



撮影レンズの最近の発展

中 川 治 平

中川レンズデザイン研究所 〒214 川崎市多摩区南生田 2-16-8

(1990年9月28日受理)

Recent Development of the Photographic and Video Lens

Jihei NAKAGAWA

Nakagawa Lens Design Laboratory,
2-16-8, Minamiikuta, Tama-ku, Kawasaki 214

1. はじめに

撮影レンズは引き続き高性能化コンパクト化の途を進んでいるが、最近の特徴は、非球面技術とオートフォーカス技術を軸にして、展開の加速を強めていることである。

超精密加工技術、超精密成形技術、超精密測定技術などを要素技術とする非球面技術は、エレクトロニクス技術によって急速な進展をとげた。非球面技術の社会的な経験量が一定の段階に達したいま、高性能化コンパクト化の主要な手段として、撮影レンズへの非球面の導入が急増しつつある。

また、オートフォーカス技術の発達はコンピュータによるレンズ位置の制御を容易にした。オートフォーカスにとっては、レンズ後部において径が小さく移動量が少なくてすむエレメントを動かすインナーフォーカス方式が望ましく、こうした要求は新しいレンズタイプを生み出す契機となっている。

これらの技術は、単独であるよりも複合的なかたちで具現されているケースが多く、アポクロマート化・コンパクト化等がさらに加わって多彩な撮影レンズが産み出されている。以下撮影レンズの最近の発展の姿を、特徴的なレンズをとりあげ探ってみたい。

2. 35ミリ一眼レフのレンズ

従来の35ミリ一眼レフのレンズはFナンバー1.2が最高であったが、EOSはマウント径を大きくしてFナンバー1のレンズの装着を可能にした。図1はこのEOS

用のキャノン EF 50 ミリ F1.0L で、久々に登場した大口径非球面レンズである。

ガウスタイプ特有のサジタルフレアは、絞りをはさんで向かいあう強い凹面が発生の原因になっている。このレンズは凹面の屈折力を第3、第8の負のメニスカスレンズに分担させ、さらにこのメニスカスレンズ面を非球面にし、非対称収差のバランスのコントロールとハローの除去を行っている¹⁾。負のメニスカスレンズが新たに加わったため、これまでに例を見ない構成の変形ガウスタイプとなった。

F1~1.2の従来レンズに比べて、11枚の構成枚数はかなり多いが、それにもかかわらず従来レンズを凌ぐ性能であるといいがたい²⁾。非球面を導入しているにもかかわらず枚数が増えているのは非球面の補正能力に疑問を抱かせかねない。しかしこうした現象は、口径比が大きくなるほど設計の困難度は指数関数的に増大するものであり、ガウスタイプ特有のフレアは非球面を導入しても容易に除去し難いことを示していると考えられよう。

現状のガラスモールド技術では、径の大きな非球面レンズを精度よく成形しようとする、レンズ中心厚と周辺部の厚さの差が小さくしなければならない。図1に見られるようなレンズの構成と非球面素子の形状は、こうした現段階のモールド技術の制約を前提に設計されたことを反映しているものと考えられる。

ともあれ非球面時代への幕開けを飾るレンズであり、現代の技術の粋を凝集したレンズである。

ズームレンズへ非球面を導入する効果はよく知られているが、最近非球面を導入した各種ズームレンズが続々

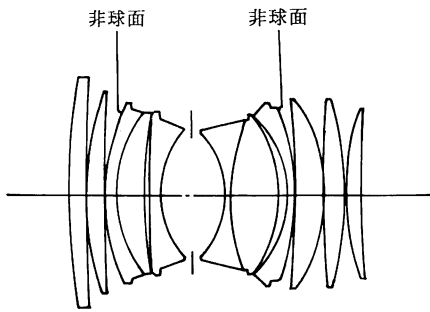


図 1 キヤノン EF 50 ミリ F1.0L

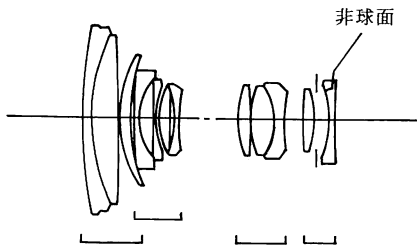


図 2 ミノルタ AF ズーム 35~105 ミリ F 3.5~4.5

と市場に現れている。

図2はミノルタ AF ズーム 35~105 ミリ F 3.5~4.5 で、レンズ全長が 59.5 ミリで 290 グラムと軽量コンパクトになっている。同じ仕様の旧タイプレンズが 88.8 ミリ 430 グラムであったのに比べると大幅な軽量化コンパクト化がみられる。新規なレンズ構成というわけではないが、フローティングを採用してズーミングによる収差の変動を補正するとともに、コンパクト化に起因するフレアの発生を非球面の導入によって抑えた³⁾。なおこの非球面は複合型非球面と呼ばれ、球面のガラスレンズの上に透明な樹脂を型で押圧して非球面を形成し、さらに反射防止と保護の効果を兼ねた樹脂コートを重ねて形成されている⁴⁾。

ガラスモールドの非球面に加えてインナーフォーカスの機能をもたせたズームレンズの例には、キヤノン EF 35~135 ミリ F4~5.6 USM (図 3) がある。第3群の絞りから最も遠い面が非球面になっていて、第3群に強いパワーを与えたために発生したこの群の球面収差と非点収差を補正している。フォーカシングには第2群のバリエータが使われているが、最もパワーが強い群なので移動量が少なく済み、超音波モーターの駆動によるフォーカシングに適している。また、収差の変動という点からみても移動量が小さいのは有利である。

オートフォーカス技術の進歩は、ズームレンズの各群

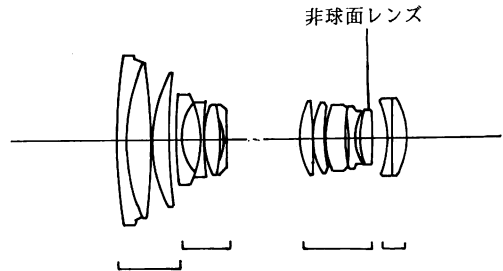


図 3 キヤノン EF 35~135 ミリ F4~5.6 USM

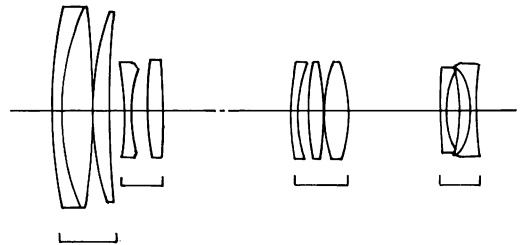


図 4 ミノルタ 100~300 ミリ F 4.5~5.6

の役割に対する従来の見方を大きく変えてしまった。図3のレンズではバリエータがフォーカシングにも使われており、後で触れるようなコンペンセータやマスターレンズの一部を使うものなど多様なフォーカシング方式が現れている。

このところダブルテレフォトズームと呼ばれる方式が話題になっている。小型化と高倍率化には3成分以上が移動するズーム方式が有利であることから、標準から望遠におよびズームレンズや中望遠のズームレンズはほとんどがこの方式になっている。このズーム方式の問題点は製造の精度が厳しく要求されることにあり、これがネックになっていっそうの小型化やコストダウンの実現を困難にしてきた。こうした問題点を解消しようとするのが新しく開発されたダブルテレフォトズームで⁵⁾、図4はそうしたミノルタ 100~300 ミリ F 4.5~5.6 の構成図である⁶⁾。

この方式の特徴は、ワイド端で第1成分と第2成分の合成パワーがゼロに近い値をとることである。従来のタイプと比較して負の第2成分のパワーが弱く、このため第2成分の構成枚数が削減できる。図4のズームレンズでは従来のものより1ないし2枚減って2枚の構成となっている。また、第3成分に入る光束はあまり発散しないので以降のレンズ径が小さくでき、鏡胴径のコンパクト化にとっても好ましい。

従来のタイプに比べこのタイプのレンズは第2成分の製造の精度がゆるく大量生産に有利である。ただしこの

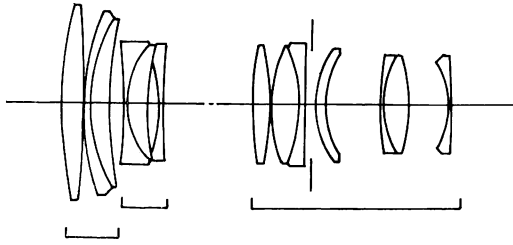


図5 シグマ70~210ミリ F4~5.6 UC

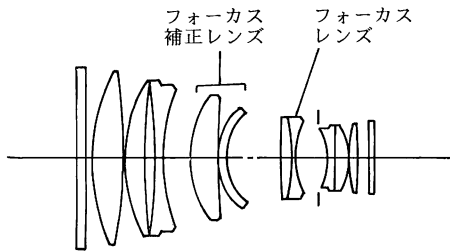


図6 キヤノン EF 200 ミリ F1.8 L

タイプは後で触れる望遠タイプ2群ズームと同じ構造の部分有しているので、同じような収差補正上の困難が避けられず、第2成分のパワーが小さい長所はこうした構造とも関係して画角に弱い短所となっている。

製造コストの低減はレンズ設計の重要課題として時と所を問わず追求されてきたが、コストの低減できるレンズタイプの発明となると偶発的なチャンスに依存するほかなかった。ダブルテレフォトズームがこのテーマに対する一つの解答となっている点でも注目されよう。

非球面、インナーフォーカスではないが、たとえばシグマの70~210ミリ F4~5.6 (図5) のようにコンパクト化がいちだんと進んだズームレンズが出現している。これも現代の発展の一つのかたちとして数えられよう。オーソドックスな構成とありふれたガラスを使った3群ズームであるが、各群のパワーを強くすることでコンパクト化が実現された。これはコンパクト化の社会的な経験を継承し、さらに改良を重ねた結果であり、一見なんでもなく見える量の変化が捕らえたレンズの質的な発展を示している。

インナーフォーカシングは単体レンズとくに望遠レンズにおいても全盛である。インナーフォーカスにするだけでなく、大口径比化など仕様に革新性を盛り込んだり、異常分散ガラスを用いて高性能化を試みた望遠レンズが多い。

図6のレンズはキヤノン EF 200 ミリ F1.8 L である。F1.8の明るさに加え、異常分散ガラスを多用して

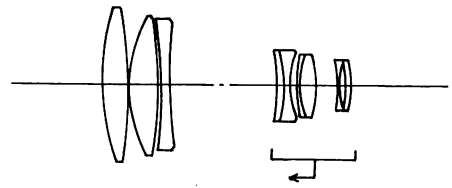


図7 トキナー 300 ミリ F2.8

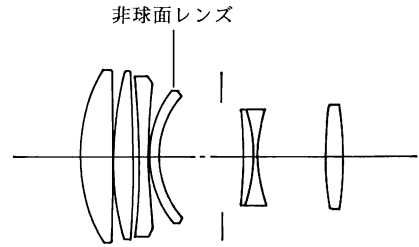


図8 キヤノン EF 135 ミリ F2.8 ソフトフォーカス

いること、フォーカス補正レンズと呼ばれる群を加えていること、が特徴的である。一つのレンズ群だけを動かすインナーフォーカシングでは収差変動が大きいため、これを軽減するため補正レンズが加えられた。口径比が大きくなるとメニスカスレンズ1枚では効果が十分でないため、ガウスの望遠鏡タイプのように凸レンズを組み合わせて高次の球面収差の変動を小さくしている⁷⁾。

この補正レンズは、大口径という条件下でのインナーフォーカシングがもたらした産物であるが、収差変動を抑える方法は補正レンズを付加する他にもいろいろ考えられている。たとえばトキナーの300ミリ F2.8 などでは、固定の正レンズの前後の負パワーを一体で移動してフォーカシングを行う方式をとっている(図7)。

図8はキヤノン EF 135 ミリ F2.8 ソフトフォーカスである。図からわかるように望遠タイプのレンズ構成で、第5群を動かしてオートフォーカスを行っている。ノーマルからソフトフォーカスへの変化は第4レンズを像面側へ移動させて行い、これと同時にフォーカスレンズを被写体側へ動かしてピント移動を補正する。第4レンズはフォーカシングによる収差の変動(おもに球面収差)を補正する第1の役目と、像面側へ動かすことにより球面収差のみを大きく発生させる第2の役目をあわせもっている。球面系にこの二つの役目を負わせようとすると複雑な構成になるので、本レンズは非球面を導入し1枚のレンズで済ませた⁸⁾。

ソフトフォーカスレンズは昔から数多く存在するが、本レンズはソフト化の役割のレンズに非球面を加えたこ

と、ソフトフォーカス時でもオートフォーカスができること、が新鮮である。

インナーフォーカスの方式はそれぞれでも、これらのレンズに共通した発展の姿として単焦点レンズのズームレンズ化がクローズアップしてくる。フォーカシングした状態をズームポジションとして扱い、無限遠近距離時の収差補正を同時に進める設計の仕方は、ズームレンズの設計となら変わるところがない。単焦点レンズのズーム化はいまに始まった現象ではないが、オートフォーカス技術によってこれまでになく鮮明に浮き出てきた側面であろう。

3. コンパクトカメラとブリッジカメラのレンズ

コンパクトカメラ、ブリッジカメラのレンズの発展を推し進めているのも、一眼レフのレンズの場合と同様非球面技術とオートフォーカス技術である。

コンパクトカメラのためのズーム方式として、望遠タイプの2群ズームはいまではすっかり定着した。この方式はズーミングによって後部の負レンズ群の倍率が変化するが、その倍率はつねにプラスで1より大きい値をとる。こうした構造はコンパクト化を可能にしたが、同時に高倍率化広角化しがい障害を共存させるものともなっている^{9,10)}。

35~70ミリのズーム仕様が普通になれば、ズーム比の拡大、広角側へのズームレンジのシフト等の差別化個性化の課題が提起されてくるのも必然である。コンパクトカメラのズームは、前述したような対立する傾向を克服しながら新しい仕様の実現へ発展を続けている。

図9のペンタックスズーム70Xのズームレンズはガラスモールドの非球面レンズを導入して差別化を試みている¹¹⁾。ズーム比を大きくしたレンズでは、ペンタックスズーム105スーパー用の38~105ミリF4~7.8(図10)がある。このレンズは正・正・負のパワーからなる

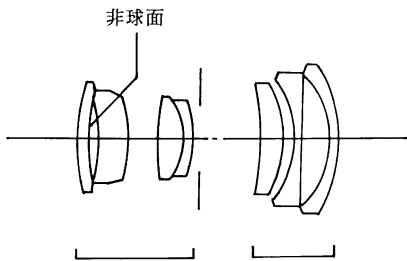


図9 ペンタックスズーム70X 35~70ミリ F3.5~6.7

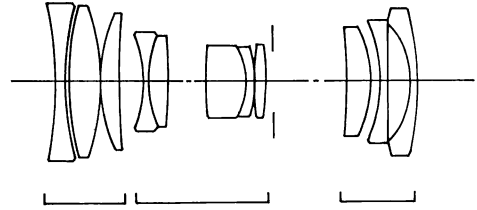


図10 ペンタックスズーム105スーパー 38~105ミリ F4~7.8

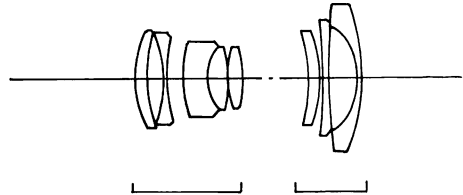


図11 コニカ Z-up 28 W 28~56ミリ F3.5~6.6

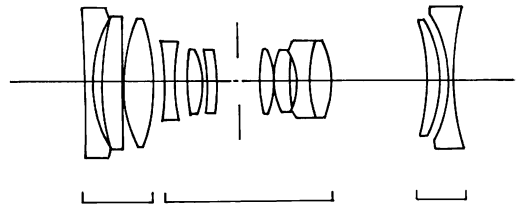


図12 オリジナル IZM 38~105ミリ F4.5~6

3群の構成として3倍近い高変倍比を実現した。また、フォーカシングは第2レンズ群のみを物体側に移動する方式を採用している¹²⁾。

コニカ Z-up 28 W のレンズは、ワイド端が28ミリにはじまる2倍ズームである(図11)。第1群レンズは形状的にはテッサーの後ろに凸レンズを加えた構成であるが、パワー的にはレトロフォーカスレンズの構造をもたせており、このため望遠タイプ2群ズームの困難な広角化に成功した。

ブリッジカメラのレンズは、3~4倍のズーム比のものが多い。一眼レフのズームに近いタイプと、コンパクトカメラのズームを延長したタイプとがあるが、いずれにしろオートフォーカス技術と強く関わっていることに変わりはない。

オリンパス IZM のレンズ38~105ミリ F4.5~6は、図12に示すように12枚構成の3群ズームである。正負パワーから成る通常ズームの1、2群と、望遠タイプの2群ズームをドッキングしたダブルズームが出发点になっており、両者の隣り合ったレンズの間隔を一定に保つ条件で設計を進めて3群ズームに到達した¹³⁾。ダブルズ

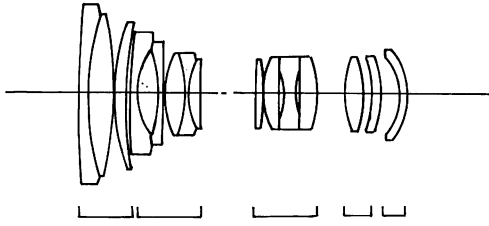


図 13 リコー MIRAI 35~135 ミリ F 4.2~5.6

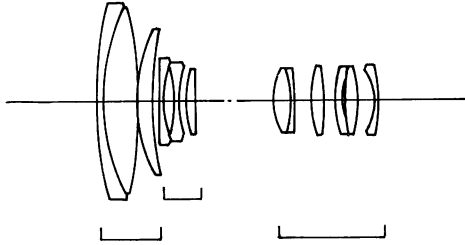


図 14 チノンスーパージェネシス
38~110 ミリ F 4.4~5.6

ームが骨格であるために3倍近いズーム比は容易に達成でき、主要な役割を担う望遠タイプ2群ズームの存在によってコンパクト化が実現できる。収差補正における望遠タイプ2群ズームのマイナス面は、前のほうにある性質の違うズーム部との相互作用によって緩和されている。フォーカシングに第2群を使っているのもオートフォーカスにふさわしい方式である。

MIRAIのレンズは5群の構成で35~135ミリF4.2~5.6の仕様をもつバリフォーカルズームである(図13)¹⁴⁾。バリフォーカルレンズは変倍時に結像位置が変化するのが欠点であるが、この欠点はレンズ設計の視点からみると長所であり、小型軽量高性能が実現できる可能性にほかならない。さらにこのレンズは1,2群をいっしょに動かしてフォーカシングしているが、変倍およびフォーカスの制御をコンピュータによって行っている。オートフォーカス技術をフルに駆使することによって、バリフォーカルの長所が生かされたレンズとなった。

スーパージェネシスのレンズは、バックフォーカスが長い一眼レフのズームタイプの3倍ズームであり、38~110ミリF4.4~5.6の仕様をもっている(図14)。このレンズは11群12枚の構成で三つの成分に分かれており、第1と第3成分が一体で直進する光学補正式のバリフォーカルレンズである。変倍による結像位置の補正はオートフォーカス技術によって処理できるので、光学補正式の動きのほうがカム機構の必要がなく小型軽量化に有利である。

バリフォーカルや光学補正式ズームはピント移動があるために疎外されてきたけれども、オートフォーカス技術によっていままた有力なズーム方式に転化しつつある。ズーム方式とその方式の能力との関係は重層的であり、固定的にとらえられないことを示すものである。

4. ビデオのズームレンズ

ビデオのズームレンズは小型軽量化を至上の課題として展開してきたが、ソニーのTR55が出現して以来、小型軽量化競争にいっそうの激しさが加わった。

これまでの軽量化の手法は、重量比率の大きい前玉群中の比重の大きなガラスを、同じ光学常数の軽量化ガラスに置換したり、テレ側のFナンバーをワイド側より大きくして前玉径を小さくするものであった。

いまはCCD固体撮像素子の製造技術の発達によってCCDのサイズは1/2インチから1/3インチと小さくなり、これに伴ってビデオズームの焦点距離が短くなるほうにスケールアップされ小型軽量化がいちだんと進んだ。

このことはまた、非球面技術とオートフォーカス技術がますます導入しやすいう利な条件となっている。すなわちレンズの径が小さくなるのでガラスモールド非球面の製造がしやすく、オートフォーカスのためのレンズ移動量とそれに費やされるパワーが少なくて済むからである。

新しいフォーカス方式で登場したレンズでは、ミノルタムービーC-1のズームがある。図15に見られるようなきわめてオーソドックスな構成をもつ4群ズームで、コンペンセータはズーミングによる焦点補正だけでなくフォーカシングの機能を合わせもち、CCDラインセンサーからの位相信号によってピントを保つよう駆動されている。またこのレンズのパワーが強いために、わずかの動き量で無限遠からレンズ先端まで連続してオートフォーカスが可能である。

非球面レンズを導入したビデオのズームレンズでは日立VM-C1のレンズがあるが、松下プレミエのズームレンズは現在のレンズ技術の最も進んだ到達点を示している。2枚のガラスモールドの非球面レンズを使用した6群9枚の少ない構成枚数と、マスターレンズ後部の正レンズ群が像位置の補正とフォーカシングに駆動されているのが特徴である。詳しくは本号の小野・井上両氏の“最近の技術から”を参照されたい。

オートフォーカス技術がもたらしたレンズの発展の特徴は、ピント面のズレの補正とフォーカシングといった複数の機能が一つのレンズあるいは群に統合されたこ

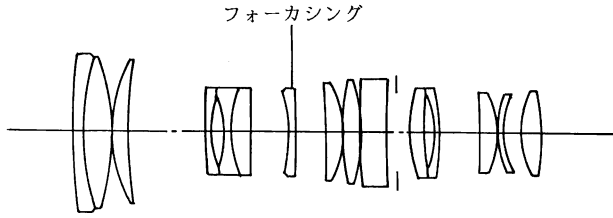


図 15 ミノルタムービー C-1, 9~54 ミリ F1.4

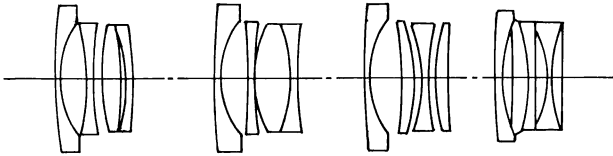


図 16 色消しを対称に近付けたバリエータ

と、またその方式の多様なこと、として発現した。ただしどのレンズや群でもこうした使い方ができるというわけではなく、性能劣化を小さく抑えるには、システム中で縮小倍率をもったレンズ群を使うのが望ましい。

CCD 素子の多画素化と性能改善によって、CCD カメラは民生用ビデオだけでなく放送用の分野でも使われはじめた。CCD は受光面に受光素子が規則的に並んでいるので、画面歪みがなく均一の解像度がえられる。こうした特性に対応したズームレンズの設計が必要となっており、部分の構成の仕方などに新しい工夫が試みられている。

放送用では CCD が色分解プリズムに固着されていることから、レンズの互換性を保障するために二次スペクトルを補正しておく必要がある。この対策には、フォーカシング部の正レンズに蛍石に性質の近い異常分散ガラスを使った色収差の補正が有効である。

撮像管式カメラでは像サイズを電氣的に微調整できたが、CCD カメラではそれができないので倍率色収差の補正がとりわけ重要である。どの焦点距離状態でも倍率色収差が現れないようにするためには、それぞれの群の色収差が独立に補正されていなければならない。とくにパワーが強いバリエータで波長による主点のズレが生じないようにすることが必要で、そのため図 16 に見るような従来の 4 群ズームではあまり見掛けなかった対称な構造への変貌が起こっている¹⁵⁾。

5. おわりに

撮影レンズの最近の発展の底流になっているのは非球面技術とオートフォーカス技術である。この事態を簡潔に表現するとすれば、Aspherical surface と Auto

focus の頭の A をとって「二つの A」というキーワードがふさわしい。

二つの A はさらに成熟しながら撮影レンズの発展を促し、撮影レンズの発展はまた二つの A の成熟をさらに促すように作用しあっていくことは疑いない。

数多いレンズの中から、幾つかな的特徴的なレンズを取り上げて撮影レンズの最近の発展の姿を紹介してきた。発展の萌芽をはらんでいながら見落としてしまったレンズも多々あると思われるが、ご容赦のほどお願いしたい。

文 献

- 1) 高橋貞利: 特開昭 62-138809, 特開昭 63-70216.
- 2) “キヤノン EOS-1”, アサヒカメラニューフェース診断室, 11 月号 (1989) 191-202.
- 3) 升本久幸, 福島 省: 特開昭 63-66522.
- 4) 道正田隆: “複合型非球面レンズ”, ミノルタテクノレポート, 2 (1985) 15-24.
- 5) 升本久幸: “新規なズームタイプの解析と設計”, 光学, 19 (1990) 515-522.
- 6) 岡田尚士, 小島亜矢子: 特開平 1-197713.
- 7) 小川秀樹, 高橋貞利: 特開平 1-102413.
- 8) 池森敬二: “EF 135 mm F 2.8 ソフトフォーカスの原理と特徴”, 第 13 回光学シンポジウム講演予稿集 (1988) pp. 1-2.
- 9) 小川良太, 伊藤孝之: “レンズシャッターカメラ用光学系”, 光学, 17 (1988) 394-399.
- 10) 中川治平: “ズームレンズの動向”, 光学技術コンタクト, 27 (1989) 20-27.
- 11) 伊藤孝之: 特開平 1-193808.
- 12) 伊藤孝之: 特開平 2-73211.
- 13) 山梨隆則: 特開昭 63-153511.
- 14) 藤陵巖達: 特開昭 63-189819.
- 15) 大島 茂: “3-CCD カメラ用ズームレンズ”, テレビジョン学会技術報告, 12, 36 (1988) 31-36.

なお実際の製品は参考文献に挙げた特許の実施例そのものではなく、若干異なっている場合がある。