

赤外線センサ“MeIDIRシリーズ” を用いた熱画像処理技術

三輪祥太郎*
Shotaro Miwa

Thermal Image Processing Technologies Using Infrared Sensor
"MeIDIR Series"

要 旨

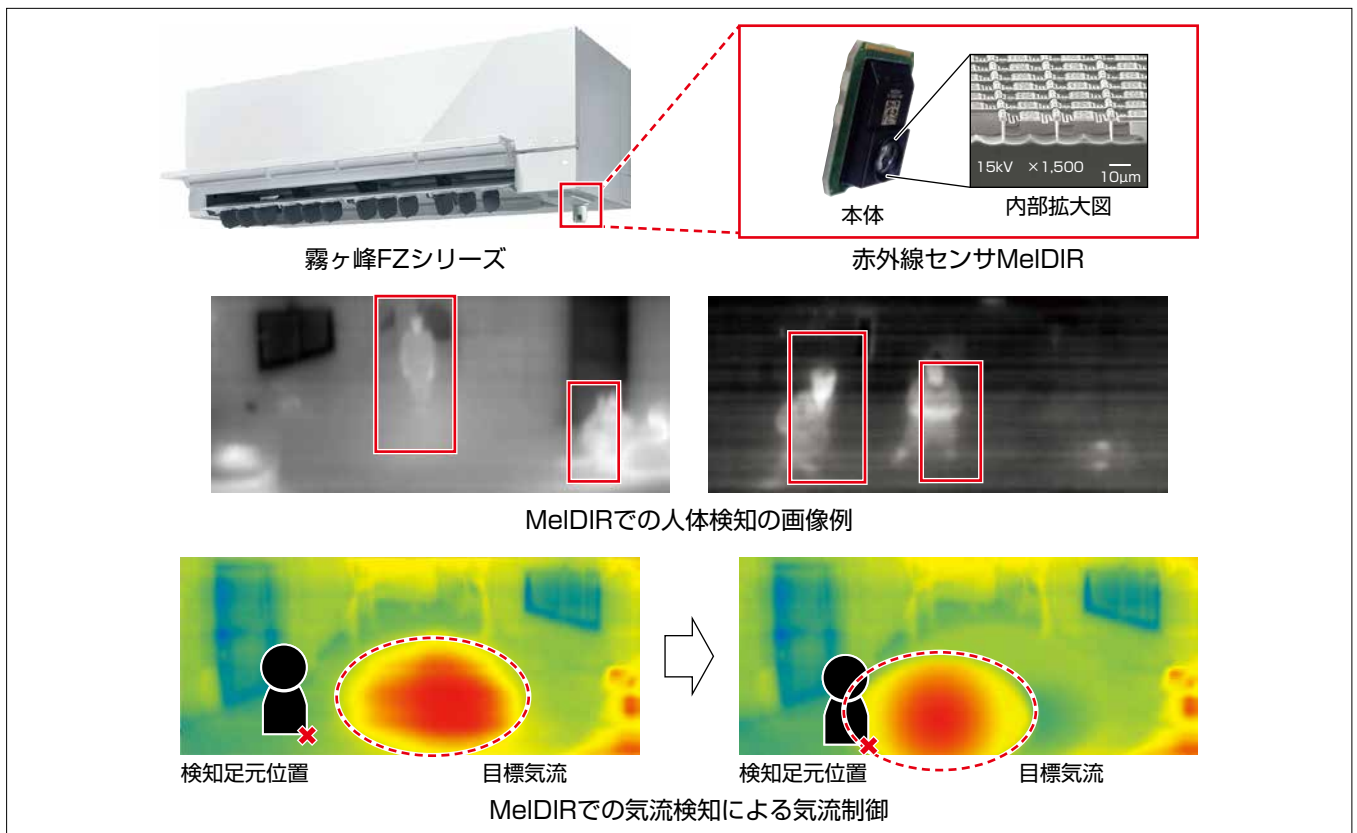
近年非冷却赤外線センサの市場は、産業用途に加えて、民生用途の拡大が予想されている。

民生市場で三菱電機は、他社に先駆けて^(注1)安価なサーモパイルを用いた赤外線センサをルームエアコン向けに投入した。人体の表面温度を計測した人の温冷感や、床、壁のふく射温度を計測した人の体感温度を推定し、人の状態に合わせた快適性を実現するとともに、空調制御を最適化することで省エネルギー性の実現を行ってきた。一方、近年では、リビングの多目的利用化等に対応した、更に高解像度のセンサを用いた熱画像認識の高度化が求められている。しかし、産業用途で用いられる高解像度かつ高感度なボロメータはコストが高く民生用途への転用が困難である。

また、サーモパイルを多素子(高解像度)化した場合、コストの上昇に加えて、センササイズの大型化で従来のセンサスペースに収まらないという問題が起きる。

これに対して、当社は低価格かつ高感度という特長を持つ独自のSOI(Silicon On Insulator)構造のサーマルダイオード方式を用いた高精度赤外線センサ“MeIDIRシリーズ”(以下“MeIDIR”という。)を開発した。MeIDIRは、従来のサーモパイル型比で、素子数は80倍、感度は2.5倍を実現している。今回、MeIDIRを用いた熱画像処理技術として、人体検知技術の高度化と、従来は不可能であった、気流の到達範囲を正確に把握する気流検知技術等について述べる。

(注1) 1999年12月現在、当社調べ



高精度赤外線センサ“MeIDIR”を搭載したルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”

当社独自のサーマルダイオード方式を用いて、低コスト、小サイズと高精度を実現した赤外線センサMeIDIRは当社ルームエアコン霧ヶ峰FZシリーズに搭載している。従来のサーモパイル方式のセンサと比較して、大幅な高解像度化・高感度化を実現し、人体検知、気流検知等の新機能を実現した。

1. ま え が き

近年、非冷却の赤外線センサの市場が拡大している。赤外線センサは熱を捉えるという可視画像にはない特長を持ち、自動運転や監視カメラ等の産業用途でその特長を發揮してきたが、今後は、家電等民生向けの市場の拡大が期待されている。ただし、産業用途に用いられるような、ボロメータを用いた赤外線センサは、高性能ではあるものの、高価格であり、民生用途にそのまま流用することは困難である。

一方、民生用途では、室内の温度を制御するルームエアコン向けに、赤外線センサが重要な役割を担ってきた。家電ではセンサに対するコスト要求が厳しいため、赤外線センサとしては安価なサーモパイルがこれまで用いられてきた。このような中で、近年ライフスタイルの変化などによって、リビングが多用途で使われる多機能空間へと変化し、ユーザーの意図したところに気流が届かないなどの事例が起きている。このような事例を解決するには、より高度な熱画像認識が必要であり、赤外線センサの更なる高解像度化、高感度化が必要であるが、従来のサーモパイルの場合、コストの上昇及びセンササイズの増大によって、その実現が困難であるという課題があった。これに対して、当社は、2019年に家電搭載が可能な低価格でありながら、従来のサーモパイルと比較して、高解像度・高感度という大幅な性能向上を実現した赤外線センサMeIDIRを開発した。本稿では、当社のルームエアコン向けの熱画像処理技術を中心に、従来のサーモパイルを用いた赤外線センサを用いた熱画像処理技術から、赤外線センサMeIDIRを用いた熱画像処理技術について述べる。

2. サーモパイルを用いた赤外線センサ

当社のルームエアコンでは従来サーモパイルを用いた赤外線センサを用いて室内の熱画像を取得してきた。赤外線センサを用いた温度測定として、物体からの赤外照射を赤外線吸収体に受けて、その温度上昇を温度センサ部で測定して電気信号として出力することで、離れた位置の温度を計測する(図1)。サーモパイルを用いた赤外線センサは、温度センサに異種半導体・金属を用いてその接点での熱起電力の発生を計測することで温度測定を行う。

当社のルームエアコンに搭載されているサーモパイルを用いた赤外線センサは、画素数の増加等の進化を重ねて、最新のセンサでは、32画素が垂直方向に並んだアレー型のセンサになっている。このアレー型のセンサを水平方向に走査して、室内の熱画像を取得する。

取得した熱画像を用いて、人体の表面温度を計測することで、人の温冷感の推定、また、床と壁のふく射温度を計測することで人の体感温度を推定し、人の状態に合わせた快適性の実現と、空調制御を最適化することで省エネルギー性を実現してきた。

サーモパイルを用いた赤外線センサでは、人体検知を行う場合、背景差分を前処理にした処理を行っている。図2に人体検知の例を示す。まず、人がいると思われる人体検知枠を背景差分で抽出し(図2(a))、次に、背景温度モデルと人の体温モデル等を用いた人体検知技術によって人体領域を検知する(図2(b))。

3. 高精度赤外線センサMeIDIR

一般的に高解像度・高感度が要求される産業用途では、ボロメータを用いた赤外線センサが用いられる。ボロメータを用いた場合、図1の温度センサ部に酸化バナジウムなどの特殊な抵抗体を用いており、抵抗体の成膜に特殊なプロセスが必要で、複雑な製造技術が必要である。このため、

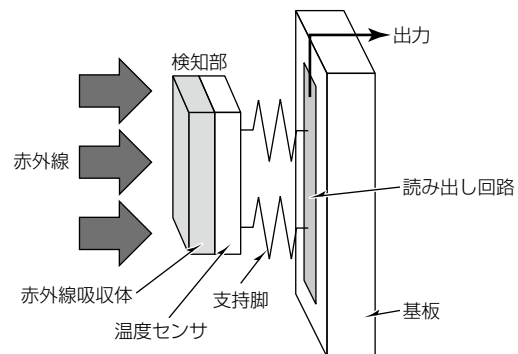
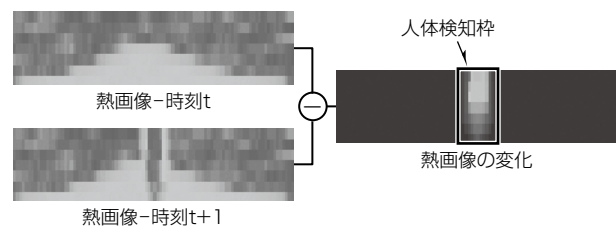
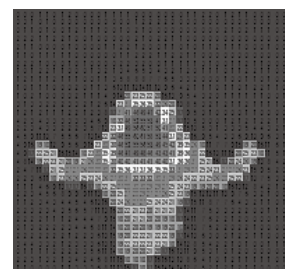


図1. 赤外線センサの温度測定モデル



(a) 人体検知枠の抽出



(b) 人体領域の検知

図2. 人体検知

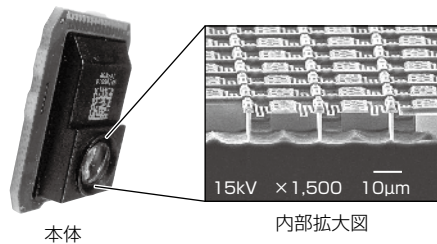


図3. サーマルダイオード方式の赤外線センサMeIDIR

低価格化が困難である。

一方、当社独自のセンサとして、比較的安価でかつ高画素・高感度が見込めるSOI構造のサーマルダイオード方式を用いた赤外線センサMeIDIRを開発した(図3)。サーマルダイオードを用いた赤外線センサの場合、図1の温度センサとして単結晶シリコンダイオードを用い、温度変化による電流電圧の特性変化を計測することで温度を測定する。SOI構造のサーマルダイオード方式を用いた赤外線センサの特長として、製造時にシリコンLSIの製造プロセスを活用することが可能で、低雑音の読み出し回路とともに一括形成することで、比較的low価格に製造できる。また、単結晶のシリコンダイオードを用いることで、均一性に優れた感度ばらつきの少ないセンサの実現が可能である。

4. MeIDIRを用いた熱画像処理技術

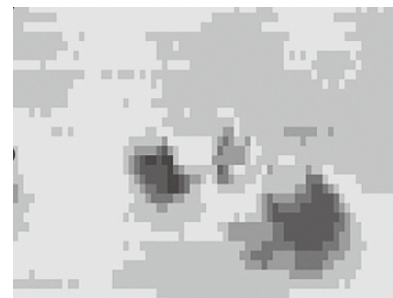
赤外線センサの特長は熱を捉えることであり、当社のルームエアコンでもサーモパイルを用いた赤外線センサを用いて人体検知や窓検知等を行い、快適性と省エネルギー性の実現に用いてきた。しかし、多用途で使われる多機能空間へと変化しつつあるリビングでは、より広い空間、より多様な姿勢の人物、また家具等の障害物にロバストな熱画像処理技術が必要であった。このような高度な熱画像処理を行うためには、センサの高解像度化が必要であるが、従来のサーモパイルを用いた赤外線センサでは、高解像度化のためにはセンサの大型化が避けられずルームエアコンへの搭載が困難であった。

2019年に製品化されたMeIDIRは、家電への搭載が可能な低価格でありながら、従来のサーモパイルを用いた赤外線センサと比較して、高解像度・高感度という大幅な性能向上を実現している。さらに、MeIDIRを用いた赤外線センサは、そのセンササイズが従来のサーモパイルを用いた赤外線センサの約半分という大幅な小型化を実現しており、ルームエアコンへの搭載が容易という特長がある。

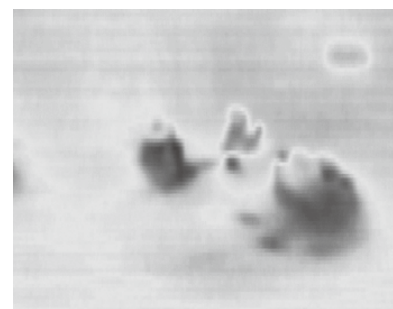
サーモパイルを用いた赤外線センサとMeIDIRとを比較すると、従来のサーモパイル型では、素子数が 1×32 素子であったのに対して、MeIDIRでは素子数が 80×32 と大きく向上している。また、感度も2.5倍に向上している。

図4に姿勢や場所の異なる人を対象に、従来のサーモパイルで取得した熱画像とMeIDIRで取得した熱画像を示す。MeIDIRを用いることで人に関するより詳細な熱画像が得られていることが分かる。

従来のサーモパイルでは背景差分を前処理として行ってきたが、MeIDIRを用いて詳細な熱画像が得られることで、背景差分を用いることなく画像一枚からの物体検知が可能になった。当社はこれまで可視画像からの顔検知技術として、高速性と逆光等対象が視認性が悪い状態でも検知が可能なロバスト性とを備えた技術を開発し、監視カメラ等に搭載してきた(図5)。今回、このような可視画像向けの機械学習を用いた顔検知技術⁽¹⁾をMeIDIRの熱画像に適用した結果を示す(図6, 図7)。当社のルームエアコンでは、広い室内をセンシングするために、まず赤外線センサを水平方向に走査して部屋全体のパノラマ画像を生成する。高精度赤外線センサMeIDIRを用いることで従来は困難であったパノラマ画像一枚からの高精度物体検知が可能になり、多様化するリビングに対応して人の快適性と省エネルギー性の更なる改善が可能になった。



(a) サーモパイル



(b) MeIDIR

図4. サーモパイルとMeIDIRによる熱画像の比較

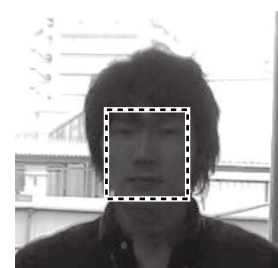
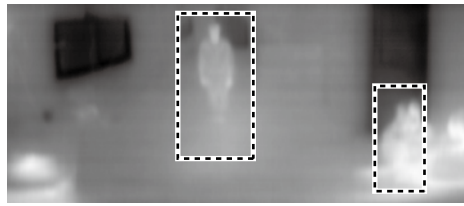
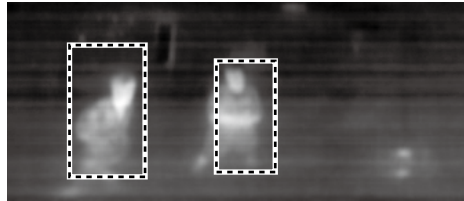


図5. 顔検知技術

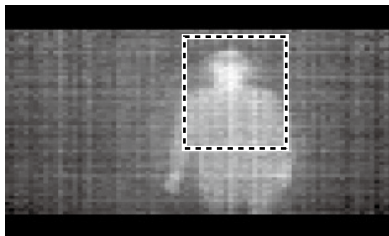


(a) 熱画像例 1

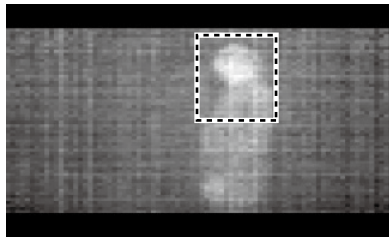


(b) 熱画像例 2

図 6. MeIDIRでの人体検知



(a) 熱動画 1



(b) 熱動画 2

図 7. 固定センサとして用いたMeIDIRの近距離人体検知

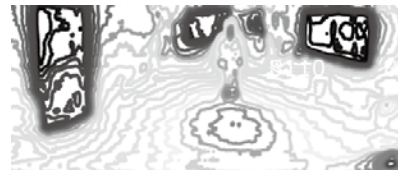
また、最新のMeIDIRは80×60の解像度を持ち固定センサとしての利用が可能であり、図7にMeIDIRを固定センサとして使用した際の近距離人体検知結果を示す。画素数の制約で遠方の人体は検知が困難であるが、近距離であれば人体検知が可能であることが分かる。

5. 気流検知

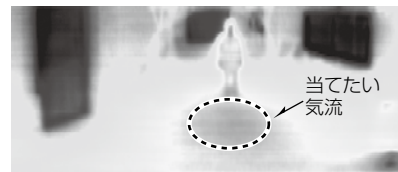
当社は、2019年に高精度赤外線センサMeIDIRを搭載したルームエアコンを製品化した。MeIDIRを用いることで、従来のサーモパイルを用いた赤外線センサと比較して、物体検出技術の高度化が可能になるが、2019年に発売したルームエアコンでは、従来困難であった気流検知を新機能として実現した。図8に気流検知処理結果を示す。気流検知では、ルームエアコンのフラップ角度や吹き出し温度等の情報を用いて、ユーザーに届けたい温度を持つ気流の検知を可能にする。この気流検知技術によって、ユーザーに



(a) 熱画像



(b) 前処理



(c) 目標気流検知

図 8. MeIDIRでの気流検知

所望の気流が届いているかを検知できる。

この気流検知技術によって、従来、家具や窓からの冷気等環境条件によってユーザーの足元に気流が届けられない場合で、気流の状態が分からず抜本的な解決が困難であったが、気流検知によってユーザーの足元に正確に気流を届けることが可能になり、従来よりも大幅な快適性向上を実現した。さらに、吹き出し温度を上げるという解決策を取ることなく、吹き出し温度は変えずに気流の到達位置を変えるという解決策が取れることで、省エネルギー性も実現できている。

6. むすび

当社は他社に先駆けてサーモパイルを用いた熱画像センサをルームエアコンに搭載してきたが、近年ライフスタイルの変化などによって、リビングが多用途で使われる多機能空間へと変化し、人や空間のより高度な熱画像認識が求められる中で、当社独自の高精度・高感度なMeIDIRを用いることで実現した熱画像処理技術について述べた。従来のサーモパイルと比較して、高精度の人物検知と、気流検知が実現できることを示し、多機能化する空間でも快適性と省エネルギー性の向上が実現できることを示した。今後は、更なる熱画像処理技術の開発を進めて、当社独自の低価格の高精度熱画像センサを用いた新機能開発を行っていく。

参考文献

- (1) Miwa, S., et al.: Context-based robust face detection algorithm for surveillance cameras, IEEJ, 7, No. 6 (2012)