4. む す び

以上、光学像記録システムにおける最近のシステム商品のひとつであるハイシングル・8システムの高感度化のメカニズムと、近い将来、実現の可能性のあるシステム商品として有望なインスタントムービーについて特許を背景にして概説した。

特 集 画像メモリー

4-3 非 銀 塩 感 材

東京工業大学工学部 小 門 宏

1. 非銀塩プロセスの基本的考え方

過去約 20 年の間に、情報を可視化するための技術に多くの新しい要請が課せられ、それに対応すべくハロゲン化銀感材とそのプロセスにも多くの変革がもたらされた。処理の乾式化、簡易化、高解像力化などの工夫がなされ、あたかも銀塩法がいかに融通性に富むすぐれた技術であるかが証明された感がある。それにもかかわらず現在、非銀塩プロセスの開発に多大の努力がつけられている。

その駆動力のひとつには、本来銀塩材料が万能型の永久記録材料であるのに対して、単能型のシステム組み込みの容易なプロセスを非銀塩材料によって実現する望みが十分に考えられることにある。アクセスタイムと操作性を最重視する複写機において、すでに電子写真法が銀塩写真法を凌駕したことは、そのような望みをもつ人々に励ましを与えたと思われる。

非銀塩プロセスに共通する問題を眺めるにあたって、光と物質の相互作用を現象的に整理して表 1 に示す。

第 1 のグループに属する現象を利用するプロセスの代表例として電子写真がある。有効な記録プロセスでは、この際、外部電場または材料内部の局部電場、たとえば接合部や表面障壁のポテンシャルを用いて電子変位を増幅する手段が構ぜられている。複写に用いるカールソン法、電子写真における静帯電はその好例である。

〔参 考 文 献〕

- 1) Edwin H. Land: Absolute-one-step photography, Phot. Sci. Eng. (1972) 247-252
- 2) 藤沢信: フィルムの感度はどう変るか, 写真工業, 1 (1973) 94
- 3) USP 2,726,154; 2,944,894; 3,536,488; 3,615,426; 3,615,427; 3,615,428; 3,615,429
- 4) USP 2,861,885; 2,854,903
特開昭 47-28927, 48-3623
- 5) 特公昭 47-18584
- 6) USP 3,615,127; 3,604,790
特開昭 46-53948

表 1 光と物質の相互作用

光の吸収=電子変位				
	分子レベルでの励起		集 団 励 起	
	分子内移動	分子間移動	集団内移動	集団外移動
(I) 電子の移動を利用	光ルミネッセンス	有機結晶の光電現象	光ルミネッセンス 光導電・光起電力・光分極などの光電現象 色中心・ソーダライトなどのフォトリソリズム	光電子放射 光電子注入
(II) 動原を子利の用移	光化学変化 表面物性変化 導電性変化		写真作用 (銀塩) 光結晶化・光ドーピング 光電気泳動	

第 2 のグループは、電子変位が原子の移動を誘発する場合で、2段階で現象が完結するために入射光エネルギーの直接利用効率は一般には第 1 のグループより高くない。反面、画像部、非画像部に物理的または化学的性質の差を生ずるので、それを利用してさらに次の変化を起させることもでき、高感度を実現できる。すなわち、光信号エネルギーの吸収で生じた微小な変動に対し、① 外部からエネルギー (別種の光、熱、電気) を供給して増幅したり、② 変化で生じた状態を触媒として化学反応を起させて増幅したりすることが可能となる。

①の例として遊離基写真があげられる。材料内に増幅エネルギーを潜在させ、連鎖反応によってすみやかに増幅を行なわせる例として光重合写真がある。②の例としては、ZnO や TiO₂ の光還元作用を利用して物理現象で像を得る RS 写真法 (Itek)⁴⁾や、カルコゲナイドガラ

“4-3 Non-Silver Halide Based Materials” Hiroshi Kokado (Imaging Science and Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

ス-金属系の光ドーピング後物理現象して像を得る Malinowski プロセス²⁾がある。

増幅過程を欠くジアゾタイプ、フォトクロミックプロセスなどでは一般的に感度は最も低いクラスに属する。特殊な例としては、外部電場によって電子注入（または放出）を行なった粒子を移動させる Photoelectrophoresis プロセス (Xerox)³⁾ のような変形電子写真法が知られている。これは原子の移動というより、粒子の移動が光により誘発される場合である。

感材の感度は、光の吸収効率、吸収エネルギーの利用効率およびその後の増幅効率、ならびに検出効率の3種の効率で決定される。これらはほぼ独立の因子と見てよい場合が多いから、全体の感度 S は、

$$S = S_{\text{abs}}(\lambda) \cdot S_{\text{conv}} \cdot S_{\text{det}}(\lambda')$$

で表わされる。 S_{abs} , S_{conv} , S_{det} はそれぞれ上の3種の効率に関する感度因子で、 λ は入射光、 λ' は検出光の波長を表わしている。 S_{abs} を大きくするには一般的に吸光係数の大きいものを選ぶか、感光成分濃度を増す。濃度の代りに感光膜厚を増してもよいが、この場合解像力を損なう。ただしダイナミックレンジは広くなると期待できる。

とくに光化学のプロセスでは、生成物が入射光を吸収するときダイナミックレンジは広がるが、実用に耐える像を得るための露光量は当然増え、感度の低下をきたす。材料内での光の減衰の様子がダイナミックレンジに大きな影響を及ぼすからである。

S_{det} は画像形成材料の性質によってきまり、また当然、検出方式や検出器の特性とのマッチングが大きな影響を与える。 S_{conv} は感度に最も大きな影響を持ち、この因子を大きくするために非銀塩プロセス開発の努力の多くが費されている。外部エネルギーをどのような形でどの程度利用するか、また増幅可能なプロセスは何か、を見出すことが解決の鍵になる。

感度の表示には従来、銀塩写真との比較に便利のように ASA 相当感度として、その材料に最も有利な波長の入射光によりバックグラウンドから有意な濃度差（たとえば 0.1）を生ぜしめるに必要な露光量の逆数を基準にした単位が使われてきた⁴⁾。しかし、この決め方はあくまで便宜的で、実際上の材料の使い良さは必ずしも一致しないことがある。

そこで、実用に耐える像を得るために必要とされる露光のエネルギーで感度を比較する試みも行なわれるようになった。たとえば、1971 年の第 3 回 Unconventional Photographic System に関する Symposium (米国 Society of Photographic Scientist and Engineers 主催) において Wainer (Hughes 社)⁵⁾ は、1.0 のネット

図 1 各種プロセスの感度比較
1: 遊離基写真 (プリントアウト), 2: 同左 (光現象, 図中の時間は現象時間), 3: ジアゾタイプ, 4: フォトクロミック (スピロピラン), 5: ダイラックス (du Pont×P-503), 6: ドライシルバー (銀塩熱現像), 7: 重クロム酸ゼラチン (Ar レーザー, ホログラフィー), 8: 液晶-ZnS (DSM), 9: 液晶-CdS (DSM), 10: 乾式光重合 (du Pont プロセス), 11: フォトレジスト (Ar レーザー, ホログラフィー), 12: 湿式光重合 (Hughes プロセス)

図 1 各種プロセスの感度比較

濃度を与えるために必要な露光量を mJ/cm^2 の単位で表わして各種材料を比較している。どの程度のネット濃度が要求されるかは用途によっても異なるので、今後の検討が必要となろう。このような表わし方にもとづいて、各種プロセスの比較を図 1 に示す。

2. 代表的な非銀塩プロセス

2.1 電子写真

帯電-露光-現象-(転写)-定着の主要工程よりなるカールソン法電子写真は、複写機分野ですでに評価が確立した。この方法の特長は短いアクセスタイムと、工程の技術的検討が確立して安定化したことにある。今後さらに多くの技術上の工夫が加えられて、カラー化を含む高画質化に進むことは確実である。感度の向上の目的には感光層構成の多層化^{6)~8)}の傾向が顕著で、一部はすでに実用に供されている。

他方、TESI 法⁹⁾ (Transfer of Electrostatic Image) が真剣に検討されている。これは静電潜像を転写するため、粉体または液体を用いての現象工程を主要系外で行なえる点から、将来さらに期待できるかも知れない。

熱可塑性の光導電層に帯電し、露光後加熱して軟化した層を静電潜像に応じて変形させる電子写真法は、サーモプラスチック記録またはフォトプラスチック記録¹⁰⁾と呼ばれ、数年前より有望なホログラム記録法として注目されている。ホログラム作成に要する露光量は $0.1 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ (He-Ne レーザー)、解像力は $1,000 \text{ 本}/\text{mm}$ 、回折効率 7% 程度と報告されている¹¹⁾。

この材料の特長は、変形像のレプリカを複数枚作成できること、および感光層を再加熱流動させて再び平滑にし、数十回の繰返し使用が可能なことである。レプリカ材料に透明性のものを用いれば、光損失の少ない位相型ホログラムがつくれ、回折効率がオリジナルよりもか

えて高くなることは興味深い。

今後の実用化が望まれる方式のひとつに、光電気泳動法 (Photoelectrophoresis)³⁾ がある。着色顔料を絶縁性液体の薄層 ($\sim 10 \mu\text{m}$) 中に分散させ、これを高電場下で光照射する方法である。

顔料は電気泳動力によってはじめ照射側電極に引き寄せられているが、光吸収によって電極との間にキャリア移動が起り、逆極性に帯電するに至って対極へ向けて泳動する。対極に記録されるネガ像を紙上にとる。この方法の最大の特長は、3 原色に対応する顔料を分散させておけば 1 回の露光でカラー像が得られることにある。

ほかにも、光電子放出材料と静電記録紙を組合せる方法¹²⁾、CdS 層を用いて静電記録紙にかかる電圧を光導電的に制御し、電子放出記録を行なう方法¹³⁾など、多様な工夫が行なわれている。後者はとくに CRT 記録用に開発された。電子写真はやはり最もよく研究され、信頼のおける記録法のひとつである。

2.2 遊離基写真¹⁴⁾

Horizon 社の遊離基写真は、光化学的非銀塩プロセスのうちで最も系統的に感度面での検討がなされた例として興味深い。よく知られているように、この方法では 4 臭化炭素などの多ハロゲン化合物を反応開始剤として芳香族塩基から色素を光形成させる¹⁵⁾。反応のくわしいメカニズムは明確でないが、熱または光エネルギーを用いて増幅のできるプロセスであることが最大の特長である。

表 1 からわかるように、5 分程度の後処理を行なえば 5 桁程度の高感度化が実現する。このとき処理時間を長くするほど、 γ は高くなる¹⁵⁾。材料のもつダイナミックレンジは、ほぼ感光層の設計 (濃度、厚みなど) で決定するので、一般に材料固有の量とみなしてよく、増幅によって飽和濃度を増すほど γ は高くなる。したがって、 γ 値を制御する必要の高い用途では、その目的で後処理を利用することもできるであろう。

光現象では、像露光のエネルギーによって反応を増感する色素を微量生成させ、その色素の吸収する光を均一に露光して増幅を行なう。Horison 社の開発したタイプの遊離基写真の欠点は、材料の安定性すなわち shelf life が充分でないことである。この不利を克服することはかなり困難な問題であるが、遊離基写真法は感度向上の面でもとくに興味深い示唆に富み、今後の感材開発に大きな影響を与えるであろうことは間違いない。

Yamada¹⁶⁾ が Bell & Howell 社で開発した高感度写真は、画像形成の手段として遊離基写真の考え方を採用し、光重合と組合せたもので、画像の外観からは遊離基写真であるが、本質的には光重合で感度を向上させている¹⁷⁾。現在の非銀塩プロセスとしては最高級の感度を

もち、カメラに装填して晴天日中、 $f8$, $1/200 \text{ sec}$ の露光でポジ画像が得られたという。

この方法では、N-ビニルカルバゾールと 4 臭化炭素のほか、スチリル系塩基微量を含む感光組成物を $10 \mu\text{m}$ 程度の粒子としてゼラチン中に分散した感光層を用い、像露光で 4 臭化炭素と塩基から生じた色素を分光増感剤として赤色光でビニルカルバゾールの重合を行なわせる。未反応のビニルカルバゾールは次の段階で強い白色光の照射を受けた 4 臭化炭素と反応し色素を形成する。

主な増幅過程は重合反応にあるとみてよく、粒子状の感光体を使う不均一層設計は、この過程が無制限にすすむことを避ける意味をもつのであろう。その点では銀塩写真の考え方にも似ている。

2.3 光重合の応用

光重合イメージングの代表的な例は Hughes 社のプロセスで、アクリル系モノマーと色素および還元剤としてのトルエンスルフィオン酸ナトリウムを含む系を用いる¹⁸⁾。水溶液系で使用し、光重合で不溶化したポリマー粒子の散乱像を得る。ラピッドアクセスプロセスとして、ホログラム記録用およびディスプレイ用に開発された。特長のひとつは、光化学的に定着する工夫がなされていることである。ホログラム記録には $1\sim 10 \text{ mJ/cm}^2$ の露光エネルギー (He-Ne レーザー) を要し、回折効率 $5\sim 18\%$ 、搬送周波数 $1,000 \text{ 本/mm}$ の像が得られている¹⁹⁾。

セルローズ系結着剤を用いて乾式化した光重合プロセスが、du Pont 社から報告されている²⁰⁾。ホログラム記録は 490 nm の波長の光を用いて $8\sim 20 \text{ mJ/cm}^2$ で行なえ、回折効率 $1\sim 10\%$ 、搬送周波数 $2,000 \text{ 本/mm}$ と述べられている。この材料の特長は適当な露光条件では定着操作が不要になることである。過度の露光または全面後露光で像が定着され、多重記録の可能性を示唆する。その理由について Wopshall は、露光中常にモノマー濃度が均一化するような拡散が起っており、一方、ポリマーの拡散は起らないと考えている。

2.4 フォトクロミックス²¹⁾

繰返し使用、光消去可能な光メモリー材料としてフォトクロミズムを利用した無機・有機材料はフォトクロミックの名で知られている。しかし、1 節に記した S_{conv} が大きくできない欠点のために感度的に問題があり、また記録像の安定性が充分に改良できないこと、とくに読出し光で破壊される点も実用上の大きな不利となる。それにもかかわらず多くの実験が行なわれている背景には、簡単に像消去ができ、しかも再使用可能な魅力と、厚い材料で thick ホログラムがつくれる有利さがある。有機物ではスピロピラン、無機物ではチタン酸ストロンチウムや弗化カルシウムを基体とする材料などで実験が

行なわれた。

新しい材料としては Bell Telephone 研究所の光化学者 Lamola らの多環芳香族炭化水素の光 2 量化反応を用いた系がある²²⁾。これもホログラム記録用に開発されているが、量子収率がほぼ 1 で、フォトリソ利用のプロセスとしては最高の感度 10^3 mJ/cm^2 を得ている。

2.5 非晶質半導体の応用

カルコゲナイドガラス半導体は、その研究の歴史は長くないが、近年になって多様な応用の可能性が示された材料である。光メモリーに関しても少なくとも 3 種の原理的に異なる作用が発表され注目されている。

そのひとつは、まず光により結晶核を発生させ、次に熱的にその部分に結晶を生長させるもの²³⁾で、Te-Ge-Sb 系の材料はそのような材料の例である。融点以上にいったん加熱して急冷すれば、結晶化した部分は再び非晶質化し、何回かの繰り返し使用ができる。書き込みおよび消去は、発光特性の異なるフラッシュで行なうことができる。

第 2 の方法は、カルコゲナイドガラスの蒸着層の上に銀層を重ねて蒸着したものに光を与えると、銀がガラス中に溶け込む現象—光ドーピング—を利用する²⁴⁾。光ドーピングの起った部分は吸収端が長波長側にシフトするほか、電気的・化学的性質も変化している。As₁₆S₈₀Te₄ のガラスを用い、488 nm の光でホログラム記録を試みた実験では、 50 mJ/cm^2 程度の露光で解像力約 1,600 本/mm、回折効率 (632.8 nm) 7~8% の結果が得られた。

興味深いことには、過露光に対して安定で、定着操作を要しない。この理由はまだ明らかにされていない。また光ドーピングされた部分の化学的性質の変化を利用してレリーフ像をつくることも試みられ²⁵⁾、その特性も測定されている。この方法でつくられた位相型ホログラムは初期の実験段階でも 30% 程度の回折率を示す。

非晶質の As₂S₃ は光照射によって透過率変化を生じ、これもホログラフィックメモリーの材料に使われた²⁶⁾。井郷らはこのタイプの光変化を示すカルコゲナイドガラスの研究を行ない、As-Se-S-Ge 系材料で最高 Δn (屈折率変化) = 0.1 におよぶ可逆性メモリーを実現している。消去は熱を加えることによってなされ、数十回以上の再使用が可能であった²⁷⁾。

2.6 その他

これらのほか、多くの材料について光メモリーの実験が行なわれてきた。とくにホログラフィックメモリーに焦点を合わせて記述する。重クロム酸-ゼラチン系²⁸⁾はほぼ 100% に近い回折効率で注目され、実験例も多いが、湿度に弱い欠点は致命的であり、その点フォトレジ

ストに一步をゆずると思われる。ビスマスのような金属薄膜を部分的に蒸発させるタイプのものは、原理的に単純であるだけに確実な方法といえるが、反面、今後の改善の余地は少ないかも知れない。

今後に期待できるタイプは、MnBi のような強磁性体の磁化反転を利用するものであるが²⁹⁾、磁気光学的読み出し技術の進展が実用化の鍵を握る感がある。強誘電体でもある LiNbO₃ は、その感度の低さ ($\sim 10^5 \text{ mJ/cm}^2$) のために、他のすぐれた特性を生かしきれない材料である³⁰⁾。ただし、LiNbO₃ は不均質な捕獲電荷をレーザー光でつくり出し (optical damage)、結晶のひずみにより記録する材料なので、ドメインの配向により記録を行なう他の強誘電体、たとえば Bi₄Ti₃O₁₂³¹⁾ や、チタン酸塩系のセラミックを用いる Ferpic³²⁾ などとは混同すべきでない。

3. 新しい動き

稿を終えるにあたって、従来とはやや異なる観点から非銀塩プロセスに取り組もうとする若干の試みがあることを示したい。Zweig (American Cyanamid 社)³³⁾ は、紫外光によって光化学的に蛍光性物質を生ずる反応をイメージングに適用しようと考えている。彼の Photofluorescent システムでは増幅過程はとり入れられていないが、光電子増倍管のような、きわめて高感度の検出器を利用することで S_{det} を大きくしようとする。

もうひとつの傾向は、露光時に熱を加えてはじめて感光性を発揮するプロセスがいくつか考案されていることによりわかるように、高エネルギー状態で光記録を行ない、材料の安定性および定着操作の省略をねらうものである。アイデア自体は新しくないが³⁴⁾、近年に至っていくつかの報告がみられる。

PbI₂ の 200°C 付近での光分解によるプリントアウト³⁵⁾、90°C で PbO を有機物で還元して鉛像を得るプロセス³⁶⁾などがある。いまのところ感度が低いが、将来さらに検討の価値のある方法であろう。

〔参考文献〕

- 1) E. Berman, et al: Photo. Sci. Eng., **13** (1969) 50, 93, 95, 103, 111, 120; **14** (1970) 401
- 2) J. Malinowski: Photo. Sci. Eng., **15** (1971) 175
- 3) V. Tulagin: J. Opt. Soc. Amer., **59** (1969) 328
- 4) 大上進吾: 応用物理, **39** (1970) 887
- 5) E. Wainer: SPSE Symp. III Unconv. Photo. Syst. (Oct. 20~23, 1971, Washington D.C.) Preprint p. 39
- 6) K. Yoshida, K. Kinoshita, T. Kawamura: Appl. Opt. Suppl. **3** (Electrophotography) (1969) 170
- 7) M. Mitsui: IEEE Trans., **ED-19** (1972) 396
- 8) 林美樹, 長谷川正生: 電子写真学会 29 回研究討論会予稿 (1972) p. 13; 情野国城, 川端基俊, 小西勝利: 電子写真学会 30 回研究討論会予稿 (1972) p. 4
- 9) R.M. Schaffert: "Electrophotography" Chapt. IV. Focal Press, London (1965)

- 10) J. Gaynor, S. Aftergut: Photo. Sci. Eng., **10** (1963) 209
- 11) L. H. Lin, H. L. Beauchamp: Appl. Opt., **9** (1970) 2088;
T. L. Credelle, E. W. Spong: RCA Rev., **33** (1972) 206
- 12) I. Brodie: TAPPI, **55** (1972) 1389
- 13) USP 3,419,888
- 14) 星野昭一郎, 塚田知道, 吉田弘弘, 五十里邦弘: 画像技術, **3**, 3 (1973) 19
- 15) R. H. Sprague, et al: Photo. Sci. Eng., **5** (1961) 98; **8** (1964) 91, 95
- 16) Y. Yamada: SPSE Annual Conference (1969) Preprint p 118
- 17) 小門宏: 化学と工業, **24** (1971) 173
- 18) J. D. Margerum, L. J. Miller, J. B. Rust: Phot. Sci. Eng., **12** (1968) 177; L. J. Miller, J. D. Margerum, J. B. Rust: J SMPTE, **77** (1968) 1177
- 19) J. A. Jenney: J. Opt. Soc. Amer., **60** (1970) 1155; **61** (1971) 1116; R. G. Brault, J. A. Jenney, A. M. Lackner, J. D. Margerum: SPSE Symp. III Unconv. Photo. Syst. (Washington DC, Oct. 1971), Preprint p. 68
- 20) R. H. Wopshall: SPSE Symp. III Unconv. Photo. Syst. (Washington DC, Oct. 1971) Preprint p. 70
- 21) 小門宏, 清水勇: 応用物理, **39** (1970) 1039
- 22) W. J. Tomlison, E. A. Chandross, R. L. Fork, C. A. Pryde, A. A. Lamola: Appl. Opt., **11** (1972) 533
- 23) S. R. Ovshinsky, P. H. Klose: J. Non-Cryst. Solids, **8**, 10 (1972) 892
- 24) I. Shimizu, H. Sakuma, H. Kokado, E. Inoue: Photo. Sci. Eng., **15** (1972) 291; T. Fukaya, S. Matsumura, J. Tsujii-uchi, E. Inoue, H. Kokado: Opt. Commun., **7** (1973) 98
- 25) 白川卓, 清水勇, 小門宏, 井上英一: 日本化学会 28 春季年会 (1973.4) 1V-17
- 26) S. A. Keneman: Appl. Phys. Letters, **18** (1971) 254
- 27) T. Igo, Y. Toyoshima: Proc. Third Conf. Solid State Devices (Tokyo 1971) p. 61; Japan. J. Appl. Phys., **11** (1972) 117
- 28) D. Meyerhofer: RCA Rev., **33** (1972) 110
- 29) T. C. Lee: Appl. Opt., **11** (1972) 384
- 30) L. H. Lin: Proc. IEEE, **57** (1969) 252
- 31) S. A. Keneman, A. Miller, G. W. Taylor: Appl. Phys. Letters, **17** (1970) 173
- 32) A. H. Meitzler, J. R. Malodonado, D. B. Fraser: Bell System Tech. J., **49** (1970) 587
- 33) A. Zweig: SPSE Symp. III Unconv. Photo. Syst. (Washington DC, Oct. 1971) Preprint p. 79
- 34) J. J. Robillard: Photo. Sci. Eng., **8** (1964) 223
- 35) M. R. Tubbs: J. Photo. Sci., **17** (1969) 162
- 35) E. M. Brinckman: SPSE Symp. III Unconv. Photo. Syst. (Washington DC, Oct. 1970) Preprint p. 13

特集 画像メモリー

4-4 モノカラー記録方式

富士写真フィルム株式会社 足柄研究所 福井 隆

1. ま え が き

白黒フィルムによるカラー像の記録と再生の試みは, 1861 年, C. Maxwell¹⁾ によって, 加色法的手段を用いて実験されたのが最初であろう。その後, Ives²⁾ の再回折法的手段に端を発して, Mueller³⁾, その他⁴⁾ による搬送波写真 (Carrier Frequency Photography) の技術が確立され, これにテレビの単管式カラー像撮像方式の考えが加わって, 今日のモノカラー記録方式の進展を見るに至った。

表 1 に, モノカラー記録方式の発想の動機を模式的に示した。

ここでは表 1 に順じて, 写真的立場から記録方式に焦点を絞って述べる。

2. 記 録 方 式

表 1 モノカラー方式の発想

モノカラー記録方式の大部分は, 輝度信号とカラー信号とを分離する方式をとっており, 両信号を記録する方式として, 周波数分離式と位相分離式の2つが考えられる。しかし, 写真の立場からは, 感材の用い方に興味がある。

"4-4 Monocolor Recording Methods" by Takashi Fukui (Research Laboratory Ashigara, Fuji Photo Film Co., Ltd., Ashigara)