

アサーマルマシンビジョンレンズとは何か

レベッカ・シャボニュー

アサーマルイメージングレンズは、耐久性に優れ、極端な温度変化に耐え、標準的な市販レンズで起こりがちな性能の変化を最小限に抑える。

マシンビジョンやイメージングシステム向けに開発された、標準的な市販のイメージングレンズは、温度制御された環境や、温度変化がわずかな用途において、適切に機能する。しかし、温度の極端な変化や広範囲な変化にさらされる高性能ビジョンシステムにおいては、温度依存の性能変化を最小限に抑えることのできる、アサーマル化したイメージングレンズが、良い選択肢である。

アサーマル化とは

アサーマル化とは、オプトメカニカルシステムに極端な温度や温度変化に対する十分な耐久性を持たせるためのプロセスを指す。また、そのプロセスを施したオプトメカニカルシステムを表す語でもある。

物質は、温度変化に応じて膨張/収縮する。この物質の大きさの変化(図1)は、熱膨張係数(CTE)によって表すこ

とができる。式1は、線形熱膨張係数(CLTE)である。これとは別に、面積膨張係数や体積膨張係数が存在するが、そのすべてをCTEと呼ぶ。CLTEは、最も一般的に使用される形式である。

$$\alpha_L = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$$

式1 線形熱膨張係数は、物質の長さ(L)と、その代表長さに沿った温度勾配の逆数(dL/dT)に依存する。各変数は以下のとおりである。

- ・CTLEは、一般的に記号 α_L で表され、温度の逆数の単位(1/°C)で規定される
- ・Lは、物質の長さ
- ・dL/dTは、長さに対する温度勾配の逆数

この式により、温度の極端な変化や広範囲な変化にさらされる高性能ビジョンシステムに、温度依存の性能変化を最小限に抑えるためのアサーマルイ

メージングレンズが必要である理由がわかる。

イメージングアセンブリは、一連のガラス素子を配置した複数の集合体が、より大きな金属鏡筒の中に収納された構造をとるため、極端な温度変化にさらされるマシンビジョンシステムを設計する際には、その他の影響も考察する必要がある。

熱デフォーカスは、レンズシステムの動作温度範囲における屈折率の変化と物質のサイズ変化の両方に直接関係する。

例えば、加熱されたレンズ鏡筒は膨張し、素子の頂点と頂点の間隔が離れるため、いくらかのディセーター(中心ずれ)やロール(回転)が生じる。これによってガラス物質の屈折率が変化し、そのすべてが組み合わさって、温度変化に伴うレンズシステムの焦点位置に影響を与える(図2)。その他の要因としては、光学収差、焦点距離、チップ、チルト、ディセーターの変化などがある。

アサーマル化の種類

温度による焦点距離の変化を最小化するためのアサーマル化は、アクティブまたはパッシブに行うことができる。これらの用語は、許容可能な動作条件を維持するための調整を行うために必要な、補償操作の種類を指す。

パッシブなアサーマル化は、熱光学効果(Thermo-Optic Effect: TOE)と、物質のCTEの差の両方を利用し、屈折率とサイズの両方の変化を補償するように物質を光学系の設計に組み込むことによって、行われる。異なる物質

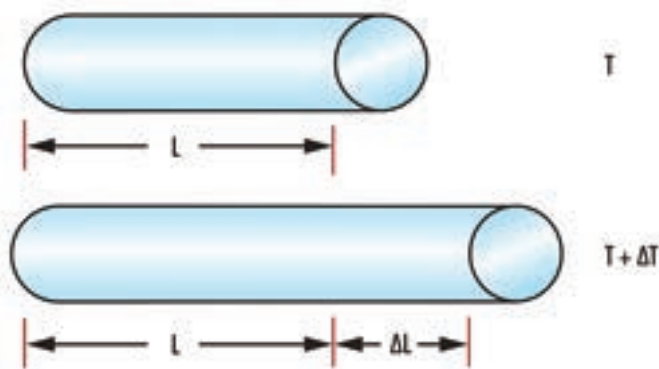


図1 温度(T)が変化すると、物質の長さ(L)は、その物質の線形熱膨張係数(CLTE)に基づいて変化する(本稿の図はすべて、エドモンド・オプティクス社提供)

を組み合わせることにより、ユーザーの介入や外部の電気機械的支援を加える必要なく、特定の温度範囲において温度が変化しても焦点距離を固定させることができる。パッシブなアサーマル化は、技術的要素が少ないため、一般的にスペースや重量に制約のある用途により適した製品が製造される。

アクティブなアサーマル化では、補助的なハードウェアや筐体の追加が必要になる可能性がある。それらは、レンズシステムの焦点を「アクティブ」に補償または修正するか、あるいは、設計焦点距離にレンズシステムを維持するための加熱または冷却機能を提供する。前者の場合は所望のシステム焦点位置で、後者の場合は温度設定点で、光学素子を安定化させるために、アクティブシステムに対するフィードバック制御ループが必要である。アクティブなアサーマル化には、より一般的な光学物質が使用され、動作温度範囲の広いアプリケーション環境での使用に対するより高い耐久性が得られるが、一般的にサイズはより大きく、実装コストはより高くなり、また、何らかの形で電力を供給する必要がある。

性能確認方法

アサーマルレンズの性能の確認には、米ゼマックス社(Zemax)の「Zemax OpticStudio」や米シノプシス社(Synopsys)の「CODE V」などのレンズ設計ソフトウェアに、CADソフトウェアを組み合わせ、イメージングレンズの光学機械性能と光熱性能のシミュレーションまたはモデル化を行うのが一般的である。熱効果のシミュレーションを行えば、レンズ設計の熱変化に対する反応について、いくらかの知見が得られるが、これらのシミュレーションは範囲がかなり限られていて、

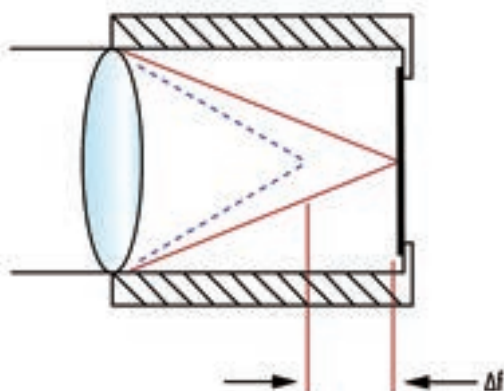


図2 温度変化によってレンズの屈折率と位置が変化することで、レンズの焦点距離が変化する

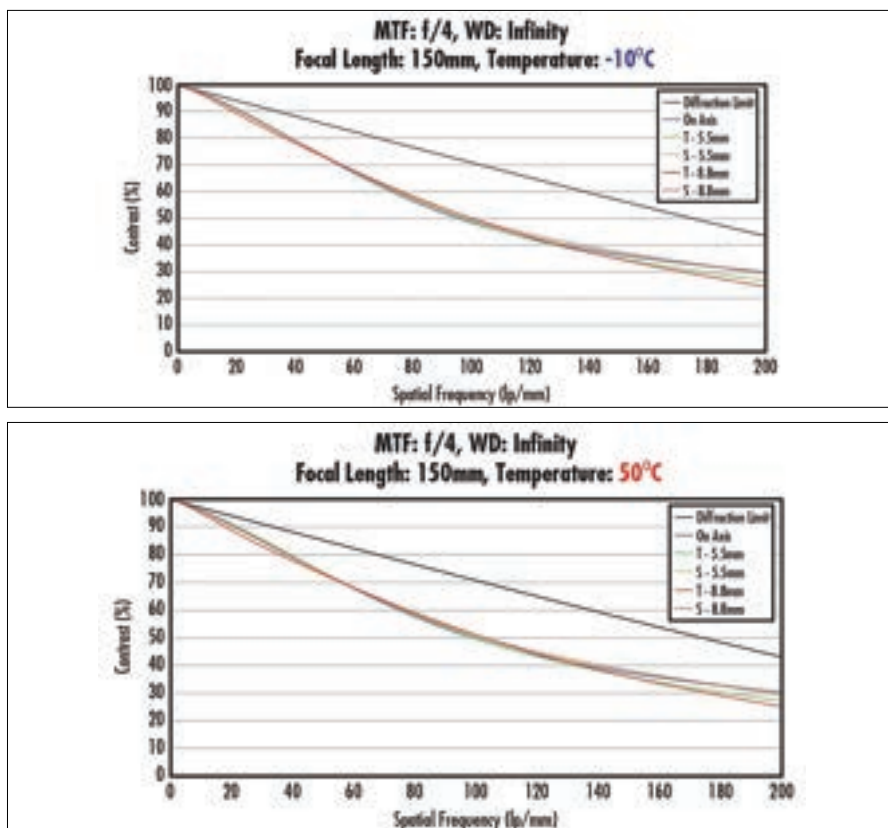


図3 焦点距離150mmのアサーマルイメージングレンズの-10°Cと+50°CにおけるMTF性能

不正確である場合が多い。

所定の温度範囲における性能指標を規定するイメージングレンズメーカーは、最先端の熱性能テストチャンバの中でのレンズ試験で収集したデータによって、その性能を保証することができるはずである。テストチャンバの環境温度を変化させながら、1つ以上の重要な動作パラメータの変化を、テス

トベンチで記録する。固定焦点距離のレンズを含む、ほとんどのイメージングレンズに対して、取得できる最も有用なパラメータは、変調伝達関数 (Modulation Transfer Function: MTF) である。MTFは、レンズが生成する画像のコントラストの変化を、空間周波数または解像度の関数として表す、光学伝達関数である。製造工程

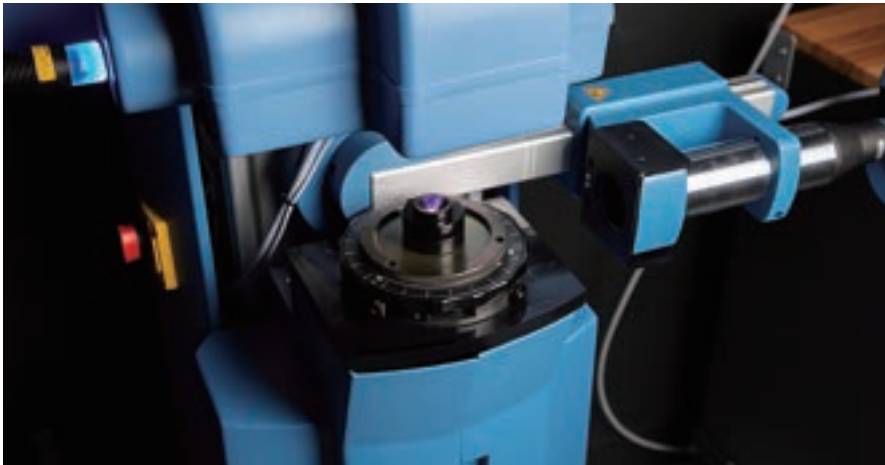


図4 商用提供されている独トライオプティクス社 (TRIOPTICS)のMTFテストステーションにおけるイメージングレンズの試験



図5 宇宙分野で使用されるイメージングレンズは、広範囲の温度変化に耐えられるようにアサーマル化する必要がある

におけるイメージングレンズのMTFの測定には、図4のようなテストステーションが使用される。MTF曲線からエンドユーザーは、指定範囲の任意の温度におけるレンズ性能を予測することができる。他の種類のレンズに対しては、その他のパラメータの解析が必要になる場合がある。例えば、テレセントリックレンズの場合は、主光線角度の変化を解析する必要がある。

アサーマルイメージングレンズの応用分野

アサーマルイメージングレンズが最適となる応用分野としては、無人航空

機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)やドローンによる航空宇宙イメージング、監視、過酷な工場環境における製造などがある。例えば、UAVは、大気圏の高い高度を飛行して調査を行うため、激しい温度変化にさらされる可能性がある。UAVドローンは農業において、作物の健康状態と生産量の調査を目的とした利用が増加している。

ファクトリオートメーションはこれまで常に、マシンビジョンが最も多く利用される市場の1つで、中には、標

準型のイメージングシステムコンポーネントを損傷する恐れのある環境因子を含む製造施設もある。そのような因子としては、極端な温度以外に、衝撃、振動、ウォッシュダウン用の高温/高圧洗浄水などがある。溶接やレーザー材料加工の検査においても、イメージングシステムが過酷な温度にさらされる可能性があるため、アサーマル化したシステムを、専門家は推奨する。

過酷な環境におけるイメージングシステムの需要は高まっており、それらのシステムには、さらに厳しい性能要件が課される。極端な温度や変化する温度に対応するには、温度変化に対して設計補償によって感度が抑制されているか、シールドされているビジョンシステムが必要である。このようなアサーマル化要件は、標準の市販イメージングレンズの限界を超えており、カスタムソリューションが必要であることを意味する場合が多い。アサーマル化は、さまざまな保護等級のイメージングレンズに適用可能で、その中には、他よりもコストのかかるものや、標準のレンズよりも長い試験時間を要するものもある。そのため、一から設計されたカスタムイメージングレンズに対してアサーマル化を検討するほうが、標準または市販のイメージングレンズを改良するよりも一般的に容易である。どのようなアプリケーション環境においても、エンジニアが、すべてのシステムレベルのアプリケーション要件を理解し、レンズメーカーと緊密で明確なコミュニケーションを維持することが重要である。そうした手順に従うことで、性能仕様を満たすカスタムレンズを確保することができる。

著者紹介

レベッカ・シャボニュー (Rebecca Charboneau) は、米エドモンド・オブティクス社 (Edmund Optics) の光学エンジニア。