

イメージングレンズの耐久化

産業用マシンビジョンアプリケーションに用いられているイメージングレンズの多くは、標準的なイメージングレンズに求められる以上の特別な要求を課せられます。FAやロボット工学、そして産業用検査に用いられるレンズは、振動や衝撃、温度変化やコンタミを始めとする特定の厳しい環境下で機能していかなければなりません。これらの環境要件から、耐久化された新種のレンズが異なる想定環境下で機能するためにデザインされ、異なるタイプの耐久化が行われてきました。現在、次の3種類の耐久化が行われています：産業用目的の耐久化 (Industrial Ruggedization)、外来保護目的の耐久化 (Ingress Protection Ruggedization)、そして安定化目的の耐久化 (Stability Ruggedization) です。

耐久化されたレンズの性能をより理解するために、標準的な固定焦点レンズについてまず理解しておきましょう。標準的なイメージングレンズは、FマウントやCマウント、或いはその他のねじ込み式マウントを採用する産業用カメラ向けに一般にデザインされています。レンズは手動のピント調整機構を装備し、一般的にねじ切り加工された2つの鏡筒部を組み合わせ、中に固定されたレンズ系が回転することなく光軸に沿って滑らかに移動するようにデザインしてあります。この機構には、被写体のピント調整後にその位置を固定するためのロックねじが通常付いています。絞りの大きさも手動で調節可能で、調整機構の多くに戻り止め (Ball Detents) が付いており、特定Fナンバーに設定することができます。Figure 1は、ねじ切り加工された二重鏡筒部を採用するピント調整機構と、戻り止めの付いた複数枚の絞り羽根を採用する標準的な固定焦点レンズの図解です。絞りは沢山の薄い可動羽根から構成されており、同時に動いて互いの羽根が重なりあうことで開口の大きさを調整できるようにしてあります (Figure 2参照)。

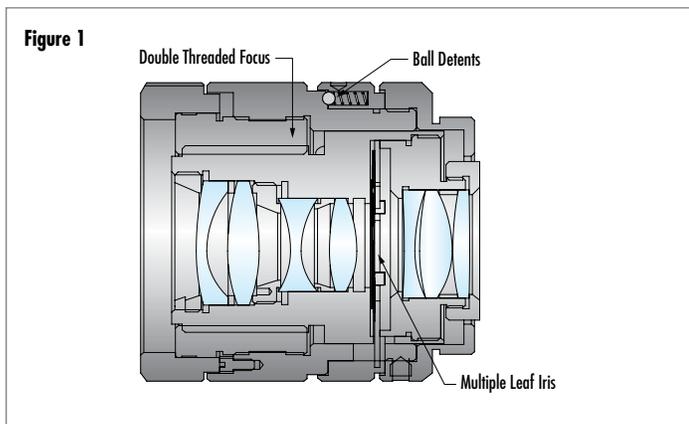


Figure 1: 複雑なメカ機構と可変絞りを採用する標準的なイメージングレンズ

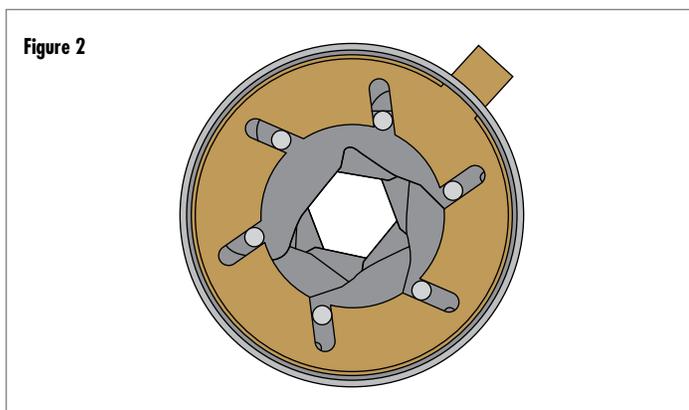


Figure 2: 可動羽根の付いた標準的絞り

産業用目的の耐久化

産業用目的の耐久化には、振動の大きい工場環境での使用やカメラを瞬時に加速・減速移動させる環境、そして同じカメラで構築された同一検査システムの導入やロボットビジョンなど、数多くのアプリケーションが存在します。産業用目的に耐久化されたレンズは、振動や衝撃のある環境下でレンズが損傷なく長期的に機能し、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ます。デザイン上のポイントはレンズの単純化です。可動パーツを排除し、利便性を犠牲にしていますが、ロクダウンが容易に行えるようにしています。

このデザインでは、可変絞りの代わりに固定絞り (Aperture Stop) を用いて多くの可動パーツを排除します。可変絞りは、周囲の衝撃や振動によって所定の開口サイズから容易にずれてしまい、損傷してしまうことがあります。可変絞り機構をなくすことは単純な変更ですが、レンズの長期性能安定性の点では劇的な効果があります。ピント調整機構もまた単純化されます。一般的なレンズは、中のレンズ素子が回転することのない、ねじ切り加工された二重鏡筒デザイン (Double Threaded Focus) を採用しますが、これもねじ切り加工された一重鏡筒デザイン (Single Threaded Focus) と、クランプやナット、或いは止めビス何点かをを用いた強固なロッキング機構の組み合わせに代えられます。Figure 3は、ピント調整機構にねじ切り加工された一重鏡筒デザインと止めビス型ロッキング機構を採用し、絞りに固定絞りを採用した産業用目的に耐久化されたレンズです。マシンの振動やロボットアームと連動した移動によって生じるレンズへの衝撃は、産業用目的に耐久化されたレンズのピント位置や絞り位置に影響を与えません。またこのレンズは、使用者が不意にレンズのセッティングを変更してしまうことを防止します。

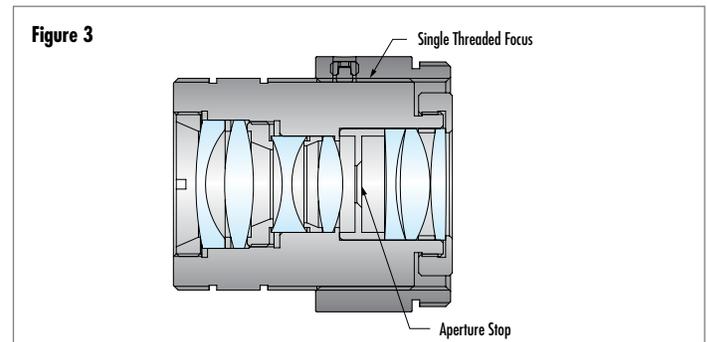


Figure 3: シンプルなメカ機構を採用する産業用目的に耐久化されたレンズ

産業用目的に耐久化されたレンズは、システムが一旦セットされた後に何も変えないことを想定したアプリケーションに最適です。コスト低減もこの種のレンズ導入時のメリットになります。複雑な移動機構や可変絞りを排除しているため、部品点数の削減やコスト削減が図れるためです。

産業用目的に耐久化されたレンズのデメリットは、標準的レンズに通常ある柔軟性の欠如です。Fナンバーの変更が単純な作業ではないため、別のレンズを用いることになるかもしれません。レンズのピント調整はスムーズではなく、中のレンズ素子もその際回転するため、レンズのポインティング性能 (物点と像点の位置関係) が変わる可能性があります。加えて、ピント位置の固定方法が標準的レンズのそれよりも一般的に面倒で、小型の六角ドライバーや大型の六角レンチといった特殊な工具を通常必要とします。しかしながら、大抵の産業用アプリケーションではこうしたデメリットは大きな問題となりません。なぜなら、標準的レンズはマシン上のレンズセッティングを決定するためのみに用いられる傾向があるからです。マシン上のレンズセッティングが一旦決まってしまうと、その後は産業用目的に耐久化されたレンズがその役目を引き継ぎ、標準的レンズを用いて決定した適切なピント位置と絞り位置と同じ設定にして、その位置が恒久的に変わらないようにしていきます。

イメージングレンズの耐久化

外来保護目的の耐久化

次に紹介する耐久化は外来保護目的の耐久化です。この種のレンズでは、アッセンブリ品を密閉（シーリング）し、周囲の湿気や塵が光学系内に侵入しないように設計されています。この保護は、産業用目的に耐久化されたレンズに付加されているのが一般的です。なぜなら、ピント調整機構や可変絞りはシーリングする際に問題があるためです。シーリングにはOリングやRTVシリコンが一般的に用いられます。この種の耐久化は、湿気や水分のある環境や、レンズやカメラ全体を周囲から密閉するスペースがない環境に主として用いられます。またスパッタや塵、或いは微小なパーティクルがレンズ周りの空気中にある環境にも用いられます。**Figure 4**は、Oリングでシーリングした外来保護目的に耐久化されたレンズです。

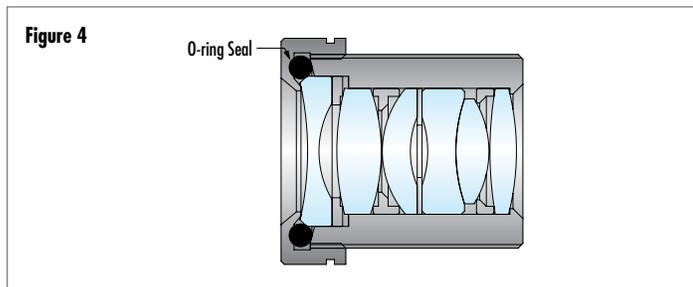


Figure 4: コンタミの侵入を防ぐためにOリングを採用する外来保護目的に耐久化されたレンズ

この種の耐久化のデメリットは、レンズのみが保護されていて、カメラ自体やカメラとレンズ間の接続部の追加保護が必要となる点です。カメラとレンズを同時に保護する単一の密閉処理を行った方がよりシンプルだったりもします。

安定化目的の耐久化

最後に紹介する耐久化は、レンズ損傷防止に加え、衝撃や振動の後でも光学的なポインティングやポジショニングが維持される工夫がなされた安定化目的の耐久化です。この耐久化も、固定絞りのシンプルなピント調整機構を採用した産業用目的の耐久化に更なる付加価値を加えたものと言えます。個々のレンズ素子を接着固定しているため、鏡筒内でレンズが動くことを防止します。**Figure 5**は、個々のレンズ素子を所定の位置に接着固定し、ピント固定を単純化したクランプ型ロック機構を採用する安定化目的に耐久化されたレンズです。

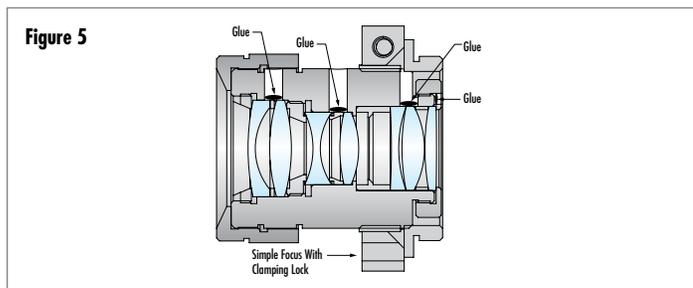


Figure 5: 全てのレンズ素子を所定の場所に接着固定した安定化目的に耐久化されたレンズ

イメージングレンズのアッセンブリ品の場合、レンズ素子は鏡筒の内部ボア径内に納まります。レンズの外径と鏡筒部のボア内径の隙間は小さなものです（一般的に50ミクロン以下）。隙間がわずかなものでも、数十ミクロンのずれがレンズのポインティング性能に十分な影響を与えます（**Figure 6.1 ~ 6.3** 参照）。この時、安定化目的に耐久化されたレンズを使うと、視野の中心位置に配置した物点は、大きな振動でレンズを揺らした後も常にその位置に留まります。画像が安定化します。安定化目的の耐久化は、視野位置を校正させる必要のあるアプリケーション、例え

ば計測機器や3D立体視、またロボティクス向けセンシングや物体の場所を追跡するのに用いるレンズにおいて重要です。これらのアプリケーションでは、物体の変位量がセンサーの1ピクセル分よりも遥かに小さい大きさと安定することが要求されます。

この種の耐久化のデメリットは、産業用目的の耐久化と同じで、標準的レンズに通常ある柔軟性の欠如です。またデザインやエンジニアリングの追加も、産業用目的の耐久化からのコストアップに繋がります。安定化目的に耐久化されたレンズは、レンズ素子を所定位置に接着固定するため、組み立て時により多くの工数を要するためです。

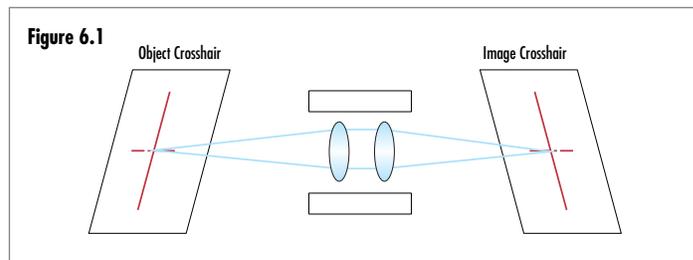


Figure 6.1: 被写体に十字線パターンを用いてマッピングした不動のシステム

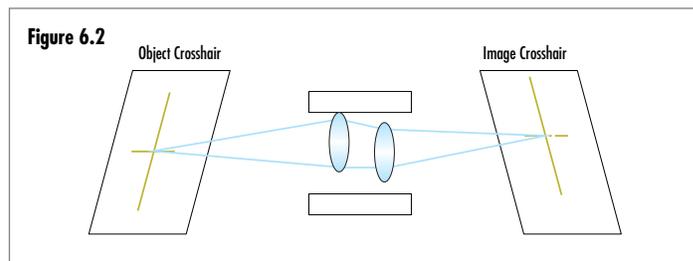


Figure 6.2: レンズ素子が鏡筒内で位置ずれして光学的なポインティングの安定性が変化するシステム。被写体の十字線パターンは像面の異なる場所にマッピングされる。

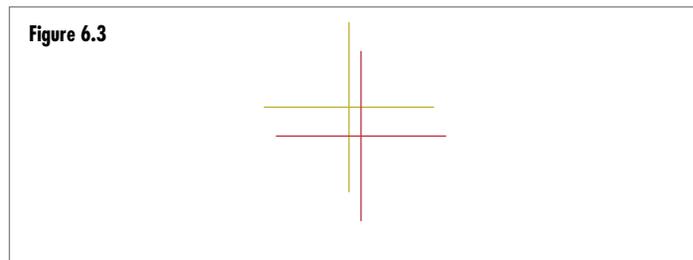


Figure 6.3: Figure 6.1の十字線パターン（赤線で図示）とFigure 6.2の十字線パターン（黄線で図示）を重ねて比較した時の様子。この例では実際に起こる位置ずれを誇張表現している。実際は1ピクセル以下のオーダーになることが多い。

総括

マシンビジョン用レンズの耐久化には多くの種類があり、一種類の耐久化で全てのアプリケーションをカバーすることはあり得ません。最良の耐久化レンズを選定するには、アプリケーションとその環境を考慮しなければなりません。レンズの耐久化には各々異なる特徴があり、メリットとデメリットは似通っているものの、各ファクターをアプリケーションタイプ毎に評価していく必要があります。アプリケーションに対する最良の耐久化のタイプを理解することは、ビジョンシステムの長寿命化を助け、ベストな性能と価格の実現に繋がります。

耐久化されたレンズに関する更なる情報はこちらへ：www.edmundoptics.jp/ruggedized-lenses