

フジクロームASTIA100の開発

首藤 定伸* , 倉光 昌之* , 桑島 茂* , 坂東 信介*

Development of Fujichrome ASTIA100

Sadanobu SHUTO*, Masayuki KURAMITSU*, Shigeru KUWASHIMA*
and Shinsuke BANDO*

Abstract

In March 1997, Fujifilm released a new color reversal film, the Fujichrome ASTIA100. This film enables rich tone-reproduction, from highlights to shadows, as well as smooth and beautiful skin tones. ASTIA100 also has a high color-temperature tolerance and other superior physical properties. This new color reversal film is thus particularly well-suited for fashion, portrait, and commercial photography, and all other areas where images of exceptionally high quality are essential. The present report describes the ideas behind the product-quality design of Fujichrome ASTIA100. Special emphasis is given to the film's special capabilities, as well as to the technologies that were introduced to give ASTIA100 its unique and superior capabilities.

1. はじめに

1997年3月に富士フィルムより発売された新リバーサルフィルム「フジクロームASTIA100」は、滑らかで美しい肌色再現、ハイライトからシャドーに至る豊かな描写力、優れた色温度依存性などの特長を持ち、特に人物・ファッション、商品撮影など品質の高さを求められる分野でその特長を発揮する高画質カラーリバーサルフィルムである。本報告では、フジクロームASTIA100の品質設計の考え方、性能上の特長、およびその性能を達成するために導入した技術について説明する。



Photo 1 Products of the new color reversal film FUJICHROME ASTIA100

本誌投稿論文 (受理1997年10月15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. ASTIAの品質設計の考え方

2.1 カラーリバーサルフィルムの市場分野別ユーザーニーズ

カラーリバーサルフィルムの市場分野 (撮影対象) は、人物・ファッション (スナップを含む)、静物・商品、風景・ネイチャー、報道・スポーツ、医療・業務の5分野に大別することができる。これらの市場分野別ニーズの特徴とフィルムの品質設計に要求される性能は、Table 1のとおりである。

Table 1 The Characteristics of Color Reversal Film Demanded by Market Area Segments

| 要求性能 市場分野 | 感度 増感適性 | 階調 階調/バランス | 画質 | | 色再現 | | 色温度 依存性 | 相反則 不軌 | ニーズの特徴 |
|--------------|------------|---------------|----|--------|-----|-------|------------|-----------|---|
| | | | 粒状 | シャープネス | 彩度 | 色相忠実性 | | | |
| 人物 ファッション | | | | | | | | | 滑らかで美しい肌色再現 高画質 (粒状) |
| 静物 商品 | | | | | | | | | 優れた階調・階調/バランス 忠実な色再現 高画質 (粒状, シャープネス) |
| 風景 ネイチャー | | | | | | | | | 高画質 (粒状, シャープネス) 高彩度 |
| 報道 スポーツ | | | | | | | | | 高感度 増感適性 |
| 医療 業務 | | | | | | | | | 忠実な色再現 |

1990年に市場導入されたフジクロームVelvia (ISO感度50)^{1) 2)} は、内型・外型を含めたあらゆるカラーリバーサルフィルムの中で最高の画質とイメージカラーを追求したフィルムであり、特に風景・ネイチャーの分野で好まれて使用されている。また、1994年に市場導入されたフジクロームPROVIA100³⁾ は、高画質かつ高彩度の汎用タイプのカラーリバーサルフィルムとして、幅広い市場分野で使用されている。

フジクロームASTIA100の開発にあたり、前述の市場分野別ユーザーニーズをさらに詳細に調査・分析したところ、特に人物・ファッション分野、静物・商品分野において、VelviaやPROVIAよりも軟調かつ落ち着いた色再現で、特に肌色再現性に優れたカラーリバーサルフィルムのニーズがあることがわかった。ASTIAは、人物・ファッション分野、静物・商品分野に照準を絞り、これらの分野で特に品質要求が高い階調、色再現性などの性能向上を徹底的に追求し、VelviaやPROVIAとは異なる特長を持つ新しいタイプのフジクロームとして設計された⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

2.2 ASTIAの階調設計

ハイライト階調が硬いことは、肌色の調子再現には必ずしも好ましくない。階調が硬いと、たとえば、顔の明るい部分と暗い部分の差が際だってしまう、ぎすぎすとした感じの肌の調子再現となる。従って、肌色を滑らかに描写するには、ある程度軟調な階調が必要である。特に、ファッション写真などで撮影される肌色は、比較的ハイライト階調まで含むケースが多く、ASTIAの階調はこれまで以上にハイライト部を重視して設計された。

Fig. 1に、PROVIAと比較したASTIAの特性曲線を示す。上記のような「滑らかな肌」を表現するため、ASTIAの特性曲線は、中濃度部からハイライト部にかけての階調がPROVIAよりも軟調に設定されている。さらに、人物・ファッション撮影以外の用途でもニュートラルで豊かな調子再現が可能ないように、ハイライトからシャドウまでのガンマ設計を最適化し、中濃度部からシャドウ部にかけての階調はやや硬調に設定して階調全体のしまりを持たせている。

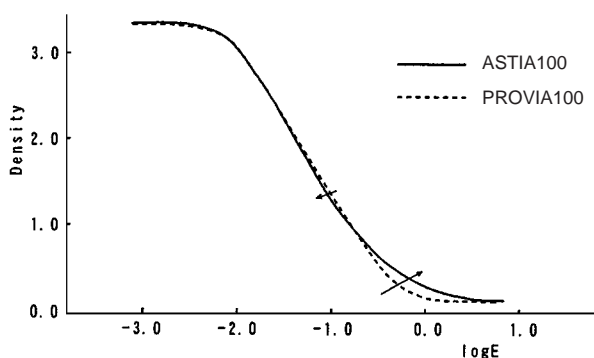


Fig. 1 Characteristic curves of ASTIA and PROVIA

2.3 ASTIAの色再現に関する設計

2.3.1 色彩度

前述のように、階調を軟調化すれば滑らかな調子再現が可能になるが、軟調化することは同時に色彩度を低下させる副作用がある。従って、階調を軟調に設計す

る場合には、色彩度の低下を防ぐための技術が必要となる。ASTIAで用いられている色彩度を向上させるための技術は、インターイメージ効果 (またはインターレイヤー効果) を強調する技術である。

2.3.2 インターイメージ効果

インターイメージ効果とは、ある感色層と別の感色層の間に生じる現象に関わる相互作用のことを言う⁷⁾⁸⁾⁹⁾。インターイメージ効果は、ある感色層が現像された時に、その層で発生した現像抑制物質がほかの感色層の現像を抑制することによって生じる。カラーネガフィルムでは、通常、カラー現像時にDIR (Development Inhibitor Releasing) カプラーから放出された現像抑制物質がインターイメージ効果を発生させる役目を果たす。カラーリバーサルフィルムでは、インターイメージ効果は第1現像 (黒白現像) において現像されたハロゲン化銀粒子から発生したヨードイオンや、弊社独自の技術である黒白現像時にDIR作用を持つ化合物から放出された現像抑制物質によって起きる。インターイメージ効果は、一般に色彩度を向上させる作用がある。以下に、インターイメージ効果によって彩度が強調されるメカニズムを赤色の再現を例にとって説明する。

フィルムが赤い被写体からの光を受けると、主に赤感層が感光し、多くのハロゲン化銀粒子が現像される。それに比べ、青感層や緑感層はほとんど感光していないため現像される粒子が少ない。インターイメージ効果の作用には、以下の2つのパターンがある。

- パターン1: 赤感層が緑感層や青感層からインターイメージ効果を受ける場合

緑感層や青感層では現像可能な粒子が少ないため、白色光で露光した場合、すなわちグレーに発色した場合に比べ、赤感層が緑感層あるいは青感層から受けるインターイメージ効果、すなわち現像抑制作用が少なくなる。このため、赤感層の現像が進み、その結果、シアンが発色濃度が下がることで彩度が高まる (Fig. 2)。

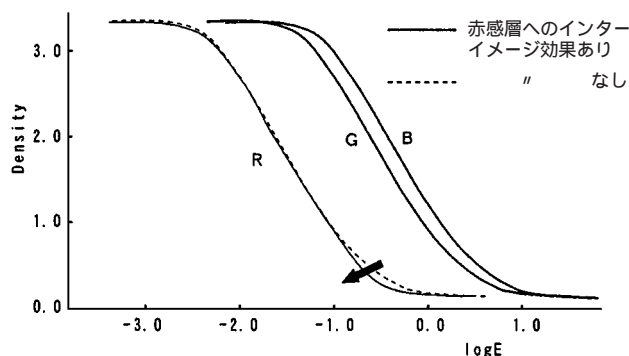


Fig. 2 Interimage effect from blue and green sensitive emulsion layers to red sensitive emulsion layer

● パターン2: 赤感層から緑感層や青感層にインターイメージ効果が作用する場合

感光した粒子の多い赤感層で発生した現像抑制物が緑感層や青感層に拡散し、緑感層および青感層のもとと数少ない感光した粒子の現像をさらに抑制することによって、緑感層および青感層の感度が下がり、マゼンタやイエローがより発色することで彩度が高まる (Fig. 3)。

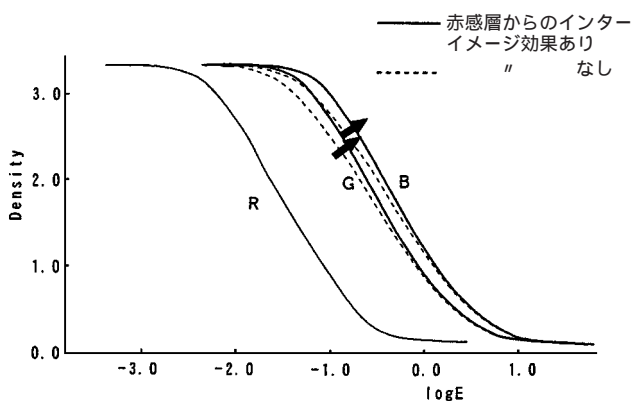


Fig. 3 Interimage effect from red sensitive emulsion layer to blue and green sensitive emulsion layers

色彩度に対する階調およびインターイメージ効果の影響について、コンピュータを用いた画像シミュレーションを行った結果をPhoto 2に示す。画像Bは、画像Aに対して階調を軟調化した場合のシミュレーション画像である。また、画像Cは、軟調化した画像Bの階調のままインターイメージ効果を強調したシミュレーション

ン画像である。階調を軟調化した画像Bは、画像Aに対して調子再現性 (特に、白い電話機の陰影などのハイライトディテールの描写力) が向上しているが、画像Bの色彩度は画像Aに比べ低下していることがわかる。一方、画像Cは、軟調で優れた調子再現性を保持したまま、インターイメージ効果を強調したことによって色彩度が画像A並に向上していることがわかる。これらのシミュレーション結果は、ASTIAの階調および色再現設計に反映され、インターイメージ効果を強調しつつ階調を軟調化することによって、色彩度と調子再現性の両立がASTIAで実現できている。

2.3.3 ASTIAの肌色再現

ASTIAの開発に当たり、肌色再現に関して多くの人物・ファッション分野のフォトグラファーの意見を拝聴した。フォトグラファーが好ましい肌色再現を表す表現として、前述の「滑らかな肌」のほかに、「美しい肌色」、あるいは「つながりの良い肌色」などが代表的にあげられる。われわれは、これらの表現を技術的な意味に翻訳することから始め、必要な写真特性を実現すべく斬新な技術を盛り込むことによって、ASTIAの美しい肌色再現を実現した。

(1) 美しい肌色再現

肌色は少し黄色の入った淡い赤であり、人種差は、大まかには分光反射分布の差というよりも反射率の違いである¹⁰⁾。肌色の好みの方向は、人種や国籍によって若干差があり、日本人はやや赤い肌色を好み、白人はやや黄色い肌色を好む傾向があるが^{11) 12)}、肌色を分光反射分布そのままに再現すると、頭にイメージされる肌色に比べ、ずいぶん低彩度の色になってしまい、肌色の好みの方向にかかわらず嫌われる傾向がある。すなわち、人がフィルムに再現されることを期待



Photo 2 Computer simulated images by changing the gradation and interimage effect

している「美しい肌色」は記憶色の肌色であり、実際の人肌の分光反射よりも少し鮮やかに再現されなければならない。

Fig. 4に、5500Kの色温度の光源下での肌色階調の特性曲線を示す。肌色は、赤感層が最も強い光で露光され、緑感層や青感層は相対的に弱い光で露光される。従って、フィルムの階調が軟調な場合には、シアン濃度が乗って薄黒い肌色となってしまふ。このとき、前述のパターン1のように緑感層や青感層から赤感層にインターイメージ効果が作用しているフィルムならば、肌色露光で赤感層への現像抑制が減り、シアン濃度が下がることによって美しい肌色再現が可能になる。また、前述のパターン2のインターイメージ効果が作用する場合も、マゼンタやイエローの色乗りが良く、健康的で美しい肌色を再現することができる。ASTIAでは、この2つのパターンのインターイメージ効果を作用させることによって、「美しい肌色再現」を可能にしている (Photo 3)。

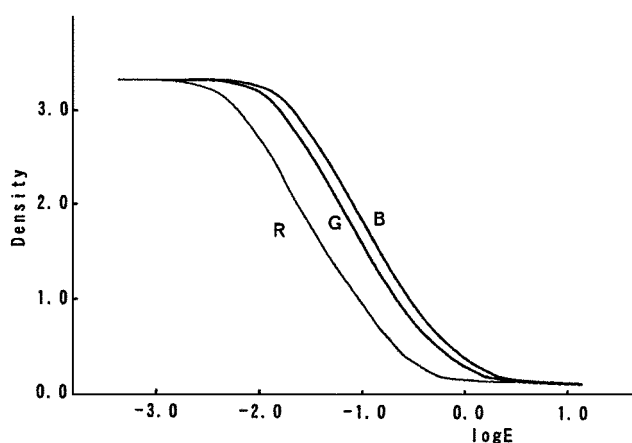


Fig. 4 Characteristic curves of skin tones



Photo 3 Comparison of skin color reproduction between ASTIA and a simulated image which has insufficient interimage effect

(2) つながりの良い肌色再現

前に人種や個人差で肌の反射率が異なることを述べたが、同一人物の肌でも体の部分部分によって肌色の色相や反射率、つまり明るさが微妙に異なる。また、撮影時のライティングもそれぞれの部分の明るさに影響を与える。フォトグラファーはよく「肌色のつながりが良い」という表現を使うが、この言葉は、顔、胸あるいは手足など身体の部位によって、また、顔など特定部分の明るい部分と暗い部分によって色味 (色相) が極端に変化しないことを指している。前項にてインターイメージ効果を作用させれば美しい肌色を再現することが可能であることを述べたが、より好ましい肌色再現を実現するには、これだけではまだ不十分である。

インターイメージ効果が肌色の色味や明暗 (肌色階調のBGR特性曲線の間隔や露光量に応じた発色濃度の高低) によって不均一に作用する場合には、上記のような被写体の肌色の部分部分における差をかえて強調することになる。肌色のつながりをよくするためには、肌色の色階調を表すBGRの特性曲線が、グレー階調の特性曲線と同様に滑らかに平行に描かれなければならない。Fig. 5の破線は、赤感層がほかの感色層に与えるインターイメージ効果が、青感層のハイライト部へ過剰に作用し、緑感層のシャドウ部へ過剰、かつ青感層のシャドウ部へは不足しているフィルムの肌色再現を表している。このような肌色再現特性のフィルムでは、肌の明るい部分は黄色っぽくなり、暗い部分は紫っぽく再現されてしまう。ASTIAでは、BGRのそれぞれの濃度におけるインターイメージ効果を適切にコントロールする、後述のICG技術によって「つながりの良い肌色」を実現している (Photo 4)。

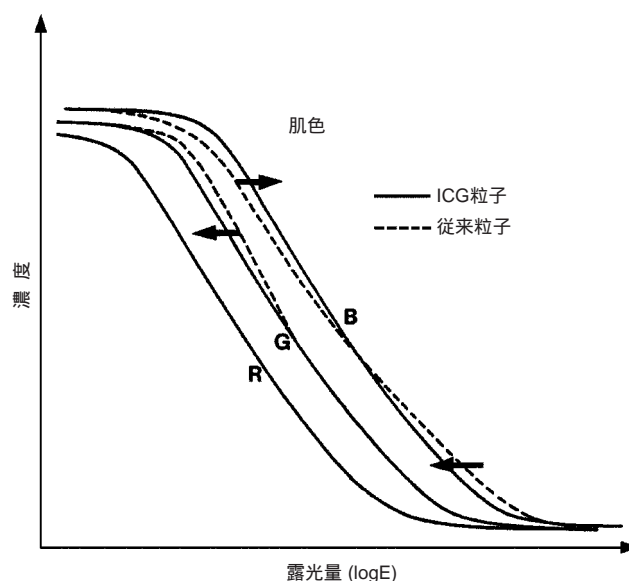


Fig. 5 Characteristic curves of skin tones ; ICG (—) and conventional grains (---)



Photo 4 Comparison of skin tone reproduction between ASTIA and a simulated image which skin tone curves are not parallel



Photo 5 Comparison of reddish skin color reproduction between ASTIA and a simulated image which has too much enhanced interimage effect

(3) 赤肌の再現

皮膚の色素が薄くて血管が透けやすいなどの理由で赤っぽい肌色を持つ、いわゆる赤肌の人がある。飲酒による赤ら顔も一種の赤肌であり、また、ニキビや腫れの部分も血液が溜まるため赤い色をしている。これらの赤肌、あるいは肌の赤い部分をフィルムがさらに赤く再現してしまうとしたら、決して好ましいことではない。前項で、美しい肌色再現のためにインターイメージ効果の強調が必要であることを述べたが、赤肌の再現においてインターイメージ効果を強調しすぎると、赤肌がより赤みにシフトして再現されてしまう。

Fig. 6に、普通の肌色と赤肌の特性曲線を示す。特性曲線における普通肌と赤肌の差は、大まかにはRの特性曲線とGBの特性曲線との間隔の違いである。Fig. 6の破線は、緑感層と青感層から赤感層に過度のインターイメージ効果が作用している場合を示している。前述の

ように、普通肌の再現では、赤感層に適切なインターイメージ効果が作用すると美しい肌色の再現が可能になるが、赤肌の再現では赤感層にインターイメージ効果が過度に作用すると赤みがかえって強調されてしまう。従って、普通肌と赤肌を両立させて好ましく再現するためには、肌色階調におけるRの特性曲線とGBの特性曲線との間隔の違いによって、インターイメージ効果を適切にコントロールしなければならない。ASTIAでは、上記インターイメージ効果の適切なコントロールによって、赤肌を不自然に強調しない美しい肌色再現を実現している (Photo 5)。

2.3.4 色温度依存性

色温度依存性とは、撮影を行う光源の色温度によってフィルムに再現される色味が変化することである。同じ太陽光でも晴天の日中の色温度は高く、朝や夕方の色温度は低い。また、晴天下でも日陰の色温度の方

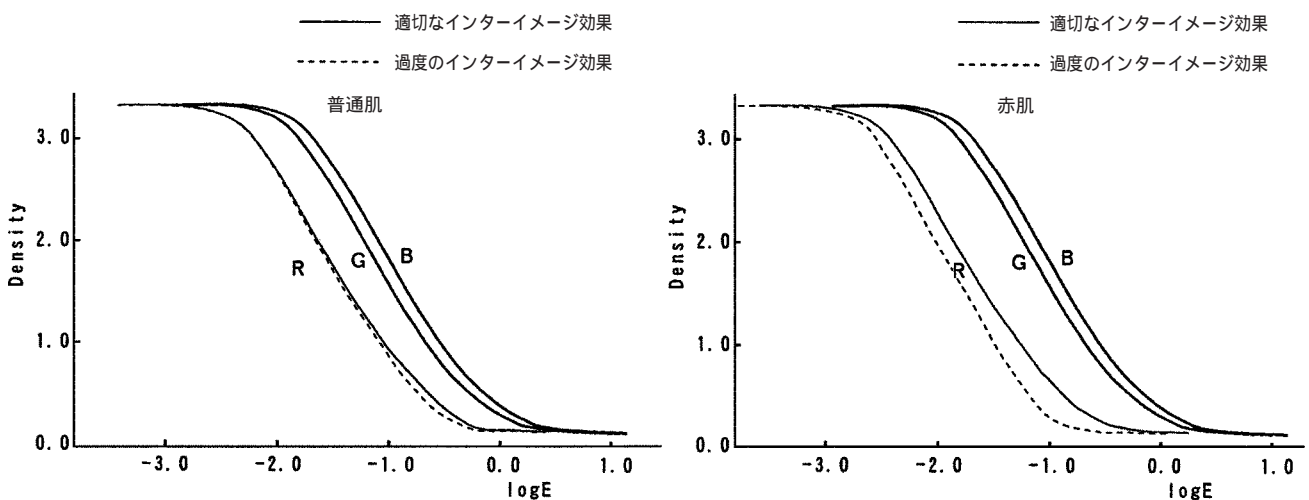


Fig. 6 Characteristic curves of usual skin color and reddish skin color ; suitable interimage effect (—) and too much interimage effect (---)

が日向の色温度よりも高い。色温度の違いはBGRの分光強度分布の差であり、色温度が高い場合はB光の強度が強く、被写体は青味がかって再現され、色温度が低い場合はこの逆で、黄色味あるいは赤味がかって再現される。

色温度が変化すると、センシトメトリ上ではBGRの特性曲線の間隔や相対的な位置関係が変わることになる。色温度が高い場合には、色温度が低いときに比べ青感層の現像粒子が増え、緑感層や赤感層の現像粒子が減る。従って、緑感層や赤感層から青感層への現像抑制作用が減って（青感層の現像粒子は一層増え）イエローの発色濃度が減少し、被写体はより青みがかった色に再現される。Fig. 7のように、青感層へのインターイメージ効果を適切にコントロールすれば色温度依存性を小さくすることが可能である。ASTIAでは、青感層へのインターイメージ効果が肌色再現の場合と同様に適切にコントロールされているので、色温度が高い日陰の青味変化がきわめて小さい (Photo 6)。

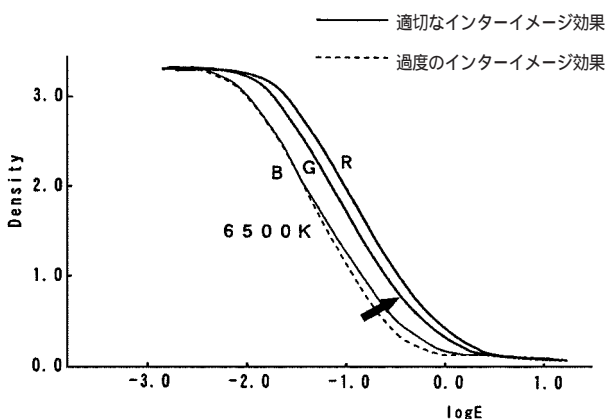


Fig. 7 The control of interimage effect to improve color temperature tolerance ; suitable interimage effect (—) and too much interimage effect (---)



Photo 6 Comparison of color temperature tolerance between ASTIA and a simulated image which has too much interimage effect to blue sensitive layer

3. ASTIAを実現した技術

3.1 精密階調制御 (AGC) 技術

ASTIAのBGRの感色層は、それぞれがさらに感度の異なる3つの乳剤層によって構成されている。さらに、これら合計9つの乳剤層には、必要に応じて感度の異なる超均一微粒子 (Super Uniform Fine Grain) 乳剤が複数ブレンドされている (Fig. 8)。肌色再現に代表されるASTIAの豊かな調子再現性は、上記のような各乳剤層の濃度配分のパラメーターとそれぞれの乳剤層に含まれる乳剤感度のパラメーターを自在に、かつ精密に制御する技術、すなわち精密階調制御 (Accurate Gradation Control) 技術によって達成されている。

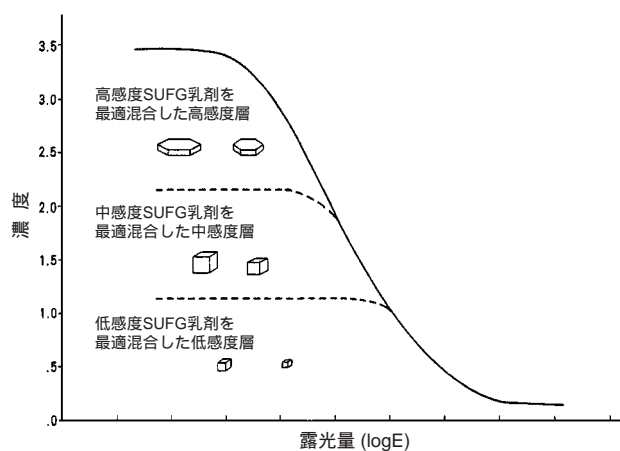


Fig. 8 AGC (Accurate Gradation Control) technology

3.2 超均一微粒子 (SUFG) 技術

ASTIAには、弊社独自の超微粒子技術をより進化させた超均一微粒子 (Super Uniform Fine Grain) 技術を採用し、前述の精密階調制御技術との組み合わせにより、ハイレベルの画質を実現している。

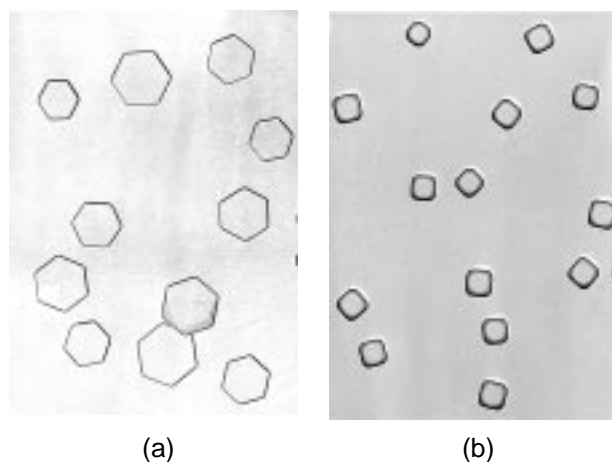


Photo 7 Electron microscope photograph of SUFG
(a) Tabular grain in a high speed sub-layer
(b) Cubic grain in a medium speed sub-layer

3.3 インターイメージ効果の制御技術

3.3.1 DIR-HQ技術

フジクロームには、従来からインターイメージ効果を強調する作用を持つDIR-HQ (Development Inhibitor Releasing Hydroquinone) という化合物が導入されており、ASTIAにもこのDIR-HQが用いられている。この化合物は、前述のようにカラーリバーサル現像処理の第1現像において、ある感色層の粒子が現像されたときにそれに応じて現像抑制物質を放出し、ほかの感色層のハロゲン化銀粒子の現像を抑制する機能を持つものである (Fig. 9)。

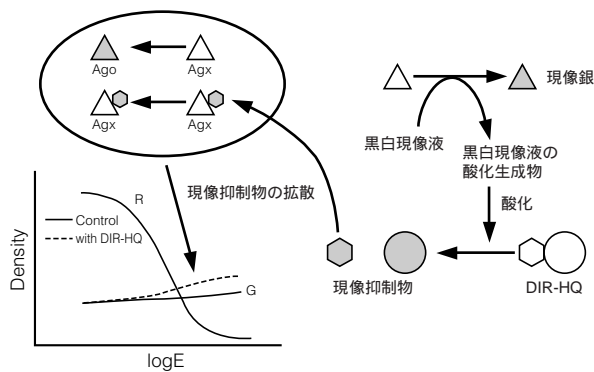


Fig. 9 The mechanism of enhancing the interimage effect by DIR-HQ

3.3.2 インターイメージ効果制御粒子 (ICG) 技術

ASTIAには、1996年に発売されたデュプリケーティングフィルムCDUII¹³⁾と同様に、インターイメージ効果をうまく制御するための新しい乳剤技術、すなわちインターイメージ効果制御粒子 (Interimage-effect Controlling Grain) 技術が導入されている。

ICG技術は、BGRの特性曲線の間隔や濃度に応じて、適切なインターイメージ効果が作り出せるような乳剤粒子を設計する技術の総称である。ICGの中には、インターイメージ効果を与えやすい粒子と逆に与えにくい粒子があり、また、受けやすい粒子や逆に受けにくい粒子がある。これらの粒子のインターイメージ効果の特性を変えるのは、粒子の大きさ、粒子に含まれるヨードの量、カブリの程度、あるいは現像進行性などである。ICG技術は、これらのパラメーターを個々の乳剤に対して絶妙にコントロールした技術である。

前述のFig. 5は、肌色の色階調を例にとって、ICGの機能を説明したものである。BGRの特性曲線は、本来、グレーのバランスをニュートラルに再現するように平行に設計されている。つながりの良い肌色再現を実現するためには、肌色階調においても、グレーと同様にBGRの特性曲線が平行でなければならない。ICG (実線) は、従来粒子 (破線) で起きていたインターイメージ効果の過不足による肌色階調の歪みを修正して平行にする役割を果たしている。

3.4 精密分光感度 (FTS) 技術

ASTIAでは、色再現性をさらに高めるため、ICG技術に加えて精密分光感度 (Fine Tuned Spectral Sensitivity) 技術が用いられている (Fig. 10)。FTS技術は、BGRの分光感度を各濃度ごとに精緻に整えることによって、中間色を含めた色再現をできるだけ自然で忠実な再現にする技術である。また、同時にFTS技術は、ナトリウムランプへの光源適性なども向上させている。

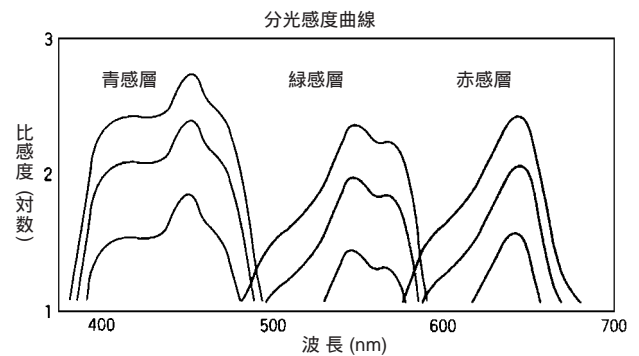


Fig. 10 FTS (Fine Tuned Spectral Sensitivity) technology

4. 終わりに

弊社の標準感度のリバーサルフィルムに、滑らかで美しい肌色再現と豊かな調子再現性を特長とするASTIA100を新たにラインアップすることによって、超高彩度でイメージカラーの世界を実現したVelvia、ビビッドな調子・色再現性で汎用性の高いPROVIAと共に、ユーザーの多様なニーズにお応えできることを期待して止まない。

最後に、ASTIAの開発に当たって、貴重な御意見を頂いたフォトグラファーの方々に今一度、感謝の言葉を申し上げたい。

参考文献

- 1) 石丸信吾, 池田秀夫, 坂上恵, 宮崎桂一, 平野茂夫, 玉野順一, 「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), 174-183 (1992)
- 2) 石丸信吾, 池田秀夫, 坂上恵, 宮崎桂一, 平野茂夫, 玉野順一, 「新カラーリバーサルフィルム『ベルビア』の技術と特徴」, FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT No.37, 1-9 (1992)
- 3) 芝原嘉彦, 山田耕三郎, 石丸信吾, 「フジクローム・プロビア100の特徴と技術」, FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT No.40, 1-7 (1995)
- 4) S. Shuto, S. Kuwashima, S. Bando and S. Takada, "Mechanism of the Interimage-Effect in Color Reversal

-
- System and Its Application to Improve Color Reproduction”, IS&T’s 50th Annual Conference., Final Program and Proceedings, 210-212 (1997)
- 5) 倉光昌之, 礎秀康, 首藤定伸, 坂東信介, 「カラーリバーサル系における重層効果の機構と色再現性向上への応用」, 1997年度日本写真学会年次大会 講演要旨集, 21-22 (1997)
- 6) 坂東信介, 「フジクロームASTIAの色再現」, 日本写真学会主催カラーラボセミナー 講演要旨集, 16-22 (1997)
- 7) D. Neuberger, and N. H. Groet, “ Mechanism of Interlayer Interimage Effects ”, S.P.S.E. 30th Conference, 35-36 (1977)
- 8) N. H. Groet, Eastman Kodak Co., Inc. , “ Interimage Effects with Spontaneously Developable Silver Halide ”, U. S. Patent No. 4,082,553 (1978)
- 9) W. T. Hanson, Jr., and C.A. Horton , “ Subtractive Color Reproduction: Interimage Effects ”, J. Opt. Soc. Am., 42, 663-669 (1952)
- 10) G. B. Buck, and H. C. Froelich, “ Color Characteristics of Human Complexions ”, Illum. Eng., 43, 27-49 (1948)
- 11) C. J. Bartleson , “ Some Observations on the Reproduction of Flesh Colors ”, Photo Sci. Eng., 3, 114-117 (1959)
- 12) 鈴木恒男, 「好ましい肌色再現に関する人種間の比較」, 日本色彩学会誌, 14, 153-161 (1990)
- 13) 坂東信介, 長岡克郎, 桑島茂, 高橋公治, 「デュープリケータンフィルムフジクロームCDUIIIの開発」, FUJIFILM RESEACH & DEVELOPMENT, No.42, 10-19 (1997)
- (本報告中にある “ Fujifilm ”, “ フジクローム ” “ FUJICHROME ”, “ Fujichrome ”, “ ASTIA ”, “ PROVIA ”, “ Velvia ” は富士写真フイルム(株)の商標です。)