

ファジィ制御による農産物用多機能乾燥システムの開発 (第2報)

— カラー画像処理によるシイタケ形状計測システムの開発 —

高橋 裕之, 波 通隆, 長尾 信一

Development of Multi-functional Dryer System for Agricultural Products using Fuzzy Control (PartII)
— Development of Shape Measuring System for Dried Mushrooms using Color Image Processing —

Hiroyuki TAKAHASHI, Michitaka NAMI, Shinichi NAGAO

抄 録

農産乾燥食品等の品質評価では、食味や香り、栄養素等の他に形状や色等の外観が重要になる。しかし、農産物は原料の性状が不均一であり、最適な条件で乾燥させるためには、形状や色等を考慮した熟練作業員による工程管理が不可欠である。しかし、乾燥工程が長時間にわたることや熟練作業員不足等から、乾燥工程の自動化は急務である。自動化では、視覚情報等により熟練作業員の経験則を代行して、最適な制御を行う必要がある。本研究では、形状や色等のインプロセス計測を行い、最適な乾燥を行うことを目的として、ファジィ制御による多機能乾燥システムの開発を行い、シイタケ乾燥への適応化試験を行った。

本報では、ファジィ制御による多機能乾燥システムのインプロセス計測のひとつとしてカラー画像処理によるシイタケの形状計測システムの開発を行った。

1. はじめに

農産乾燥食品をはじめとした食品加工製品では、食味や香り、栄養素等の他に形状や色等の外観により、その商品価値が左右される場合が少なくない。農産物は原料の性状が不均一であり、形状や色等までも考慮し、最適な条件で乾燥するためには熟練作業員による工程管理が不可欠である。しかし、乾燥工程が長時間にわたることや熟練作業員不足等から乾燥工程の自動化が急務である。乾燥工程の自動化では、視覚に代表される人間の感覚情報を取得し、熟練作業員の経験則を定量化して、最適な制御を行う必要がある。

このような、多くの情報を基に、熟練作業員の経験則のようなあいまいなルールを定量化して、最適な条件で乾燥を行うにはファジィ制御が効果的と考え、ファジィ制御による多機能乾燥システムの開発を行った。

多機能乾燥システムのインプロセス計測では、形状や色合い等の総合的判断が重要である。そこで、画像処理技術を用いた熟練作業員の視覚代行システムについて検討を行い、多量の情報を有するカラー画像処理による形状計測システムの開発を行った。

2. ファジィ制御による多機能乾燥システム

本多機能乾燥システムは遠赤外線をベースに複合乾燥方式を導入した。さらに、

- ① カラー画像処理による形状計測
- ② オプトエレクトロニクスによる光計測

等のインプロセス計測を行い、これら計測情報を基に乾燥スケジューリングの最適化を行うためのファジィ制御技術の導入を図り、シイタケ乾燥への適応化試験を行った。

乾燥シイタケの外観による評価基準として以下に示す事柄が挙げられる。

- ① 形状をくずさず、そのままの姿。
- ② かさに光沢がある。
- ③ ひだはたおれていない。
- ④ ひだは山吹色。

また、この他にもかさの巻がない、かさが開いていない等も重要である。これらは始めの数時間の温度制御により決定することが知られている。

本報では、この評価基準のうち、形状に関する計測システムの検討を行った。

乾燥システムの構成図を図1に示し、乾燥時の環境条件を以下に記す。

- ① 乾燥のムラがないように金網上で乾燥させる。
- ② 水分率計算のための重量の計測を行っているため、金網は固定しない。
- ③ 作業性から金網の方向は定めない。
- ④ シイタケはカメラに対し、かさ面、ひだ面を向けた2個とし、シーンに対し左右に分離するが、場所

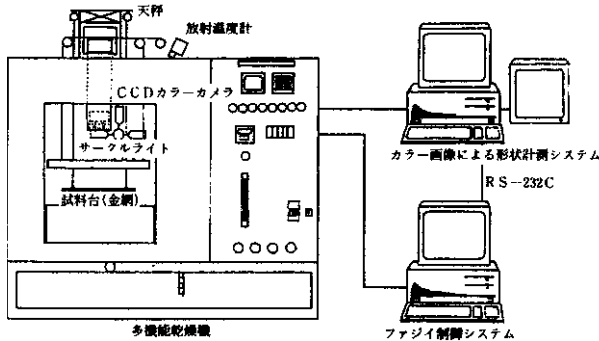
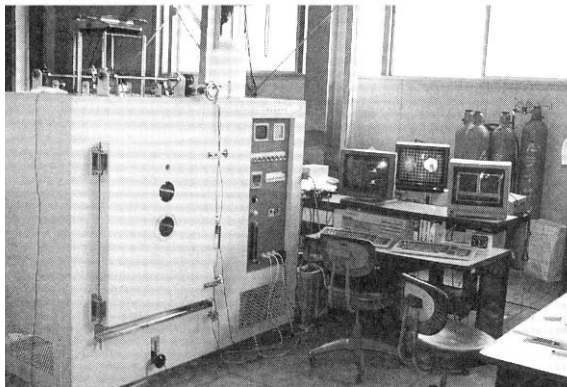


図 a) システム構成図



b) システム写真

図1 ファジィ制御による多機能乾燥システム

は固定しない。

- ⑤ 底にはライトが反射しないように、艶消し黒で塗装した鉄板を傾斜させて置く。

このような条件下で、インプロセスで非接触にシーンからシイタケ抽出を行うために画像処理技術を用いることを検討した。濃淡画像を用いた単純なしきい値処理では、金網の揺れ等に対処するために金網の抽出を考慮する必要性があり、処理時間も要する。このため、色合い計測も考慮し、より情報量の多いカラー画像処理技術を用いた形状計測システムについて検討した。

3. カラー画像処理

カラー画像処理では光の強度とその波長の情報も含み、濃淡画像より情報量が多く、状況によっては有効となる場面も多い。

人間が感じる色感覚として、色相、彩度および明るさの属性がある。色相は、色の種類を表し、彩度は色の濃さを表す。

赤、緑、青を3原色とし、この3原色の光を加えることにより、全ての色を表現することができる。すなわち、赤、緑、青をたがいに独立な色ベクトル R 、 G 、 B で表せば、全ての色はこの3原色の成分 R 、 G 、 B によって表すことができ、図2のように3次元空間上の点に対応させることができる。この R 、 G 、 B を三刺激値と呼ぶ。

(R 、 G 、 B) を3次元色空間内のベクトル F で表すと、この色ベクトル F の長さは明るさを表し、色ベクトルの

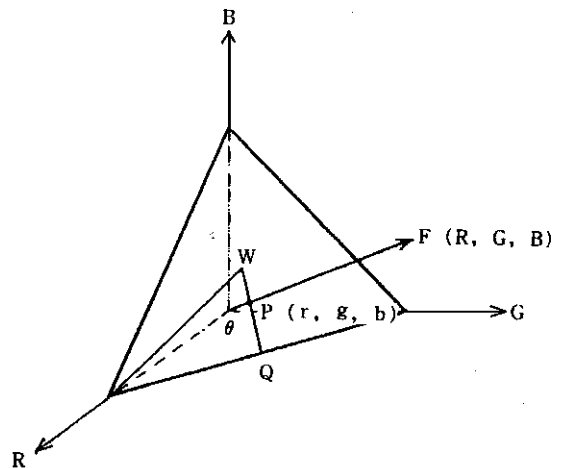


図2 カラー画像の色度座標系

方向は色度 (色相・彩度)を表す。色ベクトル F と R + G + B = 1 (色三角形) の平面との交点 P は色度座標と呼ばれ、彩度と色相を表す。色度座標を (r, g, b) とすれば、次式で求められる。

$$\begin{aligned} r &= R/T \\ g &= G/T \\ b &= B/T \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、T は刺激和と呼ばれ T = R + G + B で表される。

彩度は色の鮮やかさを表しており、色三角形の重心 (r=g=b=1/3) では最も低く、白色に対応し、辺に近づく程大きくなる。また、色相は表 1 のように色の種類を表しており、赤 (R) 方向を基準に反時計回りに計った角度で表す。

表 1 色相・色対応表

色相(度)	0	60	120	180	240	300	360(0)
実際の色	赤	黄	緑	シアン	青	マゼンダ	赤

色相と彩度を色三角形を用いて定義すると三角形の重心を W とすれば、点 P で表される色の色相は、WR と WP のなす角度 θ で定義され、WP と三角形の辺の交点を Q とすれば、彩度は WP/WQ で定義される。点 P が (r, g, b) であれば、その色相と彩度は、次式のように求められる。

$$\theta = \begin{cases} \theta_1 & g > b \\ 2\pi - \theta_1 & g < b \end{cases} \tag{2}$$

ただし、

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{2r - g - b}{(6[(r - \frac{1}{3})^2 + (g - \frac{1}{3})^2 + (b - \frac{1}{3})^2])^{1/2}} \tag{3}$$

($0 < \theta_1 < \pi$)

また、彩度 S は次式のように求められる。

$$S = 1 - 3\min\{r, g, b\} \tag{4}$$

ただし、min{ } は { } 内の最小値をとる。

このように (R, G, B) を (T, θ , S) で表すことができる。(T, θ , S) は、人間にとってはば (明るさ, 色相, 彩度) に対応している。

また、明るさの代わりに CIE1931.XYZ 表色系の明度

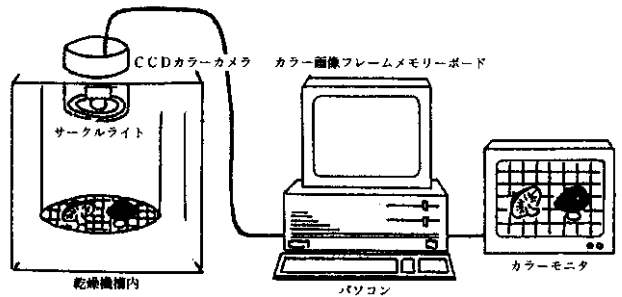
(Y) で対応させ、次式で表す場合も多い。

$$Y = 0.31R + 0.59G + 0.11B \tag{5}$$

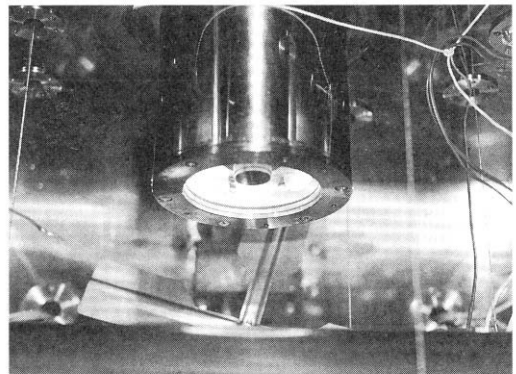
このように、画素の特性が濃淡画像より多く、多くのヒストグラムを作れるため、画像を分割する領域法をカラー画像処理に適用することができる。

4. カラー画像処理システム

カラー画像処理により、シヤタケをシーンから抽出するためのシステム構成図を図 3 に示す。システムはパン



a) システム構成図



b) カメラ部



c) 処理部

図 3 カラー画像処理による形状計測システム

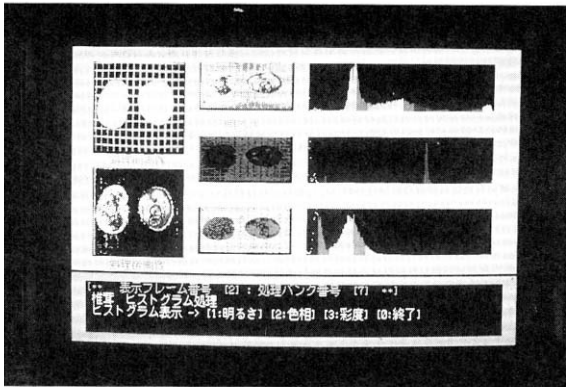


図4 ヒストグラム処理

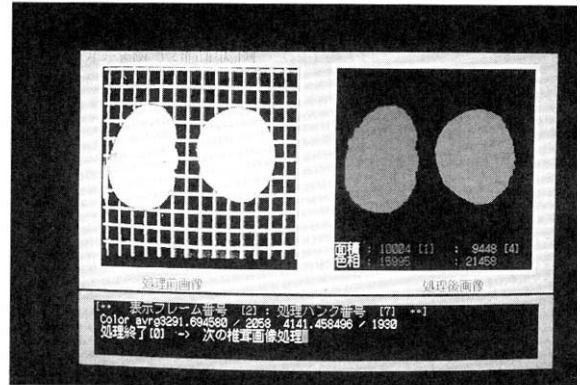


図5 シイタケ形状計測処理

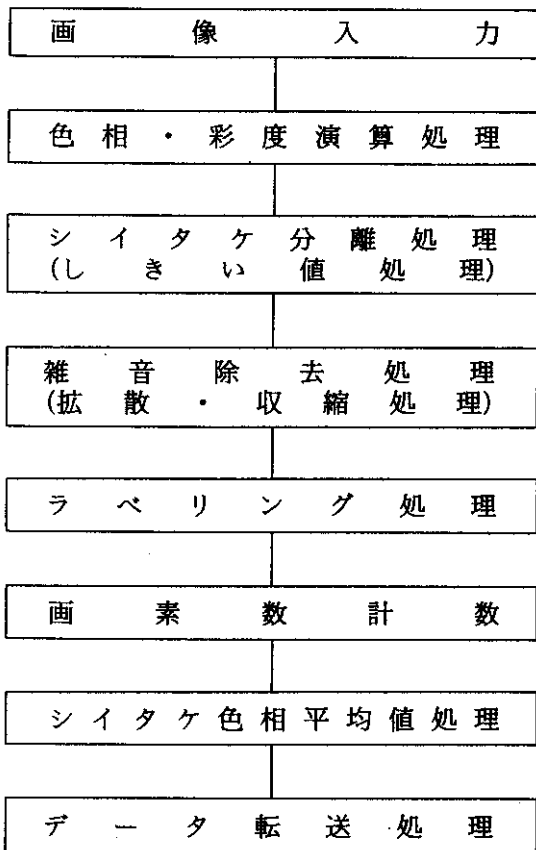


図6 シイタケ抽出処理フロー

コン (日本電気(株)製: PC - 9801RA21) とその拡張スロットに挿入するカラー画像フレームメモリボード (株) (メイコー・マルチアート製: FBN98), CCD カラーカメラ (SONY (株)製: X C - 711RR), カラーモニタから成る。

カラー画像処理によりシイタケと背景を分離可能であることを検討するために, (T, θ , S) のヒストグラムを

求める処理を行った。図4は処理画面であり, 画面右側の上から明るさ, 色相, 彩度のヒストグラムを表示している。このヒストグラムから最適なしきい値を求めることにより, 背景とシイタケを分離し, シイタケ部を抽出する。

本実験から, 色相 θ と彩度 S からしきい値処理により分離が可能と考え, シイタケ分離・抽出をし, 形状の計測として, 面積 (画素数) を求める処理を行った。同時に, シイタケの色相平均値も求め, RS - 232C によりファジィ制御システム (ホストシステム) へ両データの転送を行った。その処理画面を図5に示す。図のように比較的良好にシイタケ部分が抽出されていることがわかる。その処理フローを図6に示す。

以下に各処理内容について記す。

4.1 画像入力

2次元 CCD カラーカメラからの画像情報に対して, 標本化, 量子化によるデジタル化を行い, 計算機で処理可能な情報に変換して取り込む。

本報では, フレームメモリ上に画素数 512×512 , R, G, B 各 8 ビットで取り込み, 以下の処理を行った。

4.2 色相・彩度演算処理

取り込んだ画像情報から式 (2), (4) により各画素における色相, 彩度の値を求めた。このとき, パソコンの内部メモリ, 処理時間を考慮し, 精度的にも問題がないことから 256×256 画素として処理を行った。

4.3 シイタケ分離処理

先に行った, ヒストグラム処理結果を基にシイタケ分

離処理を行った。色相に着目すると1.7~2.0(rad)で背景とシイタケを比較的良好に分離可能なことがわかった。この結果から、色相が1.7(rad)以下を基準にして、これを補うために、彩度が0.1以上でかつ色相が4.2以下の条件も設定し、シイタケ抽出処理を行った。

4.4 雑音除去処理

4.3の分離処理によるノイズを除去するために、まず、孤立点の除去処理を施す。本報では、8近傍に存在する点が2以下の点を孤立点と定め除去した。さらに、この結果により、数回拡散処理と収縮処理を繰り返した。

4.4.1 収縮処理と拡散処理

収縮処理は図形成分の境界画素をすべて削除("1"画素から"0"画素への変換)して、ひと周り取り除く処理で、侵食とも呼ばれ、次の操作により行う。

$$g_{ij} = \begin{cases} "0"; \text{着目画素が} "0" \text{ あるいはその近傍のい} \\ \text{ずれかが} "0" \text{ のとき} & (6) \\ "1"; \text{その他のとき} \end{cases}$$

また、拡散処理は図形成分の境界画素から"0"画素方向へ増殖("0"画素から"1"画素への変換)させて、ひと周り大きくする処理で、膨張、あるいは伝播とも呼ばれ、次の操作が基本となる。

$$g_{ij} = \begin{cases} "1"; \text{着目画素が} "1" \text{ あるいはその近傍のい} \\ \text{ずれかが} "1" \text{ のとき} & (7) \\ "0"; \text{その他のとき} \end{cases}$$

これらの処理をいくつか交互に組み合わせて使用することで2値画像中の雑音成分の多くを取り除くことができ、結果的に2値画像を平滑化することができる。

4.5 ラベリング・画素数計数処理

これまでの処理では、画像データ中に画素があるかないか、"1"、"0"のデータとして存在する。そこで、"1"の画素の各々の連結成分に対し、異なった名前のラベルを割当てていく。この処理をラベリングと呼ぶ。これにより、各領域が区別され、領域に対する処理が容易になる。

ラベリング処理では、同じパターンでも連結関係を4-連結でみるか8-連結でみるかで、その結果が異なるが、本報では、8-連結により処理を行った。

ラベリングの処理手順としていくつか考えられているが、その一つを以下に示す。

- ① 画面左上からラスタ走査を行う。

- ② ラスタ走査により、"1"の画素に着目する。

- ③ 着目画素の隣接点を調べる。

- a) すべての隣接点にラベルが付いていなければ、着目画素に新しいラベル付けし、②へ戻る。
- b) 隣接点中のラベルが"0"画素を除いて、すべて同じであれば、その同じラベルを着目画素に付けて②へ戻る。
- c) 隣接点中に2種類以上の異なったラベルが付いていれば、その中で最も前に付けられたラベルを着目画素に付ける。ここで、着目画素に隣接する各画素は、同一ラベルのはずであり、これを後で処理可能となるように、情報を記録して、②へ戻る。

- ④ ラスタ走査が、右下まで終了した後、③-c)での同一性の記録に従い、再度ラスタ走査を行いながら、ラベルの書換え処理を行う。すべてのラベルを書換えて処理は終了する。

シイタケ形状面積を求めるために、以上のラベリング処理の結果から各ラベルの画素数の計数を行った。存在するシイタケは2個と確定しているため、画素数の大きい順に2個採り、各々に左右のラベルを充てる。

4.6 シイタケ部色相平均値処理

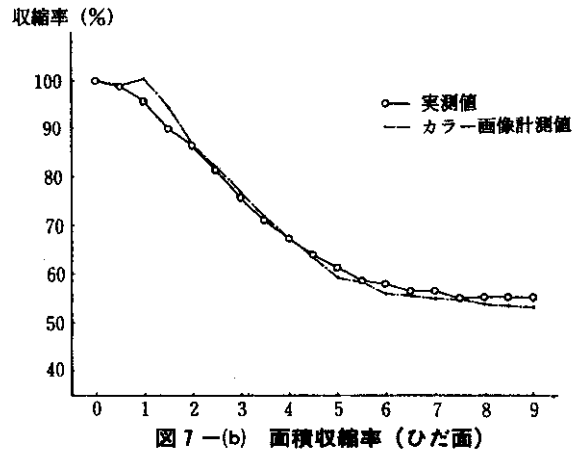
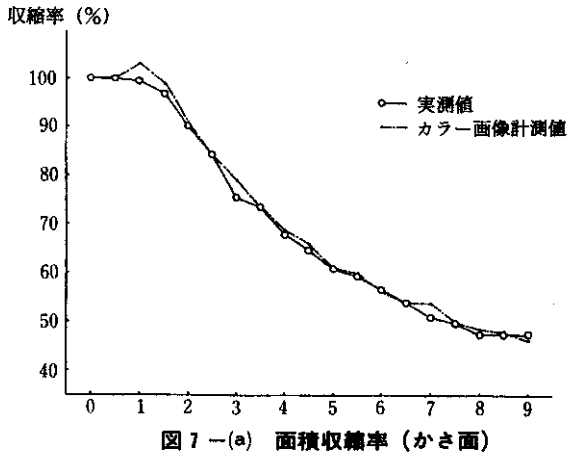
抽出したシイタケ画像のエッジ近傍に背景が含まれる可能性があるため、シイタケ画像を再度収縮処理を数回繰り返し、その画素に対する色相の平均値を求めた。

4.7 データ転送処理

画素数と色相平均値をホストシステムに転送する。転送データ構造としては、色相平均値は10,000倍して整数型に変換した上で、画素数、色相平均値共に各々5バイトのキャラクタデータとし、各々のデータ間に制御コードを挿入、終端に簡易なチェックコードを付加して作成した。ホストシステムからの送信要求に対し、データを送信し、受信完了コードにより転送終了する。

5. 形状計測実験

シイタケの投影面積を実測することは困難である。そこで、本システムの評価方法として、カメラの映像をモニタして、そのディスプレイ上のシイタケの輪郭をトレースした図形の面積から収縮率(計測値/乾燥前の計測

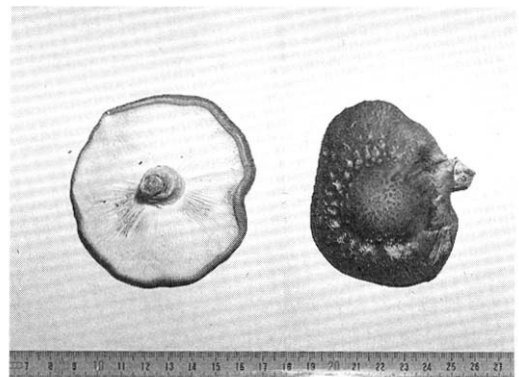


値×100%)を求めたものと、本システムにより求めた収縮率を比較し、評価した。入力信号は実際に行った乾燥実験を2分毎に10秒間隔でVTRに収録したものを用い、30分毎の映像を9時間まで処理を行った。結果を図7-(a)、(b)に掲示する。入力にはVTRからの信号を用いており、信号の劣化によると思われるが、実際のカメラ信号による処理よりもしきい値処理において背景領域部分が多数残存し、形状計測結果にも誤差が多く含まれた。そこで、5回計測し、最大・最小値を除いた3回の平均値を計測値として用いた。

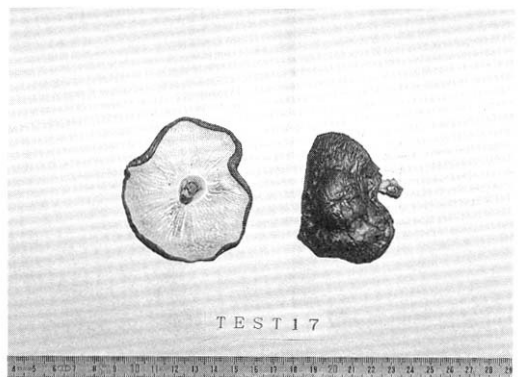
ては、その状態で収縮することが多いので影響は少ないと思われるが、色相の平均値を求める場合には、この部分のデータが欠落することになる。背景の色等の検討や処理時間に余裕があれば、シイタケの輪郭を抽出する等、本処理を補う処理を付加し、より精度向上を目指す必要がある。現在の全処理時間はシイタケの大小や背景の残

6. 考 察

計測実験の結果から、収縮率に関して非常によく合致していると思われる。シイタケ個々の中には、かさの色相が部分的に背景と似ていたり、立体的であるため影ができ抽出できないことがあった。しかし、収縮率に関し



a) 乾燥前



b) 乾燥後

図9 シイタケ最適乾燥前後比較

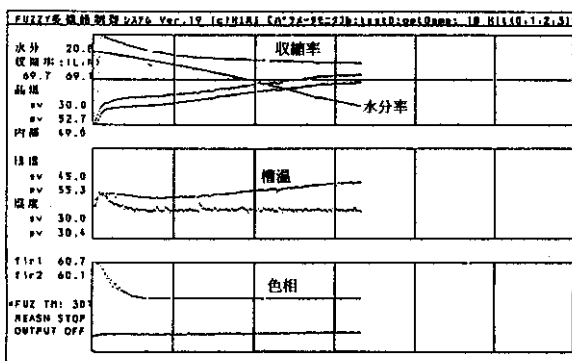


図8 形状計測システムを用いた多機能乾燥システムによる計測データ

存部分の有無によるが、約 90 秒要する。ホストシステムがアクセスする時間間隔は余裕を持ち 120 秒間隔で行った。ホストシステムでより精細な制御を行うためにも、処理速度向上等の検討が必要と思われる。

本形状計測システムを用い多機能乾燥システムで乾燥試験を行った。図 8 に本多機能乾燥システムによる乾燥時の計測データと図 9 に乾燥加工したシイタケを示す。

本試験結果から、乾燥時間が従来の方法より 2 割程度短縮された。収縮率も従来の方法では 53% だったのが 70% までに抑えることが可能となり、ひだ面の山吹色の濃度がやややすいが、形の良いシイタケ乾燥が可能であることが確認できた。また、計測データから乾燥初期に色相が大きく変化して、ある時点で一定になることがわかった。これにより、色合いも考慮した制御の可能性が得られた。

7. ま と め

原料の性状が不均一な農産物乾燥食品の高品質化のために、新たな乾燥方式や総合的な計測制御技術導入の検討を進めてきた。

本研究では、熟練作業者の視覚機能の代行処理と経験則に基づく乾燥技術や工程管理の自動化を目的としてファジィ制御による多機能乾燥システムのためのカラー画像処理によるシイタケ形状計測システムの開発および検討を行い、シイタケ乾燥への適用試験を行った。

本システムはシイタケ形状の抽出と色相処理を行い、収縮率等を的確に求めることが可能となった。それにより、多機能乾燥システムへの搭載を図ることが出来、良好な結果が得られた。

今後は、乾燥システムでの精細な制御や形状抽出の精度向上を図るため、複合的な処理が不可欠であると思われる。その実現のためには、処理時間の短縮の検討を行う必要がある。さらに、シイタケに限らずより多くの農水産物の乾燥システムへ適応可能な汎用システムの開発検討を行う予定である。

8. 引用文献

1) 長尾信一他：「ファジィ制御による農産物用多機能乾燥システムの開発（第 1 報）」、北海道立工業試験場報告 No.290 投稿中、(1991)

- 2) 長谷川純一他：「画像処理の基本技法」、技術評論社（1986）
- 3) 農業機械学会：画像処理と生物生産の情報化、平成元年度技術研究会資料
- 4) 「センシング技術の食品加工への応用」、平成元年度共同研究報告書
- 5) 平成 2 年度技術改善費補助金補助事業実績報告書