

撮像の安定性と マシンビジョンレンズの高耐久化

Stability of captured image and high durability of machine vision lens

エドモンド・オプティクス・ジャパン(株)
池田 篤史

はじめに

インダストリー 4.0を始めとするIIoT、スマートビジョンのマーケットは、近年大きな飛躍と市場の興味を引いている。システムインテグレータ各社のホームページや展示会などで見かけられるロボットビジョンやAIディープラーニングなどは正にそのマーケットの広がりが見える一つの指標と言える。その中でビジョンシステムの重要性も増しており、レーザー等を使用した従来のセンシング技術から、イメージセンサの技術進歩に合わせ、センシング技術がビジョンセンシングに移り変わり、対象物の感知・認識をYes・Noだけでなく、被写体の様相を詳細に写し、計測・分析といった次工程も含めたものが一般的となった。その中でビジョンシステムに重要視されるものは、より正確な撮像と、長期継続して全く同じ状態を維持し続けられるという安定性であり、産業におけるIIoTやスマートビジョンには環境に合わせたロボットビジョンや産業用ドローンに対応できる、より高耐久なレンズも合わせて提供されなければならない。本稿ではこのようなマーケットに適応するための高耐久マシンビジョンレンズ技術について述べる。

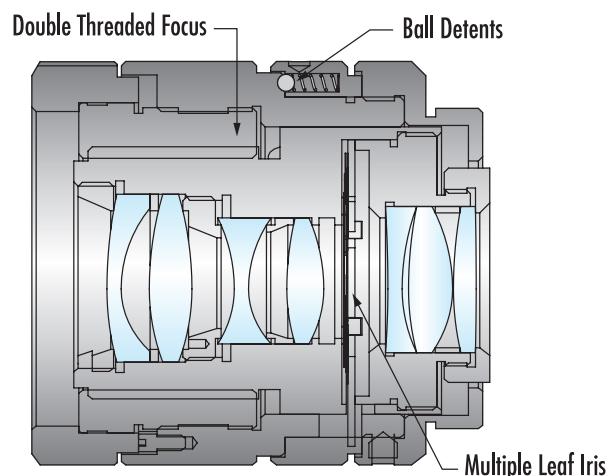
産業用目的の耐久化

物理要因への耐久化

産業用目的に耐久化されたマシンビジョンレン

ズは、長期的に機能し、ピントや絞り位置が変わらないようにデザインされている。このデザインのポイントは可動機構を排除し、より単純化することにある。耐久化されたマシンビジョンレンズの理解のために、最初に標準的なマシンビジョンレンズについて解説をする。

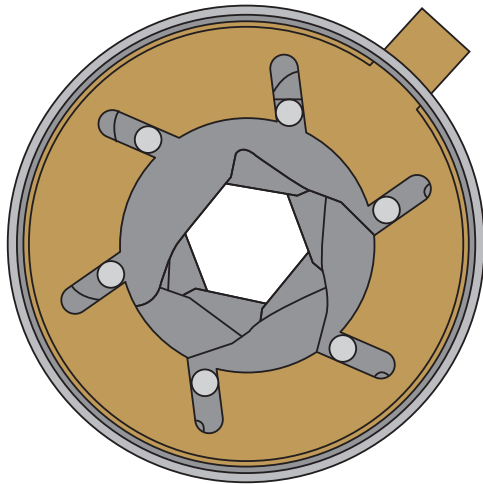
標準的なマシンビジョンレンズとは、産業用途向けにCマウントやSマウントなどのねじ込み式マウントが採用され、手動のピント調整機構と可変絞りを備えている。第1図に示される通り、ピント調整機構は鏡筒内部に存在する光学系が回転することなく光軸に沿って、滑らかに稼働するような、二重鏡筒部が採用されており、被写体に対す



第1図

複雑なメカ機構と可変絞りを採用する標準的イメージングレンズ

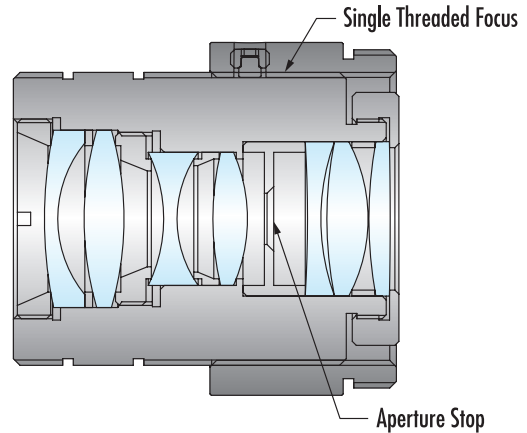
るピント調整後に鏡筒に付けられたロックネジにより固定される。また、戻り止めの付いた可変絞り機構部は、複数枚の薄い可動羽根から構成され、同時に動いて重なり合うことで絞り開口径の大きさも任意に変えられるため、状況に合わせたFナンバーを設定することが可能である（第2図）。



第2図
可動羽根の付いた標準的絞り

一方で耐久化されたマシンビジョンレンズでは第3図のように、可変絞りに代わり固定絞りが採用され、可変絞りで問題になりうる、衝撃や振動における開口サイズのズレや損傷への対策が施されている。可変絞りの機構を無くすことは単純な変更となるが、可変絞りの代わりに固定絞りを採用するデザインは、マシンビジョンレンズの長期性能安定化に大きな効果をもたらす。加えて、一般的なマシンビジョンレンズで採用されている二重鏡筒部から、ネジ切り加工された一重鏡筒に変更されたピント調整機構は、クランプ、ナットあるいは複数点でのロックビスにより固く止められ、産業システムやロボットアームの大きな重力に対しても、決められたセッティングを維持し続ける。

固定絞りと一重鏡筒による耐久化は、その耐久性だけではなく、可動機構を排除した単純構成に

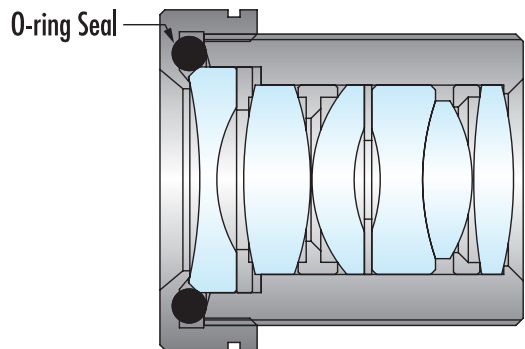


第3図
シンプルなメカ機構を採用する産業用目的に耐久化されたレンズ

おけるコスト削減にも恩恵を与え、量産システムへの導入を前提としたアプリケーションに対して大きなメリットがある。

環境要因への耐久化

マシンビジョンレンズの耐久性の向上には、前述の物理要因への耐久化の他に環境要因への耐久化も必要とされる。外来要因での湿気や塵などが光学系内に侵入しないよう、組み立て品を密閉し、マシンビジョンレンズ内の各単レンズの腐食や汚れなどを防ぐことで、長期使用に対して性能の維持を考えなければならない。これはOリングや

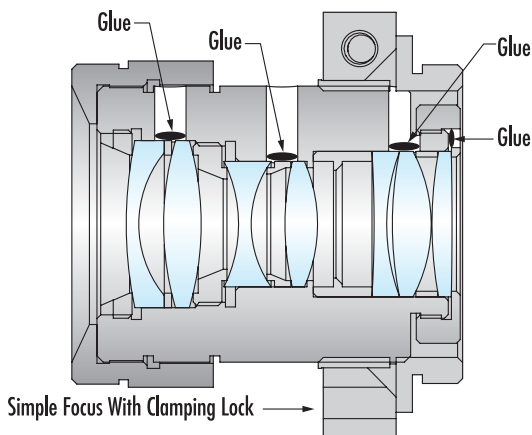


第4図
コンタミの侵入を防ぐためにOリングを採用する外来保護目的用に耐久化したレンズ

RTVシリコンによるシーリングで行われるが（第4図）、あくまで内部のレンズ系のみが保護され、カメラとレンズ間の接続や向かって左側の物体側レンズの保護を含む、ユニット全体の保護も別に考慮しなければならないことを理解しなくてはならない。

安定化のための耐久化

物理要因での項にも説明したように、実際のアプリケーションでは、振動や衝撃からの影響というものを考えなければならないが、物理要因で説明した絞りやピントの他に光学的なポジショニングやポインティングに対する耐久化も必須となる。第5図に示すマシンビジョンレンズは、内部の各レンズ素子を鏡筒に接着固定し、振動や衝撃発生時に鏡筒内でそれぞれの部品が動いてしまうのを防ぐ。一般的なマシンビジョンレンズの組み立てにおいて個々のレンズ素子は、鏡筒内に設計された順番に合わせて組み込まれるが、この時レンズ素子の直径と鏡筒内径に50 μ m程度の間隙が無ければ、レンズ素子を鏡筒内部へ納めることはできない。この50 μ m程度の間隙はわずかなものだが、マシンビジョンレンズのポインティング性能への影響には十分となり得る。これを防ぐため、レンズ素子が組み込まれた位置から動かぬように接着固定を施し、安定化目的の耐久化が図られた



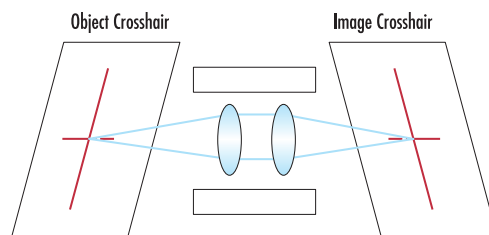
第5図

全てのレンズ素子を所定の場所に接着固定した安定化目的に耐久化されたレンズ

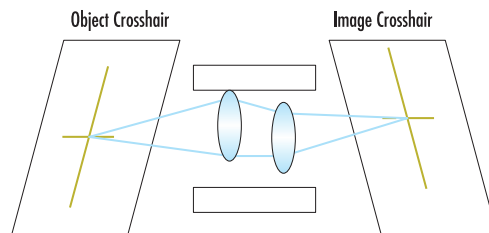
構造を第5図に示す。

また、第6図(1)~(3)に接着していないマシンビジョンレンズの内部で各レンズ素子が動いてしまった場合の例を示す。

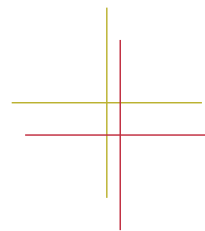
マシンビジョンレンズを使用して視野の位置を校正させる計測機器やロボットセンシング等では、変位量がカメラセンサーの1ピクセル分よりも小さい大きさで安定させることが要求されるため、鏡筒内部に納められたレンズ素子が個々に動いてしまうのはアライメント調整において致命的な欠陥となりうる。



(1)被写体に十字線パターンを用いてマッピングした不動のシステム



(2)レンズ素子が鏡筒内で位置ずれして光学的なポインティングの安定性が変化するシステム。被写体の十字線パターンは像面の異なる場所にマッピングされる。



(3)第6図(1)の十字線パターン（赤線で図示）と第6図(2)の十字線パターン（黄線で図示）を重ねて比較した時の様子。この例では実際に起こる位置ずれを誇張表現している。実際は1ピクセル以下のオーダーになることが多い。

第6図

耐久化マシンビジョンレンズの試験

耐久化試験に関わるファクター

衝撃荷重

衝撃は物体に負荷を与える短時間での加速度で、衝撃荷重は重力加速度 [G] で定義される。一般にテーブル等に数センチ上からマシンビジョンレンズを落とすと、その時の衝撃は20G～50Gになる可能性がある。

ピクセルシフト

システム内の個々の単レンズがアッセンブリされた状態から動いてしまう際に生じる。出力画像の位置と角度の両方をシフトさせ、単レンズのシフト量とピクセルシフト量は、マシンビジョンレンズの光学倍率に応じて下記の関係となる。

$$\Delta x_1 = \Delta x_i \times (1 - m) \quad \dots(1)$$

Δx_1 : レンズのシフト量
 Δx_i : ピクセルシフト量
 m : 倍率

衝撃に対する予測耐性

一般的なマシンビジョンレンズにおいて、衝撃に対する耐性はニュートンの運動の第二法則、すなわち加速度と質量に比例する。組み上げられたマシンビジョンレンズはネジリングにより予圧を与えることで摩擦力により内部の部品が定位置に留められている。この時の予荷重、摩擦、マシンビジョンレンズが許容する加速度は以下で定義される。

$$P = \mu \times M \times \alpha_{\max} \quad \dots(2)$$

P : 予荷重
 μ : レンズとネジリングの摩擦係数
 M : レンズの質量
 α_{\max} : 許容される最大加速度

ただし、予荷重と摩擦係数を正しく推量することが難しいため、予測における欠点がある。

試験装置の構成

エドモンド・オプティクスでは、耐久化されたマシンビジョンレンズは像側のピクセルシフトをテストする方法で測定される。レンズを通った光は集光され像位置にスポットを形成するが、この時のスポットの位置を、一般的な5メガピクセルカメラセンサーの画素 $3.45\mu\text{m}$ の1/17スケールである $\pm 100\text{nm}$ で測定できる非常に再現性の高いシステムが構築されている。また試験機にマシンビジョンレンズを取り付けるためにキネマティックマウントが用いられるが、ここにも同様に衝撃が生じる可能性が考えられるため、このキネマティックマウントの微量な位置ズレが測定に影響を及ぼすことが懸念される。この懸念に対して、同治具部が測定系に与える衝撃を3G未満に抑えるように衝撃を抑える機構を搭載した。

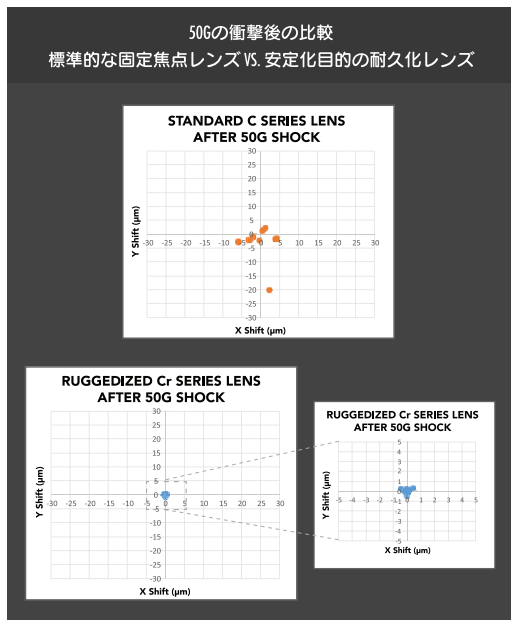
非耐久化と耐久化マシンビジョンレンズの比較

エドモンド・オプティクスの標準品で非耐久化の一般的なレンズであるCシリーズと、シリーズと全く同じ光学系に安定化目的の耐久化を施したCrシリーズの前項試験構成を用いた実験結果を下記第7図に示す。

内部の単レンズやスペーサー、絞りを固定した耐久化レンズではピクセルシフトが $1\mu\text{m}$ 以下になっているのがわかる。それに対し非耐久化のCシリーズは最大 $20\mu\text{m}$ のピクセルシフトが発生し、これは一般的な5MPカメラにおいて、7ピクセルのポジショニング誤差を発生させる。

カメラマウントの考察

耐久化されたCrシリーズレンズはCマウントを採用するが、下記第8図に示すように耐久化されたメイン鏡筒（黒アルマイト）とは別のステンレス製Cマウントパーツを使用している。画像のピクセルシフトを防ぐためにこのステンレス製クランプをメイン鏡筒にネジ止める際に0.9~1.1Nmのトルクで締め付けることでマシンビジョンレンズとしてピント、作動距離を所定の位置に留めるこ



第7図

上の標準的なイメージングレンズ（Cシリーズ固定焦点レンズ）は通常の条件下では良好に機能するが、50Gの衝撃では1画素以上のピクセルシフトが発生する。一方、安定化目的の耐久化がなされたCrシリーズレンズは、50Gの衝撃後にピクセルシフトが1 μm 未満となり、1画素のサイズより遥かに小さくなる。



第8図

とを確実にする。

ただし、マシンビジョンレンズ単体で対策が可能なのはここまでで、ユーザーによりレンズ筐体がカメラに対して動かないように処置を行わなければならない。エドモンド・オプティクスではマシンビジョンレンズとカメラ間のシフトを防ぐためのソリューションを試験し、以下を推奨している。

- カメラ側のCマウント部の外周部にネジ穴を施し、外周部からCマウントオスネジ部（レンズ側）を押し止めできるロックネジを採用する。
- レンズとカメラ間のマウント部の噛み合わせ部に中程度の弾力性を持つ接着剤を充填する。

このように耐久化による安定性はマシンビジョン内部の対策だけではなく、機械的ドリフトによる要因に対しても対策が必要となり、画像システムとしての耐久化はマシンビジョンレンズだけではなく、カメラやカメラ周辺のインターフェースへの対策も必須となる。

おわりに

設置された画像システムのキャリブレーションを維持し、安定的な画像を計測的に取得するために、マシンビジョンレンズを含めた各々のパーツの耐久化は必須となる。エドモンド・オプティクスが開発したCrシリーズを始めとする耐久化レンズは、高衝撃用途において優れた性能を提供し、この技術を応用してSマウントの耐久化Blueシリーズも新たにリリースされた。今後もより安定的な画像を取得できるソリューションを市場に提供していく。

【筆者紹介】

池田 篤史

エドモンド・オプティクス・ジャパン(株)
イメージング事業ユニット セクションマネージャー

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：sales@edmundoptics.jp