

## 食品検査用分光イメージングシステムの開発

本間 稔規, 岡崎 伸哉, 飯島 俊匡, 橋場 参生, 高橋 裕之  
矢野 喜章\*, 大橋 浩\*

### Development of Hyperspectral Imaging System for Food Inspection

Toshinori HONMA, Shin'ya OKAZAKI, Toshimasa IJIMA, Mitsuo HASHIBA  
Hiroyuki TAKAHASHI, Yoshiaki YANO\*, Hiroshi OHASHI\*

#### 抄 録

加工食品の製造工程において、異物混入に対する迅速・適切な対処は、クレームや事故を未然に防ぐために非常に重要である。そのため、多くの食品加工工場ではX線異物検査装置や金属検出機などが導入され、オンラインで全数検査が行われている。しかし、これらの検査装置を用いても人毛、プラスチック片、虫などの異物は検出が困難であるため、目視検査で対応しているのが現状である。このような検出が困難な異物を検出する技術として、分光イメージングが注目され研究開発が進められている。当场においても、分光イメージングにより人毛などの非金属、低密度の異物検出を目指して研究開発を進めてきている。しかし、これまでの分光イメージング装置ではカメラの撮像速度が検査速度の律速となっており、検査速度の点で実際の製造工程への導入は困難であった。そこで本研究では、従来の分光イメージングシステムにおいて課題であった検査速度を改善し、食品工場の製造工程に導入可能な検査装置の開発を目的として、新規の分光イメージングシステムの開発を行った。また、装置の性能向上を図るために、計測対象にあわせて照明を制御するプログラマブル照明を開発した。

キーワード：異物混入、分光イメージング

#### Abstract

In food processing factories, prompt and appropriate response to foreign matter contamination is especially important. Under such circumstances, on-line type X ray inspectors and Metal detectors are introduced to food production lines. Even with such inspection apparatuses, it is very difficult to detect non-metal, low density foreign matters, such as a human hair, an animal hair, a fragment of plastics, and bugs. Therefore, visual inspections are still requisite. To improve food inspection performance, we consider that the hyperspectral imaging technique is a promising technology. A conventional hyperspectral imaging devices are consisted of a high sensitive CCD Camera and Imaging spectrometer, however, those devices have disadvantages of lower inspection speed and high production cost.

In this research, we developed new hyperspectral imaging system that consists of hyperspectral imaging sensor with multi-optics configuration, a programmable illuminator that is capable of controlling lighting area and illumination intensity to improve the system performance, and a data analysis method with PCA (Principal Component Analysis) and 1-class SVM (Support Vector Machine) for detecting foreign matters.

KEY-WORDS : foreign matter contamination, hyperspectral imaging

#### 1. はじめに

加工食品の製造工程において、異物混入に対する迅速・適切な対処はクレームや事故を未然に防ぐために非常に重要で

ある。そのため、多くの食品加工工場ではX線異物検査装置や金属探知機などが導入され、オンラインで全数検査が行われている。しかし、これらの検査装置を用いても人毛、プラスチック片、虫などの異物は検出が困難であり、最終的に目

\* 株式会社安西製作所 北海道支店, \* Anzai Manufacturing Co.,Ltd. Hokkaido Branch

事業名：重点研究

課題名：食品混入異物検出および品質評価のための分光イメージングセンサの開発

視検査で対応しているのが現状である。当場では人毛などの非金属、低密度の異物検出を目指して分光イメージングによる食品混入異物検出技術の開発を進めている<sup>1)</sup>。これまでの分光イメージング装置ではカメラの撮像速度が検査速度の律速となっていた。また、分光器、カメラが高価であることから、複数ラインでの運用もコストの点から困難であった。そこで本研究では、従来の分光イメージングシステムにおいて課題であった、検査速度及び製品コストを改善し、食品工場の製造工程に導入可能な検査装置の開発を目的として、新規の分光イメージングセンサの開発を行った。また、装置の性能向上を図るために、計測対象にあわせて照明を制御するプログラマブル照明を開発した。

## 2. 分光イメージングの方式

これまで当場で開発を進めてきた分光イメージングによる異物検出システムでは、図1に示すスキャン型のイメージング分光器 (Specim製ImInspector V10C) を用いている。このイメージング分光器は直線状の領域を連続的に計測することで、計測サンプルについて「面」のスペクトルデータを取得することが可能である (図2)。異物検出は、これらの計測対象の「面」のスペクトルデータの中から、他とは異なるスペクトルデータを探すことで実現する。しかし、スキャン型であることから、計測対象のサンプル全体のスペクトルデー

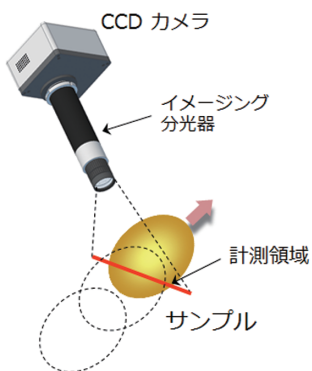


図1 イメージング分光器 (スキャン方式)

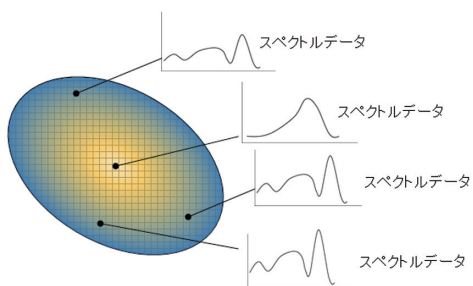


図2 分光イメージングで取得するスペクトルデータ

タを取得するには時間がかかり、食品工場に既設のX線異物検査装置や金属検出機にくらべて検査速度が大幅に低下する。

### 2.1 スキャン型イメージング分光器でのデータ取得

図1のイメージング分光器の計測領域は直線状であり、その直線部分に対してサンプルを移動させることによりサンプル全体のスペクトルデータを取得する。取得するデータは空間軸 (x軸, y軸) と波長軸 ( $\lambda$ 軸) の3次元データ (ハイパースペクトルキューブ) で表される (図3)。CCDカメラで取得するデータは、図3のy軸 (空間軸) と $\lambda$ 軸 (波長軸) の2次元データである。その2次元データをx軸方向にスキャンすることでサンプル全体のスペクトルデータを取得する。すなわち、サンプルの面全体のスペクトルデータは3次元である一方、CCDカメラで取得するデータは2次元であることから、残りの1次元分はスキャンして取得する必要がある。スキャン速度はCCDカメラの撮像速度に依存するため、速度の改善にはCCDカメラの撮像速度の高速化が必要である。近年、カメラに使用される撮像素子は性能向上が進んでいるものの、100フレーム/秒程度であり、イメージング分光器の計測領域の線幅を1mmとしても6m/分の検査速度しか到達せず、X線異物検査装置の20m/分程度の検査速度には及ばない。

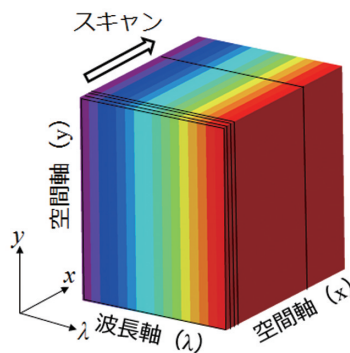


図3 空間軸yと波長軸 $\lambda$ で定義される2次元データをx方向にスキャンして得られるハイパースペクトルキューブ

### 2.2 多眼式分光カメラユニットでのデータ取得

そこで、本研究では、複数の分光画像を同時に取得することにより、高速にハイパースペクトルキューブを取得する方式の多眼式分光カメラユニットを開発した (図4)。この方式では、同時に計測対象全体のスペクトルデータを取得するための、各々異なる波長を透過する分光フィルタを取り付けており、一度に複数波長の分光画像を取得できることから、大幅な高速化が実現できる。

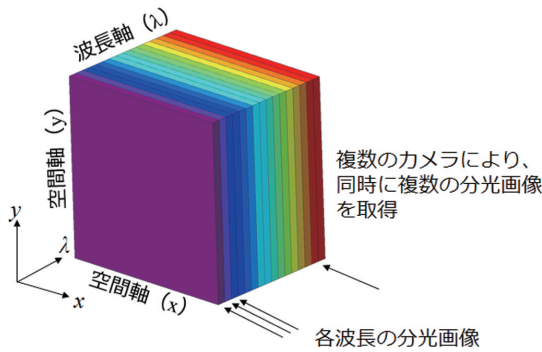


図4 空間軸 x と y の 2次元分光画像を複数同時に取得して得られるハイパースペクトルキューブ

### 3. 開発対象とする異物検査装置の概要

本研究において開発対象とする異物検査装置では、ベルトコンベアを用いて食品を搬送する製造ラインに組み込むことを想定しており、異物検査ラインの一部として図5のように配置され、処理手順は次のようになる。

- ① プログラマブル照明の形状計測部により計測対象の形状を取得し、そのデータから照明の照射エリアと照明パターンを決定する。
- ② 次に、多眼式分光カメラユニットの撮像範囲内において、照明のプロジェクタ部により移動する食品に追従して照射する。
- ③ 多眼式分光カメラユニットで計測サンプルの分光画像を取得する。
- ④ 取得した分光画像をデータ中継ユニットにより高速にデータ解析PCに転送する。
- ⑤ データ解析用PCにおいて分光画像をもとにデータ解析を行うことで、異物判別を行う。

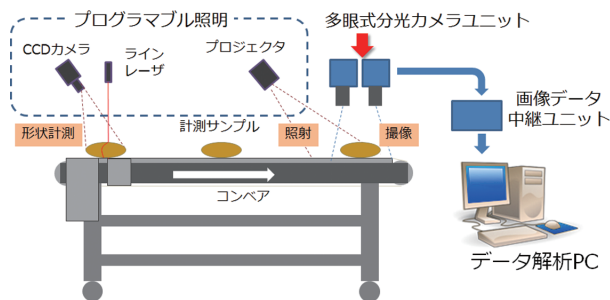


図5 異物検査装置の全体図

### 4. 多眼式分光カメラユニットの概要

多眼式分光カメラユニットでは、一つの撮像素子につき複数のバンドパスフィルタを配置する光学系の開発、一つ以上のカメラユニットからの分光画像データを高速にデータ解析用のPCに転送する技術の開発を行った。

#### 4.1 複数波長を取得するための光学系

従来のイメージング分光器において取得可能な波長範囲は400~1,000nmであり、波長分解能は約9nmである。この仕様を基準とすると、多眼式分光カメラユニットでは10nm程度の半値幅の分光フィルタ（以下、バンドパスフィルタ）が60枚必要となる。しかし、これまでの研究<sup>1)</sup>では、800nm~960nmの波長で異物検出が可能であることがわかっており、16波長程度のフィルタを使用することで異物検出が可能となる。すなわち、検査対象の食品に必要な波長帯のバンドパスフィルタを選択的に使用することでコストを抑え、高速な分光イメージングセンサを実現できる。本カメラユニットでは、1つの撮像素子あたりバンドパスフィルタを4枚配置することで撮像素子数の低減化を図っている。本光学系では、1つの撮像素子につき4枚のバンドパスフィルタと、バンドパスフィルタ毎に結像用アクロマティックレンズを配置した（図6）。

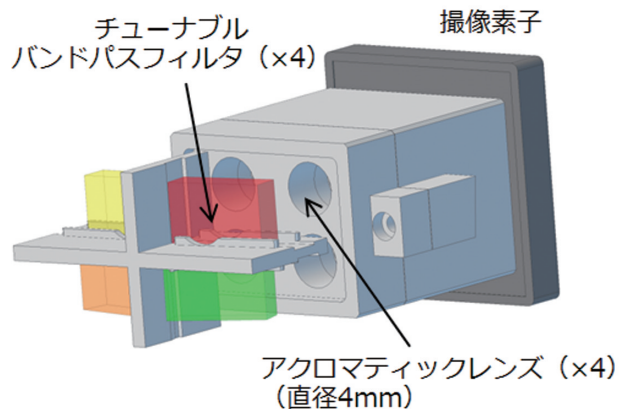


図6 チューナブルバンドパスフィルタと結像用アクロマティックレンズの配置

本光学系ではバンドパスフィルタとしてチューナブルバンドパスフィルタを用いた。通常バンドパスフィルタは、特定の波長付近の光のみを透過させる。また、光軸に対してフィルタ面が垂直となるように配置する必要がある一方、今回使用したチューナブルバンドパスフィルタでは光軸に対してフィルタ面を傾けることにより、透過する波長を一定の範囲でシフトさせることが可能である（0度~60度の範囲で設定可能）。そのため、少ない種類のチューナブルバンドパスフィルタを用いることで可視光・近赤外光領域をカバーすることが可能となる。本光学系では、4種類のチューナブルバンドパスフィルタ（透過中心波長：617nm, 697nm, 796nm, 900nm）を使用し、各々のフィルタの半値全幅（FWHM）が10nm程度であることから、表1のように6度ずつ角度を設定することで可視光・近赤外光領域の全域に対応する。ここで、チューナブルフィルタが対応する波長は900nmまでであるため、900nm以上の波長については通常バンドパスフィルタを用いる。本光学系では4枚のチューナブルバンドパスフィルタ

を複数の角度に設定、配置が可能なフィルタホルダを独自に設計、試作した(図7)。

表1 チューナブルバンドパスフィルタの設定角度と透過波長

角度(度)	617nm (FWHM:14nm)	697nm (FWHM:13nm)	796nm (FWHM:12nm)	900nm (FWHM:11nm)
0				
6	609.6	688.6	786.4	889.2
12	602.2	680.3	776.9	878.4
18	594.8	671.9	767.3	867.6
24	587.4	663.5	757.8	856.8
30	580.0	655.2	748.2	846.0
36	572.6	646.8 </td <td>738.7</td> <td>835.2</td>	738.7	835.2
42	565.2	638.5	729.1	824.4

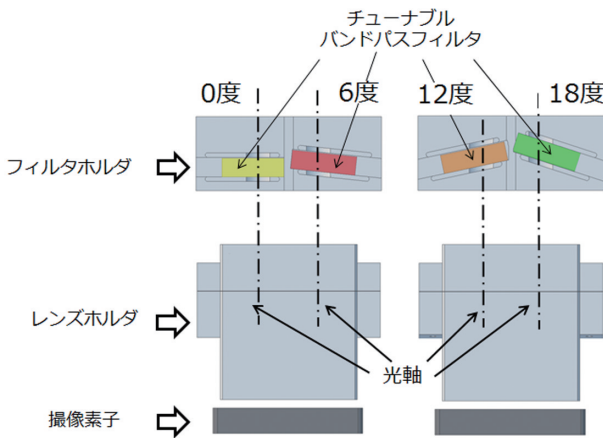


図7 チューナブルバンドパスフィルタの角度設定例  
(0, 6, 12, 18度に設定可能)

#### 4.2 多眼式分光カメラユニットの試作

図6, 7に示すチューナブルバンドパスフィルタを用いた分光光学系により、4つの波長の分光画像が取得できる。この分光光学系を搭載した多眼式分光カメラユニットの外観を図8に示す。この多眼式分光カメラユニットには分光光学系を2つ搭載し、1ユニットで8つの分光画像を取得可能とした。撮像素子はCMOSイメージセンサ(CMOSIS製CMV4000, 解像度2048×2048)を使用し、1画素12bitの分解能を有する。

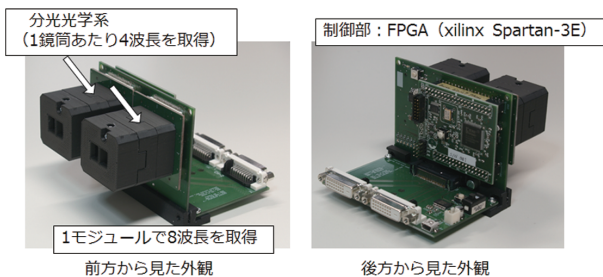


図8 多眼式分光カメラユニットの外観

画像データはLVDS (Low Voltage Differential Signaling: 小振幅差動信号方式の高速デジタルインターフェイス)により出力され、1つのセンサからはデータ用に4つのLVDSチャンネル、制御信号用に1つのLVDSチャンネル、データのタイミング調整用のクロックに1つのLVDSチャンネルの合計6つのLVDS信号を用いて、1秒あたり40フレームの画像を取得できる。露光時間や感度、トリガの同期などの設定は、シリアル通信により行う。これらの設定や画像取得のトリガ信号入力などの制御にはFPGA (Xilinx製Spartan-3E)を使用した。

#### 4.3 画像データ中継ユニット

構築する分光イメージングシステムでは複数の多眼式分光カメラユニットを使用する。そこで、複数の多眼式分光カメラユニットを接続して高速に分光画像データをPCに転送するためのインターフェイスとしてFPGA (Xilinx製Spartan-6)を搭載した画像データ中継ユニットを開発した(図9)。このユニットは複数の多眼式分光カメラユニットからのLVDS信号を接続し、PCのPCI Expressインターフェイス経由で高速にデータ転送を行う(図10)。本画像データ転送ユニットではFPGAのSERDES (SERializer-DESerializer: シリアル化・シリアルからの復号化(図11))機能を用いて、CMOSイメージセンサからの複数チャンネルのシリアルデータを直接受信して、受信したパラレルデータはFPGAに接続したDDR2 SDRAMにバッファリングし、そのデータをPCI

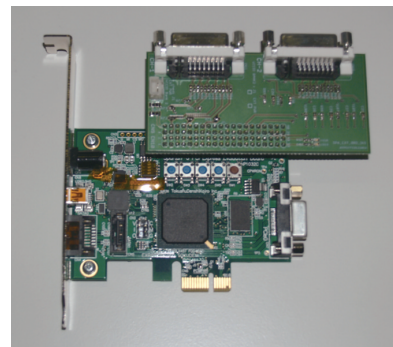


図9 画像データ中継ユニット基板の外観

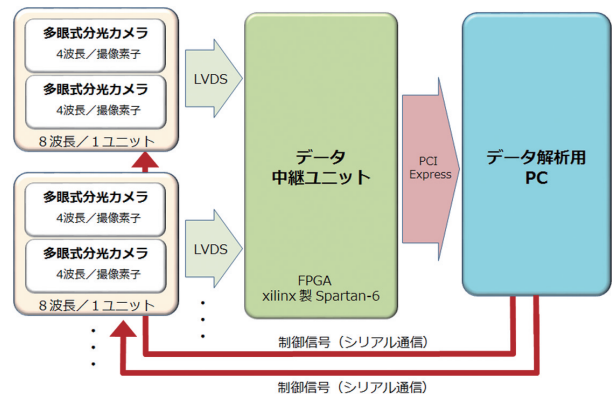


図10 データ中継ユニットのブロック構成

ExpressでPCにDMA (Direct Memory Access : CPUを介さないでデータを転送する方式。CPUを介することによる無駄を省くことで高速に転送できる) 転送する。Xilinx製Spartan-6を使用したデータ中継ユニットでは実測値で160~170MB/sの速度でデータを取得できることを確認した。

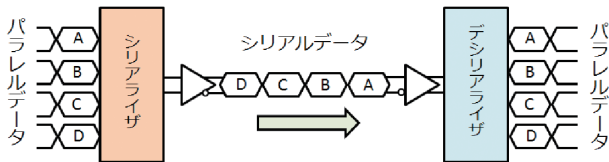


図11 SERDESによるデータ転送の概略図

## 5. プログラマブル照明光学系の開発

分光器を使用する計測装置では、スペクトルに特定のスパイク状のピークがないハロゲンランプを光源として使用する。「面」の分光情報を取得する分光イメージングシステムにおいてもハロゲン光源が一般的に使用されており、通常、これらの照明は光学系の構築時に条件を固定し、変更することがない。そのため、照明の照度分布特性がサンプルに直接影響し、またサンプル以外のコンベアベルトなどにも照射するため、それらから生じる不要光や外乱光によりSN比の低下が生じる。そこで本研究では、プロジェクタ光学系を応用し、計測対象物の形状に合わせて照明パターンを生成し、計測対象物の存在するエリアのみに照射することにより、照明ムラや不要光、外乱光を抑制することで性能向上を実現するプログラマブル照明の開発を行った。

### 5.1 プログラマブル照明のシステム構成

システムの構成を図12に示す。ベルトコンベア上を搬送されてきた計測対象物を光電センサにより検知し、ラインレーザとカメラを用いた光切断法により計測対象物の3次元形状測定を開始する。次に、取得した3次元形状から計測対象物の形状に適した照明パターンを生成する。最後に、分光カメラユニットにて撮像するタイミングに合わせて、プロジェクタによりパターンを照射する。

### 5.2 光切断法による形状計測

光切断法による3次元形状測定<sup>2)</sup>の原理<sup>2)</sup>を図13に示す。光切断法ではライン光の光軸に対しカメラの光軸を傾けて設置する。カメラを傾けることにより、計測対象物がない状態ではライン光は画像の中心に撮像されるが、計測対象物がライン光の位置にあるとその高さに応じて画像上のライン光の位置が変位する。ライン光の光軸とカメラの光軸のなす角度が $\theta$ であった場合、計測対象物の高さ $Z$ は次式より求めることができる。

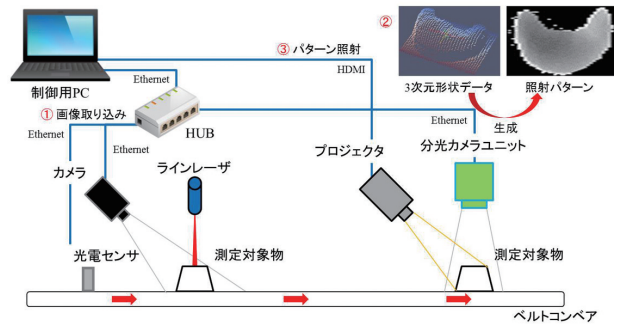


図12 プログラマブル照明のシステム概要

$$Z = \frac{\Delta y}{\sin \theta} \dots(1)$$

高さが既知の校正儀 (図14) を撮像し、画像上でのラインのズレ量 (pixel) と、対応する校正儀の高さ (mm) から校正を行った。校正儀を撮像した画像を図15に示す。画像上のラインレーザの線幅は3~4 pixel程度であり、その中間座標を計算に用いた。光切断による計測システムを構築し、校正を行った結果、0.95mm/pixelの分解能が得られた。テストサンプルとしてカシューナッツ (図16) (約2.5×1.5mm) を測定した結果を図17に示す。この結果から、おおよその形状が再現できていることを確認した。

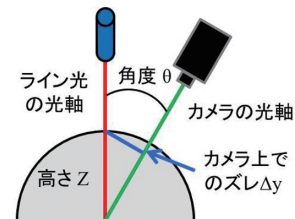


図13 光切断法の原理図

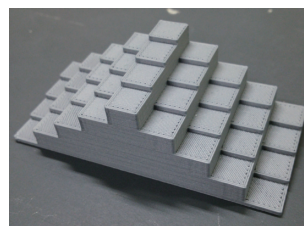


図14 校正儀



図15 校正儀にラインレーザを照射し、撮像した様子



図16 カシューナッツ

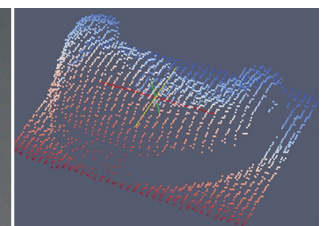


図17 3次元形状データ

### 5.3 照明パターンの生成

光切断法により測定した3次元形状データから照明パターンを生成する手法はシェーディングモデル<sup>3)</sup>により行った。シェーディングモデルでは、拡散反射光(図18)、鏡面反射光(図19)、環境光の3つを定義している。

**拡散反射光**：光沢がない物体表面での反射。入射光と反射面の法線ベクトルとの角度が $\alpha$ の場合、反射光強度は角度 $\alpha$ の余弦に依存し、どの反射方向についても同じ強度で拡散する。

**鏡面反射光**：金属などの光沢を生む反射。入射光と反射面の法線ベクトルとの角度が $\alpha$ の場合、反射面の法線ベクトルを軸に入射光と反対側で角度 $\alpha$ の方向に最も強い反射光が生じる(正反射)。また、反射光強度は正反射方向からの角度 $\gamma$ の余弦に依存して減衰する。

**環境光**：光が周囲の物体表面で反射を繰り返し、環境全体にある一定の明るさを生じる間接光。

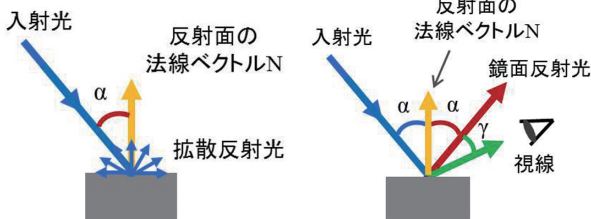


図18 拡散反射光

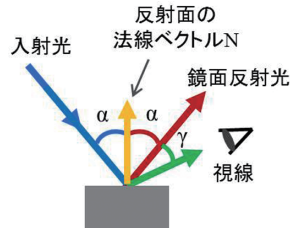


図19 鏡面反射光

ある入射光 $I_i$ が計測対象物の任意の位置に入射した場合の反射光 $I$ は次式となる。

$$\begin{aligned}
 I &= I_d + I_r + I_c \\
 &= K_d I_i \cos \alpha + K_r I_i \cos^n \gamma + const. \quad \dots(2) \\
 &\approx (K_d \cos \alpha + K_r \cos^n \gamma) I_i
 \end{aligned}$$

ここで、 $I_d$ が拡散反射光、 $I_r$ が鏡面反射光、 $I_c$ が環境光である。また、 $K_d$ が拡散反射率、 $K_r$ が鏡面反射率、 $\alpha$ が入射角、 $\gamma$ が正反射方向と視線のなす角、 $n$ はハイライト特性(鏡面反射の強さ)である。環境光 $I_c$ は、試験環境では遮光しているため省略した。パターンを照射して照明ムラを低減させるためには、反射光 $I$ が場所によらず一定となればよい。したがって、反射光 $I$ が一定となるよう、入射光 $I_i$ を次式のように定義した。

$$I_i = \begin{cases} \frac{I_b}{K_d \cos \alpha + K_r \cos^n \gamma} & \text{if } I_i < 255 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(3)$$

ここで $I_b$ はある画素における反射光であり、本システムでは分解能8bitで設定する明度値である。各パラメータについて

では、対象とする食品については鏡面反射強度は弱いと仮定することにより $n = 1$ とし、各反射率は計測対象物に依存する値であるが、エネルギー保存則から反射光が入射光を越えないことから、 $I_i \geq I_b$ となり、例えば分解能8bitの最大値である $I_b = 255$ とした場合、 $I_i$ が255以上となるため、本システムでは128に設定した。

この手順に従い、カシューナッツを一樣照明で照射した場合と、形状データから生成した照明パターンを照射した場合のシミュレーション結果を示す(図20, 図21)。各々の反射光の図を比較すると、一樣照明の場合、明度の平均値が188.0、標準偏差が69.5であるのに対し、照明パターンの場合、平均値が119.0、標準偏差が24.4となり、照明ムラが抑制されているのが確認できた。



図20 一樣照明(左)と反射光(右)

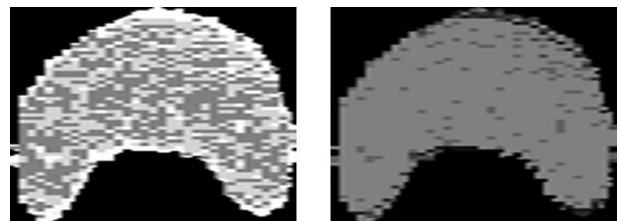


図21 照明パターン(左)と反射光(右)

### 5.4 プログラマブル照明の検証システム

ベルト幅300mm、搬送速度20m/分のベルトコンベアを使用して検証システムを試作した(図22)。今回のシステムでは機能の検証を目的としており、DLPプロジェクタのLED光源のままでも試験を行った。ベルトコンベア前半部に計測サンプルを検知する光電センサ、光切断用のラインレーザ及びカメラを設置した。光切断による形状計測部については暗幕で遮光した。ベルトコンベア後半部にはパターン光を照射するためのDLPプロジェクタを設置した。照明パターンの照射タイミングについては、計測サンプルが撮像位置に到達する時点で設定した。実際にサンプルをベルトコンベアで搬送し、計測対象物にのみパターンが照射されることを確認した。



図22 構築した試験システム

## 6. 異物検出用データ解析技術

これまで製品化されている異物検査装置では、あらかじめ設定した「異物」の特徴が計測したデータに含まれるかを調べるアルゴリズムが一般的であり、設定していない「異物」は検出されない。しかし、食品に混入する異物は多種多様であることから、複数の異物に対応可能な異物検出アルゴリズムが必要である。本研究では、異物検出のデータ解析手法として、分光画像から取得した複数点のスペクトルデータをもとに主成分分析<sup>4)</sup>を行い、複数の主成分のスコアに対して1-classサポートベクターマシン<sup>5)</sup>を用いた判別アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、異物の事前知識がなくても、「正常な」食品と「異常な」異物を判別することが可能である。

### 6.1 主成分分析による異物領域の抽出

開発したアルゴリズムでは、まず主成分分析により複数波長の分光画像から得られる複数のスペクトルデータを少数の合成変数（主成分）へと次元圧縮する。このプロセスでは、

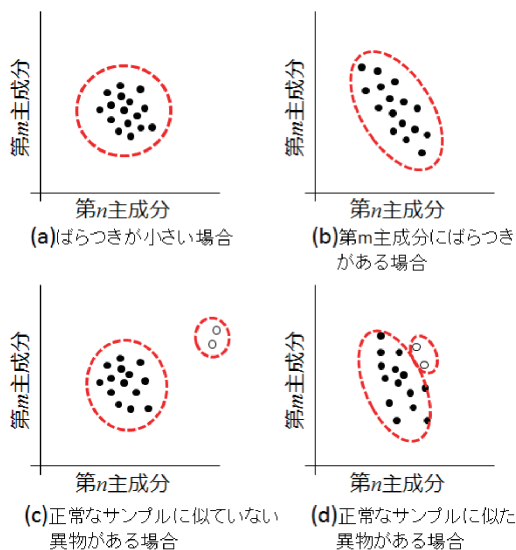


図23 主成分分析のスコアプロットの例

元のデータのばらつき（分散）が保存されるように主成分を求めていく。そのため、データを少ない主成分により表現することが可能である。主成分分析ではスコア（主成分得点）プロットによりデータのばらつきを可視化することができる。例えば、元のデータにおいて性質の近いものはスコアプロットではクラスタを形成する（図23 (a), (b)）。このデータの中に性質の異なるものがあれば、その性質の異なる点はクラスタから離れた領域にプロットされる（図23 (c)）。ただし、クラスタを形成するデータと、それと異なる性質を持つデータの類似度によってはクラスタとの距離が小さくなる可能性があり（図23 (d)）、この場合、判別することは難しくなる。

### 6.2 1-classサポートベクターマシンによる異物判別

図23 (c), (d) のように正常な食品に異物が混入している場合において、正常、異常の2値判別を行う。この目的には線形判別分析がよく用いられるが、識別境界線が線形関数であるため、線形分離できない場合は正確な判別が困難となる。そこで、非線形データの判別分析に対応するサポートベクターマシンを用いて二値判別を行う。サポートベクターマシンはカーネル関数を用いて入力データを高次元特徴量空間に写像することで非線形データを線形化し、その高次元特徴量空間において判別を行う手法である。特に、1-classサポートベクターマシンのように教師データを用いないサポートベクターマシンを用いることにより、異物についての事前知識がなくとも判別することが可能となる。1-classサポートベクターマシンではカーネル関数としてRBF（Radial Basis Function）カーネルを用いる。このRBFカーネルのパラメータは調整することが可能である。複数のパラメータの組み合わせで判別処理を行い、その複数の判別結果の論理積を求める。

ここまでの処理では異物混入の有無にかかわらず、スコアプロットで、もっともばらつきの大きいものを異物と判別している。食品製造工程において異物が混入することはまれであることから、正常なサンプル中の「ばらつきが大きい異物ではない」部分を正しく正常と判定するしくみが必要である。

そこで、従来手法の1-classサポートベクターマシンを用いて判別した結果に対して、正常と判別されるスコアと異常と判別されるスコアの距離を求め、閾値を設定することにより「ばらつきが大きい正常なデータ」か「異常なデータ」かを判別する。本アルゴリズムでは、計測サンプル全体を複数の小領域に分割して小領域毎に行い、最終的に判別結果を統合している。

### 6.3 データ解析による異物検出例

計測サンプルとして表面に人毛を付着させた挽肉を用い、前述のデータ解析手法により異物検出機能の確認を行った

(図24, 従来のスキャン方式の分光画像データで機能確認を行った)。図24 (a) は700nmでの分光画像例である。800nmから960nmの各分光画像の画素からスペクトルデータを求め、主成分分析を行い、第2, 第3主成分におけるスコアプロットを求めた(図24 (b))。このスコアプロットに対して1-classサポートベクタマシンを適用し、挽肉部分と挽肉以外の異物部分を判別した(図24 (c))。ここで、図24 (b), (c) に示した結果は計測サンプルを複数の小領域に区分した一部データに対する結果である。複数の小領域の判別結果を統合した計測サンプル全体の判別結果は図24 (d) である。これにより、人毛部分が検出できることを確認した。

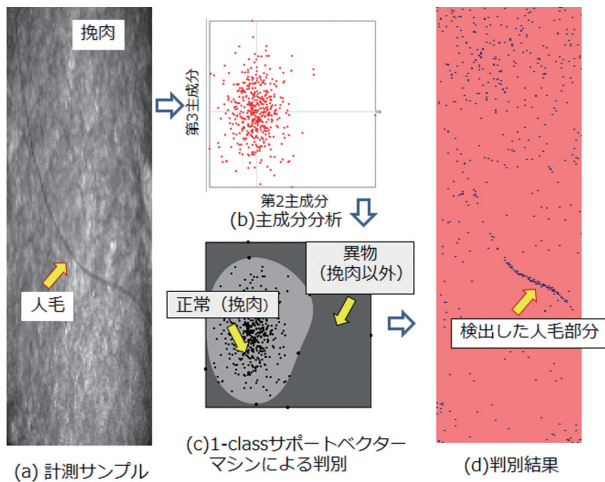


図24 異物データ解析例

## 7. まとめ

食品混入異物の検出を行うための新たな分光イメージングセンサ、計測精度を向上させるプログラマブル照明、さらに主成分分析と1-classサポートベクターマシンによる異物検出アルゴリズムを開発した。多眼式分光イメージングセンサについては従来のイメージング分光器及び高感度CCDカメラの組み合わせによる検出部と比較し、低コスト、高速化を実現した。現在、試作機による性能評価を進めており、今後実用化に向けた開発を行っていく予定である。

## 引用文献

- 1) Toshinori HONMA et al, Analysis Method for NIR Imaging Spectroscopy to Detect Foreign Matter in Food Products, Proc. CIGR International Symposium on "Sustainable Bioproduction-Water, Energy, and Food", 2011
- 2) 中川啓二, 松尾啓史, 光切断法による3次元画像を用いた外観検査技術, Ricoh Technical Report No.39,2014
- 3) 西田友是, コンピュータグラフィックスの数理(3) シェー

ディングモデル, 応用数理, Vol.14, No.1, March 2004, pp.52-61

- 4) Kenneth R. Beebe, Randy J.Pell, Mary Beth Seasholtz, Chemometrics A Practical Guide, p81, Wiley Interscience, 1998
- 5) Yunqiang Chen, Xiang Zhou, Thomas S. Huang, One-Class SVM for learning in image retrieval, Proc. IEEE int'l Conf. on Image Processing, 2001