

赤外線サーマルカメラ: どれくらい遠くまで見えるか?

通常、赤外線サーマルカメラの購入を検討している人は、最初に「どれくらい遠くまで見えるか?」と考えます。これは非常にもったもたの質問ですが、簡単に答えることはできません。例えば、フリーシステムズのすべての赤外線サーマルカメラで、地球から1億4600万キロも離れている太陽を見ることができます。しかしそれはフリーシステムズのすべての赤外線サーマルカメラで、1億4600万キロ先の脅威を検知できるということではありません。



赤外線サーマルカメラ PTシリーズ

赤外線サーマルイメージングは、完全な暗闇の中や、様々な気象条件下でも、人や物体を検知できる技術です。赤外線サーマルカメラが役立つ用途の好例は、大抵の脅威が夜間に発生する国境警備です。見張り塔が4km以上の間隔で設置されている場合は、国境全体をカバーするために、それぞれの塔で2km以上先の脅威を検知できなければなりません。赤外線サーマルカメラでどれほど遠くまで見えるか、および距離にしてどれくらい先の潜在的な脅威を検知できるかを知ることが極めて重要です。

赤外線サーマルカメラを使って任意のターゲットを見られる距離の長さは、サーマルイメージング業界では「レンジ」と呼ばれています。赤外線サーマルカメラのレンジを正しく評価するためには、高度なモデリングを行なう必要があります。使用する赤外線サーマルカメラやレンズの種類、検知対象物の性質やサイズ、大気の状態、そしてターゲットを「見る」という行為そのものの定義など、様々な変数を検討しなければなりません。

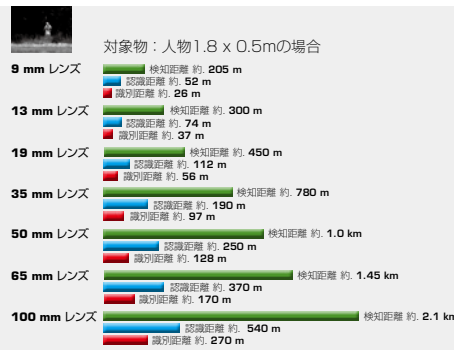
物体を「見る」ということ

「ターゲットを見る」ということを定義する場合はいわゆる「ジョンソン基準」を使用します。これは、米軍陸軍暗視・電子センサー理事会 (NVESD) の科学者であるジョン・ジョンソンが開発した、赤外線サーマルカメラの有効レンジに関する基準です。ジョンソン基準は、軍事目的で開発されましたが(そのため監視対象物を表すのに「ターゲット」という言葉を使います)、市販の赤外線画像システムの性能を示す基準としても幅広く使用されています。この基準によると、ターゲットを「見る」という行為を程度別に細分化する必要があります。

- 検知: 物体の有無を検知するためには、1.5ピクセル以上の限界寸法が必要です。ステアリングアレイでの1.5ピクセルは、0.75「サイクル」に相当します。「サイクル」とは、ジョンソンの定義で使われているシステム解像度の単位です。

- 認識: 物体の「認識」とは、どんな種類の物体であるか見分けることと定義されます。すなわち、人、車、トラック、その他の物体を判別する能力です。物体を認識するためには、その限界寸法に対して6ピクセル以上が必要です。

各種カメラと検出距離の関係
SR-/F-/PT-/Dシリーズ - 320x240ピクセル素子の場合



実際の範囲は、カメラのセットアップ状態、環境条件、操作経験、使用中のモニターまたはディスプレイの形式に応じて異なります。
条件:
温度差 2℃、大気減衰係数 0.85/km を条件として、確率 50% で規定距離の目標物を認識



F-/PT-シリーズ - 640x480ピクセル素子の場合



-識別：この用語は、通常「相手が敵が味方か見分ける」という軍事的な意味で使われます。これを行なうためには、対象物の限界寸法に対し12ピクセルが必要です。

以上のジョンソン基準では、指定のレベルにおいて50%の確立で物体を判別できます。例えば、一般的な大人のサイズは、高さ1.8m、幅50cmです。この人物の「限界寸法」は、観察者おとび赤外線画像データの統計分析を行なってきた経験によると75cmです。ここで、十分な解像度を持つ赤外線カメラシステムがあると考えてください。（画像内の6ピクセルが、1000m先のターゲットの限界寸法75cmに相当するとします。）さらに、カメラのセンサーはターゲットと背景（人物と涼しい夜の風景など）の間で十分な熱のコントラストを検知できると仮定しましょう。すると1000mレンジで認識できる確立は妥当な水準に達します。

フリーシステムズでは、十分な熱コントラストが得られる条件下で赤外線画像システムを使って人の大きさのターゲットを検知できる距離を明らかにすることで、「赤外線サーマルカメラでどれほど遠くまで見られるか」を定義しています。レンズのサイズによっては、当社の赤外線サーマルカメラシステムで、数キロ先にいる人物の行動を把握することもできます。検知対象物のサイズが大きくなればなるほど、検知の最大レンジも増大します。

焦点距離：重要なパラメーター：

「赤外線サーマルカメラでどれほど遠くまで見られるか」に影響を及ぼす重要なパラメーターのひとつは、レンズの焦点距離です。焦点距離によって、カメラシステムの瞬間視野（IFoV）が決まります。これは、単一ピクセルの画角です。

次にIFoVによって、検知、認識、識別を行なうために必要なピクセルの数に対するターゲットの限界寸法が得られる距離がわかります。レンズの焦点距離が長ければ長いほど、IFoVは小さくなり、固定レンジのターゲットに対するピクセル数が増えます。国境警備など、長距離の監視・セキュリティ用途では、極めて小さいIFoVが求められます。なぜなら、画像システムを使って、数キロ先になる人のサイズの物体を検知できないからです。また、合計視野は、焦点距離と反比例します。つまり、レンジが長いと、視野が狭くなります。カメラのレンズが長いと、より遠くのレンジまで検知できるようになりますが、合計視野が狭くなるので、一定の妥協が必要になります。言い換え

ると、このシステムは、ストローを通して対象物を見るようなものなので、ターゲットを認識することができますが、全体の中でどこを見るべきかを知っておかなければなりません。

1km先に男がいると仮定します。男の有効角は、限界寸法をレンジで割ることによって求められます。すなわち75cm/1000m、角度に対して750マイクロラジアンです。赤外線サーマルカメラを使ってこのレンジの男を適切に識別するためには、1000m先の0.75 mに対して12ピクセルを得られるシステムが必要です。この文脈における「識別」とは、「特定の個人を識別する」という意味ではなく、例えば「ライフルを持っている男と、シャベルを持っている男を見分ける」という意味であることに注意してください。焦点距離が500mmのレンズとピクセルサイズが15ミクロンのカメラセンサーと組み合わせると、IFoVは30マイクロラジアンになります。ターゲットに対するピクセル数は、ターゲット角をIFoV角で割ったものと同じです。そのため750マイクロラジアンを1ピクセル当たり30マイクロラジアンで割ると、ターゲットに対して約25ピクセルとなります。これは、識別の要件である12ピクセルを超えています。

冷却および非冷却赤外線サーマルカメラ

「どれほど遠くまで見られるか」は、赤外線サーマルカメラが冷却と非冷却のどちらであるかによっても異なります。冷却カメラシステムの方が高価ですが、一般的に、様々な条件下で、非冷却システムよりも長い距離を監視できます。

一般的な冷却カメラのピクセルピッチ（各ピクセルの中心間の距離）は、15ミクロンです。このカメラに500mmのレンズが搭載されている場合、IFoVは30マイクロラジアンとなります。ここでも人の限界寸法を0.75mとすると、2.1キロ先にいる人を12ピクセルで表すことができます。この例の計算から、数キロ先にいる男を識別するためには、焦点距離が500mm級のレンズが必要であるという結論を導き出すことができます。

では、非冷却センサーの場合を見ていきましょう。非冷却センサーは、本質的に、冷却センサーよりも感度が低く、レンズは同等、ピクセルサイズは大きくなっています。一般的な非冷却センサーのピクセルピッチは、25ミクロンです。このようにピクセルサイズが大きいため、500mmのレンズで識別できるレンジは、1.25kmまで短くな

ります。しかし、さらに重要な点として、焦点距離が500mm級の非冷却レンズは、全く実用ではありません。なぜなら、レンズのF値がとて低くしなければならず、冷却カメラシステムと同等の熱感度を持ってないからです。500mm、f/1.6の非冷却レンズは、目標直径が313mmとなり、巨大であるため極めて高価になります。レンズがあまりに高価なので、冷却センサーの代わりに非冷却センサーを使ってコストを浮かせても、ほとんど帳消しになってしまいます。実際、現時点で市販されている最大の非冷却レンズの大きさは、367mmです。367mmのレンズと25ミクロンピッチの非冷却カメラを組み合わせても、識別レンジは最大でもわずか920mにしかなりません。

この例から、「非常に長いレンジ距離のサーマルイメージングに最適なのは、冷却カメラシステムである」という結論を導き出せます。これは、大気湿度が高い場合の中波帯において特に当てはまります。

大気条件

赤外線サーマルカメラは、全くの暗闇や、薄い霧、小雨、小雪の中も見通すことができますが、見通せる距離は、これらの大気条件によって左右されます。たとえ晴れていても、特定の赤外線サーマルカメラシステムが見通せる距離は、自然の大気吸収によって制限されます。基本的に、ターゲットからカメラまでの赤外線信号の移動距離が長ければ長いほど、その途中で多くの信号が失われます。

雨と霧は、水滴で光を散らすため、赤外線画像システムのレンジを大きく制限する場合があります。霧は、大気中や地球の表面近くに浮いている、目に見える細かい水滴の集まりで、多くの場合、水平視程が1km未満になります。気温と空気露点温度がほとんど同じで、十分な凝結核が存在する場合に発生します。様々な種類の霧があり、一部の霧峰では水滴が着氷して拡大するなどして、濃淡が生じます。赤外線サーマルカメラでは、このような濃い霧を見通すのが難しく、レンジが縮小します。激しい雨や雪にも同じことが当てはまります。また、雨はターゲットの表面を冷やすため、コントラストが低下する場合もあります。赤外線サーマルカメラの性能は、霧、雨、雪の中では限定されますが、一般的な可視光イメージングシステムに比べより遠くのターゲットを見ることができます。

様々な変数の影響を受けるレンジ

まとめると、「赤外線サーマルカメラでどれほど遠くまで見られるか」という質問に対し、簡単な答えはありません。ターゲットの性質（停めてある車や走行中の車）、背景（熱い砂漠や冷たい雪）、大気条件（晴天や霧）など、環境やシステムに関連する多種多様な変数によってことなります。選んだカメラとレンズの組み合わせによっても異なります。フリーシステムズのアプリケーションエンジニアは、赤外線サーマルカメラのを使って検知できる各種のターゲットや条件に基づき、レンジを計算するお手伝いをします。

ノモグラフ

赤外線サーマルカメラを使ってどれほど遠くのターゲットを見られるかを推測する優れた方法のひとつとして、ノモグラフが挙げられます。ノモグラフとは、焦点距離、レンジ、ターゲットに対するピクセル数などの変数間の数値関係を表す計算図表です。以下2つのノモグラフ（非冷却および冷却カメラシステム用）は、人を検知・認識・識別できるレンジを見積もるための簡易モデルです。これらのモデルには、大気の影響や熱コントラストは含まれていません。晴天条件下で非常に高コントラストの画像が得られることを前提としております。

例:

ジョンソン基準は、人の限界寸法は75cmであると仮定しています。検知、識別、認識を行なうためには、75cmの物体平面に対してそれぞれ1.5ピクセル、6ピクセル、12ピクセルが必要です。

$1.5 \text{ ピクセル} / 75\text{cm} = 2 \text{ ピクセル} / \text{m}$
 $6 \text{ ピクセル} / 75\text{cm} = 8 \text{ ピクセル} / \text{m}$
 $12 \text{ ピクセル} / 75\text{cm} = 16 \text{ ピクセル} / \text{m}$

1.8m x 0.5mの男がいる場合は、以下のようになります。



検知 =
3.6 ピクセル x 1 ピクセル

そこに何があるかわかります。

認識 =
14.4 ピクセル x 4 ピクセル

そこに人がいることがわかります。

識別 =
28.8 ピクセル x 8 ピクセル

その人がライフルを持っていることがわかります。

画像は説明目的で使用されています。

非冷却カメラ

320 x 240 ピクセル
25 ミクロンピッチ
38 mm レンズ
(19 mm レンズ 2xダブラー付き)

ターゲットの男の高さ(1.8 m)に対するピクセル数



33 m



83ピクセル

45 m



61ピクセル

91 m



30ピクセル

137 m



20ピクセル

182 m



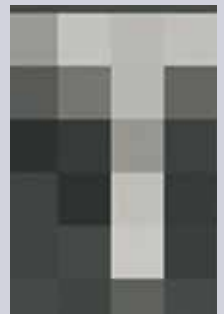
15ピクセル

274 m

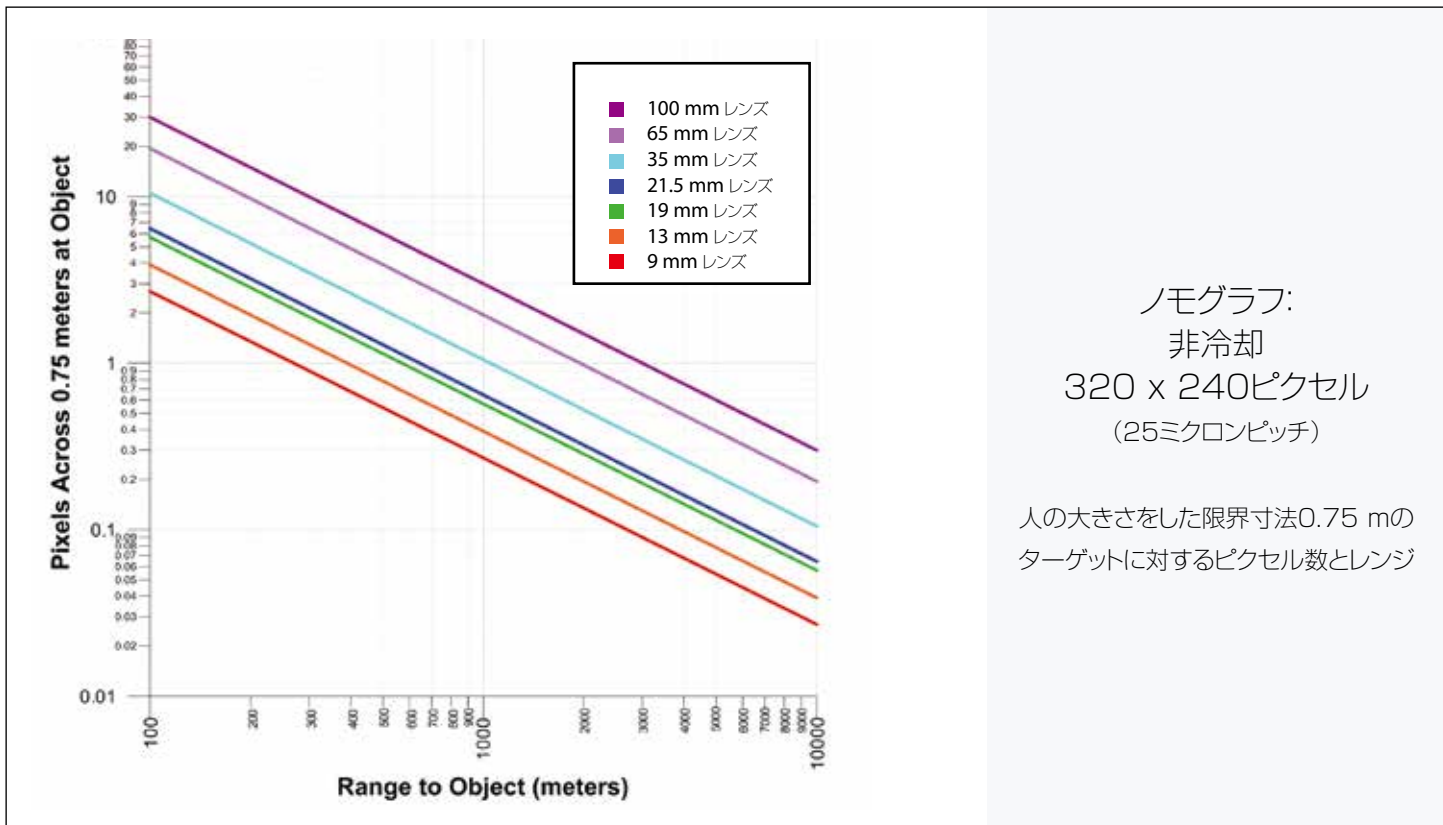


10ピクセル

390 m

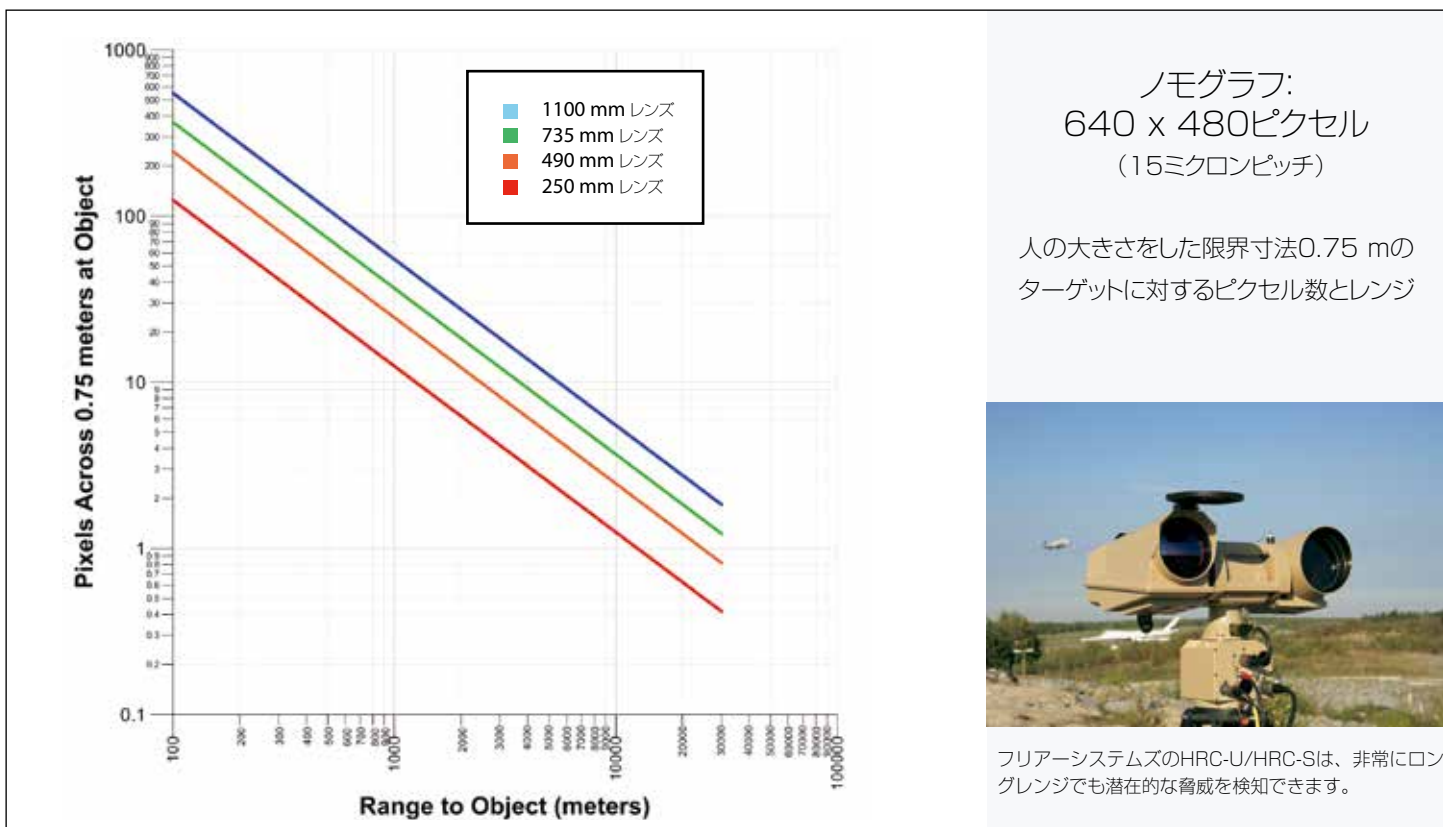


7ピクセル



ノモグラフ:
非冷却
320 x 240ピクセル
(25ミクロンピッチ)

人の大きさをした限界寸法0.75 mの
ターゲットに対するピクセル数とレンジ



ノモグラフ:
640 x 480ピクセル
(15ミクロンピッチ)

人の大きさをした限界寸法0.75 mの
ターゲットに対するピクセル数とレンジ



フリーシステムのHRC-U/HRC-Sは、非常にロングレンジでも潜在的な脅威を検知できます。

記事およびノモグラフ計算をしていただいたDr. Austin Richards Ph. D.と貴重な情報やアドバイスをいただいたMr. T. Hoelterにお礼を申し上げます。



赤外線カメラに関する情報は弊社までお気軽
にお問い合わせください。:

フリーシステムズジャパン株式会社
〒141-0021
東京都品川区上大崎2-13-17
目黒東急ビル5F
☎ : 03-6721-6648
Fax : 03-6721-7946
e-mail : info@flir.jp
www.flir.com