

特集

〔異物混入対策〕

食品画像検査装置に AIを導入する

～豆類外観検査装置と毛髪異物混入検査装置への応用～

ワイエムシステムズ株式会社 代表取締役社長 博士(工学) 池田 豊

1 はじめに

弊社が現在の深層学習による AI の基となるニューラルネットワークを画像検査装置に導入した歴史は比較的長く、1994 年にはカメラの前にいる人数を推定する「人数検査装置」を発売している。しかし当時はまだ三層ネットワークを使用していたので、正確度があまり高くなかった。2010 年代になり多層ネットワークによる深層学習が脚光を浴び始め弊社もこれに取り組み、それまでは画像計測とアルゴリズムを駆使し乾燥豆の外形状や表面状態を検査する方式であった「豆類外観検査装置 DrBean」に深層学習による AI を導入した「AI 手選りさん」を 2018 年に開発し、発売した。「AI 手選りさん」はベルトコンベア上に乾燥豆を搬送しながら画像検査を行う片面検査であったが、2020 年に豆の両面が検査できる「AI 手選りさん Ex」を開発・発売した。「AI 手選りさん Ex」は豆の良否判定を行うが、石や土塊、プラスチック片や金属などの異物検査、それに異種豆混入の検査も同時に行うことができる。「AI 手選りさん」および「AI 手選りさん Ex」は北海道十勝の多くの JA 様や大手豆業者様にご導入いただき、高評価を頂戴している。この

技術を応用しこの度、カット野菜などのバラものの対象物に混入する異物を検査する「AI 食品毛髪異物混入画像検査装置」を開発・発売したので、これらを本稿にて紹介する。また AI を導入した画像検査装置においては検査対象物に適合した最適な機械学習を行う必要があり、これが 1 つのボトルネックになっていると考えられる。弊社では検査対象物の変化や品種追加などに応じてユーザが、機械学習作業を簡単に行うことを可能とするツール「YM Systems AI Training Studio」を開発し提供しているので、最後にこれを紹介する。

2 AI の導入を検討する

(1) 従来方式の問題点と AI の応用について

AI を導入する以前の従来方式による画像検査においては、正規の検査対象物と不良品と判定する対象物のそれぞれの複数の特徴量を、画像計測または画像検査アルゴリズムにより検出・判定する必要があった。検査対象物が食品である場合、いわゆる工業製品とは異なり形状や表面状態にバラつきが大きく、特徴量の探索空間が大きくなり異物の特徴量との違いを判別するための画像検査アルゴリズムが極めて複雑になってしまう傾向があった。またそれら複数

の特徴量の違いを設計段階に完全に解明・整理することができている訳ではなく、実際に装置を製作・納入し大量の対象物を検査する段階になって不具合が判明し、複雑な画像検査アルゴリズムの改変を余儀なくされることが多い現実があった。

深層学習による AI を導入することにより、最適な抽出により得た複数の特徴量を特別に設計した複雑な画像検査アルゴリズムにより処理することなく、深層学習のニューラルネットワークシステムそのものが画像の学習により自動的にいくつもの適切な特徴量に変換して、良否判定するシステムを作り出す。これは AI を導入することによる非常に大きなベネフィットである。従来の方法では、対象物の条件に従った複雑な画像検査アルゴリズムの開発が必要であり、さらにこれを改良していく作業が必要であったが、AI を導入したシステムにおいてはより多くのサンプルによる強化学習をすれば多くの場合は解決する。

(2) 画像検査の AI は自然に賢くはならない

AI 学習には教師付き学習と教師無し学習がある。有名な碁や将棋などの AI は教師無し学習であり、自分の打った一手に対し相手が打ち返した一手により局面が良くなったか悪くなったかを評価することができるので、常に自動的な強化学習を繰り返すことが可能でありどんどん強くなっていく。画像検査の AI も同様に自然に賢くなっていくと誤解されがちであるが、実際にはそうではない。画像検査の現場においては、毎回の AI による画像検査結果をその都度評価する手段がない。したがって現在のところ、画像検査の AI は教師付き学習とせざるを得ない。そのため画像検査の AI は、必要に応じて人手による強化学習作業をすることにより賢くなれる。

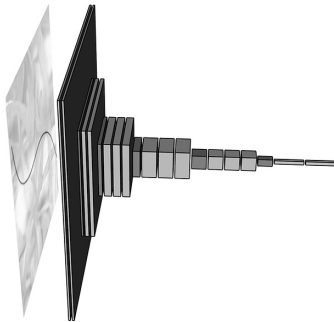
(3) AI 学習にビッグデータが必要か

よく AI 学習には必ずビッグデータ（大量のデータ）が必要で、このビッグデータを記憶しておくことで、いろんな場面に対応することができるという話を聞くことがある。これは半分正解で、半分は誤解であると言える。AI 学習は学習した内容と同一の条件が与えられたときに、それに対応する答えを出すという仕組みではなく、条件が同一ではなくとも似通ったものであればその条件に対応するであろう答えを推定してくれるのである。これを汎化性と呼ぶ。したがって与えられるデータが多いことが望ましいが、ある程度のデータ量でもそのデータを変換して新しいデータを自動作成する augment と呼ばれるテクニックを使用し、大量のデータを学習に使用するので実用上十分な結果を得ることができる。

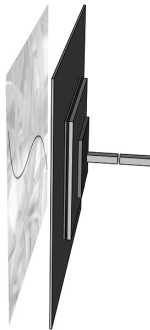
(4) 軽量高速 AI から高性能超深層 AI まで

食品自動検査における AI では一般的に高速性を要求される。例えば豆類外観検査装置においては時間当たり 1 トン内外の処理能力が要求され、これは 1 秒間に約 600 個程度の豆を AI で良否判定することになる（黒大豆の場合）。このようなアプリケーションの場合、AI のニューラルネットワークの構造は必要最小限まで小さくして推論の高速性を確保しなければならない。我々は高速でかつ豆検査において必要最小限のネットワーク ymnet7 を開発した。この場合の推論で使用するパラメータ数は 100,000 個内外であるが、高性能超深層 AI のニューラルネットワークの 1 つである vgg16 ネットワークのパラメータ数は数千万個から数億個であり、ymnet7 の約 1,000 倍程度の大きさである。豆 1 個の処理時間が単純計算で 1,000 倍になる訳なので、現在のところ食品自動検査の現場においては、ある程度単純化して高速処理が可能な規模のニューラルネットワークに留める必要

がある。今後開発される CPU や GPU による処理能力向上に期待したい。



高性能な深いネットワークの例（16層vgg16）



高速で浅く軽量のネットワークの例（7層ymnnet7）

（5）条件によっては前処理により

画像から特徴を取り出しておく

目的によっては特別な前処理を行い、不良品の特徴を強調してから AI 学習させた方が圧倒的に有利な場合がある。例えば毛髪混入画像検査を行う場合を考えると、原画像において毛髪混入の有無の画像の特徴量の差は十分に大きくない。この場合は特殊なフィルタリング処理で毛髪の細くて長い特徴を原画像から抜き出して AI 学習に加えることにより、軽量のニューラルネットワーク構成でも検出正確度を大きく向上させることができることが判っている。

（6）食品画像検査装置に AI を導入すべき理由

一般に食品は工業製品とは異なり、さまざまな外形形状や多様な表面状態であることが多いから、最適な選別アルゴリズムの開発が難しく

AI に適していると言える。例えば金時豆の選別において、表皮が裂けている「裂皮」と呼ばれる不良品がある。煮豆にするとき裂皮があると豆の旨味成分が流れ出してしまい製品の品位が低下してしまうため、裂皮は最も嫌われる不良項目の1つである。しかし、裂皮は皮が裂けながらも元の位置に留まることが多いため、画像検査ではなかなか正確に検出することが困難であり、目視検査でも見落としが多く発生する。AI を導入したシステムによると、かなり良好な正確度で裂皮不良を検出することができる。下図に AI で検出した裂皮不良の例を示す。



裂皮1



裂皮2



裂皮3

この例のように食品画像検査装置において、AIを用いると従来方法では困難であった問題が解決できることが多いため、AIの導入をお薦めする。

3 AI画像検査システムの紹介

(1) 豆類外観検査装置 AI手選りさんEx

当社は2014年に画像計測とアルゴリズムを駆使し乾燥豆の外形状や表面状態を検査する「豆類外観検査装置 DrBean」を発売し、北海道十勝のJA様や大手豆業者様でご使用いただき好評を得ていた。2018年に深層学習によるAIを導入した「AI手選りさん」を開発・発売した。当時の「AI手選りさん」はベルトコンベア上に乾燥豆を搬送しながら上方から二次元カメラで画像撮影し画像検査を行う片面検査であったが、2020年にベルトコンベアから豆を空間に放出し二方向からラインセンサカメラで撮影し豆の両面が検査できる「AI手選り

さんEx」を開発・発売した。「AI手選りさんEx」の外観と概念図を下図に示す。

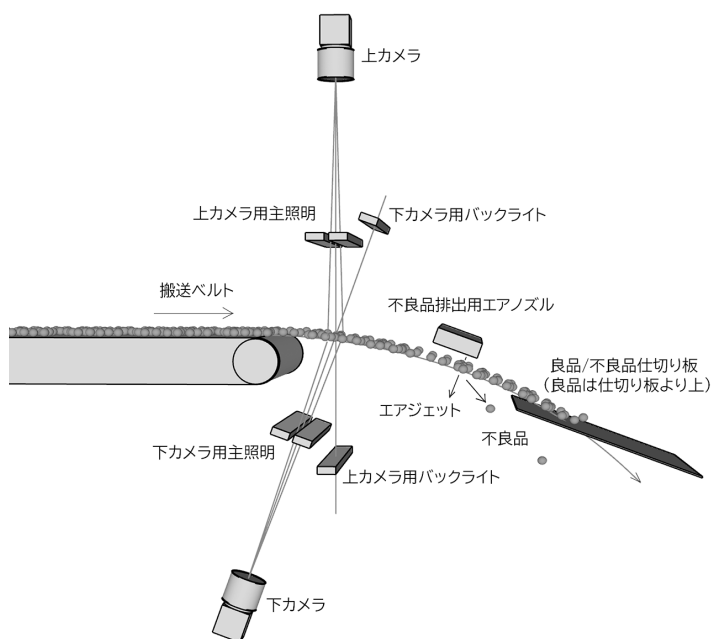
「AI手選りさんEx」は、ホップに供給された豆をフィーダとシュータにより適当な量を搬送コンベアベルトにより水平定速搬送し、ベルト端から空中に放ち上下に配置したカメラにより画像を採取し、画像計測アルゴリズムとAI深層学習推論を併用した良否判定を行い、その結果に従い直ちに多チャンネルエアノズルより不良判定した豆を吹き落とし、良品と不良品に選別する。処理能力は黒大豆において、最大毎時1トンである。豆の検査としては、色や大きさのほか外形状・表面のしわ・裂皮・割れ欠け・虫喰いの検査を行う。また異物検査としては、石や土塊・プラスチック片や金属・異種豆混入などの検査を行う。「AI手選りさんEx」により選別した大豆と小豆の一例を右部に示す。

(2) AI毛髪異物混入画像検査装置

カット野菜などの各種対象物の毛髪異物混入画像検査装置への展開を紹介する。ここでは特



AI手選りさんEx外観図



AI手選りさんEx画像入力と選別の概念図



大豆・良品



大豆・不良品



小豆・良品



小豆・不良品

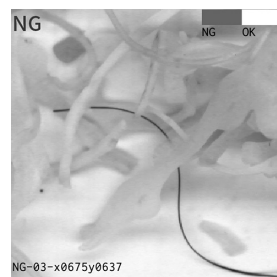
「AI手選りさんEx」により選別した大豆と小豆

に毛髪検出について詳しく説明する。従来、毛髪混入画像検査においては特別なフィルタ処理を行い、複雑な画像テクスチャの中から黒くて細くて長いという特徴のある毛髪だけを抜き出して、その抜き出した画像が毛髪として不良判定をすべきかどうか評価を行い判定するアルゴリズムを用いていた。このアルゴリズムによると毛髪が混入している部分の背景によってコントラストが低下する部分ができ、毛髪特徴抽出画像が複数箇所で分断され毛髪として評価することができないことがあり、検出精度が低下してしまう問題があった。また対象物の自由でランダムな配置により、毛髪と類似した特徴を持つ画像が自然に発生することがあり、さらに例えばエビのひげなど毛髪とよく似た画像の特徴を持つ対象物など、毛髪ではないにも関わらず毛髪混入と判定してしまう問題があった。AIを導入することにより、これらの問題をかなり低減することが可能であり、これまで毛髪混入画像検査装置を導入することが困難であった場面にも、導入をご検討いただけるようになったと考える。

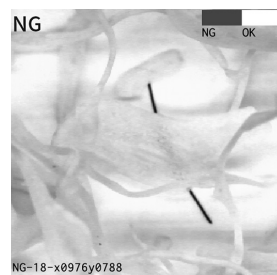
そもそも毛髪混入画像検査においては、100%に近い検出確度を期待することは無理なのである。あくまで画像検査であるから、対象物に潜り込んでしまっている毛髪を検出することはできないし、対象物や背景などと毛髪との

コントラストが十分ではない場合においては画像的特徴を検出することが困難であり、検出できないことがあることを理解しないとイケない。すなわち、例えば毛髪混入によるクレームが年間10件あったものを3件に抑えることができたことを良しと考えることができるならば、毛髪混入画像検査を導入するのが良い。

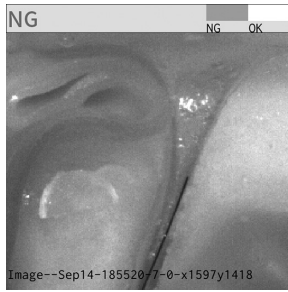
下図のカット野菜は毛髪検査としてはコントラストが高く比較的容易であると言える。これらの画像は対象物による遮閉は所々にあるが、AIによれば問題なく検出ができる。



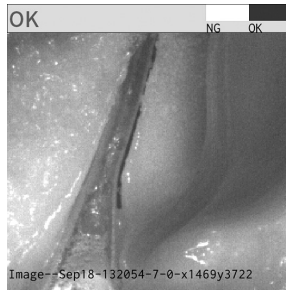
対象物による遮閉例1



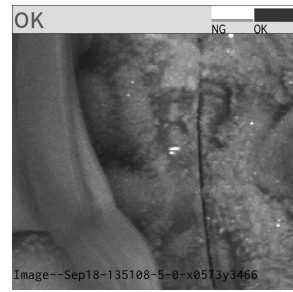
対象物による遮閉例2



毛髪検出の例



毛髪類似画像の例1



毛髪類似画像の例2

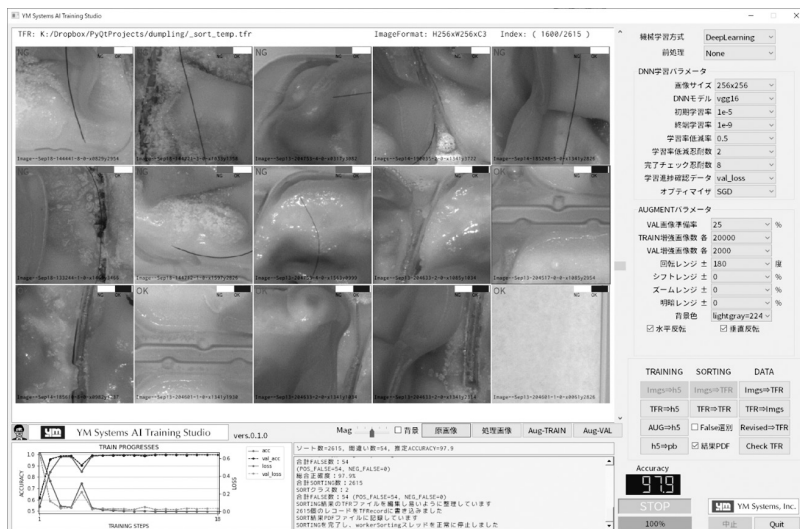
上図は冷凍餃子の例であるが、毛髪の検出は比較的良好に行うことができる反面、毛髪の特徴によく似た筋状の画像が多く、従来方法では良品であっても毛髪混入と判断することが散見された。しかし高性能な深層ニューラルネットワークによるAI学習のシステムによると、その頻度はかなり低く改善されることが判った。左の画像は毛髪が混入していて不良判定となっているが、右の2つの画像は細い間隙が黒くなり毛髪と似た特徴を示していて、従来方法では不良判定となりがちであったが、AIによる推論では良品判定となっている。すなわちAIにより、毛髪の特徴と毛髪類似画像の特徴の違いをある程度区別することができているということである。

4

YM Systems AI Training Studio の紹介

AIを導入したシステムにおいて、ニューラルネットワーク構成の選定と機械学習の結果がその性能を決定する。このため機械学習を行うツールは決めて重要なものであるから、弊社は独自開発した YM Systems AI Training Studio を提供している。以後、studioと呼ぶ。下図にstudioの画面を示す。

実機またはテスト機により採取した画像群を予め良品と不良品に目視選別し、OK および NG などというラベルを振ったディレクトリにストックしておき、studio はこれらの画像を対



YM Systems AI Training Studioの操作ダイアログ

象にして教師付き学習を行い、実機で AI 推論に用いる学習済みファイルを出力するものである。選別は必ずしも OK と NG のような 2 択に限らず、例えば 5 つのカテゴリに選別することも可能である。studio に入力する画像数は選別精度を確保するため、ある程度多いことが必要であるが、studio が入力画像にランダムに変化を加えて大量の学習画像を自動生成して適当にシャッフルして機械学習を行う。studio では機械学習し使用する種々のパラメタ設定を行うほか、ニューラルネットワーク構成を定義することも可能で、軽量で高速なネットワークから高性能な超深層学習ネットワークも作成することができる。studio は軽量のネットワークの学習においてはノート PC でも動作が可能であるが、複雑なネットワークの学習を行う場合や大量の画像を学習対象にする場合においては、学習時間を大幅に短縮する目的で、NVIDIA 製

GPU を搭載した高性能 PC が必要となる。また、ノート PC + 外付けの eGPU という組み合わせも有効である。studio は Windows10, Linux, Mac の環境で動作する。studio は現在のところ単体での販売は行っていないが、弊社の AI 応用画像検査装置を購入していただいたユーザには、as is の形で無償提供している。

5 まとめ

食品自動検査での外観検査装置と異物混入検査装置における AI 導入の有効性について実施例を紹介しながら解説し、さらに AI を導入したあとの強化学習や対象物の追加などによる新規機械学習を行う場合に必要不可欠な、機械学習環境について解説した。

食品自動検査のあらゆる場面で、AI 導入のためのご参考になれば幸いである。