

2 ビームレーザー光学系の開発

Development of Two Beam Laser Optical Scanning System

市原美幸*
Ichihara, Yoshiyuki

森田真次*
Morita, Shinji

本井俊博*
Motoi, Toshihiro

The Konica 7050 is a high speed digital copying machine that has a capability of a copy speed of 50 (A4 size) copies/minute at 400 dots/inch resolution. A two beam laser scanning optical system was newly developed and installed to attain this high speed. An aspherical scanning lens technology and a beam position sensing/controlling technology enabled to keep accurately the dot positions generated by each lasers in this system.

1 はじめに

レーザープリンタやデジタル複写機の高速化、高密度化といった市場要求に伴い、それらの光記録部に使用されるレーザー光学系の記録速度の高速化が望まれている。レーザー光学系は、光変調されたレーザービームをポリゴンミラーにて回転走査し、結像レンズを通して感光体上を走査露光する機能構成を持つ。この系における高速化のアプローチには、光変調技術やポリゴンモーターなどの構成技術を高速化してゆくアプローチ¹⁾のほかに、記録ビームを複数化して並列走査する事により大幅な高速化を狙うアプローチがあり、超高速プリンタ分野を中心に実用化が進んでいる。²⁾

Konica 7050 は、解像力 400 dpi で A4 サイズを毎分 50 枚で複写可能な高速モノクロデジタル複写機であり、この光記録部に 2 ラインを並列に記録可能な 2 ビームレーザー光学系 (Fig. 1) を新規開発し搭載した。

複数ビームによる並列記録を行う場合の技術課題は、複数のビームにより記録されるドットの位置関係を正確に制御する点にある。本光学系では 2 本のビーム相対位置関係に誤差が生じにくいレンズ設計を採用するとともに、結像面を走査中のビームが 2 つのセンサーを横切る時に発生するパルスの時間間隔の計測から 2 本のビームの相対位置の誤差を検出し、それぞれのビームの記録位置を自動制御する技術を開発して、この技術課題を達成した。

以下に、本光学系の構成と開発した制御技術について報告する。

2 2 ビームレーザー光学系採用のメリット

複数ビームによる並列記録を採用するメリットについてはこれまでも広く論じられている。³⁾ 今回の開発においてもそれらと同様に、記録の高速化、高密度化に伴う以下の問題を抑制する事がポイントである。

説明に関連する Konica 7050 ならびに本光学系の主要諸元を Table 1、2 に示す。

Table 1 Konica 7050 の主要諸元

項目	諸元
複写速度	毎分50枚 (A4サイズ)
最大複写サイズ	A3サイズ、11"×17"サイズ
解像力	400dpi (複写モード時) 400、600dpi (プリンタモード時)
階調性	256階調/dot (メモリー未使用時) 256階調誤差拡散処理 (メモリー使用時)
記録線速	280mm/s (400dpi)

2.1 ポリゴンモーターの回転数の抑制

ポリゴンモーターの回転数 R_p (rpm) は、記録線速 L_s (/s)、解像力 D_s (dpi)、ポリゴン面数 N 、ビーム数 n 、定数 K_1 (60/25.4) と以下の関係にあり、線速と解像力に比例して増加する関数となっている。

$$R_p = K_1 \cdot L_s \cdot D_s / (N \cdot n)$$

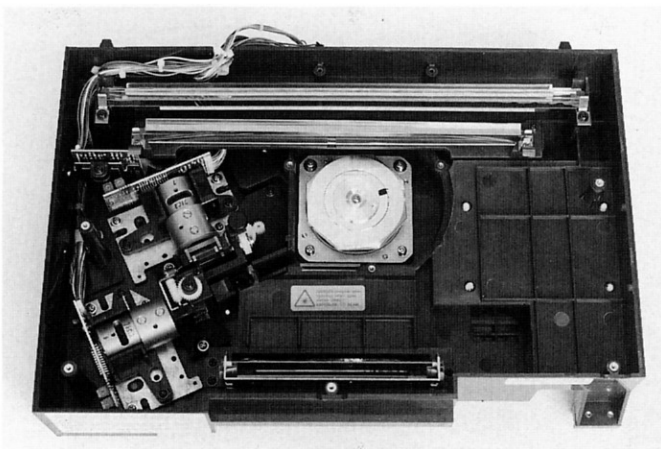


Fig. 1 2 ビームレーザー光学系の外観

* 機器開発統括部 第二開発センター

Table 2 本光学系の主要諸元

項目	結 元
レーザー種類	半導体レーザー
波長	780±15nm
出力	15mW
変調方式	PWM方式
変調周波数	16.1MHz
ポリゴンミラー	8面体
モータ	ブラシレスDCモータ
軸受け	ボールベアリング
回転数	16535rpm (400dpi時)
Fθレンズ構成	ガラス2枚+非球面プラスチックレンズ
焦点距離	295mm

今回の光学系を1ビームで構成するとポリゴンモーター回転数は33070rpmとなり、空気軸受け等の特殊技術が必要となるが、2ビームで構成した結果この回転数は16535rpmとなり、普及タイプのベアリング軸受けモーターが使用可能となった。

2.2 レーザーの変調周波数の抑制

画像信号によるレーザーの変調周波数 f (Hz) は、結像用の $F\theta$ レンズの焦点距離 F (mm) と前記の諸パラメータ及び定数 k_2 (645.16) と以下の関係にあり、線速には比例し解像力にはその2乗に比例して増加する関数である。

$$f = Ds^2 \cdot Ls \cdot F / (N \cdot n \cdot k_2)$$

本光学系を1ビームで構成した場合、400dpi時の変調周波数は32.2MHzとなり汎用回路では動作上限の周波数となるが、2ビームで構成した結果その周波数は16.1MHzとなり、256階調/dotのパルス幅変調でも余裕のある回路設計が可能となった。

3 本光学系の構成

光学系を複数ビーム化する方法としては、1本のビームを光学結晶で複数ビームに分離して独立に変調する方法⁴⁾や、複数の半導体レーザーが1チップ化されたレーザーアレイを使用する方法⁵⁾等も知られているが、今回の光学系では構成の簡素化と素子の入手容易性等を考慮して、独立な2本の半導体レーザーを用いてビームを合成するオーソドックスな方式を採用した。本光学系の構成をFig.2に示す。

半導体レーザーとコリメータレンズが一体となったレーザーユニット1及び2から出射されたビームは、それぞれ副走査、主走査方向のビーム位置調整機構を通った後、ビームスプリッターでほぼ同一の光路に導かれる。

ビーム位置調整機構は、2つのビームの結像面における相対位置を微調整するために、ビームの角度を変える機構である。微小角度を制御するためウエッジガラス2枚から成るユニットにビームを透過させ、そのユニット

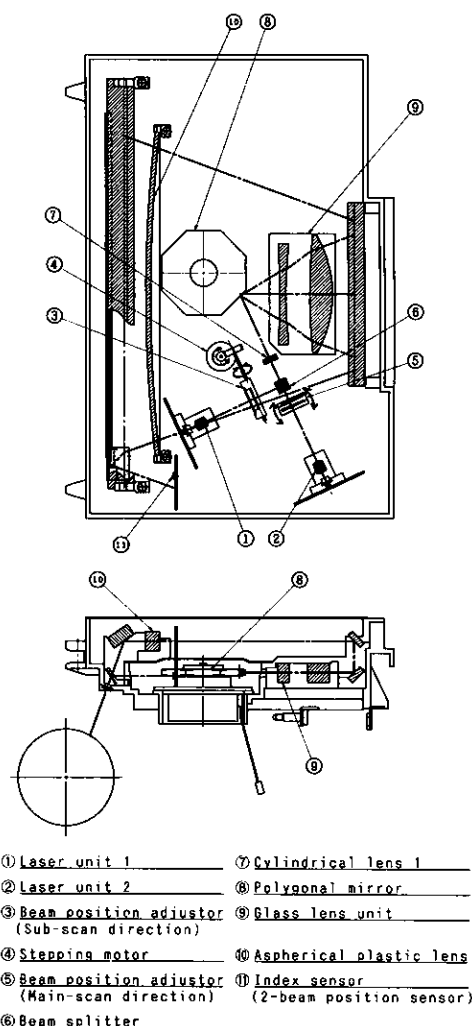


Fig. 2 本光学系の構成図

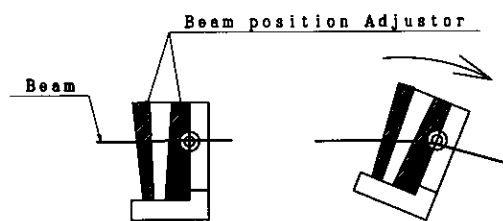


Fig. 3 ビーム位置調整機構の概念図

の回転によりビームが屈折偏向する特性を利用した。(Fig.3) このユニットはウォームギヤを介して回転する機構として、ウォーム回転軸におけるビーム位置調整分解能を主、副走査とも0.3μm/度まで高めた。

副走査方向の調整機構は、後述のビーム位置の自動制御と解像力切り替えを行うために、ウォーム回転軸をステッピングモーターで駆動できる構造となっている。

ビームスプリッターで光路を合わせた2本のビームは、

シリンドリカルレンズ1を通して回転するポリゴンミラーで反射走査され、2枚のガラスレンズとプラスチックレンズ(シリンドリカルレンズ2)からなるF θ レンズ系を通して感光体面上に結像される。感光体面上の2本のビームは副走査方向に63.5 μm (400dpi時)、又は42.3 μm (600dpi時)離れた直線上を走査するように調整・制御される。

感光体上のビーム走査開始端部に相当する位置の2本のビームは、最終レンズ通過後にミラーで反射され、インデックスセンサーに導かれる。このインデックスセンサーは主走査方向の画像先端同期を取るとともに、後述するビームの位置を検出する機能を持った新規開発の相対位置検出センサーである。

4 ビームの相対位置誤差の種類と制御目標

4.1 ビームの相対位置誤差の種類

2ビーム光学系を構成する場合に発生する代表的なビームの相対位置の誤差の分類をFig.4に示す。

パターン1は2本のビームの相対位置誤差がない理想的な状態であり、相対位置制御の最終目標である。以降の説明では簡略のため、主走査方向の2本のビームの相対位置誤差を誤差 Δx 、副走査方向の相対位置誤差は誤差 Δy と呼ぶ。

パターン2は、2本のビームの主走査倍率が異なる形態の誤差 Δx を持つ場合であり、2本の半導体レーザーの発光波長差とF θ レンズ系の色収差によって発生する。

パターン3の誤差 Δy は、以下の2つの要因による2本のビームの走査線曲がりの差によって発生する。

- ①2本のビームがそれぞれレンズの軸上と軸外を通るため、レンズ面形状の影響により曲がり差が生じる。
- ②2本のビームのポリゴンミラーへの副走査方向に関する入射角度差が、ミラーの回転にともなう反射点の移動により誤差 Δy として増幅される。

パターン4、5は、それぞれ平行移動する形態の誤差 Δx 、 Δy である。調整後の光学素子の固定状態が環境変化や経時変化によって変動した場合には、この形態の100 μm 程度の誤差 Δx 、 Δy が発生する。

4.2 ビーム相対位置の制御目標

誤差 Δx に関しては、従来の1ビーム系の主走査の先端同期合わせの誤差の問題と等価であると考え、その必要精度と同等の $\pm 10\mu\text{m}$ 以下の制御を目標とした。

誤差 Δy に関しては、従来の1ビーム系で走査線ピッチムラが画像上のハーフトーン濃度ムラとして知覚されやすい点に着目し、誤差 Δy によって生じる濃度ムラが目視で感知できない事を条件とした。

そこで種々の誤差 Δy を持つ2本のビームの走査により感光体上に形成される潜像電位パターンのシミュレーション⁶⁾を行い、その潜像電位体積の変動比が人間の視覚の周波数特性⁷⁾から認識しにくい範囲を求めたところ、 $\pm 12\mu\text{m}$ 以下であれば良いという結果を得た。種々の誤差 Δy を与えた状態の2ビーム光学系を用いて実機出力した画像の目視判定でも同等の結果が得られたため、誤差 Δy も $\pm 10\mu\text{m}$ 以下の制御を目標とした。

5 レンズ系によるビーム相対位置誤差の抑制

前述のパターン2の誤差 Δx を抑制するため、F θ レンズ系のガラス材料の組み合わせを色収差が少なくなるように選定した。しかし半導体レーザーの波長バラツキ範囲 $\pm 15\text{nm}$ の最悪条件では、色収差による誤差 Δx が制御目標値をわずかに越えるため、2本の半導体レーザーの波長管理も導入してこの問題を解決した。

前述のパターン3の誤差 Δy に関しては、走査線の曲がりを少なくし2本のビームの曲がりの差を抑制するため、F θ レンズ系のプラスチックレンズに、像高に応じて副走査方向の曲率が変化し、かつ主走査方向の曲率に非球面形状を取り入れた特殊面形状を採用した。

Fig.5は、F θ レンズ系に入射する2本のビーム角度差 α によって発生する誤差 Δy の関係を、通常のレンズ系(a)と、特殊形状を採用した本レンズ系(b)でシミュレーションした結果である。通常のレンズ系に比べて本レンズ系は、走査線曲がりによる誤差 Δy が大幅に抑制されていることがわかる。

このレンズ性能を最大に引き出すため、光学組立調整時には専用のビーム位置検出器を使い、2本のビームがレンズの軸近傍を通過するように管理している。Fig.6

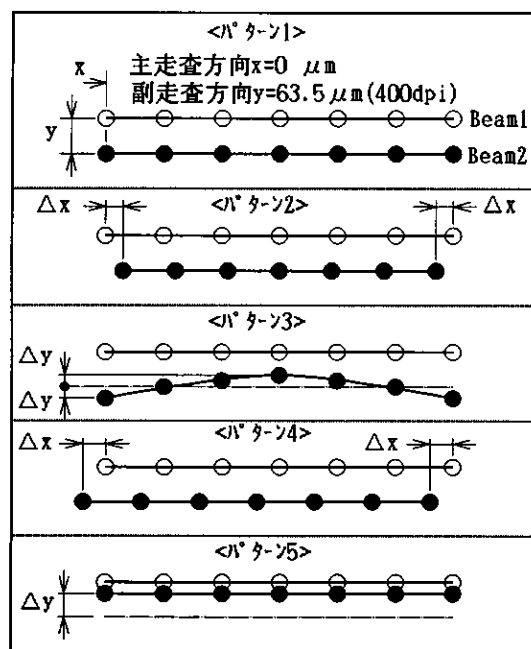


Fig.4 ビーム相対位置誤差の分類

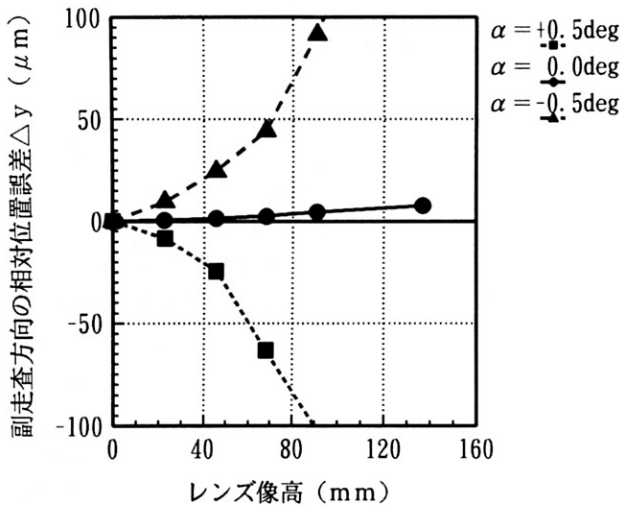


Fig. 5 (a) 通常レンズ系の α と誤差 Δy の関係

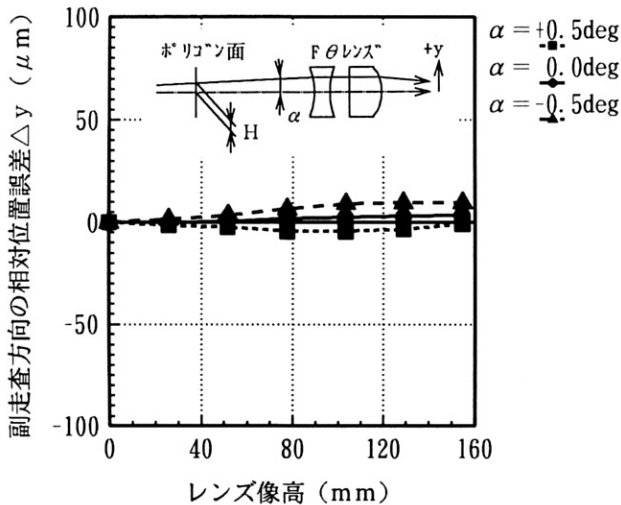


Fig. 5 (b) 本レンズ系の α と誤差 Δy の関係

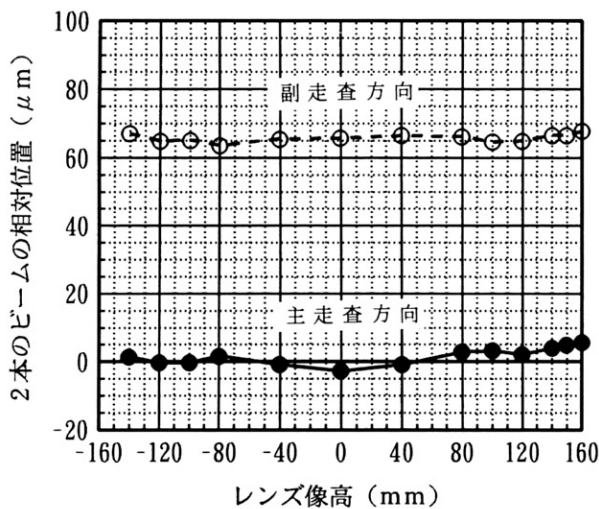


Fig. 6 調整後の光学系のビーム相対位置測定例

は調整された光学系の像高に対する主走査、副走査のビーム相対位置を結像面にて測定した結果例である。本レンズ系の採用で初期的なビームの相対位置調整が制御目標以内で行えている様子がわかる。

6 ビーム相対位置の自動制御

以上のように初期的な2本のビームの相対位置調整は可能となったが、前述の環境変化や経時変化によるパターン4、5の誤差 Δx 、 Δy は、それを自動的に検出して制御する必要がある。

我々は、実際の記録に用いられる記録面上での誤差 Δx 、 Δy を検出する事が制御精度の向上につながると考え、結像面上を走査中のビームが2つの光センサーを横切る時に発生するパルスの時間間隔を計測する事によってそれらの誤差を検出し、その結果により記録位置を自動制御する方法を採用した。以下に詳細を説明する。

6.1 相対位置検出センサー

この検出方式では、2つのセンサーの配置の間隔や角度、センサーのエッジの直線性等の機械的精度が距離の検出精度に大きな影響を与えるという問題がある。そこで位置検出に必要な複数のセンサーを1チップ上に集積して必要な機械的精度を確保する事とし、専用センサーの開発を行った。Fig. 7に今回開発した相対位置検出センサーの受光面構造を示す。

このセンサーは1チップ上にモノリシックに構成された独立4素子のPINフォトダイオードであり、レーザー光で走査されるとそれぞれの素子が高速に応答してパルスが発生する。2つの平行素子A、Cの発生するパルスの時間間隔により誤差 Δx を、V字型に開いた2つの素子B、Dが発生するパルスの時間間隔により誤差 Δy をそれぞれ検出する。

素子Cのパルスは画像先端の主走査同期信号(インデックス信号)としても使用している。

このセンサーは結像走査面と等価な位置に正確に配置され、図のように走査ビームを受光している。

6.2 時間計測方法

レーザーの変調周波数が16.1 MHzである事から、計測する時間と距離の関係は約 $1 \mu\text{m}/\text{ns}$ となり、制御目標を達成するためには数 nsの時間分解能を持つ高精度の時間計測が必要である。

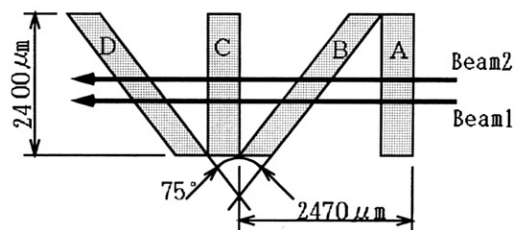


Fig. 7 相対位置検出センサーの受光面構造

この時間計測法としてレーザー変調の基本クロック f のカウント値と、センサーから出力されたパルスと基本クロックとの位相時間差を計測する方式を採用した。

2つのパルス P1、P2 の時間差 X を本方式で計測する場合の例を Fig. 8 で説明する。まず P1 の立ち上がりを検知して基準クロックとの位相差時間 t_i を検出し、同時に基準クロックのカウントを開始する。次に P2 の立ち上がりを検知して基準クロックのカウント Cnt を停止するとともに、基準クロックとの位相差時間 t_j を検出する。以上の結果より時間差 X は次の関係で求められる。

$$X = [Cnt \times \text{基本クロック周期} + (t_i - t_j)]$$

この位相差時間の検出には、微少遅延時間を持つ遅延素子群を利用した。計測を精度良く行うために、微少遅延素子群と位相差検出に用いる多数の回路を1チップのゲートアレイ上に構成した。半導体上に遅延素子を構成すると温度や電圧、半導体製造プロセスによりその遅延量が変動するため、この遅延素子群の遅延状態監視回路を組み込む事によりそれらの変動が計測結果に及ぼす影響を排除した。さらに複数回の計測結果の平均演算回路を設ける事で、時間分解能 2 ns (距離分解能 $2 \mu\text{m}$) 以下の安定した高精度の時間計測を可能とした。

6.3 主走査方向の記録位置制御

主走査方向は以下の手順で誤差 Δx を計測し記録位置を制御する。

- ①レーザー 1 のみを点灯してセンサーを走査し、素子 A、C が発生したパルスの時間間隔 $Tac 1$ を計測する。
- ②次にレーザー 1 を点灯してセンサーを走査し、素子 A のパルスを得た後、レーザー 1 を消灯し、レーザー 2 を点灯して素子 C のパルスを得、二つのパルスの時間間隔 $Tac 2$ を計測する。

- ③ $Tac 1$ と $Tac 2$ の差が誤差 Δx を時間で表した量であり、この時間差に応じて2つのビームが記録すべき画像データが格納されているラインメモリーの読み出しを制御することにより、主走査方向の記録位置制御を行う。

本制御は1プリント毎に記録直前に行われ、その制御能力は $\pm 1200 \mu\text{m}$ である。

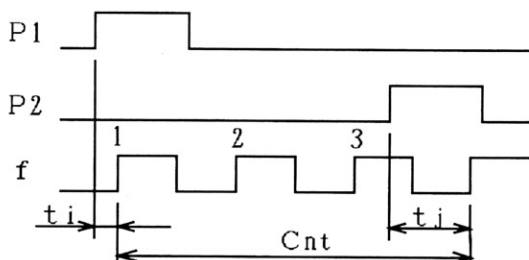


Fig. 8 2つのパルスの時間間隔測定方法

6.4 副走査方向の記録位置制御

副走査方向は以下の手順で誤差 Δy を計測し記録位置を制御する。

- ①レーザー 1 のみを点灯してセンサーを走査し、素子 B、D が発生したパルスの時間間隔 $Tbd 1$ を計測する。
- ②レーザー 2 のみを点灯してセンサーを走査し、素子 B、D が発生するパルスの時間間隔 $Tbd 2$ を計測する。
- ③上記結果より以下の時間 $Tsub$ を求める。

$$Tsub = [(Tbd 1 - Tbd 2) \times \tan(37.5^\circ)] / 2$$

$Tsub$ は2本のビームの副走査方向の距離を時間で表した値であり、その値を前述の時間と距離の関係で変換し、副走査ビーム間隔の基準量 (400 dpi であれば $63.5 \mu\text{m}$) との差を計算する事により、誤差 Δy を得る。

- ④上記結果に基づき、前述の副走査方向のビーム位置調整機構をステッピングモーターで駆動し、2本のビームの位置制御を行う。

本制御は一定のプリント枚数毎に行われ、その制御範囲は $\pm 250 \mu\text{m}$ である。

7 ビーム位置の自動制御の動作検証

初めに本計測方法の計測精度を確認するため、1本のビームによって相対位置検出センサーを走査し、センサーの出力パルス間隔時間を開発したゲートアレイにより計測し、距離換算して精度を確認した。

Fig. 9 は、同センサーを精密ステージによりビームの走査方向に垂直に移動した場合に、V字型センサーB、D から得られる出力パルスを使って本計測方法で得られる計測値とセンサー移動量の差を表した結果である。

この結果から、センサーの移動量すなわち距離に対する本計測方法の計測精度が $2 \mu\text{m}$ 以下であり、制御目標に対して十分な精度を持っている事が検証ができた。

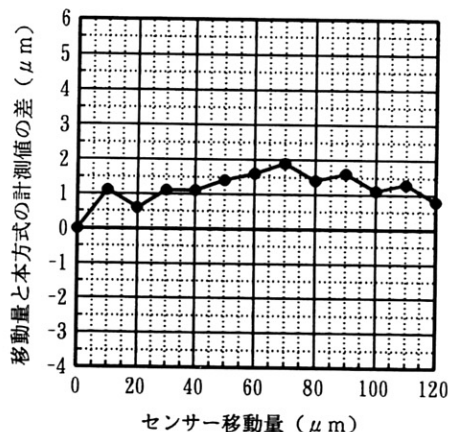


Fig. 9 1ビーム走査とセンサー移動による検出精度検証

次に、2本のビームを使用した場合の本計測方法の計測性能を検証した。Fig. 10 は2本のビームに誤差 Δx を与えた場合、Fig. 11 は誤差 Δy を与えた場合に、ビーム位置検出器を使って結像面で静的に測定された誤差 $\Delta x 1$ 、 $\Delta y 1$ と、本手法によって計測された誤差 $\Delta x 2$ 、 $\Delta y 2$ との関係を示す。主走査、副走査とも、両者は1 : 1の直線関係となっており、2本のビームを使用した場合でも目標通りの計測性能が得られている事が検証できた。

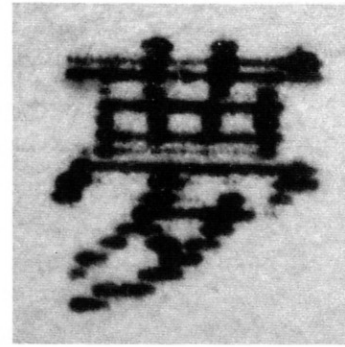


Fig. 12 誤差 $\Delta y=65\mu\text{m}$ で自動制御なし



Fig. 13 誤差 $\Delta y=65\mu\text{m}$ で自動制御を実施

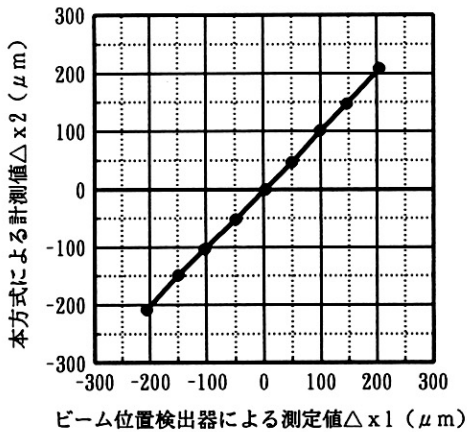


Fig. 10 2ビームを使った誤差 Δx の計測性能検証

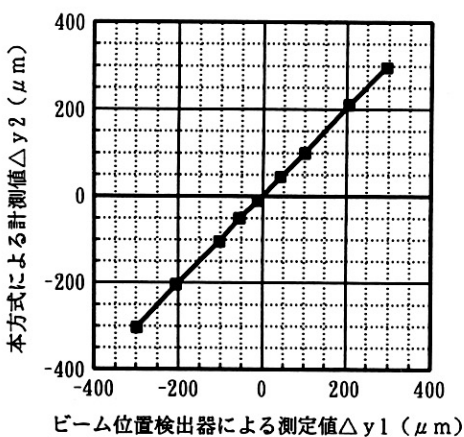


Fig. 11 2ビームを使った誤差 Δy の計測性能検証

本計測手法により得られた結果で実際にビームの記録位置の自動制御を行わせ、出力画像によりその動作を検証した。Fig. 12, 13 は $+65\mu\text{m}$ の誤差 Δy を与えた状態で、本自動制御を行わなかった場合と、行った場合にそれぞれ複写画像として得られた7ポイント明朝文字を拡大した写真である。本制御によって誤差 Δy が自動的に補正されて良好な画像が得られており、本自動制御の動作が検証できた。

8 まとめ

Konica 7050 で新規に開発した2ビームレーザー光学系について、その概要と2本のビームの相対位置検出ならびに記録位置の制御技術について報告した。

2ビーム制御に最適なレンズ設計の採用と、結像面を走査中のビームを専用センサーで受光し時間計測を応用して相対位置の誤差を検出し、それに応じて2つのビームの記録位置を自動制御する技術を開発する事で、ビーム位置合わせに関する技術課題を達成できた。

開発された光学系ならびに制御技術は、さらなる高速化、高密度化を求める市場の要求にも答え得るものであると確信している。

最後に本開発にあたり、ご協力いただいた多くの関係者の方々に深謝する。

●参考文献

- 1) 岩村、他コニカテクニカルレポート Vol.5 JAN.1992 pp 120
- 2) 藤崎、他 日立評論 Vol.73 No.4 (1991-4) pp 47
- 3) 有本、他 光学 第19巻第6号 1990.6 pp 350
- 4) Jean-Michel Guerin SPIE Vol.1987 pp 341
- 5) 日経エレクトロニクス 1995.6.19 No.638 pp 18
- 6) 本井コニカテクニカルレポート Vol.5 JAN.1992 pp 89
- 7) Paul C. Schubert 第3回ノンインパクトプリンティングシンポジウム論文集 Jul.1987 pp 101