

製麺工程における「麺の太さ自動計測システム」の開発

Development of "automatic noodle thickness measurement system" in the noodle making process

電子・機械技術部 電子・情報科 尾形直秀 三瓶史花
電子・機械技術部 機械・加工科 渡邊孝康

応募企業では手延べ製法による乾麺の製造にあたり、重量を計測することで麺の太さの品質管理を行っているが、より高度な品質管理のために麺の太さをリアルタイムに取得したいという要望があった。本研究では、安価な USB カメラとパソコンにより 2次元画像から麺の太さを計測する装置を開発し、実際の製造現場で計測を行った結果、計測値と重量に実用性のある相関値が得られた。

Key words: 寸法測定、非接触、動画

1. 緒言

応募企業の有限会社やない製麺では手延べ製法の乾麺を製造している。手延べ麺は棒状の麺を撻り、引き伸ばしで、所定の太さまで細めていくというもので、押し出しや麺切りのように機械的に太さを設定することはできない。細めの工程では、作業者は麺が通過するプーリの掛け替えを経験則的に行うことで、太さの調整をしている。2つ目の細め工程はその出口で麺を2本の管竹に8の字に編む「カケバ」が行われ、その重量で太さを管理している。応募企業では、リアルタイムに太さを測定し、基準範囲を外れるとアラーム鳴動するような仕組みを要望しており、さらには太さを制御するという要望を持っている。

本研究では、カメラから取り込んだ2次元画像より寸法測定する簡易な装置を開発し、麺の太さの測定結果から実用可能性を検討した。

2. 実験

2. 1. 背景

2. 1. 1. 製麺工程での寸法計測

製造工程中で麺形状での測定に関する事例は見当たらない。これには次の理由が考えられる。

- (1) 一般的な機械式製麺は切り分けや、押し出しで行うので、刃の間隔や麺金型の形状で麺の形状を一定に揃えることができるため品質管理以外の計測が必要ない。
- (2) 乾燥前の麺は柔らかく、ノギスやマイクロメータなど機械的な寸法測定では麺が変形してしまう。
- (3) 手延べ麺においては断面が円形ではない上に、太さが一定ではないため、実質的な太さを反映する測定が困難である。
- (4) 切り分け式の機械製麺では麺帯の厚さを自動測定し制御を行っている事例はあるが、麺形状での測定事例は見当たらなかった。



足踏み & 圧延



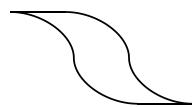
細め



細め & カケバ



麺生地



带状



棒状



2本の棒に8の字巻

図1 手延べ製麺の途中工程

2. 1. 2. 手延べ麺の寸法管理

手延べ麺の太さの管理は袋詰め直前の検査で主に目視で行われ、形状不良のものは取り除かれる。

応募企業では、カケバ工程で重量計測によって製品管理を行っている。手延べ製麺の途中工程を図1に示す。

この工程は2本の管竹に8の字に麺を巻き付けるもので、これ以降の工程はカケバに巻かれた40~60本の麺を並行して伸ばしていくようになるので、1本の麺について太さを調整するのは不可能になる。最終的に麺の太さを一定に調整できるのは、この2回目の細め工程である。今回の測定は細め工程とカケバ工程の間で行うことにした。

2. 2. 実験装置の開発

2. 2. 1. 計測方式の検討

乾燥前の麺生地は弾力性があることから、非接触方式を検討する。麺の断面が定形ではないこと、工程中の麺生地は振動するため位置のブレが大きいことから精度の高いレーザ方式の利用は困難である。このため、カメラ画像を利用する寸法計測を行うことにした。特に、本研究ではリアルタイム計測が実用可能かどうか目安をつけることが目的であるので、なるべく安価に装置が製作できることは大きなメリットである。

また、実用的な装置へのアップグレードに際してもレーザはユニットごとの交換になってしまうのに対しカメラでは、カメラ本体、レンズ、照明など必要な部分のみ高機能化することで実現できるため、ローコストで対応できる。

2. 2. 2. 設計方針

実験装置の開発にあたっては、容易に試すことができるように以下の方針によって行なった。

- (1) オープンソースのフリーソフトを開発に用いること
- (2) マルチプラットフォームで動作し、多くのハードウェア、OS上に対応すること
- (3) ローコストなハードウェアでも動作すること

2. 2. 3. ソフトウェア開発

2. 2. 3. 1. 開発環境

開発言語はPython 3を用いて行った。Pythonインタプリタは、Windows、MacOS、Linux等にインプリメントされており、それらが動作するパーソナルコンピュータ、シングルボードコンピュータなど幅広いハードウェアで動作する。

画像処理ライブラリはOpenCVを使用した。OpenCVはインテルが開発・公開したオープンソースのコンピュータビジョン向けライブラリであり、Windows、MacOS、Linux等のOSで、C++、Java、Python用のバインディ

ングを有している。

利用したバージョンは、Python3が3.11.6、OpenCVが4.8.1である。

2. 2. 3. 2. 動作モード

ソフトウェアは5つの動作モードを持っており、それぞれの以下に示す機能を有する。モード間の移動はキー入力で行う。

(1) 測定モード

アプリケーション立ち上げ時のモードで麺の太さを測定する。太さは0.2[sec]ごとに更新する。また、測定値をファイルにCSVファイルで書き出すことができる。

(2) 二値化モード

麺を検知するため二値化処理を行なった画面を表示する。このモードでは閾値を設定する。

(3) 最大領域表示モード

寸法測定は二値化後に最大の面積を有する領域を対象として行う。麺が測定対象になっているかどうかを確認する。

(4) スケール較正モード

1画素あたりの寸法を計算するために、スケールを用いて、2つのカーソル間が40[mm]となるように調整する。

(5) マスク設定モード

背景に麺より明るい物体があり、その面積が麺の部分より大きいと計測ができなため、計測に不要な部分をマスクする。

この他、歪み補正パラメータを取得するアプリケーションを作成した。歪み補正パラメータは別ファイルに保存することにした。

2. 2. 3. 3. 測定モード処理フロー

測定モードの処理を図2に示す。

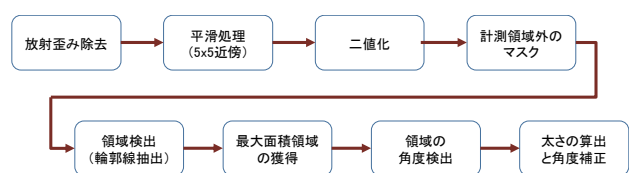


図2 処理フロー

2. 2. 4 ハードウェア仕様

2. 2. 4. 1. カメラ仕様

カメラの仕様は以下の通りである。

- インターフェース及び電源
 - USB 2.0
- センサ
 - 1280 x 720 CMOS カラー
- フレーム

- 120[fps]
- シャッター
 - グローバルシャッター
- レンズ
 - 2.8~12[mm] 1:1.4

シャッターはグローバルシャッターを用いる必要がある。グローバルシャッターは画像を一度に読み込むため、画素位置による時間差がなく、麺が振動してもブレや変形は起こらない。

寸法計測では、一般にはテレセントリック系のものが利用されるが、高価であること、設置位置や照明条件など制約が多いため、カメラ付属のズームレンズを使用してソフトウェアで補正することにした。

2. 2. 4. 2. カメラテーブルの製作

製造現場にカメラを持ち込む場合、設置位置は強い制約を受ける。その上で、より良い条件を引き出すために、距離、角度を細かく調整できるように、三脚に取り付ける治具として、カメラテーブルを作製した。三脚に取り付けた状態を図3に示す。

カメラが対象物に接近して必要な大きさで対象物を撮影できるようにアルミのアームを用いて、その上にX、Y、Z方向の移動とXY、XZ、YZの3軸回転ができるようにテーブルを組み合わせた。カメラテーブルは、アルミアーム部分に取り付けた SLIK 社のクイックシューを介して三脚に取り付けるようにした。

2. 3. 実験方法

2. 3. 1 パーソナルコンピュータ

実験に使用したパーソナルコンピュータは以下の仕様である。

- CPU
 - i5-6200U 2.3[GHz] 第6世代(2015)
- OS
 - Windows 10 22H2

現行の i5(第14世代、2023)と比較すると、シング



図3 カメラテーブル

ルコアのベンチマークスコアが1/3程度であり処理能力は低いパーソナルコンピュータである。

2. 3. 2 実験手順

麺幅の正しい定義というものはないため、提案企業で行なっている重量測定との相関をとることにした。

実験手順は以下の通りである。

- (1) 麺幅測定は、カケバ1つにつき1回の測定を行う。記録の開始、終了はカケバ工程のレバー操作のタイミングで行う。記録間隔は200[mS]、工程の所要時間は17[S]前後である。
- (2) 幅を記録したファイルに対応するカケバの重量を測定する。
- (3) 麺の体積の相似として測定した麺幅の二乗の総和を計算し重量との相関を計算する。

3. 結果

3. 1. 麺形状

無作為に抽出した2つのデータの麺形状を図4に示す。2つの形状の変化に一定の傾向は見られず、寸法変化はランダムに発生していると思われる。主な変化

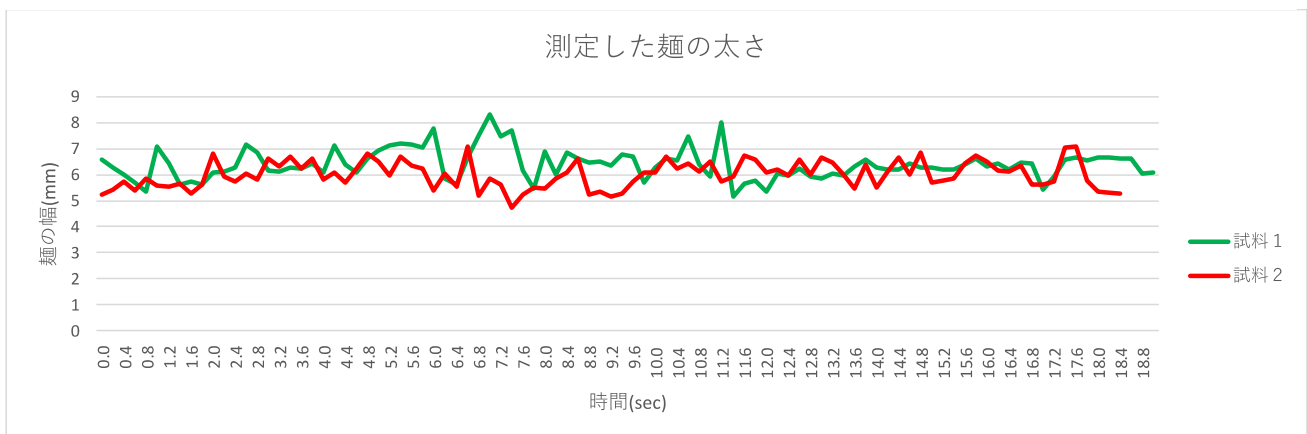


図4 麺形状とカケバ間での形状比較

要因は麺生地の弾力性が均一ではないためと考えられる。単位時間あたりの麺の送り長さは一定であるが、巻き取りの回数は一定ではなく、巻き取り時間も18[sec]を中心に1[sec]前後あり、麺の太さ以外の重量変動の要因となっている。なお、本測定の画素解像度は、0.19[mm/pixel]である。

3. 2. 麺重量との相関

麺の重量が読み取り不能となったデータを除いた99個のデータから散布図を描画し、相関係数の計算を行った。散布図を図5に示す。

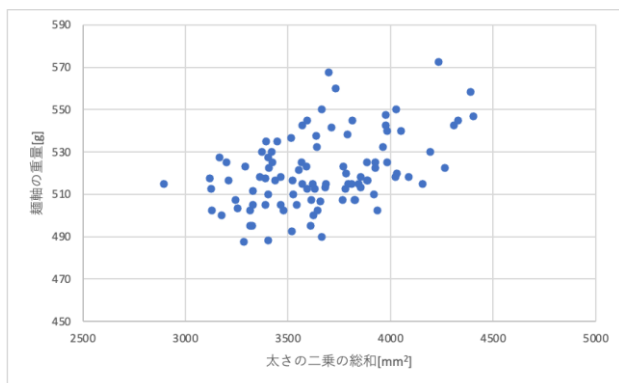


図5 散布図

横軸は式(1)に示すように、麺の体積の相似として幅の二乗の総和であり、縦軸は重量である。

$$x = \sum_{i=0}^n w_i^2 \quad (1)$$

相関係数は、エクセルの CORREL 関数より求めた。相関係数は0.454975606となり、かなり相関関係があると認められた。

4. 考察

今回の計測は応募企業の都合により実際の製造現場で行ったものであり、実験用に別途で重量計測を行うことはできなかった。計測を行なった機器は、2つのカケバを並行して編み上げるタイプのものであり、作業者により2つ、あるいは4つのカケバの総重量で良否を判断するという運用がされていた。このため重量データは他のカケバの重量が混入したものとなっている。

散布図を見ると、体積と重量の比例関係となる一次曲線に、他のカケバの重量がノイズとして上下に分布が広がったように見える。

現状でも、ある程度の麺の幅が反映されたデータを取得できていると思われるが、現状の重量測定による品質管理の置き換え、またオンラインでのアラーム発生に繋げていくためには、実験としての計測を重ね、数値的精度を上げていく必要があると考える。

5. 結言

画像処理を使用した計測の有効性を検討するための、ローコストな装置を開発し、手延べ麺の細め工程での麺の太さをリアルタイムに連続で計測した。その結果、有効な重量との相関値を得ることができた。また、重量では把握できない、カケバ内での太さの変化も計測することができた。

参考文献

- 1) Open Source Computer Vision : OpenCV modules, <https://docs.opencv.org/4.x/>, (参照 2023-9-12)