

令和元年6月4日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07972

研究課題名(和文) 近赤外分光法による非金属・生物系異物検出法に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Detection Method of Non-metal and Extraneous Materials mixed within Food by Near-Infrared Spectroscopy

研究代表者

河野 俊夫 (KAWANO, Toshio)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・教授

研究者番号：60224812

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：非金属異物および生物系異物を非接触で検出することを目的として、近赤外分光法を活用した検出方法について研究を行った。ハンバーグとコロケなどを混入先の食品とし、混入異物には非金属異物と生物系異物11種を供試した。1)異物が混入していない試料、2)異物、3)異物が混入した試料について、それぞれの近赤外反射スペクトルを測定し、多変量解析によって食品および異物を識別するための固有波長を抽出した。そのうえで異物の混入を判定するニューラル・ネットワークによる検出モデルを作成した。このニューラル・ネットワークによる検出モデルで判定精度は82%～95%であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食品への異物混入は国民にとってきわめて不快な事象であり、我が国の食品の安全・安心を揺るがす大きな社会問題である。食品生産の段階での異物検出では、生産機械の欠損によって生じた金属片や硬質プラスチックをX線で検出する方法が利用されているが、その他の非金属異物や生物系異物の検出は困難である。そこで本研究では食品に光を照射し、その反射光に含まれる近赤外域の情報から、異物が混入しているかどうかを判定する手法について検討した。AI(人工知能)型の異物混入判定を行うもので、結果的に、その異物混入の推定精度は82%から95%であった。

研究成果の概要(英文)： In order to detect the extraneous materials mixed in food with non-destructive ways, a method using near-infrared spectroscopy was proposed. Frozen hamburger patty and croquette samples were taken as a target foods for preventing from mixture of extraneous materials, and 11 kinds of extraneous materials including of non-metal and biological were adopted as the contaminant. Spectra data of 1) food mixed with no extraneous materials, 2) extraneous materials, and 3) food mixed with extraneous materials were measured, and specific wave lengths for discriminating between foods and extraneous materials were selected. Then, a neural network base model was constructed for detecting if extraneous materials are mixed in foods or not. The degree of accuracy of the model was ranged from 82% to 95%.

研究分野：食料生産プロセス学

キーワード：食品の異物検出 非金属異物 生物系異物 近赤外分光法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

昨今、食材やその調理・加工品に異物が混入し、社会問題としてメディアに取り上げられるケースが増加している。インスタント焼きそばにゴキブリが混入した事実が判明し、各メディアで大きく報道された事故は記憶に新しい。消費者に提供する食品の安全と安心を確保することは、国内食品産業にとって使命であると共に、生命線でもある。こうした異物混入事故は、いったん発生すると、消費者の信用失墜による製造企業の社会的なイメージダウンへと発展して、経営に大きな負の影響を与えるほか、国民に大きな不安を与え、社会の円滑な経済活動を滞らせることになる。したがって食品メーカーは、食材や製造・調理食品へ異物が混入しないよう細心の注意を払う必要がある。

食品製造時の異物検査ではX線を用いる方法が有効で、金属異物についてはX線検査で発見できる。しかしX線による異物検査は、非金属の異物、特に生物系異物に対してはほとんど無力である。このため現場での昆虫や毛髪などの混入防止は、徹底した衛生管理と製造機器管理を行ったうえで、最終的には人の目視で検品する以外手がないのが現状である。もちろん、「現物としての異物」が製造段階で、あるいは消費者によって「発見された後」であれば、高度な分析機器による分子構造の解析やスペクトル分析から、混入物質の推定と同定は可能である。しかし今、食品製造の現場が求めている技術は、製造段階で食品に混入した生物系異物を、「リアルタイムに、そして非破壊・非接触で、出荷前に検出する方法」である。

近赤外波長域は、近年、様々な領域で有効活用されている開拓波長域である。可視光域と中赤外域の中間に位置する波長域(800nm~2,500nm)で、水分の比較的多い食品に対しても透過性が高く、食品の主要成分の検出に有効な波長が多く含まれている。異物の検出を目的として、近赤外分光法を応用した研究では、例えばトマトピューレやナッツに混入したカビの検出や、海苔、昆布の混入検出など、いくつかの事例はあるが、外食産業で問題になりやすい食材(例えば肉加工品や麺類など)への異物検出手法についてはいまだ十分とは言えない。

そこで本研究では、様々な流通食品のうち、製造時の加工作業の過程で異物が混入しやすく発見されにくい、肉加工品(ハンバーグ、コロケなど)とインスタント麺(乾麺)を対象として、近赤外分光法により非破壊で混入異物の種類を推定する手法について検討した。非破壊で混入異物を検出・推定できる手法が明らかになれば、対象食材をサンプリング破壊することなく、全数検査することが可能となって、国民の食の安全を担保につながることを期待できる。

2. 研究の目的

TPP 妥結を受けて国民の間には輸入食品の安全性に対する不安が増している。国内に限っても、近年メディアに取り上げられた異物混入問題は記憶に新しく、国民の食を守ることの重要性はこれまで以上に高まっている。本研究は、「食の安全」に関わる技術の1つとして、異物混入問題に焦点を当て、従来の探知技術では検出の難しい非金属異物、特に生物系異物の検出方法について技術研究した。食品の製造現場で行われているX線検出法は、金属異物に対してはたいへん有効であるが、非金属異物や生物系異物ではほぼ無力であり、実質的には人の目視による検品以外には手がなく、消費者による「発見」という形で表面化してしまう。従来、食品への異物混入は、発見した消費者が販売企業の対応窓口へクレーム連絡するところからがスタートであったが、インターネットの普及・一般化により、食品に関する様々な情報は瞬時に国内外へと拡散する時代となった。このため、企業の対応窓口を経由することなく、一気に社会問題化するようになり、食品への異物混入の検出は食品メーカーにとっても企業生命に関わる重要で喫緊の対応課題となっている。

食品の成分検査は、食品のサンプリング、すなわち食品の一部を採取してこれを分析することで行うのが一般的であるが、サンプリングは製品である食品を破壊することになるため、検査に用いる食品は商品にならない。また、食品全体から抽出した、この一部のサンプルの結果を全体の代表として検査し、検査していないその他の食品の状態を推量している。ところが、異物検査は基本的にその食品に異物が入っているか、入っていないかが問題であり、食品の成分検査のように全体の一部を取り出して代表とするわけにはいかない。「全数検査」が必要なのである。その場合、非破壊検査をすることになるが、上述のとおり、異物検査の非破壊検査手法としてはX線検出法以外には現実的に有効な手立てがない。もちろん、MRI(核磁気共鳴画像)装置やNMR(核磁気共鳴)装置などの、1台が数億円とされる機器を導入すれば、食品に含まれる異物の検査は技術的に可能ではあるが、その数が数千、数万点だとはいえ、1個が数百円の食品に対して1回の検査で数万円かかる、これらの機器を使うことは現実的ではない。

そこで本研究では、異物検出に光センシングを用いることとし、その光源領域として波長800nm~2,500nmの近赤外域を選択した。食品の多くは水分が関与するが、この波長域より長波長の赤外域の光は水分に完全吸着されるため反射光の分析による異物検出には利用できず、また、近赤外域よりも短波長の可視域は目視検査と同じためである。

3. 研究の方法

食品の製造過程で混入する異物には様々なものがあり、1)生物系異物、2)非生物系異物に大別できる。非生物系異物はさらに、金属異物、非金属異物(プラスチック、ビニール、ガラス、砂、布、石など)が挙げられる。食品への異物混入問題は、混入異物と対象食品との組合せの数だけ存在し得る。ある場合には、生物系異物としてのゴキブリが乾燥食品に混入する、ある場合には布切れがスナック菓子に混入するなど、事例は千差万別で、すべての食品と異物の組合

せに対して実験データを得ることは困難である。このため、本研究では混入対象となる食品にはコロッケとハンバーグおよび参考として乾麺の3種に絞った。コロッケおよびハンバーグは保存食として冷凍品の利用率が高いからである。

一方、混入する側の異物については、金属異物はX線検出によって異物混入を発見できるため、生物系異物と非金属異物に限定した。混入異物はどのようなものであっても流通する食品中で発見されれば大きな社会問題になるのは確かだが、そのなかでも特に生物系異物は消費者の目が厳しい。過去の発見事例を参考に、生物系異物としてゴキブリ、ハエ、蛾、カメムシ、毛髪を用いた。ゴキブリは、家庭での駆除目的で使用される床置き式の粘着補虫箱を学内のゴミ捨て場に設置して捕獲し、ハエ、蛾、蜘蛛、カメムシはゴミ箱周辺および植物に誘引されたものを捕獲して得た。毛髪は、20代の学生男女および50代の教員の協力を得て採取した。非金属異物については、生産現場で混入が起こりえる物として、ガラス片、ゴム、ビニール、プラスチック片、発泡スチロール、布、砂、石などを実験に供試した。実際の現場で混入する非金属異物は、たとえ同じ分類であっても、その成分はそれぞれのサンプルで異なる。例えば、「ビニール」とひと括りに言っても、その成分によって様々な種類が存在する。したがって、成分同一の非金属異物を供試しても現実性がない。このため、これら非金属異物には、無作為に身の回りに存在するものを収集して供試することにした。

供試異物と食品の拡散反射近赤外スペクトルの測定には、近赤外用 InGaAs 検出ユニットを内蔵した近赤外分光器を用いた。測定波数は 12,000 (1/cm) ~ 4,000 (1/cm) (波長にして 800nm ~ 2,500nm) である。異物検出技術の実用機器への応用性の点からは、厚みのある食品の奥深くに混入した異物のスペクトルを得ることが望ましいが、分光光度計の光源は、一般的に薄い材料に対する透過・反射測定に向いており、波数や対象物の表面状態などにもよるが、厚みのある材料の拡散反射スペクトル測定の場合は十分な強度の反射光を得ることが難しい。このため、本研究では機器の光源強度の制限範囲のなかで、供試した対象物の拡散反射強度を得られやすい食品層の厚さを 2mm に設定してスペクトル測定を行った。異物試料単体および混入を想定する食品試料単体の拡散反射近赤外スペクトルは、ガラス製のシャーレの上に試料を置いたうえで、試料高さに相当するスペーサーを挿入し、これを支柱として白色拡散反射板を被せた。バックグランド測定は、試料以外のガラス製シャーレ、スペーサー、拡散反射板のみを載せた状態で行った。また、異物混入を想定した試験では、食品試料の上部から異物を押し当てて混入させ、下部シャーレと異物間に厚さ 2mm の食品層ができるようにした。測定光源はハロゲン光源で、拡散反射測定時のハード設定は、積算回数(平均化サンプル数)64 回、スペクトルスキャン分解能 4(1/cm)とした。当初、光源の照射方向と、スペクトル分析にかかる受光方向との間の角度を様々に変更する試験を行ったが、対象物の食品表面が暗いこと、および光源強度が弱いことから、両者の間の角度を可変しても明瞭な違いが認められなかったため、正反射に近い角度での測定に切り替えて実験を行った。

4. 研究成果

まず、異物と食品それぞれの二次微分データの特徴を可視化・分類するため、PCA 法 (Principal Component Analysis、主成分分析法) によるデータ解析を行った。PCA 法は、二次微分スペクトル 1 本を、波数のかず分の座標で張る超空間上の点と考え、各サンプルが示す超空間上の点の雲の中心(平均)からの分散を、元の空間座標よりも少ない数の新しい軸(主成分軸、PC 軸)で表現する手法である。超空間上の各サンプルから、PC 軸に降ろした垂線の値(射影成分、PC 軸上の成分)がスコアと呼ばれるもので、第一主成分軸(PC1 軸)および第二主成分軸(PC2 軸)を、それぞれ縦軸と横軸とする図によってスペクトルの特徴が分類できる。PCA 解析には、Unscrambler Ver.10.3(CAMO, Norway)を利用した。供試した異物と食品の二次微分値データの中から 265 個をランダムに選び、PCA 解析を、アルゴリズムは SVD 法(Singular Value Decomposition method、特異値分解法)、バリデーションはフルバリデーション、最大主成分数は 7 までの条件で行った。その結果、食品のプロットはほぼ同じ位置に集合しているが、異物についてはサンプルによってバラツキが大きく、主成分空間上で近接した位置にあった。各サンプルの超空間上の点を示すベクトルは単位ベクトルに変換され、PC 軸への射影としてスコア値に反映されるが、両軸の成分ともに値が小さくなった。これは、原点から出た各サンプルの単位ベクトルが主成分 1 と主成分 2 で構成される平面に対して垂直に近い状態になっていることを意味する。すなわち、各サンプルの単位ベクトルが近接して束になった状態であり、食品と異物を分類したとしても、PCA 法ではどの異物であるかを同定するのが難しい。したがって、PCA 法をもとにした PLS-DA 法(Partial Least Square-Discriminant Analysis)による混入異物推定は、このケースでは利用できないことが分かった。そこで次に、「供試異物や食品ごとに、主成分軸を PCA 法により一組ずつ求め、それぞれの第一主成分軸(PC1 軸)を構成する波数のうち、この軸に対する寄与率の高い波数(識別候補波数)を、その寄与率の値によって上位から 5 つ選び出した。

次に識別候補波数を絞り込むもう一つの手法として、SIMCA 法(Soft Independent Modelling of Class Analogy)を利用した。この手法は、PCA 法により異物と食品とにそれぞれの PCA モデルを作った上で、任意に選んだ 2 つの対象物間の識別を、モデルからの距離に応じてどちらに属するかを決定するものである。供試異物と食品の 8,300 次元の二次微分値から、各々の PCA モデルを 1 つずつ作成し、11 種の異物と、食品 3 種間の組合せ 33 通りについて SIMCA 分析し、

その判別力の高さから識別候補波数を選んだ。

線形の分類手法である PCA 法では異物の種類推定が難しいことが予想されることから、非線形の種類推定手法としてニューラル・ネットワーク (NN) による 2 つの推定モデルを構築した。1 つは、PCA 法の第一主成分軸の構成波数から求めた識別波数での二次微分値から混入異物を推定するモデル (PCA-NN モデルとする)。もう一つは、SIMCA 法によって求めた識別波数での二次微分値から混入異物を推定するモデル (SIMCA-NN モデルとする) である。モデル構築には、MATLAB Ver. 2015b (Mathworks 社) 上の Neural Network Toolbox の Pattern Recognition Network を利用した。隠れ層 (Hidden Layer) のパーセプトロン数は 30 個で、識別候補波長での二次微分値を入力すると、出力側に異物と食品を合わせた 14 種の対象物に対する可能性の値 (0~1) が出力されるモデルである。この 14 種の出力の中から、最も大きな値をもった対象物をその場合の入力二次微分値に対する推定物とし、異物であるか、食品であるかの判定とした。入力データは、Pattern Recognition Network により、学習用 (Training)、検証用 (Validation)、テスト用 (Test) に自動分割されてモデル構築される。得られた PCA-NN、SIMCA-NN 最適化モデルの推定精度は、コンフュージョン・マトリックス (Confusion Matrix) によって評価した。その結果、冷凍ハンバーグに対する平均正解率 (異物検出的中率) は 82% の精度を得た。しかし一方で誤判定となるケースもあり、例えば、PCA-NN モデルでは、黒ゴキブリを布、毛髪を黒ゴキブリと誤判定した。本研究で用いた異物試料のうち生物系異物の試料は、試料の性質上、多量のサンプルが難しかったこともあり、これが推定精度に影響したものと考えている。今後、さらに多くのサンプルを収集して測定を行うことで精度の高いモデルに改良することができるであろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) 篠原亜里紗、河野俊夫、張 夏：食用セルロースのカステラ素材への適用性に関する研究、日本食品保蔵科学会誌、査読有り、第 45 巻、第 1 号、pp.3-10、2019 年。
- (2) 柏野由加里、河野俊夫、篠原亜里紗、張 夏：セルロース粉末を活用した低カロリー製パンの品質評価に関する研究、日本調理科学会誌、査読有り、第 50 巻、第 6 号、pp.222-227、2017 年。

〔学会発表〕(計 7 件)

- (1) 河野俊夫(発表者)、篠原亜里紗、張 夏、村井正之：異物検出技術を逆用した食品のすり替え防止可食管理コードに関する研究、日本食品保蔵科学会、2018 年。
- (2) 篠原亜里紗(発表者)、河野俊夫、張 夏、村井正之：セルロースの麺類への応用とその品質評価に関する研究、日本食品保蔵科学会、2018 年。
- (3) 篠原亜里紗(発表者)、河野俊夫、張 夏：SPME 法およびスニッファーによる魚箱残存臭気分析、2018 年。
- (4) 篠原亜里紗(発表者)、河野俊夫：パルプ抽出素材を活用した新食感菓子類の試作とその品質評価、日本食品保蔵科学会、2017 年。
- (5) 河野俊夫(発表者)、柏野由加里、上向井美佐、村井正之：食品材料に混在する異物の近赤外分光法による非接触種類推定法に関する研究、日本食品保蔵科学会、2016 年。
- (6) 柏野由加里(発表者)、河野俊夫：パルプ素材を活用した超低カロリー製パンの品質評価に関する研究、日本調理科学会、2016 年。
- (7) 河野俊夫(発表者)、柏野由加里：近赤外分光法による乾燥麺の亀裂発生予測に関する研究、日本調理科学会、2016 年。