HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

CMOSリニアイメージセンサ

CMOSリニアイメージセンサは、分光器、距離計測、マシンビジョンカメラ（寸法測定、異物検査）などの用途で使用されています。当社のCMOSリニアイメージセンサは可視光に加えて、不可視光（紫外、近赤外）にも感度があるため、不可視光の検出が必要とされる計測・検査などに広く使用されています。また、紫外域で高感度、真空紫外域に感度、全波長域のなめらかな分光感度特性など分光計測に適した特性の製品にも対応しています。

当社は自社工場で独自に培ってきたアナログCMOS技術・アッセンブリ技術を核として、さまざまな受光部・パッケージ・機能をもったCMOSリニアイメージセンサを用意しています。また、カスタム仕様にも対応しています。

浜松ホトニクスのCMOSリニアイメージセンサ

タイプ	動作方式	フォトダイオード	出力	型名	画素数	画素ピッチ (μm)	画素高さ (μm)	イメージサイズ (mm)	感度波長範囲 (nm)	ラインレート max. (ライン/s)	備考
PPS	RS	表面型	アナログ	S9226 シリーズ	1024	7.8	125	7.9872 × 0.125	400～1000	194	
			アナログ	S8377/ S8378 シリーズ	128 256 512	50	500	6.4 × 0.5 12.8 × 0.5 25.6 × 0.5	200～1000	3846 1938 972	
					256 512 1024	25	500	6.4 × 0.5 12.8 × 0.5 25.6 × 0.5		1938 972 487	
			電流	S15908-512Q	512	50	2500	25.6 × 2.5	200～1000	486	
				S15909-1024Q	1024	25	2500	25.6 × 2.5		243	
APS	GS	表面型	アナログ	S9227 シリーズ	512	12.5	250	6.4 × 0.25	400～1000	9434	
		埋め込み型	アナログ	S11639-01	2048	14	200	28.672 × 0.2	200～1000	4672	
			アナログ	S13488	2048	14	42	28.672 × 0.042	400～1000	4672	カラーフィルタ付き
			アナログ	S13131 シリーズ	512 736 1536	5.5	63.5	2.816 × 0.0635 4.048 × 0.0635 8.448 × 0.0635		3774 2653 1287	省スペース型 (COBパッケージ)
			デジタル	S11720 シリーズ	1536 3072	127	127	194.972 × 0.127 390.044 × 0.127		45400	長尺型 (密着光学系用)
			デジタル	S13774	4096	7	7	28.672 × 0.007		100000	ADC付き (高速タイプ)
			デジタル	S15611	1024	7	200	7.168 × 0.2		34000	ADC付き (小型タイプ)

注)
PPS: パッシブピクセルセンサ (Passive Pixel Sensor)
APS: アクティブピクセルセンサ (Active Pixel Sensor)
RS: ローリングシャッタ (Rolling Shutter)
GS: グローバルシャッタ (Grobal Shutter)

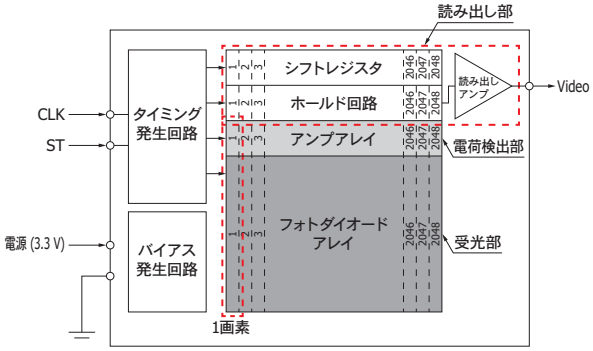
1. 構造

CMOSイメージセンサは、光学情報を電気信号に変換するデバイスで、受光部・電荷検出部・読み出し部をもっています［図1-1］。受光部では、入射光をフォトダイオードが検出して、光電変換により信号電荷に変換します。電荷検出部は、信号電荷を電圧や電流などのアナログ信号に変換します。読み出し部は、アナログ信号（ビデオ信号）を画素ごとに読み出します。

CMOSプロセスによって、CMOSイメージセンサのチップ内に、タイミング発生回路やバイアス発生回路を形成することができます。そのため、外部駆動回路を簡略化することが可能です。CLKとSTと単一電源（例: 3.3 V）を入力するだけでCMOSイメージセンサを駆動できるため取り扱いが容易です。

CMOSイメージセンサが出力したアナログ信号をデジタル機器で扱うためには、アナログ信号をデジタル信号に変換する必要があります。一般的には外部回路のA/D変換器でアナログ信号をデジタル信号に変換した後、デジタル機器に転送します。当社は、A/D変換器をチップ内に形成したデジタル出力のCMOSイメージセンサも用意しています。

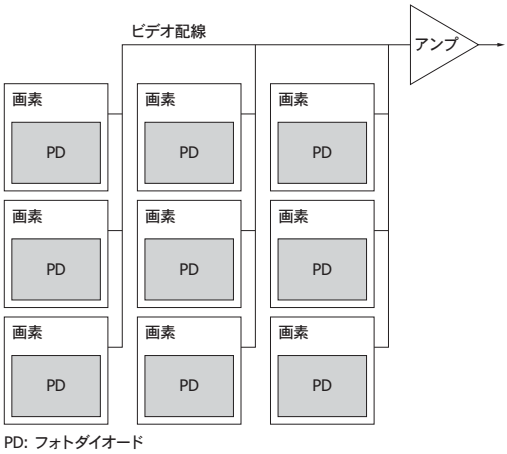
[図1-1] CMOSイメージセンサのブロック図（代表例）



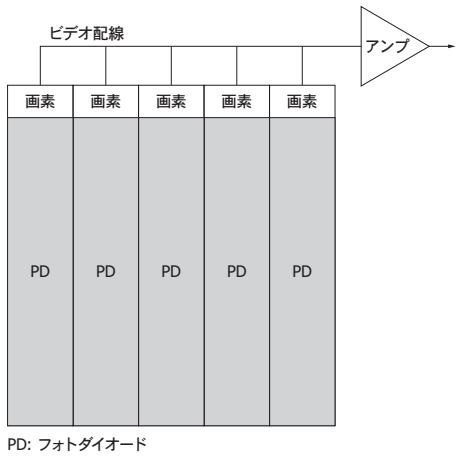
CMOSイメージセンサには、画素を2次元に配置したCMOSエリアイメージセンサと画素を1次元に配置したCMOSリニアイメージセンサの2種類があります［図1-2］。CMOSエリアイメージセンサでは、ビデオ配線や回路が占める領域により、単位面積当たりのフォトダイオードの面積（開口率）が小さくなります。一方、CMOSリニアイメージセンサでは開口率を100%にすることができるため、高感度化が容易です。また、長方形の画素を形成しやすいという特長をもっています。CMOSリニアイメージセンサは、光の1次元位置情報の検出が必要とされる用途で使用されます。本技術資料ではCMOSリニアイメージセンサについて説明します。

[図1-2] CMOSイメージセンサの画素の配置

(a) CMOSエリアイメージセンサ



(b) CMOSリニアイメージセンサ



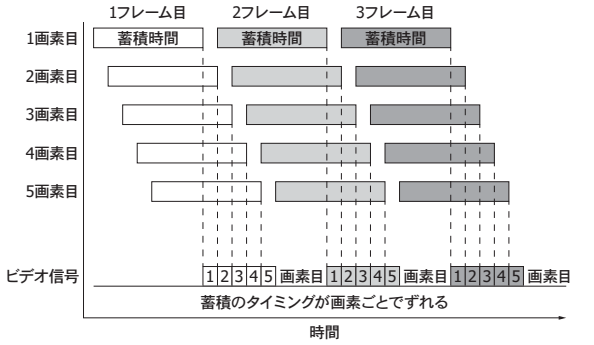
2. 動作原理

2 - 1 シャッタ方式

CMOSリニアイメージセンサの動作方式には、ローリングシャッタ（rolling shutter）とグローバルシャッタ（global shutter）の2種類があります。ローリングシャッタでは蓄積のタイミングが画素ごとでずれるのに対し［図2-1（a）］、グローバルシャッタでは全画素で同時に蓄積を行います［図2-1（b）］。高速に動く被写体を撮像する場合、ローリングシャッタでは蓄積のタイミングに時差があるため、画像に歪みが生じます。グローバルシャッタでは、全画素で同時に蓄積を行うため、画像に歪みが生じません［図2-2］。そのためグローバルシャッタは、マシンビジョンのように高速で動く被写体の撮像やパルス光の検出に使用されます。一方、ローリングシャッタは、定常的な光の検出に使用されます。当社のPPSタイプ（「2-2. パッシブピクセルセンサ、アクティブピクセルセンサ」参照）CMOSリニアイメージセンサのほとんどは、ローリングシャッタを採用しています。

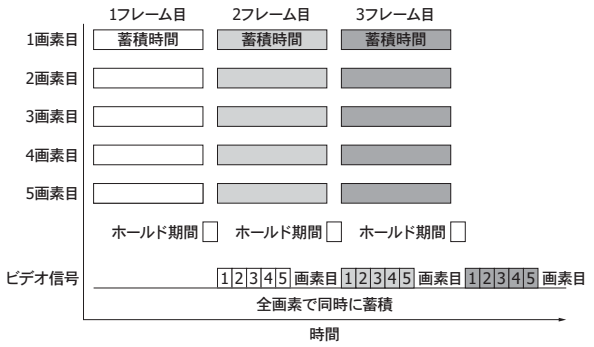
[図2-1] 動作方式

(a) ローリングシャッタ



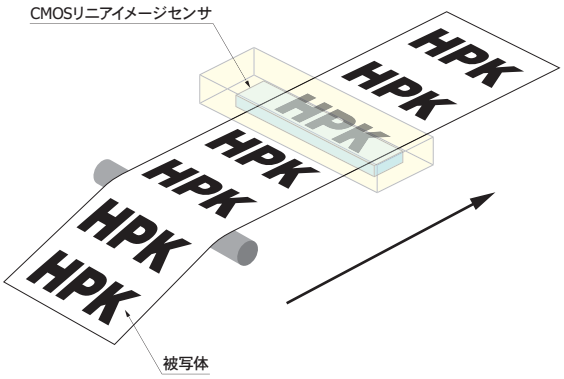
KMPDC0867JA

(b) グローバルシャッタ



KMPDC0868JA

[図2-2] 高速に動く被写体の撮像



KMPDC0869JA

(a) ローリングシャッタ

KMPDC0870JA

(b) グローバルシャッタ

KMPDC0871JA

以下に、ローリングシャッタとグローバルシャッタの動作について説明します。

(1) ローリングシャッタ

ローリングシャッタの動作を図2-3（a）に示します。各画素はスイッチを介してビデオ配線とアンプに接続されています。ローリングシャッタのCMOSリニアイメージセンサの撮像は、以下の順に行われます。

1. 各画素において、スイッチがOFFのときに、フォトダイオードで光を電荷に変換して蓄積します。
2. 1画素目のスイッチをONして画素とビデオ配線を接続し、画素の信号をアンプへ転送します。アンプで信号を読み出した後、ビデオ信号を出力します。このとき、フォトダイオードの電荷はリセットされ、次の蓄積を開始します。

3. 同様の動作を2画素目から最終画素において行い、全画素のビデオ信号を出力します。

ローリングシャッタでは、1画素目で蓄積を開始した後に、2画素目、3画素目～と順番に蓄積を行うため、1画素目と最終画素の蓄積時間のタイミングは画素数分ずれることになります。

(2) グローバルシャッタ

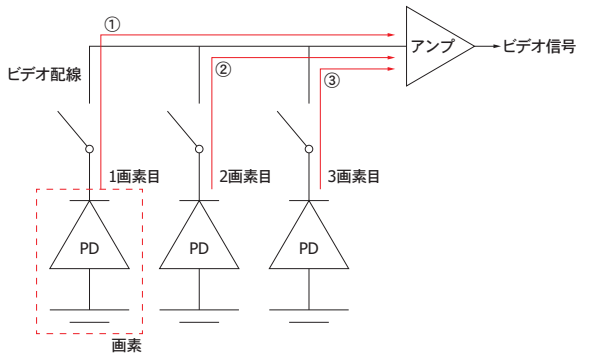
グローバルシャッタの動作を図2-3（b）に示します。ローリングシャッタとは異なり、グローバルシャッタでは各画素がスイッチを介してホールド回路に接続されています。ホールド回路は、スイッチを介してアンプに接続されています。グローバルシャッタのCMOSリニアイメージセンサの撮像は以下の順に行われます。

1. フォトダイオードとホールド回路の間のスイッチがOFFのときに、フォトダイオードが全画素同時に光を電荷に変換して蓄積します。
2. フォトダイオードとホールド回路の間のスイッチを全画素同時にONして、ホールド回路に信号を転送して保存します。
3. 1画素目から最終画素まで順番にホールド回路とビデオ配線の間のスイッチを切り替えて、各画素の信号をアンプに転送します。アンプで信号を読み出した後、ビデオ信号を出力します。

グローバルシャッタでは、全画素同時に蓄積を行うため、蓄積時間のタイミングのズレはありません。

[図2-3] CMOSリニアイメージセンサの動作

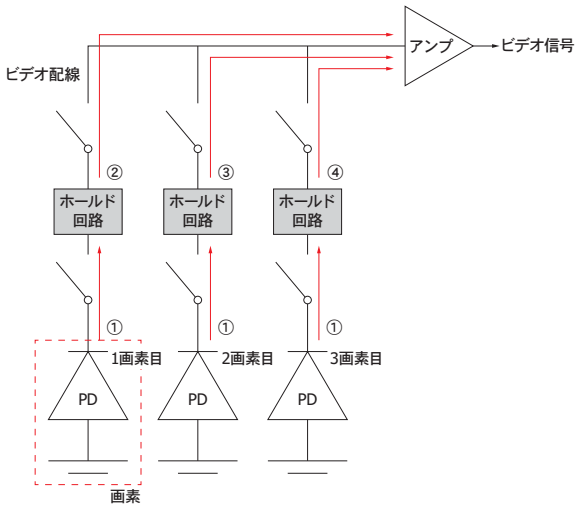
(a) ローリングシャッタ



①～③: 信号転送の順

KMPDC0872JA

(b) グローバルシャッタ



①～④: 信号転送の順

KMPDC0873JA

2 - 2 パッシブピクセルセンサ、アクティブピクセルセンサ

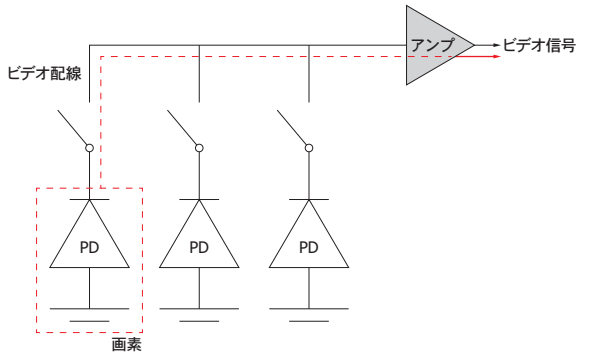
CMOSリニアイメージセンサの構成には、パッシブピクセルセンサ（PPS: Passive Pixel Sensor）とアクティブピクセルセンサ（APS: Active Pixel Sensor）の2種類があります。PPSは最終段のアンプに信号を転送した後に増幅します［図2-4（a）］。APSは各画素にアンプを配置した構造で、各画素のアンプで信号を増幅した後に転送します［図2-4（b）］。

PPSでは各画素にアンプを配置していないため、低消費電力です。アンプが全画素で共通のため、優れた出力均一性を実現しています。最終段に高性能アンプと大容量コンデンサを搭載しているため、優れた出力直線性と大飽和電荷量を実現しており、分光分析などの用途に使用されています。

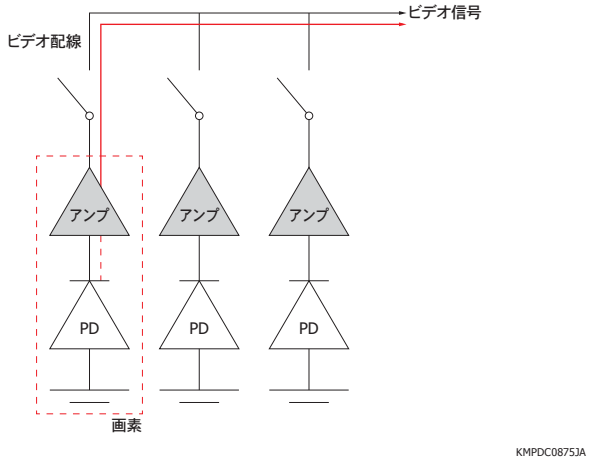
APSでは各画素のアンプで信号を増幅してから転送するため、画素以降の回路で混入するノイズの影響を低減し、低ノイズを実現できます。また、フォトダイオードとアンプの間の配線が短いため、寄生容量を抑えることができ、高速読み出し・高感度を実現しています。そのため、高速検出が必要なマシンビジョンに加えて、民生・分光分析などの幅広い用途で使用されています。

[図2-4] 画素構造

(a) PPS



(b) APS



[表2-1] PPSとAPSの比較

項目	PPS	APS
消費電力	小さい	大きい
画素の出力均一性	非常によい	よい
直線性	非常によい	よい
飽和電荷量	大きい	小さい
ノイズ	大きい	小さい
感度	低い	高い
読み出し速度	遅い	速い

2 - 3 表面型フォトダイオード、埋め込み型フォトダイオード

CMOSリニアイメージセンサのフォトダイオード構造には、表面型と埋め込み型の2種類があります［図2-5］。表面型は、SiのP層の表面にN^+層を形成した2層構造です。埋め込み型は、SiのP層の上にN^-層とP^+層を形成した3層構造です。

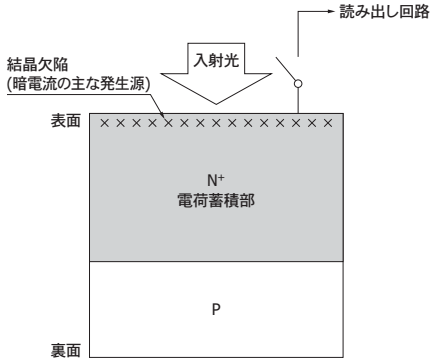
フォトダイオードに入射した光は、光電変換されて信号電荷に変わります。信号電荷は、表面型ではN^+層に、埋め込み型ではN^-層に蓄積されます。その後、読み出し回路によって、蓄積された信号電荷が順次転送されます（「2-1 シャッタ方式」参照）。

暗電流は、フォトダイオード表面の結晶欠陥によって主に発生します。表面型においては、結晶欠陥で発生した暗電流がフォトダイオード表面にある電荷蓄積部に蓄積されてしまいます。埋め込み型においては、電荷蓄積部がフォトダイオードの表面から離れているため、暗電流を抑えることができます。また、埋め込み型は信号電荷をすべて転送できるため（完全空乏化）、表面型に比べて読み残しが少なくなります。埋め込み型は低暗電流、少ない読み残しを実現しているため、長時間の蓄積が必要とされる分光測定、高速検出を行うマシンビジョンなどの幅広い用途で使用されます。

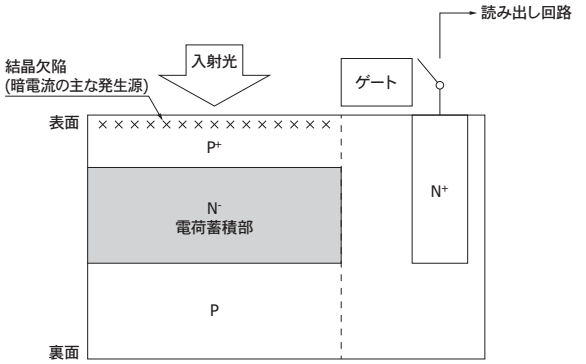
表面型は、埋め込み型よりも電荷蓄積部が大きく、大飽和電荷量を実現しています。また、表面型の電荷蓄積部は、埋め込み型よりも電気抵抗が低く、電荷の転送が速いため、画素サイズを大きくすることができます。

[図2-5] CMOSイメージセンサのフォトダイオードの断面模式図

(a) 表面型フォトダイオード



(b) 埋め込み型フォトダイオード



[表2-2] 表面型フォトダイオードと埋め込み型フォトダイオードの比較

項目	表面型フォトダイオード	埋め込み型フォトダイオード
暗電流	大	小
飽和電荷量	大	小
大面積化	容易	難しい

3. 特性

3 - 1 分光感度特性

当社の代表的なCMOSリニアイメージセンサは、200～1000 nmまたは400～1000 nmに感度をもち、最大感度波長は700 nm付近です［図3-1］。

長波長域（近赤外）の分光感度特性は、フォトダイオードの材料と厚さによって決まります。フォトダイオードの材料がSiの場合、Siのバンドギャップエネルギー（1.12 eV）よりもエネルギーが大きい光が入射すると、光電変換により電荷が発生します。光のエネルギーは式（3-1）で表されます。

$$E = 1240/\lambda \quad \cdots\cdots\cdots (3\text{-}1)$$

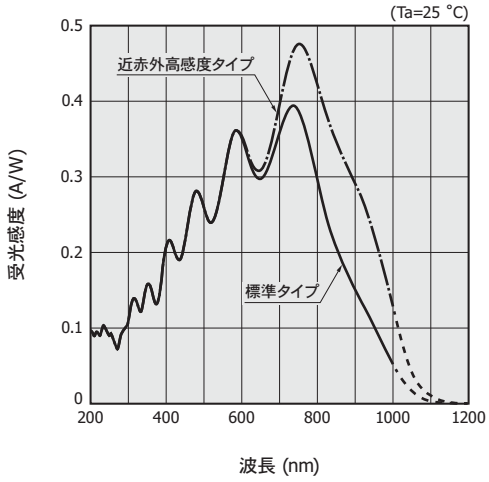
E: 光のエネルギー [eV]
λ: 波長 [nm]

光のエネルギーは、短波長ほど大きく、長波長ほど小さくなります。波長が1100 nmを超えると、光電変換が起こらないため感度がありません。また、長波長ほど光の侵入長が長くなるため、フォトダイオードの深いところでも電荷が発生します。そのため、Siを厚くすることで近赤外域の感度を上げることができます。当社では、標準タイプよりもSiを厚くして、近赤外域の感度を上げた近赤外高感度タイプを用意しています。ただし、解像度は標準タイプの方が優れているため、用途に合わせて選ぶ必要があります。

短波長域（紫外）の分光感度特性は、CMOSリニアイメージセンサの窓材やフォトダイオードの保護膜の材料によって決まります。紫外線は物質に吸収されやすい性質をもっています。そのため、紫外線を吸収しやすい窓材や保護膜を使用した場合、フォトダイオードに到達する前に窓材や保護膜で紫外線が吸収されてしまうため、紫外域に感度がありません。

紫外線を検出する場合は、紫外耐性も必要です。紫外耐性がないCMOSリニアイメージセンサに紫外線が入射すると、フォトダイオード表面の感度が低下します。紫外線などの短波長光はフォトダイオード表面で光電変換されるため、紫外線をフォトダイオードに入射し続けると紫外感度が急激に低下します。当社では、フォトダイオードの構造を工夫することで、高紫外感度・高紫外耐性を実現したCMOSリニアイメージセンサを用意しています。

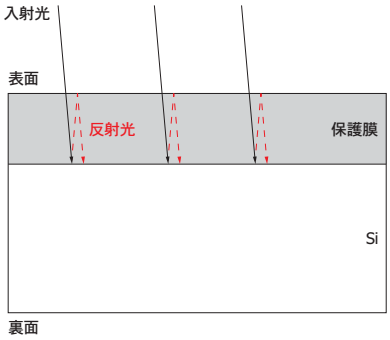
[図3-1] 分光感度特性（代表例）



KMPDB0632JA

分光感度特性には細かい山谷（強弱）がありますが、これは光の干渉によるものです。フォトダイオードの表面に形成された保護膜の内部で入射光と反射光が干渉すると、特定の波長で分光感度特性に山谷が生じます［図3-2］。当社は、フォトダイオードの構造を工夫することで、全波長でなめらかな分光感度特性をもつCMOSリニアイメージセンサを用意しています（「4. 当社の技術」参照）。

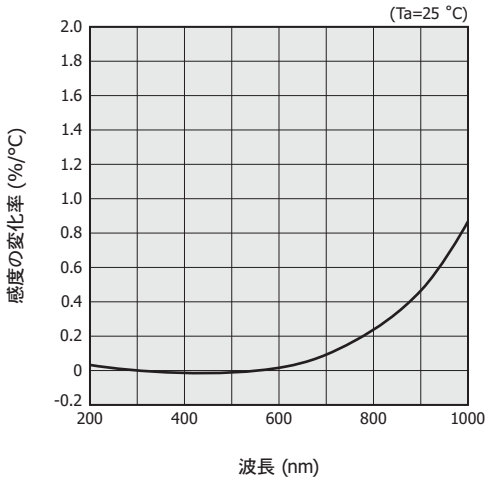
[図3-2] フォトダイオードの断面模式図



KMPDC0897JA

感度は温度変化に対して直線的に変化します。最大感度波長以下では、温度依存性が小さくなります［図3-3］。長波長域ほど温度依存性は大きくなり、1000 nmの温度係数は約0.8%/°Cです。

[図3-3] 感度の温度特性 (代表例)



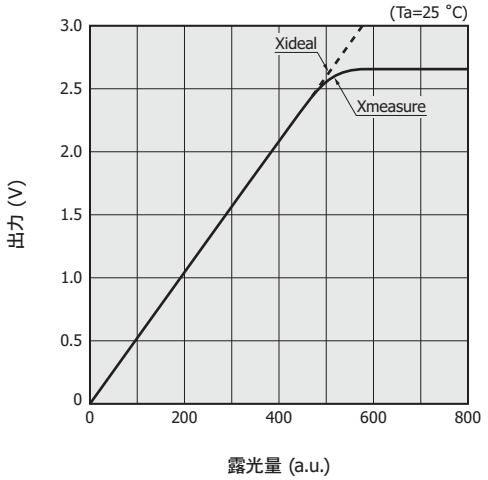
KMPDB0633JA

3 - 2 入出力特性

入出力特性は、入射光量と出力の関係を表します。入射光量は露光量（照度 × 蓄積時間）で表されます。

入出力特性の代表例を図3-4に示します。露光量の増加に対して、出力は直線的に増加し飽和に達します。出力が飽和する露光量を飽和露光量と呼びます。飽和出力は後述するダイナミックレンジ（「3-7 S/N、ダイナミックレンジ」参照）の最大レベルを決める指標となります。

[図3-4] 入出力特性 (代表例)



KMPDB0634JA

3 - 3 リニアリティエラー

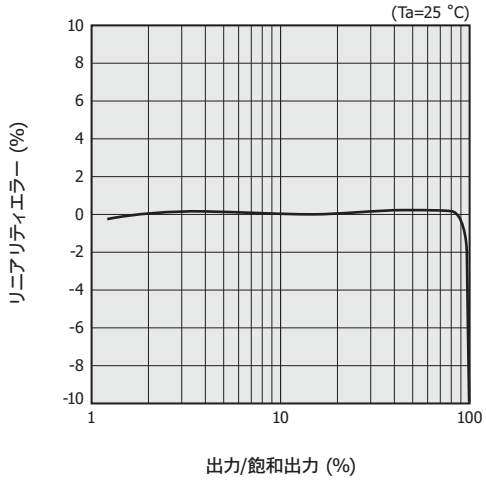
露光量の変化に対して、出力が直線的に変化することが理想的な入出力特性です。入出力特性の理想直線からのズレをリニアリティエラー（直線性誤差率）と呼び、式(3-2)で定義しています。

$$\text{リニアリティエラー} = \frac{\text{Xmeasure} - \text{Xideal}}{\text{Xideal}} \times 100 \cdots\cdots\cdots (3\text{-}2)$$

Xmeasure: 出力の実測値
Xideal　: 原点と飽和出力の5%を結んだ理想直線 [図3-4]

リニアリティエラーの代表例を図3-5に示します。

[図3-5] リニアリティエラー (代表例)



KMPDB0635JA

3 - 4 感度不均一性

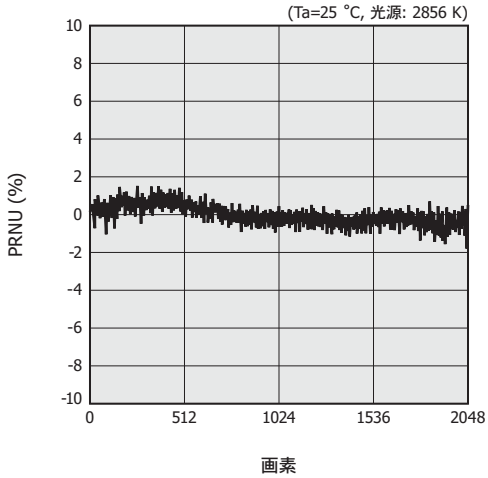
感度不均一性（PRNU: Photoresponse Nonuniformity）は、画素間の感度バラツキを表します。CMOSリニアイメージセンサの複数の画素には、フォトダイオードやアンプの製造バラツキに起因した感度バラツキがあります。当社のCMOSリニアイメージセンサは、フォトダイオードの有効受光面の全面に飽和の約50%の均一な光を入射したときの全画素の出力ばらつきを感度不均一性として定義しています［式(3-3)］。

$$\text{PRNU} = (\Delta X/\text{Xaverage}) \times 100\ [\%] \cdots\cdots\cdots (3\text{-}3)$$

Xaverage: 全画素の出力の平均値
ΔX　　: 画素の出力の最大値または最小値とXaverageの差

感度不均一性の代表例を図3-6に示します。

[図3-6] 感度不均一性 (代表例)



KMPDB0636JA

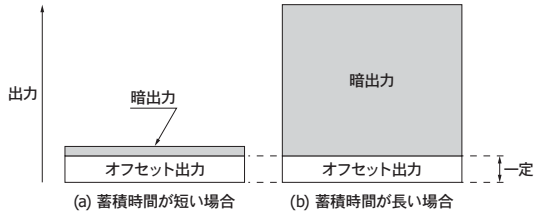
3 - 5 オフセット出力、暗出力

暗状態における出力は、オフセット出力と暗出力の合計で表されます。

(1) オフセット出力

オフセット出力は、回路に起因します。当社では、暗出力が無視できる最短の蓄積時間における出力をオフセット出力と定義しています。そのため、蓄積時間が長い場合においてもオフセット出力は一定になります [図3-7]。

[図3-7] オフセット出力と暗出力の概念図



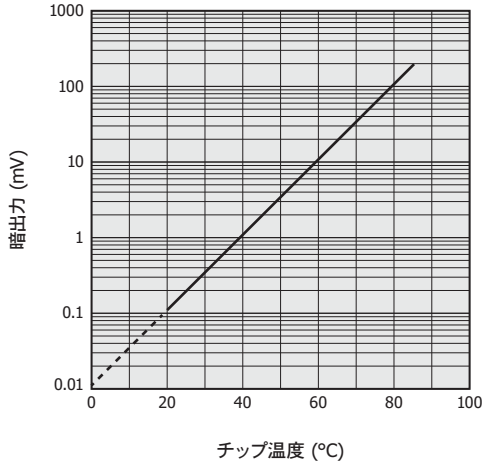
KMPDC0950JA

(2) 暗出力

暗電流は、フォトダイオードに起因します。暗出力は、フォトダイオード中のキャリアが、熱によって価電子帯から伝導帯に励起されて発生します。暗出力は蓄積時間に比例して増加するため、暗出力の大きさを考慮して蓄積時間を決める必要があります。

温度が高いほど伝導帯から価電子帯に励起するキャリアの数が増え、暗出力は温度変化に対して指数関数的に変化します [図3-8]。当社のCMOSリニアイメージセンサの場合、温度が5 °C上昇すると暗出力は約2倍になります。1 °C上昇すると暗出力は約1.1倍になり、ΔT [°C]上昇すると約$1.1^{\Delta T}$倍になります。

[図3-8] 暗出力ーチップ温度 (代表例)



KMPDB0637JA

3 - 6 ノイズ

ノイズは、時間とともに変動するランダムノイズと、時間には依存せず特定の画素で発生する固定パターンノイズの2種類に大別されます。

(1) ランダムノイズ

ランダムノイズは、発生する要因によってショットノイズ、ダークショットノイズ、読み出しノイズの3種類に分けられます。

■ ショットノイズ (Nshot)

光の強さが一定であっても、フォトダイオードに入射するフォトンの数は一定ではなく、揺らぎがあります。フォトン数の揺らぎによるノイズをショットノイズと呼びます。ショットノイズは、ポアソン統計に従い式 (3-4)で表されます。

$$N_{shot} = \sqrt{S} \quad \cdots\cdots\cdots (3\text{-}4)$$

S: 信号電子数 [e^-]

■ ダークショットノイズ (Nd)

ダークショットノイズは、暗電流によって発生するノイズで、暗電子数の平方根に比例します。蓄積時間が十分に短いときには暗電流が小さいため、ダークショットノイズの影響を無視することができます。

■ 読み出しノイズ (Nread)

読み出しノイズは読み出し回路の内部で発生するノイズで、光量に関わらず暗状態においても発生します。読み出しノイズは、暗状態・最短蓄積時間において測定してください。読み出しノイズは後述するダイナミックレンジ(「3-7 S/N、ダイナミックレンジ」参照)の最小レベルを決める指標となります。

読み出しノイズには、読み出し時の回路のスイッチング

に起因するkTCノイズや、MOSトランジスタ中の電荷の熱的なランダム運動に起因する熱雑音、MOSトランジスタ中の欠陥に起因するRTS（Random Telegraph Signal）ノイズなどがあります。RTSノイズは、MOSトランジスタのゲート酸化膜中の構造欠陥にキャリアが捕獲・放出される際に流れる微小電流です。近年のCMOSプロセスの微細化に伴い、この微小電流の影響が無視できなくなりました。RTSノイズは、画素によって大きさが異なります。

(2) 固定パターンノイズ (Nfpn)

固定パターンノイズの要因は、暗状態と明状態で異なります。暗状態における固定パターンノイズの主な要因は、オフセット出力と暗電流の画素ごとのバラツキです。明状態における固定パターンノイズの主な要因は、感度不均一性（「3-4感度不均一性」参照）です。明状態の固定パターンノイズは、露光量に比例して大きくなります。

CMOSリニアイメージセンサのトータルノイズ（Ntotal）は、式（3-5）で表されます。

$$Ntotal = \sqrt{Nshot^2 + Nd^2 + Nread^2 + Nfpn^2} \cdots\cdots\cdots (3\text{-}5)$$

3 - 7 S/N、ダイナミックレンジ

CMOSリニアイメージセンサのノイズ、出力と露光量の関係を図3-9に示します。

(1) S/N

S/Nが高いほど、CMOSリニアイメージセンサの画質がよくなります。センサの出力の大きさによって支配的なノイズの種類が変わり、S/Nも変わります。

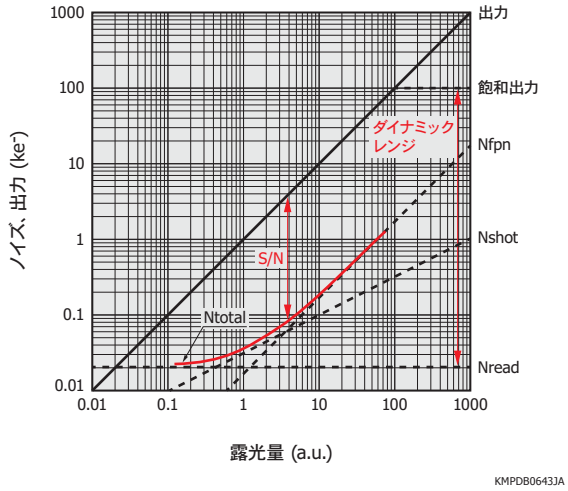
(2) ダイナミックレンジ

ダイナミックレンジは、一般にセンサの測定可能範囲を表し、最大レベルと最小レベルの比で定義されます。ダイナミックレンジが広いほど、測定可能範囲が広くなります。当社では、ダイナミックレンジの上限を飽和出力、下限を読み出しノイズとして、ダイナミックレンジを式（3-6）で定義しています。

$$Drange = Vsat/Nread \cdots\cdots\cdots (3\text{-}6)$$

Drange: ダイナミックレンジ
Vsat　: 飽和出力
Nread : 読み出しノイズ

[図3-9] 出力、ノイズー露光量 (代表例)



3 - 8 解像度

解像度は、入射パターンが、どこまで細かく出力に再現されるかを示す度合いです。矩形波の繰り返しパターン像を入射したときの出力の模式図を図3-10に示します。入射パターンが広いときは、像を正確に再現できますが、入射パターンが狭くなるほど出力差が小さくなり、像を正確に再現できなくなります。この原因には、入射光が隣接画素へ侵入することによる光学的クロストークと、光電変換された信号電荷が拡散により隣接画素へと侵入することによる電気的クロストークの2つがあります。

解像度を示す指標として、サイン波に対する変調伝達関数（MTF: Modulation Transfer Function）や矩形波に対するコントラスト伝達関数（CTF: Contrast Transfer Function）があります。当社では、矩形波のパターンのテストチャートを用いてCTF を評価しています。CTFは式（3-7）で定義されます。入射パターンの白黒の間隔の細かさは、空間周波数で表されます。空間周波数は単位長さ当たりの繰り返しパターンの数で、図3-10においてはパターンの白から白までの距離の逆数に当たります。単位は通常 line pairs/mmです。

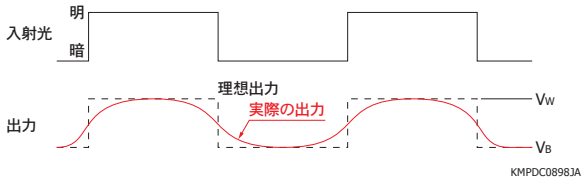
$$CTF = \frac{V_{WO} - V_{BO}}{V_W - V_B} \cdots\cdots\cdots (3\text{-}7)$$

V_{WO}: 出力の白レベル
V_{BO} : 出力の黒レベル
V_W : 出力の白レベル (入射パターンが広い場合)
V_B : 出力の黒レベル (入射パターンが広い場合)

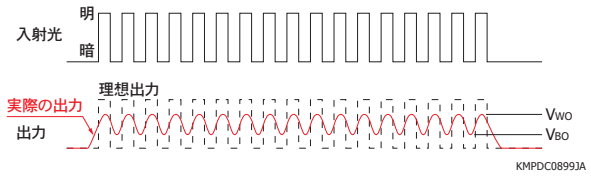
CTFの代表例を図3-11に示します。入射パターンが狭いほど、すなわち空間周波数が高いほどCTFは低下します。CTFには波長依存性があります。波長が長いほど、Si基板深くにおいても信号電荷が発生するため、電気的クロスロークが増加し、CTFは低下します。

[図3-10] CTF特性の模式図

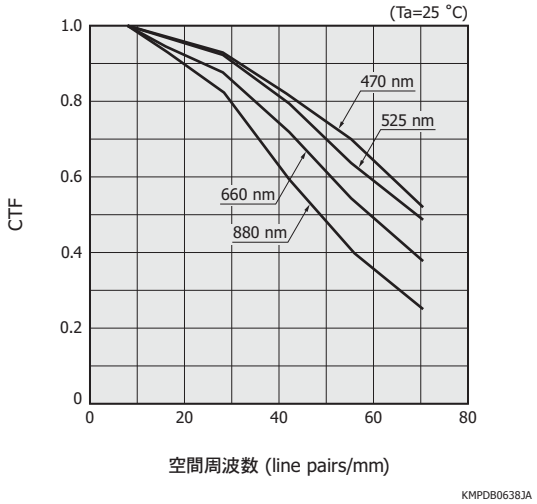
(a) 入射パターンが広い場合



(b) 入射パターンが狭い場合



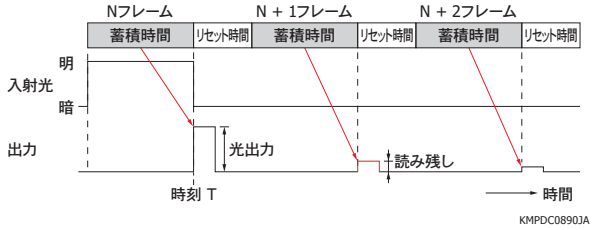
[図3-11] CTF－空間周波数 (代表例, 画素ピッチ: 7 μm)



3 - 9 読み残し

読み残しは、フレームの光信号を読み出した後、次のフレームの出力に1つ前のフレームの出力が残る現象です。読み残しの例を図3-12に示します。入射光が時刻 T に明状態から暗状態に変化しています。Nフレームの読み出し時には蓄積時間に光が入射しているため、光信号が読み出されます。N + 1フレームの読み出し時には蓄積時間に光は入射していないため、本来は光信号は読み出されません。しかし、Nフレームのリセット時間にフォトダイオードや読み出し回路の電荷をリセットしきれないで読み残しがある場合には、N + 1フレームの読み出し時に読み残された信号が読み出されます。

[図3-12] 読み残しの例



3 - 10 シャッタリーク

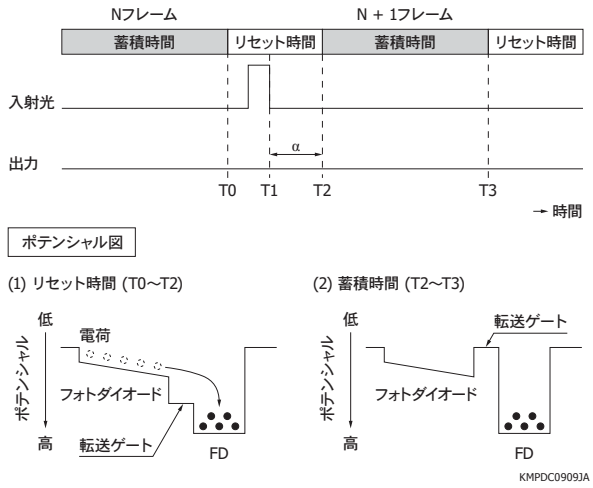
シャッタリークは、リセット時間の終端付近に光が入射した場合、フォトダイオードのすべての電荷をリセットしきれない現象です。

フォトダイオードに光が入射すると、電荷が発生します。蓄積時間に転送ゲートを閉じて、発生した電荷をフォトダイオードに蓄積します。その後、リセット時間に転送ゲートを開いて、電荷をフローティング・ディフュージョン(FD)に転送し、フォトダイオードの電荷をリセットします。そして再び転送ゲートを閉じて、次のフレームの電荷蓄積を行います（フローティング・ディフュージョンに転送された電荷は、後段の読み出し回路によって順次読み出されます)。しかし、リセット時間の終端付近で光が入射した場合、フォトダイオードのすべての電荷をリセット時間にリセットしきることができず、シャッタリークが生じます。

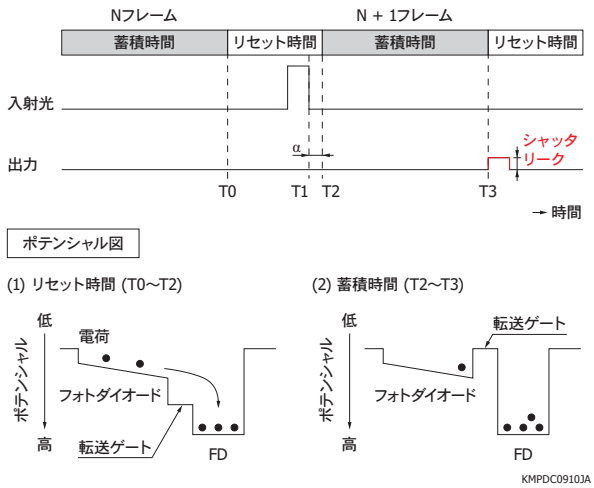
シャッタリークの例を図3-13に示します。シャッタリークの評価は、リセット時間にパルス光を入射して行います。パルス光の終端（T1)から蓄積時間の開始（T2)までの時間（α)が十分長い場合は、Nフレームのリセット時間にフォトダイオードで発生した電荷がリセットされるため、N + 1フレームの出力は読み出されません。しかしαが短い場合は、フォトダイオードのすべての電荷をリセット時間にリセットしきれず、N + 1フレームの出力として読み出されてしまいます。

[図3-13] シャッタリークの例

(a) αが十分長い場合



(b) αが短い場合



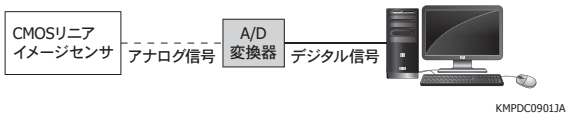
4. 当社の技術

4 - 1 A/D変換器付き

当社は、アナログ出力のCMOSリニアイメージセンサに加えて、デジタル出力のA/D (Analog-to-Digital)変換器付CMOSリニアイメージセンサを用意しています。アナログ出力のCMOSリニアイメージセンサは、フォトダイオードで発生した電荷を電圧値または電流値のアナログ信号に変換して出力します。しかし、実際にアナログ信号をデジタル機器で取り扱うためには、アナログ信号をデジタル信号にA/D変換器で変換する必要があります。アナログ出力のCMOSリニアイメージセンサの場合、外部のA/D変換器でA/D変換を行います [図4-1 (a)]。一方、A/D変換器付CMOSリニアイメージセンサは、内蔵のA/D変換器でA/D変換を行い、デジタル信号を出力します [図4-1 (b)]。デジタル出力のため、ノイズに強い、高速読み出しが可能、取り扱いが容易などのメリットがあります。

[図4-1] CMOSリニアイメージセンサのA/D変換

(a) アナログ出力タイプ

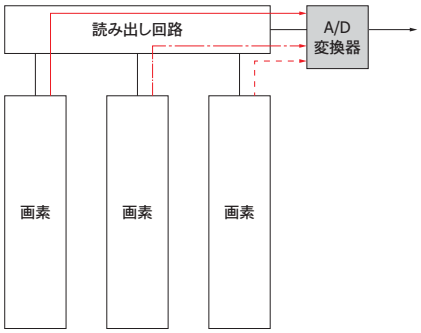


(b) A/D変換器付き (デジタル出力タイプ)

A/D変換器付CMOSリニアイメージセンサには、直列処理方式と列並列処理方式の2つの方式があります [図4-2]。直列処理方式では、チップ内に設置した1つのA/D変換器によってA/D変換を行います。A/D変換器が1つだけであるため、列並列処理方式に比べて省スペース化が可能です。列並列処理方式では、各画素に接続したA/D変換器によってA/D変換を行います。直列処理方式では1画素ずつA/D変換を行うのに対し、列並列処理方式では全画素で同時にA/D変換を行うため高速化が容易です。列並列処理方式では、画素数が増えてもラインレートを維持することができます [図4-3]。そのため列並列処理方式は、画素数の多いCMOSリニアイメージセンサに適しています。当社は、直列処理方式CMOSリニアイメージセンサ S15611、列並列処理方式CMOSリニアイメージセンサ S13774を用意しています。

[図4-2] A/D変換器付CMOSリニアイメージセンサ

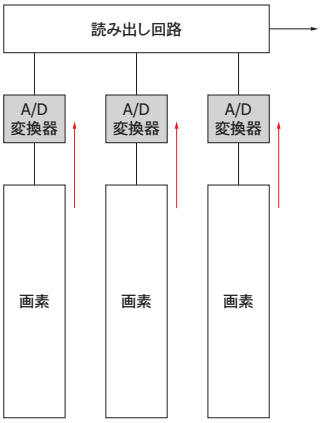
(a) 直列処理方式



1画素ずつ順番にA/D変換を行う。

KMPDC0903JA

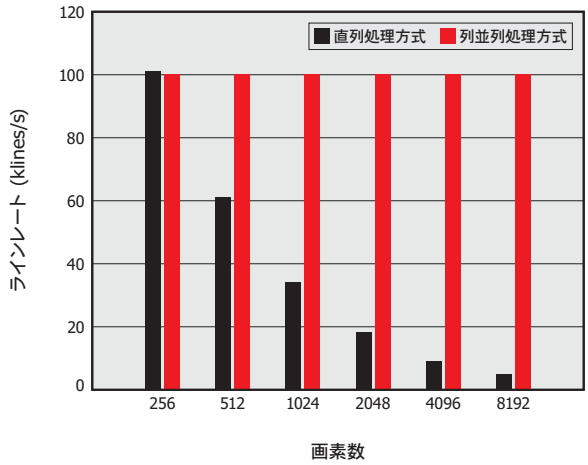
(b) 列並列処理方式



全画素同時にA/D変換を行う。

KMPDC0904JA

[図4-3] ラインレート－画素数
(A/D変換器付CMOSリニアイメージセンサ)



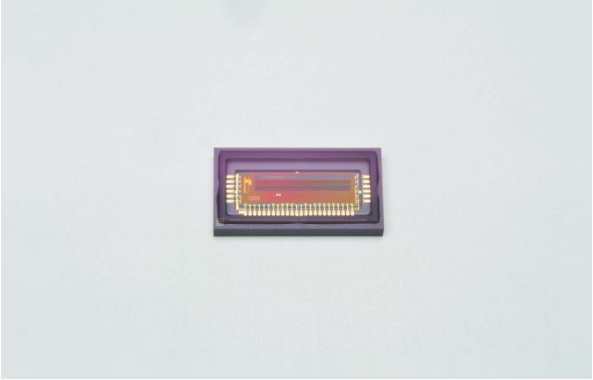
直列処理方式: 画素数が増えるとラインレートが下がる
列並列処理方式: 画素数が増えてもラインレートを維持

KMPDB0639JA

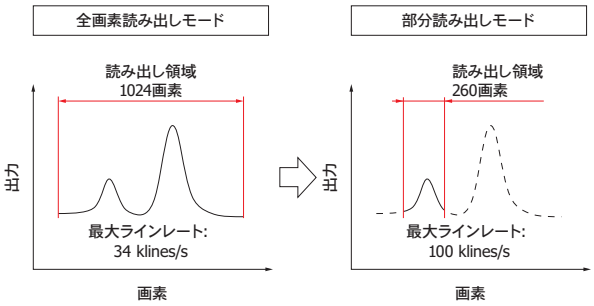
直列処理方式A/D変換器付き S15611

S15611は、直列処理方式のA/D変換器を採用した小型CMOSリニアイメージセンサです［図4-4］。読み出し速度 40 MHz max.、ラインレート 34 kHz max.と高速読み出しが可能です。部分読み出しモード［図4-5］や読み飛ばしモード［図4-6］によって、さらなる高速ラインレートの実現が可能です。

[図4-4] 直列処理方式A/D変換器付き S15611

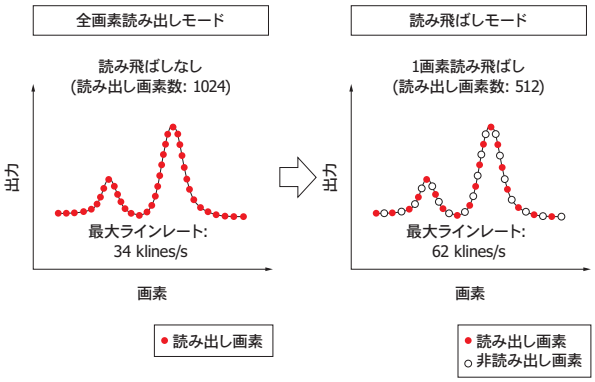


[図4-5] 部分読み出しモードの例



KMPDB0640JA

[図4-6] 読み飛ばしモードの例

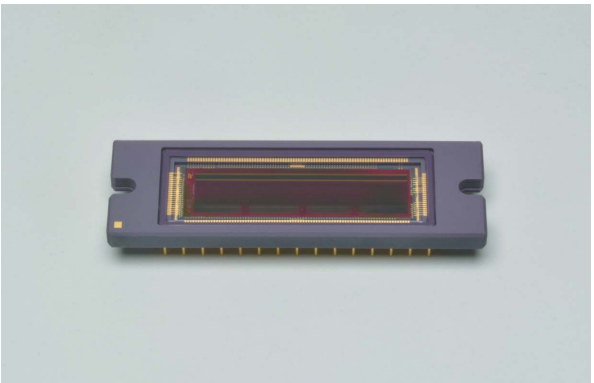


KMPDB0641JA

列並列処理方式A/D変換器付き S13774

S13774は、列並列処理方式のA/D変換器を採用し、高速スキャンを必要とする産業用カメラ用途に開発された4096画素のCMOSリニアイメージセンサです［図4-7］。全画素同時にA/D変換を行うため、4096画素でありながら高速読み出し（ラインレート: 100 klines/s）が可能です。

[図4-7] 列並列処理方式A/D変換器付き S13774



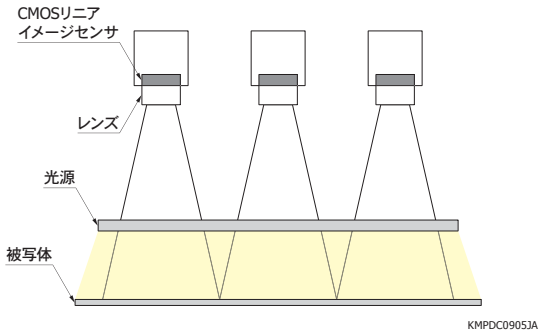
4 - 2 縮小光学系用、密着光学系用

CMOSリニアイメージセンサの光学系には、縮小光学系と密着光学系の2種類があります［図4-8］。縮小光学系では、レンズを用いて被写体の縮小像をセンサに結像します。被写界深度が大きいため、凹凸がある被写体や立体的な被写体の撮像に適しています。密着光学系ではロッドレンズアレイを用いて被写体をセンサに等倍で結像します。大掛かりな装置を必要とせず、省スペースで幅広い領域を撮像することが可能です。ただし被写界深度は縮小光学系よりも小さくなります。密着光学系は長尺で平坦な被写体の撮像に適しています。

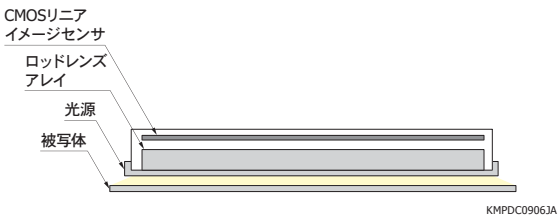
当社は、縮小光学系用または密着光学系用のCMOSリニアイメージセンサを用意しています。

[図4-8] CMOSリニアイメージセンサの光学系

(a) 縮小光学系



(b) 密着光学系

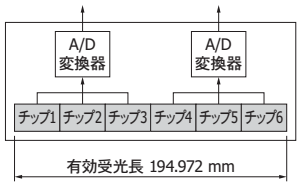


密着光学系用長尺タイプ S11720シリーズ

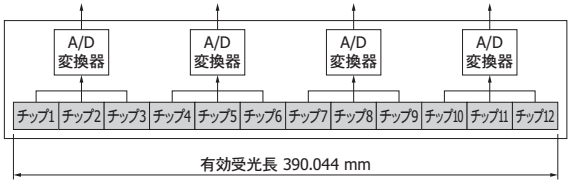
S11720シリーズは、密着光学系用に開発された長尺CMOSリニアイメージセンサです。当社のパッケージ技術により高精度にCMOSチップを1列に並べることで、横方向に長い受光面を実現しています［図4-9］。また、A/D変換器を内蔵しており、デジタル出力です。密着光学系用のロッレンズアレイと組み合わせて、印字検査やフィルム検査などに使用できます。

[図4-9] 構成

(a) S11720-20



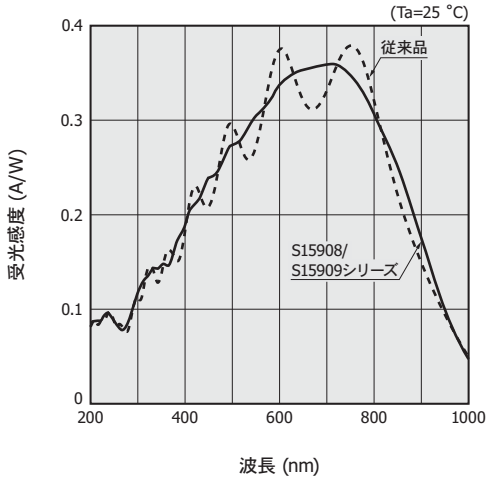
(b) S11720-40



4 - 3 なめらかな分光感度特性

フォトダイオード上の保護膜における入射光と反射光の干渉により、分光感度特性に山谷（強弱）が生じることがあります（「3-1 分光感度特性」参照）。当社は、受光面に微細な構造を形成することで、紫外域から近赤外域において、なめらかな分光感度特性を実現した分光測光用CMOSリニアイメージセンサ S15908/S15909シリーズを用意しています［図4-10］。

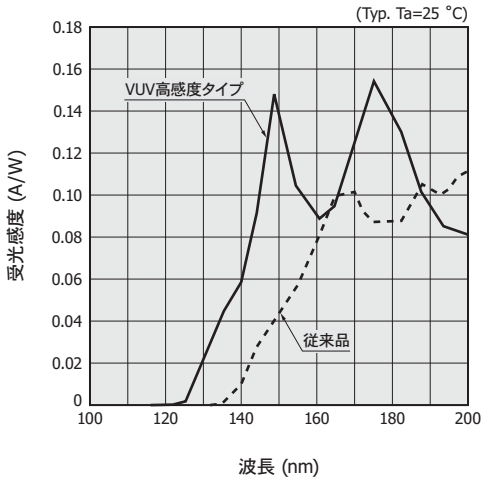
[図4-10] 分光感度特性 (S15908/S15909シリーズ)



4-4 VUV高感度

受光面の改良により200 nm以下のVUV (Vacuum Ultraviolet: 真空紫外)域において高感度を実現したCMOSリニアイメージセンサを用意しています [図4-12]。発光分析など、VUV域で測定を行う用途に適しています。

[図4-12] 分光感度特性 (VUV高感度タイプ)

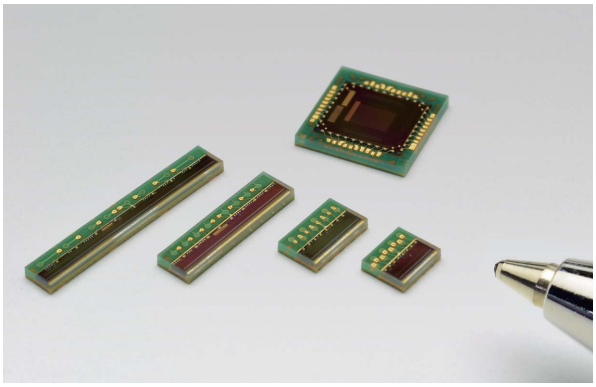


KMPDB0647JA

4-5 COBパッケージ

CMOSリニアイメージセンサのチップを同程度のサイズの小型・薄型COB (Chip on Board)パッケージに搭載することで、実装面積を小さくすることができます。COBパッケージCMOSリニアイメージセンサは、機器の低コスト化・小型化・量産性に貢献し、バーコードリーダ、エンコーダなどの幅広い用途に使用されます。

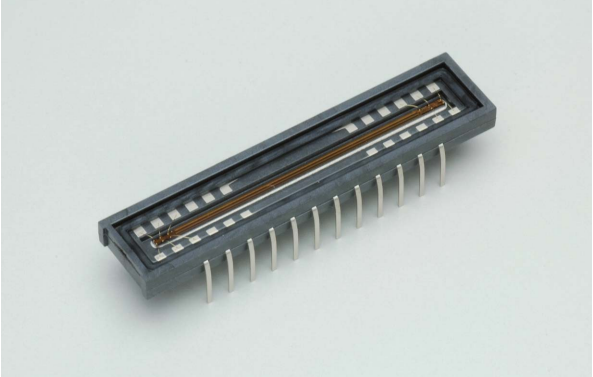
[図4-13] COBパッケージ



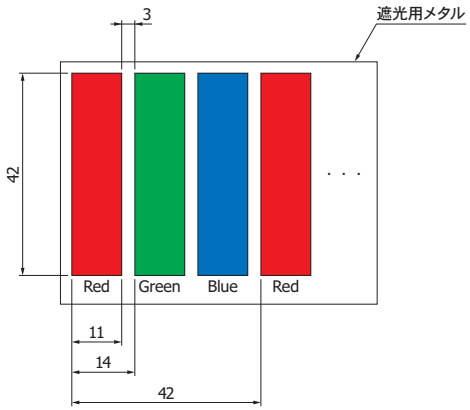
4-6 カラーフィルタ付き

CMOSリニアイメージセンサのフォトダイオード上に特定波長の光だけが透過するカラーフィルタを付けたタイプは、測定対象の色情報を取得することができます。S13488は、Red (630 nm)、Green (540 nm)、Blue (460 nm)用のカラーフィルタ付CMOSリニアイメージセンサです。

[図4-15] カラーフィルタ付き S13488

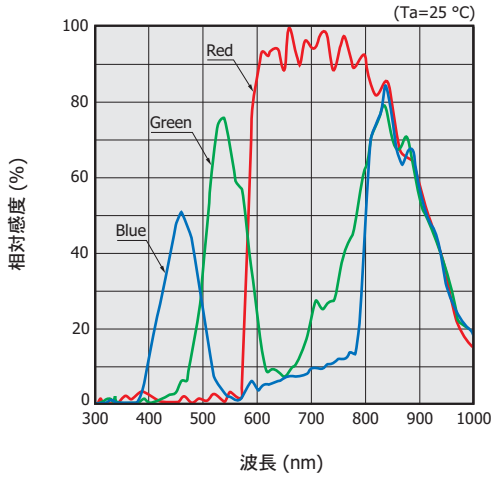


[図4-16] カラーフィルタの拡大図 (S13488, 単位: μm)



KMPDC0911JA

[図4-17] 分光感度特性 (S13488, 代表例)

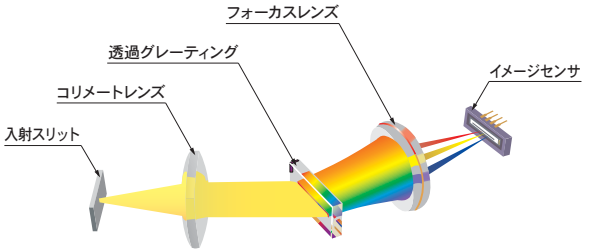


KMPDB0483JB

5. 応用例

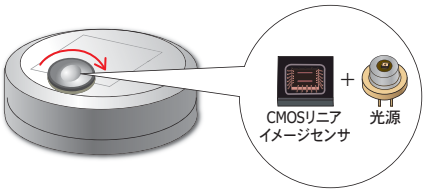
[図5-1] CMOSリニアイメージセンサの応用例

(a) 分光器



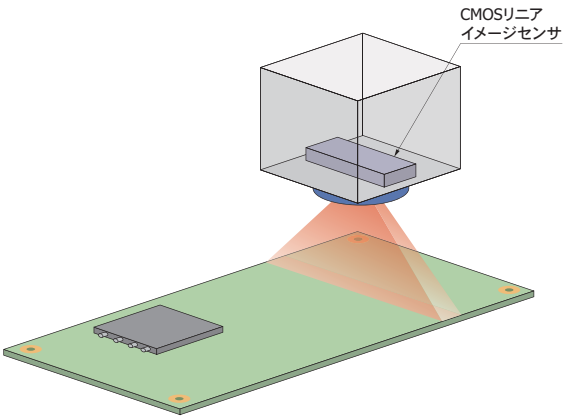
KACCC0256JA

(b) 距離計 (ロボット掃除機)



KMPDC0914JA

(C) マシンビジョン



KMPDC0913JA

本資料の記載内容は、令和3年6月現在のものです。
製品の仕様は、改良などのため予告なく変更することがあります。本資料は正確を期するため慎重に作成されたものですが、まれに誤記などによる誤りがある場合があります。本製品を使用する際には、必ず納入仕様書をご用命の上、最新の仕様をご確認ください。
本製品の保証は、納入後1年以内に瑕疵が発見され、かつ弊社に通知された場合、本製品の修理または代品の納入を限度とします。ただし、保証期間内であっても、天災および不適切な使用に起因する損害については、弊社はその責を負いません。
本資料の記載内容について、弊社の許諾なしに転載または複製することを禁じます。

浜松ホトニクス株式会社　www.hamamatsu.com

仙台営業所	〒980-0021	仙台市青葉区中央3-2-1 (青葉通プラザ11階)	TEL (022) 267-0121	FAX (022) 267-0135
筑波営業所	〒305-0817	つくば市研究学園5-12-10 (研究学園スクウェアビル7階)	TEL (029) 848-5080	FAX (029) 855-1135
東京営業所	〒105-0001	東京都港区虎ノ門3-8-21 (虎ノ門33森ビル5階)	TEL (03) 3436-0491	FAX (03) 3433-6997
中部営業所	〒430-8587	浜松市中区砂山町325-6 (日本生命浜松駅前ビル)	TEL (053) 459-1112	FAX (053) 459-1114
大阪営業所	〒541-0052	大阪市中央区安土町2-3-13 (大阪国際ビル10階)	TEL (06) 6271-0441	FAX (06) 6271-0450
西日本営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東1-13-6 (いちご博多イーストビル5階)	TEL (092) 482-0390	FAX (092) 482-0550

固体営業推進部　〒435-8558　浜松市東区市野町1126-1　TEL (053) 434-3311　FAX (053) 434-5184

Cat. No. KMPD9017J01 Jun. 2021 DN