

## CCD と CMOS の違い

### カメラ型プロファイラのセンサー

カメラ型のレーザビーム・プロファイリングシステムで最もよく使われる撮像素子(以下単にセンサー)は CCD(Charged-coupled devices)や CMOS(Complementary metal-oxide-semiconductor)です。現在の傾向としては CMOS がやや主流となっていますが、各センサーは各々の長所と短所を持つため、異なったアプリケーションでそれぞれ強みを発揮しています。



CCD センサー搭載のコヒレント製プロファイラ用カメラ(LaserCamIII)



CMOS センサー搭載のコヒレント製プロファイラ用カメラ(LaserCam-HR)

### 1. CCD センサーと CMOS センサーの概要

どちらのセンサーも入射されたレーザ光を電荷に変換し、電気信号として処理する点においては同じです。CCD センサーは、各々のピクセルの電荷は隣接するピクセルに一斉に転送され、これを繰り返すことで、あたかもバケツリレーのように順次外部に信号を取り出します。CCD センサーは CMOS センサーと比べて相対的に感度が高く、ノイズが少ないですが、構造が複雑となるために高価な傾向があります。

一方、CMOS センサーは、各々のピクセルが独立して電荷を増幅したり、デジタル変換する回路を持ち、デジタル信号としてデータを出力します。しかし、個々のアンプの特性のばらつきから、特定のノイズやオフセットパターンを持ちやすいため、ノイズ補正機能が必要となります。CMOS センサーは構造が簡単で汎用半導体プロセスを共有できることから、CCD と比べて安価なセンサーと言えます。

一般的なデジタルカメラ領域でのイメージは、高機能・高額機種には CCD、低価格機種には CMOS が搭載される傾向にありましたが、近年は、CMOS の消費電力が低いことが着目され、出荷個数では近年 CMOS が CCD の出荷個数を追い越しています。また、CMOS の弱点を克服した高性能の CMOS センサーが高級機に搭載され始めており、CMOS イコール低価格機種という図式は崩れてきています。

## 2. CCD センサーの特長

CCD センサーは、各々のピクセルの限界電荷容量や、CCD のもつ最大電荷伝送容量に達すると、ブルーミング現象が発生することが知られています。一旦、電荷の飽和が発生すると、溢れた電荷は隣接するピクセルや信号線などに流れ込みます。結果として、測定結果の画像に輝点が生じ、その周辺に光が滲みだす現象としてあらわれます。

ブルーミングに似た現象としては、スミアがあります。こちらはフォトダイオード以外の周辺構造で発生した過剰な電荷が、信号伝送経路に流れこむ現象で、輝線は輝点と同じ幅でセンサーの伝送方向（一般的には縦方向）に、センサーの端から端に直線として生じるので、ブルーミング現象と区別ができません。

このように、両現象とも限界を越えて光を受光するために発生する過剰な電荷が、構造上の問題で隣接するピクセルに影響を与えてしまうことに起因し、しばしば同時に発生します」。

ブルーミングやスミアはデータ取得後の画像処理で除去ができないため、基本的には入射する光量を抑えることが発生の予防となります。光量はセンサーに入射する以前に、光学減衰系を使って適切な強さに減衰することで調節します。なお、デジタルカメラなどで採用されている機械式シャッターは、入射量を調節することでブルーミング等を防止していますが、プロファイラでしばしば採用される電子式シャッターは、入射量が飽和に達しない時に、測定に利用する光量の調節には有効ですが、機械式シャッターのように物理的に光を遮っているわけではないので、防止策としては有効ではありません。

CCD は構造上の問題で、過剰な電荷が水平方向に流れ込むことがブルーミングやスミアの原因となっているので、過剰な電荷をセンサーの裏側に排出する構造を持つ CCD の採用も予防策のひとつとなります。

## 3. CMOS センサーの特長

CMOS センサーは各々のピクセルがアンプをもち、個別にデータを読み出すことができます。仮に、あ

るピクセルが飽和しても、隣接するピクセルには影響を与えないため、原理的に CCD のようにブルーミングなどの現象は発生しません。しかし、一方で CMOS センサーは個々のアンプの特性のばらつきによるピクセル間の均一性に弱点を抱えるため、これを補正したり、定量的なビームのパラメータを算出したりするために、画像処理能力の強化や、ピクセルの異常値の処理機能が必要となります。CCD センサーの場合、異常値が出た場合は、輝線や輝点が現れるため測定結果で判別しやすいですが、CMOS はピクセルが独立しているため、ピクセルの欠損や飽和による異常値が画像から判断しにくいです。これらの異常値をそのままパラメータなどの計算に使用すると、結果に多くの誤差が含まれていることに気が付きにくいです。

コヒレント社は自社の最新技術(CAPT: Coherent Adaptive Pixel Technology)を使い、これらの異常値が検出された場合の制御を行っているため、異常値が発生した場合の誤差を最小限に抑えることが可能です。CMOS のばらつきはこのような手法で適切に改善されていれば、CMOS センサーを使った解析結果は CCD センサーのそれと同等か、それ以上に優れたものとなり、ブルーミング現象なども排除できるのです。

#### 4. 感度特性

CCD センサーの受光感度は、CMOS センサーの 10 万倍程度(当社比、CW レーザにて)と高感度であり、微小な光量の測定には CCD が向いています。しかし、通常のレーザ測定においては、CCD センサーでしか測定できない領域はまれであり、同じ出力のレーザを CMOS で測定する場合より、さらに減衰を行う必要があり、減衰系による歪や、減衰系のための光路の確保について考慮が必要となります。

#### 5. 波長特性

一般的には CCD センサーと CMOS センサーはほぼ同等の波長範囲(190 nm 或いは 300 nm - 1100 nm)を測定できますが、CMOS は紫外領域での直線性、均一性が CCD より劣るため、何らかの形で蛍光物質を使って紫外光を可視光に変換した後、CMOS センサーで測定することとなります。この波長変換機器はカメラのサイズと比べて大きくなりがちで、コストもかかり、解像度も悪くなります。

コヒレント社では、CMOS センサーに直接蛍光物質を塗布することで、蛍光版を使った場合に比べて、より分解能の優れた紫外光用のセンサーを販売しています。

#### 6. 感度の劣化

CCD/CMOS センサーとも、レーザ光の照射により、ピクセルの感度が落ちる傾向を持ち、特に紫外光の照射に対して顕著です。極端な場合、カメラの使用初期段階で、1mm のビーム径の測定を行った後に、同じセンサーの位置に 2mm のビーム径を照射した場合、先に照射された 1mm 径の部分が感度劣

化を起こしているため、ドーナツ状のプロファイルとなるので、プロファイルを正しく判断できなくなります。感度の劣化は一定の時間を照射した以降は、ほぼ安定するため、使用初期段階でより厳密な測定を求める場合には、測定前にセンサー全体にレーザを照射しておくことが推奨されます。

## 7. センサーの選択

CCD センサーと CMOS センサーの優劣を単純につけるのは困難ですが、ブルーミングやスミア現象が出ない点において CMOS は圧倒的に有利です。データの精度自体は、CMOS は CCD より若干劣ると言えますが、優れた信号処理機能があれば同等以上となり得るので、CMOS を選択する際には、高度な信号処理のできる解析ソフトウェアの有無を確認すべきでしょう。

なお、一般的には CMOS が价格的には有利ですが、CMOS の弱点を克服した製品は CMOS の価格メリットを甘受できません。また、紫外光や微弱なレーザには感度の高い CCD が有利なので、これらのことを考慮の上、アプリケーションに合わせてセンサーを選択する必要があります。