

■8群-4編-2章

2-4 ビデオカメラ（動画像）

（執筆者：松井 啓）[2010年11月 受領]

ビデオカメラは、撮像デバイスにより取得した画像信号を、各種の、必須もしくは高画質化のための信号処理を施し、決められたフレームレートの動画像を撮像・記録する機器である。ここでは、ビデオカメラの全体構成、及び各処理について説明する。

2-4-1 構成

図 2・36 に一般的なビデオカメラの全体構成図を示す。まず、レンズにより集光された光が、撮像デバイスにより光電変換される。撮像デバイスとしては、長年 CCD 撮像素子（以下、CCD）が主に用いられてきたが、近年は、高解像化・多画素化を背景とした高速化・低消費電力化のために、MOS 型撮像素子も多く用いられるようになってきている。CCD を用いる場合は、AFE（Analog Front End）や駆動回路が必要になるが、MOS 型センサの場合は、AFE や駆動回路の機能がセンサに内蔵されている場合が多い。ここでは、CCD を想定した構成について説明する。

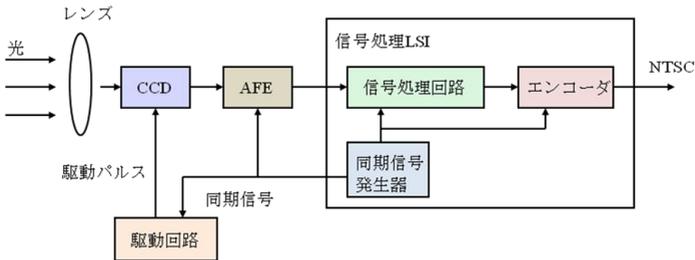


図 2・36 全体構成図

CCD は、駆動回路が発生した駆動パルスにより、垂直・水平レジスタなどを駆動させ、アナログ画像信号を出力する。CCD 出力信号は AFE に伝達され、CDS による CCD のリセットノイズ除去、AGC による信号増幅を行い、AD 変換にてデジタル画像信号が生成される。

AFE の出力信号は、信号処理回路にて、各種の信号処理が施され、輝度・色差信号が生成される。そして最終的に、エンコーダにより、コンポジット化された NTSC 信号が生成され、記録される。

2-4-2 動画像の特徴

動画像の撮影は、基本的には時間的に連続した静止画撮影である。しかし、観賞の観点から、時間的に連続した画像が観賞者に負担なく自然に見えるようにするため、AE、AF、AWC、手振れ防止のようなカメラ機能（2-9 節参照）の安定的な追従やスムーズな遷移が非常に重要となる。

また、決められたフレームレートで撮影するため、シャッタ速度が長くとともフレーム間隔までに制約を受けること、また静止画撮影でのストロボ利用のように、低照度時の簡易な照

明が一般的に困難なことにより、撮像デバイスの感度が高いことが要求される。

逆に、連続フレーム画の利用例として、NR (Noise Reduction) があげられる。静止画にも適用可能なフレーム内 NR に加え、動画像特有の処理として、フレーム間の画像相関性を利用したフレーム間 NR を併用することにより、特に低照度時における高画質化を図ることができるのも、動画像の特徴の一つである。

2-4-3 カメラ回路

(1) AFE

AFE とは、Analog Front End の略である。カメラシステムの前段に位置することにより、このように呼ばれる。主に、下記の三つの機能をもつ。

(a) CDS

CCD に内在する様々なノイズ源の中で、その影響の大きいものの一つとして、リセットノイズがある。CDS (Correlated Double Sampling) は、このリセットノイズの除去回路もしくは機能を指す。

図 2・37 に示すように、CCD の出力波形は、リセット期間 t_r 、フィードスルーの 0 レベル期間 t_0 、信号期間 t_s の三つの期間に分けられる。ここで、FDA (Floating Diffusion Amplifier) のリセット時に、スイッチング動作に起因する kTC ノイズ (リセットノイズ) が発生し、信号レベルにも同様の相関のあるノイズが重畳される。このとき、信号レベルのみを検出した場合にはノイズの影響が避けられないが、フィードスルーレベルをクランプしたうえで、信号レベルをサンプルホールドすることにより、リセットノイズの除去を行う。

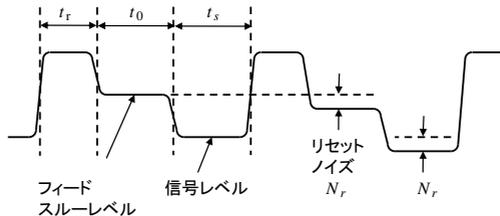


図 2・37 CCD 出力波形例

また、CDS は、 $1/f$ ノイズを除去する役割ももつ。近年の CCD は、バッファトランジスタのサイズが以前に比して小さくなってきており、 $1/f$ ノイズが大きくなっているため、この役割も重要となっている。

(b) AGC

カメラの露出制御は、アイリス、撮像素子の電子シャッタ、ゲイン制御の三つの手段を併用して行われる。被写体の照度が暗い場合に、アイリスを開放し、電子シャッタをフレーム間隔にまで長くしても、まだ露出が不足する場合には、AFE 内の AGC 回路にてゲインをかけることで対応する。民生用のビデオカメラでは、AE と称して上記三つの制御を、統合的に自動で行う機能をもつのが通常である。AFE に内蔵する、このゲイン回路もしくは機能をこのことを AGC (Auto Gain Control) と呼ぶ。

ゲインは、AD 変換後の階調精度を保つため、AD 変換前のアナログ回路にてかけられるの

が通常である。ただし、ビット幅の多いAD変換器の場合は、十分な階調精度が保たれるために、AD変換後にデジタル処理にてかけることもある。

(c) AD変換

近年では、信号処理はデジタル処理にて行われることが一般的である。CCDのアナログ信号は、AFEにてAD変換され、信号処理回路に伝達される。

ビデオカメラに用いられるAD変換器は、10～14 bit程度のビット幅をもつものが一般的に用いられる。

(2) 同期信号発生回路

同期信号発生回路は、各デバイスを同期して動作させるために参照する信号を生成し分配する。同期信号は、水平同期信号、垂直同期信号、フィールド識別信号の3種類がある。

駆動回路は、同期信号を元に、CCDを駆動するパルスを生成する。また、信号処理やエンコーダも、CCDからの信号を適切に処理するため、同期信号を参照して内部回路動作タイミングを生成しながら動作する。

(3) 駆動回路

CCDを動作させるには、駆動パルスが必要であり、駆動パルスを生成するための回路が駆動回路である。TG (Timing Generator) とも呼ばれる。

例えば、CCDの構成として、垂直転送は4電極で電荷を転送する4相駆動CCD、水平転送は2電極の2相駆動CCDとした場合、それらの電極をそれぞれ独立して駆動するために、駆動回路は、4種の垂直駆動パルス $\phi_{V1} \sim \phi_{V4}$ 及び2種の水平駆動パルス ϕ_{H1} 、 ϕ_{H2} を生成する。

これらの駆動パルスにより、CCDは、フォトダイオードから垂直CCDへの蓄積電荷のシフトや、垂直・水平CCD内での電荷の転送を行う。

(4) 信号処理回路

図2・38に、ビデオカメラの信号処理回路構成の代表例を示す。ここでは、単板のビデオカメラを想定し、信号処理回路への入力信号は、AFEでのAD変換によりデジタル変換された、例えばBayer配列のCCDのRAWデータである。後述するような、各種補正・高画質化信号処理を経由し、輝度・色差信号を出力する。

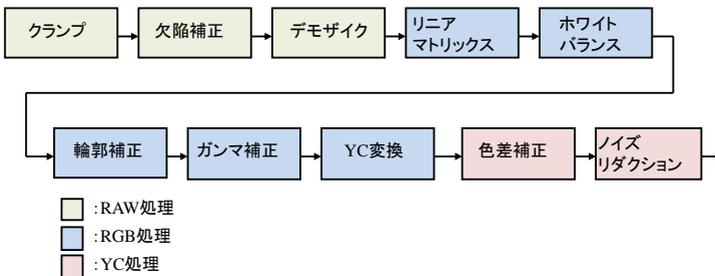


図2・38 信号処理回路構成

(a) クランプ

画像信号は、最終的には、光の全くない状態（黒）の信号レベルを、ゼロとして生成する必要がある。ところが、CCDの出力信号には、信号成分（入力光が光電変換された電子数に相当）に加え、アナログ回路によるDCオフセット、及び画素部にノイズとして発生する暗電流成分が、オフセットとして加わっている。このオフセット成分を除去するのがクランプ回路である。

CCDには、このオフセット成分の検出に用いるために、有効画素部の周囲に、OPB (Optical Black) と呼ばれる画素を配置している。OPBは、画素構造は有効画素と全く同じ作りになっているが、金属膜で遮光されており、光が全く届かない。CCDからの信号を読み出す際に、有効画素部の信号に加えOPBの信号も読み出し、この信号レベルを暗電流成分としてオフセット減算に用いる。

ただし、OPB画素信号には、ほかのノイズ要因によるランダムノイズも重畳されている。クランプによる黒レベル合わせは、精度良く行わないと、画像の品質を大きく損なうため、OPBには十分な画素数を配置し、それらの値を積分して用いることにより、ランダムノイズ成分を十分に抑圧して、精度の高いオフセットレベルの算出を行う。

(b) 欠陥補正

近年では、CCD画素の欠陥は過去に比べかなり少なくなっているものの、完全に欠陥のないもののみを使用することになると、歩留まりに大きく影響してしまうため、通常はある程度の個数の欠陥画素は許容して使用する。また、製造直後に存在するものに加え、出荷後、使用している間に発生する場合もある。

欠陥の主なものに白傷があり、これは画素内において、入射光がない状態でも電子が湧き出してしまうことにより、偽の信号を生成するものである。

白点の検出は、遮光した状態で、ある程度のシャッタ速度にてCCDから信号を読み出し、レベルの大きな画素を検出して、該当画素の座標を記憶しておけばよい。出荷時に存在する白点については組み立て・調整ラインにて検出し、出荷後に発生した後発白点については電源投入時などに随時検出を行えばよい。

欠陥画素の補正は、記憶しておいた座標の画素について、その周囲画素値に置き換えるか、もしくは周囲画素の補間値に置き換えることが行われる。この方法により、通常の撮影においては、観賞者にとって十分気にならないレベルにまで補正が可能である。

(c) デモザイク

RAWデータは、各画素当たり1色の情報しか保持していないため、各画素当たりR/G/B3色分の信号を生成する処理が必要となる。この処理をデモザイクもしくは同時化処理と呼ぶ。

図 2・39 は Bayer 配列の CCD の例である。G は市松状に配置され、R/B はおのおの 2 画素ごとに配置されているが、デモザイクでは、この配列の RAW データを補間処理により図右のように同時化する。

最も簡単な方法は、各色ごとに周囲画素から線形補間に求める方法である。しかし、この場合、いくつかの問題が発生する。まず、解像の問題として、線や白黒のエッジなどが良好に補間されない。また、エリアシングなしで標本化できる空間周波数帯域が色間で異なり、また色間で標本化位相も異なることから、エッジや高周波被写体などに対して偽色が発生する。

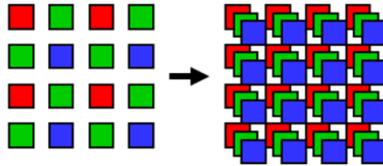


図 2・39 デモザイク

このような問題に対応するため、前者に対しては、例えば同時化しようとする画素位置の周囲の複数画素から、画像の縦・横などの相関性を判別し、例えば縦に相関の強い場合は、横方向に配置された画素は用いずに、縦方向に配置された画素のみを用いて補間値を生成することにより、良好な画像を生成することができる。

また、後者への対応としては、例えば、まず相対的に画素数の多い G のみを前述補間処理により同時化してしまい、その後、色差信号 (R-G/B-G) を生成・補間し、最後に G を足し戻して R/G/B を生成する。良好に同時化された G に対して、独立ではなく色差として相関性をもたせながら補間することにより、偽色の発生を抑えることが可能となる。

デモザイクは、処理方式によって解像や詳細描写能力が左右されるため、現在でも継続的に改善がなされている¹⁾。

(d) リニアマトリクス

カメラの入力分光特性は、まず CCD の OCCF (On Chip Color Filter) の分光特性が支配的であり、更にフォトダイオードでの特性と、光学系の特性が重畳されたものが総合的な分光特性となる。この特性は、NTSC の理想分光とはかなりの差異があるため、CCD にて取得された R/G/B を補正せずにそのまま用いると色再現特性的に不十分なものとなる。

分光自体を信号処理にて補正することは不可能であるが、下記のように R/G/B 値を 3×3 マトリクスにて変換することにより、理想的な R/G/B に近づけることができる。この場合、カメラの入力分光特性をマトリクス変換にて重みづけ平均をとった、新しい分光特性をもつ仮想的なカメラで撮影したのと等価になる。

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+a+b & -a & -b \\ -c & 1+c+d & -d \\ -e & -f & 1+e+f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

(e) ホワイトバランス

撮像デバイスにより取得した画素データは、そのままではホワイトバランスが合っていない (白の被写体に対して、R/G/B の値が同値とならない)。まず、撮像デバイスのカラーフィルタの、R/G/B の感度が揃っていないので、これらを揃える必要がある。また、被写体の光源の種類によって、白に対する R/G/B 値のバランスが変化するので、光源に応じた補正も必要となる。

$$\begin{aligned} R' &= \text{Gain}_r \times R \\ G' &= \text{Gain}_g \times G \\ B' &= \text{Gain}_b \times B \end{aligned} \quad (2)$$

上記において、ゲインを適切に設定することにより、白の被写体に対して各色チャンネルの画素値が揃う。

ここで、設定ゲインの算出が必要となる。カラーフィルタの感度は既知であるが、撮像デバイスのばらつきに対しては調整する必要がある。また、撮影中の光源変化への対応は、入力画像の統計値による光源推定によって行うのが一般的である。詳細は 2-9-3 項を参照されたい。

(f) 輪郭補正

撮像デバイスにより取得した画素データは、下記の原因により、空間周波数特性の劣化をともなっている。

- ・光学系の、回折及び収差による影響
・撮像素子の画素開口率に応じた、標本化時の開口効果による影響

鑑賞の観点において、視覚的に好ましい解像感のある画像を生成するためには、周波数特性の補償が必要となる。また、特に、画像内の輪郭部に対しては、強調処理が行われていると、視覚的な好ましさに寄与する。

これらの補償・強調処理には図 2・40 のような処理を行う。BPF (Band Pass Filter) により、対象とする周波数帯域の信号を検出し、適切なゲインをかけ、原信号に付加する。異なる周波数帯域をもつ BPF をいくつか併用することにより、周波数特性の補償を細かく行い、また輪郭強調の太さを調節することができる。BPF 信号に対しては、ノイズの影響を排除するためのコアリング処理や、過度の補正を避けるためのクリップ処理を行う。

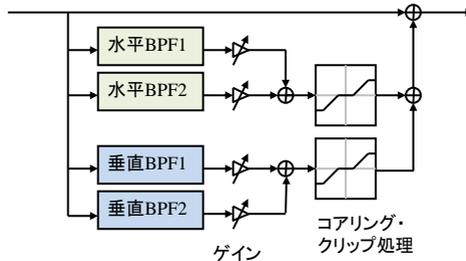


図 2・40 輪郭補正回路

(g) ガンマ補正

カメラで撮像した画像を表示する CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイには、入力信号と出力表示輝度レベルの間にガンマ特性が存在する (図 2・41)。よって、カメラで撮影した際の被写体の光量と、CRT での表示輝度を線形に保つには、カメラの内部で CRT のガンマ特性の逆関数にて補正する必要がある。

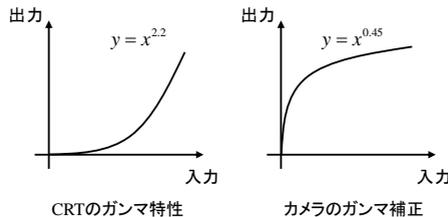


図 2・41 ガンマ補正

近年では、表示機器として液晶ディスプレイやプラズマディスプレイなども利用される。これらは、表示デバイスそのものの入出力特性は、CRTのガンマ特性とは異なるが、内部信号処理にて補正処理を行い、機器トータルの入出力特性がCRTのガンマ特性と同じになるように設定している。よって、カメラのガンマ補正特性は、表示機器によらず一定で問題はない。

補正特性に関し、ガンマ値を0.45に設定すると、黒レベル付近の立ち上がりが急峻になって、このレベル付近のノイズが目立ってしまう。よって、黒レベル付近の立ち上がりの傾きのあるレベルに抑えたり、また原点付近は傾きを寝かせてS字カーブにしたりして、ノイズの見え方を含めた画作りを行う。

(h) YC変換

カメラの信号処理の前段は、R/G/Bの色空間にて処理を行うが、伝送・記録は輝度・色差信号にて行うため、色空間の変換を行う。具体的には、下記式で表されるマトリクス回路にて、ガンマ補正後のR/G/BからY/B-Y/R-Yへの変換を行う。

$$\begin{pmatrix} Y \\ B-Y \\ R-Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0.299 & +0.587 & +0.114 \\ -0.299 & -0.587 & +0.886 \\ +0.701 & -0.587 & -0.114 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3)$$

(i) 色差補正

YC変換後のB-Y/R-Yにマトリクス演算処理を行うと、輝度を変化させることなく色相・飽和度を調節することができる。簡易なカメラ信号処理では、若干の補正精度の低下を許容すれば、前述のリニアマトリクスを省き色差補正のみにて色の調整を行うことも可能である。

$$\begin{pmatrix} (B-Y)' \\ (R-Y)' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B-Y \\ R-Y \end{pmatrix} \quad (4)$$

また、非線形な処理を行って、特定の色を強調したり、引き込んだりすることが可能であり、一例として肌色補正をあげることができる。様々な色の中で、人間が特に視覚的に敏感な色の一つが肌色であり、色相や飽和度の微妙な差によって顔の印象が大きく変わる。撮影時の光源の影響などによって、顔が不健康に見えるのを避けるため、予め良好な肌色を色差平面上で定めておき、その付近の入力信号に対して引き込みを行うことによって、どのような状況でも良好な印象をもつ顔の撮影を可能とするものである。

(j) ノイズリダクション

低照度の撮影時において、静止画撮影の場合はストロボによる照明が容易に利用可能であるが、動画像の撮影の場合は簡易な照明の利用が一般的には困難である。よって、低照度における画質改善は、動画像信号処理において重要なポイントの一つであり、様々なタイプのノイズリダクションが使用される。

ノイズリダクションには、大きく分けてフレーム内処理とフレーム間処理に二分される。前者では、ノイズ成分を抑圧するために、処理対象とする注目画素の周辺画素を利用し、LPF (Low Pass Filter) を用いる処理が多く用いられる。ただし、単純な線形LPFでは、ノイズ成分の抑圧とともに、信号成分に含まれるテクスチャやエッジ成分も鈍らせてしまう。そこで、信号成分を保持しつつ、ノイズ成分のみを抑圧するために様々な工夫が施されるが、その一例として ε -フィルタ²⁾を紹介する。

2次元の非再帰型線形デジタルフィルタは、注目画素の座標を (n, m) 、入力を $x_{n,m}$ 、出力を $y_{n,m}$ として、次のように表される。

$$\begin{aligned}
 y_{n,m} &= \sum_{k=-N}^{N'} \sum_{l=-M}^{M'} a_{k,l} x_{n-k,m-l} \\
 &= x_{n,m} - \sum_{k=-N}^{N'} \sum_{l=-M}^{M'} a_{k,l} (x_{n,m} - x_{n-k,m-l})
 \end{aligned} \tag{5}$$

係数 $a_{k,l}$ は、総和が1の低域通過フィルタ係数である。ここで、式(5)右辺の第2項に関数 $F(x)$ を導入すると次式が与えられる。

$$y_{n,m} = x_{n,m} - \sum_{k=-N}^{N'} \sum_{l=-M}^{M'} a_{k,l} F(x_{n,m} - x_{n-k,m-l}) \tag{6}$$

ここで、関数 $F(x)$ を図2・42に示すような、

$$|F(x)| \leq \varepsilon : -\infty \leq x \leq \infty \tag{7}$$

を満たす非線形関数であるとすれば、このフィルタは、信号における比較的大きな振幅変化成分を維持しながら、信号に加えられた振幅微小ノイズ成分を取り除くフィルタとして作用する。

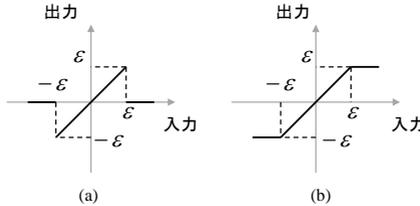


図2・42 非線形関数 $F(x)$

ここでは一例を示したが、上記方式以外にも画像信号のノイズリダクションに関しては様々な方式が提案されている^{3),4)}。

一方、フレーム間処理によるノイズリダクションでは、フレーム間の信号相関が非常に高いことを利用し、複数枚フレームを重ね合わせることによる加算フィルタ効果で、ノイズ抑圧を行うのが一般的である。なお、このとき手振れや動被写体の影響で、フレーム間で相関をもつ信号の相対座標が一定でないので、動きベクトル検出によりローカルベクトルの検出・補正を行いながら重ね合わせを行う必要がある。

(5) 出力回路

ここでは、アナログコンポジットのNTSCの場合について説明する。近年では、伝送・記録がデジタル化されつつあり、詳細については、各種規格などを参照されたい^{5),6)}。

(a) YUV

以上のカメラ信号処理により生成された $Y/B-Y/R-Y$ 信号は、色差信号を副搬送波に

変調し、Y信号に多重したNTSC信号へと合成され、記録・伝送される。モノクロ受像機・カメラからカラー受像機・カメラへの移行時、カラー信号を受信したモノクロ受像機が、そのままモノクロ画像を表示できるよう工夫がされている。カラー受像機の場合は、多重化された信号を再度分離してY/色差信号とする。

出力回路では、まず後段にて色差信号を多重した信号が所定の電圧レンジに収まるよう色差信号の圧縮を行う。圧縮後の信号はU/V信号と呼ばれる。

$$U = (B - Y) / 2.03$$

$$V = (R - Y) / 1.14 \tag{8}$$

(b) エンコーダ

YUV信号に圧縮された色差信号は、次に図2・43のように色差軸の変換が行われ、I信号(In Phase Signal)及びQ信号(Quadrature Phase Signal)に変換される。この信号は、人間の視覚特性を利用して、できるだけ伝送帯域を少なくするために考え出されたものである。視覚特性の色分解能が高い色はオレンジ-シアン系付近で肌色に近い色であり、また分解能が低い色は、分解能の高い色に直交したマゼンタ-黄緑系である。この分解能の高い色をI軸、低い色をQ軸としている。I軸には変調前に1.5MHzの、Q軸には0.5MHzのLPFで帯域制限がかけられ、I軸により広い帯域を割り当てている。Y信号の帯域には4.2MHzを割り当てているが、これも、視覚特性が色変化よりも輝度変化に対してより敏感であることによる。I/Q軸への変換を式で表すと次式となる。

$$\begin{pmatrix} I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.268 & 0.736 \\ 0.413 & 0.478 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \tag{9}$$

最後にI/Q信号は、直角2相変調方式によりY信号に多重され、NTSC信号となる。直角2相変調は直交変調とも呼ばれ、一つの搬送波で二つの信号を伝送・分離できるようにするための方式である。図2・44のように互いに位相が直角である二つの搬送波をI/Q二つの信号で振幅変調すると、合成波は振幅だけでなく位相も変化する。この合成波はI/Q両信号の情報をもっており、これをY信号に多重する。

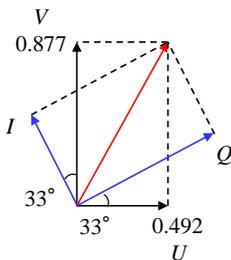


図2・43 I軸・Q軸

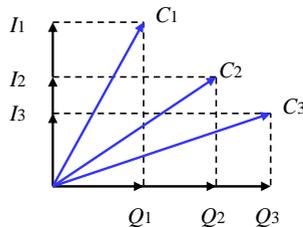


図2・44 直角2相変調

(c) カメラリンク

ビデオカメラは、民生用のほかに産業用としても多く用いられる。産業用途として用いられる場合は、画像を単に撮影・記録するだけでなく、画像内容を解析することによって得られる情報を利用することが目的であることも多い。例えば、FAカメラ(Factory Automation用センサカメラ)の場合、様々な製品の製造ラインにて製品の画像を取得し、画像処理・認

識にて製品に欠陥などがないかどうかを調べ、出荷検査などに用いられる。ここでは、ビデオカメラの映像は、ケーブルを経由してフレームグラバにてキャプチャされ、画像解析用のコンピュータに転送される。ビデオカメラからフレームグラバへの伝送は、従来はアナログにて行われていたが、近年は映像の伝送品質向上のためデジタルにて行われるようになってきた。このデジタル伝送の方式の規格の中で、多く用いられているものの一つがデジタルリンクである。

デジタルリンク規格では、白黒及びRGBカラーのほかRAWデータカラーも伝送可能であり、RAW伝送を用いればフレームレートが高く、伝送効率の良いカラーカメラシステムが実現できる。規格にはいくつかのConfigurationが含まれるが、Base Configurationの場合、4chのLVDS (Low Voltage Differential Signaling) を利用した2.2 Gbpsの高速伝送にて、白黒及びRAWの場合、VGAでおおよそ700 fps、UXGAならおおよそ100 fpsの画像伝送が可能である。

■参考文献

- 1) B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicking : Color Filter Array Interpolation," IEEE Signal Processing Magazine, vol.22, pp.44-54, Jan. 2005.
- 2) 原島 博, 小田島薫, 鹿喰善明, 宮川 洋, "ε-分離非線形型デジタルフィルタとその応用," 信学論A, J-65-A, 4, pp.297-304, Apr. 1982.
- 3) M. Jansen, "Noise Reduction by Wavelet Thresholding," Springer, 2001.
- 4) C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision, pp.839-846, Jan. 1998.
- 5) Recommendation ITU-RT BT.601-5, Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios, 1994-1995.
- 6) Recommendation ITU-RT BT.709-5, Parameter values for the HDTV standards for Production and international programme exchange, 2000-2002.

■8群-4編-2章

2-5 デジタルカメラ（静止画像）

（執筆者：キヤノン株式会社カメラ開発センター・DCP 第一開発センター） [2010年12月 受領]

2-5-1 はじめに

(1) カメラの歴史

1826年、フランス人ニエプスは、アスファルトを感光板として自分の家から見える風景を撮影し、これが世界で最初に撮影された写真とされている。ニエプスは、その後ダゲールと協力し、銀板を使った、いわゆるダゲレオタイプカメラの開発に成功している。

その後、より露光時間の短い湿板写真法、更には乾板写真法が発明され、20世紀の始めには現在のカメラの原型が登場することになる。150年以上にわたり、フィルムやカメラは様々な進化を遂げ、一つの文化を創り上げてきたが、21世紀に入りデジタルカメラに主役の座を明け渡している。

(2) フィルムレスカメラの登場

1970年代に半導体メモリが登場すると、デジタル化した画像をこれに保存するという発想が生まれ、いくつかの特許が出願されている。1980年代になると、CCDなどのイメージセンサが実用化され、2インチのフロッピーディスクに静止画像を記録する電子スチルカメラ、マビカが1981年8月に（ソニーから）発表され、話題となった^{1),2)}。SV（スチルビデオ）カメラの一例を図2・45に示す。このカメラの出現により、現像や焼付けなどの化学処理から開放されたが、イメージセンサの画素数が十分でなく、画質的には満足できるものではなかった。

その後、コンピュータ（パソコン）の発達とあいまって、画像をデジタル化して、半導体メモリに記録する、いわゆるデジタルカメラが1989年3月、（東芝と富士フィルムから）発表された^{3),4)}。デジタルカメラが普及し始めたのは1994年11月発売の（カシオの）QV 10が登場したこと⁵⁾で、一気に普及への道をたどっている。



図 2・45 スチルビデオカメラ

(3) デジタルカメラの市場規模

2000年以降、デジタルカメラの市場規模は急激に拡大しており、2007年には1.01億台にまで需要が拡大したが、2008年に勃発したリーマンショックにより、やや市場は頭打ち状態となっており、2008年は1.16億台、2009年は1.03億台の市場規模となっている*1。

*1 カメラ映像機器工業会（CIPA）統計による。

(4) デジタルカメラの分類

フィルムカメラは、中判・大判フィルムを使った一部のプロ用機器を除けば、一眼レフカメラとコンパクトカメラに大別されていた。デジタルカメラも、当初は、フィルムカメラ同様、一眼レフカメラ (図 2・46) とコンパクトカメラ (図 2・47) に大別されていたが、ライブビュー機能の登場により、必ずしも光学的に像をファインダに導く必要がなくなったため、「レフレックス」ではない一眼カメラも登場している。また、2008年には、小型化を追求するために、レンズ交換が可能にもかかわらず、光学(電子ビュー)ファインダを省略した機種が登場し、市場では「ミラーレス(一眼)カメラ」という呼び方が一般化している。



図 2・46 一眼レフカメラ



図 2・47 コンパクトカメラ

一方、中判フィルムを使ったプロ用カメラに対応するものとして、35 mm フルサイズより大きな撮像素子を使ったデジタルカメラも登場している。

2-5-2 デジタルカメラの構成

(1) 内部構造

一眼レフカメラの内部構造の一例を図 2・48、コンパクトカメラの内部構造の一例を図 2・49 に示す。

一眼レフカメラ(フィルムカメラ)は、今から 150 年前の 1861 年、英国において発明されている。その特徴は、フィルムの前に可動式の 45° 反射ミラーを配置した構造をとっていることである。一眼レフカメラの構成に欠かせない、撮影レンズ、シャッター、反射ミラー、ファインダ、フィルム(撮像素子)、暗箱など、それぞれのデバイスは著しい進化を遂げ今日に至るものの、その基本構造は 150 年前と変わっていない。

一眼レフカメラの最大の特徴である反射ミラーは、撮像面の前方に配置されているため、撮影時には撮影光路から退避させる必要があり、可動式のものが一般的である。

一方、固定式のもの、ミラーの反射面を薄膜フィルムからなる半透過構造として、撮影光を撮像面とファインダの双方へ同時に導く構造になっている。固定式のもの、撮影時に反射ミラーを退避させる必要がないため、構造を簡単にできるとともに撮影中もファインダ像が消失しないという利点がある。しかし、撮像面に到達する光量が減少するため、可動式のものと比較して、シャッタースピードを遅くするか、レンズの絞りを明るくする必要がある。デジタルカメラでは、ISO 感度を上げる方法もある。

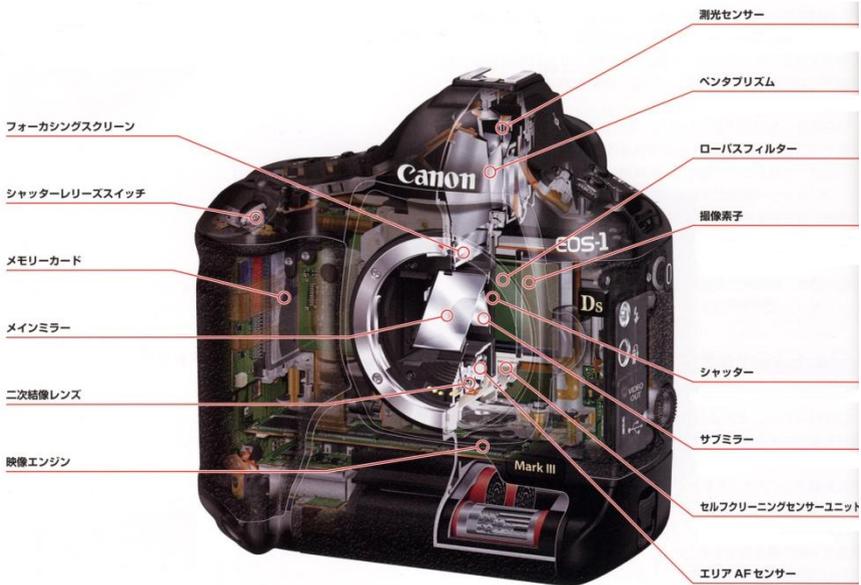


図 2・48 一眼レフカメラの内部構造

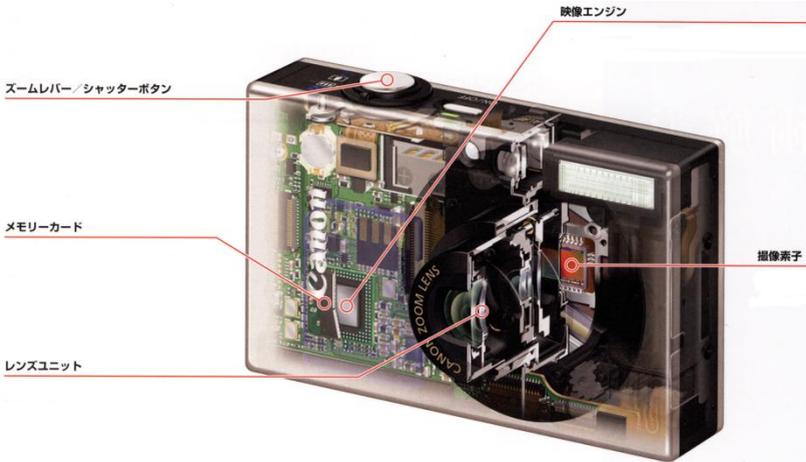


図 2・49 コンパクトカメラの内部構造

コンパクトカメラは、その名のとおおり、一眼レフカメラよりコンパクトに仕上がっている反面、レンズ交換ができない、外付けストロボが使えない（一部使える機種もある）など、システム化には不向きである。また、更なる小型化・薄型化のために、ファインダを省略した機種も増えている。

基本的な構造は、一眼レフカメラの象徴である反射ミラーがないことやシャッターがレンズ

内部に装備されていることを除けば一眼レフカメラと大差ないが、部品実装のスペースが限られているため、実装部品の小型化や基板の多層化がより推進されている。

(2) 信号の流れ

デジタルカメラのブロックダイアグラムの一例を図 2・50 に示す。

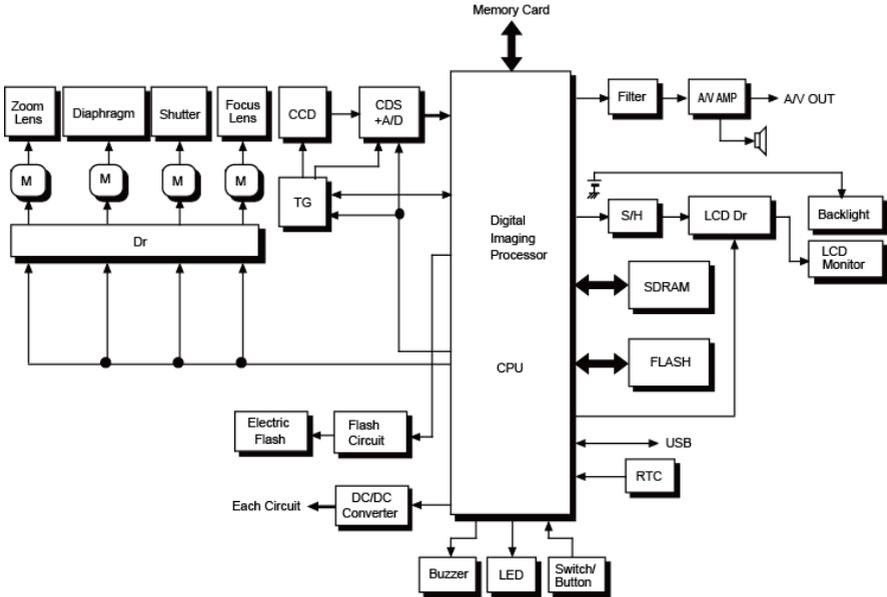


図 2・50 デジタルカメラのブロックダイアグラム

撮影レンズで撮像された画像は、撮像素子 (CCD や CMOS) で光電変換され、更に AD 変換回路によりデジタル信号に変換される。その後、デモザイク処理やガンマ変換、更に、色補正や色変換、解像度の変換処理などを行う。最終的には、輝度信号と色差信号に分離してから JPEG 圧縮され、メモ리카ードへと送られる。

コントローラ部では、画像信号から得られた情報から、フォーカス、露出、ホワイトバランスなどを撮影状況に応じて適切に制御する。

また、一眼カメラやハイエンドのコンパクトカメラでは、信号処理による画質の劣化を避ける目的で、AD 変換直後の信号 (RAW) をそのまま記録できるようにしたものも多い。

2-5-3 主要コンポーネント

(1) レンズ

フィルムカメラ同様、撮影レンズはデジタルカメラの重要なコンポーネントであるが、特にコンパクトタイプのデジタルカメラは小型化・薄型化を指向しており、4~10 倍程度のズーム比を有しながらコンパクトなユニットを開発する必要がある。

一例として、ズームレンズでありながら、収納時のレンズ断面が 1 ユーロコインに収まる

レンズユニット (図 2・51) も開発されている。

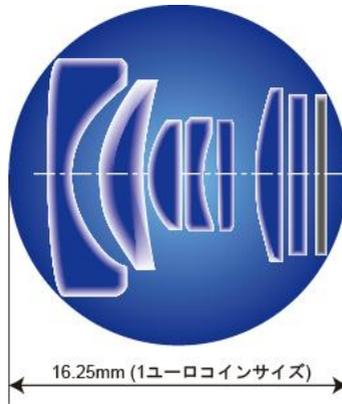


図 2・51 超小型レンズ断面

イメージセンサの高画素化に対応するためには、より高い光学性能をもたせる必要があり、レンズ枚数の増加につながるが、収差の低減に効果的な非球面レンズや接合レンズを積極的に用い、枚数を削減する方法が主流となっている。更に最近では、異常分散特性や超高屈折率を有するレンズ材料 (図 2・52) も使われている。

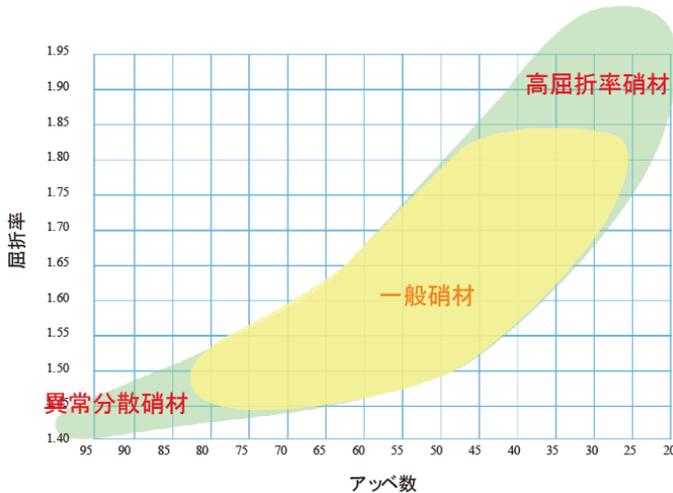


図 2・52 硝材マップ

レンズ交換タイプのカメラでは、イメージセンサのサイズが4/3型からフルサイズ(35mmフィルム相当)以上まで多岐にわたり、それぞれのイメージサークルに最適化した交換レンズを開発する必要がある。イメージセンサのサイズが小さいほどレンズも小さくできるメリットはあるが、ボケ味が十分に表現できないなどの欠点もある。

(2) イメージセンサ

現在、イメージセンサでは CCD と CMOS の双方のタイプが実用化されている。CCD はフォトダイオードで集められた電荷を CCD の転送作用により電荷を順次移送し、最終的に電気信号として出力するものである (図 2・53(a))。CMOS は、フォトダイオードで集められた電荷をそれぞれの画素ごとに設けられたアンプで増幅し、スイッチングにより順次出力するものである (図 2・53(b))。

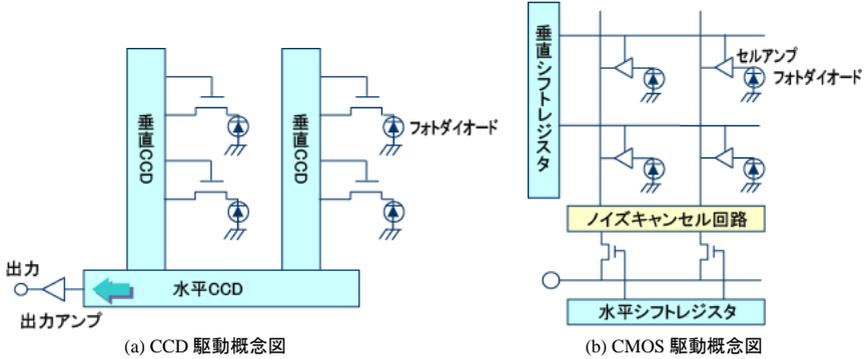


図 2・53 CCD と CMOS の駆動概念図

イメージセンサの画素数は、民生用のデジタルカメラが登場した 1995 年当時は 30 万画素程度であったが、2000 年には 200 万画素、現在 (2010 年 12 月) は、コンパクトカメラでは 1500 万画素程度まで増加している。CCD の高画素化は、一つ一つの画素サイズを小さくすれば実現できるが、CCD メーカーを中心とした技術革新により、現在 1 画素当たり 1.5 ミクロン角程度にまで微細化が進んでいる。しかし、昨今、画素数を抑え、一つ一つの画素を大きめにして高感度に主眼を置いたセンサも登場している。

一眼タイプのデジタルカメラでは 1500~2000 万画素超、画面サイズは APS フィルムサイズが主流であるが、前述のとおり、4/3 型からフルサイズ (35 mm フィルム相当) 以上まで多岐にわたる。また、製造コストなどのメリットも多いことから、高性能・低ノイズを実現した CMOS センサ (図 2・54) が主流となっている。



図 2・54 CMOS センサ外観

(3) 信号処理 IC

発売当初は、ビデオ用のデジタル信号処理 IC を流用したものや、汎用性の高い CPU を中心に据えたソフト処理が多用されていたが、高画素化や多機能化につれ、“DSP+ASIC+マイコン”という組合せに移行している。

信号処理のアルゴリズムには、美しい写真を撮るための「ノウハウ」を具体化して換装する必要があり、汎用 IC では十分な性能を発揮できないため、専用の画像処理プロセッサ(図 2・55)を開発し搭載する動きが主流となっている。



図 2・55 デジタルカメラ専用画像処理プロセッサ

(4) 光学ファインダ

フィルムカメラには被写体を観察するためのファインダが必須であるが、デジタルカメラでは液晶モニタをファインダとして利用できることから、コストやスペースの観点からこれを省略するカメラが多くなっている。

光学ファインダの構成は、コンパクトカメラではフィルムカメラと同様に実像式(図 2・56)、一眼レフカメラでは、高級機種ではプリズムタイプが一般的であるが、普及タイプではコストやスペースの点でミラータイプが用いられる。

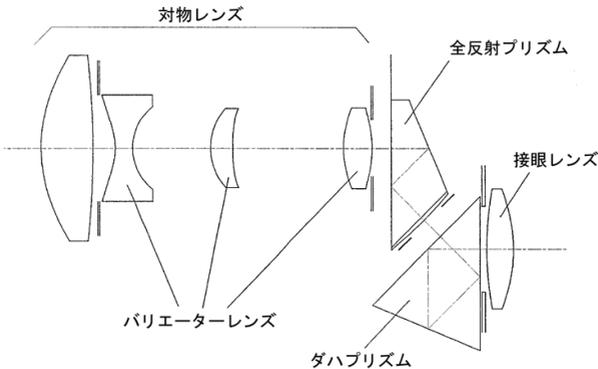


図 2・56 光学ファインダ

(5) 液晶モニタ

デジタルカメラでは、撮影時にはファインダとして、また再生時は撮影画像の確認用としての液晶モニタが搭載されている。最近、視認性の向上を目的として大型化する傾向が強くなっており、3.0型クラスが主流となっているが、更に大型のパネルや、HD動画を意識してアスペクト比16:9のパネルを搭載したモデルも数多く登場している(図2・57)。画素数も、当初10~30万ドットであったが、現在では100万ドットを超える高精細タイプ(面順次タイプ含む)も登場している。



図2・57 アスペクト比16:9液晶モニタ



図2・58 バリアングル液晶モニタ

視野角も徐々に広がりつつあり視認性も向上しているが、液晶モニタが自由に可動するタイプ(図2・58)では、必ずしもファインダ(液晶モニタ)を正面から覗けないような撮影条件でも、十分な視認性を確保することができる。バックライトも当初は小型蛍光灯を使用していたが、最近では高輝度タイプの白色LEDに替わり、消費電力の低減が図られている。また、自己発光が可能な有機ELなどを採用する動きも報じられている。

(6) ストロボ(フラッシュ)

夕方や夜の撮影では光量が不足することから、カメラには自ら光を発するためのストロボが搭載されている。しかし、被写体が遠いなど、内蔵ストロボだけでは光量が不足する場合もあるため、一眼カメラやハイエンドのコンパクトカメラでは外部ストロボが取り付けられるよう考慮されている。

また、外部ストロボが取り付けられないカメラのために、カメラの内蔵ストロボの発光を感知して自ら発光する「スレーブストロボ」と呼ばれる外部ストロボも製品化されている。

ストロボ本体は、閃光管と呼ばれる発光管とその光を効率良く前方に放出させるための反射板、更に光が必要以上に発散しないように光路を規制するフレネルレンズによって構成される。また、発光のためのエネルギーは、専用のコンデンサに蓄えられる。

(7) 記録媒体

現在、デジタルカメラ用の記録媒体としてはSDメモリーカードが主流であるが、一眼タイプのデジタルカメラでは容量や書き込み速度の観点からコンパクトフラッシュカード*2を採用するものも多い。

*2 コンパクトフラッシュはSanDisk Corporation社の商標です。

容量面では、2~32 GBのSD/SDHCメモ리카ードが多く流通しているが、HD動画の撮影を考慮し、容量を2TBまで拡張したSDXCメモ리카ードも市場に出回り始めている。

(8) 電池

電池は相応の体積を占めるため、カメラを小型化するためには、電池の小型化が不可欠である。電池の種類としては、汎用性を重視する場合には単3形電池、サイズを優先する場合はリチウムイオン電池が用いられる。

単3形電池では、リサイクル可能な電源としての二次電池（ニッケル水素電池）が注目されており、容量の向上や自己放電の減少が推進されている。

リチウムイオン電池は、昨今700 Wh/L以上の体積エネルギー密度を実現しており、必要十分な容量を確保しながら、小型化・薄型化（**図 2・59**）が推進されている。



図 2・59 リチウムイオン電池

(9) 外装

外装はカメラの質感を決めるため、素材や色の選択が重要となる。コンパクトタイプでは、コストを重視したカメラはプラスチックモールドが主流であるが、ファッション性や質感を重視したカメラでは、アルミニウムやステンレスといった金属素材が使われているが、より高級感をもたせるために、チタンやマグネシウム合金なども用いられるようになってきている。

一眼タイプでは、堅牢性を求められる高級タイプではマグネシウム合金が主流であるが、普及タイプでは、コストを抑え、かつ軽量化を図るためにエンジニアリングプラスチックが用いられる。

昨今、特にコンパクトタイプでは、ユーザの嗜好に合わせるために、いくつかのカラーバリエーションを備えたモデル（**図 2・60**）も増えており、従来黒が主流であった一眼タイプにもカラーバリエーションをもったモデルが登場している。



図 2・60 カラーバリエーション

2-5-4 主な機能

(1) 撮影モード

フィルムカメラの時代から、カメラ任せで美しい写真が撮れるように、「オート」と呼ばれる撮影モードが搭載されているが、昨今のデジタルカメラではこのオートがより進化している。具体的には、撮影シーンから、被写体距離、明るさ、色などの基本的な情報に加え、被写体の数、顔の有無、被写体の動きなど、より詳細な情報を取得することで、撮影シーンに最適なシャッタースピード、F(絞り)値、ISO感度、ホワイトバランスなどを設定できるようになっている。

また、“シーンモード”と称し、様々なシーンをそのシーンに最適な設定で撮影できるようにしているものが多い。具体的には、風景、夜景、ポートレートなど、従来から定番となっているものに加え、料理、赤ちゃん、ペット、パーティなど、より生活に密着したものも見受けられる。また、魚眼風(図2・61)、ジオラマ風、極彩色、ノスタルジック(図2・62)など、撮影画像に画像処理を加え、芸術的な要素を加えたものも搭載されるようになっている。



<オリジナル>



<魚眼風処理>

図2・61 シーンモード(魚眼風)



<オリジナル>



<レベル1>



<レベル2>



<レベル3>



<レベル4>



<レベル5>

図2・62 シーンモード(ノスタルジック)

(2) 手振れ補正

手振れを防止するいわゆる手振れ補正機構には、大きく四つの方式が実用化されているが、デジタルカメラではレンズシフト式(図2・63)と撮像素子シフト式の2タイプが主として用いられている。

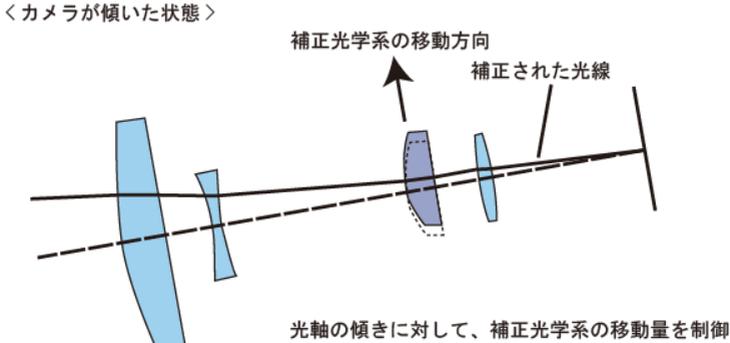


図2・63 手振れ補正機構(レンズシフト式)

レンズシフト式は、レンズユニット内の一つのレンズ群を光軸の変位に合わせて撮像素子と平行方向に移動させるもので、手振れ補正機構をコンパクトにまとめることができるため、現在の主流となっている。更に、近距離で発生しやすい角度振れとシフト振れの双方を抑える、ハイブリッドタイプの手振れ補正機構を搭載したレンズやカメラも登場している(図2・64)。



図2・64 ハイブリッド手振れ補正機構搭載カメラ

撮像素子シフト式は、撮像素子そのものを光軸の変位に合わせて移動させる方式である。個々のレンズに手振れ補正機構を搭載する必要がないため、レンズ交換式の一眼タイプでは有効とされている。

また最近では、電子的に振れを補正するタイプも増えており、補正にはいろいろな制約があるものの、安価にできるというメリットがある。主流となっているのは、速いシャッタースピードで振れの少ない複数枚の写真を撮影し、それらを合成する方式と、露出の異なる2枚の写真を撮影し、輝度情報と位置情報を得て、それらを合成する方式の2つのタイプである。

(3) 高感度

手振れ補正機構は手振れの防止には有効であるが、動く被写体を撮影するときに生じる被写体振れには効果がない。これを防止するためには、速いシャッタースピードを設定すればよいが、そのためには撮影時の感度を高くする必要がある。

一般に撮影感度を高くすると SN 比が悪化し、画像にノイズが増えるが、各社とも独自のノイズ低減アルゴリズムなどを開発し、高感度時でも実用的な画質を確保できるようになっている。

更に、前述のとおり、画素数を抑えて解像度よりも感度に主眼が置かれた撮像素子が登場しており、フィルムカメラ時代には考えられなかったような高感度 (ISO 100000 超) で撮影できるカメラも出現している。

(4) ダイナミックレンジ補正

撮影シーンによっては、画像の明るい部分が白く飛んでしまう、いわゆる「白トビ」や、暗い部分の階調が失われる、いわゆる「黒ツブレ」が発生する場合がある。「白トビ」や「黒ツブレ」が発生すると、これを後で救済することが困難なため、最近のデジタルカメラには、ダイナミックレンジ補正 (拡大) 機能を搭載したものが増えている。

手法としては、撮影時に入力画像の輝度分布を解析し、画像のハイライト部やシャドウ部の階調を輝度に応じて補正することで、白トビや黒ツブレをしないように輝度範囲を広げるものである (図 2・65)。



〈補正なし〉

〈補正あり〉

図 2・65 ダイナミックレンジ補正

(5) ストロボ調光

ストロボ撮影時でも、適切な露光を与え、また不自然な仕上がりにならないようにすることが重要である。ストロボの調光制御は、撮影レンズの F 値 (絞り値)、被写体の明るさなどの条件を加味して、主被写体に照射する光量が適正となるよう制御する仕組みである。

図 2・66 に、代表的な自動調光の作動フローの概念を示す。同図において、シャッターリリースボタンを半押しすると、極めて短時間に動作フローの A~F の処理が次の順に行われる。

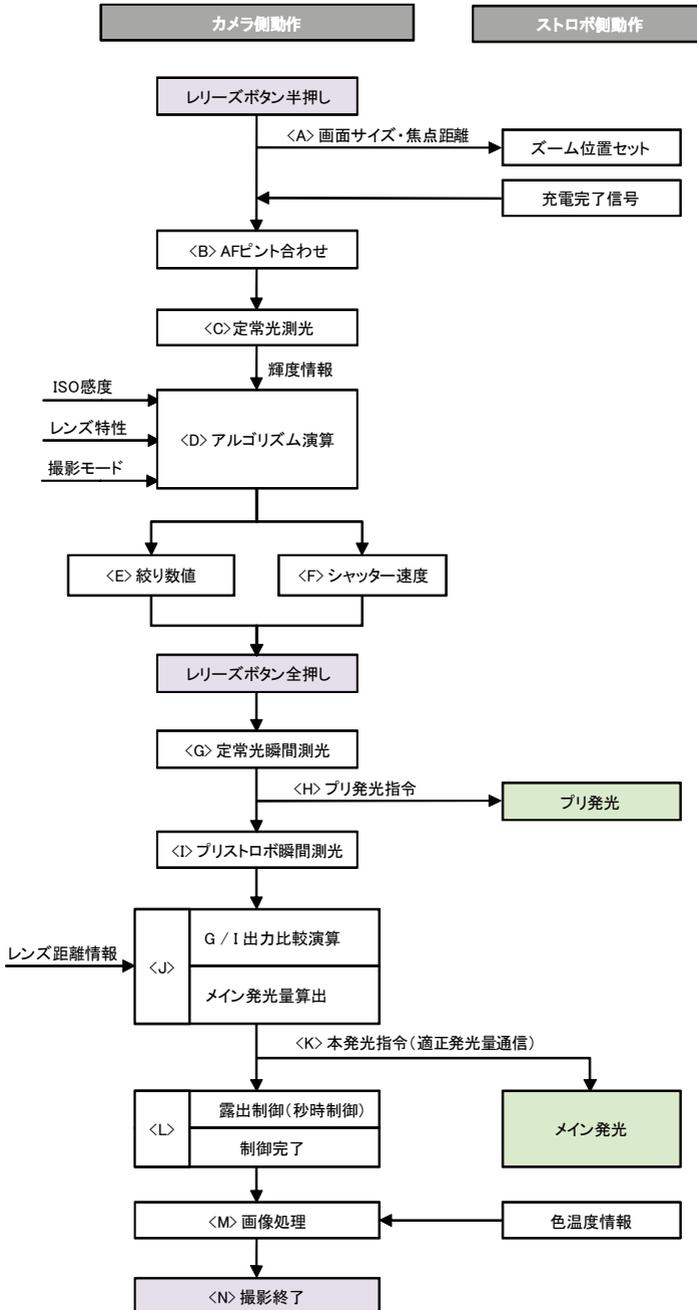


図 2・66 自動調光の作動フロー

また最近では、撮影状況や被写体の位置や距離に応じて、発光量はもとよりシャッタースピード、F(絞り)値、ISO感度などを自在にコントロールするインテリジェントな制御(図2・67)を行うカメラも登場している。



<通常制御>



<インテリジェント制御>

図2・67 ストロボ制御

(a) 赤目現象

赤目現象とは、撮影時に照射したストロボ光が、瞳を通して眼球内に入射し、網膜で反射した直接反射光が、再び瞳を通して射出され、赤い瞳として写る現象のことである。

赤目現象が発生すると、違和感のある写真になることから、これを防止または補正する手法が開発されている。

(b) 赤目防止

- ① ストロボ光を間接的に照射する方法：一般的にはバウンス撮影とも呼ばれる方法で、ストロボ光を直接人物に向けず、天井や壁に向けて、その反射光で照射する。大光量が必要なため、通常、ガイドナンバーの大きな外付けストロボを使用しなければならない。
- ② 撮影レンズとストロボ光源との距離を離す方法：ストロボをカメラから離し、網膜からの直接反射光が撮影レンズに入らない角度にする。ストロボ内蔵式のカメラでは、配置上、撮影レンズとストロボが近接しており、ポップアップ型のストロボや外付けストロボを使用する場合と比較して赤目現象が出やすい。
- ③ 人物の瞳孔を強制的に閉じさせる方法：主に二つの方法が用いられる。第一の方法は撮影のための本発光直前に予備発光を行う方法で、第二の方法は本発光前にランプなどストロボとは別の照明装置により一定時間照射する方法である。生理的に、瞳孔が閉じるまでには時間がかかるため、予備発光と本発光を短時間に行う第一の方法では、防止効果が得られにくい。一方、ランプで照射する第二の方法は、長時間(1秒以上)継続して照射することができるため、防止効果が大きい。

(c) 赤目補正

最近では、ソフト的に赤目を補正する機能を搭載したデジタルカメラが発売されている。方式には、補正を撮影時に行うもの、再生時に行うもの、その双方に対応したものなどがある。

赤目検出とその補正のアルゴリズムは、一般的に、形状、大きさ、色情報などの条件をもとに赤目領域を検出し、色を変換したり、彩度を下げるなどの処理を行っている。

また、カメラキットに同梱または市販の画像編集ソフトでも、赤目補正機能が備わっているものがあり、同様な手法で赤目を補正することができる。

(6) 連写（駆動シーケンス）

静止画を連続して撮影するいわゆる連写は、動いている被写体の全体の流れを記録する場合や、最高のシャッタチャンスが特定できない場合などに用いられる。

撮影のシーケンスは、機構を駆動させるメカニカルな駆動シーケンスと、画像データの読み出しから記録までを処理する撮像シーケンスを同期させて行われる。一例として、一眼レフカメラの駆動シーケンス（図2・68）は、A 測光・測距 → B レンズ焦点調節 → C 絞り駆動 → D ミラーアップ → E シャッター開動作 → F 露光（撮像） → G シャッター閉動作 → H ミラーダウン → I シャッター・ミラーチャージ、で1サイクルとなる。

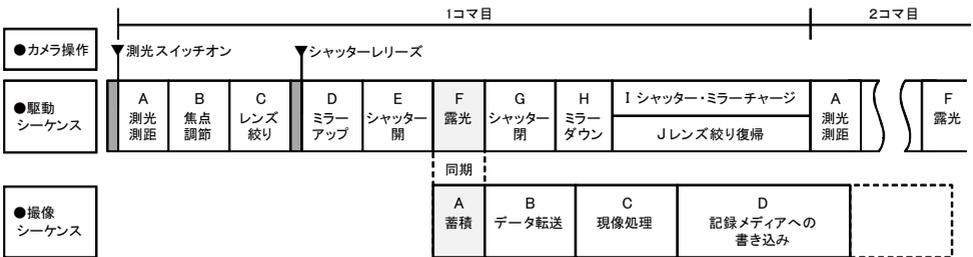


図2・68 連写シーケンス

各行程は、同時またはオーバーラップしながら、1コマ（画像）分の撮影が行われる。仮に連写速度が10コマ/秒だとすると、1サイクル100 msecの所要時間で上記の処理を完了する必要がある。なお、ミラーレスタイプの一眼カメラやコンパクトカメラでは、D、H、Iの一部の行程は不要である。

一方、撮像シーケンスは、A センサ蓄積（露光）→ B データ転送（読み出し）→ C 現像処理 → D 記録メディアへの書き込みで1サイクルとなる。駆動シーケンスと撮像シーケンスは並行して実行され、駆動シーケンス「F 露光（撮像）」過程と、撮像シーケンス「A センサ蓄積（露光）」は、タイミングとして同期していなければならない。

撮像シーケンスの各行程は、設定された記録画質によって処理時間が左右され、処理するデータ量が大きいと、「D 記録メディアへの書き込み」終了までに時間がかかるため、2コマ目の最初のシーケンス「A センサ蓄積（露光）」がスタートできなくなる。このような場合、駆動シーケンスの「F 露光」行程のスタートを、撮像シーケンスに同期させて遅らせる必要がある。

(7) 動画撮影

デジタルカメラは基本的に静止画を撮影するツールであるが、信号処理系の演算速度が速まったことから、本格的な動画撮影に対応した機種が増えている。特に、フルHD（1920×1080画素）やHD（1280×720画素）対応など、ハイビジョンでの鑑賞に耐え得る画質が得られるようになっている。

最近は一一眼レフカメラの動画撮影機能を利用して、映画やドキュメンタリーを制作する動きも報じられている。

(8) GPS

自動車の世界では、GPS 機能を利用したいいわゆるカーナビゲーションが普及している。デジタルカメラでも、この GPS 機能を利用し、撮影場所やその軌跡を記録できるものが登場している。

(9) 無線通信

デジタルカメラは、パソコンやプリンタと接続する機会が多く、ケーブルの抜き差しが頻繁に行われる。昨今、この接続のわずらわしさを一掃する目的から、カメラまたはアダプタに無線通信機能を内蔵し、パソコンやプリンタ間のワイヤレス化を実現したカメラ（アダプタ）（**図 2・69**）が製品化されている。



図 2・69 ワイヤレス対応デジタルカメラ（アダプタ付き）

通信規格は、オフィスなどの無線 LAN で主流となっている IEEE 802.11 b/g (2.4 GHz 帯) などが用いられ、これに対応したパソコンなら通信相手の設定を行うのみで利用可能である。プリンタ側は、USB 端子に専用の受信装置を取り付けることで通信可能となる。

また、SD メモリカードと同等の形状ながら、無線通信機能（無線 LAN : IEEE 802.11 b/g）を内蔵した「Eye-Fi カード^{*3}」と呼ばれるメモリカードが登場しており、このカードに対応したカメラも製品化されている。

2-5-5 規格/ガイドライン関連

(1) DCF

デジタルカメラは、工業会や企業間で話し合いが十分になされる前に市場が拡大したため、記録フォーマットの統一がなされないままスタートした経緯がある。しかしながら、ユーザの利便を考慮し、JEIDA（日本電子工業振興協会：現 JEITA）^{*4}において、異なるメーカー間でのデータの互換が保てるように DCF (Design rule for Camera File system) の制定作業を行い、1998 年 12 月に規格化されている。DCF のディレクトリ構造及びファイル命名規定を **図 2・70** に示す。

^{*3} Eye-Fi カードは米国 Eye-Fi 社の商標です。

^{*4} DCF の管理・メンテナンスは、現在 CIPA に移管されている (CIPA DC-009)。

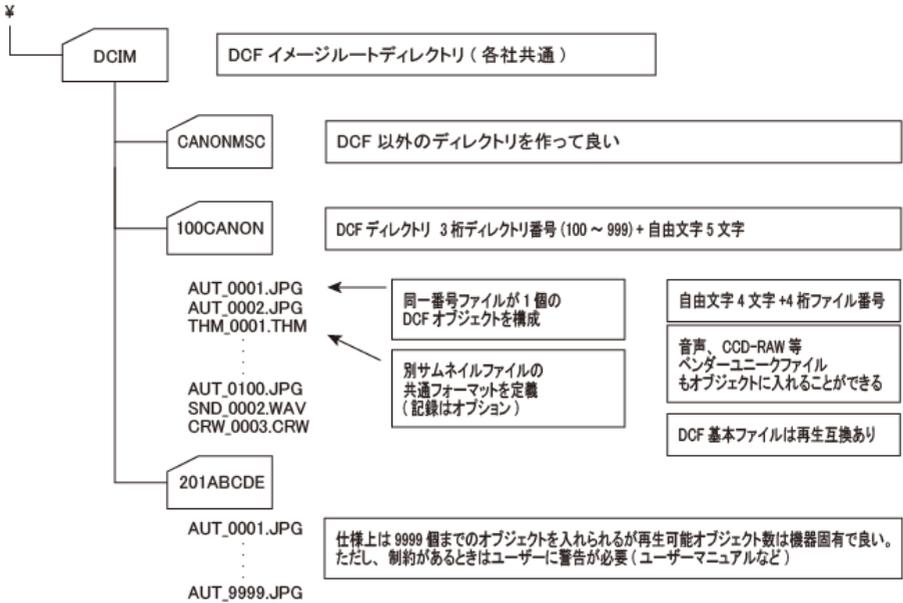


図 2・70 DCFのディレクトリ構造

その後、いくつかの改定が行われ、現在のバージョンは2.0(2010年版)となっている。

(2) DPOF

印刷時の利便性(図2・71)を向上させる目的で、DPOF(Digital Print Order Format)が制定されている。記録された画像の中から、印刷を希望する画像に電子的なタグ(チェックマーク)をつけることで、印刷実行時にはその画像だけを印刷したり、インデックス写真として出力することができる。

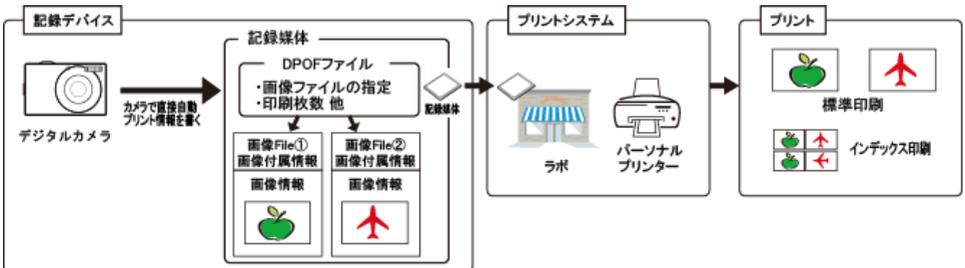


図 2・71 DPOF 概念図

(3) PictBridge

異なるメーカー同士であっても、デジタルカメラとプリンタをケーブル1本でつなぐだけで簡単に印刷できるように、PictBridge(図2・72)と呼ばれる統一規格が2003年2月に提

案されている。

現在は、ほとんどのデジタルカメラやプリンタがこの規格に対応するようになっており、特にホームプリントの利便性が大きく高まっている。

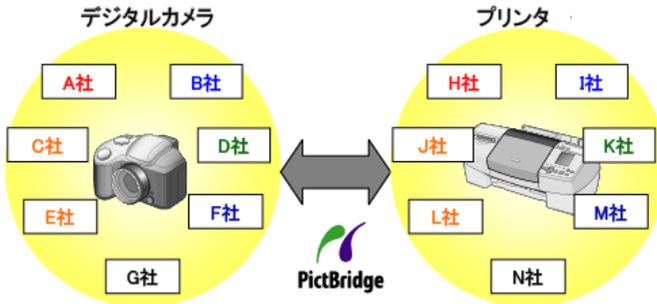


図 2・72 PictBridge 概念図

(4) 電池寿命測定法

電池寿命（撮影枚数）はカメラの性能を表す重要なスペックの一つであるが、2003年12月にCIPA（カメラ映像機器工業会）から、デジタルカメラの電池寿命（撮影枚数）の測定法と表記法に関するガイドライン（CIPA DC-002）が制定されている。

現在は、各社これに基づき測定・表記を行っているため、公平な目で比較できるようになっている。

(5) 解像度測定法

CCDの高画素化にともない、デジタルカメラの解像度も向上しつつある。しかしながら、解像度の測定には官能評価に頼る部分が多く、測定者や測定手段によりその結果に差異の生じることが知られている。

このため、CIPAでは解像度の測定法やカタログへの記載法の検討が行われ、2003年12月にCIPA DC-003として制定されている。

更に、2004年3月には解像度測定用のソフトウェアが公開されており、測定時の人的要因を排除することができるようになっている。

(6) 感度測定法

手振れや被写体振れを低減する目的から、高い感度が設定できるカメラが増えつつあり、「高感度」で撮影できることが大きなセールスポイントとなっている。しかしながら、デジタルカメラの感度測定は、今まで各社独自の測定方法（測定基準）が用いられていたため、各社の発表数値を横並びで比較することは困難であった。

このため、CIPAでは感度の測定法やカタログへの記載法の検討が行われ、2004年7月にCIPA DC-004として制定されている。フィルム感度と異なる点として、デジタルカメラでは、標準出力感度と推奨露光指数の二つの感度測定法が定義されており、この測定法は、2006

年4月にISOの規格にも採用されている。

これにより、公平な比較が可能となるとともに、フィルムとの整合性も高まっている。

1  撮影記録モード	2  再生モード	3  通信モード	4  消去モード	5  一枚消去
6  全消去	7  露出補正	8  音声記録	9  音声付き画像	10  一覧表示
11  プロテクト	12  プロテクト付き画像	13  画質	14  圧縮率	15  ゾーンフォーカス1 (遠距離)
16  ゾーンフォーカス2 (中距離)	17  ゾーンフォーカス3 (近距離)	18  ゾーンフォーカス4 (至近距離)	19  クローズアップ /マクロ	20  テレ(望遠)
21  ワイド(広角)	22  フラッシュ/ストロボ 関連	23  フラッシュ/ストロボ 発光禁止	24  赤目軽減/赤目補正	25  セルフタイマー
26  オープニング	27  クロージング	28  一枚撮り	29  連写	30  多重露出
31  記録画素数	32  カード	33  カード無し警告	34  バッテリーチェック/ 電池残量	35  円筒型電池
36  円形薄型電池	37  手ぶれ補正	38  言語	39  日陰	

図2・73 図記号一覧

(7) 仕様に関する表記

現在、カタログにはカメラの仕様一覧が掲載されており、ユーザがカメラを選択・購入する際に役立つ情報となっている。しかしながら、ここに使われている用語はメーカーによって異なる場合があり、また性能を表す数値なども測定法が同一ではないため、単純に比較することはできない。

このため、CIPA では仕様一覧に使用されるような用語や、性能を表す数値の測定法の統一を図るための検討が行われ、2007年にガイドライン(CIPA DCG-002)として制定されている。

(8) 質量及び寸法の測り方

特に、コンパクトカメラは、小型・軽量を競うことが多く、カタログには少しでも小さく・軽く謳いたい事情がある。このため、各社独自に測定した数値が公表され、必ずしも公平な競争となっていないという指摘があった。

これを是正するために、CIPAにおいて「デジタルカメラの質量及び寸法に関する測定法及び表記法」が議論され、2009年9月に制定されている(CIPA DCG-005)。

注目点としては、今まで曖昧だった突起物の定義が明確になされたことである。

(9) デジタルカメラの図記号

フィルムカメラの時代から、カメラの操作部材にはその機能を表す絵文字(図記号)が併記されていた。

デジタルカメラの時代になり、デジタルカメラ特有の機能が登場すると、従来の図記号では表現できないものが増えてきたことから、これらに対応する図記号(図2・73)が新たに制作され、2009年10月に制定されている(CIPA DCG-003)。

(10) その他の規格・ガイドライン

カメラ映像機器工業会(CIPA)では、企業間の公平な競争とユーザの利便を図るために、様々な規格やガイドラインが制定されつつあるが、将来の製品化を考慮し、「デジタルスチルカメラ用ステレオ静止画像フォーマット」(CIPA DC-006)や「マルチピクチャフォーマット」(CIPA DC-007)が制定されている。

2-5-6 おわりに

(1) 今後の課題

デジタルカメラが主流となった今、各種の証拠写真や証明写真にこれで撮影した画像が使われる機会が増えている。しかしながら、パソコンなどで容易に画像の加工や改竄が可能なために、改竄をできなくする技術や改竄したものを判定できる技術が重要となっている。

現在、警察や司法向けとして、一度記録すると加工や消去ができないSD WORMカードが登場し、これに対応したカメラも発売されている。また、改竄防止のために、電子透かしを用いる方法やハッシュ関数を応用する方法などが提案されており、近い将来、これら改竄防止技術を搭載したデジタルカメラが登場することになる。

また、一度記録媒体を購入すると、フィルム代や現像代、またテレビやパソコンで鑑賞す

ればプリント代が不要になることから写真撮影そのものが気軽になり、プライバシーを侵害する度合いが高まることが懸念されている。この問題に対しては、ハードウェアやソフトウェアでの対応が困難であることからユーザー一人一人の倫理観をいかに啓蒙するかが焦点となる。

(2) 今後の展望

デジタルカメラは、景気の影響もあり、市場の成長が鈍化しつつあるが、撮像素子の高画素化やズームレンズの高倍率化はまだまだ衰えを見せていない。しかしながら、撮像素子に関しては前述のとおり、画素数よりも高感度・高 SN 比に重点をおいた動きもみられる。また、レンズ交換タイプは、ミラーレスタイプなどの登場により、一眼タイプとコンパクトタイプの垣根がとり払われつつある。

更なる低価格化が進む中、これからも市場で受け入れられるデジタルカメラを開発し続けるには、ユーザーズをカメラの仕様として具体化できるだけの技術ポテンシャルや、それを支える技術のブレークスルーが必要となろう (図 2・74)。

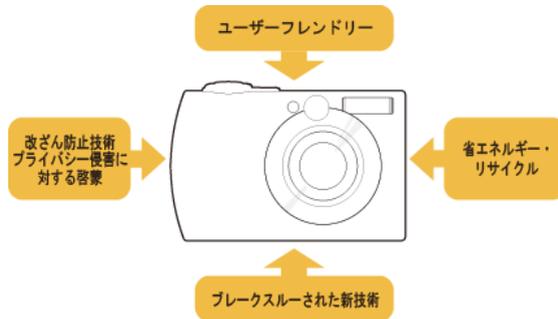


図 2・74 今後の展望

■参考文献

- 1) 木原信敏, “世界初電子スチルカメラ マビカの開発,” 映情学誌, vol.58, no.12, pp.1743-1755, 2004.
- 2) 木原信敏, 他, “マビカシステム,” テレビジョン学会技術報告, TEBS 80-5, pp.25-31, Mar. 1982.
- 3) 東芝, 富士フイルム新聞発表資料, 1989年3月23日.
- 4) 田中繁夫, “電子スチルカメラの現状と展望,” 1989年テレビジョン学会全国大会, P1-16, pp.609-612, Jul. 1989.
- 5) 末高, “液晶デジタルカメラ QV-10,” テレビジョン学会技術報告, vol.19, no.45, pp.13-14, Oct. 1995.
- 6) 愛宕通英, “カメラとレンズの辞典,” 日本カメラ社, 1961.
- 7) 鈴木八郎, “発明の歴史カメラ,” 発明協会, 1980.
- 8) 一般社団法人カメラ映像機器工業会(CIPA), <http://www.cipa.jp/>

■8群-4編-2章

2-6 携帯カメラ (カメラモジュール)

(執筆者：中條博則) [2010年12月 受領]

撮影した写真を携帯電話でメールに添付して送る、今では当たり前になった情景である。カメラ機能搭載携帯電話は2000年11月世界に先駆け日本市場に登場した。映像と通信の融合は思いのほか市場に評価され、**図 2・75** に示すように2010年には10億を超える膨大な市場に成長し、今後さらなる市場拡大が期待されている。わずか10年で確固たる巨大市場を形成したのである。

また、当初はカメラで撮影した画像をメールに添付して送信することが主な目的であったため、画素数もCIF、VGAで十分であった。その後、撮影した画像を印刷するカメラとしての使用が本格化し、現時点では画素数は3~5Mが主流になっている。特に5M以上のものでは、オートフォーカス(AF)機構が標準搭載されている。一時、画素数が急増しデジタルスチルカメラ(DSC)をも包括するのではないかと、とも囁かれたが、世界的に携帯電話市場が拡大する中、コスト要求は益々厳しさを増しており、極端な画素数拡大は進まず、メインストリームとしては8M程度で止まるとの見方が最近では一般的である。

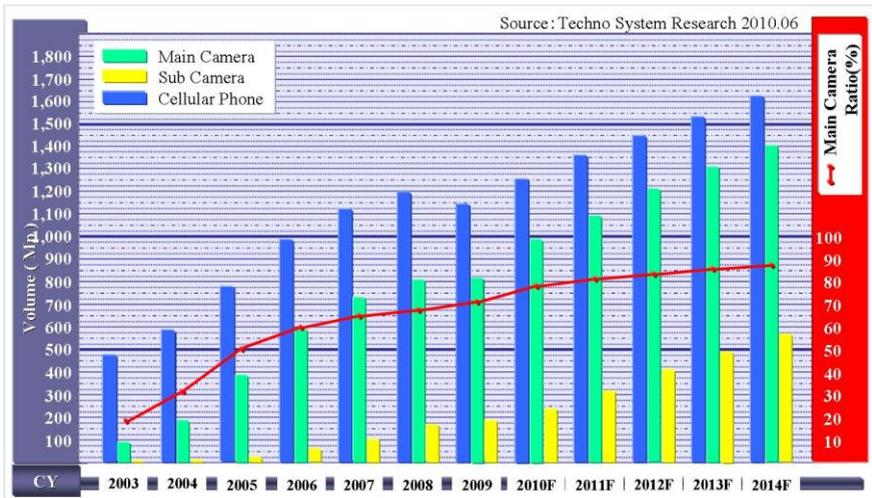


図 2・75 携帯電話とカメラモジュールの市場推移

携帯電話用カメラモジュールでは、魅力的な膨大な市場と引換に、非常に厳しいコスト低減が要求され続けている。そのため、まず心臓部であるイメージセンサの小型化を進める必要があり、それを実現するための最も有効な手段としてセルサイズの小型化が急激に進んでいる。かつては、光学的にみるとコントラストが100%確保できなくなる「回折限界」以下になる $2\mu\text{m}$ より小さいセル開発は好ましくない、との考え方もあった。しかし、その壁も2,3年前に越え、主流は $1.75\mu\text{m}$ 、 $1.4\mu\text{m}$ 、 $1.1\mu\text{m}$ 、…と縮小の一途を辿っている。一方で、

人間の目は、コントラストが10%以上あれば明暗の差を判別できると言われており、その面からみると必ずしもコントラストを100%確保する必要はない。とはいえ、理想状態でもコントラストが100%確保できないのであるから、レンズの収差は可能な限り低く抑える必要があり、より高度なレンズ設計手法が必要となる。また、レンズ製造上発生する複屈折も解像度を低下させる一因となるため、低複屈折が実現可能なレンズ製法を追求することが重要となる。また、セルサイズが小さくなると、信号量が減少し感度低下が起こるが、裏面照射(BSI: Back Side Illumination) センサなど新たな技術の開発により高画質を確保しながらセルの縮小化は進んでいる。

高率なコストダウンの継続は、またカメラモジュールの構造設計・製造技術にも大きな変遷をもたらす。表面実装技術(SMT: Surface Mount Technology)、半導体組立技術(COB: Chip On Board)、光学組立技術、洗浄技術、接着技術など多岐にわたる高度な製造技術が必要とするうえ、本格的なクリーンルーム内での作業が必須となる従来の「組立方式」のカメラモジュールでは、すでに市場のコスト要求を満たすことは非常に難しくなっている。一般に、開発技術でも生産技術でも、「要求仕様が、ある臨界点を越えた瞬間」従来の技術ではその要求を満たすことは不可能となるものである。要求仕様には、性能だけでなくコストも含まれている。今まさに、この閉塞状況をブレイクスルーするための「技術」を必要とする段階になっている。その技術とは、カメラモジュールのリフロー化である。リフロー仕様のカメラモジュールでは、構成部品点数を大幅に削減できるメリットがあるとともに、生産技術面でもSMT、COB、洗浄技術は不要であり、またCSP(Chip Scale Package)仕様のイメージセンサを基本とするため、本格的なクリーンルームも必要としないなど、製造スペースの削減、設備投資の抑制などの面でもメリットが大きい。

リフローカメラモジュールを低コストで高効率に量産できる技術は非常に難易度の高いものであったが、集合レンズ(WLO: Wafer Level Optics)用の新規樹脂開発・製造技術、カメラモジュールの集合組立方式(WLCM: Wafer Level Camera Module)、集合レンズ、集合カメラモジュールの無洗浄個片化技術などの要素技術が確立されたことにより、いよいよ本格化が始まる段階になっている。

本格リフローカメラモジュールの登場により、今後更なる規模拡大が期待される反面、従来の組立方式のカメラモジュールでは採算性が危惧される携帯電話用市場において、健全な事業展開を進める工夫ができるようになる。また、カメラモジュールはリフロー化により撮像素表面実装部品となるため、携帯電話にとどまらず、より多くの製品に汎用的に採用でき、低コストの恩恵が多く製品にもたらされることになる。

2-6-1 構成

カメラモジュールには様々な仕様がある。それらをまとめて図 2-76 に示す。まずイメージセンサの仕様は、大きく二つに分類できる。一つはISP(Imaging Signal Processor)機能までを含みYUV/JPEGなどの信号形式のパラレル信号(またはシリアル信号)を出力するタイプ、もう一つはセンサ部のみからなり、RAWデータをシリアル信号(またはパラレル信号)で出力するタイプである。また、前者はセンサ部とISPが1チップ構成になっているものと、別々のチップで構成される2チップタイプに分かれる。

カメラモジュールとしては、このイメージセンサの分類に沿って(1)ISP内蔵タイプ、

Through Silicon Via)などの技術により、電極がイメージセンサ裏面に引き出されイメージセンサ上に接続用のはんだボールが搭載される。そのため、SMDを使用しない回路設計が必要となる。

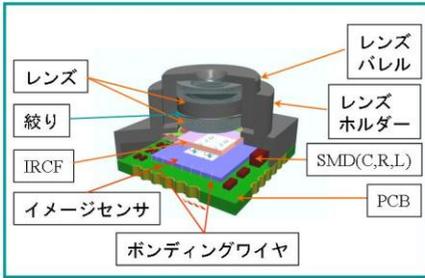


図 2・77 従来製法カメラモジュールの構造例

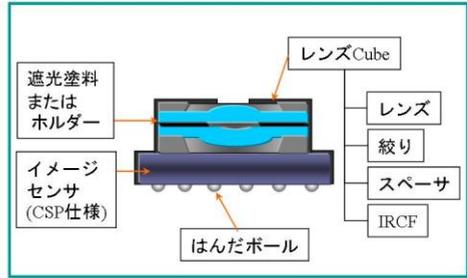


図 2・78 リフローカメラモジュールの構造例

また、レンズは WLO, 絞り, スペーサを積層・接着したのち個片化したキューブ状のレンズ ASSY が基本単位となる。

図 2・78 では、このレンズキューブと CSP 仕様のイメージセンサの二つの部品で構成される。WLCM は、周辺部がすべて透明となるため、遮光用のホルダまたは遮光塗料などで内部への光の侵入を防止する必要があるため、この機能をホルダで行うとしても、部品点数は 3 点でしかない。

表 2・3 従来製法とリフローカメラモジュールの比較

	従来製法カメラモジュール	リフローカメラモジュール
Number of the parts	7	3
Limit Dimensions	4.5 x 4.5 mm (これより小さいと組立不可能) Image Sensor Size : 2.5 x 2.5mm)	2.5 x 2.5 mm (Ball Pad Neck)
SMT	X : 必要	○ : 不要
COB	X : 必要	○ : 不要
Clean Room	X : < Class100	○ : > Class1000
Optical ASSY	X : 必要	○ : 不要
洗浄技術	X : 必要	○ : 不要

従来製法とリフローカメラモジュールの差異を表 2・3 に示す。従来製法の部品点数は、レンズ、SMD、ボンディングワイヤは 1 点とカウントした。また、リフローカメラモジュールでは、レンズは積層されて一つの部品になるため、レンズキューブは 1 点とカウントしている。

更に、遮光技術については印刷で行う方式も可能であるが、ここでは遮光用のレンズホルダを想定し、部品点数は 3 とした。遮光を印刷で行う場合は、部品点数は 2 となる。

次にモジュールの限界サイズだが、リフロー仕様ではイメージセンサのサイズがカメラモジュールサイズになる。現在の量産レベルで接続用はんだボールが配置できる限界サイズは 2.5×2.5 mm 程度であるため、リフローカメラモジュールはこのサイズが大量生産可能な小型化の限界サイズとみなせる。一方、従来方式のカメラモジュールは、2.5×2.5 mm のイメー

ジセンサを使用した場合のサイズは 4.5×4.5 mm 程度である。従来製法のカメラモジュールは、SMTを使用した自動装着はできないため、マニュアルでの装着となる。そのため、極端な小型品は取扱いが困難になるため、その面からもこの程度のサイズが限界と考えられる。

生産技術については、すでに一部ふれたが両者の間には大きな差がある。従来製法では必須であった SMT, COB, オプティカル ASSY, 洗浄技術はリフローではすべて不要である。更に、製造環境も従来製法のカメラモジュールでは、ベアチップを扱う工程があるため、半導体前工程に近いクラス 100 程度の本格的なクリーンルームを必要としたが、リフローカメラモジュールでは、イメージセンサが CSP 仕様となっているため、ダストの影響は少なく、クラス 1000 程度で十分である。

このように、リフローカメラモジュールは部品点数が非常に少ないため、組立工賃が廉価になり、更に製造技術的な範囲も狭いため、設備投資も少なくすむメリットがある。しかし、以前はリフロー用耐熱レンズのコストが従来品に比較して大幅に高かったため、リフローカメラモジュールは割高になっていた。この点は、耐熱レンズを廉価に製造できる新たな樹脂材料・製造方法・生産設備がその後開発され、量産体制も整いつつあり、リフローカメラモジュールは従来製法のものより廉価にできる体制が確立しつつある。

2-6-2 レンズ

耐熱性を必要としない従来製法のカメラモジュールのレンズ材料としては、熱可塑性樹脂が一般的である。熱可塑性樹脂は、インジェクション成型が一般的であり、量産性に優れ、また形状の自由度が高い。レンズの収差低減の有効な解決策として、レンズを非球面のメニスカス形状にする手法があり、インジェクション成型方式では非球面メニスカス形状の実現は容易である。主な樹脂としては、アッペ数が高めの COP (シクロオレフィンポリマー)、アッペ数が低めの PC (ポリカーボネート) などがある。複数のアッペ数の材料が必要なのは、アッペ数の異なる素材のレンズの組合せで色収差の低減を図るためであり、セルサイズがレンズの回折限界以下の領域に突入した現在では、より重要な要素であると言える。

レンズの回折限界は、光の波動性の影響から起こるものであり、光が点に収斂できず、ある大きさをもったディスク状 (エアリーディスク) にしか絞り込めない現象をいう。

エアリーディスクは、一つ目の円の直径が $2\rho_0 = 2 \times 1.2196 \lambda F$ で表される、中心が明るく、周辺が暗い同心円の連続となる。ここで、エアリーディスクの中心と円周部は最高輝度と最低輝度となる。そのため、エアリーディスクの半径 ρ_0 はレンズの分解能を表す。セルサイズが ρ_0 と同じ寸法の場合、コントラストが理論的・理想状態で 100% 確保できる最小サイズとなる。例えば、F 2.8 のレンズの場合、550 nm の緑色の光では、分解能は $1.86 \mu\text{m}$ となる。携帯電話用では F 2.8 程度が標準的な明るさになるため、理想状態でコントラストが 100% 確保できるセルサイズは $1.86 \mu\text{m}$ 近辺にあり、これ以下のセルサイズでは最善の状態でもコントラストは 100% 確保できないことを意味する。

エアリーディスクをフーリエ変換すると空間周波数と MTF の関係が導かれる。F 値をパラメータとした結果を図 2-79 に示す。 $1.4 \mu\text{m}$ セルサイズで F 2.8 のレンズの場合、コントラストは 30% 程度確保できているため、解像できている。 $1.1 \mu\text{m}$ は同図の範囲から外れているが、人間の目が濃淡を判別できる 10% は確保できているようである。ただし、この図は光軸上のデータを表す。像高が高くなると収差が増加するため、この図より MTF は下がる。

ここで、F値を小さくすれば、同図からも分かるように空間周波数の高周波領域でMTFが上がり、解像度は上昇する。しかしF値が小さくなると、収差は増加し、焦点深度も浅くなる。そのため、像高が高い領域での解像力はF値の大きいレンズより悪化する。更に、焦点深度が浅くなることにより、量産工程でのフォーカス調整が難しくなり生産性、歩留まりの悪化につながる。これらの影響も加味したうえでF値を決定しなければならない。量産性と性能とコストのバランスを考慮すると、F値は2.4程度が限界と考える。また、この図は複屈折がないことを前提としており、インジェクション成型の場合のように応力複屈折が大きくなる製法は、微細セルのイメージセンサ用レンズには適していない。

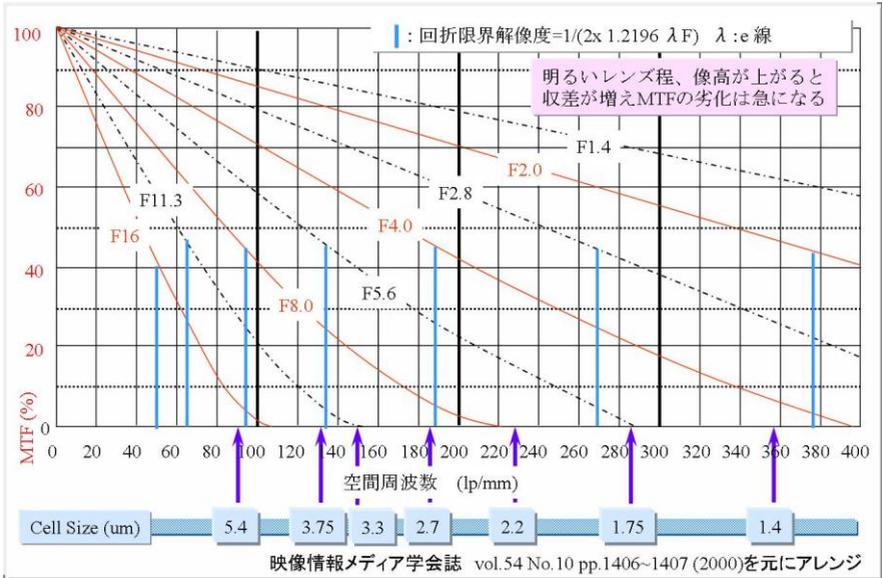


図 2・79 F値をパラメータとして空間周波数とMTFの関係

次に、リフローカメラモジュール用のレンズについて説明する。耐熱性のある材料としては、ガラスレンズが思い浮かぶ。しかし、従来製法のガラスレンズは高額であり、顧客の要望するコストのカメラモジュールを実現するのは非常に難しかった。低価格を実現できると期待されたハイブリッドレンズが2007年半ばに登場し、多くのレンズメーカーがこの方式を開発してきた。

このレンズは、平板ガラスをコアとしレンズ部のみUV硬化樹脂で構成するものである。耐熱性のあるUV硬化樹脂は、従来の熱可塑性樹脂の10~100倍の重量コストであり、使用量が少なくすむこの方式は、コスト的に有利になるはずであった。また、ウェハ形状で一括成型(WLO: Wafer Level Optics と呼称)できるため、生産性が高くその面でも期待は高まった。しかし、コアガラスがあることで形状の自由度が低くメニスカス形状が造れなかったり、ガラスの反りで周辺部の歩留りが悪かったり、樹脂が柔らかいためレンズ周辺のコバが一体成型できずスペーサが必要になったり、結局コスト、品質で目標を満たせず市場全体の

10%程度のシェアになっている。しかも、2010年の後半には、ハイブリッドレンズ事業からの撤退を表明するメーカーも出始めるなど、このレンズは市場から消え去る方向にある。

リフロー用レンズとしてはほかに熱硬化樹脂のインジェクション製法のものも登場したが、生産性が低くまたレンズ材料が高額であることから、目標コストが達成できず、いずれ市場から消え去る運命にある。2010年現在の主流は、移動金型式ガラスモールドレンズ (Glass Mold Lens) である。これは、ガラスレンズを低コストで実現すべく製法を工夫したものである。しかし、所詮ガラスである以上、要求コストの達成は難しく、レンズ枚数を減らしてコスト低減をしている状況である。これでは、メインカメラまで本格普及することはできない。

リフローレンズの本命と目されるのは、2011年から量産を開始するキャストイングリズ (Casting Lens) である。このレンズは、有機・無機ハイブリッド材を使用し、樹脂硬度が4~5 H以上あるためコバが一体成型できる。そのため、スペーサが必要なくコスト面で有利となる。また、両面レンズが1回の成型でできる (ハイブリッドレンズは片面ずつ) ため、コスト・性能・品質すべての面で有利である。更に、低圧成型であるため複雑折が著しく低く、微小セルのイメージセンサに最適な特性を有している。また、従来のレンズでは考えられなかった超薄レンズ (部分的に0.15 mm程度) が製造できるため、最近のカメラモジュールの必須特性である低背を実現するうえで非常に有利である。かつ、WLO が実現できるため、生産性が非常に高く、設備投資額が少なくすむうえ、設備の設置面積も従来製のレンズよりはるかに少なくすむ。

表 2・4 に示すように、キャストイングリズを使用した S-WLCM は従来製のカメラモジュールより、レンズ材料費、設備投資総額、組立費すべての面で理論的に廉価にできる。今まで、リフローカメラモジュールは割高と思われていたが、その常識を覆す画期的な製法と言える。

表 2・4 従来製法カメラモジュールとキャストイングリズを採用したリフローカメラモジュールのコスト比較^{*5}

	従来製法カメラモジュール	リフローカメラモジュール*
Number of the parts	10	2 (* w/o Shade)
Assemble Cost	High	Low
Relative Lens Material cost :VGA	100	76 (*AJI's Casting Method)
Relative Lens Machine cost :VGA	100	25 (*AJI's Casting Method)
Image Sensor Cost	100	About : 120~130 (VGA) w. TSV
Other Material Cost	Holder+Barrel+IRCF+B/W+PCB	0
Total Cost	High	Low

2-6-3 カメラモジュールの特徴

携帯電話用カメラモジュールは、当初携帯電話自体の普及率を加速する有望な機能と期待された。そのため、カメラをデザインの中心におく携帯電話が2005年ごろまでは、主流を占めていた。しかし、その後、携帯電話の普及が加速するにつれ、様々な機能が搭載されるよ

*5 表 2・4 では AJI(株)の Casting Lens 製法の場合の数値を示す。

うになっている。よって、現在では 10 M を超える画素数のカメラモジュールを搭載する携帯電話以外では、カメラモジュールはデザイン上目立たないよう小型品が要望されている。更に、コスト低減要求も厳しいため、その面でも小型化は重要な要素である。従来製法のカメラモジュールでは、セルサイズを縮小したうに高密度設計も行う必要がある。しかし、同サイズのイメージセンサでは、表 2・3 に示すように、小型化を実現するにはリフローカメラモジュールの方がはるかに有利である。キャストイングレンズが本格化し、コストでも従来のカメラモジュール以下になれば、小型化の主流はリフローカメラモジュールに移行していくだろう。

また、最近の携帯電話は薄型化も非常に重要な要素となってきた。携帯電話を薄型にするには、カメラモジュールも低背品が強く求められている。特に、製品が 2 分割になるクラムシェル形 (Clamshell Type)、スライド形 (Slide Type) のフロントに搭載される自分撮り用のサブカメラには、高さが 2 mm 以下の薄型カメラモジュールが求められるようになっていく。最も薄いものでは、図 2・80 に示すように LCD パネルの厚さに揃えた高さ 1 mm の要求もある。VGA では、1.1 μm のセルサイズのイメージセンサを使用すれば、この高さは理論的には実現可能である。しかしその際、レンズ部の厚さは 0.5 mm 程度しかなく、この空間に 2 枚レンズを収めるには超薄型レンズが必要となる。現在、この薄さを実現できるレンズはキャストイングレンズしかない。

このように、小型化、低背化を実現するにはリフローカメラモジュールが断然有利であり、今後のコストダウンの進展次第では、カメラモジュール市場でのリフロー化が急激に進むと予測される。



図 2・80 超薄型カメラモジュール

2-6-4 高密度実装

従来製法のカメラモジュールでは、SMDが複数個使用され、ワイヤボンディングなども必要となるため、超小型部品の採用や高密度設計が必要となる。しかし、それらはコストアップにつながる要因となるため、従来製法でカメラモジュールの小型化を進めることは、キャスティングレンズを使用したリフローカメラモジュールとのコスト差がますます拡大することになる。よって、今後のカメラモジュールでは、リフロータイプの高密度実装技術のトレンドが重要となる。

しかし、表2・3、表2・4で示したように、リフローカメラモジュールの特徴はSMDを使用しない。一見、高密度実装技術が不要な製品に見えるが、実際にはそうではない。リフローカメラモジュールが本格化していく中、低コストのメリットは固定焦点カメラモジュールにとどまらず、AF機能搭載タイプなどの多機能品にも展開していく。その際には、アクチュエータドライバやDDコンバータなどが必要となり、当然のことながらSMDも何点か必要となる。この際、これらの追加部品をPCB上に配置したのでは、カメラモジュール自体が大きくなってしまふ。そこで、図2・81に示すように多機能リフローカメラモジュールでは、S-WLCMに部品内蔵基板をスタックした構造が一般的になると予測する。部品内蔵基板は、2006年にカメラモジュールに採用され、当初、C、R、Lなどのパッシブ部品が主流だったが、2010年現在、アクティブ部品の実装も可能になっている。また、部品を高さ方向に積み上げることになるため、カメラモジュールの低背化では不利になるが、SMDの薄型化、小型化の推進、アクティブ部品のフリップチップ実装などの技術によりPCB厚さの薄型化技術は日々進化している。

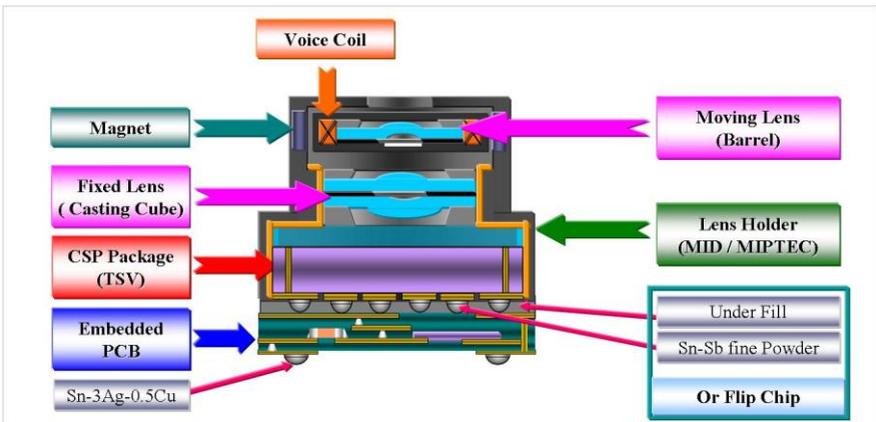


図2・81 AF付リフローカメラモジュールでの高密度実装の例

2-6-5 まとめ

携帯電話の世界的な潮流は、薄型化、多機能化、低価格化である。これに搭載されるカメラモジュールは、これらトレンドに沿ったものでなければならない。薄型化、多機能化は非常に重要な要求仕様であるが、それが低コストで実現できなければ、顧客の要求を満たすこ

とはできない。多くの製造技術を必要とする従来製法のカメラモジュールでは、これら要求を健全な事業を確立しつつ実現することは非常に困難になってきている。それを打開できるのは、リフローカメラモジュールである。

リフローカメラモジュールの方が高額である、という世間の思い込みもあるが、部品点数が少なく、組立はほとんど自動化され、製造に必要な製造技術の種類も少なくすむ。しかし、高額で生産性が低く、性能も十分でない耐熱レンズがリフローカメラモジュールの進展を阻害していた。だが、これらがクリアできるキャストインングレンズの本格量産が2011年からいよいよスタートする。直材も廉価、設備投資も抑制可能、生産性も向上する、製造技術の範囲も狭く、本格クリーンルームは不要である。これは、従来のカメラモジュールをすべて置き換える可能性をもった画期的な製品である。

また、リフローカメラモジュールの本格化により、車載用、監視カメラ用、パソコン用など多くの製品に「汎用的な撮像系 SMD」として展開することが可能となる。また、汎用化の進展により、今後新たな撮像系機能を必要とする巨大市場が登場する可能性も生み出せるだろう。

■参考文献

- 1) 中條博則, “「物造りの原点」カメラモジュール事業考察【3】,” ホンニナル出版, 2010.
- 2) 中條博則, “「物造りの原点」リフローカメラの最前線,” ホンニナル出版, 2009.
- 3) 中條, 笹谷, 吉田, “最新リフローカメラモジュール技術,” トリケップス, 2010.
- 4) 電子ジャーナル(編著), “2011 カメラモジュール徹底解説,” 電子ジャーナル, 2010.