

デジタルカメラの小型・薄型化

江 口 勝

Miniaturization and Thin Shaping of a Digital Camera

Masaru EGUCHI

In recent years, digital cameras have spread quickly, and thin-shape portable models with a single-focus lens for consumer have been introduced into the market. Digital cameras with a zoom lens are also put in practical use in spite of difficulties in making a thin-shape model. There are various ideas for making a small digital camera with zoom lens, such as the technique which bends optical path using prism or shortens the interval between lens groups by using the retractable lens barrel. This paper introduces about the latest technology for miniaturization and thin shaping of a digital camera.

Key words: super thin digital camera, bent type zoom lens, sliding lens system

最近のデジタルカメラのトレンドとしては、小型・軽量化だけでなく「薄型化」がある。カメラの小型化が進んだ技術的背景としては、イメージセンサーや電池などの電子部品の小型化が最近著しく進展したことがあげられる。しかし、さらなる小型・薄型化には、光学系の小型化が重要課題となっている。2002年には単焦点レンズを搭載した厚さが約11mmのカメラが登場し、市場で好評を博している。一方、小型化、特に薄型化が難しいズームレンズ付きカメラにおいても、さまざまなアイデアを採用して小型化を図ったモデルが実用化されてきている。

1. 光学系の小型化の障害

デジタルカメラ用光学系では、イメージセンサーの前方に光学ローパスフィルターを配置したり、光量を確保するためのマイクロレンズ付きイメージセンサーを用いることが多い。したがって、光学系射出瞳距離がセンサーに近すぎたり、変倍やフォーカシングによる射出瞳距離変動が大きいと、ローパスフィルターやマイクロレンズへの入射角が大きくなり（または変化が大きくなり）、ローパス効果の不均一やシェーディングの問題が発生する。

図1、図2は3倍ズームの銀塩コンパクトカメラ用のズームレンズ、図3、図4は同じく3倍ズームのデジタルカメラ用のズームレンズの、ワイド側とテレ側のレンズ断面図である。銀塩コンパクトカメラ用のズームレンズは、正レンズ先行型、例えば正正負のレンズタイプをとり、イメージサイズに対して光学系は比較的小さい。しかし、ワイド側での射出瞳位置が像面に近く、変倍による変動も大きい。これに対して、デジタルカメラ用のズームレンズは、負レンズ先行型、例えば負正正のレンズタイプをとり、射出瞳距離が像面から遠く、また変倍による変動も少ない（表1）。コンパクトタイプのデジタルカメラに使用する小型のイメージセンサーは、135フィルムに比べて非常に小さい（図5）。しかし、光学系の大きさはイメージサイズをスケールした大きさととはならず、イメージサイズに対して光学系が大きくなりやすく、デジタルカメラの小型化を阻害するひとつの要因となっている。

さらに、イメージセンサーの微細化による高解像度化により、回折の影響を無視することができなくなっている。したがって、明るい F ナンバーで高解像度な光学系が必要となり、撮影光学系の小型化を図るうえで障害となっている。

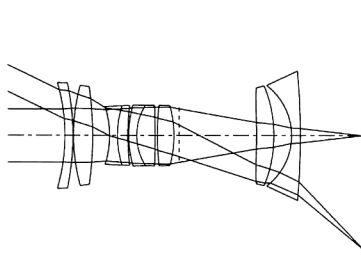


図1 コンパクトカメラ用ズームレンズ (ワイド側断面図)。

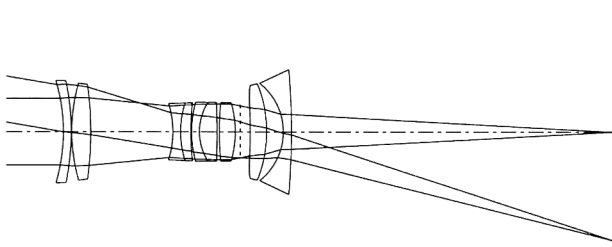


図2 コンパクトカメラ用ズームレンズ (テレ側断面図)。

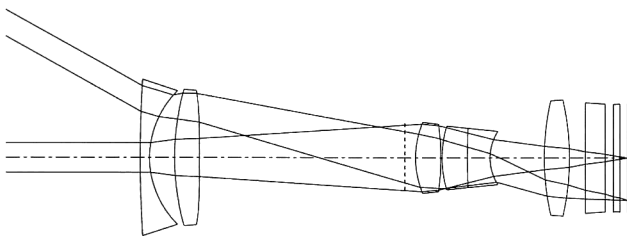


図3 デジタルカメラ用ズームレンズ (ワイド側断面図)。

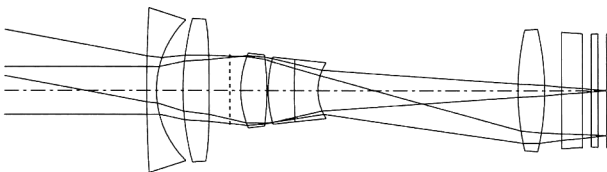


図4 デジタルカメラ用ズームレンズ (テレ側断面図)。

2. 薄型デジタルカメラの光学系

2.1 沈胴方式

カメラ撮影時にはレンズを所定の位置まで繰り出し、撮影時以外はカメラ内部に収納する方式で、沈胴タイプと呼ばれる。収納時、可能な限り各レンズ群の空気間隔を短縮することでカメラ厚を薄くし、携帯性を向上させる構成をとるこの機構は、従来から種々のカメラで多く採用されている。このカメラ断面図を掲載する(図6)。しかし、カメラの薄型化をさらに進めるにあたって、沈胴状態でも、レンズ群の厚さの合計以下には薄型にできない問題がある。レンズ群の空気間隔を極力短縮した状態が薄型化の限界点

表1 コンパクトカメラとデジタルカメラの光学系の諸元。

	Espio 115 135 フィルム	Optio S 1/2.5" CCD
画面サイズ	36×24 mm	5.75×4.3 mm
焦点距離	38~115	5.8~17.4 (35~105)
F 値	F 4~8.5	F 2.6~4.8
ズームレンズの群構成	正正負	負正正
主光線の射出角 MAX (対角)	40度以上	10度以内

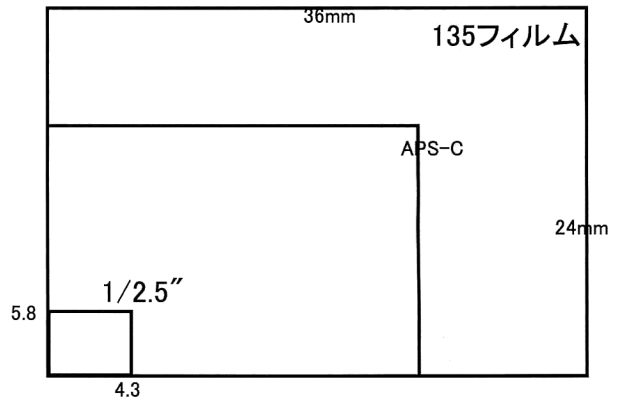


図5 135 フィルムと小型 CCD の大きさ比較図。

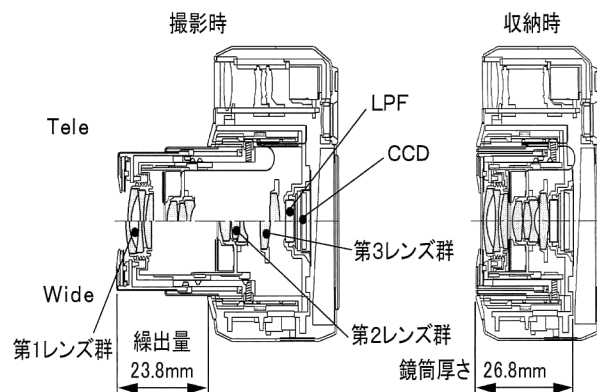


図6 従来沈胴方式カメラ断面図。

となる。

2.2 レンズ部回転方式

非撮影時にはレンズは上を向いているが、撮影時にはレンズ部を回転させ、レンズの光軸を被写体に向けることができる方式である。カメラの厚さを決めるのはレンズ外径のみとなるため、薄型化に適した方法といえる。厚さ 15 mm と非常に携帯性のよいカメラが発売されている(図7)。

2.3 光路折り曲げ方式

従来のズームレンズを搭載したカメラは、光軸を被写体に向けた配置をとり、イメージセンサーは被写体に正対し



図7 レンズ回転式カメラ。

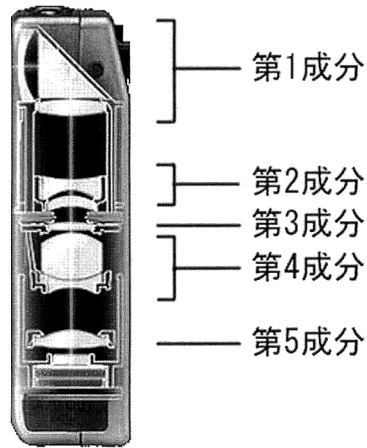


図8 光路折り曲げ方式カメラ。

た状態に配置するのが一般的である。しかし、上記のように、従来の沈胴式カメラでは薄型化には限界がある。そこで、レンズ前方部にプリズムを配置、光路を90度直角に曲げるレイアウトにしたカメラが登場した(図8)。従来カメラとは異なり、イメージセンサー配置の自由度を巧みに利用して、従来の沈胴式では達成不可能な薄さのズームユニットを実現している。この光学系はプリズム周辺の誤差要因が増えるため、単体誤差に加えて、その他のレンズ群との相対的な位置精度を確保するための組立技術、調芯技術などの光学生産技術が必要となる¹⁾。

2.4 スライディング方式

一方、光軸は被写体に向けた配置をとる従来の沈胴方式をもつカメラにも、新しい薄型化技術が登場した。従来と同じく、撮影時にはレンズ鏡筒を繰り出すが、収納時にはレンズ群の一部を光軸上からはずして、ローパスフィルタの上部のスペースに退避する方式である(図9)。

第1レンズ群の構成としては、従来3枚構成であったものを屈折率1.8以上の高屈折率ガラスモールド両面非球面レンズを採用し、構成枚数を2枚とし薄型化している。第2レンズ群は、退避させるスペースの制約から、外径を小さくする工夫をしている。非球面レンズは一般的に、レンズ製造時および組み立て時のディセクターに対する性能劣

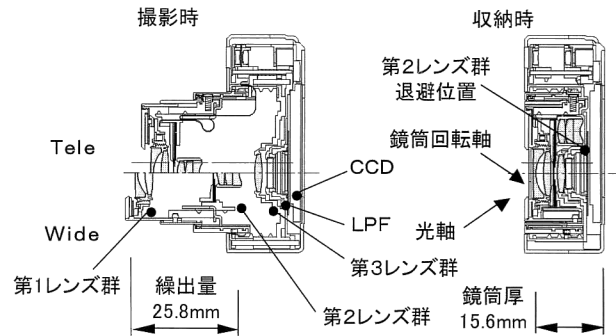


図9 スライディング・レンズ・システムカメラ断面図。

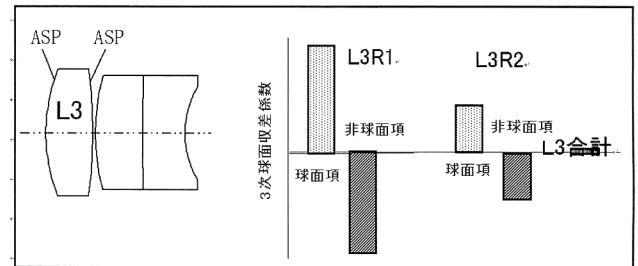


図10 退避群(第2レンズ群)のレンズ断面図とL3の物体側面と像側面の三次収差係数。

化の感度が高いが、最も感度が高い第3レンズ(L3)を両面非球面にすることにより、各面における球面収差の発生を抑えるとともに、各面の軸上偏芯コマ収差感度を低減している(図10)。これにより、第2レンズ群全体の群間偏芯コマ収差感度の低減も可能となる。このように、両面非球面を効果的に使用することにより退避群の偏芯感度を低減し、スライディング機構の導入による光学性能への影響を緩和している²⁾。

2.5 複眼方式

昆虫の複眼構造を模した、「TOMBO」システムと呼ばれる画像入力モジュールも開発されている。光学系は一般的にイメージセンサーの大きさによってほぼ大きさが決まってしまうが、このシステムでは、マイクロレンズアレイによる複眼光学系と、信号分離障壁により分割されたイメージセンサーアレイから構成されるもので、薄型な光学系を実現している(図11)。個々のユニット光学系で取得する画像解像力は低いですが、デジタル画像処理により高解像化を達成できるとしている³⁾。

2.6 その他の方式

以上のほかに、光学系の小型化や薄型化に寄与すると思われる技術を列挙する。まず、自由曲面や回折光学素子など新しい光学素子を組み合わせた応用研究があげられる。例えば、単焦点レンズのタイプでは、回転対称でない自由曲面を用いたプリズム2個を用いることにより、光路を幾

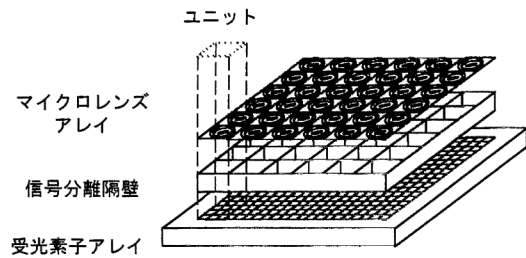


図 11 複眼方式の光学系。

重にも折り曲げて撮像素子へ入射させている。少ない部品点数で収差を良好に補正し、2つのプリズムを水平に配置することにより、薄型化を達成している(図12)。ズーム光学系においても、回転非対称な自由曲面プリズムを複数個用いた薄型の光学系が提案されている(図13)⁴⁾。複数個の自由曲面プリズムを配置し、各プリズム間の空気間隔を変えることで変倍作用をもたせている。これらは、自由曲面を多用する設計技術の難しさに加えて、反射面を多用することになるため、高い部品精度・組み立て精度が必要となると思われる。しかし、従来光学系では達成不可能な小型化・薄型化ができる可能性を秘めており、今後の技術開発が望まれる。レンズの屈折作用に加えて、回折作用を利用する回折光学素子を撮影レンズに適用して、レンズの構成枚数を減らした例も報告されている⁵⁾。ディストーションなどの収差を、撮影後の画像処理で補正する技術開発も進んできている。ディストーション補正条件が緩和されると、より小型のレンズ設計が可能となる。また、前述の射出瞳条件を解除するためのイメージセンサーの開発も進められている。

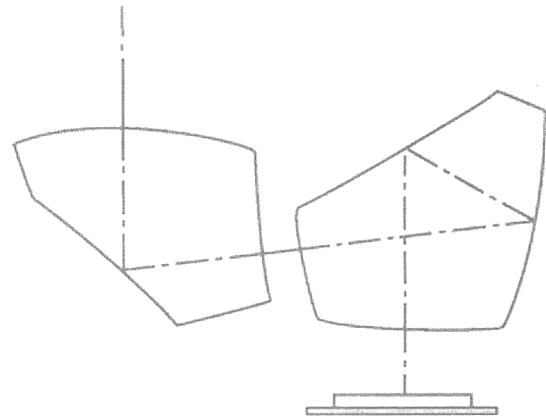


図 12 自由曲面プリズム方式の光学系(単焦点レンズ)。

デジタルカメラ用光学系の小型化・薄型化について、現在の技術動向を述べた。デジタルカメラは銀塩フィルムカメラとは異なり、イメージセンサーの位置の制約が少ない。特にコンパクトタイプの場合、イメージエリアが小さいため、配置上の自由度が高い。この特性を有効に生かしたさまざまなアイデアが具現化されてきている。

一方、視点を変えると、カメラ付き携帯電話が普及し、200万画素を超える高画質特性をもち、オートフォーカス機能、光学ズーム機能および小型のレンズアクチュエーターを搭載するための技術開発も進んでいる。

小型デジタルカメラ光学系は、携帯電話やPDAなど新しい用途を包含しつつ、さらに進化していくものと思われる。

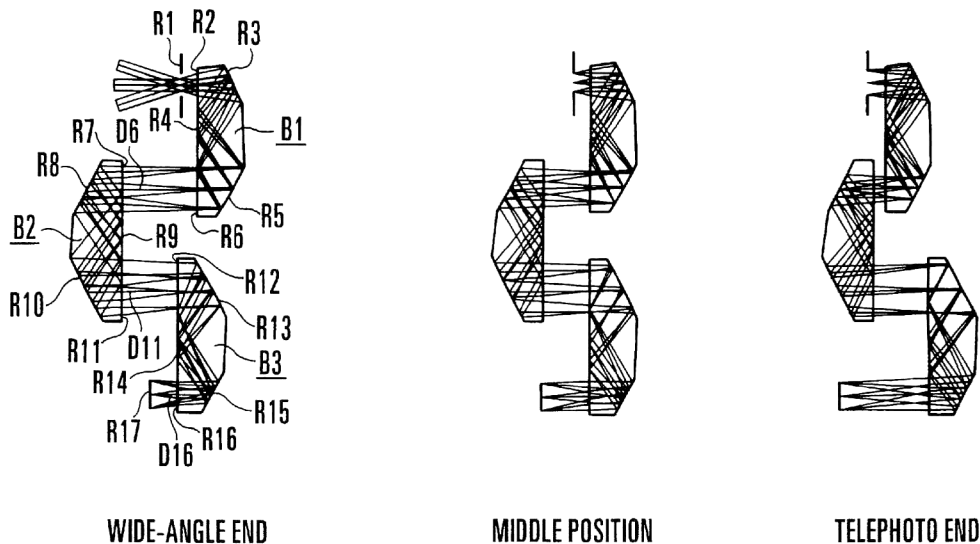


図 13 自由曲面プリズム方式の光学系(ズームレンズ)(U. S. Patent No. 6639729 Fig. 50)。

文 献

- 1) 萩森 仁：第 27 回光学シンポジウム講演予稿集 (2002) pp. 37-40.
- 2) 江口 勝, 野村 博, 伊藤孝之：第 28 回光学シンポジウム講演予稿集 (2003) pp. 1-4.
- 3) 宮部茂博, 谷田 淳：光設計研究グループ機関誌, No. 27 (2003) 15-20.
- 4) T. Tanaka, *et al*: U. S. Patent No. 6639729 (2003).
- 5) 中井武彦, 小川秀樹, 中林正明：第 26 回光学シンポジウム講演予稿集 (2001) pp. 11-14.

(2004 年 5 月 2 日受理)