

200万画素CCD用ズームレンズの開発

The Development of a Zoom Lens Unit for a 2M pixels CCD

山田 智一* 森 伸芳**
Yamada, Tomokazu Mori, Nobuyoshi

Digital Still Cameras are developing rapidly. The more the CCD increases in the number of pixels, the smaller the pixels become. And then we must make each part of the optical system more precisely and assemble them more carefully. This is the first zoom lens unit for 2M pixels CCD in Konica Corporation. We have reduced the sensitivity of lens de-center errors. And we have optimized the shape of CAM in order to reduce the fluctuation of the zooming torque. Through these studies, we have achieved the high performance zoom lens unit which can be manufactured easily.

1 はじめに

デジタルスチルカメラは100万画素から200万画素へ単焦点からズームへと移行し、より高性能なレンズが求められるようになってきた。そのためレンズ設計や機構部品に今まで以上に高精度な技術が求められている。

本レンズは当社初の3倍ズーム機で、当時未発売だった200万画素CCD用レンズユニットとして開発が進められた。本稿ではデジタルスチルカメラ用ズームレンズユニットの光学設計と機構設計について報告する。

2 光学設計

2.1 デジタルカメラ用の撮影レンズ

デジタルカメラと銀塩写真の撮影レンズの違いは、第1に撮像素子にCCDを用いるため、レンズにテレセントリック性が必要になること、第2にレンズ後方にローパスフィルター等が必要であること、第3にレンズに要求される高い解像力である。

特に解像力はCCDの画素数が35万画素から100万画素、200万画素と急速に増加しておりその画素ピッチは7.4 μ mから3.9 μ mと約半分になり、レンズに必要な解像力は200万画素クラスでは130本/mm以上となる。

この光学性能を維持するためには、製造誤差を極限まで小さくする必要があるが、コストアップは避けられず、光学設計や製造技術の工夫が必要となっている。

2.2 ズームレンズのタイプ

テレセントリック性が要求されるため、銀塩写真用とは異なったレンズタイプが用いられる。デジタルカメラ用のズームレンズのタイプはFig. 1に示すように2つに分けられる。

() 正群先行型

ズームングの際に固定された正のレンズ群、その後方の負の変倍群、そしてピント位置を補償するための正のレンズ群が並ぶものが基本で、この補償群の前後に固定のレンズ群が配置される場合もある。また、最近では補償群のズームングの移動量を大きくして、積極的に変倍機能を分担させ、負の変倍群の負担を軽減した設計もある。

このタイプのズームレンズは、変倍比を大きくすることができ、3倍以上のズームレンズに良く用いられる。また、絞り前後の屈折力配分に対称性があり、広角端のたる型の歪曲収差が小さい。しかし鏡胴構造が複雑になり、携帯時にレンズ鏡胴を小さく収納する沈胴に向かない。

() 負群先行型

負のレンズ群の後方に正の変倍群を配置し、正の変倍群を移動させて変倍し、両方のレンズ群を前後に移動させることでピントを保つ方式である。

テレセントリック性を得るため絞りは正の変倍群の前方に置かれるが、そのため絞り前後の屈折力配置が非対称になり、たる型の歪曲収差が大きくなり易い。

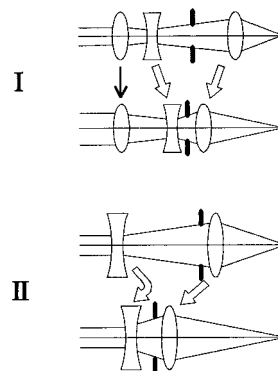


Fig. 1 デジタルカメラ用ズームレンズタイプ

* OPTカンパニー オプト開発グループ
** OPTカンパニー 光学開発センター

また、変倍比を大きくすると変倍群の倍率範囲が - 1 倍を含むため、リアフォーカスできないという問題がある。

このため変倍レンズ群の後方にフォーカシング用のレンズ群を配置する変形タイプが用いられる。

全レンズ群が変倍の際に移動する構造で、沈胴機構が比較的容易なことから、本レンズでは()のタイプを採用することにした。本レンズの断面図をFig. 2 に示す。

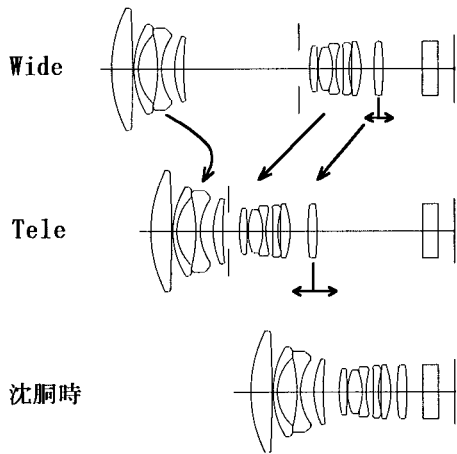


Fig. 2 本レンズ断面図

2.3 レンズ設計の工夫

本レンズの光学設計では、200万画素DSCに求められる高品位の画像を得るため、以下の2点を目標に置いた。

- ・歪曲収差を十分に補正する。
- ・製造誤差を含めた画質の向上。

(1) 歪曲収差の補正

()のタイプのズームレンズの欠点である歪曲収差を補正する方法としては、変倍レンズ群後方のCCDの近くにフォーカシング用のレンズを配置し、このレンズを非球面にすることで歪曲収差を補正するものが知られている。

しかし、実際に設計を行ってみると、この方法では歪曲収差が十分に補正できないことが分かった。そこで本レンズではFig. 2のように前群の一番前に正レンズを配置することにした。前玉径が大きくなるが、歪曲収差はワイドで - 3%以下となった。他社の実施例の - 5%に対し良好に補正されている。

(2) 誤差感度対策

Fig. 3 (A)は誤差感度対策前のTELEでの断面図であるが、変倍レンズ群中の負レンズのシフト感度について評価すると、レンズシフト量の4倍が像面の傾きとなり片ぼけが発生することが分かった。画素ピッチが3.9μmであることより像面の傾きの許容量は20μm程度と見込まれ、レンズシフトの許容量は5μmと厳しい値になる。部品精度の追い込みや調整では実現が困難と判断し、レンズ設計で誤差感度の低減を検討した。

誤差感度の原因は、変倍レンズ群のペッツバル和を小さくするためにこのレンズの負の屈折力が大きくなり、特に像側の面に屈折力が集中してしまうことである。

この負レンズの屈折力pは以下の式で表される。

$$p = p_1 + p_2 - (d/n) p_1 p_2$$

ここで、dはレンズの厚さ、nは硝材の屈折率であり、 p_1 、 p_2 は前後各面での屈折力である。 p_1 、 p_2 は各面の曲率半径をそれぞれ r_1 、 r_2 とすると以下の式で表される。

$$p_1 = (n - 1) / r_1, p_2 = (1 - n) / r_2$$

p_1 、 $p_2 < 0$ である。したがって、 $|p|$ を保って、 p_2 を小さくするには2つの方法が考えられる。

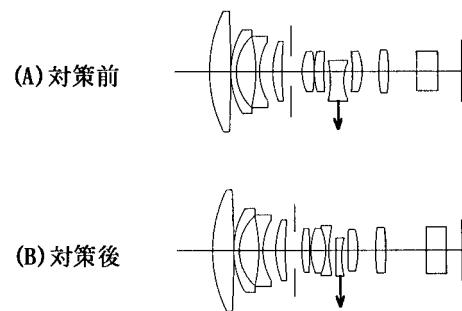


Fig. 3 レンズ偏芯の評価

第1にdを厚くすることである。これは特にDSC用の撮影レンズで良く見られる方法である。しかし、十分な効果を得るためにはかなり厚肉のレンズとなり、レンズの研磨加工性が悪く、また沈胴時のカメラの厚さを薄くする障害になる。

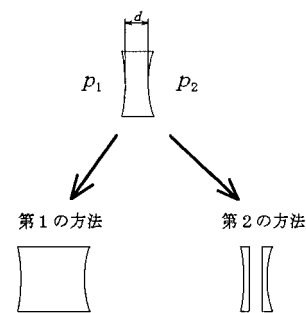


Fig. 4 誤差感度の低減方法

第2の方法はFig. 4のようにこの負レンズを2つの薄いレンズに分離することである。各レンズはそれぞれ p_1 、 p_2 の屈折力を有しており、2つのレンズの間が空気に置き換わっている。したがって、負レンズの屈折力pを表す式において、 d/n が $d/1.0$ と置換される。nは1.0

より大きいのでこれはdがn倍大きくなったのと同じ効果を得ることが分かる。

本レンズでは沈胴時の大きさと誤差感度の低減のため、Fig. 3 (B)に示すように第2の方法を採用した。また分離したレンズの一方を正レンズと接合したので、更に組み立ての際に偏心が起こりにくくなった。

(B)では図中の負レンズのシフトによる像面の片ぼけの感度が4倍から1.2倍と低減でき、レンズシフトの許容量は16.7 μ mと通常の部品精度で組み立て可能となった。

2.4 本レンズのスペックと結像性能

以上のようにして設計されたズームレンズのスペックをまとめて以下に示す。

- ・ CCD : 1/2 inch 有効画素 200万
- ・ 焦点距離 : 6.9 ~ 20.7mm (35mm版38 ~ 115相当)
- ・ Fno : 2.8 ~ 4.1
- ・ レンズ構成 : 9群10枚 (非球面レンズ1枚)
- ・ 撮影距離 : 0.6m ~ (マクロ : 0.2m ~)

また結像性能として、Fig. 5にMTFと歪曲収差図を示す。本レンズの解像力はワイドで320本/mmテレで250本/mmに達する。

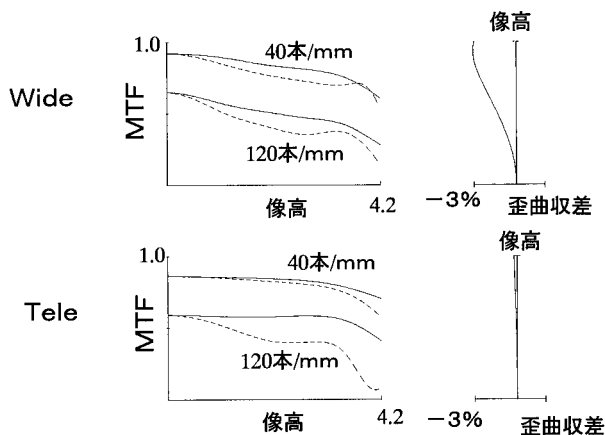


Fig. 5 MTFと歪曲収差図

3 機構設計

3.1 ズームカム形状の特徴

本レンズは第1群と第2群を移動させることでズームを行なう。通常のLSカメラ用ズームレンズのように倍率が一定に変化する場合のカム形状をFig. 6に示す。

このカム形状をみるとWideとTele付近での立上り角がかなり大きくなっている。また、第1群と第2群の間隔が大きく変化し、第1群と第2群の間をつないでいるバネの引き合う力が増えるという特徴がある。これらはズーム作動を悪くする要因となる。また、本レンズでは高精度に位置決めするために3本のカム溝を120度均等に配置してティルト成分を小さくした。そのため、カム溝どうしが重ならないように回転角をできるだけ小さくしなければならないという制約もあった。このため、カム筒を

回す力が小さく、しかも回転角が大きにならないようなカム形状が必要になった。

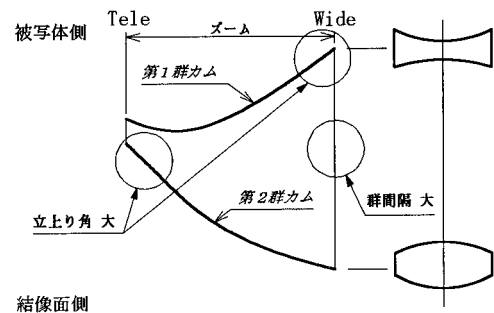


Fig. 6 カム形状

3.2 カム溝立上り角と作動トルクの関係

カム筒を用いてズームを行なう場合、作動トルクはカム形状の立上り角によって変化する。Fig. 7にカム溝の立上り角とカム筒を回転させる力Fと駆動させられるレンズの負荷Wとの関係を示す。立上り角が大きいほどカム筒を回すのに大きな力が必要になることが分かる。

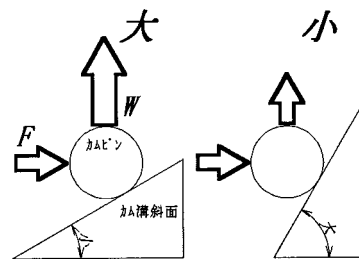


Fig. 7 カム溝立上り角とレンズ負荷の関係

この関係をより詳しく示すために、入力=Fに対する出力=Wの比として表したのがFig. 8である。

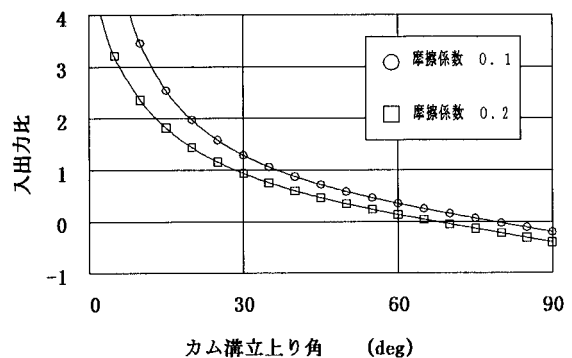


Fig. 8 立上り角と入出力比

立上り角が30°前後では入出力比が1前後である。これは入力とほぼ同じ負荷のレンズが移動できることを示している。しかし、70°付近ではマイナスに転じる。これは、摩擦力によってどれだけ大きな力を与えてもレンズが移動できなくなることを示している。

通常はこの立上り角をできるだけ小さくするが、回転角が大きくなるという問題が生じる。

3.3 バネによる負荷

本レンズは第1群と第2群を移動させることでズームを行なうが、これらはコイルバネによって引き合いカム溝の片斜面だけ常に沿う様にして位置精度を維持している。コイルバネの荷重は全長の伸びに比例する。そのため、第1群と第2群の間隔が変動するとバネの引き合う力も大きく変化し必要以上の力が発生したり、反対に弱すぎたりといった問題が生じる。

コイルバネの負荷変動を小さくするには群間距離の変化を小さくする必要があるが、レンズ位置を変えることはできない。そのためバネの全長を大きくしてバネの伸びる比率を小さくした。レンズを小さく沈胴収納するためにバネの全長には制限があり、本レンズではバネの負荷変動が3倍と大きくなってしまった。このため、カム溝の立上り角だけでなくレンズの負荷変動も考えたカム溝の設計が必要となった。

3.4 カム形状の最適化

カム筒を回す力を小さくするにはカム溝の立上り角、レンズの負荷の変動を考慮しなければならない。カムの立上り角とバネの負荷と移動枠の自重を考慮した場合の関係式を次に示す。

$$F = \frac{\text{[レンズ負荷]}}{\text{[入出力比]}}$$

$$= \frac{(\text{[バネ荷重]} + \text{[レンズ自重]})}{\text{[入出力比]}}$$

この関係を第1群、第2群についてそれぞれのズームポジションで計算したものが実際にカム筒を回転させるのに必要な力となる。

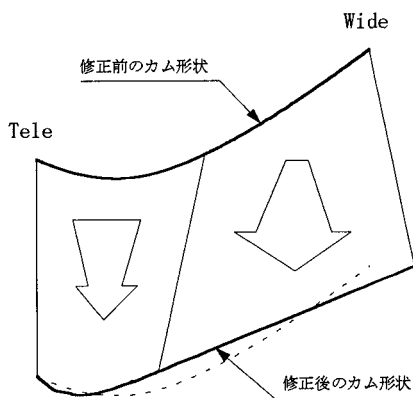


Fig. 9 カム形状の修正

本レンズについてこの力を計算したところ、バネの負荷変動以上に大きな力が必要となるズームポジションのあることが分かった。そのため、対策としてFig. 9に示すようにカム筒を回転させる力が大きいズームポジションではカム溝立上り角を小さくし、小さいズームポジショ

ンでは立上り角を大きくすることで全体の回転角をできるだけ抑えながら必要な力が大きくなりにくく工夫した。

3.5 結果

TeleからWide方向へカム筒を回すのに必要な力(レンズの負荷)をFig.10に示す。

当初はMiddle位置とWide位置でカム筒を回す力のピークが発生していた。しかし、対策後はなめらかに傾斜して全体的に変動を小さくすることができた。カム形状の修正はズームの変倍が不自然にならない範囲で行ないまた回転角の増加もできるだけ少なく抑えた。

このように、カム溝の立上り角とバネ荷重からカム筒を回転させるのに必要な力を予測し、負荷ピークと変動の小さいズーム作動のカム形状を設計することができた。

また負荷変動が少ないことによりズームスピードが一定になったり、作動音の安定といった効果もあった。

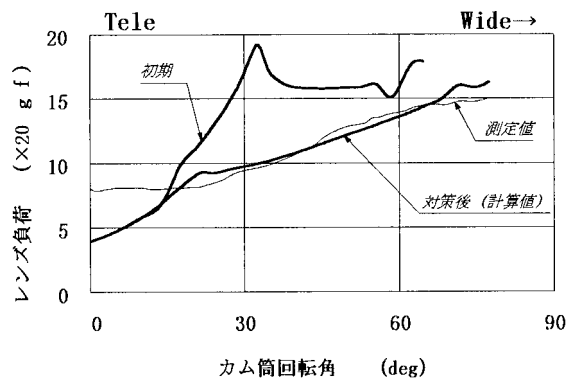


Fig.10 対策結果

4 まとめ

本開発では偏芯誤差の解析をおこない、厚肉レンズの分割による面の屈折力の低減、接合などレンズ構成を工夫したことにより、偏芯感が小さく組み立て易く高性能なズームレンズを設計することができた。また、作動トルクを解析しカム形状を最適化して、負荷変動が少なくスムーズに駆動するズーム機構の開発に成功した。今後は更にコストダウンを追求しながら高画素化へ向けたレンズユニットの開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 桐木俊彦、森伸芳 “デジタルカメラのレンズ設計”、光ライアンス vol.10, No.4 (1999)
- 2) 森伸芳 特開平9-236748
- 3) 森伸芳、佐藤正江 特開平11-142733