自由曲面と回折面を用いたレーザー走査光源光学系の設計

Using Free-form and Diffractive Surfaces in the Light Source Optics of a Laser Scanning System

稲 垣 義 弘* Inagaki, Yoshihiro

要旨

レーザー走査光学系で用いる光源光学系を新たに開発 した。その光源光学系は樹脂製の単一の光学部品によっ て構成される。その光学部品は、2面の自由曲面形状反 射面と2面の回折面を持つ。自由曲面形状反射面は、コ マ収差や溝状収差の低減に寄与している。また、回折面 は、温度変化時の性能変化を抑制するように設計されて いる。

Abstract

We have developed new light source optics for use in laser scanning systems. The light source optics consist of a single plastic optical element comprising two free-form reflective surfaces and two diffractive surfaces. The freeform reflective surfaces contribute to reduced coma and rinnenfehler, while the diffractive surfaces compensate for temperature.

1 はじめに

レーザー走査光学系では、樹脂非球面レンズを用いて レンズ枚数を削減することにより、低コスト化が推し進 められている。しかし、樹脂は温度変化に伴う屈折率変 化が大きいため、樹脂レンズを使った場合、温度変化に 伴う性能変化が課題となる。特に、レーザー走査光学系 の光源部に使われるコリメータレンズは、効き率が高 く、樹脂レンズを使うと温度変化に伴って大きなデ フォーカスが発生してしまうので、従来は一般にガラス 非球面レンズが使用されている。本稿では、自由曲面形 状の反射面と回折面を使うことによって温度に伴う性能 変化を抑制した樹脂製の光源光学系の設計について報告 する。

2 レーザー走査光学系

Fig.1に、今回設計したレーザー走査光学系の概略図を 示す。レーザー走査光学系は、レーザービームをポリゴ ンミラーで走査して感光体上に描画を行う。ここでは、 レーザーダイオードからポリゴンミラーまでの光学系を



Fig.1 Schematic view of a new laser scanning optics



Fig.2 Schematic view of the new light source optics

光源光学系と呼び、ポリゴンミラーから感光体までの光 学系を走査光学系と呼ぶ。今回の報告は光源光学系の光 学設計に関するものである。

Fig.2は、今回設計した光源光学系の概略図である。 Fig.3は、従来の光源光学系の概略図である。従来の光源 光学系は、レーザーダイオードの発したレーザー光をコ リメータレンズによって平行光とした後、シリンダレン ズによって、ポリゴンミラーの反射面近傍で副走査方向 のみ集光させている。一般にコリメータレンズはガラス レンズであるが、シリンダレンズはガラスのものも樹脂 のものもある。一方、今回設計した光源光学系は、単一 の樹脂製の素子で、コリメータレンズとシリンダレンズ の役割を兼ねている。

 ^{*}コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株
機器開発本部 機器第3開発センター 第31開発部



Fig.3 Conventional light source optics

3 温度変化に伴う性能変化

レーザー走査光学系の温度変化に伴う性能変化として は、デフォーカス、走査幅変化、走査位置ずれなどがあ るが、光源光学系の設計に関わるものはデフォーカスで ある。**Table 1** に、温度を10度上げた時のデフォーカス量 を走査レンズ部分も含めてシミュレーションした結果を 示す。レーザー走査光学系はアナモフィックな光学系で あるので、主走査方向と副走査方向でデフォーカス量は 異なる。なお、**Table 1** には波長のみを変化させた場合の デフォーカス量も併記しているが、波長に関しては後述 する。

Table 1 の比較例は、走査レンズ部分は同じで、光源光 学系部分をコリメータレンズとシリンダレンズに変更し た場合である。コリメータレンズとシリンダレンズの両 方にガラスを使用した場合に比べて、シリンダレンズを 樹脂にした時、温度変化に伴う副走査のデフォーカス量 が大きくなっている。また、コリメータレンズを樹脂に 置き換えた場合、温度変化に伴うデフォーカス量は主走 査副走査ともはるかに大きくなっており、このままでは 使用不可能である。

コリメータレンズを樹脂化した際に、温度変化時のデ フォーカス量が大きくなる原因は、樹脂の温度変化に伴 う屈折率変化が、ガラスに比べて2桁ほども大きいこと にある。屈折率変化の影響を受けないようにするために は、屈折面のかわりに反射面を使うことが考えられる。 Fig.4に、コリメータレンズを樹脂のミラーに置き換えた 光源光学系部分の概略図を示す。樹脂は、線膨張係数も ガラスに比べると1桁ほど大きく、屈折面の替わりに反

Table 1	Defocus	due to	temperature	and	wavelength
---------	---------	--------	-------------	-----	------------

		温度+10度変化時		波長+1nm変化時	
		副走査	主走査	副走査	主走査
自由曲面と回折面を使った樹脂光源光学系		0.9	0.9	-1.2	-0.4
比	ガラスコリメータ、 ガラスシリンダ	1.3	0.3	0.2	0.2
較	ガラスコリメータ、 樹脂シリンダ	2.9	0.3	0.2	0.2
例	樹脂コリメータ、 ガラスシリンダ	5.9	6.2	0.1	0.1
	樹脂コリメータミラー、ガラスシリンダ	2.5	1.8	0.1	0.0

⁽単位:mm)



Fig.4 Parabolic mirror collimator

射面を使っても形状変化の影響は免れ得ないが、屈折面 を使った場合に比べれば温度変化時のデフォーカス量は 大幅に減少する。

4 ティルトに伴う性能変化

上述の、コリメータレンズを樹脂のミラーに置き換え た光源光学系では、ミラーの形状は放物面である。この 場合、軸上では無収差にすることができるが、軸外では 性能が維持できない。コリメータレンズは設計上は軸上 だけを使用するが、保持部材の製造誤差や組立時の設置 誤差などによってわずかながら素子が傾き、軸外を使用 する場合があるので、想定される誤差の範囲内で欲しい 性能が得られているか確認しなければならない。

Fig.5は、放物面ミラーの像面湾曲を計算した結果であ る。評価は、素子を主走査副走査それぞれに±0.5度の範 囲で傾けてレーザーダイオード側で行っている。この例 では光路は副走査方向に折り曲げられているが、その方 向に傾けた時、主走査副走査の像面が乖離していること が判る。また、Fig.6は、ビーム形状をシミュレーション した結果である。素子を主走査副走査それぞれに±0.5度 ずつ傾けた後、通常の光源光学系と同等の調整を行った 上で、レーザーダイオード側で評価を行っている。通常 の光源光学系における調整とは、コリメータレンズに対 するレーザーダイオードの3軸の位置調整と、シリンダ レンズの光軸周り回転調整および光軸方向位置調整であ る。これらの調整によって、光源光学系から射出される 光束について、位置や角度と、主走査及び副走査の フォーカス状態が調整されるが、コマ収差や溝状収差が 発生している場合は調整で吸収されずに残存する。9つ あるビームのうち、中央は軸上であり、横が主走査の軸 外、縦が副走査の軸外である。軸上では前述のように無 収差であるから、ビーム形状シミュレーション結果はき れいな楕円形であるが、軸外ではコマ収差及び溝状収差 が発生して、ビームが三角形に崩れ、また、サブピーク が大きくなっている。

ティルト時のコマ収差及び溝状収差の対策としては、



Fig.5 Field curvature of the parabolic mirror collimator



Fig.6 Calculated beam spot of the parabolic mirror collimator

自由曲面を複数用いることが有効である。ただし、2つ の自由曲面の間で偏心が起きた場合にコマ収差及び溝状 収差が発生するため、設計の際にはブロック偏心と面別 偏心のバランスをとることが必要になる。

5 回折面の作用

前述のように、ミラーを使っても、温度変化に伴うデ フォーカスは残存している。これをさらに抑制する方法 としては、回折を利用する方法が考えられる。レーザー ダイオードは、温度が上昇すれば発振波長が長くなるの で、回折面の波長に対する性能変化を利用して逆符号の デフォーカスを発生させ、トータルとして温度変化に伴 うデフォーカスを抑制することができる。

ここで課題となるのが、回折を使わない時に発生して いる主走査副走査のデフォーカス量が異なることであ る。従って、回折も主走査副走査それぞれに最適となる ように設計する必要がある。また、温度変化に伴う波長 変化を利用してトータルでデフォーカスを抑制する場 合、温度が変化せずに波長だけが変わると、デフォーカ スが発生することになる。レーザーダイオードの波長変 化については、モードホップと呼ばれる、1nm程度の不 連続的な波長変化が起こることが知られている。波長が 急激に変化すればその分デフォーカス量が急激に変化す ることになるので、モードホップに伴うデフォーカスの 量が画像に悪影響を及ぼさない程度に収まるかどうか、 光学設計時に注意しなければならない。また、レーザー ダイオードの放熱が不十分な場合、レーザーダイオード の温度が想定よりも上がりすぎて、波長変化が大きく起 きることがある。これらのレーザーダイオードの波長に 関わる問題は、回折を使っていない場合でも無論起こり うるが、回折を使った場合にはより大きな量で発生する 可能性がある。前述のTable1に波長だけ変化させた場合 の結果を載せているが、今回の設計例は比較例と比べる と波長変化に伴うデフォーカス量が大きくなっている。

6 設計例

今回の設計例について、Fig.7に光路図を示す。入射面 と射出面は回折面であり、その間の光路中の2つの反射 面はいずれも自由曲面である。反射面は、全反射するよ うに設計されており、金属コーティングは不要である。

2つの回折面のうち、ポリゴンミラー側の回折面(以 下、射出側回折面と表記する)は平面の上に平行な溝を 設けた形状である。溝は、主走査方向に平行であり、射 出側回折面は副走査方向のみに回折力を持つ。Fig.8に回 折面の微細形状のイメージを示す。主光線通過位置付近 では、1次回折光が直進するように設計されており、溝 の微細形状は光線進行方向に垂直な透過面と光線進行方 向に平行な壁面で構成された階段状である。主光線通過 位置から上下にずれた位置では、溝のピッチや透過面の 傾斜が変化しており、回折面は正のパワーを持ってい る。なお、透過面の傾斜は位置によって変わっている が、段差の向きが反転することはない。これは、面を全 体として副走査方向について傾斜させていることの効果 である。仮に面を傾斜させていないと、面の上側と下側 で段差の方向が逆になってしまい、金型加工時に切削工 具を反転させることが必要になり、精度について不利に なる。



Fig.7 Optical path chart of the new light source optics



Fig.8 Schematic drawing of diffractive surface



Fig.9 Field curvature of the new light source optics



Fig.10 Calculated beam spot of the new light source optics

また、レーザーダイオード側の回折面(以下、入射側 回折面と表記する)は、軸対称非球面の上に同じ軸を回 転対称軸とする溝を設けたものである。ただし、回転対 称軸を外した領域で使用している。入射側回折面でも、 主光線通過位置付近では、1次回折光が直進するように 設計されている。軸対称形状であれば、軸を含んだ領域 で使用するように設計しても加工上は問題ないのだが、 それにもかかわらず軸を外した領域で使用しているの は、射出側回折面での、波長変化に伴う位置変化を補償 するためである。射出側回折面では、面を傾斜させたこ とによって、波長変化時に回折光の角度が副走査方向に 変化してしまう。前述のレーザーダイオードのモード ホップの影響で波長が急激に変化した場合、感光体上で のレーザー照射位置がずれてしまってはいけないので、 入射側回折面で逆方向に角度変化を起こすことによっ て、トータルで感光体上レーザー照射位置の変動が起こ らないようにしている。

また、主光線と回転対称軸の間隔を自由度として使用 することで、主走査方向の回折のパワーを設計時にコン トロールすることができる、という利点もある。副走査 断面内での形状を変えずに回転対称軸を主光線に近づけ ると、主走査断面内で見た溝の間隔が狭くなり、回折パ ワーを主走査断面内だけ増やすことができる。

今回の設計例について、Fig.9に像面湾曲を、Fig.10に ビーム形状をそれぞれ示す。評価条件はFig.5及びFig.6 に示した放物面ミラーと同等である。像面は放物面ミ ラーと基本的に似た挙動を示しているが、2面の自由曲 面の作用によって、ティルト時の溝状収差やコマ収差が 抑制されていることがわかる。

7 おわりに

本稿で紹介した樹脂製の光源光学系は、コニカミノル タオプト(株)光学技術センターによって、金型加工及び成 形に関して技術開発され、既に実用化されている。 Fig.11に作成された素子を示す。



Fig.11 The new light source optics