

## 赤外線アレイセンサ Grid-EYE を用いた体温の遠隔検出

小澤 芽生\*<sup>1</sup> 姜 有宣\*<sup>2</sup>

## Remote Detection of Body Temperature Using Infrared Array Sensor Grid-EYE

Mebae Ozawa\*<sup>1</sup> Yousun Kang\*<sup>2</sup>

**Abstract** Recently physical and health conditions in everyday life have very important significance for COVID-19. Temperature is an important indicator that can reflect the pathophysiological state of the human body. The far-infrared thermal image can represent human body surface temperature. This paper presents remote detection of body temperature using an infrared array sensor, Grid-EYE. Object detection was implemented with a Convolutional Neural Network(CNN) based on the You Only Look Once (YOLO) model. Using Grid-EYE, we can notice fever of humans, dogs, and cats. The experiment results showed that the proposed system is utilized in indoor remote monitoring system to detect heat stroke in a room

## 1. はじめに

地球温暖化やヒートアイランド現象、人口高齢化を背景に、一般環境における熱ストレスが増大し、最近では日常生活においても発生が増加していると指摘されており、社会問題となっている。ほとんどの場合自分で体調がおかしいことに気が付くが、温度に対する感覚が弱くなる高齢者や体調を言葉で伝えることのできないペットは体調の管理が難しい。

このような、離れて暮らす高齢者やお留守番をしているペットの健康状態確認の方法として、見守りシステムというものが提案されている。見守りとは高齢者などが安全な状態にあるかを確認することである。見守りシステムは、人によるボランティアなどの定期的な訪問によるものと ICT(情報通信技術)を用いた防犯カメラやセンサによる移動検知するものなどがある。上記に述べた例では人の訪問や機器の操作などが確認の手段となっているため、リアルタイムで情報を取得することは難しい。また、カメラを使うことで常に監視されている状態でありプライバシーの侵害にもなる。

人検知技術の中で、赤外線アレイセンサを用いたシステムは、近年サーモパイルアレイの低価格化が進んだため、業務用建物での普及が期待されている。また、表面温度分布を計測できる特徴があるため、人検知だけでなく室内負荷の把握や在室者の温冷感推定などへの活用も期待できる。

また、熱中症の搬送数と死亡数は圧倒的に高齢者が多く、高齢者は老化に伴う皮膚血流量、単一汗腺あたりの汗出力、活動汗腺数の順に低下することで暑い寒いなどの感覚が弱くなり、成人よりも熱中症にかかるリスクが大きくなっている。

ペットの熱中症は飼い主でも知らない人が多く熱中症に対しての認識が少ない。ペットの中でも人気の犬猫は汗腺が肉球以外になく、人間よりも暑さに弱く熱中症になりやすい。また、犬猫は人間に比べて体温が高く熱中症にかかった時の体温も違うため、人間と同じ熱中症の事前検知を使うことはできない。

熱中症にかかった時の状況で一番多いのはペットも人間も家の中にいるときが多く死亡率も高い。そのため本研究では室内を想定した生物ごとの体温・温冷感・位置情報のデータを取り、それぞれの生物にあった数値の熱中症事前検知をすることにより一人でも多くの人、またペットの死亡率や搬送件数を減らすことを目的とする。

## 2. 従来の技術と先行研究

## 2.1 人検知技術

まずは従来の人検知技術について、その技術概要と課題を表1にまとめるとともに、以下に1)から3)に分けて説明する。

## 1) 焦電センサ

焦電センサは赤外線を含む光を検出する素子を使ったセンサで、人の動作による表面温度の熱変化を捉えて人の在/不在を検知することができる。しかし、検知範囲に人がいたとしても動作がない場合には人がいないと誤認してしまうこともあり、ペットに反応しないことがあるという報告も多数見られる。また、検知エリアを通りすぎるだけの人(エリア通過者)と、その場にとどまる人(在室者)の判別も難しい。

\*1 東京工芸大学工学部コンピュータ応用学科 2019 年度卒業生  
2021 年 3 月 24 日 受理

\*2 東京工芸大学工学部コンピュータ応用学科 教授

表1 人検知技術の比較

種別	技術概要			課題
	原理	人の有無	人数検知	
焦電センサ	表面温度の熱変化を捉えて人を検知	○	×	在室者の検知
光学カメラ	静止画を撮影し画像処理で人を検知	○	○	プライバシーの侵害 暗い環境下での検知
アクティブ タグ	在室者が携帯するタグから定期的を送られる ID を受信することで人を検知	○	○	タグ未使用者の検知 電池交換

### 2) 光学カメラ

光学カメラは、静止画を連続的に撮影し過去の画像と比較することで、人の在/不在を検知することができる。

人の細かい動作も検出できエリア通過者と在室者の判別もできる。しかし、個人を認識し行動監視も可能なことからプライバシー上問題が生じる可能性がある。また室内が暗い場合画像では人の判別が難しいため検知精度が下がることも課題である。

### 3) アクティブタグ

在室者がタグを携帯し、そのタグから一定時間間隔で発信する ID を室内に設置してある受信機で受信し、人の在/不在、人数を検知する。固有な ID から個人を特定できる特徴がある。しかし、タグを携帯していない在室者を検知できないことや、タグに電源が必要なため電池交換や充電といった課題がある。

## 2.2 熱中症に対する事前検知システム

### 1) 発汗センサを用いた検知システム

連続測定可能な全身発汗量を測定する発汗センサと、脈拍を測定する脈拍センサにより、その生体情報から熱中症の事前検知を行う。一定発汗量以上で発汗の生体機能が低下し、脈拍の増加する状態を熱中症の予兆として捉えることで、計測情報をスマートフォン等に送信し本人に警告・注意喚起し、管理者にも通報する通信システムである。しかし本研究では発汗機能がない動物も事前検知の対象にしているため、発汗センサを用いた検知システムは使用しない[1]。

### 2) 心拍データを用いた検知システム

リストバンドや下着などの専用ウェアラブル端末で人間の心拍数を計測する。また気温と湿度データはスマートフォンを通じて連携し、クラウドで分析を行う。熱中症の事前検知方法としては、熱ストレス・暑さ指数・作業強度の指標・心拍数を用いて分析し、スマートフォンに熱中症の危険度の警告を促すようになっている。心拍数を使うことでより正確なデータでの事前検知ができるが、専用ウェアラブル端末はコストが高く、動物での検証が出来ないといった課題がある[2]。

## 3. 赤外線アレイセンサ Grid-EYE

### 3.1 人検知技術 Grid-EYE

赤外線アレイセンサは、パナソニック株式会社から発売された人の表面温度と周囲温度との温度差から人の放熱量を算出することで、人の温度快適性を見分けることができる高精度な温冷感センシングソリューションである。

このセンサは主に空調制御、人検知、白物家電など様々な用途として使われている。表2にアレイセンサの性能を示す。図1にアレイセンサの本体の外観を示す。

表2 アレイセンサの性能

画素数	64 (縦8、横8のマトリクス)
サーミスタ 出力温度範囲	-20度~+80度
サーミスタ 出力分解能	0.0625
人検知可能距離	3.6m × 3.6m
基板外形	2cm × 2cm
視野角	90度
電源電圧	3.3 V. DC ± 0.3 V. DC
フレームレート	10fps

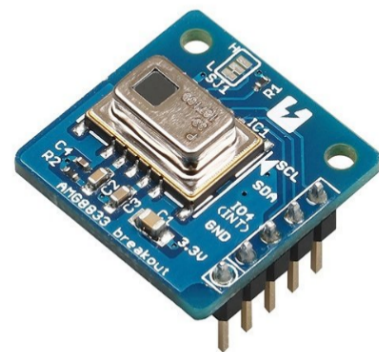


図1 アレイセンサの本体の外観

### 3.2 温冷感センシングソリューション

アレイセンサに組み込まれた温冷感推定アルゴリズムで、放熱量算出によって人の温冷感を見分けることができる。従来は、赤外線センサによる対象物(人)の位置検知や部屋の温度分布から、対象物(人)の温度を推定し制御を行っており、人の表面温度は検知するが人によって違う暑い寒いと感じる感覚に対応していなかった。アレイセンサに使われている Grid-EYE では人の表面温度と周囲温度との温度差から人の放熱量を算出することで、人の暑い寒いなどの感覚を見分けることが可能である。

人と環境の熱交換モデルにおいて、アレイセンサにより表面温度  $T_{cl}$  と壁面温度  $T_r$  を求めることで  $R$ (放射による放熱)と  $C$ (対流による放熱)を求めることができ、放熱量と実際に感じている温度の差を求めることが出来るようになる。放射による放熱を式(1)、対流による放熱を式(2)で表す。

( $h_r$  : 放射熱伝達率     $h_c$  : 対流熱伝達率)  
 $R = h_r \times (T_{cl} - T_r)$  : 放射による放熱.....式(1)  
 $C = h_c \times (T_{cl} - T_a)$  : 対流による放熱.....式(2)

温冷感推定式を式(3)で表す。

$$R + C = (h_r + h_c) \times (T_{cl} - T_r) \quad \text{.....式(3)}$$

### 3.3 高解像度化アルゴリズム

赤外線アレイセンサが 8bit の低解像度である中、非接触で詳細な温度分布計測、物体検知を実現させるために超解像処理を行う。解像度化アルゴリズムは画像が劣化する過程をモデル化し、その逆の過程をたどらせることで、劣化した画像を劣化前の画像に近づけようという技術が超解像である。

劣化過程として、高解像度画像を劣化過程で示して Grid-EYE のレンズで集光する時点でボケ(Blur)が発生する。さらに劣化過程の解像度 8 ピクセルでサンプリングしてしまうことで解像度が劣化し、特定時のノイズという過程を行うことで 低解像度までを劣化モデルとしている。

次に復元過程として、復元過程の Grid-EYE を傾け、ピクセルとピクセルの間の位置を測定(サブピクセルサンプリング)することで解像度増加(モザイク処理)を行い、ボケとノイズの逆フィルタ処理をすることで、輪郭のはっきりとした画像を生成(信号処理)という処理を施すことが、超解像処理である。

## 4. 物体検出を用いた体温検出

### 4.1 深層学習を用いた物体検出

YOLO ( You Only Look Once ) は物体検出アルゴリズムの 1 つであり、リアルタイムで検出することができる[3]。従来の物体検出では画像の領域推定と分類が分断されており、処理が複雑であり処理時間も長くなりがちであった。一方 YOLO では一度の特徴抽出によって領域推定と

分類を行っており、従来の方式よりも処理速度は速く、精度も高いため YOLO を使用することにした。YOLOv3 は 2018 年 3 月に公開され、YOLO や YOLOv2 に比べ検出と識別を同時に行うことで処理時間の遅延解消をし、認識と学習の精度が高い。本研究では YOLOv3 を用いて物体検出を行った。

アレイセンサの出力サイズが  $8 \times 8$  であるため、YOLO の出力も  $8 \times 8$  にする必要がある。使用した WEB カメラのサイズが X 軸 640, Y 軸 480 なので、8 で割った数値 X 軸 80, Y 軸 60 サイズで分割を行う。8 で割った画像が図 2 である。

表面温度を出力するために生物の座標が必要になる。YOLO で生物の座標を出し、縦横を 2 で割った数字を生物の中心点とする。座標中心点を示した画像が図 3 である。

### 4.2 物体の体温検出と回路

アレイセンサを動かすため回路の作成を行った。図 4 に実際の回路設計後の写真を示す。Arduino からシリアルポートへ出力を行い、サーモスタとピクセルの温度の読み出しを 1 秒ごとに出した。

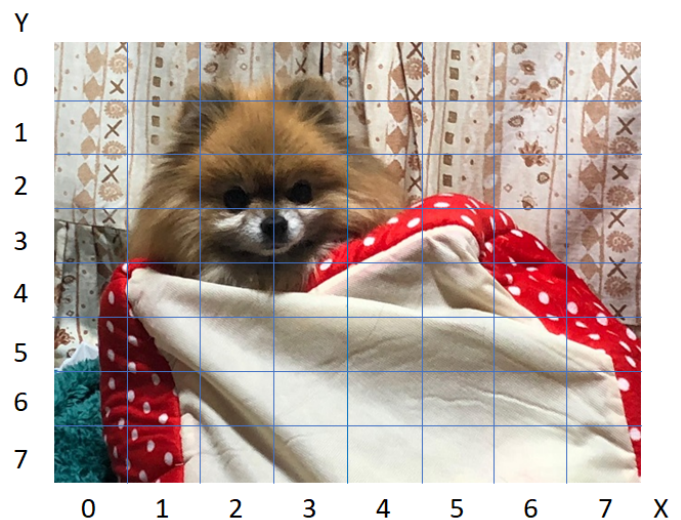


図 2 8×8 に分割した入力画像

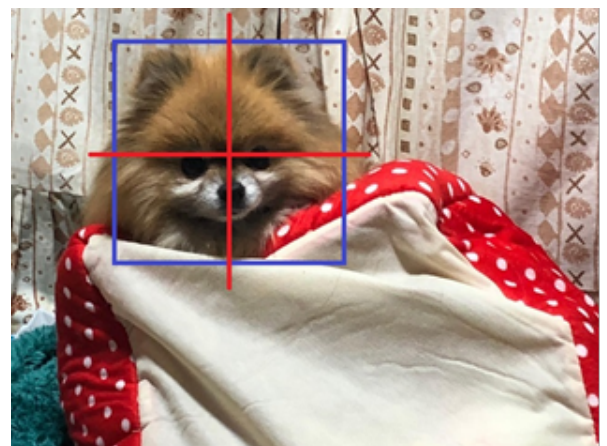


図 3 検出した物体の座標中心点を示した画像

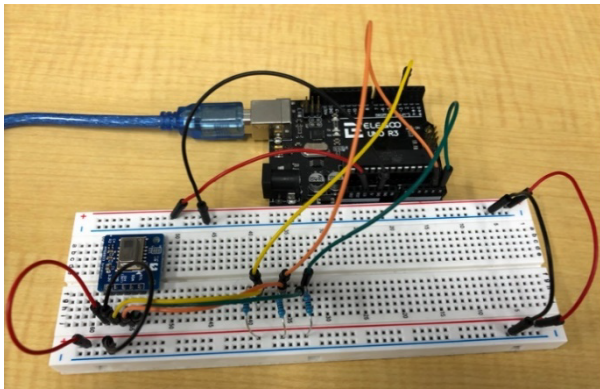


図4 アレイセンサ回路写真

温度の接続のため Arduino の温度データと YOLOv3 の接続を行った. Arduino の温度データと YOLOv3 の接続を行った. Arduino と YOLOv3 のソフトウェア同士の接続が出来なかったため、プログラム実行時に Arduino で出力したシリアルデータを配列に変換し YOLOv3 に出力した. また 8 分割した座標中心点を出力し表面温度として配列の下に表示した. 図3を使用した温度出力と表面温度を表示した結果が図5である. この時、座標中心点の数値が[[2, 2]]と出ているので左上から XY 座標 0, 1, 2 を数えた 38.50 が表面温度となる.

```
[[339.6315753808594, 432.9242706298828, 'dog']]
[[2, 2]]
b'18.25 19.00 18.75 20.25 19.50 20.25 19.75 20.75 ¥r¥n'
b'18.75 19.00 37.25 35.50 19.25 20.00 19.50 19.75 ¥r¥n'
b'18.75 18.25 38.50 38.50 19.75 19.25 19.00 19.25 ¥r¥n'
b'17.75 18.00 38.25 38.25 20.25 19.00 19.00 19.25 ¥r¥n'
b'18.00 18.75 26.75 27.25 19.00 19.75 19.00 19.75 ¥r¥n'
b'19.25 19.00 19.00 19.00 19.50 19.00 20.00 19.75 ¥r¥n'
b'21.25 20.75 18.75 19.50 19.50 19.25 19.50 20.00 ¥r¥n'
b'20.00 20.75 18.25 19.00 19.25 18.25 19.25 19.50 ¥r¥n'
表面温度(体温):38.50°C
```

図5 温度出力と表面温度出力

### 4.3 暑さ指数 WBGT

暑さ指数 [WBGT (湿球黒球温度): Wet Bulb Globe Temperature] は、熱中症を予防する目的として 1954 年にアメリカで提案された指標である. WBGT は人体と外気との熱のやりとりに着目した指数で、人体の熱収支に与える影響の大きい ①湿度、②黒球温度の 2 つを取り入れた指標である[4]. 本研究では黒球温度は専門の機械がないと測れなかったため、計算式を使いおおよその黒球温度および WBGT を出した.

WBGT の計算式を式(4)、黒球温度の計算を含めた WBGT の計算式を式(5)に示す.

$$(Tw:湿度, Tc:気温) \\ WBGT = (0.7 \times Tw) + (0.3 \times Tc) \dots\dots\dots式(4)$$

$$(Tw:湿度, Tc:気温, Ts:風速) \\ WBGT = 0.735 \times Tc + 0.0374 \times Tw + 0.00292 \times Tc \times Tw + 7.619 \times 1 - 4.577 \times 1 - 0.0572 \times Ts - 4.064 \dots\dots\dots式(5)$$

本研究では人間と犬で実験を行った. 熱中症の条件と生物データを以下に人間と犬に分けて説明する.

#### 1) 人間

人間の平均体温は 36.2 度~37.2 度となっており、熱中症時の体温は全体の平均から 38.5 度以上であることが分かっている. また熱中症に注意しなければならない気温は 28 度となっており、近年の日本では気温が高い日が多くなっていることもあるため注意しなければならない. これらの平均体温・熱中症時の体温・注意気温を前提に置き計算を行う. 熱中症の判定方法を表3で示す.

#### 2) 犬

犬の平均体温は 37.5 度~39.2 度となっており、熱中症時の体温は全体の平均から 40 度以上であることが分かっている. また熱中症に注意しなければならない気温は 25 度となっており、汗腺がなく汗をかかないため体温調節が苦手な動物は人間より気温に注意しなければならない. これらの平均体温・熱中症時の体温・注意気温を前提に置き計算を行う. 熱中症の判定方法を表4で示す.

また、他の生物であっても熱中症の条件とともに、平均体温・熱中症にかかった時の体温が分かれば熱中症を事前検知することができる.

表3 熱中症の判定方法 (人間)

WBGT	体温	表示内容
25 以下	38 以下	熱中症になる危険性は少ない
	38 以上	風邪
25~28	38 以下	注意
	38 以上	風邪の可能性あり
28~31		嚴重警戒
31 以上		熱中症になる危険性が高い

表4 熱中症の判定方法 (犬)

WBGT	体温	表示内容
28 以下	39 以下	熱中症になる危険性は少ない
	39 以上	風邪
28~31	39 以下	注意
	39 以上	風邪の可能性あり
31~34		嚴重警戒
34 以上		熱中症になる危険性が高い

## 5. 実験結果

人間と犬の熱中症事前検知の実験と表示を行い、気温や体温が一目で分かるようにプログラム実行時に温度を色で分けた画像を出力し表示したので次に詳しく述べる.

### 5.1 人間の体温検出

図 6 は人間の体温を検出しモニターに表示した結果である。上から生物名・座標[2,4]・全体の温度・表面温度・気温・湿度・WBGT・実際に感じている温度の差(温冷感の差)・総合して出した熱中症の危険性を出力した。この時、体温が 36.80℃で平熱であったことからアレイセンサが正常に作動していることが分かる。また WBGT が 19.65 で気温・湿度・体温が低かったため熱中症になる危険性は少ないと判断された。



図 6 人間の体温の表示結果

図 7 は温度を色で分けた結果画像である。温かいほど赤、寒いほど青になるように画像出力を行った。



図 7 温度比較画像 (人間)

### 5.2 犬の体温検出

図 8 は犬の体温を検出しモニターに表示した結果である。上から生物名・座標[2,2]・全体の温度・表面温度・気温・湿度・WBGT・実際に感じている温度の差(温冷感の差)・総合して出した熱中症の危険性を出力した。この時、体温が 38.50℃で犬の平熱であったことからアレイセンサが正常に作動していることが分かる。また WBGT が 21.76 で気温・湿度・体温が低かったため熱中症になる危険性は少ないと判断された。図 9 は温度を色で分けた結果画像である。温かいほど赤、寒いほど青になるように画像出力を行った。

## 5. 結論

本研究では、生物ごとの体温を検出し熱中症を事前に

検知するシステムを開発した。YOLOv3 から得られる物体の情報と座標特定を行うことで生物の種類を分け、赤外線アレイセンサで温度情報の取得を行い、それぞれの情報を使い熱中症事前検知が可能になった。また温冷感の推定を同時に行ったが、気温と実際に感じている温度の差はほとんど変わらなかった。

今後の課題として、子供・高齢者など同じ生物でも年齢に分けることでより正確な熱中症の事前検知を行うことや、温度比較で出した画像に気温・体温・熱中症検知結果の情報を一目見て分かるように表示するなど、より具体的にすることが挙げられる。



図 8 犬の体温の表示結果

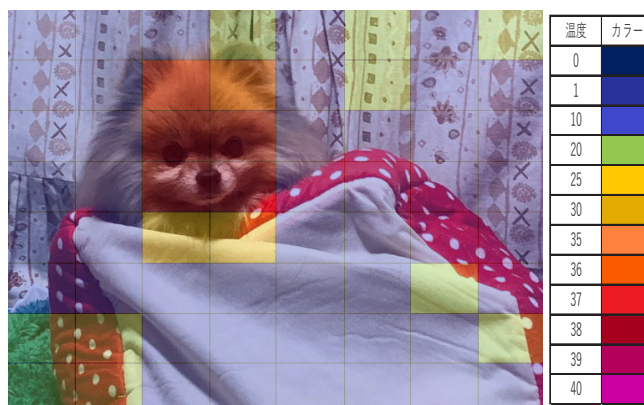


図 9 温度比較画像 (犬)

## 参考文献

- [1] 発汗量と脈拍値の測定から、熱中症を予兆し警告を出すことができる生体計測  
<https://www.chubu.meti.go.jp/interface/php/chubu/kikai/sapoin/index.php/program/detail/7375>
- [2] 熱中症対策に有効な IOT サービス  
<https://www.aspicjapan.org/asu/article/150>
- [3] R. Collobert, J. Weston, "A Unified Architecture for Natural Language Processing: Deep Neural Networks with Multitask Learning", Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning, ICML '08, New York, pp. 160–167, 2008 doi:10.1145/1390156.1390177. ISBN 978-1-60558-205-4.
- [4] 環境省 熱中症予防情報サイト  
<http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>