
300万画素デジタルカメラ用ズームレンズの開発

Development of a Zoom Lens for Three-Megapixel Digital Cameras

大橋 和泰*

Kazuyasu OHASHI

要 旨

1/1.8型(対角9mm)334万画素CCDに対応する、デジタルカメラ用3倍ズームレンズを開発した。本レンズは、複数のレンズ群を変倍に用いるズームタイプの採用により、小型化を達成するとともに、3枚の非球面レンズを使用して各収差を効果的に補正し、中心300本/mm、周辺200本/mmの高解像力を実現している。さらに、群配置の工夫によって、最大0.3倍までのマクロ撮影も可能とした。

ABSTRACT

A new 3x zoom lens for digital cameras is developed corresponding to 1/1.8-inch (9mm diagonal) 3.34-megapixel CCD. The zooming system adopted changeable focal length with multiple lens groups to make the lens compact, and also employed three aspherical lenses for effective correction of aberrations. As the results, resolutions of 300 lines per mm at the center and 200 lines per mm at the edge are accomplished. Moreover, the lens can produce macro magnification of up to 0.3 by optimized arrangement of lens groups.

* 画像技術開発本部 OE開発室
Opt-Electronics Development Department,
Imaging Technology Division

1. 背景と目的

コンシューマ向けデジタルカメラの多画素化は、キーデバイスであるエリアCCDの開発に先導される形で急速に進んでおり、2000年春には各社から300万画素を越えるものが市場へ投入されるに至った。

総画素数334万の1/1.8型CCD(撮像エリア対角9mm)において、その画素サイズ(画素ピッチ)は $3.5\mu\text{m}$ にまで高密度化されている。ナイキスト周波数は140本/mmを超えることになり、撮影レンズの解像力はこれを十分に上回るものでなければならぬ。

さらに、デジタルカメラには携帯性が要求され、それに用いられる撮影レンズも可能な限り小型であることが望ましい。

一方、銀塩コンパクトカメラとの比較におけるデジタルカメラの特長の1つに、被写体により近接してのマクロ撮影が可能である点が挙げられる。特にリコーのデジタルカメラは、その開発の当初から卓越したマクロ機能を実現しており、これを継承する必要がある。

以上のような背景に鑑み、我々は今回、1/1.8型334万画素CCDに対応し、最大撮影倍率0.3のマクロ撮影が可能な、小型の3倍ズームレンズを開発した。本報告ではその設計思想、開発結果について紹介する。

2. 技術

2-1 ズームタイプ

ズームタイプの選定にあたっては、鏡胴、シャッタの機構を簡略化するため、以下のような条件を設けた。

- (1) レンズ全長が不変であること
- (2) 開口絞り(シャッタ)が移動しないこと
- (3) 開放絞り径が一定であること
- (4) 移動群が少ないこと
- (5) インナーフォーカス可能なこと

これらの条件を満足するズームタイプとしては、正のパワーを有する第1群、負のパワーを有する第2群、正のパワーを有する第3群、正のパワーを有する第4群の4群からなるタイプ(以下4群PNPPタイプ)が知られている。このタイプのズームレンズは一般的に、第3群に開口絞りを有しており、第

1群と第3群を固定して、第2群を単調に移動させて変倍し、変倍に伴う像面位置の変化は第4群を移動させて補償する(Fig.1)¹⁾。

しかし、4群PNPPタイプを上述のように用いると、第2群が変倍作用の大半を受け持つことになり、移動量が大きくなる。その結果、第1群が開口絞りから遠ざかり、第1群の大型化を招いてしまう。本レンズには、そのターゲットとするカメラの形態から、特に小径化が望まれていたため、第1群の大型化は致命的であった。

そこで、本レンズでは、開口絞りを第3群の前方に独立させて固定とし、第3群を変倍作用の一部を分担するように移動させる方式を採用した(Fig.2)。さらに、像面位置の補正機能も第3群に併せ持たせ、変倍に際して第4群を固定としている。結果として、第3群は変倍比のうち約1.5倍分を負担することになり、第2群の負担は約2/3となって、第1群の十分な小径化が達成された。

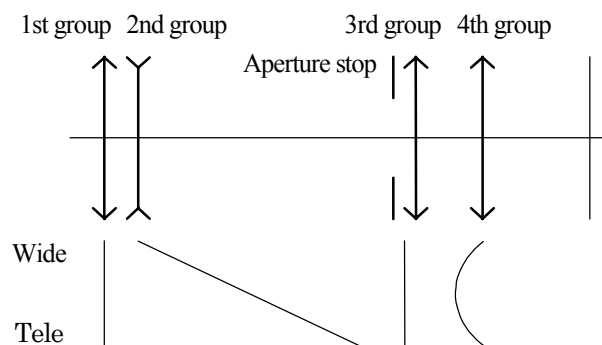


Fig.1 Model of conventional zoom lens.

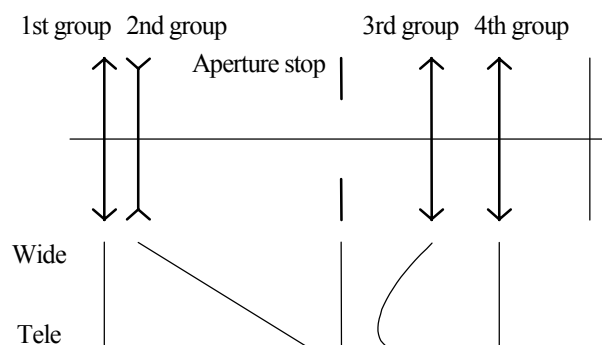


Fig.2 Model of our zoom lens.

なお、第3群は単調移動ではなく、望遠端近傍でUターン状の軌跡を描くようになっている。レンズ系の小型化のためには、第1群のパワーを強める(焦点距離を短くする)必要があり、

その結果、本レンズでは望遠端における第2群の倍率を-1よりも小さく設定している。このため、変倍時に第2群の倍率が-1を挟んで変化し、第2群の倍率が-1となる点で、第3群はUターンする。これは、第3群に変倍機能と像面位置の補正機能を併せ持たせているためであり、本レンズの特徴の一つである。

2-2 レンズ構成

Fig.3に本レンズの構成、および、広角端と望遠端における光線経路を示す。

本レンズは、第1群3枚、第2群3枚、第3群3枚、第4群1枚の計10枚からなる。第3群の最も像側の面には強い負のパワーを与え、主点を前方に押し出して第3群の倍率を上げることに より、第1群から開口絞りまでの系をより小型化している。

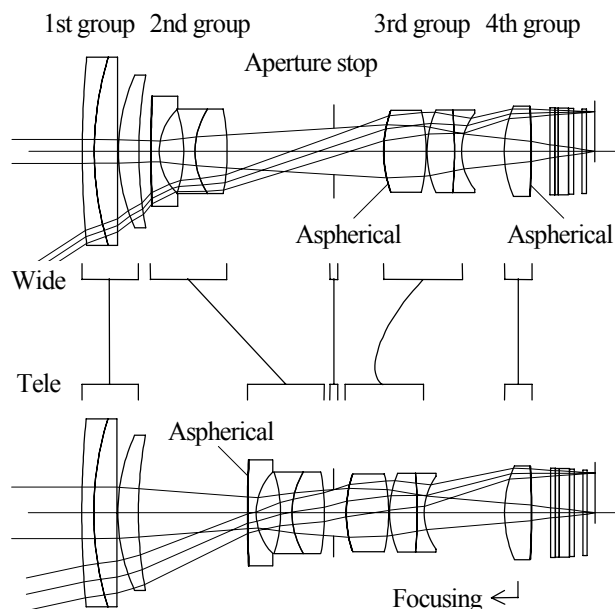


Fig.3 Layout of our zoom lens (Zoom).

また、第2群～第4群には、それぞれ1面の非球面を使用している。第2群は、ズーミングに伴って光線の通り方が大きく変化するため、第2群に設ける非球面には、短焦点端と長焦点端とで異なる効果を持たせることができる。第3群は、ズーミングに伴う光線の通り方の変化があまり大きくなく、また、開口絞りに近いことから中心と周辺の光束が同じような場所を通るため、第3群に設ける非球面は、ズーム域全体、画面全体にわたって一様に影響するような収差の補正に適している。第4群は、ズーミングに伴う光線の通り方の変化がほとんどな

く、また、中心の光束と周辺の光束とが分離して通るため、第4群に設ける非球面は、ズーム域全体にわたって画面の周辺に影響するような収差の補正に適している。

より具体的には、第2群の非球面は、短焦点端では主に歪曲収差や非点収差、長焦点端では主に球面収差の補正に役立っている。また、第3群の非球面は主に球面収差、コマ収差の補正に役立っており、第4群の非球面は主にコマ収差、非点収差の補正に役立っている。このように、複数の非球面を光線の通り方がそれぞれ異なる箇所に用いることにより、各収差を有効に補正することができ、ズーム域全体にわたって、画面周辺まで高い結像性能を有するズームレンズを実現することができた。

なお、フォーカシングは、全体繰り出し(CCDの移動)や第3群の移動によっても行うことができるが、次に述べるマクロモードとのマッチングを考慮し、第4群の移動によって行うこととした。フォーカシングを含めた最適化設計により、無限遠から最短撮影距離まで、十分に高い結像性能を維持している。

2-3 マクロモード

本レンズでは、第3群と第4群との間隔が、広角端で狭く、望遠端で広い。これに対して、同じ撮影距離にフォーカシングするための第4群の繰り出し量は、広角端で小さく、望遠端で大きい。この関係は一見、非常に都合が良いようであるが、一方で、広角端において大きな繰り出し量を与え、マクロ撮影を可能とするというような使い方はできない。

そこで、本レンズでは、変倍時とは異なる群配置により実現されるマクロモードを設け、十分なマクロ撮影を可能とした。Fig.4にマクロモードにおける本レンズの構成、および、光線経路を示す。

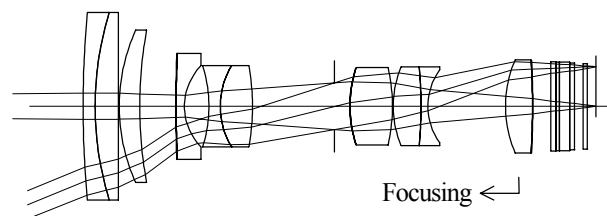


Fig.4 Layout of our zoom lens (Macro).

考え方の基本は、広角端の群配置から、第3群を望遠端に近い位置まで移動させ、第4群を繰り出すためのスペースを作

り出すということである。このとき、第3群の変倍作用によって、レンズ系の焦点距離は広角端よりもやや長くなり、第4群の繰り出し量自体も大きくなるが、作り出されるスペースはそれを大きく上回っている。

また、第2群も広角端の位置に止めておかず、やや変倍した位置へと移動させている。これは、近距離へのフォーカシングに従って増大する歪曲収差を小さく抑えるためである。以上のように決定されたマクロモードにおける第2群と第3群の配置は、変倍時のどの状態とも異なっている。

この方法によれば、通常のズーム域とマクロモードとにおいて、フォーカシングのために同じ第4群を移動させれば良く、カメラのシーケンスが複雑化するのを避けることができる。Fig.5に、各距離にフォーカシングした際の、ズーム域の無限遠時を基準とする第4群の位置を示す。第4群のマクロモードにおける移動領域は、ズーム域における移動領域を包含しており、フォーカス機構をコンパクトにするための配慮がなされている。

本レンズのマクロモードにおける最大撮影倍率は0.3倍であり、鏡胴の先端から約1cmまで合焦可能である。このときの撮影範囲はおおよそ24×18mmであり、切手サイズの被写体がほぼ画面一杯となる。

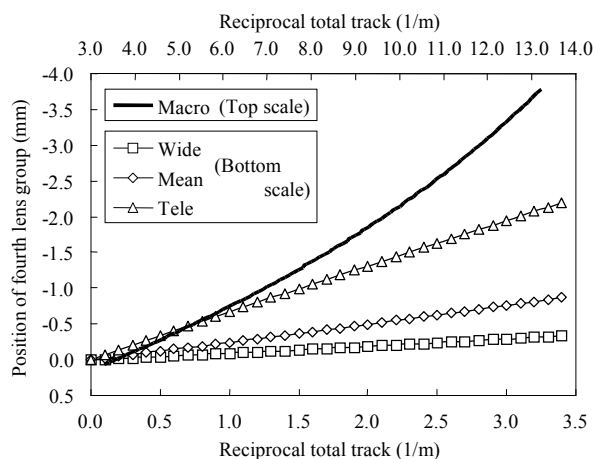


Fig.5 Movement of fourth lens group by focusing.

2-4 加工・組み付け調整

実際の加工および組み付け調整方法について、少し触れておく。

本レンズに使用されている3枚の非球面レンズは全て、ガ

ラス球面レンズ上に樹脂からなる非球面部分を成型したハイブリッドタイプである。ベースレンズの曲率や樹脂部分の厚みは、高精度な成型を行うために最適化されている。

いずれも3枚のレンズからなる第1群～第3群は、それぞれ1組の接合レンズを含み、組み付け工程の簡素化に配慮した設計となっている。接合はまた、偏心の原因を取り除く役割をも果たしている。特に第3群は、3枚のレンズを分離させた方が設計性能は高くできるが、レンズの偏心が結像性能に与える影響が非常に大きいため、敢えて接合を用いた。

さらに、第2群については、接合されていないレンズ同士の偏心が、特に広角端の結像性能を劣化させるため、一方のレンズ面の球心をもう一方のレンズ光軸に一致させる調整を、専用調整機を用いて行っている。

2-5 仕様・性能

本レンズの主な仕様をTable 1に示す。

焦点距離は35mm銀塩カメラ換算で、35～105mmに相当する。Fナンバーはレンズのコンパクト性を損なわない範囲で小さくした。

開口効率は高く、また、像面から射出瞳までの距離も十分であるため、豊富な周辺光量を有している。

また、Fig.6に本レンズのMTFを示す。広角端から望遠端に至るまで、また、中心だけでなく周辺においても高いMTFを有していることがわかる。

実際の解像力としても、中心300本/mm、周辺200本/mm以上が得られている。

Table 1 Specifications.

Focal length		7.3 to 21.9 mm
F-number		2.6 to 3.4
Focusing range (from image surface)	Zoom	300mm to infinity
	Macro	76mm to 300mm
Maximum lens diameter		22mm
Length from the top of lens to image surface		60mm
Distance from image surface to exit pupil		-68 to -36 mm
Distortion		-5.8 to +1.0 %
Aperture efficiency		More than 78%

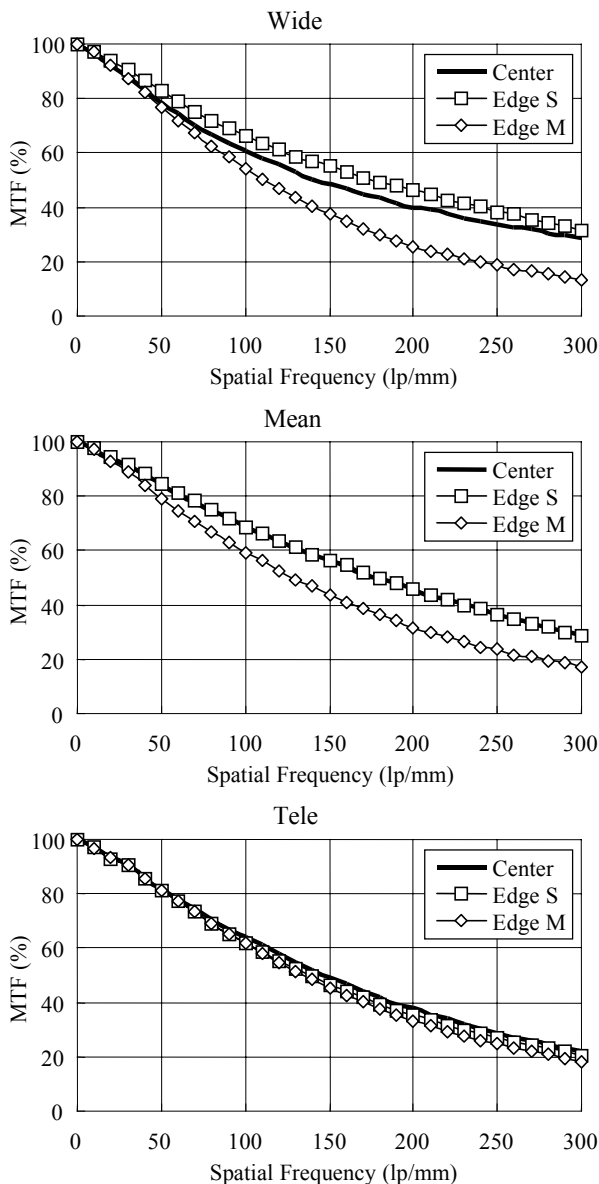


Fig.6 MTF at each zoom position.

3. 成果

複数のレンズ群を変倍に用いるズームタイプの採用や、3枚の非球面レンズの効果的な使用、群配置の工夫によるマクロモードの付加等によって、1/1.8型334万画素CCDに対応し、最大撮影倍率0.3のマクロ撮影が可能な、小型の3倍ズームレンズが開発できた。

本レンズは、リコーのデジタルカメラ“RDC-7”や、イメージキャプチャリングデバイス“RDC-i700”に搭載されており、カメラの小型化、高画質化、高機能化を実現し、その商品としての魅力を向上させることに大きく寄与している。

4. 今後の展開

デジタルカメラの多画素化はさらに進むことが予測されるが、その画素サイズは $3\mu\text{m}$ 程度で限界を迎えると考えられ、画素数の増加はエリアCCDの大型化を伴うことになる。そのような状況下で、撮影レンズの小型化はさらに重要度を増してくる。また、撮影レンズに求められる付加価値としては、ズームの高変倍化が大きな課題であると考えられる。

今後は、この小型・高変倍という課題を解決すべく、レンズ設計技術、および、加工・組み立て技術のさらなる向上を図っていく。

謝辞

本レンズの開発にあたり、パーソナル事業部をはじめとする関係者の方々に、ご指導、ご協力いただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 例えば、田中：特開昭62-024213(1987)