

C-RED 2 Lite 温度安定化 SWIR イメージング

C-RED 2 Lite は、640×512ピクセルの SWIR カメラで、フルフレーム時 600FPS で動作します。

このカメラは最適な温度管理を行うことにより環境変化に影響されずに
精密にセンサー温度を安定させることが可能な設計となっています。

これにより、レーザービームのプロファイリング、ハイパースペクトラルイメージング、
サーモグラフィーといった定量的なアプリケーションへの新たな扉が開かれます。

v.0.0 26/09/2022

1. 温度管理についての概要

温度管理は何故重要なのでしょうか？

センサー温度のモニタリングには、明確な目的があります：

- ✓ **冷却**とはセンサーの温度を下げるために行います。この目的は、カメラのノイズを抑制することであり、特に暗電流によって生じるノイズを最適化します。詳細については、[FOCUS ON... 長露光時間*1](#)を参照してください。
- ✓ **安定化**とは、センサーを定められた温度に維持し、時間経過による温度変動を抑制します。カメラ内部で実際に計測した温度を元にセンサーを冷却または加熱を行います。この目的は、環境温度の変動に影響されず、カメラの動作を完全に制御することにあります。

どうすれば実現できるのか？

センサーを冷却する方法は複数ありますが、一般的にはセンサーから熱を取り除くことが重要です。First Light Imaging 社のカメラでは、次の方式でこれを達成しています：

- ✓ **TEC (熱電クーラー) 冷却**：ペルチェ効果によって動作し、装置に電流が流れると一方から他方へ熱が伝わります。TEC 冷却は加熱と冷却のどちらにも使用することができます。
- ✓ **ヒートシンク冷却**：パッシブな熱交換器で、通常はアルミニウムや銅で製作されています。放熱先（空気または液体）と接触する表面積なるべく大きくなるように設計されています。
- ✓ **空冷**：電動ファンにより強制的に空気を対流させます。これにより、ヒートシンクやカメラのケースから排出された熱い空気を排出します。
- ✓ **水冷**：水流による対流を発生させ冷却します。冷却水の温度が低いほど、放熱の効率が高くなります。水流はパッシブな装置で発生させることも、水を積極的に冷却するアクティブな装置（チラーなど）で発生させることもできます。

これらの方式は、センサーから熱を逃がすためにカメラに搭載されたり、カメラから熱を逃がすために外部に設置されます。これらの手法を複数組み合わせることで、最適な温度管理性能が得られます。しかし多くの場合、性能・重量・消費電力の増加との間で妥協する必要があります。

First Light Imaging カメラの温度管理は？

First Light Imaging 社が提供する、様々な温度管理オプションと外部冷却手段を備えた InGaAs カメラの一例です。



- ✓ **C-RED 3 (非冷却型)*2**は、OEM バージョンとケース (STD) バージョンがあり、短時間露光専用です。コンパクトさを優先した設計で、アクティブな冷却機能はありません。温度安定化のために水冷用プレートを追加できます。
- ✓ **C-RED 2 Lite (安定化型)*3**は、放熱を最適化するための複数オプションを備えた、温度安定化カメラです。本書では、このカメラとそのオプションの詳細について説明します。
- ✓ **C-RED 2 (冷却型)*4**は、TEC 冷却、空冷、水冷を備えたフラグシップモデルです。この設計により、センサーの温度を正確に安定させ、-40°C まで冷却することが可能になりました。



2. C-RED 2 Lite を選ぶ理由は？

C-RED 2 Lite カメラは、TECクーラーを備えながらコンパクトで堅牢な高速 SWIR カメラとして設計されています。



C-RED 2 Lite カメラ

C-RED 2 Lite カメラを選ぶ最大のメリットは、温度管理能力と堅牢性、汎用性です：

- **TEC 冷却：** カメラに搭載されたTECクーラーにより、センサーの温度をケースより最大25°C低く冷却することができます。
- **放熱オプション：** ケースを冷却する複数の手段を持つC-RED 2 Lite は様々な装置や用途に組み込むことができます。さらに適切な放熱を行えば、センサーを0°C以下まで冷却することも可能です。
- **自動安定化：** カメラに搭載されたアルゴリズムによりセンサーを±0.1°Cの精度で安定化させ、継続的に温度をコントロールします。[automatic]モードでは、幅広い用途をカバーする最適な温度で安定させることができます。
- **アルゴリズムの制御：** [custom steps]モードと[manual]モードでは、消費電力と冷却能力を細かく制御することができます。C-RED 2 Lite は、カメラの性能に一切の妥協はありません。

C-RED 2 Lite は妥協なくカメラ性能を追求しています：

- **SWIR レンジ：** C-RED 2 Lite は、900nmから1700nmの範囲で70%以上の量子効率を実現しています。
- **高速：** C-RED 2 Lite はフルフレーム時に600fpsで撮影可能です。クロッピングモード (ROI) では、より高いフレームレートに設定できます (最大32066fps)。さらにフレームレートを低下させることなく、2点不均一性補正をその場で適用できます。
- **広いダイナミック性：** C-RED 2 Liteの3つのキャパシタ (high、medium、low) により、変換ゲインの調整が可能です。highゲインは高感度、lowゲインは低ノイズにフルウェルキャパシティを最適化できます。
- **ハイダイナミックレンジ (HDR) モード：** HDRモードでは、highキャパシタと、lowキャパシタからの信号をリニアに合成することで、高いフレームレートを維持したまま93.6dBのダイナミックレンジを実現します。
- **高い感度：** C-RED 2 Liteの通常の見出しノイズは30e⁻以下を実現しています。さらに正確な温度安定化制御を行うことにより、暗電流に起因するノイズも抑制しています。
- **簡単な組み込み：** C-RED 2 Liteにはケースに複数の固定用ネジ穴があり、C/CSマウントの光学インターフェイスを持つことから、システムへの組込が簡単に行えます。C-RED 2 LiteはFirst Light Imaging社製カメラ用統合ソフトウェア、First Light Visionに対応しています。さらに汎用性の高いSDKも付属し、MATLAB、LabView、Pythonなどと連動させることも可能です。

3. 放熱を最適化する方法とは？

C-RED 2 Liteでは、TECクーラーを使用してセンサーを冷却・安定化させています。カメラ内部の設計は、TECの吸熱側で発生した熱をカメラのケースに均等に放熱・伝達します。この設計により、ケース温度とセンサー温度との間に最大 25°C の温度差を得ることができます。

センサー温度の設定値を低くするためには、カメラのケースから効率よく熱を逃がすことが課題となります。**カメラケースの(ア)**

温度が低ければ低いほど、センサーの温度も低く設定することができます。このため、C-RED 2 Liteは最適な放熱を行えるように設計されています。

First Light Imaging社では、様々な熱管理ソリューションをお客様のアプリケーションに合わせるためにご提案させていただきます。以下にご説明するソリューションについてはシンプルな物からより効果的な物へ順番に記載しています：



レンズを取り付け、熱交換を行う表面を増やした構成例

熱交換面の拡張

パッシブな放熱による効果は、熱交換を行う総表面積に関係しています。よって熱交換を行う面を増やすことにより、放熱を最適化することに繋がります。以下に例を挙げます：

- ✓ カメラにレンズを取り付ける
- ✓ カメラを金属製の筐体やフレームに直接取り付け

これらを行うことで、カメラで発生した熱はより大きな金属部品に放熱されます。そして、更にここから周囲の空気などとの熱交換を行います。

例えば、カメラを搭載する機器のフレームに直接接触するように固定することも熱交換を行う表面積を増やす方法の1つです。カメラとの接触面を大きくし、放熱先の金属部分を大きくすればするほど、性能向上を期待できます。

パッシブヒートシンクの使用

ヒートシンクというパッシブな部品により、周囲の環境との熱交換面積を更に増やすことも有効です。カメラには最大3つの専用ヒートシンクを取り付けることが可能です。

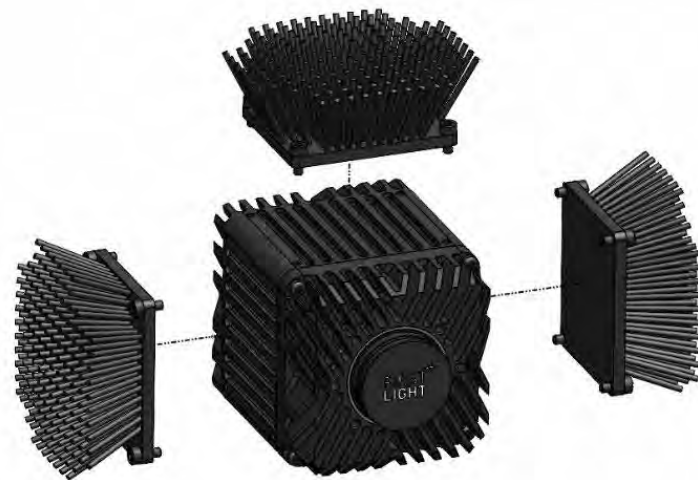
送風ファンなどによる強制的な空冷を行わない場合、ケース温度の平均的な向上は表1のとおりです：

ヒートシンクの数	低下したケース温度
1	-7°C
2	-11°C
3	-13°C

表1：ヒートシンク未取り付け状態と比較した場合の、カメラケースの温度低下の想定値



パッシブヒートシンクの取付図



3つのヒートシンクの位置関係

外付けファンの使用

安価に放熱性能を向上させる方法として、外付けファンを追加してカメラハウジングを冷却する方法があります。ファンは専用品ではなく一般的な製品も使用できます。この外付けファンをパッシブヒートシンクと組み合わせることにより、更なる放熱性能向上を図ることができます。

外付けファンの風量次第で、ケース温度を大幅に低下できます。この方法は非常に簡単ではありますが、振動、騒音、埃、雰囲気攪乱といったデメリットもあります。



外付けファンとヒートシンクの構成例

水冷クーラープレートの使用

C-RED 2 Lite 向けに設計された水冷クーラープレートを使用することで、強力な放熱性能を得ることができます。外付けファンにあったデメリットをなくし、最高の冷却効率を実現することができます。

水冷クーラープレートは、水冷システムと共に使用します。First Light Imaging 社では、アクティブ水冷システム（ファンなどでラジエーターに強制的に送風する場合やチラー）の使用を推奨していますが、パッシブシステム（ファンを設置せずラジエーターのみで自然通気で放熱）を使用することも可能です。アクティブシステムの場合、水温をモニターすることでカメラケースを必要な温度に調節することも可能です。



水冷プレートのセットアップ



水冷クーラープレートの取付イメージ図

First Light Imaging 社での実験では水冷クーラープレートを使用した場合、センサー温度は表2のようになりました（周囲温度 25°C の環境下の場合）。

水温	センサー温度
20°C	-5°C
10°C	-15°C

表2：水温によるセンサーの想定温度

ただし、このソリューションを採用する場合には露点温度に注意する必要があります。露点温度を下回ると結露が発生し、カメラが故障する原因となります。

First Light Imaging 社ではオプションとしてチラー、ホース、スパルフリーコネクターを含む完全な水冷システムもご用意しております。

4. 結論

C-RED 2 Lite は、ハイスピードな短波長赤外線アプリケーション用に設計された高性能カメラです。このカメラは、フルフレーム時に 600FPS で撮影することができます。これにより、C-RED 2 Lite は非常に柔軟性が高く幅広い用途に使用することが可能です。

C-RED 2 Lite カメラの温度管理には特に注力して設計されています。優れた設計と TEC クーラーにより、センサーとカメラケースの間の温度差は最大 25°C に達します。(ノ)

放熱面の増加、ヒートシンクの追加、水冷クーリングプレートの取付など、カメラを冷却するための様々な手段が用意されています。これらの温度管理を適切に行うことにより、環境の変動が避けられない場合においても、センサーの温度を安定させることが可能です。

お客様のシステムへの組み込みの制約やご要望に応じて、最適なソリューションをお選びいただくことができます。

C-RED 2 Lite

温度安定化 InGaAs カメラ
600 フレーム秒 (フルフレーム)
640 x 512 pixels
15 μm ピクセルピッチ
30 e⁻ 読み出しノイズ

- ✓ 最適化されたアルゴリズムにより、正確なセンサー温度安定化を実現。
- ✓ センサーとカメラケースの間の温度差デルタ T 25 の実績
- ✓ カメラケース冷却手段に複数のオプションあり

C-RED シリーズを用いた主要なアプリケーションの詳細は、他の FOCUS ON... シリーズでご確認いただけます。

FOCUS ON... 自由空間光通信と補償光学

https://www.optoscience.com/maker/first_light/pdf/FOCUS-ON_C-RED3_FS0-A0_201019_2208JP.pdf

FOCUS ON... アディティブ・マニュファクチャリングと溶接のモニタリング

https://www.optoscience.com/maker/first_light/pdf/FOCUS-ON_C-RED3_Metal_Additive_Manuf_v5_211126_2206JP.pdf

FOCUS ON... 高速 SWIR ハイパースペクトルイメージング

https://www.optoscience.com/maker/first_light/pdf/FOCUS-ON_C-RED3_Hyperspectral_210917_2112JP.pdf etc. !

*1 https://www.optoscience.com/maker/first_light/pdf/FOCUS-ON_C-RED2_Long-Exposures-times_200526_2101JP.pdf

*2 https://www.first-light-imaging.com/wp-content/uploads/2019/02/Datasheet_C-RED-3_10.09.2021.pdf

*3 https://www.first-light-imaging.com/wp-content/uploads/2021/09/Datasheet_C-RED-2-LITE_11.03.2022.pdf

*4 https://www.first-light-imaging.com/wp-content/uploads/2019/02/Datasheet_C-RED-2_10.09.2021.pdf

詳細情報またはアプリケーションに関してのご質問などは、(株) オプトサイエンスまでお気軽にお問合せください。

First Light Imaging SAS

Europarc Sainte Victoire Bât 6, Route de Valbrillant, Le Canet 13590
Meyreuil FRANCE
Tel.: +33 4 42 61 29 20
www.first-light-imaging.com
contact@first-light.fr

First Light Imaging Corp.

185 Alewife Brook Parkway, Suite 210, Cambridge, MA 02138 USA
www.first-light.us

OPTO SCIENCE, INC.

株式会社オプトサイエンス

〒160-0014 東京都新宿区内藤町1番地 内藤ビルディング
Tel.: 03-3356-1064
www.optoscience.com
info@optoscience.com



記載内容および画像の転載、複製、加工などは禁止です。

また、記載内容は予告なく変更することがあります。ご了承ください。 Ver.1.0_2310