

色検知による警告システムの開発と運用

渋谷真之[#]

核融合科学研究所 技術部

概要

管理区域の退出ゲートに USB カメラと PC を設置し、管理区域内作業着を着用したまま退出しようとした場合に色で検知して警告するシステムを開発した。その警告システムの内容と実際の運用状況について報告する。

1. 背景

核融合科学研究所の大型ヘリカル実験棟には管理区域が設定されている。放射性物質による汚染拡大を防止するために、管理区域内では専用の作業着を着用する決まりとなっている。

しかし、うっかり作業着を着用したまま管理区域から退出してしまう事例がたまにあり、その度に退出してしまったエリアをサーベイメータで放射線測定していた。そのため、そのようなうっかりミスを起こさないような仕組みを作る必要があった。

2. 管理区域の入退管理

管理区域への通常の入出口は入退管理室1か所のみである。入退ゲートは個人線量計に貼られた QR コードを読ませることで開閉し、これにより人の出入りを管理している。退出時にはハンドフットクロスモニターで汚染検査を行い、問題なければ入退ゲートより退出できる仕組みとなっているが、管理区域内作業着の着用の有無までは管理できない。



図 1. 管理区域内作業着

管理区域内作業着には、主に真空関連作業や床に膝をつくことがあるときに着用するつなぎの作業服と、軽作業を行うときに着用するジャンパーの作業着があり、どちらかを着用して作業を行う。ジャンパーは作業者を一目で識別できるように、赤・緑・黄色の派手な色が使用されている。また、管理区域内専用

のヘルメットと黄色の安全靴も着用する。このうち、うっかり管理区域からの持ち出しミスが発生していたのは軽作業用のジャンパーと安全靴であった。

入退ゲート手前に鏡を設置し自分の姿を確認するようにしていたが、それでも持ち出しミスは発生していた。持ち出される対象物は赤・緑・黄色の派手な色であることから、入退ゲート手前に色を検知して警告するシステムを設置することとした。

3. 警告システムの構成

3.1 設置場所

入退ゲート手前の管理区域境界に自動扉が設置されており、作業者は必ず通過するため、そこにシステムを設置することとした。



図 2. 設置場所

検知したい対象物は赤・緑・黄色の作業着および黄色の安全靴の計 4 点である。作業着の黄色と安全靴の黄色はほぼ同じ色合いである。持ち出しミスの状況としては、作業着は着用されたままであるが、安全靴は手に持たれている。作業者はカメラの前で静止するわけではなく通過するだけである。また、およそ通過するエリアは決まっているがバラツキはあり、複数人同時に通過することもある。部屋に窓はなく、24 時間およそ一定の明るさである。

3.2 ハードウェア

ハードウェアとしては、USB カメラおよびノート PC で構成した。USB カメラの画像は常にノート PC のディスプレイに表示されている。対象物を検知す

るとノート PC のスピーカーから警告音が鳴らされる。システムの構成を表1に示す。

表1. 警告システムの構成

USB カメラ	HOZAN L-835 1280×960 最大 30 fps
ノート PC	HP Pavilion 15 Notebook Windows10 Pro Intel Core i5
ソフトウェア	LabVIEW

入退ゲートの管理区域側に設置されている高さ1.5 m 程度の下駄箱の上に USB カメラとノート PC を置き、管理区域境界の自動扉付近を横から撮影できるアングルとした。USB カメラは磁石付き雲台でスチールの下駄箱に固定した。

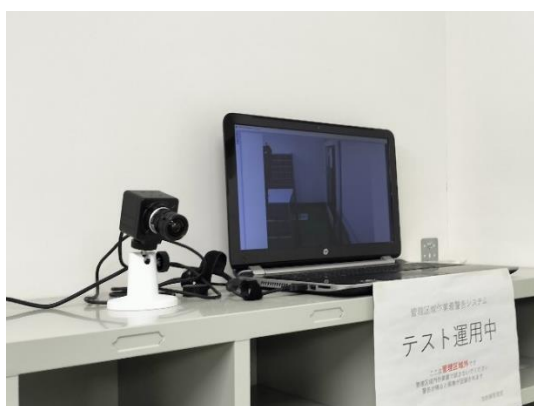


図3. 警告システム

3.3 ソフトウェア

ソフトウェアは LabVIEW で作成した。Vision Development モジュールを使用して USB カメラの画像を取り込み、PC にリアルタイムで表示させている。対象物の検知にもリアルタイム性が求められるため、アルゴリズムとしては動きや形は考慮せず、対象範囲内で登録した色が一定割合以上になるとフラグを立てるというものとした。

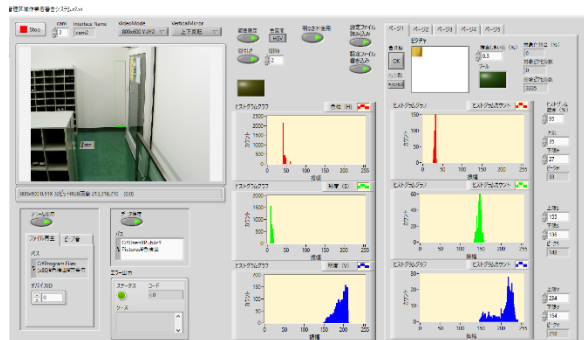


図4. ソフトウェアの設定画面

初めに検知したい対象物を USB カメラで撮影して色の登録を行う。24 ビット RGB 画像の 1667 万色のうちある一定幅の色を登録している。USB カメラで

登録した色を検知すると、警告音を鳴らして静止画を記録するようにした。

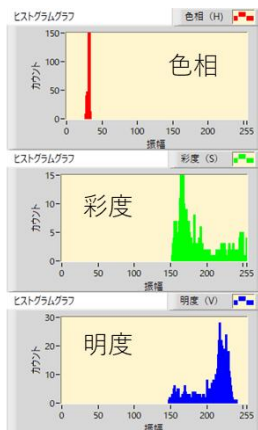
USB カメラの画像を解像度 800×600、フレームレート 20 fps で取り込み、マッチング処理を行っている。全ピクセルにマッチングを行うと 20 fps で処理できないため、実際には対象エリアを限定し間引きを行い、4000 ピクセルほどにすることでリアルタイム処理を行っている。

3.4 色空間

検知したい対象物は赤・緑・黄色の作業着および黄色の安全靴の計 4 点である。作業着の黄色と安全靴の黄色はほぼ同じ色合いである。そのため、USB カメラで赤・緑・黄色の作業着を撮影し、その 3 色を検知対象色として登録した。

登録した色を RGB で扱うと、部屋の明るさにより単色の対象物でも違った色に見えてしまい扱いにくい。そこで、RGB を色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、明度 (Value) の 3 要素で表す HSV 色空間に変換する。色相は部屋の明るさで変化しないため、色相に重きを置くと精度よく検知ができる。

色相、彩度、明度が全て設定範囲内に入るとその色があると検知するが、設定範囲の幅によって検知の感度が変わる。感度を高くしすぎると誤検知も増えるため、実際の設置場所で動作テストを行い、100% 検知するけれどもなるべく誤検知も少なくなるよう調整した。



登録色

色相 27～35
 彩度 154～250
 明度 154～234
 に入る色を検知

登録色のヒストグラム



元の画像

登録色検知

図5. 色の検知例

4. 運用実績

警告システムは2019年後半から運用を開始した。図6に2020年以降の検知件数を示す。

2020年に比べ2021年以降は作業者の意識が向上したのか検知件数は減っているが、30件前後の検知件数がある。警告システムによりこれだけの持ち出しミスを防止することができた。

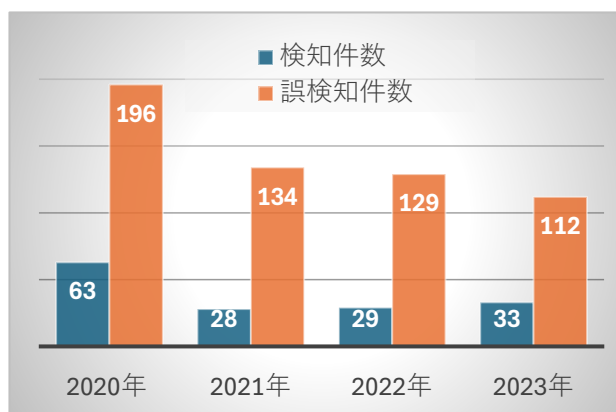


図6. 検知件数

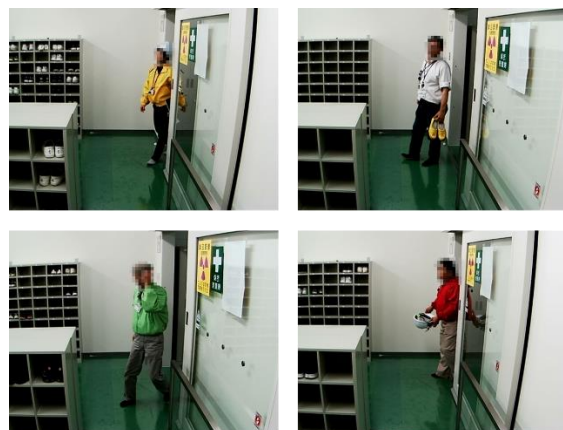


図7. 検知例

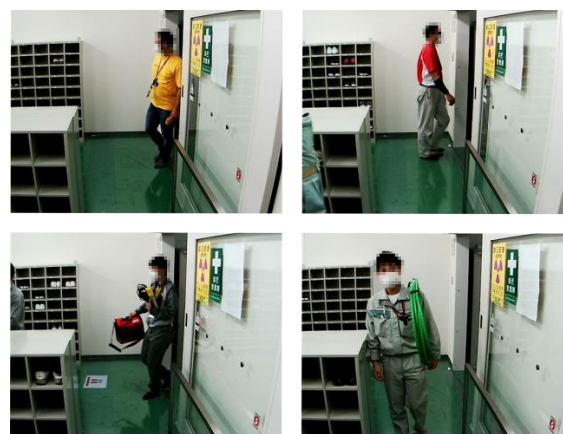


図8. 誤検知例

5. 問題点

5.1 検知漏れ

システム運用開始以降、2件の検知漏れ（検知できずに持ち出しミスが発生）の事例があった。そのうち1件はシステムの不具合により登録された色データが消えてしまっていて検知できなかった。

そのため、それ以降は毎日システムの動作テストを行っている。

5.2 システム停止

警告システムは24時間連続稼働しているが、1ヶ月程度するとPCのメモリの空き領域がなくなって停止してしまうことがある。メモリの開放処理は入れているつもりなのだが原因がわからない。

そのため週に1回PCの再起動を行い、システムが停止しないようにしている。

5.3 誤検知

検知件数に対して4倍程度の誤検知件数が発生している。図7と図8に検知例と誤検知例を示す。

同じような色合いの服や道具に対しても誤検知が起こる。持ち出し時だけでなく持ち込み時にも誤検知は発生する。必ず誤検知が発生する服や道具もあるのだが、感度を下げると検知漏れが発生するため回避できていない。

6. まとめ

色検知による警告システムを作成し、約4年間運用してきた。HSV色空間で色を検知させることにより、ほぼもれなく警告することができている。システムの不具合や誤検知もあるものの、99%持ち出しミスを防止することができた。