

# 新カラーリバーサルフィルム フジクローム「Velvia 100F/100」, 「ASTIA 100F」の開発

倉光 昌之\*, 前野 裕\*, 松田 直人\*, 池田 秀夫\*, 御子柴 尚\*  
川岸 俊雄\*, 桑島 茂\*, 小島 哲郎\*, 坂東 信介\*

## Development of New Color Reversal Film FUJICHROME “Velvia 100F and 100”, and “ASTIA 100F”

Masayuki KURAMITSU\*, Yutaka MAENO\*, Naoto MATSUDA\*, Hideo IKEDA\*,  
Hisashi MIKOSHIBA\*, Toshio KAWAGISHI\*, Shigeru KUWASHIMA\*,  
Tetsuro KOJIMA\*, and Shinsuke BANDO\*

### Abstracts

In the early summer of 2003, Fuji Photo Film released new color reversal films, FUJICHROME “Velvia100 F”, “Velvia 100” and “ASTIA 100F”. Both new Velvias were designed to provide greater dynamic-ranges, ultra-high color saturation, and relatively a high contrast. Furthermore, both films have an ISO 100 speed (raised from ISO 50 to ISO 100) and an outstanding image permanence. The difference between the two Velvias lies in color reproduction. Velvia 100F has enhanced color fidelity, which makes it suitable for product photo and still-life photo uses in addition to nature photo use. In contrast, Velvia 100 has incredibly vivid color reproduction, which makes it especially appropriate for nature and landscape photo uses similarly to its predecessor Velvia (ISO 50).

On the other hand, ASTIA 100F has been developed to reproduce delicate skin tones more elegantly than its predecessor ASTIA. It has relatively soft gradation and moderate color saturation. Further, ASTIA 100F reproduces skin colors very smoothly from highlights to shadows, which results in an improved suitability of ASTIA 100F for portrait, fashion and commercial photography.

These improvements are based on the following state-of-the-art technologies.

- (1) PSHC (Pure, Stable & High-Performance Dye-Forming Coupler) technology, which enables ultra-high color saturation, and outstanding image stability.
- (2) MCCL (Multi-Color-Correction Layer) technology, which are developed for high color fidelity, and improved reproduction of skin tones and colors.
- (3) MSSC (Multi-Structured Sigma Crystal) technology, which results in fine grain with high speed.

### 1. はじめに

カラーリバーサルフィルムはダイレクトにポジ画像が得られる感光材料であり、撮影材料と表示材料の機能を併せ持つことが要求される。

富士写真フィルム(株)より2003年6月に発売されたフジクローム Velvia100F/100, ASTIA100F (Photo 1) は、撮影材料として必要な調子・色再現性、像構造

的な画質に加え、オリジナル画像として必要な画像堅牢性を向上させ、得られる画像の価値を大幅に高めたISO100のデイトタイプカラーリバーサルフィルムである。本報ではこれら新フジクロームの特長および開発導入された新技術を報告する。



Photo 1 New FUJICHROMEs.

本誌投稿論文 (受理2003年12月25日)

\*富士写真フィルム(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

## 2. 新しいフジクロームの特長

カラーリバーサルフィルムは、最高濃度の高さ、および透過画像であることにより得られる広いダイナミックレンジと色再現域、ハイライトからシャドウ域まで精密に制御された階調から得られる豊かな調子再現性、高い像構造画質から得られる緻密な画像形成能を有し、これらの特長から生み出される高品位な画像は、数ある画像形成手段のなかで最高のものであるといっても過言ではない。

一方、表示材料として、画像を写し撮り、また、表示するうえで大切なことの中には、画像の緻密さ、美しさだけではなく、より正確に写し撮り表示すること、また、写し取った画像をより永く保存できるようにすることも含まれる。

新フジクロームの開発にあたっては、最高レベルの画像形成手段として像構造画質を改良すること、美しい画像を追求することに加え、画像を正確に写し取るための「色相再現の忠実性」、写し取られた美しい画像を永続的に保持するための「画像の堅牢性」を飛躍的に向上させることで、これまでにない画期的なリバーサルフィルムを目指した。

### 2.1 フジクロームのラインナップ

ポートレートやネイチャーなど多岐にわたる撮影シーンに対応し、フォトグラファーのさまざまな撮影意図を忠実に反映させるために、フジクロームには階調と彩度の設計が異なる、主に3つのバリエーションが用意されている。今回、PROVIAを中心としたフジクロームの両翼を担う硬調高彩度型の新Velviaシリーズ、軟調低彩度型の新ASTIAを開発してISO100のフジクロームのラインナップを刷新した (Fig. 1)。



Fig. 1 New line-up of FUJICHROME F series.

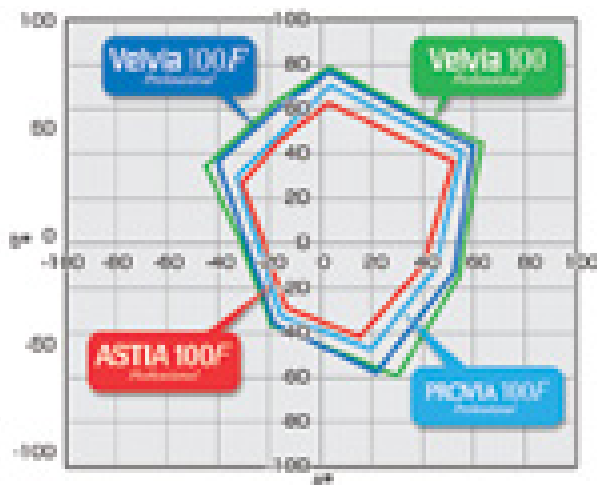


Fig. 2 Color reproduction of the new FUJICHROME films.

それぞれの個性をより明確にすることで、今まで以上にさまざまな用途に対応し最適な画像を得ることが可能である (Fig. 2)。

以下に3つの新しいフジクロームの特長を説明する。

### 2.2 Velvia100Fの特長

初代Velvia<sup>①</sup>はリバーサル最高レベルの彩度と像構造画質を有し、高彩度が好まれるネイチャー撮影を中心に多くのユーザーに用いられてきた。Velvia100Fはこれらの特長を踏襲し、さらに忠実な色相再現性/高い画像堅牢性を付与した高彩度/硬調型リバーサルフィルムである。

以下、詳細に説明する。

- ① 感度・像構造画質：ISO感度を2倍の100に高め、アマチュアユーザーにも使いやすく、また、暗い被写体や動きの早い被写体にも対応できるようにした。また、感度が2倍でありながらVelvia50同等以上のRMS粒状度8を実現した。
- ② 調子再現性：比較的硬調で、かつ直線性の高い階調、および高いDmaxに裏付けられた広いダイナミックレンジにより、抜けがよくメリハリのある調子再現を実現した。
- ③ 色再現性：鮮やかな色再現性と忠実な色相再現性を両立した「超高彩度+忠実」という新たなコンセプトを実現し、見たとおりの色をより鮮やかに再現することが可能となった。
- ④ 画像堅牢性：高堅牢性色材の搭載によって色像の保存性が大幅に改良され、作品をより長期にわたって (25℃ 70%暗保存 100年以上) 保持することが可能となった。

### 2.3 Velvia100の特長

Velvia100Fが超高彩度で測色的に忠実な色再現を目指し開発されたのに対し、夕焼けや植物の緑をより鮮やかに再現したいというユーザーニーズに配慮し、心象風景としてのイメージカラーを強調して再現できるよう設計されたのがVelvia100である。

## 2.4 ASTIA100Fの特長

初代のASTIA<sup>(2)</sup>よりさらにポートレート撮影用フィルムとしてのコンセプトを極めた、軟調で落ち着いた色調のカラーリバーサルフィルムである。肌色再現性をさらに向上させるとともに、Velvia100Fと同様に色相忠実性を大幅に高めることで、ポートレート撮影だけではなく落ち着いた表現を重視する幅広い撮影領域に適している。加えて、画像堅牢性もVelvia100Fと同様に大幅に改良されている。

- ① 像構造画質：カラーリバーサルで初めてRMS粒状度7を実現した。
- ② 調子再現：初代ASTIAをしのぐ階調のやわらかさと広いラティチュードを持つ。
- ③ 色再現：ポートレート用途に適した、より滑らかでつながりのよい肌色再現を実現した。  
また、Velvia100F同様きわめて忠実な色相再現を付与した。
- ④ 画像堅牢性：新Velviaシリーズ同様、高い画像堅牢性を実現した。

## 3. 新フジクロームの主要技術

新フジクロームに搭載された主な新規技術は以下の3つである。

- ① 超高彩度、高い画像堅牢性を実現した「高彩度・高堅牢性カプラー技術」
- ② 忠実色再現、美しい肌色再現などを実現した「多重色補正層技術」
- ③ 高感度化、高い像構造画質（粒状性、鮮鋭度）、優れた増減感適性を実現した「多層構造シグマ粒子技術」

### 3.1 新カプラーによる彩度向上と色像堅牢性向上

まず、超高彩度、高い画像堅牢性を実現した高彩度・高堅牢性カプラー技術について説明する。

Velvia100F/100, ASTIA100Fでは、イエロー、マゼンタ、シアンのカプラーを一新した。いずれも、従来のカラーリバーサルフィルムで用いられてきたものとまったく異なる骨格のカプラーであり、色材の基本骨格の大幅な変更は、リバーサルフィルムの歴史においてカプラー内蔵型が主流になって以来最大の技術革新である。

#### 3.1.1 新規カプラーの開発方針

Velvia100F/100, ASTIA100Fには、ベンゾチアジアジンジオキシド骨格イエローカプラー<sup>(3)</sup>、ピラゾロトリアゾール骨格マゼンタカプラー<sup>(4)</sup>、ピロロトリアゾール骨格シアンカプラー<sup>(5)</sup>を搭載した。

マゼンタ、シアンカプラーは当初カラーペーパー用途に開発されたが、同様に最終画像を表示するリバーサルフィルムにおいてもその特長を生かすことが可能であった。ただし、リバーサルは拡大プリントが前提となるため粒状性やシャープネスが重要であり、ペーパー用とは異なる特性が必要であった。

- ① 当量性：銀塩カラー感材で使われるカプラーは、ハロゲン化銀の現像で生じた現像薬の酸化体とカップリングして色素を与えるが、1モルの色素を得るのに必要なハロゲン化銀モル数によって2当量型と4当量型に分けられる。カラーペーパー用途のピラゾロトリアゾールカプラーやピロロトリアゾールカプラーは2当量型であったが、カラーリバーサル用途には粒状性に優れる4当量型カプラー（マゼンタ、シアン）を新たに開発する必要があった。
- ② 低オイル適性：カラーリバーサルフィルムでは、シャープネス低下の原因となるフィルム中の光散乱を抑えるため、できるだけ乳剤膜を薄くして性能発現することが望まれる。このような制約のないカラーペーパーでは、高沸点オイルや各種褪色防止剤を比較的多く併用することができるが、今回の新カプラーは少ない溶媒（高沸点オイル）量で高い発色性、良好な色相、画像堅牢性を達成するように構造を最適化した。

#### 3.1.2 新カプラーの技術と特長

- ① Sカプラー技術（イエローカプラー）Fig. 3：カラー感材の誕生期から用いられてきたアセトアニリド型カプラーに代わり、新骨格であるベンゾチアジアジンジオキシド型カプラーを開発し搭載した（Sカプラー技術）。このカプラーから得られる色素は従来色素よりもモル吸光係数が高く、赤味の少ないクリアな色相を有し、暗保存堅牢性に優れた特長を有している。

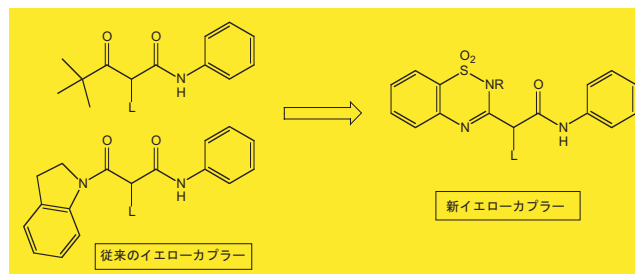


Fig. 3 New yellow coupler.

- ② Vカプラー技術（マゼンタカプラー）Fig. 4：従来のピラズロンカプラーに代わり、新開発ピラズロトリアゾールカプラーを搭載した（Vカプラー技術）。この型のカプラーは、イエローやシアン領域の副吸収が少ない純色カプラーとしてすでにカラーペーパーで用いられているが、搭載にあたり、当量性や低オイル適性はもちろんのこと、現像処理や各種プリント（RP、デュープなど）への適性など、カラーリバーサル用途での要求性能をすべて満たすよう設計し直した。

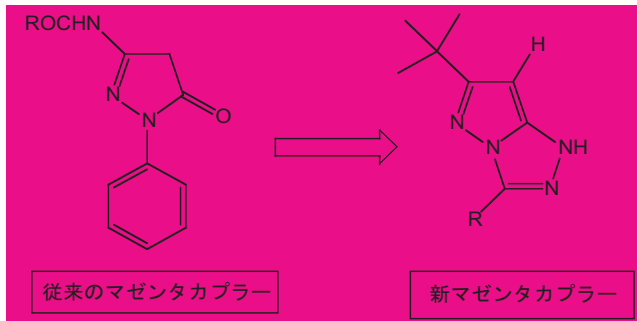


Fig. 4 New magenta coupler.

③ Xカプラー技術（シアンカプラー） Fig. 5：従来、2,5-ジアシルアミノフェノールカプラーが使用されてきたが、新フジクロームではピロロトリアゾールカプラーを採用した（X-カプラー技術）。この型のカプラーは、DDCPシステム（SP-9000）用の出力感材（SP-NP）<sup>(6)</sup>ですすでに使用されているが、マゼンタカプラー同様、カラーリバーサルフィルム用途での要求性能に合わせて構造を改良した。従来型カプラーの色素に比べ、モル吸光係数が高く、マゼンタやイエロー領域の副吸収が少ないクリアなシアン発色を与え、また暗保存堅牢性に優れている。

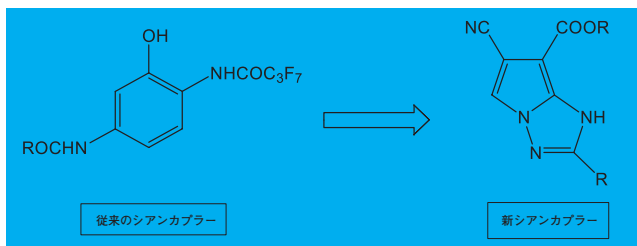


Fig. 5 New cyan coupler.

### 3.1.3 新カプラーによる性能向上

- ① 彩度の向上：Fig. 6に新カプラーの発色特性を示す。従来カプラーから得られる色素に比べ、すべて副吸収が少なく純度の高い色相を有する。これらの新カプラー採用により彩度が向上する（Fig. 7）。
- ② 色像堅牢性の向上<sup>(7)</sup>：新カプラーの発色色素はきわめて暗保存堅牢性に優れる。従来のカラーリバーサル画像は、マゼンタに比べてイエローとシアンの暗保存性が劣っていたが、新しいイエローおよびシアンカプラーの採用で暗保存性が大幅に改良された（Fig. 8）。日本の平均的な気候である25℃70%RH保存では、約100年間は十分鑑賞可能な状態を保つと予想され（高温強制テストからのアレニウス予測 Photo 2），また、低湿（40%）で保存すればさらに長期保存が可能である。また、光堅牢性も相対的に劣っていたマゼンタ色素の堅牢性が、新マゼンタカプラーの採用によって約2倍に改良され、これまで以上の耐光性を実現した。

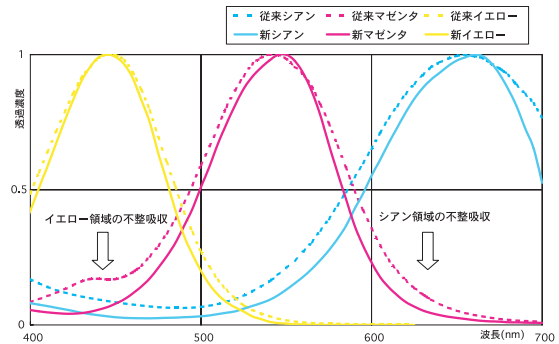


Fig. 6 Relative spectral absorptions of the new couplers.

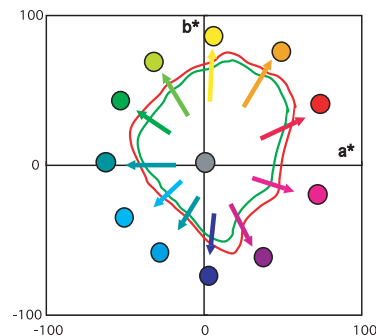


Fig. 7 Enhancement of color saturation by the new couplers.

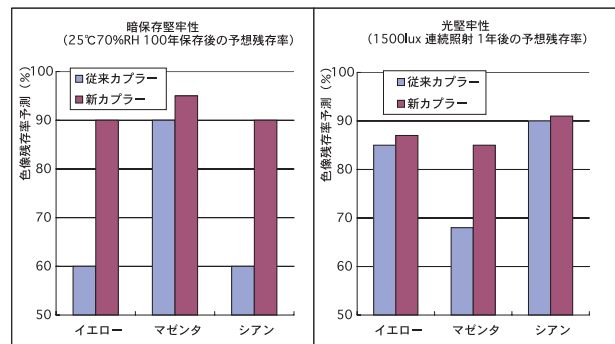


Fig. 8 Arrhenius prediction of dye image stability.

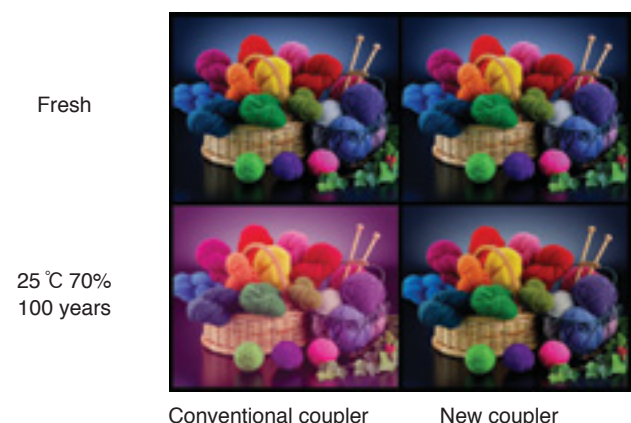


Photo 2 Faded images in dark storage obtained by computer simulation on the basis of Arrhenius prediction.

### 3.2 多重色補正層技術

新フジクロームでは新しい層構成技術を搭載し、それぞれ特長のある色再現性を実現した。

#### 3.2.1 忠実な色再現性の実現

Velvia100F, ASTIA100Fでは、当社独自の第4の感色層技術<sup>3)</sup>を発展させた複数の色補正層（第5層、第6層）を導入し、分光特性を等色関数に近づけることで光源依存性や赤末反射に代表される色変わり現象を大幅に低減し、また、これまで表現できなかった微妙な色相の差を忠実に再現できるようにした。

##### ① 等色関数と従来のリバーサルフィルムの分光感度の差異

従来のリバーサルフィルムの分光特性は、等色関数<sup>8)</sup>に対し主に以下の差異がある (Fig. 9) 注。

- ・赤感層、緑感層の分光特性が長波である。
- ・GL 短波領域/RL 長波領域/BL 短波領域の負の分光感度が無い。

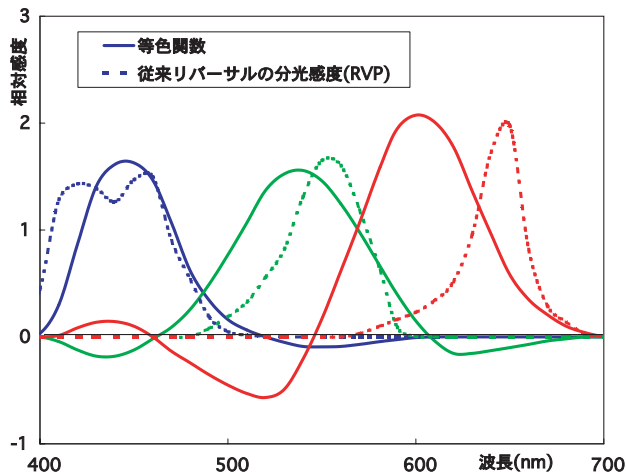


Fig. 9 Color matching function and the spectrum sensitivities of a color reversal film.

(注： Fig. 9はブロック色素を前提にした場合の等色関数であり、 Fig. 6に示す色材を用いる場合の厳密な分光感度目標を表しているわけではない。上記差異はあくまでも定性的なものであると理解していただきたい。)

##### ② 多重色補正層技術による負の分光感度の実現

われわれはリバーサルフィルムの分光感度を等色関数に近づけるために、赤感層と緑感層の重心分光感度の短波化に加え、当社独自の第4の感色層<sup>9)</sup>をリバーサルフィルムで初めて導入し、短波緑領域の負の分光感度機能を実現した。さらに、ネガも含めたカラーフィルムで世界初の長波赤領域の負の分光感度を実現する第5の感色層、および短波青領域の負の分光感度を実現する第6の感色層を導入し、等色関数に近い分光特性を実現した。各色補正層はそれぞれ負の分光感度領域に感度を有する乳剤層であるが、その層自身では色像形成

は行わず、現像時にターゲットとなる層（負の分光感度が必要な層）に対し現像抑制（インターレイヤー効果）を与えることによって、実質的に負の分光感度効果を作り出している (Fig. 10)。

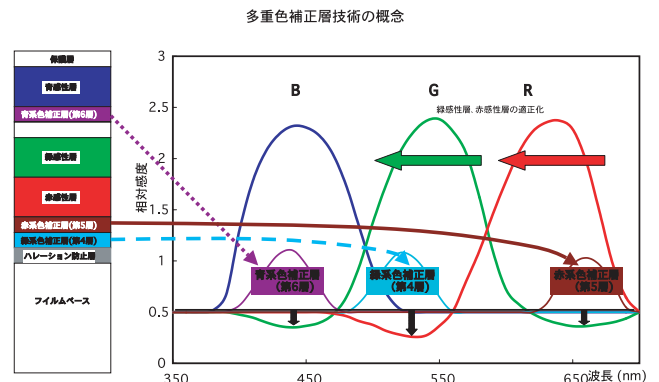


Fig. 10 Concept of the multi color collection layer technology.

##### ③ 多重色補正層技術の効果

多重色補正層技術の効果をも、オリジナルとの色相角の差 (Velvia100Fで例示) (Fig. 11) および作例により示す。

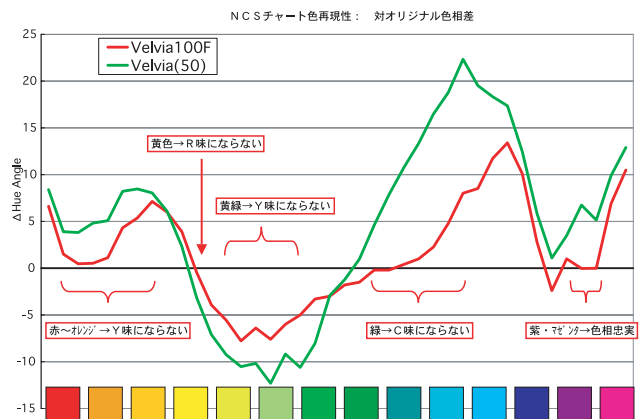


Fig. 11  $\Delta$  Hue angle for RVP and RVP F.

以下に多重色補正層技術の効果がわかる撮影例を示す。

##### 撮影例 1 (photo 3)：蛍光灯下での撮影例



Photo 3 Comparison of light source suitability (under fluorescent lamp).

・緑色に再現されていた蛍光灯下の再現（いわゆる緑かぶり）が、多重色補正層技術の導入により大幅に解消される。これは、主に赤感性層、緑感性層の短波化による。

撮影例2 (photo 4)：赤末を含む紫の色再現



Velvia

Velvia 100F

Photo 4 Reproduction of purple that has reflectance in the near infrared.

・赤末反射を持つ紫，モスグリーンの色変わり（いわゆる赤かぶり）が大幅に低減する。これは、主に赤感性層の短波化による。

撮影例3 (photo 5)：植物の緑の弁別性



Velvia

Velvia 100F

Photo 5 Reproduction of a plant green.

・どれもシアンがかって再現されていた植物の緑が、イエローグリーンからシアングリーンまで弁別されるようになる。これは、第4層の効果および赤感性層の短波化による。

作例4 (photo 6)：深紅の薔薇の再現



Velvia

Velvia 100F

Photo 6 Reproduction of a crimson rose.

・従来、同じように再現されていた短波な赤と長波の赤の弁別性が改良され、深紅の薔薇（長波赤）がマゼンタの色乗りが大きく、かつシャドーイングが強い、見た目に近い再現となる。これは、主に第5層と赤感性層の短波化による。

作例5 (photo 7)：青の弁別性



Velvia

Velvia 100F

Photo 7 Reproduction of a blue sky and bluish still-lives.

・従来、青は一様にマゼンタ味が強く再現されていたが、弁別性良化により長波な青である瓶は実物に近いシアン色に、短波な青である青空も実物に近いマゼンタ色に再現される。これは、第6層の効果および緑感性層の短波化による。

### 3.2.2 Velvia100における彩度強調

Velvia100では赤感層を長波に設計し、夕(朝)焼けに含まれる長波光成分に対する感度を高めることにより、夕映えのピンク～マゼンタ色の空をより美しくすることが可能となった (Fig. 12, photo 8)。さらに、第4の感色層を彩度強調層として利用することで植物の緑もより鮮やかになり、従来のVelvia同等以上の超高彩度イメージカラー再現を実現した。

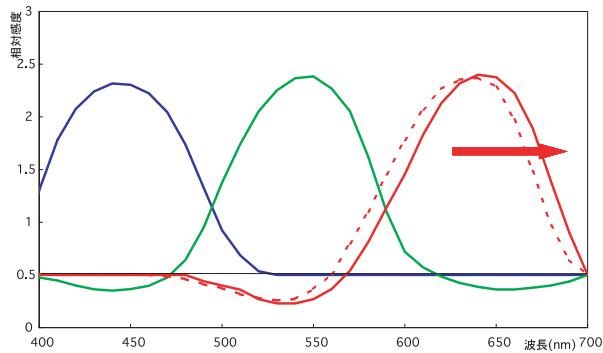
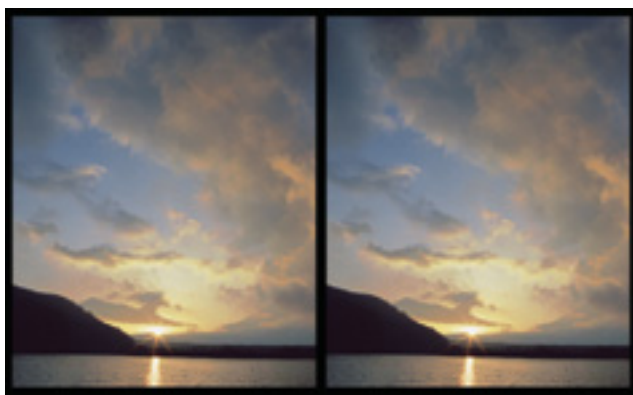


Fig. 12 Spectral sensitivities of Velvia 100.



Velvia 100                      Velvia 100F  
Photo 8 Reproduction of a sunset.

### 3.2.3 高精細インターレイヤー技術

ポートレート撮影の場合、メリハリの利いた高コントラストの画像よりもハイライトの調子再現に富んだ軟調な階調設計にする必要がある。しかし、単に階調を軟調化するだけでは中～低濃度の肌色にシアンが入り、いわゆる「墨っぽく」になってしまう<sup>(10)</sup> (Fig. 13)。ASTIA100Fでは階調をより滑らかにした上で、多重色補正層を用いたインターレイヤー効果のより精密なコントロールを行い、ハイライト領域での肌色のマゼンタ、イエロー濃度を増加させ (赤系色補正層によるインターレイヤー効果)、また、シアン濃度を低減させた (緑系色補正層によるインターレイヤー効果)。これにより、きわめて滑らかで美しい肌色再現が実現できた (Fig. 14, Photo 9)。

さらに、赤感層の分光感度を短波化し、等色関数に近づけたことにより、血中ヘモグロビンに対する赤感層の感度を下げることができている。この結果、通常の肌は美しく再現しながら、ニキビや鬱血は赤く強調

しない (いわゆる「赤肌」になりにくい) 肌色再現が可能となった。この特性もつながりのよい肌色再現に寄与している。

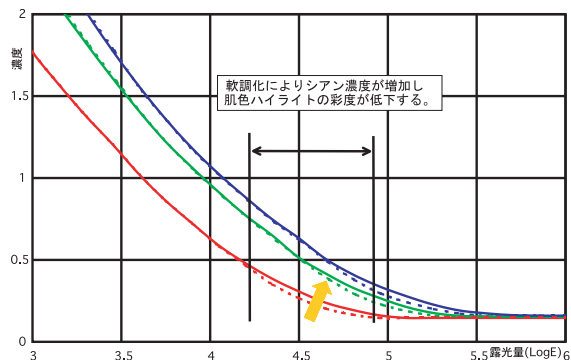


Fig.13 Reduced saturation in skin tone due to contrast lowering.

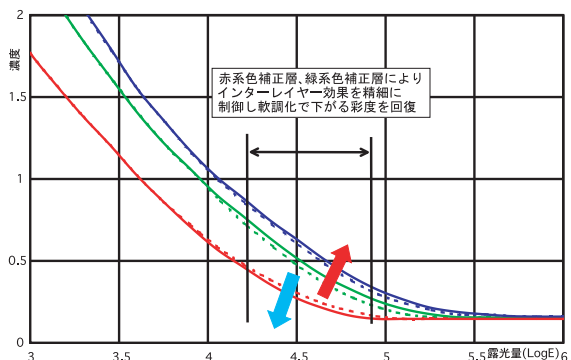
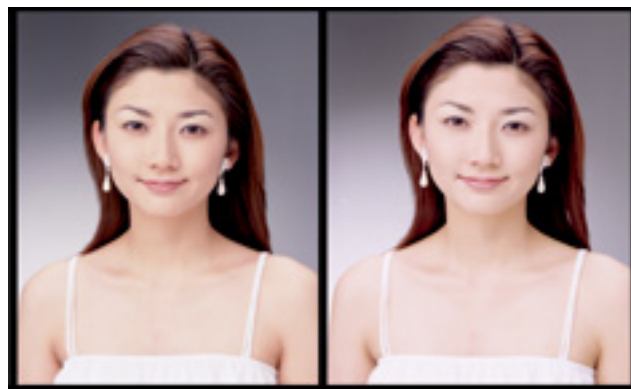


Fig.14 Increased saturation in skin tone by multi color collection layer technology.



ASTIA                      ASTIA 100F  
Photo 9 Skin tone reproductions with ASTIA and ASTIA100F.

## 3.3 新規乳剤技術

最後に、高い像構造画質を実現した多重構造シグマ粒子技術について説明する。

### 3.3.1 多層構造シグマ粒子技術

この技術は、初代 Velvia のシグマクリスタル技術<sup>(1)</sup>の発展系である PROVIA100F/400F のスーパーファイン・シグマクリスタル技術<sup>(1)</sup>をもとに、以下の2つの技術を導入し、さらに進歩させたものである。

① 粒子形状の制御：粒子の成長条件を緻密に制御することで平板化度を高め、表面積を増加させることによって一段と光の補足率を向上させた。

② 粒子内部構造の制御：粒子内部に従来からある「高感化層」に加えて、新たに「現像コントロール層」を設け、多重構造とすることで現像の進行速度・均一性を制御して粒状性と増感処理適性を改良した。

①②の結果として、Photo 10のような多重構造粒子が誕生した。

この多重構造シグマクリスタル技術により Velvia100F/100 および ASTIA100F の超微粒子化を実現し、また、いずれのフィルムにおいても高い増感処理適性を実現した。



Photo 10 Multi structured sigma crystal grain.

#### 4. まとめ

新発売のフジクローム Velvia100F/Velvia100, ASTIA100Fは、富士フィルムの技術の粋を集めた新世代のカラーリバーサルフィルムとして、「色再現性」、「像構造画質」、「画像堅牢性」を飛躍的に進歩させたものである。

比較的カラーリバーサルフィルムの弱点であった色相の忠実性を向上し、さらに、デジタル画像とは異なり実体のあるオリジナルポジ画像が得られるというリバーサルの特長を、「アーカイブ的価値」の向上で補強することにより、高品位な画像が必要とされる分野におけるカラーリバーサルフィルムの利点を一段と高められたと考えている。

近頃、デジタルスチルカメラは高画素化により伸長が著しいが、カラーリバーサルフィルムの性能を進歩させ続けることで、「高品位画像」を形成するメディアとしての役割はまだまだ続くものと信じている。

新しいフジクロームの開発により、写真文化の発展に少しでも貢献できれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 石丸信吾ほか. 超高画質カラーリバーサルフィルムフジクローム「ベルビア」の技術と性能について. 日本写真学会誌. 55 (3), 174 (1992).
- 2) 首藤定伸ほか. フジクローム ASTIA100 の開発. FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT. No.43, 1 (1998).
- 3) 竹内潔ほか. 富士写真フィルム(株). 色素形成カプラー, ハロゲン化銀写真感光材料およびアゾメチン色素化合物. 特開2003-173007.2003.
- 4) 松田直人ほか. 富士写真フィルム(株). ハロゲン化銀カラー写真感光材料. 特開2001-312032. 2001.
- 5) 鈴木真ほか. 富士写真フィルム(株). シアン画像形成方法及びハロゲン化銀カラー写真感光材料. 特許2684265. 1997.
- 6) 岡崎賢太郎ほか. 大サイズ高生産性DDCPシステム「Luxel SPEEDPROOF-9000」の開発. FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT. No. 48, 55 (2003).
- 7) 松田直人ほか. 日本写真学会2003年年次大会講演要旨. 87 (2003).
- 8) Evans, R.M. et al. Principles of Color Photography, J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1953.
- 9) 佐々木登ほか. 日本写真学会, 52 (1), 41 (1989).
- 10) 首藤定伸ほか. カラーリバーサル系における重層効果の機構と色再現向上への応用. IS&T Annual Conference (1997).
- 11) 池田秀夫ほか. 超高画質カラーリバーサルフィルム「フジクローム プロビア100F, 400F」の開発. FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT. No. 46, 1 (2001).

(本報告中にある“フジクローム”, “FUJICHROME”, “ASTIA”, “PROVIA”, “Luxel”, “SPEEDPROOF”は富士写真フィルム(株)の商標です。)