（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和５年度　海外派遣研究員研究報告書

令和７年５月３０日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　　生産工学部（生産工学研究所）
資格・氏名　　専任講師・大前 佑斗

■本報告書の内容を公表することは，了承しております。
□本報告書の内容を公表することは，差し控えください。
※いずれかにチェックし(■)提出すること

令和５年度海外派遣研究員（長期）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　長期

２　研 究 課 題

畳み込みニューラルネットワークによる加工食品内の異物検出に関する研究

３　派 遣 期 間　　西暦　２０２４年3月２５日　～　２０２５年2月２５日

４　派　遣　先　フィンランド，チェコ，オーストリア，オランダ，
ベルギー，ギリシャ

５　研 究 目 的

現在、密封加熱殺菌食品（いわゆる缶詰やレトルト食品など）は、食品加工工場において日々大量に生産されている。このような大量生産のプロセスにおいては、製品の安全性と品質を確保するために、特に充填・密封の各工程で、食品内部に異常物や混入物が存在しないことを確認する作業が不可欠である。現在、この目的のためにX線検査装置、金属検出機、近赤外線分光分析装置、さらにハイパースペクトルカメラといった高度な検査装置が導入されている。これらの装置はいずれも異物検出の精度に優れる一方で、導入や運用には相応のコストがかかるという課題がある。そこで本研究では、近年画像認識分野で著しい進展を見せているたたみ込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network：CNN）を応用し、安価なカメラを用いて取得された１枚の画像のみから、食品内部に潜む異常物を検出する手法の可能性について検討する。検証対象とする食品は、実際の加工現場で使用頻度の高い、食肉・魚・果物である。フィンランドのヘルシンキメトロポリア応用科学大学には，AIOTGarage(人工知能とモノのインターネットの研究所)があり，そこに画像からの異常検出に長けた研究者・技術者が在籍している。また，高度な設備が整っているため，食品画像から

の異常検出に関する研究を遂行できると考えられる Metropolia University of Applied Sciences (Helsinki, Finland)において研究を行なった。

６　研　究　概　要

①研究の方法

本研究では、市販の密封加熱殺菌食品を対象とし、異物の有無を分類するための画像データを収集したうえで、CNN を用いた判別モデルを構築・学習させることにより、異常物検出の可能性を検討した。本節では、まず画像データの取得方法について述べ、続いて本研究で用いた CNN モデルのレイヤ構成および学習条件について詳述する。

本研究における画像データの取得は、実際に市販されている密封加熱殺菌食品を対象として行った。具体的には、大型食料品店で販売されている複数種類の缶詰製品を購入し、それぞれの缶を開封して内容物を取り出した後、食品サンプルを白色のプラスチック製の平板上に配置し、これを真上から撮影することで画像データを収集した。撮影は、自然光を避け、均一な人工照明の下で実施することで、影や照明ムラの影響を抑えた。これにより、画像間の撮影条件のばらつきを減らし、データの信頼性を確保した。収集したデータは、「正常クラス」と「異常クラス」の 2 種類に分類される。正常クラスに属するサンプルには異物は含まれておらず、食品本来の状態が保たれている。一方、異常クラスのサンプルには、意図的に金属製のナット（ボルト部品）を食品内部に混入させており、これは異物混入の代表的な例として設定したものである。このようにして、異物の有無による分類学習が可能なデータセットを構築した。以下の図 1 にこの例を示す。

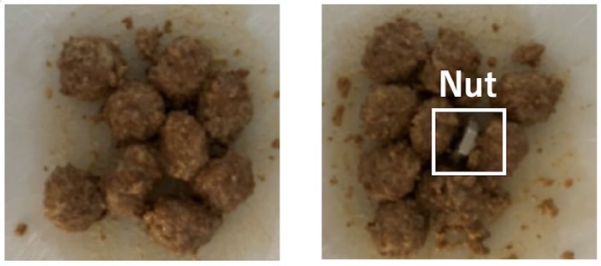


図 1. 正常な画像と異常物（金属ナット）が混入した画像

入力画像は、まず 6 層から構成される畳み込み層および最大プーリング層によって段階的に圧縮される構造となっている。各畳み込み層では、サイズが 5×5 のフィルタを用いて画像中の局所的な特徴を抽出し、これに続く最大プーリング層では、フィルタサイズ 3×3 により空間的情報を縮約することで、特徴量の次元を削減しつつ、位置のずれに対するロバスト性を高めている。このような処理を繰り返すことで、画像の意味的な特徴を保持したまま、データの高次元性を抑えることが可能となる。畳み込みおよびプーリング処理の完了後、得られた特徴マップは 1 次元の縦ベクトル（フラットなベクトル）へと変換される。その後、このベクトルは全結合層に入力され、段階的に次元削減が行われる。具体的には、全結合層は計 4 層からなり、各層の出力次元数はそれぞれ

500、100、30、20 と徐々に縮小され、最終的に 2 次元のベクトルにまで圧縮される。この 2 次元ベクトルは分類結果を示すものであり、第 1 成分の値が第 2 成分よりも大きければ「正常」、逆に第 2 成分の値が大きければ「異常」と判定する仕組みである。各層における活性化関数としては、出力層に SoftMax 関数を用いて確率的な分類結果を得ており、それ以外のすべての中間層では非線形性を導入するために ReLU（Rectified Linear Unit）関数を適用している。学習においては、分類タスクにおける損失関数として広く用いられているクロスエントロピー損失関数を採用し、最適化手法には収束の速さと安定性に優れる Adam（Adaptive Moment Estimation）を使用した。さらに、学習のパラメータとしては、エポック数をそれぞれ 5, 30, 60 の 3 通りに設定して比較を行い、学習率は 10^{-3} に固定した。また、1 回の学習におけるミニバッチサイズは 8 とし、小規模なデータ単位で効率よくモデルの更新を行えるように設定した。

②渡航先での活動内容

研究施設においては、CNN モデルの構築および学習に関する実験を集中的に行った。GPU を搭載した CNN 専用の高性能計算機を活用し、複数の CNN モデルを設計・構築した。また、複数 CPU コアを備えたメニーコアプロセッサを有する計算環境も併用し、Grad-CAM 計算の高速化に関する実験を実施した。これらの計算資源を活用することで、大量の画像データに対して効率的に学習を行い、モデルの性能評価や比較検討を行うことが可能となった。特に、複数の条件を同時に並列実行することにより、短期間で多くの有意な結果を得ることができた。また、この研究成果は、Helsinki metropolia university of applied sciences で開催された ICT Summer School によって公表された。ヨーロッパ中の大学生 30 名程度が聴講した。フィンランド以外の派遣国では、当該研究に関する情報収集（画像処理、機械学習、深層学習）を行なった。

７　研究結果・成果

食肉加工品を対象とした画像データを用いて、CNN による異常物検出モデルの構築と性能評価を行った。データは合計 800 枚の画像から構成されており、このうち 600 枚（正常：300 枚、異常：300 枚）を教師データ、残り 200 枚（正常：100 枚、異常：100 枚）をテストデータとして使用した。学習エポック数を 5、30、60 に設定して実験を行った結果、エポック数の増加に伴い、モデルの分類精度は一貫して向上する傾向が見られた。具体的には、テストデータに対する正答率は、エポック 5 で 85.0%、エポック 30 で 92.5%、エポック 60 で 95.5%となり、特にエポック 5 から 30 への増加により、正答率は 7.5 ポイント向上した。ただし、エポック 30 で学習したモデルは、正常な食品を異常と誤って判定するケースがほとんどなかった一方で、異常な食品を正常と誤認識するケースが 14 件見られた。これは、異物の見逃しにつながる恐れがあり、食品安全の観点からは問題となる可能性がある。一方で、エポック 60 で学習したモデルでは、異常食品を正常と誤判定した件数が 4 件にまで減少し、見逃しのリスクが大幅に低減された。正常食品を異常と判定する誤りもわずか 5 件にとどまり、全体として高いバランスでの分類性能を示した。最終的なテストデータに対する正答率は 95.5%と、最も高

い値を記録している。これらの結果から、異常物の見逃しを最小限に抑えるという目的に照らし合わせると、エポック 60 で学習したモデルが最も適していると考えられる。

さらに、モデルが異常判定を行う際に注目している画像領域を可視化し、判定の根拠が妥当であるかを検証するために、Grad-CAM（Gradient-weighted Class Activation Mapping）を適用した（図 2)。その結果、異常クラスに分類された画像においては、金属ナットの位置に強い反応が示されていることが確認できた。このことから、本モデルは実際に異常物である金属ナットの存在に着目して判定を行っていると解釈でき、単なる統計的なパターン認識にとどまらず、意味的に妥当な領域に基づいて分類していることが示唆される。したがって、本モデルには定量的な性能に加え、定性的な信頼性も備わっているといえる。

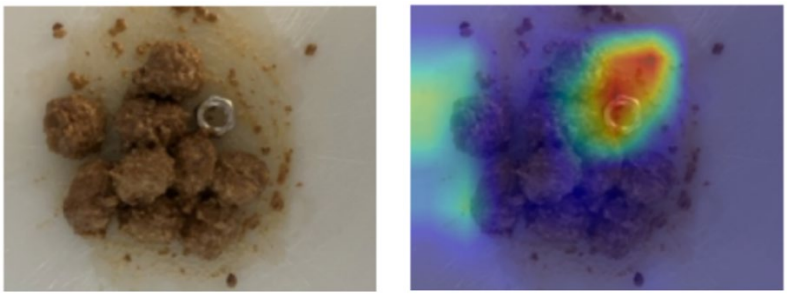


図 2. Grad-CAM

本報告書を執筆している現在において、この結果は「電子情報通信学会 ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会」において発表予定、かつ、信学技法において出版予定である。食肉加工品以外（魚・果物製品）でも類似した研究結果が出ており、これについても適宜外部公表の準備を進めている。

続いて、今後の発展について説明する。本研究では、安価なカメラで撮影した 1 枚の画像のみを用いて、食品内部に混入した異常物の検出を行う手法を提案・検証した。X 線検査装置や近赤外線分光などの従来の検査機器と比較して、専用装置を必要とせず、低コストかつ簡便に導入できる点は大きな利点である。特に、中小規模の食品製造業者にとっては、コスト面・設備面での導入ハードルが大幅に下がることが期待される。今後は、対象となる食品の種類や異物のバリエーションを拡張し、より汎用性の高いモデルの構築を目指す必要がある。また、異物のサイズや形状、色などの違いに対応できるモデルの改良や、撮影条件（照明・角度・背景）へのロバスト性向上も重要な課題である。さらに、実際の製造ラインへの適用を視野に入れた場合、リアルタイムでの推論処理や、自動判定結果のログ化・警告システムとの連携といった実装面での開発も求められる。これらの課題に対応することで、より実用性の高い異常物検出システムへと発展させることが可能であると考えられる。

以　　上