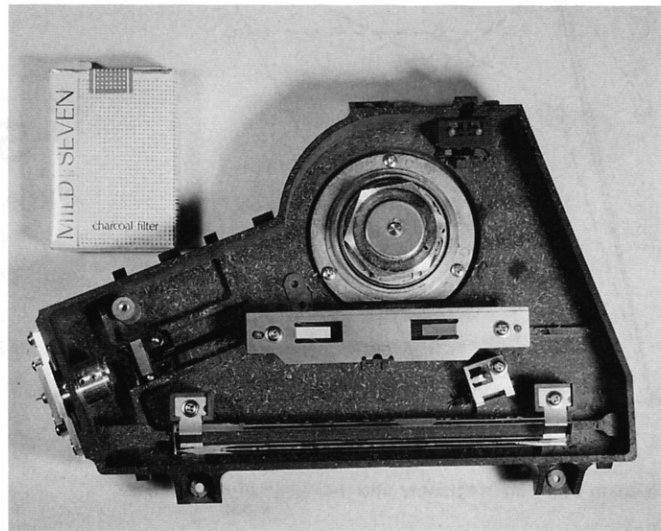


# レーザービームプリンターの走査光学系

## Scanning Lens System for Laser Beam Printer

藤田久雄  
山崎敬之  
オプト事業部  
光学開発センター



Fujita, Hisao  
Yamazaki, Hiroyuki  
Optics Research & Development  
Center  
Optics Division

### Abstract:

Konica has developed a plastic scanning lens system employing aspherical and modified cylindrical anamorphic surfaces. These designs have proved very effective in compensating for both wide angle primary scanning and secondary scanning direction field curvature.

Defocusing, usually associated with plastic lenses, was eliminated through the design of a temperature-compensating collimator. This means a compact, lowcost, high-performance scanning lens system for laser beam printer is finally possible.

# 1

## まえがき

近年レーザープリンターが端末プリンターとして注目をあびて来ている。とりわけ小型・低価格な走査光学系における技術進歩には著しいものがある。 $f\theta$ 走査レンズ・倒れ角補正系・回転多面鏡の量産加工技術の確立など、光学設計・生産技術の両面での創意工夫がなされて来ている。特徴的なものとしては、トーリック面を使った走査レンズ系や曲面ミラーポリゴンを使った光学系があげられる。

当社においては、走査レンズをプラスチック素材で構成することで、より低価格な光学系の実現を目標として開発をすすめて来た。新規なアナモフィック面の開発やコリメータ系の工夫等によって、プラスチックレンズを使用した高性能な光学系が実現出来た。本稿ではその設計成果について報告する。

# 2

## 走査光学系の仕様と構成

Table 1に当社で開発した走査光学系(当社開発ナンバー・P054)の主要仕様を示す。特徴は偏向角 $2w=88$ 度にもなる広画角で、しかもプラスチックで構成された走査レンズ系にある。

Table 1 P054-specifications

1. Optical scanning width	$2Y=240\text{mm}$
2. Beam diameter ( $1/e^2$ )	400 DPI
Primary direction	$65\pm 15\mu\text{m}$
Secondary direction	$100\pm 15\mu\text{m}$
3. $f\theta$ -characteristic	$\leq \pm 0.5\%$
4. Primary direction-jitter	$\leq 10\mu\text{m}$
5. Scanning line interval irregularity	$\leq 10\mu\text{m}$
6. Scanning lens focal length	$f=150\text{mm}$
7. Wavelength	$\lambda=770\sim 800\text{nm}$
8. Light transmission efficiency	$\geq 20\%$

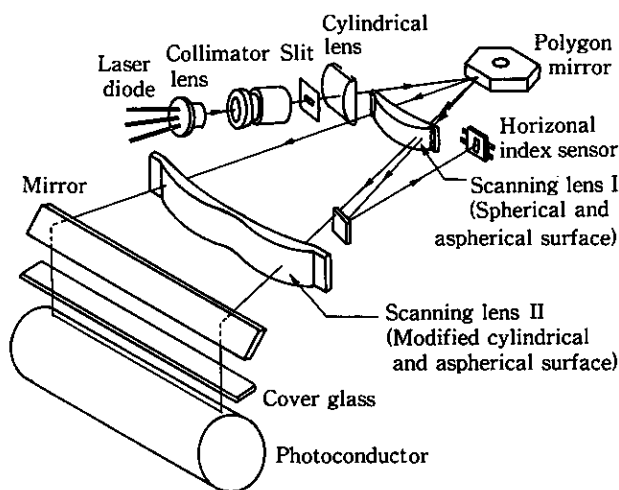


Fig. 1 P054 system configuration

P054の基本構成をFig.1に沿って概説する。光源は半導体レーザーである。放射光はコリメータレンズで平行化される。次に、上下方向に光束を制限するスリットを通過後、シリンダリカルレンズにより回転多面鏡の反射面付近に横一線状に結像し、回転多面鏡に入射する。回転多面鏡によって反射された光は走査レンズによって感光体上にビームスポットを結ぶ。光走査平面(主走査方向面と呼ぶ)に垂直な面(副走査方向面)において、回転多面鏡反射面と感光体が結像関係になっている。これを倒れ角補正光学系と称する。(後述)

# 3

## プラスチック走査レンズ

倒れ角補正を考慮した走査レンズをプラスチックレンズ2枚で実現した。以下に技術的アプローチとその成果について述べる。

### 3.1 走査レンズ仕様

走査レンズの設計にあたっては次の3点の適正補正が要求される。

- (1)主走査方向の像面湾曲
- (2)副走査方向の像面湾曲
- (3) $f\theta$ 特性

(1)(2)はビーム径を感光体上で均一にするために必要である。又(2)は回転多面鏡の倒れ角の補正を良好にするためにも必要である。(3)は回転多面鏡を使用した時に画像周辺部での画像歪をなくすために要求される。P054における設計成果をFig.2に示す。

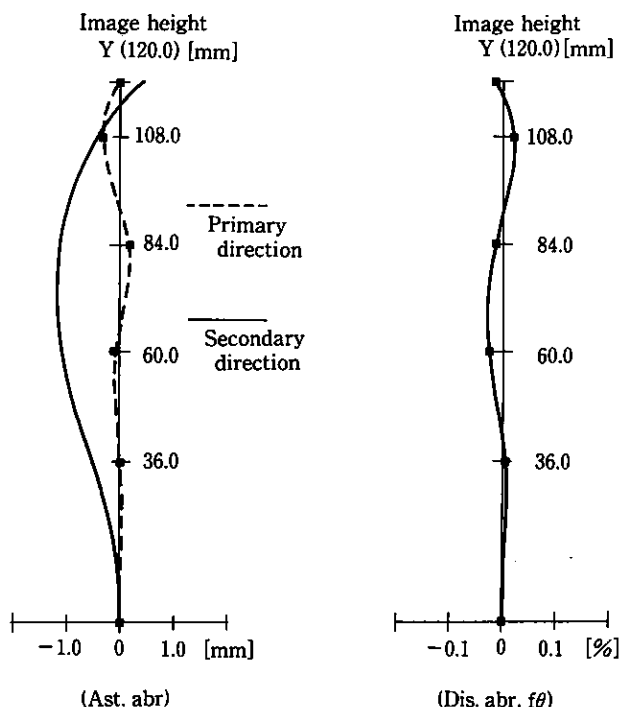


Fig. 2 Scanning lens aberration

$\alpha$  : facet angle error  
 $M: M = \alpha/\beta$  magnification  
 $f$  : focal length  
 $\Delta$  : field curvature in secondary direction

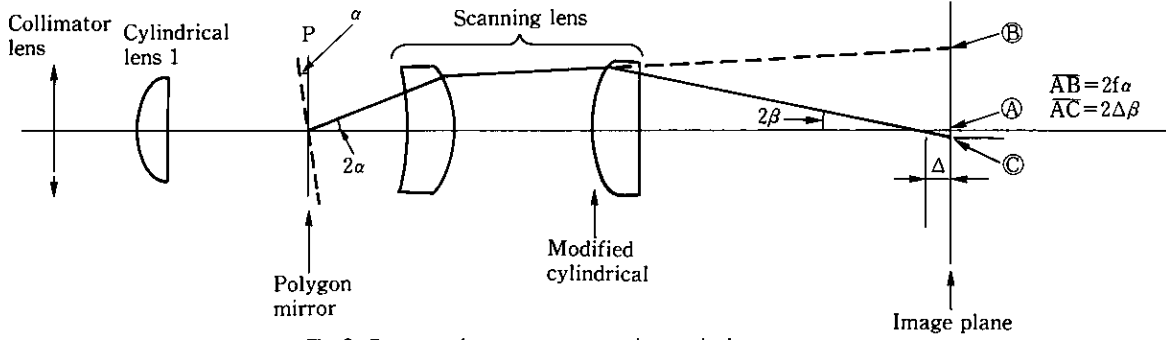


Fig. 3 Facet angle error compensation optical system

### 3.2 倒れ角補正光学系

回転多面鏡の回転軸に対する垂直平面に対し、各鏡面の法線のなす角度が倒れ角である。理想的には零であることがのぞまれるものである。この倒れ角が大きいと主走査ライン幅がばらつき、解像度が劣化する。加工技術面より倒れ角を許容内にいれることは非常に困難であり一般には、倒れ角補正光学系により多面鏡の加工公差を緩くしている。Fig.3は走査系の副走査断面図であり、これを使って説明する。既に述べたように副走査断面内において、回転多面鏡と感光体は結像関係にある。倒れ角 $\alpha$ が零でなく、かつ結像関係にもなっていない時の感光体上のビーム位置はB点である。本来の位置A点より $\overline{AB} = 2f\alpha$ だけ離れている。各 $\alpha$ が異なると主走査ライン幅がばらつくのはこのためである。結像関係になっているときはC点となる。 $\overline{AC} = 2\Delta\beta$ である。倒れ角補正光学系とすることで次の倍率だけ加工公差を緩く出来る。

$$K = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{2f\alpha}{2\Delta\beta} = f \cdot M / \Delta$$

$f$  : 主走査方向焦点距離

$M$  : 副走査方向断面内の走査レンズの倍率

$\Delta$  : 副走査像面湾曲

P054のKは約100であり、倒れ角誤差許容公差は200秒に設定出来る。これは加工公差として非常に緩いものである。

### 3.3 レンズ形状

走査レンズ系の形状を Fig.4 に示す。レンズIは球面と回転対称非球面とよりなる。レンズIIは当社により開発された、新規な回転非対称面(変形シリンダカル面と名付けた)と回転対称非球面よりなる。変形シリンダカル面は、通常のシリンダカル面を発展させた概念であり倒れ角補正光学系における副走査方向の像面湾曲の補正に有効である。形状は Fig.5 に示すように回転対称軸 $l$ が存在し、プラスチックレンズの金型製作が容易となる。変形シリンダカル面は次の式で表現される。

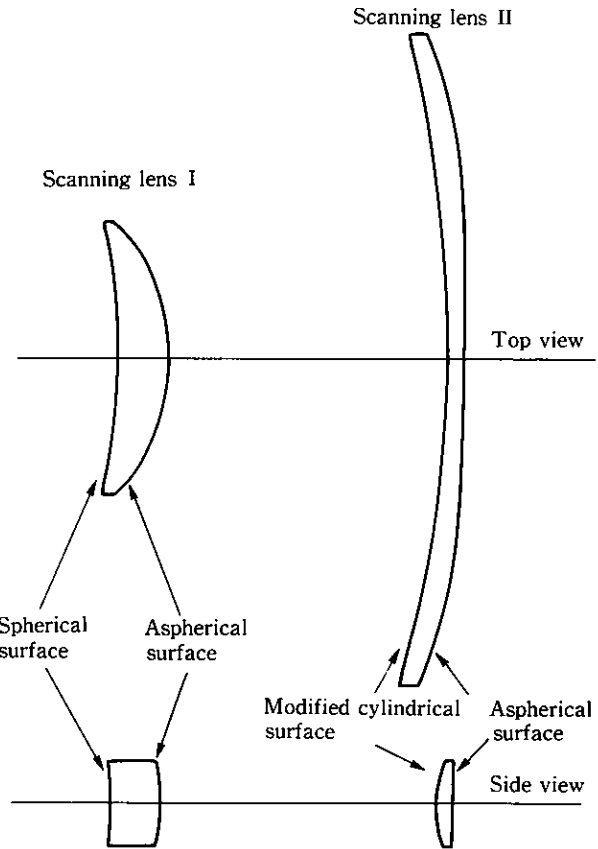


Fig. 4 Cross section of P054 lens system

$$(X - R_0)^2 + Z^2 = \left[ R_0 - \frac{Y^2}{R \left( 1 + \sqrt{1 - Y^2/R^2} \right)} \right]^2$$

通常のシリンダカル面は主走査方向には曲率半径は $\infty$ であるが、変形シリンダカル面は曲率半径 $R$ でありこの母線によって副走査断面の半径は光軸上より軸外のほうが大きくなる。

$$R_s = (R_0 - f_{(y)}) \times \sqrt{1 + \left( \frac{\partial x}{\partial y} \right)^2}$$

$R_0$  : 光軸上の副走査断面の曲率半径

$X = f_{(y)}$  : 主走査断面形状

副走査像面湾曲はシリンドリカル面の使用では軸外において補正不足となり広画角化には適していなかったが、概念が拡張された変形シリンドリカル面を採用することで広画角領域で副走査像面湾曲の適正補正が可能となった。主走査断面形状を自由度とすることで著しい補正効果が得られた。

一方、主走査像面湾曲と $f\theta$ 特性は、レンズI、IIの回転対称非球面を使って補正出来た。非球面形状は次式であらわされる。

$$x = \frac{\phi^2}{R(1+\sqrt{1-(1+k)\phi^2/R^2})} + \sum_i A_{pi}\phi^{pi}$$

$$\phi^2 = z^2 + y^2$$

$k$  : 2次曲面係数

$A_{pi}$  : 非球面係数

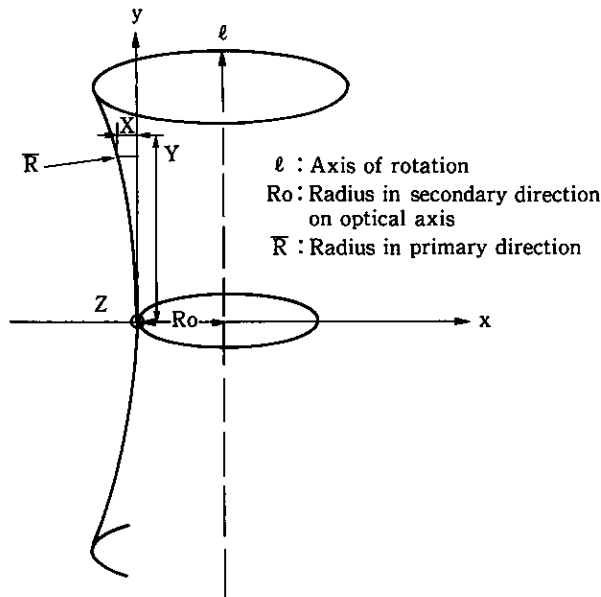


Fig.5 Modified cylindrical surface

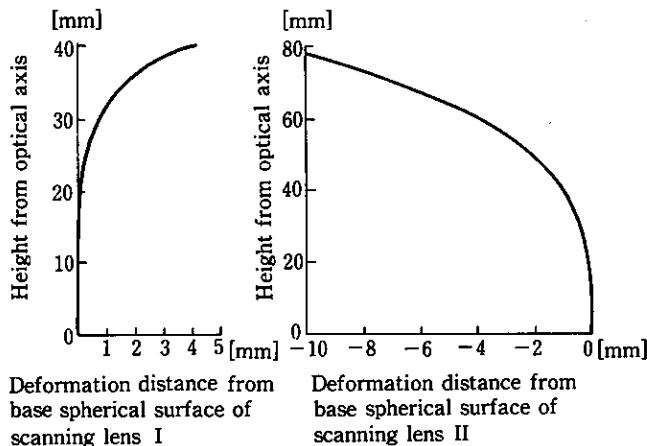


Fig.6 Deformation distance of aspherical surfaces

$k=0$ 、 $A_{pi}=0$ のときが球面である。この $k$ 、 $A_{pi}$ を自由度として持つことにより収差の適正補正が可能となる。Fig.6にP054の非球面の母球面よりの変位量を示す。レンズIIの非球面により、 $f\theta$ 歪曲収差が補正出来る。しかし主走査像面湾曲が補正不足のままである。レンズIの非球面によりこの補正不足が解消出来る。このようにレンズI・IIの非球面で $f\theta$ 特性と主走査像面湾曲両方が広画角で補正可能となった。プラスチックは非球面形状の金型を作ることで、量産的に精度のよい非球面レンズを作り出すことが出来るものであり、設計性能の面からも優れた走査レンズが実現出来た。

## 4

## コリメータ光学系

走査光学系においてコリメータ系は半導体レーザよりの光束をビーム整形し、回転多面鏡に入射させる役割をもつ。光学設計上考慮すべきことは次の4点である。

- (1)コリメータレンズの収差補正が良好なこと。
- (2)走査レンズ系を通過後のビーム径が一定値を持つこと。
- (3)半導体レーザよりの光伝達効率が大きいこと。
- (4)プラスチック $f\theta$ レンズの温度による焦点位置変化の補償のできること。

### 4.1 収差補正

コリメータ系の仕様をTable 2に示す。又レンズ系断面をFig.7に示す。凸レンズの2枚と厚い平板レンズの3枚構成である。凸レンズ2枚で屈折力を分担していることでレンズの偏心許容公差に強い系となっている。厚い平板レンズにより球面収差の補正が良好となっている。コリ

Table 2 Collimator lens specifications

1. Focal length	$f=5\text{mm}$
2. Numerical number	$NA=0.3$
Slit width	1.25mm
3. Wave length	$\lambda=780\text{nm}$

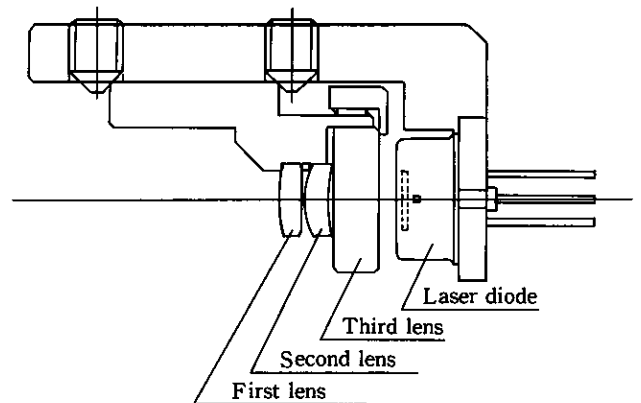


Fig.7 Cross section of the collimator lens

メータレンズの波面収差図をFig.8に示す。

#### 4.2 レーザ放射角とビーム径

半導体レーザーの放射角はヘテロ接合面に平行な面と垂直な面とで異なっている。放射強度は楕円形状が一般的である。又量産上の放射角のばらつきも大きいものがあり、これが感光体上のビーム径に影響をあたえる。レーザープリンターの走査光学系としては、この半導体レーザーの放射角の量産ばらつきによるビーム径への影響をすくなくし、均一なビーム径を作り出すことが大事である。このために、適切なコリメータレンズ開口数 (N.A) と副走査方向の光束を制限するスリットを設定する必要がある。レーザー光のビーム径は一般に次式より求める

$$w = k \frac{4}{\pi} F \lambda$$

- w : ビーム径
- k : けられの係数
- F :  $F_{NO}$
- $\lambda$  : 波長

上記k (けられの係数) は回折効果によるものである。Fig.9にこれらを考慮したビーム径の放射角依存性を示す。放射角が小さくなるとビーム径は大きくなり、その依存度も大きくなっている。半導体レーザーの放射角によらず安定したビーム径を得るためには、放射角の下限を設定する必要がある。Fig.8より、主副走査方向とビーム径の均一化を実現するためには、それぞれの方向の光束制御部材(主走査方向はレンズのN.A、副走査方向はレンズ前置のスリット)により、放射強度が中心部の $1/e^2$ 以下の放射光が遮光されるような半導体レーザーを使用することが必要である。具体的には主走査方向は半値全角 $20.5$ 度以上、副走査方向は半値全角 $8.4$ 度以上である。

#### 4.3 レーザ放射角と光伝達効率

半導体レーザーの放射角が大きければ、レンズのN.Aやスリットで光束が遮光され光伝達効率は低下する。このために4.2とは逆にレーザー放射角の上限値を設定する必要がある。レーザー放射角と光伝達効率の関係をFig.10に示す。コリメータ系による光伝達効率を50%以上に保つためには、ヘテロ接合平行放射角 $\theta_p < 16$ 度、垂直放射角 $\theta_L < 36$ 度である必要がある。

走査光学系全体として見れば、コリメータ系の他に回転多面鏡、ミラー反射率、シリンドリカルレンズ、 $f\theta$  走

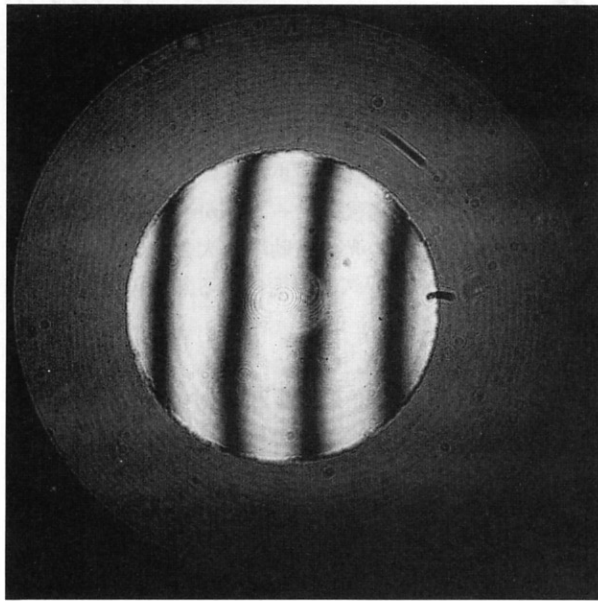


Fig.8 Interference fringes of the collimator lens

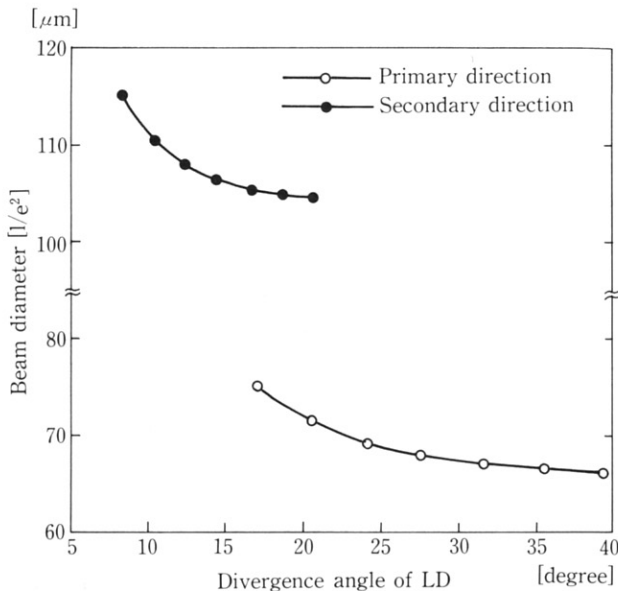


Fig.9 Beam diameter vs. divergence angle of LD

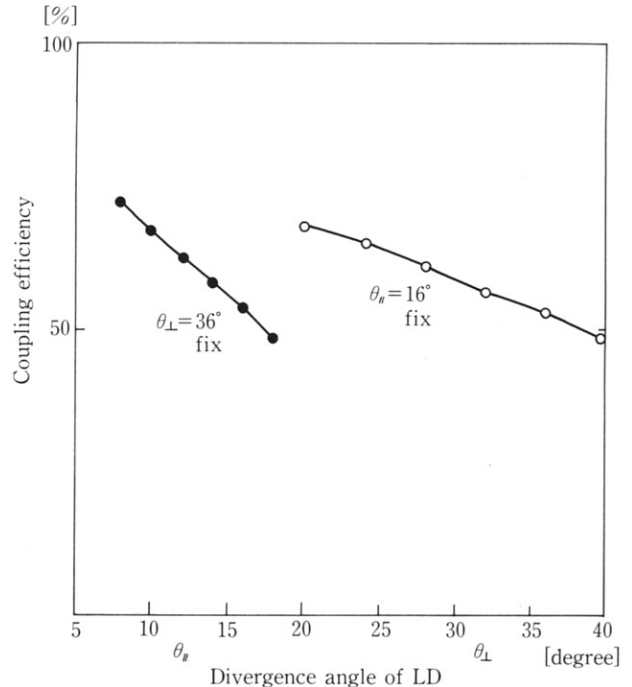


Fig.10 Coupling efficiency vs. divergence angle of LD

査レンズ、カバーガラスの透過率の要因がある。その伝達劣化の様子をFig.11に示す。

P054では全系として光伝達効率20%を保証している。

#### 4.4 温度補償

今回の走査レンズは2枚のプラスチックより構成されている。プラスチックはガラスと比較して温度変化による屈折率・形状の変化が大きく、レンズの焦点位置移動が生じ不都合である。一方、コリメータ系もわずかとはいえ温度による焦点位置移動がある。P054の開発においては、プラスチック走査レンズとコリメータ系の温度変

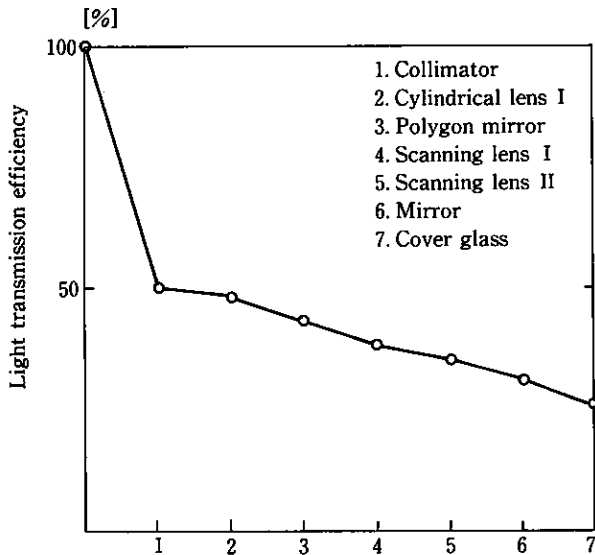


Fig. 11 Light transmission efficiency of elements

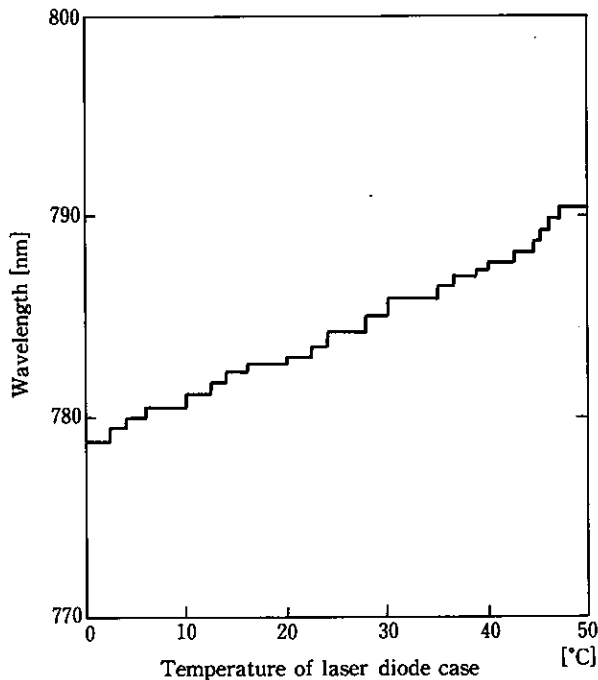


Fig. 12 Wavelength vs. temperature

化による焦点移動を相殺するようにコリメータレンズを設計している。

コリメータ系の温度変化による焦点移動の要因は次の2点である。

- (1) レンズ鏡枠材 (アルミニウム) の熱膨張によるレンズと半導体レーザーの間隔変化。
- (2) 半導体レーザーの発振波長シフトによるレンズの焦点移動。

アルミ材の線膨張係数は  $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  である。これより上記(1)による間隔変化は以下となる。

$$\Delta d_{c1} = 23 \times 10^{-6} \times f_c \times \Delta T = 0.0029 \text{ mm}$$

$f_c$ : コリメータレンズ焦点距離、5mm

$\Delta T$ : 温度変化、 $25^\circ\text{C}$

半導体レーザーの発振波長の温度変化をFig.12に示す。又ガラスの屈折率が波長に依存している様子をFig.13に示す。従って温度上昇により発振波長が長波長側にシフトする。これによりコリメータレンズのガラスの屈折率は低くなり、結果としてレンズ焦点距離は伸びることとなる。硝材の選択によりこの焦点距離の伸びる程度を選ぶことが出来る。今回コリメータレンズでは上記(2)による焦点移動量  $\Delta d_{c2}$  は次のものである。

$$\Delta d_{c2} = 0.0010 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ\text{C})$$

温度上昇をしたときのコリメータレンズ系の焦点移動量  $\Delta d_c$  は  $\Delta d_{c1}$  と  $\Delta d_{c2}$  の差分である。

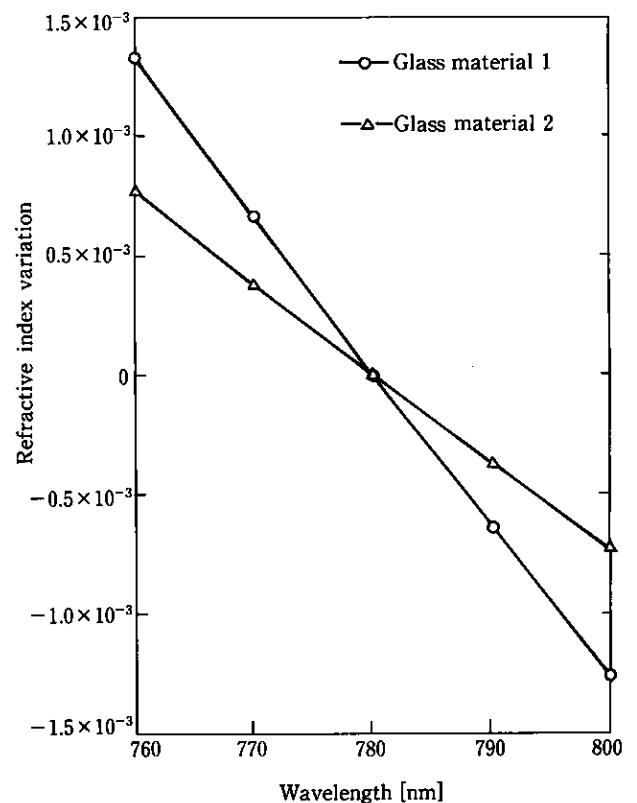


Fig. 13 Refractive index vs. wavelength

$$\Delta d_c = \Delta d_{c2} - \Delta d_{c1} = -0.0019 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ \text{C})$$

一方、プラスチック走査レンズ系の温度上昇による焦点移動量は屈折率・形状変化により、以下のものである。

$$\text{主走査方向} : \Delta D_p = 1.3 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ \text{C})$$

$$\text{副走査方向} : \Delta D_s = 1.1 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ \text{C})$$

である。コリメータ系の焦点移動が走査レンズの焦点移動におよぼす量は

$$\text{主走査方向} : \Delta D_{pc} = \left( \frac{f}{f_{\text{COL}}} \right)^2 \times \Delta d_c = 900 \times \Delta d_c$$

$$\text{副走査方向} : \Delta D_{sc} = \left( \frac{f_{\text{CY}}}{f_{\text{COL}}} \right)^2 \times M^2 \times \Delta d_c = 400 \times \Delta d_c$$

$f$  : 主走査方向の走査レンズ焦点距離

$f_{\text{COL}}$  : コリメータレンズの焦点距離

$f_{\text{CY}}$  : シリンドリカルレンズの焦点距離

$M$  : 回転多面鏡と感光体の結像倍率

である。従って走査系全体としては

$$\text{主走査方向} : \overline{\Delta D_p} = \Delta D_p + \Delta D_{pc} = -0.4 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ \text{C})$$

$$\text{副走査方向} : \overline{\Delta D_s} = \Delta D_s + \Delta D_{sc} = +0.3 \text{ mm} \quad (\Delta T = 25^\circ \text{C})$$

となる。プラスチック走査レンズ系を採用することで懸念された温度変化による焦点移動は、コリメータ系の走査レンズにあたる影響とレンズ自身の変化量が相殺しあい、実使用上、温度変化による焦点移動が無視出来る走査光学系が実現できた。実験結果をFig.14に示す。

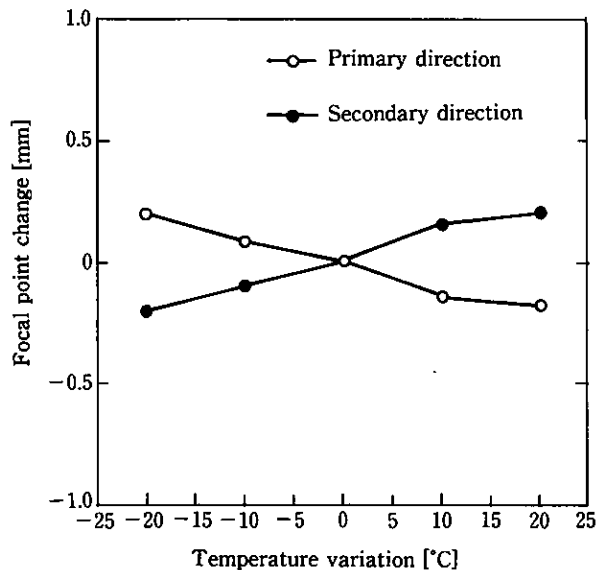


Fig. 14 Focal point change vs. temperature

## 5

## むすび

走査レンズ系を2枚のプラスチックレンズで構成した光学系が実現出来た。従来のガラスのトーリック面を使用したものに比較し低価格でありながら性能保証がされたものが達成出来た。プラスチック素材であることにより低価格・多量生産に適しており今後の小型ページプリンターやデジタル複写機の書き込み光学系としてふさわしいものである。本開発の光学ユニットはコニカレーザープリンターに搭載される。

最後に本光学ユニットの開発に協力していただいたコニカ八王子工場・神戸工場の方々に深く感謝いたします。

### ●参考文献

- 1) 棚木 : 「半導体レーザープリンター」, 光学 13巻2号141 (1984)
- 2) 松岡 : 特開 59-147,316
- 3) 佐久間 : 特開 61-156,020
- 4) 藤田 : 特開 61-87,123
- 5) 藤田 : 特開 61-120,112