



LD アレイ・飛び越し走査によるマルチビーム 走査光学系

伊藤 昌夫*・石井 昭*・太田 猛史**・龍岡 静夫***

富士ゼロックス(株) *画像技術研究所, **システムコミュニケーション研究所 〒243 厚木市中町 4-9-14

***富士ゼロックス(株)総合研究所 〒243-04 海老名市本郷 2274

(1994年3月28日受付, 1994年5月10日受理)

Multi Beam Scanning Optics by a Laser Diode Array and Interlaced Scanning

Masao Iro,* Akira ISHII,* Takeshi OTA** and Shizuo TATSUOKA***

*Imaging Science and Technology Lab., **Systems and Communications Lab., Fuji Xerox Co.,
4-9-14, Nakacho, Atsugi 243

***Corporate Research Lab., Fuji Xerox Co.,
2274 Hongoh, Ebina 243-04

(Received March 28, 1994; Accepted May 10, 1994)

A multi beam scanning system has been realized without degradation of print image quality by introducing a LD array and an interlaced scanning into a conventional optical system using $f-\theta$ lens and polygonal scanner. The interlaced scanning can be established in case a beam number n and an interlaced period i are co-prime numeric numbers mutually, where i is the quotient of a beam spacing divided by a raster spacing on an image plane. The LD array should satisfy the condition of $r_1 = 2i\lambda/k\pi\theta_1$ for the interlaced scanning optics, where r_1 is the laser spacing, λ is the laser wavelength, k is a ratio of a beam diameter to the laser spacing, and θ_1 is the divergence angle of the laser beam in slow scan direction. The multi beam laser scanner using a $10\ \mu\text{m}$ spacing LD array is presented in this paper. Good quality printing samples are obtained successfully.

1. はじめに

ポリゴンスキャナ等の機械的偏向器を用いるレーザービームプリンタは、高画質なプリントが得られることから広く普及しているが、高画質と高速性を両立するには、レーザービームの高速走査が必要となる。この問題を解決するために二通りのアプローチが行われている。一つは、偏向装置の高速化¹⁾であるが、高速化にともなう発熱、信頼性の低下等の問題が発生し、飛躍的な改善は達成できていない。もう一方は、複数のレーザー光源を用いた複数ビームによる同時走査²⁾である。この方式では、複数のレーザービームが異なる光学素子を通過するため、光学素子位置の変動にともなう走査面でのビーム位置ずれが大きく、画質が著しく劣化する。そのビ-

ーム位置補正のため、構成は通常の1ビームの光学系と比べ複雑となる。

これらの問題を解決する方法として、複数のレーザービームが共通の光学素子を通過すれば、走査面上でのビームの相対的な位置の変動が少ないとの理由から、半導体レーザーアレイ(以下、LDアレイ)と飛び越し走査を用いる方法³⁻⁵⁾が提案されている。しかし、走査面上での走査線の曲がりが大きく、その補正のため、 $f-\sin\theta$ レンズをもちいた走査光学系を採用しており、今日多く用いられているポリゴンスキャナと $f-\theta$ レンズの組合せによる走査系とは異なる。

今回、我々は、飛び越し走査の成立条件、および LDアレイに要求される条件について検討し、レーザーと飛び越し走査の最適化により、ポリゴンスキャナ、 $f-\theta$ レ-

ンズ, ポリゴンミラー面倒れ補正光学系を持つ走査光学系にて, マルチビーム走査を実現したので報告する.

2. 走査光学系

2.1 構成

Fig. 1 に 2 本のレーザービームによる走査光学系の構成を示す⁶⁾. 光源として, モノリシックに構成され, 独立して駆動可能な二つの半導体レーザーをもつ LD アレイを配置した. レーザーの間隔は, $10\ \mu\text{m}$ である⁷⁾. 他のおもな構成要素は, LD アレイからのレーザービームをほぼ平行光束にするコリメートレンズ, ポリゴンミラーの面だおれを補正するためのシリンジカルレンズとシリンジカルミラー, ビーム偏向用のポリゴンスキャナ, およびポリゴンミラーの回転に伴うビームの走査 (以下, 主走査という) 位置を補正するための $f\text{-}\theta$ レンズからなっている. また, 走査面が主走査方向に直交する方向に移動することにより, 副走査が行われる.

主走査方向の光学系は, コリメートレンズおよび $f\text{-}\theta$ レンズによって, LD アレイの出射面と走査面とが幾何光学的に共役な関係を持っている. 一方, 副走査方向は, コリメートレンズおよびシリンジカルレンズにより LD アレイの出射面とポリゴンミラー面が共役関係を持ち, さらに $f\text{-}\theta$ レンズおよびシリンジカルミラーによりポリゴンミラー面と走査面が共役な関係を保っている. LD アレイの配列方向は, 副走査方向と一致しており, 走査面でのレーザービームは副走査方向に並んで取れし, スポット S_1, S_2 を形成する. 各々のビームはそれぞれに対応する走査線を独立して書き出すことができるため, 1 本のレーザービームを用いる通常の走査に対し, ビームの本数倍に等しい書き出し速度を得ることができる.

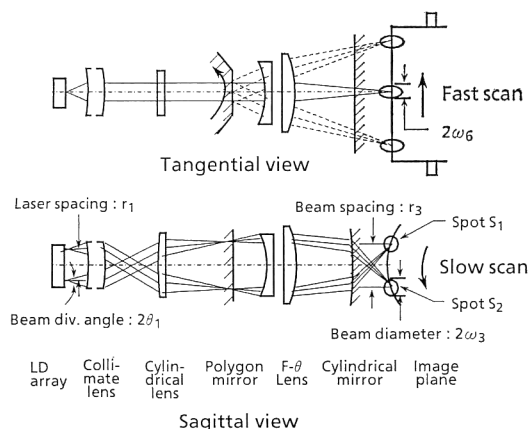


Fig. 1 Scanning optics.

2.2 走査面上のレーザービーム間隔と径

複数のレーザービームを用いてひとつの画像を書き出す場合, 各ビームはそれぞれに対応した走査線を書き出す必要から, 走査線密度に対応したビーム間隔でなければならない.

LD アレイのビーム出射端面と走査面は共役な関係にあるため, 副走査方向の光学系横倍率を m_s として, 走査面上の副走査方向ビーム間隔 r_3 は,

$$r_3 = m_s \cdot r_1 \quad (1)$$

ここで, r_1 は LD アレイのビーム出射端における発光点の間隔である. つぎに, 走査面での $1/e^2$ 強度における副走査方向ビーム径 $2\omega_3$ を求める. LD アレイのビーム出射面での副走査方向の $1/e^2$ 強度ビーム径を $2\omega_1$, $1/e^2$ 強度ビーム拡がり角を $2\theta_1$, レーザー波長を λ として⁸⁾,

$$\theta_1 = \lambda / \pi \omega_1 \quad (2)$$

ビーム出射端面と走査面は共役な関係にあるから, $2\omega_3 = m_s 2\omega_1$ より,

$$2\omega_3 = m_s 2\lambda / \pi \theta_1 \quad (3)$$

ここでは, 光学系の副走査方向の有効絞りの径は, 通過するビーム径の約 3 倍に設定されており, 開口制限による回折の影響は無視した. 式(1)と式(3)より, 走査面上でのビーム径および間隔の比 $2\omega_3/r_3$ が求められ,

$$2\omega_3/r_3 = 2\lambda / \pi r_1 \theta_1 \quad (4)$$

この比は, レーザーの波長, 副走査方向の LD ビーム拡がり角, レーザー間隔によって定まり, 走査光学系のパラメータによらない.

なお, 上記の計算は本来, ガウスビームとして扱うべきであるが, 誤差の少ない範囲なので幾何光学的な取扱いを行った.

2.3 ビーム径と走査線間隔

電子写真方式のレーザープリンティングにおいて, 走査面である感光ドラム面上のビーム径 $2\omega_3$ と走査線間隔 p の比 $k (\equiv 2\omega_3/p)$ は画質に影響を与えるため, 最適条件が提示されている⁹⁾. 露光された部分が印字されるイメージライティング現象方式の場合,

$$1.2 \leq k \leq 1.6 \quad (5)$$

この比は走査線密度に関係なく定まる.

3. LD アレイと走査線飛び越し走査

3.1 LD アレイの特性

ビーム径とビーム間隔の条件を与える式(4), およびビーム径と走査線間隔の条件を与える式(5)を同時に満たすためには, レーザー間隔が小さい, または副走査方

向の LD ビーム拡がり角が小さい LD アレイが要求される。ここでは光源として $10\mu\text{m}$ 間隔の LD アレイを用いたが、式(5)を満たしつつ隣り合う走査線を同時に走査できるビーム拡がり角 $2\theta_1$ はおよそ 4° (光強度半値全角で約 2.4°) となり、現実的でない。よって、ビームは副走査方向に離して配置し、隙間を埋めるため飛び越し走査を採用した。

3.2 飛び越し走査

2個のレーザービーム (S_1, S_2) を用いた飛び越し走査の例を Fig. 2 に示す。この例では走査面上の二つのビームの間隔は $r_3=3\cdot p$ である。走査面は1回の主走査ごとに $2\cdot p$ だけ副走査方向に移動する。1回目の主走査でビーム S_2 が Line 2 を走査し、2回目の主走査でビーム S_1 が Line 1, ビーム S_2 が Line 4 を走査する。以下、同様に繰り返され、隙間なくかつ重複することなく走査する。また、ビームが4本の場合の飛び越し走査の例を Fig. 3 に示す。

3.3 飛び越し走査の成立条件

飛び越し走査に要求される要件として、

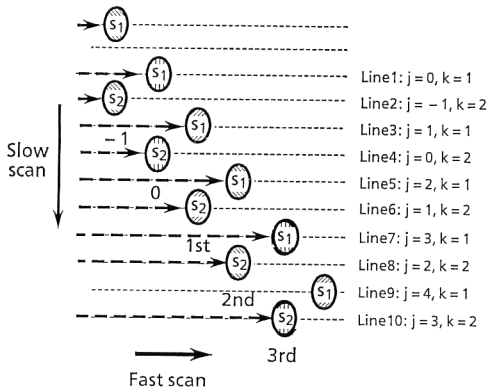


Fig. 2 Interlaced scanning (2 beams).

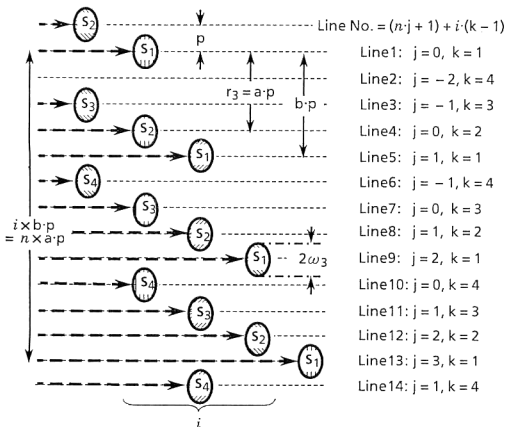


Fig. 3 Interlaced scanning (4 beams).

- ① すべての走査線が走査されること、
 - ② 同一の走査線が重複して走査されないこと、
- である。Fig. 3 を例に取り、飛び越し走査の成立条件について説明する。例えば n 個のビームが走査線間隔 p の a 倍の間隔 r_3 で並び、一回の主走査につき p の b 倍ずつ副走査方向に移動したとする。このとき、ビームの位置は走査線上にある必要から、 a, b は自然数となる。飛び越し走査①の条件を満たすためには、 i 回走査したときの先頭のビームの移動距離 $i \times b \cdot p$ と、ビーム列の長さ $n \times a \cdot p$ が等しくなる必要があるので、

$$i \times b = n \times a \tag{6}$$

また、ビーム間のすき間は、 i 回の走査によって埋められるのであるから、 $i \cdot p = a \cdot p$ すなわち $i = a$ であり、 i は、となり合うビーム間隔 r_3 を p で除した自然数に等しくなる。すなわち、

$$i = r_3/p \tag{7}$$

ここで i を、飛び越し周期と呼ぶことにする。また(6)式より、 $b = n$ となる。

つぎに、飛び越し走査②の条件について述べる。走査線の番号 $L(j, k)$ を n, i を用いて表すと、

$$L(j, k) = (n \cdot j + 1) + i \cdot (k - 1) \tag{8}$$

ここで、

j : 走査番号で整数

$k = 1, 2, \dots, n$; ビーム番号で自然数

同一の走査線について重複走査をさけるためには、任意のビームによる走査線番号が、同一の飛び越し周期 i 内で一致しなければ良い。すなわち、以下の(9)式、または(10)式が成立すればよい。

$$L(j_1, k_1) \neq L(j_2, k_2) \tag{9}$$

ここで、

$$L(j_1, k_1) = (n \cdot j_1 + 1) + i \cdot (k_1 - 1)$$

$$L(j_2, k_2) = (n \cdot j_2 + 1) + i \cdot (k_2 - 1)$$

両辺を整理し、 $J = j_1 - j_2, K = -k_1 + k_2$ として、

$$n \cdot J \neq i \cdot K \tag{10}$$

ここで、 J, K は任意の整数で、特に、

$$|K| \leq n - 1 \tag{11}$$

このとき、 $K \neq 0$

J, K が共に正の整数の場合、(11)式の条件より、(10)式の右辺は $i \cdot n$ より小さな整数となる。また、 i と n が互いに素の数のばあい、すなわち、最大公約数が1ならば、最小公倍数は $i \cdot n$ であり、 n に任意の整数 J を乗じた数 (\dots (10)式の左辺) は、 $i \cdot n$ よりも小さい整数である $i \cdot K$ (\dots (10)式の右辺) とは等しくならない。よって(10)式は成立する。同様に J, K が共に負の場合も成り

Table 1 Condition satisfied interlaced scanning. Interlaced period vs. beam number.

Interlaced period : i	Beam number : n								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	×	×	○	×	○	×	○	×	○
3	×	●	×	○	○	×	○	○	×
4	×	×	●	×	○	×	○	×	○
5	×	●	○	●	×	○	○	○	○
6	×	×	×	×	●	×	○	×	×
7	×	●	●	○	○	●	×	○	○
8	×	×	○	×	○	×	●	×	○
9	×	●	×	●	○	×	○	●	×

○ : Condition satisfied for interlaced scanning.
 ● : Condition described in ref. 3) and 4).

立つ。一方、符号が異なるとき i, n は自然数だから、あきらかに (10) 式は成立する。

以上をまとめると、飛び越し走査の成立条件は、ビーム数 n 、走査線間隔 p 、飛び越し周期 i として、

- 1) 1回の主走査につき走査面の移動は $n \cdot p$ であること。(すべての走査線が走査される条件)
- 2) i と n は、互いに素の自然数であること。(重複走査のないこと) の条件)

飛び越し走査の条件を満たす i と n を **Table 1** に示す。 n が定まると、採りうる i が離散的に与えられる。

飛び越し走査を構成する上で満たすべき条件は、過去に検討がなされているが不完全であり^{3,4)}、**Table 1** が、ビーム間隔を等しく設定した場合の、すべての条件を示している。

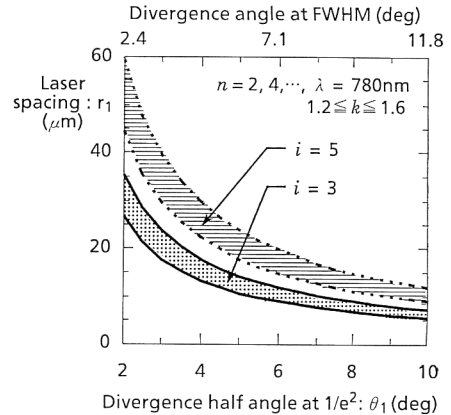
3.4 LD アレイの満たすべき条件

走査面でのビーム径とその間隔の比は式(4)であたえられ、プリンティングでの条件式(5)および飛び越し走査の条件式(7)より、飛び越し走査を行うレーザーの満たすべき条件が、式(12)として求まる。

$$r_1 = 2i\lambda / (k\pi\theta_1) \quad (12)$$

波長 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 、飛び越し周期 i をパラメータにとり、 r_1 と θ_1 の関係を **Fig. 4** に示す。2本の曲線で囲まれたシャドー部の条件を満たすレーザーを用いれば、光学系を構成することができる。

また、走査線間隔に対するビーム径の比 k を変更することにより、電子写真方式のプリンタ以外の画像出力装

**Fig. 4** Laser spacing vs. divergence angle.

置にも適用できる。

4. 光学系の設計

走査線密度 32 dot/mm の2本のビーム走査光学系の設計値をしめす。光源として、

ビーム数 $n=2$

レーザー波長 $\lambda = 776 \text{ nm}$

レーザー間隔 $r_1 = 10.0 \text{ } \mu\text{m}$

LD アレイ方向ビーム拡がり角 ($1/e^2$ 強度半角) $\theta_1 = 6.1^\circ$ (光強度半値全角 (FWHM): 7.2° 相当)

のLDアレイを用いた。走査線間隔と副走査方向ビーム径の比を $k=1.4$ に設定すると、飛び越し周期 $i=3$ のとき、式(12)を満たす。走査線密度 32 dot/mm であるから、ビームの間隔 $r_3 = p \cdot i = 93.75 \text{ } \mu\text{m}$ である。

f- θ レンズの焦点距離 f_3 は、主走査方向のビーム径、f- θ レンズ画角等から独自に定まり、その値に従ってコメリートレンズの焦点距離 f_1 が定まる。また、レーザー発光面とポリゴンミラー面、ポリゴンミラー面と走査面が副走査方向においてそれぞれ共役であることから、シンドリカルレンズの焦点距離 f_2 およびシンドリカルミラーの焦点距離 f_4 がそれぞれ決定される。以下に光学要素の主な設計値を示す。

1) コリメートレンズの焦点距離 $f_1 = 25.0 \text{ mm}$

2) シンドリカルレンズの焦点距離

$$f_2 = 421.17 \text{ mm}$$

3) f- θ レンズの焦点距離

$$f_3 = 358.75 \text{ mm}$$

4) シンドリカルミラーの焦点距離

$$f_4 = 109.88 \text{ mm}$$

以上の光学系の組み合わせにより、得られた走査面でのビーム光量分布を **Fig. 5** (a), (b) に示す。ビーム径およびビーム間隔の比 $2\omega_3/r_3$ は、式(4)とほぼ一致した。

Laser wavelength $\lambda = 776\text{nm}$
 Laser spacing $r_1 = 10.0\mu\text{m}$

Beam divergence half angle
 $\theta_1 = 6.1^\circ$ at $1/e^2$ intensity
 (7.2° at FWHM)

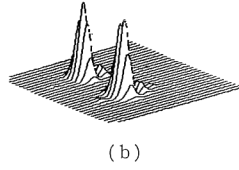
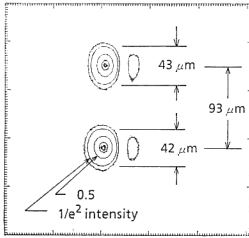


Fig. 5 (a) Beam spacing and diameters, and (b) Beam profiles.

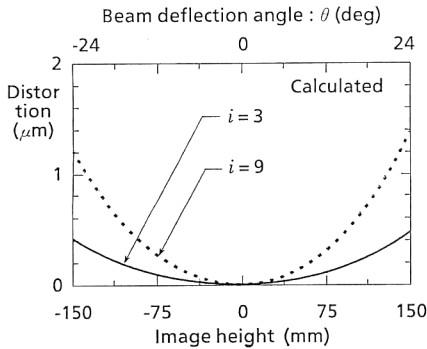


Fig. 6 Scan line distortion vs. image height.

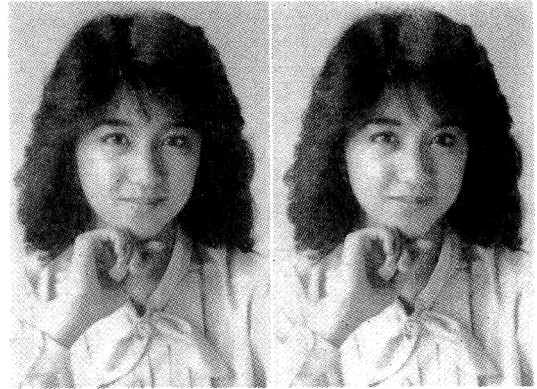
5. 走査線の湾曲

f - θ レンズを用いた光学系による走査線の副走査方向の湾がりについては、箕浦ら⁴⁾により論じられているが、ポリゴンスキャナによる偏向角、走査ビームの f - θ レンズへの副走査方向入射角の増大に伴い湾曲量が増加する。本光学系では、偏向角を 24° 、飛び越し周期 $i=3$ に設定することにより、**Fig. 6** に示すように 300mm の走査幅にわたって湾曲量を $0.5\mu\text{m}$ 以内に抑えることができた。電子写真方式のプリンティングにおいて、画質にたいする湾曲量の影響は無視できる。

6. プリント画質

2 ビーム走査光学系によるプリントサンプルを **Fig. 7** (a)、および同一の構成を持つ 1 ビーム走査光学系によるプリントサンプルを **Fig. 7** (b) に示す。画質を比較するため、両者の画像は同一のものをを用い、写真フィルムにより画像出力を行った。主なプリント記録条件を、以下に示す。

- 1) 主走査方向解像度 64 dot/mm
- 2) 副走査方向解像度 32 dot/mm



(a) 2 beam printing (b) 1 beam printing

Fig. 7 Print samples.

- 3) 中間調記録方法 網点スクリーン
- 4) スクリーン線数 144 線/25.4 mm
- 5) スクリーン階調数 72 階調

2 ビーム走査によるプリントサンプルの画質は、1 ビーム走査による画質に対し遜色ない。また、写真フィルムを用いた画像出力において、ビーム径 $2\omega_3$ と走査線間隔 ρ の比 k を電子写真での値と等しくしたが、画質上の問題はなかった。

7. む す び

ポリゴンスキャナと飛び越し走査を用いるマルチビームレーザー走査光学系において、以下の点を示した。

- 1) LD アレイと飛び越し走査を用いることにより、 f - θ レンズとポリゴンスキャナを用いたマルチビーム走査光学系が実現でき、画質を落とすことなく走査速度を飛躍的に上げることができる。
- 2) 飛び越し走査は、ビーム数、飛び越し周期が互いに素の自然数の組合せのとき成立する。
- 3) 飛び越し走査を成立させるための、LD アレイに要求される条件は、

$$r_1 = 2i\lambda / (k\pi\theta_1)$$
 であることを示した。

以上の結果は、マルチビームレーザー走査光学系の設計、および LD アレイの仕様を決定する際の指針とすることができる。

最後に、本研究にあたって、重要な構成部品である LD アレイの開発および試作をしていただいた、米国 Xerox Corporation の R.L. Thornton および T.L. Paoli 両氏、走査光学系の設計にご協力いただいた、富士写真光機(株)の山川博充氏に感謝する。

文 献

- 1) 斎藤 進, 安西正保, 和田英一, 小島亮二, 田島郁雄: “高速レーザービームプリンタ”, 日立評論, **65**(10) (1983) 19-22.
- 2) A. Arimoto, S. Saitoh, T. Mochizuki, Y. Kikuchi and K. Hatazawa: “Dual beam laser diode scanning system for ultrahigh speed laser beam printers using a spot control method,” Appl. Opt., **26** (1987) 2554-2556.
- 3) 箕浦一雄: 特公平 1-45065.
- 4) K. Minoura, M. Suzuki and S. Miyazawa: “A study on laser scanning systems using a monolithic arrayed laser diode,” Proc. SPIE, **1079**, Hard Copy Output (1989) 462-474.
- 5) 箕浦一雄, 鈴木雅之: “スキャナー光学系”, 光学, **19** (1990) 283-289.
- 6) 伊藤昌夫, 石井 昭: “LD アレーおよび飛び越し走査を用いた2ビーム走査光学系”, 第38回応用物理学関係連合講演会予稿集, 28 p-C-1 (1991) p. 806.
- 7) R. Thornton, W. Mosby, R. Donaldson and T. Paoli: “Properties of closely spaced independently addressable lasers fabricated by impurity-induced disordering,” Appl. Phys. Lett., **56** (1990) 1623-1625.
- 8) A. Yariv: *Optical Electronics*, 4th ed. (Sunders College Publishing, 1991) p. 49.
- 9) 田中 徹: “レーザー・ゼログラフィックにおける階調再現性の検討”, 光学四学会, 第6回色彩工学コンファレンス論文集 (1989) p. 77.