

フィルターの基礎と選び方・使い方

Basis of a filter and how to choose, how to use

エドモンド・オプティクス・ジャパン(株)

はじめに

マシビジョンで被検物体の画像を改善したり、調整したりするのに、多くの種類のフィルターが利用される（第1図）。様々なフィルターの種類の中には異なる技術が使用されており、各々にメリットと限界があるのを理解しておくことが重要になる。

広範な種類のフィルター製品がある中で、大抵のフィルターは次の二つの主要タイプに分類することができる。カラーガラスフィルターとコートタイプ干渉フィルターである。



第1図

カラーガラスフィルター

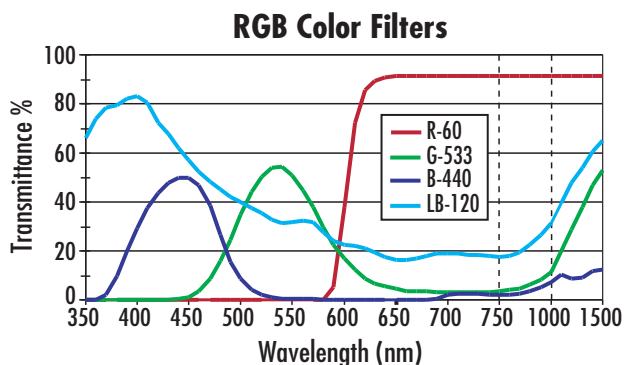
特定スペクトルを選択的に吸収したり透過したりする成分をガラス材料内にドーブして作られるカラーガラスフィルターは、マシビジョンでは非常に一般的に用いられる。ドーブ材料の選択は、どの波長を透過させるかによって変わる。製造工程は標準的な光学ガラス製造のそれとほぼ同じである。

カラーガラスフィルターは、次にあげる二つの点

でメリットがある。一つは、干渉フィルターと比べた時に低コストで調達できる点、そしてもっと重要なことは、広角レンズを使用した時やフィルターを斜めに傾けて使用した時でも、透過特性の波長シフトが起こらないという点である。しかしながら、カラーガラスフィルターの透過波長帯は一般に広帯域で、コートタイプ干渉フィルターと比べると透過帯から透過阻止帯への移行が急峻ではなく、また精度も高くはない。加えて、フィルターの透過効率レベルもコートタイプ干渉フィルターのそれほど高くはない。代表的なカラーガラスフィルターの透過曲線を第2図に紹介する。透過波長帯が広く、透過帯と透過阻止帯の境界の曲線スロープがなだらかなのが見て取れる。

マシビジョン用途において白黒カメラとカラーカメラの両方に利用される赤外（IR）カットフィルターは、カラーガラスフィルターとコートタイプ干渉フィルターの両タイプが選択できる。マシビジョン用カメラの多くに採用されるシリコンセンサーは、 $1\mu\text{m}$ 程度までの波長に感度があるため、頭上にある蛍光灯や他の周囲にある光源から放射される赤外の光が同センサーに入射すると、得られる画像に不正確性が生じる。カラーカメラでは、IRの光はセンサー上で誤った色を作るため、全体的な色情報の再現性を落とす。こうした理由から、カラー撮像用カメラの多くには、センサー上にIRカットフィルターを標準装備している。白黒カメラの場合は、IR光の存在が全体画像のコントラスト性能を落としてしまう。

カラーガラスフィルターには他の種類もある。例



第2図 カラーガラスフィルターの分光透過曲線

例えば、デライトブルーフィルターは、多色光源とカラーセンサーが用いられる時のカラーバランス調整用に用いられる。

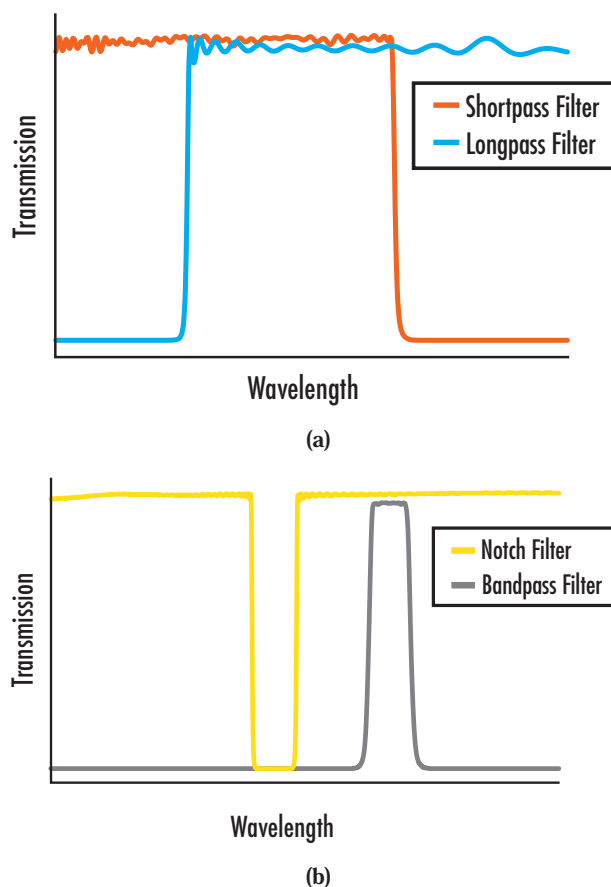
コートタイプ干渉フィルター

コートタイプ干渉フィルターは、カラーガラスフィルターよりも立ち上がり立ち下がり特性が一般に急峻で、より高い透過率とより深いブロッキング性能（透過遮断特性）を有する。ハードコーティングを採用した蛍光用フィルターからダイクロイックフィルター、そして偏光フィルターまで、様々なコートタイプ干渉フィルターが存在する。どのコートタイプ干渉フィルターも、適切な性能を確保するために、独自の製造工程を経て作られる。光学特性が波長に依存するコートタイプ干渉フィルターは、特定基板上に高屈折率と低屈折率の誘電体膜を交互に積層して蒸着することで作られる。基板の表面品質と均質性がフィルターの光学的品質のベースとなり、基板材料自体を透過しなくなる波長が透過波長限界になる。誘電体膜層は、透過波長限界域内で光の干渉を引き起こし、波を強め合ったり弱め合ったりすることで、所望のフィルターの分光特性を作り出す。また、これにより、カラーガラスフィルターに比べて透過帯から透過阻止帯への移行がより急峻になる。

ハードコートフィルターには、バンドパスやロングパス、ショートパスやノッチフィルターといった数多くの種類があり、どのフィルターも特定のブロッキング領域と透過領域を有する。ロングパスフィ

ルターは、短波長側の透過を阻止し、長波長側を透過するようにデザインされている。ショートパスフィルターはその逆で、短波長側を透過し、長波長側の透過を阻止する特性を有する。バンドパスフィルターは、ある波長帯を透過し、その波長帯よりも短波長側と長波長側の両方の透過を阻止する。バンドパスフィルターと逆の特性を持つのがノッチフィルターで、ある波長帯の透過を阻止し、その波長帯よりも短波長側と長波長側の両方を透過する。フィルタータイプ別の透過曲線形状を第3図に紹介する。

ブロッキング性能が深く（光学濃度が高く）、曲線スロープが急峻な（透過帯から透過阻止帯への移行がシャープな）フィルターは、正確な光の制御が極めて重要となるアプリケーションに用いられる。大抵のマシンビジョン用途では、このレベルの正確性は要求されない。一般的に、光学濃度（Optical



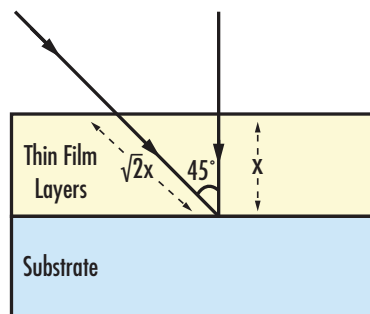
第3図 ロングパスとショートパスフィルターの透過曲線形状(a)とバンドパスとノッチフィルターの同形状(b)

Density (OD) が4以上の特性を有するフィルターは、マシンビジョン用途においては過剰要求となり、不要な費用投資になる。

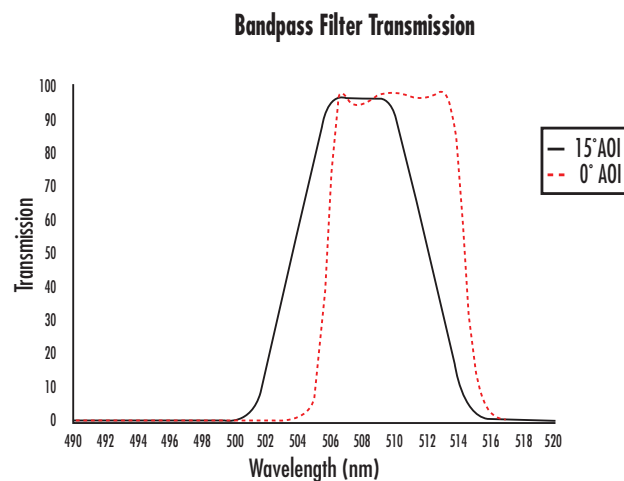
ハードコートフィルターは、透過領域や透過遮断領域といった特性を正確に再現するために光の干渉効果を利用している。しかしながら、マシンビジョン用途で用いる際にはある種の注意を伴う。どの干渉フィルターも、特定の入射角度でデザインされている。特に記載のない限り、通常 0° の入射角で設計されている。マシンビジョンに用いられる時、フィルターはイメージングレンズの対物側に通常取り付けられる。この場合、使用するレンズの画角によって、フィルターは角度を持って入射してくる光も受け入れることになる。とりわけ短い焦点距離を有するレンズ、即ち画角の大きいレンズを使用した場合、フィルターを透過した光は、「ブルーシフト」として知られる不要な効果を生み出す。例えば、 $f = 4.5\text{mm}$ レンズは、 $f = 50\text{mm}$ レンズよりも画角が大きくなるため、より多くのブルーシフトがある。コートタイプ干渉フィルターへの入射角度が大きくなると、フィルター層を通過する際の光路長が長くなるため、これを相殺する形でカットオン波長とカットオフ波長が短波長側にシフトする現象が起こる(第4図)。この結果、フィルターの透過領域が画像上のフィールドポイント毎に異なるという状況を作り出し、視野の縁に向かうほどブルーシフトの量が大きくなる。コートタイプ干渉フィルターは、それでも多くの場合においてカラーガラスフィルターよりも良好なフィルタリング制御を行うが、広角レンズにコートタイプ干渉フィルターを用いる場合は、思わぬ落とし穴になることがある。

マシンビジョンフィルタリングを使ったアプリケーション

マシンビジョンシステムを設計する際、検査対象物内の観察したい細部のコントラストを高めることが重要である。フィルタリング技法は、像コントラストを高めるための簡便な方法で、周囲からの不要な照明の光の影響を取り除く。フィルターを使ってコントラストを高める方法は沢山あり、アプリケーションに応じて使用するフィルターの種類が異なっ



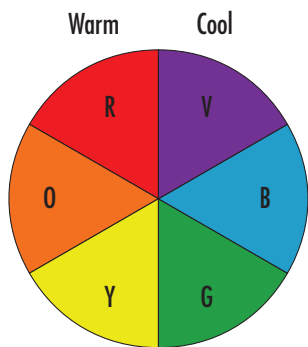
第4図(a) 光がフィルター膜内に入射した時の光路長の違いで何がかわるか。設計入射角通りに光が入ると光の波同士が膜内で打ち消し合うため、膜内の透過を妨げる。これに対し、角度を持って入射した場合は、この波の打ち消し合いが効果的ではなくなり、フィルターの光学特性に変化を与えてしまう。



第4図(b) バンドパスフィルターに 15° で入射させた時のブルーシフト例。透過中心波長が短波長側にシフトするだけでなく、スロープ形状のシャープさも低下させてしまう。破線で描いた透過曲線は、入射角度 0° 時の理想的特性を示す。

てくる。マシンビジョンに用いられる一般的なフィルタータイプに、カラーガラス、干渉、中性濃度 (ND)、偏光がある。

カラーガラスのバンドパスフィルターは、画質を劇的に改善する最もシンプルなフィルターの一つである。このフィルターは、ビジョンシステムで可視化する波長帯を狭めることで画質を改善でき、比較対象の干渉フィルターよりも安価に調達できることの多いフィルターである。カラーガラスフィルター



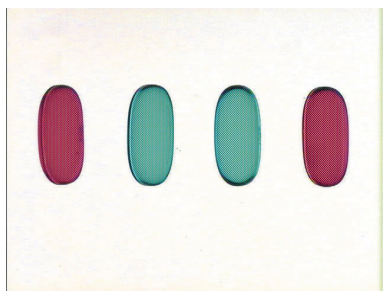
第5図 暖色系の色 (Warm) は、色相環チャート上反対側に位置する寒色系の色 (Cool) をフィルタリング (透過遮断) するのに用いられる

は、色相環チャート (第5図) で反対側にある色の透過を遮断する際にもっとも機能する。

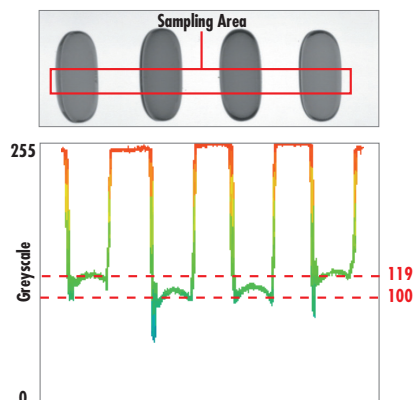
カラーフィルター

第6図に示したジェルカプセルを検査する例を考えてみよう。写真の通り、赤色のカプセルが両端に二つと緑色のカプセルが中央に二つ、白色のバックライト下にある。錠剤を色毎に分けて所定の場所に各々運ぶ識別アプリケーションである。白黒カメラを使ってこのカプセルの画像を撮ると (第7図)、緑と赤色のカプセル間のコントラスト差はわずか8.7%しか得られず、見分けるのに最低限必要な20%のコントラストを確保できない。

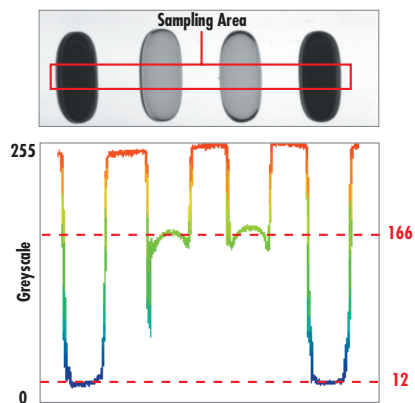
この例の場合、人がそのシステムの前を通り過ぎることで起こる周囲光のわずかな変動が、この時点でさえ低い8.7%のコントラスト差を更に減らしてしまう可能性がある。すると、システムは適切に動作する能力を完全に失う。この問題を解決する方法



第6図 同じビジョンシステムを使って検査する4個の液体カプセル (カラー画像で紹介)



第7図 白黒カメラで撮像したカプセル：8.7%のコントラストを達成



第8図 白黒カメラと緑のカラーガラスフィルターを使って撮像したカプセル：86.5%のコントラストを達成

は幾つかある。検査システム全体を完全に覆う、サイズ的に大きく、費用もかかる遮光システムの導入や、システムの照明方法全体の見直し、あるいは光学フィルターを追加し、緑と赤色間のコントラストを高めるといった方法がある。本例では、最も簡便かつ費用対効果の高いソリューションとして、緑色のカラーガラスフィルターを利用して2色のカプセル間のコントラストを改善してみる。第8図の結果の通り、コントラストはそれまでの8.7%から86.5%に、ほぼ10倍改善された。

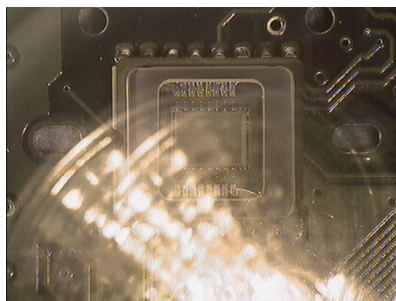
NDフィルター

NDフィルターは、カメラの露光時間やレンズのF

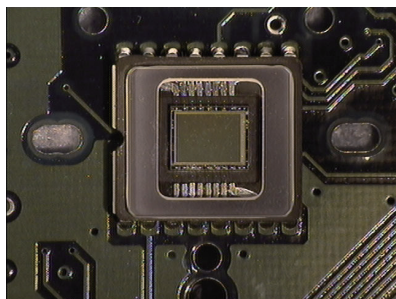
ナンバー設定を変えずに画像の明るさを抑えたい場合に威力を発揮する。NDフィルターは、吸収型と反射型の主要タイプに大別できるが、レンズを透過してセンサー上に到達する光の量を波長に依存することなく均等に減らすという基本的役割はどちらも同じである。露光時間設定に関わらず撮像素子が過剰露光してしまう溶接などのアプリケーションには、光量を必要レベルにまで落とすのにNDフィルターが用いられる。この時、レンズのFナンバーを変更する必要がない（Fナンバーを変更すると、システムの解像力性能が変化する）。アポダイジングフィルターは特殊なNDフィルターの一つで、基板の中心から周辺に向かって光学濃度が連続的に変化している（基板中心部の光学濃度が最も高く、周辺部の濃度が最も低い）。このフィルターは、物体からの強烈な反射によって画像中央部に発生するホットスポットを取り除くのに役立つ。

偏光フィルター

偏光フィルターは、マシンビジョン用途によく用



(a)



(b)

第9図 偏光フィルターを使わない画像(a)には高いグレアが現れ、偏光フィルターを使った画像(b)にはグレアが現れない

いられるもう一つのタイプのフィルターで、特に反射率の高い物体の撮像に効果的である。偏光フィルターを適切に用いるためには、光源とレンズの両方に偏光フィルターを装着しなければならない。この時の2枚の偏光フィルターは、各々偏光子、検光子と呼ばれる。第9図は、反射物体を撮像する時に偏光フィルターの有無が画像にどのような違いを生むかの例を示している。第9図(a)は、明視野照明を用いて検査した時のCCD撮像素子の画像、対する第9図(b)は、同じ照明を用い、かつ光源側に偏光子とレンズ側に検光子を各々取り付け付けた時のCCD撮像素子の画像である。

第9図(b)に示した通り、2枚の偏光フィルターを追加したシステムは、強い反射がレンズ側に取り付け付けたフィルターによって吸収されたため、優れた画質を提供している。不要なグレアを最大限消光するには、光源側に取り付け付けた偏光子とレンズ側に取り付け付けた検光子の偏光軸が互いに垂直の位置関係になるよう向きを調節しなければならない。適切に調節されていない場合、強い反射光の一部がレンズを透過してしまい、グレアとなって画像に現れることになる。

おわりに

画像のコントラストを操作するのにフィルターが使えることを理解しておくことは、イメージングシステムの精度を向上させるためにも極めて重要である。例えそれが単純なカラーフィルタリングや偏光フィルタリングであっても、固有の問題を解決するために各々のフィルターが存在している。どのフィルターがこういったアプリケーションに用いられるべきなのかを理解することが重要である。

問い合わせ先

エドモンド・オプティクス・ジャパン(株)
113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24
パシフィックスクエア千石4F
TEL: 03-3944-6210 FAX: 03-3944-6211
E-mail: tech@edmundoptics.jp