

## 複合型ズームレンズの設計と応用

山梨 隆則\*・ブライアン コルドウェル\*\*

### Optical Design and Application on Compound Zoom Lens

Takanori YAMANASHI\* and Brian CALDWELL\*\*

A “compound zoom lens” consists of a primary and a relay zoom groups, which forms an intermediate image and achieves the extremely high zoom ratio. The zoom ratio is given by the product of the zoom ratio of the primary and relay zoom groups. Applying this concept, a zoom lens having a zoom ratio of 300 times with a wide field of view could be achieved.

**Key words:** zoom lens, aberrations, zoom ratio, intermediate image, power distribution

ハイビジョンテレビ (HDTV) 放送や映画撮影の分野においてみられるように、最先端のデジタル映像技術による映像化が進んでおり、今後の技術開発の動向が注目されている。こうした背景があつて、Panavision 社では、新たなズームレンズ開発のコンセプトを考える過程で、スポーツ放送の中からゴルフ中継を想定した、高ズーム比のズームレンズは、大型化し、中継地点において遠距離撮影は、レンズの切り替え操作なしに、連続的なズーミングが必要とされる。この目的を実現するために、新しい概念からなる“複合型ズームレンズ”が開発された。

#### 1. 概要

##### 1.1 仕様

業務用三板式・CCD 仕様の高画質ハイビジョンテレビカメラ用ズームレンズ。撮像素子サイズ：2/3”，焦点距離：7～2100 mm，F 値：1.9～13，画角：75°～0.3°，至近距離：2.5 m，フォーカス・ブリーディング (focus breathing) 補正：有，光学的防振機能：有。

##### 1.2 従来のズーム方式

一般的なテレビカメラ用ズームレンズの構成を、図 1 に示す。この光学系は、ズーミング中に、全長が一定であり、各群の機能が明確であり、フォーカスレンズ群、変倍レンズ群 ( $V_1$ )、像点位置補正のための補正レンズ群 ( $C_1$ )、そして結像レンズ群によって構成する。収差補正

上、分割された補正レンズ群 ( $C_2$ ) が配置されることもある。このズーム方式によって、本仕様のズーム比を実現しようとする場合、必要な倍率を得るために変倍レンズ群のズーム移動量を増していく必要がある。それに伴ってその屈折力が増大し、基本的な収差としての像面湾曲の残存量が大きくなり、補正が困難になる。さらに光学系への入射角が大きくなる広角域で、入射瞳距離が大きくなるために前玉径が巨大化する。こうした実現上の限界は、ズームレンズ系に、おもな変倍レンズ群が 1 つであることに起因していると考えられる。

#### 2. 複合型ズームレンズの設計

##### 2.1 設計概念

ズーム比が 300 倍のズームレンズを実現するためには、これまでのズーム方式を拡張した、新しい設計概念が必要である。そのひとつが光学系内に中間像を介して複数のズーム部を設けるという考え方であり、ズーミング時の倍率を各ズーム部内の変倍レンズ群によって分担する。これによって各レンズ群の屈折力の負担をかなり軽減することができる。Panavision 社で最初に開発された“複合型ズームレンズ”<sup>1)</sup>は、図 2 に示すようにその基本的な構成は、2 つのズーム部からなっている。すなわち、全系の基本機能をもつ主要ズーム部と、中間像を最終結像するリレーズーム部である。

\* Panavision, R&D Optics (6219 De Soto Avenue, Woodland Hills, CA 91367-2602, USA) E-mail: takanori\_yamanashi@panavision.com

\*\* Panavision Federal Systems, LLC (21300 Victory Blvd., Suite 840, Woodland Hills, CA 91367, USA)

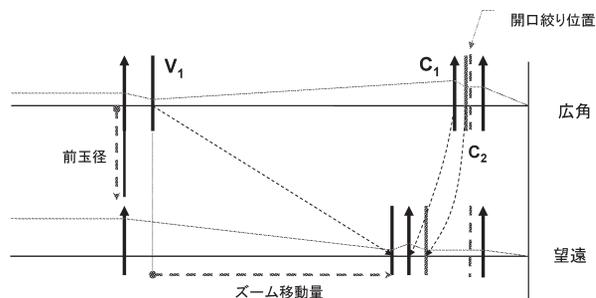


図1 従来のズーム方式。

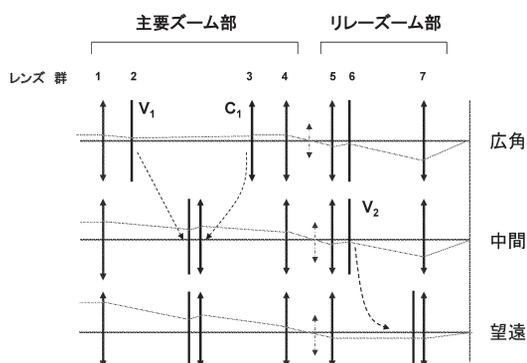


図2 複合型ズームレンズの概念図。

## 2.2 初期設計

光学系を構成するレンズ群の屈折力配置は、主要ズーム部では、それぞれ正・負・正・正、そしてリレーズーム部は正・負・正、からなる。この主要ズーム部のレンズ群は、フォーカスレンズ群、変倍レンズ群 ( $V_1$ )、補正レンズ群 ( $C_1$ )、そして開口絞りを含む結像レンズ群とし、中間像を結像する。また、リレーズーム部は、広角から中望遠域で相対的な口径比が大きくなる特徴をもち、固定レンズ群、変倍レンズ群 ( $V_2$ )、および結像レンズ群で構成する。中間像の位置を一定に保つ場合には、リレーズーム部に補正レンズ群 ( $C_2$ ) を必要とする。

全系のズーム比は、各ズーム部のズーム比の積となる。また、広角から望遠までのズーミング時に、各変倍レンズ群と補正レンズ群は、連続的に倍率変化を行うようにレンズ群移動を決める。

## 2.3 実際の設計

主要ズーム部は、テレビカメラの操作性に適する全長固定のズーム方式のレンズ構成であり、広角から中望遠域付近までのズーミング時の倍率変化は、このズーム部の可動レンズ群 ( $V_1$ ,  $C_1$ ) の移動により行う。このとき、リレーズーム部の、変倍レンズ群は固定する。ここで主要ズーム部で分担するズーム比 ( $Z_1$ ) を15倍程度にすることで、収差補正をより容易にしている。中望遠域付近から望遠まで

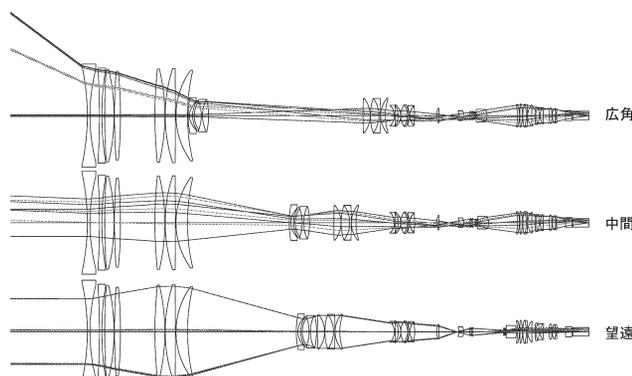
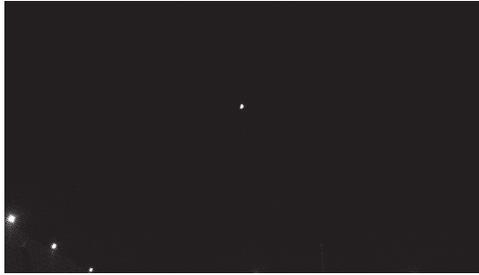


図3 複合型ズームレンズ：7-2100/1.9-13.

のズーミング時には、主要ズーム部の変倍レンズ群は固定し、リレーズーム部の変倍レンズ群 ( $V_2$ ) のみを移動することによりレンズ群が連続変倍となるようにする。図3に、本仕様による設計をした複合型ズームレンズについて広角端、中間、そして望遠端の構成を示している。主要ズーム部の変倍レンズ群と結像レンズ群には、特に広角域の歪曲収差補正および望遠域の球面収差補正などを目的として非球面を使用している。フォーカスレンズ群の設計には、映画撮影などで被写界深度が深くなる広角域を考慮して、無限遠から至近距離へのフォーカス・ブリージング補正をする。つまり、フォーカス時の画角変化をできるだけ抑えるための屈折力配置とレンズ構成とする。リレーズーム部の設計は、主光線の撮像素子への入射角度を考慮し、防振用レンズ群を結像レンズ群内に配置し、比較的周波数の高いふれに対して、特に中望遠域から望遠域にかけて補正機能をもたせている。この構成の複合型ズームレンズの特徴は、広角域から中望遠域では、主要ズーム部で画角に関する収差である歪曲収差の補正が行われ、相対的な口径比の大きくなるリレーズーム部で球面収差を主とした開口収差の補正が行われる。また、画角の狭い望遠域では、主要ズーム部で球面収差の補正が行われるため収差補正を良好に行うことができる。

## 2.4 性能評価

光学系の公差解析を含めた性能評価は、MTFによる精密評価を行った。加工面では、望遠域で非球面の形状誤差の感度が大きくなり、高い精度が要求された。実際に製作されたレンズは、投影解像力テストをはじめ、さまざまな条件下で実写テストが行われている。非球面を含む光学系の試作品の性能評価は、レンズ形状の干渉縞解析以外に、全系では、ナイフエッジテストも実施して性能向上を図った。図4に、初期試作品による広角、中望遠、望遠による月の実写結果(静止画)を示す。



f=7mm



f=700mm



f=2100mm

図4 月の実写.

### 3. 超広角ズームレンズへの応用例

複合型ズームレンズは、応用範囲が広い。開口収差と画角による収差を主要ズーム部とリレーズーム部に分けた補正が可能であることが明らかとなり、広角化と高ズーム比の両立を可能にした。図5に小型の超広角ズームレンズの一例を示す<sup>2,3)</sup>。画角90度を含み、ズーム比が4倍程度で主要ズーム部とリレーズーム部に、それぞれ1つの可動の

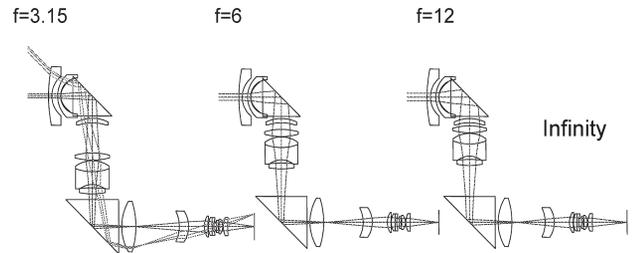


図5 超広角ズームレンズ：f3.15-12 mm F/3.5-5.4.

変倍レンズ群をもつ簡単な構成である。広角から望遠のズーム時に、主要ズーム部、リレーズーム部共に変倍レンズ群が移動することにより、効率的な倍率変化を担い、1面のみ非球面を使用し、歪曲収差は数パーセント以下を達成している。

複合型ズームレンズは、用途に応じて主要ズーム部、リレーズーム部に異なるタイプの光学系を使用することで、放送用、映画用、監視用、赤外用、スチルカメラ用など応用範囲が広い。ズーム部を複数設けることにより、ズーム比の限界を超え、高倍率広角系ズームであっても実用的な前玉径を実現した。また、収差補正面では、開口収差と画角収差をそれぞれ主要ズーム部、リレーズーム部に分離することで良好な収差補正を実現した。また、中間像位置のスペースを利用して折り曲げ光学系の可能性も示唆している。

Panavision 社における本技術開発に携わった Ellis I. Betensky, Iain A. Neil の諸氏に感謝いたします。

### 文 献

- 1) E. Betensky, B. Caldwell, I. Neil and T. Yamanashi: U.S. Patent No. 6961188 (2005).
- 2) B. Caldwell and I. Neil: U.S. Patent No. 7227682 (2007).
- 3) T. Yamanashi and B. Caldwell: "Optical design of compound zoom lenses," *5th International Conference on Optics-Photonics Design & Fabrication* (2006) pp. 19-20.

(2007年12月19日受理)