

■ 要旨

人類には楽しい時間や、感動を受けた状況を思い出として残したいという根源的な欲求がある。しかし、昔は文字に書き、絵に描いて残すしか方法がなかった。ところが、銀塩写真という技術が200年くらい前に発明され、ヨーロッパを中心に発展してきた。そして、この銀塩写真術は、多くの人の努力や優れた発明等により新たな改良を加えることで、産業として徐々に根付き始めた。

日本にも19世紀半ばに銀塩写真の技術が欧米から伝わった。そして、日本人の真摯で緻密な国民性も加わり、国産のフィルムを作ろうと欧米の技術を必死で真似し追いつこうと努力した。粘り強い苦勞と努力を継続した結果、1980年代になると日本企業は独自の銀塩写真技術を創り始めるまでに至った。その後も、日本企業は世界に誇る銀塩写真技術を次々と産み出し、世界の銀塩写真材料業界を牽引していった。

銀塩写真の発明の歴史については、他に幾つかの書籍が出版されているので、ここでは簡単にその歴史と技術内容を紹介するにとどめ、主に1980年代から日本企業がカラーネガフィルム分野において世界最高レベルの技術を確立していく状況について記述することとした。

銀塩写真感光材料には、カメラという暗箱一つがあれば、光を当てるだけで美しい風景が簡単に記録できるように沢山の機能が組み込まれている。この銀塩写真感光材料に関して、資料や報告類を可能な限り集め、纏まった記録として報告を後世に残すという観点から、今回の系統化調査を実施した。主たる調査対象は、銀塩写真フィルムの中でも最も感度が高く、かつ多くの機能が詰まったカラーネガフィルムとした。カラーネガフィルムとしては、アマチュアが使用する一般用カラーネガフィルムの他に、営業写真館で使われる営業写真用カラーネガフィルムや映画撮影で使用する映画用カラーネガフィルムを併せて検討対象として調査を進めた。

カラーネガフィルムの発展の歴史は、一言で言うと、見た通りに写る美しい色再現の追及と、いつでもどこでも写真が撮れるように高感度化の追及であった。白黒フィルムからカラーフィルムが発明され、初期の貧弱な色再現から何とか実物に近い色に近づけるため、カラードカプラーやDIRカプラー等の主要技術を筆頭に様々な発明や工夫が行われた。また、被写人物がじっと動かないで我慢しなくても、何時でも何処でも速いスピードでシャッターがきれるようにフィルムの感度が上げられ、露光ラチチュード（露光量の許容度）が広げられた。19世紀初期に発明された世界最古の写真とされるヘリオグラフィーはISO感度が0.00005であったと言われていたが、20世紀末にはカラー写真でISO感度800~1600を常用感度とするまでに至った。まさに、ヘリオグラフィーに対して、カラー化を達成したうえに、更に1000万倍以上もの高感度化を成し遂げたということになる。その発展の歴史の中で、日本企業はISO100から400→800→1600への高感度化、超高感度化に対して先頭を切って開発を推進した。本報告では、このカラーネガフィルムシステムの開発の歴史を記載するだけでなく、商品開発時の苦勞やその中に導入されたハロゲン化銀や機能性カプラー等の重要発明の開発の経緯などについても簡単に紹介する。

デジタルカメラという革新技術が銀塩写真に置き換わった今、再び銀塩写真が一般写真の主役に立ち返る可能性は低いと思うが、カラーネガフィルムの開発で生み出された発明や技術は違う形で将来に受け継いでいかれるものと信じる。困難にぶち当たった時、研究者達はどのような苦勞をして、何を考えて、どんな幸運をつかまえて大発明を成し遂げたのか。この報告書が、若い技術者達の今後の研究活動において、ブレークスルーのための一助となれば幸いである。

■ Abstract

Human beings have a genuine desire to record the memories of their pleasant and impressive experiences, and could however realize it only by writing and drawing for a long time, until a technology designated as silver halide photography was invented in Europe about 200 years ago. Then, enormous efforts and resultant remarkable inventions made by many people have steadily improved this technology, and made it possible for it to take root in the industry.

Silver halide photography was introduced to Japan from Europe in the mid-nineteenth century. Owing to their sincere and delicate character, Japanese people made extensive efforts to catch up with this technology, particularly that for domestic production of photographic films. As a result of their tenacious efforts and labors, Japanese companies became to develop their own unique silver halide photographic technologies in the 1980s. Subsequently, they became to be one of the leaders in producing silver halide photographic materials with world's highest-class performances.

Since the history of silver halide photography was already dealt with in details in several reference books, it is only briefly described here. Instead, this paper mainly describes the technical progresses for the establishment of color negative films with world's highest-level performance since the 1980s in Japan.

Color negative films are provided with many functions that made it possible to take pictures of beautiful landscapes simply by shedding their light images on them in a camera. Although there are many technical data and reports on color negative films, they are dispersed too widely to be used effectively in future. Taking into account this situation, the present author has collected those data and reports as many as possible, and put them in order here to give a systematic survey on the technologies for color negative films. Color negative films have the highest sensitivity among silver halide photographic materials and are provided with many functions. They include color negative films for amateur consumers, those for business in photo studios, and those for movies.

The history of technologies developed for color negative films is composed of the progresses in color reproduction and sensitivity for taking precise pictures at any time and place. The evolution of black-and-white films was followed by the invention of color films and subsequent progress in color reproduction owing to the development of remarkable technologies such as colored couplers and DIR (Development Inhibitor Releasing) couplers. The sensitivity and latitude of exposure for taking a picture were enhanced so remarkably that one can take a picture only by pressing the shutter of a camera with high shutter speed at any time and any place, even when a photographic subject is moving. In contrast to the oldest photography, heliography that was invented at the beginning of 19th century and had ISO sensitivity of as low as 0.00005, color negative films has become to have ISO sensitivity of 800-1600 at the end of the 20th century, thus achieving sensitivity increase by more than 10 million times for each of three primary colors. In the history of this development, Japanese companies especially promoted sensitivity from ISO100 to 400-1600 and have been taking the lead in realizing ultrahigh sensitivity. This paper is undertaken to describe, not only the progress of color negative films since the 1980s, but also details of hard works endured for the development of important technologies with silver halide grains and functional couplers in color negative films.

Since color negative films are now overwhelmed in market by digital still cameras, they will not play a central role again in ordinary photography in future. However, technologies created during the development of color negative films are expected to be transmitted to new areas developing for future. When researchers encounter difficulties, it might be helpful for them to know what hardships their predecessors faced, how they thought, and what good fortunes they caught to overcome the hardships. The present author would be happy if this paper could be of some help for young researchers to make breakthroughs in their research activities in future.

■ Profile

久米 裕二 *Yuji Kume*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和44年3月 高知県私立土佐高校卒業
昭和48年3月 大阪大学基礎工学部合成化学科卒業(物理化学専攻)
昭和50年3月 大阪大学基礎工学部修士課程修了(物理化学専攻)
昭和50年4月 富士写真フイルム株式会社入社、足柄工場にて製造技術開発に従事
昭和58年～ 足柄研究所に異動。カラーネガフィルム商品化研究に従事
平成10年～ 研究部長としてカラーネガフィルムの商品化研究統括
平成14年～ カラーペーパー、レントゲン写真などの銀塩写真商品開発
平成17年～ 新規材料研究(インクジェット用素材、銀塩ホログラフィー材料など)
平成22年8月 同社を定年退職
平成23年4月 国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

■ Contents

1. はじめに	277
2. 銀塩写真の特徴と分類	278
3. カラーネガフィルムの層構造と主要技術	283
4. 銀塩写真の発明から近代カラーネガフィルム開発までの流れ	286
5. 欧米写真術の日本への伝搬	293
6. 欧米写真技術のキャッチアップと銀塩写真フィルムの国産化(第一次世界大戦から第二次世界大戦まで)	296
7. 第二次世界大戦から1960年代までの日本の写真感光材料産業の発展	300
8. 1970年代のカラーネガフィルムの開発	306
9. 1980年代のカラーネガフィルムの開発	309
10. 1990年代のカラーネガフィルムの開発	323
11. 2000年以降のカラーネガフィルムの開発	332
12. 銀塩写真における重要技術誕生の経緯、秘話	344
13. 日本が世界最高レベルの技術開発を成し遂げた理由の考察	355
14. あとがきと謝辞	358
カラーネガフィルムの系統化図	360
カラーネガフィルムの登録候補一覧	361
カラーネガフィルムの開発歴史年表	362

1 | はじめに

銀塩写真は200年くらい前にヨーロッパで発明された。一口に銀塩写真と言っても、白黒写真やカラー写真、ネガ/ポジ系から反転系、アマチュア用からプロフェッショナル用、また一般撮影用からX線撮影用や印刷用まで、様々な種類の銀塩写真フィルムが存在する。その中で本報告は特にカラーネガフィルムを調査対象とすることにした。

白黒写真でもカラー写真でも、歴史的にみて最初の発明は直接画像を観察できる反転フィルム(例:白黒写真=ダゲレオタイプ、カラー写真=コダクローム)であった。また、ネガ/ポジ系ではポジへのプリント時に画質(鮮鋭性等)の劣化が発生するため、反転フィルムの方が画質的にも有利であった。しかし、それにも係わらず歴史的な事実として、一般写真でも映画でも撮影には90%以上ネガフィルムが使用されてきたのである。その理由として、ネガ/ポジ系は①多数の複製プリントを作れる②露光ラチチュード(許容度)が広い③プリントサイズが自由④オリジナル像が保存できる等の優位性が挙げられる。

1935年にコダック社は反転型カラー写真(スライドフィルム)のコダクロームを発明し発売したが、大多数の顧客が欲しいのはプリントであることを痛いほど思い知らされた。そこで同社はコダクローム型の反転ペーパーを開発して反転→反転プロセスでプリントを顧客に提供する準備を始めた。しかし「処理プロセスが極度に複雑で長く、得られるプリントの色がひどく劣悪で、開発担当者は悪夢をみているようであった。別の開発チームがカラーネガ/ペーパープロセスの開発に成功してくれたので助かった」と、悪夢を見ていた一人で、後にカラードカップラーを発明し研究所長を勤めたW.T. ハンソン Jr. が回顧している。カラーネガフィルムは歴史的にみて、銀塩写真において圧倒的に主要な地位・王道を占めていたのである。

カラーネガフィルムの発展の歴史は、一言で言うと見た通りに写る美しい色再現の追及といつでもどこでも写真が撮れるように高感度化の追及である。(粒状

性や鮮鋭度の改良も重要課題であるが、これらは高感度化の必要要件としてとらえた。)本報告ではこれらを写真関連以外の一般の人でも理解できるように、なるべく平易に記述することを心掛けた。

本報告の構成としては、第2章、第3章で銀塩写真の特徴及びカラーネガフィルムの層構造と主要技術について説明する。第4章では写真が発明されてから近代カラーネガフィルムが開発されるまでの世界の流れを簡単に説明し、第5章以降から日本における写真産業の勃興と発展の歴史を紹介する。欧米写真術が日本に伝搬し、国産化を成し遂げ、世界最高レベルのカラーネガフィルムを開発するに至るまでの苦闘の歴史を第5章から第11章まで、年代ごとに区切って紹介する。一方、第12章では銀塩写真の歴史の中でカラーネガフィルムにとっての重要技術がどのようにして誕生してきたのか、その経緯や秘話について紹介する。第13章では、銀塩写真カラーネガフィルム分野で、日本が世界最高レベルの技術開発を成し遂げることが出来たその要因について考察する。

本報告では、「写真とともに百年」(小西六写真工業株式会社(編)、昭和48年3月25日発行)、「富士フィルム50年のあゆみ」(富士写真フィルム株式会社(編)、昭和59年10月20日発行)、及び「総天然色への一世紀」(石川英輔 著、青土社、1997年8月25日発行)を参考文献として随所に活用させて戴いた。また、技術年代の確認として、「カラー写真技術辞典」(二村隆夫 編、写真工業出版社、1993年1月16日発行)を参考にさせて戴いた。

写真関連各社の社名であるが、小西六兵衛商店からコニカミノルタにいたるまで何度も変更され、富士写真フィルムが富士フィルムと社名変更されているが、本報告では年代と共に必ずしも正確な社名の記述がなされていない部分もあり、小西六やコニカ、フジフィルムと簡略化して記載した箇所もある。同様に、他の写真関連会社もコダック、アグファ、ニコン、キャノン等、簡略名で記載していることもお許し願いたい。

2 | 銀塩写真の特徴と分類

2.1 銀塩写真の特徴と像形成の原理

銀塩写真とは、感光性のハロゲン化銀粒子を受光センサーとして像情報を捉え、現像等の増幅工程により、像情報を目に見える形に変換するシステムである。

2.1.1 白黒写真の原理

白黒写真は風景等を金属銀により白黒で再現する写真である。まず古くから利用されてきた白黒写真の原理(図2.1)について説明する。

フィルム膜ではゼラチンが膜形成物質(バインダー)として用いられ、その中にハロゲン化銀が添加されている。撮影時に被写体の陰影がフィルム上に投影され、ハロゲン化銀が光を受ける。光を受けたハロゲン化銀は表面に微細な銀核を生成する(潜像と呼ばれる)。

このフィルムを現像液に浸漬するとゼラチンが水で膨潤し、現像主薬が容易に膜中に侵入する。そして、微細な銀核を触媒として現像主薬がハロゲン化銀を還元し銀になる(現像主薬は酸化される)。一方、光の当たっていないハロゲン化銀は還元されずそのまま残る。

次に定着液に通して、現像されなかったハロゲン化銀を溶解してフィルム膜内から除去する(定着工程)。その後、水洗して乾燥させると、輝度の逆転した白黒ネガフィルムが出来る。

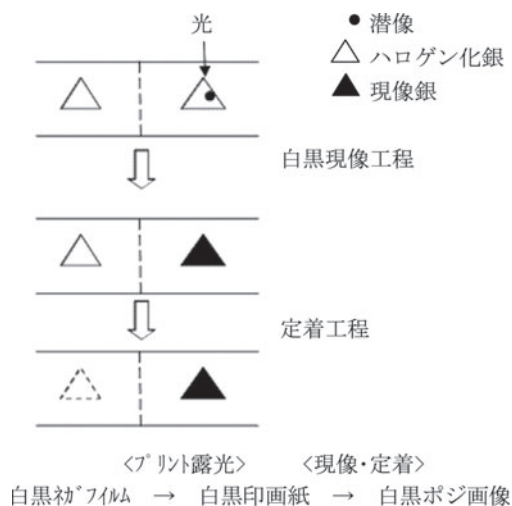


図 2.1 白黒銀塩写真の像形成原理

このネガフィルムを白黒印画紙に露光し、同じ現像操作を繰り返すことで印画紙上にポジ像が形成されることになる。

2.1.2 カラー写真の発色の原理

次にカラー写真の原理(図2.2)について説明する。カラー写真は、波長の短い紫外光から波長の長い赤外光など、様々な波長の光がある中で、人間の眼に見える400nm~700nm近くの青、緑、赤の可視光に感じて、色の三原色を利用して、イエロー、マゼンタ、シアン色素によりカラーの画像を再現する写真である。

フィルム膜ではゼラチンがバインダーとして用いられ、ハロゲン化銀に加えてカプラーが添加されている。カプラーとは現像液中の現像主薬とカップリング反応することで色素を形成する有機化合物のことである。イエロー色、マゼンタ色、シアン色と、それぞれ異なる分子構造を持つカプラーが存在する。撮影時に被写体の陰影がフィルム上に投影され、ハロゲン化銀が光を受ける。光を受けたハロゲン化銀は表面に微細な銀核を生成する(潜像と呼ばれる)。

このフィルムをカラー現像液に浸漬すると、ゼラチンが水で膨潤し、現像主薬が容易に膜中に侵入する。そして、白黒現像と同様に現像主薬が、微細な銀核を触媒としてハロゲン化銀を還元し銀になると同時に、酸化還元反応により現像主薬が酸化される(図2.2①)。そして、この現像主薬の酸化物が泳動し、近隣に存在するカプラーとカップリング反応することで色素を形成する(図2.2②)。一方、光の当たっていないハロゲン化銀は現像されずそのまま残る。

次に現像された銀は黒色であり色再現には不要のため、まず漂白液中で酸化されて元のハロゲン化銀に戻される(漂白工程)。

さらに定着液に通すことで、露光された部位もされない部位も全てのハロゲン化銀を溶解してフィルム膜から除去する(定着工程)。

その後、水洗して乾燥させると、輝度が反転し、かつ色相も反転した色素像(青色の反転色はイエロー、緑色の反転色はマゼンタ、赤色の反転色はシアンとなる)を持つカラーネガフィルムが出来る。

これをカラー印画紙に露光し同現像操作を繰り返すことで印画紙上にカラーのポジ像を形成する。

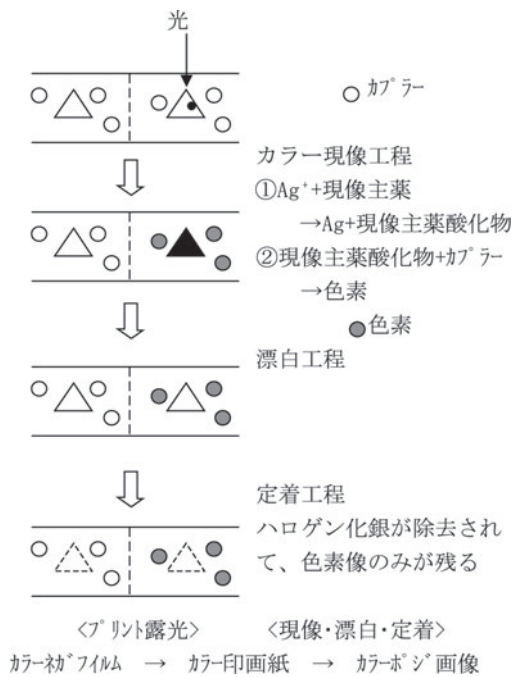


図 2.2 カラー銀塩写真の像形成原理

2.1.3 銀塩写真の構成

銀塩写真フィルムは通常、感光性ハロゲン化銀の微結晶粒子をゼラチン中に分散し、種々の添加剤とカラー写真の場合は発色用のカプラーを加えて得られる写真乳剤を支持体上に塗布して製造される（図 2.3）。ハロゲン化銀を含む乳剤層は複数あるが、この図は単純化のために一層のみを示した。

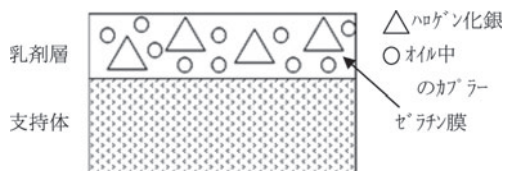


図 2.3 銀塩カラー写真の乳剤層の構造

ここで、カラーネガフィルムを構成する各組成について簡単に説明する。

(1) 支持体

カラーネガフィルムの支持体は寸法安定性や耐水性に優れ、かつ剛性のあるものが必要である。ロールフィルムの支持体には、古くはセルロイドが用いられたが、不燃性の観点からセルローストリアセテート (TAC) が主に用いられるようになった。また、平面性や強度確保のために、ペットボトルでお馴染みのポリエチレンテレフタレート (PET) が使用され、近年の APS フィルム用としてポリエチレンナフタレー

ト (PEN) 等も使用されている。各支持体の化学構造式を図 2.4 に示す。

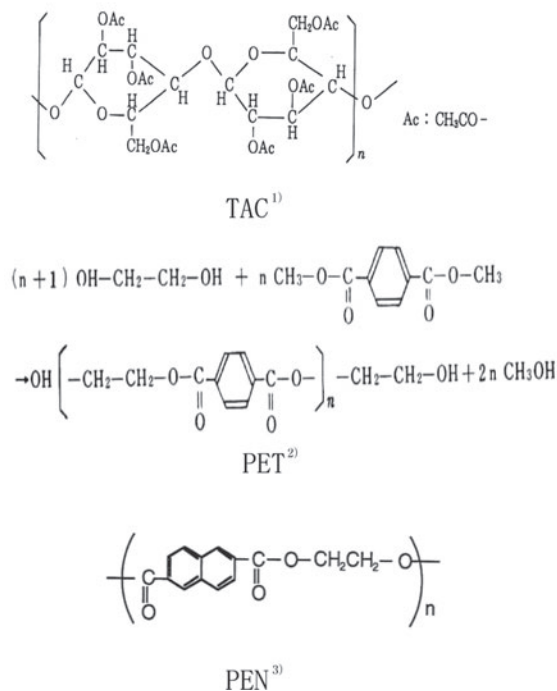


図 2.4 各支持体の化学構造式

(2) ゼラチン

フィルム膜中でバインダーとして用いられている素材はゼラチンである。写真の歴史からみて、コロジオンからゼラチンに変わって 100 年以上が経過しているが、他の合成バインダーには未だに置き換わっていない。これはゼラチンが次のような優れた性質を持っていることによる¹⁾。

- ハロゲン化銀の分散性に優れ、自在にハロゲン化銀の形や大きさの異なった結晶粒子を容易に作るができる。
- ゼラチン中の核酸残基による増感、抑制等の写真性に有効な物質を含んでいる。
- ゾル / ゲル変化の性質を持ち、支持体に写真乳剤を塗布後すぐに冷却することで、均一な塗膜を安定に製造でき、そのままの状態ですらに乾燥できるため、高生産性に繋がる。
- 硬膜剤が容易に反応できる被反応基が多く存在し、層形成中あるいは後に層中で架橋反応を行わせることができる。架橋後はゾル / ゲル変化がなくなるものの、現像過程で膨潤し、薬品の拡散を容易にする。しかも、水中でもかなりの強さが保たれ処理操作に耐えうる優れた物理的性質を持つ。

ゼラチンは動物の体内に最も多く存在する繊維状タンパク質である水不溶性のコラーゲンを、酸あるいはアルカリで前処理した後、熱加水分解して可溶化し抽出したものである（図 2.5 にコラーゲンとゼラチンの関係を示す）。原料としては主に、牛骨や豚皮等を主原料としている。ゼラチンにはハロゲン化銀に対して増感効果を持つ微量成分が存在するということが昔から知られていた。そして、増感効果のあるゼラチンには「からし」の匂いがあることに気付き、イオン増感剤が見出された。現在では、微量成分が性能に影響を与えると製造ロット毎に写真性が変化する可能性を持つため、性能に影響のある成分を分離し増感剤として別添加する一方、ゼラチン自体は脱塩処理等により、写真性に対して不活性なタイプへと変化している。

近年、牛に牛海綿状脳症（BSE）が発生する問題が発生したが、ゼラチン製造会社である株式会社ニッピによると、BSE 発生のない国であるオーストラリア、ニュージーランド、インドから輸入した牛骨を使用し、さらに特定部位を除いた原料のみを使用するという対策を図っているうえに、製造工程そのものが BSE の異常プリオンを不活性化させる働きを持つこともあり、安全弁が幾重にも施されているということである⁴⁾。

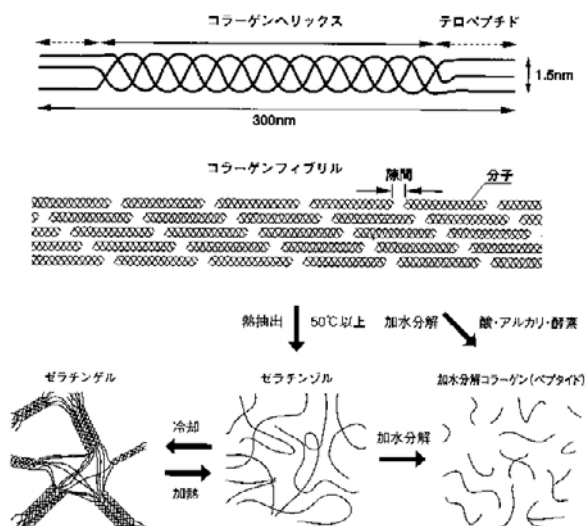


図 2.5 コラーゲンとゼラチンとペプチドの関係⁴⁾

(3) ハロゲン化銀

ハロゲン化銀粒子には塩化銀、臭化銀、ヨウ化銀、ヨウ臭化銀など多種のハロゲン組成を持つ粒子が存在し、大きさも百分の数 μ ～数 μ まで様々なサイズがある。ハロゲン化銀に光が当たると特定の波長の光が吸収される。カラーネガフィルムでよく使われるヨウ臭化銀では、可視光のうち青光だけを吸収する。この吸

収は禁制遷移に基づくため吸収係数は小さいが、禁制遷移のため逆反応（発生した光電子の失活）も起こりにくいという重要な性質を持つ。

図 2.6 で潜像形成過程（ガーニー・モットー理論⁶⁾）について簡単に示す。光が吸収されると価電子帯の電子が伝導帯に励起され、ハロゲン化銀結晶表面の感光核にトラップされる（電子過程）。ついで、ハロゲン化銀結晶中の格子間銀イオンが感光核に近づきトラップされた電子と中和することで銀原子となる（イオン過程）。電子過程、イオン過程を繰り返し、銀原子 3～4 個以上の集合体となることで現像の際に触媒として作用する現像核（潜像）となる。ハロゲン化銀結晶表面の感光核は粒子内の格子欠陥であったり化学増感工程で作られた硫化銀や硫化金であったりする。ハロゲン化銀の感度を向上するための化学増感として、イオン増感、金増感、還元増感等様々な研究が行われ著しい進歩を遂げた。ハロゲン化銀の研究だけで、膨大な報告があるが、本報告では省略する。

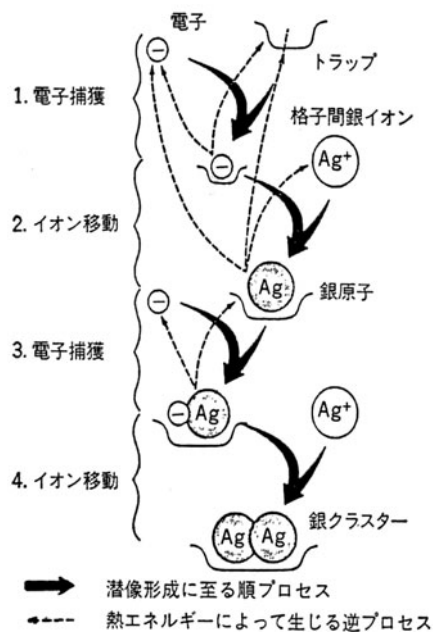


図 2.6 潜像の形成過程⁵⁾

(4) カラー発色現象

カラー写真における発色反応は図 2.7 で表される。より詳しくは、発色現像主薬として用いられているパラフェニレンジアミン（PPD）が 1 電子酸化されてセミキノンとなり、不均化により 2 電子酸化体のキノンジイミン（QDI）となる。2 当量カプラーの場合は、この一つの QDI がカプラーとのカップリング反応により色素を形成する。

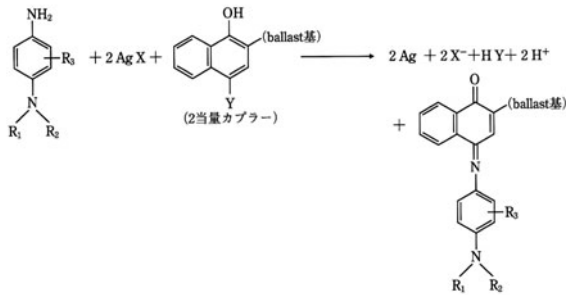


図 2.7 カラー写真における 2 当量カプラーの発色現像機構⁷⁾

カプラーの代表的な構造として、イエローカプラーを図 2.8 に、マゼンタカプラーを図 2.9 に、シアンカプラーを図 2.10 に示す。各カプラーの活性メチレン部（黒矢印で示す）が現像主薬の酸化体とカップリングし生成した色素の共役結合の共鳴状態の大きさによってそれぞれの波長の色を示す。

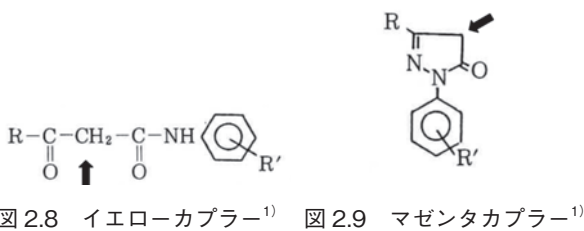


図 2.8 イエローカプラー¹⁾ 図 2.9 マゼンタカプラー¹⁾

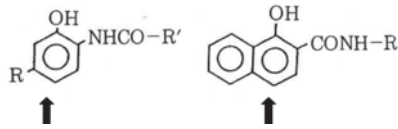


図 2.10 シアンカプラー（2種）¹⁾

2.2 銀塩写真の分類

銀塩写真を大きく分類すると、表 2.1 のように、ハロゲン化銀を還元した金属銀を画像として使用する白黒写真とハロゲン化銀をセンサーとして用い、画像を有機化合物（色素）で表現するカラー写真とに分けられる。

白黒ネガフィルムや白黒印画紙は最も古くから見出发達してきたシステムであり、高感度から低感度、報道用からポートレート用まで、印画紙の階調や支持体種類も併せて、多くの組み合わせ商品が市場導入されている。

表 2.1 銀塩写真の分類¹⁾

画像媒体	種類	主な分類と用途
白黒写真 (画像が 金属銀)	白黒ネガ感光材料	一般用ネガフィルム 赤外撮影用ネガフィルム
	白黒印画紙	一般用印画紙 階調の異なるタイプの印画紙 (1~4 号等)
	X線感光材料	医療用フィルム (直接撮影用、間接撮影用) パジフィルム (X線用、γ線用) 工業用フィルム (高感度、標準、微粒子)
	印刷製版用感光材料	リスフィルム グラビアフィルム ファクシミリフィルム スキャナーフィルム
カラー写真 (画像が有機色素)	カラーネガ感光材料	一般用カラーネガフィルム 営業写真用カラーネガフィルム 映画用カラーネガフィルム
	カラー印画紙	ネガポジタイプ印画紙 リバーサルタイプ印画紙 映画用ポジフィルム
	カラーリバーサル感光材料	内型タイプフィルム 外型タイプフィルム
	その他のフィルム	インスタントフィルム等

X線感光材料は、X線が物体を透過する性質を利用して被写体内部の様子を撮影するフィルムであり、直接撮影用と間接撮影用がある。また、医療用と工業用に分けられ、さらに用途により分類される。医療用では人体の被爆線量を少なく抑えるためにフィルムが高感度化され、さらに使い勝手の向上としてドライ化や迅速処理化が進められている⁷⁾。

印刷製版用感光材料には、上表のように各種の製版用に合わせた感光材料が開発されている。

カラーネガ感光材料やカラー印画紙はカラー画像を得るために、銀塩写真で最も広く用いられているシステムである。今回の報告では、下線を引いた一般用カラーネガフィルム、営業写真用カラーネガフィルム、映画用カラーネガフィルムを中心として、以降で詳細に説明する。

カラーリバーサル感光材料は直接ポジ像が得られるカラー写真として、歴史上最初に開発された製品である。最初は現像液中にカプラーを有し現像時に乳剤層中に発色色素として着色させる外式現像方式が発明さ

れたが、現像処理が非常に複雑であり、カプラーが乳剤中に含まれる内式現像方式が発明されることで、近年はほとんど内式現像方式になった。ネガ/ポジ方式のようなプリント工程や色補正がなく直接画像が得られ、プリント時の色変化や情報劣化がないため、得られる画像が非常に鮮明で美しく、プロ写真家やアマチュア層に多く使用されるが、露光許容度が小さく撮影が難しい感材である。

その他のフィルムとして、ポラロイドの名前でよく知られる、撮影と同時に画像が得られるインスタントフィルムを始め、多様なフィルムやシステムが存在する。

引用文献

- 1) 「カラー写真感光材料用高機能ケミカルス」、新井厚明ら、シーエムシー出版、27、136 (2002)
- 2) 「写真の化学」、笹井明、(株)写真工業出版会、16 (昭和62年)
- 3) 「新写真システム用 A-PEN 支持体の開発」、品川幸雄ら、富士フィルム研究報告、42、62 (1997)
- 4) 「ゼラチン・ペプタイドテクニカルノート」、株式会社ニッピ編
- 5) 「写真感光材料の発展と今後の展望」、大石恭史、化学工学、49 (9)、26 (1985)
- 6) R. F. Gurney and N. F. Mott, Proc. Roy. Soc. (London), Ser. A, 164 (1938) 151
- 7) 「放射線写真学」、大松秀樹ら、(株)富士フィルムメディアカル発行、274 (平成15年4月1日)

3 | カラーネガフィルムの層構造と主要技術

3.1 カラーネガフィルムの層構造

一般アマチュア用カラーネガフィルムは、約 120 μ m のトリアセチルセルロース (TAC) ベース上に、約 20 μ m 程度の厚さで、ハロゲン化銀を含む乳剤層やその他の層を含めて 10~20 層が精密に重層塗布されている。各々の層はゼラチン膜で形成されており、塗布された後、硬膜剤によりゼラチン同士を化学結合 (架橋反応) させることで、水に濡れても膨潤するが溶解しない強靱な膜を形成する。一般的に、カラーネガフィルムには表 3.1 のように多くの層が塗設されている。

表 3.1 一般的なカラーネガフィルムの層構造例

層名	層数	添加物
保護層	1層	マット剤、滑らせ剤、帯電防止剤
紫外線吸収層	1層	紫外線吸収剤、超微粒子ハロゲン化銀
青色感光層	3層	ハロゲン化銀、分光増感剤、発色カップラー
イエローフィルター層	1層	脱色性イエローフィルター (コロイド銀、固体染料等)
緑色感光層	3層	ハロゲン化銀、分光増感剤、発色カップラー
混色防止層	1層	混色防止剤
赤色感光層	3層	ハロゲン化銀、分光増感剤、発色カップラー
カブリ防止層	1層	カブリ防止剤
アンチハレーション層	1層	黒色染料 (コロイド銀、黒色染料等)
下塗り層		
支持体		トリアセチルセルロースベース等

3.2 画質改良のための主要技術

これらの層に搭載されている主要技術について以下に解説する。

3.2.1 粒状消失技術

カラーネガフィルムは非常に広範囲のラチチュード

(露光時の光量の許容度) を持たせるために大サイズから小サイズのハロゲン化銀粒子を添加している。この中で大サイズの粒子がフィルムの粒状性を特に悪化させる。これについて、センシトメトリー曲線を使って説明する。センシトメトリー曲線とは横軸を露光する光量 (logE) に取り、縦軸にカラーネガフィルムが現像された後の色素の光学濃度 (Optical Density) の値を取る。露光量が増加するに従って色素濃度が増加することで情報を記録する。よって、センシトメトリー曲線は右上がりの直線となるように設計される。

(1) 1層構成の粒状 (図 3.1)

感光層が1層で構成されている場合をみてみると、感度の高い大サイズ粒子も感度の低い小サイズ粒子も同じ一つの乳剤層にミックスして添加されている。露光量に合わせてハロゲン化銀が感光し現像液中で色素に変換される。その場合の色素雲を図 3.1 の中段に示す。大サイズのザラザラした粒状が露光量の少ない領域から多い領域まで覆っていることが分かる。この大サイズ粒子がフィルム全体の粒状を悪化させている。粒状を加えたイメージのセンシトメトリー曲線を図 3.1 の下段に示す。

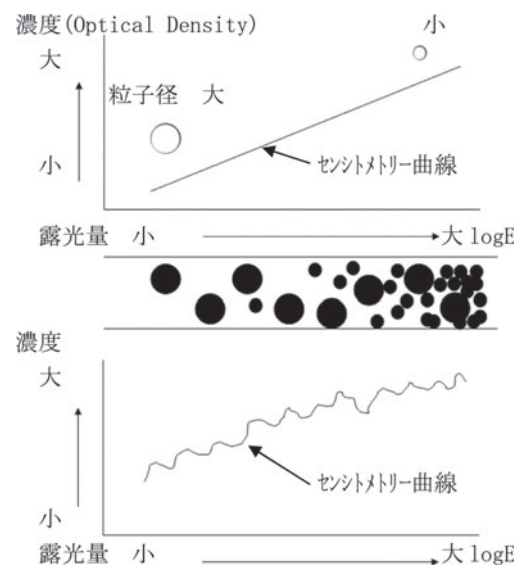


図 3.1 1層構成の場合の粒状を拡大して表したイメージ図¹⁾

(2) 2層構成の粒状 (図 3.2)

それに対して、感光層の層構成を2層に増やし、1層目に大サイズ粒子を、2層目に小サイズ粒子を配置した場合を考える。露光量が少ない場合は1層構成と

同じく大サイズ粒子のみが発色するが、露光量が増加するに従って1層目は発色粒子数が増え、ある露光量を越えると1層目が一様に発色し大サイズの粒状が消失してしまう。また濃度の増加もなくなる。この露光領域において2層目のハロゲン化銀粒子が感光し、色素に変換されることで情報が記録される。しかし、その時の色素雲は小サイズ粒子のものであり、粒状はザラツキの小さなものになる(図3.2中段)。こうして、露光量が増加すると大サイズ粒子の粒状が消え、小サイズ粒子の粒状に改善させることが出来る設計を粒状消失設計と呼ぶ。この設計がカラーネガフィルムの画質改良に大きな進歩をもたらした²⁾。

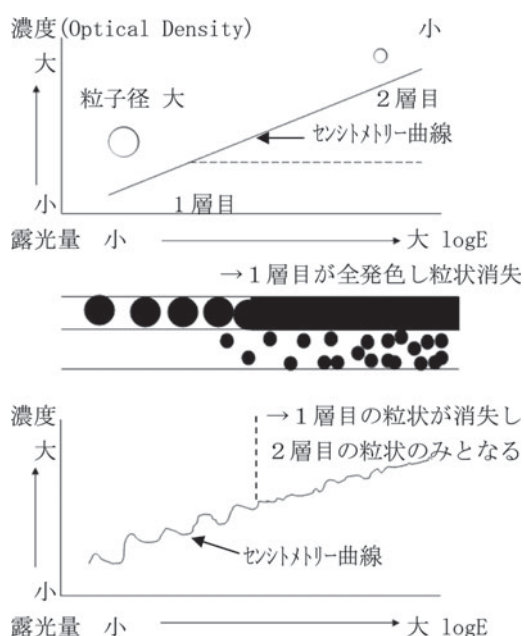


図3.2 2層構成の場合の粒状を拡大して表したイメージ図¹⁾

3.2.2 カラードカプラーによる色再現向上技術

カラードカプラーによる色再現性向上機構について、図3.3で説明する。カラーネガフィルムが緑光で露光されたとすると、その光の強さに応じたマゼンタ色の色素を形成し光情報を記録する。その時マゼンタ色素は有機化合物であるため500~600nmの緑光吸収の他に400~500nmのスペクトル域にも副吸収を持つ(図3.3 A)。そのため、緑光のみを当てた場合でも、マゼンタ成分(500~600nm吸収)だけでなくイエロー成分(400~500nm吸収)の吸収量も増え、青色成分が混ざり色が濁ることになる。カラーネガフィルムは光情報の輝度や色層が反転した形で記録され、カラー印画紙にプリントすることでカラー写真を完成させる情報記録材料であり、カラーネガフィルム自体は観賞用のフィルムではない。そこで、カラーネガフィ

ルム中の緑色感光性層に予めイエローに着色したカプラー(カラードカプラー)を添加しておき(図3.3 B)、マゼンタ色素の発色量に応じて減色するように設計することで、緑光の入力に対し、マゼンタ色領域のみ増加することが可能となり色濁りを防止することが出来る(図3.3 C)³⁾。赤色感光層にも別色のカラードカプラー(赤色)を添加しているため、カラーネガフィルムはオレンジ色を呈している。(第12.4章にカラードカプラー発明の経緯を記載する)

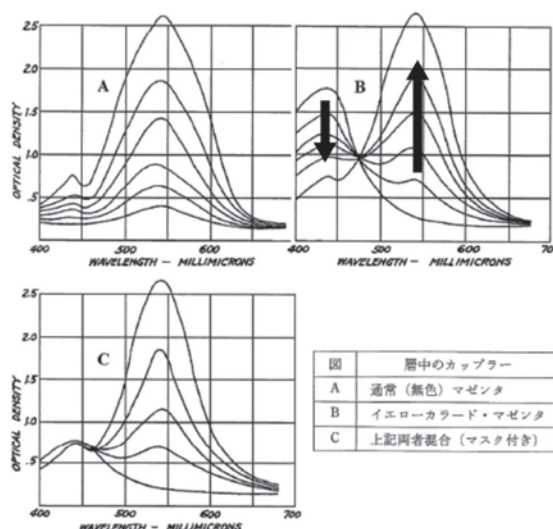


図3.3 カラードカプラーによる色再現性向上機構⁴⁾

3.2.3 現像抑制カプラーによる画質向上技術

人間の目には網膜上に視細胞が一面に並べられている。桿体という主に光の強度のみを感知する視細胞と錐体という色を感知する視細胞がある(網膜の焦点付近は錐体が多く、周辺には桿体が多く配置されている)。網膜に入射した光は視細胞により電気信号に変換され、神経線維層を通り脳に到達する。この間に周囲の信号を抑制し、僅かな強弱や微妙な色の違いを明らかにする作用を人間は有する。

カラーネガフィルムでも同様な仕組みとして、現像抑制剤放出カプラー(Development Inhibitor Releasing Coupler: DIRカプラー)が使用されている。DIRカプラーは感光層でカプラーが現像主薬の酸化物と反応し色素を形成する際に、反応離脱基として現像を抑制する物質を放出するカプラーをいう⁵⁾。赤、緑、青の各感光層に添加しておくと、白い光に当たった場合に赤、緑、青の各層から抑制物質が放出され現像が進み難くなる。しかし、緑光のみが当たった場合には赤と青は現像されず、赤と青からの抑制物質が発生しないため現像が白色光の時よりよく進むこと

になり、白色光に対する緑光の濃度比が高くなることで緑光の彩度を向上させる。DIR カプラーは色再現を強調する以外に自分の層の現像も抑制することでハロゲン化銀粒子一個一個の色素雲を小さくする。このことにより粒状性改良にも寄与する。また、アンシャープマスクという効果によりエッジ効果も向上させる。コダックの Barr らがこの DIR カプラーを開発し⁶⁾、カラーネガフィルムに最初に応用した⁷⁾。

引用文献

- 1) 「改訂 写真工学の基礎 - 銀塩写真編 -」、三宅洋一ら、(社)日本写真学会編、コロナ社、673 (1998)
- 2) 「Colour Photographic Multi-Layer Material」、Erich Bockly ら、Brit. 923, 045, (Agfa) (1961)
- 3) 「Integral Mask for Color Film」、W. T. Hanson, Jr. ら、US2, 449, 966, (EK) (1944) 等
- 4) 「カラー銀塩感光材料の技術改革史 第2部発色現象 (その3) 1940、1950年代におけるKodak社による強力な技術構築」、大石恭史、日本写真学会誌、71、349 (2008)
- 5) 「カラー写真感光材料用高機能ケミカルス」、新井厚明ら、シーエムシー出版、182 (2002)
- 6) 「Photographic Elements and Utilizing Mercaptan-Forming Couplers」、C. R. Barr ら、USP3, 227, 554, (EK) (1966) 等
- 7) 「Development-Inhibitor-Releasing (DIR) Couplers in Color Photography」、C. R. Barr, J. R. Thirtle, P. W. Vittum, Photogr. Sci. Eng., 13, 74, 214 (1969)

4 | 銀塩写真の発明から近代カラーネガフィルム開発までの流れ

この章では、銀塩写真が発明されてから様々な改良を通して近代のカラーネガフィルムが出来るまでの歴史を簡単に説明する¹⁾。写真の最初の発明についてはニエプスであるとか、銀塩写真としてはダゲールであるとか、いやタルボットこそがネガ/ポジタイプを発明し最初であるとかの議論があるが、ここでは、単にこのような銀塩写真開発の歴史があることを技術や原理と共に記載するにとどめる。

4.1 銀塩物質による感光性発見の生い立ち

銀塩（塩化銀）が日光で黒く変化するという感光性を持つことは、ドイツ人のゲオルグ・ファブリシウスにより1556年に見出されていた。その後、1725年にドイツの化学者J. H. シュルツェが硝酸銀と白土の化合物の混合液を塗った紙の上に、文字を書いた透明な紙を乗せ太陽光にさらすと黒地に白い文字が現れることを見つけ、1727年にこれを発表した。この光の化学作用を利用して物の形を忠実に描こうとする実験がヨーロッパの学者や画家の間で始まり銀塩写真の発明に繋がっていくことになる。

4.2 ジョセフ・ニセフォール・ニエプスによるヘリオグラフィの発明

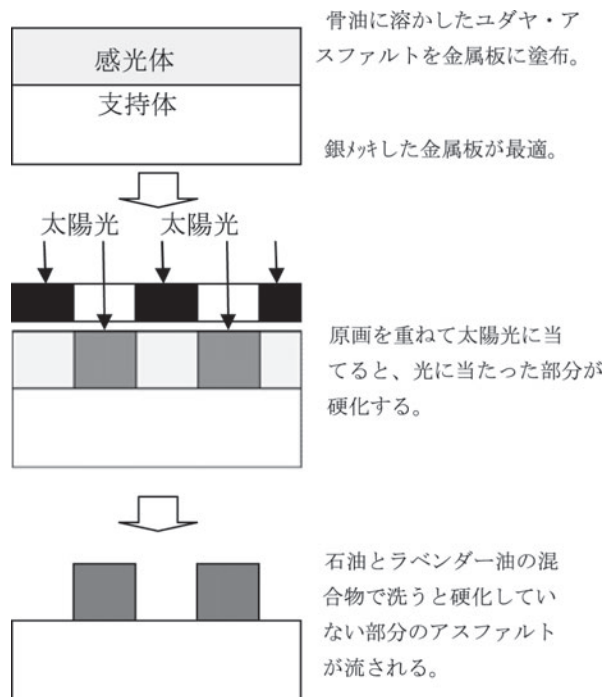
1825年にジョセフ・ニセフォール・ニエプス（図4.1）によって撮られた写真が現存する世界最古の写真とされている。



図4.1 ニセフォール・ニエプス²⁾

彼はカメラ・オブスクラ（ラテン語で「暗い部屋」の意）に写される像を何とか固定したいと考えた。実験で風景を捉えることには成功していたものの像はすぐに消え去った。その後も実験を繰り返し、腐食防止用に使うアスファルトの一種でパレスチナ産の「ユダヤの土瀝青」を使用することを思い付き、像の固定を

可能とした（ヘリオグラフィー、陽画像）。この陽画（ポジ像）作成機構を図4.2に示す。



これを斜めから見ると硬化部分で光が散乱され白く見え、全体が陽画として見える。また、硝酸で腐刻し、これにインクをのせると凹部にインクが溜まり、印刷すると陽画が出来る。

図4.2 ヘリオグラフィの陽画作成機構

しかし、露光時間が8~20時間もかかったとされ、建物や静物等の動かないものの光景（図4.3等）しか写すことができず、あまり実用的なものではなかった。1829年から、より進んだ写真技術開発のためダゲール（後述）と協力し、光で化学反応する銀化合物を使う研究（銀塩写真の研究）を始めたが、1833年に脳卒中で急死した。



図4.3 ニエプスによる写真「眺め」、1826年³⁾

4.3 ルイ・ジャック・マンデ・ダゲールによるダゲレオタイプ写真

ルイ・ジャック・マンデ・ダゲール（図4.4）はニエプスと研究を開始し1831年にはヨウ化銀の感光性等を発見した。ニエプスの没後も独力で研究を進め、1839年1月にフランス科学アカデミーの公式報告書でダゲレオタイプの写真の発明を告知した。ダゲレオタイプの写真は銀メッキをした銅版を感光材料として用い、直接ポジ像が焼き付けられ（陽画像）、感光面側から鑑賞することで左右が反転した像になった。また、複製ができず撮影された写真はたった1枚しかないことになる。初期のダゲレオタイプは露光にまだ10~20分もかかり肖像写真には使えなかった。タンブル大通りという風景写真では、通りを歩く多くの人達はその風景から立ち去るのが早かったため写らず、靴磨きのために片足を台にのせて不動の姿勢をとっている人物のみが写った。



図4.4 ルイ・ジャック・マンデ・ダゲール²⁾

その後、レンズと感光材料の改良が行われ1~2分程度の露光時間で済むようになった（図4.5）。



図4.5 ダゲレオタイプで撮った銀板写真²⁾

この技法が著名な天文学者でありフランス下院議員でもあったフランソワ・アラゴの関心をひき、彼はこの技法をフランス政府に買い上げさせるように働きかけた。この提案が実現し、特許がフランス政府のも

のとなったために、ダゲレオタイプを国内では誰でも使えるようになった。1939年の公開講演時にはネガ/ポジ法の創始者であるタルボット（後述）もカロタイプ銀塩写真を既に完成していたと言われている。しかし、ダゲレオタイプは圧倒的に高精細であり、またフランス政府が特許を買い取ったこともあって瞬く間にヨーロッパやアメリカに普及した。

機構を図4.6に示す。まず銀メッキした銅版にヨウ素蒸気をあて、表面に微細なヨウ化銀結晶を沈着させる。これをカメラに入れて撮影すると、光の当たった所はまず微細な銀核が形成され（この時点では目に見えない潜像）、次いで水銀蒸気に曝すことで銀核が銀/水銀アマルガムに変化して白くなり、一方、光の当たらない所はその次の定着工程でヨウ化銀が洗い流されることで直接陽画像が形成されることになる。このダゲレオタイプ写真こそが銀塩写真の最初だとも言われる。（ダゲレオタイプ写真の発明の経緯については第12.1章を参照）

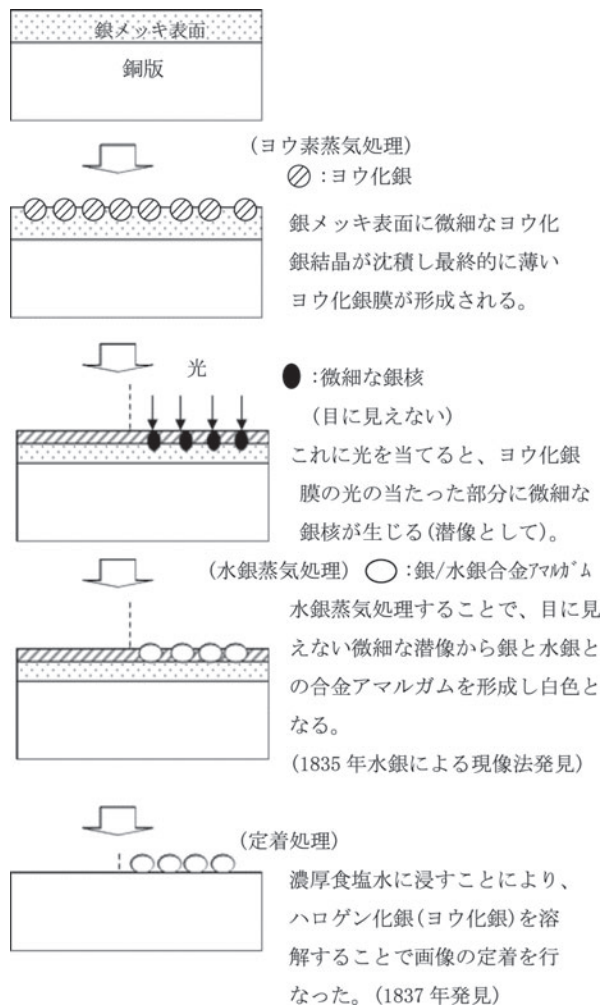


図4.6 ダゲレオタイプ写真の陽画作成機構

4.4 ウィリアム・ヘンリー・フォックス・タルボットによるカロタイプ写真

現代の写真は、まずネガ像を作りそれから明暗と左右の反転を正常化したポジ像を際限なく複製出来る技法として知られている。このネガ／ポジ法を最初に発明したのがイギリスのタルボット（図4.7）であり、カロタイプ写真法（タルボタイプとも呼ばれる）である。



図4.7 ウィリアム・ヘンリー・フォックス・タルボット²⁾

彼は化学ばかりでなく天文学、数学、光学の知識を有し、大学教育を受け進歩的な考えを身につけていた。1833年のイタリアへの新婚旅行中に美しい風景を見て、カメラ・オブスクラの映像を永続的に固定したいという願いを持った。そして、次亜硫酸ソーダ（ハイポ）によるハロゲン化銀の溶解定着を発見したハーシェル等と親交を持ちつつ写真の研究を進めることで独自の写真術を展開していった。1835年の夏頃には硝酸銀溶液に浸し乾燥させた紙をヨウ化カリウム溶液に再度浸して、ヨウ化銀を感光性物質として用いた感光紙を開発した。それに露光し定着、乾燥した（ネガ像）後、再度感光性を与えた紙にネガ像を通して密着露光することでポジ像を得る方法を開発した。当初はハロゲン化銀の潜像を現像液処理することを知らなかったが、1840年秋に現像液による潜像の増幅法を発見することで、快晴下でも30分程の露光時間が30秒程に短縮され肖像の撮影も可能となった。

タルボットは1839年1月のダゲールによるフランス科学アカデミーでのダゲレオタイプ写真の報告に心を動かされ、直後の1839年2月に、1837年以来実験を中断していた自身の技法の公開をロンドンの英国学士院等で行った。しかし、ダゲレオタイプに比べて複製や拡大縮小が可能であるという物理的・実用的な利点は明白であるものの、発明が公表された時点ではあからさまに二番手の地位として人々に受け取られ

た。この当時カロタイプは画像に紙のテクスチャーが入り込み、タルボット自身が「レンブラント調」の効果と称したように、ダゲレオタイプの迫真性に比べて細部のイメージが不鮮明であった。また、特徴であるネガからポジへの転写自体が当時では煩わしいものと見られていた。そのうえ、ダゲールが政府からの公的支援を受けたことに比較して、タルボットは一人で技法の改善に取り組んだり、商業的な利益を得ようと試みたりしながら、独力で発明後の舵取りをしなければならなかった。1841年に特許を取得したが以降の10年間特許の使用権に関して非妥協的な姿勢に終始したため、この写真術の発展が妨げられてしまった。しかし、このネガ／ポジ方式は現代の銀塩写真の基礎をなし、その意味では現代の銀塩写真の第一号として捉えることが出来る（図4.8にカロタイプ写真を示す）。また、1844年には世界で初めての写真入り書物「自然の鉛筆」を出版し、写真入り出版物の先駆けともなった（図4.9）。



図4.8 カロタイプの紙ネガ写真 1940～60年頃³⁾



図4.9 1844年出版「自然の鉛筆」より³⁾

4.5 フレデリック・スコット・アーチャーによる湿式コロジオン写真

カロタイプは明瞭さ不足と像の薄れの問題があり肖像写真家や出版業者にとって紙写真術の最も大きな課題であった。そこで鮮明度を上げるために支持体を紙からガラスに置き換える努力が為された。ガラス支持

体はステレオ写真やスライド陽画にもふさわしい素材であった。1847年にフランスで銀塩の結合剤としてアリユメン（卵白）を用いる技法が発表された。しかし、露光時間がダゲレオタイプより長くなり、肖像写真等に依然として使いづらい状況にあった。そのようななかで、イギリス人のアーチャーが1851年にコロジオンを結合剤として用いる方法を発表した。コロジオンとはニトロセルロースをエタノールとジエチルエーテルで溶解したものであり、湿式コロジオン写真とはヨウ化コロジオン液をガラス板に塗布し硝酸銀溶液に漬けたものである。湿った状態で用いると感度が高く、露光時間が劇的に短縮されるため、湿板法または湿式コロジオン法と呼ばれる。この発見により、肖像写真や出版物に、ダゲレオタイプの鮮明さとカロタイプの複製等の利便性を兼ね備えた写真を提供することが出来るようになった。アーチャーは技術を広く公開したため（特許取得しなかった）、タルボットの特許権問題からも解放され、多くの人に使用され広まっていった。印画紙にも鮮明性を得る為に用いられたが、像の薄れ、すなわち画像安定性の問題は残り、退色しないカーボン印画紙等の検討もこの頃なされた。

図 4.10 にはネガ写真のポジ鑑賞法を示す。写真の右下部分がネガ像である。これに黒い布を敷いたり黒いニスを裏から塗ることで、左上部のようにポジ像に見える。これは現像銀が光を散乱し白く見える現象を利用している。図 4.11 には当時の写真撮影風景を示す。撮影者がその場でコロジオン湿板を作り、湿ったうちに撮影することが必要であった。



図 4.10 「アンプロタイプ」(コロジオン湿板の黒バック写真)⁴⁾



図 4.11 湿板時代の写真撮影風景の仕組み (1854~70年頃)²⁾

4.6 リチャード・リーチ・マドックスによるゼラチンを用いた乾板写真

1871年にマドックスが臭化銀をゼラチン溶液に混ぜた感光乳剤を開発した(図 4.12)。この感光乳剤をガラス板に塗布して乾燥させたゼラチン乾板は感度も高く、また撮影者自身が用意しなければならないコロジオン湿板に比べて、工場で大量生産して予め沢山用意する事が出来た。これにより野外での撮影の機動性も飛躍的に高まったほか、これまでは撮れなかった動く人々等も撮れるようになった。エドワード・マイブリッジによる走る馬や飛ぶ人間の動きを捉えた連続写真等もこの乾板写真で撮影された。



図 4.12 ガラス乾板と取枠と写真プリント³⁾

4.7 ジョージ・イーストマンによるロールフィルムの普及

銀行員から転身して写真乾板の製造を工業的に成功させたアメリカのジョージ・イーストマンはロールフィルムとそのカメラを1888年に誕生させた。初めは紙のベースに写真乳剤を塗布乾燥させた長巻のフィルムを発売し販売したが、彼のビジネスはブレイクしなかった。そこで、もう一工夫し、100枚分撮れるフィルムを詰めたカメラを販売し、撮影が終わったらカメラごと送ってもらい、現像とプリントをして再び新しいフィルムを詰めたカメラ(図 4.13)と一緒に

に送り返すというシステムを考え出した。「あなたはシャッターを押すだけ。後は私達がやります。(You press the button, we do the rest.)」というスローガンが支持され、コダックカメラを大々的に宣伝することで大成功をおさめ、コダックの名が全世界に知れ渡った。さらに、コダックの名声を不動にしたのは、1912年発売のベストポケット・コダック(図4.14)であり、画面サイズが4cm×6.5cmとそれまでより小さく、ベスト(チョコッキ)のポケットにも楽に入るといって写真の需要をアマチュアまで広めた。

また支持体として、1889年に紙ベースから透明セルロイドベースのフィルムに改良された。ただ、セルロイドベースは発火性が高く映画館での火災等が頻発し、後にTACベースやPETベースに代わっていくことになる。



図4.13 ザ・コダック(100枚撮)1888年(25ドルで販売、10ドルでプリントとフィルム詰替)³⁾



図4.14 ベストポケット・コダックカメラ(1915年のもの)³⁾

4.8 ライツ社による35mmカメラ「ライカ」の誕生

1894年に発明されたアメリカのエジソンの35mm映画用フィルムを写真用フィルムに転用して、小型カメラを考案する動きが欧米で見られるようになった。ドイツのライツ社が試作を重ねて1925年に発売した「ライカA」はその後の小型カメラ時代の幕開けとなった。技術者であるオスカー・バルナックが35mm

映画用フィルムの2駒分を使用するカメラを1914年に試作した(ウル・ライカ)。1920年に会社を引き継いだエルンスト・ライツ2世がウル・ライカに着目し、改良を加え1925年にライカA(ライツのカメラの意、図4.15)として生産、販売した。それまでは密着プリントが主流であったが、ライカはフィルムが小さいため引き伸ばしを前提として引き伸ばし機もシステムとして販売した。この引き伸ばし画質に耐えられるようにレンズも高性能のものが作り出された。また、フィルムサイズが小さくなったため、広角気味に撮影しトリミングする従来方式から、画角に合わせた交換レンズが開発され、カメラが進化していくきっかけともなった。



図4.15 ライツ社による35mmカメラ「ライカA」1925年発売³⁾

次に銀塩写真のカラー化についての流れを紹介する。

4.9 マクスウェルによる3原色に分解した世界初のカラー映像(加色法)

人間の眼が色をどう感じ取るかについて1802年、ヤングとヘルムホルツが3原色説を提案した。そして、スコットランド人の古典電磁気学を確立したジェームズ・クラーク・マクスウェル(カラー写真原理の発見者)は1861年に光の3原色である青、緑、赤のフィルターを着けて撮影した3枚の写真を重ねることで史上初めてのカラー写真の映写に成功し3原色説を立証した。

4.10 デュ・オーロンによる減色法カラー写真の発表

カラー写真技術の父と呼ばれるフランス人のルイ・デュコ・デュ・オーロンは光の加色法に加えて、色素を用いて紙やフィルムの上に減色法でカラー写真が作れる論文を1869年にフランス写真協会に提出した。まさに現代のカラーフィルムの仕組みを示している。その他にもデジカメで使用される三色モザイク・スクリーン分解法やカラーテレビ用カメラで使用されるワンショット・カメラ等も考案した⁵⁾。

4.11 ヘルマン・ヴィルヘルム・フォーゲルによる増感色素の発見

当時のハロゲン化銀には色を感じる感色性に乏しいという弱点があった。ハロゲン化銀の固有感度は紫外線から青光までしかなく、カラー写真はおろか白黒写真も限られた表現しか出来なかった。ドイツのフォーゲルは1873年に、ハロゲン化銀乳剤の中に色素を添加することにより、より長波長側の緑光や赤光まで光を感じさせることが出来ることをドイツ化学会誌に発表した⁶⁾。この色素は感光色素や増感色素と呼ばれる。その後も増感色素の研究は当時染色工業が盛んであったドイツを中心に行われ、優れた増感作用を示す増感色素が見いだされていった⁷⁾。(増感色素の発見の経緯については第12.2章を参照)

4.12 ルミエール兄弟によるオートクローム法の考案

フランスのルミエール兄弟がオートクローム乾板の写真方式を1904年に考案した。コダックが1935年に3層塗布方式のカラーフィルムを発売するまで、一枚で撮れる唯一のカラー写真であった。

オートクロームカラー乾板はじゃがいものでんぷんに色を付けたものをフィルターとして利用している。1mm四方にR、G、B(赤、緑、紫青)三原色のいずれかの色がついた約5,000個のでんぷん粒がランダムに塗られている(図4.16)。

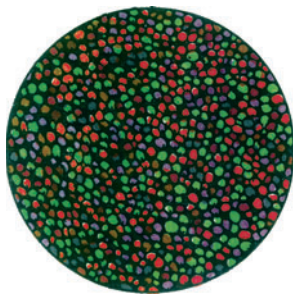


図4.16 フィルターに使われたジャガイモのデンプン³⁾

オートクロームカラー乾板は、まず、粘着性のある樹脂をガラス板の上に塗り、その上にR、G、B(赤、緑、紫青)三原色のでんぷんを塗る。更にてんぷん粒の隙間を埋めるため油煙(カーボン)を塗り、その上に白黒の感光剤を塗った構造である。撮影はガラス板側から光を当てて行う。でんぷん粒が微少なフィルターとして働き、それぞれの色に応じた光のみを透過させ、でんぷんフィルターの下で白黒乾板層を感光させる。つまり、フィルターに対応した光が入って来た

ときに白黒乾板層は感光して微少な黒い点を形成する。これを反転現象という操作で白黒を逆転し、透過光で見れば、画像を記録するときに透過した部分ではでんぷんのフィルターの色が見えることになり、カラー画像ができる(図4.17)。



図4.17 オートクローム乾板の製品元箱とスライド³⁾

4.13 コダックによる3層塗布方式の外式カラーフィルムの発売⁸⁾

アメリカの化学者レオポルド・ゴドウィスキーとレオポルド・マンズが20年以上の研究の歳月を要した末に、コダック研究所職員と3層塗布方式で外式反転現象を行うコダクロームを共同開発するに至った。映画フィルムとして1935年に、シートフィルムとして1938年に、ロールフィルムとして1942年に発売された。それまでは、光を3色分解して撮影し、それぞれの分解単色フィルムを貼りあわせてカラー写真を作成する方法が使われていたが、一つのフィルムで一回の撮影でカラー写真が作成できることになり、このフィルムの発明によりカラー写真の作成が非常に簡略化されることになった。とはいえ、外式タイプの反転カラーフィルムであり、現像時に浸透調節式現像法という非常に複雑な現像処理を必要とし、コダック社で精密にコントロールした現像のみでしかカラー写真が作れなかった。(外式カラーフィルム発明の経緯については第12.3章を参照)

4.14 アグファによる内式カラーネガフィルムの発売⁸⁾

アグファの有機化学者W.シュナイダーは耐拡散性基と親水性基を併せ持つ水可溶性カプラー、いわゆるアグファ型カプラーを1936年に完成した。このカプラーを用いることで、カプラーを各々赤、緑、青の感光層に固定し、一回の現像でカラー写真が得られるモノパック感材を作ることが出来るようになった。アグファはまず開発負担と市場準備の軽いカラー反転フィ

ルムの商品化を決定し、1936年にアグファカラーノイを発売した。コダックの外式コダカラー発売から1年後である。さらに、カラーネガ・ポジ方式の開発に取り組み、1939年には映画用カラーネガ・ポジフィルムの生産が開始された。ドイツ映画会社のウファは1939年から2年がかりでミュージカル風劇映画「ご婦人方は外交上手」を完成させている。ここに初めて、水溶性カプラーを内蔵し、処理を大幅に簡略化できる、飛躍的な革新技術の入った多層カラーネガフィルムが完成することになった。(内式カラーネガフィルム発明の経緯については第12.5章を参照)

4.15 コダックによるオイルプロテクト型カラーフィルムの発売

アグファの内式カラー写真では水溶性カプラーを直接感光乳剤に混ぜたが、コダックはカプラーを油状の液体に溶解し、さらにこれをゼラチン液に混ぜて乳化する新方式の内式カラーネガフィルムのコダカラーフィルムを1942年に発売した。これにより、近代カラーネガフィルムの基本骨格が確立されるに至った¹⁾。

*外式反転カラーフィルムについて

外式カラーフィルムとは、内式と違ってフィルム内にカプラーを含有せず、青、緑、赤に分光増感されたハロゲン化銀のみをゼラチン膜中に含有し、発色現像液に水溶性カプラーを添加することで、現像時にシアン、マゼンタ、イエローの各色を一色ずつ現像発色させるフィルムをいう。

レオポルド・ゴドウィスキーとレオポルド・マンズの開発した外式反転カラーフィルムの現像は浸透調節式現像法と呼ばれる非常に複雑な操作を要した。第一現像で露光部を白黒現像した後、赤感光層をシアン発色させるために、まず青、緑、赤の感光層全てをシアン発色現像液でシアン色に発色させる。次に、浸透漂白工程で上部に位置する青、緑の感光層を正確に漂白し、シアン発色を無色化すると共に現像された銀もハロゲン化銀に戻す。さらに、マゼンタ発色現像液で青、緑の感光層をマゼンタ色に発色させた後、青感光層を再度、漂白する。最後に、残った青感光層をイエ

ロー発色現像液でイエロー色に発色させる、という、複雑かつ現像時間や現像液の濃度を正確に管理しないと出来ない、力づくのカラーフィルムの現像法であった。

その後、選択現像法という非常に合理的かつ現像工程の簡略化された現像法が開発された。選択現像法の現像工程とは、まず撮影により感光した青、緑、赤のハロゲン化銀を第一現像液により白黒現像し(発色はさせない)、その後、フィルム中に残ったハロゲン化銀を赤、青、緑光の順に一色ずつ露光しては水溶性カプラーを添加した現像液で発色処理するという工程を3回繰り返すことによりカラー写真を得る方法である。

引用文献

- 1) 「A World History of Photography 写真の歴史」、ナオミ・ローゼンブラム、美術出版社(株)、1998年6月8日発行、「総天然色への一世紀」、石川英輔著、青土社、1997年8月25日発行 等
- 2) 「写真とともに百年」、小西六写真工業(株)編、1、昭和48年4月10日発行
- 3) フジフォトミュージアム展示品図録「写真初期・乾板からフィルムへ小型カメラ時代が始まった」、富士フィルムプレゼンテック(株)編、2-01、2009年9月第二版発行
- 4) フジフォトミュージアムにて展示物を撮影、2012年2月
- 5) 「総天然色への一世紀」、石川英輔、青土社、39(1997)
- 6) 「Ueber die Lichtempfindlichkeit des Bromsilbers für die sogenannten chemisch unwirksamen Farben」, H. Vogel, Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 6, 1302 (1873)
- 7) 「化学の原典4光化学」、谷忠昭、日本化学会編、学術出版センター、69(1986)
- 8) 「カラー銀塩感光材料の技術改革史 第2部発色現像(その1) 発色現像の発明と多層カラー感材の出現」、大石恭史、日本写真学会誌、71、184(2008)

5 | 欧米写真術の日本への伝搬

5.1 日本人による写真術の輸入と写真館の開設

1843年に長崎に渡来したオランダの東インド会社の船により、ダゲールの発明による写真術（ダゲレオタイプ）が輸入されたが、引き取り手がなく積み荷のまま持ち帰られてしまった。この時島津藩御用商人・上野俊之丞常足（上野彦馬の父）が立ち会い、簡単なメモではあったがカメラをスケッチし寸法を書き留めていた。

5年後の1848年にダゲレオタイプ写真術が再輸入され、上野俊之丞が引き取り、薩摩藩に献上された。

ついで二度目に輸入されたカメラも薩摩藩に送られ、初めは江戸藩邸で、後に鹿児島に移して写真術の研究が進められた。そして1857年9月17日に家臣である市来四郎により藩主島津斉彬公の銀板による肖像写真撮影に成功した。これが日本人による最初の写真撮影とされている（図5.1）。この成功には、市来四郎らの撮影チームに加え、原書からの翻訳を業務とする川本幸民、松木弘安らの貢献も大きかった。

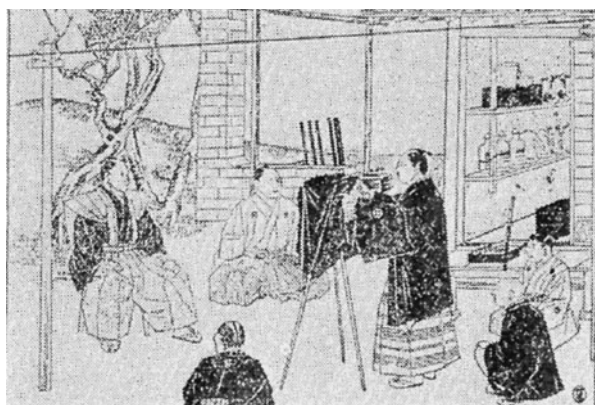


図5.1 島津斉彬公家臣を写すの図¹⁾

写真研究は薩摩藩ばかりでなく各藩や各地の蘭学者によって1850年頃から蘭書による研究として始まった。1853年には長崎に着任したファン・デル・ブルックから直接に写真術を教えてもらった。その後任のオランダの軍医ポンペ・ファン・メーデルフォルトの時代に入ると堀江鉄次郎、上野彦馬による自製器材での湿板写真の習得が行われるようになり、上野彦馬は1862年11月に長崎中島川畔に写真館を開設した。また横浜では下岡蓮杖（図5.2）が米領事館の通弁官H. C. J. ヒュースケンと米写真家ウンシンから湿板写

真を習い、1862年6月に横浜野毛に写真館を開設する等の動きが出てきた。



図5.2 下岡蓮杖²⁾

5.2 外国人による日本風景等の撮影

一方、日本を撮影した最古のダゲレオタイプ写真としては、ペリー艦隊に随行した写真家のエリファレット・ブラウン・ジュニアによる1854年の撮影が最初であるとされている。またその年に、プーチャン提督率いるロシア艦隊のディアナ号に乗り込んでいた海軍大尉アレクサンドル・フョードロビッチ・モジャイスキーも日本各地を撮影し始めた。

その後も、1880～90年頃の幕末から明治初期にかけては、従軍写真家により日本各地が多数撮影されている。日本での見聞を写真に収めた形にした写真アルバムを「横浜写真」と呼び、外国人の帰国時のみやげとして販売した。蒔絵を表紙にした豪華な装丁の写真帳（図5.3）で日光等の風景や神社仏閣、働く人や女性、幕末の風俗等多岐にわたっている（図5.4）。写真の多くは鶏卵紙写真プリントで、さらに絵師により彩色が薄く加えられていた。



図5.3 「横浜写真」アルバムの装丁²⁾



図 5.4 「横浜写真」アルバムより²⁾

5.3 日本における写真材料商店の勃興と自前の工業化

日本では、1871年に浅沼商会が東京日本橋に写真材料店を開業し、1873年には小西六兵衛商店が東京麹町に開店し写真材料を扱い始めた。創業時は感光材として湿版を輸入していたが、次いで乾板に移行した。カメラは主に英国製を輸入していた。

日本製の暗箱カメラは1881年の浅沼商会「暗函」に始まる。1889年には国産のアマチュア用カメラが登場した。有田商会が手札版のボックス・カメラを市販した。次いで浅沼商会・小西六兵衛商店をはじめ数社が市場に参入した。当時のカメラは木製蛇腹式の構造、レンズは1枚か2枚、シャッターはレンズキャップの開閉、というもので、素朴で簡単なものであった。

小西六兵衛商店は後に小西六写真工業に改組し、撮影機材と感光材料の本格的な生産販売に乗り出した。カメラについては1903年に手提暗箱「チェリー」を発売した。しかしながら構造・設計の殆どは海外製品の模倣であり、レンズやシャッターの主用部品は輸入品に頼っていた。ところが1914年に勃発した世界大戦により、海外からの機材・部品・薬品の輸入が困難になり、国産化が要望された。また、同時期には軍部から光学兵器の国産化の要請もあって、自前の写真工業（光学工業）を確立する気運が強まった。

一方、感光材料の開発についてみると、小西六店主の杉浦六右衛門はフランス人技師のジョルジュ・スズールと米独で研究を積んだ生田益雄という二人の技術者を雇い、1905年に淀橋に写真乳剤研究所を創設した。六右衛門は感光材料の製造は店とは別の事業体として発足させたいとかねてから考えており、この工場を「六桜社」と命名した。研究を重ね乾板の試作まで漕ぎつけて製造を開始したのだが思わぬ事故が続いた。黒い斑点が一带に出て何枚か重ねておくと密着する。原因の追及が1年以上も続いた。その頃、日本乾板(株)が設立され英人コマーケほか2名の技師が乾板製造にあたり、商品がまがりなりにも市場導入されたことにスズールはショックを覚えた。わめいたり、泣い

たり半狂乱の態であったが、1907年12月のある日構内から姿を消し結局フランスに帰国してしまった。

六桜社での乾板の開発は一旦頓挫したが、印画紙については研究が続行され国産化を達成していく。

5.3.1 さくら白金タイプ紙の発売

1903年に国産初の印画紙「さくら白金タイプ紙」を発売した(図5.5)。塩化白金酸カリウムとシュウ酸第二鉄の混合水溶液を感光剤とし、これを白金原紙と称する舶来の用紙に塗り、じゅうたんの上に広げるか、あるいは乾燥室に紐をはりわたしてこれにつるして乾燥させる。乾燥が終わると定められたサイズに裁断しブリキ缶につめて出荷する。この紙にネガ原板を密着して日光で1、2分焼くと、黄色の地に淡緑色のかすかな画像が出る。これをシュウ酸カリウムとリン酸カリウムの混合液に浸すと黑白鮮明な画像となり現われる。これを稀塩酸で定着水洗して乾燥する。「プラチナム ブラック」の濃淡以外には何の不純物も含まず、色調が高雅で永久に色が変わらない。非常に高級な印画紙であったが、ただ、湿気に弱く一カ月も持たず乾燥剤の挿入も必要だし、全紙1枚に白金を約0.4g使い価格が高い、等の弱点があった。



図 5.5 さくら白金タイプ紙の外箱図柄¹⁾

5.3.2 さくら POP (Printing-Out Paper) の発売

1904年12月に鶏卵紙に替わるPOP(焼きだし印画紙)を発売した。ゼラチン液中に大量の硝酸銀をいれ、これに少量の塩化銀と有機酸類を加えた写真乳剤をバライタ紙の光沢面に塗布した。大量製造のためにドイツのケーピッヒ社にコーティング・マシーンを注文し、幅1m、毎分5mの速度の塗布を行うことで六桜社は本格的な工場へと変革していった。その頃、国産品を和製と言っていたが、「和製安もの、舶来上等」という言葉が流布し販売に苦勞した。しかし、1904年の日露戦争のため舶来品の入手が困難な状況が起こり、この製品の性能も認められ始めたことから販売も伸びていった。ところが、翌年4月頃から、ムラ故障

が発生した。気温が上がったことにより乾燥中にゼラチン膜中の乳剤が一部流動してしまうことが分かった。そこで、冷却装置を直ぐに発注すると共に、それまでは10月から3月までしかPOPを製造しないこと等を決めてこれを凌いだりした。

5.4 湿板写真から乾板写真、ロールフィルム、カラーフィルムへの移行

英国などで工業生産された乾板（1871年発明）が市販されていたころ、日本ではまだ湿板写真が全盛時代であった。日本で最初に乾板を使用したのは上野彦馬であった。1881年の冬に、長崎停泊中のロシア艦隊士官から欧州製の乾板を譲り受け、試写したところ好結果をえた。彦馬の薦めにより感光材料卸商の浅沼商会が1883年に英国から初めて乾板を輸入した。横浜に着いた乾板を税関が無知のため開封してしまうようなミスもあったが、この頃から都市部を中心にようやく乾板が使われだした。

日本では大正期はもちろん昭和に入っても乾板のウェイトが高かった。ロールフィルム、後には35ミリフィルムを使うカメラも日本に輸入されてはきたが、これらはあくまでアマチュア用であり、感光材料消費の大半は依然として営業写真分野であり乾板であった。外国製乾板は品種が豊富でロールフィルムの比ではなく、ネガ原版での修正作業を含め暗室作業がやりやすい面もあった。重い、かさばる、危険等のマイナス面もあるが、それ以上に乾板は使い易かった。国産乾板の製造は1884年で浅沼商会から「東京乾板」が販売された。

日本のロールフィルムとしては、1928年に菊フィルムが発売され、次いで1929年に小西六がさくらフィルムの国産化に成功した。価格はベスト判8枚撮りが50銭、ブローニー判6枚撮りが55銭と記録され

ている。

一方、1919年に設立された大日本セルロイドはフィルムの国産化を計画し、コダック社からの技術導入を交渉したが不調に終り自力での開発に切替えた。1928年にフィルム試験所を設け1932年には映画用ポジ・フィルムの開発に成功し1936年にはロール・フィルムを発売した。1934年に同社は写真部門を切り離して富士写真フィルム(株)が誕生することになる。

コダック、デュボン、アグファの海外各社は1934年頃よりパトローネ入りの35mmフィルムを売出し、これが普及型の35mmカメラの流行に拍車をかけた。それ以前は各カメラに専用マガジンを備えており、長尺の35mmフィルムを切って自分でフィルムを装填するというステップが必要だったが、その手数が省けることになった。

1935年には遂にカラーフィルムが世の中に出現した。米国コダック社が先駆者であった。日本では6年ほど遅れて小西六が、その後さらに6年遅れて富士写真フィルムがカラーフィルムを発売した。小西六（六桜社製）の製品は35mm18枚撮りで10円かかり、その当時の大卒初任給が70円程度であったので、今日ならば2~3万円位にも相当する高価なものであった。そしてここから、国産カラーネガフィルムの開発、改良の歴史が始まることとなる。

引用文献

- 1) 「写真とともに百年」、小西六写真工業(株)編、5、昭和48年4月10日発行
- 2) フジフォトミュージアム展示品図録「写真初期・乾板からフィルムへ小型カメラ時代が始まった」、富士フィルムプレゼンテック(株)編、5-01、2009年9月第二版発行

6 | 欧米写真技術のキャッチアップと銀塩写真フィルムの国産化 (第一次世界大戦から第二次世界大戦まで)

6.1 小西六の銀塩写真フィルム国産化への歩み

6.1.1 合資会社の発足と大震災からの復興

第一次世界大戦を契機に急激な発展を遂げた日本経済は、終戦とともに一転して不況の時期を迎える。世の中は恐慌状態に陥り不況が進行していった。ドイツからのインフレによる安い価格のカメラが流れ込み六桜社製のカメラは売れ行きが止まってしまった。そんな中、新時代に対応しようと小西六兵衛商店は1921年合資会社に改組した。1923年には関東大震災に襲われ、商品も建物も多数失った。しかし、日本橋の小西六本店は店員を半減し、江戸時代からの和服を洋服と靴に改め、店内の雰囲気も一転させて頑張った。また、輸入品のガスライト紙（感光度が低く密着焼き付けだけに用いられた塩化銀乳剤を塗った印画紙）が市中で使われていたが、大震災で東京中の輸入在庫がなくなり、小西六本店はコダック社、イルフォード社、インペリアル社などからガスライト紙を輸入して拡販に努めた。

6.1.2 さくらフィルム製造の苦難

日本のロールフィルムとしては、1928年に旭日写真工業(株)が国産初の菊フィルムを発売した。一方、六桜社では長岡菊三郎が復帰し、感光乳剤の研究を1922年から始めていた。当初は乾板研究を対象としていたが、小西六本店が既に各社の乾板を販売していたため、やがてロールフィルムの研究へと移っていった。そして、菊フィルムよりも高品質の六桜社製さくらフィルムを1929年に開発することに成功した。発売当初のフィルム（127（ベスト判）/8枚撮り 50銭、120（ブローニー判）/6枚撮り 55銭）は、ブリキ容器に入れられ、六右衛門の書による「さくら」の文字が印刷された（図6.1）。

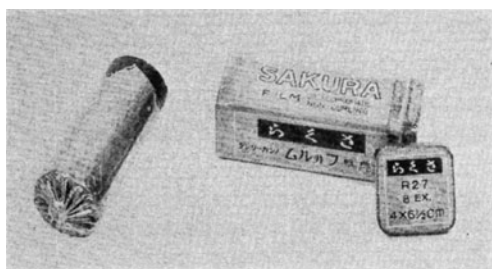


図6.1 さくらフィルム、ブリキ缶入り（1929年）¹⁾

しかし、1931年夏、フィルムにかぶりが発生するというクレームが殺到した。井戸水を分析し室内の塵対策も講じ乳剤も繰り返し水洗したが事故は収まらなかった。秋風が吹く頃には訳が分からぬまま嘘のように自然に止んでしまう。1932年は無事だったが、1933年には再び発生した。結局、原因は良好な原材料の継続的な入手難や設備の不具合などにあったが、一時は12~13万本という2カ月以上の生産量に匹敵する在庫がたまる等の苦労があった。この頃、フィルムや印画紙は六桜社の感光材料部で製造されていて、フィルム製造部門は準備、仕込、乾燥、包装に分かれており、作業員の数は50名前後で月間生産量は約1万1,000m²であった。そして1933年からの六桜社の第二次整備計画によりフィルムベース幅が55cmから110cmに広げられ増産対応のために3交代制になった。

1933年の事故を最後にさくらフィルムの品質は安定し生産も増加し、原料のゼラチンの輸入量も増えていった。そこで六桜社は1934年に設立された（合）野洲写真化学工業所（現野洲化学工業(株)）と共同研究を始め、翌年夏には六桜社のゼラチン需要の一部をまかなえるようにした。一方、乳剤の重要原料である硝酸銀については、早くから自給体制を整え、1928年には640kgだった硝酸銀の年間生産量は1937年には4,800kgにまで増加した。

6.1.3 株式会社への衣替えと日野分工場の創立

1931年の満州事変がきっかけとなり、翌年には満州国の建国が宣言された。その翌年、日本は国際連盟を脱退し1937年には日中戦争が勃発する。国内では軍事用の注文が増える一方、1940年には第12回オリンピック東京大会が開かれることになり、この和戦両面に展開される需要にあたるために、1937年に資金確保や運営面で有利な(株)小西六へと衣替えした。しかしその後、日中戦争に突入し、心ならずも軍需工場としての道をたどることとなる。

その頃、満州や上海戦線でのさくらフィルムの使用結果が良く、陸海軍当局は1931年頃から航空フィルムの試作注文を出すようになり、小西六はわが国唯一の軍用フィルム工場となった。当時、デュボン社のフィルムベースを輸入していたが、軍当局はベースからフィルムまでの一貫生産を強く要望し、さくら航空フィルムの育成に力を入れ始めた。この状況の中、六

桜社の敷地は次第に手狭になり、郊外に分工場の建設を決めた。八王子、日野、立川、橋本などの関東山麓一帯から茨城県、埼玉県まで調査対象を広げ、日野台の雑木林が工場用地に決定した。1935年に登記し、日野分工場としてベース製造関係の建設工事が1938年に完了した。

6.1.4 さくら天然色フィルムの発売

1935年にコダック社が外式発色現像方式の多層カラー反転フィルム コダクロームを発売したことを契機に、この方式の調査、研究が技師西村龍介のもとで進められた。乳剤製造、多層塗布技術、感光色素、カプラー、現像剤などの総合的な研究の成果として、1940年に小西六はさくら天然色フィルムを完成した¹⁾(図6.2)。コダックのコダクローム、アグファのカラーフィルム ノイについて、世界で3番目のカラーフィルムの開発であった。日本でこそ最大手でも世界の写真市場では地味な存在にすぎなかった小西六というメーカーがいきなり3番目にカラーフィルムを発表、発売することは驚くべきことであった。



図6.2 さくら天然色フィルム (1941年)

研究はコダクロームを参考にすることから始まった。薄く切って顕微鏡で観察し基本構造を調べた後、赤いバラを何回も撮ってみて、いかにすればきれいに色が出るか日野工場仲間と寝泊りしながら試行錯誤を繰り返した²⁾。

また、コダックには浸透調節式現像法という特許があり、これを回避するためかなりの苦心を払った。この浸透調節式現像法とは、白黒現像後の発色現像をする際に、まず3つの感光層を全てシアン発色に現像し、そのあと青感光層と緑感光層を酸化剤とハロゲンで処理することにより消色し、かつ現像銀をハロゲン化銀に戻す。この時、厳密に時間と調節剤を規定することで、上の2つの感光層のみを酸化させる。その後、上の2つの感光層をマゼンタ発色現像し、次いで最上層の青感光層のみを同じく酸化処理して消色し、

ハロゲン化銀にも戻し、最後に最上層をイエロー発色現像させる方法である。

これに対して、小西六はカラーネガフィルムの3つの感色性を利用し、カラー現像の大幅な時間短縮と工程削減を実現した。白黒現像後にまず上部から青色露光しイエロー発色現像する。次に背面から赤色露光しシアン発色現像を行う。その後、白光にて緑感光層に潜像を作りマゼンタ発色現像を行うという酸化剤による漂白を使わない現像法を開発し、選択露光式現像法として発表、発売した。外式カラー現像と浸透調節法による酸化処理が必要であったコダックの複雑な現像工程が簡略化された。「このような単純な方法ではコダック社からクレームがあってもおかしくなさそうだが、それがなかったというところを見ると、それだけ工業力の差が大きくて、当時我々は彼らの目にもとまらぬ存在であったということかもしれない。…しかし、その後コダクロームを新型に改良したと称して、現像法を浸透調節式から選択露光式に改めたと思われる節が多分にある。偶然な一致である。」との西村の述懐がある³⁾。まさに、世界のコダックと競争して小西六は独自の新しい技術を開発したのである。

さくら天然色フィルムは太平洋戦争中の1944年12月まで生産され、総生産量は約7,500m²(35mm18枚撮り換算で約20万本)に達した。

6.1.5 小西六写真工業(株)の発足と満州映画協会

1943年4月1日に(株)小西六は小西六写真工業(株)に社名変更した。同時に六桜社を淀橋工場、六桜社日野分工場を日野工場と改めた。また、小売業務が廃止され、ひたすら軍需生産に邁進することとなった。そして、1944年1月には軍需会社に第一次指定された。

1944年秋、満州映画協会(略称満映、理事長甘粕正彦)から、さくら天然色フィルムを使用して満州国の宣撫映画を作りたいという話がきた。検討の結果スライド作成とはなるが、1945年2月にその指導のために3名の技術者が満州に渡った。しかし、8月の太平洋戦争の終結と共に中国共産党に接収され東北電影公司(映画会社)となった。3名は、戦後の混乱期に映画用ポジフィルムの製造やニュース映画の製作に従事し、今日の中国映画産業の基礎作りに貢献した。フー・チャン、クー・チュアン共著の「満州 国策映画の諸相」には「日本の映画人が人民映画に参加した日々と、彼らが新中国の映画事業に尽くした努力を、中国の映画人は永遠に忘れない」と記されている。3名が無事帰国したのは1953年であった。

6.1.6 太平洋戦争の終結と軍需生産の終焉

1944年6月のマリアナ沖海戦での敗北以降、米機の日本本土空襲が本格化した。1945年5月の大空襲で小西六の淀橋工場、総合研究所等が被害を受け、九州出張所や大阪支店も全焼した。そして1945年8月15日に終戦を迎えた。8月25日に軍需会社などの指定取り消しが告示され、進駐した連合軍が会社の存続を許すかどうか誰にも分からない時を迎えた。

6.2 オリエンタル写真工業(株)によるカラーネガフィルムの開発⁴⁾

オリエンタル写真工業(株)では戦前、カラー写真の研究を総合写真化学研究所で行っており、3層式天然色写真についてはほぼ研究が完成し、陸軍の要請により2層式の研究を始めていた。しかし、戦後公開されたアグファ社の技術をベースにネガカラーフィルムの研究に着手した。そして、1951年には同方式のカラーリバーサルフィルム(ASA感度12)の発表を行った。

1952年に研究が認められ、通商産業大臣より700万円の研究交付金を受け、1953年には戦争で破壊された第一工場の天然色部門の復旧工事が完了した。そして、同年3月にネガ・ポジ式カラーシステムの研究が完成し、4月にネガカラーフィルム オリカラー(ASA感度12)及びカラーペーパー オリカラーペーパーを発売した。このオリカラーが国産初のカラーネガフィルムである。



図6.3 オリカラーフィルム(1953年)⁴⁾

その後、1959年にはオリカラーニュータイプ(ASA感度50)が発売された。さらに、1965年に箱のデザインをブルー基調に一新したオリカラーN100(ASA感度100)が発売された。しかし、色再現性やカラーバランスに欠点が多く、生産技術上も1層ずつの塗布と極めて非効率であり、ゴミ、スタチック等により収率も悪かった。そのため、1967年に全面的に製造販売を中止することになった。

6.3 富士写真フィルム(株)の誕生と銀塩写真フィルム国産化への挑戦

第一次世界大戦後、1919年に誕生した大日本セルロイド(株)の社長森田(図6.4)はセルロイドの新しい需要先として、写真フィルム、映画用フィルムの将来性に着目し、その国産化が社会的責務であるとして、フィルムベースの研究から着手した。全くの未開発分野であり、米国コダック社との提携を求めたが拒否され、自力の開発を決意して1928年にフィルム試験所を創設し、工業化のための製造研究に進んだ。幾多の問題山積に悪戦苦闘しながらも、東洋乾板(株)と提携し、1930年には写真乳剤研究をフィルム試験所に移して本格的な研究を進め、1932年には映画用ポジフィルムの試作に成功した(図6.5)。



図6.4 森田茂吉⁵⁾ 図6.5 三井本館における商品展示説明会⁵⁾

1932年には大量の良質の水と綺麗な空気が豊かな工場適地を求めて、神奈川県西部の箱根外輪山麓に位置する南足柄村(現南足柄市)に決定した。そして、10万m²の用地を確保し、1933年にはフィルムベース工場、フィルム工場、乾板工場、印画紙工場を主とする一大工場群を完成した。

足柄工場の建設と並行して、大日本セルロイドは写真フィルム国産化事業の困難さを訴求し、政府に助成措置を申請し、商工省より120万円の交付を取り付けた。1934年に写真フィルム事業を独立させ、資本金300万円の新会社 富士写真フィルム(株)を誕生させた。ここに映画用フィルムなど写真フィルムをフィルムベースから乾板、印画紙までの製造を行う総合写真感光材料メーカーがスタートした。

しかし、新会社発足直後、外国製品の値下げや映画界の国産フィルムボイコット声明により大打撃を受ける。1934年にフジ陽画用フィルムが商工省係官の第一回規格検査を受け出荷開始したが、不買運動や品質上の問題から販売が難航した。そこで、ドイツ人技師のマウエルホフ博士を招聘して写真乳剤の改良に努めるが、創立以来4期連続の大幅赤字で存亡の危機に立たされる。浅野社長は「自分は、この写真フィルム

工業を生涯の事業として、あくまでやり抜く決意であるから、志を同じくする人は、自分と運命をともにされたい」と悲壮な決意を披歴した。その中で品質第一主義を貫き、全社一丸となって改良に取り組んだ結果、1936年に新しいフィルムベースによる映画用ポジフィルムを完成する。さらに映画用ネガフィルム、ロールフィルム、X-レイフィルムなど相次いで市場に送り出すことで業績は一挙に好転し、1937年には累積赤字を一掃して初の配当を実施するとともに資本金を1,000万円に増資した。

1937年には日中戦争が勃発し、戦時体制に移行すると経済統制が実施され写真感光材料の輸入が大幅に制限された。そのため、国内メーカーの市場が拡大したが、戦争が長引くに従い写真需要は停滞する。

写真感光材料の原材料は、高品質のものが要求され企業秘密に属する部分が多く自家製造するのが理想であり、戦時体制移行のため海外調達も困難になってきたため、1938年に原材料薬品製造用に小田原工場を建設した。また、川上工場（ゼラチン工場）、今泉工場（パライタ紙用原紙工場）を建設し、自給化を進めた。1936年ドイツ人エミール・ウィンケン技師を招きパライタ紙の製造研究を進めた。しかし、日中戦争の長期化に伴い、パライタ紙用原紙の生産は出来なくなり、今泉工場は地図用紙等の製造に当たるようになった。

写真化学の分野においては、世界の有力メーカーは独自の研究所を設け研究開発に凌ぎを削っていた。そこで1939年に足柄工場の北側の農地を買収し、ここに研究所を設立し、写真乳剤、天然色写真、フィルムベース、合成薬品の研究等に取り組んだ。天然色写真の研究では、モザイクスクリーン方式（図6.6）と、多層発色現像方式の研究を進めた。そして、バイパック乾板（図6.7）、転染式カラー印画法（図6.8）などを試作し、来るべきカラー写真時代の基礎を築いた。

1941年に太平洋戦争に突入すると、民需生産は低下するが、軍需が激増し増産に追われた。このため、1943年には資本金を2,500万円に増資し、工場の拡張工事に着手した。しかし、資材不足と度重なる空襲で小田原工場等被災し、軍の要請で満州への移設を計画するものの、1945年のソ連の参戦により計画中止を余儀なくされるなか、8月15日に終戦を迎え、全工場の操業を停止した。



図 6.6 モザイクスクリーン方式⁵⁾ (1939年)



図 6.7 バイパック乾板方式⁵⁾ (1941年)



図 6.8 転染印画法⁵⁾ (1941年)

引用文献

- 1) 「写真とともに百年」、小西六写真工業(株)編、378、昭和48年4月10日発行
- 2) 「ひっそり咲かせたバラの赤」、西村竜介、日本経済新聞1986年5月15日
- 3) 「多層式天然色フィルム <主として発色現像について> (I)」、西村竜介、写真科学十月号 特集*天然色写真、23 (1944年)
- 4) 「オリエンタル写真工業株式会社70年史」、オリエンタル(株)編、44、1989年9月22日発行
- 5) 「富士フィルム50年のあゆみ」、富士写真フィルム(株)編、3、昭和59年10月20日発行

7 | 第二次世界大戦から 1960 年代までの日本の写真感光材料産業の発展

7.1 第二次世界大戦後の復興

第二次世界大戦の終結を迎え、フジフィルムは 1945 年 9 月には全従業員を解雇せざるを得なくなったが、その後占領軍当局の映画用フィルム生産再開という指示を受け再び活動を開始することとなる。

敗戦直後の苦しい生活の中で、民衆は娯楽としてわずかに映画とラジオを求めていた。戦時中の映画に対する軍部統制は撤廃され、GHQ は戦後の映画製作方針を打ち出して占領目的達成のための一つの有力手段として映画活用を考えた。10 月早々に GHQ は戦後の人心安定化方策の一環として映画用フィルム生産再開の仮許可書を出した。1945 年 10 月 1 日に事業再開の日を迎えた富士写真フィルム社長の春木は再出発にかける決意を述べ従業員への協力を求めた。

「占領下において、自由を失い、状況判断の資料を欠いているわれわれとしては、会社が今後どうなるか、確たる見極めはつかない。しかし、あくまで写真工業を継続したいと念じ、規模を縮小して、操業を再開することにした。…(中略) しかし、正式な許可を得ているのではないから、あるいは最悪の事態に陥って、早く会社を去った人のほうが、今日再採用となった人よりも、幸せだったという結果にならないともかぎらない。しかし、原料から写真フィルムを製造して、国内の需要をまかない、外国品を駆逐することは、当社創業の精神であり、使命である。前途まことに困難で、かつ、不安もあるが、どうか、創業時代に傾けたあの情熱と努力を、再びこの事業に注いでいただきたい。」

一方、小西六も、1945 年 10 月に本社として東京営業所を設置し、大阪、名古屋、福岡等の営業所も活動を再開した。戦後激増した結核の撲滅のために、GHQ の指示でレントゲンフィルムの増産要請が出され、その生産を確保するために、一時はロールフィルムの製造禁止令まで出されたが、緩和を粘り強く陳情することで、禁止令は解除され、ロールフィルムも市場に出回るようになってきた。

終戦とともに、研究活動も一時中断したが、事業の再開に伴って研究活動を再開した。スタートに当たっては、まず海外のトップメーカーの技術水準にいか

追いつくかということが最も大きな課題であった。そのためにも、各種の海外技術情報の入手に努めてきたが、ドイツのアグファ社の技術が連合軍の占領調査報告 PB レポートとして公開され、国内各社の戦後の研究の再出発に大きな影響を与えた。

7.2 写真需要の回復

終戦によって再び平和が訪れはしたものの人びとは日々の生活に追われ写真どころではなかった。しかし、1946~47 年頃になると徐々に営業写真館は戦災で焼失したスタジオの再建に乗り出し、写真材料店も次第に店舗を整備して営業活動を再開し始めた。ただ、戦後の原料費の著しい高騰などインフレの影響を受け製造コストが大幅に高くなっていった。このため、数次にわたって公定価格の改訂が行われ、ロールフィルムブローニー判 (6cm × 6cm サイズで 12 枚撮) 1 本の小売価格は終戦時 2 円 41 銭であったものが 1948 年 7 月末には 138 円となった。

1949 年頃から一般用ロールフィルムの供給不足も次第に緩和され、同年秋には、一般市場への供給量も増加してきた。敗戦後の窮乏の中で食糧の確保に追われていた人びとの生活も、このころからようやく安定を取り戻しつつあり、人びとの間にも写真需要が起りかけてきた。そして、1950 年には公定価格制度は廃止されるに至った。

同 1950 年 6 月、朝鮮動乱がほっ発し情勢が大きく変わった。特需の増大によって、鋳工業生産は増加し、日本経済は不況から抜け出し、戦後の混乱期にようやく終止符を打つことができた。ちょうどそのころ、朝鮮動乱の報道でわが国のカメラの優秀性が認められたこともあって、アマチュア写真熱も次第に広がっていった。

その頃、小西六は生産設備の拡充を行い 1950 年代の初めにはベースの製造を、並行生産していたダイアセテート (DAC) ベースを中止してトリアセテート (TAC: 三酢酸セルロース) ベース一本に切替えた。また、新しい乳剤工場も建設し、感光材料の製造を拡大していった。当時の小西六のフィルムの生産量は以下のように増加している。

表 7.1 第二次世界大戦後の小西六のフィルム生産量¹⁾

年	フィルム (千 m ²)
1951 年	739
1952 年	883
1953 年	1007
1954 年	1269
1955 年	1724

7.3 乾板からカットフィルムへの移行

乾板はガラス板に写真感光乳剤を塗布したもので、その性質上、破損事故の懸念や保管スペース・携帯性など、取り扱い上の問題があった。これをカットフィルムに切り換えると、ユーザーにとっては取り扱い上の問題が解消され、また修整作業もしやすく現像も容易であり、製造メーカーにとっても均一な製品を大量に生産できるメリットがあった。戦後間もないころで、乾板用の良質なガラスの入手が困難であったこともあった。カットフィルムの商品化に際しては、特に湿度が高い場合の平面性の保持を配慮し、フィルムベースの厚みを厚くし、フィルムの写真乳剤側の反対側にカーリング防止層を塗布するなどの対策をとり、また、カットフィルムを装てんする専用シースを同時に発売してユーザーの便宜を図った。

営業写真用として、フジフィルムは 1946 年 10 月パンクロタイプ富士ポートレートカットフィルムを発売した。その後 1951 年 5 月に富士ポートレートパンクロマチック SS カットフィルム (感度 ASA100) を発売し、1958 年にはフィルムベースを不燃性の TAC ベースに切り換えた。翌 1959 年にはカットフィルムの名称をシートフィルムと改め、さらに翌 1960 年 5 月にはネオパン SSS シートフィルム (感度 ASA200) を発売した。小西六も、1949 年 3 月にさくらカットフィルム・ポートレートパンクロを発売し、さらに 1959 年にはさくらカットフィルム コニパン SS を発売した。

7.4 35mm 判フィルムの需要拡大とパトローネ入り製品への切り換え

戦後、画面サイズが 6cm × 6cm 判のロールフィルムを使用するカメラを中心にカメラ需要が伸長しカメラブームが訪れたが、1950 年代に入ると 35mm カメラが徐々に増えはじめた。1950 年代半ばに至って、カメラメーカー各社は、相次いで廉価な普及型のレン

ズシャッター付 35mm カメラを発売した。このカメラは小型軽量で携帯に便利であり、またこのカメラに使用する 35mm 判フィルムは 1 本当たり撮影できる枚数が多いなどの長所が一般に認められ、35mm カメラの生産数量は 1956 年にロールフィルムを使用する 6cm × 6cm 判のカメラの生産数量を上回った。これに伴い 35mm 判フィルムの使用量も増加し、フィルムの出荷量でも 1960 年には 35mm 判フィルムがロールフィルムをしのぐようになった。

35mm 判黑白フィルムの包装形式は、暗室装てん用とパトローネ入りの 2 種類があった。フィルムに遮光紙をかぶせて缶に入れてある長巻の暗室装てん用フィルムは、カメラにフィルムを装てんする場合、暗室で缶の中のフィルムをパトローネかマガジンに詰め替える作業を必要とする。この暗室装てん用フィルムは、パトローネ入りのフィルムと比較して販売価格が割安で、写真材料販売店では暗室装てん用フィルムをパトローネに詰め替えて販売するようになり、このことが 35mm 判フィルムの需要を増加させる一つの要因ともなった。このため、35mm 判フィルムでは暗室装てん用フィルムのウェイトが圧倒的に高くなっていった。

ところが、このパトローネに詰め替える作業は、作業中にフィルムに傷がついたり、思わぬ故障が発生したりして製品の品質に対する信頼度が失われる恐れもあり、信用を守るうえからもゆるがせにできない問題であった。

このような情勢を検討した結果、新聞社やプロ写真家向けなど専門家用の 30.5m 巻きフィルムを除き、35mm 判フィルムをすべてパトローネ入りとすることとした。標準販売価格は従来の暗室装てん用フィルムの価格に近い価格に設定し、実質的に大幅な値下げを断行しこの切り換えを円滑に進めた。

7.5 フジフィルムの発展

7.5.1 1950 年代の商品化研究

1950 年代における写真感光材料商品の開発面における成果は高感度白黒フィルムの開発とカラーフィルムの商品化であった。

高感度フィルムの開発については、PB レポートにある金増感 (金の化合物を用いて、写真乳剤の感度を増加させる技術) の研究を進めて安定した増感方法を確立し、1952 年 4 月にネオパン SS で実用化することができた。金増感法が発明されたのは 1936 年であり、アグファ社の R. コスロフスキーにより高感度微粒子乳剤の製造に有効な増感法として発明された²⁾。フジ

フィルムの金増感の実用化は世界的にみると金増感の発見から16年遅れたことになる。

一方、カラーフィルムについては戦時中から研究を続けていたが、戦後、外式カラーフィルムを完成し、次いで内式カラーフィルムの開発に取り組んだ。内式カラーフィルムにはカプラーが水溶性でそのまま乳剤に添加できる型（アグファ型ともいわれる）と、カプラーを油に溶解しそのカプラー含有の油を細い油滴として安定した型にして乳剤に添加する型、すなわちオイルプロテクト型（コダック型ともいわれる）とがあった。オイルプロテクト型はカプラーと写真乳剤中のハロゲン化銀粒子が直接に接触することがないので、生フィルムのもちがよいといわれていた。

しかし、当初からオイルプロテクト型の開発に取り組むのは困難であり、それに対し水溶性カプラーを使用する方式は、PBレポートでその内容がほぼ明らかにされていたので、まず水溶性カプラーを採用する方針で研究を開始した。そして、この水溶性カプラーを使用して、1955年に映画用内式カラーネガフィルムの最初の製品を商品化し、次いで1958年10月に一般用カラーネガフィルム・カラーペーパーを商品化した。

7.5.2 生産技術研究の進展

PBレポートをはじめとして海外の技術資料から多くの示唆を得ながら生産技術の研究にも取り組んだ。写真乳剤の塗布技術においては、新しい界面活性剤を用いて、フィルムベースに乳剤層と保護膜層を同時に重層塗布する技術を検討し、高速連続塗布の技術を確立した。これによって、高感度フィルムの写真乳剤層に保護膜を安定して塗設し、すり傷や静電気の発生による製造工程上の故障を減少させた。

塗布方式においても、従来のディップコート方式（フィルムベースまたはバライタ紙を写真乳剤液に軽く浸して塗布する方法）に代わる新しい塗布方式として、エアーナイフコート方式（塗布後、余分な乳剤に空気を吹き付けてかき落としてしまう方式）の研究に取り組み、実用化に成功した。

写真乳剤の製造技術面では、フィルムの鮮鋭度向上のために乳剤の高銀化（ハロゲン化銀量に対してゼラチン量を少なくすること）として、写真乳剤から水分をできるだけ取り除く脱水法の研究を進め、その技術を実用化した。

7.5.3 加工技術の進歩

フィルムの生産には、広幅塗布後、必要なサイズへ

の裁断が必要である。ロールフィルムの場合には、これを遮光紙とともにスプールに巻き込み、巻き込まれたフィルムを包装紙に包み、商品名を印刷した小箱に入れて封をする。これらの工程の大半は、暗室内の作業であり加工工程と称する。

戦前から最も苦心したのが映画用フィルムの加工であり、フィルムを裁断する裁断機やせん孔機の精度不良によって画面に揺れが出たり、裁断時に出てくるゴミ故障が発生したりした。戦後フィルムベースの不燃化時にもフィルムベースの組成変更に伴い裁断機やせん孔機の切れ味不良という問題に直面したが、新しい合金材料を使用することによって解決した。

ロールフィルムの分野ではフィルムと遮光紙との接着故障に悩まされたが、これは夏期の高湿多湿に起因するものであった。戦後の高分子化学の進歩によって防湿包装技術が格段に進歩したため、この技術進歩を包装技術の改善に活用した。そのため1950年代に入ると遮光紙の技術進歩が著しく、東南アジア方面のような高温多湿地帯に輸出しても遮光紙の防湿不良による接着故障は全く発生せず信頼性を高めることができた。

7.5.4 1960年代の一般用カラーネガフィルムの開発

1958年に発売したフジカラーネガフィルムは20枚撮1種類だけであったが、1960年4月に新たに12枚撮を発売した。しかし、その感度はASA32と黑白フィルムの標準とされたネオパンSS（ASA100）に比べてはるかに低く、感度の向上を求める声が強かった。そこでカラーネガフィルムの感度向上を目指し、1961年10月にN50（ASA50）を発売した。

2年後の1963年10月には色補正を自動的に行う機能をもつフジカラーN64 35mm判フィルム（12枚撮および20枚撮）を発売し、12月にはブローニー判フィルム（6cm×6cm 6枚撮）を発売した。このフィルムは、従来のカラーネガフィルム（図7.1）と異なり、オレンジ色をしているマスク付きフィルム（図7.2）であった。第一章で説明したようにカラードカプラーとは現像後カラーネガフィルムに含まれているマゼンタ色素とシアン色素の色の濁りを補正する役割を果たす。



図 7.1 従来のカラーネガフィルム（現像後）³⁾



図 7.2 マスク付きカラーネガフィルム（現像後）³⁾

ついで、1965年8月にはフジカラーN100 35mm判フィルムを全国一斉に発売し、12月にはブローニー判フィルムも発売した。N64で開発したカラードカプラーを採用したうえに、感度もネオパンSSと同じASA100でユーザーに使いやすく、また粒状性を細かくして、人の肌・洋服の生地などを自然に描写できるような改善が為された。

このころになると、カラーフィルムを現像する現像所（現像所のことを略して「ラボ」という）も順次増加し全国的なカラーラボ網が整備され、どこでもカラーネガフィルムの現像とカラープリントの製作ができる体制が整ってきた。そこで、ユーザーがカラーフィルムを購入しやすくするために、カラーフィルムの販売価格をフィルム価格と現像料とに分け、現像料は現像所ごとに定めて利用者が現像する際に支払うこととした。現像料を分離した後のN100の標準小売価格は、35mm判12枚撮290円、同20枚撮420円、ブローニー判（6cm×6cm 6枚撮）330円であった。

前年に開催された東京オリンピックを機に、アマチュア写真家の間にカラー写真への関心が高まり、1960年代の半ばには35mm判一般用フィルムの全販売量に占めるカラーフィルムの割合は約10%前後にまで達し、1960年代後半にはカラーフィルムの使用比率が急速に増加していった。

7.5.5 コダック社開発のオイルプロテクト型への移行

当時、世界各国のカラーフィルム市場でコダック社の製品が圧倒的に高いシェアを占め、各国の現像所でもコダック製品の現像処方で現像作業が行われている実態があり、日本から世界市場へ参入するためには、カラーフィルムもカラーペーパーもコダック社製品と同一現像処理ラインに乗る製品を開発することが不可欠の課題であった。

コダック社のカラー感光材料にはオイルプロテクト型のカプラーが使用されていたが、日本製の内式カ

ラー感光材料に使用していたカプラーは水溶性のカプラーであった。オイルプロテクト型カプラーを使用したカラーフィルムと水溶性カプラーを使用したカラーフィルムとは現像処理方式が異なり、またオイルプロテクト型カプラーを使用したカラーフィルムは生フィルムの保存性や現像後の画像耐久性などが優れていた。

このため、フジフィルムは1966年4月に発売のカラー反転フィルムニュータイプフジカラーR100でオイルプロテクト型カプラーを使用した。その後、1969年3月にカラーペーパー、1971年4月にカラーネガフィルムニュータイプフジカラーN100とオイルプロテクト型カプラーを使用した新製品を順次市場に導入した。小西六もナウカラーという愛称をつけたオイルプロテクト型のさくらカラーN-100を1971年に発売したが、日本企業の開発はコダックが1942年に開発したカラーネガフィルムコダカラーから約30年遅れての市場導入となった。しかし、このオイルプロテクト型カプラーの使用によりワールドタイプとなり、世界各国への輸出の道が開かれることとなった。

7.5.6 営業写真用カラーネガフィルムの開発

フジフィルムの営業写真市場への展開は1963年6月フジカラーN50シートフィルムを発売したことから始まる。同年12月には一般用でN64を発売したのと同時にフジカラーN64シートフィルムを発売した。婚礼写真でもカラー写真が撮られ始めてきたころであり、この分野の商品開発にも力を注ぎ、1965年12月には感度ASA80デーライトタイプのニュータイプフジカラーネガティブフィルムを市場導入した。1966年9月にはタングステン光源適性をもつ感度ASA32のフジカラーネガティブフィルム/タイプL（LはLong Exposure、長時間露光の略）を商品化した。タイプLは写真館にセットされた電球照明を被写体に当てて撮影するタイプの感材で、目で見ながら撮影用の照明をコントロール出来るという特徴を持つ。但し、撮影の瞬間の光量が少ないために、数十分の一秒から数秒のシャッタースピードという比較的長時間の露光時間が必要であり、被写体が動くとき画像がブレる等の欠点を有する。また、色温度の低いタングステン光源において忠実な色再現が出来るように、フィルムの青、緑、赤の感度バランスを調整する等の感材の性能変更も必要である。一方、従来のデーライトタイプもタイプS（SはShort Exposure、短時間露光の略）と改称された。タイプSはストロボ撮影用の感材という意味であり、タングステン光源のような大げさな

照明設備を必要としないものの、撮影者はストロボ発光時にどのように被写体に光が当たっているかを洞察する経験と技術を必要とし、また感材設計においても数百分の一秒から数万分の一秒で露光するためのハロゲン化銀の性能改良が必要であった。しかしこれらの開発により、撮影条件に従ってタイプSとタイプLを使い分けすることによって、カラーバランスの合った高品質のカラー写真が得られるようになった。フィルムベースも従来のTACベースからPETベースに改めカーリングの減少が図られた。

7.5.7 PETベースの開発

戦後、石炭から石油への化学工業の原料転換に伴って、新しい繊維用化学素材が次々と生み出された。それらの中にはフィルムベースとして優れた特性をもつものも少なくなく、世界の写真感光材料メーカーの間で新素材によるフィルムベースの開発が進められていた。

フジフィルムでも、フィルムベースの不燃化を目指したTACベースの開発に一応の目途がついた1952年ごろから、寸度安定性や強度など諸特性のより優れたフィルムベースを開発すべく、次世代のフィルムベース素材の研究に着手した。そして、ポリ塩化ビニール、ポリスチレン、ポリカーボネート、そしてポリエチレンテレフタレート（略してPET）と新素材の出現ごとにフィルムベース素材としての可否を検討していった。

ポリ塩化ビニールはコスト的には最も割安だったが連続製造技術に難点があり、品質的にも耐熱性が劣り結局使用を見送った。

電気絶縁性に優れ初期の高分子工業の花形であったポリスチレンは、透明で二軸延伸（長さ方向と幅方向とに高温で延伸すること）によって強い透明なフィルムが得られるため、フィルムベースの検討対象となった。最大の特長は湿度によって寸度の変化がないことで、製版用フィルムの無伸縮ベースとしては好適であった。しかし、85℃以上で急に軟らかくなる性質があり、耐熱性の点で不十分であった。

ポリカーボネートは1956年バイエル社が合成に成功したプラスチック材料の一種であり、強度・透明性・耐衝撃性・耐熱性・電気絶縁性も十分であり、しかも現用のベースであるTACベースと全く同じ装置で製膜できる点も極めて有利であった。そこで、その合成法の研究を進めるとともに、反応溶液から直接ポリカーボネートベースとする合成・製膜一貫製造法の開発に取り組んだ。

一方、並行してPETベースの研究も推進しており、フィルムベースとしていずれを選択するかが重要な問題となった。最も大きな観点はプラスチックとしての将来性を見通しであるが、大量生産によるコストダウンは需要規模の大きい繊維工業用素材となるかどうか依存していた。その点、ポリカーボネートは繊維用素材としては特に優れた特長をもたず、PETは風合い、強さなどの特徴から繊維素材として大きな需要が見込まれ量産される機運がありPETが選択された。

PETはイギリスのICI社が工業化に成功した熱可塑性プラスチックで、1957年2月に東洋レーヨン株式会社（現東レ株式会社）、帝国人造絹糸株式会社（現帝人株式会社）の2社とICI社との間で技術提携契約が結ばれ国産化の道が開かれた。

PETベースを使用するフィルムの試作研究には当初デュボン社やICI社のベースを購入して開始したが、東洋レーヨンがPET生産を開始したので同社のルミラー（PETフィルムの商品名）も購入して試作を続けた。ベースのせん孔やテープ接合などの加工技術も完成し試作研究の見通しも立ち、東洋レーヨンからサブライセンスを受けPETベースを自社生産する方針で1961年3月に契約を締結した。デュボン社に続いて1960年にコダック社でもリスフィルムのPETベース品の出荷が開始され、また1966年秋デュボン社がX-レイフィルムのベースにPETを使用しはじめコダック社もこれに追随するといったことからPETベースの開発に拍車がかかった。

7.5.8 映画用カラーネガフィルムの開発

映画館数は1950年にはほぼ戦前の水準を回復し、その後も増加を続け1958年には7,000館を超えた。この年には映画製作本数も500本を数え、年間映画観客数も11億2,700万人とピークに達した。これは国民1人当たり毎月ほぼ1回の割合で映画を見ていた計算になる。

1956年にはこの年がわが国で初めて輸入映画が上映されてから60年目に当たることを記念して、12月1日を「映画の日」と定めた。しかし、1958年をピークとして映画観客数は下降に転じ、1960年代に入るとその傾向が加速し、1963年にはピーク時のほぼ半分にまで減少した（図7.3参照）。これは経済の高度成長に伴って、レジャーの多様化とテレビの出現に起因するといわれる。日本でテレビ本放送が開始されたのは1953年であり、その後民間テレビ局の開局、テレビ受像機の量産化と価格低下などによってテレビは急速に普及した。

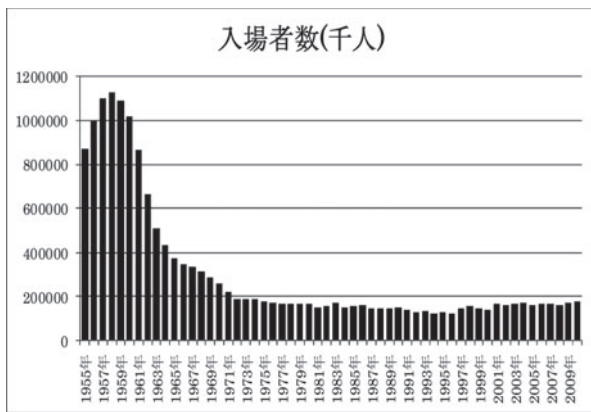


図 7.3 日本映画の入場者数の推移⁴⁾

このようなテレビの急速な普及に対抗し、映画会社では観客の減少を抑えるために、迫力ある映像の展開をねらって映写画面の拡大、すなわちワイドスクリーン方式の採用や、カラー作品の増加を進めていった。また、従来の量産主義から大作主義への転換、製作部門の人員の削減など、各種の合理化施策も進められ、多くの映画館が姿を消すなど映画産業は非常に厳しい状態におかれるに至った。

35mm 劇映画分野のワイドスクリーン化は 1953 年わが国に初めてシネマスコープ方式の映画作品が輸入公開されたことに始まる。スクリーンの縦横幅比を従来の 2 倍近くに拡大した大画面による迫力で観客の話題を呼んだ。それ以降ワイドスクリーン映画が輸入され、1957 年には邦画のワイドスクリーンによる製作も始まり、1960 年代に入ると映画館で上映される劇映画のほとんどがワイドスクリーン映画となった。そのために、映画用フィルムには、より一層画質の向上が求められた。

1951 年フジフィルムの「カルメン故郷に帰る」でわが国劇映画のカラー作品製作がスタートしたものの、1950 年代半ばまでの劇映画製作はほとんど黑白作品で占められていた。その後、内式ネガ・ポジ方式のカラーフィルムの登場によって、1950 代後半からカラー作品の製作が増加しはじめ、1962 年からはカラー作品の数が黑白作品を上回り始めた。国産の 35mm 映画用カラーポジフィルムの販売量が次第に増加し、1960 年代に入ると国内市場の大半を占めるに至った。

しかし、カラーネガフィルム市場では、事情は異なっていた。1958 年に発売したフジカラーネガフィルム タイプ 8512 (露光指数 25) が映画製作会社に使用され始めたころ、コダック社はニュータイプ品 (露光指数 50) を開発して 2 倍の高感度化により日本

市場を席巻していた。

コダック社に対抗し得るフィルムの開発を最重要課題として研究を進めた結果、フジフィルムは 1965 年 1 月に改良タイプ 8513 を商品化することができた。このタイプは、感度を露光指数 50 にアップするとともに、前々年に発売した一般用カラーネガフィルムに採用したカラードカプラーを採用し、濁りのない忠実な色再現が期待できるマスク付きフィルムとなった。さらに同年 10 月、階調や色再現性を改良したタイプ 8514 を完成した。タイプ 8514 に至り、十分実用しうるものとの評価が得られ、大映作品「ザ・ガードマン 東京用心棒」に使用されたのを皮切りに、その後、多くの作品に使用されるようになった。

一方、世界市場へ参入するために求められる輸出適性とは、他のアマチュア用カラーフィルムの場合と同様に、世界中どこでもフィルムの現像処理が可能なこと、つまりコダック社の製品と同一現像処理ができる製品であることであった。

映画用カラーフィルムの輸出適性を最初に実現したのはカラーポジフィルムであり、1968 年 3 月、16mm カラーポジフィルム (タイプ 8829) を、同年 9 月には 35mm カラーポジフィルム (タイプ 8819) を商品化した。この商品化により映画用 35mm カラーポジフィルムの輸出は急速に増加した。

映画用 35mm カラーネガフィルムの輸出適性品 (タイプ 8515) は、翌 1969 年 11 月に完成した。このフィルムの感度は露光指数 100 となり、セット撮影や夜間撮影も容易になり、粒状性や色再現性も向上した。引き続き、1972 年 2 月には、35mm カラーネガフィルム改良品 (タイプ 8516) を発売した。この改良品によって映画用カラーネガフィルムは世界水準の品質を達成し、従来から使用されている劇映画の分野をはじめ、新たに PR 映画や教育文化映画にも広く使用されるようになっていく。

引用文献

- 1) 「写真とともに百年」、小西六写真工業(株)編、昭和 48 年 4 月 10 日発行等
- 2) 「金増感」、R. Koslowsky and H. Mueller, Agfa Film Plant, Wolfen, Germany. Reports September-October (1936) 等
- 3) 「富士フィルム 50 年のあゆみ」、富士写真フィルム(株)編、108、昭和 59 年 10 月 20 日発行
- 4) 一般社団法人 日本映画製作者連盟ホームページ 日本映画産業統計 過去データ一覧表より

8 | 1970年代のカラーネガフィルムの開発

1970年代は日本の感材メーカーがようやくコダックのカラーネガフィルムの後ろ姿を捉えるまでに技術進歩を遂げた時代である。1971年1月一般用カラーロールフィルムの輸入が自由化され、同年4月からは関税率も引き下げられ、これを機に輸入品の値下げが実施されて日本国内の市場も海外市場と同様の国際競争時代に突入した。

1972年3月コダック社は110サイズポケットシステムを開発・発表した。このシステムはフィルムの画面が35mm判サイズの4分の1という小さい面積で、この小さな面積からカラープリントに拡大しても耐えられるようにシャープネスおよび粒状性を改良した新しいカラーネガフィルム コダカラーIIが開発された。この感材にはDIRカプラー（Development Inhibitor Releasing カプラー）と呼ばれる、現像中に現像抑制剤を放出し、粒状性や鮮鋭性、色再現性を向上するカプラーが新たに添加された。また、コダカラーIIは現像処理でも高温迅速処理を可能にし、従来約1時間近くかかっていた現像処理時間は約半分に短縮された。

これに対して、フジフィルムはIRGという独自の技術を完成してフジカラーF-IIを開発し、市場への出荷を1974年11月より開始した。IRG技術とは、Inhibitor-Releasing Grain（現像抑制物質放出型粒子）の頭文字をとったもので、写真乳剤粒子に現像抑制剤をあらかじめ均一に吸着させておき、光の当たった粒子から現像中に抑制剤が放出され、それによって現像銀が粗大化するのを防ぐというものである。コダックの「カプラーからカップリング反応時に抑制剤を放出する」方式とは全く異なる方式からの開発であった。

一方、コニカは1974年9月にサクラカラーII N-100を発売した。この感材にはコダックのDIRカプラー特許に関連しないDIRカプラーを新たに開発し導入した。コダックのDIRカプラー特許は作用原理を概念的に保護しておらず化学構造を特定したに過ぎなかったため、コダック特許の「カップリング反応によって色素と抑制剤を形成する」という請求範囲から外れた「色素を形成しない」無呈色DIRカプラーを開発し、3種の感光層に共通使用した。

次のエポックとしてはASA感度400のカラーネガフィルムの開発である。1976年9月に開かれた第14回フォトキナにおいて、フジフィルムは世界初の高感度カラーネガ（ASA400）フジカラーF-II 400を発売した。これまでは、海外の先進メーカーが開発した製

品の後追いを続けてきた日本メーカーにとって、海外の先進メーカーに先んじてそれを上回る製品をつくり出すことができたという意味で画期的な新製品であった。その後、1977年3月には小西六がサクラカラー400を、同年5月にはコダックがコダカラー400を相次いで発売した。それまではカラーフィルムの感度を上げると旧タイプは廃止されたが、今回はASA400の新タイプに対してASA100のタイプも販売を続け、カラーネガフィルムとして初めての感度面での多様化が始まった。

8.1 フジフィルムの開発

8.1.1 フジカラーF-II 400の発売

この新製品の企画に当たっては、まず写真需要の拡大という見地に立って、その感度の目標をどこに置くかということから検討を始めた。アマチュアの写真撮影では屋外撮影が圧倒的に多いが、室内撮影もアマチュアの全撮影ショット数の約4分の1を占めていた。そして室内撮影の場合、手ぶれや露光不足が少なからず見受けられていた。数々の市場調査データを基にして検討した結果、写真需要拡大のためには室内撮影をより容易にすることが喫緊の課題であり、そのためには現在普及している大部分のカメラでストロボなどの補助光なしに室内で撮影することができる高感度のフィルムを開発する必要があると考えた。しかも屋外撮影に使用しても、夏の海辺でも冬のスキー場でも露光がオーバーにならず適正露光が得られねばならない。つまり、屋内・屋外を問わず使用できる感度が求められる。このような考え方に立って検討した結果、フィルムの感度目標をASA400に設定した。また、ストロボを使用しないで室内撮影が可能になると、当然ながら蛍光灯やタングステン光などの光源下で撮影される可能性が高くなるので、これらの光源に対する適性も要求された。

フィルムの感光性の基礎になっているのは無数のハロゲン化銀微結晶である。この結晶粒子を大きくするほど感度が高くなるが、ある程度以上にこのサイズを大きくしても到達できる感度には限界があった。検討を進めていくことで新たに二つの技術を開発した。その一つは集中核型粒子、すなわちCLG（Concentrated Latent-image Grain）技術である。大サイズ粒子になると光照射で発生した電子が一か所に集まらず亜潜像

となって分散するため、折角大サイズ化してもそれ以上感度が上がらなくなる。これに対して、粒子のヨード組成や形状等をコントロールすることで、亜潜像の分散という非効率を抑制したハロゲン化銀粒子を作り出し高感度化を実現した。もう一つは ICL (Image Controlling Layer) という画像制御層技術である。カラーネガフィルムは赤、緑、青に感ずる三つの層からなるが、これらの層はそれぞれ高感度と低感度の2層から作られていた。ICL 技術はこの高感度層と低感度層の間に ICL という新しい乳剤層を加えることによって高感度層の大きなハロゲン化銀粒子の色素像が低感度層に滲み出すのを防ぎ粒状性を良好させるとともにシャープな画像を得られるようにする技術である。

このため F- II 400 の写真乳剤層は中間層や保護層などを加えると合計 14 層で形成されたが、塗布技術の改良と新鋭カラー工場の設備化によってこの多層塗布を可能とした。

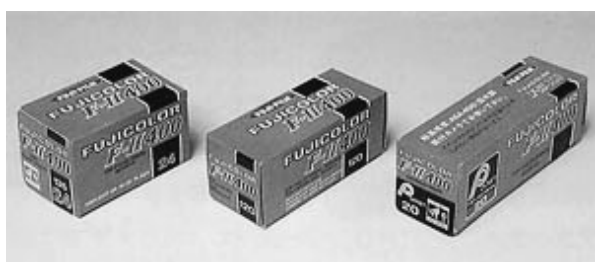


図 8.1 フジカラー-F-II 400¹⁾
(35mm判とブローニーと110フィルム)

8.1.2 営業写真用カラーネガフィルムの開発

1960年代から婚礼写真にカラー写真が使われ始めた。1972年をピークとするブライダルブームは営業写真におけるカラー写真化に大きな影響を与え、婚礼写真だけでなく、その他の需要にもカラー写真化が促進された。七五三や成人式などの記念写真をはじめ、ポートレートや家族写真、学校写真、観光地での記念写真にまで及び、1970年代後半にはこの分野でもカラー写真が黑白写真を上回った。

こうした情勢の中、1972年3月にフジフィルムはオイルプロテクトカプラーを採用したフジカラーNプロフェッショナルタイプS (短時間露光用、感度ASA100) とタイプL (長時間露光用、感度ASA50) を開発した。

次いで1976年1月、一般用で開発したIRG (現像抑制物質放出型粒子) 技術を基礎にして粒状性やシャープネスを向上させた微粒子タイプのフジカラー

F- IIプロフェッショナル タイプS (感度ASA100) と感度アップしたタイプL (感度ASA80) を発売し、1980年4月には、フジカラーF- II 400で開発したCLG技術を用いた新しい写真乳剤を使用し、フジカラー100プロフェッショナル タイプS (感度ASA100) とタイプL (感度ASA80) をそれぞれ開発した。

8.1.3 映画用カラーネガフィルムの開発

1968年開発のカラーポジフィルムタイプ8819や1972年開発のカラーネガフィルムタイプ8516など、オイルプロテクトカプラーを導入した輸出適性品の完成により映画用フィルムの輸出が拡大していった。特に、映画用カラーポジフィルムは輸出も順調に伸長し、米国でも大量に使用されるようになった。しかし、カラーネガフィルムについては現場での長年の使い慣れなどもあってなかなか採用されなかったが、20世紀フォックス社の人気テレビ映画「ペリー・メイスン」に使用されてから使用作品数も徐々に増加していった。1977年6月にはフジカラーネガタイプフィルムAを開発したが、このフィルムも新開発カプラーやIRG技術、CLG技術をもとにした新しい写真乳剤を採用し、露光指数100の感度で微粒子かつ優れたシャープネスで画質が一層向上し、特に16mm映画の分野で威力を発揮した。また、現像処理面でも40℃を超える高温迅速処理に適應する特性をもたせることが可能となり、現像所の迅速処理化に対応出来るようになった。

8.1.4 研究体制の進歩

1970年代に入って、研究テーマごとに異なった専門分野の研究者によるプロジェクトチームを編成し、研究の効率的遂行が図られた。タスクフォースシステムによる組織運営が研究の効率を高めるうえで効果をあげた。また、研究所内に評価部門を新設したが、このことも研究者に商品設計に対する考え方の変化を促すきっかけを与えた。一方、研究用の測定設備も進展し、試作したハロゲン化銀の結晶に対するマイクロ波吸収や誘電損失からハロゲン化銀中の電子電導度を測定することが可能になり、その結果からハロゲン化銀結晶の性質とそれが写真乳剤にどう影響するかを理解していこうとしていった。分析担当部門でも、単に素材の構造式を追求するだけでなく、なぜそこにそのような構造をもつ化合物が使われているのかという技術思想を推定するような分析を行うようになってきた。フーリエ変換-NMRやレーザーラマンスペクトル測

定装置といった物質の形体や分子構造を推定することが可能な各種の機器が急速に進歩し、それを研究にタイムリーに採り入れていった。

フジカラーF-Ⅱの商品化ではコダック社やコニカに対して遅れをとった。これが研究のマネジメントの進め方を反省するきっかけとなり、2年後に世界に先駆けてフジカラーF-Ⅱ 400を開発する大きな原動力となった。フジカラーF-Ⅱ 400は、単に世界初のASA400の高感度カラーネガフィルムとして世界の大きな話題になっただけでなく、その中に独自の技術が盛り込まれた点でも大きな成果であった。また、世界をリードするものをわれわれにも開発できるのだという自信を技術者に与えた。

これらの新製品を開発する際、威力となったものの一つとして画質評価法の進歩がある。すなわち、コンピューターの進歩普及によるマイクロセンチメトリー

(フィルム極小部の写真特性を測定評価する技術)の精度向上、あるいは多年にわたる色再現基礎研究(色をどういう数字で表示すれば正確に表すことができるかという研究)の成果から、レーザーを用いた精巧なカラーシミュレーターの開発に成功した。このカラーシミュレーターを活用することによって、実験を行わなくても一連の商品群の開発に際して重要な指針を与えることができるようになった。解析技術者や画像分析技術者も商品化プロジェクトに活発に参画するようになり、総合チーム力として商品化に寄与するようになった。

引用文献

- 1) 「富士フィルム 50年のあゆみ」、富士写真フィルム(株)編、221、昭和59年10月20日発行

9 | 1980年代のカラーネガフィルムの開発

1980年代は日本各社が独自技術を開発し始め、技術的にも世界最高レベルに達し、カラーネガフィルムという商品としても世界のユーザーから信頼を持って認知され出した時代である。この頃になると、写真は日常生活のあらゆる場面に登場するようになり、ユーザーのショット数（写真撮影コマ数）も年々増加してきた。カメラの世帯普及率も1977年には80%を超えた。またカラー写真の比率は1979年には85%に1983年には88%に達した。このように年々拡大してきたアマチュア写真市場も1980年代に入って日本経済の伸びが低下する中で需要の拡大に鈍化の兆しが現われてきた。出生率や婚姻件数の低下や旅行件数の伸び悩みなど写真需要にとっては厳しいデータが予測され、アマチュア写真市場は大きな曲がり角にさしかかりこれまでの成長期から成熟期に入っていくだろうと見られるようになった。このような市場変化の中で、写真需要拡大のために多数の新商品開発を進めた。

9.1 フジフィルムの感光材料開発

9.1.1 フジカラーHRフィルムの開発

フジフィルムは1958年に内式カプラー方式でカラーネガ市場に進出して以来その品質向上に努め、その結果カラーネガフィルムは国内市場で高いシェアを占め経営を支える最大の商品に成長した。1981年にはロサンゼルスオリンピックの公式記録フィルムとして採用されるまでになった。このタイミングをとらえ、新世代のカラーネガフジカラーHR100、400を開発し、1983年2月から国内外に一斉発売した。このフジカラーHRには二重構造粒子とL-カプラーそしてスーパーDIRカプラーという新しい技術が盛り込まれ、粒状性、鮮鋭性、色彩度を飛躍的に向上させた。この技術の導入によりカラーネガフィルム市場において初めて世界のトップレベルとして肩を並べることができるようになった。



図9.1 フジカラーHR100とHR400（35mm判）¹⁾

二重構造粒子というのは、約1ミクロンの写真乳剤粒子を内殻と外殻の二重構造とした写真乳剤である。光を粒子全体で吸収して高感度を確保するとともに、外殻は光によって発生する電子を確実にとらえ、内殻は粒子の現像をコントロールして画像の粗れを防ぐというように、外殻と内殻の役割分担を明確にし、感度と粒状性を両立する技術である。

またL-カプラー（ラテックスカプラーの略）とは従来カプラーを高沸点オイルに分散しオールドロプレット化するのに対して、カプラーをラテックス化することで分散オイルを減らす技術である²⁾。こうして写真乳剤層中に高密度にカプラーを組み入れることで、乳剤層の薄層化を可能にし、光の散乱を減少させてシャープな画像を形成する技術である。

一方、スーパーDIRカプラーは新タイプの現像抑制剤放出型（DIR）カプラーであり、従来のDIRカプラーに比べ現像抑制作用の到達距離を格段に長くすることに成功した。このカプラーの使用により、画像制御効果を低周波領域にも発現し、色彩度やシャープネスを大幅に向上させることが可能となった。

フジカラーHRは感度ISO100（ISO感度表示は、国際規格として、わが国では1981年5月から順次、従来のASA感度に代えて表示された）のHR100と感度ISO400のHR400の2種類を発売し、次いで同年11月、感度ISO200のフジカラーHR200を追加発売した。

9.1.2 スーパーDIRカプラーの発明³⁾

画質向上に関するカラーネガフィルムの主要な研究は、光センサーとしてのハロゲン化銀乳剤及び色素像形成に関与する機能性化合物の二つの項目に大別される。DIR（Development Inhibitor Releasing）カプラーはその中の機能性化合物に属するものである。こ

の DIR カプラーは、前述したように 1972 年のコダカラー II で初めて導入され、画質を飛躍的に向上させた。

DIR カプラーの色再現性改良機構に関しては第 3.2.3 章で簡単に説明したが、ここでは鮮鋭性が改良される機構を説明する⁴⁾。DIR カプラーは図 9.2 のスキームのようにカラー現像主薬がカップリングすると同時に現像抑制剤を放出する。

この現像抑制剤が以下のような働きでエッジ効果を生み出す。図 9.3 において右半分に矩形の光が照射されたとする。光が当たった領域のハロゲン化銀が現像され始める。すると、この領域で均一に DIR カプラーとカラー現像主薬の酸化体がカップリングすることで色像を形成し始めると同時に現像抑制剤が放出される。この現像抑制剤は拡散性を有し、膜中で高濃度側から低濃度側への現像抑制剤の流れが起こり、現像抑制剤濃度は点線のような濃度プロファイルとなる。

この濃度プロファイルで、今度は現像抑制剤がハロ

ゲン化銀のそれ以降の現像を抑制し始めるため、図 9.4 のように境界領域にエッジを持つ点線のような色像プロファイルが出現することになる。

このように、周りを抑制することによる境界領域を強調する作用は人間の眼でも起こり、マッハ効果、等としてよく知られている。枕草子の「春は、あけぼの。やうやう白くなりゆく、山ぎは少し明りて、紫だちたる雲のほそくたなびきたる」の「山ぎは」が少し明るく見えるのもこの現象による。

この DIR カプラーによるエッジ形成の効果を詳しく解析する目的で、エッジの幅と見た目のシャープさとの関係についての実験が精力的に為された。その結果を解析していくうちに、シャープにエッジを強調するためには拡散性が小さい方が好ましいと従来は直感的に考えられていたが、エッジの幅があまり狭いと人間の眼の解像限界を越え、プリントを見たとき鮮鋭な印象を与えにくいため適度な幅が必要ではないかという考えが浮かんだ。そして詳細な実験の結果、従来よ

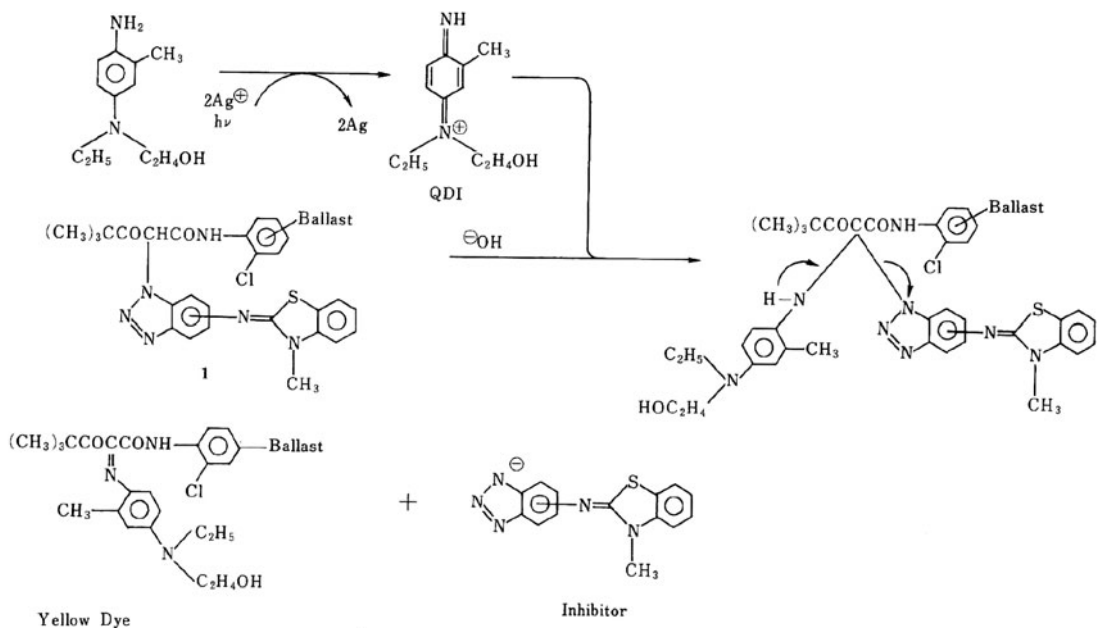


図 9.2 DIR カプラーの抑制剤放出機構³⁾

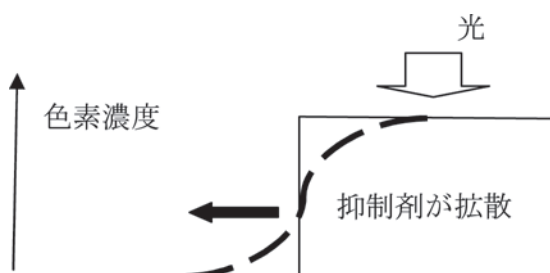


図 9.3 現像時の抑制剤の拡散挙動

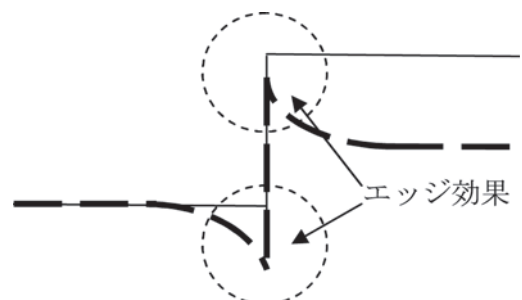


図 9.4 拡散した抑制剤によるエッジ効果の発現機構

りも逆に拡散性を大きくすることで画像のシャープさがより強調されることが分かってきた。

一方、現像抑制剤が上下方向に拡散すると、他の感色性層を抑制し色彩度を向上する重層効果が增大することが知られている。しかし、重層効果は単に DIR カプラーを増量するだけでは達成されない。何故なら、抑制剤は他層を抑制するだけでなく、自層も抑制してしまうからである。そして、抑制を補おうと多量のハロゲン化銀を使うと、乳剤層が厚くなり、光の散乱を増加し鮮鋭性を損なってしまう。

そこで、どのようなタイプの抑制剤が重層効果発現に好ましいのか、2種の典型的な現像抑制剤について拡散性を調べた。図 9.5 に示すように、他層への現像抑制剤の拡散性を調べる実験を行った。上層には感度を持たないハロゲン化銀を配置し、現像抑制剤の吸着物質として使用する。下層には増感したハロゲン化銀とカプラーを配置した。露光後、ある一定濃度の現像抑制剤を有する処理液にフィルムを浸漬し、その後、現像して発色度を測ることで、現像抑制剤がどれだけ上層のハロゲン化銀を通過し下層に到達出来るのかを調べるテストである。

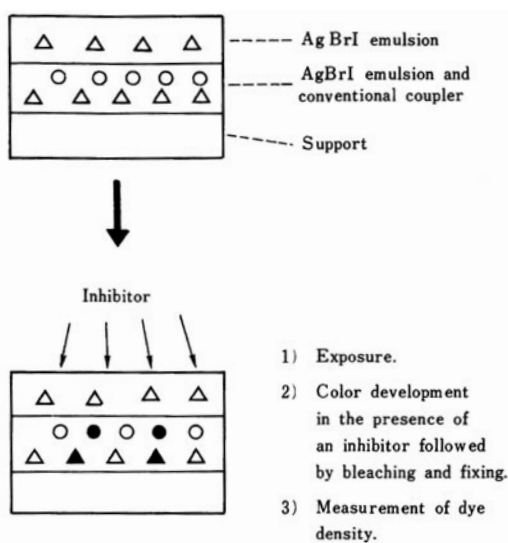


図 9.5 抑制剤の拡散度測定のためのモデル実験³⁾

その結果を図 9.6 に示す。上の曲線 (△印) は現像抑制剤がメルカプトテトラゾールの場合であり、上層のハロゲン化銀量 (A) を 0.7g/m^2 以上増加すると、 D/D_0 が 1 に近くなり、下層をほとんど抑制出来なくなるのに対して、下の曲線 (○印) の 5 プロモベンゾトリアゾールの方はハロゲン化銀量 (A) を 6g/m^2 近くまで増加しても、 D/D_0 が 0.5 に近く、上層のハロゲン化銀層を通過して下層の乳剤を充分抑制出来ていることが分かる。即ち、5 プロモベンゾトリアゾー

ルは現像抑制剤の拡散性が高いことが示唆される。

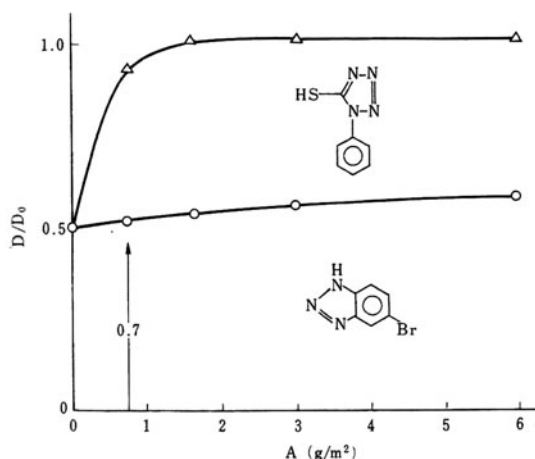


図 9.6 2種の抑制剤の拡散性比較テスト³⁾

そこで、拡散性を表す尺度として

$$D_f = \{(D_0 - D_{0.7}) / D_0\} \times 10 \text{ をとり}$$

D_0 : 現像抑制剤無添加

$D_{0.7}$: 上層のハロゲン化銀量 (A) = 0.7g/m^2

次に上層にハロゲン化銀を含まない (A = 0) 試料を用いて、現像抑制能を表す尺度として

$$I_n = \{(D_0 - D) / D_0\} \times 100 \text{ をとる。}$$

置換基 X、Y を変更した種々の現像抑制剤について、 I_n に対する D_f をプロットし、結果を図 9.7 に示した。

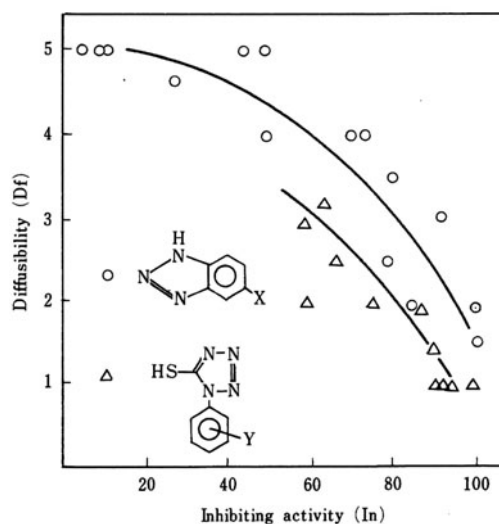


図 9.7 二種の抑制剤の拡散度と抑制度比較³⁾

図 9.7 より、置換基により抑制度を様々に変化させても、○印のベンゾトリアゾール類が従来から使用の△印のメルカプトテトラゾール類よりも他層への拡散性が本質的に高いことが分かり、この化合物を現像抑

制基の基本骨格として採用した⁵⁾。

ところが、現像抑制剤の拡散性を大きくすると、一部が現像液中に溶出・蓄積し、大量にフィルムを処理すると、全体の現像が抑制される問題が発生した(図9.8)。実用的には致命的な問題であり、拡散性の向上とは原理的に相反する。

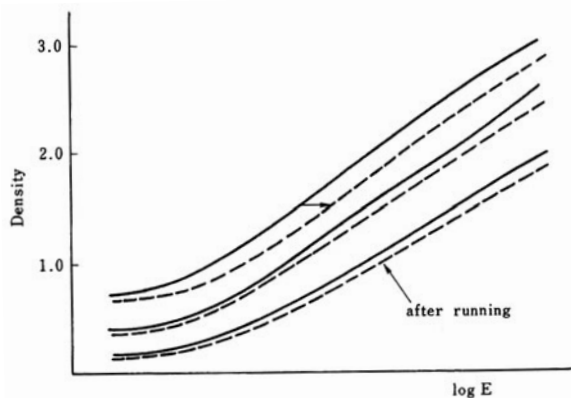


図 9.8 大量処理後の写真性の変化³⁾

上記の問題を一挙に解決したのが、加水分解型 DIR カプラーであり、現像液に流出した現像抑制剤を現像液中で失活させるという新たな概念のもとに分子設計された。その反応機構を図 9.9 に示す⁵⁾。現像処理時に、加水分解型 DIR カプラーから離脱した現像抑制剤(上段)は、フィルム膜中で抑制作用を發揮するが一部は現像液に流出する。現像液に流出した抑制剤は現像後ゆるやかな速度でエステル結合の部分が加水分解されカルボン酸となる(下段)。カルボン酸になると現像抑制作用は非常に小さい。

ただ加水分解反応が速すぎると現像時間中にも加水分解が始まり目的とするエッジ効果や重層効果が減少し、加水分解反応が遅すぎると処理液汚染の問題が生じる。そこでエステルの置換基 R の最適選択を行った。

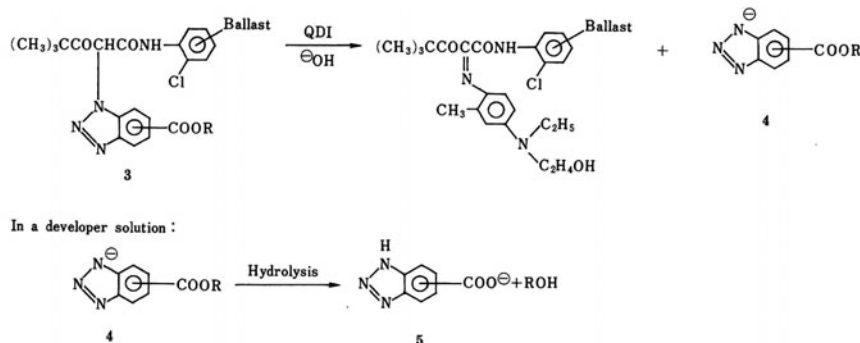


図 9.9 加水分解型抑制剤の作用機構²⁾

こうして開発されたスーパー DIR カプラーを用いたフィルムのエッジ効果と色彩度について、図 9.10 及び図 9.11 に示す。図 9.10 の左側(スーパー DIR カプラー)は右側(従来型 DIR カプラー)に対してエッジ効果がよく効いていることが分かる。また、図 9.11 では、点線のスーパー DIR カプラーを入れた 160S の方が一点鎖線の従来型 DIR カプラーを入れた 100S より色再現領域が拡大していることも分かる。

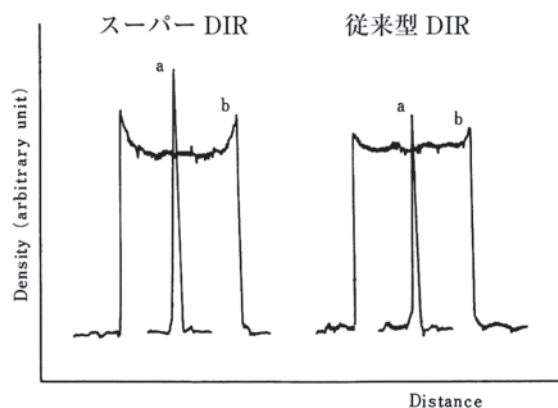


図 9.10 新旧 DIR カプラーによるエッジ効果比較³⁾

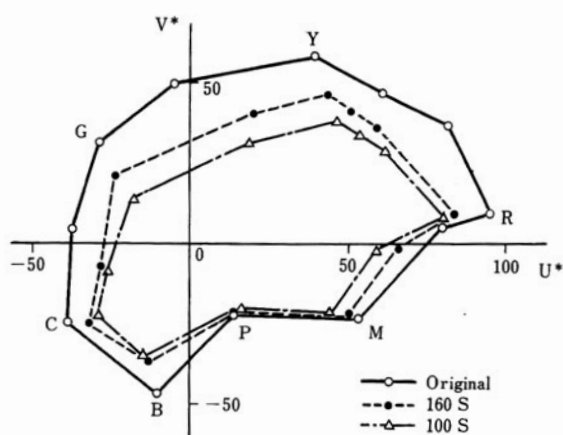


図 9.11 新旧 DIR カプラーによる色再現領域比較³⁾

スーパーDIR カプラーとは、現像抑制剤の基本骨格にベンゾトリアゾールを用い、置換基にエステル基を導入して水溶性を増加することで拡散性を増すと共に、現像液中では流出した抑制剤をゆるやかに加水分解し抑制能の無い物質に失活させる DIR カプラーのことである。

このスーパーDIR カプラーはカラーネガフィルム HR100、400 に導入され、抜群の鮮鋭性と色再現性を実現した。そして、この素材は HG シリーズや REALA 等にも引き続き使用されていくことになる。(第 12.7 章にスーパーDIR カプラー発明の経緯について記載する)

9.1.3 フジカラーHR1600 の開発

「ロウソク 1 本の光でカラー写真がバッチリ」と報道された、その時点で世界最高感度を持つカラーフィルム フジカラーHR1600 が 1984 年に発売された。このフジカラーHR1600 はその前年の 1983 年に発売したフジカラーHR シリーズを生み出した技術に、さらに発展させた新しい技術を加えて完成した。

その一つは新型二重構造粒子 (Advanced Double Structure Grains) の開発である。この技術の開発によって、光の吸収効率を向上させる技術と高感度化に必要な電子トラップと正孔処理機能をハロゲン銀粒子内部に正確に組み込ませることができるようになり、従来の感度限界を越えることができた (発明の経緯については第 12.8 章を参照)。また精密に粒子サイズをコントロールした微粒子ハロゲン化銀を用いた光反射層を導入し感光層を通過した光を再活用することで高感度化を図った。

もう一つの新技术は、A-カプラー (Image Amplifier Releasing Coupler) の開発である。この A-カプラーの開発によって、カラー現像時におけるハロゲン化銀の感光核の失活を抑制し、感光した写真乳剤粒子を効率よく色素像に変換させることを可能にした。

この製品の誕生によって、その場にあるわずかな光だけでその場の雰囲気を生かした自然な写真が撮れるようになったし、スポーツなどの動きの速い被写体を高速シャッターで瞬間的にとらえる写真、あるいは被写界深度 (被写体の前後のピントの合う範囲) の深い写真が撮れるなど、写真の撮影範囲を大きく広げることができるようになった。

9.1.4 A-カプラー (Image Amplifier Releasing Coupler) の発明⁷⁾

カラー現像は、潜像を形成したハロゲン化銀のみを選択的に還元し色像へと変換する増幅プロセスであり、その増幅率は 10^9 程度にもなる。カラーネガフィルムの感度はこの色像変換効率によっても支配されるため、高感度化を実現するためには、ハロゲン化銀粒子の光感度を高める課題と共に、この色像変換効率の向上も重要な課題である。

色像変換効率を向上させるために、色像形成反応中の副反応を抑制する色素変換効率向上の試みやカラー現像主薬酸化体 (QDI: キノンジイミン) の失活を抑えるための色素形成速度増加の試み、等がなされてきた。しかし、更に検討を進めることで、色像変換効率に影響する重要な因子が新たに見出されてきた。それは、生成した QDI が周辺ハロゲン化銀の潜像を酸化漂白したり、高感度化のためのハロゲン化銀粒子サイズやヨードイオン含量の増大に伴って極端に現像速度が低下し QDI の発生そのものが減少する、という問題である。

このような、カラー現像過程の非効率を補償することを目的とした機能性カプラーとして A-カプラーが開発された。図 9.12 に示すように、A-カプラーは露光部に生成した QDI とのカップリング反応に続いて、現像を著しく促進する Amplifier を放出して QDI による潜像の酸化漂白を相殺する機能を発現する。

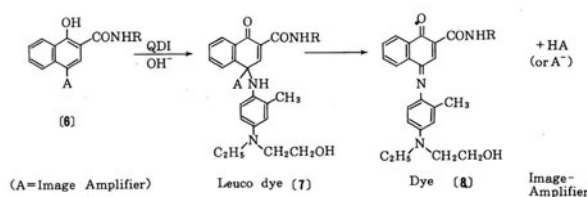


図 9.12 A-カプラーの Amplifier 放出機構⁷⁾

A-カプラーの酸化漂白防止についての作用模式図を図 9.13 に示す。左側の普通のカラーフィルムの場合、感光したハロゲン化銀が QDI のために酸化され色素像の数が減少するのに対して、右側の A-カプラーを用いたフィルムは酸化が防止され感光したハロゲン化銀が色素像にきちんと変換されていることが分かる。

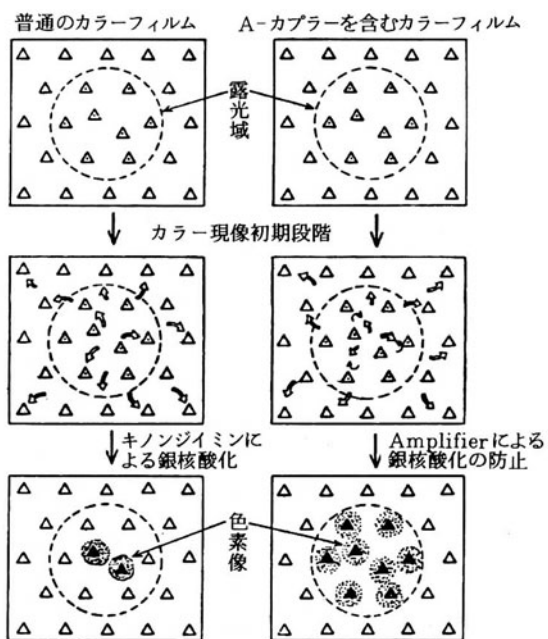


図 9.13 A-カプラーの Amplifier による酸化漂白防止機構⁷⁾

Amplifier の拡散性のコントロールについては、単に鎖状アルキル基の導入などだけでは不十分であり、ヘテロ環メルカプト誘導体やアゾール類等のハロゲン化銀粒子への強力な吸着基の導入が必須であった。これにより、Amplifier が放出された近傍のハロゲン化銀のみに増幅作用を発現させることが始めて可能となった (図 9.14 参照)。

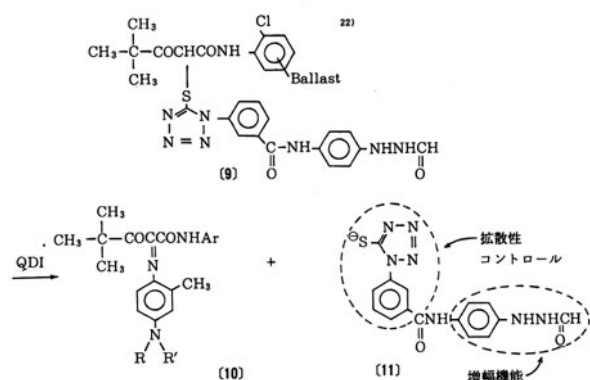


図 9.14 A-カプラー Amplifier の拡散性のコントロール⁷⁾

A-カプラーは QDI とのカップリング反応で Amplifier を放出するが、通常のレドックス母核に Amplifier を結合することで、酸化とそれに続く求核付加脱離反応で Amplifier を放出する化合物となることから、インスタントカラーフィルム等、他方面への展開もなされた。

9.1.5 コンパクトカメラの高機能化とフジカラースーパーHG400の開発⁸⁾

35mm コンパクトカメラは 1960 年代から自動露出、ストロボ内蔵、自動焦点、日付写し込み、自動装填・巻上げ・巻戻し、ズーム化と多機能化が大きく進展していくが、この進展と共にフィルムへの高感度化要求も増していった。例えば、カメラを高ズーム化して、かつ小型化を保つためにはレンズの絞りを狭くせざるを得ず撮影時の光量不足が加速していった。当時は感度 ISO100 のカラーネガフィルムが 8 割近く用いられていたが ISO100 カラーネガの一般ユーザーのプリント 2,000 枚を無作為に抽出し調査した結果、失敗率が 20%にも達し、そのうち約 12%がピント不良、約 7%がブレであった。そこで ISO100 と ISO400 のフィルムを用いて同一被写体の 250 ショットの撮影結果を比較したところ、ISO100 フィルムでは失敗率が約 16%に対して ISO400 フィルムでは 8%を下回る結果となった。これは、感度の上昇によりレンズを絞り込むことで被写界深度を広げピンボケを抑制し、シャッタースピードを速くすることで手ブレや被写体の動きによるブレを低減したことによると考えられる。

しかし一方では、ISO400 のフィルムは粒状性、鮮鋭性及び色再現の点で満足されていなかった。そこでシグマクリスタル技術や新規 DIRR カプラー等の技術を開発し、それらを搭載することで ISO400 カラーフィルムの常用化画質を達成した。

シグマクリスタル粒子は、もともとヨウ化銀含有率の高いコアとヨウ化銀含有率の低いシェルからなる二重構造を有する。この内部構造をさらに強化し、入射光より生じた電子を効率的に表面潜像形成に導くと共に正孔との再結合を抑制する。また、現像過程では内部高ヨード層が現像を自己抑制し色素雲の広がり過ぎを防止する。さらに、乳剤粒子表面を改質し、増感色素の吸着を増強すると共に、感光核を集中化して潜像分散を防ぎ、捕獲した光の利用効率を高めた。光吸収と潜像形成効率の飛躍的向上により、感度を維持したままでハロゲン化銀粒子の体積を約 1/3 まで低減した。また、発色用素材の改良により膜厚を低減し、光散乱を減らすことで鮮鋭性も向上させた。旧タイプと新タイプについて、フィルム断面の電子顕微鏡写真を図 9.15 に示すが、HG400 (右図) は旧 400 (左図) に対してハロゲン化銀の微粒化と膜厚の低下が如実に表れている。

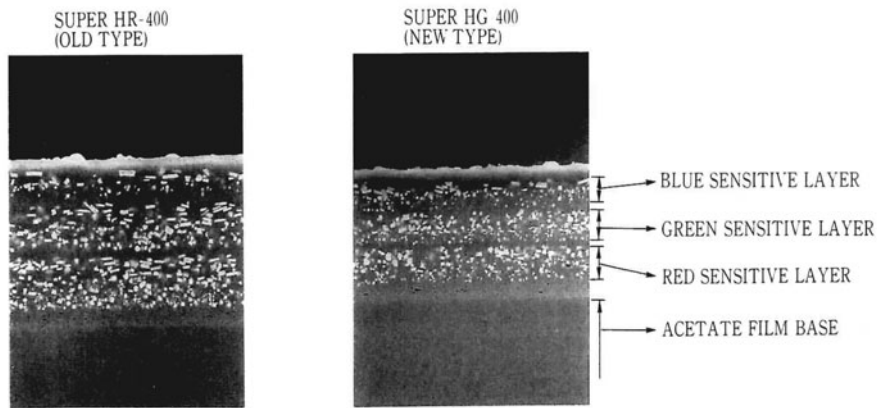


図 9.15 旧 400 と新 400 のフィルム断面写真比較⁸⁾

DIRR カプラーとは現像抑制剤リリーサー放出 (Development Inhibitor Releaser Releasing) カプラーの略である。従来の DIR カプラーが一段階の反応で現像抑制剤が放出されるのに対して、DIRR カプラーはまず一段階の反応でプレカプラーが放出され拡散した後、抑制したい層で現像主薬の酸化体と反応して初めて現像抑制剤を放出する。この機構により離れた層への層間効果を効率よく効かすことが可能となった。図 9.16 に赤感光層で放出されたプレカプラーが青感光層で抑制剤として作用する機構を示す。またスーパー DIR カプラーと同様に現像抑制剤が現像タンクのなかで失活するように設計されており低補充タイプの現像処理においても現像液を疲労させることが少ない。

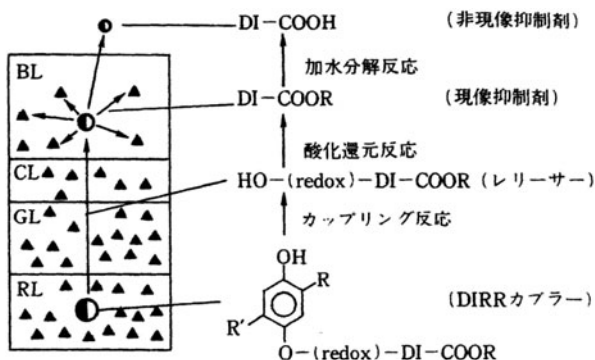


図 9.16 新規 DIRR カプラーの抑制剤放出機構⁹⁾

これらの技術により高画質化を達成することで、ISO400 感度カラーネガフィルムの常用化に拍車がかかると共に、「写ルンです Hi」にも使用されることでレンズ付きフィルムの普及が促進されていくことになった。

9.1.6 映画用カラーネガフィルムの開発

フジカラーネガティブフィルム A は、1977 年発売以来、内外の映画製作に広く採用されてきたが、映画用カラーネガフィルムも一般写真用フィルムと同様に高感度フィルムを求める声が一層強まってきた。1958 年に日本で初めて劇映画にカラーネガフィルムが使用されたときは露光指数 25 の低い感度であったが、1980 年 9 月に世界に先駆けて高感度フジカラーネガティブフィルム A250 (露光指数 250) を発売した。高拡大率を必要とする映画用フィルムの高感度品の開発には多くの困難を伴ったが、新型カプラーをはじめとする新素材や新技術を導入して高感度化を実現した。また、粒状性・シャープネスも十分実用可能な性能を有した。A250 は世界中どこでも現像できるワールドタイプであり、またさらに感度を優先する場合は増感現像により超高感度フィルムとしても使用できるなどの特長をもった。

高感度フィルムの活用によって、その場の明るさをそのまま利用して撮影することが可能になり、周りの人などに気付かれずドキュメンタリータッチでリアルな映像が得られる。また、セット撮影でもレンズの絞り込みによるシャープな画像描写が可能で、動きの激しいアクション撮影も容易になるなど、映像表現の拡大に繋がる大きな効果があった。

1982 年 3 月にはビバリーヒルトンホテルにおいて、1981 年度米国アカデミー賞の科学技術部門の授与式が行われ、フジカラーネガティブフィルム A250 はアカデミー科学技術賞としてオスカー像が授与されている。さらに、1982 年 9 月には米国テレビ芸術科学アカデミーからエミー賞 (技術賞) を受賞している。

1983 年 4 月には、無公害の過硫酸塩漂白処理適性をもたせたフジカラーネガティブフィルム A (タイプ 8511) と高感度ネガ AX (タイプ 8512) を発売し

た。高感度ネガ AX は感度を露光指数 320 にアップさせ、撮影領域と映像表現の拡大に威力を発揮した。

9.1.7 世界初の第4の感色層を導入したフジカラー-REALAの開発¹⁰⁾

1980年代後半になると、カラーネガフィルムの画質も向上し、感度100フィルムの粒状性や鮮鋭性、また色の彩度もかなりの人が満足するレベルに近づいてきた。一方、色彩度の向上と相対して、色変わりという問題が新たに浮上してきた。これは、紫色の服地が赤っぽく変化したり、花の色が実物と異なったり、蛍光灯下の風景が緑っぽくなったりする現象である。ネガ/ポジ法では、カラーネガフィルムからカラー印画紙へプリントする時に色のバランスを調節することで、着目する被写体の色の調節は可能である。しかし、その被写体に人物が写っているとその人物の顔も同時に補正され、不満足な肌色に変化してしまうという問題が生じる。一方、カラーネガフィルムの彩度を落とせば、プリント時の被写体の色成りは目立ちにくくなるが鮮やかな風景全体が色褪せてしまう。そこでプリントの彩度は保ったまま色の忠実性も向上したカラーネガフィルムを開発しようという検討が開始された。

人間の眼には図9.17に示すように、網膜上に色彩を感じ取る錐体という視細胞が並び、赤、緑、紫の3つの視細胞からなることが知られている。また、図9.18には3つの視細胞の差吸収スペクトルについて示した。

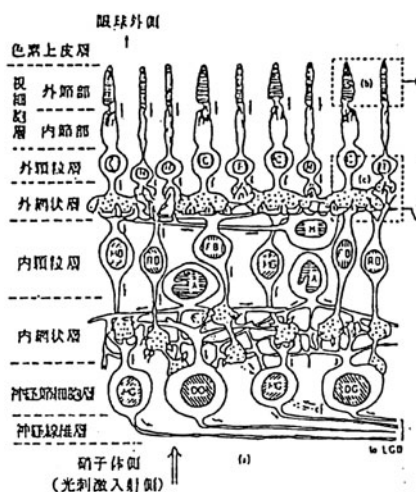


図9.17 人間の眼の網膜上の視細胞配列

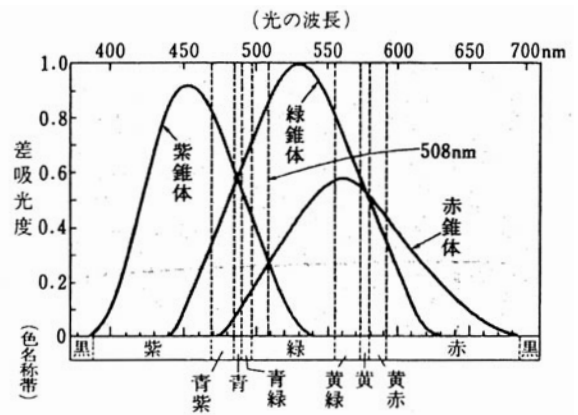


図9.18 錐体物質の差吸収スペクトル (霊長類)¹¹⁾

ところで、図9.18のように人間の眼の3つのスペクトルは何故、波長の重なりが大きいのであろうか。例えば、赤、緑、青の感度の重なりが全くないブロック型感度を持つフィルムを仮定する(図9.19)。次に、そのフィルムに450nmから650nmまでの単色光を露光し、現像して得られたプリント色の主波長を縦軸に、露光した単色光の波長をとったグラフを図9.20に示す。理想的には、各波長で露光した単色光と同じ色再現を示すためには傾き1の直線をもつ必要がある。しかし、ブロック型感度の場合、例えば500nmから600nmの範囲でみると緑感光層しか感度を持たないため、この波長範囲では同一色相の緑の色再現しか示さなくなる。即ち、少しずつ違った緑色の単色光に対して、一色の緑色でしか再現されないことになる。このことから分かるように、3つの視細胞の感度の重なりがあることによって始めて、微妙な色の違いを認識出来るのである。

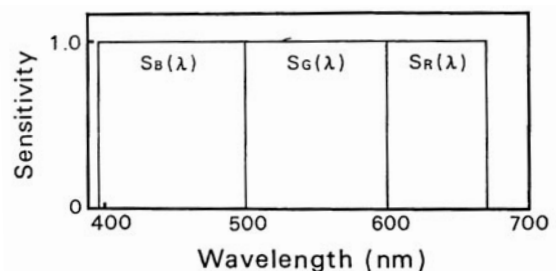


図9.19 仮定したブロック型感度カラーネガフィルム¹⁰⁾

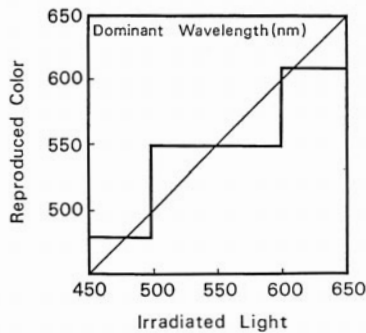


図 9.20 ブロック型感度フィルムの色忠実性¹⁰⁾

一方、人間の視細胞が光信号を受けてから脳に信号を伝達するまでの間に様々な信号処理を行っていることも知られている。その一つが側抑制と呼ばれる機構であり、モデル図を図 9.21 に示す。

緑光がこの3つの視細胞に降り注いできたとすると、分光感度に重なりのある赤、緑、紫の3つの視細胞が光を感知するが、信号伝達過程においてこの視細胞から隣の視細胞に抑制物質を光信号量に比例して出す。緑の光信号量が多く抑制物質も多く出すため、隣の赤や紫の視細胞からの信号量をより抑えることで、緑色が強調されて脳に伝わることになる。このように、人間の眼は分光感度の重なりで微妙な色の違いを捉え、一方で信号伝達過程において側抑制という作用を用いて色彩度の強調を行っている。

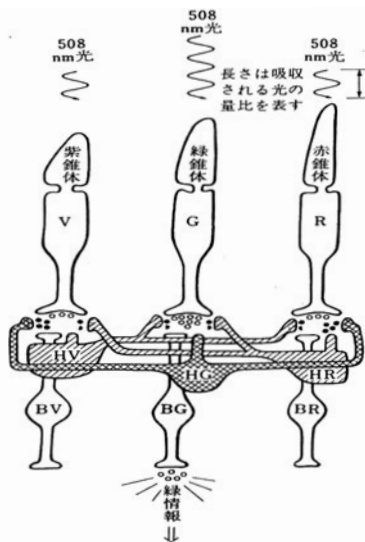


図 9.21 側抑制による色彩度の強調¹¹⁾

それでは、色忠実性を向上させるためにカラーネガフィルムにおいても、3つの赤、青、緑の分光感度を単純に重ねればよいということになるが、これを行うと現実には色彩度の極端な低下を伴う。そして、これ

を補償するための色彩度増幅を現実的には達成出来ない。また、カラーネガフィルムは層設計上、上から青、緑、赤の感光層として重層に塗布されているため、分光感度を重ねることが原理的に難しい。例えば図 9.22 に示すように、緑の感度を長波側に伸ばすと、長波化した領域の入射光は緑感光層で吸収され、赤感光層では感度が逆に低下するという、分光感度の重なりが意図したように増加しない現象が起こる。

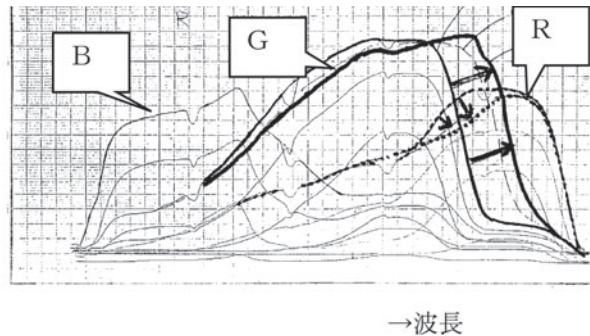


図 9.22 緑感光層長波化に伴う赤感光層の波長変化

ところで、白色用紙上の左側の部分に様々な波長の単色光を当て、右側の部分にある決まった波長の青、緑、赤の光をミックスして当てることで、どのような光量の組み合わせにすれば左側の入射光と同じ色が右側で再現出来るかという人間の眼の等色関数を求める実験が為されている¹²⁾。ところが、青を 435.8nm、緑を 546.1nm、赤を 700nm という波長の単色光を用いて実験を行ったところ、どうしても同じ色が再現出来ない波長域があることが分かった。光には、同じ色相に見える色同士に別の同じ色と同量加えても、両者は同じ色に見えるという加法定理がある。そこで、左側にどうしても3色の光で再現出来ない 500nm 付近の単色光を当て、さらに赤光を加え、右側を青光と緑光を組み合わせた光で調節すると、左右が目で見えた色を再現出来るようになるという結果が得られた。式で表すと

$$\begin{aligned} \text{単色光 (実験光)} + \text{赤光} &= \text{青光} + \text{緑光} \\ \text{となる。ここで、赤光を右辺に移項すると} \\ \text{単色光 (実験光)} &= \text{青光} + \text{緑光} - \text{赤光} \\ \text{となる。} \end{aligned}$$

色像にブロック色素を用いたと仮定して、上記のような実験から得られた人間の眼の等色関数を図 9.23 に示す。負の値は上述の式から得られた結果である。

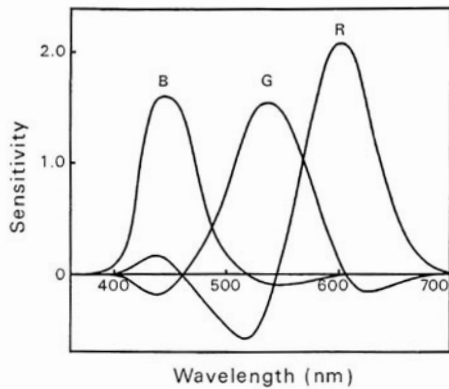


図 9.23 ブロック色素を用いた場合の人間の眼の等色関数¹⁰⁾

そこで、カラーネガフィルムでもこの等色関数に近い、色忠実性に優れた分光感度を再現しようという試みを行った。カラーネガフィルムには DIR カプラーという他層の現像を抑制出来る化合物が用いられている。しかし、緑感光層からそのまま単純に赤感光層に抑制をかけると、抑制をかけたい負の領域の 480nm から 550nm ばかりでなく、550nm から 600nm の長波側にも赤感光層への強い抑制がかかってしまい、上記のような等色関数に近い分光感度が得られない。色々な実験を繰り返したが、結局有効な手段は得られなかった。これは元々光の情報を記録する際に、短波側の緑と長波側の緑をうまく分離して捉えずに抑制をかけていることが原因である。そこで、図 9.24 に示す CL 層という新たな第 4 の感色層を導入し、この層から赤感光層へ抑制を強くかけることで、人間の眼によくマッチした、忠実な色再現性を確立することが出来るようになった。

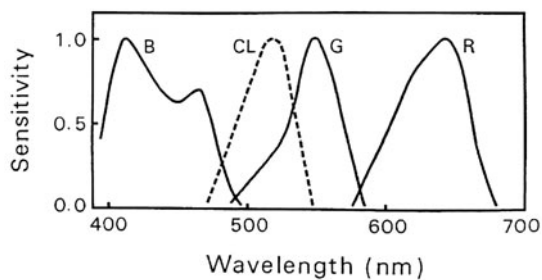


図 9.24 第 4 の感色層の分光感度波長¹⁰⁾

色再現の改良効果を下図に示す。図 9.25 はこれまでのカラーネガフィルムであり、階段状の色再現性不良部分が残るが、図 9.26 の第 4 の感色層を導入した新しいカラーネガフィルムでは従来フィルムに比べて各波長に対して顕著な色忠実度の改良効果が見られる。

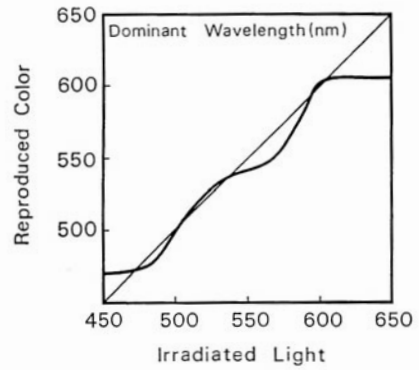


図 9.25 従来フィルム (HR100) の色忠実性¹⁰⁾

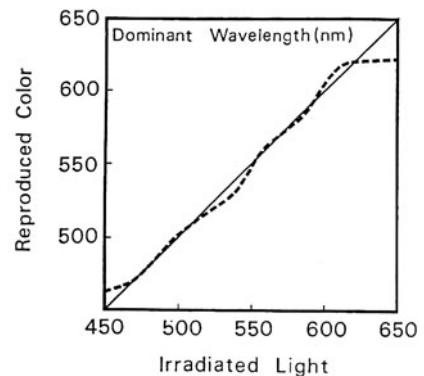


図 9.26 第 4 の感色層を導入したフィルムの色忠実性¹⁰⁾

この技術の世界で初めて搭載したカラーネガフィルムとして、1989年にフジカラー REALA フィルムを発売した。例えば、いけばな展におけるクレマチスの花の色や、ファッションショーの服の微妙な色の違いが見事に再現され、特に色再現に厳しいアドアマ層から絶賛され使用された。この技術は、負の分光感度を持つということ、始めはなかなか多くの人に理解されなかったが、色の忠実性を何とか改良したいという研究者の執念と、地道に色再現性の基礎研究を追求してきた色再現理論の応用と、コンピューターを用いた論理展開とシミュレーションの活用により、見事に開花した日本発の革新技术として、徐々にその性能の高さが浸透し、世界の写真材料分野で大きく賞賛された。

9.1.8 レンズ付きフィルム「写ルンです」の開発¹³⁾

「写ルンです」は、カメラではなくレンズの付いたカラーネガフィルムとして 1986年にフジフィルムから発売された。しかし、この構想は過去に何度かプロジェクトとして検討され、お蔵入りになっていた。以前に検討が為された時は、プリントの画質をある程度維持するために、専用のカメラボックスと新しい

サイズのカラーフィルムを使うことを前提として検討されたため、専用フィルムを作ると加工する費用がどうしてもアップするし、またカラーフィルムの現像所でも新しい処理ラインを作る必要が生じ、いくらカメラの回収率を上げる等の手段を考えても、とても手頃な値段での写真撮影システムを作るというコンセプトに対する壁を打ち破ることが出来なかった。ところが、1972年にコダックが市場導入したポケットカメラシステム、110サイズフィルムの伸びに陰りがみえてきたことから、この拡販策を検討する一環としてレンズ付フィルムの構想が再度浮かび上がった。それまでは、写真の画質を考慮し、あまり小画面化することは念頭になかったが、110フィルム（35mmフィルムの1/4の画面サイズ）を使うことを前提として検討したため、新サイズのフィルムを開発する手間も、現像所での新しいラインの追加も必要なくなり、それまでの検討での問題点を一挙に越えることが出来た。さらに、110フィルムは元々カートリッジ自体が遮光されているため、カメラボックスからの光漏れを容易に防止することが出来た。一方、カラーネガフィルムは1983年発売のHRフィルムで大幅な高画質化が達成され、感度100を持つHR100を用いれば、110フィルムの画質も一般ユーザーに許容されるレベルであることが分かっていた。さらに、スーパーHR100という新たな商品の開発が進んでおり、さらに品質のレベルアップが図れるという見通しもあった。

問題は如何に安価にこのカメラ部分を作ることが出来るかにかかっていた。その頃、レンズは単玉レンズでもガラスが使用され、それを磨いてさらに表面に紫外線防止コート層をつけることが必要であった。ところが、プラスチックレンズを用いると、元々の素材が紫外線をカットするし、素材コストも非常に安価になる。ただ、表面をレンズとして使用するだけの滑らかに仕上げる技術がなかったため、その技術を持つメーカーを求めて全国を探し回った。そして、単玉のレンズの形状は自社で設計し、表面加工の出来る会社でそのレンズを成形することで一気にコストダウンを図った。ファインダーもレンズを使用しない素抜けのタイプにしたが、却って明るく見易いファインダーと好評であった。レンズをF11とすることで、1mから∞まで被写界深度が得られるように設計し、シャッタースピードも手振れ防止の観点から1/100秒固定とし、単純な蹴飛ばしシャッターに徹した。

軽くて小さなカメラボックスができ、ユーザーはフィルムを巻き上げて、被写体に向けてシャッターボタンを押すだけで良い。この試作品を見せたところ、

これで本当に“写るかな”といった疑問が出た。これに対する担当者の“写るんですヨ”という回答をそのままネーミングに採用し、遊び心を入れるという視点から、“写るんです”の“るん”をルンルン気分の“ルン”に変えて「写ルンです」とネーミングした。

発表、発売するや、国内、海外のメディアに大きく取り上げられ、その発想と使い捨て時代という世相にもマッチし、当初計画の年間100万本を大きく上回り、翌年までに300万本販売されるというヒット商品となった。

発売と同時にアンケート用紙を添付し、いち早くユーザーの不満点をフィードバックしたところ、一番大きな不満点は暗い曇天の日や日中でも室内などでは、あまり写りが良くないという内容であった。そこで、1986年の6月に発売を開始したが、8月には次の改良に着手を始めた。

既にインフラの整っているフィルムの使用を前提とし、35mmサイズのカラーネガフィルムを次世代に採用することとした。またフィルム感度を100から400に向上することで、暗い場所での写りが改良されると共に、35mmサイズにサイズアップすることでプリント画質も改良されることが分かった。また、フジフィルム製のコンパクトカメラで逆装填法という、一旦パトローネからフィルムを全て巻きだしておいて、撮影が済むとパトローネに巻き戻していく方式の実績があったため、レンズ付フィルムに逆装填してフィルムを入れ、撮り終わったらそのままパトローネを現像所に出すだけで良いという、カメラ店でも非常に簡単に処理できるシステムが構築できた。また、このシステムを採用したレンズ付フィルムを基本特許として権利化することで、世界中に強い特許群を形成出来た。こうして、撮影領域の拡大とプリント画質の改良を実現した「写ルンです Hi」を翌年の1987年には発売するに至った。

レンズ付フィルムは、更にストロボ装着などの高機能化へと進化していくが、その後も販売数が増加し35mmロールフィルムの15%以上のシェアを占めた。年間数千万台以上もの販売数というメリットを活かして、ストロボユニットのコストダウンも可能とした。その後、望遠や防水機能のついたレンズ付フィルムなどの多様化も加わり、写真産業の確固たる分野として発展していくことになった。また、カラーネガフィルムへの独自の高感度化要請も高まり、レンズ付フィルム専用のISO800、1600カラーネガフィルムという超高感度感材の開発へと波及していくことにもなった。

「写ルンです」はピーク時にはロールカラーフィルムの販売数量の20%近くまで増加し(図9.27参照)、販売金額もロールカラーフィルムの売りに迫る程に成長したが、この開発に特に革新的な新規技術があった訳ではない。しかし、これには、将来への鋭い洞察力や時代感覚等の下記に述べる成功要因があった。

- ①単純化：110フィルムの振興策から検討がスタートすることで、画面サイズが固定された。これが画面サイズ選択に対する迷いや不要な可能性の検討を排除した。また、カラーネガフィルムの性能も向上し、110サイズでもユーザーが受け入れられる画質レベルになっていた。
- ②時代先取：一回だけの使い切り商品が使い捨ての時代にマッチし、ユーザーに好意的に受け入れられた。そして、その使い易さはやがて世界中に広まっていった。
- ③単純性：最初に徹底的に写す機能一本に絞ることで単純化を追求した。撮影者は勿論、カメラ店も分解してパトローネを取り出すだけでよく、現像所も今までのラインに通すだけでよかった。
- ④発展性：感度100から400へ、110サイズから35mmサイズに移行することで、すぐに改良タイプによる撮影領域拡大と画質の向上を可能とした。さらに、巻き取り方法の問題も逆装填法という実績が既にあり、無用の心配や不毛な議論を不要とした。
- ⑤実行力：プラスチックレンズの導入等、良かれと思ったことは直ぐに実行に移し、取り入れていった。そのため、非常に迅速な開発・改良を実現し、この文化が多様な商品開発に波及していった。

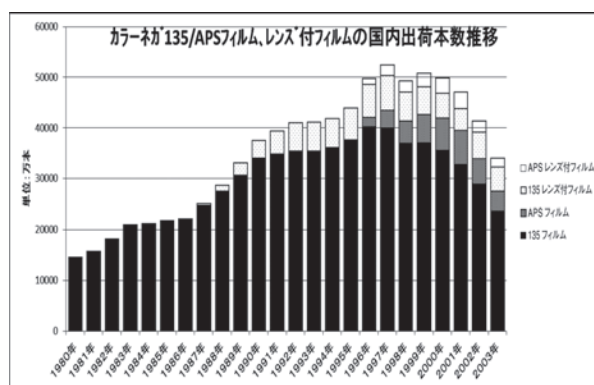


図 9.27 レンズ付フィルムの国内出荷本数推移¹⁴⁾

9.2 小西六(コニカ)の感光材料開発

コダックが1982年にディスクシステムを発表し、性能を向上したVRフィルムシリーズを市場導入して以降、小西六も新製品の市場導入が相次いだ。1983年から1985年にかけては、ハロゲン化銀にキュービッククリスタル技術を用いたサクラカラーDiscフィルムとSRシリーズ(SR100、200、400、1600)の市場導入が行われた。また、1987年には社名が小西六からコニカに変更され、1987年から1989年にかけては、コニカカラーGX100、400、3200、GX II 100、GX200プロフェッショナルとGXシリーズの市場導入が推進された。さらに、感度で分類しても一般ユーザーにはフィルムの使い方が分かりにくいという声から、1988年にはGX100M「ママ撮って」、1989年にはGX400「ズームしま専科」という、ユーザーへの使い方を訴求した用途提案型名称のカラーネガフィルムが発売された。そして、これらの中にはハロゲン化銀粒子形成技術、高速高発色カップラー、タイミングDIRカップラー等の様々な新規技術が盛り込まれていった。特徴的な商品を以下に解説する。

9.2.1 GX100の開発(1987年)¹⁵⁾

カラーネガ・ポジシステムの発展過程に於いて、カラーフィルムが有する高情報容量を携帯の簡便さ等に還元する試みがイーストマンコダック社によって行われ、1982年にディスクシステムとして商品化された。これはカメラの小型化、簡便性からみれば画期的な商品であったが、画面サイズが35mmの1/10になった為プリント品質の劣化、特に鮮鋭性の劣化が大きく、ユーザーの要求する画質レベルが年々向上している中で市場から受け入れられなかった。このような状況下、世界最高の鮮鋭性を有するカラー感材としてGX100を開発した。この高鮮鋭性を達成するために以下の3種の技術を導入した。

①タイミングDIR化合物

1972年にイーストマンコダック社がDIRカップラーを実用化し粒状性・鮮鋭性(エッジ効果)が大幅に改良された。これはカップラーの活性点に現像抑制剤が直接置換された化合物であるが、高画質化への要求が高まる中、非常に大きなエッジ効果を発現するタイミングDIRカップラーがコダック社より提案された。これは分子内求核置換反応により現像抑制剤を遠距離にて放出するものであるが、コニカは図9.28に示すように分子内電子移動反応により同等以上の効果を発揮す

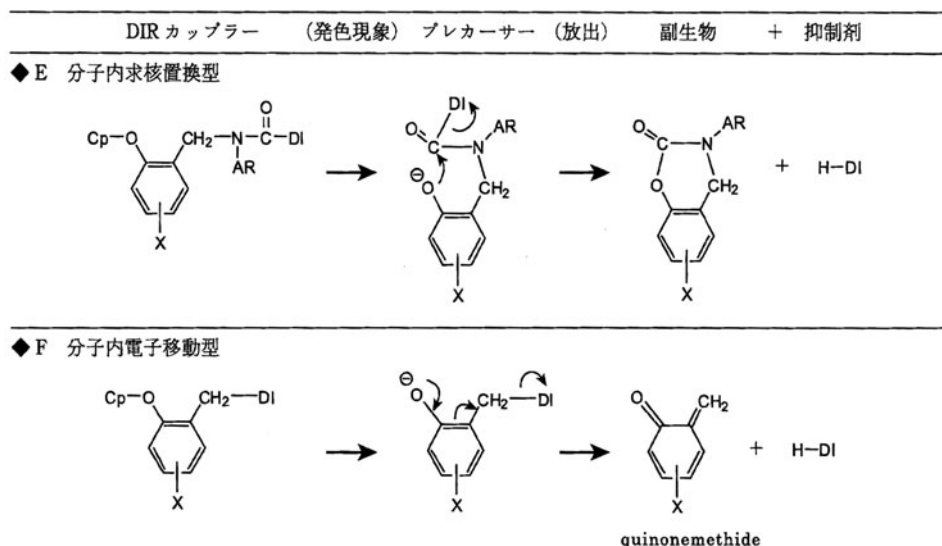


図 9.28 コダック型 (上段) とコニカ型 (下段) のタイミング DIR カップラー抑制剤放出機構の違い¹⁶⁾

るタイミング DIR 化合物を開発した。

②感光層薄膜化に適したカップラー

感材の鮮鋭性は上層の膜厚が厚くなるほど劣化することは良く知られており、薄膜化を目的にカップラーとその溶剤の容量に着目しカップラーの開発を行った。カップラーの役割は定められた条件下で必要な濃度を持つ色素を生成することであるが、体積 (カップラーと溶剤) と発色濃度の関係を調べ、最小の体積で最大濃度を示す新規の黄色カップラーを見出した。このカップラーの選択により、約 20% の薄膜化が達成できた。

③光散乱を減少させたハロゲン化銀粒子

ハロゲン化銀は屈折率がバインダーであるゼラチンと大きく異なるため、光を散乱する性質があり、鮮鋭性に悪影響を及ぼす。特に可視光領域では 0.3~0.6 μm の粒子が最も大きな散乱を示す。従来 ISO100 のカラーネガフィルムはこの範囲の粒子径が使用されていたが、後述する MSC 粒子を用いることによりこの範囲の粒子径を避けて設計が可能となった。

9.2.2 GX3200 の開発 (1987 年)¹⁵⁾

ISO1000 以上の高感度カラーネガフィルムには光吸収過程・潜像形成過程・現像過程の各プロセスに対し機能するようなハロゲン化銀結晶技術、層構成技術、素材技術の新規技術が導入された。コニカはハロゲン化銀を更に改良する事により世界最高感度を有する ISO3200 を達成する事ができた。

①多重構造 AgX 結晶 (Multi Structure Crystal)

コニカが採用したコア部高沃化銀コアシェル乳剤をマイクロ波光伝導シグナルにて光電子の寿命ならびに数を正確に解析した所、コア部またはコア部とシェル

部の境界領域に浅いエレクトロントラップが多数存在することが判明した。光で発生した電子と正孔が再結合すると減感してしまうため、再結合過程を減らすことが高感度化に繋がるとして、この結果に基づいた新たな仮説を立てて最適な乳剤設計を試みた。この結果、単純なコアシェル構造ではなく中間に適当な沃化銀含有層を設けることにより、増感色素吸着による光伝導シグナルの減少が少なく、それに対応して写真感度の上昇が見られ、この乳剤を Multitr Structure Crystal (MSC) と名付けた。この MSC は 0.3~2 μm の微結晶の中にハロゲン組成の異なる層が 3 層以上存在しており、結晶成長過程は数 nm 程度の精度で制御が必要であり、ハロゲン化銀の晶析反応の精密な制御が不可欠であった。また、高度の単分散性が MSC には必須となったが、生産技術を含めて新規のハロゲン化銀生成技術を開発し大量生産を可能とした。このようにして得られた MSC は従来のハロゲン化銀と異なり粒径が 1 μm 以上となっても感度上昇が鈍化することなく、また、小粒径においても同粒径で約 1.5 倍感度が高い事が分かった。この結果、MSC により世界最高感度を有する GX3200 を開発する事ができた。なお、この感材は副次的に低照度不軌が改善され、低照度露光を行う天体写真において、より効果を発揮するものとなった。

9.2.3 GX200 プロフェッショナルの開発 (1988 年)¹⁷⁾

感度が ISO100 と 400 の間にある感材というのではなく、「ポートレート等の人物撮影を用途とする」という明確な感材コンセプトのもと、色鮮やかでメリハ

りの効いた質感描写力が優れると同時に、階調描写力の豊かなカラー感材を開発する事を目標とした。このため階調描写力を高めると同時にISO100同等の画質を維持するという相反する技術課題を達成するために画像設計シミュレーションを駆使し、技術検討内容を明らかにした。具体的には以下の技術を精力的に検討し、初期の目的を達成した。

①多重構造 AgX 結晶 (Multi Structure Crystal)

前述の通り多重構造を持つハロゲン化銀結晶を形成する技術であり、光により結晶内部に発生した光電子を感光核に効率よく捕捉できるため高い感度を有する。

②高速高発色性カプラー

GX100と同様に最小の体積で最大濃度を示す黄色カプラーを使用することで、青感性層の膜厚を低減し、鮮鋭性を向上した。

③インターイメージコントロール技術 (IIE)

IIEに関する主な感材構成因子、例えば高反応性タイミング DIR 化合物の反応性、現像抑制基の抑制性、拡散性、AgX の現像性・被現像抑制性、発色カプラーの反応性、ゼラチン塗膜の諸物性等を一つ一つコントロールし、且つ相互の因子を精密に制御して、最適の層間効果を達成した。

④高反応性タイミング DIR 化合物

高反応性カプラー母核を有し、タイミング反応基により現像抑制させたい層までの拡散時間をもって現像抑制剤を放出する。また、この抑制剤は AgX の現像速度、被抑制性に応じて選択することが可能である。

引用文献

- 1) 「富士フィルム 50 年のあゆみ」、富士写真フィルム(株)編、341、昭和 59 年 10 月 20 日発行
- 2) 「アニオン離脱ピラゾロンカプラー」、古舘信生、フジフィルム研究報告、34、1 (1989)
- 3) 「DIR カプラーの最近の進歩」、市嶋靖司、フジフィルム研究報告、35、27 (1990)

- 4) 「Development-Inhibitor-Releasing (DIR) Couplers in Color Photography」、C. R. Barr, J. R. Thirtle, P. W. Vittum, Photogr. Sci. Eng., 13, 74, 214 (1969)
- 5) 「Pursuing Better Color Reproduction Quality (II) (Molecular Design of the Novel DIR Coupler)」、坂上恵、安達慶一、市嶋靖司、小林英俊、日本写真学会年次大会、A-23 (昭和 60 年)
- 6) 「カラー写真画像の形成方法」、横田幸夫、青野俊明、広瀬武司、特公昭 59. 43736 (昭和 59 年)
- 7) 「カラー写真感光材料用高機能ケミカルス」、新井厚明ら、シーエムシー出版、175 (2002)
- 8) 「常用カラーネガフィルムスーパーHG400 その設計思想と技術」、芝原嘉彦、井駒秀人、池上真平、フジフィルム研究報告、36、1 (1991)
- 9) 「ハロゲン化銀写真材料調製技術の最近の進歩」、宮坂信章、日本写真学会誌、54、156 (1991)
- 10) 「フジカラーリアラの色再現」、佐々木登、高橋公治、井駒秀人、日本写真学会誌、52、41 (1989)
- 11) 「感覚の生理学」生命科学シリーズ、高木雅行、裳華房 (1989)
- 12) 「色再現光学の基礎 2. 色の表示方法」、大田登、コロナ社、8 (1997)
- 13) 「フジカラー写ルンです、写ルンです Hi」、持田光義、大村紘、武井尚司、フジフィルム研究報告、33、15 (1988)
- 14) 「高感度・高画質を訴求した導入促進」、フォトマーケット 7 月号、26、6 (2005)
- 15) 「コニカに於けるカラー感材・処理の開発動向」、小板橋光夫、Konica Tec. Rep., 1, 5 (1988)
- 16) 「カラー銀塩感光材料の技術革新史 第 2 部 発色現像 (その 5)」、大石恭史、日本写真学会誌、72、95 (2009)
- 17) 「GX200 プロフェッショナルの開発」、榛葉悟、山田良隆、Konica Tec. Rep., 2, 132 (1989)

10 | 1990年代のカラーネガフィルムの開発

銀塩カメラの量的主体であるコンパクトカメラは1960年代に自動露出（AE）機構を付け、1970年代にはストロボ内蔵、自動焦点機構を内蔵し、1980年代にはズーム機能付与と進化が進み、1990年代には小型ながらデオート、自動装填、巻上げ、巻戻し機構等、電子制御による多機能化されたコンパクトカメラとなり進化が続いた。非常に使い勝手が向上したもののズーム化のためレンズが暗くなるし高倍率ズームのため撮影時の手振れが激しくなる等の負荷が増加し、カラーネガフィルムにはより一層の高感度化が求められた。また、レンズ付フィルムもそのずば抜けた簡便性、携帯性から、望遠や広角、パノラマ等の様々な用途に拡大し、これらに対する高感度化や撮影領域の拡大という新たな品質要求が発生してきた。

そういった状況の中、1990年代は1980年代に開発した日本で生まれた独自技術をさらに発展させ、高感度化、色再現性改良や露光領域拡大を目的とした新しいカラーネガフィルムを生み出すことで、日本メーカーによるカメラ開発やミニラボ開発、プリンター開発と歩調を合わせながら二人三脚で、世界をリードしていった。

しかし、1981年のソニーによるマビカ発表以降、カメラにもデジタル化の波がひたひたと押し寄せた。1987年にフジフィルムが東芝と共同してメモリーカードにデジタル信号として記録する世界初のデジタル・スチル・カメラ（DSC）試作機DS-1Pが発表され、翌年には市販された。この頃は周辺機器込で160万円とまだまだ高価であったが、1995年にカシオカ

らQV-10が49,800円という価格で発売されてから、DSCは一般ユーザーにも手に届く価格となった。その後も、画素数が増え、画質もアップするという技術開発が続き、周知のごとく2000年代にはカメラ販売量からカラープリントの数量まで完全に銀塩写真からデジタル写真に移行することになる。そのため、図10.1からも分かるように、1990年代は歴史的に見て銀塩カラーフィルムが最も出荷され、一般用の銀塩写真産業として成熟し繁栄した時期ということになる。

10.1 フジフィルムの感光材料開発

フジフィルムは1992年にスーパーGシリーズ、1994年にスーパーG ACEシリーズを開発した。また、1996年にはアドバンスドフォトシステム（APS）をコダック他3社と共同発表し、APS専用フィルムネクシアを市場導入した。1998年には感度400にも第4の感色層を導入したSUPERシリーズを、1999年には改良したSUPERIAシリーズを開発した。さらに、1996年にはデジタルミニラボシステムとしてフロンティアを開発し、デジタル処理との融合によりプリント画質の向上を図った。一方、営業写真分野では1994年にフジカラー160NSシリーズを商品化し、色再現性、特に肌色再現を大幅に向上した。映画用分野では1994～1995年にかけて超高感度タイプを中心に映画用カラーネガフィルムを相次いで導入し、市場の活性化を牽引した。特徴的な商品を以下に解説する。

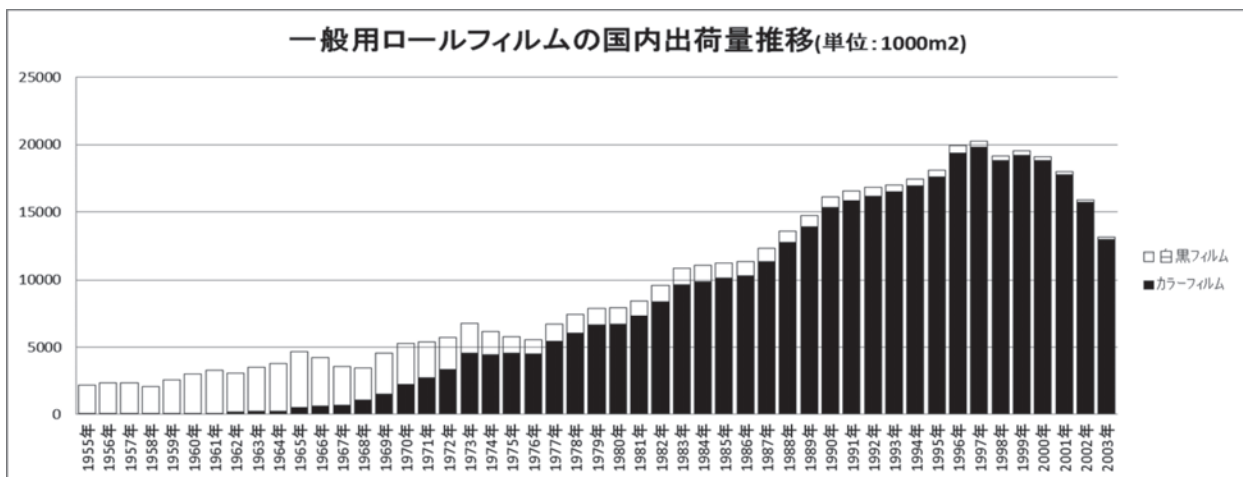


図 10.1 一般用ロールフィルムの国内出荷量推移¹⁾

10.1.1 写ルンですスーパー800の開発(1993年)²⁾

前述のように「写ルンです」は発売以来3年で約25倍の急成長を遂げ、1992年の統計によれば日本で約6000万本、ショット数にすると年間約15億ショットが撮影された計算になる。

レンズ付フィルムのコンセプトは発売の当初からユーザーによく理解され、露光不足や画質が不十分でも受容されてきたが、ここまで消費量が増えてきたことで、撮影の成功率を向上させることはメーカーの社会的責任と考えた。定期的な仕上がり調査から、露光不足や画質不満足のコマが2割弱存在し、感度を2倍に高めることでこれを半減させられることが見込まれた。そこで、「写ルンです」には既に感度ISO400のカラーネガフィルムが使われていたので、レンズ付フィルム専用に感度ISO800の開発をスタートした。

高感度化のためにはハロゲン化銀のサイズを大きくしなければならないが、大きくするとセンサーとしてのハロゲン化銀粒子の個数が減少し、粒状が悪化する。これを補うために、塗布銀量を増加すると、自然放射線による画質の劣化が起こる³⁾。光に対する感度と放射線に対する感度は比例する。さらに放射線の影響は単に放射線を吸収したハロゲン化銀が感光するのみならず、その粒子から発生した2次電子線により周囲のハロゲン化銀粒子も同時に感光するので、非常に大きいブツブツとした粗大粒状が発生し画質を著しく損なう⁴⁾。そのため、塗布銀量を増加させないで済む微粒子高感度化の技術開発が進められた。

この一連のハロゲン化銀形成の改良技術がシグマクリスタル技術と総称される。シグマクリスタル技術はハロゲン化銀の内部に意図的に物性の異なる複数の構造を形成し、感光時あるいは現像時に特別の効果をもたらすように粒子を設計し、さらにこれを精密にコントロールして製造する技術を総称したものである。

その始めは1983年発売のHRシリーズに導入した二重構造粒子⁵⁾であり、光吸収により発生した電子と正孔を外殻と内殻で分離し有効に潜像を形成すると共に、現像時にも粒状の悪化を防ぐように設計された画期的な粒子である。その後、1984年には新型二重構造粒子が開発され、1989年に粒子表面を改質し、増感色素の吸着増強、感光核の集中と光電子の利用効率向上により、体積を従来粒子の1/3まで低減させたシグマクリスタル粒子へと進化した。

ISO800の開発には、1992年に開発したスーパーG400に採用されたSFG(スーパーファイングレイン)技術を更に進化させSUF(スーパーユニフォームファイングレイン)技術を開発した。この技術は図

10.2に示すように形と大きさの良く揃った薄型六角平板粒子で、光粒子により発生した光電子を粒子の周辺部に一時的に蓄積し、最終的に六角形の一点に極めて効率よく潜像形成できるように内部構造を設計したものである。平板度をアップして表面吸着出来る増感色素の量を増やすことでより高感度化し、この複合効果で画質の劣化を抑えつつISO感度800を達成した。

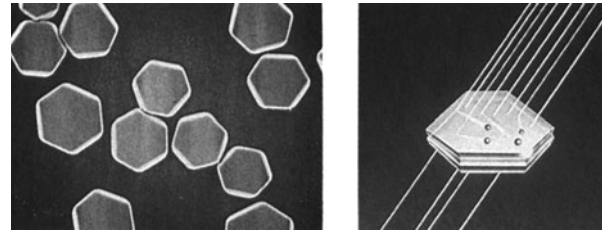


図10.2 SUFG(スーパーユニフォームファイングレイン)の粒子構造²⁾

一方、素材としても、1983年開発のL-カプラーに加えて、少量のオイルまたはオイルなしでも優れた発色性を示すフジフィルム独自のカプラーを開発し⁶⁾、薄層化による鮮鋭性の向上を行った。

こうして写ルンですスーパー800を1993年4月に発売したが、プロカメラマンがこのフィルムの性能に着目し、レンズ付きフィルムの外装を解体しこのフィルムをカメラに装填して使用し始めた。1993年6月の皇太子殿下と小和田雅子様のロイヤルウェディング、同年のウィンブルドン全英テニス大会等でこうした使い方がなされ、このフィルムの性能の高さが実証された。そこで、1994年9月にはスーパーG ACE800という名称で35mmのカラーネガフィルム単体として発売されるに至った。

10.1.2 営業写真用160NSシリーズの開発(1994年)⁷⁾

フジフィルムは、1962年フジカラーN50シートフィルムを発売して以来、営業写真分野の市場ニーズに合わせて様々なカラーネガフィルムを市場に導入してきた。

営業写真用カラーネガフィルムにとって最も大切な品質は肌色再現である。より厳密に言うと、グレイバランスがとれ、全体の色調が整った中で肌色が好ましい色に再現されるうえに、肌の明部から暗部にかけてのつながりが滑らかであることである。1984年に発売されたフジカラーNSPはスーパーDIRカプラーの採用により重層効果を増加し、彩度(色の鮮やかさ)を上げ、広い色再現領域を実現できた。しかし、逆に

彩度の高さが肌の一部に不適切な発色を生じ、肌のつながりを悪化させる傾向があった。

そこで、まず営業写真分野ではプリント時に厳密な色調の調節が可能で第4の感色層技術を最大限に活用出来ることから、この技術を導入し忠実色再現性を大きく向上させた。また、シグマクリスタル技術や最新の素材技術を導入して粒状性や鮮鋭性の改良を行った。さらに、新規のカプラーやDIRカプラーを用いて世界最高レベルの画像保存性を達成した⁸⁾。しかし、肌の一部の不適切な発色は依然として残っていた。

色々なテストを繰り返しているうちに、肌色が非常に滑らかで美しくなったプリントを発見した。それはシミュレーション画像であり、プリント再現曲線を任意に変更した中の一つであった。どの部分の変更の寄与が大きいのか、どういう技術的タームに置き換えられるのか、を徹底的に追及した。色は明度、彩度、色相により一義的に定義できる。検討の結果、明度と彩度の関係に迫ることが出来た。一方、文献からも、オリジナルの絵からバラバラの色相の方向に変化させたプリントと一定の方向に変化させたプリントをみると変化量は同じでも全体の絵の見え方が異なること等の知見を得ることができた⁹⁾。即ち、周囲の色同士の配置の仕方で見え方が変化するということである。そこである一つの顔についてどうすれば滑らかな肌色再現が得られるかの解析を繰り返した結果、明度、色相は一定だが、彩度の軸において高明度側を高彩度に、低明度側を低彩度に調節することで滑らかで美しい肌色が再現出来ることを発見した。不思議なことに明度（即ち全体階調）は全く同じでも、高明度側を高彩度

に低明度側を低彩度に調節することで肌色の繋がりが非常に滑らかで柔らかく見え（左側）、また逆にする（高明度側を低彩度）と肌の繋がりがギスギスして顔が硬く見える（右側）ことが分かった（図10.3）。

以前、インターネガというフィルムの開発を担当したが、このフィルムの階調は高明度側がより硬調になる逆反りカーブであった。リバーサルフィルムからインターネガフィルムを作成してジャイアントプリント¹⁰⁾を焼き付ける場合の中間フィルムであるが、インターネガフィルム作成時の露光量を変化させることで、最終的に硬調のプリントも軟調のプリントも自在に作る事が出来るという階調可変のフィルムであった。この機能に関して、露光量に応じて階調変化させるのではなく、露光量に応じて彩度を変化させるという発想に置き換えた。高露光側ほど高彩度にする設計である。人間の眼には桿体という白黒の光を感じる視細胞と錐体という色を感じる視細胞と2種類があり、桿体は感度が高く暗い場所で働き、錐体は感度が低く明るい場所で働く。即ち、暗い場所は白黒に、明るい場所はカラーにという見え方は人間の視細胞の機能ともマッチしていると考えられた。

この考えに沿って感材を開発することで品位の高い肌色色調が再現された。ただ、露光量をかなり控えて撮影するとプリントが墨絵に似た色彩度の低いプリントとなる。おそろおそろ営業写真館に意見を伺いにいくと、あるシチュエーションではまさにこんな写真が撮りたかったのだよ、と絶賛され自信を深めた。営業写真館はカラーネガフィルムを様々に使いこなし、フィルム設計者も気が付かないような性能を引き



(A)

(B)

図10.3 明度/彩度軸の変更による肌色つながりの比較⁷⁾

出す。1994年2月にフジカラープロフェッショナル160NS、NL、NCとして発売を開始した。実力の乏しい写真館には少し使い難い面もあったが、多くの写真館には好意的に受け入れられ、新製品の切替えにつきもののクレームなどはほとんどなかった。

NSというタイプはストロボ光源用で、NLはタンゲステン光源用である。NCというのは建築写真用カラーネガフィルムであり、これについて少し説明を加える。素晴らしいギャラリーやホールを広告用に撮影したり、新築建造物の内装写真を印刷用に撮影する場合等に、外光（太陽光）と室内光（蛍光灯）で色味が変化してしまう（蛍光灯がグリーン味に写る）問題があった。そこで、従来はカメラマンが、太陽光のみの照明で撮影した後、カメラを固定したまま、窓のシャッターを閉じたり、夜中まで待ったりした後、マゼンタのフィルターで色補正をして蛍光灯下で二重撮影をするという大変な苦勞をしていた。さらに、二重露光の露光量を間違えたり、カメラが振動で少しでも移動したりすると再度撮り直しが必要であった。しかし、このフィルムを用いれば、フィルターワークを全く必要とせず、一回で撮影出来た。図10.4の左図は従来のフィルムで撮影され、蛍光灯がグリーン味となるが、新フィルムの右図では蛍光灯も窓から降り注ぐ太陽光と同様に白色に写ることが分かる。ただ、営業写真用では人物撮影のために階調を柔らかくしてあるので、新たに建築写真用に硬調なフィルムをNCとして商品化した。

10.1.3 アドバンスト・フォト・システムの開発¹¹⁾

アドバンスト・フォト・システム（ADVANCED PHOTO SYSTEM、以下APSシステムと記す）はこれまでの写真の世界において最大のフォーマットの変革であった。このシステムはフジフィルム、イーストマンコダック、キャノン、ミノルタ、ニコンの5社が共同で、現在のシステムより良い写真をより簡便な方法で撮影できるようにという意図で開発し1996年に発表、発売されたものである。

このシステムの特徴は以下の内容である。

- ①カートリッジ及びフィルムフォーマットが小型化しカメラが一層コンパクトになる。
- ②ペロのないカートリッジでフィルム装填がより簡単、確実になる。
- ③一本のフィルム中で3種のプリントタイプ（C、H、Pタイプ）が自由に選べる。
- ④プリント両面への印字やプリント品質の向上が可能となる。
- ⑤全コマを一枚にプリントするインデックスプリントで撮影絵柄が一覧できる。
- ⑥現像済ネガをカートリッジ入りで返却。情報入出力機能でデジタル機器とも併用できる。

(1) 新カートリッジとプリントシステムの開発

フィルムは図10.5に示すように、オールプラスチックのカートリッジに装填され、カメラや他のメカニズムでフィルムを所定の位置に引き出す。

- ①35mmフィルムシステムより小型で携帯に便利な小型カメラの開発が可能となる。
- ②装填はワンタッチ方式で装填ミスの心配がなく、二



(NSP)



(NC)

図10.4 新旧フィルムによる蛍光灯適性比較⁷⁾

重露光防止機能も付与されている。

- ③撮影途中でカートリッジを交換できる。
- ④カートリッジにフィルムの使用状態（未使用、撮影途中等）を示すマークがある。
- ⑤カートリッジが現像済フィルムの保管・携帯容器となる。

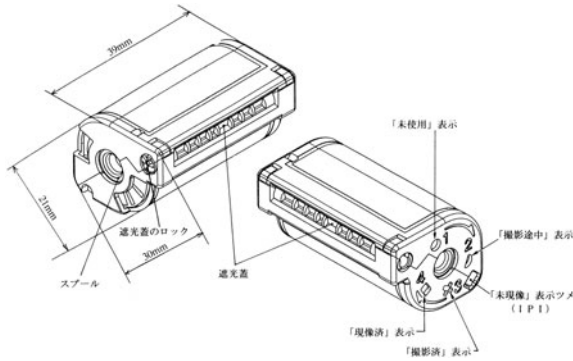


図 10.5 APS フィルムカートリッジ¹¹⁾

画面サイズは 35mm のハーフサイズに近く 15、25、40 枚撮りを揃える。支持体はポリエチレンナフタレート (PEN) を使用する¹²⁾。この支持体は現行のトリアセチルセルロース (TAC) よりも薄く、高い強度を有する。また、平面性が高くネガを平坦に保ち、きつく巻きこんでも癖が付きにくい特長を有する。

さらに、フィルムには透明な磁気層がコーティングされている。その磁気層に露光時のカメラデータやユーザーの入力データを記録することができる。また製造段階で、ユーザーの識別や機器の自動読み取りが可能な ID 番号が割り付けられている。

APS システムでは、撮影時カメラがフィルム上に図 10.6 のように光学的、磁氣的に情報を記録し、以降のシステムでその情報を活用することができる。また、現像工程でも情報が記録される。情報内容には年月日、時分、プリントタイプ、選択タイトル、同時プリント枚数指定、カートリッジ装填方向、被写体輝度、ストロボ発光有無、人工光可能性フラグ、撮影倍率等がある。

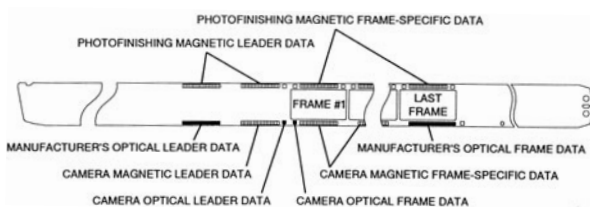


図 10.6 フィルム中の光学及び磁気トラック¹¹⁾

プリント工程では、3 種類のタイプ (C、H、P タイプ) をコマ毎に選択してプリントできる。プリントの裏面には、コマ番号、ID ナンバーやカメラで記録

された撮影年月日、ユーザー指定のタイトル等の情報が印字される。

一方、インデックスプリントは、各コマを小さな画像として纏めてプリントしたものであり、各コマのフレーム番号と指定のプリントタイプも同時に表記されている。インデックスプリントは液晶方式でカラーペーパーに焼き付け、同時プリントと連続してプリントできる (図 10.7)。



図 10.7 インデックスプリント例¹¹⁾

(2) フィルム開発

カラーネガフィルムの各種サイズフォーマットに対する画質許容率を調べると図 10.8 に示すように、APS システムはハーフサイズに相当するため現在の感材を流用しても十分許容されると判断される。

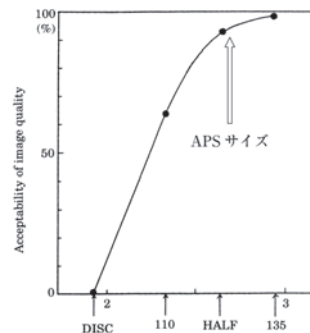


図 10.8 各種ネガフォーマットサイズに対する画質許容度 (スーパーG100)¹¹⁾

APS システムには、PQI (Basic Print Quality Improvement 機能) というカメラで記録された撮影情報、露光データをプリント機器が自動的に読み取り、プリント時に最善のプリント条件を決定し品質向上を図る機能が付与されている。APS システムの総合画質 (トータル Q) は

トータル Q = カメラ Q × フィルム Q × プリンター Q × ペーパー Q × その他 (PQI など) で表される。フィルム Q については感度、階調、色再現性は画面サイズとは独立だが、画面サイズが約

1/2となっているため、35mmフィルムに対して粒状性、鮮鋭性は $1/\sqrt{2}$ 倍低下することになる。

そこで、

- ①ハロゲン化銀のSUFG技術（前述）
- ②新開発の離脱基が一定時間後に2回の自己反応を起こし、周辺に拡散してから現像抑制作用を発揮する新規タイミングDIRカプラー
- ③新DIRカプラーとカラードカプラーの複合乳剤技術を活用したアドバンスト・リアルトーン技術
- ④各種活性ガスに対する不活性化剤や安定化剤等による膜安定化技術

を駆使することにより、ネクシアF（ISO100）、A（ISO200）、H（ISO400）のカラーネガフィルムを開発し、同年（1996年）発売した。

カメラの新機構等についての説明は省略するが、カメラ、フィルム、プリンター、現像機、写真店等で総合的にAPSシステムの準備を整え、1996年に発売を開始してから2000年くらいまで順調に販売が増加した。しかし、デジタルカメラの台頭による簡便さや撮影時の情報量の多さ、即時性等では比較にならず、2000年以降販売量が減少していくことになる。大胆なフォーマットの変更と情報記録のプリントシステムへの活用を図ったこのシステムは、もう少し早く世に出ていれば主流になる潜在能力を秘めていたが、デジタルカメラという革新技術の躍進の前に、日本企業が変革に大きな役割を担ったシステムではあったが、残念ながら大きな日の目を見ることなく次第にシュリンクしていくことになる。

10.1.4 フジカラーSUPER400の開発¹³⁾

1998年に、第4の感色性層を導入した感度ISO400

のフジカラーネガフィルムSUPER400を発売した。フジフィルムはこれまで、1989年のフジカラーフィルムリアラで第4の感色層技術を導入し、色再現における鮮やかさと忠実性を同時に進歩させた。一方、同年フジカラースーパーHG400を開発し感度ISO400の常用化を推進した。しかし、ISO400の常用化が進むと、より室内撮影が増え蛍光灯のグリーン味が目立つようになり、近年のガーデニングブームから花の色変わりが気になるようになってきた。

そのためISO400への第4の感色層技術の導入を目指した。ただ、第4層を設置すると特に緑感性層への感度負荷が生じ、低感化を補うためのハロゲン化銀サイズアップは粒状等の画質劣化を伴うことになる。従来、カラーネガフィルムの感光層は上から順に短波側の乳剤層が配置され、青感層→緑感層→赤感層の順になっている。リアラにおいても、青感層→第4層→緑感層→赤感層の順に配置されていた。しかし、本来、第4の感色層は赤感層に抑制をかける層であり、赤感層に近い方が有利である。

そこで、第4層を緑感層の下に配置させたところ、緑感層（高感層、中感層、低感層）の低感層と接することとなり、第4層と緑感層を分ける混色防止層をなくしても、緑感層からの現像影響を受けにくいことが分かった。また、第4層が緑感層の下に配置されることから、緑感層にとって緑光の感度ロスがなくなり、さらに、赤感層に近い第4層の本来の目的である赤感層への抑制量が増加することも分かった。一方、第4層に到達する光量は緑感層の通過時に一部吸収され、第4層の感度という観点からは不利である。これについてはハロゲン化銀のSUFG技術等により解消した。（ニューフォースレイヤー技術¹⁴⁾）



(a) Super400



(b) Current type

図 10.9 第4の感色層技術による色忠実性改良例¹³⁾

図 10.9 に衣服の色変わりの一例を紹介する。人間の眼では同じ紫色に見える衣服が、従来のフィルムでは右図 b のように紫色の上着に対して内側に着た紫色のニットのセーターが赤味に再現されているのが分かる。しかし、第 4 の感色層技術を導入することにより左図 a のように内側のセーターも外側の上着も共に紫色に再現されるようになることが分かる。

フジカラー SUPER400 に使用した技術は以下の通りである

- ①ニューフォースレイヤー技術（前述）
- ②ハロゲン化銀の SUFG 技術（前述）
- ③2 段タイミング DIR カプラー技術

放出された離脱基 (T₁-T₂-DI) が図 10.10 の (2) (3) の 2 ステップの反応を通じて DI を放出する。この反応速度を制御することにより、よりエッジ効果を強調することが可能となった。

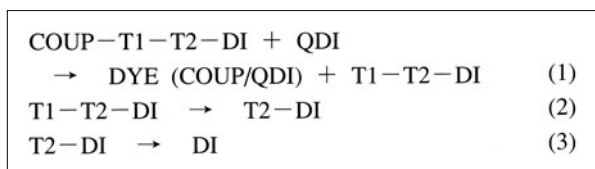


図 10.10 2 段タイミング DIR カプラーの抑制剤放出機構¹³⁾

④ YF 固体分散染料技術

ネクシア H400 には APS の小フォーマットによる画質劣化抑制のためにイエローフィルター (YF) 用固体分散染料を導入している。通常イエローフィルターにはコロイド銀が使用されるが、コロイド銀のブロードな吸収が緑感層の感度を損なうため、吸収スペクトル端の切れが良い固体分散染料を用いて感度低下を防止し画質改良に繋げた。

35mm フィルムの SUPER400 に加えて、APS フィルムのネクシア H400 を 1998 年に発売することで、感度 400 常用化と APS システムの普及促進に貢献した。

10.2 コニカの感光材料開発

1990 年代、コニカは 1990~91 年にスーパー DD シリーズ、インプレッサ 50 プロ、1997 年にセピアフィルム、1999 年にはセンチュリアシリーズ等を開発し、カラー銀塩写真産業の発展に対し大きな一翼を担った。特徴的な商品を以下に解説する。

10.2.1 コニカカラー スーパー DD400 の開発 (1990 年)¹⁵⁾

カメラの機能向上、特にストロボ内蔵に伴いカラー

ネガフィルムが使用される環境が変化し撮影領域が拡大した。しかしながら、このような環境変化に対し高感度カラーネガフィルムはどうあるべきかと云う観点より多数のプリントの解析を行った結果、蛍光灯下でのストロボ光撮影での緑味の強い不自然なプリント、露光不足でのザラツキ (粒状性)、極端な過度あるいは極少ない露光量での撮影による色バランスの崩れたプリントが多いことが明らかとなった。このため蛍光灯等の人工光源下においても人間が見ているままの自然な色再現ができると同時に粒状性等の画質が一段と向上し高感度フィルムでありながら常用フィルムとして使用できる品位を目的に以下の特性を付与することとした。

(1)異種光源適性

蛍光灯とストロボ光またはデイルイトとのミックス光源下での自然な色再現

(2)ISO100 フィルムに匹敵する高い画質

特に露光量不足でも良好な粒状性

(3)極めて広い露光ラチテュード

露光量大過剰でも良好なカラーバランス

これらの特性を付与するために以下の技術を検討し目的を達成した。

① SSF (Simulated Spectral Foundation) 技術

色再現のシミュレーション技術を駆使し、良好な色をプリント上に再現するために、カラーネガフィルムの分光感度分布と異感光層間の重層効果 (Inter Image Effect) を適切にコントロール。これにより異種光源適性が大幅に改善された。

② C-MS (Clean Multi-Structure Crystal) 技術

粒子サイズが良く揃った、極めてクリーンなハロゲン化銀結晶 (図 10.11 に示す) を形成する技術であり、光により結晶内部に発生した光電子を感光核に効率よく捕捉できるため高い感度を有する。従って従来よりも小粒径の結晶で同等以上の感度が得られ、極めて粒状性の良い画像が形成された。

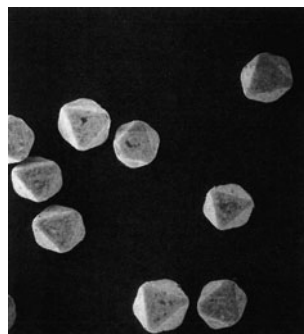


図 10.11 C-MS 粒子写真¹⁵⁾

③層構成技術

人間の眼に特に敏感な緑感光層と赤感光層を各々高感度、中感度、低感度の三層で形成する事により（図10.12）、高～低の各露光領域での画質を自在に設計でき、粒状性の向上とともに露光ラチチュードが拡大された。

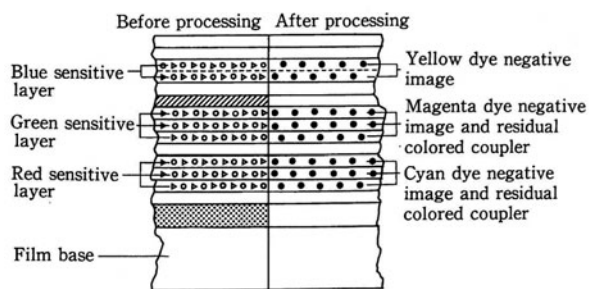


図 10.12 DD400 の層構成¹⁵⁾

10.2.2 コニカカラー インプレッサ 50 プロフェッショナルの開発（1991年）¹⁶⁾

プロ写真家及びハイアマチュアを対象として、あくまでも画質に拘り非常に優れた粒状性、鮮鋭性および色再現性を有し、被写体の画像情報を最高レベルで記録できる感度 ISO50 のカラーネガフィルムを提供することを目的に開発した。特に色再現については自然界の様々な色、各種色票、和服や洋服等の中から一千色を越える実在色について、カラー写真での再現のされ方とその色の反射スペクトルを測定し、両者の関係を綿密に検討した結果、特定の領域の色において再現性、描写力が劣っている事が明らかとなった。よって開発目標を以下に定めた。

(1)鮮鋭性、粒状性

常用フィルムの4×5サイズフィルム（10cm×12.5cm）からのプリントと同等画質を120サイズ（6cm×7cm）でつくる事ができる画質

(2)色再現性

見たままの色を再現する。特に（a）紫、青緑の色相変化のない再現、（b）赤から赤紫の色相弁別性の向上、（c）赤の陰影描写力の向上

これらの目標を達成させるために

① C-MS C (Clean Multi-Structure Crystal) 技術

スーパーDD400と同様に極めてクリーンなハロゲン化銀結晶を形成する技術であり、光により結晶内部に発生した光電子を感光核に効率よく捕捉できるため高い感度を有する。小粒径で高い感度を有し、良好な粒状性を達成した。図10.13に示すように、○印の新

粒子は△印の従来粒子に対して、どの粒子サイズにおいても高い感度を有することが分かる。また光散乱の大きな0.3～0.5μmの粒径のハロゲン化銀の回避が可能となり、鮮鋭性向上にも寄与した。

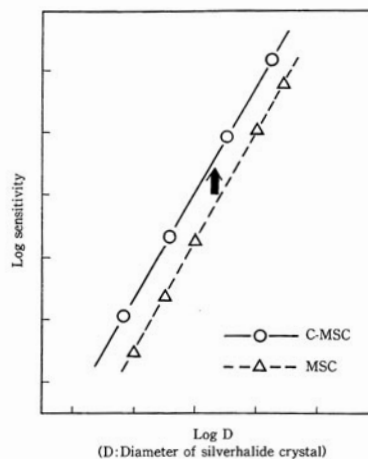


図 10.13 C-MS C 粒子の高感度化¹⁶⁾

②遠作用 DIR カプラー技術

現像抑制作用のコントロールにより現像効果（Edge 効果）を増大させ鮮鋭性を向上した。

③ Simulated Spectral Foundation Technology (SSF 技術)

スーパーDD400と同様に、分光感度と層間効果（IIE と略す）の最適な組合せをコンピューターシミュレーションで設計する技術と、分光感度と IIE を設計通りコントロールする技術により色再現性を大幅に向上した。特に従来のカラーネガフィルムに比べ青、赤感性層の分光感度の短波化と青、緑、赤感性層相互の6方向の IIE のバランスを光に応じて変化させるのが好ましいことが明確となった。

以上の技術開発を行うことにより、粒状性・鮮鋭性が初期目標に達すると同時に、オリジナルの色に非常に近い忠実な色再現性を有するカラーネガフィルムを提供することができた。

10.2.3 コニカカラー センチュリア 800（1999年）¹⁷⁾

コニカのカラーフィルムの開発コンセプトである「誰でも、どこでも、いつでも簡単に写真を楽しめる」を更に発展させ、「色再現性を代表とした高画質化・どの様な状況下でもきれいなプリントができる安定性・地球環境保護を率先して目指す企業としての責任垂範」をシリーズコンセプトとして21世紀に向けたコニカカラー センチュリア 100、200、400、800を開

発した。特にセンチュリア 800 は高感度フィルムのメリットを活かしつつ、常用感材として使用され得る特性を付与すべく開発を行った。よって、設計主眼を以下においた。

- (1)広いラチチュードによる安定した色バランス
- (2)ミックス光源下（自然光、ストロボ光、蛍光灯光）でも自然な色再現性
- (3)原色から中間色（赤紫、青紫、青緑等）までより忠実な色再現

これらを実現するために以下の4種類の新規技術を導入した。

① CENTURIA Crystal Technology

AgX 結晶の微細構造を精緻に設計・制御した受光面積が大きく、且つ均質性の高い粒子に高度な光センサー機能を組込むことにより、従来比で体積が約 1/2 でありながら高感度を実現した。

② CENTURIA Coupler Technology

分子設計によりカプラーのバラストおよび活性点置換基成分を最適化し、CENTURIA Crystal との現象速度バランスを最適化する事により高感度で且つ高画質な性能を実現した。

③ CENTURIA DIR Coupler Technology

反応速度、現象抑制能、現象抑制剤の拡散距離の最適化により鮮鋭性と同時に中間色再現性を大幅に改良した。

④ Refined Spectral Sensitivity Technology

新規増感色素とその使用技術の最適化により、分光感度分布を適正化し、ミックス光源適性と中間色再現性を同時に実現した。

これらの技術により、プロ、ハイアマチュアのみならず、これまで高感度フィルムに馴染みの少ないアマチュアにも使いやすいカラーネガフィルムを提供する事ができた。

引用文献

- 1) 「高感度・高画質を訴求した導入促進」、フォトマーケット7月号、26、6 (2005) など
- 2) 「フジカラー写ルンですスーパー800の開発」、

- 佐々木 登、富士フィルム研究報告、39、1 (1994)
- 3) Y.Nozawa, H. Ikoma, SPSE's 40th Annual Conference, Rochester, New York, USA (1987)
- 4) 「超高感度フィルムに対する自然放射線の影響」、写真工業、野沢 靖ら、写真工業出版社、44 (11)、92 (1986)
- 5) 「超高感度・高画質カラーネガフィルムの開発」、高田俊二、平野積、電気化学、56、705 (1988)
- 6) 「5. アミド-1-ナフトール型シアンカプラーの開発」、小林英俊、御林慶司、日本写真学会誌、57、316 (1994)
- 7) 「フジカラープロフェッショナルカラーネガフィルム 160NS、NL、NC の開発」、久米裕二、荒河純、小林英俊、井駒秀人、富士フィルム研究報告、40、22 (1995)
- 8) 「ハロゲン化銀カラー写真感光材料」、川岸俊雄、富田俊一、内田稔、特登 2668810 号 (1997)
- 9) 「Color Theory and Color Imaging Systems : Past, Present and Future」、J. J. McCann, JOURNAL of Imaging and Technology, 42, 70 (1998) 等
- 10) 「New フジ G カラーフィルム PROLASER FC/FT の開発」、松本淳、久米裕二、富士フィルム研究報告、49、32 (2004)
- 11) 「アドバンスト・フォト・システムの開発」、池上真平ら、富士フィルム研究報告、41、1 (1996)
- 12) 「新写真システム用 A-PEN 支持体の開発」、品川幸雄ら、富士フィルム研究報告、42、59 (1997)
- 13) 「フジカラーSuper400/NexiaH400 の開発」、須賀陽一、富士フィルム研究報告、44、7 (1999)
- 14) Y. Kume et al, IS&T's 1999 PICS Conference, 189 (1999)
- 15) 「コニカカラーSuperDD400 の開発」、嶋崎博ら、Konica Tec. Rep. 4, 28 (1991)
- 16) 「コニカカラーIMPRESA50Professional の開発」、嶋崎博ら、Konica Tec. Rep. 5, 20 (1992)
- 17) 「使い易さを追求した高感度フィルムの開発」、川島保彦ら、Konica Tec. Rep. 12, 143 (1999)

11 | 2000年以降のカラーネガフィルムの開発

2000年以降も銀塩カラーネガフィルムの開発は進み、各社の超高感度感材開発競争による、一般アマチュアの撮影領域拡大と失敗写真の解消が図られた。しかし一方、いよいよデジタルカメラが急速に進展し、画素数アップや感度向上に加え、取得した撮影情報から、光源（太陽光、タングステン光、蛍光灯等）を識別したり、画面上で顔を認識したり、コンピューターの情報処理を駆使した開発が進むことから、カメラ販売量からカラープリント量までデジタルカメラがほとんど主流を占めるに到った。銀塩カメラやカラーネガフィルムも更なる改良を進めたが、時代の潮流には抗えず、コニカミノルタは2006年にアマチュアフィルム・カメラ事業を終了する。2000年代はカラーネガフィルムとデジタルカメラの主客交代の時期となった。

11.1 コニカの感光材料開発とアマ用事業の終焉

2000年にコニカカラー New Centuria シリーズ (35mm800/400、APS800) を開発し、2002年にはコニカカラー Centuria Super シリーズ (100、200、400、800、1600、プロフェッショナル) を開発し、市場展開した。しかし、コニカはデジタルカメラの急速な台頭により、1903年に国産初の印画紙、1941年に国産初のカラー反転フィルムを発売するなど、日本の写真産業を一世以上にわたり支えてきたアマチュアフィルム・カメラ事業から2006年に撤退した。特徴のある商品について以下に解説する。

11.1.1 コニカカラー ニューセンチュリア 800 の開発¹⁾

2000年になると各社とも新しいISO800フィルムを市場投入し、銀塩フィルムの超高感度時代の幕開けの様相を呈した。その中でコニカはこれまでの独自技術を更に深化させ、高感度を意識することなく何時でも簡単に写真を撮るために設計した New Centuria 800 ズームスーパーを2000年に開発した。このフィルムはコニカカラーの伝統である“美しい肌色と優れた肌の質感”に加え、ISO800フィルム常用化の重要なスペックとして以下の点を重視した設計を行った。

- (1) 世界最高レベルの実効感度；低露光域の許容度アップに設計の焦点を絞り、世界最高レベルの実効感度の実現

- (2) 優れた粒状性と長続きする高感度・高画質；自然放射線によるカブリ濃度の上昇とカブリ粒状劣化（図11.1に示す）の改善
- (3) 優れた異種光源適性；世界最高レベルの実効感度に適した異種光源適性の付与
- (4) 環境を配慮した地球に優しい製品設計

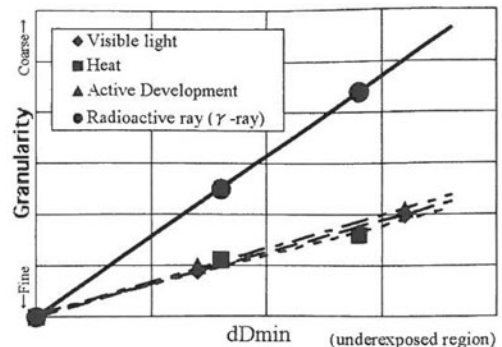


図 11.1 自然放射線による粒状悪化影響¹⁾

これらの設計思想実現のため、以下の技術を導入した。

- ①マルチコートクリスタル (MCC) 技術；主平面と側面のハロゲン組成コントロールにより、双方の粒子のメリットだけを兼ね備えたハロゲン化銀粒子を開発し、感度と粒状性の両立が可能となった。
- ②ウルトラコンシスタントクリスタル (UCC) 技術；粒径及び形状の単分散性に加え、ハロゲン化銀粒子のハロゲン構造、及び格子欠陥まで粒子間で均一に制御した粒子（図11.2に示す）により、現像の均一化により粒状性が大幅に改良された（図11.3参照）。また、このハロゲン化銀粒子は自然放射線の影響も少なく、自然放射線による保存性劣化が大幅に改善された。

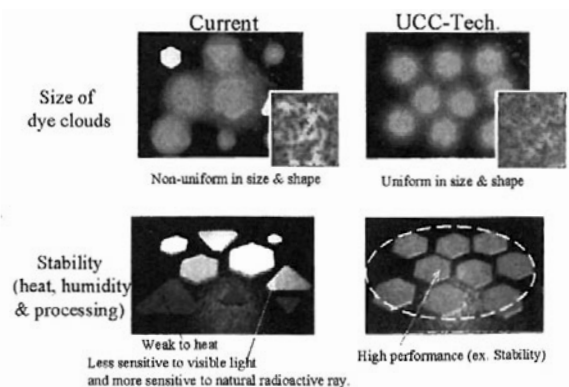


図 11.2 UCC 技術による粒状性の改良¹⁾

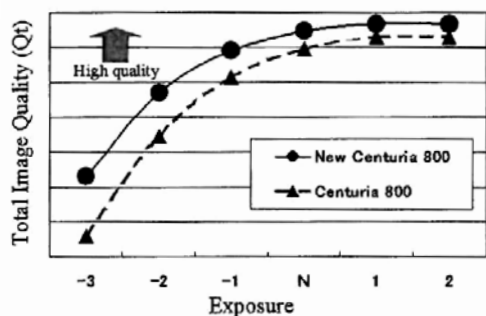


図 11.3 総合画質の改良効果¹⁾

- ③イグジスティングライトスペクトラム (ELS) 技術；様々な光源スペクトルに基づき分光感度をコントロールすることにより、色相再現性とストロボ適性、タングステン適性が備わった異種光源適性の両立が可能となった。
- ④環境問題のない可塑性；誘電率、logP、溶解度パラメーターを指針として環境問題のない脂肪酸エステル系可塑性を見出し、環境適性が大幅に改善された。また、高発色性ゆえ、大幅な薄膜化が可能となった (図 11.4 参照)。

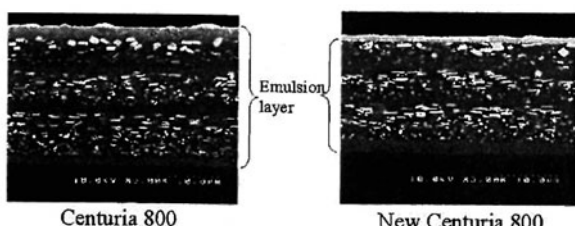


図 11.4 ニューセンチュリア 800 の膜厚薄層効果¹⁾

これらにより常用フィルムとして日常様々な用途に対応するだけでなく、高感度フィルムのユーザーメリットをより魅力的に享受できる常用高感度フィルムとして提供できた。

11.1.2 コニカカラー センチュリア スーパー 1600 の開発²⁾

2000年に発表したニューセンチュリア 800に続き、2年後、更なる高感度化を推し進めたセンチュリアスーパー1600は、「誰でも、どこでも、いつでも簡単に写真を楽しめる」と言う開発コンセプトを更に発展させた。また写真撮影領域の拡大から Shooting Performance Space の拡大へと発展させ、常用化を現実のものとした超高感度フィルムである。

この Shooting Performance Space は従来の写真撮影領域に実技面での使いやすさのファクター、ならびに粒状性、鮮鋭性及び色再現性のファクターから算出

される総合画質値を加味した満足度からなる3次元の写真撮影空間である。

これを実現するためには単に高感度だけではなく、画質、使いやすさの全ての面において大幅な性能向上が必要であり、特に微粒子高感度化技術と自然放射線耐性向上技術がポイントとなった。以下に概要を示す。

- ①スーパーマルチコートクリスタル技術 (Super MCC)；New Centuria 800に搭載されたMCC技術を更に進化させた単分散高アスペクト比六角平板乳剤であり (図 11.5)、MCCに対して光吸収効率は約2倍、体積は約2/3となり、感度と画質を両立した。

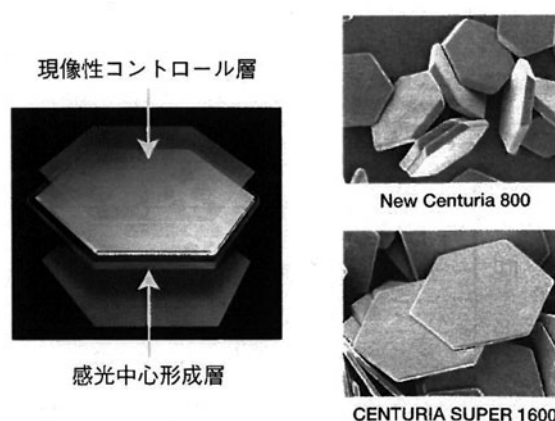


図 11.5 スーパーマルチコートクリスタル技術²⁾

- ②自然放射線耐性向上技術；Super MCC技術による現像時の発色色素の生成量抑制により自然放射線によるカブリ時の巨大色素雲の抑制と同時に、ウルトラコンシスタントクリスタル技術によるγ線感光性低減により、カブリを約1/2に低減し、感度と自然放射線耐性を両立した。
- ③フォトセンシビティエンハンサー技術；イエローフィルター層のコロイド銀を新規の2種の固定性イエロー染料 (図 11.6) に置き換えることにより、保存安定性、溶解物理現象に伴うカブリ解消、緑感層の感度向上と同時に、青光成分のシャープなフィルター特性 (図 11.7) で色分離が向上した。

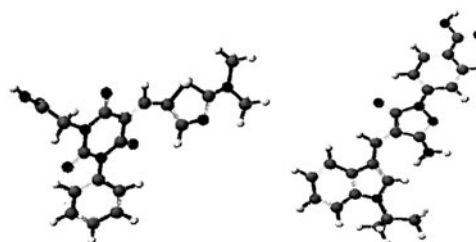


図 11.6 2種のイエロー染料の立体構造式²⁾

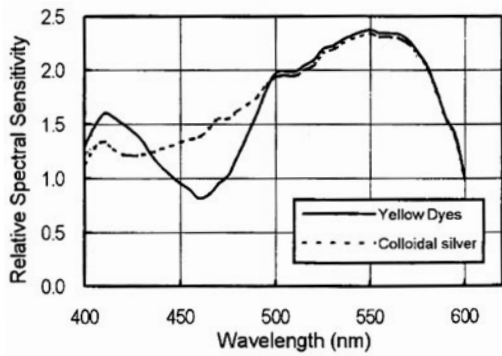


図 11.7 緑感層の分光感度比較²⁾

これに加えてロバストネスエンハンサー、イグジスティングライトスペクトル技術を導入する事により、常用フィルム並みの画質と使いやすい特性を兼ね備え、世界のスポーツイベントやフラッシュを使用しない雰囲気重視のシーン、高倍率ズームカメラでの使用など、初心者からハイアマチュア、プロの写真家の方まで安心して使用できる新常用フィルムを提供できた。

11.2 フジフィルムの感材開発と銀塩技術の新分野への展開

2000年にスペリアズームマスター800とスペリア1600のスペリアシリーズ、2001年に「写ルンですエクセレント」を完成し、2003年にはスペリアビーナスシリーズを発売した。2004年にはノンフラッシュによる新しい写真システム「ナチュラルフォトシステム」を提案し、フジカラーNATURAを市場導入した。また、営業写真分野では2005年にフジカラープロ160NSシリーズを開発した。さらに、撮影のデジタル化が遅い映画用分野では、2001年に第4の感色層技術を搭載した昼光用フジカラーネガフィルムリアア500Dを開発し、2005年にはエテルナシリーズを市場導入した。さらに、2007年にはCG（コンピューターグラフィックス）との相性を考慮したデジタルレコーダー出力専用フィルム エテルナ-RDIを開発するなど、近年まで新製品の開発を継続し、市場の活性化を図った。デジタルカメラによる影響は甚大なるものの、銀塩カラーネガフィルムの市場提供を続け、「写ルンです」の開発を含め、銀塩写真文化の灯を守り続けた。また銀塩写真技術の新分野への展開に関しても簡単に記述する。

11.2.1 フジカラーズームマスター800の開発³⁾

1989年のスーパーHG400の発売が、常用フィルム感度のISO100から400へのターニングポイントと

なり、1999年には35mmフォーマットで400比率が50%を超えるようになった⁴⁾。一方、コンパクトカメラの小型軽量化とズームレンズの高倍率化が進み、1990/91年頃の2倍ズームカメラから1998/99年には3倍ズームカメラへと主力製品が移行し、ズーム側のレンズの絞り値が8から11を超えるまでになった。また、撮影シーンの調査からもズーム撮影、屋内撮影、夜間撮影が50%以上を占めており、これらの動きから、フィルムにはさらなる高感度化の要求が増大していった。

そこで、以下の観点からの技術開発を行い、常用フィルムとして、より高感度のズームマスター800を2000年に開発した。

①忠実色再現性の向上

第4の感色層技術を導入。

②アンダー側ラチチュード（低露光域の許容度；特に色彩度）の向上

SUFUG技術から単分散高アスペクト比化と浅い電子トラップの導入⁵⁾によるFINEΣ乳剤（図11.8）技術を開発。この粒子を用いて、図11.9に示すように低露光域側の色彩度を向上した。

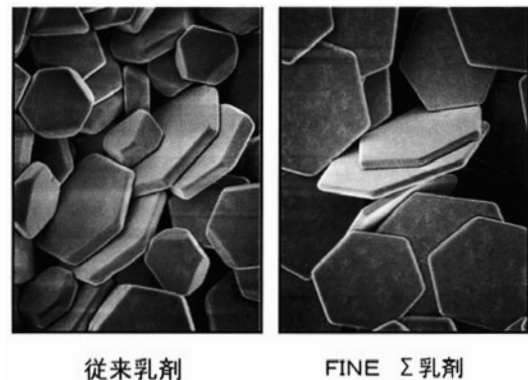


図 11.8 従来乳剤とFINEΣ乳剤の電子顕微鏡写真比較³⁾

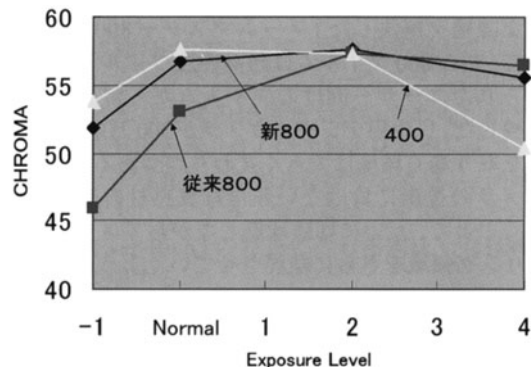


図 11.9 新800のアンダー側彩度向上効果³⁾

③シャープネスの向上

新規 DIR カプラーによりイメージシャープネスをさらに増大。

このズームマスター800の開発から、カラーネガフィルムはISO感度800以上の超高感度感材開発競争が始まることになった。

11.2.2 超高画質 写ルンですエクセレントの開発⁶⁾

2001年12月に発売した写ルンですエクセレントは超高感度カラーネガフィルム SUPERIA1600 と AE (自動露出補正) 機構及び自動調光フラッシュを組み合わせ、低露光域側の撮影領域拡大と高露光域側の小絞り化によるシャープネス向上を達成した。

SUPERIA1600 は 2000 年 12 月に発売された ISO 感度 1600 の超高感度カラーネガフィルムであり、第4の感色層技術、FINE-Σ乳剤技術、新規 DIR カプラー技術等を駆使し、感度と画質、さらに色再現性(色忠実性)の改良を図り、一般アマチュアでも汎用的に使用できるフィルムとして仕上げられた。

写ルンですエクセレントは、撮影レンズに非球面の2枚玉を用い、AE回路により、低露光側ではF8、LV値11以上の高露光側ではピトウィンタイプの絞りを挿入しF18と切替える方式になっている(図11.10)。高露光域では従来の写ルンですのレンズ絞り値をF11からF18に絞り込むことで、画面中心から周辺までのシャープネスが改善し、周辺光量のアップ及び色収差の減少も加えて、従来の写ルンですにない最高画質を達成した。また、低露光域では、絞りF8と調光フラッシュの採用により、背景も取り込んだ臨場感のあるプリントが得られるように工夫した。調光フラッシュは受光センサーによりフラッシュ光の反射量を検出しフラッシュ光量を調節することで、近接撮

影での白オバケプリント(強いフラッシュ光で顔などの主要被写体だけが真白く写り込むこと)を防止する(図11.11)。

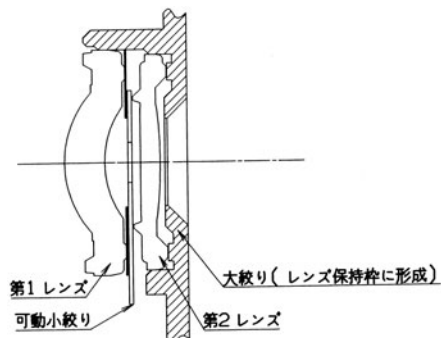


図 11.10 エクセレントのレンズ構造⁶⁾

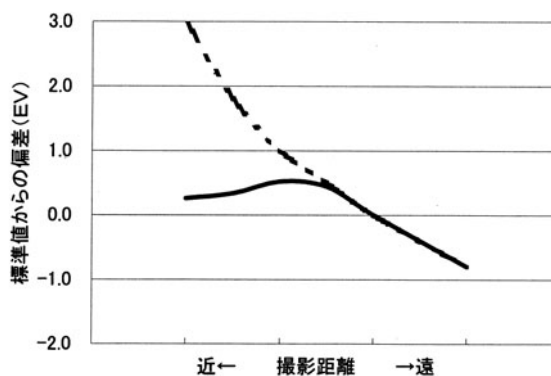


図 11.11 撮影距離に対するフラッシュ光量調節⁶⁾

システム感度アップと自動調光フラッシュの効果を図11.12に示す。フラッシュ光量が調節され、システム感度アップによる背景描写力と併せて人物/背景間の露光量バランスが改善されていることが分かる。

超高感度フィルム SUPERIA1600 とこれらの高機能部品をコンパクトに、かつ低価格で開発し写ルンですエクセレントに装着することによって、安価なカメラに負けない写りと携帯性を両立した。



エクセレント

NEW エース 800

図 11.12 自動調光フラッシュとシステム感度アップの効果⁶⁾

11.2.3 ナチュラルフォトシステムの開発⁷⁾

2004年10月に、新開発カメラ NATURA S とカラーネガフィルム NATURA 1600 を組み合わせて、ノンフラッシュの自然な雰囲気の写真撮影が可能であるナチュラルフォトシステム (NP システム) を発表、発売した。デジタルカメラの普及率が50%を超え、写真産業は機能とコストが優先される市場になりつつあったが、銀塩写真の高感度と高ラチチュード (広い露光許容域) の特徴を最大限に活かした情緒価値の高い商品の提供を試みた。

デジタルカメラの常用 ISO 感度は100~200 (*2002年時点) に対して、カラーネガフィルムの常用 ISO 感度は1600 と高く、撮影のダイナミックレンジも、CCD は+1EV (EV とは Exposure Value の略。2のべき乗で、1 違うと露光量が2倍、2 違うと4倍、3 違うと8倍の差となる) 即ち2倍程度であるが、カラーネガフィルムは+8EV、即ち適正露光から256倍までの光量変化に対しても画像情報の記録が可能である⁸⁾。これはカラーネガフィルムにおいては、どんな露光条件の場合でも撮影の失敗がなくほとんど映像の記録が可能であることを意味する。

ところで、通常ユーザーがどのような場所で撮影しているのかについて露光量 (LV 値) の頻度分布を調査した結果、室内や夜間の撮影が40%以上もの比率に及んでいることが分かった。これまで、高感度フィルムを用いてフラッシュ撮影時の背景描写の向上を行ってきたが、今回はこれまでの延長線とは異なる、ノンフラッシュ撮影に取り組んだ。しかし、これにはいくつもの越えなければならない課題があった。

①適切な露出

実写による解析で、中央部重点平均測光に対して人物の露出は概ね2EV程度アンダーとなった。これは水平面照度や壁面照度に比べて部屋中央部の鉛直面照度がどうしても暗くなることに起因する。

②色温度

近年の照明設計では「落ち着いた」や「安らぎ感」を与える、色温度の低い暖色系の照明が増えている。タングステン電球や電球色の蛍光灯を用いるケースが増えてきた。しかし、カラーネガフィルムは5000Kのデライト光源を前提に設計されている。また、カメラの測光は緑色を中心とした分光感度になっている。このため、色温度の低い電球等の光源下では特に青感性層の感度が不足してしまうことが分かった。

これらのことから、室内等のノンフラッシュ撮影では+2EV程度のオーバー側への露光補正が必要であることが分かった。そこで、専用のフィルム ナチュ

ラ1600を装填した場合にはISO400と認識させることで、+2EVの露光を補正させることとした。一方、その他の市販のフィルムを使用した場合には通常の露光補正で一般の汎用カメラとして使用できる。

③システム感度

ノンフラッシュを標榜するからには、あらゆる明るさでユーザーの期待に応える描写が出来なければならないが、数多くの実写テストにより、LV (Light Value) 3.5をシステム感度の目標値に設定することとした。こうすると、街灯の近くの人物やキャンドルに照らされた人物等が描写可能である。一方、シャッター速度は1/45秒で手振れ発生率が5%以下となる結果から、この速度制限を設けることとした。フィルムにISO1600を用いた場合、LV3.5のシステム感度を達成するためにはF2.0という極めて明るいレンズが必要である。そこで、非球面レンズ2枚を含む6群7枚で構成されたF1.9のレンズを開発した。

NPモードの露光制御を図11.13に示すが、屋内、夜間撮影領域では+2EVの露光制御を行い、1/45秒のシャッター速度規制をかける。一方、日中屋外は低色温度光源の出現確立がないため、露出補正を+1.5EVに下げる設定とした。

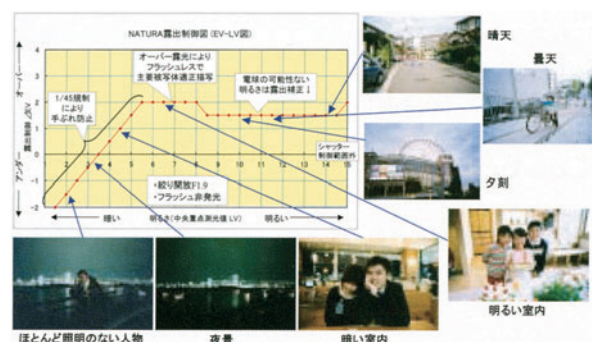


図 11.13 ナチュラ S の露出制御⁷⁾

NP システムと通常撮影の比較を図 11.14 に示す。フラッシュ発光により、近くの被写体のみが白く浮き上がる、いわゆる白オバケが解消され、自然なプリント仕上がりになることが分かる。また、ノンフラッシュのメリットはまわりに気兼ねなく撮影可能であり、フラッシュ発光によりその場の雰囲気を壊すこともない。美術館等、フラッシュが禁止されている場所でも撮影可能であり、眩しさもなく、赤目も発生しない。

フジフィルムは、2004年に銀塩写真のメリットを活かした NP システムを新たに市場導入することで、あくまで情緒価値の高い写真の楽しさを提供し続けていった。



Fig. 2a Non-flash photo taken by NATURA S/NATURA 1600.



Fig. 2b Flash photo taken by an ordinary compact film camera.



Fig. 3a Non-flash photo taken by NATURA S/NATURA 1600.



Fig. 3b Flash photo taken by an ordinary compact film camera.

図 11.14 NP システムによるプリント例比較⁷⁾

11.2.4 映画用カラーネガフィルム ETERNA シリーズの開発⁹⁾

フジフィルムの映画用カラーネガフィルム開発の歴史は、1947年に3色方式外式反転フィルムの試作を完成させて以来、1955年に映画用内式（アグファ型水溶性カプラー使用）カラーネガフィルムを開発し、1969年に映画用内式（コダック型オイルプロテクトカプラー使用）カラーネガフィルムを開発してきた。その後も、高感度化、画質改良及び目的別多様化品種の開発に務め、1980年に E. I. 250、1984年には

E. I. 500 のカラーネガフィルムの発売というように、世界に先駆けて高感度感材の市場導入を果たした。それ以降も性能改良を続けた。一例として、同じ E. I. 500 の感度を持つカラーネガフィルムである AX500（1989年）、F-500（1991年）、New Super F-500（1998年）について比較してみると図 11.15 の電子顕微鏡断面写真から分かるようにハロゲン化銀の粒子体積が AX500 から New Super F-500 で 1/3 以下にまで減少し、その結果として図 11.16 のように粒状性が大きく改善されていることが分かる¹⁰⁾。

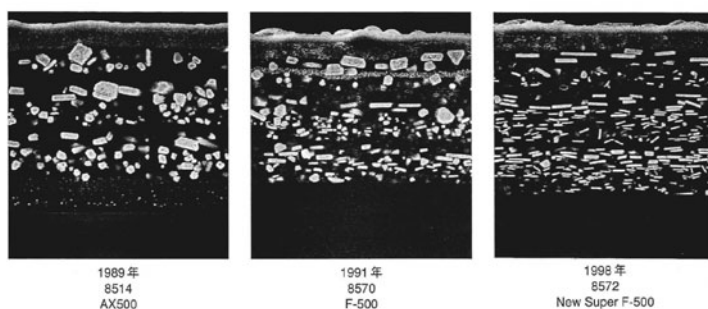


図 11.15 映画用カラーネガフィルムの断面写真の推移¹⁰⁾（電子顕微鏡）

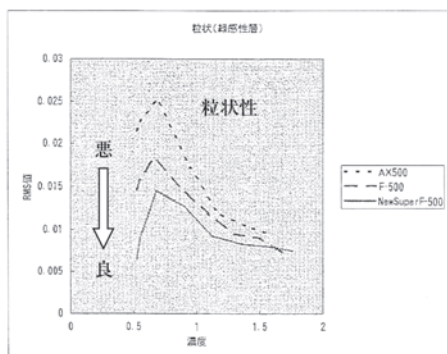


図 11.16 緑感光層の粒状性改良の推移¹⁰⁾

これらの改良は、一般用カラーネガフィルム分野で開発した、ハロゲン化銀の革新技術（シグマクリスタル技術）であり、新規の有機素材技術（新規 DIR カプラー等）の映画用カラーネガフィルムへの展開によるものであった。

そして、これらの改良の集大成として、2004年には E. I. 500 ETERNA500（タングステンタイプ）¹¹⁾、2005年に軟調 E. I. 400 ETERNA400（タングステンタイプ）、E. I. 250、250D の ETERNA250、250D（D: デイライトタイプ）という高感度かつ高画質の映画用撮影カラーネガフィルム ETERNA シリーズを市場導入した¹²⁾。

米国の「American Cinematographer」誌上で紹介されている映画撮影に使用されたカラーガフィルムの感度別比率をみると、中、高感度フィルムの使用が増え、2003年になると高感度（E. I. 500）と中庸感度（E. I. 250）のフィルムで全体の80%を占めるようになっている。これは、暗いシーンの撮影だけでなく、撮影用ライティング機材の簡素化によるコストダウンや機動性向上のため、等に由来する。また、映画一作品に使用されるカラーネガフィルムの数も二種類以上になることが多くなってきた。これまで高感度フィルムは感度が優先され画質がやや疎かにされていたが、感度が異なるフィルムがシームレスに繋がる場合の画質の差異（インターカット適性）が小さいことも映画作品の質向上のうえで重要になってきた。そこで、画質の高い低感度（E. I. 125）フィルムに対して、E. I. 250、500 フィルムをシリーズで改良し、性能の揃ったラインナップで市場に提供するための検討を開始した。

図 11.17 に映画撮影から上映までの流れについて簡単に示す。通常、フィルム使用の場合は撮影済ネガフィルムから2度のインターミディエイトフィルムへの焼き付けによる複製ネガフィルムを作り、これから上映用ポジフィルムに焼き付ける。一方、デジタル化も進展しオールデジタル化については、2000年に開発された SONY 製 HD24p ビデオカメラを用いジョージ・ルーカスが「Star Wars Episode 2」を撮影から上映までデジタルでできることを業界に示したが、上映プロジェクターの導入、メンテナンスコストや海賊版防止、アーカイバルの信頼性などの観点からオールデジタル化への普及は鈍かった。ただ、編集工程では高解像度で情報を取り扱えるデジタル映像技術の進歩から、銀塩フィルムの画像にコンピューターグラフィック（CG）を合成編集し、現実には有り得ない映像を創り出しフィルムにアナログ変換して上映される作品が増加した。このデジタル変換プロセスにおいて、撮影フィルムの粒状性や編集時の画像エッジ部の

にじみ等が問題となり、また階調や色再現性の様々な変化が色補正を困難にする等の課題が発生した。

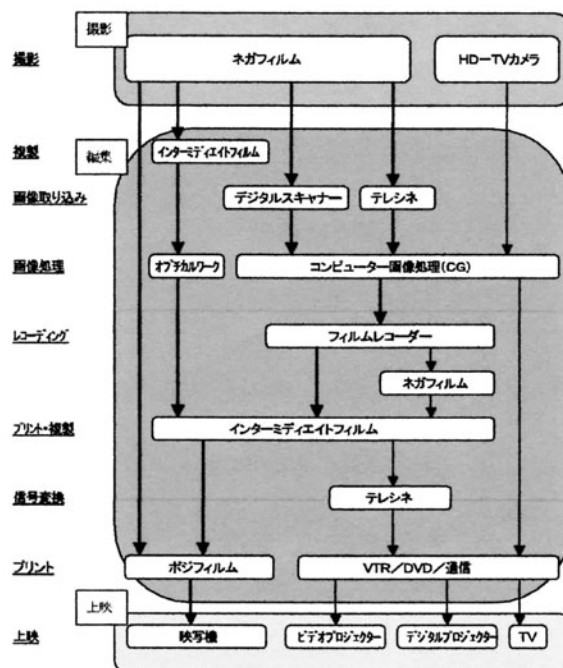


図 11.17 映画フィルム作成のワークフロー⁹⁾

ところで、一般用カラーネガフィルムがデーライトタイプ、すなわち、光源の色温度が高い昼光色（約 5500° K）用の設計に対して、映画用カラーネガフィルムの多くは色温度の低いタングステン用（約 3200° K）に設計されている。図 11.18 に色温度の違いによるエネルギー分布の波長依存性を示す。

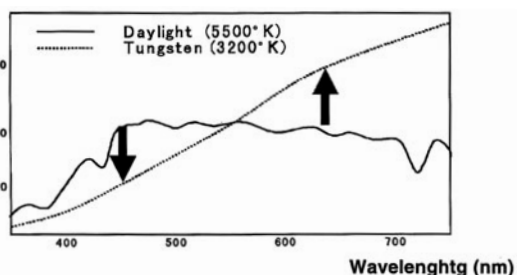


図 11.18 デーライト光とタングステン光の相対的な波長のエネルギー分布比較¹⁰⁾

この図から分かるように、光源がタングステン光の場合、青色光のエネルギーが赤色光に対して相対的に低く、青感性層の感度を高く設計する必要がある。大まかに、各感色性層の一般用フィルムとの感度の対応関係を示すと、下記ようになる。

映画用 E. I. 500 フィルム		一般用カラーネガフィルム
青		ISO1600
緑	↔	ISO800
赤		ISO400

これから分かるように、特に映画用カラーネガフィルムの開発には青感性層の高感度化と画質劣化抑制が重要となる。また、映画は1秒間に24コマ（約50cm）のスピードで撮影され、カメラノイズ或いはカメラ内の走行時の様みや傷などの外的圧力に対する適性も要求される。

これらの課題を踏まえ、ETERUNA シリーズのフィルムには下記の技術が盛り込まれた。

- ①スーパー・ナノ・ストラクチャー・シグマ・グレイン技術
- ②スーパー・エフィシエント・DIR カプラー技術
- ③スーパー・エフィシエント・カプラー技術

スーパー・ナノ・ストラクチャー・シグマ・グレイン技術について、簡単に説明を加える。まず光吸収率を向上させるために、粒子の平板度をあげて増感色素による受光断面積を増加させた。また、潜像形成効率を向上させることも重要であり、光電子と色素正孔の再結合による固有減感防止のために、光電子を一時捕獲できる電子蓄積部として、平板粒子のフリンジ部に刃状転位構造を内蔵させてきたが（図 11.19）、平板粒子の厚みが薄くなるにつれて転位構造が不均一となった。そこで平板粒子基盤と格子定数のミスマッチが大きいハロゲン化銀エピタキシーを宿主粒子側面に局在させる成長法を開発し、この課題を克服した。図 11.20 は電子顕微鏡によるハロゲン化銀の透過写真であるが、新開発粒子はフリンジ部に集中して、高密度で均一な刃状転位が内蔵されていることが分かる。

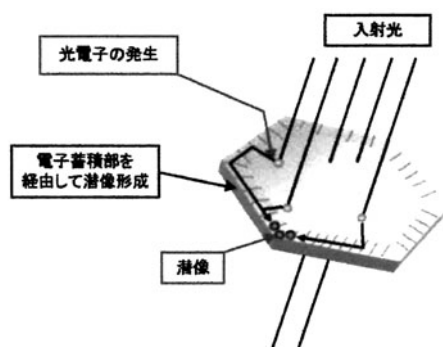


図 11.19 潜像形成の模式図⁹⁾

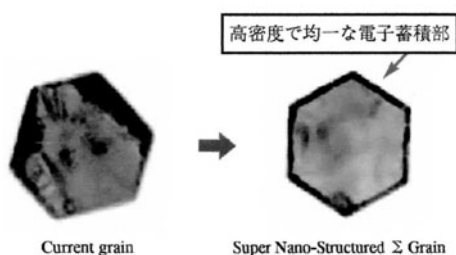


図 11.20 新旧粒子の刃状転位比較⁹⁾

上記の技術を搭載することにより、粒状性を例にとると、図 11.21 から分かるように実線の ETERNA500 は長破線の従来 E. I. 500 フィルムから大幅に粒状性を改良し、不満の少ない E. I. 250 フィルムに近い世界最高水準の粒状性を実現できた。

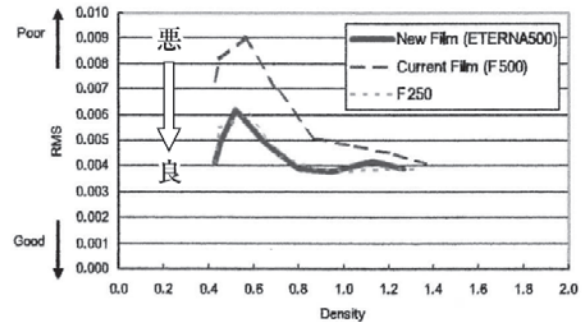


図 11.21 ETERNA500 の粒状性改良効果⁹⁾

さらに色再現性や鮮鋭性の改良と併せて、暗保存堅牢性に優れた新規カプラーの採用によりアーカイブ性も向上し、デジタル時代にも充分に威力を発揮する ETERNA シリーズのカラーネガフィルム群を市場に提供することができた。

11.2.5 映画用デジタルレコーダー出力専用フィルム ETERNA-RDI の開発¹³⁾

2005 年の ETERNA シリーズの開発に続き、2007 年には映画製作におけるトータル画質向上のソリューションとして、フィルムレコーディング画質を飛躍的に向上させる、業界初のデジタルレコーダー出力専用フィルム ETERNA-RDI を市場導入した。

近年、映画製作におけるデジタル編集比率は着実に増加し、現在では 80% を超えるに至っている。

こうしたトレンドと共に、映画製作のワークフローも変化をとげてきた。図 11.22 のように、ネガフィルムをスキヤニングした高画質の画像に、さまざまなデジタル画像を合成し、デジタルマスターが作られる。フィルムレコーダーを用いて、これを出力フィルムに記録し、さらに複製フィルムを作成した後、ポジフィルムにプリントし上映される。

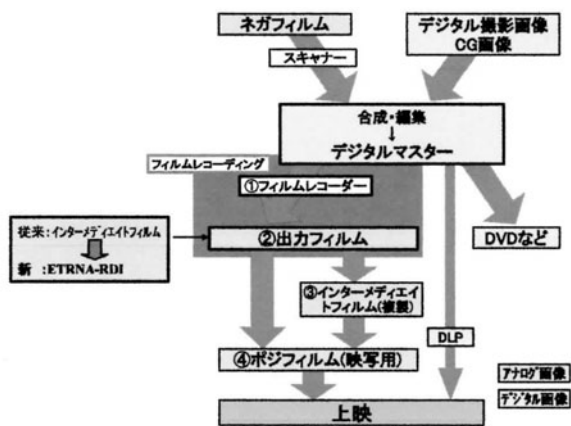


図 11.22 近年の映画フィルム作成におけるワークフロー¹³⁾

フィルムレコーディング工程は、デジタル/アナログ変換を行い、トータル画質を左右する重要な工程である。さまざまな技術革新がなされたが、1998年に独ARRI社がレーザー走査記録方式のARRILASERを開発し、飛躍的な高精細、高コントラスト化による高画質化を達成した。しかし、レコーディング用フィルムは従来のアナログ編集用インターメディアイトフィルムが使用されていたため、デジタルマスターの情報量がフィルムに十分に伝達されていなかった。

そこで、ハイライト部の画像にじみと混色による色再現の劣化、及び長尺レコーディング時のトップ/ラスト駒間の色ずれに的を絞り、性能改良研究を開始した。画像にじみとは、劇場スクリーンは横幅25mを超えるものも多く、拡大率は実に1200倍を超えるため、インターメディアイトフィルム作成時の微細なフィルム内の光散乱が上映時ににじみとして写る現象をいう。混色による色再現劣化とは、レーザーの光量をあげてインターメディアイトフィルムに露光した場合、露光のレーザー光はあくまで単色であるが、フィルム中ではレーザー光と異なる感色性層が僅かな感度を持つことで発色し色純度を落とすことである。また、トップ/ラスト駒間の色ずれとは、レーザーによるフィルムへのレコーディングが1コマ数秒かかり、2000ft長1ロールのレコーディングに15時間以上要するため、その後すぐに現像すると露光後時間の経ったトップと露光直後のラストの駒間で、潜像保存性の差により各感色性層間のわずかな色バランスの変化が起こる現象をいう。

これらの課題に対して、①スーパー・ナノ・キュービック・グレイン技術や②スーパー・エフィシエント・ライト・コントロール技術を新たに開発することにより、前記課題を克服しETERNA-RDIフィルムを市場導入することができた。

スーパー・ナノ・キュービック・グレイン技術について簡単に説明する。インターメディアイトフィルムは高い鮮鋭性と優れた粒状性を必要とし、0.1~0.2 μm の微粒子ハロゲン化銀を使用している。これまでのアナログ方式である撮影ネガフィルムから面露光をする場合は露光時間が1/1000秒オーダーであったが、走査型レーザー露光方式の場合では露光時間が数十ナノ秒(ナノ秒とは 10^{-9} 秒)となり、露光時間がこれまでの 10^6 分の1に短縮される。このため、高照度相反則不軌¹⁴⁾(相反則不軌とは露光時間×露光照度のトータル露光量が同じでも、感度が変わる現象をいう)が発生していた。これに対して、イリジウム錯体をハロゲン化銀粒子内部の適切な位置にドーピングし、浅い電子トラップを形成することで、超短時間露光により発生した光電子を一時捕捉し、潜像として有効に活用させられるようにした。また、増感色素の会合性や親疎水性の詳細な検討から、従来知られていなかった特定の増感色素の組み合わせによって、フィルムレコーダーの各レーザー光の波長にあった分光感度スペクトルを生み出すことで、レコーダーとのマッチングを図った。この変更により、オーバー露光による色濁りも抑制できた。

これらの改良により、実質的に感度を10倍近く高められ、これを原資に小粒子化と銀量削減を果たし、スーパー・エフィシエント・ライト・コントロール技術も併用することで、にじみ低減に対する相乗効果を生んだ。

映画分野においても、フジフィルムは2000年以降も銀塩写真の文化の灯を守りながら、デジタル技術との融合を図り、高画質で使い勝手の良いシステムとしての製品の開発を継続していった。

11.2.6 銀塩写真技術の新分野への展開¹⁵⁾

銀塩写真の技術は、現在では産業用機能性材料のみならずヘルスケア商品(化粧品・サプリメント)等へも新たな展開を続けている。フジフィルムは、写真フィルムへの研究開発を通じて獲得した「画像技術」、「機能性材料技術」などを他分野にも応用することでさまざまな事業への進出を果たしてきた(図11.23参照)。その結果、2010年現在、一般撮影用カラーフィルムの売り上げはフジフィルム連結売上高の約2%を占めるにとどまり、売上高の大半は写真フィルム以外のビジネスによって生み出されている。

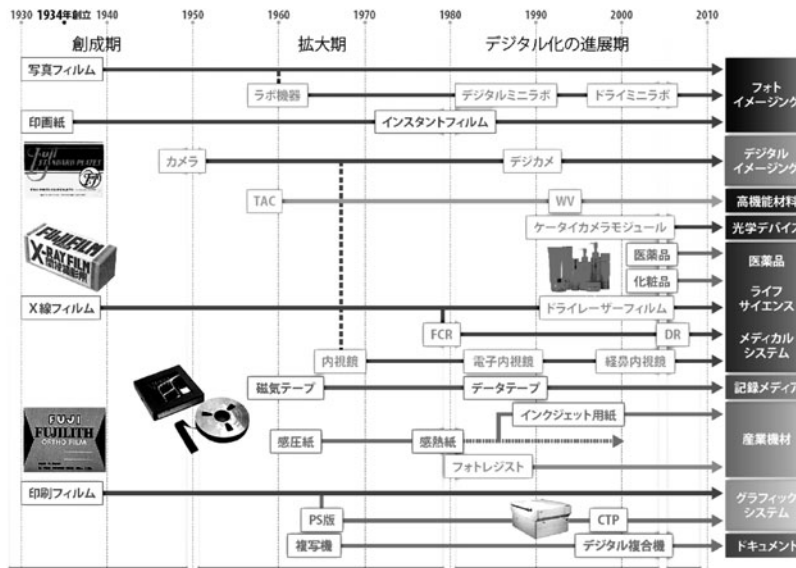


図 11.23 フジフィルムの製品開発の歴史一覧¹⁵⁾

現在の事業は表 11.1 のように 5 事業から構成されているが、多くの事業は銀塩写真技術から派生したコア技術が中核に在ることが分かる。

表 11.1 フジフィルムの事業分野¹⁵⁾

事業分野	成長戦略
医療システム・ライフサイエンス	画像診断・解析・FTD (*1)・合成・創薬・RI (*2) などの基盤技術を駆使し、新しい形のトータルヘルスケア事業を強力に推進。 *1 FTD: Formulation Targeting Delivery *2 RI: Radioisotope/放射性同位元素
グラフィックシステム	デジタルプリンティング市場において、インクジェットとゼログラフィアーの両技術を活用。販売チャネル・ブランド等のリソースを集結し、中核事業として強化。印刷用CTPプレートの世界トップシェア獲得。
ドキュメント	プロダクション事業、ソリューション事業、グローバルサービスなど成長領域を強化。カラー機販売拡大とアプリケーションの拡充を通じたカラープリントボリューム拡大による事業基盤の維持・強化。
光学デバイス	超小型・高画質商品の投入によるカメラ付き携帯電話用レンズユニットの市場シェア拡大。セキュリティカメラ用レンズ、車載用レンズなど新たな事業領域の拡大。
高機能材料	フラットパネルディスプレイ材料における高機能フィルムの販売を拡大。先端コア技術により薄膜太陽電池部材など付加価値の高い機能性材料事業を創出。環境・エネルギー領域の製品開発に注力。

写真材料技術の中核は、大きくは「分散」、「粒子形成」、「機能性分子合成」、「酸化還元処理」、「精密成

形」、「多層精密塗布・パターニング」、「薄膜形成・加工」、「機能性ポリマー合成」の 8 要素技術に分類される。これらの要素技術の組合せが新たな製品や事業を生み出す根幹となっている (図 11.24 参照)。具体的な製品の例を以下に述べる。

(1) 液晶用フィルムの製品例

ワイドビューフィルム (WV) は、カラーフィルムで使用する TAC フィルムを支持体として、その上に独自のディスコティック液晶でコーティングされたフィルムである。液晶ディスプレイの視野角拡大の効果が得られるフィルムで、フジフィルムが世界に先駆け開発した。液晶の構成図を図 11.25 右に示す。通常は液晶セルを通過した光は指向性を持ち、正面しか明るくないが、WV フィルムを装着することで、指向性を解消し広い角度に均一な光を届ける。このため、どの方向から見ても明るい液晶画面が見られることにな



図 11.24 写真材料技術をコアとした技術発展¹⁵⁾

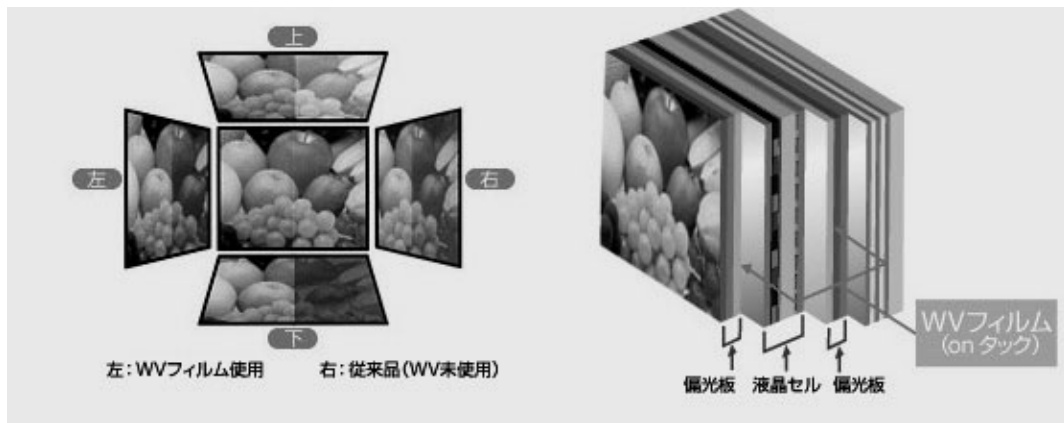


図 11.25 液晶の構成図とワイドビューフィルムの効果¹⁵⁾

る。図 11.25 左画面の左側に WV フィルムが装着されており、上下左右どこから見ても、果物が同じ明るさで再現されていることが分かる。TAC フィルムの製造も銀塩に由来する独自の、数多くの生産技術によって支えられている。

(2) 機能性化粧品・サプリメントの製品例

銀塩写真技術から生まれた機能性化粧品アスタリフトに使われている技術を概説する。

① コラーゲン技術

写真フィルムの主原料であるゼラチンは、肌の主成分と同じコラーゲンから抽出したものである。写真研究の歴史はゼラチンやコラーゲン研究の歴史でもあった。その研究成果が化粧品やサプリメントなどに応用され、未来への可能性を広げている。

② 写真の色あせ防止技術

以前撮った写真がいつのまにか色あせているという写真の色あせの原因は、活性酸素による酸化現象である。フジフィルムは写真プリントや生フィルムの劣化を守るために、製品または成分の酸化を制御する技術の開発に力を注いできた。人間の体内でも重要な化合物である水溶性のビタミン C や油性のビタミン E 等がカラーネガフィルムにも添加され酸化劣化を防いできた。その技術がアンチエイジング技術として機能性化粧品やサプリメントの開発に活かされている。

③ ナノテクノロジー

スキンケアに重要なことは必要な成分を働きはそのままに肌の必要な場所（角層まで）へしっかりと届けることである。実はこれは写真フィルムの持つ機能とよく似ている。さまざまな働きをもつ成分を、働きはそのままに超微粒子化し非常に薄いフィルムの中の必要な層へ安定して配置することで優れた写真フィルムは作られる。この微細化し必要な場所で働かせるナノ

テクノロジー技術が多くの製品に活かされている。

(3) 医療診断システムへの応用例

例えば、写真の現像プロセスで用いる銀塩の増幅技術を応用することで、一般的な診断薬と比較して約 100 倍の高感度でインフルエンザウイルスを検出できる「超高感度イムノクロマト法インフルエンザ診断システム」を開発した。(2011 年)

「超高感度イムノクロマト法インフルエンザ診断システム」は、試薬中の金コロイド標識の周りで銀を増幅させて標識のサイズを拡大することで、試薬上に検体と試薬の抗原抗体反応によってできる判定ラインをよりはっきりと示すことができる。さらに、生化学自動分析装置やデジタルカメラなどで培った画像認識技術を応用した読み取り機能搭載のデンストメトリー分析装置「富士ドライケム IMMUNO AG1」での測定結果を自動判定することで判定誤差を格段に低減させた。これにより、発症初期などのウイルスが少ない状態における診断精度を大幅に向上させた。

以上、写真材料を土台とした基盤技術から派生する新たな製品や事業の可能性は未だ尽きない。あらためて、新たな製品開発や上市を通じて確立された銀塩写真技術の高度さと精緻さを少しでも認識していただけると光栄である。

引用文献

- 1) 「次世代カラーネガフィルム New Centuria の開発」、大谷博史ら、Konica Tec. Rep., 14, 9 (2001)
- 2) 「常用超高感度カラーネガフィルムの開発」、岩崎利彦、高田宏、大谷博史、Konica Tec. Rep., 16, 5 (2000)
- 3) 「フジカラーズームマスター800の開発」、須賀陽一、久米裕二ら、富士フィルム研究報告、46、

- 9 (2001)
- 4) 「高画質の訴求とAPSで普及を促進」、フォトマーケット8月号、21 (268)、11 (2000)
 - 5) 大脇知徳ら、日本写真学会秋季大会予稿集、29 (1995)
 - 6) 「超高画質 写ルンですエクセレントの開発」、野口修由、久米裕二ら、富士フィルム研究報告、47、7 (2002)
 - 7) 「NATURAL PHOTO SYSTEMの開発」、内田充洋ら、富士フィルム研究報告、50、4 (2005)
 - 8) Mitsuhiko Uchida et al., ICIS '02, TOKYO, 120 (2002)
 - 9) 「映画用カラーネガフィルム ETERNA シリーズの開発」、白井英行ら、富士フィルム研究報告、51、12 (2006)
 - 10) 「高感度映画用カラーネガフィルム New Super F シリーズの開発」、西村亮治、槇野克美、富士フィルム研究報告、45、1 (2000)
 - 11) 「Fujicolor Negative Film 500」、富士写真フィルム(株)、映画テレビ技術、630、75 (2005)
 - 12) 「Fujicolor Negative Film 400/250/250D」、富士写真フィルム(株)、映画テレビ技術、641、51 (2006)
 - 13) 「映画用デジタルレコーダー出力専用フィルム ETERNA-RDIの開発」、富士フィルム研究報告、53、1 (2008)
 - 14) 「写真感光材料の特性値のバラツキ」、林淳、材料科学、17、25 (1980)
 - 15) フジフィルムホームページ、フジフィルム・アニュアル・レポート2011 など

12 | 銀塩写真における重要技術誕生の経緯、秘話

12.1 ダゲールによるダゲレオタイプの発明

鎌田 彌壽治著の「写真知識」から以下の文章を引用する¹⁾。

『1827年8月、フランス・パリのソルボン大学でフランスの大科学者アンドレ・ジュマスという人が科学に関する大講演をやったことがある。講演が終わった時、講堂を圧する大聴衆の中から、いかにも疲れ切ったような一婦人が、ジュマス先生のそばに近づき、おそろおそろ先生にたずねた。

「先生まことに失礼ですが、私にとりましては非常に大切なことを、この機会に先生におたずねしたいのであります。お許しを願います。じつは私はダゲールと申す画家の妻であります。私の主人は数年前から、彼が以前から風景画を描くために使い慣れたカメラの、焦点上に映じた自然物の映像を、化学薬品か何かで、瞬間的に固定捕捉せんと思いたち、その後は夜もほとんど眠らず、夢中になって一所懸命であります。あまりに熱心なので、私はもはや、彼は精神に異常を呈したものと心配でたまりません。先生そんなことが、はたして実際にできるものでしょうか、いや私はもはや主人は発狂したものと思います。それで世界の大科学者ジュマス先生に、これに関しご意見をお聞かせ願いたいのであります——。」

ジュマス先生少時、瞑目沈思ののち、「それはすこぶるむづかしい質問であります。私は現在の人間の知識では、まずまず不可能と存じます。ただし、それが未来永劫に不可能であるかどうかを、今ここで断定するわけにまいりかねます。ですから、あなたのご主人が発狂した、というのは、またここで断定するわけにはまいりませぬ——。」

この話は写真術の発明家ダゲールが1851年に死んだとき、当のジュマス大先生自身が、Illustrated London News, 26, July. 1851. 紙上に発表したものである。』

上記のような苦勞が実を結び、フランス人画家のダゲールは、夫人がジュマス先生に以上の質問をしてから13年後の1839年1月7日に、天文台長であり学士院会員、参議院であるアラゴーという人物を通じてフランス議会でダゲールの写真術を報告し、彼の発明を天下に公表することになった。その後、ダゲレオタイプ撮影法の詳細について同年8月19日にパリの学

士院で公表した。その時の光景は、実に壯観緊張であり、未だかつてないほど人心を沸かした。この日はちょうど月曜日にあたり夏の好天に恵まれ、開会は午後3時というのに正午前からあらゆる学者、好事家、美術家等々が会場に押しよせ文字どおり立錫の余地もなく開会を待った。アラゴーが発表を行いダゲールの作品である銀板写真3枚を大衆に見せたところ、群衆は感きわまって涙を流し、フランスの大歴史家パウル・デュラローへは「こんな大発明が現れてきた以上、もはや従来の通常の絵画は跡を絶つであろう」と叫びた。

ダゲレオタイプ写真についていうと、銀メッキを施した銅板の上にヨードの蒸気をあてて作るのだが、そのヨウ化銀粒子は非常に微小なサイズと推測され、感度は低く30分くらいの露光を要した。そこで、写真技術者は被写人物に「身体や顔の位置さえ狂わさなければ露光中でもいくどか1~2分間ぐらい眼を閉じていてもよい」という忠告を与えたという珍談もある。有名なパリの「タンブル街風景」の写真では、ほとんどの通行人は感度が低く写らなかったが、靴磨きのために片足を上げて静止していた紳士のみが撮影され世界最古の銀塩写真での被写人物となった。ダゲレオタイプ写真は低感度ではあるが、ヨウ化銀が超微粒子であるが故に、風景写真等において非常に精密な描写が撮影され、人々は虫メガネで写真を覗いてその忠実に驚愕したそうである。拡大すると、肉眼では見えないくらい遠方にある文字までもが判読できるほどの圧倒的な画像の精緻さであると評された。大体において昔の写真は、感度は低いもののハロゲン化銀のサイズが微小なため非常に高精細な画質の写真が多い。

ダゲールという人物は、舞台背景画家・パノラマ画家・ジオラマ作家としても活動していたらしく、発明よりも創作活動に力を入れていたマルチな才能を持つ活動家だったとよく評されている。しかし現実には、10年以上も銀塩写真の発明に没頭した粘り強い研究者であった。多分、彼は写真のネガ像を得る等の成果は既に得ていたのではないかとされているが、あくまでポジ像でないと写真でないとして研究を続けた。そしてある時、ダゲールが失敗した露光銀板を後で磨いて再使用するために薬品棚に入れておいたところ、翌日、露光した部分に白いポジ像が現れていた。驚いて、何故白いポジ像が出現したのかその原因を調べるために、薬品棚にある薬品を一つ一つ調べていったと

ころ、なんと壊れた水銀温度計からこぼれ出た数個の水銀粒とハロゲン化銀表面の銀核で白いアマルガムを作り出しポジ像が描かれていることを発見した。そして、水銀蒸気に当てて現像する方法を見出し、さらに濃厚食塩水に浸すことによりヨウ化銀を洗い流し（後にはハイポ溶液が使用される）、光を当てても変化しないポジタイプの固定写真像を作成するに至った。長年に亘る研究の末、偶然の水銀温度計の破損によりタゲレオタイプ写真が発明されることになった。

12.2 フォーゲルによるハロゲン化銀分光増感技術の誕生^{2), 3)}

ドイツの光化学者ヘルマン W. フォーゲルは 1834 年にベルリンの近くの Dobrilugk という小さな村に商人の子として生まれた。彼の父は家業を継いで商人となるように強要したが、フォーゲル自身は何かもっと価値のあることをしたいと願い自然科学への興味を持ち続けた。彼が写真に強い興味を抱くようになったのは、彼がベルリン大学の鉱物博物館の助手時代であり、岩石の断面の拡大写真を撮ることが必要になってからである。彼は 1863 年に“光の中での塩化銀、臭化銀、およびヨウ化銀の挙動および写真の理論について”と題した博士論文を提出した。

彼は色増感などの写真科学の研究を進めると共に、日食観測のための海外遠征に加わったりしていた。そして、天体観測に対するハロゲン化銀の適性を調べるべく、太陽光をプリズムで分光したスペクトルに各種の感光材料を露光しては感色性を測定していた。当初、彼は感光材料の調整方法によっては感光域が青からさらに長波側に僅かながら拡張することがある現象に期待を寄せ、これを注意深く調べていた。1873 年早春に、ある一種の臭化銀コロジオン乾板が緑光に対して他では見られない高い感度を示していることに気付いた。それは英国の Stuart Wortley 社の商品であった。当のメーカーや他のユーザーも気付かないほどの僅かな感色性の差異であったがフォーゲルはこれを見逃さなかった。そこで彼が同社主にこの乾板の素性を問い合わせたところ、コロジオン乳剤層上に硝酸ウラニル、ガム、没食子酸塩とある種の黄色色素を含む液が上塗りされているとの報告を得た。一方、フォーゲルが Wortley 乾板を水エタノールで洗うと、もはや緑感度は認められなかった。黄色色素は像のハレーション防止に使われていたが、これ以外の成分は当時コロジオン乾板に広く使用されていたから、彼は色素に注目した。

フォーゲルは同僚の有機化学者リーバーマン教授か

ら提供を受けた色素コラルインを、臭化物を含むコロジオン液に添加して塗布し、硝酸銀で感光化して得た赤色に染まった湿板をスペクトル露光したところ、青と黄の両波長域にはっきりと認められる感度を得た。彼はまた同湿板を用いて、青と黄色の二色より成るパターンを写真撮影することによっても黄色域に感度を持つことを実証した。

1873 年のドイツ化学会誌 *Berichte* に発表されたフォーゲルの感色性拡大の新知見⁴⁾ は写真界の注目を集めた。しかしその後、当時実力派の研究者から、結果を確認できない、フォーゲルの実験方法に疑念ありとの報告が相次いだ。さらには、フォーゲル氏自身が色盲ではないのかと揶揄されるまでに至った。これに対し、フォーゲルは断固とした短い論文で応え、また、色素を作用させる方法にも工夫を凝らしていった。例えば、臭化物のコロジオン溶液に添加する時には無効なシアニン色素も、出来上がった湿板の上に色素溶液を上塗りした時には色増感剤として有効であること等を見出した。さらに、フランスの物理学者エドモンド・ベクレルが葉緑素による赤光への増感を 1874 年に報告し、色増感を確認し拡張する動きも現れ始め、漸く広く認知されるに至った。

色増感に対して向けられた否定と不信は、取りも直さずこの発明の意外性、革新性を表している。そして、この発明も下記に述べるいくつかの偶然と幸運に助けられて成し遂げられたのであった。

- ①彼は若いころ、船のボーイとなって航海しようとしたが、急病のため船出することができなかった。しかし、六か月後にその船の乗務員は全員黄熱病で死亡した。
- ②発見時の色素コラルインの増感効果は小さく、不安定でもあり非常に捉えにくいもので、狭い条件範囲でしか効果が現れなかった。特に色素の添加量は微量でしか効かず、それ以上の色素添加は全体感度を下げただけであった。彼はかすかな異常現象を鋭い観察力で捉え、的を射た実験と考察の積み重ねで現象の本質を把握し重要性を明確に認識した。
- ③色素によるハロゲン化銀の感色性拡大は当時の人の意表をついた発想だった。「光を吸収する物体だけが光による化学的变化を受ける」という Grotthus-Draper の法則が確立され、普遍的に成り立つと信じられていた。そこへ、単に染料を乳剤に加えるだけで感色性が拡大できるとのフォーゲル発明の報に接して、多くの科学者は驚き疑い、有り得ないと断じた。
- ④用いた乳剤がコロジオン臭化銀であった点も幸運で

あった。発明時の乳剤がもしゼラチン媒体であったなら、ずっと小さな増感作用しか示さず効果を見逃した可能性も有り得る。

フォーゲルが色素コラリンを用いて初めて観察した分光増感の性能はかなり低いものであった。コラリンによる分光増感の量子効率5)は小さく臭化銀への吸着も弱いことが分かっている。しかし、現在ではシアニン色素やメロシアン色素から量子効率が1に近い数々の優れた増感色素が見出されている。また、効率が低い色素の場合でも第二の化合物を添加することにより効率が高くなり、しばしば1に近い値となることがあり、強色増感と呼ばれる技術として発展した6)。そしてジェリー7)とシーベ8)が、ほとんど同時にシアニン色素を用いてJ会合体と呼ばれる特異な凝集体を形成する技術を見出してから、分光増感技術は現在の銀塩写真にとって欠くことのできない根幹技術となって成長していった。

12.3 多層カラー感材コダクロームの開発の歴史9)

コダックは1900年初頭に、これからのコダックの発展を駆動するのは一般消費者市場であるとし、次の発展に重要な技術の一つはカラー写真であると考えた。コダックはルミエールのオートクロム方式や減色法2色プリント方式、レンチキュラー加色法反転方式等の検討を1930年頃まで重ねたが、事業的に成功するものはなかった。そして、1930年にマンズとゴドフスキーをコダック研究所に迎え、多層カラー感材の本格的な研究を進めることになる。

レオポルド・マンズとレオポルド・ゴドフスキーJrは共に16歳の時の1916年にニューヨークの高校で出会った。共に音楽家の父を持ち音楽家志望であったが、写真への趣味も共有していた。ある日、映画館でカラー映画を見た時、4色のカラー像を別々の映写機からスクリーン上で合成する加色方式であったため、像の重なりが不十分で輪郭から色が滲んでいた。これを見て、自分たちでこれを改良しようと考えた。理科室を借り、企てを周囲に語ることで、劇場を貸してくれる興業主や光学専門家のウッド大学教授等、応援の輪ができていった。高校を卒業して其々違う大学に進学したが、連絡を取り合いながら、カラー写真の検討も進め、1920年には特許出願を行った。それは映写機のレンズ移動機構の特許であった。劇場の映写機にその光学系を取り付け映写したが、カラー画像は芳しくなく映写技師には調整しにくいと評された。

そこで彼らは「完成した一本のカラープリントを映

写すべきである」と、発明の重点をフィルムの作成に移す、即ち、物理学から化学への転向を図った。1921年10月にはB、G、Rの白黒ネガ銀像に補色を着色する特許出願をした。色分離は悪く、実用的価値はなかったが、写真乳剤や現像処理等の技術要素の理解を深め、実験操作にも習熟した。減色法プリントで当時主流である色素転染法(Y、M、Cの3枚のポジプリントを各々作り密着してカラープリントを作成する方法)に彼らは目もくれず、乳剤層中に色像を形成する方法に集中したことは注目に値する。将来への優れた洞察力をもっていたということであろう。1921年1月には開発の基本方針を示す重要特許を出願しており、その中で制限浸透法による色の分離発色法も示されている。

1922年にウッド教授から紹介を受けたコダック研究所長ミースは彼らから研究について説明され、最近の進歩と熱意に感銘を受けて資材等の提供を約束する。ミースは「時代を変えるような大きな革新は部外者の飛躍的発想から生まれる」との信念を持ち、辛抱強く支援を続けることになる。さらに、マンズが両親の欧州演奏旅行に同行した時に産業振興に熱心な企業から彼らは資金援助も受けた。しかし、特許出願からみて1926年頃まではっきりした成果は見当たらない。

打開のきっかけは、1927年にザ・ヒストリー・オブ・スリーカラーフォトグラフィー(E. J. ウォール著1925年)を読み、その中のR. フィッシャーによる発色現像の解説から知識を得た時に訪れた。ただ、2つの乳剤層に異なる色のカップラーを入れてカラー現像してもアルカリ性の現像液中で2種の色素が溶解移動するため色分離が出来ない。そこで、彼らは1層にR、G、Bの乳剤を並べるmixed grainsの研究を始め、カラー現像によってフルカラーを得る内容で1927年11月に特許出願した。色飽和度は低いが一応フルカラーが得られた。

一方、コダックでは1929年にブルッカーが合成した凝集型色素が吸着力も高く、乳剤層中を事実上移動しないという知見が得られたが、コダックのカラー写真化の試みは事業的に期待されたような普及を見ず、転染方式という新たなテクニカラーシステムの市場導入も迫っていた。

先述したようにミースは1930年にマンズとゴドフスキーをコダック研究所に迎え、本格的な研究をスタートさせた。1932年には制限浸透技術を層差別に用いるカラー写真の特許を出願した。しかし、1929年から大不況が始まり、1932~3年頃は研究所を巡る経営環境が厳しくなっていた。また、1933年5月

には研究の最大理解者であり創業者である G. イーストマンが急死（自殺）した。そこで、ミースは市場導入が可能な 2 色フィルムの早急な商品化を図ると共に、制限浸透技術の権利化や改良カプラーの特許化を行った。

1933 年までに彼らが築き上げた技術に基づいて、コダックの研究者、技術者と昼夜を問わず働き、3 色フィルムの実現に目途をたてた。マンズとゴドフスキーは品質向上の意欲に際限がなかったが、ミースがこの段階で商品化を決断した。そして、1935 年 4 月 15 日にアマチュア向けの 16mm 幅 3 色反転カラーシネフィルム「コダクローム」を発売した。これは史上初の 3 色重層モノパック感材であり、市場展開されていたアマチュア用シネカメラにそのまま入れて撮影する事が出来た。

このコダクロームフィルムは市場で歓迎され、一夜にして成功であることが明らかになった。この外式カラーネガフィルムの現像は前記に説明したように複雑な工程であり、コダックの現像所に運び集中処理されたが、これまでのような R、G、B 分解露光して 3 枚の分解フィルムを作る等の必要がなく、今までの白黒写真の撮影、映写機材が使えることで、従来の方式に対する大きな進歩となった¹⁰⁾。この成功の要因は、マンズとゴドフスキーの楽観的な行動力とコダック社の総合的な技術力が相俟って可能とした強行突破であった。彼らがカラー映画の改良を志してから約 20 年目の完成であり、理想を求め目標に対しブレない執念を強く感じる。また、音楽家でありながら、物理学、化学への転身を図った天才的能力に敬服する。一方、大企業であるコダックがこの二人にカラー写真の一方を託したことに（勿論、他の方式の検討は行っていたが）、驚きを感じる。ミースのいう「時代を変えるような大きな革新は部外者の飛躍的発想から生まれる」との信念が強かったのか、今、緋けば当然と思える多層カラー感材の発想が当時はあまりに飛躍的であったのか。いずれにしても、長く辛抱強い開発の歴史により、今日の近代的なカラー写真の第一歩が誕生した。

12.4 カラーカプラーによる色再現改良方式の誕生¹¹⁾

1940 年代初頭に市場に出回っていた発色方式のカラー写真の色彩はかなり貧弱であった。当時使用していたカプラーは必要とする波長以外の不要吸収を相当に持っており、これがもたらす色劣化をネガとポジから二重に受けるため再現色の純度は低かった。この

改良は、第一には不要吸収の少ない色素を与えるカプラーの開発であったが、現有のカプラーを用いての少しでも良い色彩を得ようという試みも為されていた。コダック社の R. M. エバンスと W.T. ハンソン Jr は 1937~1941 年までの間に実用化を多数試みたが、それに伴う現像工程の一層の複雑化のため実施までには至らなかった。1943 年には色像の階調を硬くして色彩感を強調するコントラスト・マスキング法¹²⁾ がコダカラーフィルムに導入されたが若干の色再現改良に留まっていた。

ところが 1943 年 2 月にハンソンは就寝中、新しい色再現法の発想を得る。それは、「カプラー自身が着色しており、カラー現像時にその色を消しながら本来の発色ができれば不要吸収は補償することができる。」というものであった。翌朝、その原理を半ページの覚書に記し、同社の有機化学者であるヴィタムにこのように働く化合物はないかと尋ねた。

この時、ワイスバーガー研究室にロシアから逃れてきた I. L. オストミスレンスキー教授が客員研究員として滞在していた。彼の研究テーマはアゾピラゾロン色素であり、彼から黄色色素の提供を受けたワイスバーガーは、「反応位置が既にアゾ基で占められたピラゾロンは発色しないはずだが、もしものことがあるかもしれない」と発色テストをヴィタムに依頼した。ヴィタムがカラー現像した結果、驚いたことに黄色い色素がピラゾロンとの反応によりマゼンタ色に発色した。当時としては常識を覆すような発見ではあったが、ただその時はこの化合物の当面の使い道もなく、収納棚に収められていた。

ハンソンからの質問を受け、ハンソンとヴィタムは直ちにそのアゾピラゾロン色素をハンソン案のカラーカプラーとして評価したところ、青色領域の不要吸収を補償できることを実証できた。夢の中の課題発想が、偶然にもテストした化合物との出会いによって一気に具体化することになった。そして、ワイスバーガーも加わり実用化へのチーム活動が開始された。

そして、カプラー反応位のアゾ基がカラー現像薬の酸化体によって置換され、イエローカラーカプラーからマゼンタの色素を形成することがヴィタムらによって確かめられた。イエローカラーカプラーとレッドカラーカプラーの一般式を図 12.1 に示す。イエローカラーカプラーの母核は 1-アリル-5-ピラゾロンであり、反応位にアゾ基がついていて黄色を呈するが、パラフェニレンジアミンのカラー現像薬とカップリングすることで、アゾ基を離脱しマゼンタ発色する（図 12.1 の上図）。レッ

ドカラードシアンカプラーは母核がナフトールであり、反応位にアゾ基がつき赤色を呈するが、カラー現像薬とカップリングすることで、アゾ基を離脱しシアン発色する（図 12.1 の下図）。

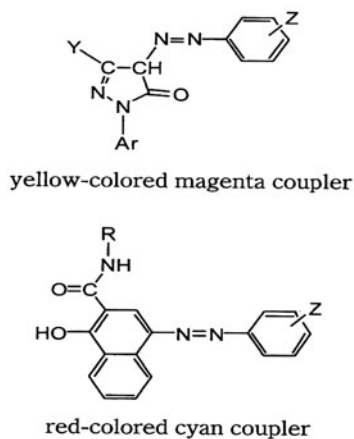


図 12.1 各種カラードカプラーの構造式例

カラードカプラーを採用した最初の製品は、1947年発売のプロ用エクタカラーシートフィルムで、同年ハンソンらがマスキング技術の原理を発表している¹³⁾。ついで、1948年に一般用コダカラーフィルム、1950年には映画用イーストマンカラーネガフィルム（ECN）が上市された。特に映画用フィルムのインパクトは大きく、それまでは色素転染方式のテクニカラーとアグファ型内式カラーが主に市場で用いられていたが、後から参入した ECN フィルムが急速に使用されることとなり、コダック社は映画という大きな事業分野を獲得することが出来ることになった。

カラードカプラーの発明は、色再現の改良に苦しんでいた一人の優秀なる物理化学研究者の就寝中の啓示とそれを実証する優れた有機化学者との共同作業によるものであり、更には戦争で逃れてきた客員研究員からの素材提供を常識にとらわれずに愚直にテストしようとした等の偶然の幸運にも助けられている。困難な課題に苦しみながら別アプローチからの解決アイデアを思いついた柔軟な思考と、周囲の技術にアンテナを張り常識にとらわれずに実験した行動力が融合した結果の素晴らしい発明であると考えられる。

日本では、フジフィルムが1963年に、小西六が1967年に、特許期限の切れたカラードカプラー型マスキングを自社感材に組み入れたが、時期的な技術格差は大きな開きがあった。その頃のコダック社の技術、特許及び基礎研究発表については、日本の研究者達は敬意を持って学び、可能なものを最大限に吸収、利用しようとしていた。

12.5 アグファによる内式（カプラー内蔵型）カラーネガフィルムの発明

1930年代半ば、ドイツのヒットラー内閣からの国威発動要請と、カラー写真分野の他社の動き（テクニカラー社の転染法導入、コダックのモノバックカラー感材の開発等）を背景として、アグファ社は研究所長の J. エガートにカラー写真開発の促進をあらためて要請した。この頃、同社の有機化学者 W. シュナイダーは白黒用現像薬の改良に携わっていたが、現像により現像銀の生成に加えて色素が副生成することに関心を持った。また、以前には白黒感材のハレーション防止として脱色可能な色素をフィルム内の1層に固定する技術を実用化していた。1912年にドイツ人の R. フィッシャーによって、赤、緑、青の各感光層の中にハロゲン化銀と各発色剤（カプラー）を入れておき、現像で発色させるという多層カラー写真の原理が考案されていた。そこで、シュナイダーはこの色素分子の特定基をカプラー分子に組み入れれば、カプラーを乳剤層に固定できるだろうと直感的に考えた。そして、彼はカラー写真の実務は全くなかったが、このカプラーをそれぞれの感光層に内蔵させたモノバック感材を作れば、1回の現像で各層を発色しカラー写真を作れると主張した。彼は上司の G. ヴィルマンズと2人で新カプラーの開発を始めた。

これに対して、研究所長のエガートは猛烈に反発した。理由は、発色現像を重層で構成するのは絶望的に困難であるという考えと、業務範囲外であるということであった。しかし、上層部はシュナイダーの提案は筋が通っていると直感し、1935年4月9日に研究を進めるべきであるとの裁定を下した。

5月にはシュナイダーを長とするチームが編成され研究が進められたが、ハレーション防止染料の固定化基ではカプラーの固定化は不十分であった。しかし、シュナイダー構想に強く惹かれた研究者らが自発的に協力を申し出て集まり、組織を超えて研究が進められた。1935年の5～6月には長鎖アルキル基をカプラーに付加するという基幹的な技術が発想された。6月末には K. クメタートが長鎖脂肪族基を持つ 5-ピラゾロンカプラーを合成した。これはアルカリ性現像液で処理しても層間を移動しないことが確かめられ、発色基を 5-ピラゾロンに固定して、さらに検討が進められた。しかし、このカプラーを使用すると、大粒子の発色不良、乳剤感度低下、現像後のフィルムの濁り、隣接層との密着性悪化等の問題が起こった。これに対して、シュナイダーは過去の実験から、可溶性基

の付加で解決できると直感的に見通し、その路線を突き進んだ。そして、耐拡散基と親水性基を併せ持つアグファ型カプラーを何と着想から僅か8か月で完成した。その時点では改良できた機構は分からなかったが、1940年代になって、このアグファ型カプラーは巨大なアニオン性ミセルを形成し、ゼラチン中にコロイド的に位置を保っていることが確認され、シュナイダーの直感が正しいことが証明された。

シュナイダーはカラーネガ・ポジ系の開発を主張したものの、アグファ社は開発負担と市場準備が軽いカラー反転フィルムの商品化を決定し、1936年10月にアグファ反転カラーフィルム ノイを発表し、11月に発売した。その後もカラーネガ・ポジ系の開発に取り組み、1939年に映画用としてカラーネガ・ポジフィルムの予備的な生産を開始することになった。この内式カラーフィルムの誕生により、外式カラーフィルムに対して現像工程が圧倒的に簡略化され、近代カラーネガ・ポジシステムが完成された。カラーネガフィルムの歴史上、偉大な発明であり、コダックも方式は独自のオイルプロテクト型カプラーではあるが、直ぐに追随することになる。

この発明は、ドイツ全体の圧倒的な化学技術力の高さやフィッシャーの原理提案を技術基盤として、シュナイダーの偉才と、上司たちの先見の明（この発想はものになるという洞察力）により、正攻法で課題に立ち向かい、超短期間に成し遂げられた。さらに、時代背景として1930年代初めに長鎖脂肪族基をつけた染料による強染着性皮革用染料についての情報があったことも付け加える。この発明は、カラーネガフィルムの歴史の中で高い化学技術力を存分に駆使して正面から課題を解決した、優れた偉業として位置づけられる。

12.6 同時多層塗布技術の発明⁹⁾

1950年代、多層のカラー感材は乳剤層を1層ずつ塗布・乾燥することを繰り返して製造していた。コダック社のマスキング付きカラーフィルムは一般写真分野と映画用分野で市場拡大し、生産量が増加した。その結果として、①多回数塗布で経費が嵩む②3乳剤層がバラバラに塗布量変動するためカラーバランスが崩れる③希釈液を塗布するため乾燥負荷が大きい、等の問題がコダック社で顕在化した。その克服のために、まず取り組んだのは感色性の異なる乳剤を1層にする mixed grain 技術であり、カプラー内蔵感材では mixed packet 技術であった。

1950年代初期にスタウファー、ハンソン、キャロルらが乳剤の混合を検討したが、最大の問題は増感色素の乳剤粒子間移動であった。非常に移動しにくい色素を選択しても時間と共に色素が移動してしまう。そこで、回避のために塗布ヘッド入口に混合機を設け、3乳剤の混合直後に塗布乾燥して色素の移動を防ごうとした。何とか増感色素の移動は食い止めたものの、今度は混合しきれずに残った乳剤の微少な塊が塗布面に毛状の細かい筋として発生するのを完全に除去できなかった。

この mixed grain プロジェクトに参加していた T. A. ラッセルは、研究所での試験乳剤塗布工程で研究者を支援するグループにいたが、テスト量の急増に応えるために小型塗布機の改良や増設に取り組んでいた。彼は「このように混じり難い乳剤を面接合せ、そのままフィルムベースに落とすことはできないか」と逆転の発想をし、1951年にドラム上のフィルムに別個の2個のホッパーから2つの乳剤を重ねて塗る装置を考案し特許を取得した¹⁴⁾ (図12.2)。1954年4月には、設計図を書き、上司に承認を得て社内の作成所でこの装置を作成した。この時上司は内心気乗りしなかったものの、たった150ドルなのでそのままサインした。ところが試験したところ、2組のモデル塗布液で2層が明確に塗り分けられていた。すぐさま上司の指示で、映画用ポジフィルム4層を2回塗布した試料を断面観察し写真性試験をしたところ乳剤の混合がないことが分かった。担当役員のミースに報告し、すぐに mixed grain プロジェクトは中止され、本方式の検討を行うこととなった。

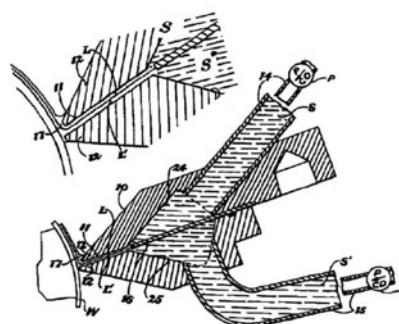
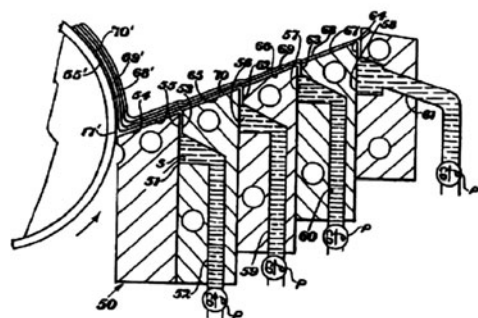


図 12.2 ラッセルによる二層同時塗布断面図¹⁴⁾

ラッセルの発明は多くの人を驚かせ、また直ちには信じられなかった。多層塗布では乾燥に大きな負荷がかかり非現実的との反論も出たが、ビード塗布が塗布液の濃厚化を可能とし、高速塗布により各層を薄くで

きる利点に繋がることも明らかとなった。ラッセルはビギンら専門技術者の協力を得て、液間の界面張力バランスが良ければ層流界面は安定に維持できること、界面は液流変化の大きいビード内でも保存され、対岸のフィルムに移すことが出来ること等を確認した。さらに、生産技術専門家のガスらとの協議により、スライド型供給方式と結合したマルチスライド機構を考案し、1955年に特許出願することも出来た¹⁵⁾(図12.3)。これにより多層同時塗布を可能とし、カラーフィルム製造は精度も高く、大きな生産効率向上に繋がることとなった。



(US 2,761,419 の付図 3)

図 12.3 4層同時塗布ホッパーの断面図¹⁵⁾

この発明は、当該技術の開発を専門としないラッセルによる乳剤が混合し難い現象からの逆転の発想と早期の実証が、その技術の専門家と結びついて価値の高い発明に短期間で成長した例である。特許は多数の国に出願され、日本でも1958年10月に「多層塗布方法」(特公昭33.8977)として公告された。世界の感材メーカーは1975年までの有効期間中ロイヤリティを支払って実施ライセンスを受けた。この技術は、その後の多層化によるカラーフィルムの性能アップを容易にし、銀塩写真の技術向上に大いに貢献することとなった。

12.7 スーパー DIR カプラー (高拡散性、加水分解型) の発明¹⁶⁾

入社4年目のフジフィルムの研究員、坂上(さかのうえ)はDIRカプラーの改良についての研究テーマを与えられた。その当時(1970年後半)は、カラーネガフィルムに使用する新しい素材の特許公開数も減り始め、もはやあまり新しい化合物は開発されないだろうという気運が写真材料業界に流れていた。そこで、研究所長の上田は選抜した研究者を集め、我々の手で世界を驚かすような高画質のカラーネガフィルムを作ろうと皆を鼓舞した。写真の世界ではイースト

マン・コダックが巨人であり、なんとかその技術に追いつけるように日本のメーカーは頑張っていた。富士写真フィルムは1976年に世界に先駆けて、ISO感度400のカラーネガフィルム「フジカラーF II 400」を開発し、技術力としても世界のレベルに近づいている状況にあり、新400開発を通して自分たちでも世界を目指せるのだという感触や自信が醸成されつつある時期でもあった。高画質のフィルムを作るには、主として粒状性、鮮鋭性、色再現性を改良することが必要であり、現行フィルムに既に添加しているDIRカプラーの小改良でも画質を改善できるのではないかと、ここで坂上に与えられたテーマであり、何か出てくるかもしれないからやらせておこうといった感じであった。

DIRカプラーは現像時に抑制剤を放出して、近隣のハロゲン化銀の現像を抑制することで様々な効果を出現させる物質である。過去の実験では抑制剤の拡散性を大きくすると吸着力が落ち抑制度が極端に低下し、添加量が5~10倍以上も必要となるため、抑制剤の拡散性を上げるということは現像を抑制するというDIRカプラーの本質から外れていると考える人がほとんどであった。また、抑制効果をハロゲン化銀の近傍で効かせるためにはあまり抑制剤が泳動してはいけないという常識も漠然とながら存在していた。

そこで、合成部門には抑制剤の拡散性を従来タイプよりさらに落とした現像抑制効果の大きいDIRカプラー(分子量が大きいアルキル置換基等を付加)を合成してもらいながら検討を進めたが、現像抑制効果は大きいもののエッジ効果(画像の輪郭を強調する効果)はなかなか上がらない。また、従来のものとどう比較したら良いかという評価方法も手探りであった。現像抑制させるカプラーなので、反応のカップリング速度も異なれば、現像の結果得られる性能を表す特性曲線も添加量によって様々に変わり、正しい評価をするのに難儀をしていた。同じ抑制剤でもカップリング速度が変わるとエッジ効果も変わるのではないかと、色々な意見が錯綜し、外部からは評価方法がまずいのではないかとという批判も大きかった。そこで、評価の標準となるモデル系を考案した。そして、離脱基の拡散性の影響を評価するために拡散性を落とした抑制剤を組み込んだカップリング速度の異なる種々のDIRカプラーを評価した。拡散性の大きい抑制剤を用いると添加量が従来の5~10倍も必要になり、色濁りが生じるため使えるはずがないと言われていたが方向性を明確にするために評価に組み込み、X線で露光し現像したエッジ効果のデーターを眺めては加工する

という毎日を繰り返していた。

ある時に、これは方向性が違うのではないかとピンとくるものがあった。そして、エッジ効果の発現するメカニズムを改めて問い直した。即ち、現像と同時に抑制剤が放出され、拡散しながら現像中のハロゲン化銀に吸着し現像抑制する。画像のエッジの部分では抑制剤の濃度勾配が大きく拡散しやすいため抑制剤が効きにくくなる、ということを変更して考え直した。すると、漠然と頭に描いていたエッジ効果の発現のメカニズムと抑制剤の拡散性との関係が見えた。ジグゾーパズルのようにぴったり合致した。そうか！と眼からウロコがぼろっと落ちた。そこで、昔実験した人から拡散性が高く抑制度が弱くて使えないと聞いていた化合物を試してみると、添加量を増やして抑制度をきちんと合わせて比較したところ非常に大きなエッジ効果が現れることを発見した。合成部門からは今まで言っていることと違うとイヤミを言われたものの、小幅塗布サンプルでカラーネガの試験品を作り実技撮影を行って、大きく鮮鋭性の向上したプリントを見せると、どんどん良いサンプルを合成してくれるようになり、ハロゲン化銀開発のグループもそれに適した乳剤を作ってくれるようになった。

この素材を用いて、カラーネガフィルムの改良を進めていったが、ある時、ランニングテスト（同じ現像液で大量に新フィルムの現像を行う疲労耐性テスト）をすると、その後の現像で感度が下がるという現象にぶち当たった。これは放出された現像抑制剤が拡散してフィルム中から現像液中に泳ぎ出し、現像液に蓄積した結果であることが分かった。抑制剤の拡散性を落とせば、現像液汚染は減るがエッジの改良効果も減る。エッジの改良効果を保ちつつ、現像液汚染を防止できる方法がないかという第2の山にぶつかった。彼は頭を抱えた。しかし、チーム内で議論しあう中で、蓄積した抑制剤を現像液中で無害化出来るのではないかというアイデアが合成を担当していた小林、市嶋より出された。これまでの検討の中で、カルボン酸（-COOH）基のついた本タイプの抑制剤はハロゲン化銀への吸着性が極めて低く、抑制効果がなくなることを知っていたのだ。そこで、現像抑制剤をエステル型の化合物に変更し、現像液中（pH~10の高アルカリ液）でカルボン酸型に加水分解することを考えた。あまり早く加水分解するとフィルム現像時の抑制効果が減り、遅いと現像液汚染による減感効果が残るため、フィルムの処理量と現像液の補充量との関係を計算し、現像液中での半減期が4分程度であれば現像液汚染が無視できることを実験でも確かめた。この指針

の下に抑制剤の置換基の種類やアルキル鎖長を変更することで候補物質を絞り込み、スーパーDIR カプラーが完成した。

フィルム中にスーパーDIR カプラーを増量して添加することで、大きくエッジ効果を向上させることができたし、また、遠くまで抑制剤が拡散することで、他感光層への抑制効果が強まり色彩度を大きく上げることが出来た。さらに、現像抑制効果によりハロゲン化銀一個一個の色素形成量を抑え、粒状性改良にも繋がられた。そして、二重構造粒子技術（後述）、Lカプラー技術と併せて、1983年2月にフジフィルムはHRシリーズと呼ばれるカラーネガフィルムを発売した。このHRシリーズの中で、特に感度100を持つHR100は総合画質としてその時点でカラーネガフィルムとして世界最高レベルの品質を示し、コダックの製品品質を追い越し、名実共にフジフィルムを世界トップレベルの写真フィルムメーカーへと導くことができた。

この発明の成功は、

- ①その時点での常識を疑ってエッジ効果とは何かという原理を問い直したこと
 - ②DIR カプラーの複雑で分かり難い実験結果に対して新しいモデル系を考案し評価方法の工夫をしたこと
 - ③拡散性アップに伴う現像液汚染という問題を加水分解という別の機構から根本解決したこと
- であり、このスーパーDIR カプラーはそれ以降のDIR カプラーの機能性向上のための重要な設計指針となった。

12.8 ハロゲン化銀 新型二重構造粒子（明確な層状構造双晶粒子）の発明¹⁷⁾

12.7で述べたスーパーDIR カプラーの開発と同じく、フジフィルムで世界一の画質を持つカラーネガフィルムを作ろうと、高田は乳剤の改良研究に取り組んでいた。高田のテーマは青感光層の乳剤の改良であった。赤色感光層や緑色感光層のハロゲン化銀は増感色素により光を吸収して感光するが、ハロゲン化銀は元々、それ自体が青光に感度を持っている。そして、その粒子のハロゲン組成を変えることで、光吸収係数が変わることが知られていた。カラーネガフィルムに使用される乳剤は感度の観点からヨウ素化銀乳剤が用いられているが、ヨード比率を上げることで青光の吸収量もアップすることが分かっていた。しかし、従来の添加量から大幅にヨード比率を上げるとハロゲン化銀の現像速度が極端に低下し、全く使いものにな

らなくなる。感度を向上させるために様々な方法を試みたものの、この光吸収と現像性の背反現象をクリアできる有効な方法は見いだせなかった。

ある時、高田は杉本及び斎藤が開発した臨界成長法による単分散乳剤形成法¹⁸⁾を知り、これがブレイクスルーの糸口になるのではという予感に身震いした。臨界成長法とはハロゲン化銀の核を成長させるギリギリの高濃度で粒子成長させる方法であり、オストワルド熟成（小粒子を溶解して大粒子にくっつけ、ハロゲン組成を再配列させながら成長させる熟成）という溶解工程を極端に減らした方法であるため、粒子内のヨード組成の再配列、均一平衡化を防止してくれると考えた。これを用いて、粒子内部をそれ以上固溶しない限界の高ヨード層とし、粒子表面を低ヨード層とすることで、光吸収を粒子内部の高ヨード層で増加し、現像遅れは粒子表面の低ヨード層で回避するという考え方である。

しかし、実際に粒子形成を行おうとすると、僅かに銀イオンの過飽和度が上がると新たな微粒子核が発生して多分散化が起こり、銀イオンの過飽和度が下がるとヨードの粒子表面への浸み出しが増加し現像を抑制してしまうということが起こった。しかし、何度も何度も丁寧に粒子形成中のタンク内の銀電位を変化しながらコントロールすることや、硝酸銀溶液とハロゲン溶液の混合方法を改良して銀電位分布のバラツキを減らす検討を加えることにより、ついに内部が固溶限界に近い高ヨード層で表面が低ヨード層のハロゲン化銀粒子を作り出すことができた。

この粒子に化学増感を施し性能をチェックしたところ、感度が大きく向上した。これは光吸収量を増加できたためであるだろうと、さらに分析を進めていったところ、どうも光吸収では説明できない更なる高感度分の寄与が存在することが分かってきた。そこで、さらに粒子内の光電子や正孔の動きを調べていったところ、驚くべきことに高ヨード層が正孔を引き寄せ、低ヨード層が電子をトラップすることで、電子と正孔の再結合による減感を効果的に防止していることが明らかとなった。さらに、高ヨード層と低ヨード層の界面付近に格子欠陥による浅い電子トラップを形成し、光電子を一時捕獲することで高感度化をより促進する機構も形成していることが分かった。制御せずに粒子形成しても決して得られない、明確な内部高ヨード層/表面低ヨード層を持つ新型二重構造粒子乳剤を開発することで、卓越した高感度化を達成した。さらに、前述のスーパーDIR カプラーの増量使用により現像が抑制される状態においても表面低ヨード化で現像を加

速すると共に、粒状の荒れ防止のために、ある程度現像が進むと内部高ヨード層で現像が停止するという自動現像停止機構が作用することも分かった。この発明に先行する坂東らの正常晶二重構造粒子も併せて、これらの技術はフジカラーHR100やフジカラーHR1600からHGシリーズへと広く展開され、総合画質が世界最高レベルのカラーネガフィルムを生み出す一つの大きな原動力となった。

この発明はハロゲン化銀の高ヨード化による光吸収量アップで高感化を目指したが、現像性との取り合いが起こり、両立を図った二重構造粒子が、思いがけず光電子と正孔の再結合による減感を抑制していることを発見し、その後のハロゲン化銀の高感度化の考え方の礎を築いた。光吸収だけでは説明できない現象の不明部分を曖昧にせず、粘り強くその原因を解析することで、ハロゲン化銀の感光機構に対する重要な考え方を明確にしたのである。この発明に対して、平成9年度には科学技術庁長官発明賞も授与されている¹⁹⁾。

12.9 第4の感色層による色再現性改良技術の発明²⁰⁾

フジフィルムの佐々木は、1989年に色彩度と色忠実度を世界で初めて高いレベルで併せ持つフジカラーREALAを開発し市場導入した。

佐々木は入社して、まずカラーペーパーの商品化研究に携わった後、カラーネガフィルムの商品化研究室に異動した。そこで、カラーネガフィルムの商品化研究を進め、1983年のフジカラーHR100商品開発においては、このフィルムの色再現に関して全体の指揮をふるうまでに至った。前述したように、フジカラーHR100はその発表時点で世界最高レベルの粒状性、鮮鋭性、色彩度を達成し、カラーネガフィルムの総合性能を飛躍的に向上させた。しかし、佐々木はこれに満足していなかった。何故なら、鮮やかな色は誰もが見てすぐに分かる程、彩度が向上していたが、淡い色や中間色が忠実に再現されにくい欠点を有していた。赤や緑や青は彩度が上がり、夏の青空やコバルトブルーの海は鮮やかに撮れた。しかし、淡いうぐいす色からは青味が取れ黄色っぽく再現されたり、紫色の花が赤く写ってしまったりした。彼は、赤や青の原色とうぐいす色などの中間色が共に綺麗に忠実に再現されるように、分光感度を変えDIRカプラーによる重層効果を変え徹底的に実験を試みたが、結局、色彩度を上げると中間色の忠実性が破綻し、忠実性を重視すると色彩度が落ち、これらを両立する答えが得られなかった。

そこで、彼は人間の眼の仕組みについてももう一度掘り下げて勉強した。そして、負の分光感度をカラーネガフィルムに採用できないかという考えに辿り着いた。社内には色再現に関して学術的に検討している研究室もあった。負の分光感度はその研究者達と議論するなかで、出てきた課題でもあったが、ただ彼らは、人間の眼は3色の分光感度で構成されているため3色の分光感度層で原理的に全ての色は再現されるはずだと主張した。確かに原理としては正しかったが、人間の眼とカラーネガフィルムには本質的に様々な違いを持つ。人間の眼では平面上に赤、緑、青に感じる錐体細胞が配列しており、お互いの分光感度も大きな重なりを持っている。しかし、カラーネガフィルムは赤、緑、青の感光層が重層に配置され、上層を通ってきた光はその層で吸収されるため下層では光量が減り分光感度を上層と下層で大きく重ねることは構造上困難となる。そこで、この分光感度の重なりが小さく重層効果が小さい銀塩写真システムで色彩度と色忠実性を両立させるために効果的な方法が、まさに負の分光感度の活用であると彼は考えたのである。

彼は一人、新たな分光増感剤を合成部門で作ってもらい、DIR カプラーやカラードカプラーを使って闇研で第4の感色層を搭載したカラーネガフィルムを試作した。この層を青感光層と緑感光層の間に配置し、フィルムを試作して検討を重ねていくうちに、カラードカプラーは不要であることやDIR カプラーに加えてマゼンタカプラーで発色させるほうが良い等の知見を得て、漸くプロトタイプを作成した。これを暗室で裁断しパーフォレーション溝を加えパトローネに巻き込んで撮影できるカラーネガフィルムを作り、これをカメラに入れて街に出た。妻にマクベスチャートという色のついた板を持たせ花屋の前で色々な花と一緒に撮影した。それを実験室に持ち帰り、現像、プリントを繰り返した。これを何度も繰り返すうちに、明らかに植物の緑の葉っぱのイエローグリーンやシアングリーンが忠実に分離され、かつ鮮やかに再現されるようになった。紫色の花も赤くならず、あくまで紫色に再現された。

これを評価部門に持ちこみ実技テストを依頼したところ、評価研究室がザワザワ騒ぎ始めた。蛍光灯のついた景色を撮影したところ、通常蛍光灯が緑っぽく再現されるのだが、ほとんど緑に再現されない、というのだ。すごいフィルムだという大きな動揺が起り始めた。しかし、これは彼にとっては当たり前であった。眼でみたように撮れるようにフィルムを作成したから、蛍光灯の光も白色に写る。これまでのフィルム

は眼で見ると撮れなかったもので、緑の感度に大きく影響して緑っぽく写ったに過ぎない。色再現の研究室でも、ヴィゼツキーチャート（様々な波長の光を組み合わせているが、人間の眼には白色に見えるチャート）の光をプリズムで分光合成し、その光で撮影すると新フィルムが明らかに白色に近く写り、人間の眼の分光感度に近いカラーネガフィルムであることを立証した。

彼はこの技術を用いた新しいカラーネガフィルムを商品化すべきであると提案し、研究トップの大石はフジカラーREALAの開発計画を即断した。HR100で粒状性、鮮鋭性、色彩度を高いレベルで達成し、その後は高感度商品の開発に商品化が向かっていたが、見た通りに写るという色忠実性の商品化方向が存在することを証明し、カラーネガフィルムの多様化を先導した。当初は感度100の一般用ネガだけであったが、営業写真用や映画用のカラーネガフィルムにも展開し、一般用ネガでも感度100から400、800、1600と第4の感色層技術を発展させていくことになる。

日本発の第4の感色層技術は、第4層や第5層などをつければそれは忠実になるよという傍観者や色再現の理論研究者からの批判はあったが、現実に新たなカラーネガフィルムを作り出し、色彩度と色忠実性の双方を飛躍的に向上させた。これを上回る色再現の技術は銀塩写真系においては未だ開発されていない。また、この方法はデジタルカメラ等にも一部で応用されている。3つの感光層系での実験を徹底的にやりつくし、第4の感色層の付与が必要だと執念を持って作り上げたのだが、様々なネガティブストローク（例え善意であっても）に打ち勝って、負の分光感度理論が有効であることを真から理解し、論理的に正しいことを行えば最後には必ず勝つことを信じて研究を続けたことが成功の鍵となった。

尚、この発明は平成14年度に優れた発明として全国発明表彰を受けている²¹⁾。

引用文献

- 1) 「写真知識」、鎌田 彌壽治、印刷学会出版部発行、1、(昭和42年11月)
- 2) 「化学の原典 4 光化学」、谷忠昭、日本化学会編、学術出版センター、69 (1986)
- 3) 「カラー銀塩感光材料の技術革新史 第1部分光増感(上)1920年代まで」、大石恭史、日本写真学会誌、70、295 (2007)
- 4) 「Ueber die Lichtempfindlichkeit des Bromsilbers für die sogenannten chemisch

- unwirksamen Farben]、H. Vogel, Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 6, 1302 (1873)
- 5) 「The First Hundred Years of Spectral Sensitization」, W. West, Photogr. Sci. Eng., 18, 35 (1974)
 - 6) 「Review of the Mechanisms of Supersensitization」, P. B. Gilman, Jr., Photogr. Sci. Eng., 18, 418 (1974) 等
 - 7) E. E. Jelley, Nature, 138, 1009 (1936), 139, 631 (1937) 等
 - 8) G. Scheibe, L. Kandler, H. Ecker, Naturwissenschaften, 25, 75 (1937) 等
 - 9) 「カラー銀塩感光材料の技術改革史 第2部発色現象 (その1) 発色現象の発明と多層カラー感材の出現」、大石恭史、日本写真学会誌、71、184 (2008)
 - 10) 「特集 映像…デジタル化時代に向けて 第2章3項」、光技術情報誌ライトエッジ、No.19 (2000年7月)
 - 11) 「カラー銀塩感光材料の技術改革史 第2部発色現象 (その3) 1940、1950年代における Kodak 社による強力な技術構築」、大石恭史、日本写真学会誌、71、349 (2008)
 - 12) 「Improvements in Methods of Producing Colour Photographs Employing Colour Correction and Colour Photographic Materials therefor」, R. E. Crowther, Br. 541, 298 (EK) (1941)
 - 13) 「カラードカプラーによるマスキングの原理」、W. T. Hanson, Jr., P. W. Vittum, PSAJ., 13, 94 (1947)
 - 14) 「二層同時塗布特許」、Br. 726, 783, T. A. Russell, D. C. Bellis (EK) (1951. 3. 6/1956)
 - 15) 「スライド型多層同時塗布特許」、US2, 761, 419, J. A. Mercier, W. A. Torpey, T. A. Russell (EK) (1955. 2. 23/1956)
 - 16) 私信、坂上恵氏より 2011年12月聞き取り調査
 - 17) 私信、高田俊二氏より 2011年12月聞き取り調査
 - 18) 「Growth Mechanism and Size Distribution of AgBr Tabular Grains」、T. Sugimoto, Photogr. Sci. Eng., 28, 137 (1984)
 - 19) 「明確な層状構造を有する写真感光性ハロゲン化銀微結晶の発明 (特許第 1818914 号)」, 高田俊二、石丸信吾、大島直人、平成9年度全国発明表彰科学技術庁長官賞
 - 20) 私信、佐々木登氏より 2011年12月聞き取り調査
 - 21) 「第4の感色性を有するカラーネガフィルムの開発 (特許第 1,859,346 号)」, 佐々木登、高橋公司、平成14年度全国発明表彰、朝日新聞発明賞

13 | 日本が世界最高レベルの技術開発を成し遂げた理由の考察

西洋の写真術が19世紀半ばに日本に伝わって以来、日本人の手で銀塩写真を作ろうと努力を重ねてきた。そして、1980年代には世界最高レベルの技術を独創し、その後も銀塩の写真業界をリードし続けた。この日本が欧米の技術を追い続け、追い越し、世界を牽引することが出来るようになった理由は一体何だったのであろうか。それには、時代背景を通じた産業発展の時期や日本の勤勉な国民性、等多くの要素が絡んでいると思われる。それらについて、筆者が思い当たる項目を幾つか列挙してみる（日本だけに当てはまる訳ではない項目もあるが敢えて記述する）。網羅性などはないが、これから成長するであろう分野の開発の進め方に少しでも参考になれば幸いである。

(1) 日本の写真工業全体で世界の写真産業を牽引

戦前は欧米の写真関連産業が世界の流れを牽引していた。例えば、カラー感材開発はコダックやアグファが最高の技術を持って感材を開発し、カメラ、レンズはライカやツァイスがトップ企業であり、現像機やプリンターもコダックやアグファ等が商品の多くを提供していた。しかし、日本の企業はこれに何とか風穴をあけようと努力した。特に銀塩カメラや現像機の開発等には細かい精度と信頼性の高い技術が必要であり、また使い勝手等の応用技術開発の余地もかなり存在した。これらの課題は、日本人の特性にも良くマッチし、世界をリードする技術を次々と開発していった。そして、近年では銀塩カメラではニコン、ペンタックス、キャノン、オリンパス、ミノルタ等といった日本製品がその性能の良さで使い勝手の良さで欧米製品を駆逐していった。また、現像機も、大ラボでの大型現像処理に対して、小回りがきき、短時間処理が可能なミニラボ機器の開発を日本企業であるノーリツやコニカ、フジフィルムが牽引し、新しい需要に応えた。このような写真市場で、カラーネガフィルムの開発も新しいカメラやミニラボのニーズを間近に聞きながら、それに即応した新しいフィルムとして、二人三脚で開発を進めた。カラーネガフィルムの発展において、日本の写真工業会全体が世界を牽引したという一面が存在すると思われる。

(2) 日本企業全体の實力向上

さらにもっと大きな視点でいえば、日本企業全体の技術レベルが上がり、例えば写真用の原材料の調達に

においても高純度でバラツキの少ない原材料を確保できた。そして、その安定性に支えられ品質の一定した写真フィルムを製造することが出来た。他方では、写真に影響する不純物を分析し必要な成分は添加剤として新たに添加するという解析技術の進歩も安定製造の一翼を担った。それはまた、銀塩フィルムの感光メカニズム研究にも役立ち、新たな発明や発見に繋がった。

フジフィルムでは自社製の硝酸銀を使用しているが、たまたま中国製の99.99%の純度を持つ硝酸銀に切替えるテストを行ったところ、それでも感度が約十分の一に低下してしまう現象が起こった。それだけ、銀塩写真分野ではごく僅かな不純物が性能に影響を与えた。

(3) 基礎研究から製造化までの広範囲な研究遂行 [分業 (海外) vs. オーバーラップ (日本)]

海外の研究者は自分の研究領域に深く狭く傾注し、リサーチャー=研究、エンジニア=製造という分業制の意識が強かった。しかし、日本の研究者は広い視点で研究から製造化に至るまでの範囲に関与し、基礎研究と製造技術をオーバーラップさせながら開発を推進した。そして、少量研究スケールでの試作品性能を必ずしも大量の製造過程で発揮出来ないという問題点を解析していくことによって製造技術の改良に繋げたり、研究段階から製造適性を付与する設計を行うことでコスト競争力を持つ商品に仕上げる事が出来た。

(4) 小異を捨て大同につく潔さと自社への高い忠誠心

日本では、チームとしての自分の役割を良く認識し、自分の専門でないテーマでも必要とあらば自ら率先して担当し研究した。また、早く新製品を世の中に送り出すために、実験やデーター出しを定時間までに行い、そのデーターの吟味と打合せ、次の処方作成は深夜までかけて行うということで、研究のサイクルを短縮して頑張った。世界に後れを取っているのも何としても追いつこうという気持ちを当たり前のように皆が強く持っていた。残業制限等、ややこしい規制も当時は少なく、どうすればより高い性能が得られるか、トラブルの原因をどうすれば解決出来るか、だけにひたすら没頭して打ち込めた。個人の権利主張よりもチームの利益を優先するという意識も強かった。また、時として強いリーダーシップを持つ人物が現れて、製品の技術力を大きく引き上げることが出来る時

代でもあった。今のインターネットの時代とは違い、商品開発が個人の力量に依存することも多く、リーダーの強い意志がワンランクアップした製品の開発に繋がった。

(5) 創業時からの度々の危機を乗り越えたトップの強い信念

フジフィルムの歴史を振り返ってみると、創業当時から数多くの危機が発生したが、トップが強い信念を掲げ従業員がそれに呼応して努力し、多数の苦難を乗り越えてきたことがうかがえる。

創業時（1935年）の浅野社長が、創業以来4期連続の赤字に至った時の言葉。「資本金の40%に及ぶ巨額の助成金交付を約束されて、写真フィルム工業を確立して外国品を駆逐することを自分に課せられた使命と観じ、会社経営に当たってきたが、每期赤字を続けて、会社は憂慮すべき状態にある。前途有為の諸君を、今後どうなるかわからない会社に縛っておくことは忍びがたい。他のよい会社へ転ずる道があるならば、なんら遠慮することなく、当社を去られたい。いまならば退職手当も若干出せる。ただ自分は、この写真フィルム工業を生涯の事業として、あくまでやり抜く決意であるから、志を同じくする人は、会社に残って、自分と運命をともにされたい。」

また、終戦直後（1945年）の春木社長が全従業員一斉解雇後の不安の中の再操業において発した言葉。

「占領下であって、自由を失い、状況判断の資料を欠いているわれわれとしては、会社が今後どうなるか、確たる見極めはつかない。しかし、あくまで写真工業を継続したいと念じ、規模を縮小して、操業を再開することにした。先日の商工省との懇談会では、写真感光材料の製造は、樂觀はもとより許されないが、悲観のみを要しないということであったから、細々とは続けられると思う。しかし、正式な許可を得ているのではないから、あるいは最悪の事態に陥って、早く会社を去った人のほうが、今日再採用となった人よりも、幸せだったという結果にならないともかぎらない。しかし、原料から写真フィルムを製造して、国内の需要をまかない、外国品を駆逐することは、当社創業の精神であり、使命である。前途まことに困難で、かつ、不安もあるが、どうか、創業時代に傾けたあの情熱と努力を、再びこの事業に注いでいただきたい。」

勿論、小西六でも同様の苦難をトップの強い信念により、会社一丸となって乗り越えたことは言うまでもない。

(6) 強い実行力と現場主義

考えたことは兎に角直ぐにやってみようとする行動力に溢れていた。自分が知っていることはこの世の森羅万象の中の僅かであり、実験をして事実に対して忠実に向き合う必要性を強く感じていた。謙虚に事実に向き合って研究を進めることで小さな気付きを見出した。そのためには、まずやってみることが大切であり、議論と並行して実験を精力的に行った。思いついたら、夕方からでも実験室に行き一人で実験を繰り返した。また、実験室に赴き実験補助者と一緒に話をすることでどういう環境で行われた実験結果であるかも分かり、センシトカーブからのデータだけで判断するのではなく、塗布フィルムや現像後のサンプルをじっくり覗き込むこと等で実験時のトラブルを見抜いたり、現場での新たな問題を見つけたりした。現場に足を運び、作業者と話をすることで様々な発見や新たな現象の理解を得た。

(7) 高い目標設定と遂行力

あるべき姿、理想像を目標として設定し、それをやり抜くために皆が肅々と研究を重ねた。その中で、スーパーDIRカプラーや二重構造粒子などのような重要発明も産まれたし、製造故障に対する現実的な改良策等も次々と産み出された。兎に角、目標を値切らずに作り上げるのだという気概にあふれ、その努力の中から様々なアイデアが実行に移された。仲間同士で議論しあい、失敗したら何故、何故、何故という追及により作用機構を自ら提案しながら、高い目標に対して妥協することなく解決していった。納期との兼ね合いで途中下車することはあっても、高い目標は必ず胸の中に刻まれていた。

(8) 研究体制変革へのチャレンジ

1970年代の頃から、専門技術者（有機化学、無機化学、シミュレーション等）を入れたプロジェクトチームによる開発が始まり、これにより革新的な発明をもたらした。それまでの半職人的な商品開発から抜け出し、技術専門集団による研究開発に大きく変化した。現在、プロジェクトチーム化してやるのは手法として当たり前であるが、その当時はそんなやり方が良く分からず、苦勞しながらチームを作り上げたし、開発トップも進んでそれを牽引するなど、全員で手探りしながら進めた。その当時の新しいやり方にいつも果敢にチャレンジしていった。

(9) 大目標が明確

風景や人物を簡単に記録出来る方法は、その当時、現実的な手段として銀塩写真方式しかなかった。そして、コダックが掲げた「あなたはボタンを押すだけ。後は我々が全部やります。(You press the button, we do the rest.)」という言葉が銀塩写真の一つの究極目

標として開発に邁進した。この銀塩写真システムの究極目標を完成することに脇目も振らずに没頭出来たことが技術発展の大きな一因でもあった。大目標に対して不安を持たず、一心不乱に突き進んでいける環境が無形の大きな心の支えとなっていた。

14 | あとがきと謝辞

筆者自身、本報告を纏めるまで銀塩写真の発展の歴史について知らないことも沢山あったが、纏めていくうちに先人達の苦勞と生まれてきた様々な発明における成功への道筋を感じながら本報告を調査し終えた。最初にも述べたように本報告では銀塩写真の発明から近代カラーネガフィルムの開発の歴史の流れをなるべく分かり易く書き綴ろうとした。ハロゲン化銀の研究だけでも、あるいは使用される機能性カプラーの研究だけでも、本報告以上のページを割いて纏められるだけの膨大な研究成果があるが、ここではカラーネガフィルムの商品化を中心にページを割いた。

銀塩写真が発明されてから今日まで、カラーネガフィルムの開発といえば高感度化と色再現性の向上に力が注がれてきたと言ってよい。19世紀初期にニエプスが発明したヘリオグラフィーはISO感度が0.00005であったが、19世紀後半のゼラチン乾板発明の頃にはISO感度が1~10位にまで高められた。その後、カラー写真が発明されてからも高感度化が進められ、20世紀末にはISO1600を常用感度とするまでに至った。まさに、ヘリオグラフィーに対して、カラー化を達成したうえに、更に約1,000万倍以上もの高感度化を成し遂げたということになる。その発展の過程で、日本企業はISO100から400→800→1600への高感度化、超高感度化に対して先頭を切って開発を進めた。勿論、高感度化に伴う粒状性、鮮鋭性の荒れを改良しながらである。一方、カラー写真は欧米で発明され、色再現の重要技術であるカラードカプラーやDIRカプラーの技術も欧米で生み出された。しかし、その後、日本企業は高拡散性のスーパーDIRカプラーを発明し色彩度を飛躍的に向上した。さらに、独創的な日本発の第4の感色層技術を開発することで色彩度と色忠実性を両立させ日本の色再現技術を世界に冠たる技術に高めた。

遅れていた日本がどうやって技術のトップに上り詰めたのか。19世紀半ばに写真術が日本に伝来して以来、初めて日本で写真撮影を成功させた時ただ撮影法を真似るだけでなく、原書からの翻訳を行う班と共同して勉強しながらチームの力で撮影を成し遂げた。また、小西六がカラー写真「さくら天然色フィルム」を世界で三番目に国産化する過程においても、欧米の文献や資料を丹念に調べ上げて、実験結果との整合性を見極めながら進めることで開発を成し遂げた。日本人の何とかして追いつこうという地道な努力に加え、

徹底的な文献の調査活動と、兎に角アイデアを出してやってみようという膨大な実行力を通して、技術を少しずつ築き上げていった。この努力が結実する過程について、調査を進めながら少し理解できたような気がする。小西六の「さくら天然色フィルム」開発における選択露光式現像法は、後のコダックの現像法とほぼ同じ考え方であるが、カラー写真の原理に基づいて小西六独自で考え抜いて編み出したものである。また、フジフィルムが1983年発売のフジカラーHR-100で独創的な発明を駆使して、その当時で世界最高レベルの総合画質を持つカラーネガフィルムの商品化を達成した。これは1976年のフジカラーF II 400によって世界で初めて感度400のカラーネガフィルムを開発したことが自信に繋がり、自分たちでも世界一のフィルムが作れるのだという風土を醸成したことで、生き生きと新規技術の発明発掘に邁進した結果である。その後、日本企業は世界と肩を並べて次々と新技術を搭載した商品を世に送り出していった。

第12章には筆者が調べた限りの銀塩写真における重要技術誕生の経緯や秘話を纏めた章として記述したが、大発明は一朝一夕に生まれたものではないことが分かる。向かうべきテーマを明確にして、長い期間の打ち破れない苦難の期間を経て、仲間からの情報であったり、何気ない結果からのセレンディピティーであったり、しつこく粘った結果こぼれ出てきた成果であったり、偶然の実験結果との遭遇であったり、して産まれたものであった。

銀塩写真が再び一般ポートレート等の主役に立ち返る可能性は低いと思うが、カラーネガフィルムの開発で生み出された発明や技術は違う形で将来に受け継いでいかれるものと信じる。日本人は幾度の苦難を乗り越えて成長している粘り強い民族である。カラーネガフィルムの分野でも、筆者が会社に入社した40年位前は、日本人に世界最高レベルの技術が作れるなどととても思われていなかったし、さらにその前の時代は、いつ会社が潰れるか分からないという瀬戸際を歩んでいた。振り返ってみると、いつの時代も苦しい時代だと感じて頑張ってきた結果が、近年になって世界のトップまで上り詰める原動力になっている。本報告を読んで、昔は良かったという回顧録ではなく、どんな苦しい時代にも、どんな困難なテーマにも将来への発展の芽が潜んでいるとして、前向きに歩いていくための一つの道標になることを希望して筆をおきたい。

最後に、この報告書をとおして述べた筆者の独断的な意見については、様々な見解の一つとしてお許しいただきたい。また、カラーネガフィルムの歴史には、現像処理の進歩（簡易化、迅速化）やカラーペーパーの進歩等も密接に絡んでいる。しかし、本報告で述べるには紙面も限られており、中途半端になるとして割愛した。是非、今後のテーマとして、銀塩写真の他分野の報告と共に抽出されることを期待する。

本報告の執筆を進言し、かつ様々な情報提供をして戴いた富士フィルム(株)の山田 隆様、高田 俊二様（兼日本写真学会会長）に感謝します。また、多くの資料や情報の提供を戴いたコニカミノルタの仲川 敏様、元日本写真学会会長 大石 恭史様（元富士フィル

ム）、米国イメージング科学技術学会名誉会員 谷 忠昭様（元富士フィルム）に感謝致します。

さらに、本報告の執筆のために面談や資料提供などでご協力戴いた、九州大学最先端有機光エレクトロニクス研究センター教授 坂上 恵様、富士ゼロックス(株) 佐々木 登様、富士フィルム(株)御林 慶司様、坂田 敏彦様、柴山 繁様、佐土原 哲也様、山本 佳之様、一般財団法人工業所有権協力センター 大村 紘様、ニッピ(株) 百瀬 好樹様、鈴木 哲様やその他の多くの方々にお礼を申し上げます。

そして、原稿の見直しなどの多大な協力と有益な助言さらに活力を与えてくれた薬剤師であり、かつ妻である久米敦子にも感謝の念を添えたい。

カラーネガフィルムの登録候補一覧

番号	名称	資料形態	所在地	制作者	製作年	選定理由
1	レンズ付きフィルム「写ルンです」	保存	富士フイルム株式会社フジフィルムスクエア写真歴史博物館	富士写真フイルム株式会社	1986年	レンズ付きフィルムという、日本初の簡便に写真が撮れる新しい写真文化を産み出した。
2	さくら天然色フィルム	保存	コニカミノルタタビジネスエクスパート株式会社 東京都日野市さくら町1番地	株式会社小西六（工場六桜社で製造）	1941年	日本で初めてのカラー写真を、世界で3番目に独力で開発した。
	研究報告書「さくら天然色フィルムの製造方法に就いて」	保存	コニカミノルタホールディングス株式会社 東京都日野市さくら町1番地	中家佐三（小西六寫眞工業株式会社天然色フィルム係）	1948年（昭和23年9月10日）	
3	フジカラー F-II400	保存	富士フイルム株式会社フジフィルムスクエア写真歴史博物館 東京都港区	富士写真フイルム株式会社	1976年	世界初の感度400を持つカラーネガフィルム。これまで日本企業は欧米の商品の追随をしていたが、初めて「世界初」という新製品を開発した。その後の日本企業の進展のきっかけとなる記念碑的商品である。
4	フジカラー REALA	保存	富士フイルム株式会社 神奈川県神奈川県南足柄市中沼210	富士写真フイルム株式会社	1989年	色彩度と色忠実性を両立させるために、世の中に全くコンセプトのない「第四の感色層技術」を日本企業として独自に開発し、商品化した。
5	フジカラー HR100	保存	富士フイルム株式会社 神奈川県神奈川県南足柄市中沼210	富士写真フイルム株式会社	1983年	日本で初めてISO感度100で世界最高レベルの画質（粒状性、鮮鋭性、色彩度）を達成したカラーネガフィルムである。「二重構造粒子技術」、「スーパーDIRカプラー技術」、「L-カプラー技術」の新規技術を開発。
6	フジカラー SUPER HG400	保存	富士フイルム株式会社 神奈川県神奈川県南足柄市中沼210	富士写真フイルム株式会社	1989年	ISO感度400のカラーネガフィルムで一般ユーザーが許容出来る画質レベルを達成し、感度400フィルムの常用化を導いた。「シタマクリスタル技術」、「DIRRカプラー技術」の新規技術を開発。
7	フジカラー HR1600	保存	富士フイルム株式会社 神奈川県神奈川県南足柄市中沼210	富士写真フイルム株式会社	1984年	世界初のISO感度1600を持つカラーネガフィルムを開発した。「新型二重構造粒子技術」、「A-カプラー技術」により従来の感度の壁を克服した。
8	コニカカラー GX3200 プロフエツ ショナル	保存	コニカミノルタタビジネスエクスパート株式会社 東京都日野市さくら町1番地	小西六写真工業株式会社	1987年	世界初のISO感度3200を持つカラーネガフィルム。「MSC技術」を開発。低照度不軌に優れ、特に天体写真で効果を発揮した。
9	フジカラー SUPER ACE800（「写ルンです」スーパー800」に使用）	保存	富士フイルム株式会社 神奈川県神奈川県南足柄市中沼210	富士写真フイルム株式会社	1993年（「写ルンです」スーパー800） 1994年（「SUPER G ACE800」）	レンズ付きフィルム（LF）の撮影領域をより拡大するために、LFに特化して開発された世界初のISO感度800を有するカラーネガフィルム。感度と露光ラチチュード拡大のために、「SUFU技術」を開発。
10	コニカカラー IMPRESA 50 プロフエツ ショナル	保存	コニカミノルタタビジネスエクスパート株式会社 東京都日野市さくら町1番地	コニカ株式会社	1991年	画質に拘り、非常に優れた粒状性、鮮鋭性および色再現性を有する感度50の超高画質カラーネガフィルムである。

カラーネガフィルムの開発歴史年表

年	フジフィルム	コニカ (小西六)	世界の主な出来事
1825			ニエプス ヘリオグラフィによる世界最古の写真撮影
1839			ダゲールのダゲレオタイプ写真、タルボットのカロタイプ写真の発表
1851			アーチャーの湿式コロジオン写真
1861			マクスウェルの分解写真合成(加色法)による三原色説の公開立証
1862			デュコ・デュ・オ・ローンが減色法カラーを発表
1871			マドックスのゼラチン乾板写真
1873			フォアゲルによる増感色素の発見
1888			イーストマンがコダック社と命名、カメラとロールフィルム一体販売
1903			国産初のブランド付カメラ「チェリー」手提用暗箱」発売。国産初の印刷紙「さくら白金タイプ紙」発売
1904			「さくらPOP (Printing-Out Paper) 焼き出し印刷紙」発売
1919			大日本セルロイド株式会社創立 東洋乾板株式会社創立
1921			東洋乾板株式会社によるST乾板 発売
1925			六社製ロールフィルム「さくらフキフィルム」を発売
1929			東洋乾板株式会社による東洋トロピカル乾板 発売
1931			ロールフィルムを試作(大日本フキフィルムと命名)
1934			富士写真フィルム株式会社、東洋乾板株式会社
1935			コダックのマン、ゴドウィスキーによる外式反転カラーフィルムの発売
1936			アグファ社が内式(水溶性カプラー) 反転カラーフィルム ノイの発売
1939			アグファ社が映画用内式(水溶性カプラー) カラーネガ・ポジフィルムを完成
1941			国産初の外式反転カラーフィルム「さくら天然色フィルム」発売(国内初、世界でも3番目)
1942			
1947			「さくら天然色フィルム」による、16mm 観光映画「夢」を制作し公表(国産初の天然色映画)
1948			国産初の外式反転カラーフィルム「さくら天然色フィルム」再発売
1949			
1951			
1953			
1955			内式(アグファ)方式「さくらフィルム コニカラーネガタイプ」ASA16発売
1957			
1958			映画用内式(アグファ型)35mm フジカラーネガタイプフィルム(タイプ8512) 発売、フジカラーネガフィルムによる最初の長編映画作品「楠山節考」松竹作品)を公開、一般用内式(アグファ型)フジカラーネガが発売(35mm 判、ロールASA32)、すべての写真フィルムを不燃性ベースに転換完了
1960			35mm 判カラーネガフィルムに12枚撮を発売
1961			映画用16mm フジカラーポジタイプフィルム(タイプ8827) 発売、35mm 判フィルムの日中装着を可能に、フジカラーN50(35mm 判、ロール) 発売
1963			フジカラーN50シートフィルム 発売、カラーードカプラーを用いたフジカラーN64(35mm 判、シート、ロール) 発売
1964			「さくらカラーネガタイプ100」(世界初のASA100) 発売
1965			映画用カラーネガ(タイプ8513、8514) 発売、フジカラーN100(35mm 判) 発売、カラーフィルム販売価格から現像料を分離 ニュータイプフジカラーネガタイプフィルム(シート) 発売
1966			フジカラーネガフィルムタイプL(ASA32)、タイプS(ASA80)(ロール、シート) 発売、ニュータイプフジカラーR100(35mm 判) 発売(オイルプロテクト型カプラー使用の最初の製品)
1967			
1969			映画用35mm フジカラーネガ(8515) 発売
1971			映画用16mm フジカラーネガ(8516) 発売、ニュータイプフジカラーN100(35mm 判) オイルプロテクト型発売
1972			フジカラーNプロフエッシュショナルタイプS、タイプL 発売
			DIRカプラーを用いたコダカラーII、110システム発売
			コダックがインスタマチックシステムを発表、発売
			中国カラー感光材料の生産開始

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第17集

平成24(2012)年8月20日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉 敏彦)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- 印刷 新高速印刷株式会社