

100°×73°広画角80×60画素サーマルダイオード 赤外線センサー“MeIDIRシリーズ”

80×60 Pixels Thermal Diode Infrared Sensor "MeIDIR Series" with
100°×73° Field of View

*高周波光デバイス製作所

要 旨

三菱電機は、2019年に、人・物の識別、行動把握を高精度に実現するサーマルダイオード赤外線センサー“MeIDIR(メルダー)”を市場投入した。今回、MeIDIRシリーズの新たな製品ラインアップとして、100°×73°の広画角化を実現したMIR8060C1を開発した。従来製品同様の80×60画素による人・物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持したままで従来製品の2倍以上の検知面積を実現し、一つの赤外線センサーでモニタリングできる範囲を拡大した。また、顧客サポート体制を構築し、ユーザーサポートツールを提供している。MeIDIRの開発を通して、安心・安全で快適な暮らしの実現に貢献する。

1. ま え が き

波長380nm(青)~780nm(赤)の可視光よりも波長の長い領域の光を赤外線と呼び、その中でも、8~14μmの赤外線はLWIR(Long-Wavelength InfraRed)と呼んでいる。このLWIR領域の光を検出するセンサーを一般的に赤外線センサーという。赤外線センサーは人・物を検知する目的で用いられ、可視光によるカメラと異なり個人の特特定が困難であることから、プライバシーを守りながら人・物の検知ができることが特長である。

当社が2019年に市場投入した赤外線センサーMeIDIRは当社独自のSOI(Silicon On Insulator)ダイオードで構成されており、サーモパイルや焦電センサーに対して高画素化と高温度分解能が可能になった。プライバシーを守りながら人・物の識別、行動把握を高精度に実現でき、高齢者施設での見守り分野や空調機器に搭載されるセンサーとして使用されている。その中で、高齢者施設やビル、商業施設などの広い空間をモニタリングする用途で、一つの赤外線センサーで検知できる範囲を広げたいというニーズがある。そこで、画角が100°×73°で広範囲のモニタリングが可能になる新製品MIR8060C1を開発した(図1)。

本稿では、当社独自技術であるサーマルダイオード赤外線センサーMeIDIRの特長と、100°×73°の広画角化を実現したMeIDIRシリーズの新機種MIR8060C1の特長について述べる。

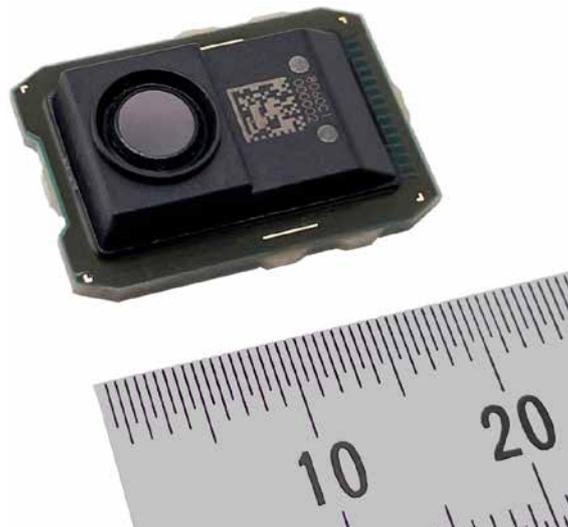


図1 -MIR8060C1

2. サーマルダイオード赤外線センサー

2.1 赤外線の性質

絶対温度0K以上の全ての物体は電磁波を放射する性質を持っており、黒体(全ての波長の放射を吸収するような物体)に対する波長当たりの放射量(放射発散度)は次の式で表される(プランクの放射則)。

$$M(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left\{ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right\}^{-1} \text{ (W/(\mu m} \cdot \text{m}^2))$$

$$C_1 = 3.74 \times 10^8 \text{ (W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2)$$

$$C_2 = 1.44 \times 10^4 \text{ (\mu m} \cdot \text{K)}$$

(λ : 波長, T : 絶対温度(K), C_1, C_2 : 放射定数)

図2に黒体温度に対する波長ごとの電磁波の放射量を示す。LWIRは低温から放射され300K付近の常温域でピークを迎えるのに対して、可視光は現実的な人間活動の温度領域ではほとんど放射されない。

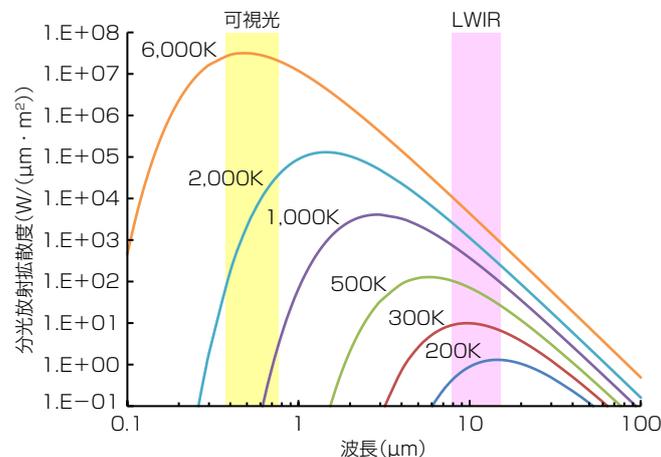


図2-黒体からの電磁波の放射量と波長の関係

実際の物体の電磁波の放射量は、物体の種類や表面状態によって異なる。黒体と比べた物体の放射量の割合は、例えば人体であれば0.98程度であるのに対して、研磨したアルミニウムだと0.04程度になる。

また、電磁波は大気中で水蒸気や二酸化炭素によって吸収される性質があるが、波長が8~14μmの領域は吸収が少なく、“大気の窓”と呼ばれ遠方の熱源の検出に特に優れた特性を持っている。

さらに赤外線は可視光との波長の差が大きいため、その影響を受けにくく、波長が長いと可視光と比べて散乱しにくい性質を持っている。

このような性質のため、赤外線は簡単な熱源検知から、長距離の温度分布測定やリモートセンシングまで幅広い用途で利用されている。

2.2 赤外線センサー

赤外線センサーは、赤外線を受光して電気信号に変換することで、非接触で物体の熱を検知できる。赤外線センサーは①暗視が可能、②外乱光の影響を受けにくい、③散乱の影響を受けにくい(例：煙が充満した状況でも対象の識別が可能)という特長がある。また、画像化しても可視光に対して感度を持たず、人体の認識は可能だが個人認識まではできないため、プライバシー保護が必要な用途にも適している。図3に赤外線画像(熱画像)と可視画像の比較を示す。

赤外線センサーは検知方式から量子型と熱型に大別される。量子型は、CCD(Charge Coupled Device)などの一般的な可視光センサーと同様に、光電効果によって発生する電荷を検知する方法で、感度は高いが熱雑音の影響を低減するため冷却装置が必要で利用分野が限定される。熱型は、赤外線を検知部が吸収した結果生じる温度変化を電気信号に変換する方式で、量子型と比べて感度は低い冷却が不要であるため幅広い用途に活用されている。

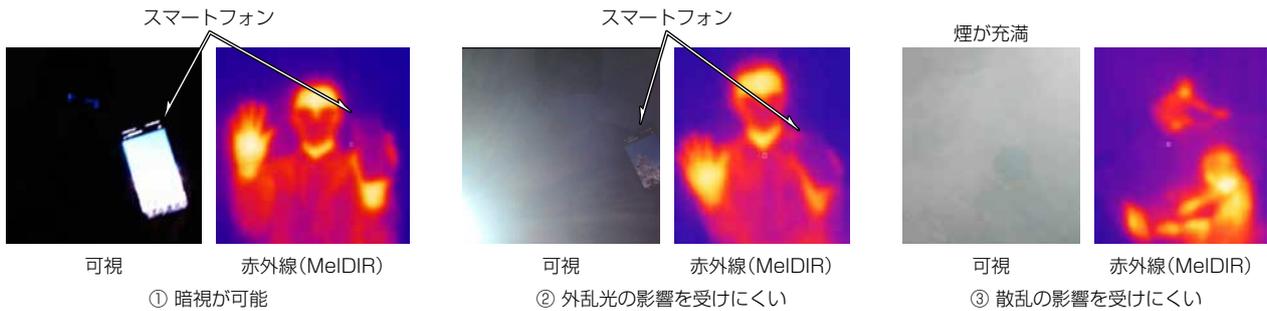


図3-赤外線センサーの特長

一般的に広く使われている熱型赤外線センサーは、温度変化を検出する方式として、焦電センサー方式、サーモパイル方式、ボロメーター方式の3方式が主流であった。

焦電センサー方式は、焦電効果を利用し、強誘電体の分極変化を検出する方式である。温度変化に対して起電力が発生するため、静止した物体の検知には不向きである。消費エネルギーが小さく製造コストも安いという利点があるが、製造方法から多画素化には不向きであるため、簡単な構造である単画素の人感センサーなどに利用されている。

サーモパイル方式は、ゼーベック効果を利用し、異種金属を接合した熱電対の起電力を検出する方式である。一つの熱電対の感度が小さいため実用的な感度を得るためには多数の熱電対を直列に接続する必要がある。そのため、画素サイズが大きくなり、多画素化を行うとセンサーチップサイズや光学系が大きくなって急激に製造コストが高くなる傾向があるが、省電力で校正が容易なため、比較的画素数の少ないセンサーに利用されている。

ボロメーター方式は、電気抵抗の温度依存性を利用し、抵抗の温度による抵抗値の変化を検出する方式である。半導体製造工程と相性が良く、抵抗体の熱電変換効率が優れているため感度が高いという利点があって多画素化に向いている。しかし、熱電変換の特性が非線形なため、受光面内の画素ごとの出力特性を一定にするための補正処理が必要で、補正演算や補正值を記憶するために規模の大きな半導体素子が必要になる。また補正值の取得のための調整・検査コストが大きいこともあってセンサー価格が高価になる傾向がある。

2.3 サーマルダイオード方式

当社では、これまでの赤外線センサーと異なり、ダイオードを温度検知部にした独自のサーマルダイオード方式を開発した。サーマルダイオード方式は、一般的なシリコン半導体製造工程で形成されるPN接合ダイオードを使用することを特徴としており、ボロメーター方式と同様に半導体工程との相性が良く高感度を得やすく多画素化が容易な方式である。一定電流で駆動するダイオードの順方向電圧の温度変化を利用して熱電変換を行っている。ダイオードの順方向電圧は温度に対して線形に変化する特性を持つため補正が容易で、その電圧特性は半導体工程の注入条件で決まる。また、ダイオードは単結晶シリコンで形成されバンドギャップにばらつきがないため、同一チップ内の画素の均一性が高いという特長を持つ。

3. サーマルダイオード赤外線センサーMeIDIR

3.1 赤外線センサーモジュールMeIDIRシリーズ

従来の赤外線センサー市場は、低画素・低価格の熱検知用途の製品と、高画素・高価格の赤外線イメージング用途の赤外線カメラに二極化していた。より高度な熱源の状態の把握が可能で低価格な製品に対する市場からの要求は以前からあったが、従来のセンサー技術の制約のために高画素かつ低価格なセンサーを提供できなかった。

当社は独自のサーマルダイオード方式のセンサー素子を使用し、図4に示すように、従来なかった画素数と価格帯の赤外線センサーモジュールとしてMeIDIRシリーズを開発した。2019年にMIR8032B1を市場投入し、2021年に高画素化を実現したMIR8060B1、2023年に200℃までの高温検知を実現したMIR8060B3、と製品ラインアップを拡充してきた。今回、新たに広画角化となるMIR8060C1を開発した。表1にMeIDIRの製品ラインアップを示す。

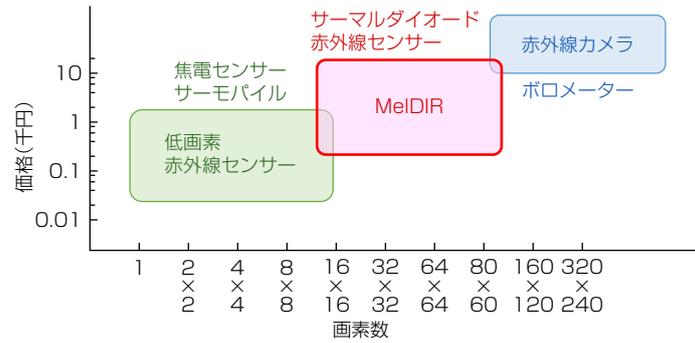


図4-赤外線センサーの要求価格と画素数

表1-MeIDIRの製品ラインアップ

形名	MIR8060C1	MIR8060B3	MIR8060B1	MIR8032B1
発売時期	2025年1月	2023年5月	2021年7月	2019年11月
検知可能温度範囲	-5～+60(℃)	-5～+200(℃)	-5～+60(℃)	
画素数	80×60			80×32
画角	100°×73°(Typ.)	78°×53°(Typ.)		78°×29°(Typ.)
フレームレート	4/8 fps			4 fps
温度分解能	180mK(Typ.)	250mK(Typ.)	100mK(Typ.)	
消費電力	50mA以下			
製品サイズ	19.5×13.5×9.7(mm)	19.5×13.5×9.5(mm)		
通信インターフェース	SPI			

Typ.: Typical Value, SPI: Serial Peripheral Interface

3.2 MeIDIRの高感度化技術

熱型赤外線センサーは温度検知部の温度変化を熱電変換するため、温度検知部と周辺環境との間の熱コンダクタンスが高いと検知感度が低下する。また、周辺画素との間の熱コンダクタンスが高いと画素で検出した熱が周辺画素に伝わるために分解能が低下する。そのためMeIDIRでは画素であるダイオードと画素を形成する母材であるシリコン基板との間を中空化し、ダイオードを支持脚で保持する構造を形成し、この支持脚の中に配線を通すことでシリコン基板との間の熱コンダクタンスを下げつつ、構造維持と電気的な接続を実現している。この支持脚構造はSOI基板を用いて温度検知部のダイオード構造と周辺の読み出し回路をシリコン半導体製造工程で形成後ドライエッチングを行うことで形成しており、低コストで製造できる。図5にMeIDIRの温度検知部の拡大写真を示す。画素ピッチ25μmの温度検知部が支持脚構造によって保持される中空構造が均一に形成できていることが確認できる。

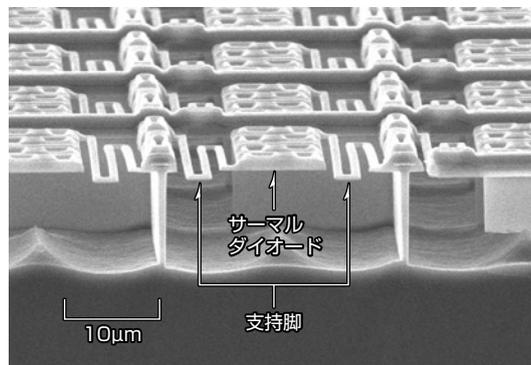


図5-MeIDIRの温度検知部の拡大写真

また、温度検知部は中空構造にするとともに真空状態にすることで更に感度を高くできる。赤外線を透過しつつ真空状態で封止するパッケージ状態が必要であり、図6に示すように、センサーチップ上に封止枠を形成してチップ上に赤外線を透過する窓材で直接封止するチップスケールパッケージ技術を開発した。

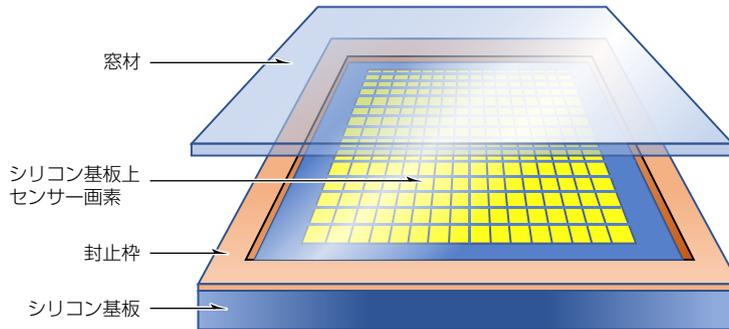


図6-チップスケールパッケージの構造図

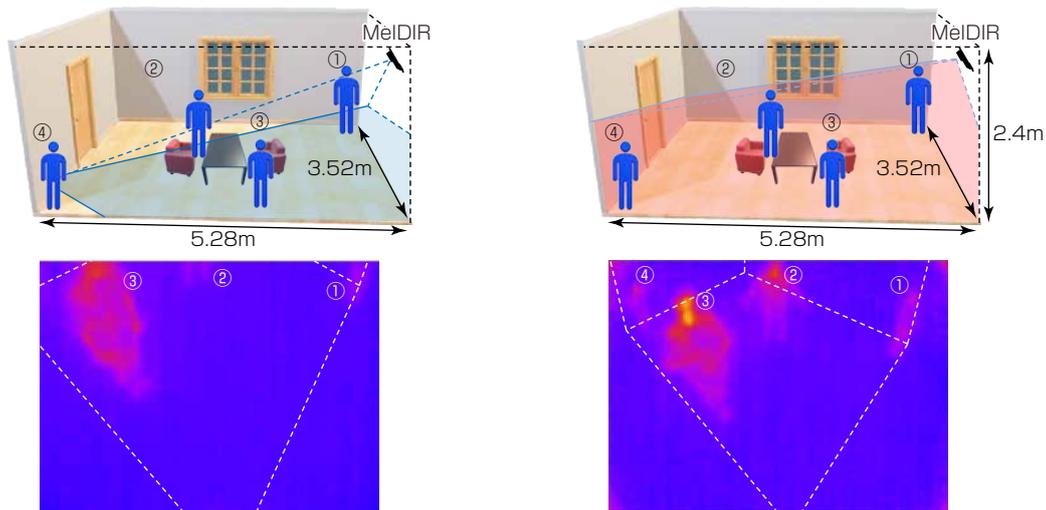
4. MIR8060C1

4.1 MIR8060C1の特長

2019年に市場投入した赤外線センサーMelDIRは、高齢者の見守りや空調などで使用されている。今回、より広い範囲を検知できるように画角を100°×73°に広げたMIR8060C1を開発した。

MIR8060C1は従来製品のMIR8060B1に対して、光学系以外の要素は共通化し、光学系は画角の拡大と画像周辺の収差を抑制した設計にした。それによって、既存のアレーフォーマット80×60画素による人・物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持したままで、従来製品の2倍以上の検知面積を実現した。

図7は部屋に設置して撮像した場合のMIR8060C1とMIR8060B1の検知可能範囲比較と熱画像比較である。MIR8060C1はMIR8060B1の検知範囲でカバーしきれない床面全体を捉えており、また熱画像でも人の全身を撮像できることが分かる。広画角化によって1台のセンサーで広範囲のモニタリングが可能になった。



既存品(MIR8060B1)：床面をカバーしきれない

新製品(MIR8060C1)：床面全体をカバー

図7-部屋に設置した場合のモニタリング範囲の比較

また、図8は200坪のオフィス内を天井からモニタリングした場合のセンサー設置数のMIR8060C1とMIR8060B1の比較を表す。MIR8060C1は広画角化によって従来製品の2倍以上の検知面積になり、センサー設置数は従来比2分の1個以下と少ない台数での設置が可能になったため、顧客側の設置費用低減のメリットになる。

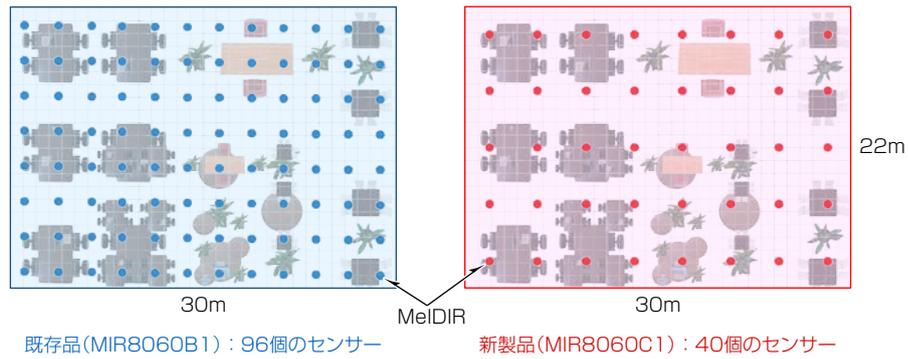


図8-センサー設置数の比較

4.2 ユーザーサポートツール

MeIDIRは発売開始当初から、顧客による評価及び製品開発を支援するユーザーサポートツールを充実化し、顧客サポート体制を構築してきた。新たに発売したMIR8060C1も同様に、発売と同時に各種ユーザーサポートツールを提供する。

新製品の評価用デモキット(図9)、ハードウェアやソフトウェアの開発に必要なリファレンスデザイン等の情報を提供する。また、人検知や姿勢検知のアルゴリズムを作成するためのAIモデル作成ツールを提供する。図10はトイレでの姿勢検知アルゴリズムの例であり、トイレ内での姿勢を検出し、転倒などの異常な姿勢を検知することを示す。

各種ユーザーサポートツールの提供によって、顧客の製品開発期間短縮に貢献する。



図9-評価用デモキット(78×54×13(mm))

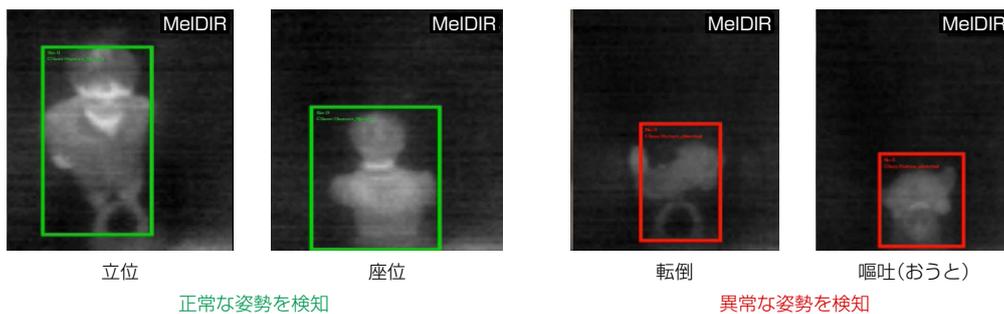


図10-トイレでの姿勢検知アルゴリズムの例

5. む す び

赤外線センサーMeIDIRの新製品として、100°×73°の広画角化を実現したMIR8060C1を開発した。従来製品のMIR8060B1に対して、物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持しつつ、一つの赤外線センサーで検出できる範囲が広がった。製品ラインアップが拡充したことで、高齢者見守りや防犯、ビルや商業施設などの空調機器制御、人数カウントソリューション、体表面温度測定などの多様な用途に対して、よりカスタマイズされた製品の選択肢が可能になった。MeIDIRの開発を通して、人々がより安心・安全で快適な暮らしの実現に貢献していく。