

画像処理を用いた島原手延べ素麺の品質管理に関する研究

辺 見 一 男

A Study on QC of SHIMABARA Silver Line Noodle Using Image Processing

Kazuo HEMMI

あらまし

島原手延べ素麺の品質管理の一環として、完成した素麺の画像をデジタルカメラで撮影し、この画像を処理することによって異物が混入した素麺の検出を行う方法について提案する。また、混入した異物の場所を特定するために、異物と生地との明度判定基準を算出する方法についても提案を行う。合計100サンプルをテストデータとして用い、良品判定実験と異物位置の検出実験を行った。その結果、良品判定実験では100%の検出率を、異物位置の検出実験では97%の検出率を得ることができ、本稿で提案する手法の有効性が確認できた。

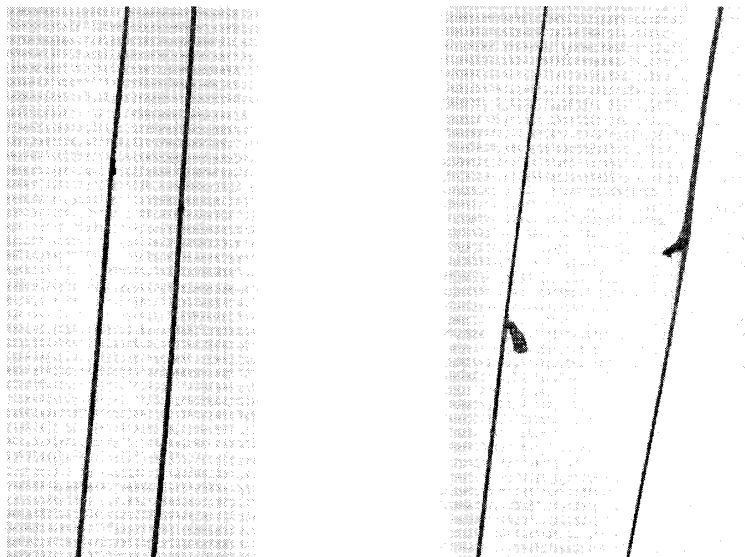
1. まえがき

島原の乱をきっかけに、小豆島から素麺職人が島原に移住し、素麺を作り始めたのが島原手延べ素麺の起源だといわれている。以降約350年、島原手延べ素麺は途切れることなく作り続けられてきた。島原には、素麺作りに適した雲仙の伏流水が豊富に湧き出していたことも素麺作りが栄えた理由の一つであろう。今では、全国の生産量の約3割を生産し、播州に次ぐ大産地となっている。しかしながら、長年三輪素麺への製品提供を行ってきたため、島原素麺の知名度は低く、全国的にはほとんど無名の存在であった。近年、島原半島産業振興策のひとつとして、島原の手延べ素麺の品質を高め、全国ブランドにしようとする動きが広まっている[1,2]。このためには、味や食感、歯応えなど、食べた時の品質も大切ではあるが、それにも増して重要なのは、完成品に異物を混入させないための品質管理体制の確立である。品質管理を考える場合、製造工程中での異物混入を防止することと、完成品に含まれる不良品を検出・除去ことの2方面からアプローチする必要がある。本論文では、後者の立場から品質管理を捉え、完成品の中から不良品を検出する方法を取り扱う。

素麺の完成品検査は、人による目視検査が中心であったが、検査員の高齢化などの影響もあり、目視による検査だけでは現在以上に不良品の発見率を高めることは難しくなっている。そのため、目視に頼らない自動検査方法の開発が強く望まれている。素麺に混入する異物はゴミや油などが多く、完成品の上に黒いシミ状となって付着するが多い。素麺の生地はほぼ白色であるので、異物とは明らかに明度が異なっている。そこで、本論文では、完成した素麺の画像をデジタルカメラで撮影し、この画像を処理することによって異物が混入した素麺の検出を行う方法について提案を行う。その際、素麺生地と混入異物との明度差に着目し、異物と生地の明度判定基準を算出する方法についても提案を行っている。

2. 検査対象

素麺の不良品は形状的なものと異物混入によるものがある。したがって、品質検査は形状と異物混入の両面から行わなければならない。不良品の代表例を図1に示す。図1(a)が異物混入による不良、図1(b)が形状の不良である。形状の不良は比較的発見しやすいので、本稿で取り扱う不良品は図1(a)に示した異物混入によるものとする。混入する異物は、同図に示したように黒点状となって付着する 경우가多く、この黒点を今回の検出対象とする。



(a)が異物混入によるもの

(b)形状不良によるもの

図1 素麺の不良品の例

3. 撮影装置ならびに撮影方法

本論文で提案する手法は、素麺生地と混入異物との明度差に着目したものである。したがって、

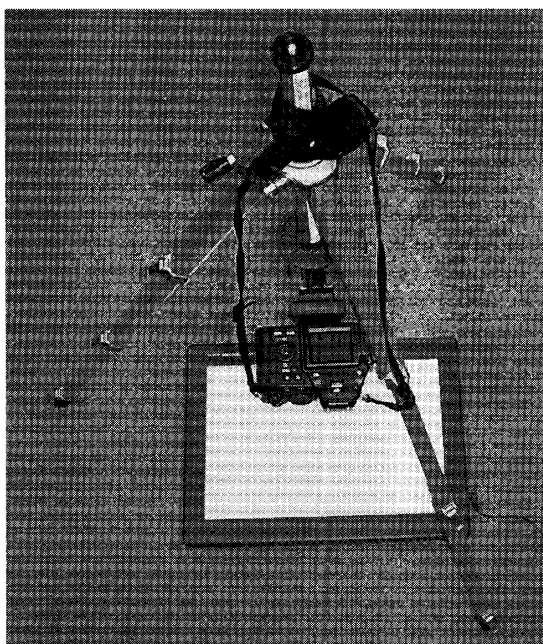


図2 撮影装置の構成

撮影するたびに画像全体の平均明度が変化すると安定した検出結果を得られなくなる。そこで、画像の撮影条件を厳密に定め、撮影画像間の明度変化を極力減少させるように配慮した。撮影装置の構成を図2に示す。撮影時の明度条件を一定にするために、明度が一定で光ムラの少ないスライドフィルム用のライトビューアを用いた。照明面の大きさはA4サイズである。ライトビューアの照明面上に素麺を1本置き、上方よりデジタルカメラで撮影した。その際に、周囲の明るさにより撮影条件が変わらないように、部屋を暗くして照明の影響を受けないように注意して撮影を行った。撮影対象物体の下から光を当てているので、画像の背景は階調値が高くなり、試料の部分の階調値が低くなる画像が得られる。撮影した画像はカラー画像であるので、これを白黒画像に変換した後、解析を行った。デジタルカメラで撮影した画像の解像度は非常に高いので、処理手順の高速化を計るため、512×512画素の領域を切り抜いた画像を解析に用いた。

4. 良品判定レベルの決定方法

本稿では、画像の明度差に注目して異物混入の有無を判定する方法を用いた。異物は画像中で特に暗く写るので、他の領域に比べ階調値が低くなっている。この特徴を利用して、良品と不良品の判定を、画像中に含まれる階調値の最小値を用いて行うこととする。

良品判定の基準となる階調値の決定は、良品10サンプル、不良品10サンプルの合計20サンプルを用いて行った。異物は黒い陰として画像中に表れるため、良品と不良品では最小階調値が異なると考えられる。良品の画像の最小階調値と不良品の画像の最小階調値を表1に示す。良品画像の最小階調値と不良品画像の最小階調値の間には、明らかに差があることがわかる。良品画像の最小階調値の分布は168から185である。一方、不良品画像の最小階調値の分布は53から137である。良品判定のための階調値は、両分布からの距離が最も遠くなる中央値を採用した。中央値は簡単に計算でき、155となる。画像の最小階調がこれよりも小さければ不良品、これよりも大きければ良品と判定することとした。

表1 最小階調値

(a) 良品の画像

良品のサンプルNo.	最小階調値
1	174
2	173
3	174
4	185
5	168
6	169
7	175
8	177
9	179
10	176

(b) 不良品の画像

不良品のサンプルNo.	最小階調値
1	75
2	137
3	62
4	58
5	57
6	84
7	93
8	135
9	53
10	67

5. 2値化レベルの決定

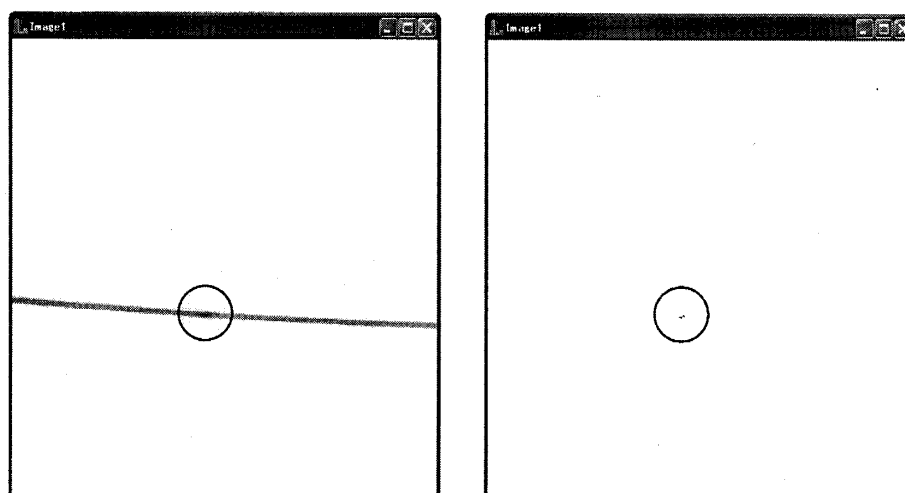
良品か不良品かの判定を行うための判定レベルの設定方法については先に述べた。しかしながら、サンプルが単に良品であるか不良品であるかの判定を行うだけではなく、どの部分に異物が混入しているかを示すことが重要である。すなわち、異物混入箇所を特定し、画面上にその場所を表示できるようにする必要がある。画像を2値化し、異物のみの画像を抽出することができ

ば異物の箇所を特定できることになる。そのためには、2値化レベルの決定方法が最も重要となる。2値化レベルの設定方法については、多くの手法が提案されている[3-6]が、ここでは次の手順によって定めた。

異物を検出する際に、非常に小さなものまで検出すると、異物とは言えないような埃まで異物として認識してしまい、不良品の割合が極端に多くなる恐れがある。そこで、本稿では、検出する異物の大きさは、素麺の直径の4分の1以上と定めた。実験に用いた素麺の直径はおよそ0.8mmであった。その4分の1は0.2mmであり、これ以上の大きさのものを異物として扱うこととする。素麺の直径はおよそ0.8mmであるが、これは画素数に直すと約12画素に相当するので、0.2mmは3画素となる。異物の形を正方形と仮定すると、0.2mmサイズの異物の各辺の長さは3画素となり、その異物を構成する画素数は9画素ということになる。以上より、本稿では、異物は9画素以上のサイズを有し、その階調値は他の領域よりも低いものと定義する。異物の場所を特定するための2値化レベルは、画像領域内の階調を下位より順に調べ、その累積値が9画素を越えた際の階調値を、異物混入箇所を特定するための2値化レベルとして定義した。

6. 判定実験の結果

判定実験は、良品か不良品かを見分ける実験と、異物混入箇所を特定するための実験の2種類について行った。判定実験に用いたデータは、良品50サンプル、不良品50サンプル。合計100サンプルである。そのうち、良品判定レベルの決定に用いた20サンプル（良品10サンプル、不良品10サンプル）をクローズドテストデータとして用い、これとは別に80サンプル（良品40サンプル、不良品40サンプル）をオープンテストデータとして用いた。これら、100サンプルについて良品判定と異物混入箇所を特定する実験を行った。良品であると判定した場合は、異物混入箇所を特定する処理は行わず、良品であるとの判定だけを行った。不良品であると判定した場合は異物のみを表示するようにした。異物検出が成功した場合の画像例を図3に示す。図3(a)は処理前の原画像、図3(b)は検出した異物の場所を示した画像である。



(a)原画像

(b)検出結果

図3 異物検出例 (○内が異物混入箇所)

実験結果を表2に示す。良品判定実験では100%の検出率を得ることができた。また、異物混入箇所を特定する実験では、クローズドテストデータについては95%、オープンテストデータについては97.5%、全体の平均では97%の検出率を得ることができた。誤判定を起こした例は3サ

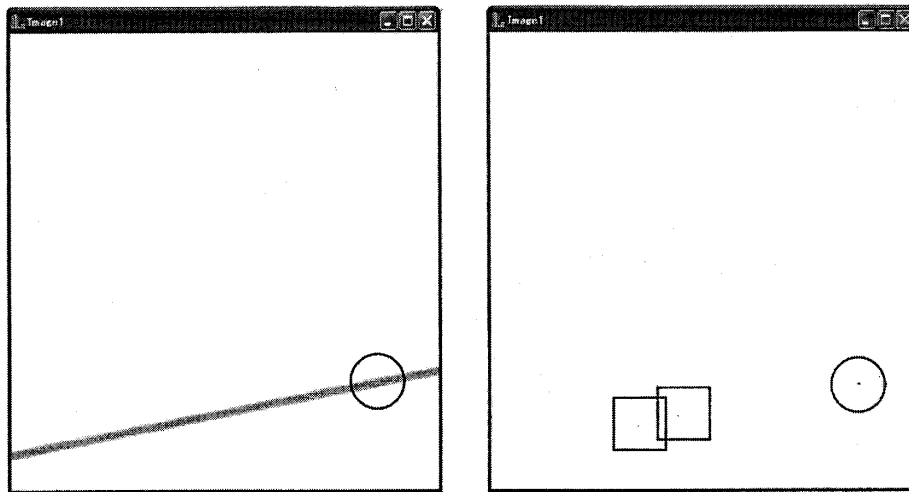
表2 実験結果

良品判定結果				異物混入箇所の判定			
クローズドテストデータ		オープンテストデータ		クローズドテストデータ		オープンテストデータ	
判定成功	誤判定	判定成功	誤判定	判定成功	誤検出	判定成功	誤検出
20 / 20 (100%)	0 / 20 (0%)	80 / 80 (100%)	0 / 80 (0%)	19 / 20 (95%)	1* / 20 (5%)	78 / 80 (97.5%)	2** / 80 (2.5%)

表内の数値は、検出結果／サンプル数 を表す。()内はその%表記である。

*異物箇所は検出できたものの、他の領域まで異物として検出した。

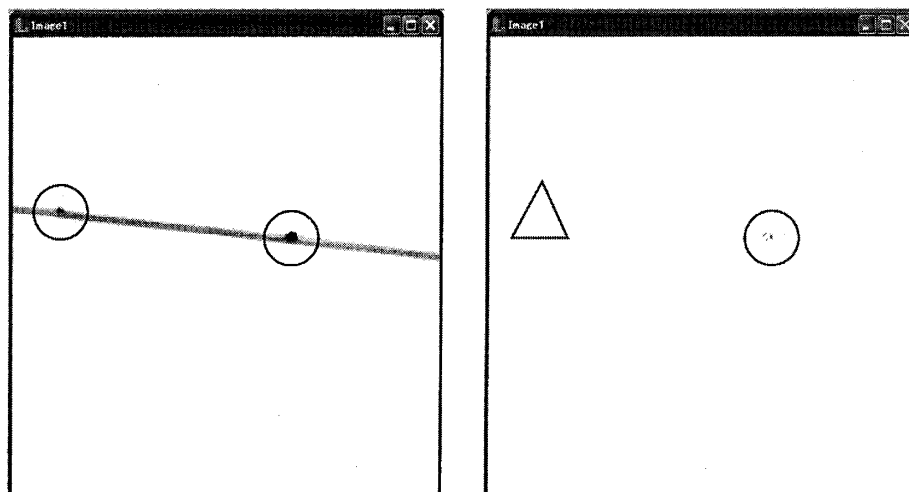
**異物が2箇所に入っていたため、1箇所だけしか異物混入箇所を特定できなかった。



(a)原画像

(b)検出結果

図4 異物以外の部分まで検出した例 (○が異物混入箇所。
□は異物ではないのに、異物と誤判定した箇所)



(a)原画像

(b)検出結果

図5 2箇所異物のうち1箇所しか検出できなかった例 (○が異物混入
箇所。△は異物であるのに、異物なしと誤判定した箇所)

ンプルであった。

誤検出結果の例を図4と図5に示す。誤検出の原因は明らかで、異物が小さすぎる場合と異物が2つ以上混入した場合であった。異物が小さすぎるための誤検出が1件、異物が2箇所以上に混入したための誤検出が2件である。図4は、異物のサイズが小さかったため、異物以外の領域まで異物であると特定してしまった場合の例である。また、図5は異物が2箇所に混入していたが、そのうちの1箇所しか特定できなかった場合の例である。今回想定している異物は9画素以上である。小さな異物まで検出するためには、異物の想定サイズを小さくすれば解決することができるが、2つ以上の異物が混入した場合は、今回提案した方法だけでは解決しにくく、新たな処理を追加する必要がある。

7. あとがき

本論文では、島原手延べ素麺の品質管理の一環として、素麺の画像をデジタルカメラで撮影し、この画像を処理することによって異物が混入した素麺の検出を行う方法について提案を行ってきた。混入した異物の場所を特定するために、素麺生地と混入異物との明度差に着目し、異物と生地との明度判定基準を算出する方法についても提案を行った。合計100サンプルをテストデータとして用い、良品判定実験と異物位置の検出実験を行った。その結果、良品判定実験では100%の検出率を、異物位置の検出実験では97%の検出率を得ることができた。誤検出の原因は、異物が小さすぎる場合と異物が2つ以上混入した場合であった。異物が小さすぎるための誤検出が1件、異物が2箇所以上に混入したための誤検出が2件、合計3件の誤検出が起こった。小さな異物まで検出するためには、異物の想定サイズを小さくすれば解決することが可能である。2つ以上の異物が混入した場合は、今回提案した方法では解決しにくいと思われるので、これについては今後の課題としたい。

謝 辞

実験に用いた試料は「株式会社 素兵衛屋」より提供していただきました。ここに感謝の意を記します。

<参考文献>

- [1] 日本経済新聞 “島原そうめん、自立へ一歩——370年の歴史、下請けから脱出”，2005年8月6日夕刊，9面
- [2] 日本経済新聞 “素兵衛屋社長永川幸樹氏——そうめん拡販へ陣頭指揮（拓く）”，2004年10月2日，34面
- [3] 吉川寛，関明伸，黒田伸一，池端重樹：“面積情報に基づくしきい値決定法”，信学技報 IE91-131
- [4] 周長明，高木幹雄：“ピーク検出に基づいた最適なヒストグラム分割法とその閾値選択への応用”，テレビジョン学会誌，Vol.45，No.10，pp.1179-1189（1991）
- [5] 外山直子，伊藤正安：“輝度分布の形状を利用した図面の2値化手法”，信学論(D-II)，Vol. J74-D-II，No.5，pp.648-654（1991）
- [6] 曾根原登：“画像の最適2値化を行う緩和型神経回路モデルとその並列コンピュータによる実現”，信学論(D-II)，Vol. J74-D-II，No.6，pp.678-687（1991）