

# アプリケーションノート

## UAV およびドローン向けの高度な IR 光学アッセンブリー SWaP 制限事項に適応



**問題** 近年、UAV（無人航空機）産業は著しく進歩し成長しています。この成長に伴い、UAV オプティクスにとっての課題である、サイズは大きくピクセルサイズの小さい赤外線画像システムを装備した、UAV とドローンの開発を弊社は見て参りました。

画像性能を最大化するためには、レンズの品質を向上し、高解像度画像を可能にするディテクターの能力に一致させなければなりません。光学アッセンブリーが UAV およびドローンに適合することを保証するため、3つの重大な要素を考慮する必要があります。それらの要素は、SWaP、つまりサイズ、重量および消費電力として知られています。換言すると、オプティクスはコンパクト且つ軽量で、最大限の飛行時間を可能にするため、消費電力を低減しなければなりません。

光学メーカーにとっての課題は、全ズームレンジに渡り、明瞭でくっきりした画像を造り出し、MTF を SWaP 要件に厳密に適応させながら、回折限界に接近するオプティクスを設計および製作することです。オプティクスは、国防産業などの様々な UAV およびドローンに関連する、過酷な環境条件を克服できなければなりません。

**背景** UAV 産業は急速に成長し、Teal Group のアナリストは、今後 10 年間、世界の UAV 総生産額は 1,350 億ドルになると予測しています。<sup>1</sup> 高性能 EO/IR カメラペイロードを装備する場合、UAV およびドローンは、多様な撮像アプリケーションを利用できます。

ドローン市場は、国防、政府および商業的用途で構成されています。国防および政府の応用分野で、ドロー

ンは、軍隊および警察の監視、国境管理、保安、捜索、および救急活動に使用されています。2009 年から 2017 年初まで、アメリカの 347 以上の法執行機関と緊急応答機関がドローンを購入しました。<sup>2</sup>



図1：コンパクトなジンブルペイロードを装着した無人航空機 (UAV)

商業ドローンの市場では需要が高まっています。赤外線撮像能力を備えた商業ドローンは、送電線、送油パイプラインの検査、森林火災検出、およびその他のインフラの監視に重要な役割を果たしています。それらの能力は、視野が悪い場合でも、消防活動の支援、火災の発見と評価に使用されています。

UAV テクノロジーが、種々の高度な仕事にますます多く応用されるにつれ、画像性能を最大化する必要も高まっています。前述のディテクターの解像度の向上とサイズの増大によってピクセルサイズが小さくなり、特殊な光学的ニーズが生じています。

商業用の小型ドローンの製作も、光学メーカーが直面する課題を増しています。

**ソリューション** ディテクターの性能を高めるには、高品質のレンズが不可欠です。最高のディテクターを用いても、悪いレンズは悪い画像を造り出します。高性能に合わせるためには、少ピクセルのディテクター、より小さいF#と最小収差の結像レンズ、より厳格な精度要件が求められています。これらの要件に応じて、遠方から撮像するためにはレンズの焦点距離を長くする必要があります。当社のソリューションは、高度な屈曲光学と軽量ズームレンズに基づき、次世代の赤外線画像システム向けに最適化されています。

### UAV およびドローン用レンズ

Ophir は、UAV とドローンの光学要件を満たすために、多様な最先端技術を利用しています。これらの技術ソリューションには、革新的オプティクス、機械設計、新種の材料、ユニークなレンズの製造、コーティング技術が含まれます。

連続ズームレンズは、高い光学性能を維持しながら、低 SWaP 課題を解決します。これらレンズは、多数の 1-FOV レンズを使用する場合に比べ小型で軽量です。更に、連続ズームレンズは、UAV の飛行中に倍率を変更できるので、ミッションの柔軟性を向上します。

国防部門と商業顧客の協力により、Ophir は、UAV ペイロード、ドローン及び携帯デバイス向けに特別に設計した、一連の軽量高性能赤外線画像ズームレンズを開発しました。高度なズームレンズの精緻な光学器械設計は、最小、最軽量、最もコンパクトなレンズを保証しながら、最高レベルの赤外線画像性能を実現します。

例えば、図 2 (a) は、IR 20-275mm f/5.5 軽量ズームレンズとその光学器械レイアウトを示しています。革新的な光学器械設計により、重量はわずか 264g になりました。難しい SWaP 制限事項にもかかわらず、革新的な軽量設計により、図 3 (b) に示したように

全視野に渡りハイレベルの MTF 値が得られました。更に、先端材料を選択することにより、独自の断熱性と、 $-35^{\circ}\sim+65^{\circ}\text{C}$  の広い動作範囲に渡り最も高い性能を保つことができます。

このレンズの特性により、様々なレンズサイズと重量に比べ、動作範囲が長くなりました。例えば、2.3m 車両の検出範囲は、23mK NETD、 $15\mu\text{m}$  ピクセルのディテクターを一体化すると、約 15km (!) になります (FLIR92 モデルに基づく計算)。私たちが知る限りでは、これは現在の市場で最少且つ最軽量の連続ズームレンズであって、過酷な天候条件と制限されたプラットフォームで、高度な IR 画像システムの高い性能を発揮することができます。

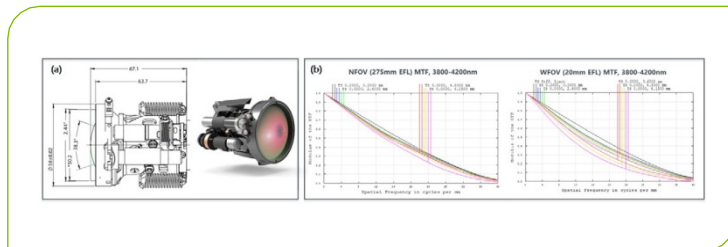


図2. 軽量20~275mm f / 5.5ズームレンズの  
(a) 光学器械レイアウトと写真、(b) MTF 特性

低 SWaP 課題を解決するもう一つのアプローチには、特にコンパクトなジンバルペイロード向けに設計された折りたたみ式光学構成が含まれます。例えば、MWIR  $10\mu\text{m}$  ピクセルディテクター用に最適化された、Ophir の折りたたみ式 16-180mm f / 3.6 ズームレンズです。

図 3 (a) は、16-180mm f / 3.6 ズームレンズの光学器械レイアウトと写真を示しています。この設計は、標準リレーと対象物構造に基づいており、焦点距離の変更を可能にする 2 つの可動グループを備えています。

材料は、ベストプラクティス、ならびに断熱化および無色化の概念に基づいて選択されました。

折りたたみ式光学設計により、光学要素数を減らしながら、これらの概念の様々な課題を解決するコンパクトな構成で、公差の感度を下げるために長い光路長を利用することができます。

これらには、視線（LOS）の安定化、および光学要素数の低減が含まれます。これは、非常に優れた精度と品質レベルで非球面と回折面を製作する当社の能力に基づいています。

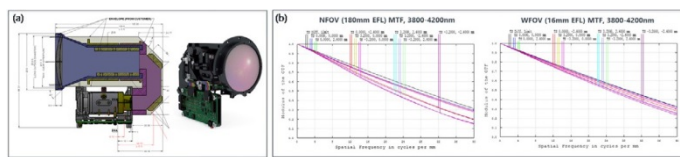


図3. 折りたたみ式16-180mm f/3.6ズームレンズの  
(a) 光学器械レイアウトと写真、(b) MTF 特性

図3 (b) は、WFOV および NFOV 用の 16~180mm の折りたたみ設計の空間周波数の関数としての MTF 結果を示し、回折限界に近い性能を得る設計の能力を説明しています。図でわかるように、この設計の高い MTF 性能は視野全体に渡り維持され、コーナーでも性能は理想的です。

ダイヤモンド旋削技術は、非球面と回折面の加工にしばしば使用され、非常に優れた精度と品質を保証します。非球面レンズの表面は、赤外線光学に特に必要のものであり、球面レンズに比べ光学性能が大幅に向上します。非球面回折レンズ表面により、色収差や球面収差の修正など多数の機能を統合できます。したがって、ダイヤモンド旋削で製作したレンズは、多数の要素を結合することができ、全体のサイズと重量を低減できます。

耐久性のある反射防止レンズコーティングを使用すると、レンズのサイズや重量に影響を与えることなく、

光学性能が向上します。レンズのコーティングは、反射損失を低減して透過率を最大化します。高度なコーティング技術を使用すると、コーティングを目的に合わせて行えます。ドローンが様々な環境に導入される可能性があるため、これらのコーティングは UAV 産業のニーズを満たすように設計できますが、各設計には独自の光学的課題があります。

## 製品の機能

UAV、ペイロード、ドローン、および携帯デバイス用のオプティクスに関して、Ophir の製品系列は以下の機能を備えています：

- 小型ジンバルに適合する小型の要素レンズ
- 超軽量ズームと固定焦点レンズ
- 高い光学性能
- 低消費電力
- 高耐久性（HD）つまり低反射硬質炭素（LRHC）AR コーティング
- 高速 FOV 変更
- ズーム全域で固定焦点距離を維持する連続ズーム
- 正確なズーム貫通視軸
- 主要な MWIR および LWIR ディテクターとの互換性
- 回折が制限された光学設計

**結論** 高度な光学ソリューションは、空挺ミッション性能の鍵であり、UAV ペイロードに大きな負荷をかけず、高い画像品質を保証します。究極のディテクター、画像処理ソフトウェア、およびモニターを装備した UAV とドローンには、高性能レンズも装備する必要があります。そうしないと、画質が悪くなるおそれがあります。

UAV およびドローンのオプティクスは、「SWaP」（Size、Weight、and Power consumption）として知られている厳しい制約を満たさなければなりません。

これらの制約を満たすことは、コンパクトで軽量、高性能なレンズを過酷な環境条件下で動作するよう製造する光学レンズメーカーにとって、大きな課題です。

これらの制限事項は、最先端の製造技術と独自の光学設計を使用して満たされています。Ophir は、独自の折りたたみ式光学設計の、10 $\mu$ m ピクセルサイズに適し、焦点距離が相対的に長い軽量の光学器械概念に基づき減少された SWaP で、高度な IR ズームレンズの設計と実装に成功しました。両レンズともに、回折限界に近い MTF 性能と、過酷な環境条件下での制限されたプラットフォームで、長距離、高解像度画像と識別機能が実証されました。

これらの高度な IR 光学アセンブリーは、難しい UAV 産業の要件と、次世代の UAV およびドローンの赤外線撮像アプリケーションの新たな可能性を開拓します。

## 参考資料

1. Teal Group (2017) - <https://www.tealgroup.com/index.php/pages/press-releases/54-teal-group-predicts-world-wide-civil-drone-production-will-soar-over-the-next-decade>
1. Gettinger, D. (2017). 公安ドローン。ドローン研究センターから検索 - <https://dronecenter.bard.edu/files/2017/04/CSD-Public-Safety- Drones-Web.pdf>