

# 薄型カメラ Dimage X 用折り曲げ光学系

Using a Right Angle Optical Path for the Dimage X Super-Thin Digital Still Cameras

萩森 仁\*  
Hagimori, Hitoshi

柳生 玄太\*  
Yagyū, Genta

## 要旨

薄型カメラであるDimage Xでは、カメラ厚み20mmを達成するために、プリズムを用いて光学系を垂直方向へ折り曲げることによってレンズユニットの薄型化を行っている。第1レンズ群がプラスの屈折力を持つプラスリードタイプの光学系を採用することで仕様面でバランスの取れたレンズ設計となっている。本レンズユニットの量産化に向けてプリズムの高精度取り付け、接合調心、片ボケ調心といった生産技術の開発も実現した。

## Abstract

The super-thin digital still cameras of the Dimage X series remain 20mm front-to-back even when zooming in tight. This is because their exceptionally thin lens unit is capped with a prism that gives the optical path a right angle and the lens unit an unconventional vertical orientation. The unit employs a positive power lead configuration with well-balanced specifications, and precision assembly of the prism and lens unit coupled with precision adjustment of the axes of the cemented lenses and of the partial defocusing make mass-production possible.

## 1 はじめに

近年のデジタルカメラの隆盛には目を見張るものがある。その中で2002年2月、普及価格帯向けの超薄型光学3倍デジタルカメラ「Dimage X」(Fig. 1、Table 1)を発売した。レンズ前方部に配置したプリズムで光路を折



Fig.1 Dimage X

\* コニカミノルタカメラ(株)  
デジタルフォト事業部 レンズ開発部 レンズ開発1課

り曲げることにより従来の沈胴方式では達成不可能な薄さのズームユニットを実現できた。ここでは本屈曲ユニットの光学系を紹介する。

Table 1 Optical and Camera specifications

Focal length	5.7mm-17.1mm
Fno	2.8-3.6
CCD	1/2.7inches 2M pixels
Optical length	58.1mm
Optical thickness	17.9mm
Camera dimension	84.5mm(W)x72mm(H)x20mm(T)

## 2 撮影光学系概要説明

本光学系 (Fig. 2) は8群9枚構成から成っており、第1成分中にプリズムを配置し光線を90度曲げながら、2群・4群・5群を移動させてズームング、5群を移動させてフォーカシングを行う「正負正正正」の5成分構成

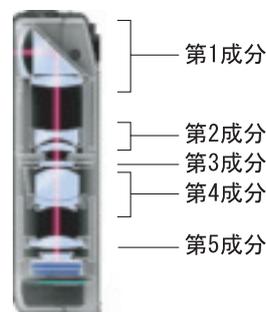


Fig.2 Lens structure of Dimage X

(Table 2) を採用している。プリズムの前に負のメニスカスレンズを配置し、このことは軸外光線の角度を緩くすることでプリズムの径を小さくするという効果を生ん

Table 2 Construction of Dimage X

第1群成分	G1	ガラス球面(小判カット)
	G2	ガラスプリズム
	G3	ガラス球面
第2群成分	G4	プラスチックモールド非球面
	G5	ガラス球面
第3群成分	G6	ガラス球面
第4群成分	G7	ガラス球面
	G8	ガラスモールド非球面
第5群成分	G9	プラスチックモールド非球面

でいる。プリズムを用いるとコストアップ要因になるが本光学系では2枚のプラスチック非球面レンズを用いることでコストアップを最小限に抑えている。

### 3 屈曲光学系開発の経緯

最終的には上記光学タイプに行き着いたが、そこに行き着くまでの検討内容を紹介する。

#### 【沈胴タイプ】

通常のデジカメ用3倍ズーム付きのカメラは、電源オフ時にその鏡胴全長が短くなるように各レンズが移動することで、カメラの厚みを減らしている。この構成をとる鏡胴は俗に沈胴タイプと呼ばれており、最もオーソドックスなタイプは「負正正」と呼ばれる3成分で、各成分を移動させてズームし、第3成分でフォーカシング、非球面を3枚程度使うというものである。我々は当初このノーマルの沈胴タイプで検討を進めていたが、レンズ枚数6～8枚程度が必須の本レンズタイプでは沈胴時のレンズ厚みを劇的に薄くできず、競合他社デジカメとの差別化が難しいという結論に達した。

#### 【折り曲げタイプ-負リード】

この時点で発想を転換しプリズムを用いた屈曲系の可能性を探り始めた。

手始めとして「負正正」ズームを骨格とし、プリズムを前方に配置するタイプの検討を行った。このタイプは光学3倍ズームの主流タイプからの発展系であり、ズーム全長が短い、前玉径が小さいなどのメリットを持つ。しかしながらテレ端のF値を明るくできないという欠点があり、F値をできる限り明るくしたいという仕様面からの要求を満足できなかった。

#### 【折り曲げタイプ-正リード】

次に第1レンズ群にプラスのパワーを持たせるタイプにトライした。結果、全長はやや不利になるものの絞り径を小さくでき結果的に明るいF値を確保できた。最終的には固定の第3群を加えることでマイナスイードに比べ設計結像性能も向上させることができている。

これらのまとめをTable 3に示す。正リードの折り曲げ方式は、非常に薄いという特徴に秀でながら、全長、F値、性能、コスト等のトータルバランスの取れたタイプであることがわかる。

Table 3 Comparison of each lens type

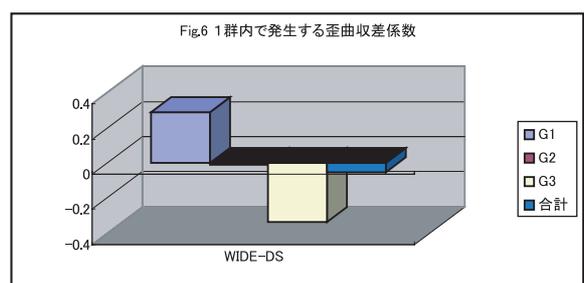
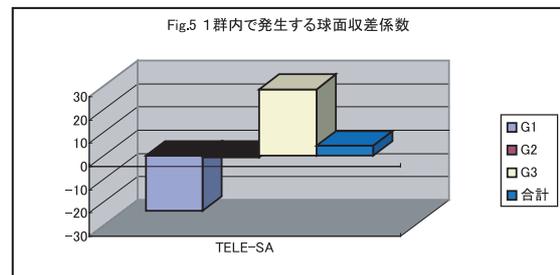
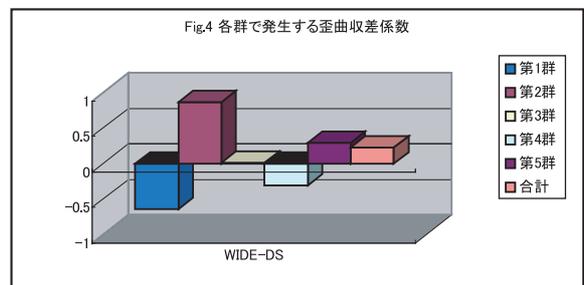
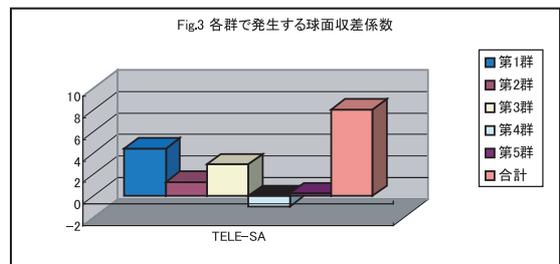
	沈胴方式	屈曲方式	
	負リード	負リード	正リード
薄さ※	○	◎	◎
全長	◎	○	○
F値	△	△	○
性能	○	○	◎
コスト	○-◎	○	△-○

※カメラとしての厚み比較

## 4 屈曲光学系の収差特性解析

本光学系は、通常のコパクト系デジカメとは違うプラスリードの採用と、1群の中がプリズムをはさんだ負レンズと正レンズの2枚構成という2つの特徴を持つ。ここでは通常、設計性能上クリティカルになりやすいテレ端の球面収差係数、ワイド端の歪曲収差係数に着目し、1群周辺での収差除去の考え方を説明する。

Fig. 3とFig. 4で各群の収差除去の様子を示す。ここから各群の収差除去の役割が球面収差と歪曲収差で異なっていることがわかる。球面収差係数は第4群を除いた全ての群の収差係数の符号が同じである。これは各群の中で発生する球面収差を最小化することでトータル収差発生量を抑えていることを示す。また歪曲収差係数を見ると、第1群と第2群で大きな逆符号の収差係数を持ちそれらが打ち消しあうことでトータルの収差発生を抑えている。



次に1群の中の収差係数を見る。(Fig. 5, Fig. 6) 球面収差係数はG1の発生分よりG3が大きく、結果1群ではプラスの収差係数が残存している。Fig. 3を見ると、本来1群の球面収差係数はマイナスの値が望ましい。にも関わらずプラスで残存しているのは、歪曲収差係数の除去との兼ね合いにある。歪曲収差は第2群のプラス分が大きく(Fig. 5)、1群内のマイナスで打ち消す必要がある。そのためにはG3の寄与(パワー)を大きくせざるを得ず、これは球面収差上はプラスの収差係数が残存することになる。以上より本光学系では、G1とG3の各曲率へ適切なパワーを与えることで最終トータルで良好な光学性能を確保してできていることがわかる。

## 5 生産技術課題

本光学系の最も大きな付加価値は鏡胴ユニットの薄さを含めたトータルのコンパクトネスである。従って製造に許される誤差は非常に厳しくなっている。かつデジタルカメラの撮影光学系としては初めてプリズムを採用し、プリズム周りの誤差要因が増加した。これら製造誤差をいかに抑えるか、が量産化への大きな課題となった。本光学系で技術課題となった主な項目について簡単に説明を行う。

### 【プリズムの高精度取り付け】

プリズム組み立て時に平行偏芯・傾き偏芯のエラーが発生すると非常に大きな片ボケが発生し画像性能を著しく劣化させる。量産化に向けて、これら誤差を高精度で測定する技術に加えて、高精度を保ったまま位置決めを行い保持する組み立て技術を開発した。

### 【接合調芯】

本光学系ではレンズ全長の短縮のため第4成分が接合レンズで構成されており、その片方が非球面であることから接合調芯を行っている。これはミノルタ独自開発のAXCM調芯技術に接合技術を組み合わせたもので、G7とG8(非球面)の超高精度な軸合わせを可能にすることで良好な結像状態を確保することができた。

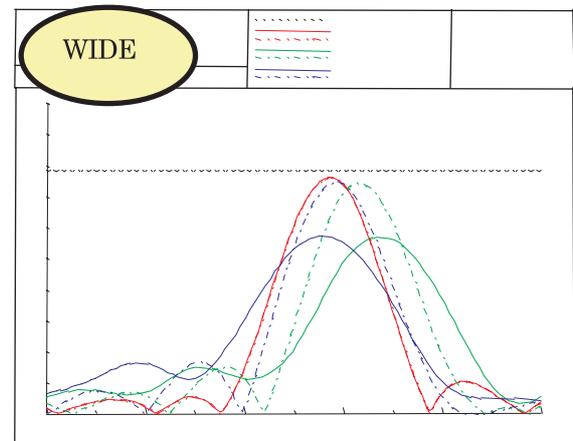
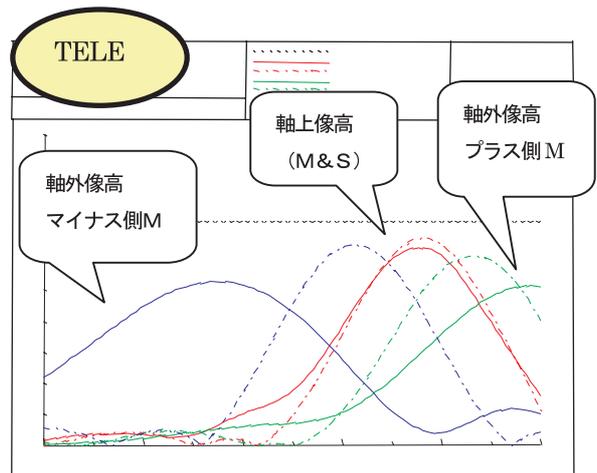
### 【片ボケ調芯】

調芯などで各成分中で発生する誤差を極限まで低減させたとしても、それらブロックを鏡胴状態に組み上げた時点で許容できないレベルの片ボケが残存する。本光学系ではこの残存片ボケを除去するように第3成分のG6を移動させ、その後保持することでワイドからテレにかけて均質な画質を実現できている。また本鏡胴ではCCDを鏡胴に取り付けた状態でCCDの画像を使いながら片ボケ調芯を行っている。このことで従来CCDありで片ボケ調芯を行うときに比べてCCD回りのメカ構成をコンパクトに構成でき鏡胴の小型化に一役かっている。

## 6 プリズムの誤差と片ボケ調芯に関するシミュレーション

5.の生産技術課題からわかるように本光学系では特にプリズム周りの誤差要因の除去と最後に行われる片ボケ調芯技術の確立が性能確保のための至上命題であった。ここではプリズムの誤差と片ボケ調芯という切り口でMTFベースのシミュレーションを紹介する。

### 【プリズムの誤差】



※横軸はデフォーカス、縦軸はMTFをあらわす。

Fig.7 MTF at prism 10' tilting

プリズム周辺の誤差要因は単体誤差から組み立て誤差まで多々あるがここではプリズムの組み立て誤差が傾き偏芯量10'発生した場合を考える。この誤差が発生するとW/Tにおいて片ボケがFig.7のように発生する。これを見てもわかるようにプリズムの傾きによるMTFのピークの劣化はほとんど起らない。しかしながらプリズムの傾きは特にテレ端の片ボケ感度が高く、大きな片ボケを発生させている。もし片ボケ調芯をせずにこの状態が最終とすればワイドの性能は何とか確保できるが、テレ端の性能がとて許容できないことがわかる。

### 【片ボケ調芯の効果】

前記の如くプリズムの誤差で発生した片ボケを片ボケ調芯で除去しにいったときの効果をシミュレートする。本機種はミドルの焦点距離で片ボケ調芯を行っている。理由はテレ・ミドル・ワイドの片ボケ感度比が、片ボケ調芯で移動させるレンズ（G6）と最も大きな誤差要因の一つであるプリズムとで、違いがあるためである。具体的には前記感度比はプリズム周辺で大きく、G6では小さい。従って片ボケ調芯後の性能を確保するためには、

- ・片ボケ調芯を行う焦点距離
- ・発生誤差を極力小さくする

ことがポイントとなる。もし片ボケ調芯をテレ端で行うとワイドの残存片ボケが大きくなる。そのため上記感度比を考慮しながら調芯後の残存片ボケをテレ・ワイドでバランスできる焦点距離にて片ボケ調芯をおこなうことが重要である。

またプリズム回りなどに発生する誤差が大きくなると、ミドル域で片ボケ調芯した後のワイド・テレの残存片ボケが大きいものになる。その様子が Fig. 8 である。

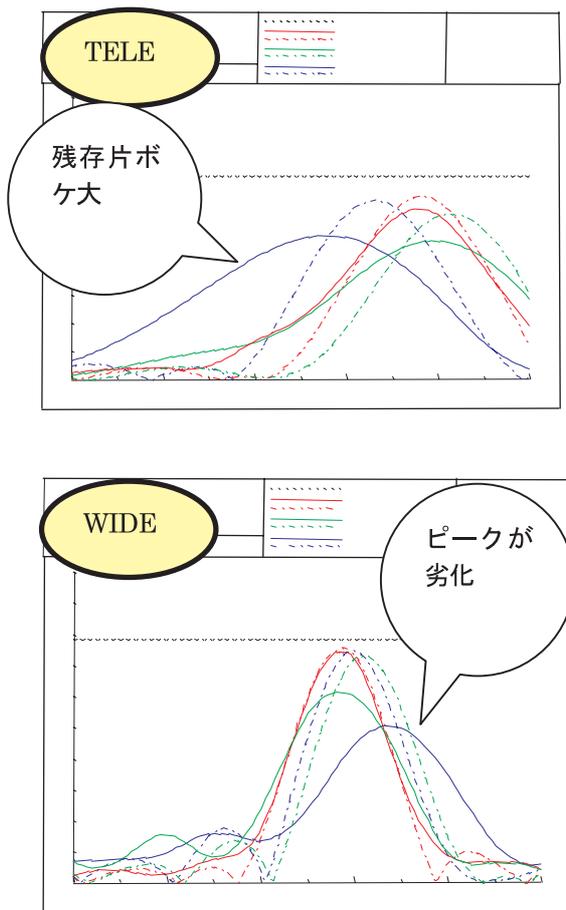


Fig.8 MTF after adjust kataboke at prism 10' tilt

この状態はミドル域では当然片ボケがゼロに納まっているのだが、テレ、ワイドである量、逆方向の片ボケが残存し、またワイドのピーク落ちが予測された。これらシミュレーション結果からプリズム組み立てのためには誤差10' というオーダーは許容できず、その半分以下を目標として技術消化を進め、最終的にはその目標を達成することができた。

## 7 カメラの仕様に与えるメリット

光学系を屈曲系にすることはカメラの薄型化が大きな目的であったが、カメラの仕様面において薄型化以外の様々なメリットを打ち出すことができた。

- カメラ厚みの超薄型化
- 鏡胴形状がスクエア型になることで電装系のスペース効率がアップ
- 沈胴から使用ズーム域へのレンズの移動がないため、カメラ起動時間を短縮。
- 使用時にレンズが飛び出さないという使用感・使用勝手の向上。



Fig.9 Inside view

Dimage Xのカメラとしての完成度が十分に高いのは、その薄さもさることながらこれら副産物がもたらす使用勝手の良さによるところも大きい。

## 8 おわりに

今回デジタルカメラ用ズームとしては初めて折り曲げ光学系を製品化し、デジカメの新しいスタイルを切り開くことができた。デジカメが日常的な生活ツールとなりその携帯性が望まれる時代になればなるほど、この薄さのベネフィットが高まってくることが予想される。今後も時代の最先端技術を盛り込み、かつユーザーの本当に望むデジタルカメラの商品開発に取り組んでいきたいと考えている。