

センサ技術 (II)

Sensor Technology (II)

鈴木 義彦*

Yoshihiko SUZUKI

3. 基本的なセンサ

3. 1 光センサ

光で物体を認識したり、計測する方法は非接触的に測定できる特徴があり、近年最も注目されているセンサである。光を電気信号に変換する光センサは波長感度から(1)赤外センサ、(2)可視光センサ、(3)紫外線センサに分類されるが、普通は可視光センサを意味することが多い。応用分野の関係からは赤外線センサは別の基本的センサとしてここでは分類した。

光センサを空間的次元で分類すると、一点だけの光を検出する個別素子と、一次元的な光の帯を検出する一次元光センサ(リニアアレイセンサ)、画像を検出する二次元センサ(エリアセンサ)に分類される。個別センサは更に表8⁹⁾に示すとおり、受光デバイスと光を投影してその反射光を受光する複合デバイスに分類される。受光デバイスの中で光量子放出効果を使ったタイプは真空管であり、光電管、光電子増倍管があり、感度が高い特徴があって、微弱光の検出に使われることが多い。しかし印加電圧が数百Vと高く、真空管なので取扱に注意が必要などのため、自動化機械ではこのタイプの光センサを使うことは少なく紫外線や超高感度センサとして使われることが多い。

3. 1. 1 受光デバイス

3. 1. 1. 1 光導電セル

光導電効果は半導体に光が入射すると半導体の抵抗が、低くなる効果であり、これを使ったセンサは安価なセンサとしてこれまで種々の分野で利用されてきた。身の回りで使われている最近の例は開けるとメロディーの聞こえる二つ折りのギフトカード等に使われている。材料がCdSという半導体を使用したものが一般的で、数十円程度ときわめて安価である。応答が遅いが、感度が高く(約1A/1 μ m)、また交流動作が可能で、ノイズに強いが、低光強度で前歴に依存するという欠点もある。図10にCdSセルの分光感度特性を示す。可視光全域に感度があり、光源選択の自由度が大きい。また光電流は図11のCdSセルの電圧電流特性のように電圧に比例して増加する。しかし許容電力は素子の大きさで決まるのでその範囲内の電流で動作させなければならない。通常、暗抵抗は10M Ω であるが、10Lux程度の光照射で50K Ω になり、約200倍程度の電流増加がある。

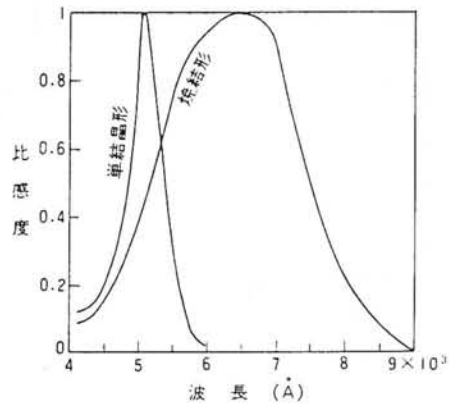


図10 CdSセルの分光感度特性

* 大阪府産業技術総合研究所

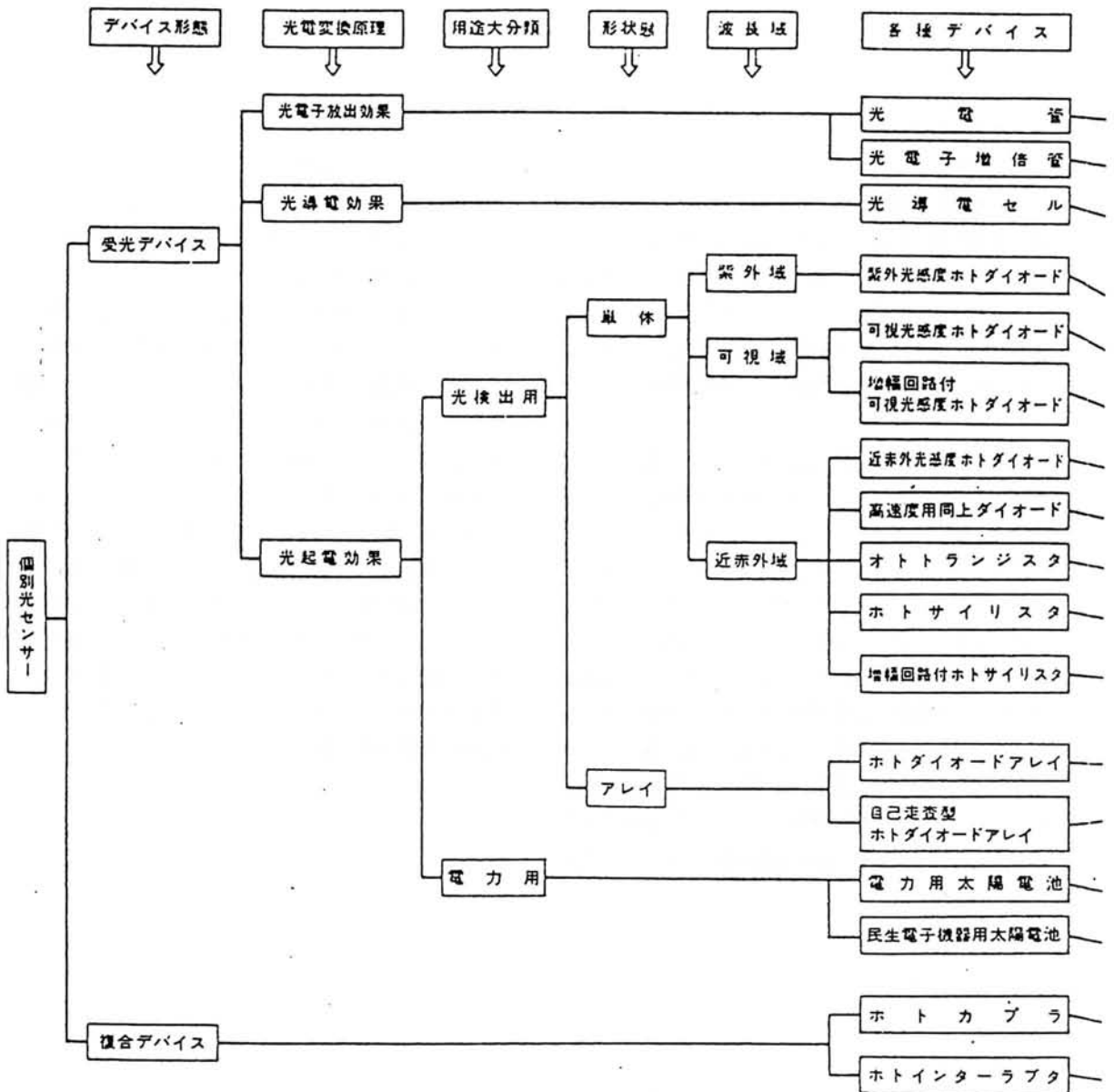
電子デバイス研究所

(〒550 大阪市西区江之子島2丁目1番53号)

Osaka Prefectural Industrial Technology
Research Institute

(2-1-53, Enokozima Nishi-ku Osaka 550)

表8 個別光センサの分類と特長, 用途



特 長

- 微弱光検出、応答速度大、パルス光カウント可。
- 微弱光検出、S/N比良、大出力、パルス光カウント可応答速い
- 小型、高感度、安価
感度ピークCdS(520nm)

- 特に400nm以下に感度をもつ
小型で完全固体形、電源不要
- 視感度に合わせてつくられている。
電源不要
- カメラ用は対数的に動作をする。
ダイナミックレンジが広く大出力が得られる
- 安価で小型、完全固定化。
電源不要、Trの接続簡単
- PINで高速応答、小型
- 大出力電流が得られる。
安価、Trとの接続容易
- 大電流の制御ができる。
高電圧回路に使用できる
- 高感度、大電流制御可

- カスタムメイドが中心で受光面積も
各種できる、駆動回路の取付可
- 箱型で大出力が得られる。
駆動が簡単、多素子アレイ可

- 150~+100°C用の人工衛星用から
一般電源用まで高効率、長寿命
- 直列接続により2.1~5.6Vが得られ
低抵抗、逆流防止ダイオード、過電圧防止IC付

- 発光素子と組合せ電気的に完全分離
されている、アナログ量が増える
- 発光素子との組合せで光路が露出
しているので光路による検出が可

用 途

- 精密光測定計測器、
高速・微弱光検出器、トーカー
- 超高速・極微弱光検出用
各種リーダー、紫外線検知装置
- カメラの露出計、光制御器
ホトカブラ、ホトリレー

- 公害分析機器、医用機器
紫外線検出機器など
- 照度計、比色計、分光光度計
精密光学機器、光通信
- カメラEEシステム、電子シャッター
色判別による自動選別機
- 光電スイッチ、テープリーダー、カードリーダー、
レベル制御、エッジセンサー
- 光通信、画像伝取、
バーコードリーダー
- ストロボ、光電スイッチ、光電子カウンタ、
煙探知機、赤外線応用装置
- 光リレー、調光システム、
ストロボ、光電スイッチ
- 光電スイッチ、警報装置、
レベル制御

- パンチテープ・パンチカードの読
取りパターン認識
- エンボスカードリーダー、OCR、
パターン認識

- 気象観測テレメータ用電源、
時計用、人工衛星用、電卓用各電源
- トランジスタラジオ用電源、
腕時計・クロック用、電卓用電源

- 電算機のI/Oインターフェイス、
システム機器のノイズカット、無接点リレー
- 光電スイッチ、光電式カウンタ、
エッジモニタ、レベル制御

波 長 帯 域			印加電圧 (V)
紫外	可視	近赤外	
○	○	○	50~100
○	○	○	600~1000
	○	○	~200

○	○	—	
	○	—	
	○	—	<10
		○	—
	○	○	<30
		○	<30
		○	400
		○	400

	○	—	
	○	—	<30

	○	—	
	○	—	

	○	—	<30
	○	—	<30

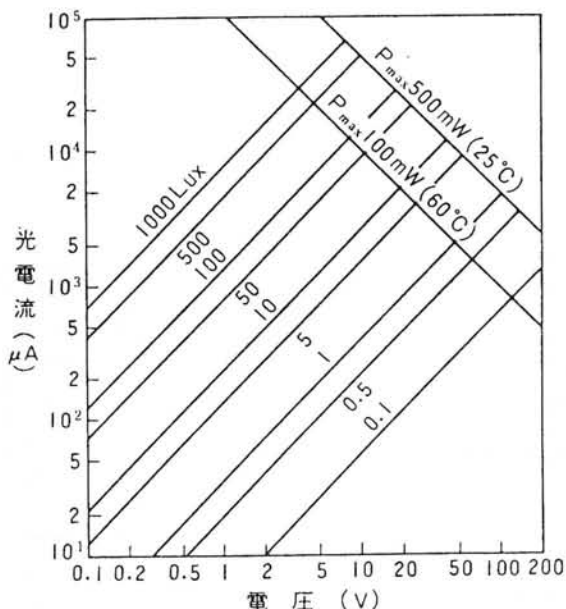


図 1 1 CdSセルの電圧対光電流特性

3. 1. 1. 2 フォトダイオードと使用法

光起電力効果は半導体の P/N接合に光を照射したとき P/N接合の間に電圧が発生する効果を言う。このために普通はN型半導体の上に薄くP型半導体を形成し、光が接合部に到達し易いように作る。感度スペクトルは接合深さにより変わり、薄いほど短波長で感度が高くなる。シリコン半導体を使用しているため、小型で、量産も容易で、種々の分野でこのタイプのセンサが使用されている。フォトダイオードの光照射時の電圧-電流特性を図12に示す。いま負荷抵抗 R_L を接続すると動作点は P_0 となる。 R_L を小さくすると電流軸に近づき光電流は光の強さに比例する。一方 R_L を大きくすると光電流は光強度に比例しなくなり、電圧は光強度の対数に比例するようになる。従ってできるだけ負荷抵抗が小さい方が光量に比例した信号が得られるが負荷抵抗を下げるが出来ない場合もある。その場合はフォトダイオードに逆バイアスを印加して光導電モードで測定する。その結果図13に示すように直線性の範囲を拡張できる。⁹⁾ 図14にOPアンプとの接続法を示す。(a)は電流増幅回路でアンプの入力電圧は零に近い状態で動作するのでフォトダイオードの短絡電流を増幅できる。(b)はフォトダイオード

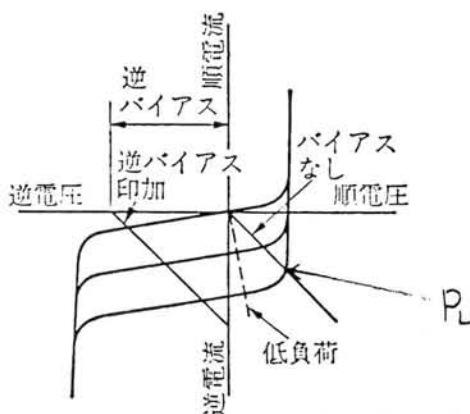


図 1 2 光ダイオードのV-I特性

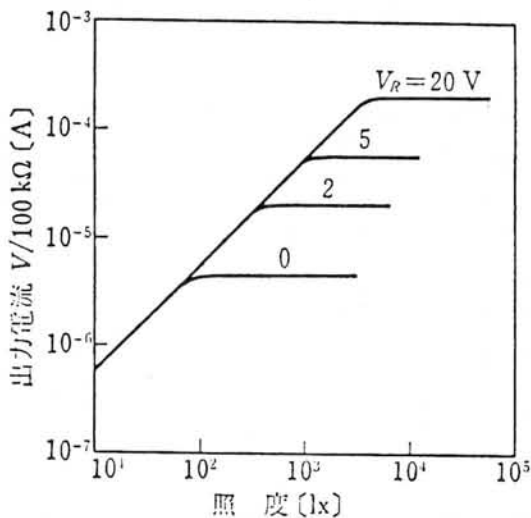


図 1 3 直線性上限の逆バイアスによる拡大

ドに逆バイアスする場合である。(c)は電圧増幅回路であり、ほとんど開放端電圧を増幅しているが、入力インピーダンスは高く、低照度の場合はOPアンプのオフセット電流を小さくしなければならない。光信号電流が小さい場合はデュアルFETを前段に用いオフセット電流を極力抑えることが必要である。(d)はその回路である。

3. 1. 1. 3 フォトトランジスタ

フォトトランジスタはトランジスタのエミッタ-ベース接合に光を照射して使うトランジスタであり、フォトダイオードに比べると光増幅作用があるので感度

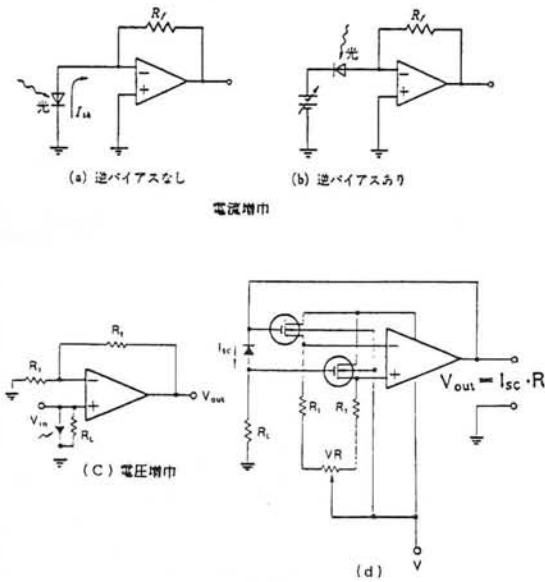


図14 フォトダイオードとOPアンプとの接続方法

は高い。しかし暗電流が大きく光応答性も余り速くなく、したがって、周波数応答性もよくない。

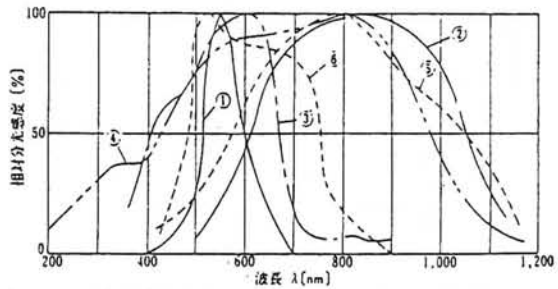
3. 1. 1. 4 各種光センサの分光感度特性

図15に各種光センサの代表的な分光感度特性を示す。光センサは量子効果を利用したセンサであるので、全ての波長に感度があるのではなく、ある波長領域にだけ感じる。図中④の紫外線用センサの場合、短波長に感度を出す工夫をしているので、シリコン光センサの本来の感度スペクトルである長波長にも感度があるので紫外線だけを検知するためには長波長を遮断するフィルターを付けなければならない。また光センサのこのような分光感度のため、光を照射してその反射によって種々の検出を行おうとする場合、光源の発光スペクトルを知り選択する必要がある。各種光源の発光スペクトルを図16に示す。この図から分かるとおり、特に発光ダイオードは小型で、消費電力が少ないという特徴があるが、発光波長の幅が狭いので受光デバイスの相性を合わせる事が重要である。

3. 1. 2 カラーセンサ

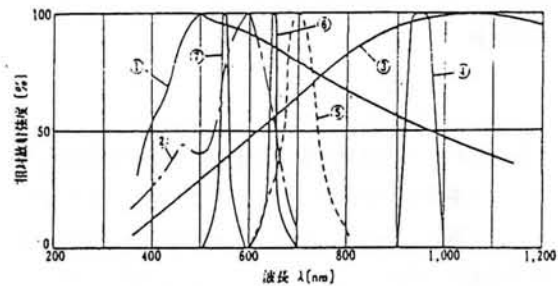
近年光の色情報を利用して種々の判断、自動化を行う

試みがなされているが、そのためには簡易なカラーセンサが必要であり、これまでに3種類のカラーセンサが市販されている。いずれも半導体のフォトダイオードを利用したもので、アモルファスシリコン光センサと光フィルタを組み合わせ、単結晶光センサと干渉フィルタの組合せや、光ダイオードのPN接合面の深さの差による分光特性の差を利用したものなどである。ここではアモルファスシリコンカラーセンサについて述べるが、カラー表示の原理はほとんど同じである。¹⁰⁾ 図17に a-Si カラーセンサの構造を示す。光を電流に変換する部分は i 層であるが、この部分は抵抗が高いため電極が分離さ



① 比視感度特性、② フォトダイオード、③ カメラ用フォトダイオード、④ 紫外線用フォトダイオード、⑤ フォトトランジスタ、C d S 光導セル

図15 光センサ



① 太陽光、② 昼光色蛍光灯、③ ナンクスランプ (CIE 標準光源 A) ④ GaAs 赤外発光ダイオード、⑤ GaP 青色発光ダイオード、⑥ GaAsP 赤色発光ダイオード、⑦ GaP 緑色発光ダイオード

図16 発光デバイスの発光波長特性

れていれば各々のセンサの干渉はきわめて小さいのがこのセンサの特徴である。R, G, Bは光フィルターでR, G, B各々のカラーセンサの分光感度特性は図18の通りである。この3色カラーセンサを用いた色識別システムのブロック図を図19に示す。カラーセンサからの信号を

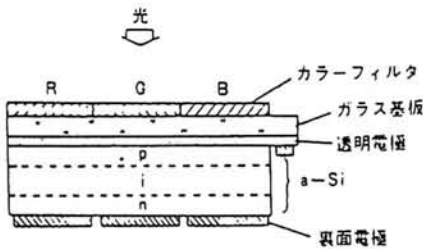


図17 a-Si カラーセンサの構造

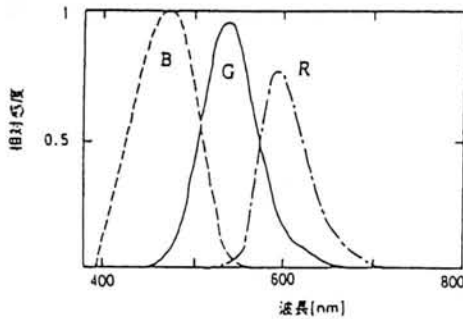


図18 R, G, Bカラーセンサの分光感度特性

A/D変換し、チャンネルセレクトで選択的に取り出して、すでに記録してある色標準信号とマイクロプロセッサで比較計算して色識別を行うものである。

3. 1. 3 複合デバイス

複合デバイスとは発光素子と光センサを組み合わせたデバイスを意味しており、フォトカプラや、フォトインタラプタ等がこの範中に入る。フォトカプラは信号伝達素子であり、厳密にはセンサといえないので、ここではフォトインタラプタについて述べる。

フォトインタラプタは発光素子からの光を測定対象物に反射、あるいは透過させた後、光センサで検出するものである。図20に示すように(1)透過型、(2)反射型という2種類に分類されている。透過型は光ビームを物体が遮断したときの光の変化を検出しており、糸切れ検出、紙の終端検出、回転数検出などに利用されており、反射型は物体からの反射光の変化を検出しているため、物体有無検出や、バーコード読み取りなどに利用されている。

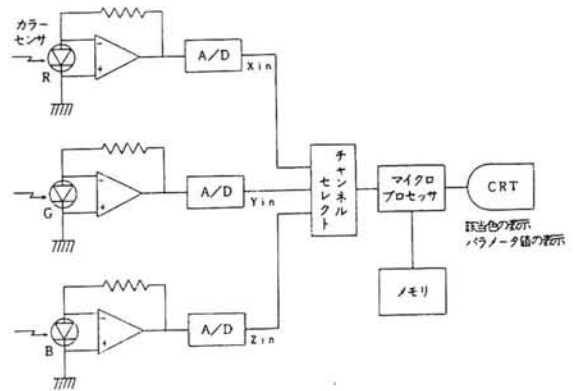
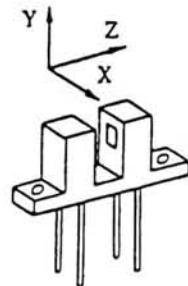
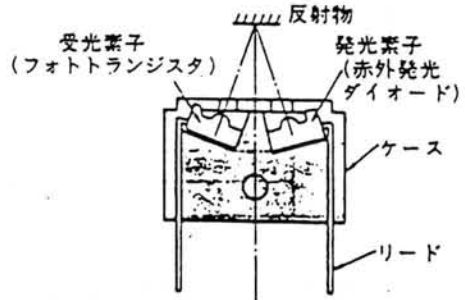
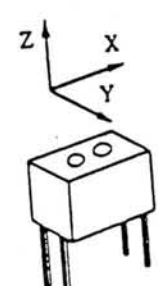


図19 色識別システムのブロック図



(a) 透過型フォトインタラプタ



(b) 反射型フォトインタラプタ

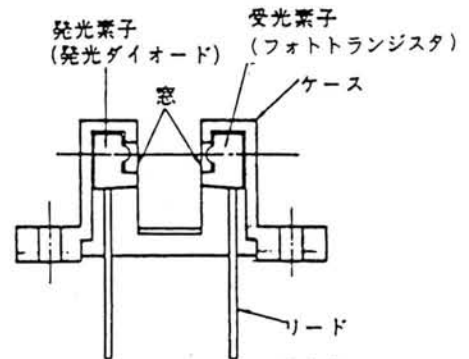


図20 フォトインタラプタの構造

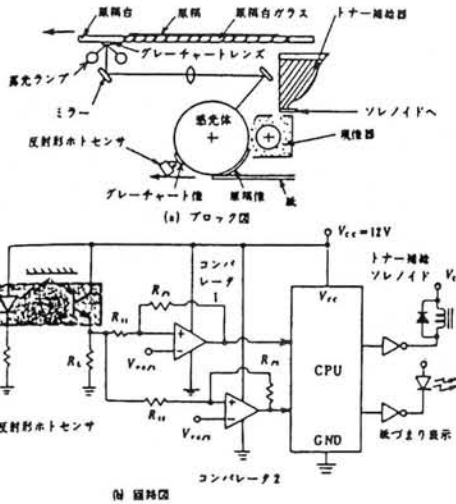


図21 フォトインタラプターの複写機への応用
外乱光に影響されやすいので種々の工夫がなされ最近
はきわめて使い易くなっている。このセンサは比較的安価
であり、また投光部と受光部が小型にまとまっているの
で種々の分野で応用されている。表9に現在使用されて
いる使用例を示す。複写機の紙づまり検出に応用されて
いる例を図21に示す。

3. 1. 4 画像センサ

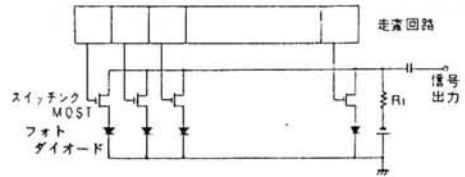
画像センサはイメージセンサともいわれ、1次元センサ及び2次元センサがあり、実時間で撮像が出来る。ビデオカメラの撮像素子がこれである。イメージセンサは真空管である。撮像管と半導体を使った固体イメージセンサに分類される。撮像管は光電面に像を反映してできた電荷分布を電子ビームで走査して電荷量を時系列信号として画像を検出するものであり、固体センサは1次元や、2次元的に配列されたセンサの光導電効果や光起電力効果による光信号を電氣的に操作して画像を得る。

撮像管では、電子ビームを走査するために真空であること、電子ビーム加速のための高圧電源、及び走査のための磁界電流のための電源などが必要である。このため取扱に注意を必要としたり、素子が大ききまた消費電力も多いなどの欠点があるが、イメージセンサとして重要な特性である解像度がよく画質がよい点、また可視光以外でも感度のあるセンサが作られているなどの点で捨て難いセンサである。光電面の材料や構造により、ビジコン、サチコン、イメージオルシコン等多くの種類が開発

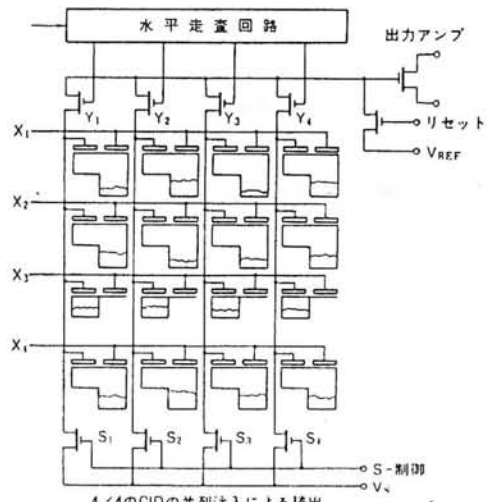
市販されている。

固体イメージセンサは半導体を使用していることから小型、高信頼性、低消費電力、低電圧動作、量産可能なので低価格化の可能性があり、また各画素が幾何学的に定められた位置に配列され、デジタル的に読みだされるので光電変換過程に図形ひずみに関する不正確がなく、また低残像、高S/N比など大きな特徴を持っているので近年急速に普及してきた画像センサである。

図22に1次元及び2次元MOS型イメージセンサの構成を示す。MOSトランジスタと光ダイオードによって光信号を受光して走査伝送している。CCDイメージセンサはCCDの電荷転送を利用した固体イメージセンサでMOS型より雑音特性や強い光の時に像がぼけるブルーミングや、スミアが少ない特長があるが最近では各々のセンサの改良が進み特に大きな差は内容に見受けられる。



(a) 1次元センサの構造



(b) 2次元センサの構造

図22 MOS型イメージセンサ

画像センサが固体化し、安価になってきたのでこのセンサを利用した画像処理技術が近年特に発達してきて、この技術を使った欠陥検査や形状判断などFA機器に応用されている。表10に応用分野と応用例を示す。

2次元センサ（エリアセンサ）を使わなくても信号処理の簡単な1次元センサによっても多くの検出が可能である。そのいくつかの例を図23に示す。

3. 1. 5 光センサ利用の特徴^{11), 12)}

上記の光センサを利用する特徴は以下の通りであり、近年盛んに使われているが、精密測定などでは光軸合わせに労力が必要であったりして、工場などの生産現場では使いづらい点もある。

- (1)非接触測定 光を媒体としているので
- (2)高精度 光の直進性、干渉性を利用できる
- (3)高速 光の速度以上の速度はない
- (4)演算機能もある フーリ変換を空間的に可能

表10 イメージセンサの応用例と利点

分野	応用例	特に重要な利点
民生	ホームビデオカメラ、電子スチルカメラ ホームセキュリティ(防犯、防犯)	低価格、小型軽量、低電力 低価格、長寿命、検付き無し
産業	監視 —— 防犯、防犯、危険地域監視 検査、探査 —— 管内検査、水中検査 画像計測 —— マシンビジョン、ロボット	同上、(カラー監視有望) 小型、駆動機構耐久性、長寿命 画像歪みなし
オフィス	TV会議システム 文書、図形入力システム —— ニューメディア 入力カー —— パソコン入力、OA電イフ ァイル入力	長寿命、検付き無し 同上、画像歪みなし、(高分解 用途はラインセンサー)
医学	検査、診断 —— 細胞診断、血球検査、同 計数、硬性内視鏡、ファイバースコープの 代替鏡	小型(カラー画像計測) 超小型カラー、色再現性に優れる
教育 報道	テレビ顕微鏡、 ニュース取材	小型、同上 小型軽量、低電力、耐久性
運輸	電子スチルカメラ(静止画像送信機付) 車載用途(後方監視) 航空機搭載 管制(道路、空港)	同上 同上 同上 同上
印刷製版	スキヤナー	同上 (ラインセンサー)


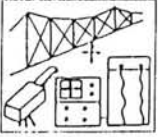
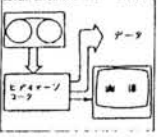
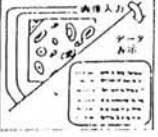
- (5)色 多次元計測が可能
- (6)パターン認識 物体の形状を認識

このような多くのユニークな特徴があるので今後益々重要となるセンサである。表11に光センシング技術とその応用分野をまとめて示す。まったく異なった多くの分野で光センサがその特徴を発揮し使われている様子が分かる。

表9 フォトインタラプタの使用例

分類	具体的な商品例	使用例
民生機器	ビデオテープレコーダ(VTR)、テープレコーダ	リールの回転検出、レバー位置検出、テープテンション検出、テープ検出
	ビデオディスクプレーヤ(VD)、デジタルオーディオディスクプレーヤ(DAD)、オーディオプレーヤ	ターンテーブルの回転検出、レコード(サイズ)の検出、アームのオートリターン、ディスク検出、アーム位置検出
	エアコン、冷(湿)風機、除湿機	貯水量の検出
	ミシン	モータの回転検出(タイミングパルス発生)、レバー位置検出
	チューナ、トランシーバ	周波数同調用(カウンタパルス発生、ロータリエンコーダとして使用)
コンピュータ周辺機器	プリンタ、タイプライタ	原点検出、タイミングパルス発生、紙検出
	複写機、ファクシミリ	タイミングパルス発生、紙検出、メカ位置検出
	その他端末機器(ライトペン、キーボードなど)	ライトペン出力パルス発生、キーボード無接触制御
車載機器	速度警報(速度計、80km/h-100km/h警報)	速度計内の針の動きと運動するスリット板の検出
	速度感応形パワー・ステアリング(速度計内)	速度計内の針の動きと運動するスリット板の検出(2-3カ所の速度検出)
	油量表	フロートの動きを光学式エンコーダの入力として使用
	走行距離	速度計内 走行距離カウンタの検出
遊戯機器	金銭投入口	コイン、メダルの検出
	操作レバー	操作レバーの位置検出
	スロットルマシン	回転検出
計測機器	パチンコ	パチンコ玉の検出、スロットルの回転検出
	メータリレー	警報レベルの設定(メータの針の検出)
	プロッタ、ペンレコーダ	ペンの位置検出
	リニアエンコーダ、ロータリエンコーダ、測長機	光学式エンコーダ(パルス発生)として使用
情報機器	流量計、風量計、(電力)積算計など	回転物体(円板など)の検出(パルス発生)
	ATM(現金自動預金支払機)、CD(現金自動支払機)	クレジットカードの検出、メカ位置検出、紙幣量検出、紙検出
工作機器	産業用ロボット	位置検出、物品の検出、タイミングパルス発生
	NC工作機械	位置検出、物品の検出、タイミングパルス発生

表 1 1 光センシングデバイスとその応用分野

	科学計測	産業計測	医学計測	その他
応用システム例	 リモートセンシング (資源探査, 気象観測)	 工業用テレビ (生産管理, プロセス制御)	 医療検査 (真しう部位観察)	 特徴抽出 (データ解析, 監視など)
可視光 (単色, 白色)	人口衛星検出 宇宙船航行姿勢制御など 水平線センサー 方位決定用太陽追跡器 水平線構造研究など レーザ距離計測	産業ロボットのセンサー 部品寸法計測 部品大きさ選別 各種光スイッチ	各種内視カメラ 生体細胞の顕微鏡測定	船舶, 航空機, 侵入者検出 ミサイル誘導 航行制御 直接保管 火災制御 航空機衝突警報
フォトカプラ 形複合機 読取素子	各種分光分析 光電圧色計 レーザレーダ	オプティカルマークセンサー オプティカルカードリーダー オプティカルインタラプタ 各種ドアスイッチ	各種内視カメラ 遠隔用誘導デバイス 眼科用検査機器	超高压の遠隔測定 防犯ベル, 漏洩計 高速道路ミストセンサー
紫外および 可視画像 スペクトル	(OMA などによる各種の材料 ミネラル計測) 半導体電子器構造の研究 各種蛍光分析	各種生産ラインプロセス 塗料, 色調自動判別 部品自動選別, 検査 半導体ICパターン自動検査 食品鮮度の判定	X線, 可視, 超音波などの各 種の断層診断, 鑑定 各種内視カメラ	公害監視装置 ハイウェイNOx監視 鉱物の蛍光分析による判別
可視および 近赤外線 スペクトル	各種リモートセンシング資源 探査, 気象観測 固体, 液体, 気体の不純物分 布, 温度分布測定	森林火災発見, 森林の健康診 断 材料表面の退色性から酸化, 疲労の鑑定	皮膚, 顔色, 血色からの健康 状態の鑑定 眼科の検査	船舶, 航空機, 侵入者検出 ミサイル誘導 水中の微生物の分布計測 食品の鮮度検査
可視および 近赤外線 スペクトル	月, 惑星, 恒星温度の測定 天候状態の連続計測 植物内熱伝達の研究 地球熱平衡の計測	各種のプロセス制御 農作物の分類, 精地面積の計 測 結晶成長の自動計測	皮膚の温度分布測定 ガン発見 皮膚加熱と湿感分布	農作物の作物状況判別 目的物の選定 長年の年代判別 土地利用状況の分布計測
赤外透過 スペクトル	水質検査, 各種分光分析 対流圏大気汚染モニタ 海洋汚染モニタ	乱気流の検出 有機物, ガスなどの分析 水中の油検出 Ge, Si 中の酸素調整	空気汚染の検出とモニタ 血液および呼吸ガス中のCO ₂ の検出 尿の自動検査	ガス検出 (貯・ばらい運転検 知) 目標と背景の検定 ガラス, プラスチック内部応 力測定 液体配管中の不純物検出な ど
赤外反射 スペクトル	製造年月日の識別 月, 惑星の表面構造の調査 室石の鑑定 地球資源の探査	産業監視の防犯 製作中の写真フィルム試験 樹木, 作物の病害検査 水質検査・腐敗作物の検出 包装物中の品物検査	血管閉塞の位置判定 不透明角鏡を通して眼の検査 包帯の上からの皮膚の診断 皮膚病の鑑定	夜間走行, 航行のナビゲータ 海水, 河川の汚濁分布 地表監視, 赤潮の監視 土壌の状態管理
熱線放射 スペクトル	地熱, 火山帯の探査 海流の流れ分布の測定 掘削の熱管理	各種非破壊試験検査 紫外線光学材料の検査 熱線放射の研究	皮膚炎の診断 火傷, 凍傷などの診断 発熱初期診断	各種の電気, 機械部品の熱地 図作成 生体の活力判定

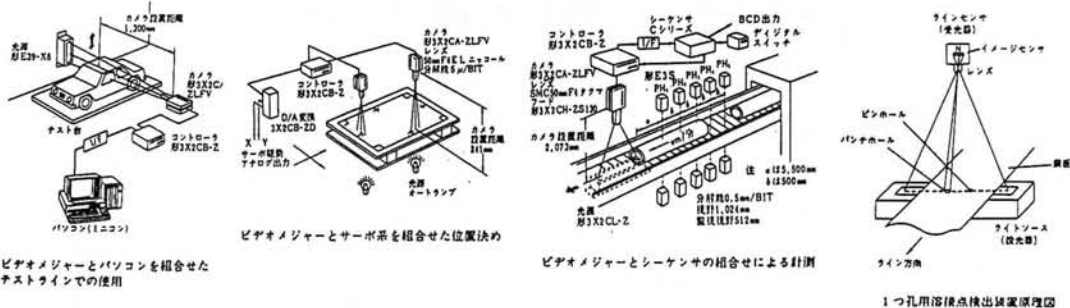


図 23 リニアイメージセンサの使用例

表 13-1 光ファイバセンサの例

計測対象	型	光の変調	光学現象	材 料	特性、性能、特長	
温度	T	透過率	E _g の変化	CdTe, GaAs(半導体)	50~250 °Cで0.1 °C精度	
		光路遮断 (ON, OFF 型)	透過率変化		パラフィン	ON(63 °C) -OFF(52°C)
			磁性体 温度変化		フェライト	ON(57 °C) -OFF(53°C)
			膨脹		水銀柱	誤差0.5 °C
		光路遮断	遮蔽板		バイメタル	0~100 °C, 精度1%以下
		透過率	散乱		Hexachlorobutan 液	0~200 °C, 精度 1°C
		反射率	液晶の反射 率変化		コレステリック	10~45°C, 精度0.1 °C
		透過率	軸ずれ		バイメタルレンズ	20~90°C, 18dB変化
		光強度	蛍光放射		(Gd(u)O ₂ S	-50+200 °C
			黒体放射		石英, 赤外ファイバ Irフィルム+サファイア	精度 1°C 600~2000°C, 2 × 10 ⁻⁵ °C/1000°C
	位相		多色干渉	石英タキロン	精度 < 1°C	
	偏光	複屈折変化		LiNbO ₃ 水晶板	20~ 300°C, 精度 1°C 0~ 500°C, 精度<0.1 °C	
	F	干渉	熱膨脹 屈折率		石英ファイバ	1mのもので4.6 × 10 ⁻⁵ °C 感度
偏光		複屈折変化		複屈折率ファイバ	SN 比良い	
透過		レーラー 散乱		Ndドーブファイバ	OTDRで分布測定	
電流 磁界	T	偏光	ファラデー 効果	Y.L.G強磁性体	磁界1~2000Oe 1~400 A	
	F	偏光	ファラデー 効果	石英ガラス, 鉛ガラス	磁界10~6000Oe 50~1200A	
		位相	磁気歪効果		Ni 68, パーマロイ	10 ⁻⁷ Oe/m (最小検出磁界)
電圧 電界	T	偏光	ポッケハス 効果	LiNbO ₃ , LiTaO ₃ BSO	1~1000V, 0.1~1KV/cm	
	F	偏光	ポッケハス 効果	メタニトロアニリン		
		位相	電歪効果		セラミック振動子	

伝送路型 (T), 機能型 (F)

表 1 3-2 光ファイバセンサの例

計測対象	型	光の変調	光学現象	材 料	特性、性能、特
角速度	T	遮断	風車の回転	回転円板	60m/sec
		散乱光	ドプラー	石英品	$10^{-4} \sim 10^3$ m/sec
	F	周波数	サグニヤック	リング干渉計	3×10^{-3} rad/sec
振動 圧力 音響	T	光強度	散乱	C ₄₅ H ₇₈ O ₂ + VI. 2055	0 ~ 300mm/g
		遮断	2 波長透過率変化	振動子	振巾 0.05 ~ 500 μm
		光強度	反射角の変化	ダイアフラム	血圧測定誤差 2.6×10^3 Pa
		光強度	干渉	ファブリペロー干渉計	
		光強度	光軸ずれ	可動レンズ	
		偏光	光弾性セル	偏光保持ファイバ	
	F	周波数	ドップラー効果	石英系	最小振巾, 0.4 μm (120Hz)
		位相	干渉	石英系	圧力 154KPam/ フリンジ
		光強度	マイクロバンド損欠	ダイアフラム+ベンダ	圧力 0.9×10^{-2} Pa以上
		ヘテロダイン	複屈折	複屈折ファイバ	
	T	位相	干渉	ファイバ干渉	屈折率変化検出
		偏光	偏光反射率	全ファイバ偏光解析	油膜センサ
		光強度	吸光分析	低損失ファイバ	N ₂ 遠隔分析
		光強度	蛍光分析	低損失ファイバ	プランクトン濃度
		光強度	散乱		油粒子による光散乱
F	光強度	屈折率	クラッドモード	クラッドに接する液体の屈折率による光ファイバ伝送損失利用	
液位	F, T	光強度	全反射	V字ファイバ	液とファイバ屈折率差による検出
像	F	光強度	光ファイバ系	石英ガラス	数十m長
			波重多重計	石英系ガラス	数m長
			光の集束性	多成分ガラス	数十cm長

伝送路型 (T), 機能型 (F)

表12 光ファイバ・センサの特長

	基本特性	主な特徴	センサ分野
材 料 (石 英)	(a)化学的安定性	耐水・耐火 耐化学薬品 耐高・低温	耐環境センサ (化学プラント、高温領域、宇宙、海洋) 生体内センサ
	(b)絶縁性	非接地 耐ノイズ	高電圧機器用センサ 電磁界内センサ
	(c)変換要素	結露性 環境適合	(ノイズ下・電波暗室、プラズマ中) マルチ・センサ・ネットワーク
フ ァ イ バ	(a)細径	軽量 可撓性	微小センサ センサアレイおよびマトリックス 飛翔体内センサ、知能ロボット
	(b)低損失	長尺	高感度センサ リモートセンサシステム
光	(a)光波 (コヒーレント)	非接触 干渉、偏光	高感度センサ (回転、音波、磁界)
	(b)スペクトル	分光	成分分析センサ 画像モニター、並列画像処理
	(c)画像	波長多重 バンドル化	成分分析センサ 画像モニター、並列画像処理
	(b)パルス	時間多重	破断点計測、時分解光反射計測システム
伝 送 路	(a)情報伝送	大容量、高速	コンピュータ制御システム 高速大容量計測制御システム
	(b)伝送路	伝送路センサ	分布型センサ

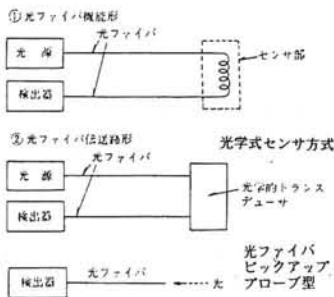


図24 光ファイバセンサの基本形

3. 2 光ファイバセンサ^{13), 14)}

光ファイバの開発により光を利用した計測技術は急速な進歩を遂げ、光ファイバセンサとして一つのセンサ分野が広がってきた。光ファイバは光を通す伝送路としてだけでなく、ファイバの光透過特性がファイバの温度、歪、周囲の屈折率変化で変わる点を利用した光ファイバセンサとしても利用され始めている。光ファイバセンサには表12の特徴がある。特に信号伝送路として電磁雑音に強い、可撓性に富むので曲げたりして光を自由に扱うことができる等の特徴の故にこのセンサがよく使われるようになったといえる。光ファイバセンサを分類すると光ファイバを信号の伝送路として使う光ファイバ伝送路型と、光ファイバ自体がセンサとなる光ファイバ機能型に分けられる。伝送路型はさらに種々の光学的物理効果を利用したセンサがついている光学式センサ方式と、光ファイバを光のピックアップとして使う光ファイバピックアッププローブ型に分けることができる。この分類の基本型を図24に、また概要を図25に示す。また表13に計測対象と光ファイバセンサの例をまとめて示す。

参考文献

- 8) 鈴木忠二：電子技術 Vol.20 (1978) No.5 p43
- 9) (社)計量管理協会計測センサ利用技術調査委員会編：センサの原理と使い方 (昭和58年)(コロナ社)
- 10) 能口 繁、中野昭一：ニューセラミックス (1988) No.5 p71
- 11) 濱川圭弘編著：センサの集積化・知能化技術 (昭和62年)(日刊工業新聞社)
- 12) 濱川圭弘：'84 センシング技術応用セミナーテキスト (昭和59年)(センシング技術応用研究会)
- 13) 藤井義正：光ファイバ応用計測 (センシング技術応用研究会第30回研究例会資料)
- 14) 芳野俊彦：機械の研究 Vol136 No3, 4, 5 (1984) (図表及び文献番号は前回より続く)

	光学式センサ方式	光ファイバピックアッププローブ型センサ方式	光ファイバ機能型センサ方式
計測原理	光弾性効果 電気光学効果 偏光光学効果 光吸収・反射体 光路遅延	レーザドップラー効果 発熱体の放射 イメージファイバ	干渉現象 マッハツェンダー干渉系 マイケルソン干渉系 サグナック干渉系 マイワグヘンド現象
光量の値	光強度	光原強度 光強度	光位相(光強度)
構成例	AlGaAs-LED BS Siフォトダイオード InGaAsP LED Ge-APD Siフォトダイオード 信号処理部	ガスレーザ 単体VBS 光ファイバ 反射体 検出器 信号処理部	APD BS CCW CW 第一モード 光ファイバ
計測対象	光ファイバ温度計	光ファイバレーザドップラ速度計	光ファイバレーザジャイロ
材料	個別光部品	光ファイバ	光ファイバ
特徴	・構造が簡単 ・高信頼性	・非接触 ・高感度	・超高感度

図25 光ファイバ計測技術の概要