前玉移動方式による多機能ズームレンズの開発

正会員 大 竹 與志知[†],
上 田 光 章^{††},
高 塚 央^{††}

岡 部 洋 一[†],
金 子 勝 三^{††},

横 井 暁[†]
小 林 学^{††}

1. ま え が き

過去急激な成長を続けてきた民生用ムービー（カメラ一体型 VTR）市場も、国内の普及率が 20%を超えたことや、全世界的な経済不況が重なり停滞している。筆者らは 1992 年、ムービーの用途拡大を目的として新方式のレンズを開発¹⁾し、市場導入を果たした（写真 1）。このレンズは、従来の光学系と同一のタイプで 7 つの機能を達成したレンズであり、市場で評価を得た。この 7 機能とは、ズーム機能、ワイドマクロ機能、シフト機能、高倍率レンズ機能、テレマクロ機能、超ワイド機能、顕微鏡機能等である。ここでは、この新タイプのレンズをマルチファンクションレンズ（多機能レンズ）、略して MF レンズと呼ぶ。このレンズは、1/3 インチ撮像素子用レンズであり、標準モードでは、F 値が 1.8 の 8 倍ズームレンズである。

現在のレンズはビデオオートフォーカスに適したマスタフォーカスレンズが主流である^{2)~4)}。このレンズの特徴は、前玉がフォーカス機能を持たず固定されている点にある。MF レンズでは、この特徴を生かし、前玉を移動することにより極めてシンプルな形で多機能化を実現している。

ここでは、新レンズ方式である MF レンズを提案し、その概要、構成、機能、原理等について報告する。

2. 概 要

MF レンズ開発の目的は、フォーカスやズームと同様にレンズの一部を移動させることにより、専用レン

写真 1 MF レンズ
MF lens.

ズなしで新機能を得るところにある。これを達成するための第 1 の条件は、レンズ移動の自由度があることである。現在のレンズは、レンズ間隔に余裕がなく、撮像素子との間は水晶フィルタ⁵⁾によって埋まっている。第 2 の条件は、レンズ移動により有効な効果が認められることである。第 3 の条件は、フォーカスが可能であることである。第 4 の条件は、光学性能が維持されることである。MF レンズは、前玉レンズを移動させることにより、以上の厳しい条件を満足させている。したがって、MF レンズは、前玉レンズ移動により多機能化されたレンズと定義される。

この MF レンズの第 1 の特徴は、従来レンズの基本構成を維持して多機能化を可能にしている点である。第 2 の特徴は、1 組のレンズ群を移動するだけという極めてシンプルな形で 5 つの機能追加を達成している点である。この 5 機能とは、画像の大きさと焦点距離を瞬間的に拡大するシフト機能、ズーム倍率を大きくする高倍率レンズ機能、テレ側でのマクロ撮影を可能にするテレマクロ機能、ワイドな撮影ができる超ワイド機能、拡大像を得る顕微鏡機能等である。第 3

[†] 日本ビクター株式会社 ビデオ事業部

^{††} 株式会社コパル 光学電子事業部

“Development of Multifunction Zoom Lens by Moveing a Front Lens” by Yoshichi Otake, Yoichi Okabe, Satoru Yokoi (Victor Company of Japan, Yokohama), Mituaki Ueda, Katumi Kaneko, Manabu Kobayashi and Hiroshi Takatuka (Copal Co. Ltd., Tokyo)

の特徴は、この付加機能の多くは、ズームレンズとしては従来にない機能である点である。

3. 構成

3.1 標準モード

開発した MF レンズは、1/3 インチ撮像素子用で、標準状態では 8 倍ズームレンズであり、構成および操作上は 4 モードからなる。レンズ構成が標準の状態にある場合を標準モードと呼ぶ。標準モードの光学系の基本構成は従来タイプ（マスタフォーカスレンズ）と同一である。図 1 に、標準モードでのレンズ構成とワイド端での光路図（光線追跡図）を示す。レンズは前玉、バリエータ、コンペンセータ、マスタなどの各群から成る 4 群ズームレンズ⁶⁾である。前玉とコンペンセータの間には防じんガラスが入っている。バリエータとコンペンセータおよびマスタの一部は可動

図 1 レンズ構成
Construction of lens.

表 1 基本仕様
Basic specification.

	標準	シフト	超ワイド	顕微鏡
有効像円径 (mm)	6.5	6.5	6.5	4.8
F 値	T 1.9	4	—	15.4
	W 1.8	3.9	1.8	—
焦点距離 (mm)	T 52	71	—	—
	W 6.4	6.8	4	—
ズーム比	8	10.4	—	—
至近距離 (m)	T 1.1	0.57	—	—
	W 0	0	0	—
像倍率	—	—	—	1.1

するようになっている。

3.2 他のモード

標準モードのレンズ構成に対し、前玉を前方に少量 1.8 mm 移動させた場合をシフトモードと呼ぶ。標準モードの構成に対し、前玉を光軸から外した場合を超ワイドモードと呼ぶ。このとき、ズームは自動的にワイド端になるように制御される。標準モードの構成に対し、前玉を前方に大きく 38 mm 移動させた場合を顕微鏡モードと呼ぶ。ズームは自動的にテレ端になるように制御される。表 1 に、各モードの基本仕様を示す。表中 T はテレ端、W はワイド端を示す。

4. 新機能

4.1 4 モード 7 機能

MF レンズでは、下記に示すように、4 モードに対して 7 機能が対応している。

標準モード	① ズーム機能
	② ワイドマクロ機能
シフトモード	③ シフト機能
	④ 高倍率レンズ機能
	⑤ テレマクロ機能
超ワイドモード	⑥ 超ワイド機能
顕微鏡モード	⑦ 顕微鏡機能

このうち③～⑦が新たに追加された新機能である。

4.2 新機能

③シフト機能は、焦点距離と被写体像を瞬間的に拡大シフトさせる機能である。テレ端では 1.35 倍拡大シフトされる。④高倍率レンズ機能は、ズーム倍率を 8 倍から 10.4 倍へ拡大する機能である。今回は実施していないが、超ワイドモードでのズームも可能であり、3 本のズームレンズの機能を持たせることができる。この場合、17.7 倍ズームレンズに相当する焦点距離範囲をカバーする。⑤テレマクロ機能は、テレ側での近接と拡大撮影を可能にする機能であり、テレ端で最至近距離が 1.1 m から 0.57 m に近接する。⑥超ワイド機能は、ワイド端での焦点距離を 6.4 mm を大きく超えて 4 mm まで小さくする機能であり、広い被写体像を得ることができる。⑦顕微鏡機能は被写体を拡大する機能であり、29 インチモニタでは像倍率 136 倍となる。この機能により、例えば、小さ過ぎて目に見えない塩の結晶等の拡大像が得られる。

5. 機能原理

5.1 シフトモード

図 1 に示すように、レンズを前玉 I と前玉以外のレンズ系 II に分けて考える。前玉 I の焦点距離を f_1 、前

図 2 超ワイドモードの光路図
Ray tracing of ultra wide mode.

玉以外のレンズ系IIの合成焦点距離を f_2 ，前玉Iの第2主面 H_1' とレンズ系IIの第I主面 H_2 との距離を Δ とする。このとき，レンズ全体の焦点距離 f は次式で表せる⁷⁾。

$$f = \frac{f_1 \times f_2}{f_1 + f_2 - \Delta} \quad (1)$$

ここで，本レンズ系では次式が成立している。

$$f_1 + f_2 > \Delta \quad (2)$$

シフトモードでは，前玉を前方に少量移動させる。このとき， Δ が増加し(1)式の分母は小さくなるのでレンズ全体の焦点距離 f は大きくなり，テレ側にシフトする。これがシフト機能の基本原理である。

シフトモードでは，ワイド端の焦点距離のシフトの割合に比べてテレ端でのシフトの割合が大きく，ズーム比が大きくなる。これが高倍率レンズ機能の原理である。また，テレ側で結像ポイントがレンズ前方に移動するため，近接被写体に対しても結像が可能になる。これがテレマクロの原理である。

5.2 超ワイドモード

(1)式を変形すれば次式を得る。

$$f = \frac{f_2}{1 + (f_2 - \Delta)/f_1} \quad (3)$$

ここで，本レンズ系のワイド側では f_2 が小さく次式が成立している。

$$-f_1 < f_2 - \Delta < 0 \quad (4)$$

したがって，次式が成立する。

$$f > f_2 \quad (5)$$

超ワイドモードでは，ワイド端で前玉を光軸から外すので f は f_2 となる。この場合，(5)式よりレンズ全体の焦点距離が小さくなるのがわかる。これが超ワイド機能の基本原理である。図2に超ワイドモードの光路図を示す。図より，レンズに入射する斜めの光線の角度が標準モードの場合(図1)比べて大きくなっていることがわかる。

5.3 顕微鏡モード

図1に示すように，本レンズ系では，テレ端でのレンズ全体の焦点 F はレンズ系IIの焦点 F_2 に対し被写

体側に位置する。レンズ全体の焦点とレンズ系IIの焦点の距離を δ とすれば， δ は次式で表せる⁷⁾。

$$\delta = \frac{f_2^2}{f_1 + f_2 - \Delta} \quad (6)$$

前玉Iが前方へ移動して Δ が大きくなると，上式より δ も大きくなる。すなわち，レンズ全体の焦点位置が被写体側に寄る。これに伴って撮像面に結像する被写体の位置がレンズに近づく。 Δ がさらに大きくなると，レンズ全体の焦点と撮像面の距離 d がレンズ全体の焦点距離 f に一致し像倍率が1となる。このとき，モニタ上では顕微鏡並の拡大像が得られる。これが顕微鏡機能の基本原理である。

6. む す び

ここでは，新しいタイプのレンズとしてMFレンズを提案し，その概要，構成，機能，原理等について述べた。MFレンズの最大の特徴は，従来実現できなかった4モード7機能を有する多機能レンズである点，この機能を従来タイプのレンズ構成で実現している点である。したがって，MFレンズは極めてユニークなレンズであり，ムービーの用途拡大に今後大きく貢献すると考える。また，今後のレンズ開発のひとつの方向性を示すものであるといえる。

なお，MFレンズの具体的な光学設計，メカ設計，ソフト設計等は，従来の設計に比較し，MF機能が付加された分複雑であり，設計上の工夫が要求された。たとえば，フォーカスレンズ群の総移動量をおさえるためにフォーカスレンズ群のパワーを強くした点，フォーカス精度を確保するためにフォーカス群の移動ピッチを25 μm から13 μm とした点，高精度に前玉の光軸を保持する鏡筒設計，各モードに対応したズームトラッキング制御やオートフォーカス制御，アイリス制御等があげられる。

最後に，MFレンズの開発に際し御指導を頂いた，開発当時の日本ビクタームービー事業部 館事業部長，同事業部開発部 河田部長ならびに関係各位に感謝致します。
(1995年3月20日受付，1995年7月18日再受付)

【参 考 文 献】

- 1) 大竹：テレビ誌，49，2，pp. 138-141 (1995)
- 2) 石田：NHK 技研研究，17，1，pp. 21-37 (1965)
- 3) 半間ほか：テレビ学技報，ED 675，pp. 7-12 (1982)
- 4) 大竹：実装技術，6，2，pp. 72-76 (1990)
- 5) 大竹：テレビ誌，39，8，pp. 711-718 (1985)
- 6) 中川：レンズ設計工学，東海大学出版会 (1986)
- 7) 久保田，浮田，會田：光学技術ハンドブック，朝倉書店 (1979)
- 8) 松居：レンズ設計法，共立出版 (1972)

おおたけ よしち

大竹與志知 昭和49年、山形大学大学院修士課程修了。同年、日本ビクター(株)に入社。ビデオカメラのメカ・光学系開発に従事。昭和61年、ビデオ研究所にて、オートフォーカスの開発に従事。昭62年以降、ムービーレンズの開発に従事。現在、ビデオ事業部技術二部およびメカトロニクスセンターグループ長。正会員。

おかべ よういち

岡部 洋一 昭和61年、東北大学工学部電気工学科卒業。同年、日本ビクター(株)に入社。ビデオ事業本部に勤務。以来、民生用ムービーのレンズ開発に従事。

よこい さとる

横井 暁 平成元年、北海道職業訓練短期大学校卒業。同年、日本ビクター(株)に入社。以後、ビデオムービーレンズの生産技術・商品開発・要素開発に従事。

うえだ みつあき

上田 光章 昭和38年、東海大学工学部応用理学科卒業。同年、(株)セコニックに入社。8mmカメラ用レンズ設計、レンズ加工技術の研究に従事。昭和43年、(株)コパルに転籍。以後、ビデオカメラ用レンズの開発設計、光学要素技術の研究開発に従事。現在に至る。

かねこ かつみ

金子 勝三 昭和38年、都立本所工業高等学校機械科卒業。(株)コパルに入社。プロカメラマン用大判シャッターおよび一眼レフカメラ用フォーカルプレーンシャッターの開発設計を経て、ビデオレンズ鏡胴の開発設計を手掛け、マスタフォーカスレンズの量産化を成功させ、現在に至る。

こばやし まなぶ

小林 学 昭和62年、山形大学理学部物理学科卒業。同年、(株)コパルに入社。光学電子事業部に勤務し、レンズ開発設計業務に従事。現在に至る。

たかつか ひろし

高塚 央 昭和62年、東京電機大学工学部精密機械工学科卒業。同年、(株)コパルに入社。光学電子事業部に勤務し、レンズ鏡胴の開発設計業務に従事。現在に至る。