

図 3.74 平面射影変換の原理

参考までに変換行列の求め方について述べる。対象としているシーンが遠方にある場合や、近くても建物や壁、黒板など、それらを単一平面と仮定することができる。図 3.74 のように、3次元空間中の単一平面上の点を2つの異なる視点から観察したとき、これらの各画像面での座標の間の変換は、線形であることが射影幾何学において知られており、homography と呼ばれている。画像座標を斉次座標で表した第1画像の点は、第2画像上で対応する点を持ち、それらの関係は以下の式で定義される。

$$m_2 = H \cdot m_1, \quad H = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & h_8 \end{bmatrix}$$

ここで定数倍を考慮すると、 m_2 の成分 x_2 と y_2 は、 m_1 の座標 x_1, y_1 と平面射影変換行列 H の未知パラメータ8個とで表すことができる。1組の対応点は、2個の式を与えるから、原理的には4組、実際にはそれ以上の対応点があれば画像の解像度に依存した誤差を考慮しても最小2乗法で誤差最小化を行うことで、この行列を求めることができる。

このように手軽な家電機器であるデジタルカメラの応用で、従来は測量というようなおおげさな領域で行われていた技術が手軽に身近に使えるようになってきている。 [安田昌司]

文 献

- 1) 織田 誠：日本機械学会誌，101-955，28-29 (1998)。
- 2) オークリッジ研究所：日経産業新聞，1998年5月4日。
- 3) 都甲 潔他：日経サイエンス，21-10，68 (1991)。
- 4) 栗原堅三：味覚・臭覚，化学同人 (1990)。
- 5) 角谷 他：超磁歪素子を用いた踏力トルクセンサの開発，システム制御情報学会講演論文集，p. 555 (1998)。
- 6) 山上嘉也他：自律移動型掃除ロボット，第7回日本ロボット学会講演論文集，p. 445 (1989)。
- 7) 高野政晴：外界認識センサを持つ高性能ロボットの開発研究，昭和57年度科学研究補助金実績報告書 (1983)。
- 8) オムロン：超音波変位センサ E4DA カタログ。

- 9) 水上和明他：超音波センサによる小径内微量液体の高精度液面センシング，第74期日本機械学会全国大会 (1996)。
- 10) 千葉直樹他：特徴追跡に基づく画像間の位置あわせ，第4回画像センシングシンポジウム (1998)。

3.3 OA 機器

OA (office automation) の主要な機能の1つは、ドキュメント処理であるが、物理的な文書を生産する広義の画像処理装置としては、複写機、プリンタ、スキャナ、ファクシミリ、デジタルカメラなどがあげられる。ここでは代表的な OA 機器として、デジタルカラー複写機とデジタルカメラを取り上げる。

3.3.1 カラー複写機

a. 電子写真プロセスと利用されるセンサの概要
オフィスなどで用いられている普通紙複写機 (以下、単に複写機という) は、一般には電子写真 (electrophotography) 方式を利用している。電子写真方式の基本原理は、発明者の名をとってカールソンプロセス (Karlson process) あるいはゼログラフィ (xerography) と呼ばれ、①光導電体 (感光体) 表面を帯電し、②原稿の光学像を露光して静電潜像を作り、③微粒子 (トナー) を付着させて現像し、④紙または他の物質に転写して定着させる、という工程からなる。

アナログ複写機は、露光工程において原稿の光学像をレンズなどのアナログ光学系で感光体 (像形成媒体) に露光するのに対し、デジタル複写機においては、光学像を撮像素子で受光して画像データを形成し、これをレーザなどの書き込み素子により画素単位で感光体上に露光して潜像を作る。カラー電子写真プロセスでは、減法混色系の3原色であるシアン (C)、マゼンタ (M)、イエロー (Y) と黒 (K) の画像を独立に現像し、それぞれの色に対応するトナー像を同一の転写媒体上に転写することでカラー画像を形成する。表 3.1 にデジタルカラー複写機で使用されている主要なセンサ類をまとめる。計測・制御の対象となるのが、静電気、粉体 (トナー)、紙といった物理特性や挙動の不安定な物理量・物質 (材料) であるため、使用されるセンサ類には特殊なものが多く用いられる。

b. 画像形成プロセス制御とセンサ

感光体の表面電位や現像濃度を計測して、帯電量

表 3.1 デジタルカラー複写機の主要センサ

機 能	使用されるセンサ
<光学像(画像)読取り系> 画像読取り 原稿サイズ検知 読取り系位置検知, カバー開放検知 温度過昇検知	CCD ラインセンサ マルチビーム反射型フォトセンサ 透過型フォトセンサ サーモスタット
<潜像(画像)書込み系> レーザ光走査同期検知	フォトセンサ
<現像系> 感光体の電位 現像器のトナー濃度 現像画像濃度 トナー残量, 排トナー量検知 現像環境	表面電位センサ 磁気粉体センサ, 反射型フォトセンサ 反射型フォトセンサ 圧電粉体センサ, 透過型フォトセンサ 温湿度センサ
<転写系> 中間転写ベルト位置検知 転写紙環境	透過型フォトセンサ 温湿度センサ
<定着系> 定着・加圧ローラの温度 定着環境	サーミスタ 温湿度センサ
<給紙・紙搬送系> 給紙トレイ位置検知 紙なし検知 紙サイズ検知 給紙・レジスト・分離・排紙検知	透過型フォトセンサ, 反射型フォトセンサ (アクチュエータとの組合せ)
<その他> 人体接近による動作状態復帰 ドア開閉検知	焦電型赤外線センサ 透過型フォトセンサ, ホール素子

や現像トナー量を制御して画像品質を安定化させる技術は、電子写真装置におけるプロセス制御と呼ばれる。

図 3.75 にデジタルカラー複写機における画像形成システムの 1 例の概念図を示す。

- ① 帯電。暗下において(-)電荷のコロナ放電により、感光体は(-)に帯電される。
- ② 露光。画像データに対応した強度のレーザ光により露光され、静電潜像を形成する。
- ③ 電位センサ。感光体表面の電位を測定し所定電位に制御する。
- ④ 現像。摩擦帯電により(-)に帯電したトナーに現像バイアスを与え、感光体上の(-)電荷が現像バイアスより低い部分に付着させる。
- ⑤ 現像画像濃度センサ。感光体上の小領域を所定条件で現像し、トナー付着量を測定して現像濃度を制御する。
- ⑥ 中間転写。感光体上のトナーを中間転写体に転写する。ここで Y, M, C, K 4 色の像を重ね合わせる。
- ⑦ 感光体クリーニング。感光体上に残ったトナーを除去する。

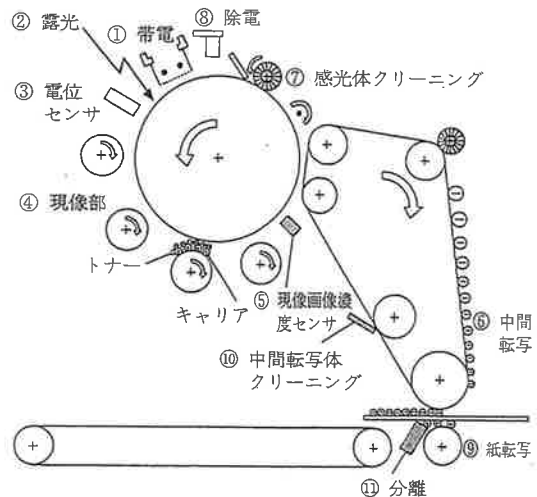


図 3.75 デジタルカラー複写機のプロセス概念図

- ⑧ 除電。感光体上の残留電荷を消去する。
- ⑨ 紙転写。転写用紙の裏面から(+)電荷を与えて(-)に帯電したトナーを用紙に転写する。
- ⑩ 中間転写クリーニング。中間転写体上に残ったトナーを除去する。
- ⑪ 分離。用紙に誘起された(-)電荷を除電針に

より除電し、中間転写体と用紙の吸着力をなくして分離する。

1) 表面電位センサ 感光体の静電容量は、約 $100 \sim 200 \text{ PF/cm}^2$ と非常に小さいため表面電位の測定は非接触で行う必要がある。一般に耐環境性やコスト面から圧電セラミック素子を用いた振動容量型電位計が用いられる。構造的には、被測定面とセンサ電極間の距離を周期的に変化させる方式と、被測定面とセンサ電極間を遮へい板(チョッパ)により周期的に遮へいする方式とがある。

図 3.76 はチョッパ型振動容量電位計の原理図と等価回路を示す。被測定面(感光体表面)とセンサ電極間に存在する音叉型チョッパが圧電素子で駆動され振動することにより、被測定面と電極間の電気力線の数が増減し、静電容量が変化する。

静止時の静電容量を C_0 、静電容量の変動振幅を ΔC 、振動周波数を f_0 とすると、振動する静電容量 C_v は、

$$C_v = \frac{C_0}{(1 + K \sin \omega t)} ; \omega = 2\pi f_0, K = \frac{\Delta C}{C_0 + \Delta C} \quad (3.14)$$

R_i, C_i による合成インピーダンスが非常に高く、振動容量 C_v に蓄積される電荷 Q が変動しないとすると、

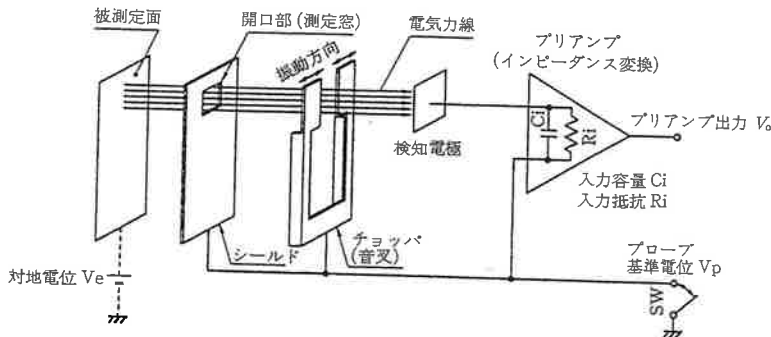
$$e_v = \frac{Q}{C_v} = \frac{Q(1 + K \sin \omega t)}{C_0} \quad (3.15)$$

となり、これにより入力電荷量に比例した交流信号が得られる。

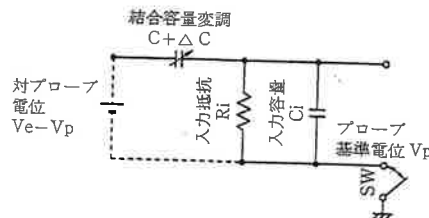
しかしながら、被測定面とセンサ電極間の静電容量は、電極間距離に依存する。一般に複写機の感光体(ドラム)は、数 $10 \mu\text{m}$ 以上の偏心有り、高出力を得るために測定ギャップを小さくすることおよび測定ギャップの変動を回避することは困難である。距離補償型電位計は、図 3.77 に示すような構成であり、プローブの筐体やプリアンプの基準電位は電位的にフローティングとし、測定開始時は外部の接地電極の電位に等しいが、同期検波の出力電位が積分回路で蓄積され出力に比例した高圧電位を高圧増幅器で発生する。これをフローティング電位にフィードバックすることにより、フローティング電位は被測定面電位と等しくなり、電極間電位はゼロとなる。このときの発生高電圧を分圧して測定電位とする。これにより距離依存性のない表面電位測定が可能となる。

2) トナー濃度センサ(トナー混合比センサ)

現像プロセスは、静電潜像を可視像とする工程で、帯電させたトナーを感光体上の潜像に付着させることにより行う。現像方式には多種多様な方式が



(a) 検出部原理図



(b) 検出部等価回路

図 3.76 表面電位センサの原理図と等価回路

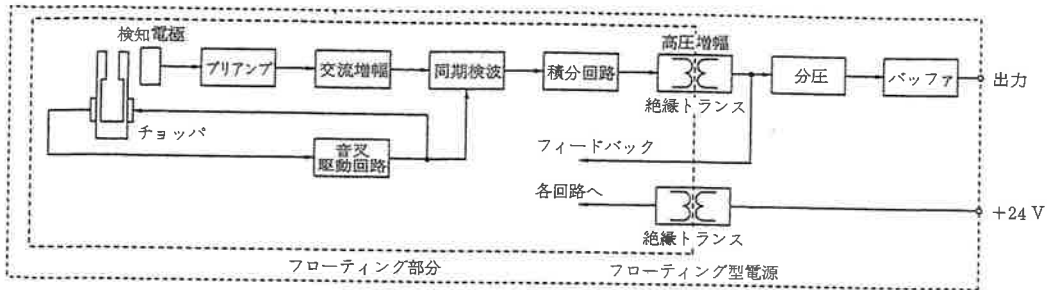


図 3.77 距離補償型電位センサの構成

あるが、デジタルカラー複写機では、線画、面画、階調画像の再現性に優れ高速現像が可能な磁性体 2 成分現像剤を用いた磁気ブラシ現像方式が主流である。磁性体 2 成分現像剤は、トナーとキャリア（磁性粒子）から構成される。キャリアは粒径 50～100 μm の鉄粉、フェライト粉が用いられ、トナーの摩擦帯電と感光体への搬送の機能をもつ。なおカラートナーの粒径は、6～10 μm である。

トナーは現像により消費されるがキャリアは消費されないで、現像剤中のトナー濃度（混合比）は変化する。2 成分現像剤中のキャリアは磁性体であり、トナーは非磁性体であるので、トナーとキャリアの混合比の変化により単位体積あたりの現像剤の見かけの透磁率が変化する。これを検出することによりトナー濃度（混合比）を計測することができる。

透磁率の検出には、インダクタンスが利用できる。インダクタンス型センサにもいくつかの種類があるが、複写機では差動トランスを利用した磁気ブリッジ型や周波数検出型がおもに用いられる。図 3.78 は差動トランスを用いたトナー濃度（混合比）センサの概念図を示す。駆動コイル L_1 を高周波で駆動すると、同心コアに重ねた基準コイル L_2 と検出コイル L_3 の差動出力 V_0 は、

$$V_0 = V_2 - V_3 \quad (3.16)$$

となる。ここで、 V_2 は基準コイル出力、 V_3 は検出コイル出力である。検出コイル L_3 に現像剤を近づけ、現像剤が基準濃度のときの基準コイル L_2 および検出コイル L_3 の出力電圧をそれぞれ V_{2r} 、 V_{3r} とし、基準コイル L_2 をフェライトコアにより調整して、 $V_{2r} = V_{3r}$ のようにすると、現像剤の濃度低下による検出コイル L_3 の出力変化分 ΔV_3 は、

$$V_0 = V_{2r} - (V_{3r} + \Delta V_3) = -\Delta V_3 \quad (3.17)$$

となり、変化分が差動出力に現れる。しかし、 ΔV_3 を直接測定すると出力電圧が微小であるため検出精度が下がる。そこで、現像剤の基準濃度における基

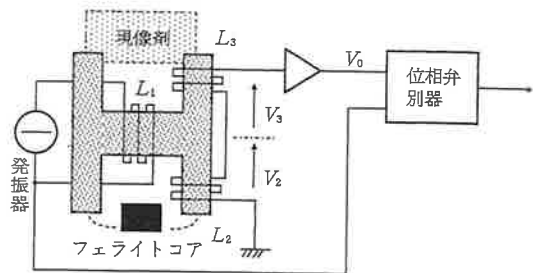


図 3.78 トナー濃度（混合比）センサの構成図

準コイル L_2 と検出コイル L_3 の出力電圧 V_{2r} 、 V_{3r} を、出力変化分 ΔV_3 に対して、

$$\left. \begin{aligned} V_{2r} > V_{3r} &: \text{現像剤基準濃度のとき} \\ V_{2r} < V_{3r} + \Delta V_3 &: \text{現像剤濃度低下のとき} \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

となるように設定すれば、差動出力 V_0 は、基準濃度では $V_0 > 0$ 、濃度低下時には $V_0 < 0$ となって位相が逆転し、これを位相弁別器で検出することにより、大きな出力電圧を得ることができる。

周波数型のインダクタンス型センサは、検出コイルの自己インダクタンス L が現像剤濃度低下により、透磁率 μ が低下し、発振周波数

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.19)$$

が大きくなる。この周波数変化分 Δf を周波数-電圧変換により検出する。

トナー濃度センサは、いずれの方式においても粉体である現像剤の流動性や外部電磁界の影響を受ける。現像剤をなめらかに流す機構的な工夫や電磁界からのシールドなどの設置方法の最適化が SN 比を向上させ検出精度を上げる。

3) 現像画像濃度センサ（現像トナー量センサ）

現像画像濃度の測定は、感光体、中間転写体、転写紙上の現像濃度を光学センサで検知する。図 3.79 は現像画像濃度センサの考え方を示す。光学的に感光体上の現像濃度を測定するには、発光素子から発

射され感光体表面および付着したトナーで反射して受光素子に入射する反射光量を検出することにより行う。実際の利用では、感光体上に基準濃度を与える小領域(パッチ)の静電潜像を作成し、現像後に濃度を測定することにより、当該プロセス条件下での現像トナー量を推定する。

デジタルカラー複写機においては、この方式は以下のような問題がある。

(1) 通常用いられる発光素子は、発光波長 900 ~ 950 nm の LED であるが、黒トナーはこの波長の光を吸収しトナー付着量の広い範囲で良好な特性が得られるのに対し、カラートナーは拡散反射光が支配的となり感度が低く単調な特性にならない。

(2) レーザ露光を用いるため、感光体の感光層前後と下地層との2つの界面でレーザのコヒーレンシーによる干渉縞を生ずる。これを抑制するため、下地層表面を荒らして光を拡散するようにしており、アナログ露光用感光体に比べて正反射率が1桁小さい。

図 3.80 に 950 nm の赤外光による、黒トナーとカラートナーのセンサ出力の様子を示す。カラートナーは、黒トナーに比較して感度が低く、ある濃度以上ではすべてトナーによる拡散反射光のみとなり、出力が逆転する現象が見られる。上記の対策として、拡散反射光を抑圧するように絞りを小さくす

る(f 値を 11 以上)ことによりカラートナーの感度特性を改善できるが十分な SN 比を得るためには検出回路などに工夫が必要である。また、カラートナーからの拡散反射光を検出する方式もある。この場合、感光体表面を基準反射面とするとダイナミックレンジの問題が生ずるので、別に基準反射面を設けるか最も現像濃度の高いパッチを作成して基準反射面とするなどの方法がとられる。

4) ファジィ制御 電子写真プロセスは、本質的に不安定な制御系であり、また環境変動や経時変化といった動的な挙動を示す非線形システムであるといえる。このような厳密な制御モデルの記述が困難な系の制御には、ファジィ制御などの非線形制御理論が有効に作用する場合がある。ここでは、現像系のトナー補給量制御にファジィ制御を応用した例を示す。

デジタルカラー複写機では、磁性体2成分現像方式がおもに用いられる。この方式は現像によりトナーのみが消費されて、トナー濃度(混合比)が低下し画像濃度が低下する一方、トナーが過剰な混合比では地肌汚れが発生する。この混合比を一定にするのがトナー補給量制御の目的である。トナー補給に対して現像器内のトナー濃度(混合比)の応答には遅延が生じ、また攪拌による摩擦帯電などでトナーと現像剤を混合する必要があるため温湿度環境により応答特性は変わる。

この制御系のモデル化はむずかしいが、たとえば現像画像濃度センサ出力やレーザ露光による書込み画素数データを入力とし、トナー補給量を出力としたときに定性的なファジィルールとメンバシップ関数が記述できれば、ファジィ制御が適用できる。まず、現像画像濃度値とその変化分を入力とし、トナー補給量の比例係数 g を出力とするファジィ推

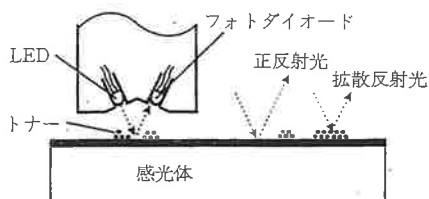


図 3.79 現像画像濃度センサの説明図

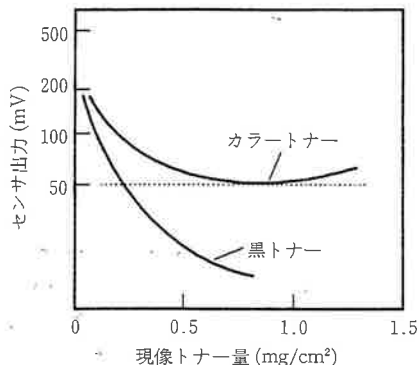


図 3.80 黒トナーとカラートナーのセンサ感度特性

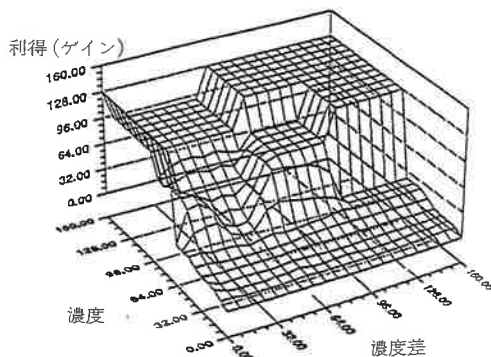


図 3.81 ファジィ制御によるゲイン関数¹⁴⁾

論の入出力関数を求める。ファジィ推論方式として max-min 合成を用い、非ファジィ化方式には重心法を用いて記述すると、結果の入出力関数は、図 3.81 のようになる。

最終的なトナー補給量は次式により求める。

$$T_s = gnT_d \quad (3.20)$$

ここで、 T_s はトナー補給量、 n は画素数データ、 T_d は 1 画素あたりのトナー補給量である。このとき、 $g=1.0$ では補給量=消費量、 $g>1.0$ は補給不足、 $g<1.0$ は補給過剰を意味する。図 3.82 に、従来のしきい値による ON/OFF 制御方式と、ファジィ制御方式における連続コピー時の濃度変動の様子を示す。

c. 画像読取り系とセンサ

ここでは、デジタルカラー複写機における撮像センサと制御、画像処理機能、および原稿サイズを計測する機構について述べる。

1) 撮像センサと読取り制御 撮像素子としては、おもに CCD (charge couple device) ラインセンサが用いられる。ラインセンサは光電変換素子が 1 次元に配列されており、原稿の 1 ライン (主走査方向) 分の光学像をセンサ上に結像し、これを主走査の垂直方向 (副走査方向) に機械的に走査しながらラインセンサからの信号出力を読み取る。ディジ

タルカラー複写機では、解像度は 400 DPI (dot per inch) が主流であるが、高画質化傾向に伴い 600 DPI に移行しつつある。したがってラインセンサの画素数は、A3 サイズの原稿を 400 DPI で読み取る場合、約 5000 画素を必要とする。

(a) 光学系： 光学像をラインセンサ上に結像する光学系の方式としては、縮小型光学系と等倍 (密着) 型光学系とがある (図 3.83)。縮小型は、レンズを用いて約 1/5 に縮小し、1 チップのラインセンサで原稿の光学像 1 ライン分を結像できるのに対し、等倍型は原稿の主走査幅に等しい長さのラインセンサが必要で、通常複数個のラインセンサチップをつなげて構成する。このためチップ間の特性のばらつきや変動を吸収する工夫が必要であるが、しかし受光光量に関しては、受光面積の大きい等倍型のほうが大きくとれる。縮小型では縮小率 m とレンズの F 値に従って受光量が減少し感度は下がる。また縮小型は光学系の光路長が数十 cm 程度必要とするのに対し、等倍型は数 cm でよく小型化がはかれる。しかし焦点深度に関しては、等倍型より縮小型のほうが広くとれ、原稿浮きに対しては縮小型が有利である。

(b) カラーセンサ： カラーセンサは、ラインセンサ上に加法混色系 3 原色である R (赤)、G

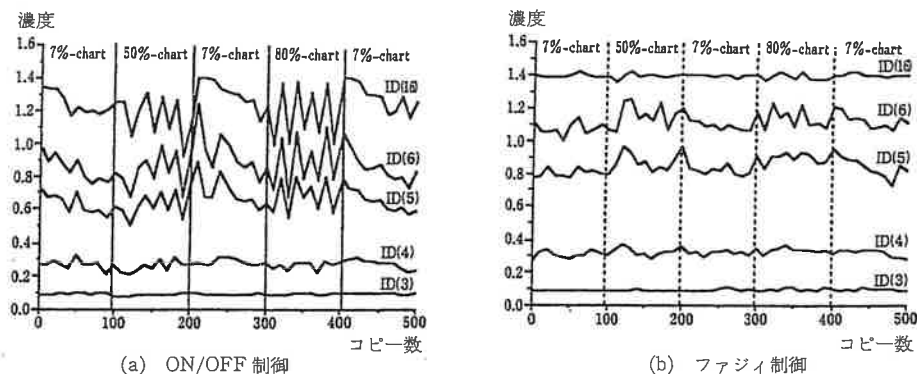


図 3.82 トナー補給量の制御特性¹²⁾

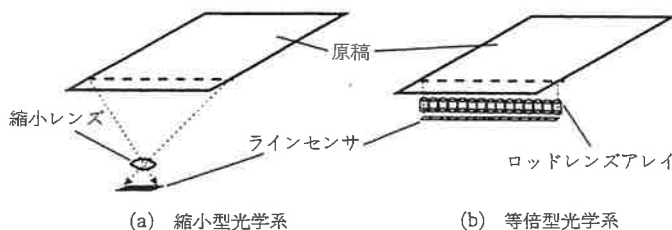


図 3.83 縮小型光学系と密着型光学系

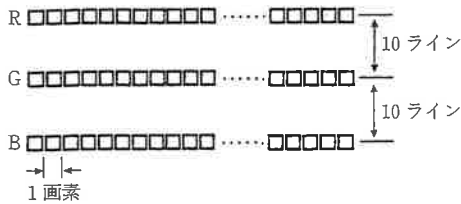


図 3.84 3ラインセンサの構成

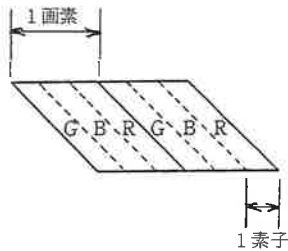


図 3.85 等倍型カラーセンサのフィルタ構成

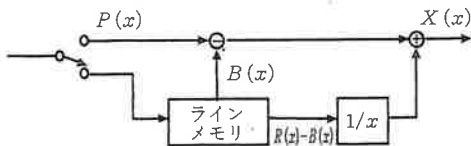


図 3.86 シェーディング補正処理の構成

(緑)、B(青)のフィルタをオンチップで配置し、色分解と光電変換を同時に行う。撮像素子としては、一般に CCD が用いられる。縮小型光学系を用いる場合は、図 3.84 のように R、G、B 用の 3 本のラインセンサを 10 ライン程度の間隔で並べる 3 ラインセンサ方式が主流である。副走査方向に色ごとに遅延が生ずるため、後段で遅延メモリにより補正する。また光源は 3 本のセンサを等しく照射できるよう広い分布特性とする必要がある。等倍型光学系の場合は、図 3.85 のように読取り解像度が 3 倍の密度を有するセンサ素子に 3 色のフィルタを順に配列する。画素の構成をモザイク状とすることにより、等価的に主走査方向の開口率を上げている。

(c) シェーディング補正：光源や光学系の特性は、原稿 1 ライン間である分布特性をもつ。また光源自体の経時変化や環境変動、さらにはラインセンサの各画素間の感度特性の不均一性などの要因で、同一の原稿に対してもラインセンサの出力信号は等しくはならない。シェーディング補正は、画像読取り系全体に対する感度特性の安定化技術である。図 3.86 にシェーディング補正のブロック図を示す。原稿面をはずれた読取り領域に、基準白色板

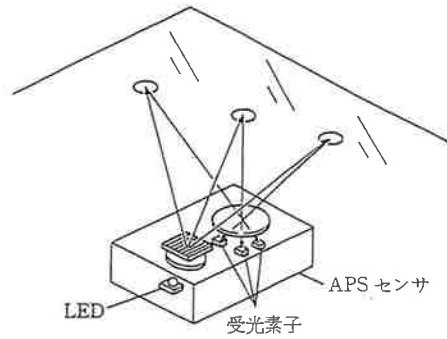


図 3.87 3ビーム原稿サイズセンサ

を設置し、この部分の読取り信号出力を基準としてラインセンサの出力信号を補正する。

主走査方向の画素座標を x 、基準白色板の読取り信号出力を $R(x)$ 、原稿の読取り信号出力を $P(x)$ とすると、

$$\left. \begin{aligned} R(x) &= WA(x) + B(x) \\ P(x) &= X(x)A(x) + B(x) \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

である。ここで、 $X(x)$ は原稿濃度、 W は基準白色板の濃度を表し、 $A(x)$ は光源や光学系の分布特性、およびセンサの各画素の感度特性を含む系全体の利得である。 $B(x)$ はおもにセンサの各画素のオフセット値で、光源を OFF し露光しないときのセンサ出力である。上式から補正した原稿濃度 $X(x)$ は、

$$X(x) = W \frac{P(x) - B(x)}{R(x) - B(x)} \quad (3.22)$$

のように求めることができる。 W は定数であるので実際には基準白色板の読取り信号出力 $R(x)$ とオフセット値 $B(x)$ をラインメモリに記憶しておき、これを用いて原稿読取り信号出力 $P(x)$ を補正する。なお $R(x)$ 、 $B(x)$ にノイズが混入するのを避けるため、基準信号は複数回読み取って加算平均を補正に用い安定化を図っている。

上記の補正式において、基準白色板の均一性を保てないと W が定数ではなくなる。またランダム雑音のような加算性のノイズや原稿読取り中の動的な光量変動は補正できない。なお、補正値が大きくなると実効的な量子化ノイズが増えて擬似輪郭などの影響が出る。

2) 原稿サイズセンサ (automatic paper selection sensor: APS センサ) 原稿台にセットされた原稿を光センサで読み取り、原稿サイズに対応した複写用紙サイズを選択するために使われるセンサでありコピー操作の簡易化に寄与する。図 3.87 は 1 つ

のセンサで原稿上の3か所の検出を行うものである。光源は1つのLEDを用い、これを回折格子を通して0次光、 ± 1 次光による3ビームを発生させ原稿の3点を照明する。センサ内には3つの受光素子(フォトダイオードないしフォトトランジスタ)があり3ビームで照射された原稿からの反射光を個別に検出する。図3.88に示すように原稿台下の3か所に配置され、原稿上合計9点の原稿情報を検知しており、これによって11種類の原稿サイズが識別できる。

図3.89は、1個で多種類の原稿サイズ検出ができるセンサの構成図である。やはり原稿台下部に配置されて光源としてLEDを用い、原稿面を回転ミラーで走査して原稿サイズを検出する。LED出射光はビームスプリッタBSを透過し、投受光レンズを経て反射面を2面もちミニモータで駆動される回転ミラーによりコンタクトガラス上の原稿面を走査する。走査光は原稿で反射、散乱されてセンサ方向に戻り回転ミラー、投受光レンズを介してBSで反射され受光素子であるフォトダイオード(PD)で原稿面情報が集光検知される。図3.90は原稿サイズの検出法を示し、原稿台を上から見た様子である。図ではコンタクトガラス上のサイズの異なる各種原稿の大きさも示してある。センサは原稿台の下に図

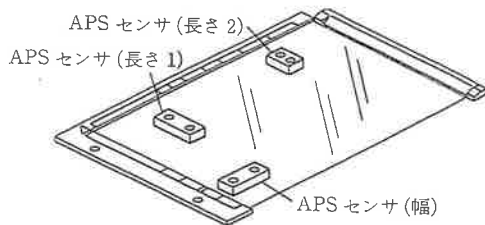


図 3.88 センサの配置

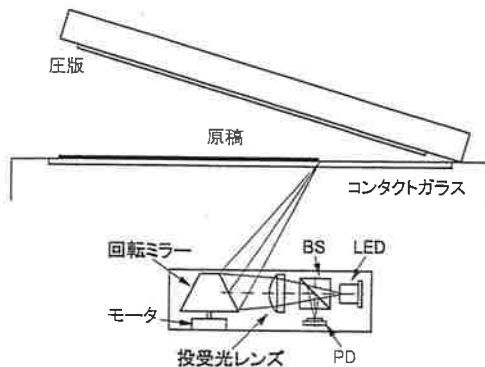


図 3.89 光走査型原稿サイズセンサ構成図

のように配置され、センサからは2本の走査線(光走査軌跡1,2)が原稿面を走査する。これはセンサ中の2面ミラーの傾角を異ならせて走査光の方向をずらせることにより2走査線を発生させる。走査の開始位置には原稿台の裏面に基準位置マークが配置され、走査線はまずこのマークを走査してから原稿を走査する。原稿サイズは走査光が基準位置から原稿端に達するまでの時間をカウントすることにより検出する。原稿サイズにより時間のカウント値が異なることを利用している。走査線が2本あるのは、縦置き/横置き of 原稿が区別できるように検出精度を上げるためである。このセンサ1台で23種類と多数の原稿サイズが検出できる。

3) 画像処理技術 デジタル複写機における画像処理機能は、原稿の忠実な再現のための画質向上機能と、原稿を加工してさまざまな画像を生成する画像編集機能とに分けられる。前者はさらにアナログ複写機では困難であった画質向上機能の実現と、デジタル化に伴う画質劣化を補償するものとに分けられる。以下では、画質向上機能について詳細に述べる。

(a) 入力補正処理・出力階調補正処理： 画像読み取り部からシェーディング補正処理を経て送られる画像信号は、通常カラーセンサが出力する反射率リニアな特性をもつR(赤), G(緑), B(青)の3原色信号である。紙などの記録媒体上にトナーなどを使用して画像を形成する場合、反射光により視覚的にリニアな特性を得るためには、濃度信号に変換する

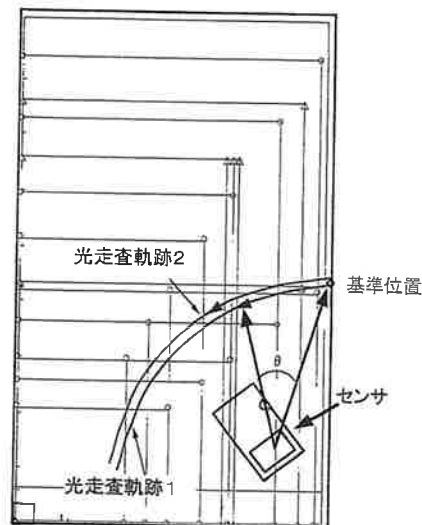


図 3.90 センサ配列と光走査軌跡

必要がある。一般に、濃度への変換は対数変換を用いて以下の式を用いる。

$$D_t = -F \log R_t \quad (3.23)$$

D_t は濃度, R_t は反射率, f は R, G, B のうちの 1 つ, F は定数である。この変換は、一般に CRT ディスプレイの表示特性と同様に γ 補正と呼ばれる。実際の装置では、色ごとに補正用のルックアップテーブルを用意して変換速度を上げている。

同様に、電子写真プロセス特有の急峻な非線形入出力特性の補正も γ 補正と呼ばれる。写真画像やカラー画像では階調飛びや色シフトなどを回避するため、なめらかな入出力特性となるような補正が必要である。カラー複写機では、一般に C, M, Y, K の各色ごとに異なる γ 補正が行われる。

(b) 空間フィルタ：光学系、カラー CCD センサのサンプリング周波数、A/D 変換特性などの要因により、画像読取り系の MTF (modulation transfer function) 特性は、低域通過型である。このため解像度低下が発生し、一般に画質改善のため補償が必要となる。一方サンプリング定理による折り返しひずみや、網点処理による干渉縞 (モアレ) の発生による画質劣化の補償も必要となる。このようなデジタル処理に伴う空間周波数特性の改善のため、デジタル複写機では空間フィルタが利用される。

空間フィルタは、処理の中心となる注目画素と周囲の $N \times N$ 画素 (N は一般に 3 以上の奇数) に対して同じサイズの係数マトリクスとの畳込み演算を行う 2 次元の非巡回型デジタルフィルタである。

図 3.91 は、入力原稿の特性に従って空間フィルタの周波数特性を変える例を示している。原稿のタイプを、写真・地図・文字の各モードに分け、この順に MTF 補正 (高域強調) の強度を高める。写真モードにおいては、階調再現処理により階調を表現する中間調画像に対し、出力階調処理との干渉が発生するのを抑制するため、一般的な網点周期の周波数成分である 5~7 lp/mm (空間周波数を表現する単位で 1 mm あたりに存在する同一線幅の白と黒の線対の数で表す。lp: line pair) 付近の利得を下げる帯域除去特性としている。一方、2~3 lp/mm 付近を高域強調することにより鮮鋭度劣化を補償している。

(c) 色補正：カラー複写機では、C (シアン), M (マゼンタ), Y (イエロー) の 3 色のトナーを重ね合わせて色再現を行う減法混色を利用する。C, M, Y のトナー色材が、図 3.92 に示すような R, G,

B の補色濃度に対して理想的な透過率特性とは異なるため、補正が必要である。これは一般にマスキング補正と呼ばれ、次のようなマトリクス演算により補正を行う。

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

比例則 (記録した色材の濃度は、記録した色材の量に比例すること)、相加則 (色材を重ね合わせたとき

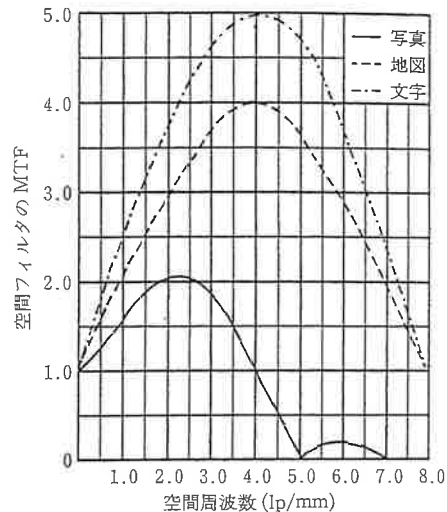
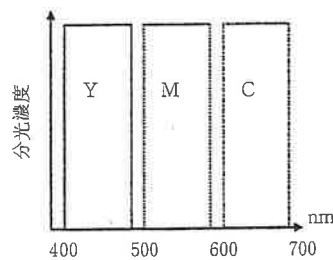
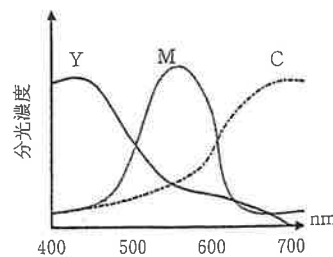


図 3.91 空間フィルタの周波数特性⁴⁾



(a) 理想特性



(b) 実際特性

図 3.92 Y, M, C トナーの分光特性の例¹⁴⁾

の濃度は、色材を個別に記録したときの濃度の和となること)が成立する場合は、 M は 1 次の係数のみからなる 3×3 係数マトリクスであり、線形マスキングと呼ばれる。また、より再現性の優れた補正方法としては、高次の係数項を含む非線形マトリクス法がある。さらに、 R, G, B の各色を要求される精度にあわせて等間隔に分割した組合せに対する最適値をメモリ (3 次元ルックアップテーブル) に記憶しておき、補間演算を行って出力値を求める直接変換法 (メモリマップ法) もある。

(d) 墨生成・下地除去 (UCR)： 原理的には、 C, M, Y の 3 色のトナーを重ね合わせることで、黒を生成することができるが、トナーの分光特性により、グレイの再現が完全とはならない場合がある。このため色補正後の C, M, Y 濃度を用いて、墨 (黒) 信号 K を生成し、黒の再現性を向上させる。またこれにより消費トナー量を減らす効果もある。 K は以下のように求める。

$$K = f_K \min(C, M, Y) \quad (3.25)$$

また、 C, M, Y から K 分を除去する処理を、UCR (under color removal) という。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} C' &= C - K \\ M' &= M - K \\ Y' &= Y - K \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

なお、 f_K は UCR 率と呼ばれ、原稿画像により墨版の除去率を変えることでなめらかな再現性を得ることができる。

(e) 色識別・領域分離： 色識別は、原稿がカラーであるかモノクロであるかを判定する機能である。カラープロセスは、 C, M, Y, K の 4 回の現象が必要であるが、モノクロ画像のみであれば 1 回の現象でコピープロセスが完了する。判定の方法は、色補正後の R, G, B 各濃度の差の最小値を用いる。すなわち、

$$\min(|R - G|, |G - B|, |B - R|) \quad (3.27)$$

となる。

領域分離は、基本的には文字と写真が同一原稿中に混在する場合、まったく異なる画像処理特性が要求されるために必要な技術である。分離方式として理論的に確立された方法はなく、色の判定 (有彩色、無彩色)、濃度レベル分布・エッジ量・エッジ分布などの属性判定を組み合わせている。属性判別には、局所的判別方式と大局的判別方式とがある。

ここでは、隣接画素の濃度差を利用する局所的な判別方法の 1 例を説明する。判別の対象画素を p

としその濃度を D_p 、隣接画素を $q_1, q_2, \dots, q_8$ 、その濃度を $D_{q_1}, D_{q_2}, \dots, D_{q_8}$ とする。

$$D = \max_i |D_p - D_{q_i}| \quad (3.28)$$

$$A_j = A_{j-1} R_f + D, \quad \text{ただし } A_0 = 0 \quad (3.29)$$

として、 A_j を再帰的に求めていき、

$$\left. \begin{aligned} A_j &> T_h; p \text{ は文字画素} \\ A_j &\leq T_h; p \text{ は写真画素} \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

と判定する。 R_f は隣接画素からの減衰係数、 T_h は判定しきい値である。

(f) 階調再現処理： 本来的に階調表現能力の低い出力装置で擬似的に濃度を表現する方法を階調再現処理という。以下では、代表的な階調再現処理方式について説明する。

(1) 組織的ディザ法。 $N \times M$ 画素 (N, M は自然数) サイズの入力画像データに対して、同じサイズのしきい値マトリクスを用意し、対応する画素としきい値を比較して出力画素値を決定する方法である。しきい値マトリクスに規則性をもたせたものを組織的ディザ法といい、しきい値を順次増加させる配置法により、ドット集中型 (図 3.90 (a)) とドット分散型 (Bayer 型) (図 3.93 (b)) がある。解像度と階調再現性はトレードオフの関係であり、解像度重視の場合はドット分散型、階調再現性重視の場合はドット集中型がよいとされる。2 値ディザ法の場合は、しきい値により出力の値が 0 ないし 1 に決定されるが、多値ディザ法では N 個のしきい値マトリクスを用意し、画素ごとに比較することにより $N+1$ 階調の出力画像データを得ることができ、低い解像度の出力装置でも良好な階調性を得ることができる。

(2) 誤差拡散法。入力信号 I_{ij} に対して、出力信号 O_{ij} との誤差 $E_{ij} = I_{ij} - O_{ij}$ を誤差拡散マトリクス $[a_{rj}]$ に従って 2 次元方向に拡散する。このとき、拡散される誤差 e_{ij} は次のようになる。

$$e_{ij} = \frac{1}{\sum a_{rj}} a_{rj} E_{i+r, j+j'} \quad (3.31)$$

誤差拡散マトリクスの例としては、以下のようなもの

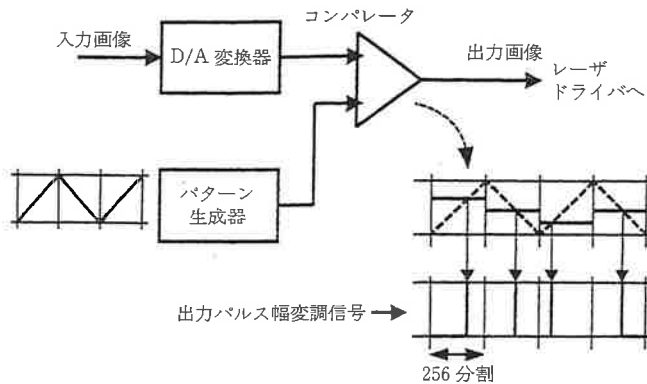
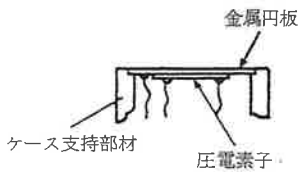
14	10	6	15
5	1	2	11
9	4	3	7
13	8	12	16

(a) ドット集中型

1	9	3	11
13	5	15	7
4	12	2	10
16	8	14	6

(b) ドット分散型

図 3.93 組織的ディザ法のパターン¹⁴⁾

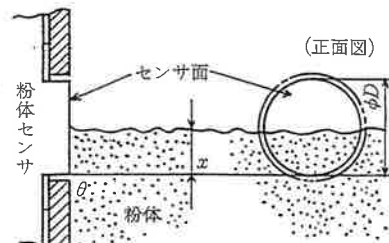
図 3.94 アナログスクリーンの構成¹⁴⁾図 3.95 圧電粉体センサの構造²⁰⁾

のが代表的である。ただし、*は注目画素を示す。

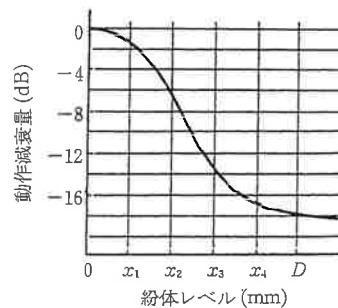
$$a_{ry} = \begin{bmatrix} & * & 7 & 5 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 7 \\ 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}; \sum a_{ry} = 52 \quad (3.32)$$

組織的ディザ法と同様に、誤差拡散マトリクスのサイズを大きくすると階調性は増すが解像度は低下する。低解像度の出力装置の場合に、特有のパターンが発生し視覚的に妨害となるが、高解像度では優れた階調表現性を示す。

(3) アナログスクリーン法。感光体のレーザ露光の際に、レーザ出力をパルス幅変調して主走査方向のドット径を変えて階調表現能力を高める方式がある。デジタル処理で多階調のパルス幅変調を正確に再現性よく行うには、GHz オーダのクロック発生など高精度のレーザ出力制御が必要となり現実でない。これに対して、本方式は入力画像信号をいったん D/A 変換してアナログ信号を生成し、解像度の2倍の周期の三角波と比較することにより、画素ごとに入力画像データの階調数に対応したアナログパルス幅変調信号を得る。この信号でレーザ露光出力を制御する。図 3.94 にアナログスクリーン方式の概念図を示す。記録ドット形状は、パターン生成器の発生する参照信号波形で決まるが、通常は万線スクリーン(縦筋状の網点パターン形成法)となる。



(a) 状態図 (x: 粉体レベル)



(b) 粉体レベルに対する動作減衰量

図 3.96 粉体レベル測定状態図と動作減衰特性²⁰⁾

d. その他の制御とセンサ

1) トナーレベルセンサ カラー複写機で使用するトナーは、ポリエステルなどのバインディング樹脂に色材や帯電制御剤などを混入し、6~10 μm 程度の微粒子に粉碎したものであり、見かけの比重が 0.3~0.35 程度で常に攪拌され浮薄なクラウド (cloud) 状態にある。トナーボトル内の残量や転写後の排トナー回収ボトルの満杯検出を行う粉体センサとしては、マイクロスイッチやフォトセンサでは対環境性などの問題がある。圧電素子を利用した粉体センサは、センサ面が常に振動しており粉塵環境下でも安定した高精度の検知が可能である。

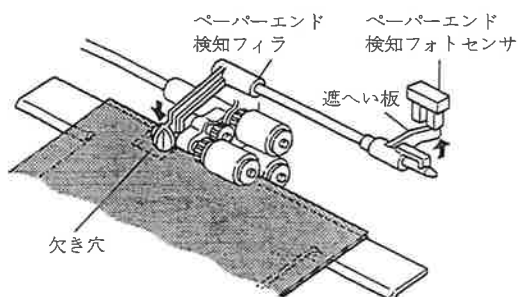


図 3.97 紙なし検知機構の例

図 3.95 に圧電型粉体センサの構造を示す。センサ部は、金属円板と圧セラミック板を接合した振動子であり、主電極と帰還電極をもつ 3 端子構造として自励発振駆動が可能としている。図 3.96 (a) は、センサと粉体レベル測定概念図を示す。センサ面が粉体に接触すると、振動子の発振振幅が減衰する。センサは周辺支持構造としており、図 3.96 (b) のようにセンサ面の中心付近での減衰量が最大である。

2) 紙搬送系制御とセンサ 複写機は、一般に定形サイズまたは任意の矩形にカットした紙ないしフィルムを転写媒体として用いる。利用される紙やフィルムは、厚さや剛性などが多種多様な品種が用いられるが、これらいずれの媒体でも円滑に搬送され、精密な位置決めと転写が行われるよう、また複写機において致命的な故障モードである紙詰まりを回避するための制御が必要である。センサは、ほとんどが赤外 LED とフォトダイオードまたはフォトトランジスタを組み合わせて透過光ないし反射光を検出する単純なフォトセンサが用いられる。ただし、通常は紙の有無などをフィラと呼ばれるアクチュエータで機械的に検知し、これをフォトセンサに中継して検出するような構造で信頼性を上げている。図 3.97 に紙なし検知機構の例を示す。

[石川安則・船戸広義]

文 献

- 1) 電子写真学会編：統電子写真技術の基礎と応用，pp. 66-84, 128-169, コロナ社 (1996)。
- 2) R. M. Schaffert: Electrophotography, pp. 23-24, Focal Press (1965)。
- 3) 電気学会編：最近のセンサ，p. 232, 電気学会 (1988)。
- 4) Acolor 開発プロジェクト: Fuji Xerox Tech. Rep., 7, 22-85 (1992)。
- 5) 服部好弘：電子写真誌，36-4, 324-335 (1997)。

- 6) 静電気学会編：静電気ハンドブック，pp. 374-375, オーム社 (1981)。
- 7) 上原利夫：静電気学誌，13-4, 284-291 (1989)。
- 8) 粉体工学会編：粉体工学便覧，pp. 760-766, 日刊工業新聞社 (1986)。
- 9) 今井健裕：'98 電子写真ハンドブック，pp. 208-213, データサプライ (1998)。
- 10) 沢山 昇他：Japan Hardcopy '91, A-24, pp. 89-92 (1991)。
- 11) 森田哲也：電子写真誌，33-2, 191-196 (1994)。
- 12) T. Morita et al.: Proc. 2nd IIZUKA '92, Vol. 2, p. 885 (1992)。
- 13) 山本直史：電子写真誌，32-3, 265-270 (1993)。
- 14) 鈴木 譲：電子写真誌，36, 343-352 (1997)。
- 15) 小暮雅明：Ricoh Tech. Rep., 13, 4-12 (1985)。
- 16) 伊東敬徳：電子写真誌，29-3, 299-305 (1990)。
- 17) 船戸広義：光アライアンス，pp. 51-55 (1991)。
- 18) 村山 登他：画像電子誌，15-4, 265-273 (1986)。
- 19) 織田康弘：第 41 回電子写真学会技術講習会テキスト，pp. 77-90 (1996)。
- 20) 渡辺秀夫他：エレクトロニク・セラミクス，'84 秋号，23-34 (1984)。

3.3.2 デジタルカメラ

デジタルカメラとは、半導体撮像素子で得られた光学像の電気信号を A/D 変換し、デジタル信号により映像信号処理、および、不揮発性半導体メモリへの記録をするものである。デジタルカメラの構成例を図 3.98 に示す。デジタルカメラにおいては、表 3.2 のようにセンサ機能はすべて CCD (charge coupled device) などの半導体撮像素子に集約されている。全体構成としては、レンズなどからなる光学系と被写体のデジタル画像信号を生成し記録する信号処理系およびカメラ制御系に大別できる。

b. 光学系

デジタルカメラの撮影光学系は、基本的には銀塩フィルム用撮影光学系と同様であるが、受光素子である CCD 上に像を作ることに起因するいくつかの特殊性がある。その第 1 は、CCD の画素が周期構造をもつため被写体の空間周波数との干渉によりモアレが発生することである。これに対しては CCD の前にローパスフィルタを配置することで対処している。第 2 に、CCD の受光部に有効に光を取り込むため、光学系は CCD への入射光ができるだけ CCD 面になるべく垂直となるような構成をとる必要がある。

以下に、一般にメガピクセルと呼ばれている 100 万画素以上の CCD に対応した光学系について解説する。

表 3.3 に光学系のおもな仕様を示す。

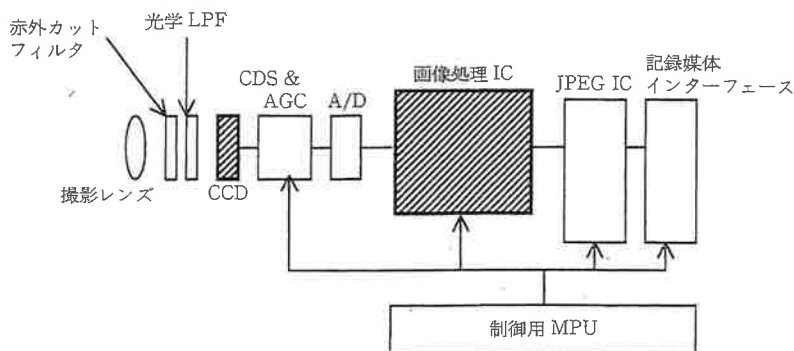


図 3.98 デジタルカメラの構成

表 3.2 デジタルカメラと銀塩カメラのセンサ比較

機 能	セ ン サ	
	デジタルカメラ	銀塩カメラ
像形成	CCD	銀塩フィルム
測距 (AF)	↑	PSD (位置検出素子), フォトダイオード
測光 (AE)	↑	フォトダイオード, CdS
白バランス (AWB)	↑	—

表 3.3 光学系の主要仕様

項 目	仕 様	備 考
焦点距離	広角端: 5.6 mm 望遠端: 16.8 mm	銀塩カメラ換算: 35 mm 105 mm
FNo	広角端: 2.8 望遠端: 4.7	
撮影距離	∞~0.3 m	
TV ディストーション	-2~-0.4%	
CCD	1/2.7 インチ, 120 万画素	画素サイズ: 4.15 μm

1) レンズ 図 3.99 に変倍比 3 のズームレンズの構成を示す。

負の焦点距離をもつ第 1 群, 正の焦点距離をもつ第 2 群, さらに正の焦点距離をもつ第 3 群の 3 つの群で構成されており, 各群は変倍に際して図中に示すような動きをする。この構成は, 第 1 群と第 2 群の群間隔を変えることで主たる変倍作用を行う形式で, 一般に銀塩 1 眼レフカメラの交換レンズで標準 (焦点距離 50 mm) をまたぐ変倍比 2 程度のズームレンズに多く用いられている。変倍比を 3 程度にまで拡大した仕様に対しては, 別の構成も考えられるが, 35 mm (銀塩カメラ換算) の広角仕様でもレンズ外径を小さくできること, CCD への入射光を CCD 面に垂直に近づけられること, 群移動メカニズムがシンプルであること, などの点で有利である。

性能面では各群内のレンズ構成を工夫することで 120 万画素に対応する性能が確保できる。特に各群に 1 枚ずつ非球面レンズを配することで, 群ごとに

広角端 ($f=5.6$ mm)

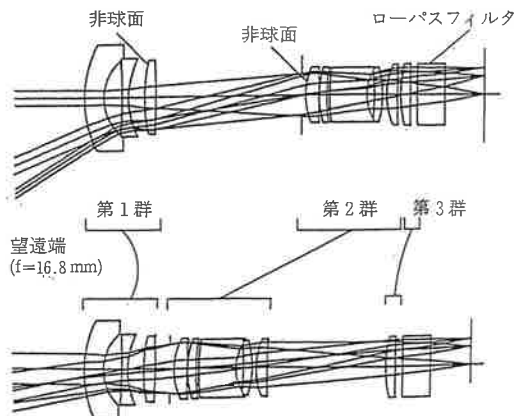


図 3.99 3 倍ズームレンズの構成

収差を補正し, 少ない枚数で必要十分な性能が得られる。第 1 群の非球面は第 3 レンズ第 1 面, 第 2 群の非球面は第 4 レンズ第 1 面に設けている。非球面

は次式で表される。

$$D = \frac{C \cdot H^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)C^2 H^2}} + \sum (A_i \cdot H^i) \quad (3.33)$$

ここで、 D は非球面頂点を通る接平面からの面深さ、 C は面の近軸曲率、 K は円錐定数、 H は光軸からの距離、 A_i は第 i 次項の係数である。

第3レンズの非球面は、周辺画角の光束に対してより大きな作用をもち、本レンズのように第1群を負の焦点距離で構成する場合に大きくなりやすい負のディストーションを補正するのに役立つ。また、第4レンズの非球面は、絞り直後にあって、軸上、周辺ともに効果があり、球面収差、コマ収差をバランスよく補正できる。

レンズのMTF(modulation transfer function)性能(ローパスフィルタ効果含まず)を、図3.100、3.101に示す。後述するようにローパスフィルタにより高周波数のMTFは落とすことになるが、ローパスフィルタ効果を含まないレンズ性能としては、ナイキスト周波数120本/mmに至るまで高い性能を有していることがわかる。

2) 光学ローパスフィルタ 光学ローパスフィルタ(LPF: low pass filter)としては、位相格子フィルタ(位相差格子による入射光の回折を利用)や水晶複屈折板を利用した水晶光学フィルタなどがあるが、以下にデジタルカメラに多く用いられている水晶光学フィルタについて述べる。

(a) 光学LPFの配置: 水晶光学フィルタの配置は光学系の収束域であればレスポンス性能は結像面との距離に関係ないので、最終レンズ面からCCDまでの任意の位置に配置することができる。すなわち、厳密な配置の位置精度が不要であるのに対して、位相格子フィルタの場合は、ある程度の位置精度が必要となる。

(b) 水晶光学フィルタ: 水晶光学フィルタは水晶の複屈折効果を利用して多重像を作ることにより、高周波成分を抑え偽信号の発生を防止する。1枚の水晶による2重像は、光学軸と直交方向に振動している常光線による像と、光学軸に対して平行に振動している異常光線による像からなる。その分離幅 d は次式で表される。

$$d = t \frac{(n_o^2 - n_e^2) \tan \theta}{n_o^2 \tan^2 \theta + n_e^2} \quad (3.34)$$

ここで、 t は水晶板の厚み、 n_o は常光線の屈折率、 n_e は異常光線の屈折率、 θ は光学軸と入射光のな

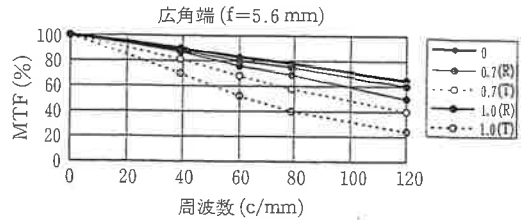


図3.100 レンズのMTF特性(広角端)

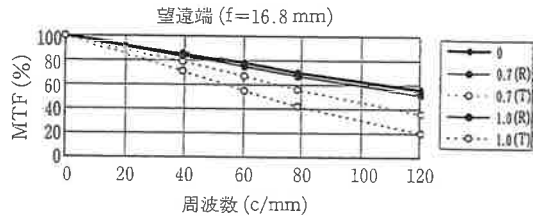


図3.101 レンズのMTF特性(望遠端)

す角度である。

また、式(3.34)で分離幅 d が最大になるのは、 $\tan \theta = n_e/n_o$ のときであり、水晶の場合、波長 λ が589 nmのときに $n_o=1.544$ 、 $n_e=1.553$ であるから $\tan \theta \approx 1$ 、 $\theta=45^\circ$ となり、一般的に次式として表される。

$$d = t \frac{n_o^2 - n_e^2}{n_o^2 + n_e^2} \quad (3.35)$$

また、水晶を通過した光は直線偏光性を有しており、多数枚の貼合せを行う場合は注意を要する。すなわち、偏光方向が次の水晶の光学軸方向に平行または垂直である場合、光線は分離しない。その両方の水晶の特性を必要とする場合は、直線偏光を円偏光にする $1/4$ 波長板を間に挿入する必要がある。

(c) メガピクセルデジタルカメラでの実使用例: 以下にメガピクセルデジタルカメラでの実使用例を示す。CCD仕様は、有効画素数120万画素、画素サイズ $4.15 \mu\text{m} \times 4.15 \mu\text{m}$ 、光学サイズ $1/2.7$ インチである。アスペクト比(縦横比)はデジタルカメラ用の正画面素であるため、水平方向、垂直方向ともに同性能なレスポンス特性を求める必要がある。具体的には水平方向、垂直方向にそれぞれナイキスト周波数 f_n をカットオフ周波数とする厚さの0度水晶複屈折板、90度水晶複屈折板を使用し、その間に $2f_n$ をカットオフ周波数とする厚さの45度水晶複屈折板を配置することによって、水平、垂直方向ともに高周波の帯域制限を可能としている。そのレスポンス性能を図3.102に示す。また、光学系全体のMTFおよびLPF通過後の特性を、

図 3.103 に示す。

b. 信号処理系

信号処理系は、アナログ前処理部と A/D 変換器以降のデジタル処理部に分けられる。

1) アナログ処理部 アナログ前処理部は、CCD を起点とした光電変換処理が主であるが、この部分の設計が、最終画像品質のダイナミックレンジ、SN 比に大きな影響を与える。

CCD は、フォトダイオードによる光電変換部と、垂直、および 水平方向の電荷転送路からなり、

CCD 面上に結像した 2 次元の光学像を 1 次元の電気信号に変換する。なお、CCD には、垂直転送路の構成から、全画素の電荷を一度に垂直転送路へ送るプログレッシブ型と奇数ライン群、偶数ライン群の 2 回に分けて送るインタライン型に分けられる。インタライン型は、奇数、偶数ラインの 2 回の転送期間中をメカニカルシャッタで遮光する必要があるが、プログレッシブ型ほど製造過程における微細加工技術は要求されず、高画素化に有利である。

表 3.4 にデジタルカメラに使用される CCD の仕様を示す。

CCD に結像された像は、画素ごとのカラーフィルタにより、モザイク状の色情報にサンプリングされ出力される。カラーフィルタには、原色系と補色系があり、原色系は R (赤), G (緑), B (青), 補色系は Mg (マゼンタ), Ye (イエロー), Cy (シアン), G (緑) のフィルタからなる。この CCD 出力に含まれる低周波ノイズ (リセットノイズ, $1/f$ ノイズ) は、CDS (correlated double sampling) で除去され、映像信号成分のみ AGC (auto gain control) により規定レベルにまで増幅される。

AGC 出力は、A/D 変換器でデジタル信号に変換され、これ以降は、デジタル処理となる。現在市販されているデジタルカメラでは、A/D 変換器には、最低 10 ビット精度以上のものが使用されている。

2) デジタル処理部 デジタル処理部の役割は、A/D 変換された画像データを輝度信号 Y と 2 つの色差信号 Cb, Cr に変換し、さらにそれを画像圧縮し、記録媒体に書き込む。

(a) 補間処理: デジタルカメラの CCD はコスト面から単板式が用いられることが多い。R, G, B 各色ごとの CCD をもつ 3 板式に対して、単板式 CCD では、ある特定の結像位置からはその位置に

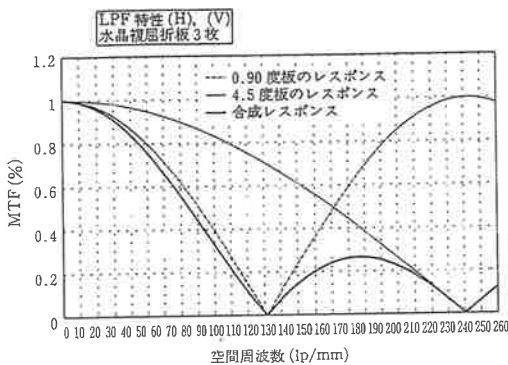


図 3.102 ローパスフィルタ特性

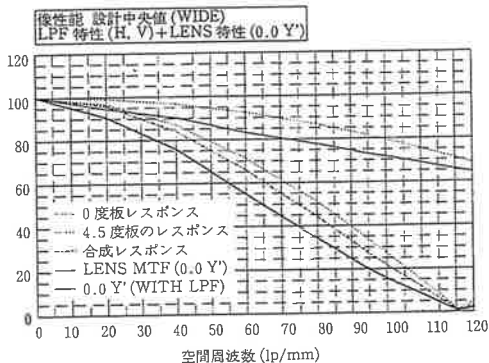


図 3.103 光学系とローパスフィルタの総合特性

表 3.4 デジタルカメラに使用される CCD の仕様

項 目	規 格
CCD タイプ	インタラインタイプ R, G, B ベイア配列オンチップフィルタ
光学サイズ	6.64 mm (1/2.7 インチ)
総画素数	1343(H) × 972(V) 約 131 万画素
有効画素数	1290(H) × 966(V) 約 125 万画素
ユニットセルサイズ	4.15 μm × 4.15 μm
感度	260 mV (F5.6, 706 cd/m ²)
飽和信号	500 mV

このほか、映像特性として、スミア、シェーディング、暗信号特性などの規格がある。

配列されているフィルタの単色情報しか取り出せない。図 3.104 に代表的な原色ベイア配列のフィルタ配列を示す。

欠落している他の色情報は、隣接している画素から計算で求める必要があり、これを補間処理と呼ぶ。簡単に隣接の同じ色フィルタ画素のデータを平均して求める方法もあるが、画像エッジ部などの画素間でデータが急峻に変化する箇所では、偽色の原因となるおそれがある。この部分を適応的に処理する工夫が必要である。

補間により求められた、ある画素の各色フィルタ情報を、 R', G', G_2', B' とした場合の RGB マトリクス例を式 (3.36) に示す。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & g_1 & g_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ G_2' \\ B' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SU_r \\ SU_g \\ SU_b \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

一般的には、 $r : g_1 : g_2 : b = 1 : 0.5 : 0.5 : 1$ である。

$SU_r \sim SU_b$ 係数は、A/D 変換器におけるセットアップ分をマイナスするものである。

(b) 輪郭強調： デジタルカメラでは、下記の要因で、処理過程に高域の周波成分が失われていく。

- ① 撮影レンズの MTF 特性
- ② モアレ、偽色防止の光学 LPF
- ③ CCD による有限開口でのサンプリング
- ④ 補間などのデジタル LPF 処理

輪郭強調は、空間フィルタ処理を利用する。

図 3.105 は、2次元の補正信号検出用オペレータであり、HPF (high pass filter) 特性のオペレータに、輪郭強調度合を調整するゲイン α を乗算してある。輪郭強調用補正信号は、補間処理された信号から、直接 Y 信号を作成し利用したり、また、輝度成分の寄与の高い G 信号を利用したりして作成される。

(c) γ (ガンマ) 処理： テレビの CRT ディスプレイの入力信号に対する管面上の階調特性は線形で

R	G	R	G
G	B	G	B
R	G	R	G
G	B	G	B

図 3.104 CCD のカラーフィルタ配列

はなく、これを一般に γ 特性とっている。カメラ側において、CRT ディスプレイの γ 特性と逆の特性を撮影画像に施し、線形な階調特性を確保している。これを γ 処理という。CRT ディスプレイの特性は一般に $\gamma=2.2$ であり、その逆特性 $\gamma=0.45$ をカメラ側にもたせるのが一般的である。

入力 V_{in} に対して処理後の出力 V_{out} は、式 (3.37) となる。

$$V_{out} = K \times V_{in}^\gamma \quad (3.37)$$

また、高輝度側の再現性を高める手段として、高輝度側にニー特性を設けたりしている。式 (3.38) は、その特性であり、 V_{in} が所定値より大きな場合に適用される。

$$V_{out} = K_{nee} \times V_{in} + \text{kneoffset} \quad (3.38)$$

(d) 輝度・色差信号の生成： 色情報 R, G, B から輝度 Y と 2 つの色差信号 C_r, C_b 信号は一般に式 (3.39) の関係にある。

$$\left. \begin{aligned} Y &= K_y (Y_r R + Y_g G + Y_b B) \\ C_r &= K_{ry} (V_r R + V_g G + V_b B) \\ C_b &= K_{by} (U_r R + U_g G + U_b B) \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

式 (3.39) の係数の例として、下記数値をあげる。

$$\begin{aligned} Y_r &= 0.30, & Y_g &= 0.59, & Y_b &= 0.11 \\ V_r &= 0.70, & V_g &= -0.59, & V_b &= -0.11 \\ U_r &= -0.30, & U_g &= -0.59, & U_b &= 0.89 \end{aligned}$$

色差の V, U の 6 係数を変更することにより、彩度、色相を調整可能である。なお、 K_y, K_{ry}, K_{by} は定数である。

(e) 画像圧縮処理： デジタルカメラの静止画圧縮方式には、JPEG (joint photographic coding expert group) 方式が一般的に採用されている。JPEG 方式は、2次元平面の画像データを DCT (discrete cosine transform) 演算で、2次元周波数平面に変換し、周波数軸上で高周波数成分を粗く量子化することでデータ圧縮するものである。DCT 演算は式 (3.4) に示す。

2次元平面 8 画素 $\times$ 8 画素の 64 データの $f(x, y)$ を、水平、垂直周波数 64 個の基底成分 $F(u, v)$ に変換するものである。

$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{4} & 0 \\ -\frac{1}{4} & 1 & -\frac{1}{4} \\ 0 & -\frac{1}{4} & 0 \end{bmatrix} \times \alpha$$

図 3.105 HPF 特性

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \\ \times \cos\left\{\frac{\pi u(2x+1)}{16}\right\} \cos\left\{\frac{\pi v(2y+1)}{16}\right\} \quad (3.40)$$

ここに、 x, y は 2 次元平面座標、 u, v は 2 次元周波数座標である。

$$C(u), C(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & (u, v = 0) \\ 1 & (u, v \neq 0) \end{cases}$$

c. カメラ制御系

デジタルカメラの AE (auto exposure), AF (auto focus), AWB (auto white balance) の各方式について説明する。

1) AE デジタルカメラの AE 方式としては、ビデオカメラ、銀塩 1 眼レフカメラでも一般的である TTL (through the lens) 方式が広く採用されている。TTL 方式は、内部測光方式ともいわれ露出計受光部がカメラの撮影レンズ通過光で照射される位置に置かれた方式であり、銀塩コンパクトカメラで一般的に採用されている外部測光式に比較して測光精度に優れる。また、デジタルカメラ、ビデオカメラにおいては、CCD を露出計受光部として兼用できる。一方、1 回で測定可能な測光範囲が狭く、AE 速度が遅くなる傾向がある。

まず、露出について述べ、その後にデジタルカメラの AE システムについて述べる。

(a) 露出値：露出制御要素の F^2 (F はレンズの F 値)、シャッタ速度 $1/T$ 、および F^2/T をそれぞれ 2 を底とする指数関数として、次の式で表したとき、指数 A_v, T_v, E_v をそれぞれ開口値 (aperture value), 時間値 (time value) および露出値 (exposure value) という。

$$F^2 = 2^{A_v} \quad (3.41)$$

$$1/T = 2^{T_v} \quad (3.42)$$

$$\frac{F^2}{T} = 2^{E_v} = 2^{A_v + T_v} \quad (3.43)$$

$$E_v = A_v + T_v \quad (3.44)$$

E_v 値は、被写体の明るさの単位ではなく、ある与えられた条件での同一の露出量を得るためのレンズの F 値とシャッタ速度との組合せを定めるものである。

(b) 光 値：露出条件すなわち適正な露出値を決める対象となる撮影的明るさを光値 (light value) といい、 L_v で表す。感度値 (speed value) を S_v で、また被写体の輝度値 (luminance value) を B_v

とすると、適正露出の条件下では以下が成立する。

$$A_v + T_v = E_v = L_v = S_v + B_v \quad (3.45)$$

E_v 値は開口値 A_v と時間値 T_v との和であるとともに、 $E_v = L_v$ であるから、感度値 S_v と輝度値 B_v の和で求められる L_v 値は、すなわち E_v 値となるので、容易に露出条件が決められ、これを適当な開口値 A_v と時間値 T_v とに容易に分割することができる。このように加減算によって露出に関する算定を行う方式を APEX (additive system of photographic exposure) 方式という。感度値は、被写体から信号出力までの各系の総合特性として決定される。感度は、ある光の量に対する信号出力の大きさのことであり、電気系の利得を大きくすると SN 比 (信号出力とノイズの比) が悪くなることや、ゲイナミックレンジ (飽和出力とノイズの比) など、画質を含めて感度を定量化化する必要がある。

(c) デジタルカメラの AE：設定したレンズの F 値を A_{v1} 、設定したシャッタ速度 (CCD の電荷蓄積時間) を T_{v1} 、としたときに、CCD 出力信号の輝度信号 X_1 を用いて、基準露出である基準輝度信号 X に対しての現在の露出差 ΔE_{v1} を算出して、露出差を打ち消すように前記 A_{v1}, T_{v1} を変更し適正露出になるように制御を行う。

$$\Delta E_{v1} = L_v - (A_{v1} + T_{v1}) = \log_2 \left(\frac{X_1}{X} \right) \quad (3.46)$$

(d) 適正露出：一般に輝度分布の少ない場合には基準露出が適正露出となるが、実際のデジタルカメラでは輝度分布が大きいときには補正がかけられる。たとえば、主要な被写体と周辺の輝度差が大きい場合には、周辺の影響で露出不足や露出過多となってしまう。これに対して、画面の適切な部分に重みづけを行って加重平均を得、これを制御入力とすることで、これらの問題を解決しようとする方法がある。これは、主要被写体は多くの場合、画面中央付近に位置すると仮定し、画面中央付近の重みを大きく設定する。

2) AF デジタルカメラの AF 方式としては、ビデオカメラでも一般的である、コントラスト方式が広く採用されている。ピントのあったときに映像のコントラストが最も高くなる性質を利用して、合焦判定する方式であり、山登り方式ともいわれている。特徴は、TTL 方式であり、測距専用の光学系やセンサを必要とせず、またバラックスがなく、特にマクロなどの近接撮影に威力を発揮する。その一方、撮影レンズを駆動しながら、各レン

ズ位置におけるコントラストを検出する必要があるため、AF 速度が遅くなる傾向がある。

デジタルカメラのAFシステム構築の各要素について述べる。

(a) 許容錯乱円径： 許容錯乱円径とは、結像面で許容できるぼけの直径をいう。35mmライカ版銀塩フィルムカメラでは、フィルム面上で33 μ m程度といわれている。デジタルカメラでは、結像の最小単位がCCD画素の大きさであり、これを基準に数画素ピッチを許容錯乱円径とするのが一般的である。

(b) 被写界深度： レンズのF値をF、焦点距離をfとし、ある距離 L_a で合焦しているとする。許容錯乱円径 σ 分ぼけが許されるので、後ろ側被写界深度は距離 L_b まで伸びる。 $L_a \gg f$ の場合、式(3.47)が成り立つ。

$$\Delta \frac{1}{L} = \frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_b} = \frac{\sigma F}{f^2} \quad (3.47)$$

式(3.47)のとおり、距離の逆数軸では、被写界深度は、距離によらず一定値となる。基本的には、 $\Delta 1/L$ ごとにレンズ制御し、各ポイントで映像コントラスト情報を得れば、そのコントラストの最も大きなところをピントのあっているところと判定できる。また、式(3.47)の逆数を過焦点距離といい、しばしばAFにおいて用いられる値である。

(c) コントラスト検出： コントラスト検出は、映像信号の輝度成分にHPF(ハイパスフィルタ)をかけることで検出する。HPF処理は、近傍の画素に適当な重みづけを行い畳込み演算するデジタルフィルタにより実現される。

いま、水平隣接3画素の輝度成分に、 $-1/2, 1,$

$-1/2$ の係数によるデジタルフィルタをかけると、その伝達関数 $h(z)$ は、Z変換により式(3.48)のように表せ、水平画素のサンプリング周波数の $1/2$ で最大となるHPFの特性となる。

$$h(z) = -\frac{1}{2}z^{-1} + 1 - \frac{1}{2}z^{+1} \quad (3.48)$$

また、HPFのカットオフ周波数 f_c とコントラストの関係について、次の特性が知られている。 f_c が低い場合は、ピントがぼけている状態からあっている状態まで、なだらかなコントラストの変化が得られる。一方、 f_c が高い場合は、ぼけた状態では、コントラストが非常に小さい反面、合焦点近傍で急峻な変化があり、合焦精度の確保に有利といえる。この特性を利用し、コントラストの大きさにより、HPFの f_c を適応的に変えたり、複数の f_c のHPFを併用したりする工夫が可能である。なお、 f_c は、デジタルフィルタのタップ数や係数によって所望の特性を得ることができる。

(d) その他： 映像の輝度成分からコントラストを得るため、逆光時のフレアやまた、被写界の照明光源のフリッカなどによる誤動作が考えられる。また、CCDの多画素・小型化に伴うCCDの感度低下が、AFの低輝度時の性能に悪影響を与える。

3) AWB AWBとは、光源色温度に合わせて色補正をして自然な色再現を自動的に行う機能である。デジタルカメラに用いられているAWB方式は、AE、AFと同様にTTL方式が主流である。

AWBのアルゴリズムとしては、

① 全画面の色成分をすべて混ぜ合わせると無彩色になることを用いた平均方式

② 画面内の無彩色成分を抽出する方式

などが用いられているが、前者は単一色被写体の場合に条件が成立しないことと高速処理の問題があり、デジタルカメラでは無彩色成分抽出方式が有利である。以下に無彩色成分抽出方式における制御例について述べる。

図3.106において、補間処理部で生成されるR、G、Bの画像データから無彩色成分抽出が行われる。無彩色成分抽出は、画面内の各画素のR、G、B値が色空間上のある設定した範囲内に含まれているかを判定し、含まれている画素のR、G、B値と輝度信号(Y)値を積算する。ここである設定した範囲とは、無彩色の被写体に自然光源が当たった場合に变化する色の範囲であり、この色温度が变化した光源に照らされた無彩色の被写体の色成分を無彩色成分と呼

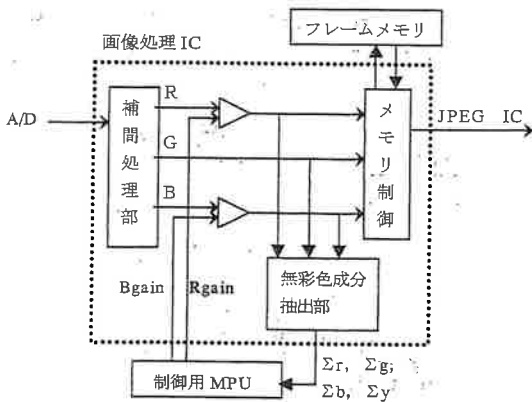


図 3.106 AWB 処理の概略図

ぶ、制御対象とする自然光源の色温度の範囲は、一般に人の目が色補正を行うことのできる色温度範囲であり 3 000~6 500 K 程度である。

R, G, B, Y の値をおおの r, g, b, y として、

$$r-g, b-g \quad (3.49)$$

が設定した範囲にある画素を無彩色成分抽出対象画素と判定する。なお、 y 値がレンジの両端付近にある画素は、ノイズの影響や受光素子の飽和状態と判断して除外する。次に無彩色成分抽出対象画素について、おおのの積算値、

$$\Sigma r, \Sigma g, \Sigma b, \Sigma y \quad (3.50)$$

を算出する。完全に無彩色の場合は、 $\Sigma r = \Sigma g = \Sigma b$ となるはずであるが、実際はそのカメラが基準としている光源色温度と被写体に照射されている光源色温度に差があるため、R, G, B のバランスがずれている。そこで R および B のゲインをそれぞれ $R_{\text{gain}}, B_{\text{gain}}$ として、

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{gain}} &= \frac{\Sigma g}{\Sigma r} \\ B_{\text{gain}} &= \frac{\Sigma g}{\Sigma b} \end{aligned} \right\} \quad (3.51)$$

を求め、この値を R および B 信号にフィードバックする。 [山口孝夫・北島達敏]

文 献

- 1) 阪口：テレビジョン学会誌，50，9 (1996)。
- 2) 大坪：テレビジョン学会誌，45，9 (1991)。
- 3) CCIR: Rec. 601-1 (1986)。
- 4) 田口他：光応用技術 光学機器 (2) カメラ，日本オプトメカトロニクス協会 (1988)。
- 5) 半間他：輪郭検出オートフォーカス方式，TV 学会技術報告 ED675 (1982)。
- 6) 石田他：NHK 技術報告，17，1 (1965)。

3.4 理化学機器

3.4.1 赤外・近赤外分光分析計

分析機器とは、物質の組成や性質などを定量的 (定性的) に測定するための器具や装置で、測定対象、測定目的により多くの種類が市販されている。分析機器を大別すると、pH、導電率、密度などの物理量を個別に測定するセンサと、クロマトグラフ、質量分析計、分光分析計に代表されるスペクトル計測型分析計に分類される。スペクトル計測型分析計は、同一のハードウェアで異なる組成や性状を同時に分析できるが、多量のデータ処理をするため

の高速ハードウェアが必要で、高価な分析計であった。しかし、エレクトロニクス技術の急速な発達で、高速 CPU や DSP が安価に使える時代となり、スペクトル計測型分析計の利用が拡大した。高感度化による環境計測への対応、フィールドやプロセス現場で使える分析計の開発、品質管理への適用が進んでいる。

a. 赤外分光分析計

測定対象に赤外線を照射すると、ある波長の光が選択的に吸収された赤外線吸収スペクトルが得られる。このスペクトルを利用した分光法が赤外分光法で、使用する波長帯域によって、近赤外分光法 (0.8~2.5 μm)、中赤外分光法 (2.5~25 μm)、遠赤外分光法 (25~1 000 μm) に分類される。赤外線吸収スペクトルは物質固有の形をもち、物質の特定や化学構造を推定する定性分析、スペクトルの吸光度の変化を利用した定量分析に利用されている。赤外分光法は、有機物質の分析を中心に、一般的に使用されている分析手法である。近年は、ATR プローブを用いた反応機構の解析、顕微鏡と組み合わせて微小部分を分析する顕微赤外分光分析¹⁾、時間分解測定による過渡解析などに使用されている。

1) 原理と構成 赤外分光光度計には、プリズムや回折格子などの分散素子を用いた分散型分光光度計と、干渉計を用いたフーリエ変換型分光光度計 (FT-IR) に分類される。FT-IR は、分散型分光光度計と比較して光の利用効率がよく、高い SN 比が実現できる、波数精度がよい、高い分解能の装置が作りやすいなどの特長がある。今後は、これらメリットにより、FT-IR の比率が伸びると考える。

マイケルソン干渉計を用いた FT-IR の光学系を図 3.107 に示す。光源から出射された赤外光は、コリメータ鏡で平行光に変換され、マイケルソン干渉計に入射する。入射光は、半透鏡 (HM) で 2 光束

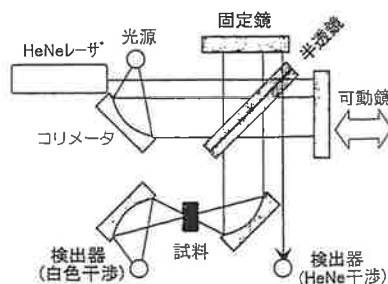


図 3.107 マイケルソン干渉計を用いたフーリエ変換型分光計の構成

計測工学 ハンドブック

〔委員長〕

山崎 弘郎

〔幹事〕

石川 正俊

〔委員〕

安藤 繁

今井 秀孝

江刺 正喜

大手 明

杉本 栄次

.....〔編集〕

朝倉書店

編集委員

●委員長

山崎弘郎

(株)横河総合研究所研究理事・東京大学名誉教授

●幹事

石川正俊

東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻教授

●委員

安藤 繁

東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻教授

今井 秀孝

独立行政法人産業技術総合研究所理事

江刺 正喜

東北大学未来科学技術共同研究センター教授

大手 明

(株)横河総合研究所主席研究理事

杉本 栄次

アソリツ(株)取締役兼常務執行役員・事業戦略室長

● 編集委員

委員長 山崎弘郎 (株)横河総合研究所
幹事 石川正俊 東京大学
委員 安藤繁 東京大学
(五十音順) 今井秀孝 産業技術総合研究所
江刺正喜 東北大学

大手明 (株)横河総合研究所
杉本栄次 アンリツ(株)

● 執筆者(執筆順)

山崎弘郎 (株)横河総合研究所
田村安孝 山形大学
本多敏 慶應義塾大学
今井秀孝 産業技術総合研究所
松本弘一 産業技術総合研究所
中段和宏 産業技術総合研究所
大岩彰 産業技術総合研究所
小野晃 産業技術総合研究所
中山貫 産業技術総合研究所
遠藤忠 前電子技術総合研究所
小貫英雄 産業技術総合研究所
東城琢郎 産業技術総合研究所
秦勝一郎 産業技術総合研究所
高本正樹 産業技術総合研究所
藤井賢一 産業技術総合研究所
倉野恭充 産業技術総合研究所
高橋千晴 産業技術総合研究所
谷村吉久 産業技術総合研究所
倉橋正保 産業技術総合研究所
吉広和夫 MTAジャパン
坂本泰彦 産業技術総合研究所
三木幸信 産業技術総合研究所
桜井慧雄 産業技術総合研究所
田中健一 産業技術総合研究所
中館毅 製品技術基盤機構
桑山重光 メトラー・トレド(株)
小池昌義 産業技術総合研究所
榎原研正 産業技術総合研究所
安藤繁 東京大学
篠田裕之 東京大学
石森義雄 (株)東芝
實森彰郎 鳥取環境大学
新誠一 東京大学
阪口豊 電気通信大学
川人祥二 静岡大学
前中一 姫路工業大学

高橋弘太 電気通信大学
瀬田勝男 産業技術総合研究所
後藤充夫 前計量研究所
豊田幸司 産業技術総合研究所
佐野剛 東京計装(株)
上田和永 産業技術総合研究所
石川環 横河電機(株)
宮地宣夫 横河電機(株)
黒森健一 横河電機(株)
松田洋一 産業技術総合研究所
臼田孝 産業技術総合研究所
中野英俊 産業技術総合研究所
新井優 産業技術総合研究所
尾出順 都立産業技術研究所
佐久間史洋 産業技術総合研究所
奈良広一 産業技術総合研究所
山本格 早稲田大学
馬場哲也 産業技術総合研究所
岡路正博 産業技術総合研究所
加藤英幸 産業技術総合研究所
渡辺英雄 産業技術総合研究所
橋本明久 (株)横河総合研究所
戸田幸一 アンリツ(株)
若林尚 アンリツ(株)
志村靖彦 アンリツ(株)
関谷仁志 東北アンリツ(株)
宇野剛正 アンリツ(株)
柳川博一 アンリツ(株)
中川靖夫 埼玉大学
矢口博久 千葉大学
佐川賢 産業技術総合研究所
久米英浩 浜松ホトニクス(株)
森秀夫 アンリツ(株)
園部洋治 アンリツ(株)
城野順吉 アンリツ(株)
竹尾佳己 アンリツ(株)

磯崎健二 横河電機(株)
 江頭誠 長崎大学
 兵頭健生 長崎大学
 壹岐伸彦 東北大学
 末永智一 東北大学
 民谷栄一 北陸先端科学技術大学院大学
 前田康二 東京大学
 河津璋 東京理科大学
 出口光一郎 東北大学
 佐藤宗純 産業技術総合研究所
 山口一郎 理化学研究所
 本田俊哉 (株)日立製作所
 山口昌樹 富山大学
 原田最之 (株)島津製作所
 西垣日出久 (株)島津製作所
 浅田庄太郎 (株)島津製作所
 土淵毅 (株)島津製作所
 永澤明 埼玉大学
 宮原裕二 (株)日立製作所
 森田雅夫 日本電信電話(株)
 丹羽修 日本電信電話(株)
 庄子習一 早稲田大学
 勝部昭明 埼玉大学
 大藪多可志 金沢経済大学
 南和幸 山口大学
 飯沼一浩 国際医療福祉大学
 羽根一博 東北大学
 岡本孝司 東京大学
 宮本寿夫 千葉大学
 平本俊郎 東京大学
 黒須隆行 産業技術総合研究所
 外村彰 (株)日立製作所
 岩村忠昭 川鉄電設(株)
 今井秀喜 三菱化学(株)
 榊原伸介 (株)ファナック
 原龍一 (株)ファナック
 谷口満幸 (株)ファナック
 岩下平輔 (株)ファナック
 富田文明 産業技術総合研究所
 下条誠 茨城大学
 長尾眞樹 (株)日立製作所
 須向一行之 (株)日立製作所
 児島雅之 (株)日立製作所
 高松朗 (株)日立製作所

板垣達夫 (株)日立製作所
 舟橋倫正 トレセンティテクノロジーズ(株)
 清水博文 日本大学
 岡元正芳 (株)日立製作所
 鳥居徹 東京大学
 河野澄夫 食品総合研究所
 平岡正勝 立命館大学
 溝口次夫 佛教大学
 功刀正行 環境研究所
 安岡善文 東京大学
 岩堀恵祐 静岡県立大学
 追川宏之 三菱電機(株)
 大戸時喜雄 (株)富士電機総合研究所
 川村幸生 横河電機(株)
 堀江一宏 (株)東芝
 和田信行 (株)明電舎
 花里善夫 三菱電機(株)
 栗林栄一 川崎重工業(株)
 圓佛伊智朗 (株)日立製作所
 森正樹 森技術士事務所
 廣田幸嗣 カルソニックカンセイ(株)
 柳橋健 東京電力(株)
 杉井清昌 セコム(株)
 大塚広幸 セコム(株)
 濱埜克俊 セコム(株)
 高倉憲秀 セコム(株)
 丸川佳セコム(株)
 山本寿史 セコム(株)
 小鹿紀英 鹿島建設(株)
 桑野博喜 日本電信電話(株)
 竹内康人 鹿児島大学
 佐藤夏子 前GE横河メディカルシステム(株)
 塚元鉄二 GE横河メディカルシステム(株)
 春田康博 横河電機(株)
 上原弦 金沢工業大学
 安田昌司 三洋電機(株)
 石川安則 (有)YITコンサルティング
 船戸広義 (株)リコー
 山口孝夫 (株)リコー
 北島達敏 (株)リコー
 磯崎克己 横河電機(株)
 代島茂樹 横河アナリティカルシステムズ(株)
 柴田省三 横河電機(株)
 永井聰 産業技術総合研究所

2.6.6 情報通信設備建設, 保守, オペレーションのための計測技術	1140	ング)	1180
3 機器応用	1147	3.2.3 超音波計測応用の現状と今後の動向	1181
3.1 医療計測	1147	3.2.4 カメラ画像からの距離計測応用	1186
3.1.1 超音波診断装置	1147	3.3 OA 機器	1188
3.1.2 X 線 CT	1155	3.3.1 カラー複写機	1188
3.1.3 MRI	1165	3.3.2 デジタルカメラ	1199
3.1.4 SQUID 脳磁計	1172	3.4 理化学機器	1206
3.2 家電機器	1178	3.4.1 赤外・近赤外分光分析計	1206
3.2.1 電子レンジの温度計測と今後のセンシング	1178	3.4.2 四重極質量分析計	1211
3.2.2 力の計測と利用の動向 (アシスト自転車におけるトルクセンシ		3.4.3 プロセスガスクロマトグラフ	1218

VII 計測工学関連データ

1 計測用語	1226	4 国際単位系 (SI) 以外の単位と SI との関係	1259
2 測定結果の表現や統計計算に関する JIS	1240	5 基礎物理定数および関連単位	1261
3 量記号, 単位記号, 化学記号	1244	6 図記号	1263
		7 数学公式集	1267
索引	1273		

計測工学ハンドブック

定価は外函に表示

2001年10月25日 初版第1刷

編集者	山	崎	弘	郎
	石	川	正	俊
	安	藤		繁
	今	井	秀	孝
	江	刺	正	喜
	大	手		明
	杉	本	栄	次
発行者	朝	倉	邦	造
発行所	株式	朝	倉	書店
	会社			

東京都新宿区新小川町 6-29
郵便番号 162-8707
電話 03 (3260) 0141
FAX 03 (3260) 0180
<http://www.asakura.co.jp>

〈検印省略〉

© 2001 〈無断複写・転載を禁ず〉

平河工業社・渡辺製本

ISBN 4-254-20104-4 C3050

Printed in Japan