



テクニカルノート



テクニカルノート

赤外線カメラの性能に及ぼす霧および雨の影響の実測値



PTZ-35x140 MS1は、2台の赤外線カメラとデイ/ナイトカメラを搭載した赤外線システムです。2台の赤外線カメラには、遠赤外線非冷却マイクロボロメータ素子が装備されており、霧中でも優れた性能を発揮します。

赤外線カメラは、完全な暗闇でも鮮明な画像を映し出します。詳細部分まで見える鮮明な画像を得るのに光源をまったく必要としません。さまざまな夜間監視の目的に適した優れた装置です。

「赤外線カメラではどこまで遠くを見ることができるのか」というのは、よくある質問ですが、これは夜間監視用のシステムとして極めて重要なものです。赤外線カメラでどこまでの距離(範囲)を見ることができるかは、カメラのさまざまな可変条件に依存し、どのようなレンズを使用しているか、使用している素子は冷却型か非冷却型か、

感度はどのくらいか、どの程度の大きさの被写体を検出したいのか、対象物とその背景の温度はどの程度か、などによって異なります。

「どこまで遠く」という質問に対しては多くの場合、理想的な気象条件のもとでの回答になりますが、当然、それに続く質問は「霧や雨やそれ以外の気象条件のときにはその距離に変化は生じますか」となります。

赤外線カメラを使用することで、完全な暗闇の中や、薄霧、小雨、降雪中といった条件の中でも視界を保つことができますが、見通せる距離はそれらの大気の影響を受けます。

赤外線放射の伝達

赤外線カメラは、完全な暗闇でも鮮明な画像を映し出します。精細、かつ鮮明な画像を得る為にも、光をまったく必要としません。さまざまな夜間監視の目的に適した優れたシステムです。

したがって、減衰率を考慮に入れる必要があります。これは遮蔽物質を通して伝達された放射量と入力放射量との比です。湿気を含んだ空気は、赤外線放射の場合、遮蔽物質として作用します。通常、夏季は冬季よりも空気内の湿気が多くなるため、減衰率が高くなります。したがって、晴天で気候条件がよい場合、夏季よりも冬季のほうが赤外線カメラではより遠距離を見渡すことができます。

しかし、湿気のある空気中では赤外線放射の一部が失われます。この他に、赤外線カメラの放射距離





HRCマルチセンサ



ThermoVision 3000マルチセンサ

HRCとThermoVision 3000マルチセンサの両方には冷却型検出素子が搭載されています。HRCには、インジウムアンチモン(InSb)検出素子が搭載されており、3~5 μ m中赤外線帯域で動作します。ThermoVision 3000には、量子井戸型赤外線検出素子が搭載されており、8~9 μ m遠赤外線帯域で動作します。いずれも非常に遠く離れた距離でも、人間等の物体を検出することができます。

にマイナスの影響を与える気候条件があります。

霧と雨は、その水滴の散乱のために赤外線システムの監視距離に大きな制約を与えてしまいます。水滴が多ければ多いほど赤外線信号が減衰します。その際、お客様にとって重要な疑問点は、どの程度の雨や霧で赤外線カメラの距離に影響が出るのか、そして、スペクトラムの可視範囲にどう影響するのか、ということかと考えられます。

霧の分類

霧は、地表および地表近くの水の微粒子が蓄積されて可視状態になったものです。大気が水蒸気で飽和状態になると、相対湿度がほぼ100%になったことを意味し、煙やほこりの粒子などを凝結核として霧が発生します。

霧にはさまざまな種類があります。移流霧は、温度や湿度の異なる2つの大きな大気のかたまりが混合されたときに生じます。さらに放射霧と呼ばれるものがあります。これは、空気が露点近くの温度まで放射状に冷やされる過程で生じるものです。

水滴が集まって大きくなった場合は周囲よりも濃い霧となることがあります。霧の状態では水滴がさらに

水分を吸収し、巨大に成長します。可視範囲に比べて赤外線帯域では散乱が小さいかどうかが問題ですが、それは水滴の分散度によって異なります。

霧の分類方法には、さまざまな基準があります。よく使われる分類に国際民間航空機関(ICAO)によるものがあります。ICAOでは、霧を以下の4つに分類しています。

- カテゴリI: 可視範囲 1220m
- カテゴリII: 可視範囲 610m
- カテゴリIIIa: 可視範囲 305m
- カテゴリIIIc: 可視範囲 92m

大気に霧が発生すると視界が悪くなるのは、霧の粒子によって、自然または人工の照明が吸収されたり散乱したりするためです。吸収量および散乱量は、エアロゾルとも呼ばれる霧の粒子の微細構造によって異なります。

大気透過モデル(MODTRAN)

MODTRANは、米国空軍により開発、サポートされている大気の放射伝達コードです。さまざまな大気条件のもとでの大気をモデル化します。大気中の減衰

物質、赤外線の伝達経路、空の放射輝度、地表に到達する太陽と月の放射度を含む大気の特徴を広範囲の波長とスペクトル分解能にわたって予測します。

MODTRANでは、幅広いスペクトル範囲にわたって放射伝達を計算することができます。これは、さまざまな緯度と季節に応じた6つの気象モデルを提供します。このモデルではまた、それぞれの気候で生じる6種類のエアロゾルの種類が定義されています。それぞれの気候モデルをさまざまなエアロゾルと組み合わせることができます。

霧や雨の中でどれだけ遠くまで赤外線カメラで見ることができるかは、カメラを使用している気候条件やそのときのエアロゾルの種類によって異なります。

気候	エアロゾル
熱帯	郊外
中緯度夏季	海上
中緯度冬季	都市部
亜北極圏の夏季	移流霧
亜北極圏の冬季	放射霧
米国標準	砂漠

MODTRANモデルの入力データ



MODTRANの入力データには上記の特定の気候やエアロゾルの他にICAOカテゴリに基づいた透過性、大気経路の形状と長さ、温度、対象地域と背景の放射特性などがあります。

一般的な比較では、海上のエアロゾルは平均して郊外や都市部のエアロゾルより粒子の半径が大きいため、気候モデルとは別に検出範囲が常に低くなります。郊外や都市部のエアロゾルの場合、赤外線帯域の検出範囲が著しく広がります。

これは、気候の種類とはかわりなく、陸上より海上の霧のほうが視界をより妨げることを意味します。

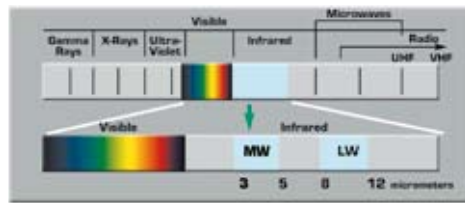
赤外線カメラとその対象物

霧の中でどの程度遠くまで見ることができるかは大気の種類とその濃度が影響するため、使用する赤外線カメラ、および動作する波長帯域が特に重要になってきます。

赤外線カメラで特に重要となる帯域は、3~5 μm (MWIR)と8~12 μm (LWIR)です。5~8 μm の帯域は、水蒸気による大気のスpektral吸収によって阻止され、その範囲は広範囲にわたるため、赤外線カメラでは殆ど使用されません。

電磁波スペクトラム

非冷却型のセンサを搭載した赤外線カメラは7



The electromagnetic spectrum

~14 μm の遠赤外線(LWIR)帯域で動作するように設計されています。この範囲において陸上に存在する物体のほとんどは赤外線エネルギーを放射するため、非冷却型の検出が容易になります。

冷却型のセンサを搭載した赤外線カメラ(センサが極低温まで冷却される)は視界内のわずかな温度差にも非常に敏感であり、一般的に中赤外線(MWIR)帯域で使用され、まれに遠赤外線(LWIR)帯域用でも使用されます。

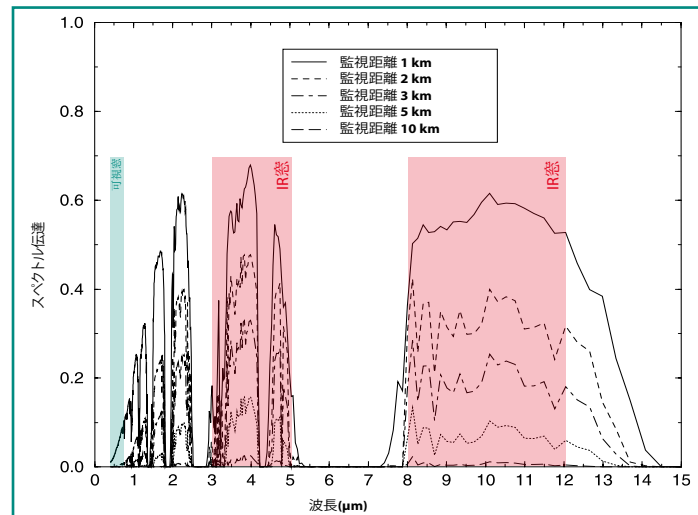
スペクトルの伝達は、MWIRとLWIR帯域で異なります。したがって、非冷却型のLWIR検出器を搭載した赤外線カメラと冷却型のMWIR検出器を搭載したものでは、霧の中でどこまで遠くを見ることができるかの距離が違ってきます。

大気透過モデルの結果 - 霧

さまざまな波長におけるスペクトルの透過率を利用して、各種大気窓における可視性の簡単な定性比

較を行うことができます。

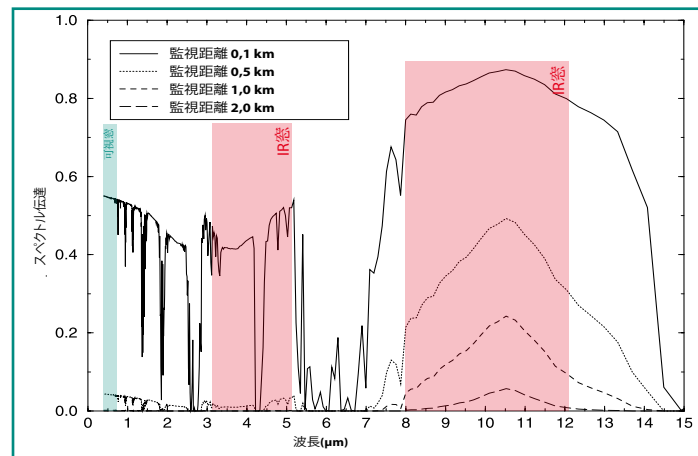
図1は、中緯度夏季でエアロゾルが郊外の場合の、カテゴリIの霧のスペクトル伝達を示したものです。可視スペクトルの波長帯域(0.4~0.75 μm)では、透過率透過率はどちらの赤外線窓(3~5 μm と8~12 μm)と比べても非常に低くなっています。この状態では、赤外線カメラを使用することで遠赤外波長または中赤外波長の素子に関係なく、肉眼よりかなり遠くのものまで見ることができます。



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

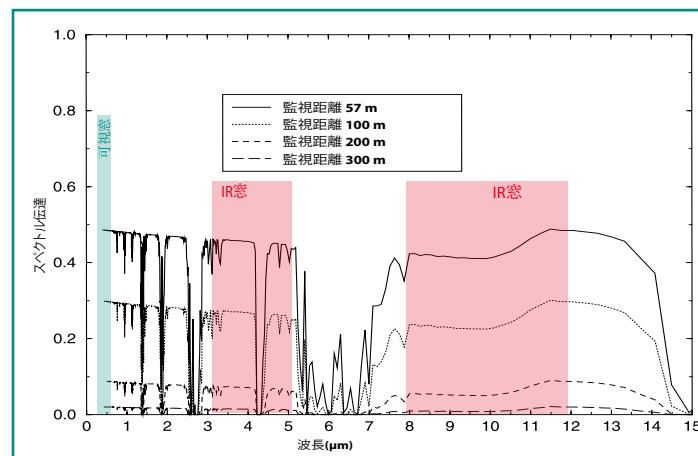


このモデルで放射霧の可視性をカテゴリIIIに下げるとLWIR (8~12 μm)帯域のみが可視帯域より優れていることが予測され、中赤外波長の赤外線カメラでは、肉眼より遠くのものを見ることができないことになります。(図2)



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

最後に可視性が300m未満のカテゴリIIIの条件では(図3)、赤外線カメラを使用してどこまで遠く見ることができるかということと肉眼でどこまで見ることができるかということには大きな差がないことがわかります。



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)





透過率だけでは、どこまで遠くまで見ることができるかは決まりませんが、可視窓と赤外線窓を比較すると、帯域によって大気の状態が有利になったり不利になったりしていることがわかります。

検出距離

大気の状態だけでは、霧や雨の中でどのくらい遠くまで見ることができるかを予測することはできません。対象物の大きさや周囲との温度差を考慮に入れる必要があります。さらに光学系と検出素子の限られた空間分解能や検出器と信号処理のノイズによっても対象物とその周囲の放射コントラストが少なくなります。赤外線センサの伝達関数のコントラスト放射への影響はTACOM赤外線画像モデル(TTIM)でシミュレーションされます。このモデルでは、フォーカルプレーン配列の各種赤外線センサのシミュレーションを行うことができます。

キロメートル単位の検出距離を肉眼、MWIRカメラ、LWIRカメラで比較したものを以下の表に示します。対象物と周囲の温度差は10°C、検出しきい値は0.15Kです。

霧カテゴリ	肉眼	MWIR	LWIR
Cat I	1.22	3.0 - 9.8	5.9 - 10.1
Cat II	0.61	0.54	2.4
Cat IIIa	0.305	0.294	0.293
Cat III c	0.092	0.089	0.087

カテゴリIでは、赤外線検出は一定範囲の値をとり、MODTRANで規定されたさまざまな気候やエアロゾルにおけるバリエーションを示しています。LWIRは、冬季で絶対湿度が低く、郊外でエアロゾルが分散している状態が最良です。MWIR帯域では、夏季または熱帯の大気中のような高温状態が検出に最適です。



赤外線の方がすべての検出範囲において霧カテゴリの肉眼よりはるかに優れています。霧カテゴリIIでは、LWIR検出器を装備した赤外線カメラのほうが肉眼より4倍も検出結果が優れています。

霧カテゴリIIIaとIIIcでは、大気が制約条件となるため、赤外線カメラと肉眼では実質的な違いはありません。赤外線が放射されても、この濃度の霧はいずれのスペクトル帯域(可視、MWIR、LWIR)でも透過できません。

結論と結果

霧カテゴリのIとIIのモデルでは、可視帯域に比べて赤外線帯域のほうが優れた帯域性能を発揮しています。したがって、これらのカテゴリの霧では、赤外線カメラのほうが適しています。これらのモデルから赤外線カメラは運輸交通および自動車産業の視覚向上システムの一部と同様に飛行機の着陸支援として有効である可能性を示しています。

今回のモデルの事例のすべてにおいて、MWIRよりLWIRのほうが霧の貫通度が高いことが示されました。カテゴリIIの霧に対しては、LWIRスペクトル帯域のほうがMWIR帯域より4倍も広い範囲をカバーしています。ただし、最終的に用途に最適なシステムを選択するには、センサの熱感度やどのような対象物を想定しているのかを考慮に入れる必要があります。さらにコストを検討事項に含めることも必要です。たとえば、長距離監視のセキュリティ用途であれば、非冷却型LWIRシステムを使用するのは一般的に経済的ではないと看做されます。適切な感度性能を得るために、大口径のレンズが必要となり、莫大な費用がレンズにかかるためです。

MWIR放射は、大気汚染や汚染ガスの悪影響を受けます(大気に吸収される汚染物質が増え、経路内放射のレベルが上昇。これらはいずれも対象物の熱のコントラストを下げる)。LWIRの場合はこの影響をあまり受けません。

雨は、対象物の熱のコントラストを著しく減少させるため(大気の散乱および全体的な不明瞭化が増す)、雨の場合はLWIRとMWIRに大きな性能上の違いは見られなくなります。雨による赤外線システムの性能の劣化は、距離の範囲に影響を受けやすく、特に100~500mの範囲で急激に落ち込みます。

「赤外線カメラではどのくらい遠くまで見ることができますか」という簡単な質問に答えることができないのと同様に、霧や雨のときには、その範囲がどのくらい縮まるか、という質問にも答えることは不可能です。これは、大気の状態や霧の種類によるだけでなく、使用している赤外線カメラの種類や、対象物の特性(大きさ、対象物とその背景の温度差など)にも依存するからです。



霧の中でも対象物が見えることは多くの用途に有益です。船舶、セキュリティ、自動車および飛行機などの用途はどれも赤外線画像生成技術によるものであり、あらゆる種類の霧でも肉眼やCCTVカメラよりも良好な視界が得られます。

謝辞: Austin Richards博士およびT. Hoelzer氏の貴重なコメントおよび助言に感謝申し上げます。

参考文献:

K. Beier, H. Gemperlein, Simulation of infrared detection range at fog conditions for Enhanced Vision Systems in civil aviation in Aerospace Science and Technology 8 (2004) 63 - 71

赤外線カメラまたはその用途に関する詳細は、下記にお問い合わせください。

FLIR Commercial Vision Systems B.V.
Charles Petitweg 21
4847 NW Teteringen - Breda - Netherlands
電話: +31 (0) 765 79 41 94
ファックス: +31 (0) 765 79 41 99
メール: flir@flir.com
www.flir.com