

Teledyne DALSA の偏光ラインカメラ説明資料

1. マルチライン型アーキテクチャ

Teledyne DALSA 社(以下、ダルサ)は、マシンビジョン向けにラインカメラとエリアカメラを製造しています。ダルサのラインカメラの特長の一つに、一次元の受光体を複数個、搭載している点があります。

このマルチライン型のアーキテクチャ(設計思想)を利用し、以下のような技術を創出しています。

- ・ HDR
- ・ ハイパースペクトラル
- ・ 偏光解析

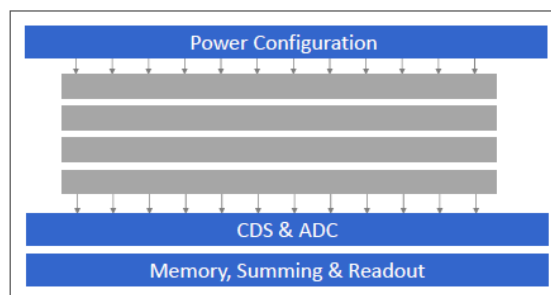


図 1: マルチラインアーキテクチャ

HDR (High Dynamic Range) は、同一の被写体に対して、異なる明るさの画像を複数枚合わせ、全体をきれいに描写する技術で、最近では動画再生等によく用いられています。ダルサは HDR を、1次元の CMOS ラインを複数列使って実現しています。また、マルチラインのセンサ面に異なる波長フィルタを搭載し、同一被写体の分光情報(ハイパースペクトラル)を撮像しています。

いずれも高速で移動する物体をマルチラインセンサでキャプチャし、より付加価値の高い画像を作り出しています。すべての 1D CMOS ラインが同時に ADC でデジタル信号となります。偏光解析も同様に、マルチライン・アーキテクチャにより実現されています。

2. そもそも「偏光」とは

ここで、簡単に**偏光**という光学現象について確認しておきたいと思います。

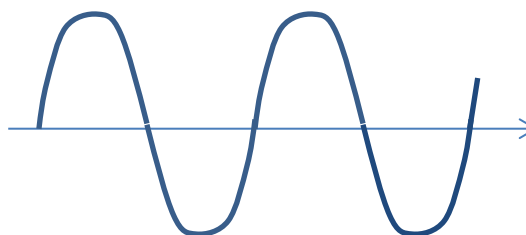


図 2: 光の波

ご存じの通り、光は波で伝わります。どんな光でも、**図 2**（前ページ）のようなサイン波で進みます。この光を正面から見ると、**図 3**のような幾つかのパターンがあります。



図 3: 偏光パターン

これらを偏光と言います。光は電磁波の一種で電界と磁界から成り、いずれも光の伝播方向に対して直角をなす面になります。偏光とは、電界（あるいは磁界）が特定の方向にのみ振動する光を言います。振動の向きに応じて、次の3つの状態に分かれます。

- ・ 直線偏光 :
- ・ 円偏光 :
- ・ 楕円偏光 :

これらはいろいろ混ざり合っていますが、この中の直線偏光を上手に使ったのが**偏光カメラ**です。

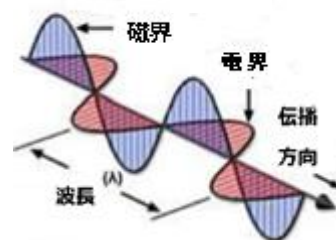


図 4: 電磁波としての光

3. マルチラインセンサの偏光解析への応用

4 列の CMOS ラインが搭載され、内 3 列に、それぞれ、 0° 、 135° 、 90° の偏光フィルタが装着されています。

(**図 5**)

直線偏光の向きがあった光のみを受光します。例えば、 0° のセンサの場合、直線偏光の向きは、**図 6** のようになります。（センサ面と直線偏光が 90° の関係になります。）

図 5: 偏光フィルタ (0° 、 135° 、 90°)

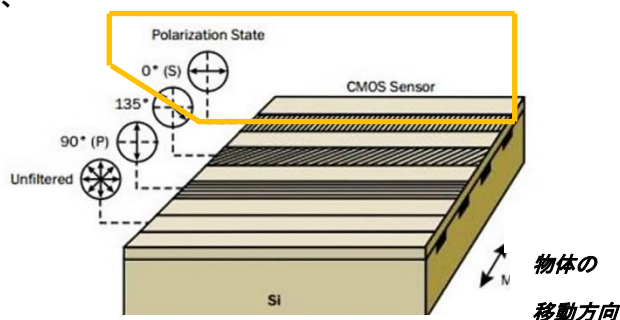
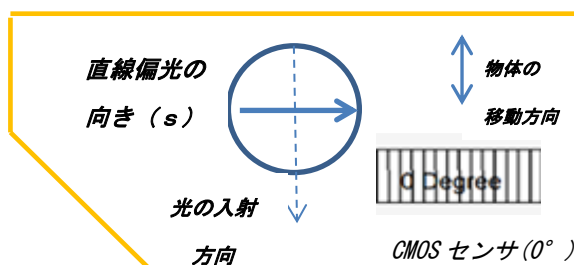


図 6: 0° 偏光フィルタに入射する直線偏光



4. 偏光カメラの画像

偏光カメラは、圧力の検出に良く用いられています。透明な材質（ガラス、プラスチック、繊維など）の中にある圧力は、偏光カメラによる検出や測定が可能です。

プラスチック定規を偏光カメラ（左）と通常カメラ（右）で撮影した比較画像（図7）をご覧ください。プラスチックは、内部の圧力の差で屈折率が異なる性質（複屈折）を持ちます。

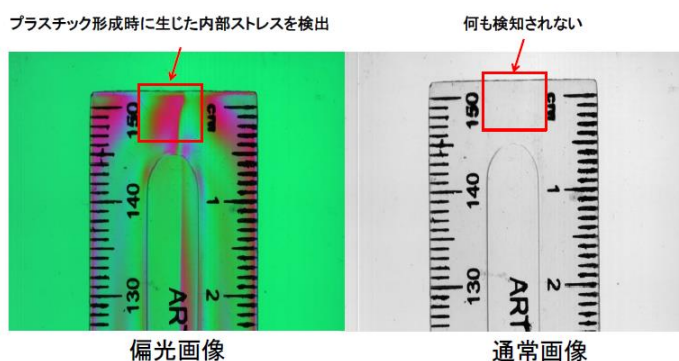


図7: 比較画像（プラスチック定規の複屈折による差）

その結果、通常可視カメラでは定規の面は、一律透明にしか見えませんが、 0° （赤い箇所）や 135° （青い箇所）の直線偏光では輝度値の違いや歪みが可視化されます。

図8は電子基板の傷です。(a)の偏光画像では、傷による凹凸が高コントラストで表現されています。

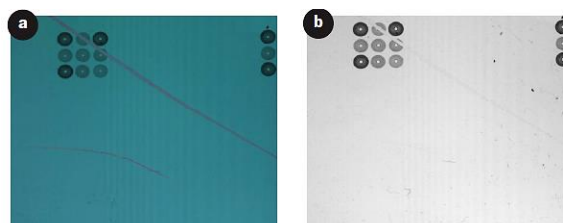


図8: 比較画像（電子基板の傷）

一般に偏光フィルタにより、不要な反射が除去され、透明な被写体の奥まで透けてみえるようになります。車のフロントガラス

や、湖など水面の反射を抑えることができます。偏光カメラでも、反射を抑え、検査対象をよりはっきりとらえることができますようになります。また透過画像では、定規のようなプラスチックの歪みを可視化できます。これは内部で歪みによる複屈折が起きているためです。プラスチックのような透明な高分子材料であれば、フィルムのような薄く弾性がある物体の歪み、応力も可視化できます。

カメラや偏光フィルタ以外にも、偏光は様々な機器に利用されています。薄い膜の入射光と反射光の偏光特性の変化で膜の厚さを測る機器がエリプソメータです。角度が 45° 異なる2枚の偏光子を平行に並べ、間に直線偏光の向きを変えるデバイスを挟むことで1方向の光しか通さない機器が光アイソレータで、レーザー光の反射を防ぎます。

5. 偏光がセンサに至るまで

偏光を取り出そうとする場合、通常はカメラ内のイメージセンサの前に**偏光子**と呼ばれるデバイスを置きます。偏光子とは偏光を通す素材です。光の特定の電界方向成分のみを反射し、それと直交する成分を透過する**反射型**、特定の電界方向の成分を透過し、それ以外を吸収してしまう**吸収型**、複屈折を起す素材で出来ている**複屈折型**などがあります。その形状により、**偏光フィルタ**、**偏光板**などと呼ばれています。

そもそもイメージセンサは、光エネルギーの強弱(**強度**)を感知することはできますが、振幅や位相差を感知することはできません。そこで、カメラ/センサの前面に必要な角度の偏光フィルタ等を適宜置きます。

一般に、自然光はランダムな波長であり、偏光子や**移相子**を使って偏光を取り出したり、角度を制御したりします。移相子は、**波長板**とも呼ばれ、偏光を直交する2成分に分けた波の位相差を変えます。実用上は楕円偏光から直線偏光や円偏光を取り出すことが多いので、 π や $\pi/2$ の波長板が用いられます。位相差 π は、円の1/2に当たるので**1/2波長板**、位相差 $\pi/2$ は円の1/4に当たるので**1/4波長板**と呼ばれます。



図 9: 波長板による位相差

下の図は、自然光を偏光板に通して直線偏光になったのち、物体を透過するさいに複屈折により楕円偏光となった様子です。波長板を調節して直線偏光を取り出し、偏光カメラに入光します。

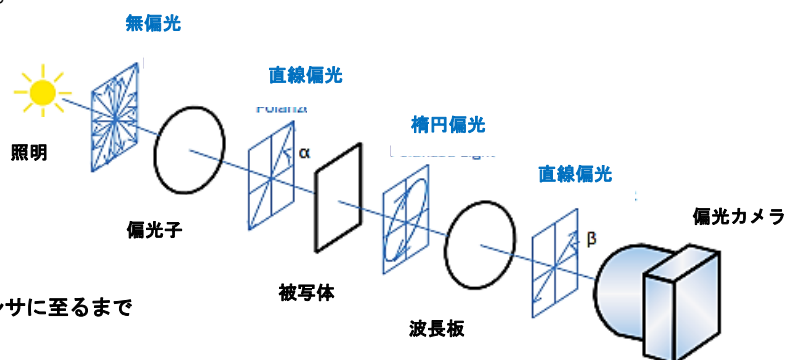


図 10: 偏光がセンサに至るまで

6. マルチライン型偏光カメラのメリット

ダルサのマルチライン型偏光カメラ Piranha4 2K では、センサ面にマイクロポラライザー型の超小型偏光子(以下、**マイクロポラライザ**)を各ピクセル毎に3種類装着しています。

(図 12 参照)

これに対し、偏光エリアカメラの場合、4つのピクセルに対し、4枚の偏光フィルタ(0°、45°、90°、135°)を割り当てます。(図 13)

この2x2ピクセルの配列を1ピクセルの情報にまとめる処理を行います。

マルチライン型アーキテクチャでは1ピクセルがマイクロポラライザ1個に対応しているので、水平方向2048ピクセル全てにおいて、0°、135°、90°の偏光状態を正しく再現します。これに加え、一次元のライン型センサであるため、工場の生産ラインなど、一方向に高速で動いている被写体の偏光撮像が可能となります。

7. まとめ

偏光は、光が電界に沿って様々な方向に向かう現象です。これを偏光子とイメージセンサ(カメラ)を用いることで、圧力など通常の可視カメラでは見えない物を可視化できます。

CMOS マルチライン型アーキテクチャのセンサの場合、偏光フィルタがセンサのピクセル単位に配置してあります。そのため、1回のスキャンで異なる種類の偏光画像を撮像できます。また、一方向に高速移動する物体の直線偏光、円偏光の状態をまとめて再現、可視化、計測できます。例えば、フィルム、プラスチックといった複屈折性を持つ材質のウェブ外観検査、応力、3D解析等に有益です。

以上

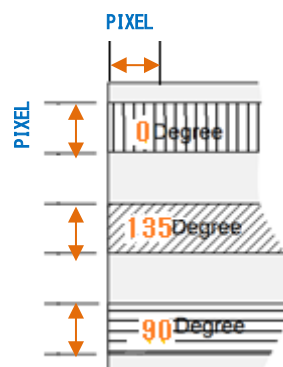


図 12: 偏光ラインカメラの
画素の配列

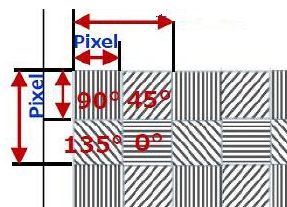


図 13: 偏光エリアカメラの
2x2 配列