

フジカラー「ズームマスター 800」の開発

須賀 陽一* , 相田 俊一* , 石井 善雄* , 久米 裕二* ,
井駒 秀人* , 安藤 一人*

Development of Fujicolor “Zoom Master 800”

Yoichi SUGA*, Shunichi AIDA*, Yoshio ISHII*, Yuji KUME*,
Hideto IKOMA*, and Kazuto ANDO*

Abstract

In June 2000, Fuji Photo Film Co., Ltd. announced the introduction of Fujicolor Superia Zoom Master 800 for the 135 format and Fujicolor Nexia Zoom Master 800 for the APS format. Incorporating the proprietary Fourth Color Layer Technology and newly developed Fine Technology, Fujicolor Superia / Nexia Zoom Master 800 deliver vivid, accurate color, unsurpassed sharpness, and superior granularity. These new high-performance high-speed films are particularly suited for use with compact zoom cameras with lenses of increased focal length.

1. はじめに

富士写真フイルム(株)が2000年6月に発表した35mmカラーネガフィルム「Superiaズームマスター800」、APSカラーネガフィルム「Nexiaズームマスター800」は、独自の技術としてすでに高い評価を受けている“第4の感色層技術”と新乳剤技術“FINE技術”を採用することにより、ISO 800という高感度に加えて、鮮やかで忠実な色再現、卓越したシャープネス、粒状性を実現し、近年、広く使用されているコンパクトズームカメラにベストマッチの新常用フィルムである。

本報告では、アマチュア写真分野の最近の状況を織り交ぜながら「ズームマスター800」シリーズの特長と導入技術について説明する。

2. アマチュア写真市場の最近の状況

1989年に発売した「スーパーHG400」は常用フィルムとして十分な画質を有するレベルに到達し、ISO 400のカラーネガフィルムによる手ぶれ防止、ピンぼけ防止などの撮影成功率向上のメリットをユーザーに訴求した。このフィルムの登場が、常用フィルム感度のISO 100から400への移行のターニングポイントとなり、ISO 400



比率は1999年には135フォーマットで50%を超え、APSで45%に至っている(Fig. 1 レンズ付フィルムを除く国内出荷量¹⁾)。

一方で、常用フィルムの高感度化に伴い、コンパクト

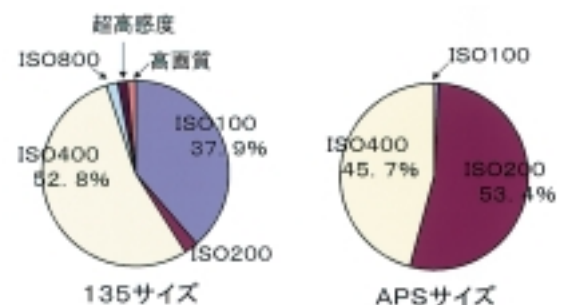


Fig. 1 Color negative film shipment in the domestic market except Quick Snap film.

本誌投稿論文(受理2000年11月14日)

*富士写真フイルム(株)足柄研究所
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

*Ashigara Research Laboratories
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

カメラの小型軽量化とズームレンズの高倍率化が進んできた。Fig. 2はコンパクトズームカメラの高倍率化の変遷を示したものである(日本写真工業会資料より)。1990/91年頃に発売されたコンパクトカメラは2倍ズーム以下が主流であったのに対して、1998/99年には3倍ズームカメラが主流になっており、この10年弱、ISO 400フィルムの常用化とともにコンパクトカメラの高ズーム化が進んでいることがわかる。Fig. 3には1999年に発売されたカメラのズーム比とTele側のF値の関係を示したものである。平均的な2倍ズームカメラのTele側のF値は8程度であるが、近年主流になっている3倍ズームカメラの中にはTele側のF値が11をこえるものもあり、3倍ズーム化により、およそ1絞り分レンズが暗くなっていることがわかる。また、APSシステムの登場によりカメラの小型化も進んでいる。これに伴い、ストロボ容量が減少し、ストロボ光の未到達によってプリント品質の低下する例も見られる。

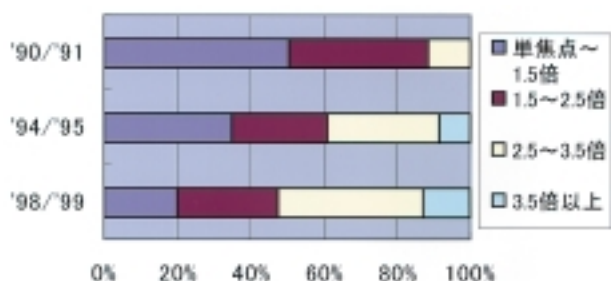


Fig. 2 Trend in the zoom magnification of compact zoom cameras.

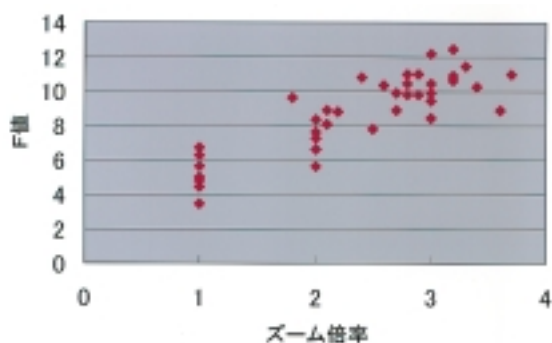


Fig. 3 Relation between zoom magnification and F number for lens of longest focal length (1999).

ズームコンパクトカメラの普及により、写真はさまざまなシーンで手軽に撮影されるようになってきている。Fig. 4に、コンパクトカメラユーザーを対象にした撮影場面アンケート調査結果を示す。この調査は、各撮影場面について「よくある」「時々ある」「あまりない」「まったくない」の4段階で答えてもらい、「よくある」「時々ある」と答えた人の割合を示したものである。「日中の屋外撮影」「人物撮影」に次いで、「ズームでの撮影」「屋内撮影」「夜間撮影」などが50%以上を占めており、コンパクト

ズームカメラで、日中の屋外撮影はもとより、室内や夜間でもより美しく写真が撮影できる高感度、高画質フィルムのニーズが高まってきていることを示唆している。

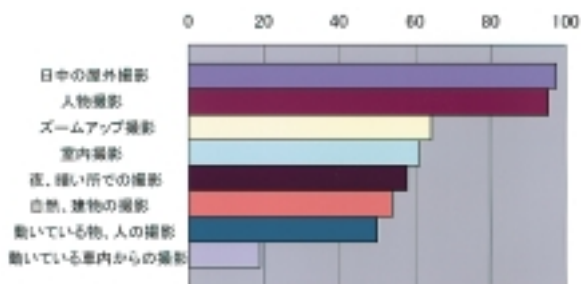


Fig. 4 Scenes shot by compact camera users.

一方、レンズ付フィルム「写ルンです」は1986年に発売以来、ISO 800フィルムによる撮影成功率の向上や、APS化によるコンパクト化がなされた。その手軽さとコンパクトカメラにせまる画質がユーザーに認められ、1999年の統計によれば、国内8千万本、海外2億2千万本が出荷されるまでに成長している。さらに拡大していくには、プリント品質をもう一段向上させて、銀塩写真のすばらしさをユーザーに再認識してもらうことが重要である。すでに、単なる便利グッズではなく、銀塩写真の主要商品に位置付けられる存在であり、「写ルンです」のプリント品質の向上はメーカーに課せられた責任でもある。Fig. 5は、「写ルンです」(APSスーパースリム)ユーザーの「写ルンです」への不満内容を調査した結果を示す。この調査結果からは、シャープネスに対する不満や露光アンダーによる失敗が多いことが示唆されており、これらを改良することにより顧客満足度を高めることができると思われる。

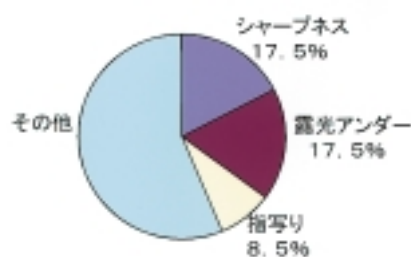


Fig. 5 Dissatisfactions of Quick Snap film users.

3. 「ズームマスター 800」の設計思想と特長

上記のような市場の状況から、コンパクトカメラユーザーおよび「写ルンです」ユーザーの満足度を上げること、すなわち、プリント品質を上げることをメインテーマとして35mm ISO 800カラーネガフィルムの高画質化およびAPS800カラーネガフィルムの商品開発をスタートした。

Photo 1, 2に「ズームマスター800」によるプリント品質向上の実技写真を示した。Photo 1は半オープンな空間での撮影例で、一般アマチュアユーザーにはそれほど暗いと感じられないために、ストロボ未使用で撮影された場合である。高ズーム化に伴うF値の上昇により、ISO 400フィルムではアンダー露光になっているが、「ズームマスター800」を使用することにより適正露出を得ることができている。また、Photo 2はAPSカメラでの夜景の撮影例で、ISO 200ではライトアップされた船や背景を十分には写しこめていないが、ISO 800化により良好なプリントを得ることができている。このように、「ズームマスター800」の完成によりコンパクトズームカメラでのプリント品質向上に成功した。

以下に、「ズームマスター800」の設計思想について述べる。



ISO 400 film Superia Zoom Master 800
Photo 1 Merit of the ISO 800 film.



Nexia A 200 Nexia Zoom Master 800
Photo 2 Merit of the ISO 800 film.

3.1 第4の感色層による忠実色再現

「フジカラーリアラ (Fujicolor REALA)」は人間の目に近似した分光感度分布をもち、自然界のさまざまな色をほぼ目で見たとおりに再現できるカラーネガフィルムとして1989年に発売され、その色再現の忠実性や優れた蛍光灯適性が色にこだわるユーザーに支持されてきた。1998年には、この「リアラ」で開発した第4の感色層をISO 400のカラーフィルムに適用した「Super 400」/「Nexia H400」を開発した。第4の感色層による優れた光

源適性は常用フィルムであるISO 400フィルムに適用されたことにより、より多くのユーザーに認知されている。

ISO 800フィルムではISO 400フィルムよりもさらにアベイラブル光の影響を受ける、すなわち、室内撮影における蛍光灯の影響を受けることが容易に類推されることから、第4の感色層による光源適性の改良は重要な課題である。

3.1.1 第4の感色層の概要

第4の感色層についてはすでに報告済みであるので、概要を述べるにとどめ、詳細は省略する^{2,3)}。

カラー写真の色忠実性を上げるには、人間の目の分光感度にカラーフィルムの分光感度分布を近似させる必要がある。Fig. 6に国際照明委員会(CIE)により決定された等色関数を示したが、ここで特徴的なのは等色関数に負の部分があることである。カラーフィルムは基本的に3原色の重ね合わせで色を再現しているため、この負の分光感度を実現できない。そこで、等色関数の負の部分に近似する手段として考えられたのが第4の感色層である。

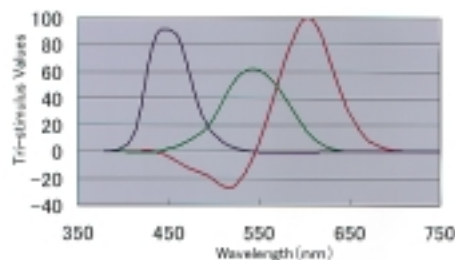


Fig. 6 RGB color matching function.

等色関数への分光感度の近似は、赤感層への重層効果を調節することにより実現可能である。たとえば、緑感層から赤感層に重層効果を与えることができる。しかし、赤感層の負の部分の波長と緑感層の波長にずれがあり、赤感層の負の部分の方が短波長であることに注意しなければならない。緑感層から赤感層に重層効果かけたのでは赤感層の負の部分は緑感層と同じ波長になり、等色関数に対して負の部分が長波になってしまう。同時に、赤感層の正の部分の短波端が長波によるため、緑感層と赤感層の重なりが減少するなど、好ましくない現象が生じる(Fig. 7)。

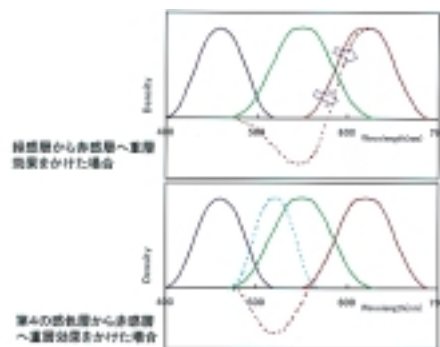


Fig. 7 Color matching function approximation by the fourth color layer.

このような不具合を解消するために、赤感層の負の部分の波長に相当する分光感度を有する感光層を新たに導入し、この層から重層効果を与えることで等色関数に類似の分光感度を実現した。この新たな層が第4の感色層である。

3.1.2 「ズームマスター 800」への第4の感色層の導入

Fig. 8に断面写真を示す。「ズームマスター 800」では「Super400」同様に第4の感色層(CL)を赤感層に重層効果を与えるのに有利な緑感層と赤感層の間に設置した。

Fig. 9に分光感度、スペクトル写真を示す。従来品に対して、緑感層と赤感層の重なりが大きくなり、580nm付近の黄色のスペクトル再現が良化しているのがわかる。これは、第4の感色層の導入により赤感層の分光感度の短波感度を損なうことなく、赤感層に重層効果をかけることが可能になったことにより実現されたものである。

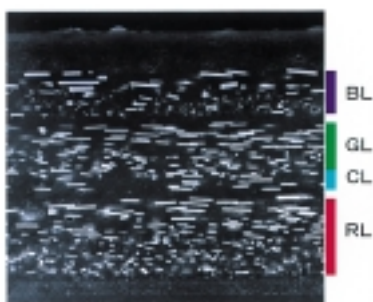


Fig. 8 Cross section of Zoom Master 800.

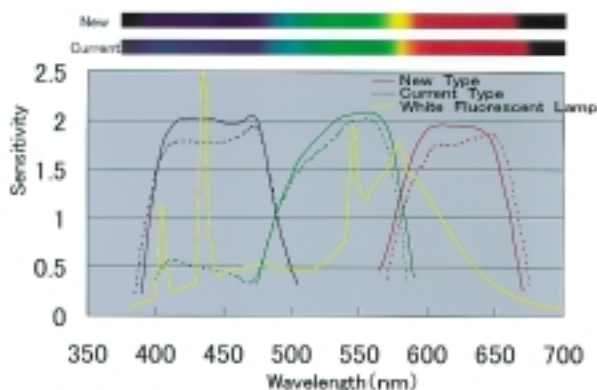


Fig. 9 Distributions of the spectral sensitivity and energy of a white fluorescent lamp.

3.1.3 「ズームマスター 800」の蛍光灯適性

Fig. 9には分光感度に加えて白色蛍光灯の分光エネルギー分布も示した。白色蛍光灯は435nm付近と580nm付近の発光の混合により、白色を作り出しているが、従来の感材は赤感層が長波で、緑感層との分光感度の重なりが少ないためにグリーン味の再現になっていた。

「ズームマスター 800」は赤感層の分光感度を短波にし、緑感層と赤感層の分光感度の重なりを大きくすることにより、蛍光灯下での緑がかりを低減している。また、従来感材の青感層の分光感度は475nm付近にピークを持ち、相対的に長波に設定されていた。「ズームマスター 800」では青感層の分光感度も見直し、適正化した。これにより、蛍光灯の435nm付近の青い発光に対する感度が上昇し、蛍光灯適性を良化させている。

Photo 3の実技写真は右側から白色蛍光灯、左側から自然光で照明して撮影したものである。本感材はレンズ付フィルムに装填されることから、アンダーからオーバーまで色再現性が一定していることが重要である。「ズームマスター 800」は蛍光灯のグリーン味を低減し、より自然な仕上がりとなっており、また、この効果はアンダーからオーバーの広いラチチュードにわたって達成されている。

また、赤感層の分光感度は「フジカラーリアラ」の思想通り、等色関数を再現できるように短波化する方針とし、近赤外域の反射による色変わりを改良した。



Photo 3 Color reproduction under the fluorescent lamp.

3.2 アンダー側ラチチュード(彩度)の向上

「フジカラー Super G ACE 800」は、それまでのISO 400感材に代わって「写ルンです」に搭載され、アンダーラチチュードを拡大するとともに、超オーバー露光にも耐えるオーバーラチチュードをもつカラーネガフィルムであった。しかし、カメラ用にノーマル露光での画質を重視して設計されているISO 400感材に対しては、オーバー側を重視した設計になっており、アンダーからノーマルでの彩度が低くなっていた。「ズームマスター800」はアンダー側の彩度を向上させることにより、彩度が露光量に対してフラットになるように設定した。

Fig. 10は、マクベスチャートを撮影したときの彩度の露光量依存性を示したものである。彩度は、12色(B, G, R, Y, M, C, OR, PB, MR, P, YG, OY)のカラーペーパー上でのクロマ値の平均値で表している。「ズームマスター800」はアンダー側の彩度を向上させ、ISO 400感材に近いレベルを達成するとともに、オーバー側の彩度は従来品800のレベルをほぼ確保していることがわかる。このようなアンダー側からオーバー側まで高彩度で露光量に対してフラットな設計は、露光調節機能のない「写ルンです」での露光オーバーや、露光アンダーや、高ズームカメラでの露光アンダーによるプリント品質の劣化を抑制するのに有効であることは言うまでもない。

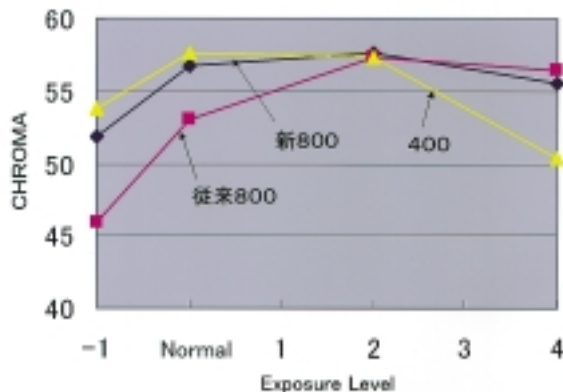


Fig. 10 Dependence on exposure level of recorded chroma.

色忠実性に関しても、この露光量に対するフラット設計を取り入れており、前述の蛍光灯適性にもあらわれているように露光量での色再現性の変動が少ない。

3.3 シャープネスの向上

「写ルンです」ユーザーの満足度向上のためには、シャープネスの改良が重要であることを前節で述べた。「ズームマスター800」では、新開発のFINE乳剤と富士写真フィルム独自のDIRカプラー技術の融合により、シャープネスの向上を達成した(Fig. 11)。

新開発のFINE乳剤は入射光の反射、散乱を極力抑えて下層に光を直進させ、露光時の像のボケを抑制するために、粒子厚みを最適化している。Fig. 12に粒子厚みと反射率の関係を示すように、入射光の反射率はハロゲン化銀乳剤の厚みに依存して変化するため、粒子厚みは平

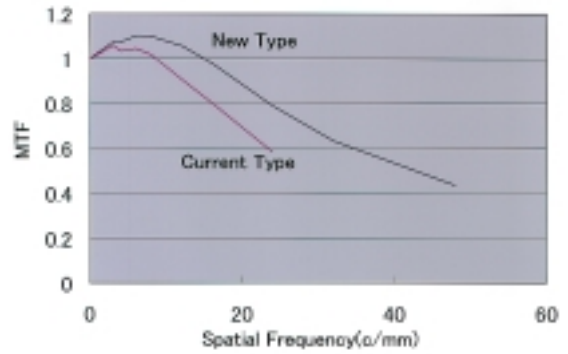


Fig. 11 Improvement of sharpness.

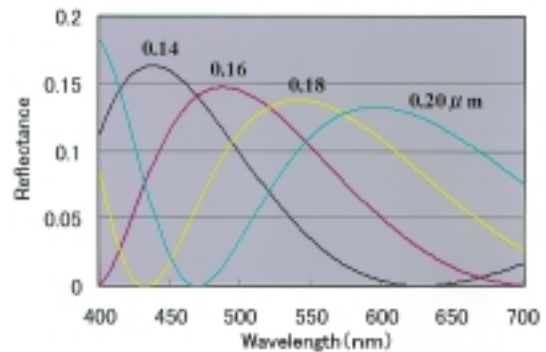


Fig. 12 Relation between thickness of silver halide grain and reflectance.

板乳剤を採用する上で決めなければならない重要なファクターである。緑感性のFINE乳剤は厚みを0.14 μmに設定し、赤色光の散乱を防止した。

また、イメージシャープネスの向上にはエッジ効果が重要であることが以前から知られている^{3,4)}。富士写真フィルム独自のDIRカプラー技術である2段タイミングDIRカプラーに加え、新開発の無呈色DIRカプラーをフジカラーでは初めて採用し、エッジ強調による視覚的シャープネスを向上させた。

4. 「ズームマスター800」を実現した技術

4.1 FINE乳剤の開発

忠実色再現のための第4の感色層や、人の目に近似した分光感度の採用や、アンダー側の彩度向上のためにはハロゲン化銀乳剤の高感度化が不可欠である。「ズームマスター800」では「FINE乳剤」を開発し、導入した。ハロゲン化銀乳剤の高感度化は、光吸収効率と潜像形成効率の向上により達成することができる。「FINE乳剤」は、この2つの効率を向上させることにより完成された高感度ハロゲン化銀乳剤である。

4.1.1 乳剤の高アスペクト比化

ハロゲン化銀乳剤の光吸収効率を向上させるのには、粒子を平板化して表面積を増加させ、増感色素の吸着量

を上げることが有効であることが従来より知られている。平板粒子は、成長条件の選択により主平面より側面の成長を速くでき、高アスペクト比化が可能となる。しかし、この条件では大サイズの平板粒子が小サイズの平板粒子より成長速度が速くなり、結果として粒子サイズ分布が広がる傾向があった。「Super400」/「Nexia H400」(1998年発売)に導入したスーパーユニフォームファイングレインは平板粒子の核形成条件を見直すことにより、平板度と単分散度を両立することに成功した。その後、さらなる平板化を目指して研究を重ね、ハロゲン化銀粒子形成を核形成、熟成、成長の各段階で見直しを行ない、単分散高アスペクト比乳剤の開発に成功した。Fig. 13に新旧乳剤の粒子写真を示した。新乳剤の粒子厚みが薄く、かつ、単分散であることがわかる。

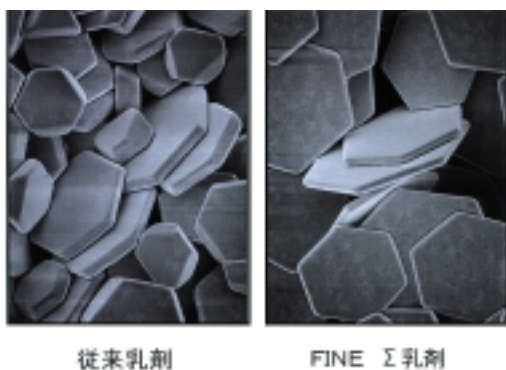


Fig. 13 FINE grains.

4.1.2 感光効率の向上

増感色素による固有減感を防止する策としては、平板粒子のフリッジ部に刃状転位構造を内蔵させることが有効である³⁾。転位は一時電子トラップとして作用して、光電子と色素正孔の再結合を抑制し、固有減感を防止している。「ズームマスター800」では、さらなる平板化(増感色素の増量)に伴う固有減感対策として、浅い電子トラップを導入した^{5,6,7)}。この浅い電子トラップとフリッジ転位による一時電子トラップの組み合わせにより、増感色素を多量吸着させた高アスペクト比平板乳剤における固有減感の防止に成功した。トラップから再放出された光電子は、平板粒子の頂点の感光中心に捕獲されて潜像を効率的に形成し、高感化を達成している。

4.2 新規 DIR カプラーの開発

現像抑制剤放出カプラー(DIRカプラー)は、放出された現像抑制剤が感光性層と垂直な方向に拡散することにより、他の感光性層の現像を抑制し色彩度を高める効果(重層効果)と、現像抑制剤が感光性層と平行な方向に拡散することにより、画像輪郭部の現像抑制剤濃度が減少し、画像輪郭部を強調する効果(エッジ効果)を持つことが知られている。

感材設計上、このような現像時の効果を制御して所望の色再現性、イメージシャープネスが得られるように、最適なカップリング活性、抑制剤を持つDIRカプラーを最適な感光性層に最適用量を用いることが重要である。

通常のDIRカプラーは、現像抑制剤放出機能に加え、発色色素形成機能を併せて持つため、添加する層の感光性と補色関係でない色に発色するDIRカプラーは、その使用量が制限され、十分な現像時の効果が得られない場合がある。

このような問題を解決するために、従来のDIRカプラーの現像抑制剤放出メカニズムとは異なり、現像主薬酸化物とのカップリング反応と引き続き起こる離脱反応から成る色素形成過程を経ることなく速やかに現像抑制剤を放出する新規な無呈色DIRカプラーを新たに開発した。

「ズームマスター800」では、この新規な無呈色DIRカプラーを採用することで、高彩度で露光量に対してフラットな設計、イメージシャープネスの向上を達成した。

5. おわりに

常用フィルムであるISO 400フィルムが第4の感色層を搭載し、忠実色再現を実現している現在、ポスト常用フィルムとして位置付けられる新800フィルムへの要求は厳しく、第4の感色層の搭載は不可欠であった。この困難な課題を解決した「ズームマスター800」の完成によって、ISO 800フィルムは超高感度フィルムというある限られたユーザー向けのフィルムから常用フィルムへ変貌した。民生用デジタルカメラが300万画素を超え、写真を取り巻く環境は大きく変わりつつあるが、デジタルカメラの進歩に負けない銀塩写真感材の開発を進めていくことで、互いに切磋琢磨しながらイメージキャブチャリング領域をさらに発展させていくように努めていきたい。

最後に、本研究を進める上でご指導をいただいた方々、および、本感材の開発に携わりご協力いただいたすべての方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) フォトマーケット 2000年度版
- 2) 佐々木登ら. 日本写真学会誌. 52 (1), 41 (1989)
- 3) 須賀陽一. 富士フィルム研究報告. No.44, 7 (1999)
- 4) 佐々木登. 富士フィルム研究報告. No.39, 1 (1994)
- 5) S. Sakuragi et al. Phys. Rev. Lett. 38, 1302 (1977)
- 6) Olm Myra Toffolon. US5360712
- 7) 大脇知徳ら. 日本写真学会秋季大会予稿集. 29 (1995)

(本報告中にある“フジカラー”、“Fujicolor”、“Superia”、“Nexia”、“写ルンです”、REALA”は富士写真フィルム(株)の商標です。)