コンファレンスレポート

微小光学国際会議

伊賀建一*・及川正尋*

4th Topical Meeting on Gradient Index Optical Imaging Systems

Ken-ichi IGA* and Masahiro OIKAWA*

上記会議（略称GIOS，邦題名：微小光学国際会議）は，1983年7月4日，5日の2日間にわたり神戸国際会議センターで開かれた。この会議は過去3回来米国で開かれており，

第1回：1979. 5. 15～17，

Rochester Univ., N. Y. (100人)

第2回：1980. 5. 4～5日

Honolulu, Hawaii (50人)

第3回：1981. 5. 19

Rochester Univ., N. Y. (50人)

といった経過をたどっている¹⁾。()は参加人数。今回の日本での開催は，IOOC '83 が日本で開かれるのを機に決定されたもので，応用物理学会光学懇話会・微小光学研究グループを中心とした2年間の準備を経て開催された。今回の会議で最も注目を集めたことは，参加者が184人（海外36人）とこれまでになく多数で，最近のこの分野への強い関心度を示していた。また，これまでほとんどの発表が分布屈折率光学のみに関していたが，今回の会議では，回折効果を利用したレンズ，導波路デバイス，ファクシミリなどシステム関係といったより広範な微小光学の分野の内容をもちこんだ。従って，邦題名の方がより適切に会議の内容を表わしているといえる。

まず，発表件数，出席者数の国別内訳について Table I にまとめる。日本，アメリカの発表

Table I 発表件数，出席者数の国別内訳

	発表件数	出席者数
日 本	37	147
	PD 1	
ア メ リ カ	13	23
	PD 1	
西 ド イ ツ	1	2
アイルランド	1	1
中 国	0	5
フ ラ ン ス	0	3
イ ギ リ ス	0	2
スウェーデン	0	1
合 計	54	184

(PD：ポストデッドラインペーパー)

件数，出席者数が多いことに加え各国からも何人かの出席者が加わった。発表件数は全体で54件とこれまでになく多く，これを Table II に示すようにA～Iの9つのセッションに分けられ2日間で議論された。会議は単一のセッションで進められ，発表件数からも分かるように非常に密度の高いものであった。

7月4日，AM9:15に日本板硝子(株)の北野一郎委員長の開会の挨拶の後，会議はセッションAから始められた。会議の内容については，全発表件数が54件と多く紙面の都合上一つ一つについては記述できないが，以下筆者の印象の深

* 東京工業大学精密工学研究所 (〒227 横浜市緑区長津田)

* Research Laboratory of Precision Machinery and Electronics, Tokyo Institute of Technology, (Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 227)

Table II GIOS セッション配置

	7月4日(月)	7月5日(火)
午前	A. 分布屈折率一般と理論I A 1—A 5	E. 測定・評価 E 1—E 6
	ティーブレーク	ティーブレイク
	B. 分布屈折率一般と理論II B 1—B 6	F. 導波路素子 F 1—F 6
午後	昼食	昼食
	C. 設計 C 1—C 7	G. 素子応用 G 1—G 5
	ティーブレーク	ティーブレイク
後	D. 製作 D 1—D 7	H. 素子応用II H 1—H 5
	P. ポストデッドライン PD 1, PD 2	I. システムと応用 I 1—I 5
	ビュフェパーティ	

かった内容についていくつか記述することに留まることを許されたい。

セッションA：『分布屈折率一般と理論I』

題名からも分るように非常にバラエティに富んでおり、A 1では東大の田中らによる導波路レンズの解析、A 2では、RockwellのP. Yehによる分布屈折率ロッドレンズのモード収差、A 3では、東大の藤井によるレンズビームガイドと分布屈折率媒質の正形条件、A 4では、筆者らによる平板マイクロレンズの光線マトリクス、A 5では、キャノンの田中による分布屈折率レンズの近軸理論について報告があり、本会議に関係するほとんどの素子についての理論的基礎に関する発表が行われた。筆者らが発表した平板マイクロレンズは、第2回会議に続いてGIOSでは2回目の発表となった。これは、Fig. 1に示すように平板基板にドーパントを選択的に拡散することにより、微小レンズを2次元アレー状に一括大量生産するものでA 4の発表では、このレンズの3次元屈折率分布を半径方向と深さ方向の距離2乗の和で表現することによ

Fig. 1 分布屈折率平板マイクロレンズ

り、光線方程式の解析解から光線マトリクスが導け、光学系を簡単に設計できることを示した。また、平板マイクロレンズについては、筆者らのグループがD 2で平板マイクロレンズの最大N. A.について、D 3で分布屈折率形成過程の解析について、H 2で積層光集積回路への応用について発表したほか、D 1でCorningのN. F. Borelliらによる光化学反応を利用した平板マイクロレンズ、I 2で日本板硝子(株)の山本らによる正立等倍結像系について報告があった。また、オランダPhilipsのG. D. KhoeがIOOCでプラズマCVDによる Si_3N_4 と SiO_2 の混合物を用いる平板マイクロレンズについて報告したが、本会議には参加できず惜しまれた。

セッションB：『分布屈折率一般と理論II』

主に分布屈折率レンズの収差について議論された。B 1ではキャノンの南が3次の収差理論について発表し、続いてロチェスター大のForerが分布屈折率ロッドレンズアレーの3次収差理論を展開した。また、B 5では小西六の荒井が分布屈折率媒質内での波面追跡法について述べ従来に比して著しく計算時間を短かくできることを明らかにした。

セッションC：『設計』

C 1はゼロックスのJ. D. Reesらによる招待講演でロッドレンズアレーを扇形に配置するこ

Fig. 2 分布屈折率ロッドレンズアレイを用いた正立縮小/拡大結像系

とによる正立拡大，縮小結像システムについて興味深い講演が行われた。Fig. 2(a) にロッドレンズアレイによる拡大，縮小を行う結像系の基本原理を示す。また，Fig. 2(b) は全体図であり，この構成で縮小を行い，物体面と像面を逆転させることにより拡大を行うことができる。問題点としては，像の重なり部分について各レンズの焦点位置が異なり解像度に限界があることである。C 3 では Rochester 大学の L. Atkinson が分布屈折率を利用すると従来の 6 枚構成カメラ用広角レンズを 2 枚構成に簡略化できることを示した。Fig. 3 に，従来の 6 枚構成 35mm 広角レンズとほぼ同じ性能を持つ分布屈折率レンズを利用した 2 枚構成レンズを示す。これは第 2 回会議において，同じく Rochester 大学の D. T. Moore が提案した 2 枚組構成標準レンズの拡張で，実際に分布の形成がどの程度

Fig. 3 分布屈折率レンズを用いた広角レンズ。
(a) 従来の 6 枚構成レンズ (F 2.8, 35mm)。
(b) 分布屈折率レンズを用いた 2 枚組レンズ

可能なのか議論されない点が惜しまれた。

セッション D：『製作』

まず，今回初めて発表されたのが，Corning の N. F. Borrelli らによる光化学反応を用いた分布屈折率平板マイクロレンズである (D 1)。これは，光化学反応を起すことにより，屈折率が増加するガラス基板にフォトマスクをかけた後露光して平板マイクロレンズを製作したり，アルゴンレーザーを走査して 3 次元導波路を製作したりしていた。Fig. 4 に光化学反応を用いた平板マイクロレンズの製作法を示す。フォトマスクを通してこのガラス基板に選択的に光を当ることにより，直径 $25\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ のレンズが製作できるとのことであった。屈折率変化 Δn は露光量により変えられ，3 日間の露光で， $\Delta n = 0.06$ を得ている。原理については今回特許の関係で一切ふれなかったが，パーティーで Corning 社の P. C. Schultz が次回会議では明らかにすると話していたので，次回会議以降注目したい。また D 2 では，東工大・三沢が平板マイクロレンズの N.A. の限界について報告し， n を 0.27 と大きくしたレンズでは単レンズとして N. A. = 0.3，2 枚組で N. A. = 0.54 とできることを実験的に示し，さらに，収差特性が改善できればこの屈折率差で単レンズとして N. A. = 0.4，2 枚組で N. A. = 0.7 近くにでき，出射角度の大きい LED や LED からの出射光をも受光できることを示した。D 3 では，筆者らが平板マイクロレンズの分布屈折率形成原理について報告した。ここでは，平板マイクロレンズの分

Fig. 4 光化学反応を用いた平板マイクロレンズの製作法。

Fig. 5 光重合法を用いるプラスチック分布屈折率ロッドレンズの製法

分布屈折率がイオンの電界ドリフトと拡散効果の組合せで形成され、さらに拡散係数の濃度依存性が分布形成に大きく影響していることを示した。D4は、Rochester大学のS. N. Houde-Walterによる電界移入法のくわしい実験結果で、電界の極性を交互に変えることによる分布の形状の変化や最大屈折率差の変化などを明らかにしていた。Rochester大学で、これまで提案されてきた様々な分布屈折率レンズを製作していく上での基礎データをこの実験では提供しており、今後、実際のレンズ製作へと発展することを期待したい。また、D6、D7は慶応大学の太塚、小池らによるプラスチック材料を用いる分布屈折率レンズに関する発表で、3種類のモノマーを用い、光重合法を利用したプラスチック製分布屈折率ロッドレンズについての最近の結果が報告された。Fig. 5に製作原理を示す。

セッションDの後、2件のポストデッドラインペーパーの発表があり、その後ビュフェパーティとなった。このパーティは、7月4日が合衆国の独立記念日でもあり、大きく盛り上った。このパーティを通じて多くの内外の研究者が和気あいあいの内に語り合えたことは貴重な収穫であった。

セッションE：『測定』

まずE1は東工大・伊賀、国分らによる招待講演で、シャリング干渉法を用いた屈折率分布・収差の自動測定システムについて報告があった。マッハツェンダー型干渉顕微鏡にTVモニ

Fig. 6 導波路グレーティングレンズ

ター、計算器システムを接続して光ファイバーやプリフォームロッド、分布屈折率レンズの屈折率レンズの屈折率分布や微小レンズの波面収差等を自動測定するシステムである。

セッションF：『導波路デバイス』

ここでは、F5の東芝・波多腰らによる基板に対して角度をもたせて光を出力できるグレーティングレンズが斬新であった。Fig. 6に示すように、導波路中を進行する波に2軸に対する方向変換と集光作用を与えるレンズで、プリズムカプラを必要としない導波路光学素子など、新しい光集積回路への応用が期待される。

セッションG, H：『素子応用』

セッションGではフレネルレンズが主に議論された。G3は大阪大学の西原らによる電子ビーム描画によるフレネルレンズで、Fig. 7に示すようにブレース化することにより回折効率を向上させていた。また、この種の位相板を用いて、Fig. 7(c)に示すようにガウス波を平面波に変換する素子を発表していた。G5は、三菱(株)の巽らによる光ディスク用ピックアップレンズ

Fig. 7 マイクロフレネルレンズ。(a)従来のステップ型。(b)ブレース型。(c)ガウス波-平面波変換器。

Fig. 8 (a)光ディスク用フレネルレンズ, (b)集光スポット。

を目指したフレネルレンズで, Fig. 8(a)は素子の拡大図, (b)はこのレンズによる波長 $0.78 \mu\text{m}$ のLD光の集光スポットを示す。光ディスク用ピックアップレンズとしては, 比較的焦点距離の長い大口径, 大開口数レンズが必要とされるが, このフレネルレンズに対しては, 軸ずれ入射に対する許容度の改善, 回折効率の改善等がなされれば, 有望なレンズであると思われる。

Fig. 9 積層光集積回路

セッションHは光通信素子で、H2で筆者らによる平板マイクロレンズを用いた積層光回路の報告があった。これは、Fig. 9に示すように2次元アレイ平板マイクロレンズを部分透明鏡、誘電体多層膜、磁気、電気光学結晶、穴アレー等の2次元光学素子と3次元的に積層することにより光回路を2次元アレー状に集積化するもので、今回、 2×2 光タップアレー、 2×2 光ファイバ結合器アレー、光分岐回路について発表した。

最後のセッションIは『システムと応用』についてで、I2では、日本板硝子㈱の山本らが、Fig. 10に示すように平板マイクロレンズを用いた正立等倍結像系について報告した。最後の発表となったI5の電々公社・田尻らによるファクシミリ用レンズレスイメージセンサーで、レンズの全くないnon-gradientもgradientに含まれるということで非常に面白かった。

Fig. 10 平板マイクロレンズを用いた正立等倍結像系

以上、簡単にGIOS IVについて報告した。各発表は活発に議論され、また紹介すべき発表はこのほかにも多くあったが紙面の都合上割愛せざるを得ない。GIOSは、来年4月米国モントレイでの開催が決っており²⁾、また再来年ヨーロッパでの開催が期待されている。この分野の成長と共に益々盛んになると思われる。

参 考 文 献

- 1) 伊賀：Micro Optics News, (1983) 1.
- 2) 1984. 4. 19~20, Monterey, California.