

画像処理を用いた鶏卵非破壊検査に関する研究

高橋 裕之, 大村 功, 新井 浩成, 長尾 信一
村上 由彦*, 清野 弘明*, 橋本 忠幸*

Study on Non Destructive Testing for Eggs using Image Processing

Hiroyuki TAKAHASHI, Isao OHMURA, Hironari ARAI, Shinichi NAGAO
Yoshihiko MURAKAMI*, Hiroaki SEINO*, Tadayuki HASHIMOTO*

抄 録

鶏卵集卵場(GP センター)では,出荷全数に対して,汚れ,傷,変形などの外観検査および血腫・肉片などの混入,殻の裂けなどの内部検査を行い,良品に対しては重量・サイズ選別を行い,梱包,出荷している。重量・サイズ選別および梱包工程はほぼ完全自動化されているが,検査工程は作業者による目視検査により行われている。検査工程は,作業者の労働負担が非常に大きく,また,目視による検査は熟練を要することから,自動化が望まれている。そこで,鶏卵の血腫混入卵(血卵)の識別などの内部検査の自動化を目的として,画像処理を用いた鶏卵非破壊検査システムに関する検討を行った。

キーワード: 画像処理, 鶏卵非破壊検査

1. はじめに

鶏卵集卵場(GP センター)では,出荷全数に対して,汚れ,傷,変形などの外観検査および血腫・肉片などの混入,殻の裂けなどの内部検査を行い,良品に対して重量・サイズ選別し,梱包,出荷している。重量・サイズ選別および梱包工程はほぼ完全自動化されているが,検査工程は作業者による目視検査により行われている。

検査工程のうち内部検査は外乱光を遮光した環境内で鶏卵下部から照明を当て,透過光の状態を見て,作業者が良否判定を行っている。通常,GP センターでは,日産数万個~数十万個出荷しており,検査工程における作業者の労働負担は非常に大きい。また,目視による検査は熟練度を要することから,自動化が望まれている。

本研究では,白色鶏卵の内部検査の自動化を目的として,画像処理を用いた血腫混入卵(血卵)などを判別するための鶏卵非破壊検査システムの検討を行った。

2. 鶏卵非破壊検査画像判別手法

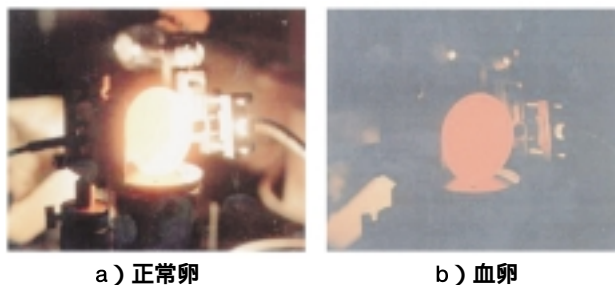
血卵を光に照らして見ると,正常卵に比べて赤く見える(図1)。これは,照射した光が内部に混入した血腫の影響により,血液の吸収帯域波長である575nm 近傍の光を吸収するためと考えられる。作業者は,この色の差やパターンなどから総合的に血卵を判別している。作業者と同様に機械的に計測できれば自動化の可能性がある。

判別手法の検討を行うため,光スペクトラムアナライザを用いて,外乱光を遮光した環境内においてハロゲン光源によるファイバー照明を投光したときの鶏卵透過光の光スペクトラム強度の計測を行った。計測結果例を図2に示す。ハロゲン光源の光スペクトル強度は必ずしも全波長領域において一様ではないが,正常卵と血卵を比較すると,550nm~650nm間の光の波長領域に明確な差があることがわかった。この領域の光スペクトル強度の差から,正常卵と血卵を判別することができる。

3. 鶏卵非破壊検査画像判別システム

遮光ボックス内においてファイバー照明で殻からの回折が

*株式会社エルムデータ



a) 正常卵 b) 血卵

図1 鶏卵投光試験

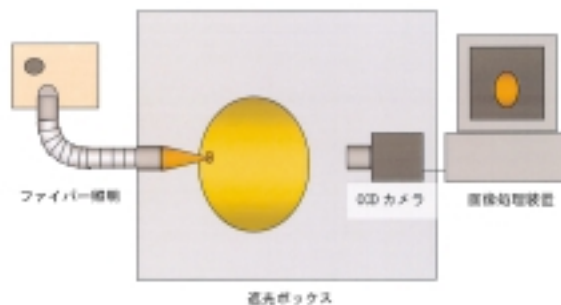
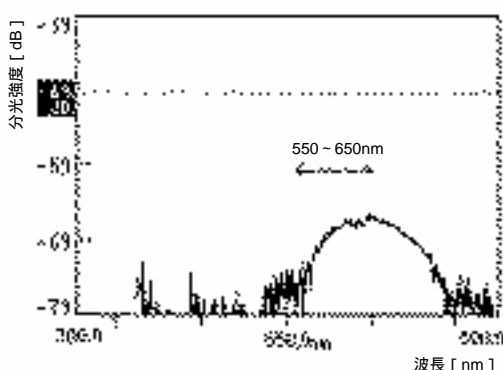
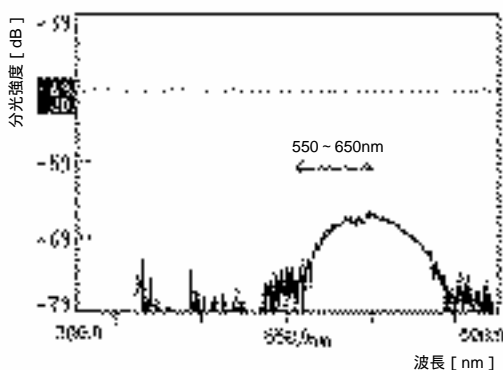


図3 画像処理試験装置構成図



a) 正常卵



b) 血卵

図2 鶏卵透過光スペクトル計測結果



a) 撮像画像 b) 処理画像

図4 処理結果 (左: 正常卵、右: 血卵)

3.1 画像判別処理

画像判別処理の高速化を図るため、FPGA に実装可能なアルゴリズムとして、ヒストグラム演算処理を基にした判別手法の検討を行った。

まず、画像に対して適切な LUT (ルックアップテーブル) 変換処理を行う。これにより濃淡値が低い、明確な血卵部および背景を除去する。この LUT 変換画像に対して、ヒストグラム演算を行い、そのヒストグラムの重心を評価することで、明確な正常卵と血卵の判別を行う。さらに、判別境界線近傍の不明確な血卵を判別するために、ヒストグラムの特定濃度を部分積分した値により評価する。本処理を FPGA へ実装した。

図5に画像判別処理システムを示す。画像処理システムは、画像入出力ベースボード(住友金属製: IP90BD301)にFPGAを搭載した画像処理モジュール(エルムデータ製: IMG_PRO, 搭載FPGA アルテラ社製: EPF10K40RC208-3)を装着して、ボードPCシステム(ワコムエンジニアリング製)に搭載した。照明装置には、メタルハライド光源を用い、光学フィルタには、複数の光学フィルタ(ケンコー製: Y48, CM500S, CAW500)を組み合わせることで550nm~650nmの波長領域の光を選択した。

3.2 評価試験

試作した画像判別処理システムの評価試験を行った。試験サンプルとして、実際にGPセンターで判別した鶏卵224個(正常卵85個, 血卵139個)を用いた。評価値として、正常卵を血卵と誤判断したものを正常卵エラー判定率, 血卵を正常卵と誤判断したものを血卵エラー判定率とした。

ないように投光して、その内部散乱後の透過光を光学フィルタを介してモノクロカメラで撮像する画像処理試験装置を試作し、画像処理を行った。図3は画像処理試験装置の概略図、図4は光学フィルタを介さずに撮影したカラーモニタ画像(図4-a)と2値化処理結果(図4-b)である。このように、正常卵と血卵の処理結果には明確な差が認められた¹⁾。この結果を受けて、画像判別システム開発には、画像処理の高速化が不可欠であるため、大規模プログラマブルデバイス(FPGA)に実装するための画像判別アルゴリズムを検討し、FPGAを用いた画像判別処理システムの開発および評価試験を行った。

その結果、正常卵エラー判定率2.2%、血卵エラー判定率1.8%が得られた。処理速度は、最大101ms（ハードウェア画像処理時間）であり、FPGAへの適用により高速処理化が実現できた。しかし、GPセンターでは、通常、日産数万個～数十万個の鶏卵を処理している。このため、本判別処理結果と同じ割合で判断した場合、1日あたり数百個～数千個誤判断することになる。実用化のためには、さらに、高精度な判定が要求される。

本アルゴリズムにおける血卵の誤判別の主要因としては、微少血腫や肉片の混入が判別できないことが考えられる。ヒストグラム演算を基にした本アルゴリズムでは、画素の位置情報が欠落するため、塊としての評価ができないことから、微少血腫はノイズに紛れてしまい判別は困難である。また、血腫の影響とは関係ない肉片は、550nm～650nmの光スペクトル強度に影響を及ぼさないため光学フィルタを用いた本アルゴリズムでは判別できない。

4. 判別機能の向上に関する検討

画像判別処理システムでは、高速化を図るためにヒストグ

ラム演算を基にした画像アルゴリズムをFPGAに実装して評価試験を行った。その結果、比較的小さな塊状の血腫などを検出することが出来ず、検出精度の向上が図れなかったと考えられる。このため、個々の鶏卵の血腫混入状態を定性的に評価し、検出精度向上を図るためにカラー画像判別処理および1次元分光器（イメージ分光画像）を用いたイメージ分光画像判別処理からの検討を行った。

4.1 カラー画像判別処理の構成

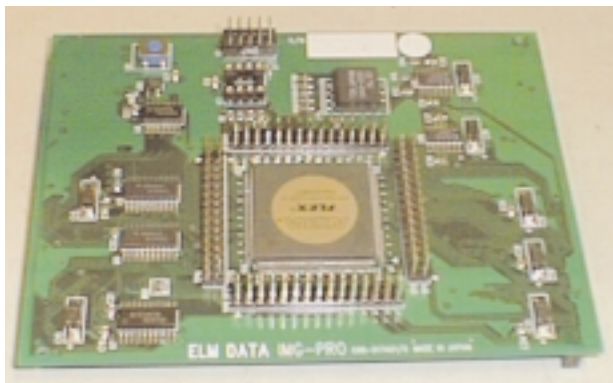
本手法では、カラーカメラにより得られたR、G、B画像を用いて、評価する手法について検討を行った。

血腫混入で影響を受ける550nm～650nmの波長領域は、ほぼG画像の領域に相当する。このため、正常卵および血卵ともに影響の少ないR画像との差分または比を求めることにより、血腫による影響を明確にできると考えられる。

本処理では、

$$J_{ji} = k \times R_{ji} - G_{ji} \quad (1)$$

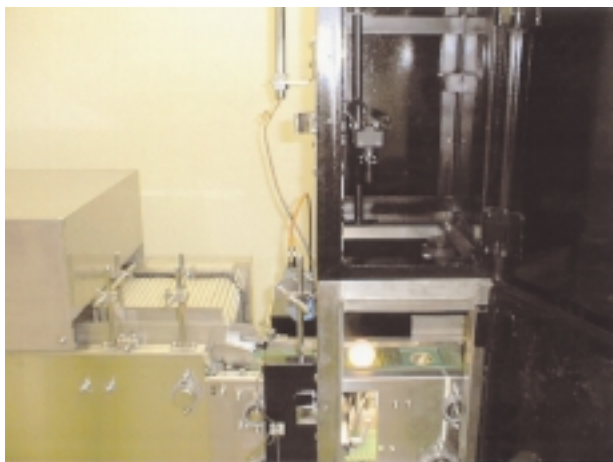
により評価を行った。ただし、 k は係数であり、ここではR



a) 画像処理モジュール



b) 画像処理システム



c) 撮像部



d) 全体図

図5 画像判別処理システム



a) 正常卵

b) 血卵(全体)

c) 血卵(一部)

図6 カラー画像処理結果

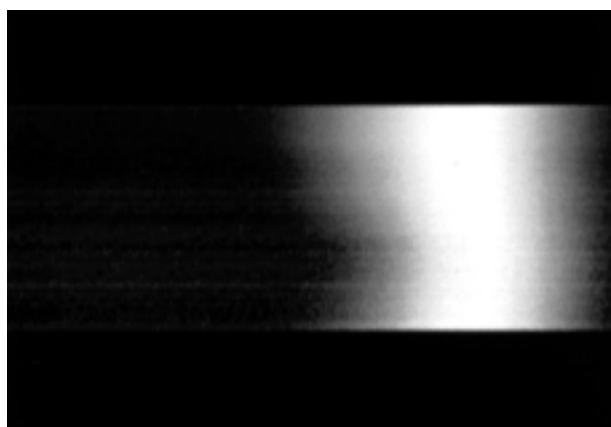
画像, G画像の最大輝度値が同一になるように各画像毎に設定した。添え字 j, i は画素の座標位置を示し, R_{ji}, G_{ji}, J_{ji} はR画像, G画像, 処理画像の座標 (j, i) の濃度値を表す。式(1)により抽出された画像に対して2値化処理を行い, 鶏卵部に検出された画素数により評価を行う。本処理では, 自動的に背景との分離を行っていないため, 目視により画素が「無」, 「少」, 「中」, 「多」として評価を行った。このうち, 「無」以外は血卵とした。本処理結果表示例を図6に示す。図上段の左からカラー画像, R画像, G画像, B画像であり, 下段の左から式(1)によるR画像とG画像の差分画像およびその2値化画像を表示している。

4.2 イメージ分光画像判別処理の構成

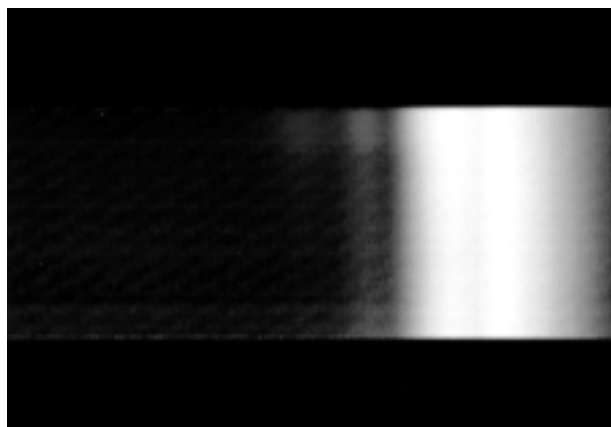
イメージ分光器を介して撮像したときに得られる画像(イメージ分光画像)の概念図を図7に示す。これにより得られる画像は, 対象物のある1ライン分に対する光の波長毎の分光強度データである。鶏卵の正常卵および血卵のイメージ分光画像を図8に示す。これらの画像から, 正常卵と血卵では, 中央部付近の濃淡値に大きな違いがあることがわかる。複数の鶏卵に対して画像の鶏卵部分の画素を各波長毎に積分したグラフを図9に示す。このグラフからも, 300~420画素位置に大きな相違が確認できる。この画素領域は, 550nm~650nmの波長領域に相当し, 光スペクトラムアナライザに

よる計測結果と同様の結果が得られている。そこで, イメージ分光画像を用いた判別手法に関して検討を行った。

本処理では, 血液の吸収帯域波長である575nmに相当する画素位置390画素目に注目した。まず, 分光強度の最大値を255, 最小値を0となるように正規化処理を行った。これにより, 照明などの撮像条件の違いによる影響を排除し, 血腫による吸収の影響の少ない波長と多い波長を比較した処理と同等の効果が得られると考えられる。さらに, 位置毎の390



a) 正常卵



b) 血卵

図8 鶏卵イメージ分光画像

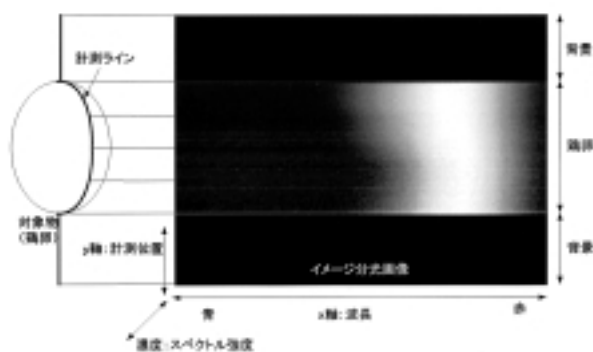
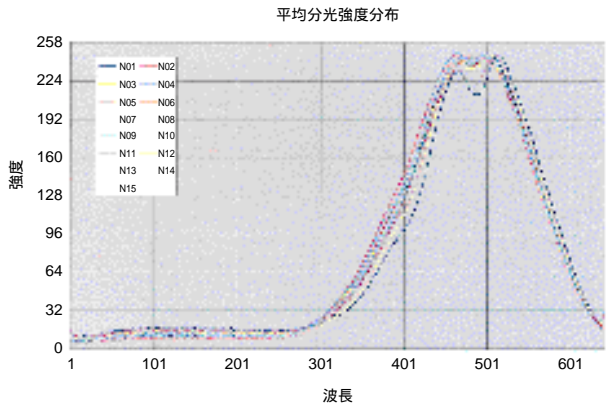
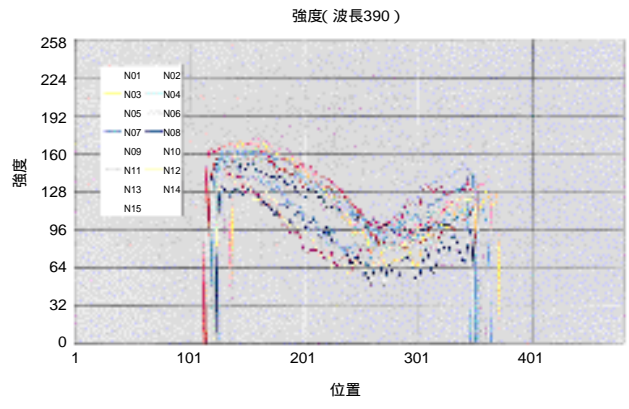


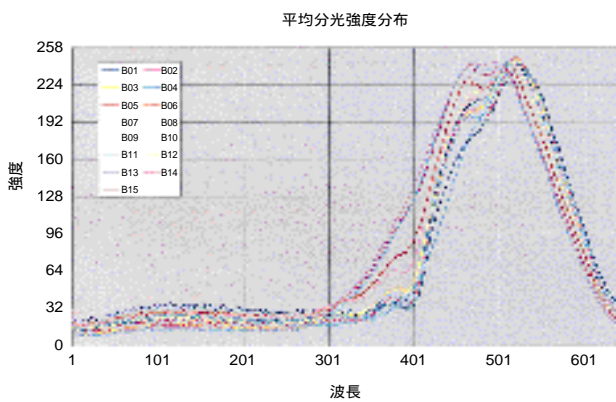
図7 イメージ分光器概念図



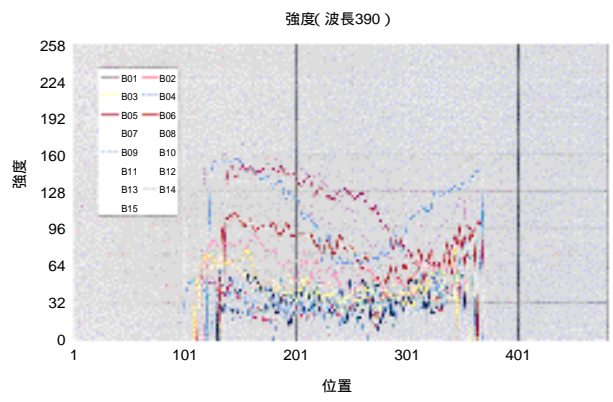
a) 正常卵



a) 正常卵



b) 血卵



b) 血卵

図9 各波長毎の積分グラフ

図10 390画素目(約575nm)の強度分布

画素目の値を評価することで、血卵を判別する。鶏卵に混入している血腫の位置により、データの分布状態が異なると考えられる。カメラに近い箇所に血腫がある場合には、強度は大きく落ち込むが、範囲が狭い。また遠い箇所にある場合には、強度差は少ないが、広い範囲に及ぶ。このため、評価基準を2種類設定した。1つは、特定強度値より小さいデータの割合が基準値1より大きい場合。2つ目は、基準値2より小さなデータが1つでもあった場合とした。本処理では、基準値1を60%、基準値2を40に設定して試験を行った。

390画素目の強度分布の一例を図10に、判別処理結果を図11に示す。図11では、波線で区切られた左上箇所が正常卵、その他が血卵を表している。

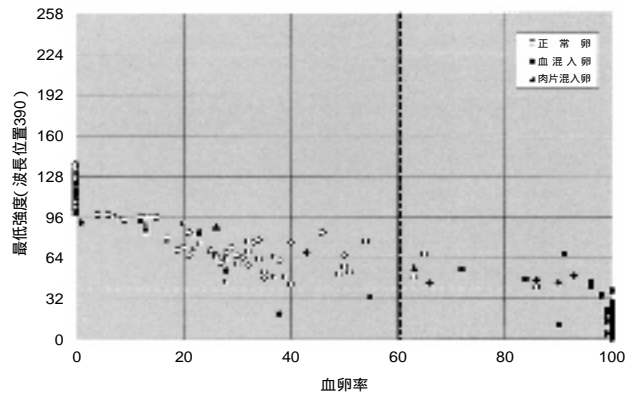


図11 イメージ分光画像による処理結果

4.3 評価試験および考察

鶏卵のサンプル(79個)に対してカラー画像判別処理およびイメージ分光画像判別処理による評価試験を行った。判別処理結果を表1に示す。表1で、正常卵Aは、目視による非破壊検査で正常卵と明確に判断できるもの。正常卵Bは、目視による非破壊検査では判断できないが、割ったときに、血腫などの混入がみられないもの。血腫多量、少量、微量は、

割ったときに血腫の混入があり、目視で量を判定した。肉片は、割ったときに肉片が混入していたものである。

カラー画像判別処理では、正常卵Aは38個中36個、正常卵Bは29個中2個を正常卵として判別できた。正常卵Aで誤判別したうち1個は、双子(黄身が2個)が入っており、黄身の色の影響が大きいため光の透過が少なく、全体的に暗くなるのが原因と考えられる。イメージ分光画像判別処理では、

表1 カラー画像およびイメージ分光画像判別処理結果

鶏卵 総数 (79個)	カラー画像 判別個数	イメージ分光 画像判別個数
正常卵A (38個)	36	38
正常卵B (29個)	2	6
血腫多量 (4個)	4	4
血腫少量 (4個)	4	4
血腫微量 (3個)	1	0
肉片 (1個)	0	0

正常卵Aは38個中38個全て、正常卵Bについても29個中6個正常卵として判別できた。正常卵Bは、黄身の色が濃い、白身の透明度が低いなどの要因により血卵との判別が難しいと思われる。カラー画像判別処理は、色の割合で判断するため、作業員と同様な判別結果が得られており、イメージ分光画像判別処理では、血腫に影響を受けた光スペクトルの影響を直接評価しているため、作業員が判別できない鶏卵に対しても判別可能となり、作業員より正確な評価ができたと考えられる。

血卵に対する判別結果としては、カラー画像判別処理およびイメージ分光画像判別処理ともに血腫多量、少量に関しては4個中全てを血卵として判別できた。血腫の量が比較的多いことで、その周辺部への影響が大きくなることから、カラー画像では、R画像とB画像の濃度差が大きい領域が広く分布するためであり、イメージ分光画像では、計測ライン上に血腫の影響が及ぼす割合が非常に高くなるためである。

血腫微量の場合には、血腫の影響を及ぼす領域が小さいため、位置や周辺の状況に左右されやすい。カラー画像では、R画像、B画像の差が不鮮明となり、周辺の影響に埋没していると考えられ、イメージ分光画像では、計測ラインと一致しない場合が多くなる。しかし、計測する角度や位置を変えながら複数回計測することで判別できる場合もあることから、計測方法の改善を行うことで判別精度の向上が図られる。

肉片の場合は、両手法ともに判別できなかった。本サンプルでは肉片は1個であり、白っぽい色をしていた。このように血腫の影響によらない欠陥は、イメージ分光画像判別処理では原理的に難しい。カラー画像判別処理においても、判別出来なかったが、目視では画像中の肉片の陰影を確認できた。このことから、より陰影を明確にした画像を得ることにより検出が可能になる。本試験装置で用いた照明は、B成分が弱いため確認出来なかったが、B画像などは、R、G画像に比較して陰影が明確になりやすい。今後、肉片の検出手法の検討を進める必要がある。

本評価試験では、サンプル数に限定はあったが、それぞれの判別処理に対する傾向が確認できた。これにより、ヒストグラム重心法では不可能であった微少血腫や肉片などを検出できる可能性が見いだせ、判別の高精度化が期待できる。今後、カラー画像判別処理により全体的な傾向や肉片の検出を行い、さらに、イメージ分光画像判別処理を併用することで

血腫の判別を高精度に行うことができ、これまでの作業員にかわる選別システムの開発が可能となる。

5.まとめ

白色鶏卵の内部検査の自動化を目的に、血卵などを判別するための鶏卵非破壊検査システムについて、以下の項目に関して検討を行った。

- 1) 正常卵と血卵における光スペクトラム強度の特定波長領域(550nm~650nm)の相違を利用し、光学フィルタとモノクロカメラによる判別手法の検討を行った。
- 2) 検討結果を基に画像処理の高速化を図るために、ヒストグラム演算を中心とした判別アルゴリズムを考案して、FPGAに実装し、画像判別処理システムの試作を行った。
- 3) 画像判別処理システムでは、画像処理の高速性は確認できたものの、微少血腫や肉片の判別が困難であったため、判別機能を定性的に評価するためにカラー画像判別処理およびイメージ分光画像判別処理からの検討を行った。

これらの結果から、カラー画像判別処理とイメージ分光画像判別処理を併用することで高精度なシステム開発を行うための指針を得た。今後、自動鶏卵非破壊検査システムの開発を進めるために、GPセンターなどで実証試験を行う必要がある。また、本報では、白色卵を対象に検討を進めてきたが、有色卵への対応も図る必要がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり、試験サンプルの提供および貴重な助言を頂きました北海スターチェック株式会社に深謝いたします。

引用文献

- 1) 高橋裕之他：内部散乱光画像を利用した鶏卵非破壊検査システムの開発、平成10年度工業試験場事業発表会要旨、北海道立工業試験場、pp.21、(1999)