

# 最先端技術の進歩を支える 冷却赤外線検出器

クリア・ヴァレンティン

赤外線(IR:infrared)イメージング技術の進歩によって、防衛、セキュリティ、研究、生物医学、製造の分野に新たな機能や用途が生まれている。特に、ピクセルピッチとパッケージの進歩は、冷却赤外線検出器の進化を促進している。

冷却赤外線(IR)検出器は何十年も前から、防衛システムにおいて脅威を検知、認識、識別する能力を高めるための主要な要素だった。この種のセンサは夜間でも動作可能であることから監視目的に広く利用されており、宇宙ベースの防衛と地上防衛の両方の分野で活用されている。

今日では、携帯型のサーマルイメージング機器(HHTI:HandHeld Thermal Imager)、無人航空機(UAV:Unmanned Aerial Vehicle)、小型ジンバルといった小さなサイズの製品が登場し、さらにコンパクトで消費電力の低い冷却IR検出器に対する需要が高まっている。エンドユーザーは、信頼性や性能はそのまま、使いやすく、冷却時間が短く(5分以内)、携帯性に優れ、ノイズ音が低い機器を求め、メーカーはさらなる技術的進歩に力を入れている。

## SWaPの検討

現行世代の検出器、冷却器、読み出し回路、近接センサボードのすべてに、サイズ、重量、消費電力(SWaP:Size, Weight, and Power)を削減するための技術革新が盛り込まれている(図1)。

SWaPを削減することの最大のメリットは、物理的面積と重量が明らかに減少することである。これによって携帯型IR検出器システムの全体的なフットプリントが縮小し、ここ数年で20%小



図1 VGA、15 $\mu$ mピクセルピッチ、デジタルインターフェース搭載の中波長赤外線(MWIR:mid-wave infrared)検出器。SWaP(サイズ、重量、消費電力)が最適化されており、重量は0.40kg、冷却時間は3分20秒となっている。

さくなくなった。携帯物が1kgでも増えると負担が増す兵士にとっては、リュックの中身が減るので非常にありがたい。部品の小型化によってUAVの積載量にも余裕が生まれる。しかしそれでも、IR検出器(焦点面アレイ[FPA:Focal Plane Array]と冷却器と電子部品)は今後、体積と重量を少なくともさらに30%削減することが求められている。

ふたつめのメリットは、各部品の消費電力が低いこと(3W未満)から、携帯型システムのバッテリー動作時間が長くなることである。これによって兵士は携帯する予備のバッテリー個数を減らしたり、任務時間を延長したりできる。

今後の目標としては、IR検出器の消費電力を少なくとも25~30%低下させることが求められる。

最後に、信頼性が高くなることから、任務を中断することなく実行できるようになる。定期的な保守にかかるコストは、瞬間に膨れ上がる。同程度に重要な項目が、検出器の設計である。これを最適化することにより、製造コストが低下し、製造歩留まりが高まる。

## さらに高い画像解像度を求める トレンド

特に可視光領域を対象とするイメージング装置は、高精細度(HD:High Definition)の画像フォーマットと相まって、さらに高い画像解像度へと大きく進歩した。数年前までは、30 $\mu$ mに続いて15 $\mu$ mのピクセルピッチが、IRセンサにおける最先端技術だと考えられていた。しかし、ピクセルピッチ技術がさらに進化を遂げて10 $\mu$ mに達したことで、冷却IR検出器は現在、さらに高い画像解像度と高画質の両方を実現できるようになっている(図2)。

ピクセルピッチが10 $\mu$ mの赤外線検出器は、システムレベルで得られるメリットを活用して、高性能用途をターゲットとする。ピクセルピッチの小さいHD画像フォーマットは、あらゆる用途に対してシステムレベルでのレンジ改善、小型化、軽量化といった重要なメリットを間違いなくもたらす(図3)。

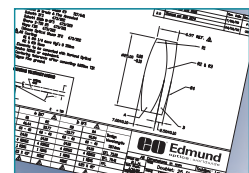
ピクセルピッチ15 $\mu$ mのVGAから、10 $\mu$ mのXGAまたはHD720に画像フォーマットを変更すると、解像度とレン

# 在庫品と特注品の オプティクス

設計から試作、  
そして大量生産まで



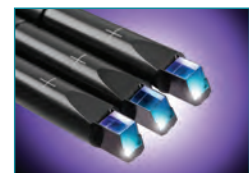
Craig Ament  
光学コーティングエンジニア  
米国本社



完全な設計データを公開



在庫品のパーツを用いて  
試作品を素早く構築



特注の組み立てにも対応する  
垂直統合された製造資源

あなたのアプリケーションを  
ご相談ください！

**Edmund**  
optics | Japan

エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社  
〒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 | [www.edmundoptics.jp](http://www.edmundoptics.jp)

[www.edmundoptics.jp/manufacturing](http://www.edmundoptics.jp/manufacturing)



図2 10  $\mu$ mピクセルピッチのHD(高精細度)MWIR検出器。空中、海上、地上の軍用機を含む、16:9のHDフォーマットを必要とする用途向けに設計されている。

ジ(検知、認識、識別[DRI:Detection, Recognition, Identification])の正式な範囲、DRIレンジが高まるか、または視野が広がる。例えば、15  $\mu$ mピクセルの検出器をベースに $f/2$ の光学部品を搭載するシステムを使用している場合、ピクセルピッチが縮小されれば、システムサイズをさらに小さくするか、識別性能を引き上げることができる(図3)。

別の例として、DRIレンジを60%向上させるには、光学部品を再設計して焦点距離と瞳径を33%増加させることにより、 $f/2$ の焦点距離値と1280×720の場合で、ピクセル数がVGAの2倍の画像を生成することができる。

DRIレンジを30%向上させる場合は、同じ光学特性(同じ焦点距離値と瞳径)で、視野は33%広くなり、ピクセル数

は $f/2$ でVGAの1.5倍となる。

また、システムサイズをさらに小さくするには、同じ視野の光学部品を再設計することによって焦点距離を33%短くすることができる。

監視、赤外線搜索追尾(IRST:Infra-Red Search and Track)システム、認識、照準ポッドには、大型フォーマットの検出器が使用される。これらの戦術的な用途は、保守周期の影響が非常に大きく、任務に必要な稼働時間との関連で保守時間の確保が厳しい場合もある。また、冷却器や真空装置を頻繁に修理しなければならないとすれば、保守コストは瞬く間に膨れ上がる。

## 精密誘導兵器の改良

精密誘導兵器も、IRセンサが重要な役割を担う用途である。任務や環境がますます複雑になっていることから、精密誘導兵器のIRイメージングシーカー(実質的にIR冷却検出器)に対する要求はさらに厳しくなっている。

IR冷却検出器に対する要求は、簡単にまとめると次のとおりである。(軽量かつ小型で)簡単に設置できること。稼働開始まで(最初の画像を取得するまで)の時間が短いこと。信頼性が高いこと(ミサイルは格納期間が長かったとしても正しく動作することが期待

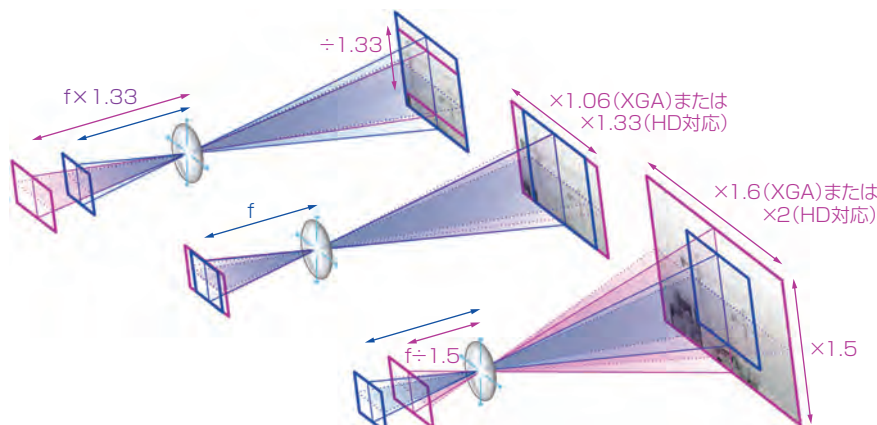


図3 10  $\mu$ mピクセルピッチを採用することで、IR冷却検出器の性能の柔軟性が高まる。

されるため)。非常に長距離であっても広い迎撃範囲に対して高い感度を持つこと。1回限りの使用を正当化できるほどコストが低いこと。

赤外線誘導式ミサイルの設計時には、戦闘状況、ミッションプロファイル(想定任務)、搭載制約などを考慮して、ミサイルの目的に合致する適切なIRソリューションを定義する必要がある。まず、ミサイル追尾センサは、非常に広いダイナミックレンジで視界を捉える必要があり、また、ドームの加熱や内部動作温度の影響によって動作点が大きくシフトする(これにより、検出器の不均一性とナルシサスの補正に負担がかかる)。例えば、航空機胴体との温度差が1000℃で、放射輝度比が3~5 $\mu\text{m}$ の照明弾(フレア)には、約80dBの信号ダイナミックレンジが必要になる。

焦点面アレイにはかなりの進歩が加えられている。FPAは1980年代以降、フォーマットはさらに大きく、ピクセルピッチはさらに小さくなる傾向にある。ピクセルサイズの縮小によって、適切にサンプリングされたシステムを設計するための面積も空き、システムの全体的なSWaPとコストを削減する余地が生まれる。FPAが進化すると視野が縮小し、画像の安定化(ブレ補正)が非常に重要になる。最新の追尾センサは、空中迎撃シーカーにおける小さいサイズ(128×128)の画像から、空対地シーカーにおける比較的大きいサイズの画像(384×288や640×512)までを提供することができる。

ピクセルフォーマットの向上とともに、FPAのフレームレートも向上した。フレームレートが高いほど、高速で移動する対象物を容易に迎撃できるようになる。フレームレートが高いことと露光時間が制御可能であることは、一時的なノイズの低減と高速な目標追跡

の両方の面でメリットがある。一般的には50~200Hzの画像フレームレートが、最新のIRセンサシステムの画像処理機能に適している。

上述のとおり、サイズの縮小は重要である。多くの赤外線誘導式ミサイルに体積の制約があるためだ。カメラを小型化したいという要求が、IR FPAのユニットセルサイズの縮小を促す主な要因の1つである。ピクセルサイズを縮小し、ピクセル数を比較的少なくすること(例えば384×288)が、一般的に望ましい。その2つによって、センサのコスト、サイズ、重量を抑えることができるためである。

### ミサイルシーカーの開発を推進する要素

多くのミサイル追尾システムにおいて、稼働開始時間が短いことが求められる。長時間飛行する誘導爆弾や巡航ミサイルの場合は、冷却時間の要件が緩和される(15~120秒の間)。例えば5kmの距離にある対象物に着弾するまでの時間は、わずか11秒強と比較的短い。したがって、短距離兵器(携帯式防空ミサイルシステム[MANPADS: man-portable air defense system])には、短い冷却時間(10秒以内)が求められる。脅威に効果的に対抗するために、誤差はほとんど許容されないためである。

シーカーは、航空機搭乗者に戦術的情報を提供するためのセンサとしても機能するため、起動の前に長時間冷却される場合がある。そのような場合には、冷却要件を緩和することができる。

またシーカーは、1回限りの使用に対して高い信頼性を示さなければなら

ない。過酷な環境にさらされるシーカーのIR検出器は、任意の軸方向に受ける数千Gの重力加速度と激しい衝撃に耐えて動作することが求められる。温度範囲は-46℃から最大で100℃近くにまで及び、ミサイルの飛翔時にはかなりの振動を受ける。高速で移動する航空機の外側や、走行中の船や車両上に搭載されて輸送されることが多いため、格納時や輸送時の環境も過酷となる可能性がある。

### 短波長赤外線市場のトレンド

IR分野における主要トレンドとして最後に紹介するのは、短波長市場の進歩である。0.9~1.7 $\mu\text{m}$ の範囲の短波長赤外線(SWIR:short wavelength infrared)のスペクトル帯域は、その本質的な性質から魅力的な領域となっている。可視光波長に近いことから、SWIR画像は現場にいるユーザーにとって理解しやすい。

また、SWIR帯域からは補完情報が抽出可能で、多大な付加価値を複数の用途にもたらす。例としては、防衛やセキュリティ用のナイトビジョン(暗視)やアクティブイメージング、宇宙ベースのイメージングにおける地球観測、交通業界における詳しい自動車安全情報、産業分野における非破壊プロセス制御などがある。

SWIRの進歩を促すのは、防衛分野からの要求である。短波長情報を赤外線画像プロファイルに追加することによって、特に霧などの悪天候下におけるセンサの識別能力を高めることができる。商用分野にも、マシンビジョン、レーザービーム解析、分光法など、SWIR情報の恩恵を受ける用途がある。

#### 著者紹介

クレア・ヴァレンティン(Claire Valentin)は、仏ソフラディール社(Sofradir)のマーケティング・ダイレクター。e-mail: claire.valentin@sofradir.com URL: www.sofradir.com