

はじめに

ロッドレンズは半径方向に2次分布状の屈折率分布を有する円柱状のレンズであり、レンズ端面より入射した光はサインカーブを描きながら進行するために、適切なレンズ長とすることで等倍正立像を得ることができる(図1)。このロッドレンズを2次元状に配列したものがロッドレンズアレイ(三菱レイヨン商品名:ロッドスコープ[®])であり、このロッドレンズアレイはファクシミリ、スキャナ、複写機、電子黒板並びにLEDプリンタ等の重要な部品として用いられている。(図2, 3)

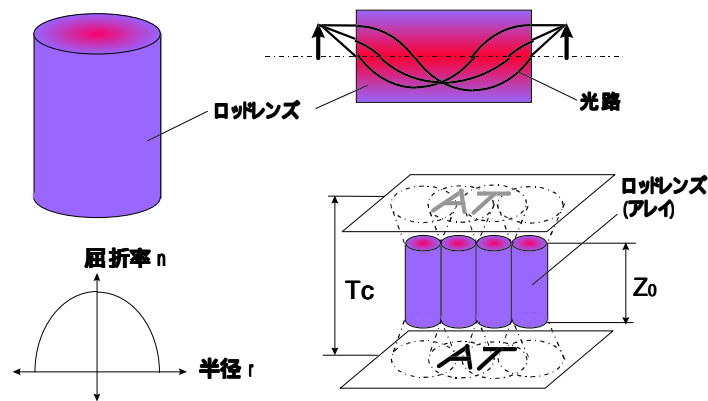


図1 : ロッドレンズの構造と機能

RODS COPEの用途

- ファクシミリ
- LEDプリンター
- コピー
- カラー スキャナ
- ディスプレイ

The image block contains five photographs of devices that utilize rod lens arrays. Top left: a fax machine. Top right: an LED printer. Bottom left: a copier. Bottom middle: a color scanner. Bottom right: a large display screen showing a colorful landscape, with a person standing next to it for scale.

図2 : ロッドレンズアレイの用途

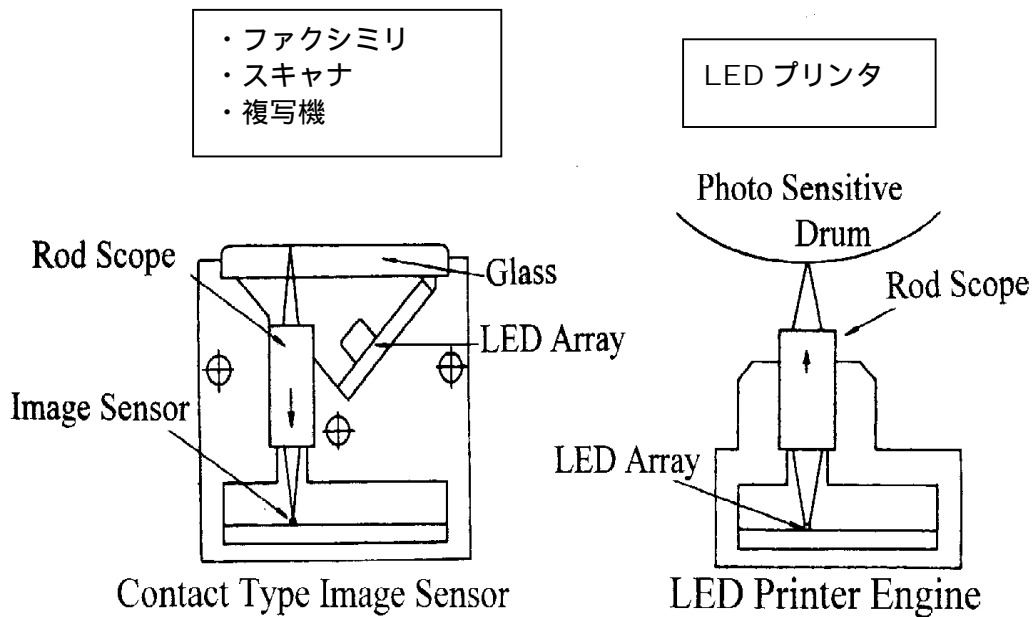


図3 : ロッドレンズアレイの実装例

ロッドレンズの結像原理を図4に示す。ロッドレンズに入射した光は一定の周期で蛇行しながら進行する。このためにレンズ長を変化させることにより、蛇行ピッチの1/4で切ったときには等倍倒立像、1/2ピッチで端面倒立像、3/4ピッチで等倍正立像及び1ピッチで端面正立像を得ることができる。レンズアレイは2次元状の等倍正立像を得るために使われるので、レンズ長を3/4ピッチ前後に合わせるとともに、隣接するレンズの像を正確に重なり合わせられるように、均質なレンズを高精度に配列して端面処理する技術が要求される。

従来、このロッドレンズアレイはガラス製レンズの独占市場であった。ガラス製レンズはバッチプロセスで生産されるために、生産性に劣り高価であるだけでなく製造バッチごとに屈折率分布に差がでるといった短所があった。そのため、同じ結像距離のレンズアレイを作成する際にレンズ製造バッチごとにアレイのレンズ長を変える必要があり、センサーモジュールへの組付けが非常に煩雑になるなどの問題点を有していた。

三菱レイヨン(株)はこれらの問題点を解決するために、連続的な生産手法によるプラスチックロッドレンズの開発に着手し、1989年にプラスチックロッドレンズの開発及びそのアレイ加工技術の開発に成功し、1990年より工業生産を開始した。

このプラスチックロッドレンズはPMMAベースの材料から形成されている

ため、ガラス製レンズと比較し材料コストは著しく低いものとなっている。また、屈折率分布が精密に制御できる連続的な製造方法であるため、レンズ性能の均質化が達成されている。このレンズから構成されるレンズアレイは常にレンズ長が一定であり、センサーモジュール等への組付けが非常に簡便になっている。

プラスチックロッドレンズアレイは汎用ファクシミリを中心に市場展開を行ってきたが、レンズ性能の向上検討を推進した結果、現状ではスキャナ、プリンタ等の上位機種への搭載も始まっており、更に適用範囲が広がり市場の拡大が見込まれている。

工場建設当初は月産1万本程度の生産能力であったが、1990年代なかばから生産量が急激に立ち上がり、現在では年間2,000万本程度の生産を行うまでに設備増強並びに生産性の向上を達成している。今後、更なる設備増強を図り、2005年には現在のほぼ倍の事業規模50億円/年への拡大を計画している。

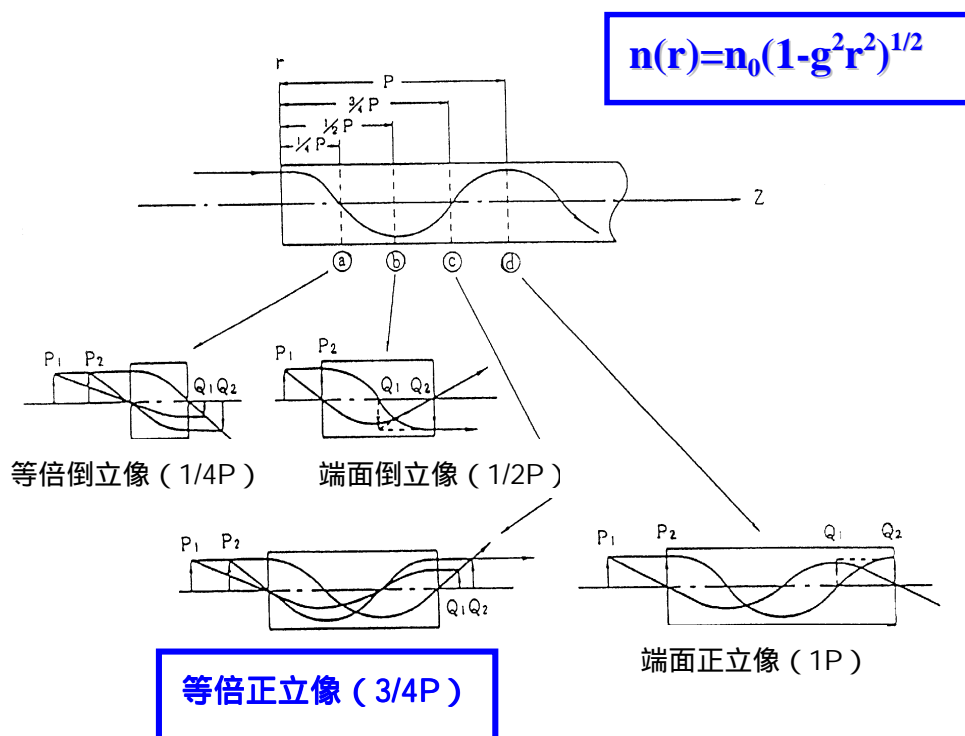


図4 : ロッドレンズの結像原理

プラスチックロッドレンズアレイの技術に関して以下の順で説明する。

- 1．技術の背景
- 2．ロッドレンズ製造技術
- 3．ロッドレンズアレイ加工技術
- 4．ロッドレンズ性能測定装置
- 5．プラスチックロッドレンズアレイの性能と用途
- 6．ロッドレンズ性能向上技術
- 7．まとめ

1． 技術の背景

プラスチックロッドレンズは 1980 年代初頭から日本板硝子、キャノン、リコー、慶応大学、三菱レイヨン等により盛んに研究開発が取り組まれてきた。しかしながら、当時検討された製造方法に関してはすべてガラス製のものと同じバッチプロセスであり、生産性が悪いこと並びに均質なレンズ製造が困難であるという問題点を有していた。また、提案された多くの製法では屈折率分布の固定化が充分でなく、作製したレンズは耐久性に不足していた。これらのことから、初期の開発のもので工業化に結びつくものはなかった。

そのような状況下、三菱レイヨン（株）は、プラスチックロッドレンズの連続生産技術構築を目指し更に検討を進めた結果、繊維賦形技術を応用し全く新規なプラスチックロッドレンズ及びその製造方法の開発に成功した。同時に独自のアレイ加工技術の開発に成功し、それらの技術をもとにプラスチックロッドレンズアレイの工業生産を開始した。

2． ロッドレンズ製造技術

三菱レイヨン（株）の開発した繊維賦形技術を応用した連続的なプラスチックロッドレンズの製造方法には、1）単量体揮発法と2）相互拡散法がある。以下それぞれを説明する。

1）単量体揮発法

単量体揮発法とは低屈折率ポリマー（例えば、ポリフッ化アルキルメタクリレートやフッ化ビニリデン系ポリマー）と重合後にそのポリマーより高屈折率で相溶するモノマー（例えば、メチルメタクリレート）の均質な混合物を紡糸ノズルより繊維状に賦形し、その後に外周部からモノマーを揮発させ繊維状物の円周方向にモノマーの分布を形成した後に重合硬化し、屈折率分布のついたロッドレンズを形成するという方法である（図5）。

単量体揮発法は単一の組成物を用いるために極めて単純なプロセスである。また、揮発性の高いモノマーを選択することによって従来のバッチプロセスと比較して非常に製造スピードが速いという特徴がある。更に、屈折率分布形成のためにポリマーとモノマー以外に余分な溶剤や屈折率分布付与のためのドーパントを必要としないために、製造したロッドレンズ中に低分子量の物質の残存量が少なく、従来のバッチプロセスのレンズとは異なり長期の信頼性を確保できるものである。

2) 相互拡散法

相互拡散法は、ポリマー（例えば、ポリメチルメタクリレート）と重合後にそのポリマーと相溶する屈折率の異なるモノマー群（例えば、フッ化アルキルメタクリレート、ベンジルメタクリレート、フェニルメタクリレート）との均質な混合物を多層に複合ノズルより繊維状に賦形し、その後層間でモノマーを相互に拡散させモノマー種の分布を形成した後に重合硬化し、屈折率分布を有するレンズを形成するという方法である（図5）。

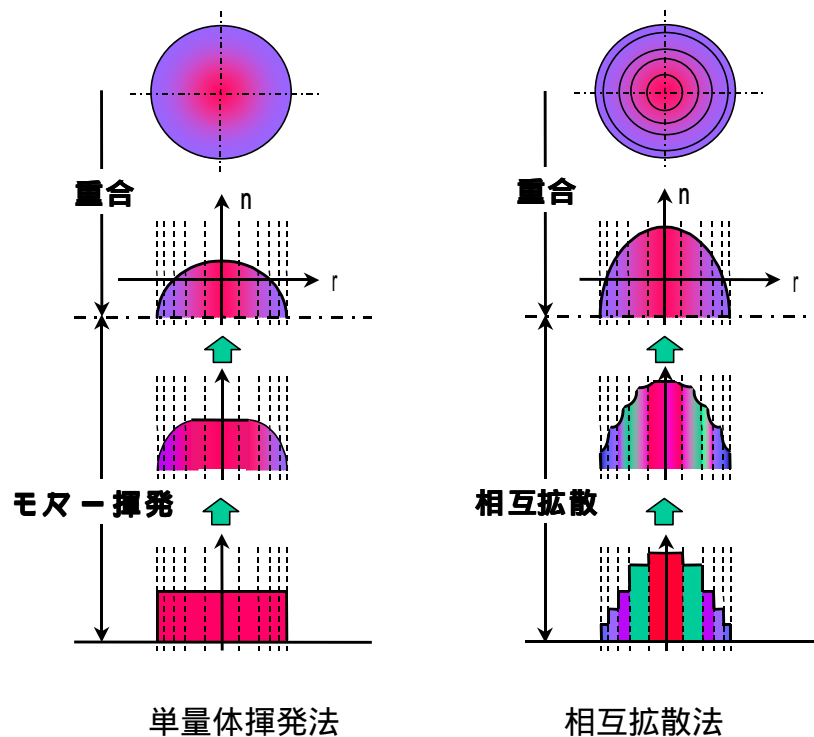


図5 : プラスチックロッドレンズの製造原理

この製造方法では使用する組成物が複数となり製造プロセスは単量体揮発法より複雑なものとなるが、層間における低分子量モノマーの相互拡散により屈折率分布を形成するために、モノマーの揮発拡散によってのみ分布を形成する単量体揮発法より製造スピードが非常に速いというメリットがある。また、各層の組成物の組成比や各層の層比といった制御因子が多く屈折率分布の精密な制御が可能となり、中心側に高屈折率のモノマーを外周側に低屈折率のモノマーを用いることにより従来プラスチックでは実現することができなかった高開口角のレンズの製造が可能となった。さらに、単量体揮発法と同様に屈折率分布形成のためにポリマーとモノマー以外に余分な溶剤や屈折率分布付与のための低分子ドーパントを必要としないために、製造したロッドレンズ中に低分子量の物質の残存量が少なく、従来のバッチプロセスのレンズとは異なり長期の信頼性を確保できるものである。

3) 相互拡散法によるロッドレンズ製造技術のポイント

- a) 相溶系ポリマーブレンド作製技術並びに新規な相溶系ポリマーブレンド
- ・ ロッドレンズは連続的な屈折率分布を有しており、レンズ中に緩やかな傾斜を有するものである。連続的な屈折率分布形成のためには共重合比を変化することによるもの、並びにブレンド比の変化によるものが考案されてきた。
 - ・ 相互拡散法では、モノマーとポリマーを均一混合溶解した紡糸可能な粘度を有する原液を複合紡糸することで、層間でのモノマーの拡散が起こり、モノマー種の分布が形成した後に連続的に重合硬化を行い、組成分布を有するレンズが得られる。屈折率分布はモノマー種が重合して得られる共重合ポリマーの組成比の変化により形成されるものであるが、得られるレンズは元来のポリマーとモノマー種が重合して得られる共重合体ポリマーとのブレンド物から形成される。このため、透明なレンズ製造には両者のポリマーの相溶性が重要なポイントとなる。
 - ・ このような系で形成されるポリマーブレンドは、通常の共通溶媒法や加熱ブレンド法より透明性が確保できる相溶範囲が著しく広がることを見いだした。この現象は、ポリマーの分子鎖がモノマーによりほぐれ、その分子鎖の絡まり状態を維持しつつ重合し、擬似 I P N 構造を形成していることに起因しているものと想定される。

b) 屈折率分布の精密制御および均一制御技術

- ・ ロッドレンズはそれを多数本並べたロッドレンズアレイの形で用いられ、隣のレンズの像と正確に重なり合う必要がある。そのためにロッドレンズの製造時には1本のレンズの屈折率分布を精密に制御するばかりではなく、連続して製造するレンズの光学特性の均質性も要求される。
- ・ レンズ特性の均質化のために、製造するレンズの直径の変動を2 μm以下にする原液の精密吐出量制御システムの構築に成功している。
- ・ レンズアレイとして隣のレンズと正確に像が重なり合うためには、レンズの同芯円度も重要なポイントとなるが、ノズル構造の適切化並びに各層原液粘度の関係を適切に保つことでレンズの同芯円度の確保に成功している。
- ・ レンズの屈折率分布の精密制御及び均質管理の目的で、モノマー拡散時並びに重合時における周辺温度の精密な制御システムを構築している。

c) 相互拡散法のフローチャート

以上のように

- ・ 相溶系ポリマーブレンド作成技術並びに新規相溶系ポリマーブレンド
- ・ 各層原液の精密吐出コントロール技術
- ・ 精密な複合紡糸技術
- ・ 拡散部及び重合部の均一温度コントロール技術

といったユニット技術を統合し、本ロッドレンズ連続製造技術は構築されている。

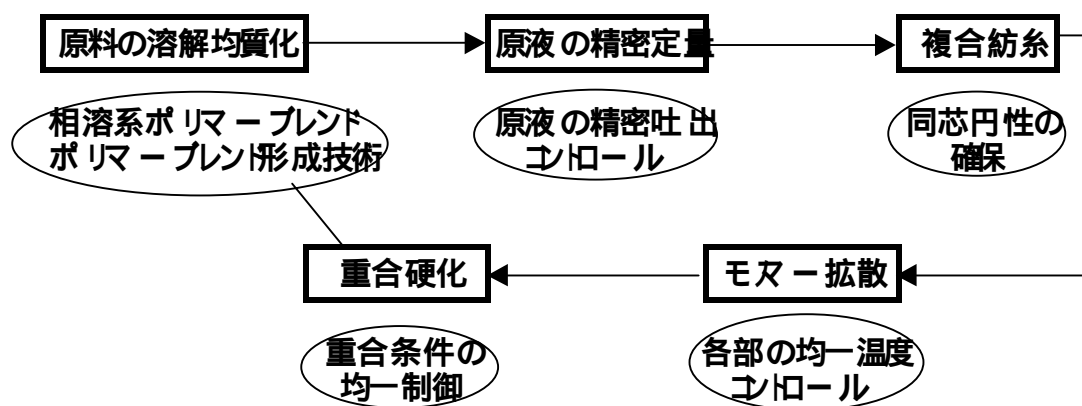


図6 : 相互拡散法フローチャートと技術のポイント

3. ロッドレンズアレイ加工技術

ロッドレンズアレイは図7のように2枚の基板の間にレンズを配列し、レンズ長を揃え両端面を平滑に加工したものである。

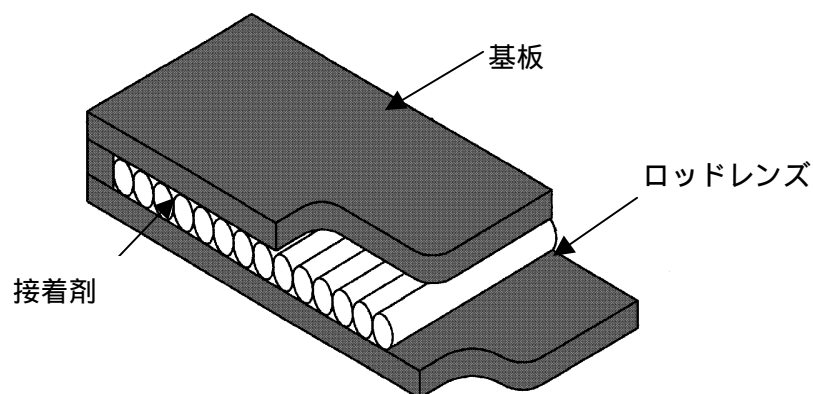


図7 : ロッドレンズアレイの構成

三菱レイヨン（株）ではロッドレンズのみではなく基板並びに接着剤などのすべての部材を熱膨張率が同等となるプラスチックとすることで、周辺温度の変化による特性変動の少ない、また、ヒートサイクル特性に優れたロッドレンズアレイの開発に成功している。

このレンズアレイの製造方法は

- 1) 基板上にレンズを配列挟持する工程
 - 2) レンズ長を揃える工程
 - 3) レンズの両端面を平滑に加工する工程
- とに分かれる。

これらの工程は、すべての部材がプラスチックより形成されているという特性を生かし、従来のガラス製レンズアレイの加工工程と比較して非常にシンプルなものとなっており、レンズアレイの製造コストを下げる大きな要因となっている。

4. ロッドレンズ性能測定装置

ロッドレンズの性能はレンズアレイのMTF（解像度）で表示している。MTF測定装置の概要を図8に示す。格子パターンを通した光をレンズアレイに入射し、CCDで検出しどの程度格子パターンを再現できるかを測定する装置である。MTFは式1から求められる。またこの格子パターンの格子密度を空

間周波数と言い、1mm の中に何組の白黒パターンがあるか (Lp/mm = ラインペア / mm) を表示するものであり、その数が多いほど評価が厳しくなる。

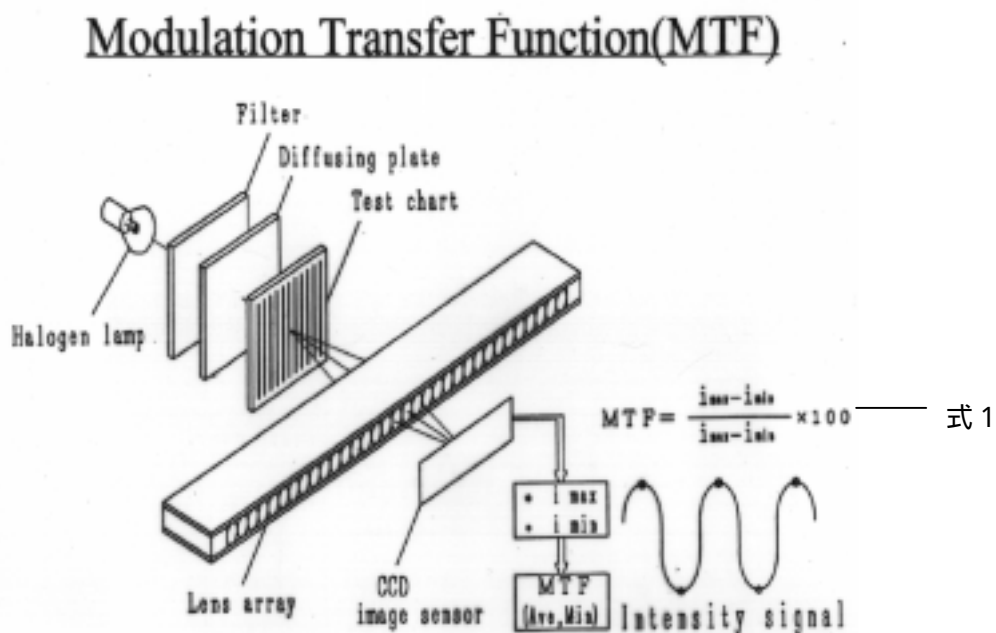


図 8 : MTF 測定装置の概略

5 . プラスチックロッドレンズアレイの性能と用途

ロッドレンズアレイの解像度とその用途に関してまとめたものが図 9 である。要求される解像度は、電子黒板のように低いものから、LED プリンタ用、複写機用のように非常に高いものまで存在する。

初期に開発したプラスチックロッドレンズアレイの光学特性は、波長 570nm の光に対して、レンズ長 6.6mm、共役長 14.4mm で MTF は 4Lp/mm で 70% , 8Lp/mm で 57% であった。MTF が 60% 以上であればその空間周波数は解像できるとの評価であるので、プラスチックロッドレンズアレイは 4Lp/mm を解像する能力を有していたが 8Lp/mm を解像する能力は不十分であった。このためプラスチックロッドレンズアレイは解像度の要求の低い電子黒板、汎用ファクシミリ及び低解像度スキャナ用途から実用化された。

しかしながら図 9 に示すようにロッドレンズアレイの適用用途は高解像度が要求される領域で非常に広範にわたっており、プラスチックロッドレンズアレイの適用範囲を広げるためにはレンズ性能の向上が必須の技術であった。

ロッドレンズアレイの主要用途

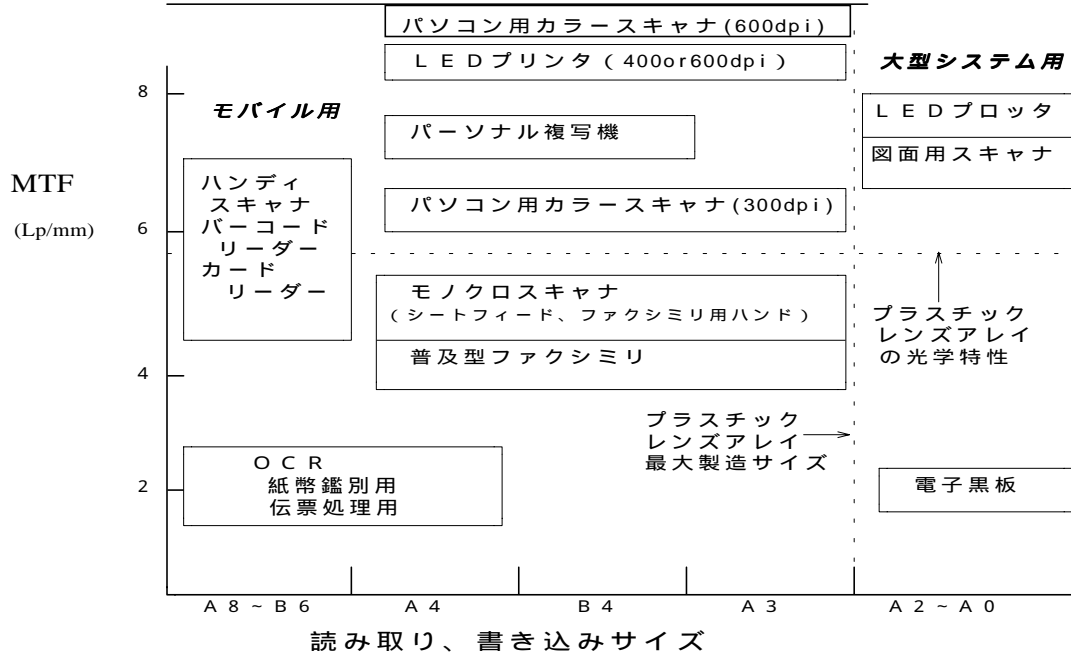


図9 : ロッドレンズアレイの解像度と用途

6. ロッドレンズ性能向上技術

プラスチックロッドレンズの屈折率分布を図10に示す。破線 (×印) が実測値で実線がその実測値から求めた理想的な屈折率分布曲線である。

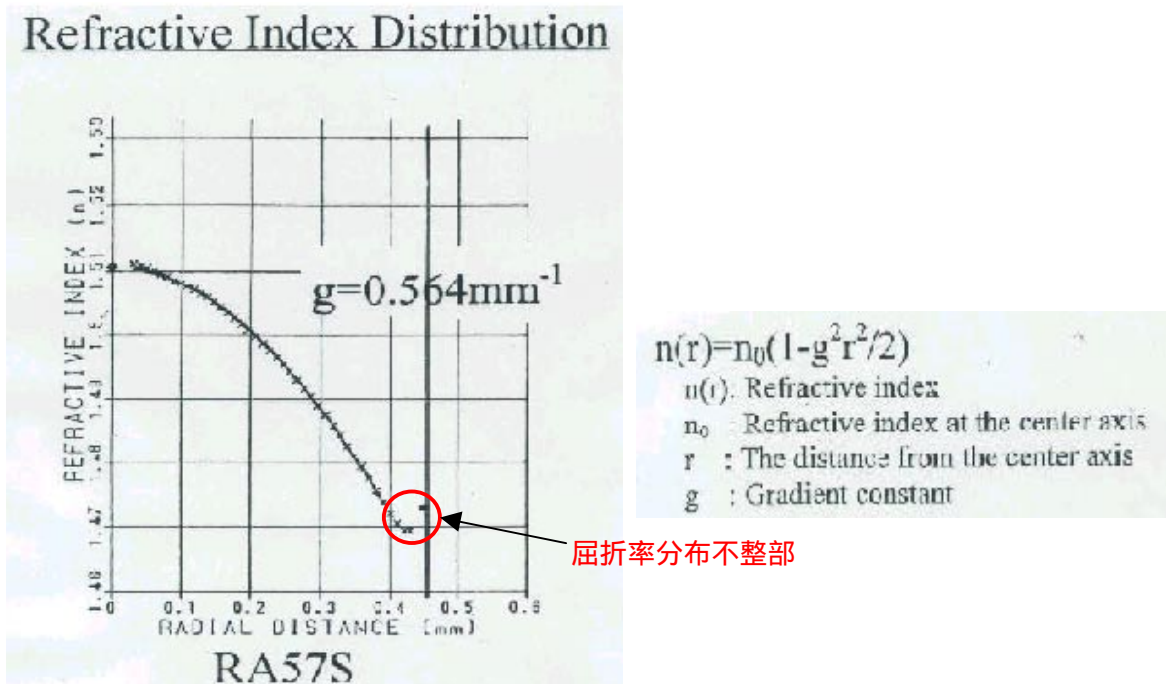


図10 : プラスチックロッドレンズの屈折率分布

レンズの中心からかなりの部分まで理想分布に近いものであるが、外周部は理想分布からかなりはずれている。プラスチックロッドレンズのMTFが低い原因は外周部の屈折率分布の不整な部分に起因していた。

屈折率分布が不整なレンズの外周部を削除してレンズ特性がどのように変化するかの確認を行った結果を図11に示す。外径940 μm のレンズを860 μm まで削り込むと4Lp/mmの格子を用いたMTFは約82%となり、ガラス製レンズと同等の解像度を有していることを確認した。

この結果を踏まえ、さらにプラスチックであるという特性を利用して、連続的な外周部削除技術並びに外周部染色技術を形成し、工業的に高性能なプラスチックロッドレンズの製造技術を確立した。

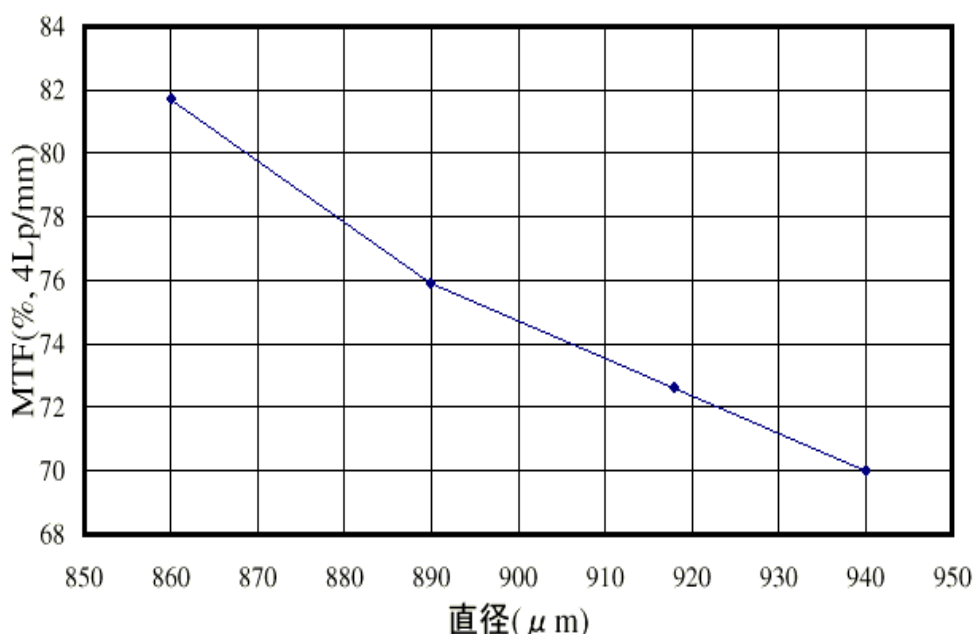


図11 : レンズの外周処理とMTF

7. まとめ

プラスチックロッドレンズアレイは繊維賦形技術を応用した連続的なレンズ製造技術及びすべての部材がプラスチックである利点を活かしたアレイ加工技術に基づいて製造コストを著しく下げること成功した。このこと並びに光学系のシンプルさにより、従来 CCD 方式が標準的に用いられていた汎用ファクシミリの読みとりセンサー分野で、ロッドレンズアレイを用いた CIS (密着型イメージセンサ) 方式が全体の約9割を占めるに至っている。プラスチックロ

ッドレンズアレイの開発、量産化により、汎用ファクシミリの読み取り系の方式転換というドラスチックな変化を引き起こした。

現在、プリンタ、スキャナ、複写機等のドキュメント機器分野は非常に大きな成長領域と考えられている。これらの分野では、いずれも高性能なロッドレンズアレイが必要とされている。特に、複写機のアナログからデジタルへの変換にともない従来必須であったズーム機構が不要となり、等倍結像しかできないロッドレンズアレイにも複写機用途に採用される機会が開けてきた。

図12に三菱レイヨン(株)のロッドレンズアレイ事業の戦略を示す。

この図が示すようにプラスチックロッドレンズの適用範囲はますます広がり、さらにはIT関連の飛躍的な進展にともない、モバイル化・高機能化・複合化の流れの中で思わぬ新規分野の出現も期待される。

「ガラスでできることが有機高分子でできないことはない」との思いで着手したことが、有機高分子ならではの特征により新たな市場創造に結びついたといえる。今後の家庭内のIT化や利便性の提供に貢献できるように技術の深耕、事業の拡幅に努力していきたい。

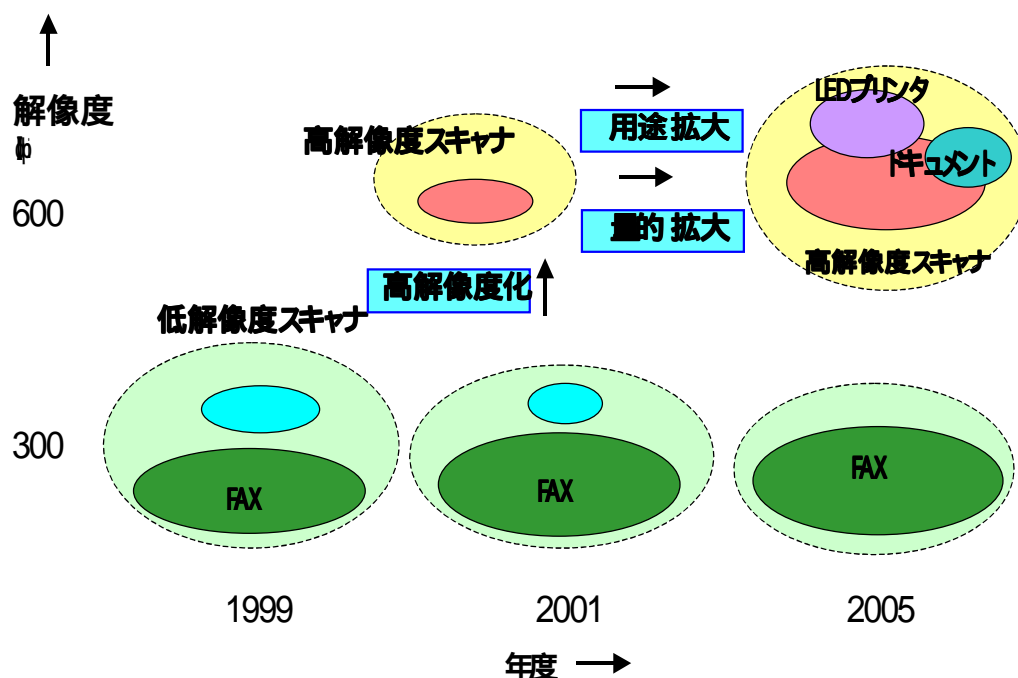


図12 : 三菱レイヨン(株)のロッドレンズ事業戦略