

## 研究論文

## 近赤外異物検出装置の光源の長波長化および偏光の利用

市毛将司\*1、鳥居貴佳\*1、近藤温子\*1

## Utilizing of Polarizing Filter and Light Source with Longer Wavelength in NIR System for Detection of Foreign Bodies

Masashi ICHIGE\*1, Takayoshi TORII\*1 and Atsuko KONDO\*1

Food Research Center \*1

既設の NIR イメージング異物検査装置の光源を改変して、近赤外線による包装食品中の異物検出について検討した。新たに追加した反射光用光源を用いることにより食品の厚みに変化がある場合でも、グラビア印刷の不透明包材下の観察が可能であった。長波長化による検出力の向上は確認できなかったが、偏光フィルターを併用することで、表面反射を抑えて包装内部の観察が可能であった。

## 1. はじめに

食品の異物混入対策は消費者の安全の確保の面からはもちろん、社会的な反響の大きさから食品製造企業の存続の上でも軽視できないものになっている。現在、異物混入の相談は食品に関する相談の 5.4%、食品に関する危害情報の 23%を占めている<sup>1)</sup>。食品製造業者は、金属検出器や X線検査機などを導入し検査しているが、異物の材質によっては、検出が困難である。異物混入対策として、異物の材質に依存せずにオンラインで迅速に把握できる、高精度・迅速・安価な検査手法が求められている。

食品中に固形の非金属異物(毛髪、昆虫及びプラスチック等)が混入している場合は、磁気や電磁波を使った検出が難しい。また、食品の多くが不透明であることから可視光による方法にも限界がある。このため、「知の拠点」重点研究プロジェクト I 期「食の安心・安全技術開発プロジェクト」では、NIR(近赤外)イメージング異物検査装置が開発<sup>2)</sup>された。この装置は食品を近赤外透過光により観察するタイプである。一般に可視近赤外域光源の長波長化では散乱の減少と透過率の向上が期待され、偏光の利用では表面反射光の減少が期待される。本研究では、CMOS イメージセンサで利用可能な範囲での光源波長の長波長化並びに反射光用光源及び偏光フィルターを追加することで得られる効果について調べた。

## 2. 実験方法

## 2.1 NIR イメージング装置の主要諸元

重点研究プロジェクトで試作された NIR イメージング異物検査装置はラインスキャンカメラを上部に搭載し、

ベルトコンベア下部から近赤外(850nm)の LED 光を透過させ食品の観察、異物の検出を行う機器である。主要な諸元を以下に示す。

カメラ: 4096 素子×2 ライン CMOS ラインセンサ

出力画像: TIFF 形式 モノクロ 4096 階調

レンズ: AiAF ニッコール 50mm F1.4

光源: 透過用 850nmLED アレイ×2 ライン

搬送速度: 0~20m/min

搬送対象: 固形食品

## 2.2 光源の長波長化および反射光源用 LED アレイの作成及び設置

透過光及び反射光用の光源を 950nm を中心波長とする LED で作成した。なお、従来の波長である 850nm の場合と比較するため、850nm と 950nm の LED を同一線上に互い違いに設置し、ほぼ同一光路で電源操作により切り替えることができたようにした。透過光用として LED をアレイ状に 50 個(各 25 個)配置したものを 2 ライン、反射光用として LED をアレイ状に 30 個(各 15 個)配置したものを 2 ライン作成した。反射光用の光源

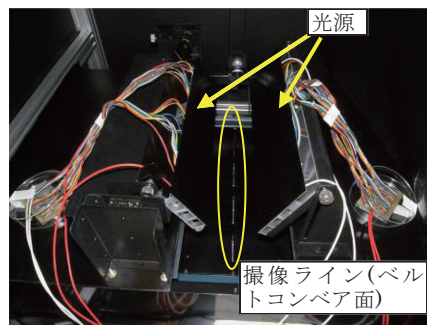


図 1 反射光用光源の設置状況

\*1 食品工業技術センター 保蔵包装技術室

は図1のように本体ベルトコンベア上部に設置した。透過光用の光源はベルトコンベア下部にカメラの光軸からずらして設置した。

### 2.3 偏光フィルターの設定

偏光光源での撮影にはワイヤグリッド偏光フィルター(旭化成株式会社製)を使用した。反射光用光源側はライン方向と平行に振動する光を透過する向きに、カメラレンズの前面にはそれと直交する向きに偏光フィルターを着脱できるように設置した。

### 2.4 テストチャートによる合焦範囲およびコントラストの評価

偏光フィルターの有無について、テストチャートを用いてコントラストを評価した。テストチャートは連続した白黒のラインペアで、ラインペアの幅は0.6mmの細線である。ベルトコンベア面から異なる高さで評価できるよう三角形の治具に貼付し、ベルトコンベアで走査しながら撮影した(図2(a))。また取得したテストチャートの画像(図2(b))をアメリカ国立衛生研究所のImageJ<sup>®</sup>によりラインペアと直交する(コンベア面からの高さが異なる)方向に輝度プロファイルを取得(図2(c))し、明部と暗部の輝度の差をコントラストとした。

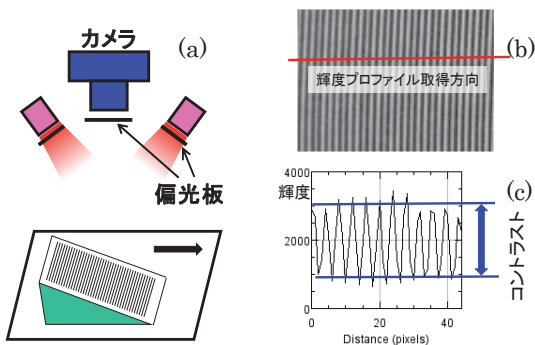


図2 テストチャートの撮影及びコントラストの評価方法

### 2.5 作成した光源によるサンプルの観察

市販のグラビア印刷された包材に包装された食品を用いて観察を行った。模擬異物として被覆銅線及び毛髪を混入させた。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 テストチャートによるコントラスト評価

#### 3.1.1 波長によるピント位置の検証

図3に偏光フィルターを使用せずに絞りF1.4(開放)で反射光用光源で撮影したテストチャートから求めたコントラストを示す。光源波長が850nmと950nmではコントラストが最大となる位置が大きく異なった。850nmではベルトコンベア面から30.0mmの高さで最

もコントラストが高くなったのに対し、950nmでは19.5mmとなった。通常のカメラレンズでは可視光の波長範囲でピント位置が同じになるように設計されているが、近赤外域では保証されないことに留意する必要がある。

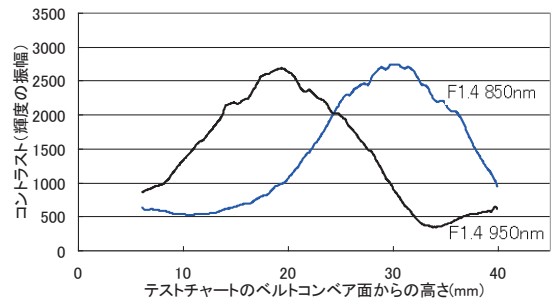


図3 光源波長によるピント位置の変化

#### 3.1.2 レンズの絞り及び偏光フィルターの効果の検証

図4に各光源波長と偏光フィルターの効果を示す。各波長で絞りをF1.4及びF2.8の2通り、偏光フィルターの有無を組み合わせた4条件で検証した。各波長とも絞りF1.4のときに約30mmの高さにピントが合うように

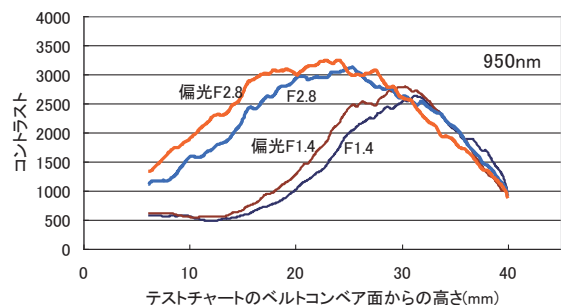
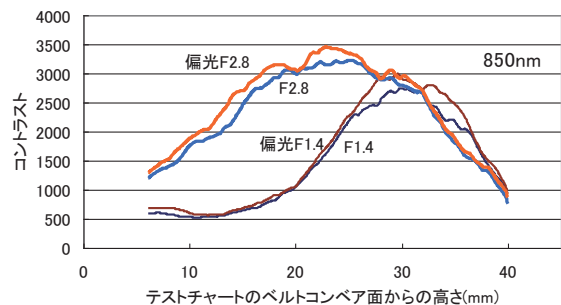


図4 光源波長及び偏光の有無によるコントラスト(上: 850nm、下: 950nm)

レンズのフォーカシングを調整し撮影を行った。いずれの絞り及び波長でも、偏光フィルターを使用した場合にコントラストが5~10%改善した。これは、テストチャートからのでかり等の反射が取り除かれ、黒色部の輪

郭がはっきりしたためと考えられる。

950nm の場合は 850nm より若干コントラストが低下した。これは、結像性能やレンズの反射防止コーティングが可視光を前提に設計されているため、950nm ではレンズ性能が発揮できないためと考えられる。このほか、CMOS センサの特性に由来する可能性もあると考えられる。

レンズの絞りを F1.4 から F2.8 に絞り込んだ場合、いずれの波長及び偏光条件でも最良部のコントラストが 5~10% 上昇すると共に、コントラストが高い範囲(合焦範囲)が拡大した。合焦範囲はカメラから遠ざかる方向に拡大し、最もコントラストが高くなる撮像位置がカメラから 6mm 程度遠くなることも確認できた。

### 3.2 サンプルの観察

図 5 に可視光で観察を行ったサンプル(チーズ加工品)のパッケージを示す。可視光画像では、包材が不透明なため包材表面に印刷されている食品の図柄のみが観察可能である。



図 5 食品サンプルのパッケージ(可視光)

図 6 に近赤外反射光用光源で偏光フィルターを使用せずに撮影したサンプルを示す。以降に示す取得画像はト



図 6 反射光源(偏光フィルターなし)での取得像  
(左: 850nm、右: 950nm)

リミング以外の画像処理を行っていないものである。また、前項の検討から絞りを F2.8 とし、サンプル表面で

コントラストが最良になるようピントを調整し撮影することとした。包材内部の食品の様子が観察できると共に、模擬異物として混入させた被覆銅線(直径 2mm)及び毛髪も観察できた。これは、可視領域では不透明な印刷でも近赤外域では一定の透過性を持つインクが使われていたためと考えられる。

図 7 に、近赤外反射光用光源で偏光フィルターを使用した撮影像を示す。図 6 と比較し、包材表面での反射(てかり)が減少し、てかりがあった部分でも内部観察ができるようになった。これは、偏光フィルターを用いることにより表面反射光を除去し内部散乱光のみを撮影できたためと考えられる。波長の違いによる差は認識できなかった。



図 7 反射光源(偏光フィルターあり)での取得像  
(左: 850nm、右: 950nm)

図 8 に別のサンプル(ロングパスタ)のパッケージを示す。可視光画像では中央部が透明窓でその他は不透明な印刷である。模擬異物として、茶色の被覆銅線(直径 1mm)及び毛髪を包材下に混入した。透明窓部分では毛髪が確認できるが、被覆銅線はパスタの色と近く判別しづらい。



図 8 食品サンプルのパッケージ

透過光光源での撮影(図 9)ではサンプルの厚みが少ない部分で光の強度が強くなり白飛びした状態となった。光の強度が適切な部位では内容物がよく観察できるが厚みが均一でないと困難である。反射光用光源で偏光フィルターを使用しない撮影(図 10)では、パッケージ表面に反射

があるが、その他の部分については、印刷の濃淡が残るものの内部確認が可能であった。特に可視光で観察が困難だった被覆銅線をはっきりと確認することができた。反射光用光源で偏光フィルターを用いたもの(図 11)では、パッケージの反射も抑えられ広い範囲で内容物の確認が可能であった。パッケージ印刷部のフィルム単体の 850nm と 950nm の透過率を比較すると 950nm は 850nm の 1.2~2 倍程度大きな透過率であるが、波長の違いによる差は認識できなかった。

以上から反射光用光源は厚みが一定でなく透過光量がばらつくサンプルに有利である。また、偏光フィルターの利用は表面反射を除去して内部観察するのに有用であった。



図 9 透過光光源(左: 850nm、右: 950nm)

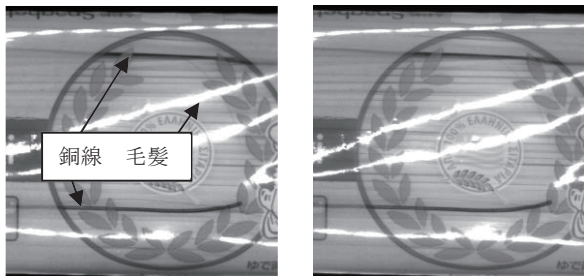


図 10 反射光用光源(偏光フィルターなし)での取得像(左: 850nm、右: 950nm)



図 11 反射光用光源(偏光フィルターあり)での取得像(左: 850nm、右: 950nm)

#### 4. 結び

NIR イメージング装置を用いて光源の長波長化と反射光用光源の追加及び偏光フィルターの設置を行い、以下の結果を得た。

- (1) テストチャートを使用し、偏光フィルターを用いた場合にコントラストが 5~10%程度向上することを確認した。
- (2) 市販食品での観察では、850nm と 950nm の光源波長による撮影画像の差は確認できなかったが、不透明包材の内容物が識別できること及び偏光フィルターにより表面反射が減少することを確認した。
- (3) 透過光による撮影では明暗差が大きくなりすぎるサンプルでも、反射光では適切な明暗差で撮影することができた。

#### 文献

- 1) 知の拠点あいち重点研究プロジェクト研究開発成果集, <http://www.chinokyoten.pref.aichi.jp/project01-03/pdf/40.pdf>, (2019.05.08)
- 2) 国民生活センター: 食品の異物混入に関する相談の概要, (2015)
- 3) National Institutes of Health : ImageJ, <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>, (2019.05.08)