

第1章

撮像素子の誕生からCCD/CMOSイメージ・センサまで イメージ・センサの歴史

イメージ・センサの技術を語るまえに、どのようにして今日に至ったかを知ることでも大変興味深いところがありますので、その歴史を見てみましょう。これをたどってみると、今日実用化されている高性能なイメージ・センサが、多くの研究者や技術者の試行錯誤を含めて、多大な努力と執念のうえに成り立っていることがわかり、本当に頭が下がる思いです*1。

1-1 イメージ・センサの登場

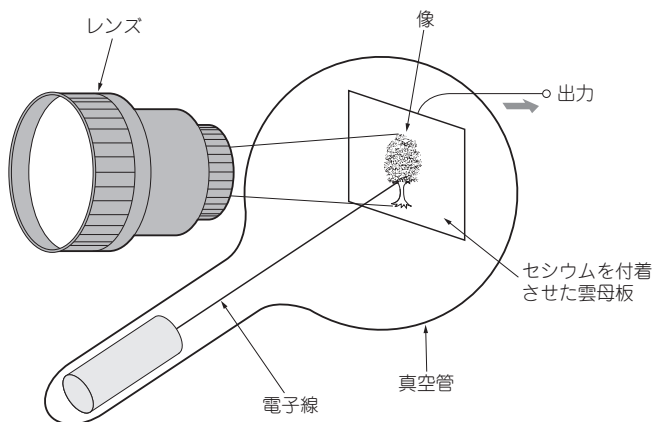
この世にイメージ・センサが登場したのはいつ頃のことでしょうか。目的はもちろん、写した映像を電気信号に変えて離れた場所で映し出すこと、つまりテレビジョンというシステムの中で、映像の入り口に相当するカメラを作ることになりました。最初のイメージ・センサが考案されたころは、まだトランジスタのようなソリッドステートの素子がなかった時代です。その当時は、電気信号を増幅したりすることができる素子といえばラジオなどに使われていた真空管でした。

そこで登場したのが1933年に発明されたアイコノスコープで、真空中で電子の動きを自在に操作することができる性質を利用したものでした。これは、図1-1のように真空管の中に光電効果のあるセシウムが塗られた雲母板を置き、レンズを通した光を雲母板に結像させ、そこで発生した電荷をフィラメントから放射された電子ビームで走査して、信号電流として取り出すものでした。その後、イメージオルシコン、ビジコン、サチコン、

見本

*1: イメージ・センサの歴史をこの目ですべて見てきたわけではないので、主に過去の論文による調査に頼った。

〈図1-1〉
アイコノスコープの構造



HARP管など、感度が改良された撮像管が次々に発明され、テレビジョンの映像を作り出す役割を担ってきました。

トランジスタの発明により、ラジオからテレビまで真空管がトランジスタに置き換わっていましたが、そのなかでテレビジョンにおいては、受像管を除いて光の入り口にあたる撮像管は、唯一ソリッドステートにならなかった最後の素子であったといえます。

撮像管はその原理から、電源を点けてすぐに使うことができないとか、動作する電圧が高く消費電力が大きい、焼き付けがあって寿命が短く、大きいなど欠点が多かったのは確かです。イメージ・センサがトランジスタのようなソリッドステートの素子にすぐに置き換わらなかったのは、モノリシック*2の集積回路(IC；Integrated Circuits)でないとイメージ・センサとして実用にかなうほどの性能が出なかったからではないでしょうか。そのためソリッドステートのイメージ・センサ(固体撮像素子)は、トランジスタが発明された約10年後、それらを複数集積した集積回路が登場してからしばらく待つことになりました。そして、イメージ・センサの開発が始まったのが1960年代後半になってからです。

1-2 ソリッドステート・イメージ・センサ

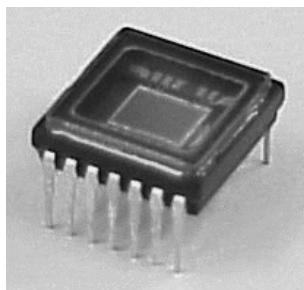
トランジスタやICに使われているSi(シリコン)などの半導体が、受けた光を電気に変

見本

*2 monolithic 同一の半導体基板に複数の素子を形成する技術。これに対して、トランジスタ単体などを別の基板上で結線しモールドしたものをハイブリッドICという。

〈写真1-1〉

CCDイメージ・センサの
パッケージ外観
(ICX206AK, ソニー)



換する光電変換の性質をもつことはすでに知られていました。そこで発生した電気をどのようにして正確かつ効率的に取り出すが、イメージ・センサをソリッドステート化する課題であったといえます(写真1-1)。単純に考えれば、モノリシックICの土台となるSi基板上にフォト・ダイオードを規則正しく撮像面に配列し、順番にフォト・ダイオードの光電流を何らかの方法で取り出せばイメージ・センサとして機能するはずです。

しかし、それが実用になるかどうかは話が別で、簡単にはいかなかったようです。そこがイメージ・センサの面白いところであり、一見単純そうに思える発想をソリッドステートのイメージ・センサとしてどうやって実現するかに多くの研究者たちが腐心してきました。その結果、さまざまな方式が開発されてきたのです。

最初に映像を出した、2次元に画素が配列されたソリッドステートのイメージ・センサは、今のCCDイメージ・センサとは構造が違い、1966年に発表されたフォト・トランジスタを平面状に配置したイメージ・センサ⁽¹⁾であったようです。1967年にはフォト・ダイオードを2次元アレイ配列し、走査パルスとMOSトランジスタによるXYアドレス方式で信号を取り出す方式が発表⁽²⁾になりました。これが後に実用化されたものの、CCDイメージ・センサとの開発競争で敗れ、消えることになったMOS型イメージ・センサの原型でした。

CCD(Charge Coupled Device)は、1969年にベル研究所のW. S. BoyleとG. E. Smithにより発明され、翌年に発表⁽³⁾されました。このCCDは、信号電荷をためて転送するという機能から、メモリやディスプレイ、遅延素子など多くの応用が考えられました。その後、そのキラーアプリなるCCDイメージ・センサが、フレーム転送方式(FT-CCD)とい

簡単な構造で、同じベル研究所から1971年に発表⁽⁴⁾されました。

余談になりますが、CCDと同じ機能をもったBBDが1969年に発表⁽⁵⁾され、それを応用

したイメージ・センサも1970年に発表⁽⁶⁾されています。しかし、CCDと同じ機能を持ちながら原理的に信号電荷の転送が不完全で信号の劣化が激しかったため、イメージ・センサへの応用には向いていませんでした。

1-3 CCDイメージ・センサの実用化

CCDが初めて発表されてから今日に至るまで、実用化のために数多くの研究が行われました。初期の研究は構造が簡単なFT-CCD方式が多かったようです。また、イメージ・センサの感度を決定付ける電荷検出の技術であるFD(Floating Diffusion)⁽⁷⁾電荷検出構造、今では最も盛んに使われているCCDイメージ・センサの構造であるIT-CCD⁽⁸⁾は比較的早い時期にコンセプトが発表されました。

また、CCDイメージ・センサの信号に含まれるノイズを抑圧する相関二重サンプリング(CDS; Correlated Double Sampling)回路⁽⁹⁾など、信号を取り扱う部分に関する技術も開発されました。テレビジョンのインターレース走査方式に対応したフィールド読み出しの発明⁽¹⁰⁾は、動解像度の向上と新しい単板式補色カラー・フィルタ配列の考案に貢献しました。実用化の時期を迎えるまえには、画像のノイズ低減に多大な貢献をした埋め込みフォト・ダイオード⁽¹¹⁾、画素サイズの小型化や電子シャッタの実現に役立った垂直オーバーフロー構造フォト・ダイオード⁽¹²⁾は、大変重要な研究成果であったといえます。

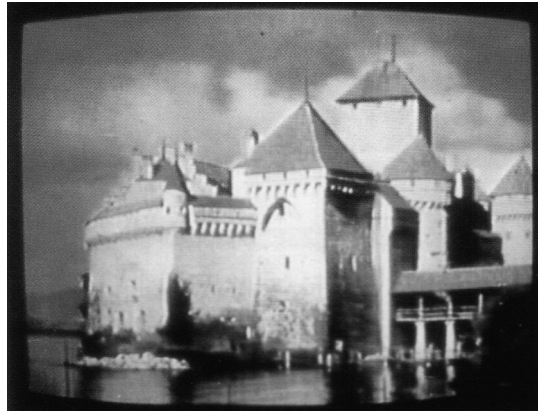
さらに、オンチップ・マイクロレンズ⁽¹³⁾は、画素を縮小する際に感度の低下を補い、感度を究極まで向上する可能性をもたらし、ビデオ・カメラの小型化を促進し本格的な普及に貢献した成果でした。その間、主に業務用に使われているフレーム・インターライン転送方式⁽¹⁴⁾も開発されました。

CCDイメージ・センサ以外では、XYアドレス型を基本としたMOS型イメージ・センサ⁽¹⁵⁾をはじめ、CID(Charge Injection Device)⁽¹⁶⁾、CPD(Charge Priming Device)⁽¹⁷⁾が発表されています。また、CCDの一種とも考えられるCSD(Charge Sweep Device)⁽¹⁸⁾もありました。

このように、さまざまな方式のイメージ・センサが考案されたあと、製品化され実際にカメラに使われたのは、CCDが発明された10年以上後のことで、実用になったのはそのなかでもMOS型イメージ・センサとCCDイメージ・センサだけだったのです。家庭用としては、1981年にMOS型イメージ・センサのビデオ・カメラが製品化され、その後1982年にCCDイメージ・センサが使われた製品が登場しました⁽¹⁹⁾。

この頃、この二つのイメージ・センサの開発競争が繰り広げられました。先行した

〈写真1-2〉⁽²¹⁾
撮像例



MOS型イメージ・センサは、信号のダイナミック・レンジが広い特長をもっていました。その後、イメージ・センサが小型化かつ高性能化され、ビデオ・カメラがより一般に普及しはじめると、感度が高く画質の優れたCCDに市場を明け渡すことになりました。民生用ビデオ・カメラに搭載され、本格的な実用化の前触れを示したCCDイメージ・センサは、1985年に発表になった25万画素の高解像度CCDイメージ・センサ⁽²⁰⁾ではないかと思います(写真1-2)。

そして、いよいよCCDイメージ・センサの時代が幕開けとなりました。実用化されたあとも、数々の基本技術が開発され、画質の向上、映像の幅を広げる機能が追加されました。そのなかでも重要な技術をいくつか紹介しましょう。

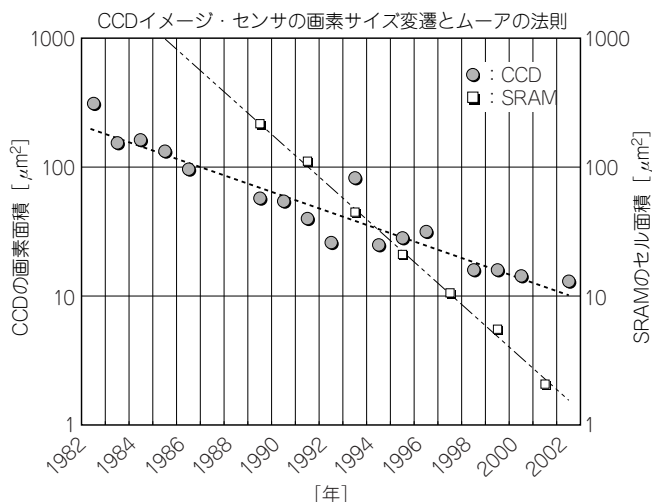
1986年に開発された電子シャッター⁽²²⁾は、CCDイメージ・センサの露光制御技術として不可欠な基本特許であり、ほとんどすべてのCCDイメージ・センサに使われています。これなしには、ビデオ・カメラのシャッター・スピードをコントロールすることはできなかったと言えます。いまでは、ビデオ・カメラの基本機能として知らず知らずに使われている電子式手振れ補正技術⁽²³⁾は1990年に開発されました。この技術により、軽くてぶれやすいビデオ・カメラでもプロ並みの安定した映像を撮ることができるようになりました。

おもな用途がビデオ・カメラであったころ、静止画に適した全画素読み出し方式⁽²⁴⁾が1993年に開発されました。この技術は、最初はビデオ・カメラの解像度を向上する目的で開発されましたが、デジタル・カメラが製品として出始めたころ、一転してデジタル・カメラへの応用にむしろ向いていることがわかって、その後の普及に大いに寄与したという面白い経緯があります。

見本

〈図1-2〉

CCDイメージ・センサの画素サイズ変遷とムーアの法則 (注：画素サイズは、ISSCCの発表を中心にIT-CCD、FIT-CCDおよび一部PS IT-CCD、FT-CCDを参考にしてグラフ化した。ムーアの法則は、SRAMのセル・サイズを参考にした)



1980年代の後半から、NHKのハイビジョンをきっかけにCCDイメージ・センサの高解像度化が進み、またワイドテレビの放送が始まってから16：9の画角を撮像できるCCDイメージ・センサが現れました。デジタル・カメラが登場した1995年を境に、静止画用CCDの開発が始まり、今に至っては際限がないと思えるほど解像度競争が繰り広げられています。そのなかで、2000年にはハニカムCCD⁽²⁵⁾という静止画の解像度を高めることができるプログレッシブ・スキャンに最適な画素構造が発表になり、新たなブレイクスルーを見せました。

デジタル・カメラの普及が進んで画素サイズがどんどん小さくなってきましたが、21世紀に入ってついに3 μm角に到達しました。一方、ゴードン・ムーア博士が提示した半導体の集積度向上を预言する法則はあまりにも有名です⁽²⁶⁾。

この法則に当てはまっているメモリの一種であるSRAMを例にとると、集積度が2年で2倍になっていますが、現在おもに民生用カメラに使われているCCDイメージ・センサの画素について調査してみると、4年で約2倍に集積度が上がっています(図1-2)。どちらもほぼ直線に乗っているのですが、CCDイメージ・センサの集積度向上のスピードがメモリより遅いのは、光を扱うことに原因があると思われます。また、この先も画素サイズが小さくなり続けるかと言えばそうではなく、解像度が光の波長に影響を受ける関係で限界があると考えられています。しかし、画素サイズをどれくらい小さくできるか、議論は行われているものの、明言できるまでには至っていません。

見本

〈表1-1〉APSの歴史

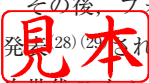
年	Active Pixel Sensor の方式	Array or Pixel	研究機関
1966	Bipolar Phototransistor		Westin House Electric
1968	PN Photodiode + MOS Amp		Plessy Company Ltd.
1969	PN Photodiode + MOS Amp		Plessy Company Ltd.
1974	JFET	Pixel	Philips
1979	SIT	Pixel	東北大学
1981	AMI		NHK
1986	CMD		オリンパス
1988	BCMD (FGA)		TI
1988	MOS Photo-transistor	Pixel	東芝
1989	BASIS		キヤノン
1989	Avalanche Photodiode		静岡大学
1993	CMOS image sensor		JPL
1996	BCAST		ニコン
2002	VIMS		Innotech/セイコーエプソン

1-4 CMOSイメージ・センサ

一方、本書のなかで解説するもう一つのイメージ・センサであるCMOSイメージ・センサは、いつどのように誕生したのでしょうか。そのまえに、CMOSイメージ・センサの分類をはっきりさせておく必要があります。まず、カメラ以外の特別な用途では以前から研究されていた関係もあり、映像を再現する目的に絞ることにします。また、古くはMOS型イメージ・センサのように、画素に信号電荷を増幅する機能をもたない方式がPPS(Passive Pixel Sensor)に分類されるのに対して、画素ごとに信号を増幅する機能をもったイメージ・センサ全般をAPS(Active Pixel Sensor；増幅型イメージ・センサ)と呼んでいます。

CMOSイメージ・センサの多くはAPSですが、なかにはPPSに属する方式のものもあります。そこで、CMOSイメージ・センサの誕生をAPSまで範囲を広げてさかのぼってしまうと、表1-1のように、なんとCCDの発明より以前の1966年に発表されたバイポーラ型フォト・トランジスタを使用したイメージ・センサ⁽²⁷⁾が含まれます。この論文には画素の増幅に関する記述がたった2行しか書かれていません。

その後、フォト・ダイオードとMOSトランジスタを使ったAPSが1968年、1969年に発表⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾されました。しばらくして、さまざまな構造をもったAPSが発表⁽³⁰⁾～⁽³⁷⁾され、次世代のイメージ・センサを担うかの勢いを見せました。これらのAPSのうち、画素を



〈表1-2〉 CMOSイメージ・センサの誕生

年	発表題目	APS	PPS	プロセス
1968	Self-Scanned Silicon Image Detector Arrays (Plessey Co., Ltd.)	○	○	PMOS
1969	Photosensitivity and Scanning of Silicon Image Detector Arrays (Plessey Co., Ltd.)	○		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

単一の素子で形成でき小型化に向いているSIT, CMD, BCMD, BASISはCMOS LSIプロセスと整合性がよくなかったのに対して、2002年になって発表になったVMIS⁽³⁷⁾はCMOS LSIプロセスを基本としながら画素を小型化できる可能性をもつ大変興味深いイメージ・センサです。

CMOSイメージ・センサの誕生に話を戻しますと、CMOS LSIの製造プロセスを用いた最初のイメージ・センサは、1990年のASIC Image Sensorと題する発表⁽³⁸⁾と思われます。しかし、これは今でこそ主流になっているAPSではなく、PPSでした。論文発表タイトルに“CMOS Image Sensor”と明白にうたった1993年の発表⁽⁴⁰⁾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イメージ・センサとして発表されたのは1994年になってからですが、本質的にプロセスがCMOSで画素がAPSであることを満たす1993年の発表⁽⁴¹⁾が、本当の意味で今日に続くCMOSイメージ・センサの最初ではないかと考えられます。これらの発表を時系列順に直して表1-2にまとめてみました。

ビデオ一体型カメラやデジタル・カメラのほとんどがCCDイメージ・センサを使っていますが、CMOSイメージ・センサの開発が進み限られた分野ながら実用化に近づくと、将来CMOSイメージ・センサがCCDイメージ・センサに取って代わるかどうかの議論が活発にされるようになりました。

それを予見するかのように、CMOSイメージ・センサ開発の先駆者であるE. R. Fossumは1993年に、“Active Pixel Sensors - are CCD's Dinosaurs?”と題して、CCDイメージ・センサと比較しながらCMOSイメージ・センサの将来を述べています。ほど

見本

なく、CMOSイメージ・センサの画質を向上する技術や、CCDでは難しいとされる機能

〈表 1-3〉 CCD開発の歴史とテレビ、コンピュータ、カメラなどの歴史

年	イメージ・センサ関係 (CMOS イメージ・センサを除く)	その他の出来事	備 考
1906		3極真空管	2極管は1904年
1923	アイノスコープ		RCAのZworykinが発明
1927		高柳健次郎が走査線40本のテレビ実験に成功	
1947		点接触トランジスタ	ベル研のShockley, Bardeen, Brattain
1948		接合型トランジスタ	ベル研のShockley
1953		NHK東京テレビジョン局開局	テレビ放送開始の年
1955		日本初のトランジスタ・ラジオ発売	SONY TR-55
1959		IC(集積回路)	Texas Instruments社 (キルビー特許)
1960		世界初のトランジスタ・テレビ、カラー・テレビ本放送開始	SONYがトランジスタ・テレビを発売
1966	Monolithic Photo Sensing Array Image Sensor		Phototransistor 使用イメージ・センサ: Westinghouse, NASA
1969	CCDの発明, Image Detector Arrays, BBDの発明	インターネットの始まり	ベル研のW. S. BoyleとG. E. Smith MOS型APS: S. G. Chamberlain, ARPANETとして誕生
1971	FD(Floating Diffusion) 電荷検出 FT-CCD	4ビット・ マイクロプロセッサ	Busicom(ビジコン)社とIntelが 電卓用に共同開発
1972	IT-CCD MOS型イメージ・センサ	8ビット・ マイクロプロセッサ	Intel 8008
1973		TK-80(NEC)	ボード型マイコン
1974	CDS回路		
1975		家庭用カセットVTR登場	VHS, ベータマックス
1976	フィールド読み出し		
1977	12万画素FT-CCD		
1978	12万画素IT-CCD	16ビット・ マイクロプロセッサ	Intel 8086
1980	19万画素IT-CCD		
1981	埋め込みフォト・ダイオード	MS-DOS	パソコンのオペレーティング・システム
1982	垂直オーバーフロー構造フォト・ダイオードFIT-CCD	NHK開発ハイビジョン(HDTV)	アメリカで公開
1983	オンチップ・マイクロレンズ 38万画素IT-CCD		
1984		パーソナル・コンピュータ	オープン・アーキテクチャIBM PC/AT, マッキントッシュ
1985		ビデオ一体型CCDカメラ 32ビット・マイクロプロセッサ	8 mm ビデオ・フォーマット i386
1986	電子シャッタ HDTV用120万画素IT-CCD		
1988	HDTV用200万画素 積層 α -Si光電変換膜IT-CCD	電子スチル・カメラ	マビカ
1990	電子式手振れ補正 HDTV用200万画素FIT-CCD		
1992	2/3型HDTV用200万画素FIT-CCD		
1993	全画素読み出し方式		
1993	16.9メガピクセル画角CCD	デジタル・カメラ	カシオQV-10
1994	130万画素PS IT-CCD		
1995	202万画素PS IT-CCD		

見本

を組み込んだCMOSイメージ・センサが多くの研究機関や企業から発表されました。

さて、CMOSイメージ・センサを実用化するのには、どうしても解決しなければならぬ問題がありました。それは、一言で言えば画質を上げることであり、すでに高画質で撮像できるCCDイメージ・センサにどれだけ近づけられるかでした。CMOSイメージ・センサはその動作原理から固定パターン・ノイズ(FPN; Fixed Pattern Noise)が大きく、それを低減するさまざまな方法が研究されました。CCDイメージ・センサが製造プロセスや画素の構造を改良することで画質を向上してきたのとは対照的に、CMOSイメージ・センサの場合、画素ごとの増幅機能に起因する固定パターン・ノイズを抑えるために、まず回路的なアプローチが取られました。今では、多くの研究から得られた優れた回路技術により固定パターン・ノイズの問題がほぼ解決し、より高画質を実現するためのプロセス技術の開発や画素構造を決めるデバイス技術に比重が移っているようです。

近年は、CMOS LSIプロセスを使う利点であるシステム・オンチップを利用し、さまざまな機能をもったイメージ・センサの開発が活発になっています。その例として、“Camera-on-a-chip”と呼ばれる1チップでカメラとしての機能が完結しているもの⁽⁴²⁾や、人口網膜チップとして有名な被写体の識別機能をもつセンサ⁽⁴³⁾、距離のリアルタイム測定と映像出力ができるもの⁽⁴⁴⁾、動体検出⁽⁴⁵⁾や画像圧縮⁽⁴⁶⁾などの機能をもつものが挙げられます。このように、映像を再現する目的以外のイメージ・センサも大変活発に研究開発されはじめました。

*

*

以上、イメージ・センサの歴史を筆者なりに捉え、短くまとめてみました(表1-3)。今日、CCDイメージ・センサとCMOSイメージ・センサが脚光を浴びているなか、現れては消えた他の方式のイメージ・センサは、その研究成果が決して無駄であったわけではなく、むしろ今のイメージ・センサにその技術が脈々と生き続けている場合が多いのです。こうした歴史から、イメージ・センサの奥深さを感じ取ることができるでしょう。

◆参考・引用*文献◆

- (1) M. A. Schuster and G. Strull; "A Monolithic Mosaic of Photon Sensors for Solid-State Imaging Applications", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-13, No.12, 1966.
- (2) P. K. Wiener, et al.; "A Self-Scanned Solid-State Image Sensor", in Proc. IEEE, Vol.55, No.9, 1967.
- (3) M. S. Rorke and G. E. Smith; "Charge Coupled Semiconductor Devices", Bell Syst. Tech. J., pp.587-593, Apr. 1970.
- (4) M. F. Tompsett, et al.; "Charge-Coupled Imaging Devices: Experimental Results", IEEE

見本

- Trans. Electron Devices, Vol.ED-18, No.11, pp.992~996, 1971.
- (5) F. L. J. Sangster and K. Teer ; "Bucket-Brigade Electronics - New Possibilities for Delay, Time-Axis Conversion, and Scanning", IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.SC-4, No.3, pp.131~136, 1969.
 - (6) N. G. Vogl, et al. ; "A Half-Million Pel Bucket-Brigade Optical Scanner", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1974, pp.30~31.
 - (7) W. F. Kosonocky and J. G. Carens ; "Charge-Coupled Digital Circuits", in ISSCC Dig. Technical Papers, 1971, pp.162~163.
 - (8) W. F. Kosonocky and J. E. Carnes ; "Charge-Transfer Devices", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1972, pp.132~133.
 - (9) M. H. White ; "Characterization of Surface Channel CCD Image Arrays at Low Light Levels", IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.SC-9, No.1, pp.1~12, 1974.
 - (10) 越智成之 ; インターライン型CCD撮像装置, 特許登録第1522884号.
 - (11) 寺西信一, ほか ; p^+np^- 構造フォトダイオードを用いたIL-CCDの残像特性, テレビジョン学会全国大会予稿集, pp.45~46, 1981.
 - (12) N. Teranishi ; "No Image Lag Photodiode Structure in the Interline CCD Image Sensor", in IEDM Tech. Dig. 1982, pp.324~327.
 - (13) Y. Ishihara and K. Tanigaki ; "A High Photosensitivity IL-CCD Image Sensor with Monolithic Resin Lens Array", in IEDM Tech. Dig. 1983, pp.497~500.
 - (14) 黒田隆男, ほか ; FIT-CCD撮像素子, テレビジョン学会全国大会予稿集, 2-8, 1982.
 - (15) J. D. Plummer and J. D. Meindl ; "A Low-Light-Level Self-Scanned MOS Image Sensor", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1972, pp.30~31.
 - (16) H. K. Burke and G. J. Michon ; "Charge Injection Imaging: Operating Techniques and Performances Characteristics", IEEE Trans. Electron Devices , Vol.ED-23, pp.189~195, 1976.
 - (17) S. Terakawa, et al. ; "A New Organization Area Image Sensor with CCD Readout Through Charge Priming Transfer" , IEEE Electron Device Letters, Vol.EDL-1, No.5, pp.86~87, 1980.
 - (18) M. Kimata, et al. ; "A 480x400 Element Image Sensor with a Charge Sweep Device", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1985, pp.100~101.
 - (19) 名雲文男 ; 創立50周年記念特集 1.映像情報メディアのランドマーク 1-4 CCDビデオカメラ, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.4, pp.486~492, 2000.
 - (20) T. Kumesawa, et al. ; "High-Resolution CCD Image Sensors with Reduced Smear", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-32, No.8, pp.1451~1456, 1985.
 - (21)* S. Ochi, et al. ; "A Device Structure and Special Spectrum for Checker-Pattern CCD Color Camera", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-25, No.2, pp.261~266, 1978.
 - (22) 米本和也, ほか ; 固体撮像装置, 特許第2026040号.
 - (23) T. Kinugasa, et al. ; "Electronic Image Stabilizer for Video Camera Use", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.36, No.3, pp.520~525, 1990.
 - (24) A. Kobayashi, et al. ; "A 1/2-in 380k-pixel Progressive Scan CCD Image Sensor", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1993, pp.192~193.
 - (25) T. Yamada, et al. ; "A Progressive Scan CCD Image Sensor for DSC Applications", IEEE J. Solid State Circuits, Vol.35, No.12, pp.2044~2054, 2000.
 - (26)* Gordon E. Moore ; "Cramming more components onto integrated circuits", Electronics, Vol.38, No.8, April 19, 1965.

- (27) M. A. Schulster and G. Strull ; "A Monolithic Mosaic of Photon Sensors for Solid-State Imaging Applications", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-13, No.12, pp.907 ~ 912, 1966.
- (28) P. J. W. Noble ; "Self-Scanned Silicon Image Detector Arrays", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-15, No.4, pp.202 ~ 209, 1968.
- (29) S. G. Chamberlain ; "Photosensitivity and Scanning of Silicon Image Detector Arrays", IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.SC-4, No.6, pp.333 ~ 342, 1969.
- (30) J. Lohstroh ; "The JFET as a Photosensitive Cell in Image Sensor Arrays", in ISSCC Dig. Technical Papers, 1974, pp.34 ~ 35.
- (31) J. Nishizawa, et al. ; "Static Induction Transistor Image Sensors", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-26, No.12, pp.1970 ~ 1977, 1979.
- (32) 安藤文彦, ほか ; 各受光素子ごとに増幅器をもった撮像装置, 電子情報通信学会全国大会予稿集, No.1159, 1981.
- (33) T. Nakamura ; "A New MOS Image Sensor Operating in a Non-Destructive Readout Mode", in IEDM Tech. Dig. 1986, pp.353 ~ 356, 1986.
- (34) J. Hyncek ; "A New Device Architecture Suitable for High-Resolution and High-Performance Image Sensors", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.35, No.5, pp.646 ~ 652, 1988.
- (35) H. Yamashita, et al. ; "A New High Sensitivity Photo-transistor for Area Image Sensors", in IEDM Tech. Dig. 1988, pp.78 ~ 81.
- (36) 菰淵寛二, ほか ; アバランシェ増幅型センサの動作モード, TV学技報, Vol.12, No.50, pp.49 ~ 54, 1988.
- (37) N. Tanaka, et al. ; "A Novel Bipolar Imaging Device with Self-Noise-Reduction Capability", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.36, No.1, pp.31 ~ 38, 1989.
- (38) T. Miida ; "A 1.5MPixel Imager with Localized Hole-Modulation Method", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 2002, pp.42 ~ 43.
- (39) D. Renshaw, et al. ; "ASIC Image Sensors", IEEE Internal Symposium on Circuits and Systems 1990, pp.3038 ~ 3041, 1990.
- (40) P. B. Denyer, et al. ; "CMOS Image Sensors for Multimedia Applications", in Proc. of IEEE Custom Integrated Circuits Conference 1993, pp.11.5.1 ~ 11.5.4, 1993.
- (41) E. R. Fossum ; "Active Pixel Sensors: Are CCD's Dinosaurs?", in Proc. SPIE, Vol.1900, pp.2 ~ 14, 1993.
- (42) M. Loinaz, et al. ; "A 200mW 3.3V CMOS Color Camera IC Producing 352x288 24b Video at 30Frames/s", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1998, pp.168 ~ 169.
- (43) W. T. Freeman, et al. ; "Computer Vision for Interactive Computer Graphics", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.18, No.3, pp.42 ~ 53, 1998.
- (44) T. Sugiyama, et al. ; "A 1/4-inch QVGA Color Imaging and 3-D Sensing CMOS Sensor with Analog Frame Memory", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 2002, pp.434 ~ 435.
- (45) 相澤清晴, ほか ; イメージセンサ上での動画像圧縮, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.2, pp.270 ~ 273, 1997.
- (46) S. Kawahito, et al. ; "A Compressed Digital Output CMOS Image Sensor with Analog 2-D DCT Processors and ADC/Quantizer", in ISSCC Dig. Tech. Papers, 1997, pp.184 ~ 185.

見本

第2章

光電変換と走査による撮像の基本概念 イメージ・センサとは何か

この章では、撮りたい被写体をどのようにして電気信号である映像信号に置き換えるかの基本的な概念を解説します。CCD イメージ・センサだけでなく、古くは撮像管をはじめとした多くのイメージ・センサに共通の概念や、それぞれに特徴的な原理についても触れてみたいと思います。

2-1 基本概念を知ろう

イメージ・センサで被写体を撮ることを「撮像」と表現していますが、この撮像とはいったいどのような原理に基づいているのでしょうか。人間の目では、図2-1のイラストのように、被写体の様子を水晶体(レンズ)と虹彩(絞り)を通して網膜に結像し、その刺激を脳に伝達して像を感じ取っています。

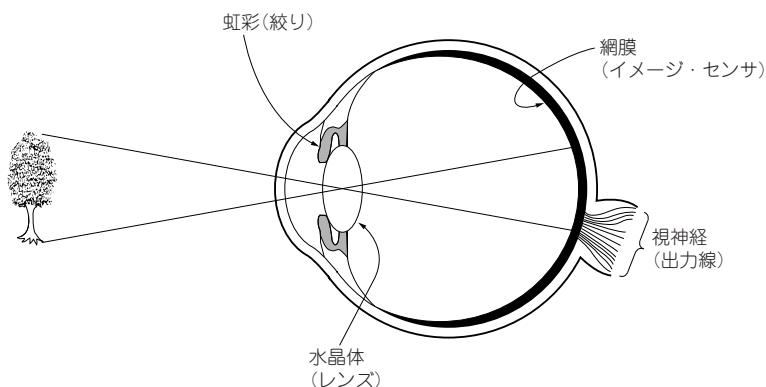
これと同じことを、図2-2のようにイメージ・センサでも行えば撮像ができるはずです。つまり、カメラ・レンズを通してフィルムという感光面、つまりイメージ・センサの撮像面に被写体を結像して、その光の強さに応じた電気信号を映像信号として取り出せばよいのです。

2-1-1 受光

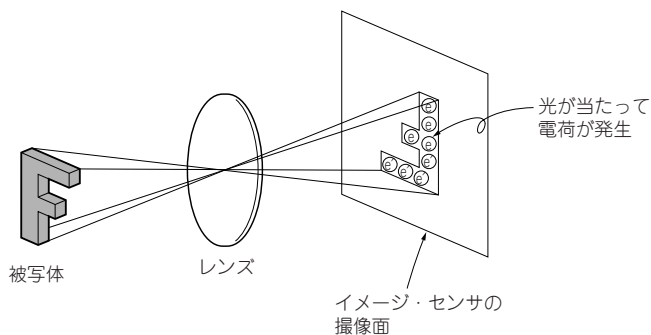
撮像面に当たった光が電気信号に変換されることを光電変換と呼び、これは半導体などの材料が受光したときに、その材料表面で光のエネルギーにより電荷(電子や正孔)のエネルギー状態が変化する現象、すなわち光電効果の原理に従っています。

たとえば撮像管では、撮像面が雲母やガラスなどの絶縁物の板に光導電膜が塗布されていて、結像した光の強さに応じた電荷が撮像面に発生します。CCD イメージ・センサに

〈図2-1〉
人間の目



〈図2-2〉
被写体～レンズ～撮像面



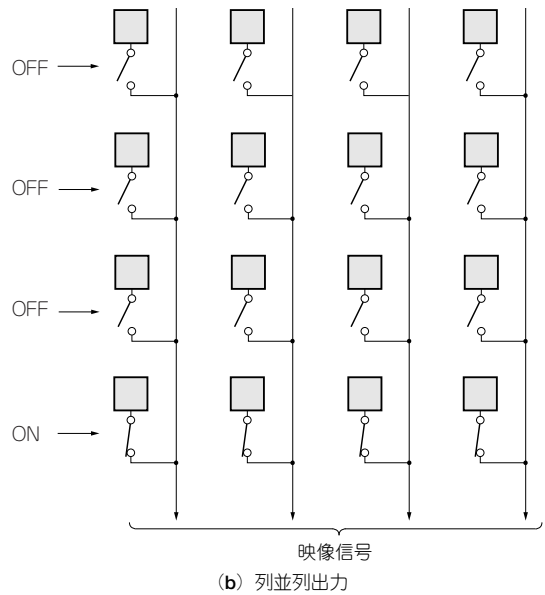
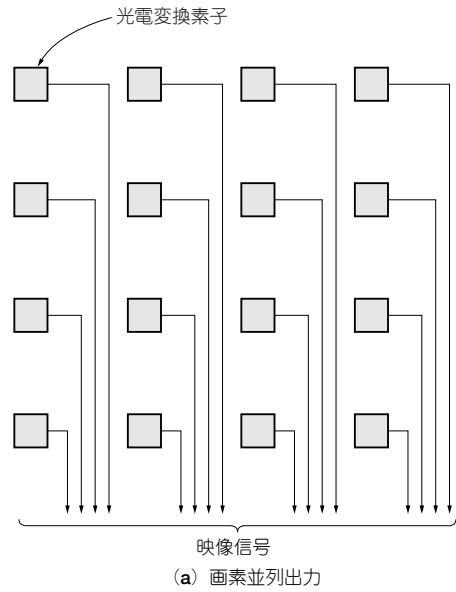
使われているフォト・ダイオードまたはそれに準じた光電変換素子では、光の強さに応じた電荷が電流となって現れるか、電荷として蓄積されます。どちらにしても電荷が発生することが、映像の情報をもった電気信号の源になり、これを信号電荷と言っています。

2-1-2 信号の取り出し

さて、イメージ・センサでは光電変換という原理により被写体に応じた電荷が撮像面に現れることがわかりましたが、信号としてどのように取り出せばよいでしょうか。単純には、図2-3(a)のように、撮像面を画素という単位に細かく分割して、それぞれの画素に信号を取り出す線を接続すればよいでしょう。

しかし、これは今日のテレビジョンに映して適当な解像度を得るために約30万本程度の線が必要になり、現実的ではありません。また、図2-3(b)のように、信号を取り出

〈図2-3〉
信号を取り出す方法



見本