食鶏の生産自動化システム*

Food Robotics Deboning Process of Chicken

兒玉龍二**
Ryuji KODAMA

Key words food robotics, deboning process of chicken

1. はじめに

普段食べている鶏・豚・牛の肉は、農場で飼育し、その後処理工場で商品の肉に加工処理される。スーパーマーケット等で精肉や惣菜等の加工商品として販売され、一般家庭のテーブルへと並ぶ。農場で飼育されている様子は、テレビ番組等で見る機会が多々あるが、それらの家畜を屠殺し、食肉として加工する様子を見ることは少ない。

今回、食鶏処理工場内で、商品としての肉の形態へ加工する食鶏生産自動化システムについて紹介する。

2. 食鶏の生産自動化システム開発の経緯

大量生産されている鶏のことをブロイラーと呼んでいるが、一般的に食べられている鶏肉は、効率的に鶏肉を供給する手段としてアメリカよりブロイラー生産方式が導入され現在に至っている。食鶏生産の自動化への取り組みは、欧米を中心に1950年代から行われている。機械化を開始した当初は鶏を固定する簡単な治具や、内臓を取り出す器具に始まり、効率を高める中で多くの自動処理機が開発され実用化されている。

鶏肉の処理工程は、「屠畜」工程から内臓を取り出す「中抜き」までの工程と、それ以降の骨と肉を分離する解体工程とに分け、最後に計量、パッキング、箱詰を経て出荷となる。

「中抜き」までの工程は、欧米の食鶏処理機メーカーにより自動化が行われているが、解体工程については、骨から肉を分離する食肉加工そのものであり、人の器用さに頼る必要もあり、自動化がなかなか進まず、今でも作業内容によっては人海戦術で生産が行われている。しかし、これらの作業は、包丁を使い危険が伴い、コンベアに向かっての長時間の立ち仕事という過酷な労働であるため、作業者の定着率が低く、若い人達から好まれない職場となっている。また、現在従事している作業者の高齢化と団塊世代の

大量退職等の問題を考えると、労働力の確保は今後さらに困難になってくものと考えられる。これらの問題を克服し、価格面・品質面で競争力を付けるために、食鶏処理作業において自動化、省力化機械を中心とした、安全で衛生的で、かつ高品質な生産設備・生産システムの構築が食鶏処理業界より強く求められている。筆者らは、食鶏産業の生産性の向上、ならびに安定化を目的とした生産自動化システムの開発に取り組んでいる。

3. 食鶏の解体の説明

食鶏の解体工程は、大ばらし工程、胸肉脱骨工程、腿肉脱骨工程の3工程に分かれ構成されている。筆者らは、この3工程において、1995年に開発を開始し、現在に至るまでの間、全自動化を目指し、自動化処理システムの開発を行っている。

食鶏を機械で自動処理する場合の問題点として、食鶏の大きさ・形状・硬さが1羽ごとに異なっているため、その個体差に対していかにフレキシブルに機械が追従して適切な処理を行えるかが課題である。筆者らが食鶏の処理装置を開発する以前の食鶏処理装置は、鶏の大きさに対してのフレキシブル性がなく、大きい鶏、小さい鶏ともに同じ設定位置で加工が行われていた。これらの装置の場合、装置の設定と鶏のサイズがマッチしたときは、歩留りと品質のよい脱骨処理が行われるが、設定寸法から外れた鶏の場合は、鶏に対して強引な処理が行われるため、歩留り・肉の品質が不安定となっていた。筆者らは、不定形軟弱体にフレキシブルに対応できる機能を作り出すことを課題として開発に取り組んだ。

工業系の加工機械は、対象ワークが、大きさ・形状が定まり、ある程度の硬さがあり、掴んでも変形しない物を、決められた寸法に装置を設定し、決められた動作をすることで安定した加工処理が行える。しかし、不定形軟弱体の場合、大きさ・形状・硬さが一羽ずつ異なる鶏肉に対して、フレキシブルに処理を行えるようにするため、鶏肉に直接接触する部分にバネ等による逃げ機構をもたせて、ばらつきに対する柔軟性をもたせた。

*原稿受付 平成27年6月17日

** (株)前川製作所佐久工場 (長野県佐久市長土呂774)

図1 大ばらし工程

もうひとつ重要な対応策として、鶏を1羽ずつ計測することにより大きさのばらつきに装置側が追従して動き、適切な処理を行うことである。計測には、重量測定、接触・非接触でのセンサによる長さを測定、画像認識による計測の3種類を採用し、実用化している。

3.1 大ばらし工程

内臓を取り出す「中抜き」後、中抜き屠体は、大ばらし処理を行う。大ばらしとは、中抜き屠体のフロントハーフ（上半身）と腰骨付き下半身とに分割し、腰骨付き下半身からからレッグ（骨付き腿肉）を剥ぎ取る作業である。

一般的に大ばらし装置と呼ばれており、欧米の食鶏処理機メーカーも商品化しており全世界で普及している。

大ばらし装置は、上半身と下半身に分割するハーピング機構、分離された腰骨付き下半身を、骨付き腿肉と腰骨に分離するレッグプロセス機構とで構成されている。

図1に筆者らが開発した、大ばらし装置の処理工程を示す。

①中抜き屠体を大ばらし装置へ投入する。②ハーピング機構では、両足首を固定し、吊った状態になった中抜き屠体のフロントハーフ剣状軟骨を位置決めし、フロントハーフとレッグ両方を傷付けずに、関節の中心を回転する丸刃で切断する。次に③レッグプロセス機構へ、乗継ぎさせる。大きさ・形状の異なる坐骨部を坐骨強制ガイドに押し付けることにより、坐骨の形状を矯正し、刃物が坐骨全面に接して確実に肉を切ることと、腰骨の腸骨から坐骨先端までの長さを、光電センサを使用して測定し、大きさのばらつきに対して正確な処理が行えることを特徴としている。④背筋入れで背中の中心の皮に切れ込みを入れる。⑤座骨部の切り込みで坐骨と肉を切り離す。⑥腿脱臼で股関節を脱臼させる。⑦関節膜切で股関節部と大腿骨をつないでいる腱を切断する。⑧尻皮カットで坐骨と皮を切り離す。⑨腿の引き剥がしで腰骨から腿を完全に引き離す。以上の工程を経て、人手と同等の腿肉歩留まりを保ちながら自動での大ばらしを行うことが可能となっている。

図2 胸肉脱骨処理された鶏の状態

図3 胸肉脱骨工程

3.2 胸肉脱骨工程

胸肉脱骨工程とは、大ばらし工程で分割されたフロントハーフから胸肉・ささみ・手羽元・手羽先の部位を分割する作業である。図2に示す。

この胸肉脱骨工程の加工処理機は、一般的に、胸肉脱骨機と呼ばれている。筆者ら以外の欧米の食鶏処理機メーカーも商品開発し、全世界でそれぞれの国や食鶏処理会社の商品形態、機械化する上での目的に合わせ、使い分けられている。

図3は、胸肉の脱骨工程を示す。①フロントハーフを胸肉脱骨機のコーンと呼ばれている治具へ投入する。②フロントハーフはコーンに固定される。③鎖骨を傷付けずに周りに覆った肉へ切れ込みを入れる。④背中側の肩甲骨と肉を切り離す。⑤フロントハーフを画像処理カメラで撮像し、外形形状を認識する。⑥⑦肩と手羽元をつなぐ関節の腱を切断する。⑧胸肉側の中心部に切れ込みを入れる。⑨背中側の中心部に切れ込みを入れる。⑩手羽元を掴み、胸骨から胸肉を引き剥がす。⑪引き剥がした胸肉から手羽元を切断する。⑫⑬ササミに覆いかぶさっている膜を3方向から切り開く。⑭ササミを掴み胸骨からササミを引き剥がす。以上が自動での胸肉脱骨工程である。

胸肉を脱骨する際、肩の関節部の肉と腱を切断し、フロントハーフから胸肉を剥ぎ取る。この作業が、胸肉脱骨工

図4 フロントハーフ幅寸法計測撮像写真

程で最も重要で、かつ、熟練を要する部分である。肩の関節の腱は、正確に切断しなければ、胸肉を引き剥がす際に、フロントハーフの骨を骨折させてしまう。骨が骨折すると完全に胸肉を引き剥がすことができなくなり、手直し作業として、より手間の掛る作業となってしまう。また、胸肉に骨が混入する場合もあり、異物となるため残骨取りの作業を行わなければならない。

人手での作業の場合、熟練された職人技で肩関節部の腱を適切な深さで正確に切断し脱骨を行う。しかし、この作業を機械で行うとなると、鶏の大きさがばらついているため、肩関節の腱を毎回正確に切断することは、高難度なものとなる。

欧米で商品開発された胸肉の脱骨機は、肩関節腱の切断自動化を断念し、その作業だけは、人手作業で行う、マンマシンシステムとして食鶏処理場へ導入している。また、腱を切断する場合、深さがまちまちとなり、歩留りや胸肉への傷つきが発生し、安定した生産を行うことが難しくなる。

筆者らが、開発した胸肉脱骨機では、フロントハーフの外形を画像処理装置のカメラで撮像し、フロントハーフの横幅寸法を認識する。図4に示す。そのデータをもとに、鶏の肩関節中心位置を想定し、丸刃の刃先が毎回肩関節中心へ来るようにサーボモータを使い位置制御を行い、肩関節腱の切断を自動化している。

3.3 腿肉脱骨工程

鶏の腿モモ肉脱骨工程は、骨付き腿肉から、骨と肉を完全に分離する作業を行う。図5に示す。筆者らは、世界で初めて腿肉脱骨の全自動化に成功した。腿肉脱骨機の開発にあたっては、作業工程を詳細に検討し、かつ設計担当者が自ら加工の実習を受け、腿肉の特性を知って加工のノウハウを把握し、設計に反映させた。タクトタイムは3.6秒で、1時間当たり最大で1000本の処理能力がある。腿肉脱骨機の各工程は、同心円上に配置され、腿が10工程を一回りすると腿肉と骨の分離が完了する。回転駆動する丸刃による腿肉の肉や腱の切断と骨から肉の引き剥がしを繰り返すことで脱骨を行っている。全行程は図6に示す。

図5 腿肉脱骨前と後の状態

図6 胸肉脱骨工程

①腿肉を脱骨機のクランパと呼ぶ治具へ投入する。②足首部から大腿部の骨に沿って、ナイフで切れ目を入れる。③足首部を回転駆動する丸刃で皮と腱を切断する。④⑤足首部から脛部、膝部の肉引き剥がす。⑥膝関節中心位置の計測をし、以降の工程での位置決め基準とする。⑦⑧⑨膝関節部から膝関節皿骨部、大腿骨部までの肉と腱の切断と、肉の引き剥がしを行う。⑩大腿骨付け根部の肉と腱を切断し、骨と肉を完全に分離する。以上が自動での腿肉脱骨工程である。

腿肉脱骨をフレキシブルに行う機能の一つである、ミートセパレータ部について説明する。ミートセパレータは、2枚の開閉する板により構成されており、骨を挟みこみ、肉を押さえながら、クランパを引き上げて肉を剥がしてゆく。引き剥がす骨の径は足首部で約10mm、膝関節部では約25mmと各部分で異なっている。ミートセパレータは各工程での骨の断面形状に合った切り欠きをもち(合計5種類)、さらにバネで逃げる機構により、骨の径に追従しながら歩留まりよく肉を剥がすことが可能である。図7は、肉引き剥がし部の機構を示す。肉の引き剥がしの際、

図7 肉引き剥がし部の機構

膝関節部に肉と骨を締結している強い腱があり、腱を切断しなければ引き剥がしができない。ただし、この腱にも切るべき位置があり、許容範囲は5 mm ほどの幅しかない。この許容範囲内で筋を切断しなければ、歩留まりの低下や肉の損傷が起こる。腿肉の足首から膝関節までの長さは、鶏の大きさのバラツキにより最大で約40 mm の差があり、安定した腱の切断を行うためには鶏の個体差に合わせ、切断位置を変える必要がある。

筆者らが開発した腿肉脱骨機では膝関節の腱を的確に切断するために、膝関節位置を1本ごとに計測している。計測データにもとづき、クランパの引き上げ量を制御し、サーボモータで位置決めを行い、鶏の個体差に応じた最適な筋の切断を可能としている。膝関節の計測は、関節部の凹凸をならい機構により読みとっている。板状の測定板を膝関節より少し上部の骨に当て、腿肉を引き上げる。測定板は距離センサと直結し、骨の形状になら測定板の動きを計測する構造となっており、腿肉を引き上げると、膝関節上部の骨のふくらみから、関節中心の谷の部分までをなっていく。距離センサは計測板が読みとった骨の凹凸を数値データに変換し、マイナス偏差が最大値となる位置を関節の中心と判断し、計測する仕組みとなっている。計測部の構造を図8に示す。計測により、膝関節部の腱の適切な位置を毎回切断することが可能になり、腿肉脱骨機は、人手作業同等の品質と歩留りを確保することが可能になっている。

膝関節部の切断後、ミートセパレータにより大腿部の肉を引き剥がし、最終的に大腿骨付け根部と肉とを締結している腱を切断し、骨と肉は、完全に分離される。骨の太さのばらつきにフレキシブルに対応できるバネによる逃げ機構をもったミートセパレータと、骨の長さのばらつきに対し、膝関節中心位置を計測し、適切な位置の切断を行うこの二つの機構の組み合わせと、脱骨処理をする鶏の骨付き腿

図8 膝関節中心の計測

肉の特性と脱骨方を把握したことで全自動腿肉脱骨機は、実用化することができた。

4. おわりに

鶏にかぎらず、牛豚羊の食肉、魚介類といった水産物の自動化は、自然界の物を処理の対象ワークとしており、大きさと形状のばらつきに対し、いかにフレキシブルに対応するかが、実用化の重要課題となる。エックス線画認識技術とロボット技術を組み合わせた食肉処理ロボットの開発も並行して進めており、すでに実用化され始めている。これらの自動化を推進することは、一次産業の活性化において将来的に必要とされる開発事業と捉えている。世界の人口が増加を続けているが、一次産業に従事する作業者の技能の低下と作業人員減少に伴う食糧の不足が今後の世界で懸念されているが、人類にとって食糧問題は、避けては通れない課題である。日本のロボット技術展開の一つの方向として、食品食肉処理の機械化・ロボット化が、世界の食糧事情に今後大きく貢献されることを期待したい。

参考文献

- 1) 副島孝一：食品工場における低温・無人化システム—食鳥処理施設の例—，食品機械装置，6 (1998) 52.
- 2) 万本信三，江龍晃：食肉・水産加工機械の設計，設計工学（日本設計学会誌）35, 1 (2000) 2.
- 3) 兒玉龍二：食品食肉自動加工機械 全自動チキン腿肉脱骨ロボット「トリダス」，日本機械学会誌，116 (2013) 146.

兒玉龍二

1986年東海大学工学部生産機械工学科卒業。現在、(株)前川製作所取締役。食品食肉加工ロボット開発製造に従事。