

マイクロオプティクス

ガラスを用いた微小光学素子の応用と用途

日本板硝子(株)中央研究所 北野 一郎

1. はじめに

1968年末、集束性光伝送体セルフロック®が開発され両端面が平坦なままでレンズ作用をもつ、この細径ガラスロッドを用いて光通信端末用デバイスの微小化を図ろうとする試みが70年代半ば頃から急速に進み各種のユニークなデバイスが次々と作られた。そしてこれら一連の光マイクロデバイスを“マイクロオプティクス”と呼称することが内田ら(日電)によって提案された¹⁾。

本講ではマイクロオプティクスの主要な構成要素である屈折率分布型ロッドレンズの基本特性について述べ次に各種光通信および光情報処理用マイクロデバイスについて解説する。

2. 屈折率分布型レンズの基本特性

屈折率分布型(以下 G.I. と略す)レンズは

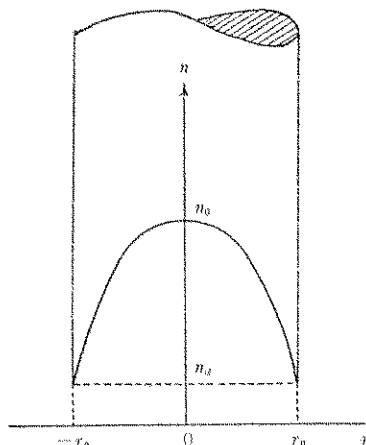


図1 ロッド内の屈折率分布

屈折率が図1に示すように半径方向にほぼ放物線状に分布しており軸上入射光は光軸にそって進むが異軸もしくは斜入射は図2に示すように光軸の回りを正弦波状に蛇行しその周期 P は

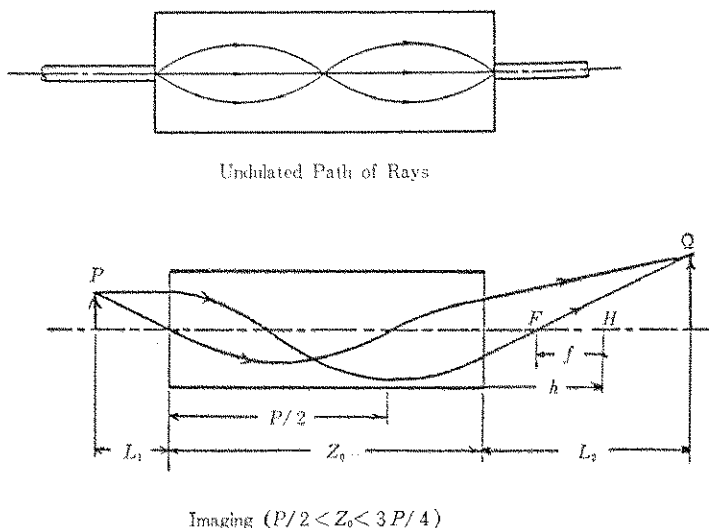
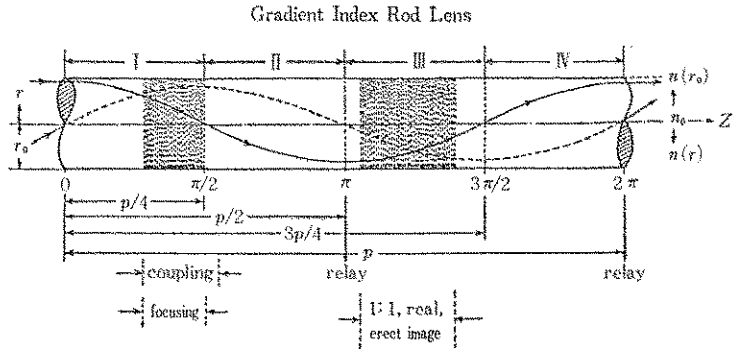


図2 光線変換と結像特性例



Refractive Index Distribution

$$n(r) = n_0(1 - g^2 r^2)^{1/2}$$

$$= n_0(1 - \frac{A}{2} r^2) \quad g = \sqrt{A}$$

図 3 G. I. レンズの長さとお応用

$2\pi/g$ で表わせる。ここで g は屈折率の 2 乗分布定数である。

G. I. レンズは、両端面が平坦なままで図 2 の例に示すような光線変換と結像特性が得られしかもその機能がレンズの長さによって異なるという特徴をもつ。図 3 は $O \sim P$ 間の射影部の長さのところでマイクロオプティクス分野の重要な応用が存在することを示す。以下、レンズ長さによる光線変換機能と結像特性につき述べる。

$$0 < Z_0 \leq P/4 \quad (1)$$

長さが $P/4$ 以下では図 4 に示すように従来の球面レンズと全く等価である。 $Z_0 = P/4$ レンズは端面に焦点を結ばせることが出来るので図 5 に示すようにファイバーと直接接合させてコリメータ系を構成するなど重要な応用がある。

$$P/4 < Z_0 < P/2 \quad (2)$$

このレンズ長さの間では出射端面に結像出来る

$$0 < Z_0 \leq P/4$$

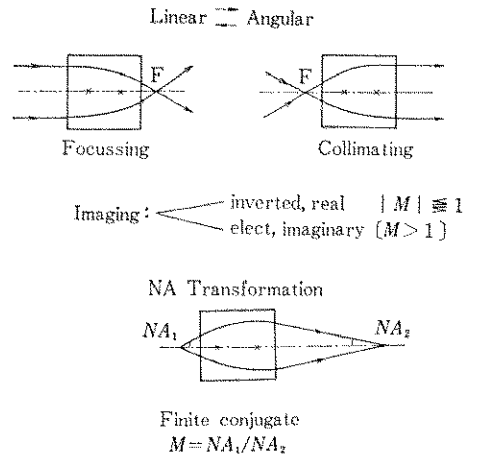


図 4 $0 < Z_0 \leq P/4$ レンズの特性

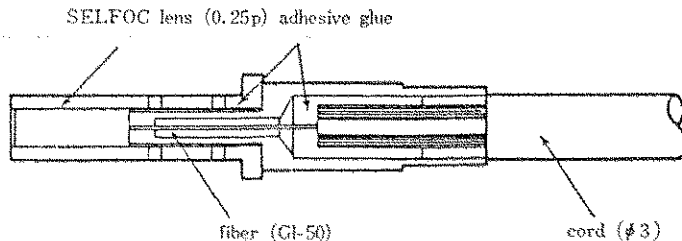


図 5 ファイバコリメータ

$$P/4 < Z_0 < P/2$$

Imaging at Exit End

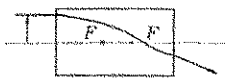


Image : inverted, $M < 0$

SEIF OC-ML IMAGE-BUNDLE

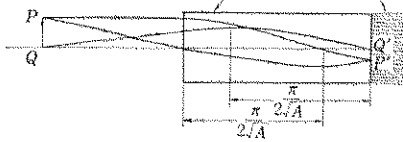


図 6 $P/4 < Z_0 < P/2$ レンズの結像特性

$$Z_0 = P/2$$

Linear \rightleftharpoons Linear



Imaging : end to end surface, inverted, $M = -1$

図 7 $Z_0 = P/2$ レンズの特長

物体位置が存在するのでファイバeroptics分野で直接イメージバンドルの端面に接合して対物レンズとして用いるなどの応用がある。

(図 6)

$$Z_0 = P/2 \quad (3)$$

$Z_0 = P/2$ レンズは linear to linear 変換系で一端から他端への端面間等倍倒立像伝送系である。(図 7)

$Z_0 = (P/2)n (n=1, 2, 3, \dots)$ は医用針状関節鏡用に利用されている。

$$P/2 < Z_0 < P \quad (4)$$

長さが $P/2$ を越えると結像は正立となり特に主平面位置では等倍実像が得られるのでこのレンズをアレイ状に配列すれば物体面の合成像が得られ複写機などでの重要な応用がある。

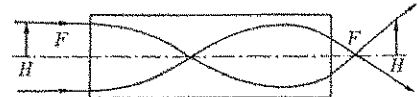
(図 8)

$$Z_0 = P \quad (5)$$

$Z_0 = P$ レンズの光線変換系は $P/2$ レンズと同じだが端面間等倍正立像伝送でありリレーレ

$$P/2 < Z_0 < P$$

Linear \rightleftharpoons Linear-Angular Mixture



Imaging : elect, real, $M = 1$

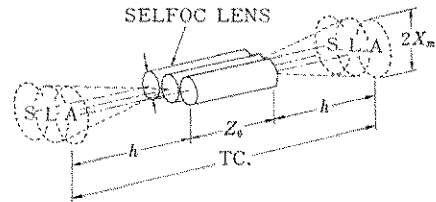


図 8 $P/2 < Z_0 < P$ レンズの特長とその等倍正立系への応用例

$$Z_0 = P$$

Linear \rightleftharpoons Linear

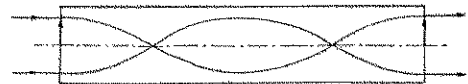


Image-relaying : end to end surface, elect, $M = 1$

図 9 $Z_0 = P$ レンズの特長

レンズ系を構成する。(図 9)

3. 光通信用マイクロデバイス

光通信系においては光源とファイバとの結合器、幹線から端局への光信号の出し入れを行うための分岐、挿入回路あるいは同じ伝送路に複数の異なる波長の光信号を伝送したり双方向に情報の交信をするための波長多重化デバイスおよび分波器、更に回線や光源の切り替えを行うための光スイッチや光源への光の戻りを防止するための光アイソレータなどさまざまな性能をもつ光デバイスが要求される。この実現にはたとへば図 10 の分岐回路や図 11 の分波回路に示すように従来のレンズ、プリズム、ミラー、回折格子などの空間配置によっても可能であるが G.I. レンズを利用することにより同図に示すようにデバイスの一体化、ファイバの直接

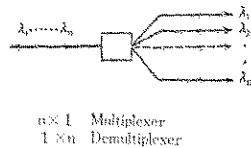
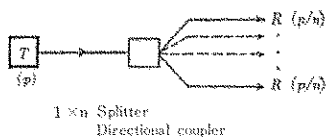
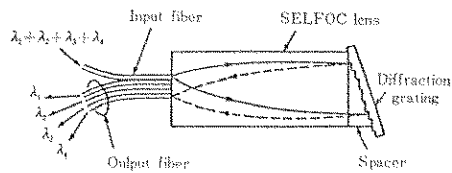
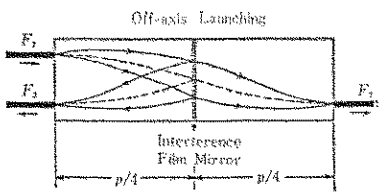
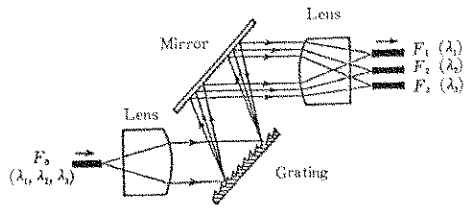
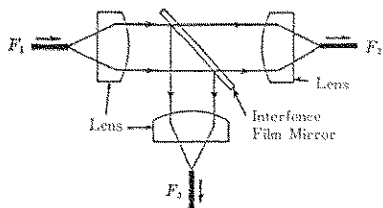


図 10 分岐デバイスの構成 (従来光学とマイクロオプティクスとの比較)

図 11 波長多重用合、分岐デバイスの構成 (従来光学とマイクロオプティクスとの比較)

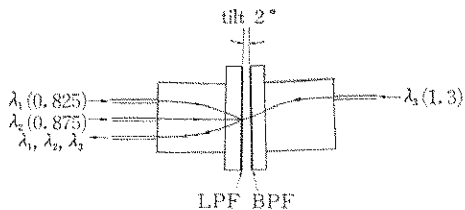
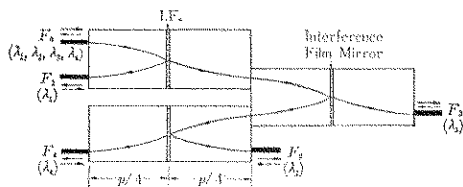


図 12 G.I. レンズユニットによる 4 波長多重化デバイス

図 13 3-channel filter SM multiplexer (BTL)

接続ができるようになりデバイスが大幅に微小化されその信頼性と堅牢性が向上した。

分岐デバイスは 2 分岐回路が 1 ユニット ($P/4 + P/4$) で構成されるので n 分岐回路には $(n-1)$ ユニットを使用すればよい。(図 12)

図 13 は 1 ユニットで 3 合波を実現したデバイ

スで対向角度や波長透過フィルターにユニークな工夫がなされている。

分波器は直径 5 mmφ の G.I. 型レンズを用い図 14 に示すような異軸配置により最高 20 波のデバイスが試作されていた。

図 15 は長波長透過フィルター、帯域透過フ

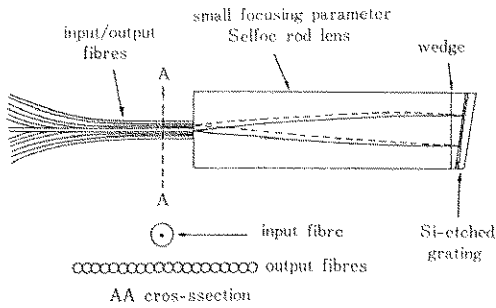
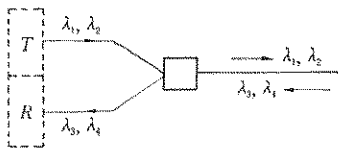
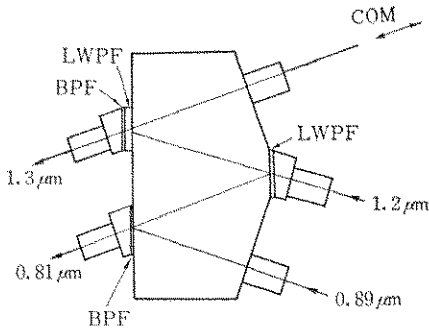


図 14 G. I. レンズ+回折格子による 20 波長分波器 (NEC)



n-wavelength Transceiver (bi-directional MUX/DEMUX)

4-wavelength bi-directional



in \ out	COM	0.81 μm	1.3 μm
COM	-	0.7	0.8
0.89 μm	0.9	79	67
1.2 μm	0.8	>68	>68

Transmission loss. Cross talk (dB)

図 15 双方向 4 波多重合, 分波デバイス (東芝)

フィルタ, G. I. 型レンズを巧に組み合わせて試作した双方向 4 波長合, 分波デバイスである。

光スイッチについては, レンズ移動による機械的スイッチのほか, 液晶の光透過, 反射性の切換を電界のオン・オフで行うデバイスや電解

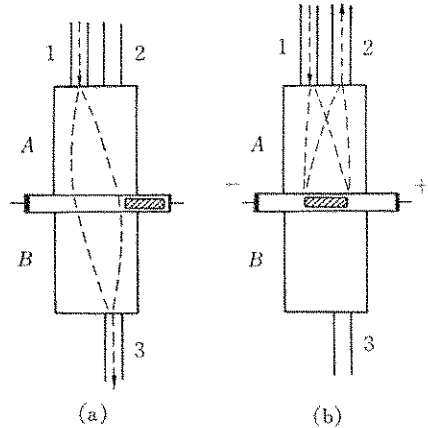


図 16 Electro wetting switch (Bell Labs.)

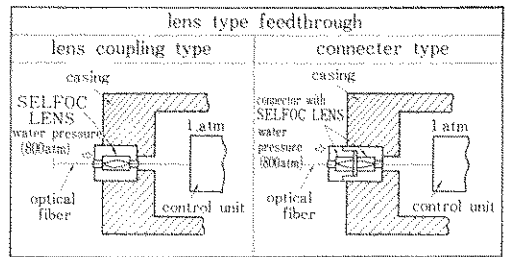


図 17 海底ケーブル用光フィードスルー (NTT)

質溶液中の水銀のぬれが溶液への電界印加により増大し拡がることを利用し, その反射によりスイッチングするデバイスが試作され ms オーダの切換速度が得られている。(図 16)

G. I. レンズの重要な応用例に, 海底ケーブルの中継器内へのフィードスルーがある。P/2 または (P/4+P/4) レンズが高圧~常圧間の光コネクターとして使用される。(図 17) メタライジングされたレンズ外周部がバルクヘッドにシールされ water proof を保つ。

4. 光情報処理分野におけるマイクロ光学

光情報処理分野においてもマイクロ光学が適用されデバイスの小型化に役だっている。その例をセルフロック®レンズアレー (SLA) と CD ピックアップ用 G. I. 型平凸レンズについて述べる。図 8 の長さ Z_0 が P/2 を越えるレンズでは主平面位置がレンズ体外に出

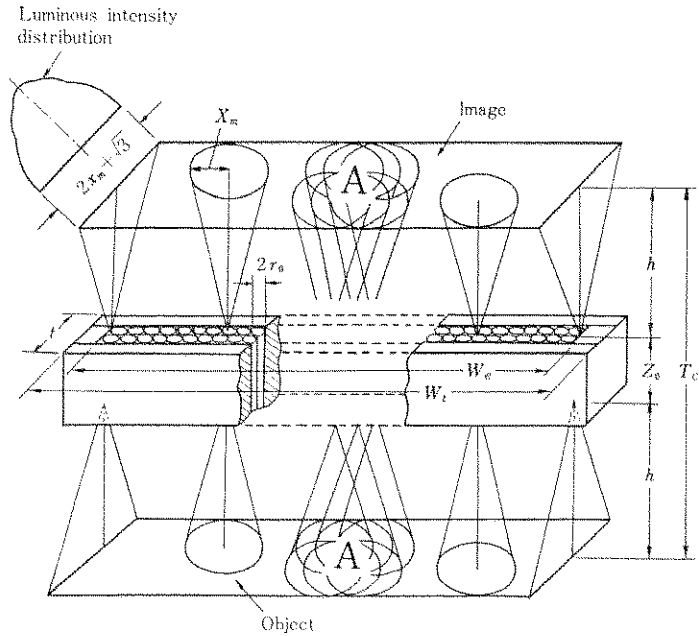
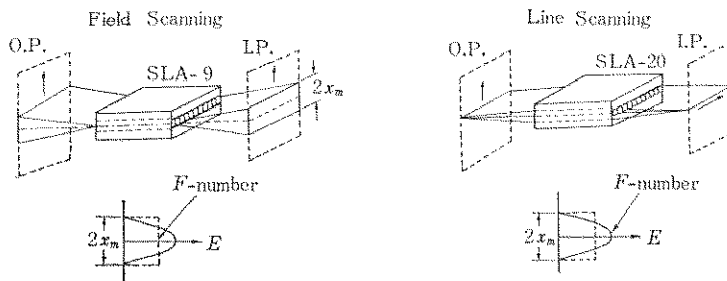


図 18 レンズアレイによる等倍正立実像結合系

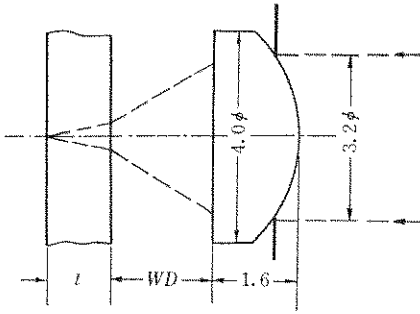
るのでこの位置におかれた物体の像は他端から同じ距離の主平面位置に等倍正立実像として結像する。従って同じ性能のレンズを光軸を平行に配列し各端面が一平面を形成するように1列ないし2列にならべた複合レンズアレイは、個

々のレンズが主点位置に置かれた物体をそれぞれの受光角内で分割伝送し像空間側の主点位置に等倍結像させ、個々の像が相重なるため全画面にわたってより明るい均一な画像を得ることができる。(図18)



	SLA-9	SLA-20
Lens length	20.1 (mm)	8.5 (mm)
Working distance	17.0 (mm)	4.1 (mm)
Total conjugate	54.2 (mm)	16.7 (mm)
Number of row	2	2

図 19 レンズアレイの応用とその特性値



波長 (λ)	780nm
焦点距離	3.6mm
開口数	0.45
共軸長	∞
作動距離 (WD)	1.95±0.1mm
ディスク (t)	1.2mm (n=1.51)
レンズ径 x 厚み	4.0mmφ x 1.6mm
重量	0.05g
屈折率	G.I.型
最大像高 (Y')	0.075mm
OPDrms	0.07λ (at Y' = 0.075mm)

図 20 CD 用ピックアップレンズの特性

このレンズアレーの使用により共軸長が大幅に短縮され装置の小型化が可能となった。SLAの応用には図 19 に示すように field scanning と line scanning とがあり前者は複写機用に、また後者はファックスやプリンター用に適用されている。

CD 読取用対物レンズも現在 3 枚構成レンズ系が使用されているが図 20 に示すような平行入射側を凸面にした G.I. 型平凸アプナートレンズが開発され実用が始まろうとしている。

5. 結びに代えて

G.I. 型レンズなどの個別部品を一体化することによってデバイスの小型化を実現した現在のマイクロオプティクスは将来モノリシック集積化の方向に向い光マイクロデバイスもバルク型からプレーナ型へ移行して行くものと思われる。既に平板マイクロレンズや 8 分岐導波回路などがガラス基板上に作成されている。図 21

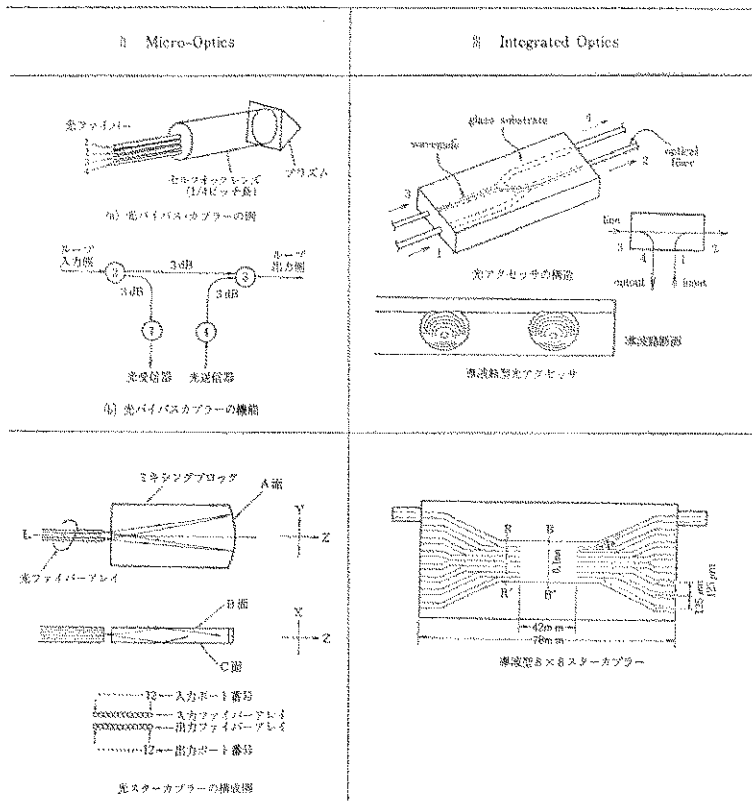


図 21 マイクロオプティクスと次世代集積化オプティクスとの比較

に光アクセサとスターカプラーを例にとり現在のマイクロプティックスと次世代の集積化オプティックとの比較を示した。いずれにしてもこれらの光マイクロデバイスの研究は日進月歩に進められており今後一段と機能性、信頼性の向上が進み低価格化への努力と相まって光情報化社会に大きく貢献するであろう。

〔参 考 文 献〕

- 1) T. Uchida and S. Sugimoto, 4th Europ. Conf. on Opt. Fiber Comm. Temova 1978, Sept. 12 Tech. Digest. 374.

〔筆 者 紹 介〕



北野一郎（きたの いちろう）
昭和21年9月、東京大学第二工学部機械工学科卒業、神戸工業（現富士通）勤務を経て昭和27年4月、日本板硝子（株）入社。研究所第一研究課長、技師長、理事などを経て現在同社中央研究所常勤顧問。昭和40年初期より一貫して集束性光ファイバー、セルクォックレンズの研究開発に従事してきた。