マシンビジョン固有の照明方式を理解する

ジェレミー・ゴヴィアー、コーリー・ブーン

同軸落射照明、テレセントリック照明、拡散同軸照明の各照明方式は、異なる種類の用途に対してそれぞれが異質の優位性を提供する。

適切な照明は、マシンビジョンアプリケーションの成功に不可欠である。最大限の性能を引き出すために必要となる照明の種類は、使用事例ごとに大きく異なる。本稿では、同軸落射照明、テレセントリック照明、拡散同軸照明という、マシンビジョン固有の照明方式のメリット、デメリット、使用事例を紹介する。

同軸落射照明（**図1**）は、光ファイバライトガイドまたはLEDなどの光源を、通常はビームスプリッタを使用して、イメージングレンズシステムの光路内に直接組み込むものである。これは明視野照明の一種で、正反射の入射角がレンズの視野よりも小さいために、正反射光がレンズに返ってくることを意味する。他の明視野照明方式と同様に、同軸落射照明は、背景が暗く対象物が明るい画像を生成する。同軸落射照明を使用すると、拡散同軸照明などの他の種類の照明を使用する場合よりも、一般的にビジョンシステムはコンパクトになる。同軸落射照明に使用される光源（**図2**）が、拡散とみなせるほど大きければ理想的である。そうすれば、光源そのものが、対象物の正反射面で反射してイメージングシステムに映り込むことがないためである。

同軸落射照明の光線経路は、半導体やCCDセンサなどの正反射体や正反射に近い物体の検査に非常に適している。**図3**は、同軸落射照明を使用して撮影したCCDセンサの画像を、暗視野照明を使用して撮影した同じCCDセンサの画像と比較したものである。同軸落射照明は、正反射体の細かい形状の間のコントラストが一定となる均一な照明を生成するが、主なデメリットは、迷光と低いコントラストである。光の一部はビームスプリッタの表面で反射し、対象物に届くことなくカメラに返ってくるため、画像は全般的に「ウォッシュアウト」されてしまう。これによって、画像の中心にホットスポットが生成される可能性もある。迷光のほとんどがカメラセンサの中央に到達するためである。

テレセントリック照明は、バックライトの特殊なケースで、光源が拡散しないようにコリメートする。照明器の任意の点から発せられる光線は、他のすべての光線と平行になる（**図4**）。正反射体で反射した光がイメージングレンズに返ってくるという構造ではなく、テレセントリック照明器は、テレセントリックレンズアセンブリと、対象物にバックライトを当てるLED光源という、分離したモジュールで構成される。照明器から発せられたコリメート光線は、イメージングシステムを向いている側の表面に到達することなく、物体のシルエット画像を生成する。一方、従来のバックライト照明器の場合は、対象物の前面に鋭角で入射し、散乱してイメージングレンズに返ってくる光線がある。そのために、従来型のバックライトでは、エッジ形状が明るくなり、コントラストが失われる（**図5**）。

テレセントリック照明の主なメリットは、コリメーションのレベルが高いことで、これによってエッジのコントラストが高まるため、正確な計測や計量に対して理想的である。高コントラストのシルエット画像により、小さな欠陥の高精度な検出や計測が可能とな

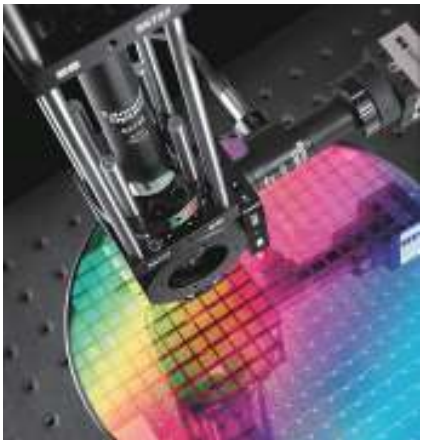

図1　同軸落射照明は、半導体ウエハなどの正反射体や正反射に近い物体の検査に理想的である。

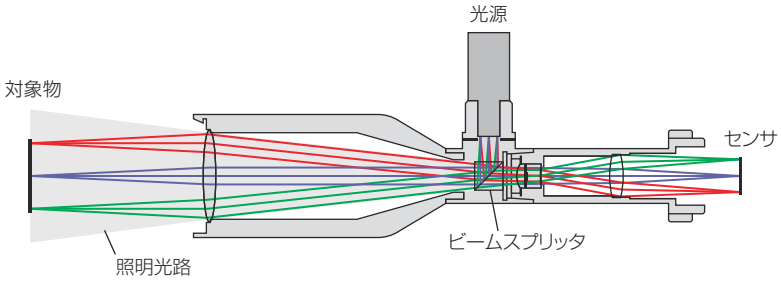

図2　テレセントリックイメージングレンズ内に組み込まれた同軸落射照明。

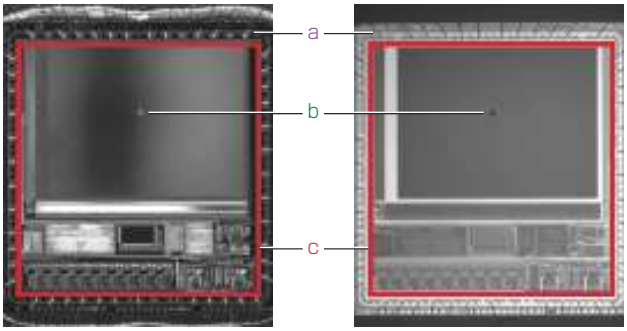

図3　暗視野照明（左）と同軸落射照明（右）で撮影したCCDの画像の比較。この結果から、同軸落射照明は、A：ワイヤとCCDのそれ以外の部分の間のコントラストがより明確になる、B：フェースプレート上の欠けが暗く現れる、C：一定コントラストの均一な照明が得られることがわかる。一方、暗視野照明は、画像全体のコントラストが不均一になる。

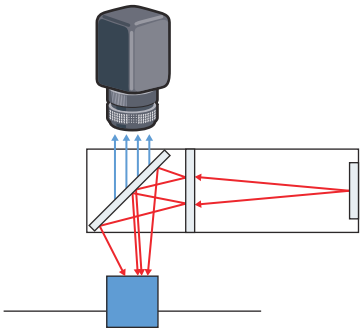

図6　この標準的な拡散同軸照明設定において、イメージングレンズは、外部拡散光源からの光を対象物までの光学経路に導くビームスプリッタ越しに、物体からの反射光を撮像する。

り、計測の再現性と精度が高まり、照明器と対象物の距離を近づけることができる。従来型のバックライトでは、鋭角で入射する光線の散乱を抑えるために、照明器と対象物の距離を長くする必要がある。

テレセントリック照明は、均一性も高い。しかし、市場に提供されている他の照明方式よりもサイズが大きく高額になる場合が多い。フロントレンズ素子のサイズによって照射スポット径が決まるため、システムのサイズと重量は大きくなる。テレセントリック照明は、レンズと光源のアライメントにも左右されやすい。

拡散同軸照明では、レンズは、外部拡散光源からの光を対象物までの光学経路に導くビームスプリッタ越しに、物体からの反射光を撮像する（**図6**）。同軸落射照明と同様に、ビームスプリッタ後の照明とレンズは同軸化される。ただし、拡散同軸照明では、明視野照明と暗視野照明の両方の方式を組み合わせて、対象物にさまざまな角度から光を照射する。

拡散同軸照明は、非常に均一で拡散された照明となり、正反射体と拡散体の両方によって生成されるグレアと明るいスポットを低減する。しかし、拡散同軸照明は同軸落射照明よりもサイズが大きく、設置が難しい場合が多い。照射距離にも制限があり、スループットは比較的低い。十分な光量を確保するために、複数の光ファイバ光源が必要となる場合もある。同軸落射照明と同様に、光源の面積が大きければ、正反射によって光源の十分に大きな像がカメラに映り込み、ホットスポットはまったく発生しなくなる。正反射体は均一に照射される。

すべての状況に対して最適な選択となる単一の照明方式は存在しない。撮像対象物と検査目標によって、さまざまな照明方式の有効性は異なるため、どの照明方式を選択するかは、個々の用途に大きく依存する。対象物のシルエットを非常に正確に計測する場合は、テレセントリック照明が有効だが、限られたスペースで半導体ウエハなどの正反射体を検査する場合は、同軸落射照明または拡散同軸照明の方が有効である。さまざまな種類の利用可能な照明方式を理解することで、システムから最大限の性能を引き出すための適切な照明方式を確実に選択することができる。

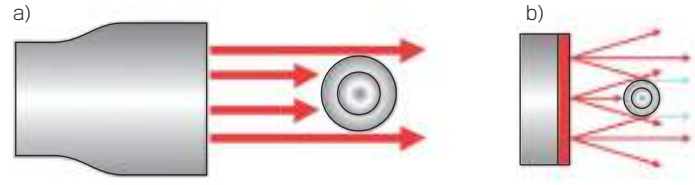

図4　従来型のバックライト照明器は拡散反射するのに対し（a）、テレセントリック照明器はコリメート光を生成する（b）。

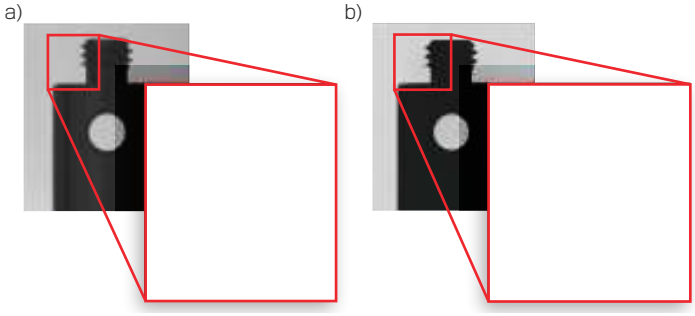

図5　従来型のバックライト（a）と比較して、テレセントリック照明（b）はエッジのコントラストが高いのが明らかである。

著者紹介
ジェレミー・ゴヴィアー（Jeremy Govier）は、米エドモンド・オプティクス社（Edmund Optics）のイメージング事業部門に所属するプリンシパルエンジニア、コーリー・ブーン（Cory Boone）は、同社リード技術マーケティングエンジニア。
URL：www.edmundoptics.com

VSDJ