

高速レーザビームプリンタ

High Speed Laser Beam Printer

レーザビームプリンタは、コンピュータシステム用として急速に普及しつつある高速、高品質の出力装置である。

本稿は、このプリンタ用に開発したレーザ走査光学系と、これに密接に関係する電子写真記録系について論じる。この光学系は、レーザ光を所定の微小スポットで高精度走査させるために、超高速運転可能な精密回転多面鏡や高精度走査用レンズなどで構成される。更に、半導体レーザを使用する光学系も開発し、高速で高精細の書込みが可能なレーザ走査光学系を実現した。また、各種のレーザに適したセレンや有機光導電体から成る高感度感光ドラムを開発した。以上の光学系及び感光ドラムは、日立製作所、日立工機株式会社で製品化している高速機や小形高精細機に使用されている。

齊藤 進* *Susumu Saitô*
 安西正保** *Masayasu Anzai*
 和田英一*** *Eiichi Wada*
 小島亮二**** *Ryôji Kojima*
 田島邦雄***** *Kunio Tajima*

1 緒 言

コンピュータシステム技術の発展とともに、高速、高品質で多様なパターンの印刷が可能であるLBP(レーザビームプリンタ)の普及が急速に進んでいる。既に高速の漢字情報処理システムには不可欠の出力装置となっている。更に、図形や画像用のプリンタとしての応用が期待されている。

日立製作所と日立工機株式会社は、LBPの高速化、高印刷品質、及び高信頼化を含む顧客側トータルコスト低減を目標に、昭和53年に1号機を製品化¹⁾して以来、印刷速度1万5,200行/分の超高速機²⁾や解像度16ドット/mmの高精細印字用小型機など、種々な機種を開発を進めてきている。

LBPは、レーザ光による書込みと電子写真記録方式³⁾を組み合わせたもので、以下にこのために開発した高速、高精細の光学系技術、及びこれと密接に関係する記録系技術について述べるとともに、適用したLBP装置を紹介する。

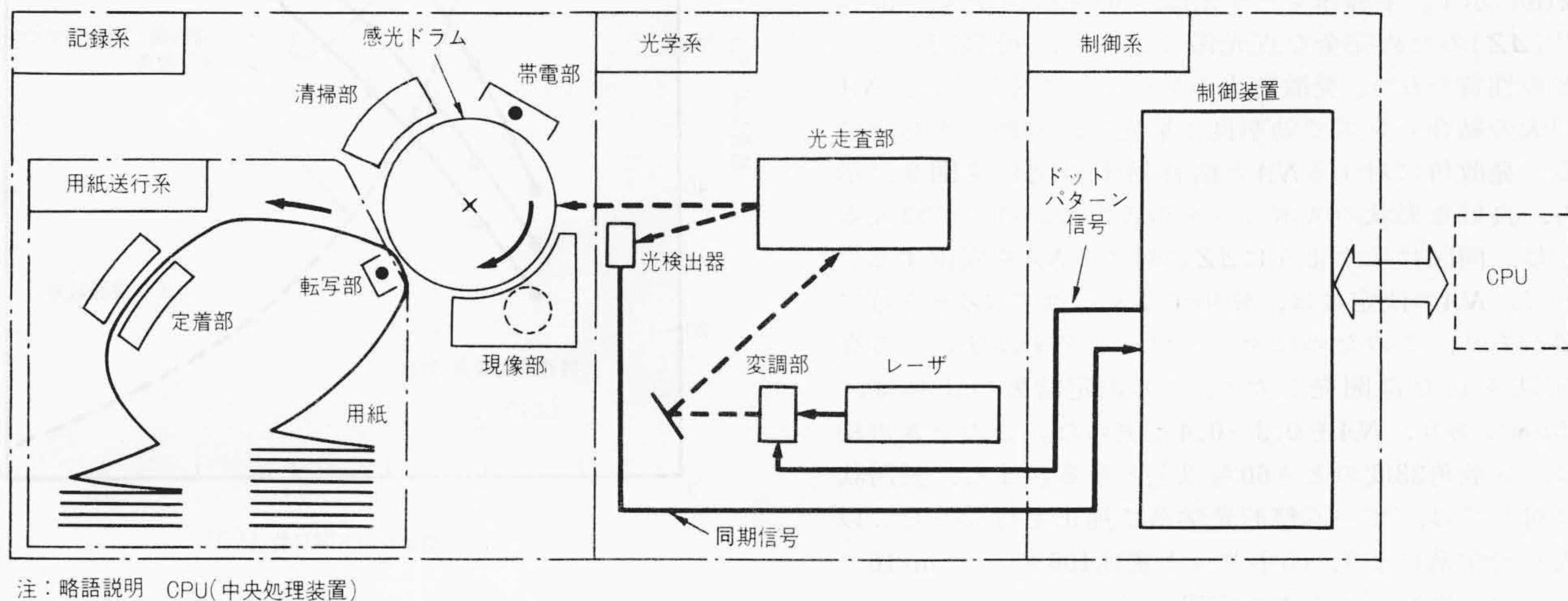
2 LBPの構成と特徴

LBPは、図1に示すように制御系、光学系、記録系、用紙送行系などから構成される。

- (1) 制御系は、コンピュータからの出力情報に対応するパターンを表わすドット(画素)信号の発生と制御を行なう。
- (2) 光学系は、レーザ光の変調及び走査によって、ドット信号に対応した出力パターン像を感光ドラム上に形成する。
- (3) 記録系は、一様帯電した感光ドラムへのレーザ光像の照射により形成された静電潜像をトナーで現像し、次いで、このトナー像を用紙に転写し、定着を行なう。
- (4) 用紙送行系は、ドラム回転に同期して用紙の転写部、定着部への送行と、定着後の用紙の折たたみ操作を行なう。

以上の方式のため、ドット信号に応じて漢字や図形など任意のパターンを印刷できる。更にレーザ光は高速で変調や走査が可能なので、微小な径に収束できるので、高速、高精細のプリンタが実現できる。また、用紙に普通紙が使用できること、騒音が少ないことなどもLBPの特徴である。

LBPの開発に当たっては、大量出力と多様な目的に対応するため、高速化、高解像度化を図るとともに、高印刷品質、信頼性及び操作、保守性に優れた装置の実現を目指した。



注：略語説明 CPU(中央処理装置)

図1 レーザビームプリンタの基本構成 制御系、レーザ・走査光学系、電子写真記録系、用紙送行系などで構成されている。

* 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所神奈川工場 **** 日立工機株式会社 ***** 日立製作所多賀工場

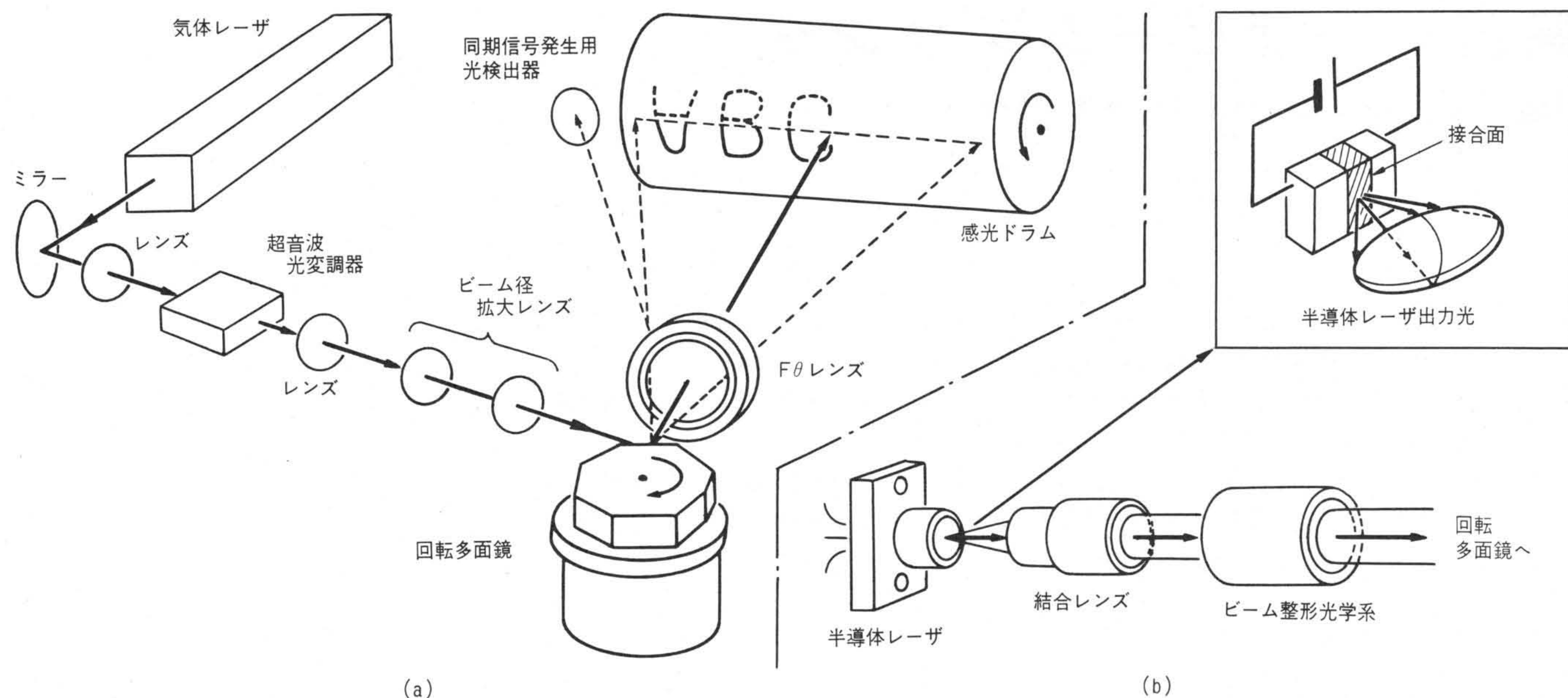


図2 LBP用光学系構成[(a)気体レーザ使用の場合の全体構成, (b)半導体レーザ用結合, ビーム整形光学系] 気体レーザでは, 超音波光変調器が必要であるが, 半導体レーザでは不要となる。一方, 半導体レーザ光は発散角が大で, かつ非等方ビームのため, 結合及びビーム整形光学系が必要となる。

3 LBP基本技術

図2は感光ドラムを含めた光学系構成を示す。集中出力用高速LBPには, 気体レーザを超音波光変調器とともに使用し〔図2(a)〕, 端末用LBPには半導体レーザを使用した。レーザ光走査用には, 両方とも回転多面鏡とFθレンズを用いている。

3.1 レーザ光源

(1) 気体レーザ

He-CdレーザとHe-Neレーザを感光ドラムとの適合性と出力レベルの点から使用している。特にHe-Cdレーザは, He圧, Cd蒸気圧の制御によって, 出力の自動安定化とレーザ管の長寿命化を図っている。

(2) 半導体レーザ

小形で, かつ直接変調可能なため, 光変調器が不要となる利点があるが, ビームの形状に後述の問題があるため, 気体レーザ並みのビームを実現する新たな光学系を開発した⁴⁾。これを図2(b)に示す。半導体レーザ光は, (a)発散角が大, (b)非点隔差^{*1)}(ΔZ)のため完全な点光源ではない, (c)長円状ビーム, などの性質をもつ。発散角大のレーザ光に対しては, NA(開口数)大の結合レンズで効率良く集光し, 同時に平行光に変換する。発散角に対するNAと結合効率の関係を図3に示す。一方, 良好な形状のスポットを得るための許容波面収差($\frac{\lambda}{8}$ 以下)は, 同図に示すように ΔZ に対するNAを制限する。したがって, NAの決定には, 使用するレーザの ΔZ を正確に知る必要があり, このためにマッハツェンダ干渉法による高精度測定法を新たに開発した⁵⁾。この測定結果によれば, $\Delta Z < 2.5\mu\text{m}$ であり, NAを0.3~0.4と決めた。このときの結合効率は, 発散角33度のとき60%以上となる。また, 長円状ビームに対しては, ビーム整形光学系で補正を行なった。以上の構成の光学系により, 印字ドット密度406ドット/in(16ドット/mm)の高精細レーザ走査を実現している。

3.2 走査光学系

LBPの特長である高速, 高解像度の実現には, 走査光学系が重要で, 以下の開発を行なった。

(1) 回転多面鏡

図4に構造を示す。ミラー部には, 強度が高く超高速回転に耐える高張力軽合金を用い, 新たに開発した超精密加工技術により, 表面精度 $\frac{\lambda}{8}$ 以下, 面粗さ $\frac{1}{100}\mu\text{m}$ R_{max} , 鏡面間平行度誤差 ± 3 秒以下の多面鏡を実現した。駆動部は, 同期電動機を用い, 軸受は, 径方向の可動パッド形動圧空気軸受とス

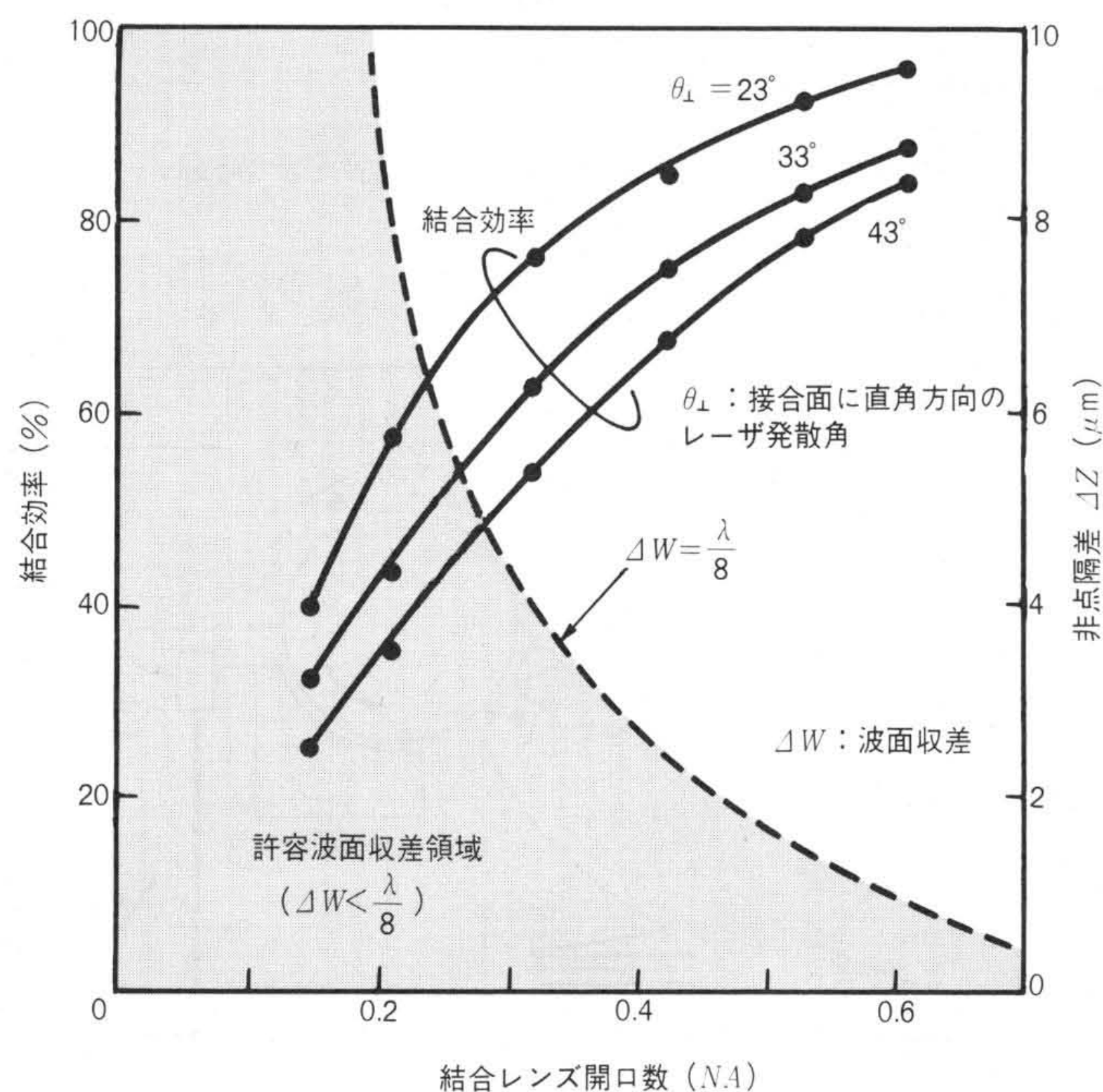


図3 レーザ発散角に対する結合レンズ開口数(NA)と結合効率の関係, 及び許容波面収差を与える非点隔差とNAの関係 半導体レーザの発散角は, 接合面に平行($\theta_{\parallel}$)か直角($\theta_{\perp}$)かで異なる。結合効率はより値の大きい $\theta_{\perp}$ に対し考慮すればよい。波面収差(ΔW)は, レーザ自体のもつ非点隔差とNAで定まる。ここでは, 許容波面収差を $\frac{\lambda}{8}$ (λ はレーザ波長)以下とした。

※1) 非点隔差: レーザ内の方向別出射原点のずれ量を言う。この量が大では波面収差が大となり, 良好な点結像にならない。

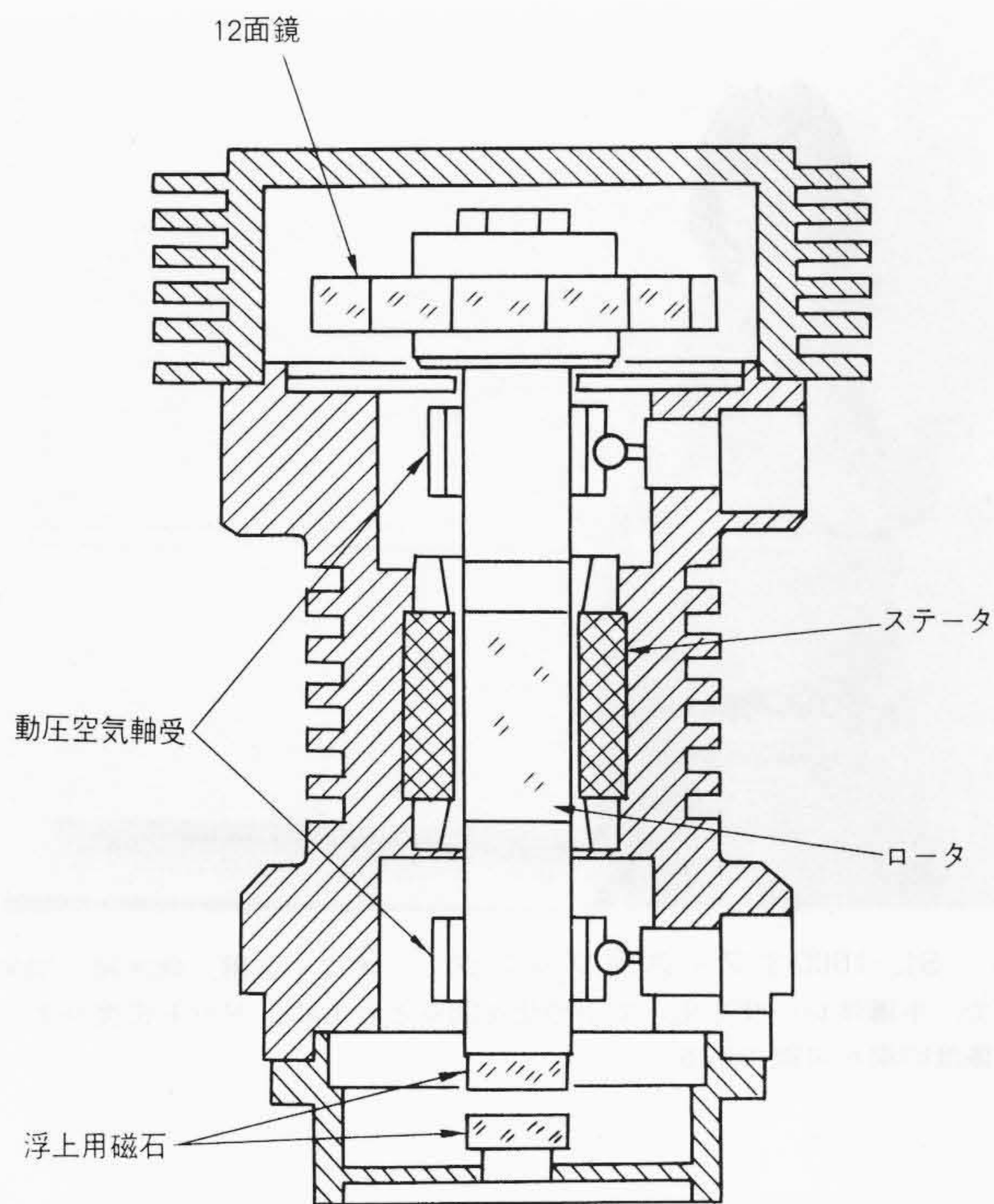


図4 超高速回転多面鏡の構造 駆動電動機を挟んで、2個の動圧空気軸受(径方向)と浮上用磁石がある。多面鏡はロータ部に直結した構造となっている。

ラスト方向の磁気浮上方式とを組み合わせた。この軸受は非接触でオイルフリーのため、ボール軸受で問題となる高速回転時の耐久性や速度変動、オイルによる汚れを考慮する必要がない。性能は、回転数範囲7,000～4万2,000rpm、速度変動 10^{-4} 以下、動作時の鏡面傾き誤差±5秒以下で、長期間安定な運転が可能である。

(2) F θ レンズ

このレンズは、レーザ光を感光ドラム面に走査するとき、回転多面鏡による等角速偏向を等速直線走査に変換すると同時に、走査領域で一定のスポット径に絞り込む機能をもつ。開発には、収差論に基づくレンズの解析と検討を行ない、更に日立製作所開発のレンズ自動設計プログラムを使用して最適解を求めた。図5に得られたレンズ構成と機能を示す。レンズの焦点距離は545mm、片側200mmずつの走査が可能で、ドラム上のスポット径はほぼ $60\mu\text{m}$ 一定である。また理想的な走査位置^{※2)}からの誤差は±0.2%以下で、高精度のレーザ走査が可能である。

以上の回転多面鏡とF θ レンズを用いた走査光学系の性能は、例えば超高速LBP用(印刷速度1万5,200行/分)では、用紙速度890mm/秒に対し、走査幅380mm以上、ドット密度240ドット/in(縦、横共)、走査数8,400本/秒(多面鏡回転数4万2,000rpm)、走査ピッチ誤差± $25\mu\text{m}$ 以下、走査線形誤差0.2%以下であり、高精度、超高速のレーザ書き込みが可能である。

3.3 電子写真記録技術

使用するレーザに応じた種々のドラム用感光体の開発を行っている。図6に各種感光体の波長感度特性と適合するレーザを示す。OPC(有機光導電体)は日立製作所で半導体レーザ用に開発したもので二層構造をもち、良環境性と高温特性

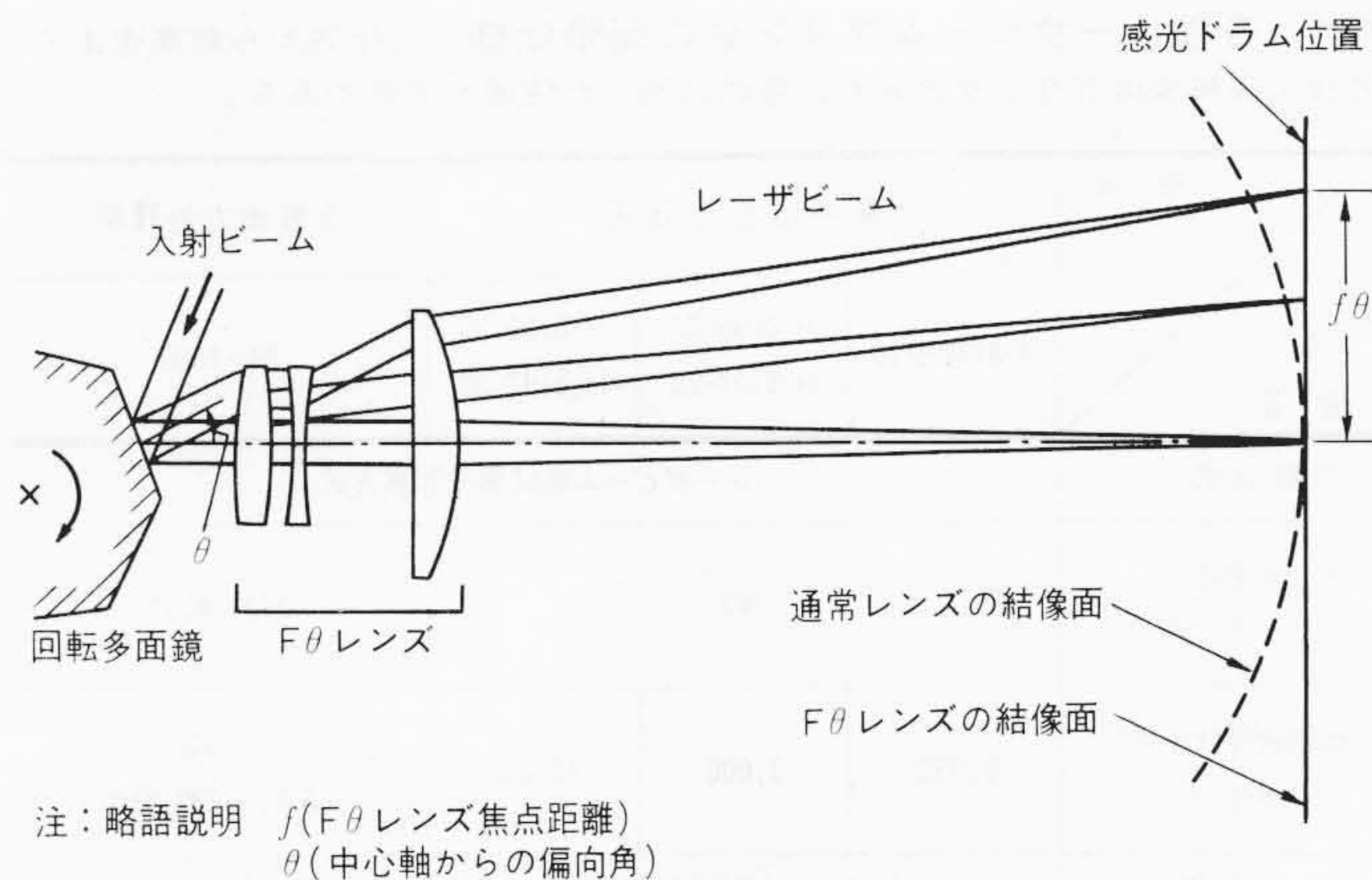


図5 F θ レンズの構成と機能 F θ レンズは3枚構成で、結像面は平面上に存在する。点線は通常レンズの結像面でわん曲する。

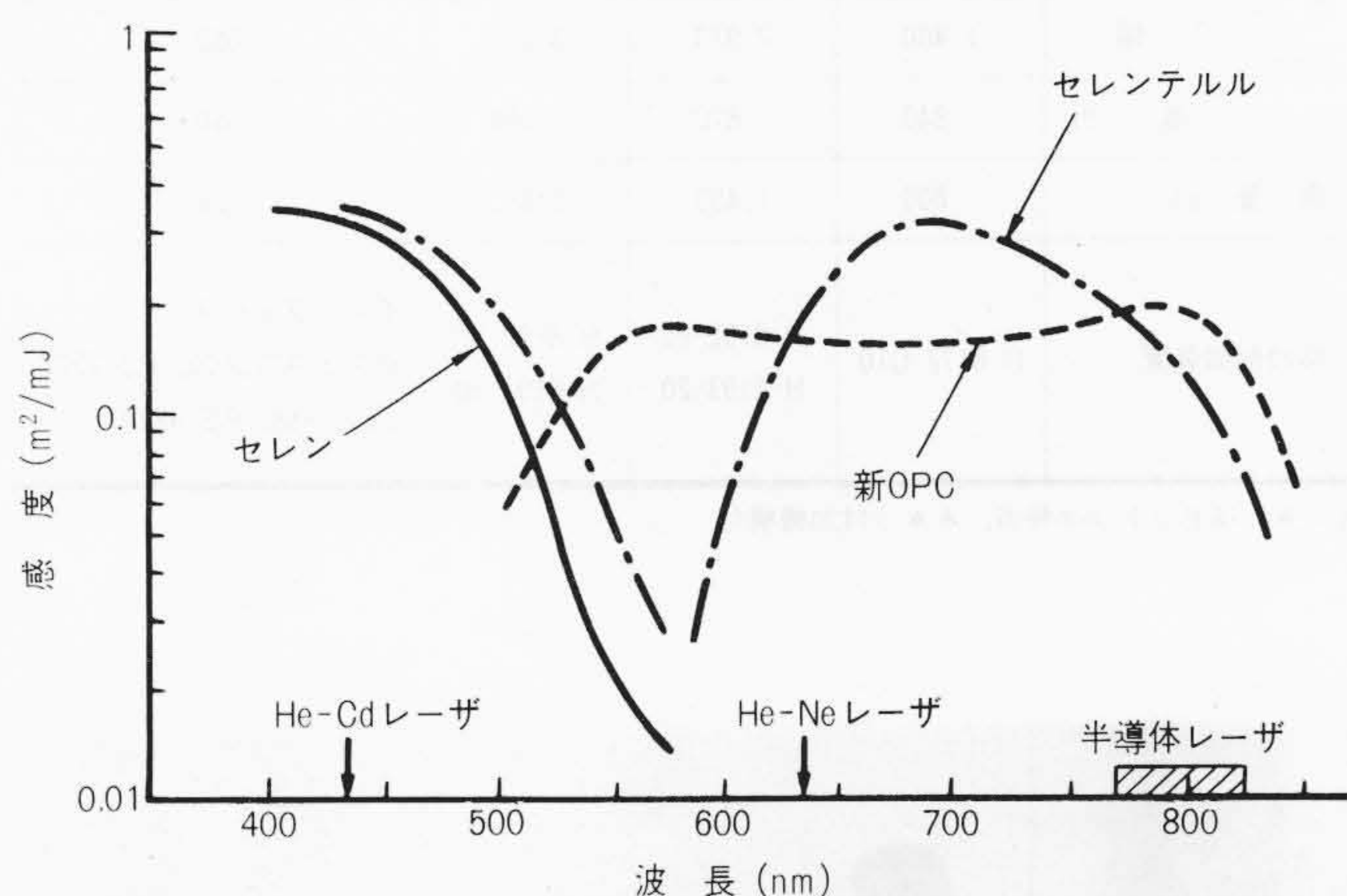


図6 レーザビームプリンタ用感光体の感度特性 セレンはHe-Cdレーザと、また、セレンテルルあるいは新開発OPC(有機光導電体)は、He-Neレーザや半導体レーザと組み合わせて使用される。

が良好な点に特長がある。各感光体とレーザの選択は、印刷速度や感光体感度、レーザ出力などを規準に決められ、セレンとHe-Cdレーザは高速機種に、セレンテルルやOPCは半導体レーザあるいはHe-Neレーザと組み合わせて3,000行/分以下の機種に使用している。

これらのドラムは、表面硬度の増加などの処置によって長寿命化を図った。また、画質安定化のため、独自のインダクタンス方式⁶⁾によるトナー濃度制御を行なって、印刷品質の向上を図った。

4 LBP製品機

表1に製品機の概略仕様を示す。

集中出力処理用に現在までに5機種を開発した。いずれもドット密度が240ドット/inと高密度なので、漢字だけでなく簡単な図形も同時に印刷できる。図7に印刷速度1万5,200行/分の漢字プリンタの外観を、図8にこのプリンタで打ち出した印刷サンプルを示す。一方、分散出力処理用又はオフィス用に開発したのが図9のSL-1000である。このプリンタの特徴は、半導体レーザを用いて、装置を小形化したことと、最高16ドット/mmの高精細印字が可能なことである。図10にこのプリンタによる印刷サンプルを示す。

※2) 理想的走査位置はレンズ焦点距離を f 、偏向角を θ (ラジアン)とすると、 $f\theta$ で与えられる。

表1 各種レーザビームプリンタの概略仕様 低速から超高速まで各種の高解像度プリンタがあり、目的に適した使用が可能である。

機 種		集 中 出 力 処 理 用			分 散 出 力 処 理 用
		H-8172-P10	H-8196-20 H-8197-20	H-8196-30 H-8197-30	SL-1000
項 目					
印 刷 方 式		レーザビーム乾式電子写真方式			
ドット密度 (ドット/in)		240			240～406*
印刷速度(行/分) (8行/in)		2,730	7,000	15,200	1,122 (A4, 12枚/分)
用 紙	種 類	送り穴付連続用紙			普通カット用紙
	最 大 幅	16in(最大印刷可能幅15in)**			297mm
	紙厚(kg)	55～135	55～110		55～70
寸 法 (mm)	高 さ	1,400	1,525	1,525	400
	幅	1,400	2,970	3,250	680
	奥 行	840	810	880	550
重 量(kg)		800	1,450	1,850	80
接続制御装置		H-8172-C10	H-8192-20 H-8193-20	H-8192-30 H-8193-30	インタフェース セントロニクス, RS-232C IEEE-488, RS-422A

注：* 16ドット/mm相当, ** 付加機構付



図7 H-8196-30漢字プリンタ 1分間に1万5,200行を印刷する漢字プリンタである。

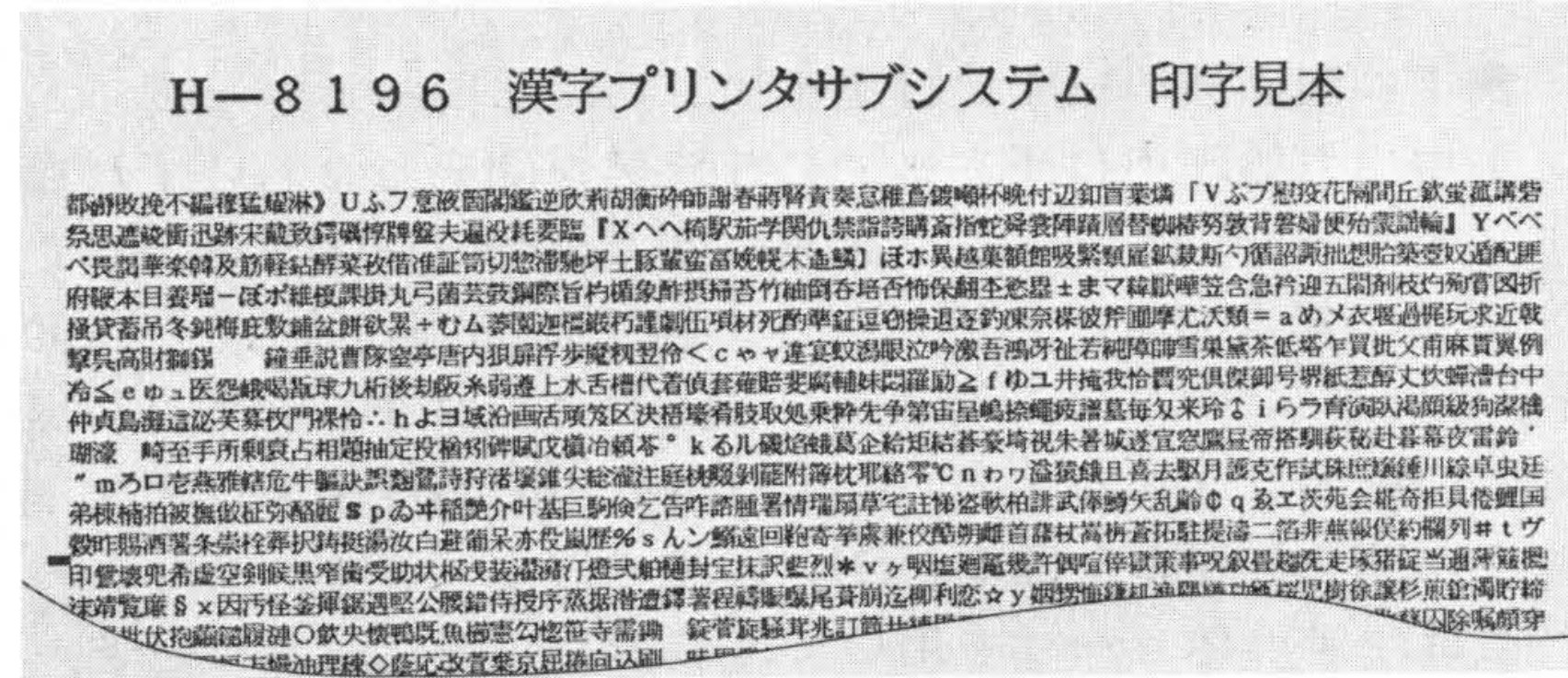


図8 漢字プリンタ印刷サンプル 世界最高速のH-8196-30漢字プリンタで印字したもので、ドット密度240ドット/inで打ち出した。

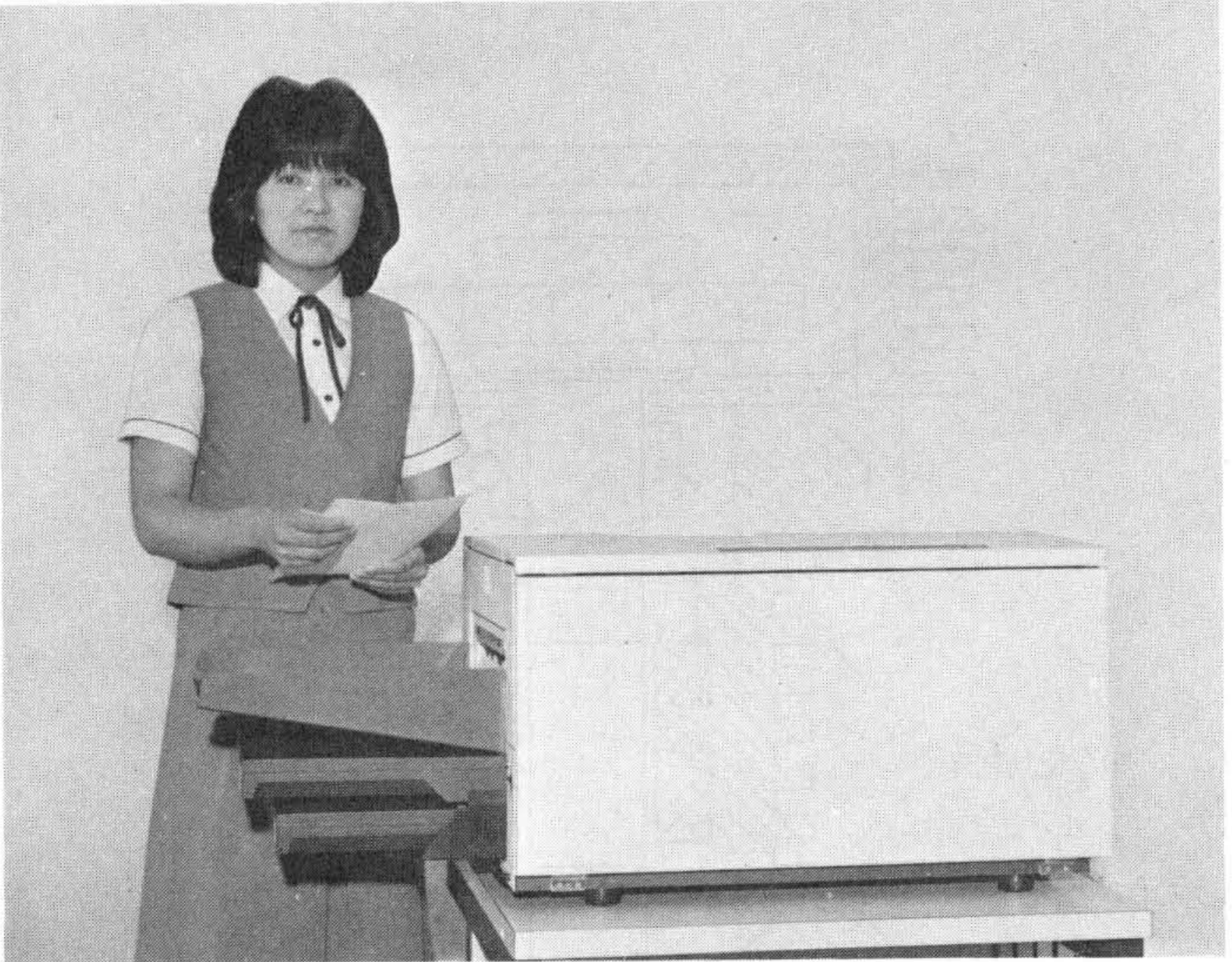


図9 SL-1000オフィス用プリンタ オフィス用、端末用に開発したもので、半導体レーザを用いて小形化を図るとともに、ドット密度16本/mmの高解像度印刷が可能である。

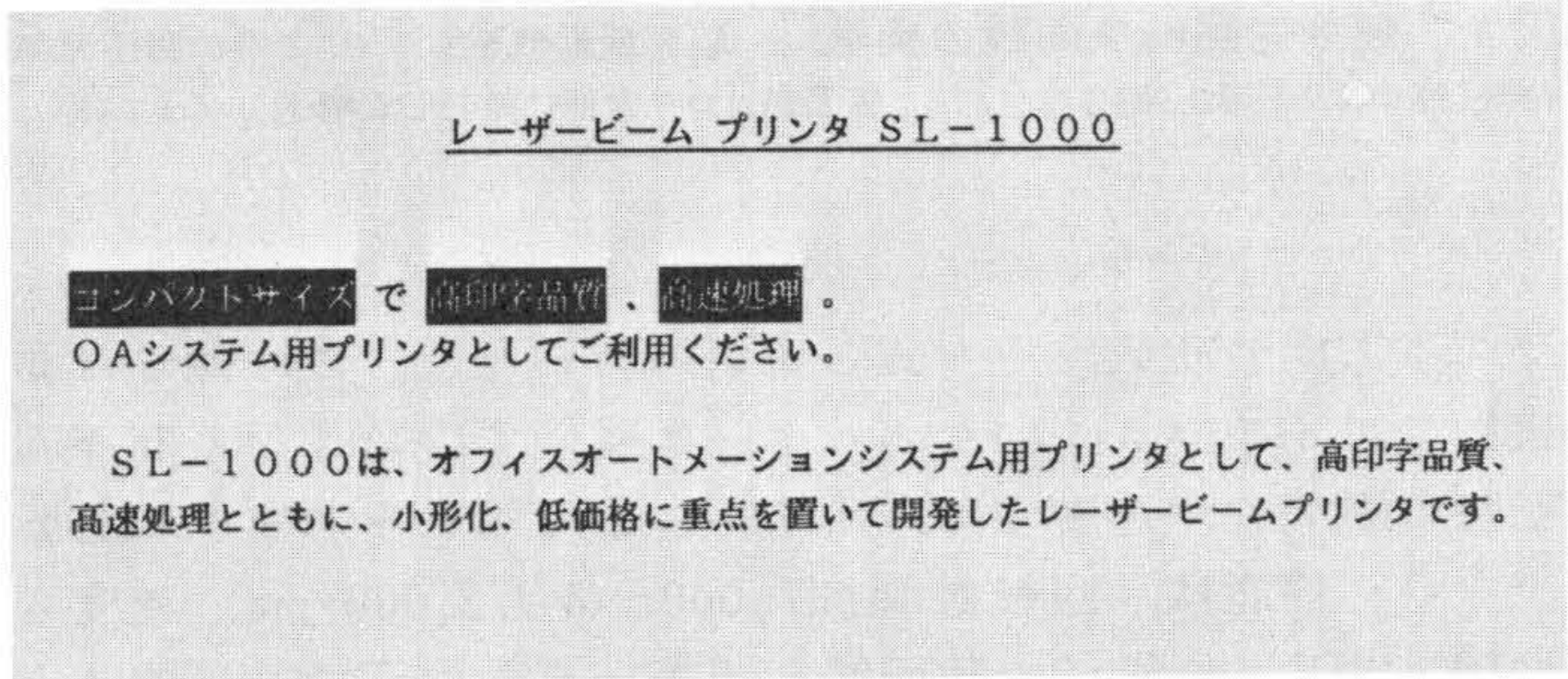


図10 SL-1000による印刷サンプル ドット密度16ドット/mmで打ち出した。

5 結 言

日立製作所及び日立工機株式会社で開発してきた高速、高解像度LBPに用いているレーザ、走査光学系及びこれと関連深い電子写真記録系について論じた。急速に発展しつつある情報処理技術の高度化と多様化に対応するため、今後よりいっそうの印刷品質の向上、小形化、操作性向上及び高信頼化が必要とされる。このような要請にこたえるため、機構系や制御系をも含めた総合的な研究開発を推進して、顧客ニーズに合った高性能LBPの実現を目指していきたい。

参考文献

- 1) 福来, 外: 漢字処理システムのハードウェア, 日立評論, 60, 335~340(昭53-5)
- 2) A. Arimoto, et al.: Optical System of an Ultrahigh-speed Laser-beam Printer, Conf. Laser and Electro-optical Systems Technical Digest. Feb. 26-28, 1980
- 3) R. M. Schaffert: Electrophotography, The Focal Press (1975, London & New York)
- 4) 立野, 外: 情報機器用半導体レーザ光源, 電子通信学会技術研究報告, Vol. 28, No. 129, IE82-51(1982年9月)
- 5) K. Tatsuno, et al.: Measurement and Analysis of Diode Laser Wave Fronts, Appl. Optics 20, No. 20, p. 3520 (Oct. 15, 1981)
- 6) 安西, 外: 高速レーザビームプリンタ, 画像電子学会予稿(79-04-4), (1979年4月)