

プラスチックレンズを多用した LS ズームレンズの開発

Development of Compact Camera Zoom Lens Incorporating with Plastic Lenses

佐藤正江*
Sato, Masae

山口進*
Yamaguchi, Susumu

平山博士*
Hirayama, Hiroshi

徳弘節夫*
Tokuhiro, Setsuo

Recently, high magnification ratio, compactness, and cost reduction are strongly required for a zoom lens of compact camera. In order to satisfy such requirements, we have developed compact zoom lens units incorporating with highly precise plastic lenses. This report explains the fundamental technology to produce these compact camera zoom lens, mainly, optical design technology and optical film design.

1 はじめに

近年、LS (Lens-shutter) カメラ用ズームレンズには高変倍化、コンパクト化、および低コスト化が強く求められている。当社ではこの要求に応えるため、高精度プラスチックレンズ成形技術を活かし、非球面プラスチックレンズを多用化する方向で取り組み、構成枚数の過半数をプラスチックレンズ化したズームレンズを開発することができた。また、プラスチックレンズ化された第1レンズ用のコートとして、従来のものより耐久性に優れた新規の反射防止コートの開発に成功した。

本稿ではプラスチックレンズを多用した LS カメラ用ズームレンズの光学設計と第1レンズ用新規反射防止コートについて紹介する。

2 光学設計

2.1 LS ズームレンズのプラスチック化

変倍比が3倍クラスまでの LS カメラ用ズームレンズとしては、正の焦点距離の第1群と負の焦点距離の第2群からなる、いわゆるテレフォトタイプの2群ズームレンズが主流となっている。当社では、高性能化、コンパクト化、および低コスト化を達成するためプラスチックレンズを用いた2群ズームレンズを製品化してきている。例えば従来のズームレンズでは、f38~110 mmクラスはガラスレンズ4枚、プラスチックレンズ2枚 (G4P2)、f35~70 mmクラスはガラスレンズ3枚、プラスチックレンズ2枚 (G3P2) で構成されており、構成枚数の中でプラスチックレンズは2枚のみの採用であった。¹⁾

このような状況の中、更なる低コスト化・高性能化を図るために、プラスチックレンズの枚数比率を増やした新規ズームレンズを開発するに至った。以下、f38~90 mm (G2P3)、f38~130 mm (G2P4)、f25~40 mm (G1P4)、3種類のズームレンズ^{2) 3)} を順に紹介する。

2.2 f38~90mm ズームレンズ (G2P3)

仕様を Table 1、広角端におけるレンズ断面図を Fig.1 に示す。Fig.1 中斜線を施したレンズがプラスチックレンズである。

Table 1 Specification of f38~90mm zoom lens

Focal length (mm)	39.4~86.6
F No.	5.0~10.9
Angle of view (deg.)	56.0~28.0
Lens construction	5 elements (G2P3)

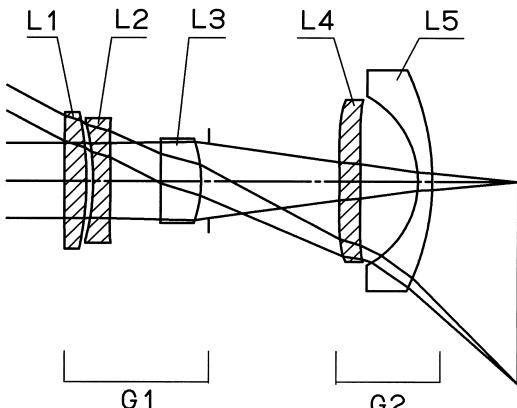


Fig.1 Cross-sectional drawing of f38~90mm zoom lens

プラスチックレンズを使用すると非球面の導入が容易であるため、高性能化、低コスト化に寄与することができる。しかし、プラスチックレンズはガラスレンズに比べ温度変化による熱膨張（ガラスの約10倍）や、屈折率の変化（ガラスの約100倍）が大きいため、温度変化時にピント移動が生じる。正負の2群ズームレンズでは、特に望遠端において第1群の収差が第2群で拡大されるため、温度補償を考える場合も第1群単独で温度補償されなければならない。当社の従来の LS カメラ用ズームレンズでは、第1群中の

* OPT カンパニー 光学開発センター

プラスチックレンズが1枚であったため、大きなパワーを持たないノンパワーのレンズにして温度変化による影響を少なくしていた。しかし、複数のプラスチックレンズを用いた場合、このような考え方では温度補償はできても収差補正が困難になってしまう。そこで、正と負のプラスチックレンズに積極的にパワーを持たせ、良好な収差補正を行ないながら、かつ、ピント移動を相殺する考え方で温度変化による影響を少なくしている。f38~90mm ズームレンズでは、第1群中の正のL1と負のL2をプラスチックレンズにし、個々のレンズに積極的にパワーを持たせながら、2枚の合成では弱いパワーになるような構成にしている。また、第2群中のプラスチックレンズ(L4)はノンパワーとし、温度変化による影響を少なくしている。

プラスチックレンズの材料は、ガラスレンズに比べ非常に種類が少ないが、LS ズームレンズではポリオレフィン系(アッペ数 $\nu d=56$ 程度)、アクリル系($\nu d=56$ 程度)や、ポリカーボネイト系($\nu d=30$ 程度)がよく使用される。一般に正の第1群では、正レンズにアッペ数の大きい材料を、負レンズにアッペ数の小さい材料を使用すると、色収差を良好に補正できる。f38~90mm ズームレンズでは、正のL1はポリオレフィン系、負のL2はポリカーボネイト系で構成した。L1のポリオレフィン系は、後述の新規開発のコートとのマッチングがよいことも選定理由のひとつである。

2.3 f38~130mm ズームレンズ (G2P4)

仕様を Table 2、広角端におけるレンズ断面図を Fig. 2 に示す。Fig. 2 中斜線を施したレンズがプラスチックレンズである。

Table 2 Specification of f38~130mm zoom lens

Focal length (mm)	39.4~125.6
F No.	4.3~13.5
Angle of view (deg.)	56.0~19.6
Lens construction	6 elements (G2P4)

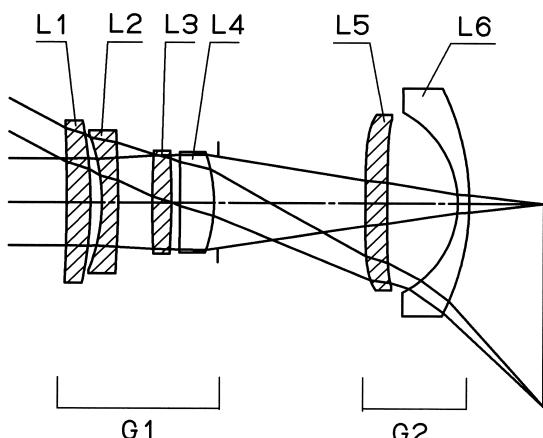


Fig. 2 Cross-sectional drawing of f38~130mm zoom lens

f38~130mm ズームレンズは高変倍ズームレンズのため前述の G2P3 構成では、温度補償と収差補正の両立が困難であった。一般に正負の2群ズームレンズでは、第1群の前方(L1+L2)にある程度の負のパワーが必要となる。これにより、広角側において負の第2群で発生する糸巻き型の歪曲収差や、全ズーム領域における球面収差やコマ収差といった諸収差を良好に補正することができる。このように、収差補正上は第1群前方の負のパワーをある程度強くする方が有利にはなるが、この2枚をプラスチックレンズで構成した場合、温度補償のためには合成の負のパワーを強くできない。そこで、第1群中に正のプラスチックレンズを1枚増やし(L3)、第1群の前方は適度な強さの負のパワーを持たせたまま、第1群中のプラスチックレンズ3枚の合成パワーを弱い値にすることで、温度補償と収差補正を両立することができた。

参考として f38~130mm ズームレンズの広角端および望遠端における MTF(Modulation Transfer Function)を Fig. 3 に示す。

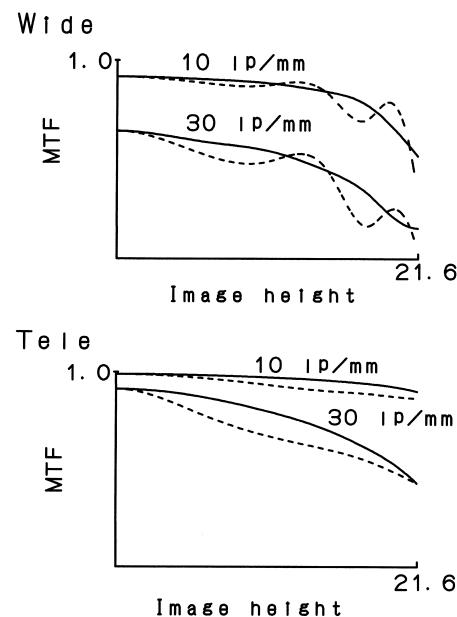


Fig. 3 Modulation transfer function

2.4 APS カメラ用 f25~40mm ズームレンズ (G1P4)

仕様を Table 3、広角端におけるレンズ断面図を Fig. 4 に示す。Fig. 4 中斜線を施したレンズがプラスチックレンズである。

Table 3 Specification of f25~40mm zoom lens

Focal length (mm)	25.9~38.5
F No.	6.6~9.8
Angle of view (deg.)	65.8~48.2
Lens construction	5 elements (G1P4)

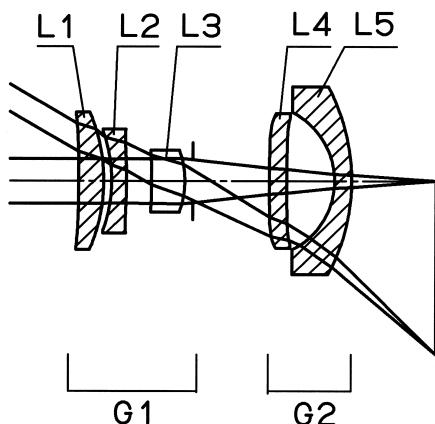


Fig.4 Cross-sectional drawing of f25~40mm zoom lens

APS カメラ用の f25~40mm ズームレンズは、最終レンズもプラスチック化した G1 P4 構成である。最終レンズは中心と周辺の肉厚に差があるため、プラスチックレンズ化した場合成形しにくい形状ではある。ただし、APS カメラ用のため、通常の 35mm フィルムを用いたカメラに比べ外径を小さくできる点、低変倍ズームレンズなので非球面誤差の収差への影響が小さい点等が利点となり、プラスチック化が実現した。ここで、最終レンズは比較的強い負のパワーを持つが、第2群中のレンズであり、かつ望遠端の焦点距離が短めであるため、温度変化によるピント移動は問題にならない値に補正できている。

2.6 プラスチックレンズの温度補償の考え方

本稿で紹介したズームレンズでは、個々のプラスチックレンズに積極的にパワーを持たせる構成としたが、ここで、主にプラスチックレンズの屈折率変化に起因する、ピント移動の補償の考え方について整理する。
レンズ設計における色補正と同じ考え方で、第*i*レンズの屈折率の温度分散を以下のように定義する。

$$\omega_i = \{n_i(t_0) - 1\} / \{n_i(t_1) - n_i(t_2)\}$$

t : 温度、*t*₁ < *t*₀ < *t*₂

このとき、

$$\sum h_i^2 / (\omega_i \cdot f_i) \approx 0$$

h_i : プラスチックレンズを薄肉レンズと仮定した場合の軸上光線高さの近軸値

f_i : プラスチックレンズの焦点距離

の条件を満たせば、温度変化時の屈折率変化に起因するピント移動を小さく抑えることができる。⁴⁾

ただし、限られたレンズ枚数の中での収差補正上、この条件を 100% 満足することはできないが、要求仕様の焦点深度内にピント移動が収まるようなバランスにしている。

なお、Table 4 に各ズームレンズの温度変化時のピント移動量 ΔfB （レンズ鏡枠の伸縮は考慮外）を示す。これは、温度変化 $\Delta T = \pm 30^\circ\text{C}$ における望遠端のピント移動量を焦点深度に対する比率で表したものである。

Table 4 Variation of focus position caused by temperature change ($\Delta T = \pm 30^\circ\text{C}$)

Lens type	$\Delta fB/\text{depth of focus}$
f 38~90mm	0.72
f 38~130mm	0.12
f 25~40mm	0.59

3 反射防止コート

ズームレンズの最も被写体側に位置する第1レンズの素材が、ガラスからプラスチックに変更されるのに伴い、硬度、耐久性を強化したプラスチック専用の反射防止膜を開発した。以下、今回開発した反射防止膜を PSCHO コートと呼ぶ。

開発目標は以下の通りである。

- ・平均反射率 2% 以下（従来の第2レンズ以降に使用されていたプラスチックレンズコートと同等）。
- ・耐擦傷性を高め、実用に耐える膜硬度を持たせる。
- ・プラスチックレンズコートの膜硬度評価方法の確立。

3.1 膜設計

Table 5 に PSCHO コートとともに、従来のプラスチックレンズコート (PSCO)、プラスチックを第1レンズに採用している競合他社品のサンプル K、サンプル F の特徴を示す。サンプル K はコートなし、サンプル F は MgF₂ の単層コートである。

第1レンズは外部に露出しており、傷がつき易い。そのため耐擦傷性に優れた硬いコート膜が求められる。本開発ではコストの関係から蒸着条件、膜厚、材料の変更などで、所望の性能を満足するコート膜を検討することにした。

層構成はプラスチック基板/SiO₂/ZrO₂/SiO₂ の 3 層コートとした。膜の硬度、耐久性向上のため、第1層目の SiO₂ を PSCO コートよりも厚くした。PSCHO コートも従来の PSCO コートと同様、真空蒸着法により作成した。

第1レンズは、最も被写体側のレンズであり、直接ユーザーの目に触れるため、光学性能に加え、反射色も考慮して設計した。その結果、光学性能は平均反射率 1.5%、最小反射率ピーク波長 $\lambda = 570\text{nm}$ 、U字型の反射特性を有するため、反射色はマゼンタとなった。

Table 5 Characteristics of anti-reflection coatings

Sample	PSC0	PSCH0	Sample K	Sample F
Number of layers	3	3	0	1
Film thickness (nm)	166	336	0	100
Reflectance (%)	2.0	1.5	3.8	1.5
Reflection color	violet	magenta	white	magenta
Adhension test	○	○	×	×
Delamination load of micro-scratch test (g)	4	8	—	1

3.2 耐擦傷性、膜硬度の検討

耐擦傷性を評価するため、拭き試験を実施した。クリーニングクロスにイソプロピルアルコールを含ませ、100g程度の力で100回拭いた。その結果、Table 5に示すように、PSCH0とPSC0コートでは異常が見られなかったが、サンプルKではコート膜がないため、細かな傷がレンズ表面に入り、サンプルFではプラスチックとMgF₂の相性の悪さから、膜剥がれが生じた。

さらに、膜硬度を評価するため、スクラッチ試験機を使用した。Fig. 6に示すように0gから15gまで連続的(1g/sec)に押付け荷重(Fz)を増加しながら、0.1mm/secの速度で移動させた。そして膜に傷が入った時の押付け荷重(Fz)を膜硬度とした。各サンプルで3回測定し、平均値を求めた。Fig. 6に測定データを示す。1mm程度移動させたところで摩擦力(Fx)が急激に上昇しており、ここで薄膜が削られ始めたことを示している。Table 5の最下段に示すように、従来のPSC0コートに比較して、2倍の膜硬度を持つことができた。

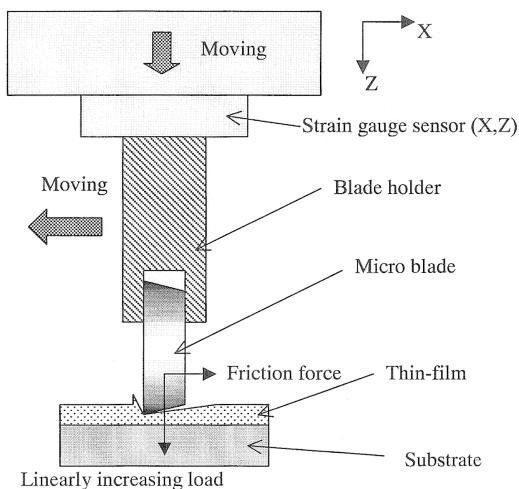


Fig. 5 Schematic of micro-scratch test

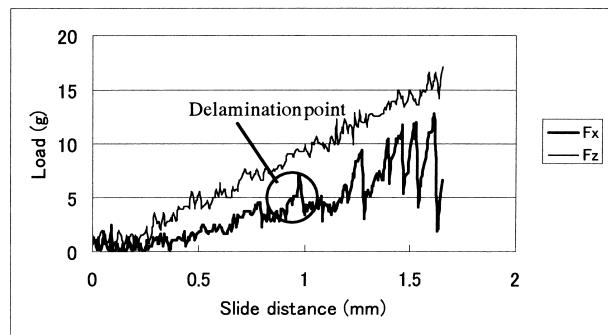


Fig. 6 Delamination load of micro-scratch test

4 まとめ

プラスチックレンズを多用したLSズームレンズの光学設計と第1レンズ用新規反射防止コートの概要を報告した。

本稿では紹介できなかったが、過半数をプラスチックレンズで構成するLSズームレンズの開発は、高精度成形技術をはじめとするプラスチックレンズに関連したさまざまな技術により実現できたものである。今後もさらなる技術開発を通して、より魅力的なズームレンズ(LSカメラ用、デジタルカメラ用、他)の開発に貢献して行きたい。

●参考文献

- 1) 山口進、福島章介、Konica Tech. Rep., 12,(1999)
- 2) 佐藤正江、大田耕平、横田稔：特開2001-166207号公報
- 3) 佐藤正江、森伸芳、山口進：特開2001-255461号公報
- 4) 中川治平、“レンズ設計工学”、東海大学出版会
- 5) 平山博士、徳弘節夫、山口進：特願2001-090014