

煙霧を透過するSWIRカメラ

ジョン・ウォレス

秘密工作は一般にサーマルイメージングや暗視技術を使うが、短波長赤外 (SWIR) 域は、大気煙霧の透過など、独自の優位性を持っている。

セキュリティ、防衛、および監視にイメージングシステムを利用することは、赤外 (IR) スペクトルの活用に大きく依存している。IR スペクトルは、近、短波、中、および長波赤外 (それぞれ、NIR、SWIR、MWIR、LWIR) に分けられる。セキュリティと監視用 NIR カメラは一般に微光 (暗視) デバイスであるが、MWIR、と LWIR カメラは、サーマルイメージングによって機能する。しかし、SWIR カメラは、単独でセキュリティや監視に役立つ。時にはそれ自体で、また他のイメージャとの組合せで使用されることがよくある。

NIR と SWIR とのスペクトル境界は一般に、約 $1.4\mu\text{m}$ と言われているが、この記事では、正確な数字は重要ではない。SWIR と MWIR の境界は一般に $3\mu\text{m}$ と言われている。

煙霧透過イメージング

米センサーズ・アンリミテッド社 (Sensors Unlimited) は、米コリンズエアロスペース社 (Collins Aerospace) の一部門であり、ハンドヘルド SWIR スコープシステム、エアリアカメラ、ラインスキャンカメラ、リニアフォトダイオードアレイといった多種多様な SWIR イメージャを生産している。センサー技術は、InGaAs ベースであり、1991 年にセンサーズ・アンリミテッド社が市場に投入した。

これら SWIR デバイスのアプリケーションには、ファシリティ、港、国境警備や監視と他の秘密工作が含まれ。また、軍 IR

レーザ偵察や追跡も含まれている。例として、GA1280JSX SWIR カメラは高精細 (1280×1024 ピクセル) センサを搭載しており、最大解像度で 1 秒に 60 フレーム (fps) を撮像する。 $0.9 \sim 1.7\mu\text{m}$ スペクトルで高感度であり、 $0.7 \sim 1.7\mu\text{m}$ 、またはオプションで、 $0.5 \sim 1.7\mu\text{m}$ の可視・SWIR をカバーする。

「GA1280JSX 高精細 SWIR カメラの最も有力なセキュリティおよび監視利用の 1 つは、大気煙霧を通したイメージングである」とセンサーズ・アンリミテッド社のアプリケーションエンジニア、

カート・ドヴォンチ氏 (Curt Dvonch) は言う。「これら 2 つの画像 (図 1) は、同時に撮られており、汚染され、霞んだ環境では SWIR カメラが可視光カメラをいかに凌ぐものであるかを示している。SWIR カメラが可視光カメラより優れているのは、SWIR フォトンが大気煙霧やスモッグを透過できるからである。一方、可視波長のフォトンには、粒子状物質で重い空気では散乱される」。

多重目標追跡

米フリアーシステムズ社 (FLIR Systems) は、同社の焦点面アレイ (FPA) に基づいて InGaAs SWIR カメラを製品化しており、FPA を別売もし



図 1 ユタ州ソルトレイクバレーでは、大気汚染を一度に数日あるいは数週間トラップする大気現象が時折起こることがある。こうした大気逆転が起きている間、地表の可視性は非常に低下する。ビデオで撮ったこれらの画像は、可視画像 (a) と短波長赤外 (SWIR) 画像 (b) を示している。2017 年 12 月 7 日 3:30pm 山間部時間ごろ (<https://youtu.be/3cBkfQb8vxQ> 参照)、地表の可視性が極めて低い間の画像である。SWIR 画像は、センサーズ・アンリミテッド社の GA1280JSX mini-SWIR エアリアカメラと 200mm SWIR 最適化 $f/1.6$ レンズを用いて 60fps で撮った。可視画像は、Nikon D5100 DSLR カメラのビデオモード、55 ~ 200mm $f/4.5$ - 5.6 レンズで撮った。両画像ともトリミングしているが、他の方法での変更はされていない。(提供: センサーズ・アンリミテッド社)



図2 このフリーア社製軽量戦術偵察および観測車輜、LTV-Xは、相補型センサアレイを搭載している。これにはNIR、SWIR、サーマル、レーザ式測距およびレーダーが含まれる。(提供:フリーア社)

ている。これらFPAは、容量性トランスインピーダンスアンプリファイア(TIA)デザインとなっている。これは、セキュリティイメージングから高速科学レーザテスト(多重出力と動的ウィンドウ生成を要する)までの範囲のアプリケーションに最適化されている。

フリーア社のSWIRカメラの1つ、Bosonは、サイズ、重量、パワー+コスト(SwaP+C)に最適化されている。21×21×28mmサイズ、15.5gレンズレス重量、消費電力<1.6Wで、そのカメラは軍用品質認定されており、サーモエレクトリック冷却器(TEC)なしであるので、SwaP+C最適化達成に役立つ。Bosonよりわずかに大きなTauは、TECを搭載しているので、フィールドでの精密利用に必要な温度安定性が得られる。Tauカメラは、サイズ38×38×36mm、消費電力は3.2W以下。両方のカメラともSWIR(0.9~1.7μm)と可視・SWIR(0.6~1.7μm)バージョンがある。

カメラだけでなく、同社は全地形型

偵察・観測車輜、LTV-X(図2)を製造している。これは、交換可能搭載センサとさまざまなタイプのイメージャを搭載しており、これにはNIR、SWIR、サーマル、レーザ式測距およびレーダーが含まれる。車輜は、V-22 Osprey ティルトローター航空機で移送可能であり、そのカメラ制御システムで最大500の脅威を同時追跡できる。

OEM変種

北アイルランドのラプタ・フォトニクス社(Raptor Photonics)は、13年間InGaAsベースのカメラを製造しており、さまざまな解像度とピクセルサイズ320×256から640×512までのSWIRおよび可視・SWIRカメラを製造している。ごく最近では、1280×1024ピクセル解像度の新しい高精細カメラを製品化した。市販および特注設計の両方で、複数のサプライヤーからのInGaAsセンサを使い、同社は低雑音コアモジュールを設計している。

同社販売・マーケティング担当副社長、マーク・ドナヒー氏(Mark Donaghy)によると、ラプタ・フォトニクス社は、機構レイアウト、インタフェース、冷却、光学設計(図3)などを含む特注の変種を提供し、監視とセキュリティ顧客の正確なニーズに応じている。「実際、毎年ラプタ社が出荷する90%はOEM変種である。例えば、OWL 640カメラには現在16の異なるOEMバリエーションがある。それぞれが個々の顧客の特殊ニーズ向けに設計されている」と同氏は説明している。

1280×1024 InGaAsセンサにより、OWL 1280カメラは、可視スペクトル全体に広がるスペクトル領域を持ち、高感度で0.4~1.7μm全域をカバーする。10×10μmピクセルピッチにより、高解像度イメージングが可能になり、読出しノイズは40電子(e-)、シーン内ダイナミックレンジは69dBであるので、ドナヒー氏によると、シーンの明るい部分と暗い部分を同時に撮ることができる。

創業50年
日本最大級の
レーザー専門商社



レーザー光源



光計測器・測定器



光学関連部品・光周辺機器



検査装置・イメージング機器



加工装置



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: jlc@japanlaser.co.jp



本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711



図3 ラプタ・フォトニクス社のOWL 1280可視・SWIRカメラは、カスタムレンズセットアップで製造された。(提供: ラプタ・フォトニクス社)

カメラは、10～60Hzで動作し、オンボード自動利得制御(AGC)を搭載しているため微光から明るい光まで適切なコントラストの撮像が可能である。カメラは、ファンレスで温度安定化されている。ドナヒー氏によると、同カメラは地上および空中アプリケーション向けに微光および夜間イメージングに最適である。

「OWL 1280は、OEMおよび主契約者が、いくつかのジンバルプログラムに採用した」と同氏は説明している。HDフォーマットによりオペレーターにとっては、著しく解像度が向上する。また、VIS-SWIR域は、他の視界不良条件とともに、煙、もや、海霧を透過した撮像を可能にする。さらに、主要なレーザーライン、例えば1550nmを見てもおくことも重要である。ジンバルに格納されて、OWL 1280は設計的に適切なSWaPパフォーマンスを提供でき、カメラは温度(-40℃～+75℃)や湿気(絶縁被覆エレクトロニクス)など極限環境条件に対処可能である。各カメラは、ISO9001:2015基準にしたがって作られており、カメラの品質と信頼性は非常に優れている。これはミッションクリティカルなアプリケーションでは極めて重要である。

ドナヒー氏によると、特定顧客向けには、狭いスペースの筐体に「折りたたくで」(圧縮して)組み立てられるよ

うに形状設計された柔軟なケーブルによるレイアウトのボードフォーマットでカメラは提供される。

高速イメージング

仏ファースト・ライト・イメージング社(First Light Imaging)は、非冷却SWIRカメラ、C-RED 3を発表した。これは、低SwaP+Cに最適化されている。カメラは、感度が0.9～1.7mにあるTECレスInGaAsセンサをベースにしており、量子効率(QE)は70%以上であると同社創始者であり科学アドバイザーのジャン＝リュック・ガチェ氏(Jean-Luc Gach)は言う。同カメラのリフレッシュレートは最大600fps、読み出しノイズは50e⁻以下である。

C-RED 3は、開口幅5μs以下の内蔵電子シャッターを持つ。同カメラは、主に産業用途を想定しているが、固定マウンティングあるいは無人航空機(UAV)のような可動プラットフォームによる監視にも最適である。

カメラは、93dBダイナミックレンジの高ダイナミックレンジモード(HDR)および真の16ビット線形応答をサポートしており、同時に50e⁻の低ノイズ、フルウェルキャパシティ106e⁻を上回る。C-RED 3は、標準ダイナミックレンジでAGCモードでも動作可能である。特に、高速が必要とされるアプリケーションラプ多ヨンの短い露光時間に最適である。