

リプログラフィーと理論

Reprography and Theory

野 崎 弘*

Hiroshi Nozaki

この解説では情報をうけとめる最後の段階、つまり物質による固定化はどのようにして行なわれるか、いかなる材料が用いられるべきかを述べる。イメージ伝達の数式化を行なった結果、情報の伝達、蓄積、変換が見事な体系で論じられる。たとえば情報容量、S/N比などがそれである。これに対して従来、materialの分野ではこのような一般化に欠けるところがあり、この点についての新しい試みを提供する。

まえがき

画像の記録と関連ある技術としては写真、印刷、複写、有線または無線による伝送写真と各方面にわたるが、その記録とはいづれもある時刻、ある空間における注目像の状態の特定物質による固定化であり、その認識と評価は通常、視覚についてなされる。その目的とするところもさまざまイメージの単なる保存用もあれば、同一イメージの縮小、拡大、多数化、状態変化の追跡における時間軸の移動、空間的移動などがある。一言にして画像の記録とは、 X, Y, Z, t で規定された情報の根源としての注目像を別の X', Y', Z', t' の時空間に固定することである。情報の発信からその固定化までの間に信号の伝達、他信号への変換、蓄積、増幅などが一般には含まれる。現代は情報時代と言われ、画像そのものがすでに情報であるが、この画像記録を使った情報伝達をしようとの試みがなされている。実用上もう少し言うものに home facsimile がある。さらに船舶上でも飛行機の上でも、またロケットから送られてくる情報を直ちに記録にうつしたい大なる要求がある。これはつまりテレビ画像の信号の高速記録を果せばよい。この点に各国とも大いなる熱を傾けている。この技術は optics, electronics, material の分野にまたがり、技術の完成にはあらゆる分野の情報処理技術の結集を必要とする。

この解説では情報を受けとめる最後の段階、つまり物質による固定化はどのようにして行なわれるか、いかなる材料が用いられるべきかを述べる。とくに optics, electronics では情報の伝達、蓄積、変換がみごとな体系で論じられる。たとえば情報容量、S/N比、……その他がある。これに対して従来、materialの分野では、このような一般化に欠けるところがあり、この点についての新しい試みを提供したい。

画像記録の実例

銀塩写真

工業製品として古い歴史があり規模が大きいこともあって感光の理論に対する論議も活発である。これについては筆者の画像形成の一般理論から統一的説明を与えない。

電子写真

周知のように Xerox, Electrofax がある。はじめ乾式写真としての Xerox (Xero=dry) があらわれた。これらは銀塩写真が暗所における湿式現像操作を通り、迅速簡便でない欠点を除こうとし、複写専門に用いられ驚異的普及発達をとげた。

感光材としては Xerography は無定形セレンを円筒状または平板状に蒸着した一定厚さの面を使用する。Electrofax は酸化亜鉛、酸化チタン、有機半導体（とくにポリビニルカルバゾール）でこれと適当な高分子材と組み合わせ混合してフィルムを作り感光層とする。感光層は $10^{14} \sim 10^{15} \Omega\text{-cm}$ の絶縁層である。

電子写真の画像形成のための基本操作は次の5つからなる。

1. 帯電 数千ボルトのコロナ放電操作によって表面に一律な帯電をさせる。
2. 露光 帯電した感光層に光像をあてると光の当たったところの帯電が消失し、静電潜像ができる。
3. 現像 120°C 位で軟化する高分子を含んだカーボンの粉（これをトナーと称す）をふりかけてやると静電潜像が顕像される。
4. 転写 転写操作が必要な場合は感光層上のトナーを逆電場をかけて転写してやる。
5. 定着 紙の上のトナー像を直接加熱または赤外線をあて紙上に軟化融着せしめる。

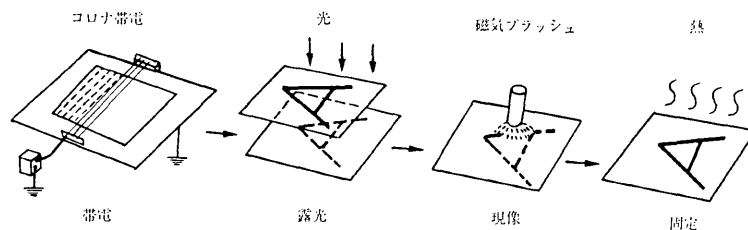


図1 電子写真の画像形成のための基本操作

* 東京大学生産技術研究所 第4部

電子写真方式にはいくつかの問題点がある。1～5 までの操作をつめこんだ装置は勢い大型化する。速度は各工程で速くする工夫はあるが、これ以上速くできない操作もある、たとえば露光には少なくとも数秒から数十秒を要する、などの欠点がある。帯電法には PIP (持続分極) 法と称する方法もある。しかしこれは後の静電記録の方法に近い。露光は光だけでなく、X線や放射線で行なうこともある。現像は乾式だけでなく液体现像や電解現像がある。

TiO₂ は誘電率大で黒化度が大となる。化学的安定性があり隠ぺい力が大で防錆塗料の性格に優れているため造船をはじめとし、車輛工業などの電子写真法罫書き用として適している。

サーモプラスチック記録法

GE 社の開発によるもので別名光帯電法, Photo-Charge Process ともいわれる。具体的に説明するとヨードホルム CHI₃ 四臭化炭素 CBr₄、沃化メチレン CH₂I₂、四沃化エチレン I₂C=Cl₂ などの多ハロゲン化炭化水素をポリスチレン [-HC(C₆H₅)-CH₂-]_n などの熱可塑性のポリマーに加えて分散させ、適当なベース上に塗布する。これを露光すると露光した部分が帯電するという。つまりこれが光帯電である。この感光原理は銀塩写真の感光と同時なものであると筆書は考えている。この意味からとくにこれを述べた。

Thermography

感熱材料として過冷却状態をとりうる有機化合物を用いることがある。これらを微粒子状態に塗布した紙に熱パターンを与え、加熱により溶融した部分がトナーの付着力を増し、電子写真の現像と同様にして現像される。

そのほか熱発色材は多数試みられている。

光分解反応法 diazo type process

色素の感光性、特にジアゾ化合物の感光性を利用するもので、ジアゾ化合物は露光を受けた部分は分解を起し、未露光の部分はアルカリ性においてカップラーと結合して発色する。これに用いる感光材としては diamido-diphenyl, NH₂-(C₆H₄)₂-NH₂, diamido-diphenylamine, NH₂-C₆H₄-NH-C₆H₄-NH₂ などがあり、カップラーとしてはレゾルシン〔紫〕・β-ナフトール〔青〕らがあげられる。

一方光分解生成物である窒素を感光面中に微小な気泡 (vesicle) 状に固定し、その結果分散によって生じた白黒の画像の現像法もある。Kalver 社により開発され Kalver 法といわれる。解像力 500 本/mm とすぐれている。

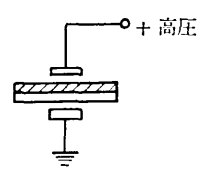
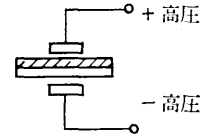
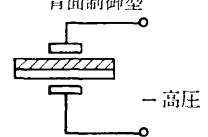
光重合法 Photopolymerization

感光性樹脂法とも呼ばれ、その名のごとく二重結合 (ビニル基など) をもつ樹脂の光硬化性を利用する。すなわち、溶剤に可溶性樹脂に光化学反応開始剤 initiator を入れて作られた感光面の中で、露光部分は光重合を起し高分子化して溶剤に不溶となる。従って溶剤によって未露光部を溶解除去することによって現像が行なわれるものである。このような性質をもつ樹脂として実用化されているのは、ポリビニルケイ皮酸 polyvinil cinamate, PVA ケイ皮酸エステル (KPR) らがある。

この方式の用途としては、すぐれた解像力により、プリント配線、製版、IC、シャドウマスクなどに用いられている。

写真伝送法 (Facsimile)、静電記録

表 1 静電記録における帯電手法の分類

帯電方法	帯電電極の形	実用例
前面制御型 	単針電極 多針電極 ピンチューブ 電子透過管	静電破壊による複写方式 テレファクス ビデオファクス 写真伝送 ホームファクシミリ 新聞ファクシミリ 紙ビデオテープ
両面制御型 	文字型電極 ピン・マトリックス電極 交差電極	漢字プリンター 文字プリンター 電子植字機 特殊レコーダー
背面制御型 	画素型電極 ピン・マトリックス電極	特殊印刷用 静電印刷 高速度レコーダー 気象レコーダー

この方法では有線、無線長距離をへだてて送られてきた電気信号としてのエネルギーパターンを光などに交換することなく直接に電気的信号として受けとめ、これをトナーで物質パターンに変換する。これが静電記録といわれる理由である。この方法の特徴は次のごとくである。

- a) 画像の長距離輸送が可能であること。
- b) パルス信号を用い、数 μs ~10 μs のエネルギーパターンが可能となる。これによって印字は1秒間に1~10 万字の超高速記録が可能になる。
- c) 記録時におけるエネルギー消費が微小である。
- d) 光過程がなくシステムが簡単、小型化する。

この方法はエレクトロニクスの改良、進歩とマテリアルを適当に選ぶことによっておそらくこれからの image science や technology の王座を占める技術であろう。

現在、静電記録材料として的高分子樹脂として塩化ビニルと酢酸ビニルとの共重合体やアクリルエステルらが実用に供される。これに酸化チタンを 10~30% 添加して作られた記録紙が image quality のよいものが得られることが東大生研やNHK 技研の研究によって明らか

にされた。

画像形成のための基本的操作には 1. 帯電, 2. 現像, 3. 定着となる。現像はトナーをふりかける方法でもよいが、液体現像もよく用いられる。この液体現像では2と3が1つのプロセスとなるように現像液の中に定着剤が入っている。静電記録では帯電の制御や電極の形などが一番問題になる。これを次表に示す。また、新聞伝送のブロックダイアグラムを掲げる。

マテリアルと情報伝達

画像の記録とはイメージが情報の根源となり、それが伝送され、途中でエネルギーの変換、蓄積、増幅なども行なわれ、最終的には物質パターンとして固定されたものであることはすでに述べた。ここでは optics, electronics 過程を除いて、マテリアルの中にどのようにして情報は入り込んでゆくか、またそれが固定されるかについて考えてみたい。なお画像は人間の視覚によって認識され、その良し悪しは心理的、生理的効果も加わって評価される。この認識評価についてはまた別の機会としたい。

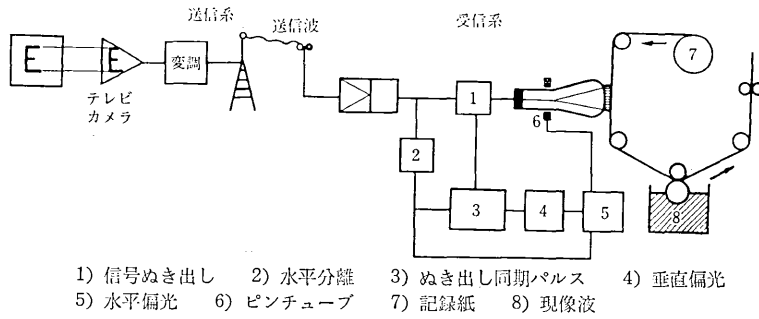


図 2 新聞伝送のブロックダイアグラム

表 2 起動力と応答

起動力 応答	圧 力 P	温 度 T	光 $h\nu$	電 気 E	磁 気 H	化学力 μ
機 械 的 d	ダイラタンシー チクソトロピー	凝固・融解の 膨脹, 収縮	光 圧 放射線硬化	逆圧電効果 電気衝撃	磁 歪	浸 透 圧 CM 現 象
熱 的 s	断熱膨張 ジュール・ト ムソン効果	熱 容 量 熱 伝 導	幅 射 熱	ペルチエ効果	断熱消磁	反 応 熱 寒 剤
光 量 n	トリボルミ ネスセンス	黒体輻射 テルモルミ ネスセンス	レーザ メーザ ルミネセンス	電場発光 電解発色	磁場発光 ファラデー効果	化学発光 化学発色
電 気 的 D	圧電効果 摩擦電気	熱起電力	光 帯 電 光 電 池 光 電 導	誘電分極 静電容量 電 導	MHD 発電	電 池 強誘電体
磁 気 的 B	磁歪逆効果	熱磁気効果 (磁気熱写真)	光磁気共鳴	電磁誘導 (動的)	磁化現象	合金フェラ イトの磁性 強磁性体
化 学 的 ξ	逆浸透 機械重合 衝撃反応	拡散分離 加熱現像 Zone Refining	ジアゾ変化 写真効果 光 重 合	電 池 電 気 泳 動 液 晶 P I P	磁気化学作用 ハイドロカーボン の結晶成長促進	吸 着 化学反応 生体反応 結晶成長

物質における起動力と応答

以上のように注目の対称を限定し、電子写真のゼロックス操作を具体的に考えてみる。これは前述のように無定形セレン板を用い、帯電—露光—現像—転写—固定を行っている。この時セレン板自体は通信でいう搬送波による伝達と同等の役目をなしているという。

情報伝達の手段としてのコロナ放電を考えてみる。これはセレン板自体に外部から電気エネルギーを蓄積しておく操作で、これに Image 情報を光パターンとして与える前段操作である。情報伝達のための光という起動力を与えその応答を得て光パターンを生ずる。その応答を得るためのエネルギー蓄積の起動力としてコロナ放電を用いている。セレン板上の電気エネルギーの蓄積はコロナ放電という外力に対する応答である。結局コロナ帯電操作はイメージの情報伝達に関与していることになり、その際、物質特有の外力に対する応答性が使用されている。このような例からも物質の外力（起動力）に対する特有の応答性はイメージの情報伝達に使用可能であることが了解できる。

各物質について物理的、化学的現象としての起動力と応答性については多くの経験的事実がある。これらの数例を前表 1 に示した。起動力は intensive property をもち、応答は extensive property をもっている。対角線上の現象は起動力とその直接の応答の、いわゆる共役関係の力とその応答である。経験によると物質を介して情報伝達に使用する起動力と応答の組み合わせは対角線上の関係が使われることはまずないと言ってよい。対角線以外の起動力と応答の関係が一般に実用に供せられている。つまり対角線上にないことは一つの応答に対して二つの起動力が組合わさる可能性がある。これは次に述べるイメージ伝達の数式化のところでも出てくるように、定常状態、固定化状態が得られやすいため、したがって、ある場合には時間から解放されるためと考えられる。記録とは情報伝達の時間からの解放であると言ってよい。

イメージ伝達の数式化

前表に示した各プロセスの物質に関する起動力と応答はイメージから出る情報エネルギーの伝達と記録にそれぞれ利用しうるとは既に述べた。

情報エネルギーの流れを J 、その流れの起動力を X とすれば、オームの法則の如く、 $J=UX$ (U は比例定数) がなり立つとし、この X にどのような表現をもって来るべきかの問題がある。筆者は新しく次式を提出する。簡単のため X 方向の一次元座標をとり、 X 方向に起動力の加わる任意の点で次式があてはまる。

$$J_1 = U_1 \frac{d(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dX} \quad (1)$$

ここに n_1 は荷電粒子にせよ化学分子にせよ、記録感答にあづかる流動的粒子 1 の単位容積あたりの濃度、 $\tilde{\mu}_1$ がその n_1 なる粒子の化学ポテンシャルである。 μ_1 は圧力 (P) 温度 (T)、粒子濃度 (n_1) の関係であるが、次のごとくして電位、磁位、光位など前表にでてくるほとんどすべての起動力を含ませうる。

$$\tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_1^0(P, T) + RT \ln n_1 + \varphi_{Fr} \dots$$

(1) は定常にも非定常にも応用できる一般化されたオームの法則とも称せられるべきである。時間的変動も考えて質量保存則から任意の点で次式が成り立つ。

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} + \text{div } J_1 = f_1 \quad (2)$$

ここに f_1 は注目する x なる点で化学反応、またはそれと類似の現象が行なわれて n_1 なる粒子が単位時間あたり消滅または発生する量、すなわち反応速度である。

(1) と (2) から

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} + u_1 \frac{d^2(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dx^2} = f_1 \quad (3)$$

$f_1=0$ の定常状態では

$$\frac{d^2(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dx^2} = 0 \quad (4)$$

$f_1=0$ 、および固定安定化の状態、つまり $J_1=0$ の状態では

$$\frac{d(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dx} = 0 \quad (5)$$

すなわち

$$n_1 \tilde{\mu}_1 = C \quad (6)$$

ここに C は x に無関係な系特有の定数で固体状態において単位容積あたりのその物質内情報エネルギーまたは情報容量である。

たとえば (6) によれば (2) と共に電位が関与するときの固定安定化の状態にある電位 φ と粒子密度 n との関係は任意の点で次式となる。

$$\varphi_{Fr} = \tilde{\mu}_1^0(P, T) + RT \ln n_1 + \frac{C}{n_1} \quad (7)$$

以上は情報の carrier として、粒子を 1 種類とした。一般には第 2 の粒子またはそれ以上が存在することがある。このときは粒子の種類を 2 つとして情報伝達は次のごとく J_1, J_2 となる。

$$\left. \begin{aligned} J_1 &= U_{11} \frac{d(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dx} + U_{12} \frac{d(n_2 \tilde{\mu}_2)}{dx} \\ J_2 &= U_{21} \frac{d(n_1 \tilde{\mu}_1)}{dx} + U_{22} \frac{d(n_2 \tilde{\mu}_2)}{dx} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

上式で $d(n_1 \tilde{\mu}_1)/dx$ は情報伝達力、 J_1 は情報容量と見なしう。 J_1 が目的の情報の移動量であるときは、それと共存する J_1 の流れは余分の流れであって J_1 に対する妨害流ともなる。 $J_2=0$ であることが望ましい。

数式化から導かれることは次の諸事項がある。たとえば

適当物質はどのような条件を満すべきか

プロセスの迅速化の因子

画質濃淡

情報保持力 (安定化)

S/N 比の向上

その他として上式の理論から銀塩写真は感光上、どこに分類されるべきかの結論を得る。

(1970 年 3 月 18 日受理)