

大容量光ディスクファイル

Large Capacity Optical Disk File

大容量化の進む計算機用ファイルメモリへの応用を目指して、コードデータの記録が可能な高信頼度の光ディスク装置及び記録媒体に関する技術を開発した。

装置については、新しい焦点及びトラッキング信号検出方式と2段アクチュエータ方式とを開発し、直径 $1.6\mu\text{m}$ の微小光点の安定形成及び誤差 $0.1\mu\text{m}$ 以下の高精度位置決めを可能とした。また記録媒体については、トラック案内溝の微細加工技術とPb-Te-Se膜を用いた高品質膜形成技術とを開発し、高密度化と経時安定性向上及び欠陥低減を図った。以上の技術に基づいて開発した装置、媒体により、容量2.6Gバイト、ビットエラーレート 10^{-11} 以下及び媒体保存寿命10年以上の性能を達成した。

角田義人* Yoshito Tsunoda
堀籠信吉** Shinkichi Horigome
堤 善治** Zenji Tsutsumi
阿部伸一*** Shin'ichi Abe

1 緒 言

近年、情報処理技術の発展に伴い、取り扱われるデータ量は急激に増加しており、特に文書、画像など処理対象の拡大はこの傾向を更に加速しつつある。これら大量データの蓄積手段として、最近注目されているのが光ディスクファイルである¹⁾。

光ディスクファイルは、レーザ光束を直径 $1\sim 2\mu\text{m}$ の微小光点に絞り込み、熱的作用で記録膜の状態を変化させて情報を記録し、この結果生じた反射率変化を検出することで再生を行なう。

微細な光点を記録再生に用いることで、磁気ディスクなど今日の主流ファイルに対して10倍以上の高密度記録が期待できる。また高出力半導体レーザなど、オプトエレクトロニクス技術の進歩は、ファイル装置の実用化に必要な高信頼性、高速性などの要件を満たす水準にきた。

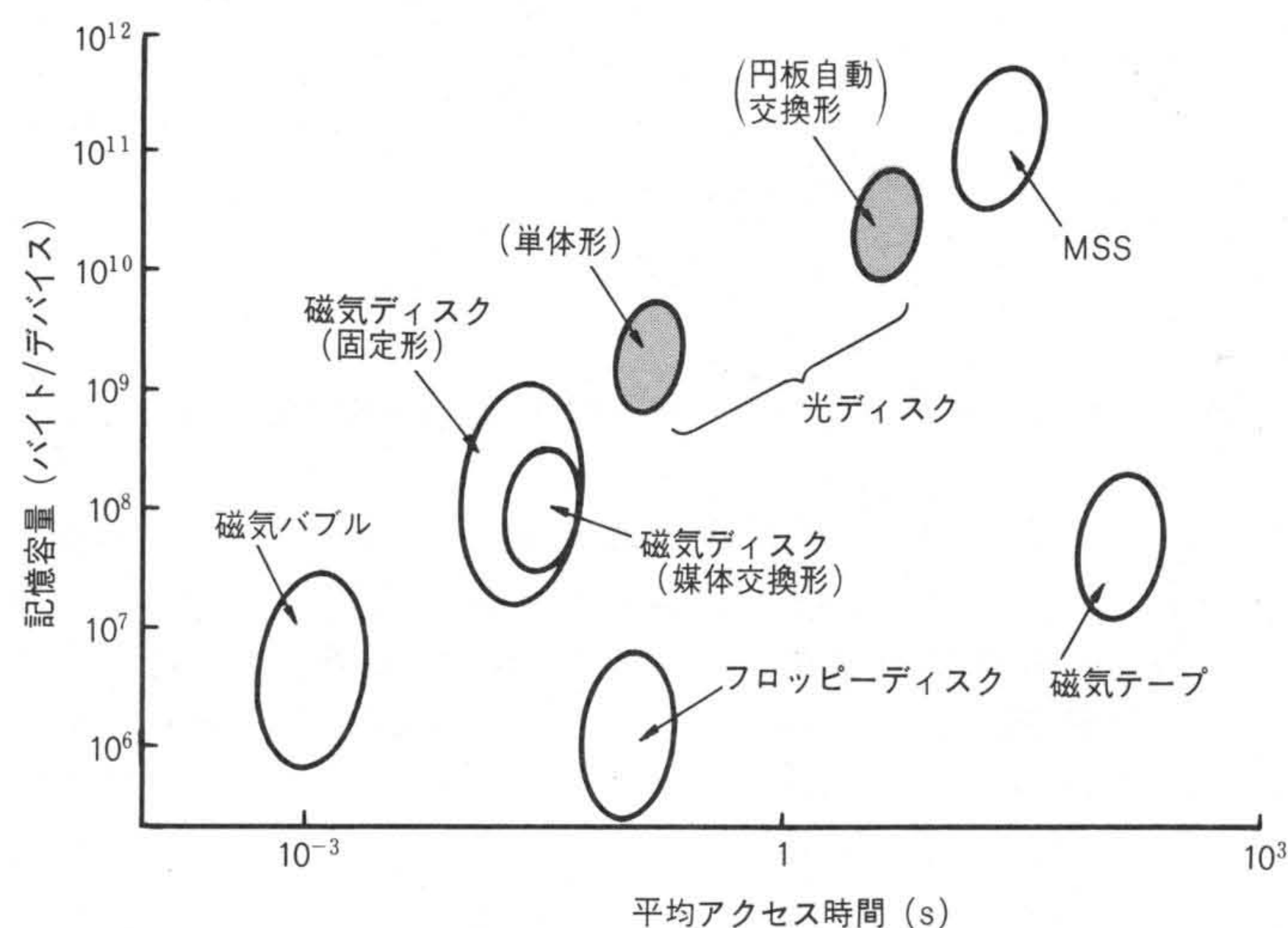
以上の市場要求、技術動向を受け、高信頼度の計算機ファイル用大容量光ディスク実現のための技術、及び製品の開発を行なった。本稿ではまずファイルメモリでの光ディスクの位置づけと、開発のねらいについて触れ、次にこれを達成するための装置、記録媒体技術を述べ、合わせて具体的な製品及びこれを応用するシステムの構成について紹介する。

2 光ディスクの位置づけと開発のねらい

図1は計算機用各種ファイルメモリを、記憶容量とアクセス時間に着目して比較したものである。今日の計算機システムでは磁気ディスクが中心的な装置として運用されている。データは大量であるがアクセス頻度が比較的少ない場合には、媒体の交換が可能な磁気テープ、あるいは自動交換機能をもつMSS(Mass Storage System)が用いられる。また小システム向けのファイルとしては、フロッピーディスクが広く利用されている。

光ディスクは大容量、比較的速いアクセス時間及び媒体の交換が可能という特徴をもち、大量データへの高速アクセスあるいは小システムでの大容量データ記憶を可能とする新しいファイルメモリとして位置づけされる。

このような特徴点を生かした光ディスクファイルを開発するに当たって、具体的に以下の点にねらいを絞った。



注：略語説明 MSS(Mass Storage System)

図1 各種メモリの容量とアクセス時間 ファイルメモリは記憶容量とアクセス時間で役割が分担される。光ディスクは磁気ディスクとMSSの間に位置づけられる大容量ファイルである。

- (1) 直径30cmのディスク1枚(両面)に約2.6Gバイトの大容量情報を、信頼性高く記録再生可能とする光点安定形成技術、及び光点高精度位置決め技術の開発。
- (2) 平均0.2~0.3秒の高速アクセスを可能とするアクチュエータ技術の開発。
- (3) ビットエラーレート $10^{-11}\sim 10^{-12}$ の信頼性高い情報記録再生を可能とする記録媒体技術の開発。

3 光ディスクファイルの基本構成と特長

開発した光ディスクファイルの基本構成を図2(a)に示す。光ヘッドはリニアアクチュエータで駆動され、目標とする情報トラックにランダムアクセスする。ディスクは直径300mmで2枚のディスクを積層したサンドイッチ構造とし、情報記録面を内側に封じ込めることで塵埃の影響を防いでいる。

* 日立製作所中央研究所 理学博士 ** 日立製作所中央研究所 *** 日立製作所小田原工場

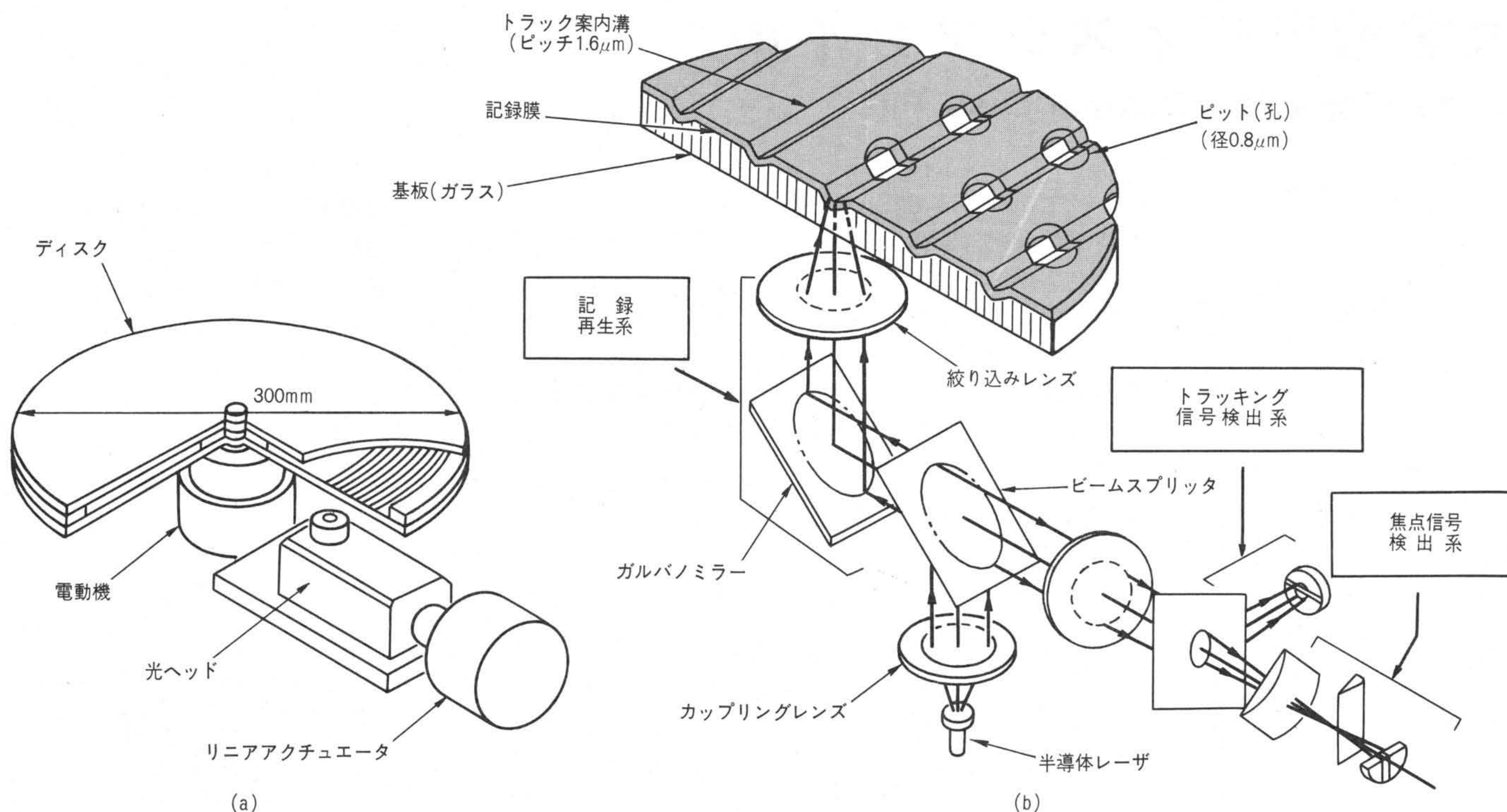


図2 光ディスクファイルの基本構成 基本構成要素を(a)に、この中のディスク、ヘッド部分の詳細構成を(b)に示す。

ディスク、ヘッドの詳細を図2(b)に示す。ディスクの記録面上にはヘッドがトラックに追従するのを助けるトラック案内溝をあらかじめ形成し、この上にPb-Te-Se系材料から成る記録膜を、厚さ30nmで形成した。案内溝はスパイラル状とし、トラック1周を64のセクタに分割した。各セクタの先頭にはアドレス信号をあらかじめ凹凸のピット(孔)として刻み込み、セクタ単位の検索を可能とした。

光ヘッドは記録再生系、焦点信号検出系、トラッキング信号検出系で構成される。記録再生は1個の半導体レーザーで行ない、記録時には出力20mWでパルス発振させ、記録面に直径0.8μmのピットをあける。再生時には4mWで連続発振させ、ピットの有無を検出する。絞り込まれた光点をトラック上に確実に位置制御するための制御信号を得るのが、焦点及びトラッキング信号検出系である。本装置では案内溝、アドレスピット、記録ピットなど異種の情報が混在する複雑なデ

ィスク形状に対応するため、いずれも新しい方式を開発して検出精度向上を図っている。以下、次章で開発のポイントについて詳しく述べる。

4 光ディスクファイルを支える主要技術

4.1 装置技術

4.1.1 光点安定形成技術

光ディスクは、通常、回転中に最大±100μmの幅で上下動する。信頼性高く情報を記録再生するには、絞り込みレンズの焦点をディスクの動きに誤差±1μm以下で追従させて、半導体レーザーの光点を常に安定に形成する必要がある⁴⁾。しかし、焦点信号検出に用いられるディスクからの反射光束は、案内溝あるいはアドレス信号用ピットなど、表面の凹凸による回折の影響で強度がゆらぎ、焦点信号に誤差を与える。そこで、このようなゆらぎの影響を受けない新しい焦点信号検

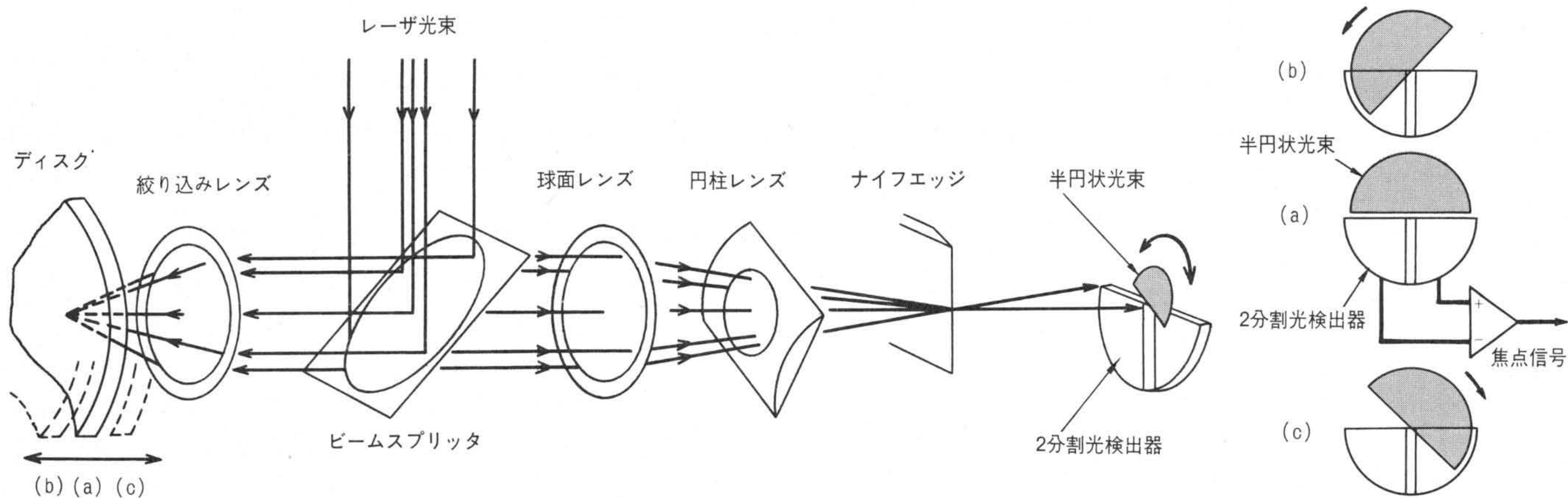


図3 焦点信号検出方式の構成 ディスクからの反射光束は、検出器面上に半円状の像を結ぶ。焦点誤差が生じると半円像は回転して、検出器に差動出力を生じる。

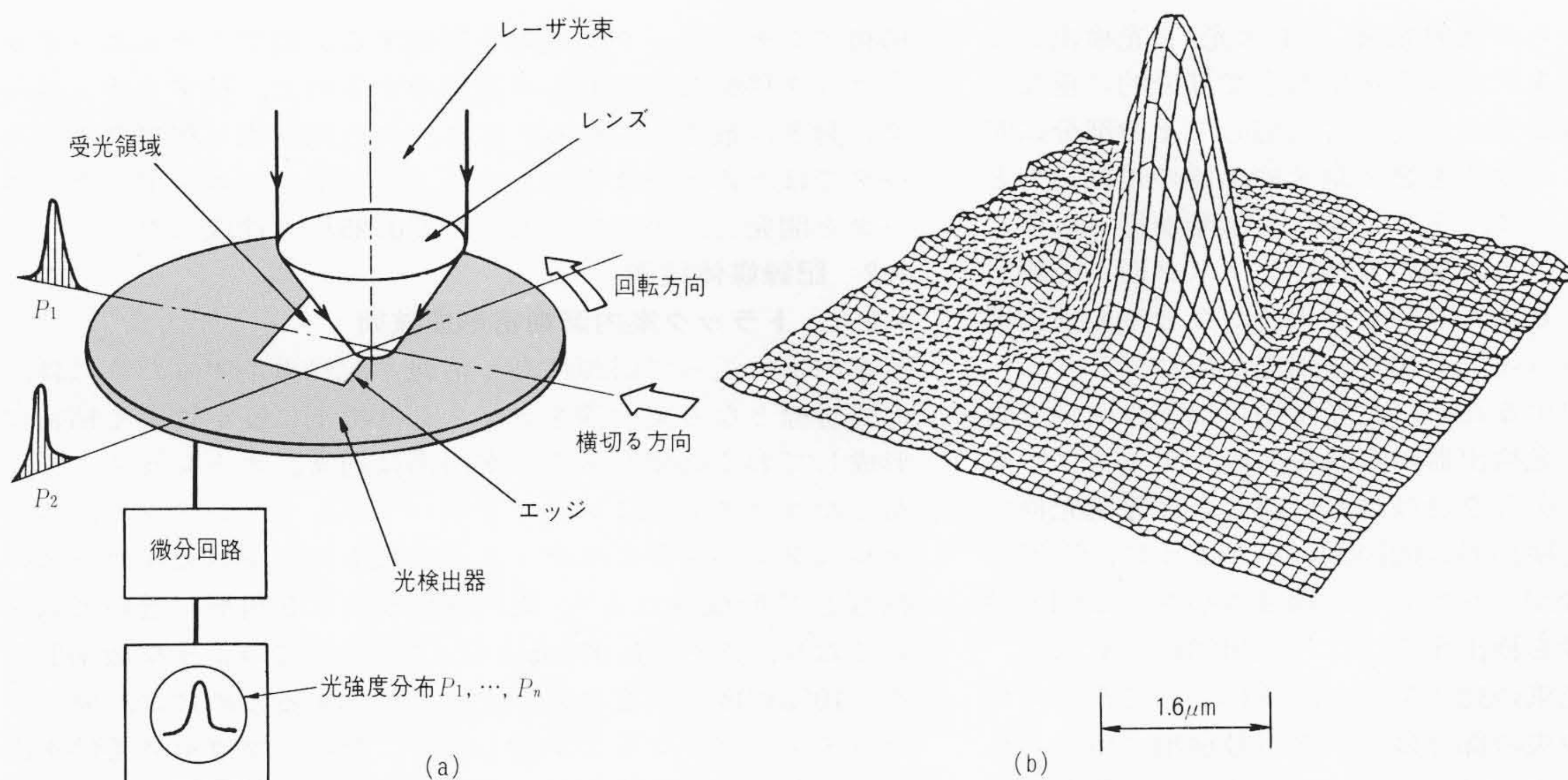


図4 微小光点形状測定原理と測定例 (a)に測定原理を示す。光検出器上に作ったエッジで多方向から光点を横切り、2次元的な強度分布を合成する。(b)は半導体レーザの微小光点を測定した一例である。

出方式を開発した。図3にその構成を示す。この方式では、ディスクからの反射光束中に、球面レンズ、円柱レンズ及びナイフエッジを配置することによって、同図に示すように焦点ずれに対応して半円状の光束が回転する。これに対向して、半円状の2分割光検出器を配置すると、その差動出力から焦点信号が得られる。合焦時(a)には、光検出器は半円状の光束をほとんど受けていないため、強度ゆらぎの影響を受けず、検出誤差を $\pm 0.3\mu\text{m}$ 以下に低減した。これによって、微小光点を常に安定して形成できるようになった。

光点安定形成に関連するもう一つの重要な技術課題は、光点形状(光強度分布)の精密な測定である。従来、直径約 $1\mu\text{m}$ 程度の微小光点の形状を精密に測定する方法はなかった。そこで、新しくコンピュータトモグラフィの原理を応用した高精度測定方法を開発した。図4(a)にその基本原理を示す。レンズによって絞り込まれたレーザ光束を、中央に正形状の受光領域をもつ光検出器のエッジで一方向に横切らせる。

このとき、光検出器の出力波形を微分すると、その方向の光強度分布 P_1 が得られる。次に、光検出器を少し回転して別の方向の光強度分布 P_2 を得る。このようにして順次得られた光強度分布 $P_1, P_2, \dots, P_n$ のコンボリューションをとることによって、光点の2次元的な強度分布を得ることができる。同図(b)に120方向から合成した場合の半導体レーザの光点形状の測定例を示す⁵⁾。この方法によって、 $0.1\mu\text{m}$ の高精度で微小光点の形状が測定できるようになり、光学系設計の最適化が図られた。

4.1.2 光点高精度位置決め技術

情報記録面上の案内溝は、ディスクの回転中に偏心によって最大 $\pm 100\mu\text{m}$ 程度左右に振れる。情報を信頼性高く記録再生するには、レーザ光点がこの案内溝を誤差 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 以下で追従する必要がある⁴⁾。案内溝からの光点のずれは、光の回折を利用して光学的に検出される。図5(a)にその原理を示す。レーザ光を情報記録面上に絞り込み、記録面からの反射光束

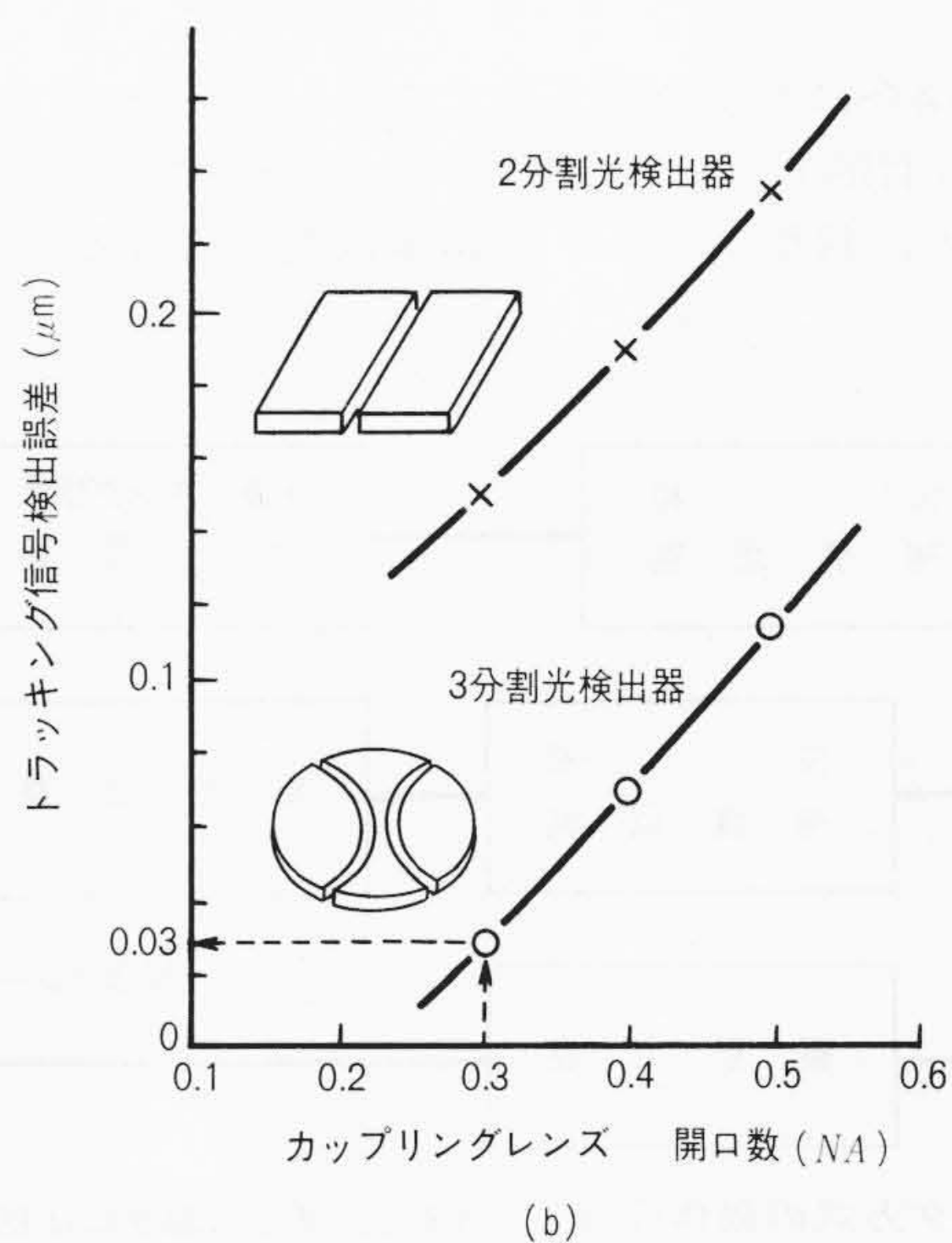
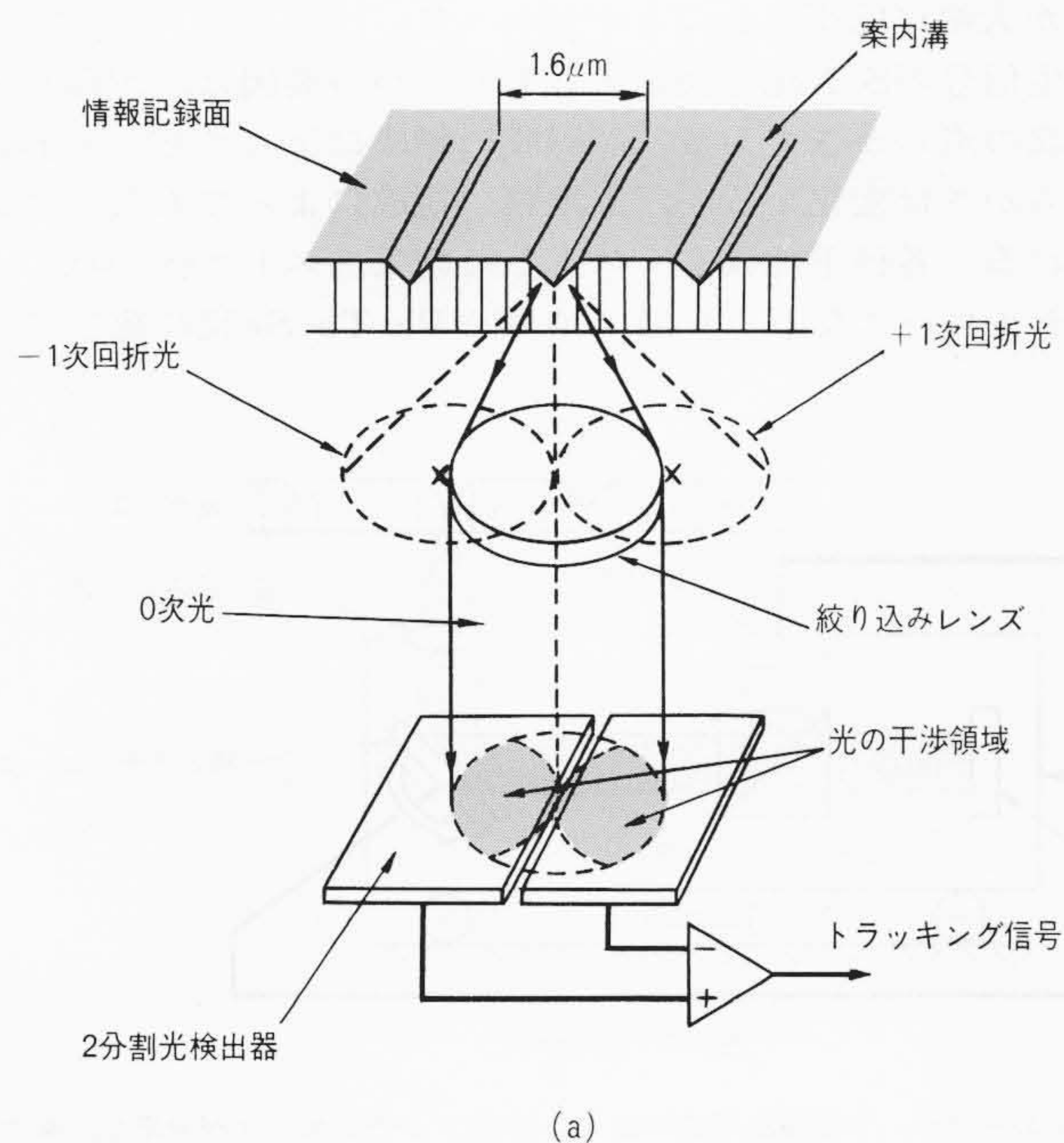


図5 トラッキング信号検出原理と改良の効果 (a)に検出原理を示す。案内溝からの光点のずれは、光の回折を利用して検出される。(b)は改良の効果を示す。3分割光検出器と開口数0.3のカプリングレンズを用いて、誤差 $0.03\mu\text{m}$ を実現した。

(0次光)と、案内溝からの反射光束(±1次光)を光検出器でとらえる。0次光と±1次光は光検出器上で部分的に重なり合って干渉し、案内溝と光点のずれに対応してその部分に明暗の変化が生じる。この変化を2分割光検出器の差動出力としてとらえることによって、トラッキング信号が得られる。しかし、この方式をそのまま用いると、ディスク面が光軸に対して傾いたときに、0次光及び±1次光が2分割光検出器上で大きく動き、トラッキング信号に誤差が生じてしまう。そこでこの問題を解決するために、光学系に以下の改良を施した。まず第1点は、光検出器の形状である。ディスクの傾きによる光束の動きの影響を受けにくい新しい3分割光検出器を開発した。この光検出器は同図(b)に示すように、円形の光検出面が大きく3分割されており、両端の小さな2個の領域でトラッキング信号を検出する。この検出領域の形状は、ディスク傾きによる光束の動き量から計算によって求められる。また、3分割の中央の部分はデータ信号検出に用いられる。改良の2点目は、カップリングレンズの開口数(NA)を小さくすることである。カップリングレンズは図2に示したように、半導体レーザから出た拡散レーザ光束を平行光束に変換するための素子である。この開口数(NA)を小さくすると光の利用効率は悪くなるが、平行光束の強度分布が均一になり、ディスクの傾きによる光束の動きの影響が小さくなる。以上の二つの改良の効果を図(b)に示す。3分割光検出器を用い、カップリングレンズの開口数を0.3とすることによって、最終的にトラッキング追従誤差を $0.03\mu\text{m}$ と大幅に小さくすることができた⁵⁾。

4.1.3 アクチュエータ技術

レーザの光点を任意の情報トラックにランダムアクセスし、また目標トラックに正確に位置決めするためには、高精度のアクチュエータ及びその制御技術が必要となる。このために、新たに2段アクチュエータ方式を開発した。

一般にディスクの偏心などによる情報トラックの動きは、低周波大振幅成分と高周波小振幅成分が含まれる。従来これを一つのアクチュエータで追従しようとしていたため、機構設計上無理が生じ、精度が得にくかった。図6に2段アクチュエータ方式の構成を示す。トラッキング信号を帯域分離し、低周波分を粗アクチュエータ、高周波分を精アクチュエータに分配し、協同して追従動作させている。この結果、特に精アクチュエータの動作範囲は $\pm 10\mu\text{m}$ 以下で済み、剛性向上を図ることができた。

ランダムアクセスの場合にも、この2段アクチュエータ方式の利点が活かされる。目的トラックへのアクセスは粗アクチュエータで駆動されるが、目標トラックの10本以内に入ると

精粗アクチュエータが連動を開始する。粗アクチュエータがトラック移動及び偏心への追従をするので、精アクチュエータの動きは最小化される。アクセスの高速化は粗アクチュエータでほとんど決まる。ボイスコイル形のリニアアクチュエータを開発し、平均アクセス時間0.25秒を達成した。

4.2 記録媒体技術

4.2.1 トラック案内溝精密形成技術

案内溝に沿って信頼性高く情報を記録再生するためには、追従目標となる案内溝をディスク基板上に安定性よく精密に形成しておく必要がある。案内溝は通常、ホトレジストを塗布したガラス原盤にレーザを用いてカッティングされ、ニッケルスタンパを介してディスク基板上的のニトロセルロースに転写して形成される⁶⁾。案内溝の断面は3角形に近い形状をしており、深さが $0.07\mu\text{m}$ となっている。このような微細形状を±10%程度の精度で常に安定に形成するためには、原盤のカッティングプロセスが最も重要になる。プロセス条件を固めるために、案内溝形状を非破壊で高精度に評価する技術を開発した。その基本原理を図7(a)に示す。案内溝をカッティングした原盤に直径約1mmのHe-Neレーザの光束を照射し、その回折光強度 I_0, I_1, I_2 、及び回折角 θ を測定する。レーザの波長を λ として、同図(a)に示す関係で案内溝のピッチ P 、幅 W 、深さ d が求められる。この評価方法を用いて、案内溝を目標の精度で安定に形成するためのレーザ露光条件、及び現像プロセス条件を決めた。実際に形成した案内溝の平面及び断面の電子顕微鏡写真を、各々同図(b), (c)に示す。

4.2.2 高品質記録膜技術

高いS/N比(信号対雑音比)と長期保存性をもつ記録膜、及び欠陥の少ないディスクプロセス技術を開発した。記録膜としては、Pb-Te-Se膜を開発した。Teを主体とする記録膜は、一般に記録感度が良く、信号のコントラスト比も良いが、酸化されやすいという欠点があった。TeにSeを少量添加することで酸化抑制されることが分かった。湿度97%、温度60℃の加速テストを行ない、Seを10%以上添加したものが2年以上変化しないことが確認された。これは50%、25℃の場合の約100倍の加速で、10年以上の寿命に相当する。Seだけの膜では結晶粒径が大きく、雑音レベルが高くなってしまった。これにPbを更に少量添加すると、結晶粒径が小さくなり、雑音レベルが大幅に低下することが分かった。

再生信号のS/N比を決定するもう一つの要因は、記録ピット形状の滑らかさである。記録膜の組成によってピット形状の滑らかさは変化するが、下地膜の組成によっても大きく支配される。各種下地膜をテストした結果、ニトロセルロース、酢酸セルロースなどの有機下地膜がPb-Te-Se膜に適してい

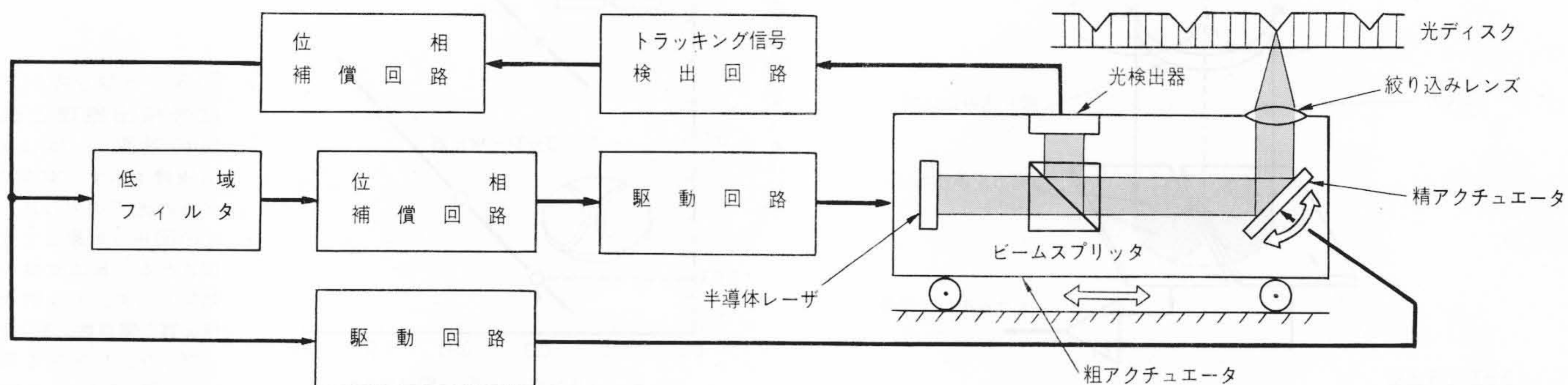


図6 2段アクチュエータ方式の動作原理 大振幅低周波の動きには粗アクチュエータが、小振幅高周波の動きには精アクチュエータが対応し、案内溝追従及びアクセスを行なう。

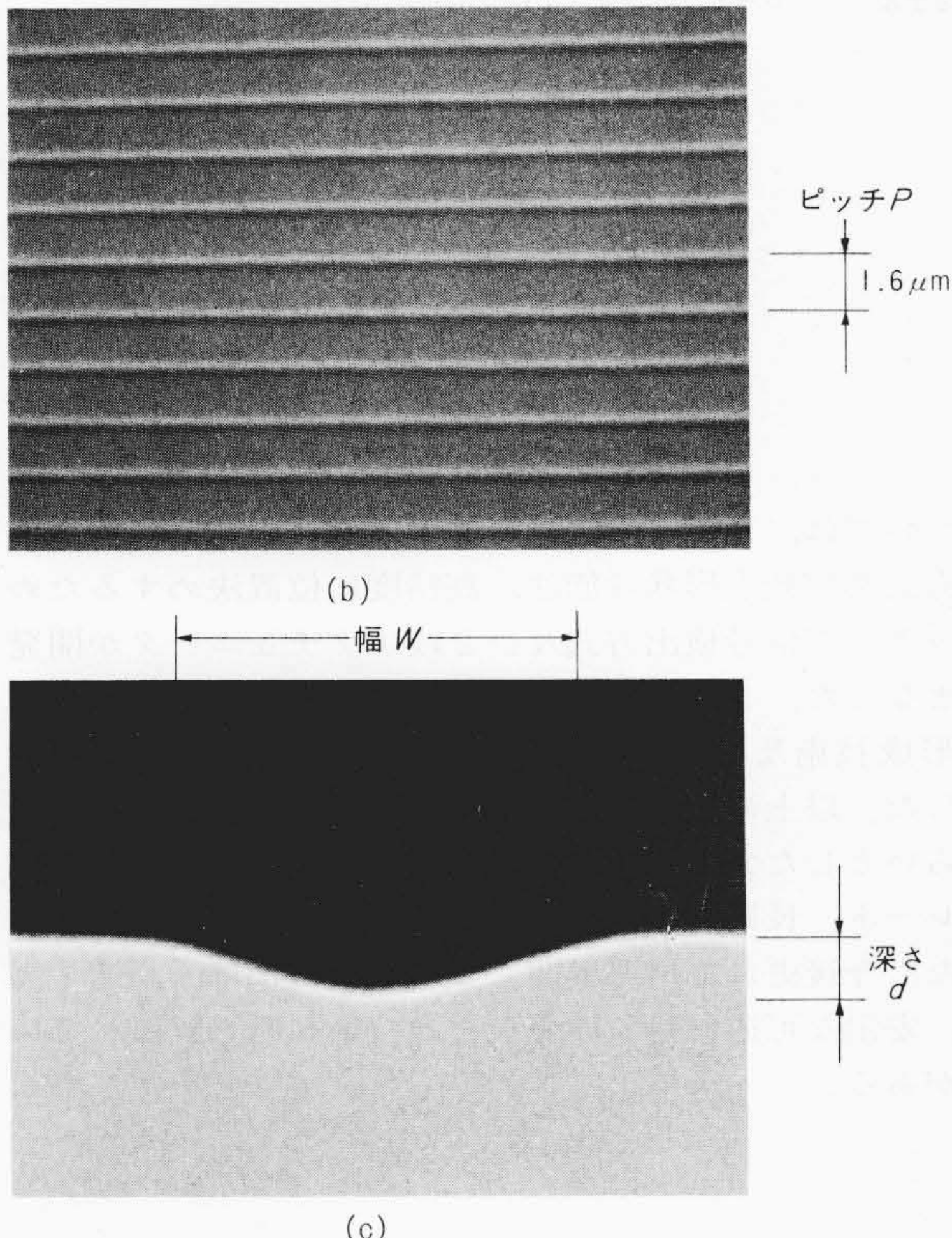
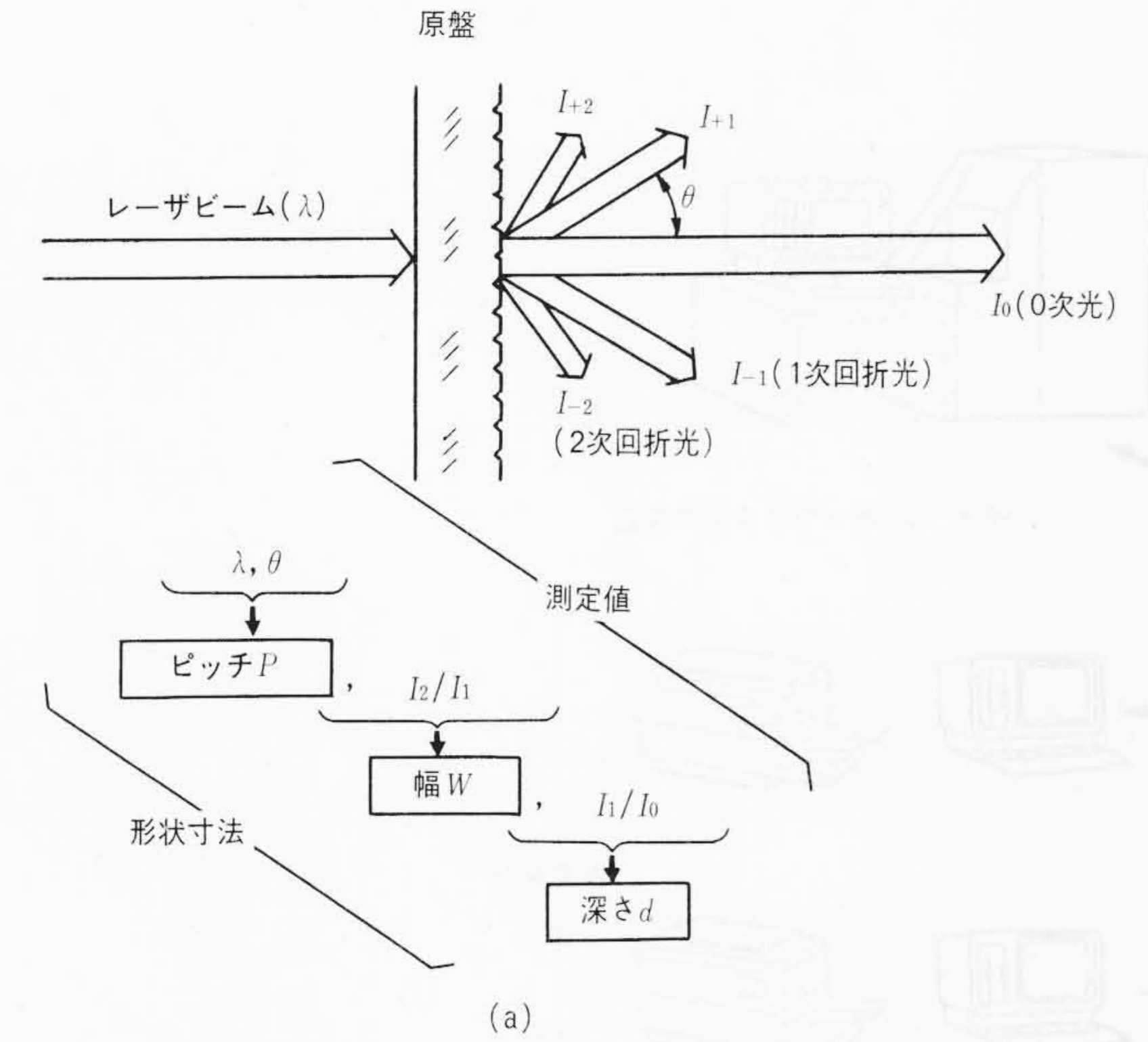


図7 案内溝形状の測定方法及び拡大写真 (a)に測定方法の構成と原理を示す。回折光の強度と角度を測定することによって、図の関係に従って形状寸法が求まる。(b),(c)に、案内溝の平面及び断面顕微鏡写真を示す。

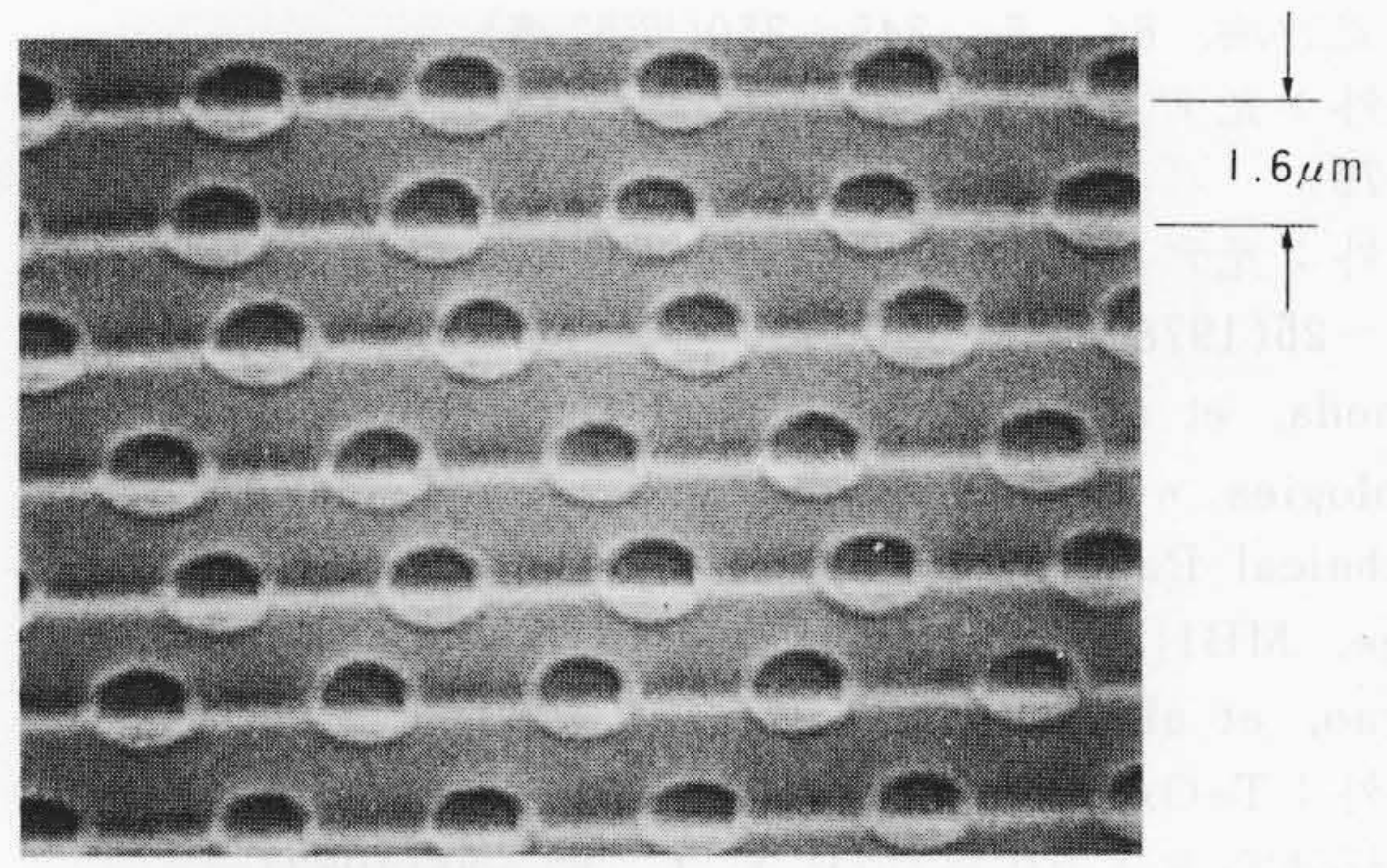


図8 記録ピット形状 案内溝に記録した直径 $0.8\mu\text{m}$ のピットの走査形電子顕微鏡写真を示す。

ることが分かった。図8に、案内溝上に記録したピットの電子顕微鏡写真を示す。

欠陥低減については、以下に述べる開発を行なった。(1)プロセスのクリーン化とレーザを用いた表面欠陥計測器の開発により欠陥低減と管理の徹底を図った。(2)有機下地膜によりスタンプとはく離性が改良され、レプリカ作成時の欠陥発生が防止できた。(3)記録膜厚を $\pm 10\%$ 以下に制御する技術を開発し、記録時の確実なピット形成が可能となった。

5 製品とその応用

開発した光ディスクファイルは、単板ディスクを取り扱う光ディスク装置と複数枚のディスクを取り扱うライブラリ装置がある。表1に装置、ディスクの主な仕様を示す。光ディスク装置は駆動機構を最大16台まで接続可能である。またラ

表1 光ディスクの装置、ディスク仕様一覧 光ディスク装置及び円板自動交換機能を付加したライブラリ装置の仕様を示す。ディスクはいずれの装置とも互換性がある。

項 目		光ディスク装置	ライブラリ装置
装 置	記憶容量 Gバイト/駆動機構	1.3~80	40/80(円板16/32枚)
	最大転送速度 (kバイト/秒)	1,500(バッファ付)	
	平均アクセス時間 (秒)	0.25	10
	ビットエラーレート (ECC後)	$10^{-11} \sim 10^{-12}$	
	円板装填方法	フロントローディング	自動交換機構付
	駆動機構台数	1~4	1~2
デ ィ ス ク	記憶容量	2.6Gバイト(両面)	
	トラック数(トラック/面)	約40,000	
	セクタ数(セクタ/トラック)	64	
	ディスク基板	ガラス	
	寸 法 (mm)	$\phi 300 \times 2.8$	

注：略語説明 ECC(誤り訂正符号)



図9 光ディスクファイルシステム“HITFILE60”の外観 入出力装置、ディスプレイ装置を備えている。

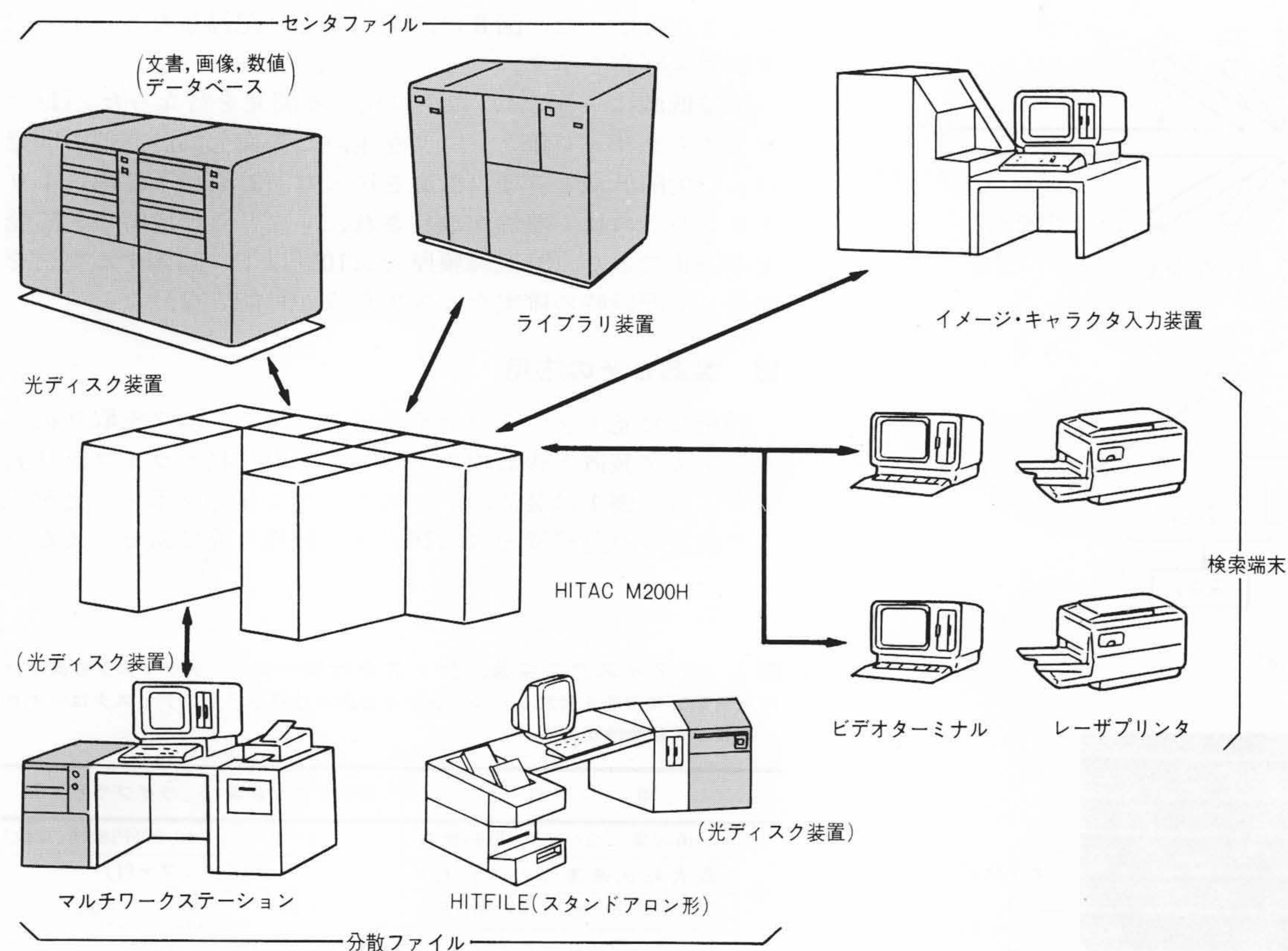


図10 光ディスクを用いたシステム構成例 光ディスク装置は、センタファイルとしてあるいは分散ファイルとして種々の使い分けができる。

ライブラリ装置は、円板自動交換機構を付加して大容量化を図ったものである。図9に一例として入出力装置、ディスプレイ装置を備えた光ディスクファイルシステム“HITFILE60”の外観を示す。ディスクはカートリッジに収納され、装置に装填される。

図10はこれらの装置を用いたシステムの構成例を示す。光ディスク装置、ライブラリ装置はセンタファイルとして大容量の文書、画像、数値データベースに用いられ、HITAC Mシリーズ汎用コンピュータに接続され、複数端末から検索することができる。また分散ファイルとしてHITAC T-560/20マルチワークステーションに組み込むこともできる。これらはセンタと接続することで、共通、個人ファイルの適切な使い分けが可能となる。

6 光ディスクファイル技術の将来方向

今後の光ディスクファイル技術の展開を考えた場合、大きく二つの課題がある。第1は、高速・高密度化技術である。垂直記録を含めた磁気ディスクの高速化、高密度化の動きに対抗して、優位性を維持する必要がある。具体的に、サブミクロン光点形成技術、新変調方式、記録膜の高感度化などが技術の核となる。第2は、可逆材料技術である。既に相変化材料、光磁気材料を用いた試作装置が幾つか発表されており、実用化に向けて開発が活発化している^{7),8)}。ファイルへの応用を考えると、なお安定性、S/N比などに改善の必要があるが、これら技術課題の解決によって、紙、ファイルを電子化するなど、光ディスク応用分野が更に拡大されるであろう。

7 結 言

コードデータの記録が可能な高信頼光ディスクファイルを目的として、装置及び記録媒体に関する技術開発を行なった。

参考文献

- 1) 角田：新コンピュータ時代を支える大容量メモリ，日本の科学と技術，22，212，70～74(1981)
- 2) 亀山，外：データベースシステム用ファイル装置の現状と動向，日立評論，64，5，345～350(昭57-5)
- 3) 寺尾，外：光ディスク，テレビジョン学会誌，33，9，688～694(1979)
- 4) 沢野，外：光ディスクと再生用サーボ機構，計測と制御，17，10，18～25(1978)
- 5) Y.Tsunoda, et al.: Optical Digital Data Storage Technologies with Semiconductor Laser Head, A Digest of Technical Papers of Topical Meeting on Optical Data Storage, MB1(Jan, 1983)
- 6) M.Terao, et al.: 同上, ThB2(Jan, 1983)
- 7) 竹永，外：TeOxによる消去機能つき光ディスク，第30回応用物理関係連合講演予稿集，7P-X-1，87～88(1983)
- 8) 今村：アモルファス磁性薄膜と光磁気メモリ，応用物理，50，11，1225～1231(1981)