

# 解説

## 最近の撮影用ズームレンズ

得丸 祥

ミノルタカメラ(株)技術センター 〒590 堺市大仙西町 3-91

(1987年4月10日受理)

### Recent Trend of Zoom Lens for Cameras

Hisashi TOKUMARU

Technical Center, Minolta Camera Co., Ltd.,  
3-91, Daisen-Nishimachi, Sakai 590

#### 1. ま え が き

ズームレンズの最近の発展には目をみはるものがある。レンズが使われているあらゆる分野で、単焦点レンズからズームレンズへの置換えが進行しているといっても過言ではない。具体的には、ビデオ用レンズや一眼レフ用交換レンズはもとよりレンズシャッターカメラ用レンズ、複写機用レンズ、顕微鏡用レンズ、引伸ばし用レンズ等が挙げられる<sup>1)</sup>。

像形成の結像性能に係わることを除くと、レンズの基本仕様は、明るさ(F値)と焦点距離の2種類のみとあってよく、撮影レンズで最短撮影距離が加わる程度である。このように少ないレンズ仕様のうち、焦点距離において仕様拡大したのがズームレンズである。ズームレンズは、原理的には焦点距離が可変となるレンズであるが、使う側からみると像倍率がある範囲で自由に換えられるレンズとなる。像倍率を可変にすることのみとらえれば、撮影距離を自動的に可変にすることも対応でき、複写機や引伸ばし機の多くはこの方法が採用され、ズーム機能と呼ばれている。

ズームレンズの収差補正の理論は1964年の山路の研究<sup>2)</sup>以後大きな発展はない。この理論により、ズームレンズの収差変動の挙動が明確になり、その後のズームレンズの性能、機能面の発展につながった<sup>3)</sup>。本解説では、撮影レンズに照準をあて、とくに35mm一眼レフカメラ、レンズシャッターカメラそして民生用ビデオカメラのズームレンズについて最近急速に進展しているオートフォーカス(AF)との関連を中心に述べる。

#### 2. ズームレンズの原理と鏡胴構成

##### 2.1 ズームレンズの原理

ここではズームレンズの原理の概略を述べる。さらに詳しい解説は他に譲る<sup>2,4-7)</sup>。

図1(a)は $k$ 個のレンズ群よりなる一般的なズームレンズの構成を示しており、レンズ系全体の焦点距離を $f$ 、各群の焦点距離と横倍率をそれぞれ $f_i, \beta_i$ とすると、次の式が成立する。

$$f = f_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdots \beta_{k-1} \cdot \beta_k \quad (1)$$

ここで、 $f$ は一般に正であり、 $f_i, \beta_i$ は正負をとりえる。(1)式は、あるレンズ群の横倍率が無限大になる場合、たとえば図1(b)のように $\beta_{k-1} = \infty$ のとき、 $\beta_k = 0$ となり使用できない。このとき(1)式は、

$$f = (f_{1,k-2}/f_{k-1}) \cdot f_k \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 $f_{1,k-2} = f_1 \cdot \beta_2 \cdots \beta_{k-2}$ であり、第1群から $(k-2)$ 群までの合成焦点距離を表わしている。このようにあるレンズ群を射出した光束が平行となるズームレンズはアフォーカル(afocal:無焦点)部を有していると呼ばれる。

(1)式の $f$ はズームレンズの場合変化する(これを一般にズームと呼ぶ)ことから、 $\beta_1$ のうち少なくとも一つは変化し、短焦点側(ワイド)から長焦点側(テレ)のズーム時、その絶対値の変化が増大するレンズ群はズーム部であり、変倍部あるいはバリエーターともいわれる。あるレンズ群の横倍率が変化することは、そのレンズ群が移動するか、固定していても前後のレンズ群が移動することを意味している。

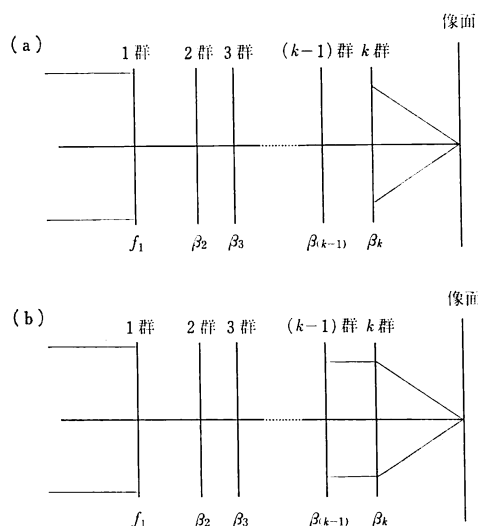


図 1 薄肉ズームレンズ系  
(a) 一般系, (b) アフォーカル系

ズーム部の横倍率を変化させると、固定した物点に対して像点位置は変化する。この変化の補正方法によりズームレンズは一般に次の 3 種類に分類されよう。

1 番目はバリフォーカルレンズと呼ばれており、ズーミングによる像点の変位を第 1 群または全体を移動させるなどのフォーカシング機能により補正するレンズである。撮影者はズーミング後、必ずフォーカシングをやり直さなければならない。利点は構造の簡単さで、映写用等に使われている。2 番目は光学補正型で、レンズ群を介した二つあるいは三つ以上のレンズ群を一体的にかつ直線的に移動させ像点の変位を焦点深度内に収めるズームレンズである。直線的な移動であるので簡易な機構で構成できるが、レンズが大型化する欠点をもっている。

3 番目は機械補正型と呼ばれ、変倍部の移動による像点変位を他のレンズ群の移動により補正するズームレンズである。像点補正を行なうレンズ群を補正部あるいはコンペンセーターという。複数のレンズ群が移動する変倍部の場合、補正部は変倍部の中にも含まれることもありえる。補正部の動きは変倍部を直線的に動かすと非線形となるためカムが必要となる。この方式は原理的には像点の変位が生じない。

現在、カム加工技術の精度向上によりほとんどのズームレンズは機械補正型である。なお、バリフォーカルレンズをズームレンズの分類に入れられない場合もある。

最近のズームレンズは、変倍部と補正部が各 1 群ずつというズームタイプから、3 群以上のレンズ群が移動する多群移動のズームタイプが増加している<sup>1,8,9)</sup>。

## 2.2 ズームレンズの鏡筒構成<sup>10)</sup>

移動するレンズ群の数やレンズ群の移動量が大きくなると、レンズ移動棒と固定筒の嵌合部の長さが十分にとれなくなる。これによって生じるレンズ移動棒の光軸に対する傾き偏心を規制するため、レンズ移動棒を 3 本の案内ピンで吊り下げる方式 (3 本吊り) が使われている。

図 2 は AF ズームレンズの鏡筒構成例を示している。レンズは 4 群構成で、ズーミングによる各レンズ群の移動を図 3 に、ズームカム部の展開図を図 4 にそれぞれ示す。ズーミング時レンズ群を移動させる方法は、図 2、図 4 に示すように、ズーム操作環の作動が固定筒とその

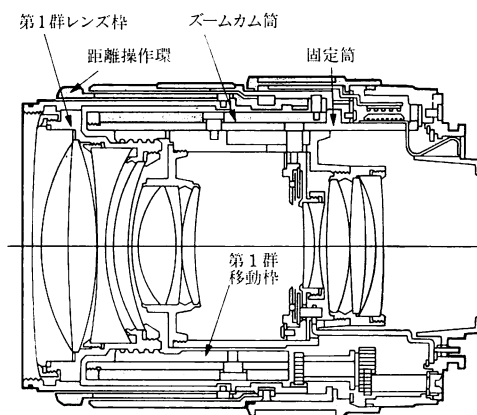


図 2 ズームレンズの鏡筒構成例<sup>10)</sup>

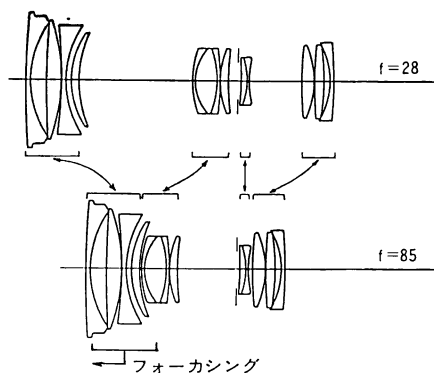


図 3 図 2 のレンズ群移動図 (特開昭 58-95315)

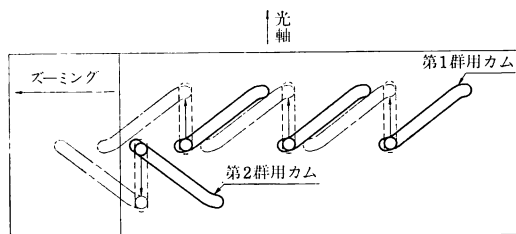


図 4 図 2 のズームカム部展開図<sup>10)</sup>

外側に嵌合したズームカム筒に相対回転を与え、固定筒に嵌合したレンズ移動枠をそれらの筒に設けられたカム溝で案内して行なう。

ズームカム溝と案内ピンの間には、円滑な動作を目的に数  $\mu\text{m}$  のガタが設けられている。図5に示したようにガタ  $a, b$  により、案内ピンは光軸方向の遊び  $y$  をもっている。 $y$  はズームカム溝の傾き  $\alpha$  が大きくなると、ガタが一定でも、増大する。3本吊りの場合、案内ピンの遊びが全て同方向に寄ると、レンズ群間の距離が変化してレンズバック変動(像面の前後の変動)を生じさせ、またそれぞれ異なった方向に寄るとレンズ群が傾いて像面上、下の変動を生じさせる。コンパクトな鏡胴構成に適した3本吊りは、できるだけカムの角度  $\alpha$  を小さくする設計が必要とされる。

一般にズームレンズは第1群の移動によりフォーカシングを行なっている。この方式は前群繰出し方式と呼ばれ、どの焦点距離においても、同一撮影距離に対し、ほぼ同一の繰出し量でフォーカシングを行なうことができる。焦点距離の変化によりフォーカシング移動量の差が生じる全体繰出し方式や、ズームレンズ系内の一部を移動させる方式に比べ、大きな利点をもっている。

図2は前群繰出し方式のズームレンズであり、第1群はズーミング時およびフォーカシング時にも移動することとなる。この切替え機構は次のように行なう。ズーミングで移動する第1群の移動枠には、フォーカシング用の多条ネジ(ヘリコイドネジ)が設けられており、これに第1群のレンズ枠がネジ結合されている。フォーカシングは、このレンズ枠を回転して、ネジのリードによりレンズを繰り出すことで達成される。距離操作環は第1群のレンズ枠と光軸方向の直線溝とにピンの組合せで結合されている。これにより、ズーミング時に移動しない距離操作環と、移動する第1群のレンズ枠は、回転方向には一体的に結合される。

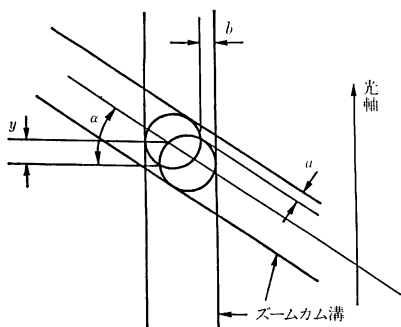


図5 カム溝と案内ピンの間のガタ<sup>10)</sup>

### 3. 一眼レフ用交換ズームレンズ

#### 3.1 最近の動向

一眼レフカメラはAF機能搭載が主流となっている。AF化のレンズへの影響は、各社がAF用交換レンズ群でズームレンズの各種本数を多くしていることが特徴的である。一般にズームレンズは単焦点レンズに比べF値が暗いため、光学式ファインダによるピント調整では慎重なフォーカシング操作が要求されていた。AF化がこの問題を解決したことにより、撮影者はズーミングによる構図の決定のみに注意を集中でき、ズームレンズの機動性が十分発揮できるようになったためと思われる。

ズームレンズの焦点距離範囲が広がれば、ズームレンズの機能は高まるが、性能・大きさ・操作性に問題が生じやすい。小型軽量化を図りながらの高倍率化は、いままでのズームレンズの大きな課題であったし、今後もこの傾向は強まると考えられる<sup>11),12)</sup>。

#### 3.2 小型化と高倍率化

図6は、35~70mm, 28~70mm, 24~50mmクラスの標準ズームや広角ズームに使われている2群ズームの構成図である。後群が正の変倍部で、前群が負の補正部となっている。このレンズは、後群の横倍率が長焦点側で-1近傍となりここで全長が小さくなるタイプで、加えて非球面の採用によりコンパクト化とレンズ枚数の削減を行なっている<sup>13)</sup>。負先行の2群ズームで焦点距離範囲を拡大すると、後群の移動量の増加と性能が問題となる。この後群の移動量を減少させるために、後群を何群かに分けるレンズタイプが考えられている<sup>14)</sup>。たとえば、先ほどの図3は、後群を3群に分け、さらに焦点距離範囲を28~85mmに拡大している。固定されている第3群前後の間隔変化によりズーミング時の収差変動が抑えられ、小型化と高倍率化が達成されている。

図7は35~105mm, 35~135mm, 35~200mmクラ

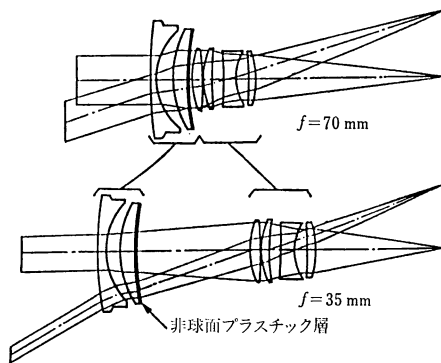


図6 2群ズームの例(特開昭59-64811)

スの標準ズームに用いられている 4 成分ズームの例で、このレンズも非球面が採用されている<sup>15)</sup>。このクラスのレンズタイプの特徴は、第 1 群が正レンズで、ワイドからテレへのズーミング時、物体側へ移動することである<sup>16)</sup>。このことにより、短焦点側での周辺光量の確保が第 1 レンズ群の径の増大を引き起こさない。また従来固定していた第 3 群が移動することでこのレンズ群も変倍部の作用をもつようになり、前後のレンズ群の移動により変倍部である第 2 群とともに各レンズ群がすべて高倍率化と小型化に寄与している<sup>8,17)</sup>。上記のような総掛かりでズームレンズの収差補正を行なう方法は望遠ズームにも適用されてきている。図 8 は、小型化とともにレンズ枚数の削減も実現したズームである。正負正負の 4 成分ズームであるが、第 1 から第 3 レンズ群までを一つの正レンズとみると、正負のいわゆる望遠タイプの 2 群ズームとも考えられる。このタイプはたいへん小型になるがレンズ群の大きな移動量が問題となる。この移動量を小さくするために、前群を 3 群に分けて対応しているとみなせる。

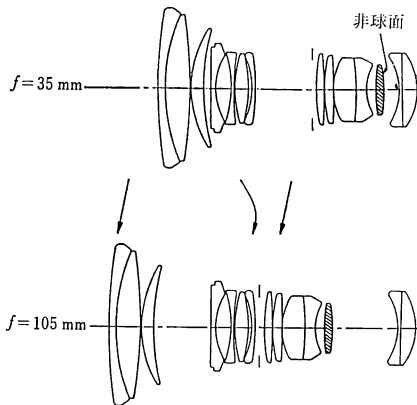


図 7 多群移動ズームの例 2 (特開昭 60-178421)

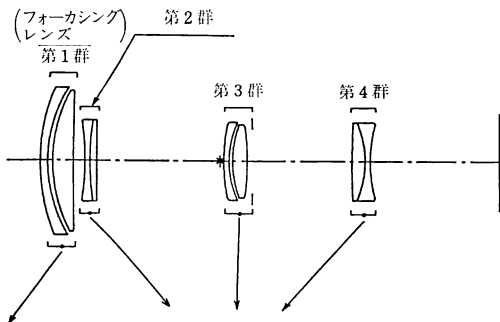


図 8 多群移動ズームの例 2 (特開昭 61-56315)

### 3.3 フォーカシング方式

ズームレンズのフォーカシング方式は 2 章で述べたように、ほとんどのレンズは前群繰出し方式を採用している。これはレンズが AF 化されている現在も大きく変わっていない。しかし、今後は次の点から他のフォーカシング方式を有するズームレンズが発展すると考えられる。

- (1) 広角域を含む高倍率標準ズームの開発には、正レンズ先行のレンズタイプが適しているが、広角側での第 1 群によるフォーカシングでは、光束が急激にケラれる。この対応として前玉径を大きくしなければならず、最短撮影距離の短縮が困難となる。
- (2) フォーカシング機構には、フォーカシングレンズの高精度な位置決めと、AF に対応するための操作トルクの軽さが必要である。大口径ズームの場合、レンズ径の大きい第 1 群によるフォーカシングには、これが課題となる。

(1) については、前群繰出し方式以外で、焦点距離が変化してもフォーカシングをやり直す必要のない方式が研究されている<sup>18,19)</sup>。

図 9 は 28~135 mm のレンズで、第 1 群と第 2 群を一体的に繰り出すことによりフォーカシングを行なっている。第 1 群と第 2 群の合成焦点距離は強い負となり、最短撮影距離の短縮に有利である。一方、ズーミ

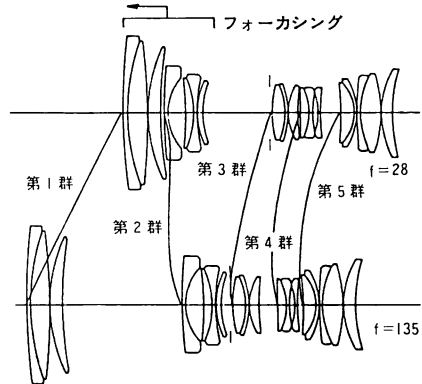


図 9 ズームレンズの新フォーカシング方式 1 (特公昭 58-33531)

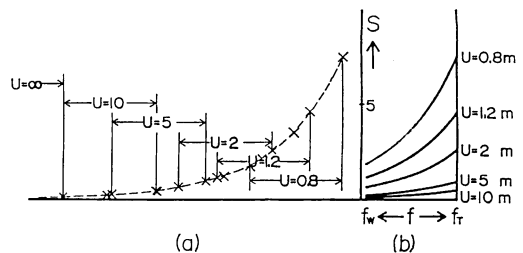


図 10 図 9 の補正方法説明図<sup>18)</sup>

ングにより、フォーカシング移動量が変化するため、この補正が必要となる。図10は補正方法の説明図である。(b)は各撮影距離(U)での焦点距離によるフォーカシング移動量(S)を示し、(a)は、これらの曲線を適当な座標変換により1本に重ね合わせた図である。この1本の曲線をカムで構成し、ズーミングを行なっても、このカムにより像点の移動が抑えられている<sup>18)</sup>。

図11も28~135mmのレンズであるが、リアフォーカシング方式を採用している。これは次の式に従っている。

$$(f_A \cdot \beta_F)(\beta_F^2 - 1)^{1/2} = \text{一定} \quad (3)$$

ここで、 $f_A$  はフォーカシングレンズ群より物体側にあるレンズ群の合成焦点距離、 $\beta_F$  はフォーカシングレンズ群の横倍率を表わしている。これにより、ズーミングを行なっても、同一移動量でフォーカシングが可能である<sup>19)</sup>。

(2)の例としては、図12がある。超望遠ズームのインターナルフォーカシング方式である。原理的には、図の前群はG1、G2、G3からなり、前群の一部を移動させる方式で、前群にインターナル望遠レンズを採用したものである。このようなフォーカシング方式の原理

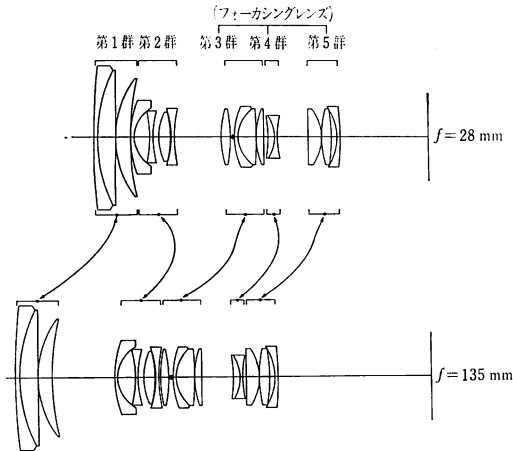


図11 ズームレンズの新フォーカシング方式<sup>21)</sup>

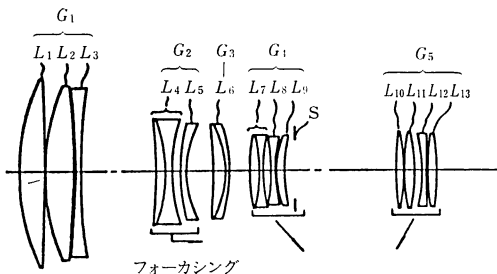


図12 前群繰出し方式の変形例(特開昭59-23314)

には、田中の報告<sup>20,21)</sup>がある。

### 3.4 軽量化

ズームレンズの軽量化は、図6、8のようにレンズ設計技術によるレンズ枚数の削減も一つの方向であるがレンズや鏡胴の素材変更、とくにプラスチック化による効果が大きい。プラスチックレンズの採用はまだ1機種であるが<sup>22)</sup>、温度変化に対する報告<sup>23)</sup>もあり、特許も多くある<sup>24)</sup>。レンズ以外のプラスチック化は大幅に進められている<sup>25)</sup>。距離操作環、絞り操作環そしてレンズ玉枠は数年前より、さらに現在、鏡胴の主要構成部品(固定筒、カム環)もプラスチック化されてきている。とくに注意すべきは、精度が要求されるカム環の場合で、金型構成、成形条件、材料等の技術的配慮を行なったカム環に関する特許が多数出願されている<sup>26)</sup>。

## 4. レンズシャッター用ズームレンズ

最近のレンズシャッター(LS)カメラはフルオート化され、レンズに新たな機能を求めだしている。ズームレンズではないが、2焦点カメラと呼ばれる標準と望遠の切り替え可能なカメラが多くなっている。このカメラは、単焦点の標準(35~40mm程度)レンズに、リアコンバーターを装着し望遠レンズとしている。

LS用ズームレンズの patents 出願は以前より多くあったが<sup>27)</sup>、実際に製品化されたのは昨年である。図13にその構成図を示す。レンズタイプは正負の2成分ズームである。このタイプは、バックフォーカスが短く、その制限がないLSカメラに適している。問題点は、第2群の短焦点側の横倍率が1倍を越えるため、第2群のズーミング移動量が大きいことである。今後高倍率ズームを達成するための課題となろう。さらにLSカメラは、高倍率ズームに対しては、ファインダーやAFゾーン数

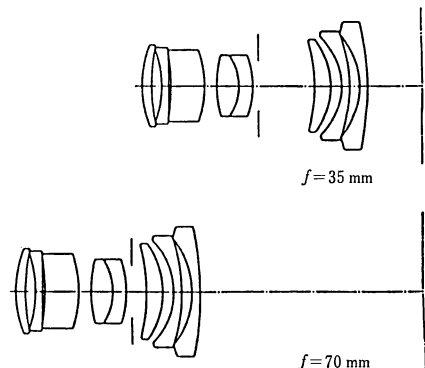


図13 LSカメラ用ズームレンズの例(写真工業, 2月号(1987)82)

等の一眼レフにはない課題の対応も必要となってくる。

## 5. ビデオ用ズームレンズ

### 5.1 ズーム比とズームタイプ

一眼レフ・LS カメラのスティル (静止画) 以上に、動画に対しては機動性のあるズームレンズの装着が一般的である。現在、低価格機種では単焦点レンズや3~4倍のズームレンズ、一般機種では6倍のズームレンズが用いられている。

ビデオ用ズームレンズは古典的とも考えられる正負正の2成分移動の機械補正方式が大多数で<sup>29)</sup>、一部の低倍ズームで正負正正がある程度である。一眼レフで広く使用されている多成分移動タイプはまだない。この理由としては、焦点距離範囲がある。1/2 インチの撮像素子 (4.8×6.4 mm) では  $f=8.5\sim 9\text{ mm}$  が標準と考えられるが、この値をワイド端としたレンズがほとんどである。35 mm フィルム判にするとズーム比6倍でおよそ  $f=45\sim 270\text{ mm}$  となり、望遠ズームとみなせ、古典的タイプで設計できる境界領域にあること、またメーター類が装着された絞り部は、部品としては大きく、移動が困難なため、レンズ群の移動に制約があり、多成分移動タイプが使用されていないと思われる。しかし、ワイド端をより短くする場合、たとえば  $f=7\text{ mm}$  程度になれば、多成分移動タイプが導入されるであろう。正負正のズーム比6倍の例を図14に示す。第1群から絞りまでは各社同様なレンズ構成となっている。差は絞りより後側のレンズ構成にあるといってもよい。

### 5.2 フォーカシング方式

ビデオ用カメラも AF 機能内蔵が一般的となった。ズームレンズのフォーカシング方式は前群繰出し方式が多用されている。最近、フォーカシング機能を補正部で兼ねたズームレンズが製品化された<sup>29)</sup>。そのレンズは図14と同様な構成である。前群の代わりに補正部でフォーカシングを行なうと、ズーミングごとにフォーカシ

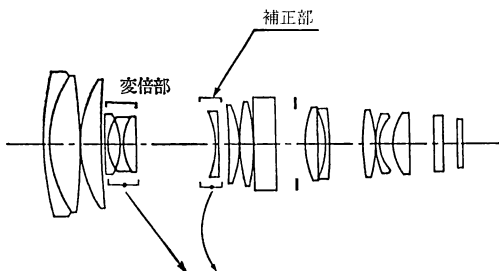


図14 ビデオカメラ用ズームレンズの例 (特開昭61-93423)

ング移動量は異なる。しかし、常に被写体に追従するAFを利用することで、ズーミング時でもピントが外れないズームレンズとして機能している。1枚の負レンズである補正部を移動させる方式は、前群の径の大きい3枚のレンズを移動させる従来方式と比べ、AF機構およびAF速度を大幅に改良している。さらに、変倍部の焦点距離位置と関連するが、フォーカシング移動量はかなり大きくとれるため、従来のカメラが付加機能としてもっていたマクロ機能は不要となり、AFで無限遠からレンズ先端までの撮影を可能としている。

### 5.3 F値と小型・軽量化

ビデオカメラの特徴あるスペックとして、最低被写体照度がある。このため明るいF値が要求される。また、数年前には多くあった低価格の光学式ファインダが電子ビューファインダに置き替わりつつあるのもこの理由である。光学式ファインダは、光路中にビームスプリッターを挿入するので、撮像素子への光量が低下する。Fナンバーは、2/3 インチの撮像素子でF1.4が、1/2 インチではF1.2が中心であり、今後1/3 インチが主流となれば、F1.0が中心となるであろう。

正負正のズームは第2、3群の発散レンズ群により、絞り部を撮像素子側に設けられ、かつ前群の径が大きくなる小型化に適したタイプである。ガラスレンズの場合、前群の重量はレンズ全体の約2/3を占めており、前群のレンズ径の減少は軽量化の大きな要素である。このため明るいF値はワイド端のみとし、テレ端では暗いF値とすることにより、大幅な軽量化を図っているレンズも多くある。

## 6. おわりに

カメラは、今やAF機能が必須ともいえる。このなかで、ズームレンズはますます重要な位置を占めていくことが予想される。ビデオ用ズームレンズで述べたAF機能とズーム機能の効果的な制御は、バリフォーカルレンズもズームレンズとなる新しい方式であり、ズームレンズの可能性を広げたと考えられる。

今後のズームレンズは、新しいズームタイプ<sup>1,5,7)</sup>、光学材料<sup>28,30)</sup>、プラスチック金型・成形技術<sup>31,32)</sup>、各種非球面加工技術<sup>13,15,33,34)</sup>、そしてガラスプレス技術<sup>35)</sup>等の導入により小型・軽量、高倍率、高性能、大口径、低価格等の多様な要求に応じる開発が進行するであろう。本解説は、撮影用ズームレンズの原理と最近の成果を中心に述べてきた。なにぶんにも関連する技術が広範囲にわたるため、不適切な選択に基づく記述や重要事項の見

落としが懸念されるが、ご容赦願いたい。

### 文 献

- 1) 小島 忠: “高倍率ズームの最新技術を探る”, 写真工業, 6月号(1983) 77.
- 2) 山路敬三: “ズームレンズの光学設計に関する研究”, キヤノン研究報告, No. 3 (1964).
- 3) 松居吉哉: “収差論・ズームレンズ設計理論の発展”, 応用物理, **51** (1982) 513.
- 4) R. Kingslake: “The development of the zoom lens,” J. SMPTE, **69** (1960) 534.
- 5) 高野栄一: “ズームレンズとその周辺”, 光学技術コンタクト, **21**, No. 2 (1983)-**24**, No. 7 (1986).
- 6) 龍岡静夫, 杉浦幸雄: “テレビジョン用レンズ”, 光学技術コンタクト, **23**, No. 8 (1985)-**24**, No. 8 (1986).
- 7) 中川治平: レンズ設計工学 (東海大学出版会, 東京, 1986).
- 8) 小島 忠: “ニュータイプのズームレンズ”, 光学, **9** (1980) 112.
- 9) 田中一夫: “機械補正式ズームレンズの分類および新規タイプの近軸解析”, 光学, **10** (1981) 356.
- 10) 得丸 祥, 上山雅之: “リアフォーカシング方式のズームレンズ”, ミノルタテクノレポート, 特集号 (1986) 115-117.
- 11) 立原 悟: “ショートズームレンズの動向”, 光学技術コンタクト, **20**, No. 6 (1982) 19.
- 12) 中村昭義: “最新ズームの光学的特徴”, カメラレビュー, No. 32 (1984) 40.
- 13) 土肥秀秀: “複合型非球面レンズ加工技術の開発”, 光学技術コンタクト, **24**, No. 4 (1986) 18.
- 14) たとえば, 特公昭 49-23912, 特公昭 55-14403, 特公昭 56-53729, 特開昭 57-5023.
- 15) 梶山喜久雄, 松坂健三: “キャノン FD 35~105 mm F 3.5~4.5”, 写真工業, 2月号(1986) 90.
- 16) たとえば, 特公昭 40-24876, 特公昭 58-11608, 特公昭 58-32684, 特公昭 60-37445.
- 17) M. H. Kreitzer and J. Moskovich: “The design of large ratio wide angle to telephoto zoom lenses for 35 mm photography,” 1985 International Lens Design Conference, Cherry Hill, New Jersey (1985) pp. 376-385.
- 18) 石山唱三, 坂野 誠, 小島 忠: “ズームレンズの新フォーカシング方式”, 光学, **10** (1981) 364.
- 19) 得丸 祥: “ズームレンズの新フォーカシング方式”, 光学, **12** (1983) 359.
- 20) 田中一夫: “ズームレンズのフォーカス方式”, 応用物理, **48** (1979) 950.
- 21) 田中一夫, 武土邦雄: “ズームレンズの新しいフォーカス方式”, 光学, **8** (1979) 326.
- 22) 大田耕平, 桐木俊彦: “コニカズームヘキサノン AR 35~70 mm F 3.5~4.5”, 写真工業, 7月号(1986) 104.
- 23) D. S. Grey: “Athermalization of optical systems,” J. Opt. Soc. Am., **38** (1948) 542.
- 24) たとえば, 特開昭 57-20713, 特開昭 57-53718, 特開昭 57-176015, 特公昭 61-61655.
- 25) 八木敏雄: “エンブラを使った光学用機能部品”, 精密工学会誌, **52**, No. 2 (1986) 31-35.
- 26) たとえば, 特開昭 55-143518, 特開昭 58-195204, 特開昭 60-209711, 特開昭 61-20842.
- 27) たとえば, 特開昭 56-128911, 特開昭 58-137813, 特開昭 60-57814, 特開昭 62-50718.
- 28) 中川治平: “最近のレンズ設計技術の特徴”, 光学, **11** (1982) 448.
- 29) 写真工業, 6月号(1987) 112-114.
- 30) 中川治平: “光学材料とレンズ設計”, 写真工業, 9月号(1982) 112.
- 31) 小島 忠: “プラスチックレンズの光学系への適用”, 光学技術コンタクト, **23**, No. 1 (1985) 11.
- 32) 田村 徹, 松田俊介, 伊藤彰勇: “大口径非球面プラスチックレンズの成形”, プラスチックスエージ, **32**, No. 10 (1986) 135.
- 33) 田島 晃, 横田秀夫: “非球面レンズの最近の技術動向”, 写真工業, 10月号(1982) 22.
- 34) 升本久幸: “非球面の設計と応用”, 第13回冬期講習会テキスト, 応用物理学会光学懇話会編 (1987).
- 35) 小倉磐夫: “ガラスレンズの精密プレス”, 写真工業, 10月号(1985)-1月号(1986).