



## 第1章 CCDイメージ・センサと比較しながら理解する

# CMOSイメージ・センサの動作原理

米本 和也  
Kazuya Yonemoto

近年、携帯電話から高級一眼レフのデジタル・スチル・カメラにまで盛んに使われだしたCMOSイメージ・センサは、多くのビデオ・カメラやデジタル・スチル・カメラに使われているCCDイメージ・センサとは動作原理が異なっています。

この章では、CMOSイメージ・センサの動作原理をCCDと比較しながら解説し、またカメラ以外の応用分野で期待されている側面についても触れてみます。

### CMOSイメージ・センサの誕生

実は、CMOSイメージ・センサが現れた時期をはっきり特定できません。カメラ用ではなく特別な目的でCMOSプロセスを使ったセンサが以前から研究されたこともあるからです。

映像を再現することに目的を絞って考えると、まず1990年の“ASIC Image Sensor”というタイトルの発表と考えられます。これは現在主流の画素に増幅機

能をもたせたAPS(Active Pixel Sensor)ではありませんでした。

ASIC Image Sensorの画素は信号電荷をそのまま出力するPPS(Passive Pixel Sensor)で、CCDイメージ・センサと戦って姿を消したMOSイメージ・センサと構造が同じでした。また、タイトルからして“CMOS Image Sensor”と明白にうたった1993年の発表もPPSに属するものでした。

画素がAPSで、なおかつタイトルが“CMOS Image Sensor”として発表されたのは1994年になってからですが、内容から両者を満たし“Active Pixel Sensors : Are CCD's Dinosaurs ?”と銘打った1993年の発表<sup>⑤</sup>が本当の意味で最初だと考えられます。

これらを時系列順に直して表1にまとめてみました。これを皮切りに、CMOSイメージ・センサを実用化するため、数多くの企業が開発競争に名乗りを上げました。

〈表1〉 CMOSイメージ・センサの誕生まで

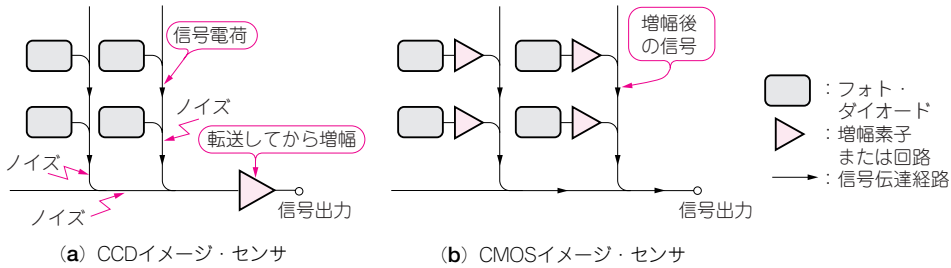
年	発表タイトル	APS	PPS	プロセス
1969	Photosensitivity and Scanning of Silicon Image Detector Arrays(S. G. Chamberlain)	○		PMOS
1990	ASIC Image Sensor (University of Edinburgh)		○	CMOS
1993	CMOS Image Sensor (VLSI Vision Ltd., University of Edinburgh)		○	CMOS
1993	Active Pixel Sensors : Are CCD's Dinosaurs ? (California Institute of Technology)	○		CMOS
1994	CMOS Active Pixel Image Sensor (California Institute of Technology)	○		CMOS

▶ ( )内は発表者または団体

### Keywords

ASIC Image Sensor, APS, Active Pixel Sensor, PPS, Passive Pixel Sensor, Camera on a Chip, XYアドレス方式, FPN, Fixed Pattern Noise, 埋め込みフォト・ダイオード, FD, Floating Diffusion, 相関2重サンプリング, DDS, Double Data Sampling, ノイズ/シグナル逐次出力方式, カラムADC方式, Global Shutter, Rolling Shutter, Line Exposure, 混色, スミア, カラー分離フォト・ダイオード.

〈図1〉 電荷増幅箇所の違い



〈表2〉 製造プロセスの違い

項目	CCD イメージ・センサ	CMOS イメージ・センサ
製造プロセス	フォト・ダイオードやCCD特有の構造を実現	CMOS LSIの標準プロセスが土台
基板、ウェル	N型基板、Pウェル	P型基板、Nウェル
素子分離	LOCOSまたは不純物イオン注入	LOCOS
ゲート絶縁膜	厚い(50~100 nm)	薄い(約10 nmまたはそれ以下)
ゲート電極	2~3 ポリシリコン(オーバーラップ構造)	1~2 ポリシリコン(シリサイド系)
層間膜	遮光性、分光特性重視の構造、材料	平坦性重視
遮光膜	アルミ	アルミ
配線	1層(遮光膜と共通)	3層

## 素子としての比較

### ● CMOS イメージ・センサはそれぞれの画素に増幅機能をもつ

CMOS イメージ・センサのほとんどは、図1(b)に示すように、画素に増幅機能をもったAPSの仲間です。

APSの目的は、個々の画素で信号をいったん増幅することにより、画素から信号を取り出す過程でノイズの影響を受けにくくすることです。例えば、CCD イメージ・センサの場合は、<sup>smear</sup>というノイズの影響を受けやすいのですが、CMOS イメージ・センサはこの影響がほとんどありません。

### ● CMOS なら信号処理系も内蔵できる

さて、CMOS イメージ・センサの特徴はなんといっても、CMOS LSIを製造するプロセスをそのまま使えることです。そのために、イメージ・センサの機能だけでなく、信号処理やI/Oなどの機能を同じチップ上に形成できます。

表2の例に示すように、CCDがその機能を実現するためにはCMOS LSIと違った独特の製造プロセスを使う必要があります。そのため信号処理を組むのに適当なCMOS回路を同一のチップに載せることが困難です。

CMOS イメージ・センサは1チップでカメラの機能を完結させる“Camera on a Chip”を実現したり、CCD イメージ・センサでは実現できなかったような高度な処理機能をもつことができます。

〈表3〉 電源数と電圧の比較

項目	CCD イメージ・センサ 1/4型33万画素	CMOS イメージ・センサ 1/3型33万画素
電源数	3	1
電圧	15/3.3/-5.5 V	3.3 V
消費電力	135 * mW	31 mW

\* : ドライバICの無効電力を含まない

### ● CMOS なら電源は1系統で済む

動作原理に関しては、この後に詳しく説明するとして、プロセスと動作原理の違いからくる電源電圧に關する比較例を表3に示します。

多くのCCD イメージ・センサに共通する構造のIT-CCD(Interline Transfer CCD)では、垂直CCDと水平CCDを駆動するために正負合わせて3電源が必要になりますが、CMOS イメージ・センサはほかのCMOS LSIと同様に低電圧単一電源で済みます。

消費電力に関してもCMOS イメージ・センサのほうが有利であるといえます。この点からも、CMOS イメージ・センサが電源電圧について、ほかのCMOS アナログ/デジタルICとの相性が良いといえます。

## 動作原理の比較

### ● CMOS は回路シンボルによって表現できる

それでは、具体的にCMOS イメージ・センサがどのような動作原理に基づいているか、図2を使って説明します。