

## 1. はじめに

本稿では、水晶 OLPF (Optical low pass filter) について、複屈折性、用途、機能、および最近急激に需要が伸びている一眼レフ用 OLPF についての技術的課題、市場予測を簡単に説明致します。

タイミングデバイスと同じように Low pass filter という名が付いていますが、これは空間周波数の低い領域を通過させるフィルタという意味です。明るい部分と暗い部分の繰り返しを空間周波数といいます。OLPF は画像の縞模様



図 1 OLPF の一例

様のうち、細かい領域 (空間周波数の高い領域) をカットし、粗い領域 (空間周波数の低い領域) を通過させる機能があります。要するに、2重像 (複屈折板1枚)、あるいは4重像 (複屈折板2枚と位相板などの構成) を作って、細かい縞模様を CCD や CMOS イメージセンサの画素間隔 (2~5 $\mu\text{m}$ ) レベルでボカしてしまう効果があります。

## 2. 水晶板の複屈折性

水晶には方解石と同じように複屈折性という性質があります。これは結晶中を光が通るときに、光の偏光方向により 2 つの屈折率が存在することをいいます。現象的には印刷された文字の上に結晶を置くと文字が 2 重に見えることで複屈折性の存在が分かります。この複屈折性を利用した光学製品を図 2 に示します。光線が分離する性質を利用したものにプリズムや複屈折板があり、また、2 つの屈折率に対応した光線速度の違いを利用した製品に波長板などがあります。

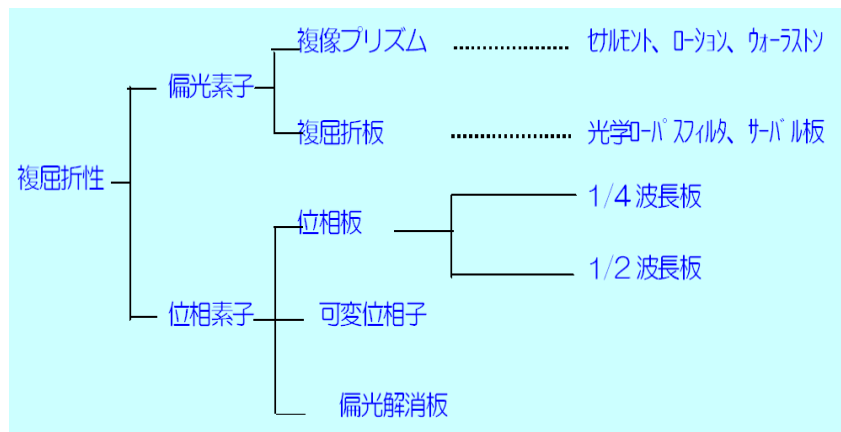
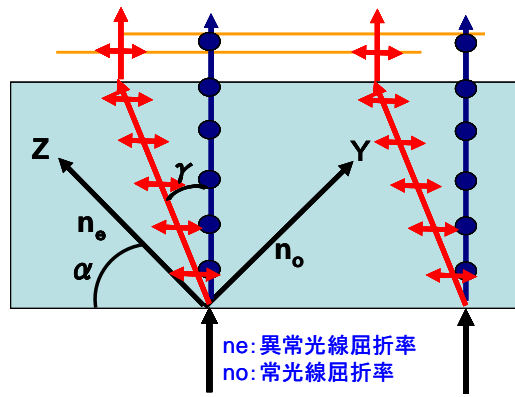


図 2 複屈折性を利用した光学製品



$$\tan \gamma = \frac{\left[ \left( \frac{n_e}{n_o} \right)^2 - 1 \right] \tan \alpha}{1 + \left( \frac{n_e}{n_o} \right)^2 \tan^2 \alpha}$$

結晶表面と光学軸がなす角と  
ビームスプリット角  $\gamma$  の関係

図3 光線分離幅と厚み・方位の関係

2重像の分離幅は結晶の方向により変化します。図3は結晶の方向と光線分離幅の関係を示しています。光学軸(Z軸)に対して垂直に振動する光線は直進し、振動方向がこの光線と直角になる光線は結晶中を斜めに進みます。水晶の場合、図3の角度 $\alpha$ が45度付近の場合にこの分離幅は最大となり、また分離幅の角度依存性が最小になります。デジタルカメラやビデオカメラに用いられるOLPF(Optical low pass filter)はこの角度で製造されています。

### 3. OLPFの用途

一般的には、CCDやCMOSの固体撮像素子を用いたデジタル画像入力機器に用いられますが、基本的に人が見やすい様にするデバイスですので、出力される画像を人が目で認識する様な用途に用いられます。ですから、入力された画像信号をソフト的に加工・合成して付加された情報を出力するような、いわゆるセンサ的な使い方をカメラには使われないのが一般的です。代表的な用途にはデジタルスチルカメラやビデオカメラがあります。OLPFの用途を表1に、使用例を図4に示します。

表1 OLPFの用途

家庭用機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンパクトDSC</li> <li>・一眼レフDSC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DVC</li> <li>・車載用バックモニター</li> </ul>	
産業用機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・監視カメラ</li> <li>・報道用カメラ</li> <li>・遠隔作業用カメラ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産業機械</li> <li>・テレビ会議システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交通監視システム</li> <li>・認証システム</li> </ul>
医療・学術用機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・医療用内視鏡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動植物生態観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工衛星</li> </ul>

CCD や CMOS の固体撮像素子は可視光だけでなく赤外部にも大きな感度を持っているため、赤外カットフィルタを組み込むのが一般的です。人の可視感度に近づけるため、吸収タイプの IR カットガラスフィルタと反射タイプの IR カットコートフィルタの双方の特性を重ね合わせています。図 5 にその重ね合わせの様子を示します。

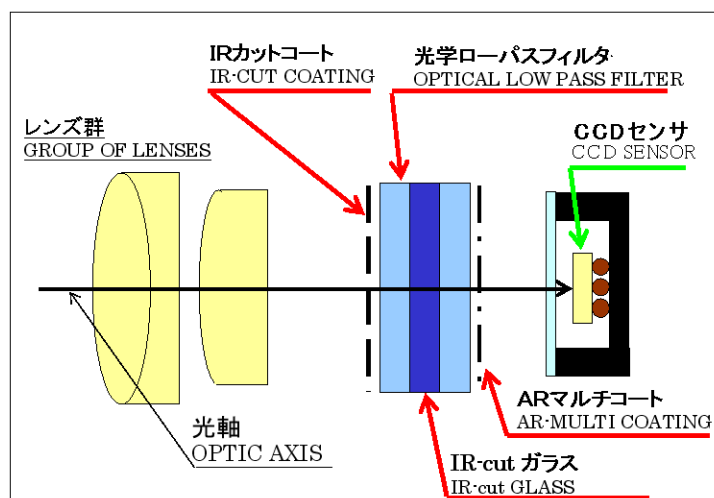
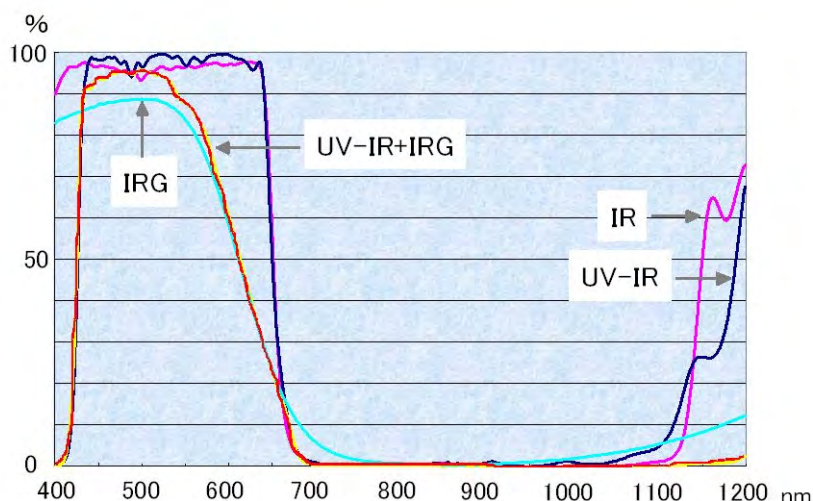


図 4 OLPF の使用例



#### 4. OLPF の機能

OLPF には偽色の低減とモアレの低減という 2 つの機能があります。

##### (1) 偽色の低減

CCD や CMOS イメージセンサに白黒の縞模様が結像したときに、縞の間隔が丁度画素の間隔と合致したときに、偽色が最大に現れます。人の目には白黒の細かい模様は灰色に見えますが、デジタル配置されているイメージセンサだけでは、人の見る世界を忠実に再現しません。たとえば図 6 の緑・青・緑・青の列には光が入り(白)、赤・緑・赤・緑の列には光が来ない(黒)場合、イメージセンサは赤の要素がない青っぽい色として出力します。そこに OLPF が入ることで、一つの縞を 2 本に分離し、すべての画素に均等に光が入るようになります。これで明度の低い白、すなわち灰色として出力されることとなります。これが偽色の低減効果です。

## (2)モアレの低減

画素が格子状に配列されていることから、被写体の縞模様がイメージセンサ上に結像したときに、縞と格子が干渉し、図7に示すような色の付いた干渉縞が発生します。特に画素間隔と結像した縞模様の間隔が合致したときに強い干渉が現れます。これをモアレといいます。OLPFによって2重像あるいは4重像を作ることにより、この干渉効果を低減させます。要するに白黒の縞をぼかして潰してしまう結果としてモアレを低減させることとなります。

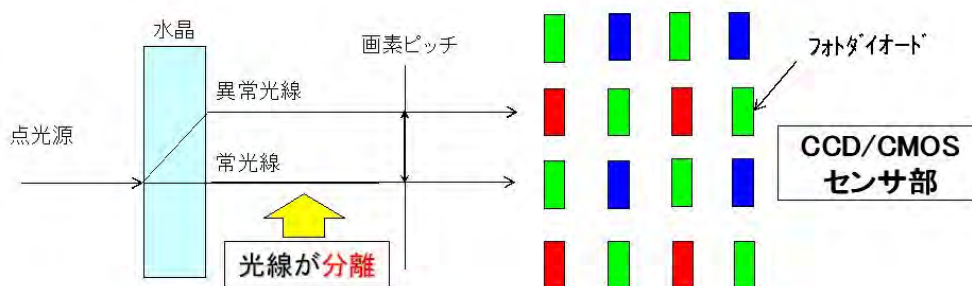


図6 偽色の低減

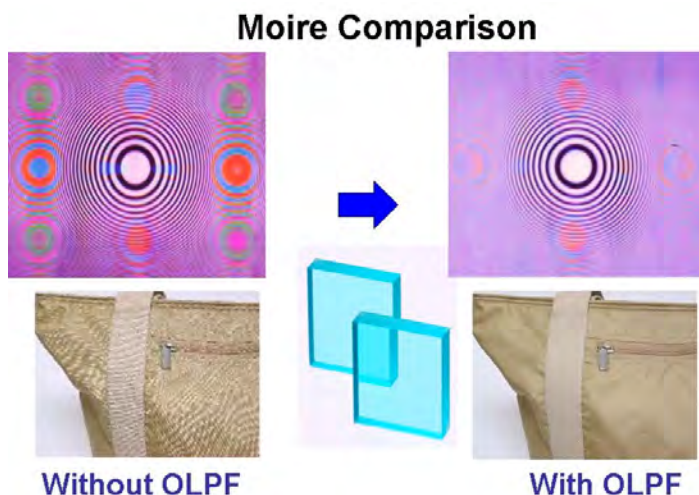


図7 モアレの低減

## 5. OLPFの技術的課題

イメージセンサは年々高画素化が進展しています。画素間隔は小さくなり、そのため、必要な2重像の間隔も小さくなり、水晶板の厚みは薄くなります。特に最近の一眼レフデジタルカメラに使われるイメージセンサの大型化とともに、OLPFも大口径化しています。また、写された画像についてもより高画質が要求され、これらの要因から水晶板の平坦度もより高度なものが必要となってきています。図8は平坦度データの一例です。平坦度を向上させるには、研磨技術、コートによる応力、接着による歪みなどの項目について一層の技術改善が必要になります。

## Surface Data

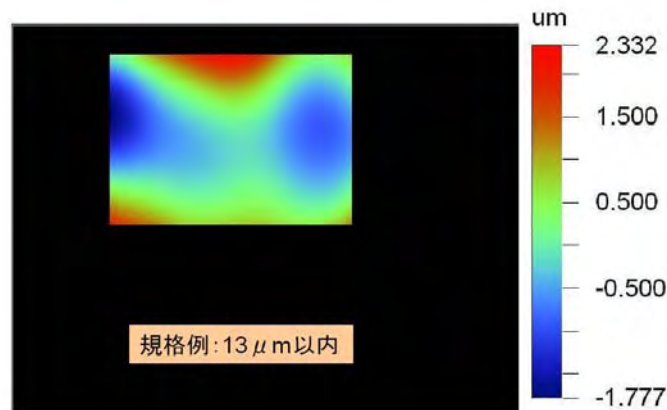


図8 OLPFの平坦度データの一例

最近の一眼レフデジタルカメラにおいては、OLPFの構造変化も顕著です。レンズ交換時の塵埃除去のための振動機構の搭載により、通常4枚構成のOLPFが分割化されていることと、最外側のOLPFへ振動機構を搭載するためと、35mmフルサイズ化によるOLPFの大型化が特徴として挙げられます。これらも製造工程の高度化が要求される要因となっています。(図9参照)

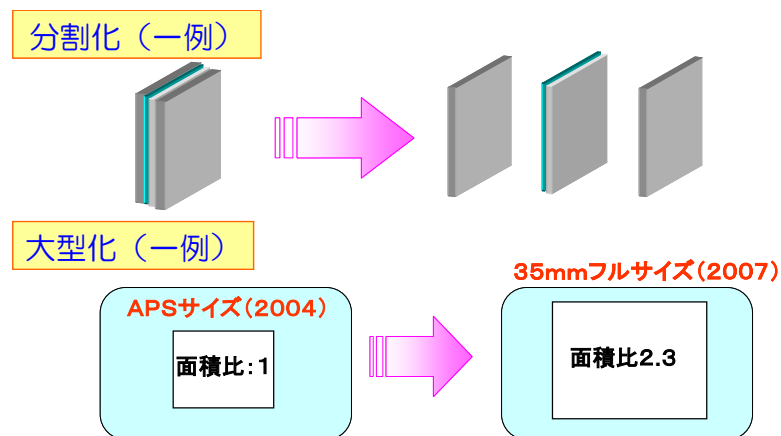


図9 OLPF構造変化の一例

## 6. 一眼レフDSC市場予測

一眼レフデジタルカメラの市場は今後も堅調な成長が見込まれます。CIPA(カメラ映像機器工業会)によれば2007年の生産台数は750万台の実績でしたが、QIAJ技術委員会では2011年に1,200万台まで成長すると予測しています。

図10は2011年までのOLPF市場予測を示しています。数量予測は分割タイプのOLPFも1セットとしてOLPFのセット数で見えています。金額はコストダウンと大型化による価格上昇分を勘案し算出しています。2011年には190億円と試算しました。

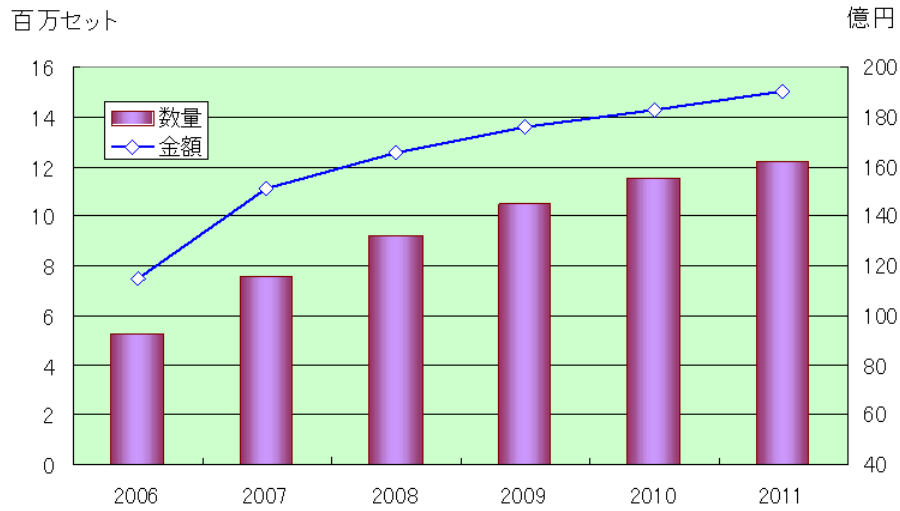


図10 一眼レフ DSC 市場予測 (2011 年まで)

## 7. おわりに

本稿では OLPF の原理、機能、技術的課題についてやさしい表現で解説を試みました。そのため、表現に厳密さを欠く部分があると思いますが、この点をご容赦頂いて、詳しくは別途の専門文献に譲りたいと思います。この拙い解説で、多少でも OLPF へ理解が深まれば幸いです。

(元 京セラキンセキ株式会社・技術委員長 倉 繁 正 和)