



◆ イントロダクション

イメージ・センサの性能を100%引き出す 設計テクニック&ノウハウ集

本書の構成

本書では、これからカメラを設計・評価する技術者のために、イメージ・センサを搭載するハードウェアの設計ノウハウについて解説します。本書の流れを大まかに示すと、

- **第1部** イメージ・センサ素子の働き
- **第2部** イメージ・センサ出力信号の種類と相互変換
- **第3部** イメージ・センサの駆動技術と信号処理
- **第4部** 画質を左右するレンズの基礎とセンサの取り付け位置
- **第5部** 画質の改善と画像評価技術
- **第6部** ドライブ・レコーダに見るカメラの設計事例

の6部で構成しています。六つの技術の関係を図1に示します。

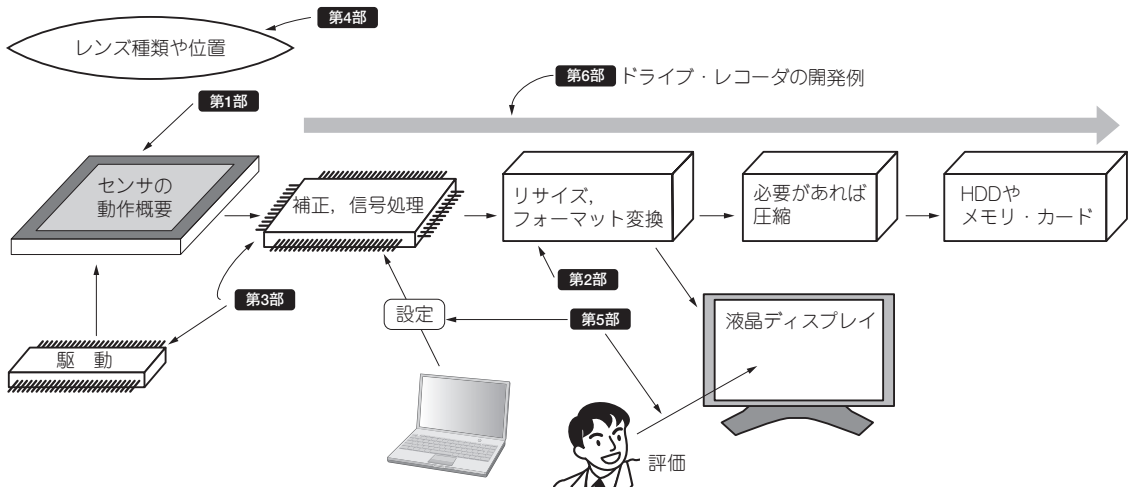
■ **第1部** は、イメージ・センサ素子の構造や大まかな動作について解説します。第2部以降の説明を理解するために、ぜひとも知っておきたい基礎知識です。

■ **第2部** では、信号処理ICまたは信号処理ブロックが出力するビデオ・データの並び順と、その伝送規格について整理します。画像圧縮エンコーダ、高速メモリ、CPUなど、後段にどんなLSIを接続するにしても、必ず理解しておかなければならない知識です。

■ **第3部** では、イメージ・センサが出力する生データの信号処理について解説します。CMOSイメージ・センサでは、同一チップの内部にこの信号処理ブロックを搭載している場合もあります。ここでは生のデータを、人の目の特性に合わせて処理し直すことで、なじみのあるカメラ画像に変換します。

■ **第4部** では、レンズの基礎知識を紹介します。ふだん、イメージ・センサが取得した画像をいかにきれいに写すかを検討している皆さんも、イメージ・センサに入る画像・光に目を向ける機会は少ないと思います。さらに、レンズで決まるイメージ・センサの取り付け位置、距離の関係についても説明します。

■ **第5部** では、製作または入手したカメラ、イメージ・センサの画像評価方法について解説します。どのような撮影対象を、どのような尺度で、どのような方法を用いて評価するのかを説明します。



〈図1〉カメラを作るために必要な技術要素

CMOSカメラ・モジュールから取得する画像を、夜景、屋外、屋内などの撮影状況に合わせて、レジスタ値を変えることで最適に調整する方法についても説明します。

第6部では、自動車に搭載するドライブ・レコーダの設計事例を紹介します。システム制御役のFPGAは、イメージ・センサから常時画像を取得し、リサイズしたり、信号の形式を変換したりしたあと、SDカードに画像を書き込み続けます。

カメラ開発の進め方と本書の対応

◆ カメラ・モジュールを入手

イメージ・センサを搭載したカメラ・モジュールを、開発用に数個からでも購入できるようになりました。しかし、カメラ・モジュールを使いこなすのは、決して簡単ではありません。おおよそ次のような検討が必要です。

- システムに必要なハードウェアを見積もる (→第17章)
- カメラ・モジュールの選択 (→第18章)
- きれいな画を取り出すための設定 (→第12章)
- カメラ・モジュールから受け取ったデジタル・データを、後段のLSIが必要とする信号フォーマットに変換する (→第3章, 第4章, 第5章)
- カメラとしての画像評価 (→第13章, 第14章)

◆ CMOSイメージ・センサを入手

CMOSイメージ・センサは、必要な画像処理を同一チップ内部で行っているため、取り出した画像をそのまま利用できます。JPEGエンコーダなどを搭載している場合もあります。従って、求められる知識は主に次のとおりです。

- CMOSイメージ・センサの動作概要 (→第1章)
- レンズの種類と選び方, 取り付け位置 (→第10章, 第11章)
- きれいな画を取り出すためのセンサ設定 (→第12章)
- CMOSイメージ・センサ出力の信号処理 (→第8章)
- カメラ・モジュールから受け取ったデジタル・データを, 後段のLSIが必要とする信号フォーマットに変換する (→第3章, 第4章, 第5章)
- カメラとしての画像評価 (→第13章, 第14章, 第15章)
- 皆がきれいな写真を撮影できるための画像処理 (→第9章)

◆ CCDイメージ・センサを入手

一昔前のCCDイメージ・センサを動かすには, アナログ回路に関する知識が必要でした。また, 出力信号もアナログであることが多く, いわゆるフロントエンドの設計にもノウハウが必要でした。近年は周辺回路の1チップ化が進み, アナログ回路の熟練者がいなくても扱えるようになりました。求められる知識は主に次のとおりです。

- CCDイメージ・センサの動作概要 (→第2章)
- レンズの種類と選び方, 取り付け位置 (→第10章, 第11章)
- CCDの制御技術と駆動回路設計 (→第6章)
- CCDイメージ・センサ出力の信号処理 (→第7章)
- きれいな画を取り出すためのセンサ設定 (→第12章)
- カメラ・モジュールから受け取ったデジタル・データを, 後段のLSIが必要とする信号フォーマットに変換する (→第3章, 第4章, 第5章)
- カメラとしての画像評価 (→第13章, 第14章, 第15章)
- 皆がきれいな写真を撮影できるための画像処理 (→第9章)

● 監視カメラやムービー・カメラを開発したい

実はイメージ・センサを搭載するハードウェアの構成は, 監視カメラ, ドライブ・レコーダ, 家庭用ムービー・カメラ, いずれをとっても大差ありません。基本的には図1に示すような信号の流れで記録媒体に蓄積されたり, ディスプレイに映し出されたりしています。求められる知識は主に次のとおりです。

- 動画像をメモリ・カードに記録する技術要素を整理する (→第16章)
- 動画像記録システムのハードウェア構成 (→第17章)
- カメラ・モジュールと記録媒体の選び方 (→第18章)
- 画像処理システム仕様策定のポイント (→第19章)
- FPGAによる画像処理回路の設計 (→第20章)

このように本書は, イメージ・センサを搭載した製品を作る人のために, 必要となるノウハウを網羅しました。

 第4章

デジタル・ビデオ信号の伝送に必要なデバイス間の取り決め

BT.601とBT.656の詳細

岩澤 高広
Takahiro Iwasawa

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

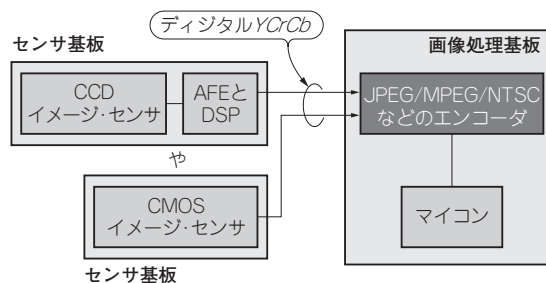
CCDイメージ・センサ用のカメラ信号処理ICやCMOSイメージ・センサの後段に接続されるJPEG/MPEG/NTSC/PALエンコーダ(図4-1)の標準的な入力フォーマットは、ITU-R BT.601で規定されるデジタルYCrCb信号です。

ここでは、もっとも基本的なデジタル信号の出力フォーマットであるITU-R BT.601とBT.656について、ITUの規格書をもとに解説していきます。

ITUとは、International Telecommunication Union(国際電気通信連合)の略で、通信方式の標準化団体として三つの部会から成り立っています。

- R…Radio Communication(無線通信部門)
- T…Telecom Standardization(通信標準化部門)
- D…Telecom Development(通信開発部門)

BT.601, BT.656も-Rの無線通信部門に属している規格です。



〈図4-1〉 JPEG/MPEG/NTSCエンコーダとイメージ・センサの接続例

4-1 BT.601は有効画素数や量子化レベルを規定する

● カメラ・モジュールの出力に多いBT.601

BT.601は標準テレビ信号のスタジオ機器向けに制定された規格です。スタジオで使われる機器の整合性を高め、NTSC/PALの両方式に対応します。これにより、テレビ放送で使われるコンテンツの共用化を実現できました。また、BT.601の信号レベルの規定は、JPEG/MPEGといった画像圧縮/伸張方式の規格にも採用され、標準化に貢献しています。

現在、携帯電話用に開発されているCCD/CMOSカメラ・モジュールについても、YUV形式で出力される場合は、BT.601方式に準拠している場合が多いです。しかし、出力される信号の周波数、ブランキング期間、有効ライン数、インターレース方式かプログレッシブ・スキャン方式の出力になるかは、センサの駆動方式に依存する場合が多く、BT.601に準拠していない場合が多いようです。特に携帯電話用カメラなどの信号周波数は、センサのフレーム・レートに依存する場合が多く、規格に準拠した周波数やブランキング期間のタイミングで使うことはあまりありません。

現在のBT.601は、BT.601-5として規定されており、アスペクト比が4:3と16:9の両方をサポートした規格になっています。サンプリング周波数も13.5MHzと18MHzの二つの規定を含みます。

● アナログRGB, アナログYUV, デジタルRGBからデジタルYCrCbを得る

BT.601の信号変換の式は、アナログRGB信号(E_r , E_g , E_b)、アナログYUV信号(E_y , $E_r - E_y$, $E_b - E_y$)、デジタルYCrCb信号(Y , Cr , Cb)で記載されています。それぞれはマトリックス変換が可能で、信号レベルの規定を行っています。

アナログ信号 E_r , E_g , E_b は、信号振幅を1.0~0として正規化して扱います。デジタル信号 Y , Cr , Cb は8ビットで量子化して扱います。規格の中には一部、10ビットの記載がありますが、8ビットを整数部、残り2ビットを小数部として扱っています。

● アナログRGB→アナログYUV

まず、アナログ信号 E_r , E_g , E_b を、アナログ信号 E_y , $E_r - E_y$, $E_b - E_y$ へ変換します。ここで輝度信号を E_y 、色差信号を $E_r - E_y$, $E_b - E_y$ とします。

$$\begin{aligned} E_y &= 0.299E_r + 0.587E_g + 0.114E_b \\ (E_r - E_y) &= E_r - 0.299E_r - 0.587E_g - 0.114E_b \\ &= 0.701E_r - 0.587E_g - 0.114E_b \\ (E_b - E_y) &= E_b - 0.299E_r - 0.587E_g - 0.114E_b \\ &= -0.299E_r - 0.587E_g + 0.886E_b \end{aligned}$$

表4-1にそれぞれの色におけるマトリックス係数をまとめています。

● アナログYUV→正規化されたアナログYUV

アナログ信号 E_r , E_g , E_b が、正規化された1.0~0の信号であるとする、輝度信号 E_y は1.0~0の値を取るのに対し、 $E_r - E_y$, $E_b - E_y$ はそれぞれ、+0.701~-0.701, +0.886~-0.886の値を取ることになります。

デジタル・ビデオ信号を観測して理解を深めよう

オシロスコープで観る YUV, RGB, RAW, BT.656の波形

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

CMOSイメージ・センサ(以降、CMOSセンサ)は、信号処理回路をワンチップに集積できることが大きな特徴です。これにより小型化、低価格化、低消費電力化が可能になります。そのため、CMOSセンサは、カメラ付き携帯電話やウェブ・カメラなどに搭載され、広く普及するようになりました。

実際にCMOSセンサをロボットなどに搭載しようとする時、大きな壁にぶつかります。それはCMOSセンサの信号出力がデジタル・データであること、複数の映像フォーマットがあること、走査周波数や同期周波数、同期信号の作り方の違いにより、そのままではモニタに接続できないことなどです。

そこでCMOSセンサの出力フォーマットの種類とその特徴を調べ、液晶ディスプレイやSDメモリーカードなどと接続するときに、どのフォーマットが適しているかを、実験をまじえながら考えていきましょう。

● 測定に利用したカメラ・モジュールの概要

写真5-1は今回の実験に使ったカメラ・モジュールKBCR-M04VG(シキノハイテック)の外観です。図5-1にこのカメラの内部ブロック構成を示します。総画素数640×480(VGA)の1/4インチCMOSセンサを搭載しています。低照度でもS/Nの良い画像が得られ、各種の自動調整機能を搭載し、画面サイズの種類が多いことなどが特徴です。

フレーム・レートは最大60フレーム/sなので、フレーム・メモリを使わなくても、簡単な処理でVGAモニタに接続できます。出力データ幅は8ビットですが、RAWモード時には10ビットに拡張されます。

● カラー・バー出力を利用してフォーマットを調べる

使用したカメラ・モジュールに搭載されているCMOSセンサには、カラー・バー出力のオプションが用意されています(写真5-2)。これを利用して各フォーマットの波形を観測してみましょう。

CMOSセンサのカラー・バー出力をモニタに映すと、写真5-2のように左から白、黄、シアン、緑、マゼンタ、赤、青、黒の8本の帯が現れます。

カラー・バーは、ビバイド・カラーを組み合わせたもので、以下に述べるように波形を見ただけで色が推定できます。また、右方向に行くにつれて輝度が階段状に低下することも特徴で、カラー・ビ

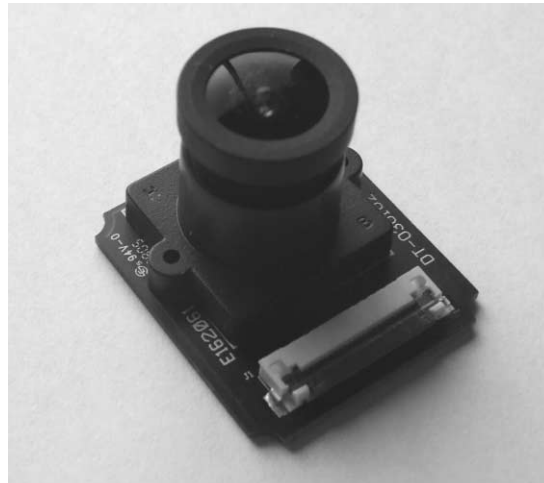
デオ信号の測定には欠かせないものです。なお、ビバイド・カラー (vivid color) とは、赤100%、青100%、緑100%の色、またはそれら二つの混合によって作られた色、および白と黒のことで、

5-1 画像情報の圧縮に適したYUVフォーマット

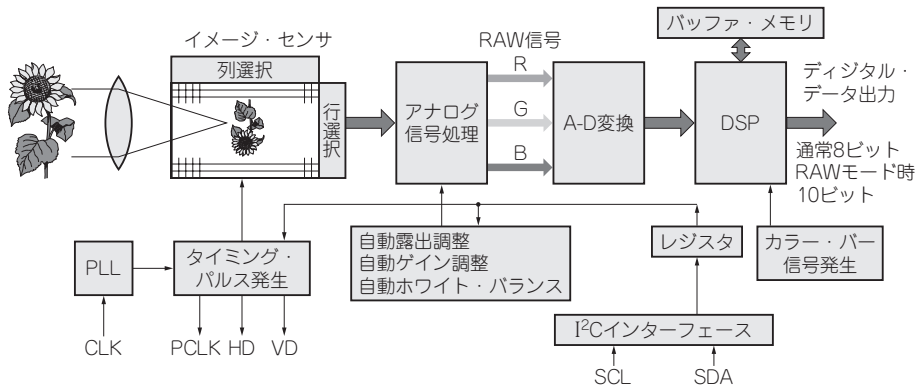
CMOSセンサの出力フォーマットには、YUV, RGB422, RGB565, RGB555, RGB444, RAW RGBなどがあります。これらのフォーマットはどのようなものでしょうか。また、波形はどのような形でしょうか。

CMOSセンサの出力は、デフォルトではYUVフォーマットとなっているものがほとんどです。パソコンの世界がRGBフォーマットであるのに対し、テレビジョンの世界においては伝統的にYUVフォーマットを採用しています。これは現在の地上デジタル放送も変わりありません。

YUV信号は、輝度信号Yと色差信号UおよびVから構成されます。Uは $R - Y$ 、Vは $B - Y$ のように、お



〈写真5-1〉
実験に使ったカメラ・モジュール
「KBCR-M04VG」



〈図5-1〉 使用したカメラモジュールの内部構成
この機能すべてがワンチップに集積されている

ノイズや感度、画作りに大きく影響する レンズの基礎と選び方

小山 武久
Takehisa Koyama

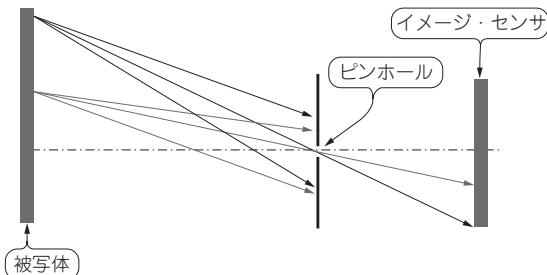
11-1 なぜレンズが必要なのか

● 被写体からの光を捨ててしまうピンホール

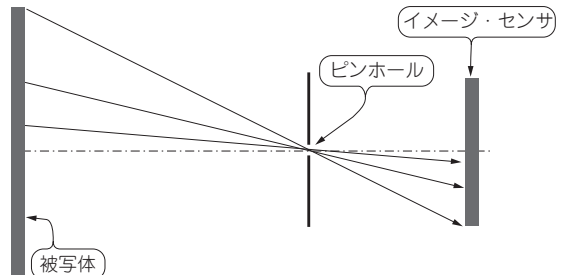
被写体の像をセンサに結像させるには、少なくともピンホールが必要となります。このピンホールは、光は直進するという性質を使うものです。被写体のある1点から出た光は直進してセンサ面に到達します(図11-1)。被写体の各部から発せられた光はピンホールによって制限され、センサ面に向かって直進します(図11-2)。

もし、このピンホール径が大きければ、被写体の1点から発せられた光は、センサ面上には点ではなく、ぼけた像として射影されます。図11-3ではピンホールの上側エッジ近辺を通過した光線はイ側に、下側エッジ近辺を通過した光はハ側に射影され、全体としたぼけた像になります。それが被写体すべての点に対し射影されるので、全体像としてもぼけてしまいます。さらにピンホール穴径が大きくなると、被写体すべての点がセンサ面全体に広がり、像として認識できなくなります。

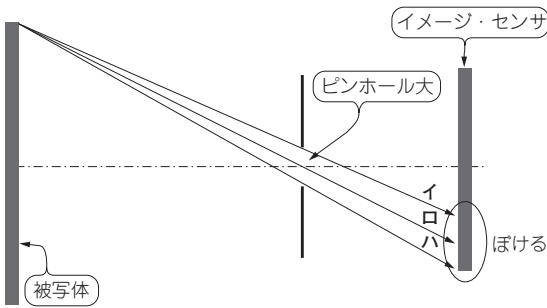
従ってピンホールの場合、非常に小さい径でないと像として認識できません。しかし、ピンホール径を小さくすると、被写体からの光を効率良く取り込むことができません。露光量を多くするには露光時間を長くしなければなりません。



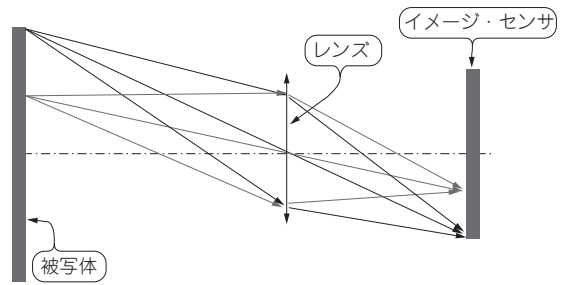
〈図11-1〉被写体からの光をピンホールによって制限



〈図11-2〉ピンホールによる射影



〈図11-3〉 ピンホール径を大きくするとぼけが生じる



〈図11-4〉 レンズによる射影は光の取りこぼしが少ない

さらにピンホール径を小さくすると、光の波動的性質によって回折の影響が大きくなり、高い解像感を得られなくなります。

● レンズなら光線はむだなく取り込まれる

このピンホールがレンズになると、ピンホールでさえぎられていた光線はむだなくレンズによって取り込まれ、センサ面へと射影されます(図11-4)。レンズの径が大きい場合、被写体から発散された光をより大きく取り込むことができるので、露光時間が少なくて済みます。

一方、レンズ径が小さい場合、被写体から発散された光を取り込む角度が小さくなるので露光時間は長くなります。以上のように被写体からの光を効率良く取り込むためにレンズは必要となります。

11-2 レンズの基礎知識

● 焦点

無限遠光線を入射させたときの結像点を焦点と呼びます。通常、イメージ・センサ側の像位置を後側焦点と言います[図11-5(a)]。また像側から無限遠光線を入れた際の結像点を前側焦点と呼びます[図11-5(b)]。有限距離から光線を発したときに結像する点は、像点あるいは結像点と呼び、焦点とは区別します[図11-5(c)]。

● フォーカス

レンズの焦点距離と撮像デバイス、物体距離は、ガウスの式によって関係付けられています(図11-6)。そのため物体距離が変化した場合、レンズから像面までの距離も変化します。従ってレンズと撮像デバイスまでの距離が固定の場合、物体距離が変化すると上記から、レンズ～像面までの距離も変化するため、ピンボケになります。

このデフォーカスされた像面を補正するには、レンズを移動させなければなりません。ある距離に物体を置いてレンズで結像させる場合、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (11-1)$$

ただし、a；物体から前側主点までの距離、b；後側主点から結像点までの距離を使用します。

第5部 画質の改善と評価技術

第12章

露出，ホワイト・バランス，
色合い，シャッタ速度などの制御方法

きれいな画を取り出すためのカメラ設定

エンヤ ヒロカズ
Hirokazu Enya

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

CMOSイメージ・センサ(以降，CMOSセンサ)は，内蔵する機能が豊富なため，内部に設定用のレジスタを持っています。レジスタは電源投入時，メーカーで決められたデフォルト値にセットされています。この値はメーカー側が「多くのユーザが使うと思われる」値を想定して設定しているために，時には変更した方がよいこともあります。

本章ではシキノハイテック製カメラ・モジュール「KBCR-M03VG」を使って，具体的なレジスタ設定例を紹介します。なお，カメラ・モジュールに搭載するCMOSセンサのレジスタ名およびアドレスは，品種によって異なります。ですが，ここで説明する画質設定の基礎は，皆さんが入手したCMOSセンサを利用するときの参考になるでしょう。

12-1 カメラ・モジュールおよび評価環境の概要

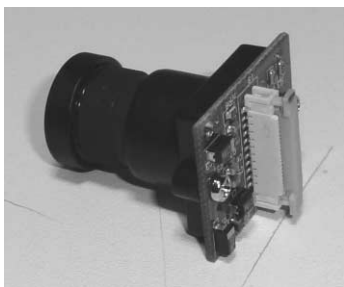
● カメラ・モジュール「KBCR-M03VG」

写真12-1にKBCR-M03VGの外観を示します。CMOSセンサは普段，レンズに遮られて見えませんが，基板上に実装されています。レンズはねじ式になっており，フォーカスを調整できるとともに，異なる焦点距離のレンズに交換できるようになっています。これによって，広角から望遠まで，目的に応じたレンズを選べるようになっています。

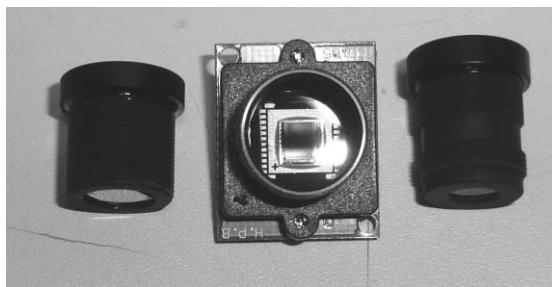
写真12-2にレンズの違いによる画角の違いを示します。電源やカメラ出力などのインターフェースは，基板上の20ピンFPCコネクタに集約されています。

● カメラ・モジュールの信号をモニタするハードウェア「SVI-03」

カメラを評価する場合，評価環境をどう構築するかが問題になります。多くのカメラ出力は，NTSCなどのビデオ信号に準拠しており，一般のモニタなどに接続すれば画像を見ることができます。しかし，最近のCMOSセンサを使ったカメラの多くはデジタル・インターフェースになっており，そのままではテレビやビデオ機器に接続できません。また，マイコンなどに接続する場合も，数M～数十MHz，8ビットのデジタル信号を取り込めるハードウェアが必要です。専用のカメラ・インターフェースを持ったCPUを使うこともあります。



(a) 外観



(b) レンズを外したようす

〈写真12-1〉カメラ・モジュールKBCR-M03VGの外観

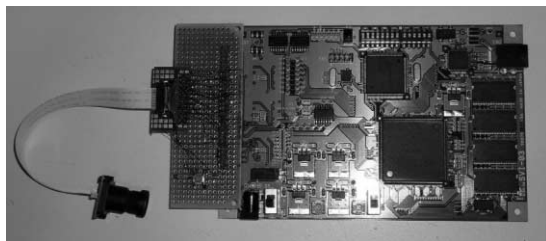


(a) 通常レンズ



(b) 広角レンズ

〈写真12-2〉レンズの違いによる画角の違い



〈写真12-3〉きれいな画作りの検討に用いたハードウェア
右がデジタル画像検証システム、左がカメラ・モジュール

こういった評価用ハードウェアを1から構築するのは結構大変なので、今回はスカイウェアのデジタル画像検証システム「イメージ・レコーダー-SVI-03」を使用します。SVIシリーズの構成は、カメラ・モジュール接続用ボード(写真12-3)とパソコン用のソフトウェアで構成されます。接続用ボードとパソコン間の接続はUSB 2.0です。評価できる画像はCIF, VGA, QXGAのカラー画像からRAWデータまで、デジタル画像であればすべてが対象となります。

SVI-03の主な機能を以下に示します。

- デジタル画像のリアルタイム表示
- 表示例：VGA (640×480) で30フレーム/s, UXGA (1600×1200) で6フレーム/s

短時間で客観的に評価でき、検査装置に向く 数値を利用した画像の客観評価法

金田 篤幸/山田 靖之
Atsuyuki Kaneda/Yasuyuki Yamada

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

画像評価方法には、数多くの種類があります。また、カメラの種類もデジタル・スチル・カメラ（以降、デジカメ）、デジタル・ビデオ・カメラ、報道用カメラ、携帯用カメラと、用途や大きさは多岐にわたっています。

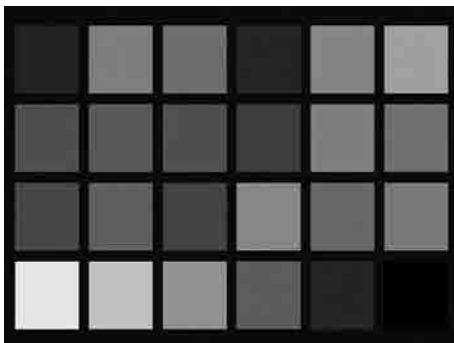
どのカメラに限らず、カメラを検査するとき重要視されているのは、感度と解像度、そしてノイズです。それぞれのカメラの画像評価を定量的に行うためには、カメラに適した測定が必要になります。

本章では携帯電話などに使用されている小型のCMOSイメージ・センサ（以降、CMOSセンサ）搭載カメラで、固定焦点のものを対象に、代表的な検査項目をいくつか述べます。なお、紹介する検査方法は、製造現場における出荷検査に利用することを想定しています。

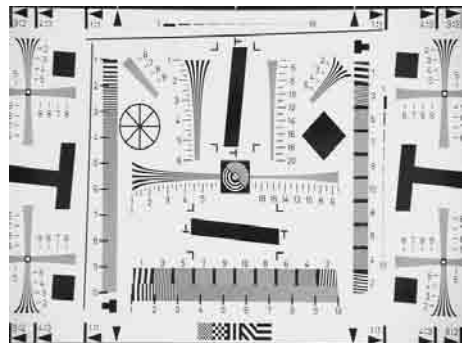
13-1 評価の準備

画像評価を行うには、テスト・チャートや照明などを準備しなければなりません。よく使用されるチャートとしては、マクベス・チャート（図13-1）や解像度チャート（図13-2）があります。

照明については、色温度変換フィルタ、ND (Neutral Density) フィルタ、コリメータ・レンズなどを



〈図13-1〉色合いの確認などに利用されるマクベス・チャート



〈図13-2〉解像度を見極める解像度チャート

準備する必要があります。色温度変換フィルタには、色温度を高くするブルー系のものや、低くするアンバ系のものがあります。NDフィルタとは、光量を減らすフィルタのことです。コリメータ・レンズとは、収差補正をしたレンズのことです。

次にカメラについてですが、本検査は出荷検査に使用することを想定しています。つまりカメラとしてはレンズ付きであり、完成状態の最終チェックになるわけです。数多くある製品の中に、焦点が少し合っていない、ノイズが若干多い、何となく色合いが違うなどといった製品が含まれる可能性があります。それらを検査するためには、簡易な評価方法が必要になります。

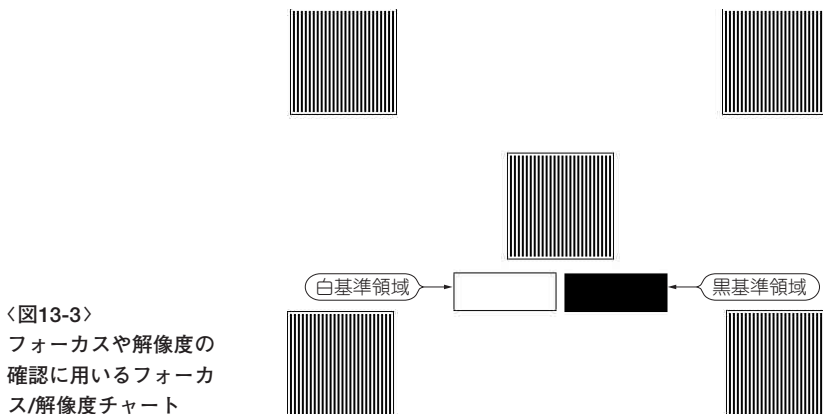
ここで紹介する検査項目に使用する画像は、モノクロ8ビットまたはカラー24ビットを対象としています。

13-2 フォーカス/解像度の測定と評価

本検査は固定焦点のカメラを対象にしているため、実際に取り付けられているレンズでフォーカスが合っているのかを検査する必要があります。また、レンズが固定されているため、画面上のどこか1カ所だけにフォーカスが合っているのも困ります。このようなカメラのフォーカスを検査するには、フォーカス/解像度チャート(図13-3)を利用します。5カ所、あるいは9カ所の検査領域すべてに「ある程度、焦点が合っている」ことが求められます。

● 測定手順

- 1, 図13-3のような解像度チャートを撮像します。
- 2, 基準となる白, 黒の位置を設定します。撮像チャート中央やや下の黒領域と白領域が, 基準となる白と黒の指定領域になります。白領域部分の平均値(A_vW)および黒領域部分の平均値(A_vB)を求めます。
- 3, 検査領域を設定します。検査領域は四隅および中央のしま模様の五つの領域になります。
- 4, 検査領域部分の平均値を求め, その値をしきい値として, 検査領域部分を黒画素, 白画素に分割します。



〈図13-3〉
フォーカスや解像度の
確認に用いるフォーカ
ス/解像度チャート

 第14章

アナログ・カメラ時代からの手法で技術者の机上確認に向く モニタやオシロスコープを利用した画像の客観評価法

志村 達哉
Tatsuya Shimura

「画像評価」と、ひと言で言っても、その対象項目は数多くあります。テレビ・カメラが世に出た当初から、感度、解像度、ノイズ(SN比)は常に重要視されてきました。そしてこれは永遠の課題であるとも言えます。

画像評価を定量的に行うためには、それに適した測定が必要になります。

以下、評価をする際の撮像状態と、各評価項目について主に、JEITA [(社)電子情報技術産業協会；IHEIAJ]のCCTV機器スペック規定方法を参考に述べます。

14-1 標準撮像状態

● 照明条件

JEITAで定義した照明条件を表14-1に示します。透過型チャートの面照度の項は、チャートの輝度を示しており、記載されている輝度 $635\text{cd}/\text{m}^2$ (または 635nit)は、 2000lx で照明された完全拡散面の輝度と同じになりますから、反射型チャートの使用と等価になります。

反射型チャートとは、自身に光源を持たず、印刷されたテスト・チャートに光を当てるものです。

透過型チャートは、テスト・チャートがガラスで作られており、カメラから見えない側に光源を持ちます。

〈表14-1〉⁽¹⁾ JEITAで定義した照明条件

項目	カラー・カメラ		白黒カメラ
	単素子	2~3素子	
光源の色温度	$3100\text{K} \pm 100\text{K}$	$3100\text{K} \pm 100\text{K}$	$3100\text{K} \pm 100\text{K}$
反射型チャートの面照度	$2000\text{lx} \pm 100\text{lx}$	$2000\text{lx} \pm 100\text{lx}$	$2000\text{lx} \pm 100\text{lx}$
透過型チャートの面照度	$635 \pm 31\text{cd}/\text{m}^2$	$635 \pm 31\text{cd}/\text{m}^2$	$635 \pm 31\text{cd}/\text{m}^2$
照度または輝度の不均一性	5%以下	5%以下	5%以下

〈表14-2〉⁽¹⁾ JEITAで定義したカメラの設定条件

項目	カラー・カメラ (単素子)	カラー・カメラ (2~3素子)	白黒カメラ
ゲイン・アップ	○	○	○
AGC	○	○	○
ホワイト・バランス	○	○	○
アパーチャ	○	○	○
ディテール	○	○	○
電子シャッター	○	○	○
同期	○	○	○
ブラック・バランス	—	○	—
ガンマ	○	○	○
蓄積モード	○	○	○
ニ－特性	○	○	○
シェーディング補正	○	○	○

▶○印は、スペック項目ごとに設定条件を記述すること

● カメラの設定条件

同じくJEITAで定義したカメラの設定条件を表14-2に示します。ここで○印は、スペック項目ごとに設定条件を記述する項目です。

14-2 感度

感度には、光の波長ごとの感度を対象とする分光感度と、太陽光、照明光の視感領域全体を対象とする一般の感度がありますが、ここでは後者について説明します。なお、カメラの感度は、標準感度と最高感度に分けて表現するのが一般的です。

● 標準感度

カメラの各種特性がバランスよく発揮されるような感度設定です。つまり、規定映像レベル ($0.7V_{p-p}$) が得られる被写体照度と、そのときのレンズのF値で表します。例えば1500lx、F:8のように表現します。

標準感度は、後で述べるSN比と関連があります。映像信号増幅器の増幅度を上げれば見かけの感度は上がりますが、SN比が悪くなります。特性のバランスをとることが必要です。

● 最高感度

レンズの絞りを開放し、チャートを撮影します。チャートの明るさを徐々に落とし、カメラから出力される映像レベルが $0.35V_{p-p}$ になる点を最高感度(最低被写体照度)とします。AGC(オート・ゲイン・コントロール)などのカメラの映像増幅度は最高にしておきます。

◆ 第16章

カメラ開発を始める前に 動画像をメモリーカードに記録する 技術要素を整理する

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

大容量のメモリーカードが安く入手できるようになりました。デジタル・スチル・カメラを筆頭とするその用途は、今や拡大の一途をたどっています。

電子技術者にとってメモリーカードの応用は、今が旬だと言えます。それは、メモリーカードが「メカ・レス」、つまり、モータや回転機構が不要だからです。従って、電子技術者の力だけで、動画像の記録機器を開発できます。

ところで、このメモリーカードをいざ自分で操作するとなると、いくつもの壁が現れます。なかでもファイル操作は仕様が難解であり、一筋縄では行きません。これはソフトウェアの分野ですが、画像を記録する場合はさらに、ビデオ・データの並び順変換やパソコンで再生可能なフォーマットへの変換などといったハードウェア的な信号処理が必要です。

このように動画像処理の世界は、いくつもの要素技術が求められます。ここでは、その要素技術を整理し、入門の足がかりにしたいと思います。

16-1 拡大するメモリーカードの応用分野

メモリーカードは、不揮発性半導体メモリを小型のパッケージに収めたものです(写真16-1)。中味の半導体メモリは、NAND型のフラッシュ・メモリです。容量が大きいことが特徴で、64Gバイトの製品もあります(2010年2月現在)。

● メモリーカードあってこそそのデジカメ

今のところ、メモリーカードの用途の多くはデジタル・スチル・カメラ向けです(写真16-2)。デジタル・スチル・カメラは日本の発明品の一つです。最初は報道用などプロフェッショナル向けの高価で扱い難いものでした。しかし、カシオ計算機の「QV-10」が突破口となって一般化し、今や老若男女誰もが扱えるベストセラー商品となりました。

● ハイビジョン記録も可能

ハイビジョン映像を扱う機器においては、20Mbpsもの高速データ処理が必要です。今ではメモリー



〈写真16-1〉 著者の手元にあったメモリーカードの外観



〈写真16-2〉 デジタル・スチル・カメラの例
撮像素子とLCDの画素数が日進月歩で増大している



〈写真16-3〉⁽¹⁾ 記録媒体として半導体メモリを利用したビデオ・カメラ
ソニーのHDR-CX7

カードの書き込み/読み出し速度がこれを上回るようになり、機器の設計が楽になりました。また、容量が増加の一途をたどっており、1時間程度は楽に記録できるようになりました(写真16-3)。

モータを使った記録媒体の駆動機構がないため、振動に強く、高信頼性、長寿命となっています。本体で再生するか、メモリーカード専用の読み取り装置で再生します。

● 多くの応用分野がある

MP3プレーヤーやiPodには不揮発性メモリが搭載されています。メモリーカードは、ボイス・レコーダの記録媒体としても使われます。そのほか、体脂肪計や多点センサ情報測定装置、フォト・フレームなどあらゆる分野に進出しています。

16-2 動画をメモリーカードに記録するための技術要素

メモリーカードの制御という点から見れば、前項の内部回路の設計に必要な技術要素は、いずれの機種においてもさほど変わりません。では、実際にこれらの装置に入力される情報を次々とメモリーカードに書き込む技術には、どのような難しさがあるのでしょうか。

● 技術要素1；イメージ・センサの制御

イメージ・センサを制御し、デジタル・ビデオ信号を希望の速さ、解像度、色合いなどで取り出す必要があります。また、各社のイメージ・センサの特徴を引き出し、欠点をカバーするためには、

 第17章

性能，開発工数，予算，入手性を考慮し仕様を決める 動画像記録システムのハードウェア構成

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

写真17-1に今回製作した動画像記録システム(写真17-2)による画像を示します。後述しますが，本動画像記録システムは，ドライブ・レコーダのようなシステムを想定しました。ドライブ・レコーダは車の事故の証拠画像を撮影するための機器です。記録時間が数十秒と短いため，動画像記録の技術解説にはうってつけの題材です。

今回のような持ち運びできる動画像記録システムを作れば，動物の生態観測や車へのいたずら対策などいろいろな用途に使えます。

動画像の長時間記録には画像圧縮技術も必要です。今回まずは圧縮なしで，バッファ用メモリもSRAMを使って，「動くもの」を作ります。最終的にSDメモリーカードに記録し，パソコンで再生できるようにします。今や動画像技術は，一部の専門技術者だけのものではなくなりました。本書を機会に一人でも多くの技術者が，この分野に仲間入りしていただくことを期待します。



〈写真17-1〉製作した動画像記録システムによって記録した画像
AVIファイルとして収録された画像を並べた

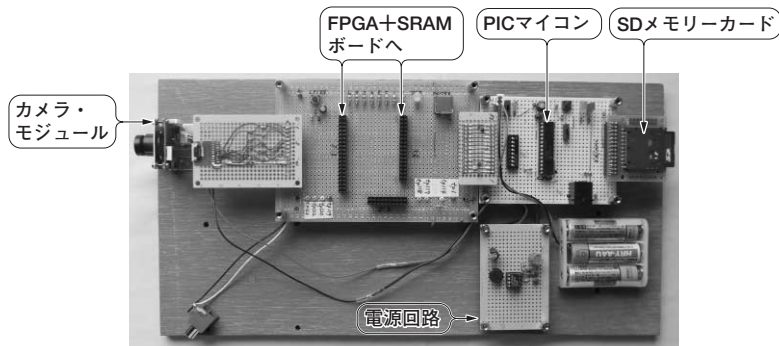
17-1 性能を見積もる

静止画像に対して動画が異なる点は、データ量がけた違いに多いことと、処理速度が要求されることです。処理速度の速い部分はFPGAを使い、AVIのような複雑なフォーマットのファイル処理はマイコンで行います。

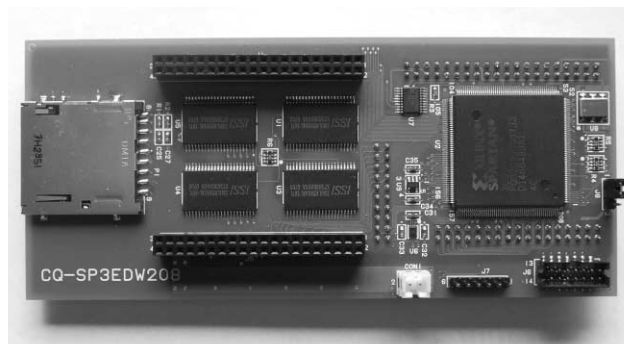
今回の開発ターゲットはドライブ・レコーダです。ドライブ・レコーダは図17-1のように、カメラ・モジュールで取り込んだ画像をメモリ(RAM)の中で循環させ、事故の起こった後、しばらくして取り込みを中止します。これをSDメモリーカードなどの不揮発性メモリへ転送して、作業は終了です。

運動会などで使われているハイビジョン画質のビデオ・カメラの多くはDVD(Digital Versatile Disc)ドライブやハード・ディスク・ドライブを搭載しており、今やDVC(磁気テープ)を追いやって主役の座を占めています。そして、SDメモリーカードのようなメカ・レスの半導体メモリ・ムービーが徐々に成長しています。

SDメモリーカードは記憶容量の点でハード・ディスクにはるかに劣ります。しかし、機構部がないということは、機器の寿命が延び、小型化が可能になり、機器の運用が楽になります。そして何よりわたしたち電子技術者が、メカトロニクス技術者の手を借りずに機器を設計できるようになります。



(a) 開発ボード全景



(b) FPGA+SRAMボード

〈写真17-2〉動画記録システムのハードウェア

◆ 第19章

画像サイズ、表示レート、デバイス間インターフェースなど 画像処理システム仕様策定のポイント

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

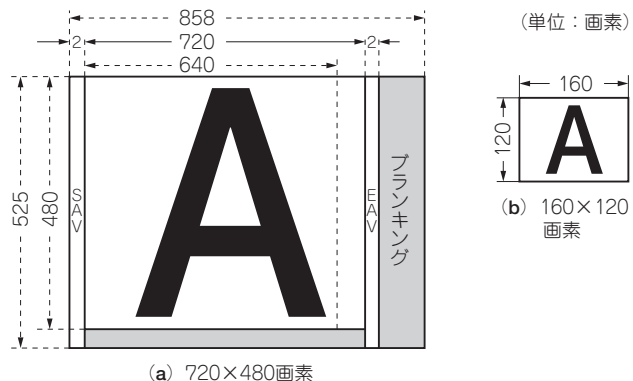
19-1 画像の大きさと表示レート

ここでは、第17章および第18章で選択したハードウェアの能力に見合った動画像記録システムの仕様を策定します。

記録した画像をテレビに表示するかパソコンに表示するかにより、記録方法は大きく違います。テレビに表示する場合は、コンポジットやコンポーネント信号などの形式に合わせるだけでなく、画面の大きさも限られたものとなります。これに対しパソコンで表示する場合は、画面の大きさの制限はほとんどありません。また、インターフェースも多数の選択肢があります。

● VGAの画像を間引いて1/4にする

今回使用するボードに搭載されているSRAMの容量は2Mバイトです。前に計算したように、VGAの画像ならば1枚しか入りません。そこで図19-1 (a) に示すVGAの画像を、図19-1 (b) のように1/4に縮めることにします。



〈図19-1〉
表示画像の大きさを決める
今回の動画像記録システムにおいては
(a) に示すVGAの画像を、(b) のように
1/4に縮める

横(ライン)方向は4画素ごとに1画素だけ抜き取ります。従って640画素/4=160画素となります。縦(垂直)方向は、480本のラインを4本ごとに抜き取ると120本になります。しかしITU 656フォーマットでは、1フレームが2フィールドで構成されているので、1フィールド240本のラインを1本おきに抜き取れば、結果として1/4に間引くこととなります。

● SRAMにはYUVフォーマットで記録する

カメラの出力はYUVですが、AVIファイルにはRGB形式で記録するので、どこかでYUV→RGB変換をすることになります。図19-2のようにRGB形式は1ピクセルが3バイトであるのに対し、YUV形式は1ピクセルが2バイトですから、メモリに効率良く格納するには後者が有利です。

● 1枚の画像に38Kバイトが必要になる

YUV形式で記録すれば、1ピクセルにつき2バイトでカラー画像を記録できます。すると図19-1(b)の画像では、1枚当たり160(画素)×120(画素)×2(バイト)=38400バイトが必要ということになります。

バッファ用メモリであるSRAMの容量が2Mバイトなので、2048(Kバイト)/38400≒53(枚)の画像を収納できます。

● フレーム・レート(毎秒の表示枚数)を15枚に設定する

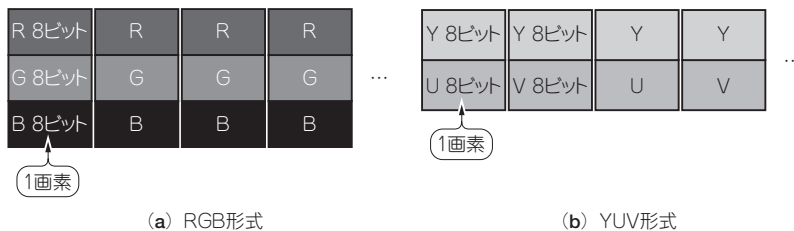
バッファ用メモリの容量が小さいので、1秒当たりの表示枚数を15枚とします。すると、53/15≒3.5秒が1カットの長さとなります。今回のシステムは図19-3のように動作します。

● 圧縮またはメモリ容量の増大で記録時間を伸ばす

このシステムは、SDメモリーカードへのデータ転送に時間を要していることが問題です。また、SRAMの容量が小さいこともネックとなっています。さらに画像1枚当たりのデータ量を減らす、つまり画像をJPEGなどで圧縮することも改善の手がかりになります。

以下の課題をクリアすると、動画記録システムの性能は向上するでしょう。
手を付けやすい順にならべると、

- ①SRAMを(DDR)SDRAMに変更する
- ②MMCまたはCFカードで高速転送する



〈図19-2〉 RGB形式は1画素が3バイトであるのに対し、YUV形式は1画素が2バイトメモリに効率良く格納するには後者が有利

YUV→RGB変換，データの間引き， SRAMインターフェースなど

FPGAによる画像処理回路の設計

漆谷 正義

Masayoshi Urushidani

第1部

第2部

第3部

第4部

第5部

第6部

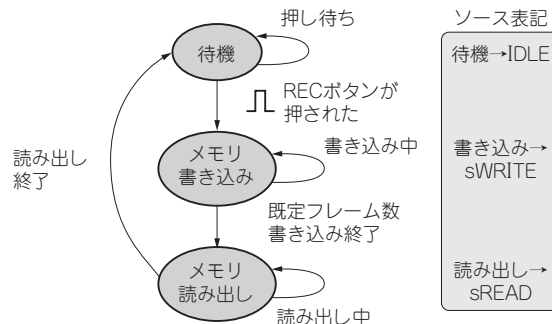
製作する動画記録システムに搭載されるFPGAは，カメラ・モジュールからデジタル・ビデオ・データを取得し，それを画像バッファ用メモリ（SRAM）に取り込みます．次にSDメモリーカード制御用PICマイコンに，SRAMから読み出したデータを変換しながら渡します．ここでは，FPGAの役割について順を追って説明します．

20-1 システム制御のためのステート・マシンを組み込む

今回製作するドライブ・レコーダに搭載するFPGAの動作状態を大別すると，

- SRAMへの書き込み
- SRAMからの読み出し
- マイコンへのデータ送出
- 待機状態

という四つのモードが存在します．このような制御をタイミング設計だけで行くと，現在モードの判断が困難になったり，誤動作を招いたりします．確実に動くステート・マシンを装備しておけば安心です．



〈図20-1〉ドライブ・レコーダの基本的な状態遷移図

● 状態はステート・マシンで整理

ドライブ・レコーダには、RECボタンを押してからの一連の動作を制御する仕組みが必要です。図20-1は基本的な状態遷移図です。

FPGAは通常、待機状態(IDLE)にあり、RECボタンが押されるのを待っています。RECボタンが押されると、次々に画像をバッファ用メモリ(以降、SRAM)に取り込んでいきます。SRAMが一杯になるとSRAMからデータを読み出してマイコンへ送ります。全部読み出したら、また待機状態に戻ります。

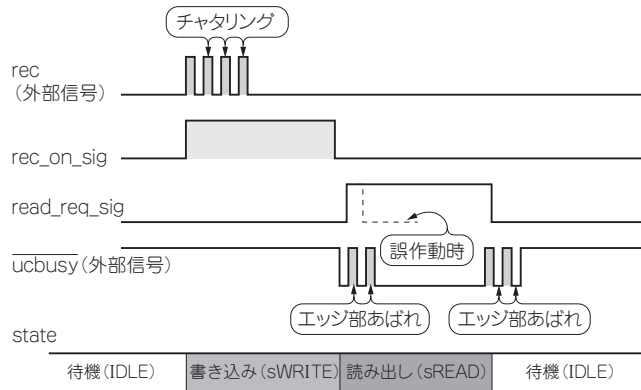
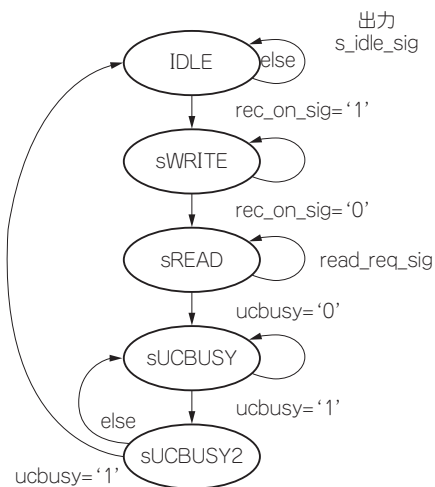
このような制御はステート・マシンで行うのが定石です。図20-1の右のように各状態(ステート)名を定義します。

● 実際のステート・マシン

初めは図20-1のようにステート数は少ないのですが、いろいろな不具合を解決していった結果、図20-2のようなものとなりました。

追加した部分は、マイコンからの応答を待つ部分です。FPGAはSRAMを読み出して(sREAD)マイコンにデータを送りますが、このモードは、マイコンが主導しています。マイコン側がデータを読み終わったことを確認して、待機状態(IDLE)に戻る方が安全です。このためマイコンからビジー信号(ucbusy)を受けて、この信号がアクティブ(負論理なので'0')でなくなったらIDLEに戻ります。この信号を2回見っていますが、これはucbusy波形の立ち上がり部分のひずみによる誤動作を防止し、また予測できないグリッジにも対処するためです。

図20-3は、この様子を波形で表したものです。RECボタンを押したときには、接点の振動によるチャタリングが必ず存在します。また、マイコンのポートから配線パターンを経由して受け取った信号には、信号のエッジ部分にリングングやオーバーシュート/アンダーシュートなどのひずみが存在します。信号の片エッジしか使わない場合(rec)は、大きな影響はありませんが、両エッジを見る場合



〈図20-3〉 外部信号の波形不良と状態遷移

クロックを含めパターンを経由して外部から入って来る信号については、「エッジ部分は信頼できない」と決めてかかった方が安全

〈図20-2〉 いくつかの不具合を解決して出来上がった状態遷移図