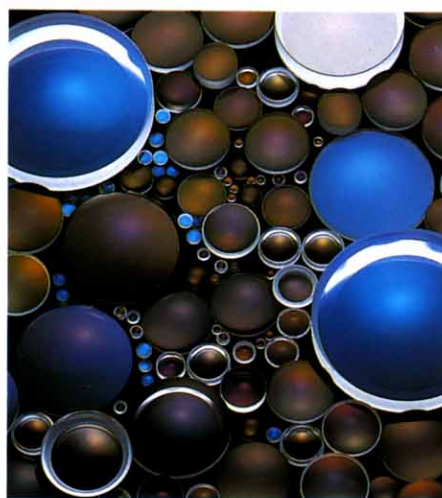


# コニカにおける光学技術の開発

## Optical Technology Today and Tomorrow

小嶋 忠  
オプト事業部



### Abstract:

In researching optics, the field of related technology is extremely wide. It covers from conventional optical technology like design, fabrication, measurement and evaluation of lens, to the recent combined technology with electronics and fine mechanics like laser, optical fiber, and so on. The progress of all this optical technology is remarkable.

As an example of optical application, lens technology is widely applied not only to the traditional area of still-camera but also to the area of audio-visual equipment, office machines, optical measuring instruments, medical equipment and computer peripherals.

Furthermore, if we count all the areas relating to optics, we recognize the infinite range of optics. For example, image processing, optical information processing, optical communication networks, optical computing will be in the range.

In this paper, current status and the future view of Konica's optical technology, Konica's lens products and optoelectro-mechanical products are mainly reported, as well as the recent trends in optical technology and its market. Especially, the latest progress in the technology of lens design method, aspherical lenses, high precision plastic lenses, and the latest trends in still-camera lenses, cam-corder lenses and optical disk lenses are reviewed in detail.

Kojima, Tadashi  
Optics Division

光学は紀元前4世紀頃のギリシャのアリストテレスやユークリッドなどによって、すでにその基礎が築かれた古い歴史を持つ科学の一分野である。この光学は今世紀になって活発に研究され、とくに第2次大戦後の光学技術の発展は目覚ましい。

戦後の初期はレンズの設計・加工・評価といったレンズ技術の研究・開発が中心であった。設計面ではレンズの自動設計やズームレンズの設計が、加工面では高速研磨加工や反射防止膜の開発が、測定・評価面ではMTF (Modulation Transfer Function) 研究が際立ったものであった。結果として、良好な性能のレンズが続々と誕生し、機能的にも焦点距離や画角の拡張、大口径化などがなされた。特にズームレンズは計算機の発展と反射防止膜の開発がなかったらとても今日のような普及は考えられないことであった。それ程ズームレンズは莫大な計算を必要とし、レンズ構成枚数も多く、各面での反射損失を押えることが必須の要件であった。新しいレンズの開発は今日も脈々と続いている。

中期においては、新しい光源としてのレーザー、光伝送路としての光ファイバー、光の波面記録を行なうホログラフィー技術などが開発された。今日レーザーは光加工や光計測分野ではなくてはならない光源であり、特に半導体レーザーはコンパクトディスクや光ディスクさらには光通信の信号光源として極めて多量に利用されている。光ファイバーは光通信や光LAN (Local Area Network) あるいは機器内配線の重要部品として活躍している。ホログラフィーは波面再現の他、3次元画像の実現、CGH (Computer Generated Hologram) に代表されるような計測手段および記録媒体などに用いられている。

後期すなわち最近においては、レンズ分野では非球面レンズ、プラスチックレンズ、ガラスモールドレンズ、屈折率分布型レンズなど新しい素材や加工法に基づくレンズが関心を集めている。金型加工用の超精密切削技術SPDT (Single Point Diamond Turning) がもはやなくてはならない技術となっている。微小光学から光集積回路、光計算機などの分野で活発な研究がなされている。

以上は数多く開発されてきた光学関連技術の中でも特にエポックメイキングなものである。これら光学技術を応用した製品も多分野に渡って開発されてきている。第2次大戦直後の民生機器として重要な地歩を築いたカメラは今日も成長路線を歩み続けている。顕微鏡・望遠鏡・測定機といった、やや古典的な光学機器のみならず、複写機・ファクシミリ・POSといった事務機器、レーザービームプリンター・光ファイル・光磁気ディスクドライブなど計算機周辺機器、ビデオカメラ・コンパクトデ

ィスク・ビデオディスク・プロジェクションTV・スチルビデオなどの映像音響機器といった比較的最近の機器においても光学技術はなくてはならない重要技術となっている。特に光ディスクやカメラ一体型VTRは1990年代は勿論21世紀に入っても大きく成長することが予想されている。

また光通信、光情報処理、光計算機などの先端技術分野での製品も将来的には大いに期待される。21世紀が光の世紀と云われている所以はまさにこのような背景からくるものであろう。本文においては、レンズを中心とする光学技術およびその応用製品の動向をコニカにおける現状を紹介しながら展望したい。

## 2 最近の光学技術をとりまく動向と企業の対応

今後下記製品・技術を以下のような略称で記述する。

- ・カメラ一体型ビデオテープレコーダー用ズームレンズ=VTRズームレンズ (Video Tape Recorder Zoom Lens)
- ・レンズシャッターコンパクトカメラ用レンズ=LSレンズ (Lens Shutter Lens)
- ・一眼レフレックスカメラ=SLRカメラ (Single Lens Reflex)
- ・コンパクトディスクプレーヤー=CD (Compact Disc)
- ・ビデオディスクプレーヤー=VD (Video Disk)
- ・追記型光ディスクドライブ=WORM (Wright Once Read Many)
- ・光磁気ディスクドライブ=MO (Magneto Optics)
- ・レーザービームプリンター=LBP (Laser Beam Printer)
- ・プロジェクションテレビ=PTV (Projection TV)
- ・オートフォーカス=AF (Auto Focus)
- ・屈折率分布型レンズ=GIO (Gradient Index Optics)
- ・半導体レーザー=LD (Laser Diode)

### 2.1 最近の光学技術の特徴と企業の対応

最近の光学技術には、いくつかの特徴的な動向が見られ、それらに対する企業の対応の仕方にも以前とは異なるものが見られる。

(1) 光学技術の高精度化 理想レンズと云われる回折限界光学系が民生用の機器に多用されるようになってきた。CD、VD、WORM、MOなどの光ディスク用ピックアップ対物レンズはいずれも回折限界光学系が利用されている。ステッパー用のレンズは光ディスクレンズと異なっており、大きなイメージサークル全体に亘って回折限界性能が要求され、まさにレンズの王様である。このように設計的にも加工的にもその限界を極めるレンズが今後ますます多用されてこよう。

(2) 光学技術の複合化 光学に限らないのであるが昨今、技術の複合化が目立ってきている。光学の場合、オプトエレクトロニクスやオプトメカトロニクスあるいはメ

カノオプティックスといったオプティックスとエレクトロニクスやメカニクスとの組み合わせ技術が発展してきている。単なる技術の結合ではなく、機能、性能を満たすための技術の最適の組み合わせや技術の入れ替えがなされる。代表的なものは光ディスクドライブ用のピックアップ、ドライブのオプトメカトロニクスユニット、LBP光学走査系、AFレンズ、などである。最近のVTR用ズームレンズなども従来のオプティックスとメカニクスの組み合わせではなく、エレクトロニクスを十分に駆使して、例えばピントの位置出しをカム精度に頼ることなく電気的に補正するといった手段もとられている。

(3)微細化の技術 製品の小型化実現のために微細化の技術も進んでいる。光学分野では微小光学(Micro Optics)が一つの流れを形成しつつある。従来からの光学素子を単に極限的に小さくすることだけではなく、画像微分割の光学系や導波路的な新しい素子も研究されてきている。

(4)量産と超低価格化 民生分野における機器は、それがどれ程技術的に高度であろうが、大きな市場形成をはかるために徹底的な低価格の戦略がとられる。従って生産コストの極限追求が設計を含めて絶えず執拗なまでになされる。生産コストの低減が不可能になったとき、商品の寿命はつきる。

(5)電気企業における光学への参入 レンズ中心の光学は光学企業のものという状況はとっくに過ぎ去り、電気企業特に家電にとっては光学が最重要分野になりつつある。家電が持つ強大な資本力と幅広い開発力は、彼等の製品、例えば光ディスクドライブ、VTRカメラ、あるいはプロジェクションTVなどの光学やレンズがかかわる製品が増えれば増えるほど、従来の光学企業以上に光学の研究開発に力をそそいできた。結果として最近では先端を行く家電企業の光学の力は光学企業以上になっている。また開発のみならず生産面にも大きな力を入れており、レンズを含む光学部品を電子部品と同等の扱いで内製化を始めており、いずれ近い将来電子部品事業と同様に光学部品事業にも進むものと思われる。従って従来の光学企業にとっては、家電企業は手強い競争相手となってこよう。

## 2.2 コニカにおける光学事業への対応

コニカにおける光学に関する歴史をたどってみよう。元々カメラレンズを中心とするカメラ光学の開発が光学の大きな目的であった。組織的にも1983年迄、光学部門はカメラ部門の中に所属していた。しかし、コニカではカメラ以外にも光学技術を必要とする商品すなわち、複写機、ビデオカメラ、ファクシミリ、LBP、感材機器など沢山あった。これら映像機器、情報機器の光学に関するニーズに対応するため、1984年に光学開発センターがカメラ部門から独立して組織された。現在も光学開発センターにおいて光学要素技術の開発とコニカ社内の各部門要請の光学技術開発に対応している。

一つの事業単位が大きくなると、光学もその事業内に含めてしまう傾向が強い。そのことによって当該事業の展開は一見行ないやすい。しかしこのような縦割り組織に光学を位置づけると、光学技術の発展には制約が多くなる。光学技術の発展のためには光学をまとめて一つの組織内に位置づけ、横断的に各事業、各商品に対応する方がよい。こうした理由で光学同業企業における光学の位置づけも縦断型になったり、横断型になったりや選択がくり返されてきている。コニカの場合、事業規模も関係して光学開発センターへの技術集約型に近い形が続いている。それでも取り扱っている光学技術の範囲はそれ程広いわけではなく限定されている。

光学技術の強化発展を目的に光学技術を母体とした事業がオプト事業で、1984年に事業開発グループ、1986年に事業推進室、1988年に事業部となり今日に至っている。事業部としてはやや特異な構成で全社対応の光学開発センターを内包しているが、開発・生産受託型の事業が中心である。オプト事業部は非球面レンズ、プラスチックレンズ、ズームレンズの開発に特に力を入れその応用製品で事業の基礎を作ったものである。高精度非球面プラスチックレンズの代表例であるCD用ピックアップ対物レンズ、VTRズームレンズなどが起業のきっかけとなっているが、今後は高精度のオプトメカトロニクス技術応用の製品で事業拡大をはかることが計画されている。

## 3 主要な光学技術の展望とコニカにおける開発の現状

光学に関する素材、設計、加工、生産、測定、評価などの主要な要素技術をTable 1に示すが極めて多岐に亘っている。これらの内から主要なものを選び、その動向とコニカにおける現状を紹介する。

### 3.1 レンズ設計<sup>1)</sup>

#### (1)技術の現状と将来展望

光学技術の中でも最も基盤となるレンズ設計は計算機の実進と共に目覚ましい進歩を遂げ、設計適性と長い経験を要する特殊技術から一般技術に変わりつつある。とは云え鋭い勘をもったベテラン設計者によって設計の飛躍がはかられていることも事実である。主要な動向として以下のことがあげられる。

①レンズ用素材の増加；光学ガラス<sup>2)</sup>以外に光学プラスチック<sup>3)4)</sup>、結晶、GIO<sup>5)</sup>などが設計対象となり、素材の特性を考慮した新しい設計法が開発されてきた。②レンズ設計パラメーターの拡張；レンズはFig.1に示すようにレンズ面の曲率半径R（一般に面形状は球面）、レンズ面の頂点間の距離Dおよびレンズを構成する素材の屈折率Nの3種の設計パラメーターの組み合わせで表現される。一般にR、D、Nは一定の値をとり、従って $R_1 \cdot D_1 \cdot N_1$ 、 $R_2 \cdot D_2 \cdot N_2$ 、……を順次定める（これがレンズ設計である）こと

Table 1 Basic technology of lenses and optoelectro-mechanical units

要素技術 要素部品・ユニット	素 材	設 計	加工・生産	測定・評価
レンズ	光学ガラス 光学プラスチック 光学結晶 GIO素材	レンズ設計 レンズの自動設計 非球面レンズ ズームレンズ GIO 設計ソフト	ガラスレンズ加工 高速研磨 ガラスレンズモールド プラスチックレンズモールド 金型の超精密加工 GIO加工	レンズ設計パラメータ 〔曲率半径、面間隔〕 〔屈折率、偏心など〕 レンズ機能 (焦点距離、Fナンバーなど) レンズ性能 (MTF、周辺光量など)
レンズ鏡胴	金属 エンジニアリングプラスチック	鏡胴設計 ズームレンズ機構	金属加工 エンジニアリングプラスチックモールド	鏡胴機能 作動感触など
薄膜	薄膜材料 〔MgF <sub>2</sub> , Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 〕 〔SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> など〕	反射防止膜 増反射膜 偏光膜 ダイクロイック膜	蒸着 スパッタリング 塗布など	分光反射率 分光透過率 薄膜強度など
オプトメカトロニクス デバイス 〔例えば AFユニット LBP光学ユニット 光ピックアップ 光ディスクドライブ ユニットなど〕	光学部品 〔レンズ、ミラー、フィルター〕 〔ファイバーなど〕 機構部品 〔アイリス、バネ、モーター〕 〔など〕 電子部品 〔LED, LD, PD, IC〕 〔LSI, ゲートアレイなど〕	光学配置設計 機構設計 振動・共振 回路設計 ソフト設計 LD制御 アクチュエータ制御	接着 調整 組立 自動組立 ブレッドボード	各種特性値の測定 評価・規格設定 検査機開発など

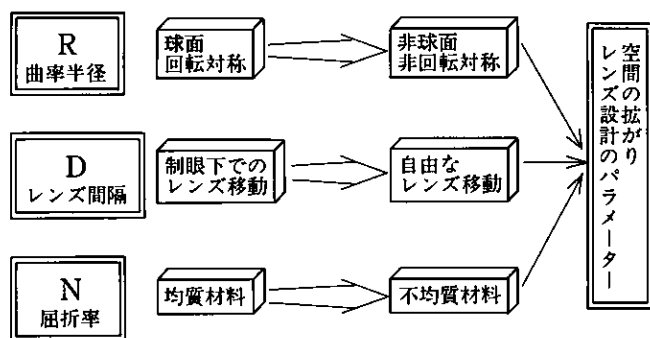


Fig.1 New wave of lens design

によってレンズ構成が定まる。面形状を球面から変形することで非球面が得られる。2つのレンズ間の間隔を変えることで焦点距離が変わり、レンズ系中のレンズ群の移動を制限下で行なうことによりズームレンズが得られ、さらに自由なレンズ移動を行なって光学的には可変焦点距離レンズとすることもできる。さらに均質な素材から素材の屈折率を連続的に変えることで不均質のGIOが得られる。このようにしてレンズの設計空間を大幅に広げることができる。いわばレンズ設計の新しい波が始まったとよい。このようにして得られたプラスチック非球面レンズ、ガラス非球面レンズ、ズームレンズ、GIOなどは結果としてレンズ系の小型化、高性能化、レンズ枚数の削減、低コスト化などに寄与することになる。③レンズ設計法の改革；自動設計<sup>6)7)</sup>が収差の最適化(Optimization)からより一層自動化度の高い自動設計

へと発展している。設計対象も球面系の単焦点距離レンズのみならず、ズームレンズ、非球面レンズ、GIOにまで及んでいる。さらに収差補正のみならず、レンズ系の誤差敏感度に至るまで収差として扱うことによって加工性の秀れたレンズを得ることもできる。レンズ設計に人工知能を応用することも試みられ、実用にも供せられるようになってきている。④レンズ設計へのエレクトロニクスの応用；レンズ系の中の個々のレンズの位置決めを高精度に行なうために、必要な情報をあらかじめ記憶しておき、計算機によってコントロールすることなどエレクトロニクスをレンズ設計にとりこむことが始まった。

(2) コニカにおける対応

コニカでは以上のような技術動向をすべて取り入れてレンズ設計技術の向上に取り組んでいるが特にプラスチックレンズ、非球面レンズおよびズームレンズの設計開発に力を入れている。GIOに関する設計法の改良<sup>9)</sup>やGIO技術の製品開発への応用<sup>9)</sup>なども行なっている。また、自動設計では、特に加工誤差を考慮した最適設計手法の開発や対象とする光学系の拡張を行なっている。

3.2 高精度プラスチックレンズ

(1) 技術の現状と将来展望

プラスチックレンズは多くの利点すなわち、①軽量、②非球面レンズ化が容易、③省力化・自動化・多量生産向き、④多量生産時には低生産価格の実現が可能、⑤物性上の利点として耐衝撃性にすぐれることやヤケヤカビに強いことなどがある。ただし欠点も多く①耐熱温度が

低く比較的低温で熱変形が起きる、②屈折率の温度による変化が大きい、③吸湿性が大きく、屈折率の湿度による変化が大きい、④複屈折が大きい、などである。欠点をカバーしながら利点を伸ばすことで光ディスクレンズのような超高精度レンズにまでプラスチックの利用が広がっている。従来から利用されていた高分子素材、たとえばPMMA (Poly Methyl Metacrylate)、SAN (Styrene Acrylonitrile)、PS (Poly Styrene)、PC (Poly Carbonate) などに加えて、最近では耐熱、耐湿の改良されたTable 2に示すOZ1000、WF100、TE301なども利用されている。MH樹脂はカタログデータに基づくが大変魅力的な素材である。

(2) コニカにおける対応

コニカではプラスチックレンズ開発にとくに力を入れてきたことは前述のとおりであり世界の最高水準を維持してきている。コニカにおけるプラスチックレンズ適用

の歴史をTable 3に示す。

3.3 非球面レンズ<sup>(10)(11)</sup>

(1) 技術の現状と将来展望

非球面レンズは球面や平面からずれている表面をもつレンズとして定義される。非球面の表現は面上の各点の座標の値でなされるが、光軸に回転対称な非球面のときFig.2の座標系で光軸方向をX軸にとると、

$$X = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)c^2h^2}} + \sum a_i h^{2i}$$

で表わされる。ここにc = 1/Roは面の頂点曲率、Roは面の頂点の曲率半径、hは

$h = \sqrt{Y^2 + Z^2}$ 、 $a_i$ は非球面形状の係数で、iは級数展開による非球面形状の次数、 $\kappa$ は回転2次曲面を示す係数で前式は回転2次曲面からのずれを示している。非球面レンズを利用することの利点は、①光学性能の向上、すなわち球面収差・コマ収差・非点収差などの鮮鋭性能の改善や

Table 2 Main characteristics of plastic materials

Name of plastic material	(Temperature durability). Thermal deformation temperature	(Moisture durability). Saturated moisture absorption coefficient	Comparison of birefringence	Comparison of strength	Comparison of price	Remarks
PMMA	100°C ( 75°C)	2%	1	1	1	
SAN	93°C ( 65°C)	0.8%	15	1	0.9	Non-acrylic
PS	87°C ( 60°C)	0.1%	20	0.9	0.8	
PC	135°C (120°C)	0.4%	8	1	2	
OZ-1000	103°C ( 80°C)	1.2%	1	0.6	5~6	Hitachi Chemical Co., Ltd.
TE- 301	122°C (100°C)	1.8%	1	0.8	4~5	Mitsubishi Rayon Co., Ltd.
WF- 100	104°C ( 80°C)	1.2%	0.8	0.6	4~5	Mitsubishi Rayon Co., Ltd.
MH	160°C (.....)	0.5%	.....	.....	.....	Japan Synthetic Rubber Co., Ltd.

Note: The value in parentheses in the column of 'thermal deformation temperature' is one at which the wave front aberration changes when the corresponding plastic material is formed to be a lens.

Table 3 History of konica's plastic lenses

生産開始	適用製品	製品名	用途	レンズ仕様		構成	
				焦点距離	FNo/NA	GL	PL
1970	LSカメラ	さくら バック100	撮影レンズ	f=38	F11		1
1973	LSカメラ	コニカ C35	ファインダー系			1	1
1982	LSカメラ	コニカ EFJ/ポップ	撮影レンズ	f=36	F4	1	3
1983	LSカメラ	コニカ MGD	撮影レンズ	f=35	F3.5	3	A1
1984	LSカメラ	コニカ レコーダー	撮影レンズ	f=24	F4	3	A1
	CDプレーヤー	多数	ピックアップレンズ	f=4.5	NA0.45		A1
1985	TVプロジェクター	パイオニア	投影レンズ	f=156	F1.2	1	A3
1986	CD/VDプレーヤー	多数	ピックアップレンズ	f=3~4.5	NA.45~0.50		A1
	SLRカメラ	コニカズームヘキサノン	交換レンズ	f=35-70	F3.5-4.5	7	A1
1987	DRAW/MO	多数	ピックアップレンズ	f=3~4.5	NA.53~0.55		A1
1988	ビデオカメラ	JVC	撮影レンズ	f=8.5-51	F1.4-1.8	11	A2
	レーザビームプリンタ	多数	CY/fθレンズ	f=150、300DPI、レターサイズ用			
1990	プラスチックレンズ適用品種の拡大と高精度化						

AX; 非球面 X枚、AX; 両面非球面 X枚

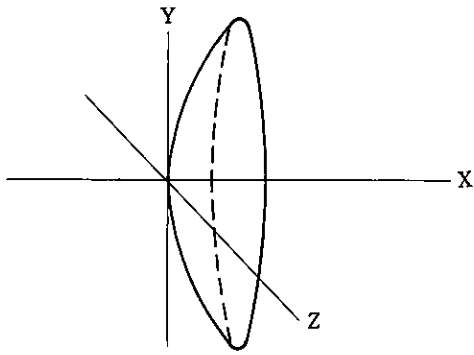


Fig.2 Coordinate system of aspheric surface

歪曲収差の改良など、②光学機能の向上、たとえば球面レンズ系では実現できない大口径レンズ、超広角レンズ、超薄型レンズなどの実現、③レンズ構成枚数の節減、などがあげられる。

非球面レンズの加工方法としてはFig.3に示すようにいろいろあり、夫々一長一短がある。非球面レンズの生産という観点からは圧倒的にプラスチックモールドの方法が

よい。プラスチック素材の欠点に影響しない範囲では最も利用価値が高く、低価格で生産することができる。非球面プラスチックモールドレンズの製造工程において金型設計、金型加工、<sup>12)</sup>レンズ成形が最も重要な技術となる。光ディスクレンズのような回折限界レンズ実現のために面形状精度として約 $0.05\mu\text{m}$ を実現させねばならない。金型設計では特に偏心誤差が生じないように留意がはかられる。金型のコア材料としてはクロム合金ステンレス鋼に無電解ニッケル層を形成させたものを用い、この加工はダイヤモンドツールによる超精密切削加工によっている。超精密成形のためには圧縮成形や射出圧縮成形が望ましいが、射出成形でもかなりの超精密成形が可能となる。非球面プラスチックモールドレンズの今後の課題はより一層の精度の向上、大径レンズの成形そしてコスト低減である。

非球面ガラスモールドレンズの場合も、金型設計、金型材料、金型加工およびレンズ成形が重要技術となる。非球面ガラスモールドレンズの課題は非常に多く、高温成形を必要とすることから、金型コア材料の選択、金型温調システムの設計、プリフォーム材の選択、コアより

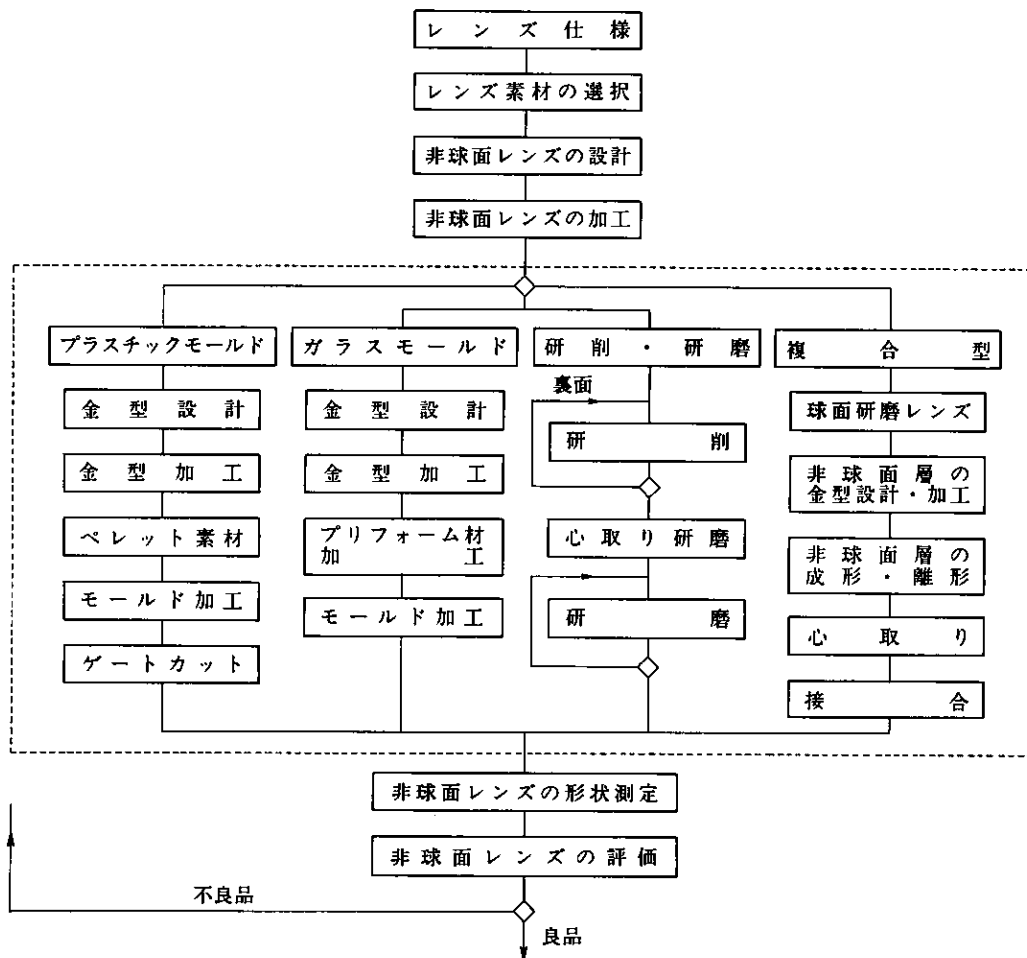


Fig.3 Four methods of aspheric lens manufacturing

のレンズの離形、金型の寿命向上など多くある。さらに製造コスト低減の問題も重要で、このためプリフォーム材を使わず溶融ガラスより直接モールドすることも必要であろう。

(2) コニカにおける対応

コニカでは光ディスクレンズをはじめとして、カメラレンズ、VTRズームレンズ、LBP用fθレンズなど世界に先がけて非球面レンズの高精度光学系への適用をはかってきた。Table 3中の非球面を含むレンズ系が非球面レンズ(プラスチック非球面レンズであるが)のコニカにおける歴史でもある。

コニカでの非球面モールドプラスチックレンズの加工水準は高く、世界の最先端にあり業界をたえずリードしてきた。今後はさらに高精度化をはかることと、量産効率の一層の向上をはかることである。ガラスモールドレンズについても将来基幹技術として重要な位置づけになると判断し、開発、量産準備を行なっている。

3.4 高精度測定・評価技術

(1) 技術の現状と将来展望

高精度光学系実現のためにレンズや金型の精度あるいはレンズの性能を高精度で測定、評価することが必要要件となる。レンズあるいは金型で重要となるのは①表面形状の寸法精度と②表面の仕上げ精度である。①は曲率半径の誤差で0.05~0.1μmが、②は表面粗さで0.03μm程度が要求される。レンズの性能評価のためには波面収差の測定が必要となる。金型の面精度や波面収差の測定に

は干渉計が最も適している。代表的なトワンマン・グリーン干渉計の光学原理図をFig.4に示す。ビームスプリッターで2つに分離された光束の一方が被験レンズを通して参照凹面ミラーで反射され、再度被験レンズを通りビー

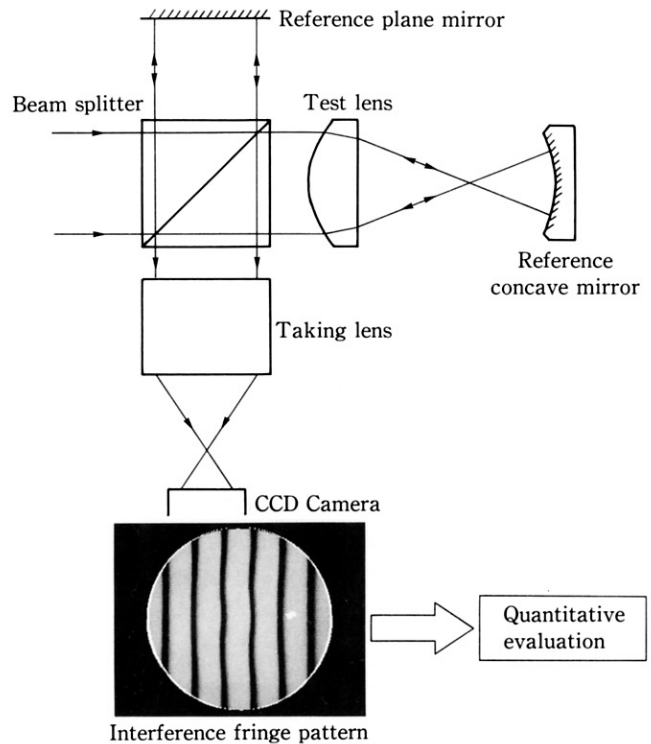
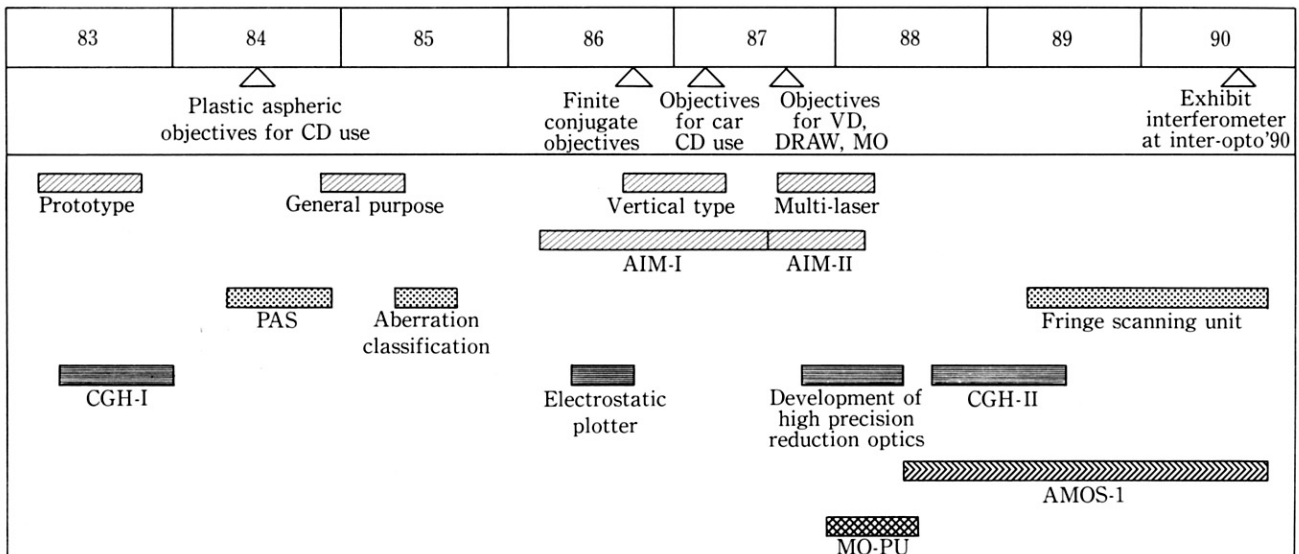


Fig. 4 Twyman-green interferometer



Classification ( Twyman-green interferometer, Fizeau interferometer, Quantitative evaluation system, Mach-zehnder interferometer, Hologram interferometer )

Abbreviations; AIM: Automatic interferometer, AMOS-1: Advanced multi-purpose optical system, PAS: Pattern analysis system, MO-PU: Interferometer for evaluation of optical pick up for magneto-optical disk, CGH: Computer generated hologram

Fig. 5 History of konica's interferometer development



ムスプリッターで再合成されることで干渉がおり干渉縞が生ずる。この縞の歪が波面収差を示す。

(2)コニカにおける対応

コニカでは高精度レンズ実現のために高精度の測定・評価技術を重視し、様々な測定機を開発してきた。コニカにおける最近の干渉計開発の歴史をFig.5に示す。代表的な干渉縞の写真をFig.4に、自動干渉計AIMの写真をFig.6に示す。なお昨年（1990年）のインターオプトショーに展示し好評を得た多機能干渉計についてはKONICA TECHNICAL REPORTの本号（Vo1.4 JAN1991）の該当論文を参照されたい。

3.5 光学薄膜

(1)技術の現状と将来展望

光学薄膜には反射防止膜、増反射膜、干渉フィルター用薄膜、ダイクロイック膜、偏光膜などがあり、目的に応じて多くの薄膜が開発されている。

(2)コニカにおける対応

コニカにおいても単層反射防止膜から始まって、半透明膜、多層反射防止膜、プラスチックレンズ用反射防止膜、ダイクロイック膜、偏光膜など数多く開発し実用化

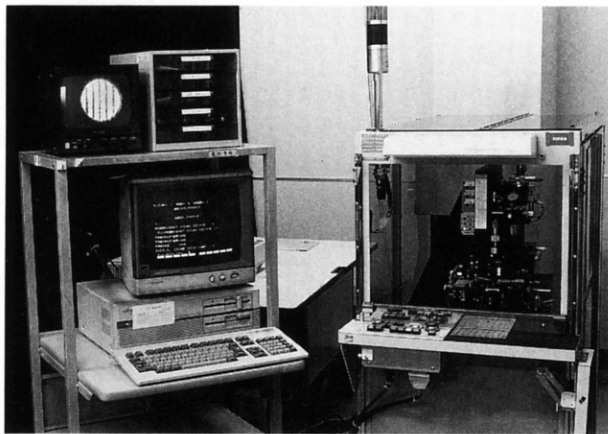


Fig.6 Picture of konica's automatic interferometer (AIM)

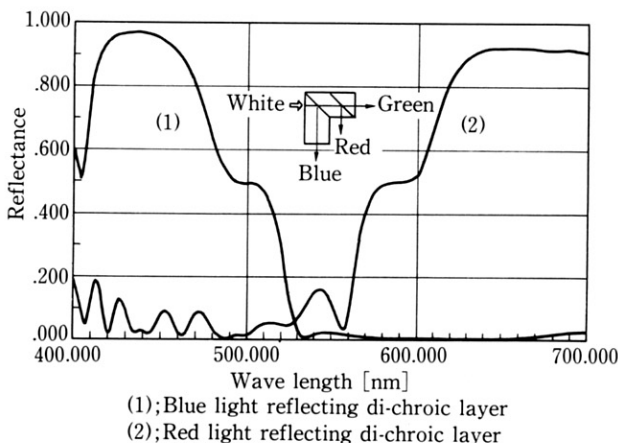


Fig.7 Spectral reflectance of di-chroic filter for digital color copier

してきている。デジタルカラープリンター用のダイクロイック膜の特性をFig.7に、MOドライブ用偏光膜の特性をFig.8に示す。

3.6 AF<sup>(13)</sup>

(1)技術の現状と将来展望

AFの構成はFig.9に示すようにオプティクス技術が主体となるピント状態検出部、エレクトロニクス技術が主体となる演算制御部および付加情報部そしてメカニクス技術によるフォーカス駆動部の4つの部分より構成される。AF方式を分類するとFig.10のようになるが夫々一長一短があり目的によって使い分けられている。AF評価項目として、合焦精度、制御範囲、感度、検出エリア、パララックス、苦手被写体、消費電力、形状、重量などがあげられる。ビデオカメラ用AFとスチルカメラ用AFとでは要求される特性が異なってくる。その比較をTable 4に示す。

(2)コニカにおける対応

コニカではビデオカメラ用AFとしてハネウエル社のTCL (Through the Camera Lens) モジュールを用いた瞳分割の高精度パッシブAFを1982年に実用化し、以来多量生産を行なってきた。さらに赤外方式のAFから、ビデオカメラのCCD (Charge-Coupled Device) の情報を得てAFとするビデオAFに到る迄、すべての方式のAFを実用化して

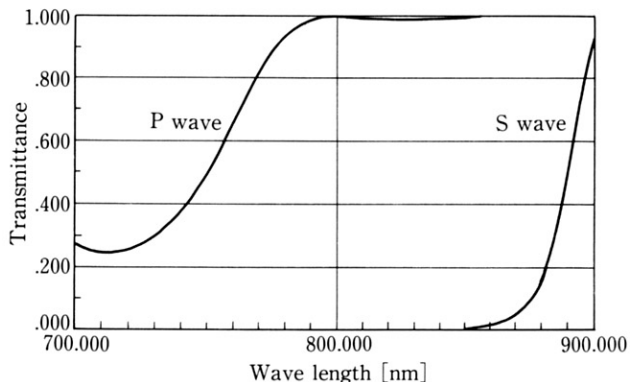


Fig.8 Spectral transmittance of polarizing filter for MO pick-up

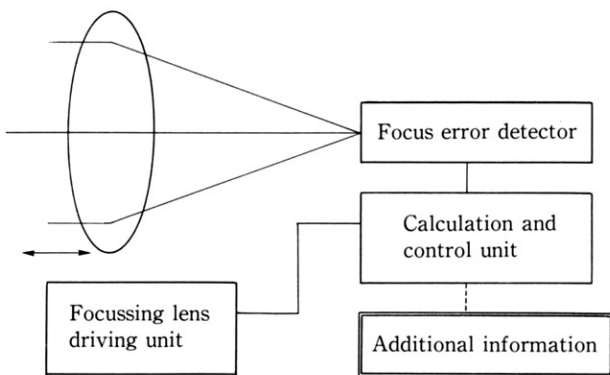


Fig.9 Construction of auto-focus system



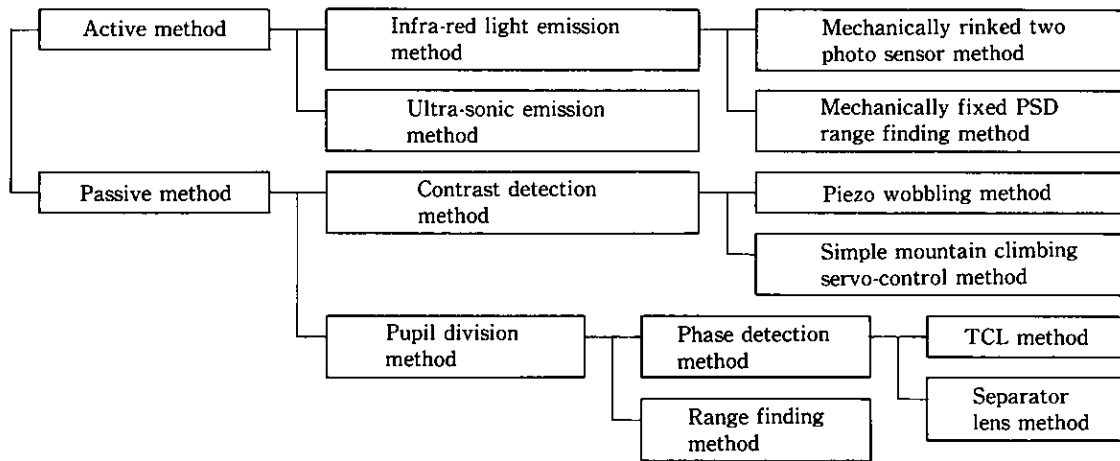


Fig.10 Classification of auto-focus methods

きた。どの方式にも夫々の長所と短所があるが、AF性能の一層の改良とコスト低減に向けて研究が進んでいる。

Table 4 Characteristic difference between cam-corder AF and still camera AF

Item	Video camera use	Still camera use
Focusing accuracy	Within depth of focus: Specific lens use	Within depth of focus: Interchangeable lens use
Control speed	About 2 to 3 seconds	Within 0.5 seconds. Quick response
Stability	To keep focusing stability	To pursue accuracy and speed
Sound noise	To be as silent as possible	Shutter chance is preferable to sound noise
Others	Continuous control	One chance

Table 5 Optical products using lenses in various fields

産業分野	商 品
映 像	カメラ、VTRムービーカメラ、ステルビデオVD、プロジェクションTV、映写機
音 響	CD
光学機器	顕微鏡、双眼鏡、望遠鏡、光学測定機 干渉計
情報機器	複写機、OHP、POS、製版カメラ、LBP、 ファクシミリ、光ファイル、MOドライブ
医用機器	めがね、コンタクトレンズ、内視鏡 X-rayカメラ、レーザーメス、CT
産業用機器	万能投影機、FA機器、検査機器、ステッパー レーザー加工機
交通・運輸	車両光学系
航空・宇宙	航空カメラ、スペースオプティクス機器
建設	監視カメラ、ドアホンカメラ

## 4

### 光学技術応用製品の現状と コニカにおける状況

光学技術を応用した商品は非常に広い分野に及んで、

その種類も極めて多い。最近光技術という言葉もよく用いられるが、これは従来の光学技術に加えて、光源にレーザーを用い、光伝送に光ファイバーを用いる分野であると云われている。いずれにしても、光を対象とするとレンズ関連以外にも極めて多くの分野が存在する。すなわち光エネルギーを直接利用する照明分野や光加工分野、太陽電池・受光素子・発光素子など光物性を利用する分野など多々ある。

レンズを応用した産業分野とその中での主要製品の一例をTable 5に示すが、この表からもレンズ応用分野がいかにも多岐に亘り、かつその製品の種類の多いことが一瞥できる。

コニカにおいては、カメラをはじめとして、複写機、ファクシミリ、LBP、ステルビデオカメラ、感光材料プリンターなど多くの光学製品を扱っている。光学的な観点からするとこれら光学応用製品の基礎はレンズやプリズムあるいは薄膜といった光学素子そのものである。我々はコニカの光学製品のみならず、広く外に向って、光学素子を基にレンズ、光学ユニット或いは光学デバイスを開発し、さらに一部はエンド商品として育成してゆこうとしている。対象市場はコンシューマー、ノンコンシューマー、製品はOEMから自主ブランド迄その枠を広げてゆく考えである。Fig.11に開発領域の概念を示す。

以下主要な光学関連製品の技術・市場動向とコニカにおけるレンズ、光学ユニット等の開発状況について述べよう。

#### 4.1 カメラ用レンズ

##### (1)市場・技術動向

SLRカメラ、LSカメラを問わずズームレンズの比率が非常に増加してきた。LSカメラについて言えば、'89年の日本での出荷台数1950万台の内約20%がズームレンズ付きである。40-70ミリ、35-70ミリ、40-80ミリなど当初変倍比2倍前後のレンズが多かったが、次第に変倍比を上

げて3倍の35-105ミリなどが出現してきている。ワイド化、高変倍比化のレンズをよりコンパクトに実現することが指向されている。最近のLSカメラの出荷台数をFig.12に、またズームレンズ付きのLSカメラの発売状況をFig.13に示す。

(2)コニカにおける対応

コニカでは、'88年にコニカZ-up80を'90年にコニカZ-up

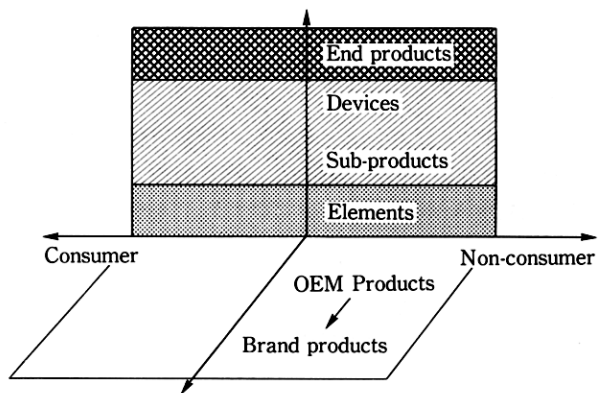


Fig. 11 Konica's scope of the development of optical products

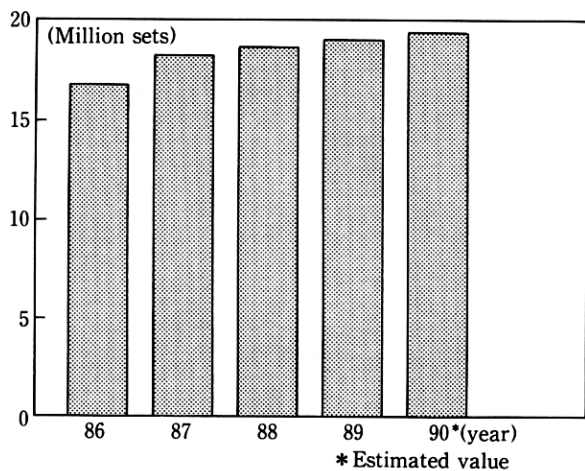


Fig. 12 Shipment of LS camera

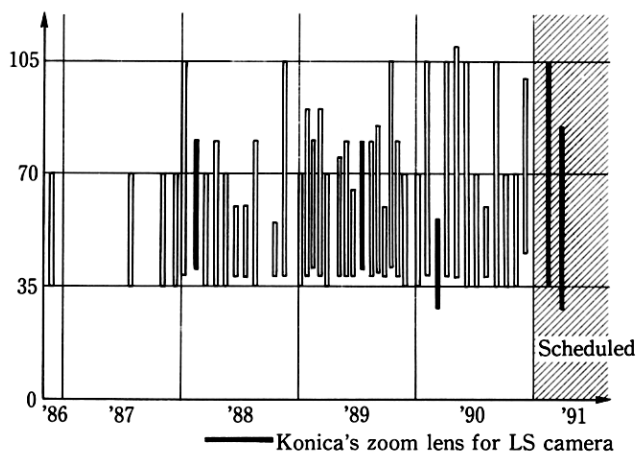


Fig. 13 Historical evolution of LS camera with zoom lens

28Wを発売したが、これらは夫々40-80F 3.8~7.2<sup>14)</sup>、28-56 F3.5~6.6 (Fig.14参照) の高性能ズームレンズが装着されている。コニカにおけるズームレンズの今後の開発方向は①ズームレンズの大きさの徹底的なコンパクトさの追及と②より高変倍のズームレンズの開発である。すでに35-105 F3.8~8.5および28-80F3.2~7.7の開発は完了している。一般に広角化、高変倍比化はレンズサイズを大きくさせる結果となるので、これを防ぐには非球面レンズの採用が有効で、特に高屈折率の利用できるガラスモールドレンズが有用である。

4.2 VTR用レンズ

(1)市場技術動向<sup>15)</sup>

ホームユースのビデオカメラが商品化されてまだ10年余りしかたっていないのに、この間の技術の発展は誠に見るものがある。この結果としての商品の変革、市場の拡大は非常に目覚ましい。Fig.15にビデオカメラ、VTR

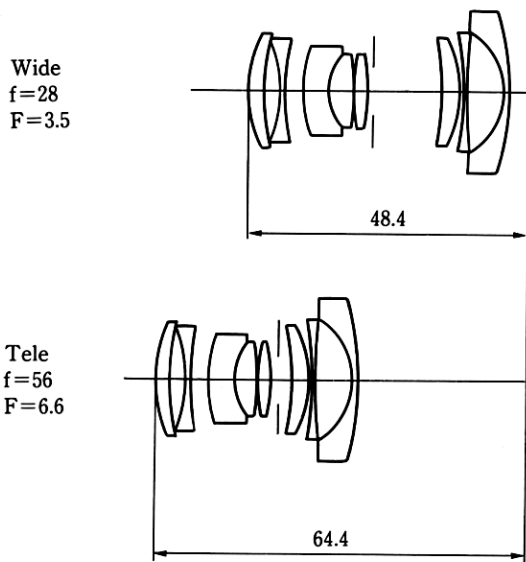


Fig. 14 Cross-sectional drawing of konica Z-up 28W lens

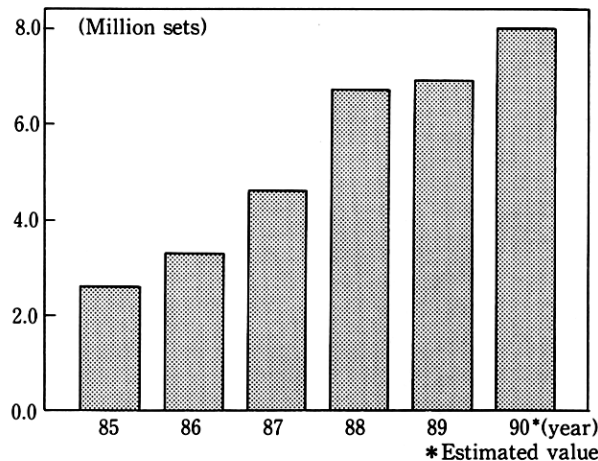


Fig. 15 Shipment of Cam-corder

ムービーカメラの出荷数量の変遷を示す。またFig.16にこの8年間のカメラとレンズの変遷を示す。最も顕著なことは、カメラ、レンズ共にその重量と価格とが著しい勢いで低減していることで、カメラの重量と価格は夫々1/4、1/2に低減し、レンズについては我々の例では夫々1/10、1/3に低減している。レンズに関するこの他の主な変革は以下のとおりである。①レンズ枚数の低減；変倍比は当初から6倍で、現在も6～8倍が主流となっている。この間、レンズ構成枚数は15～16枚から、最低8枚迄までに半減している。これは非球面レンズの採用によるところが大きい。②レンズ構成の変革；従来フォーカシングはレンズ最前部のFC (Front Component) 群のくり出しによっていたが、FCを固定したままレンズ最後部のMC (Master Component)群によってフォーカシングを行な

うなど、レンズ構成の概念に対する変革である。このためにはエレクトロニクス技術のレンズ系への導入が必要となる。③AFの変革；これはAFの項ですでに述べた通りで、今やビデオAFが、性能、大きさ、コスト面から主流となってきた。④家電企業におけるレンズ内製化指向；VTRズームレンズの家電企業内での内製化の意図は強く、一部企業で内製化がすでに始まっている。

(2) コニカにおける対応

コニカにおけるVTRズームレンズの出荷は'81年から始まり'90年9月迄に単焦点から8倍ズームレンズに到る迄19種300万本の出荷を果している。Table 6にコニカにおける特徴的VTRズームレンズの開発の経緯を示し、Fig.17にこの表中のK082のレンズ断面図を示す。

最近 (1990年10月) 開発が完了した2種類のズームレ

		1982	1985	1990
Camera	Style	Separate	Ccm-corder	Very compact
	Weight (kg)	2~3	~1	~0.7
	Price (k¥)	>300	200~300	<150
	Shipment (ksets)	~1,000	~4,000	~8,000
	Imaging device	Tube	CCD(1/2")	CCD(1/3")
	Tape format	VHS VHS-C BETA 8mm		
Lens	Weight (gr.)	~450	~200	45
	Price (k¥)	~25	~15	~8
	AF method	IR TCL VIDEO		

Fig. 16 Evolution of cam-corder and its lens

Table 6 Konica's Cam-corder lens list from the beginning

Product name	Production start	Main specifications				
		Auto focus	Focussing	Focal length	FNo.	Zoom
QK	1982 NOV.	non	front	f= 8~48	F1.2	6 time
QQ	1983 JUL.	TTL-TCL	front	f= 8~48	F1.4	6 time
K013	1983 OCT.	non	front	f=10~30	F1.5	3 time
K020	1984 MAR.	non	front	f= 8~48	F1.2	6 time
K024	1985 APR.	TTL-TCL	front	f= 8~48	F1.2	6 time
K050	1986 JAN.	slave-TCL	front	f= 9~54	F1.6	6 time
K032	1986 JUL.	non	front	f= 9	F1.6	fixed
K065	1987 JUN.	slave-TCL	front	f= 9~54	F1.4	6 time
K064	1987 JUN.	TTL-TCL	front	f= 9~54	F1.4	6 time
K082	1988 JUL.	video	rear	f=8.5~51	F1.4	6 time
K076	1988 SEP.	slave-TCL	front	f=8.5~68	F1.4	8 time
K083	1989 JAN.	TTL-TCL	front	f= 9~72	F1.4	8 time
K104	1990 JUL.	video	rear	f= 7~42	F1.4	6 time

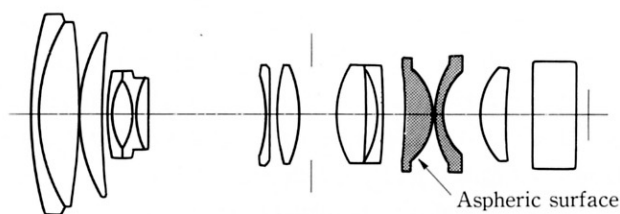


Fig. 17 Cross-sectional drawing of konica's cam-corder lens



Fig. 18 Picture of konica's first and latest cam-corder lenses

レンズK110およびK111は極めて画期的なものである。夫々のレンズ仕様はK110は $f=7\sim 42$ ミリF1.8~2.4の6倍ズームレンズ、K111は $f=6.5\sim 52$ ミリF1.8~2.8の8倍ズームレンズで、イメージサイズは共に1/3インチCCD撮像素子用である。これらの特徴は以下に示すとおりである。①重量および大きさがK110は45g、 $35\times 27\times 62$ ミリ、K111は55g、 $\phi 35\times 69$ ミリで、夫々世界最軽量の重量である。②K110の鏡胴は従来全く見られない箱型構造となっており、カメラ部への取付けを容易にすると共に、従来の外観概念を一変させた。Fig.18に、この新開発のK110と、1983年に当社がはじめて市場に供給した同じ変倍比6倍のズームレンズQQとの外観写真比較を示すが、この写真からいかにK110が小型化されたか、また箱型鏡胴の外観もよく理解されると思う。③AFについてはビデオAF方式がVTRカメラにとって最もふさわしいものと判断して選択し、さらにビデオAF方式に最もふさわしいレンズの実現を狙って、次のようなレンズ構成を選んだ。(I)MC群をフォーカシング部として用いた。このことによってMC群の移動によるピントの変化量はズーム位置に関係なくなり、FC群をフォーカシング部としたときのズーム位置による制御量の加減が不要となり構成が簡単となった。

さらにMC群のフォーカシング方式を用いることで、広角側はレンズ直前の被写体迄連続的にピントを合わせることができ、またFC群をくりだす必要がないのでレンズの小型化に貢献した。(II)変倍によるピント移動を補正するレンズ群をMC群で兼用させることで構成を簡素にした。④高精度非球面プラスチックレンズを採用し、性能向上と価格低減とを達成した。⑤従来用いられていた金属のカム筒によるズーム制御を廃し、ステッピングモーター2個で移動レンズ群を高精度かつ迅速に数値制御するダブルスクリュ機構を採用した。音、振動面でVTRレンズへの適用が難しいと云われていたステッピングモーターの採用を、画期的な除振機構の開発によって成功させ、各レンズ群を直接駆動させることで機構の簡素化、大幅な小型化と軽量化を実現させた。

以上のように秀れたVTRレンズの開発に成功したが、VTRカメラ側の要求は厳しく、レンズに対しては今後一層のコンパクト、軽量、低価格の要求が強まると思われる。このためには、①ズーム方式の再見直し、②プラスチックおよびガラスモールド非球面レンズの多用、③新構造の鏡胴開発、④AFの一層の改良、⑤生産方法の改革などが必要となろう。

### 4.3 光ディスクレンズ<sup>16)</sup>

#### (1)市場技術動向

'82年にCDが商品化されて以来、僅か7年の間にCDは大きな普及を遂げ、'90年には3000万台を越すに到った。これはデジタル方式による正確な音再現、光学式ピックアップによる非接触の信号読みとりのためディスクの耐用年数の大幅増加、コンパクトで美しいディスク外観などによると考えられる。CDの出荷台数をFig.19に示す。CD分野では据置き型に加えて、CDラジカセ、CDポータブルが大きな市場を形成し、さらに今後、車載用CD、CD-ROMなどに大きな成長が期待されている。光方式のVDも成長軌道に乗ってきた。さらに光ファイルからスタートしたコンピューター周辺機器としての光ディスクは再生専用のみならず、追記型のWORMや消去可能なMOも市場参

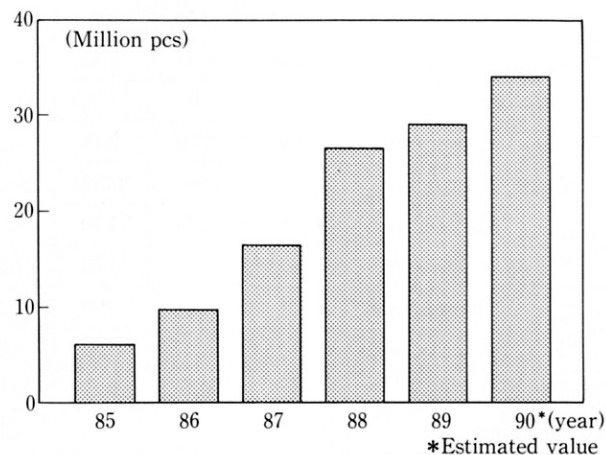


Fig. 19 Shipment of CD pick-up

入が始まった。これらの発展の背景で特に重要なものが光ピックアップレンズとLDである。これらのハイテク部品を大量に、しかも極めて廉価に供給できる体制が整ったことが上記のことを可能とした。この点で非球面プラスチックレンズの貢献は極めて大きい。

今後は高密度化のためにLDの短波長化、あるいはSHG (Second Harmonic Generator) による波長の半減とこれに対応するレンズの開発が重要課題となろう。

(2) コニカにおける対応<sup>17),18),19)</sup>

コニカにおける非球面プラスチックレンズによる光ディスク対物レンズの開発の歴史はそのまま光ディスクレンズの開発の歴史といっても過言ではない。コニカにおける光ディスクレンズ開発の経緯をTable 7に、最近コニカで開発した主要な光ディスクレンズの一覧をTable 8に示す。

コニカにおける光ディスクレンズの出荷は'90年末で累計約8000万個に達し、'90年1年間で約2500万個となって

いる、'84年の生産開始以来70%前後のマーケットシェアを維持しつづけている。このレンズの開発の意義は極めて大きいと判断している。すなわち、技術的には①高精度非球面レンズの民生機器への初の多量使用、②LDと非球面レンズ組み合わせによる新規分野の開発、③プラスチック素材の高精度レンズへの応用、④プラスチック素材の微小光学素子への応用に道を開き、さらに産業的には①CDの大普及を可能にした最大要因の一つとなり、②高精度、高性能レンズの量産体系の大変革をなしとげた、などである。

これらのレンズの開発に当ってはプラスチック素材、レンズ設計、金型設計、金型の超精密加工、超精密成形、コーティング、非球面測定、性能評価などの諸技術が必要で、いずれも従来技術に比べてブレイク・スルーを必要とした。最近でも要求品質は上る一方で、プレーヤーやドライブの小型化、薄型化に対応して、より一層小型の

Table 7 Konica's history of optical disk lens development

1980 JUN.	光ディスクレンズ開発に着手。
1984 JUN.	開発成功、学会 (CLEO 1984 JUN. Anaheim U.S.A.) 発表および業界発表。生産体制準備完了。
1984 JUL.	量産供給開始。
1985 JAN.	80,000/月量産体制確立。
1986 AUG.	有眼距離仕様 (コリメートレンズと対物レンズが一体化されたレンズ) の非球面プラスチック単レンズの開発に成功、量産供給開始。
1987 MAY.	車載CD用非球面プラスチック単レンズの開発に成功、量産供給開始。
1987 JUL.	VD, CD-V用非球面プラスチック単レンズの開発に成功、量産供給開始。
1987 JUL.	DRAW (WORM)用、MO用光ピックアップ用対物レンズの非球面プラスチック単レンズによる開発成功、量産体制完了。
1988 APR.	光ディスク用超軽量(70mg)非球面プラスチック単レンズ開発成功。
1990 JUL.	次世代光ディスク用超軽量(30mg)非球面プラスチック単レンズ開発成功。
1990 DEC.	3,000,000/月量産体制確立

Table 8 Konica's aspheric plastic objectives for optical disk use

Lens name	AP4545	T081*1	T173	T103K	T153	T170*1	T107	AP4550	T166	T165	AP4255
Wave length	780	780	780	780	780	780	780	780	830	830	830
Focal length	4.50	4.50	3.90	3.30	3.60	3.90	3.36	4.50	3.80	3.00	4.20
Numerical aperture	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.53	0.53	0.55
Magnification	0	0	-1/5.5	-1/5.0	0	-1/5.5	-1/5.9	0	0	0	0
Working distance (mm)	1.90	1.90	2.18	1.80	1.08	2.19	1.85	1.90	1.58	1.00	1.61
Object-image distance	∞	∞	31.181	25.182	∞	31.181	28.5	∞	∞	∞	∞
Disk side	Thickness (mm)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.25	1.25	1.20	1.20	1.20
	Refractive index	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.57	1.57	1.57
Laser side	Thickness (mm)*2	—	—	1.30	1.25	—	1.00	1.20	—	—	—
	Refractive index	—	—	1.51	1.51	—	1.51	1.51	—	—	—
Weight (gr.)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.04	0.12	0.06	0.12	0.10	0.06	0.14
Application	CD							VD	MO, WORM		

\*1: CAR CD      \*2: Thickness includes cover glass of laser and half mirror.

レンズが求められている。

最近（1990年8月）開発に成功した次世代ピックアップ用の両面非球面のプラスチックCD用レンズ、T127Bは以下に示すような数々の特徴を有している。①世界最軽量の重量30ミリgでアクチュエーターの駆動に極めて有利である。Fig.20に示す初期のCD用非球面プラスチックレンズに比べ1/4以下の重量となっている。②外径4.5ミリ、厚み1.64ミリは従来のレンズに比べ格段のコンパクトさでピックアップの小型化に貢献する。③倍率 $-1/4.9$ はピックアップの小型化と最適性能を維持する最適倍率として選んでいる。④金型構造を従来のものと抜本的に変えることにより、従来金型構造に起因して発生していた偏心によるコマ収差を大幅に減らすことができ、コマ収差に関する波面収差の平均値を $0.01\lambda$  ( $\lambda$ は使用光の波長)にまで減らしてレンズ性能を一層向上させることに成功した。Fig.20に初期のCD用レンズAP4545とこの最新のレンズT127Bとの大きさの比較を示す。

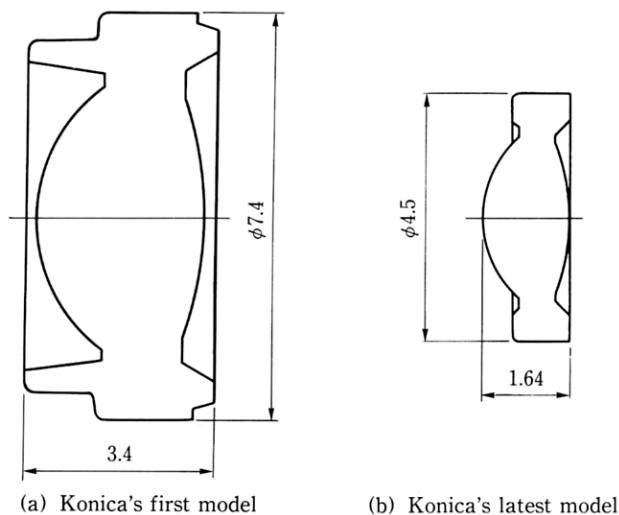


Fig.20 Drastic dimensional change of CD pick-up lens

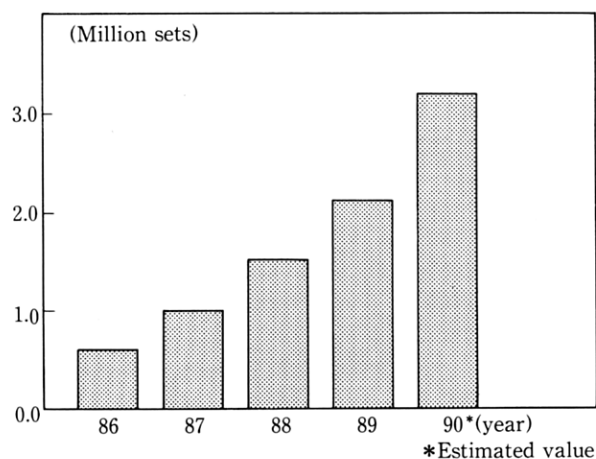


Fig.21 Shipment of laser beam printer

#### 4.4 LBP光学ユニットとレンズ

##### (1)市場・技術動向

LBPはコンピューターの端末プリンターとして、最近急成長がはじまった。最近の出荷台数をFig.21に示す。今後複写機のデジタル化が進むに従って、その出力にLBPが利用されると考えられるのでこの方式はますます普及しよう。

##### (2)コニカにおける対応

コニカではLBP光学ユニット中の光学部品点数の極小化をはかることに力を入れ、 $f\theta$ レンズ1枚と変形シリンドリカルレンズ1枚の2枚構成の光学系<sup>20)</sup>を開発した。いずれも非球面プラスチックレンズでLBP光学ユニットのコスト低減に寄与している。

#### 4.5 MOドライブ<sup>21)</sup>とドライブユニット

##### (1)市場・技術動向

MOドライブは光方式の消去可能な高密度外部記憶装置として将来の大きな発展を期待されている。他の外部記憶装置と比較するとTable 9の通りである。ハードディスクがその性能を急速に向上させており、MOドライブの記憶容量、アクセスタイム、データ転送速度を夫々ハードディスク並みに向上させ、コンパクト化に努力しない限り、従来考えられていた大きな地歩を築くことにはやや微妙な情勢にあるといえる。とは云え消去可能な大容量のディスク（例えば5.25"サイズで1ギガバイト）を簡単に持ち運びできることは大きな魅力で、情報管理上からも重要なことである。

MOドライブを技術的な観点からみるとMOドライブは大きく分けて3つの部分すなわち、メディアであるディスク、計算機とのインターフェースを中心とするコントローラ部分と残りのドライブユニットの部分から構成される。ドライブユニットは①書き込み、消去、再生のための対物レンズを中心とする光学系、②トラックサーボやフォーカスサーボを行なうためのファインアクチュエーターを中心とするファインメカニズム、③光源として

Table 9 Comparison of erasable computer memories

	MO disk drive	Hard disk drive	Floppy disk drive
Memory volume (MB)	600~1,000 (5.25"disk) 125~200 (3.5"disk)	50~700 [5.25"/3.5"] multi-disk	1~2 (5.25"/3.5")
Access time (msec)	35~110	15~30	80~90
Data transfer rate (kB/sec)	500~1,000	500~4,000	250~500
Remarks	Portability Durability		Low cost

の大出力LDの駆動回路、フォーカスサーボ、トラックサーボのための信号検知、信号処理それに駆動回路などのエレクトロニクスの集合体からなっている。従ってドライブ全体としてはファインオプティクス、ファインメカニクス、エレクトロニクス、ソフト技術、化学といった異分野の高精度技術の集合体からなっている。ドライブからコントローラ系を除いた部分をドライブユニットと定義するとドライブユニットはオプトメカトロニクスのユニットとなる。このユニットの技術範囲の幅は広く精度は極めて高い。中に使用されるレンズやプリズムなどの光学素子一つとっても殆んど回折限界性能が要求される。さらにコントローラとのマッチングや、各要素技術間のマージン配分も重要な課題となる。ドライブユニットの機能模式図を、Fig.22に示す。

## (2) コニカにおける対応

コニカでは光学技術の拡大方向のオプトメカトロニクス技術の一つとしてドライブユニットの開発をドライブメーカーと共同開発的に取り組んでいる。ドライブユニットを作りあげるに当たっての調整・組立も大変難度の高い技術を要する。

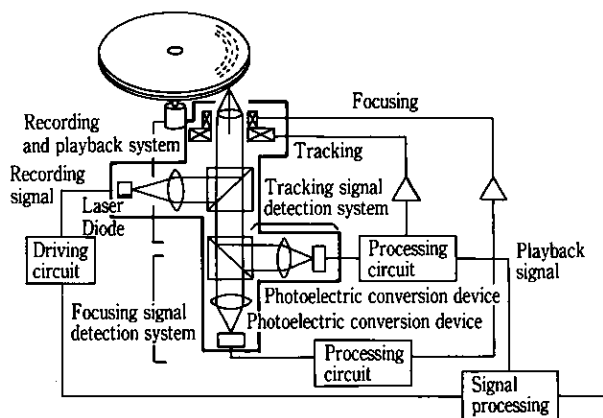


Fig.22 The construction of the principal part of MO drive unit

## 4.6 その他機器の光学系・レンズ

我々は以上の他に、複写機・ファクシミリ・POS・製版カメラなどの事務機器、感光材料プリンター<sup>22)</sup>などの感光材料機器、スチルビデオカメラ・ディスプレイカメラ・PTVなどの映像機器、その他特殊光学機器など多くの機器用レンズ、光学系の開発も行なっている。紙面の都合でここでは省略する。

# 5

## まとめ

広範な広がりを持つ光学技術とその応用に関するごく一端の紹介しかできなかった。光技術全体の流れからすれば光応用機器と共に光通信や光情報処理が重要な課題

となってくる。光応用機器では光センサーや光カード、あるいは情報機器の入力装置としての光技術応用が考えられる。映像分野ではハイビジョンシステムの動向に関心がよせられる。光通信に関しては遠距離の光通信と共に機器内の光配線が普及してくるであろう。また光情報処理の分野では光コンピューターがどのように進むかに注目する必要がある。

光学技術、光技術の未来の夢は限りなくあるが、当面コニカでの情報機器の進展の中で光学技術が一層重要な役割りを演ずることになろう。また光技術応用の素子、ユニット、デバイスも今後一層の発展が期待される。とにかく技術の強化とその応用製品の開発に全力をそそいでいきたい。

本稿をまとめるに当たってオプト事業部の坂野誠君他大勢の事業部員に御協力いただいたことを厚く感謝する。

## ●参考文献

- 1) 松居吉哉：レンズ設計法 共立出版(1972)
- 2) 泉谷徹郎：光学ガラス 共立出版(1984)
- 3) 小島忠：光学技術ハンドブックP329朝倉書店(1986)
- 4) 小島忠：PLASTICS AGE ENCYCLOPEDIA<進歩編>1986 P 86プラスチック・エージ(1985)
- 5) E.W.Marchant：Gradient Index Optics, Academic New York(1978)
- 6) 小島忠：光学技術コンタクトNo 7 P13(1969)
- 7) 高橋友刀：第17回サマーセミナー論文集、応用物理学会 光学懇話会(1980)
- 8) N.Arai：Technical Digest, Topical Meeting on Gradient Index Optical Imaging System, Kobe, B 3 (1984)
- 9) Y.Tanaka and H.Miyamae：Technical Digest, Lens Design Conference, Monterey, LWA 2 (1990)
- 10) 小島忠, 石灰勲夫, 谷田貝豊彦他：非球面ガラスレンズの設計製造技術、日本工業技術センター・セミナー資料(1985)
- 11) 小島忠：2000年をターゲットとする技術予測シリーズ第9巻新素材技術P118日本ビジネスレポート(1990)
- 12) 小島忠：ダイヤモンドツールP869、日経技術図書(1987)
- 13) 坂野誠：AFシステム 日本工業技術センターセミナー資料P41(1989)
- 14) 仁居保, 森伸芳他：Konica Tech.Rep., 2, 73(1989)
- 15) 宮前博：ビデオカメラのキーテクノロジーと最新開発動向、日本工業技術センター・セミナー資料(1990)
- 16) 小島忠：Konica Tech.Rep., 185(1988)
- 17) 小島忠：光学技術コンタクト23 No 7 P465(1985)
- 18) 小林雅也, 荒井則一, 松丸隆：Konica Tech.Rep., 1, 74(1990)
- 19) 荒井則一, 服部洋幸：Konica Tech.Rep., 3, 81(1990)
- 20) 藤田久雄, 山崎敬之：Konica Tech.Rep., 2, 36(1989)
- 21) 応用物理学会 光学懇話会編 光ディスクシステム 朝倉書店(1989)
- 22) 栗本哲也, 中根伸, 横田稔：Konica Tech.Rep., 3, 55(1990)