。ここで、図5(a)のZ方向はフォーカスを合わせるための調整方向である。また、図5(b)のY方向は副走査方向のライン高さの調整方向である。同様に θ は走査ラインの光軸中心に対する傾きの調整方向である。図5(c)は調整が必要な状態のレーザ走査ラインの模式図である。ここでは、ユニットU-2のY方向とユニットU-3のZ方向そして、ユニットU-4の θ 方向の調整が必要な状態を示している。

2.3 スキャナユニット間の走査ライン接続法

配線パターン等の出力データを各スキャナユニットに配分して出力する際に、ラインのつなぎ部分で露光の重複や隙間がないようにレーザの点滅制御を行う必要がある。そのため、各ス

Fig.4 Schematic diagram of multi-polygon laser scanner system

キャナユニットが画像出力を開始および終了するための信号を得る必要がある。そこで、図4中に示すようにオーバーラップ領域に光センサを配置した。これをつなぎ点検出センサと呼ぶ。つなぎ開始点検出センサは、隣接するスキャナユニットに対するつなぎ終了点検出センサにもなる。これらのセンサはキャリブレーション時に使用するものであり、露光時には取り外す。

図6は、1つのミラー面について走査タイミングを検出するための信号を示している。ここで、時間 t は1つのミラー面によるオーバーラップ領域まで含めた全走査時間である。そして、 S_1 は図4のS原点検出素子からの信号であり、 S_2 はE原点検出素子からの信号である。そして、 S_2 と S_3 がつなぎ点検出センサからの信号である。したがって、ここでは時間 T が、1つのスキャナユニットの画像出力時間となる。

このとき1つのスキャナユニットが受け持つ描画のドット数は固定とする。走査ライン長さは一定としなければならないので、ドット数と画像出力時間、およびビデオクロック周波数は式

(1)に示すような関係を保つ必要がある。

$$T = (1/f) \times D \quad (1)$$

ここで、

- T : スキャナユニットの画像出力時間
- D : スキャナユニットの1ライン走査時のドット数
- f : ビデオクロック周波数(レーザの変調周波数)

ポリゴンミラーの各ミラー面間のジッタがある場合には T が変化するので、走査ライン長さを一定にするためにはビデオクロック周波数を変化させる必要がある。そこで本装置では、 S_2 と S_3 のつなぎ点検出センサの信号から各ミラー面による走査時間を測定して、その走査時間に対して走査ラインの長さが一定になるようにビデオクロック周波数を補正した。

なお、実際の感光体表面は、前述のつなぎ点検出センサの測定位置に対してZ方向に若干のずれが生じることがある。この場合は、求めたビデオクロック周波数にずれ量に相当する係数をかけることで、感光面での誤差を軽減することができる。

3. 実験

実験では、図7に示す3つのスキャナユニットを用いて感光フィルムに露光を行い、現像した感光フィルムの露光パターンを評価した。はじめに、各スキャナユニットの露光性能を確認した。その後、マルチポリゴンシステムのユニット間の画像接続部分の精度を確認した。

3.1 各ユニットの露光性能の確認

それぞれのスキャナユニットで、1ドットの繰り返しパターンを感光フィルム(Fuji-HL:フジフィルム製)に露光した。ドット

Fig.5 Alignment system of the scanner units

Fig.6 The signal timing of laser scanner units

Fig.7 Overview of the experimental apparatus

Table2 Allowable decenters and tilts of each lens simulated by code V

Lens No.	L1	L2	L3	L4
decenter [μm]	7.5	1.3	3.2	1.4
tilt [degree]	120	14	19	40

の間隔は、主走査方向および副走査方向とも $20\mu\text{m}$ である。ここでは、各ユニット間の画像は接続していない。図8は露光したドット形状の顕微鏡観察画像の一例である。走査中央付近と走査幅の両端付近のドット形状を観察した。観察は共焦点型レーザ顕微鏡 (3DI-1000V：オプセル製) で行った。

観察の結果、ドット形状が主走査方向に若干長い楕円の形状となっている箇所があるが、全ての場合についてドット径は約 $17\mu\text{m}$ 以下になっていることが確認できた。したがって、シュリンクフィッタによる複数枚レンズの鏡筒への高精度な心だし接合法の有効性が確認できたといえる。

3.2 レーザ走査ラインの接続精度の確認

3つのスキャナユニット間の露光ラインの接続精度を確認するために、図9のような画像データを露光した。図10に、図9中に矢印Aで示したスキャナユニットU-1とU-2の間の接続部分の拡大観察画像を示す。同様に図11には、図9中矢印Bで示したU-2とU-3の接続部分の観察画像を示す。これは、複数のドットで $100\mu\text{m}$ 程度の四角形を出力している部分である。図10(a)および図11(a)の下に記した矢印部が各ユニット間のつなぎ目である。主走査方向は高精度に画像が接続できていることが分かる。その精度は、つなぎ目の四角形と他の四角形の横方向の長さ(図中のa部とb部)を比較することで求められる。これらの観察画像で、一例を計算すると約 $2\sim 3\mu\text{m}$ の誤差であった。また、図10(b)および図11(b)は、それぞれ図10(a)と図11(a)中の四角枠内の拡大画像である。この画像より副走査方向のつなぎ目では $5\mu\text{m}$ 程度のずれが見られた。

なお副走査方向のずれは、全て同じ方向に同程度の量であることから、フィルムの送り速度によるものと、各走査ユニットの副走査方向の機械的な位置合わせ精度によるものの2つが考えられる。ここで、フィルムの送り速度によるずれを1ラインの走査時間から計算すると約 $1.2\mu\text{m}$ である。したがって、前述の観察による副走査方向のずれである約 $5\mu\text{m}$ からその約 $1.2\mu\text{m}$ を除いた分は、各ユニットの姿勢制御を微細に調整することで改善す

Fig.8 Microscope image of exposed dot patterns

ることが可能であると考えられる。

4. 考 察

マルチポリゴンシステムでは、各レーザスキャナユニットにより画像を接続する部分のズレの許容量は1ドットの1/4程度である。本装置ではビームスポット径の設計値は $12\mu\text{m}$ であるため、各レーザスキャナユニット(図4)の走査幅両端のドットの位置ズレを $3\mu\text{m}$ 以下に抑える必要がある。しかしながら、f θ レンズユニットの各レンズに偏心や傾きが生じると、ビームスポットの結像位置が変化する。そこで、レンズの偏心と傾きがビームスポットの結像位置に及ぼす影響を数値解析により調べた。実際には、各レンズの偏心と傾きは複合して存在し、それら全ての影響が含まれる。ここでは、問題を単純化するために、それぞれのレンズが1枚ずつ偏心および傾いた場合について求めた。はじめに、各レンズに偏心や傾きが生じた場合の走査幅両端でのビームスポット結像位置を、光学解析ソフト (code V：ORA社製) を用いて光線追跡により調べた。そして、ビームスポットの結像位置のズレが $3\mu\text{m}$ 以下になるための各レンズの偏心と傾きの許容値を求めた。その許容値を表2に示す。従来のレンズ接合法はすきまばめによる方法であり、環境温度の変化や振動によりレンズの偏心や傾きが生じるため、それらの量を表2の値以下に抑えることは不可能である。例えば従来のレンズ接合法では、環境温度が 10°C 上昇した場合はレンズと鏡筒との熱膨張係数の差によりL2は約 $8.6\mu\text{m}$ 、L4は約 $12.6\mu\text{m}$ の偏心が生じる。前述のように、実際には各レンズの偏心と傾きが複合して存在するため、結像位置の変化はさらに大きくなると考えられる。一方で、シュリンクフィッタ法の場合は、環境温度が変化しても理論的にレンズの偏心や傾きは生じない。すなわち、マルチポリゴン方式による各ユニットの画像接続は、シュリンクフィッタによる高精度なレンズ接合法を用いることで初め

Fig.9 Test image exposed by the multi-polygon laser scanner

て実現可能となった技術であるといえる。

5. 結 言

プリント配線板は基板サイズの大型化と配線パターンの微細化が進められており、用いられるレーザ走査装置には微細なスポット径で広い範囲に対して高速でレーザを走査する技術が求められている。しかし、レーザを走査する $f\theta$ レンズのスポット径と走査幅にはトレードオフの関係があるため、微細なスポット径を達成できる走査幅には限界がある。本論文では、シュリンクフィッタを用いた $f\theta$ レンズ的环境温度の変化や振動に対しても光学性能が悪化せず、さらに性能の再現性が保てるという特性を、スキャナユニットを複数個接続するというマルチポリゴンシステムへ応用して走査幅の超広幅化を試みた。露光実験

の結果、その有効性が明らかになった。

以下に、得られた主な結論を示す。

- (1) シュリンクフィッタによる高精度な $f\theta$ レンズを用いたスキャナユニットを、複数個接続して使用するための光学系とユニット機構部の開発と試作を行なった。
- (2) レーザスキャナユニットの光学性能を露光実験により評価した。その結果、走査幅中央と1つのユニットの走査幅両端である $\pm 40\text{mm}$ の位置においてドットの大きさに違いが見られなかった。すなわち、シュリンクフィッタ法の有効性が実験的に確認できたといえる。
- (3) マルチポリゴン方式のユニット間の画像のつなぎ部分の精度を露光実験により評価した。露光画像を顕微鏡観察したところ

(a) Laser microscope image of the position A in Fig.8

(a) Laser microscope image of the position B in Fig.8

(b) magnified image of a rectangle in Fig.9(a)

Fig.10 Connected image exposed by U-1 and U-2

(b) magnified image of a rectangle in Fig.10(a)

Fig.11 Connected image exposed by U-2 and U-3

ろ主走査方向にはドットのズレは2~3 μm 程度であり高精度に接続されていることが確認できた。副走査方向には、5 μm 程度のずれが観察される箇所があった。この副走査方向のずれは、各ユニットの姿勢制御の微細な調整により改善できると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Gerald F. Marshall : Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker Inc, New York, (2004).
- 2) 箕浦一雄 : レーザービームプリンターの光学系の革新と開発, 光学, **25**, 10(1996)580.
- 3) 森昌文 : 光プリンターのヘッド技術, 精密工学会誌, **58**, 3(1992)439.
- 4) 荒木高志, 他9名 : レーザ穴あけ加工用 f θ レンズの開発, SEIテクニカルレビュー, **154**, 3(1999), 89.
- 5) プリント回路学会編 : プリント回路技術便覧-第2版-, 日刊工業新聞社, 東京, (1993).
- 6) 塚本善夫, 伊藤直敏, 高橋誠一, 武井恒夫, 永井昌平 : 2-3走査機構と光学系(レーザ記録技術), 画像電子学会誌, **8**, 3(1979)147.
- 7) 森修次 : 最近のレーザビームプリンタ用走査光学系の技術動向, 精密工学会誌, **54**, 12, (1988)2238.
- 8) 堀川宏, 三浦壮之, 田代克 : 高速回転による球面形状の変形(第1報), 1990年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1990)479.
- 9) 小原實, 神成文彦, 佐藤俊一 : レーザ応用光学, 共立出版, 東京, (1998).
- 10) Ronny De Loor : SCANNING DEVICE, U.S.Pat., 5654817, (1997).
- 11) 新田勇, 菅野明宏, 刈田伸樹, 小俣公夫, 白井健司 : シュリンクフィッタを用いた光学レンズの超精密接合法, 精密工学会誌, **67**, 10(2001)1615.
- 12) 菅野明宏, 新田勇, 小俣公夫 : シュリンクフィッタを用いたレンズの超精密接合法の光学シミュレーションによる理論的検討, 精密工学会誌, **71**, 6(2005)779.
- 13) 菅野明宏, 新田勇, 五十嵐 渉, 小俣公夫 : 樹脂リングを用いた光学レンズの光軸方向の高精度な位置決め, 精密工学会誌, **71**, 12(2005)1583.
- 14) 新田勇, 菅野明宏 : シュリンクフィッタを用いた光学レンズの組込み法, 光アライアンス, **13**(2002)32.
- 15) 新田勇 : シュリンクフィッタ, トライボロジスト, **48**, 5(2003), 325.
- 16) 菅野明宏, 小俣公夫, 新田勇 : 感光材料評価用レーザー走査装置, 光アライアンス, **7**(2002)47.
- 17) 新田勇 : 光学技術と半導体レーザ制御技術, 化学工業, **8**(2003)585.
- 18) 小俣公夫, 井口敏, 新田勇 : 光走査装置, 特開2002-311359, (2002).