

高速画像処理を用いた農産加工品等級識別システムの開発（第1報）

— 平面形状計測による農産加工品等級識別システムの開発 —

高橋 裕之, 長尾 信一, 新井 浩成, 大村 功
波 通隆, 澤山 一博, 堤 大祐, 橋場 参生
吉川 毅, 鈴木 慎一, 松村 信良
関谷 俊治*, 野口義夫*, 福田秀明*, 熊谷誠治**

Development of Sorting System for Agricultural Products by
using High — Speed Image Processing (Part I)

— Development of Sorting System for Agricultural
Products by Measurement of Surface Configuration —

Hiroyuki TAKAHASHI, Shinichi NAGAO, Hironari ARAI, Isao OHMURA
Michitaka NAMI, Kazukhiro SAWAYAMA, Daisuke TSUTSUMI, Mitsuo HASHIBA
Takeshi KIKKAWA, Shinichi SUZUKI, Nobuyoshi MATSUMURA
Shunji SEKIYA*, Yoshio NOGUCHI*, Hideaki FUKUDA*, Seiji KUMAGAI**

抄 録

農産加工品の選別工程の自動化を目的に、高速画像処理による汎用性、機能性、経済性に優れた農産加工品識別システムの試作開発を行った。要素研究として、汎用高速画像処理装置の開発、アプリケーション開発環境の構築、複数の農産加工品をターゲットとした等級識別アプリケーションの試作、モジュール型選別装置の試作開発を行い、これらを全体システムとして一体化した。さらに、食品工場において実証試験を行い良好な識別結果が得られた。

1. はじめに

北海道における食品製造業は豊かな資源環境を背景に工業出荷額の40%を占める重要な基幹産業である。しかし、最近の円高傾向による海外からの安価な製品の輸入

や北洋漁業規制の強化などに伴う原料確保の深刻化など、食品加工業を取り巻く厳しい状況の中で、より競争力のある製品開発、製造工程の効率化による高付加価値化および低価格化を図ることが重要な課題である。

農産物は収穫期間が短く、生鮮品であるため、加工作業は短期集中処理を要する。加工工程の中で選別工程は、農産加工品個々の形状などが不均一であるため総合的な判断が必要である。このため、自動化には高度な計測技

* (株)エルムデータ

** (株)小樽製作所

術が不可欠であり、専用自動選別装置の開発は難易度が高く、使用期間が短いため高コストとなる。このような現状から、手作業による等級選別に頼らざるを得ず、各工場とも多くの選別作業者を要し、全従業員に対する比率が30~70%にも達している。しかし、労働力確保が困難になっている状況や人件費が上昇していることから、魅力ある職場環境作りを行うと共に、設備面での省力化、自動化の対応や生産工程の改善などによる生産性の向上に努めることが急務であり、経済性、機能性に優れた識別システムの開発が求められている。

そこで、本研究では汎用性、機能性に優れた識別システムの試作開発を行った。特に、複数の農産加工品に適用可能とすることで経済性の向上を図った。

識別システムは、汎用高速画像処理装置、複数の農産加工品をターゲットにした等級識別アプリケーションおよびモジュール型選別装置の要素システムから成り、これらを全体システムとして一体化し、実証試験を行った。

2. 汎用高速画像処理装置の開発

人間が外界から受ける情報の70~80%は視覚によるものであるといわれている。この視覚機能が機械化により代行可能であれば各種自動化機器をはじめ応用範囲は限りなく広い。現在、画像処理技術による自動化が積極的に進められ、多くの場面で実用化されており、汎用性、機能性に優れた識別システム開発を行うには非常に有利な技術である。

画像処理は、2次元のイメージデータを扱うため、多くのデータ処理が必要であり、実用速度で運用するには高速な処理能力が求められる。このために、非常に高速なプロセッサや専用ハード開発を要する。

本研究では、画像処理高速化の手段として、ソフトウェアによる機能変更が可能のため汎用性が高く、処理能力が非常に高い画像処理専用LSIモジュールであるHRU-TAICHI COREの搭載を検討し、汎用高速画像処理装置の試作開発を行った。

2.1 HRU-TAICHI CORE

人間は視覚から得られた情報によりリアルタイムでそのシーンを理解し、判断を行っている。これは、人間の視覚系により情報圧縮、特徴抽出を行い、高度な特徴情報だけを脳に伝達し処理を行っているからである。この

生体の視覚情報処理機能をマクロに捉えた画像処理アーキテクチャがHRU-TAICHI(Human Recognition Unit-Transducer for Analysis and Interpolation of Character and Image)アーキテクチャである。TAICHIアーキテクチャは入力系、情報圧縮系、中央処理系の3部分から構成される。ここでの圧縮とは認識処理を実行するために必要かつ十分なパラメータを含むように、できるだけ少ないデータへ変換することであり、大量の画像情報を目的にあった少量の特徴量に変換し、中央処理系での負荷を軽減させる。

このアーキテクチャを実現するLSIがTAICH-PIP(以下PIP: Pipeline Image Processor: 局所並列パイプラインプロセッサ)とTAICH-PEC(以下PEC: Processor for Extraction and Compaction: 特徴抽出プロセッサ)およびTAICH-FED(以下FED: Feedback Effect Device: 帰還制御プロセッサ)である。

PIPは画像情報演算部と近傍特徴抽出部からなる。画像情報演算部とは画像間演算、コンボリューション演算などの処理であり、種々の処理を40nsec/画素の速度で入力画像を加工し、別の画像へ変換することができる。近傍特徴抽出部は、近傍状態そのものや処理画素の状態を出力するものである。

PECはPIPから、出力された特徴情報に対し、どの特徴を組み合わせで圧縮・特徴抽出するかの設定を行う。条件設定と同時に圧縮・抽出すべきパラメータの設定も行える。PIPは生体の視覚系の比較的前段階、PECは後段の処理と言える。PIP1個に対し、PEC複数個並列に使用し、複数の特徴抽出を並列に実行できる。

FEDは、ラベリングや細線化処理に必要な1ライン上の処理済みイメージを帰還させるためのデバイスである。

TAICHI-CORE(以下CORE)は図1に示す通り、PIP1個に対し、PEC4個とFEDの組み合わせで構成された画像処理用LSIモジュールである。PIP、PEC、FED共に行う処理設定は内部レジスタへのマイクロコード設定により行われ、それぞれ12ワード、8ワード、2ワードであり、COREへの処理設定は、46ワードのマイクロコードで行われる。このため、設定可能な処理系の理論値は 2^{736} 通りであり、ソフトウェアの変更により機能更新できるため、アルゴリズムの改良が容易である。

一般に画像処理は、1) 画像入力、2) 画像修正・改善、3) 濃淡画像特徴抽出、4) 2値化処理、5) 2値

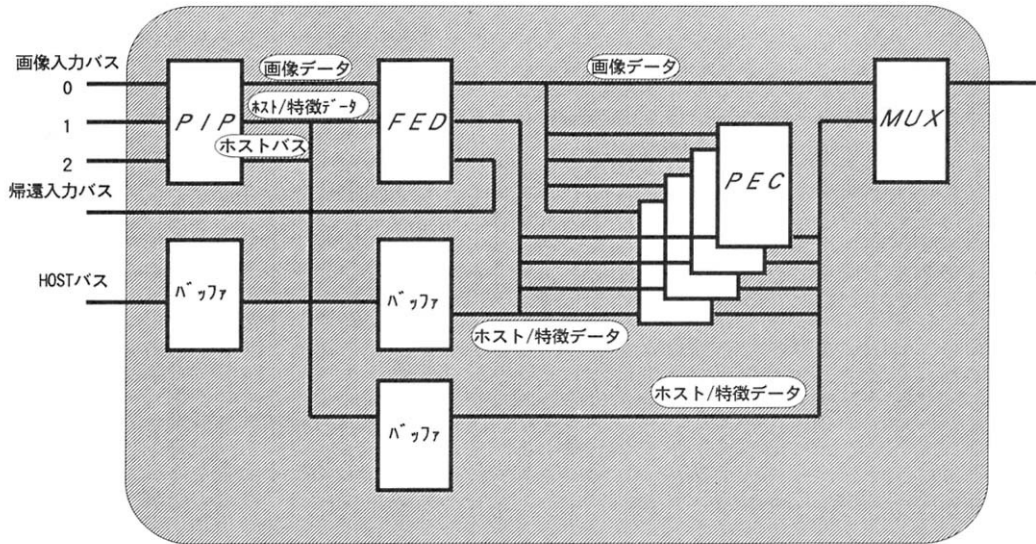


図1 CORE内部ブロック図

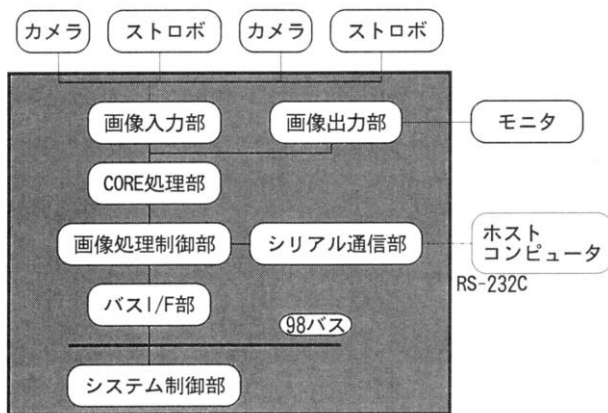
画像特徴抽出、6)判断のフローにより処理が行われる。COREでは、この中で2)～5)の部分の処理が行える。多量のデータ処理が必要で時間を要する部分をCOREにより高速に処理し、特徴抽出された結果をもとに判断、認識・理解などの2次処理を行うことができ、総合的に高速な処理が可能となる。

また、COREを用いた画像処理汎用アプリケーション開発などを目的としたイメージプロセッサHRU-TAICHI IV-80(以下IV-80)システムおよび画像処理ライブ

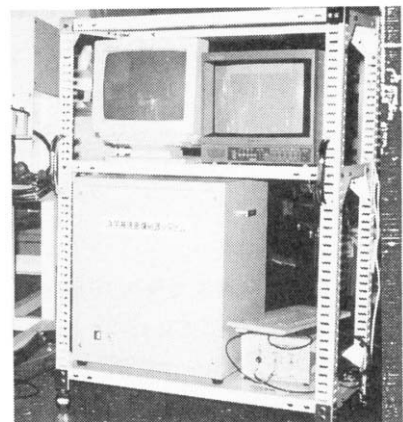
ラリが用意されており、COREシステム開発を支援する。

2.2 COREを用いた汎用高速画像処理装置の試作

COREを用いた汎用高速画像処理装置の試作開発を行った。装置の構成は、CORE処理部、画像処理制御部、画像入力部、画像出力部、バスインターフェース部、システム制御部およびソフトウェア部から成る。ブロック図および全体図を図2に示す。また、それぞれの概要を以下に説明する。



a)汎用高速画像処理装置ブロック図



b)汎用高速画像処理装置全体図

図2 汎用高速画像処理装置

1) CORE 処理部

CORE, 制御回路およびカラー画像を効率良く処理するために 12 フレーム(512×512 画素×8bit/フレーム)の画像メモリから成る。制御回路は、帰還制御のためのディレイ回路やウィンドウ機能のための回路などにより構成した。

2) 画像処理制御部

CORE の制御およびシステムの設定などを行うため MC68000MPU(16MHz), 3M バイトの ROM, 3M バイトの RAM およびシリアルインターフェースなどから構成される。

3) 画像入力部

画像入力装置として、カラー (RGB 入力), モノクロ (NTSC 入力) カメラを用い、トリガ信号入力を用いた画像入力が可能である。また、通常のインタレース型カメラで移動物体を 512 ラインの画像として取り込む場合、偶数フィールドと奇数フィールド間にズレが生じる。このため、カメラ入力に同期してストロボ発光を行いフリーズする必要がある、ストロボ光源への同期信号出力を備えた。

ターゲットの全面を捉える必要性から、これら 2 系統の入力系を持ち、切り替えて使用できる。

4) 画像出力部

ビデオ出力部, DAC および同期部から構成され、画像出力装置として RGB カラーモニタが接続可能である。

5) バスインターフェース部

画像処理制御部とシステム制御部のコミュニケーションを行うための手段として、両方の CPU に共通の DPRAM (デュアルポート RAM) をマッピングしており、その領域を介してデータ通信を行う。システム制御部側のバスは多くの市販インターフェースボードが使用可能なように PC-9801 (NEC 製パソコン) 拡張バス形式 (以下 98 バス) を採用した。

6) システム制御部

システム制御部は、画像処理制御部の制御およびモジュール型選別装置や外部機器とのインターフェースを目的としている。コントローラには、既存の PC-9801 の環境が利用可能なように 98 バス CPU ボード (80286 CPU) を用い、CRT ボード, ROM/RAM ボード, パラレルインターフェースボードおよびソフトウェア開発用にハードディスクを接続した。

7) ソフトウェア部

画像処理制御部のシステム ROM 領域には IPL, BIOS およびリモートデバッグモニタ (以下リモートモニタ) プログラムを搭載した。

IPL はアプリケーション/リモートモニタモードの動作モードの設定を行い、ユーザプログラム領域 (1 M バイト) の ROM/RAM の切り替え, リモートモニタプログラムまたはアプリケーションプログラムの起動を行う。

BIOS はハードウェア資源を有効に機能させるための制御サブルーチン群で, CORE, DPRAM, 画像入出力用などを作成した。

CORE BIOS は CORE の初期化, 動作モードの設定, 圧縮ファンクションコードの書き込み, 実行, 結果の取得を行い, 処理内容により分類した 18 通りの分類コード, 機能コードおよびパラメータを引き数としてソフトウェア割り込みにより起動する。戻り値として実行結果またはエラーコードを返す。BIOS により CORE などのハードウェアが隠蔽され, ハードウェアを意識することなくシステムの設定や実行が可能となった。

2.3 リモートモニタシステム

識別アプリケーションを開発する上で、作成したプログラムをデバッグする際の開発環境の構築は大変重要である。開発環境の構築には、ICE (インサーキットエミュレータ) など、効率やコストに応じた様々なシステムが考えられる。

本研究では、運用が容易なことを考慮して最低限の機能を有するリモートモニタを開発し、汎用画像処理装置に搭載することで開発効率の向上を図った。

リモートモニタは、ホストコンピュータ (以下ホスト) から RS-232C シリアルインターフェースを介したりリモート操作によりアプリケーションプログラム開発を支援するソフトウェアである。作成した機能を以下に示す。

1) プログラムのロード

S フォーマットプログラムをホストのファイルから読み込み、メモリへ転送する。

2) プログラムのセーブ

メモリに展開されたプログラムをホストへ転送する。

3) 実行

指定アドレスへ制御を移す。

4) メモリのダンプ

指定アドレスからのメモリ内容をホスト上に表示する。

5) メモリの書き換え

指定アドレスのメモリ内容を書き換える。

6) トレース

指定アドレスの命令を実行する。

7) ブレーク

任意のアドレスで実行を停止し、リモートモニタに制御を移す。

8) レジスタの書き換え

指定したレジスタの内容を書き換える。

9) レジスタの表示

レジスタの内容をホスト上に表示する。また、プログラムの実行停止時に、レジスタの内容を表示する。

2.4 汎用画像処理ライブラリ

識別アプリケーションソフトの開発を効率的に行うために、C言語(68000クロスCコンパイラ)を使用した。しかし、C言語からBIOSを直接コールして実行することはできない。そこで、BIOSをC言語から呼び出して利用できるようにアセンブリ言語で記述した汎用画像処理ライブラリを開発した。

汎用画像処理ライブラリは、COREの基本画像処理機能を種類別にまとめた約90の関数とした。

画像処理アプリケーションはIV-80で試験を行い、機能確認して移植することが想定されるため、移植時の混乱を少なくするためIV-80のライブラリと同様なフォーマットになるように作成した。

この結果、識別アプリケーションソフトの開発は、画像処理制御部の68000MPUのアセンブリ言語やBIOSを意識せずに、プログラムをすべてC言語で記述することができるようになり、効率良く識別アプリケーションソフト開発が可能となった。

3. モジュール型選別装置

自動識別システムにおいては、画像処理装置の機能と同様に、整列装置、搬送装置、仕分け装置などの機構部分の性能も非常に重要な要素となる。

多品種の農産加工品をターゲットに想定すると、これらの形状や大きさなどは大きく異なる。また、同一種でも形状は不定形かつ柔軟であり、非常に傷付きやすい。自動化を行う場合、品種に合わせて専用機化する必要があるが、食品加工場のような多品種を扱う場合には各専

用機を導入するのは難しい。従って、食品加工工場での選別工程の自動化を図る場合には、多品種に対応可能な装置の開発が必要である。この様な課題に対応するために、各構成機構をモジュール化し、各機構モジュールを品種に合わせて組み替えてライン化する方法が有効と考え、モジュール型選別装置の試作開発を行った。

3.1 基本仕様

モジュール型選別装置の基本構成は、整列モジュール、画像識別モジュール、仕分けモジュールとし、異なるターゲットに対しては、必要に応じて各モジュールの交換、あるいは搬送ベルトの交換により行う。図3にモジュール型選別装置の全体図を示す。

1) 整列モジュール

不規則に供給されるターゲットを搬送ベルト上に整列させるために、重なり防止、平行整列、位置決め機構などを開発した。

ターゲットは不規則に供給ホッパーに投入され、底部へ滑り落ちる。ホッパー底部では、2本のスパイラルロールにより、重なりを除去する。また、クロスした2系統の引き出し用ロープベルトおよびガイドにより一本ずつ搬送ベルト上に搬出され、定間隔の搬送ベルト上の固定用棧に落とし込む。搬送ベルト上の左右方向の位置決めは、ポジショニング装置(中寄せベルト)により行う。なお、スパイラルロールなどは軟質プラスチック製として、ターゲットを傷つけない機構、材質とした。

2) 画像識別モジュール

外乱の影響を受けずに計測環境を一定にして画像を取り込むため遮光ボックスを用いた。さらに、全面識別を可能とするために2台の遮光ボックスとその間に反転装置を取り付けた。遮光ボックス内にはCCDカメラ、照明装置を一体化して取り付ける構造とした。画像取り込みのトリガ信号には光電スイッチを用いた。また、多品種のターゲットを搬送するために搬送ベルトの交換により対応することとした。

3) 仕分けモジュール

仕分けモジュールは占有面積を少なくするために回転ドラム方式とした。搬送ベルトからシュートを介して回転ドラム内のポケットに挿入され、ポケット内フラップ開閉による落とし込み機構とした。フラップ開閉はフラップに固定されたリンクを外部に取り付けシフト用ソレノイドを駆動することにより行った。

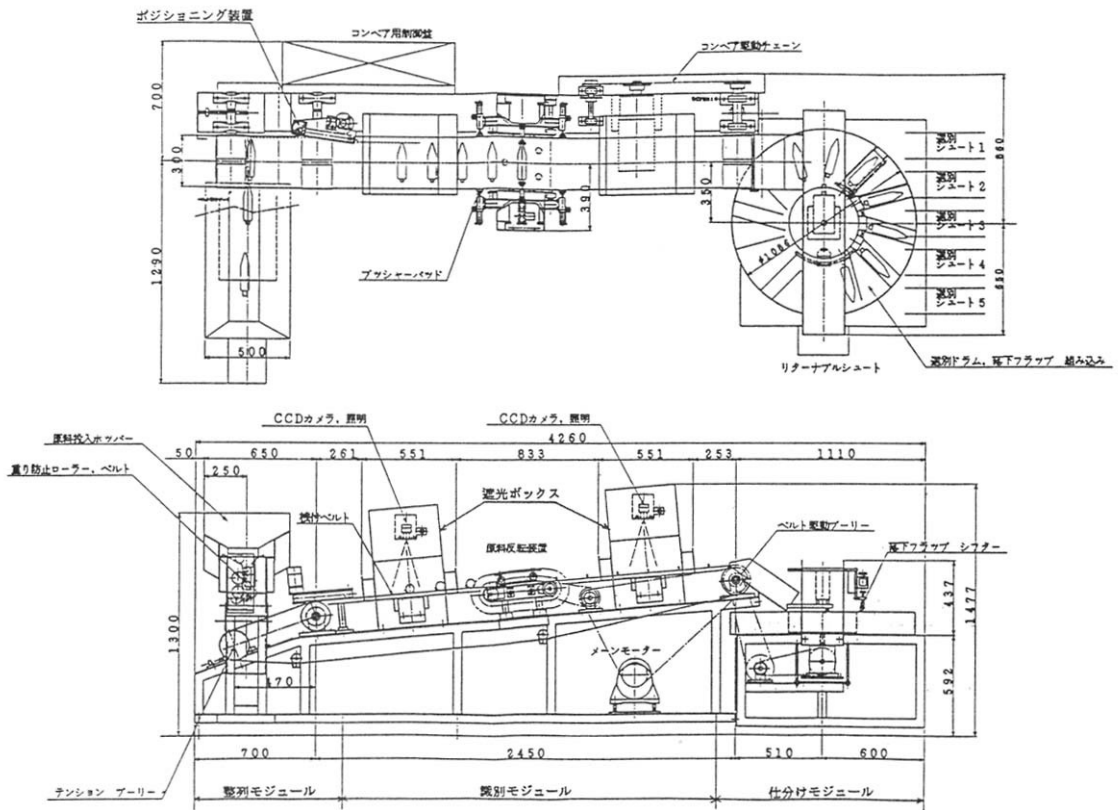


図3 モジュール型選別装置全体図

3.2 試作開発

本研究では、軸付き冷凍コンを主体にし、グリーンアスパラ、じゃがいもをターゲットとして装置の試作開発を行った。

開発したモジュール型選別装置を図4に示す。

モジュール型選別装置の制御装置はプログラマブルコ

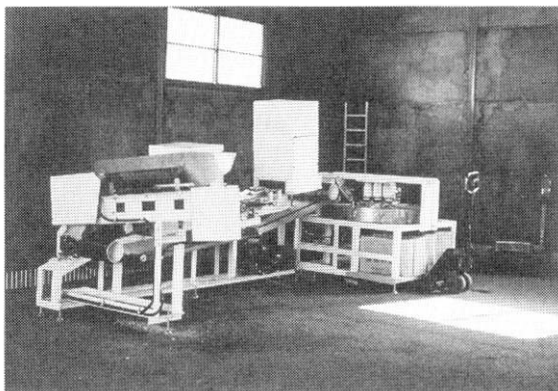


図4 モジュール型選別装置

ントローラを用いて構成した。

モジュール型選別装置は汎用高速画像処理装置と一体化し、識別処理は以下のフローにより実行される。

- 1) ターゲットは、整列モジュールにより整列され、画像識別モジュールにより遮光ボックスへ運ばれる。
- 2) 光電スイッチにより汎用高速画像処理装置に画像が取り込まれ、識別処理を行い、判定信号を出力する。判定信号は、汎用画像処理装置システム制御部のパラレルインターフェースからの出力をリレー回路を介して、接点信号として受け渡す。
- 3) 制御装置では、判定信号によりベルトの移動量と同期を取り、仕分けモジュールにおいて判定された等級の位置でフラップを開き、落とし込む。

4. 等級識別アプリケーションの試作開発

本研究では、等級識別システムのターゲットとして、軸付き冷凍コーン、グリーンアスパラ、じゃがいもを選定し、アプリケーションの試作開発を行った。サイズによる等級識別を行うため、濃淡画像処理による形状計測を行った。さらに、サイズによる等級識別と共に、色合いによる識別の要求も多いことから、グリーンアスパラをターゲットにしたカラー識別処理の検討を行った。

4.1 軸付き冷凍コーン等級識別システム

軸付き冷凍コーン（以下コーン）の等級識別処理は、これまでに DSPT9506（東芝製）によるシステムや、パソコンによる実験システムを構築して、計測手法および適応性の確認を行い、良好な識別結果が得られた。しかし、実用化を考慮すると、コストや実用処理速度の面では課題があった。そこで、本手法を CORE へ搭載し、性能試験などを行った上で、冷凍食品工場での実証試験を行った。

4.1.1 軸付き冷凍コーン等級識別処理手法

コーンは、図 5 のように軸部 (a)、結実部（可食部）(L)、未熟部 (b) に分けられる。北海道冷凍食品協会が制定する製品規格では、サイズ選別として結実部長さおよび重量のうち等級の低い方と規定されている。しかし、長さや重さはほぼ比例関係にあり、結実部長さのみの選別で十分な選別が可能である。実際、食品工場などでは結実部長さを基準に選別を行っている。そこで、画像処理を用いてコーンの結実部長さを求める手法について検討を行った。

結実部は実が規則的に並んでおり、その他の未熟・つぶれ・欠粒などによる欠陥部とは特徴が異なる。そこで、

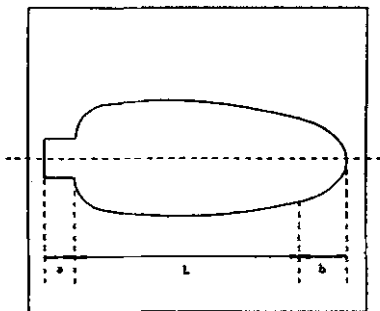


図 5 軸付き冷凍コーンモデル

これらの特徴を利用して結実部の分離を行うことにより結実部長さ計測が可能となる。この操作として、取り込んだコーン画像に対し、1次微分処理を施し、長さ方向のエッジ検出を行うことで、実の並びが規則的な部分のエッジが強調される（図 6）。さらに、濃度投影処理により検出結果の重ね合わせを行うことで、結実部とその他の部位の差が明確になり、しきい値処理により分離を行うことができる。これにより、結実部長さ計測が可能となり等級化できる。

本手法での結実部抽出による等級識別処理フローを図 7 に示す。本処理では、1次微分処理に、図 8 の 3×3

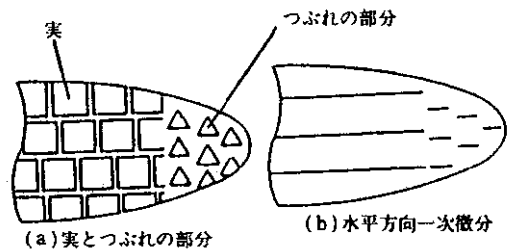


図 6 画像による結実部分離手法

ウィンドウにおける次式のプレウィットオペレータを用いた。

$$E = |A + B + C - G - H - I| \quad (1)$$

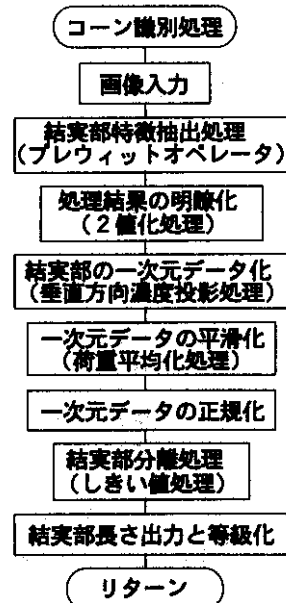


図 7 コーン等級識別処理フロー

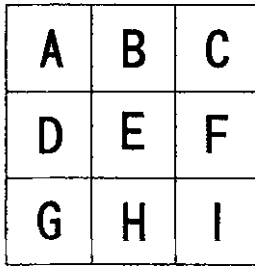
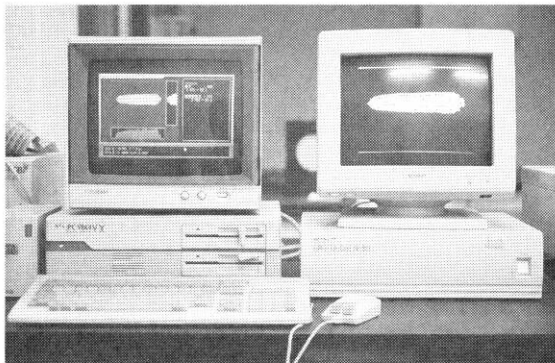


図8 3×3ウインドウ

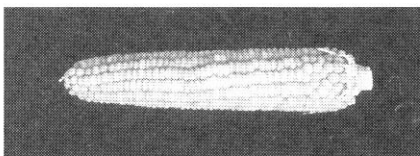
4.1.2 COREによる識別処理試験

汎用高速画像処理装置への搭載を前提にIV-80上での計測手法の実現および計測試験を行った。図9にIV-80処理システムおよび処理結果を掲載する。

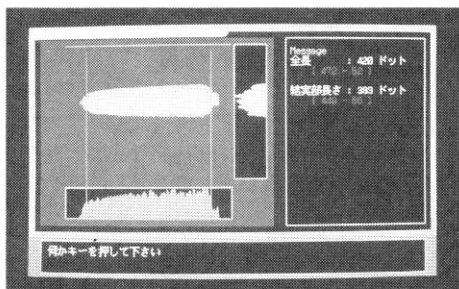
試験方法としては、適当に選択したコーンをファイル



(a)IV-80 処理部



(b)コーン原画像



(c)計測処理結果

図9 コーン結実部特徴抽出処理

に保存し、そのイメージファイルに対して処理を行った。また、2値化処理としきい値処理での設定値を決定するために予備試験を行った。試験結果より、2値化しきい値を低い値に設定した場合、結実部のエッジがその他の部分の値より相対的に大きくなり、しきい値処理のしきい値設定が容易になることがわかった。これらの試験により設定値を決定し、計測試験を行った結果、等級化のための結実部長さ計測として、きわめて良好な結果が得られた。処理速度は512×512画素の分解能を持つ画像において約3本/秒(片面処理)と高速な処理が可能であることが確認できた。

IV-80により確認を行ったコーン等級識別計測手法を汎用高速画像処理装置へ移植を行った。

全体の処理フローを図10に示す。システム制御部をホストに画像処理制御部へのコマンド発行、データ通信を行うことにより識別処理を進める。画像処理制御部では、各処理部をモジュール化して、設定値の受信、結果の転送と各処理の実行をホストからの命令に従って処理する。これにより、システム制御部に接続されたコンソールから設定値の変更や処理の実行が可能となり、プログラムの確認を容易に行うことができた。

汎用高速画像処理装置によりコーンを連続で計測した結果、処理速度は約2.5本/秒であることが確認された。IV-80での処理結果に比べ若干遅くなっているが、これは、汎用高速画像処理装置でウインドウ処理機能を付加していることやCPUの違い、また、システム制御部との通信を用いたシステム構成の違いなどによると思われる。

4.1.3 実証試験結果および考察

汎用高速画像処理装置とモジュール型選別装置とを組み合わせて全体システムとして実証試験を行った。図11に全体システムと処理結果を示す。

汎用高速画像処理装置では、モジュール型選別装置からのトリガ信号により画像を取り込み、K, J, L, M, NGの識別結果をパラレルインターフェースから出力する。この出力信号をリレーによる5つの接点信号としてモジュール型選別装置に伝送し、選別仕分けを行う。モジュール型選別装置では各モジュール間の連結性能を考慮して1.5本/秒の処理速度に設定して試験を行った。

実証試験は、冷凍食品工場において行った。すでに、K, J, L, Mに仕分け箱詰めされた製品を実測し、選

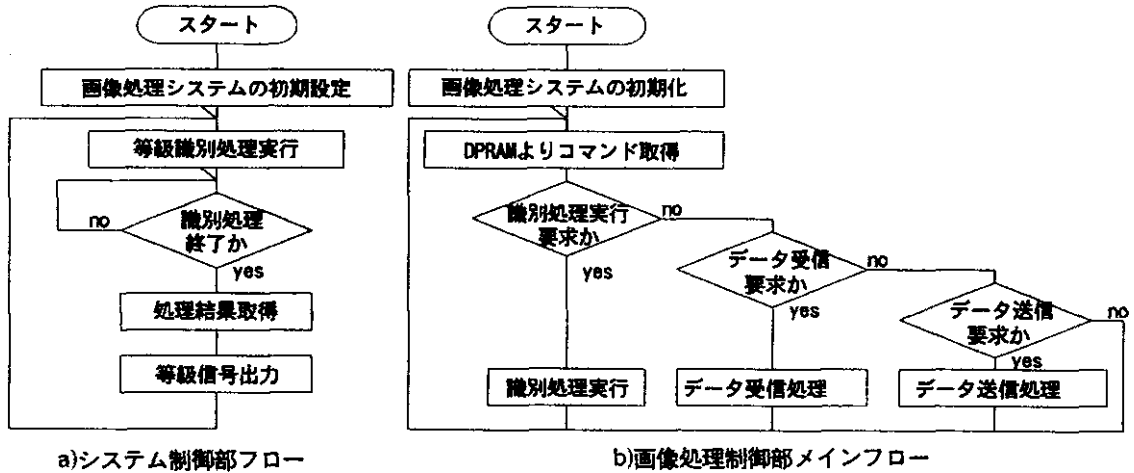
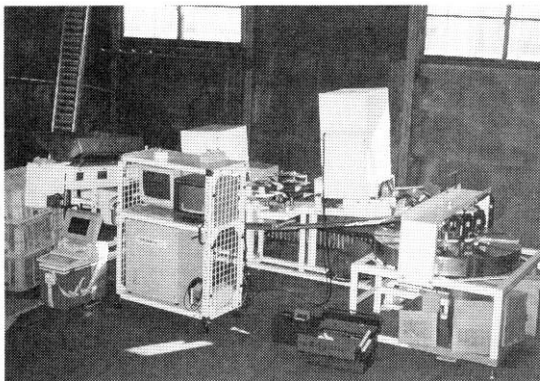
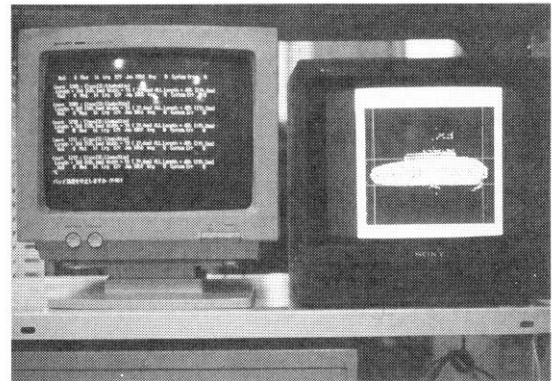


図 10 汎用高速画像処理装置による識別処理フロー



(a)システム全体図



(b)処理結果

図 11 冷凍コーン等級識別処理システム

別装置で計測を行いその結果を調べた。結果部を実測する場合でも、計測箇所により値が不定となり、一義的に特定するのは困難である。仕分け箱詰めされた製品と完全に一致させるのは困難であるが、実測した結果に対し、良好な計測データおよび識別結果が得られた。また、多量の冷凍コーンに対して連続試験を行い、実用上克服すべき点が以下のように明らかになった。

- 1) コーンの霜がベルト上に付着して、測定精度に影響を及ぼした。より確実な識別を行うためには霜除去に関する検討が必要である。
- 2) モジュール型選別装置の機構とのタイミングの整合性が良くなく、汎用画像処理装置の最高性能での試験が行えなかった。このため、機構部との調整が必要である。

- 3) 本手法では構造的特徴に基づいた計測を行うため、単純な2値化などによる画像計測に対して、しきい値設定にかなりの許容範囲を持たせることができ、条件の変化に強いシステムを構築することができる。しかし、移動速度が速くなるに従い、コーンの冷凍状態による表面性状の変化に影響され、反射や光量が不足する場合があった。その結果、設定範囲の許容外となり、雑音の影響が大きくなり、測定誤差が生じた。ストロボの光量、遮光ボックスおよび冷凍状態の管理などによる対策が必要と思われる。

汎用高速画像処理装置での処理時間としては2.5本/秒、選別モジュールと組み合わせた場合のトータルな処理速度を1.5本/秒に設定が可能となり、非常に高速な画像識別システムが構築できた。システムは、開発効率を

重点に開発を行ったが、表示処理の省略や冷凍コーン等級識別処理システムの構成を簡素化することにより、より処理の高速化が可能であると思われる。

冷凍食品工場において行った実証試験では、実用化を行うための問題点が明らかになり、実用化の目処が得られた。将来的には、結実部の1次元データ解析を行うことで欠陥(つぶれ、欠粒など)部抽出の可能性を有しており、品質検査などの高度な要素を付加した識別処理システムの構築が可能である。

4.2 グリーンアスパラ等級識別システム

農協集荷場などのアスパラの選別工程では、自動選別システムの導入が進められている。しかし、主に太さによる選別システムであり、曲がりなどは予め予備選別する必要がある。また、専用機化しており高コストである。

本研究では、汎用画像処理装置を用いたアスパラの太さ、長さ、曲がり計測可能な高性能な識別システム開発を行った。

4.2.1 アスパラ等級識別計測手法の検討

アスパラの等級識別は、長さ、太さ、曲がり重要な要素であるが、実際には、太さにより選別が行われている。そこで、アスパラの等級識別システムの開発を行うにあたり、長さ、太さ、曲がり計測する手法について検討を行った。計測手法を確認するためにIV-80を用いた。画像処理により長さ、太さ、曲がり求めるための計測基準を図12に示す。アスパラは水平方向に整列されて搬送されることを前提とした。長さは水平方向の幅、太さは垂直方向の幅の最大値、曲がり、中心線の両端を結んだ線からの振幅の差と定義した。輪郭線座標から太さ、長さおよび中心線を算出した。フローを図13に示す。

処理の概要は以下の通りである。

1) 輪郭線抽出処理

輪郭線抽出を行うために、2値化処理により背景とアスパラを完全に分離する必要がある。分離されたアスパラに対し、1次微分処理により輪郭線が抽出できる。1次微分処理として、図8による3×3ウィンドウにより、次式の処理を用いた。

$$E = \text{FIX} (| E - D | + | E - B |) \quad (2)$$

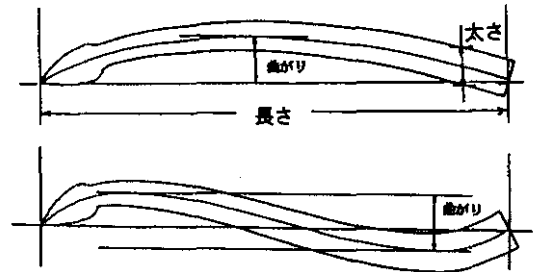


図12 アスパラ等級識別判定基準

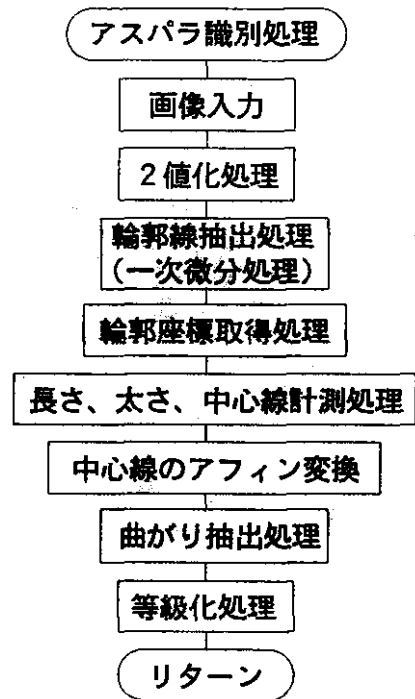


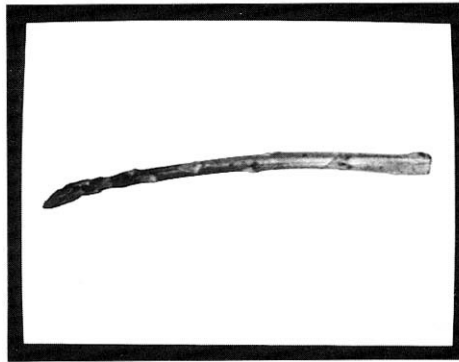
図13 アスパラ等級識別処理フロー

ただし、FIX 演算子は () 内が0以下の場合0となる。

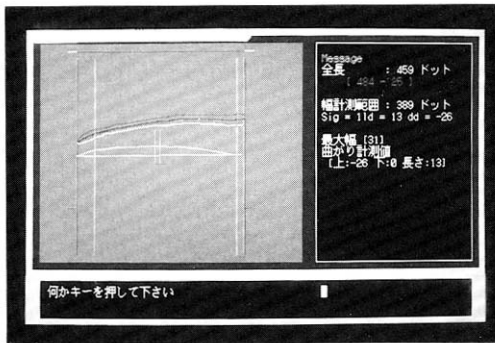
COREは、ラスタスキャンにより特定輝度値と一致した画素の座標をPECに取得可能であり、この機能を用いて輪郭座標を取得する。PECの数から最大取得座標数は2048個である。

2) 長さ、太さ、中心線抽出処理

アスパラは画像に対して、ほぼ水平に整列されて取り込まれることを前提とした。これにより、長さは、輪郭座標の水平方向投影幅とした。太さは、長さの両端を除いた範囲内の垂直方向輪郭座標の最大値と最小値の差(垂直方向の幅)の最大値とした。中心線は太さの中間座標から求めた。



(a)アスパラ原画像



(b)識別処理結果

図 14 IV-80 によるアスパラ等級識別処理

3) 曲がり抽出処理

曲がりは中心線の両端が水平になるようにアフィン変換により座標変換を行い、その振幅から求めた。

4) 等級化

実際の識別と同様に、太さを基準に等級化を行った。さらに、長さが基準値以下および曲がりが基準値以上のものを省く処理を付加した。

4.2.3 汎用高速画像識別装置による識別システム

IV-80 により検討した長さ、太さ、曲がり計測手法を汎用高速画像処理装置へ移植し、等級識別処理システムの構築を行った。

アスパラ用の搬送ベルトは波形をしており、その谷部分にアスパラを搬入した。処理の高速化のため単純 2 値化を行っており、画像入力時にベルト部分で影が発生した。影を抑えるためにしきい値を再設定するとアスパラの表面状態によって陰影が発生し、座標取得時に CORE の座標取得最大数を越え、オーバーフローが発生する場合があった。このため、2 値化処理画像に対して、膨張・

収縮処理を行った。さらに、長さ方向の輪郭線により計測が可能のため、1 微分処理を水平方向成分のみとして、式 (2) を次式に換えて処理を行った。

$$E = \text{FIX} (| 'E - B |) \quad (3)$$

これにより、雑音が減少した。

汎用高速画像処理装置でのアフィン変換処理は負荷が重い。アスパラは水平に搬送されることから、アフィン変換を行う点を間引いても、精度への影響は少ないと考え、計算数の減少により処理の高速化を図った。20 点毎に変換を行うことで約 1 本 / 秒の処理時間が得られた。

4.2.4 試験結果および考察

IV-80 では、アスパラ画像をファイルセーブして、そのイメージファイルを用いて処理を行った。識別処理結果を図 14 に示す。10 種のアスパラの実測結果から検討を行った。長さに対して太さ、曲がりの値が小さいため、精度への影響があるが、等級選別のための計測値としては十分な結果が得られた。

汎用画像処理装置の試験は識別モジュールを用いて搬送して行った。画像取りこみは、ベルトの山部分をマイクロスイッチで検知してトリガ信号とした。識別処理結果を図 15 に示す。IV-80 と同様に実測値と計測値との比較試験を行い、良好な結果が得られた。しかし、アスパラによっては、色合いにより雑音が多く発生して輪郭線の抽出が十分行えず、計測誤差が大きいものがあった。これは、処理ウィンドウの設定、2 値化、雑音除去処理などの検討およびベルトの山の高さや間隔、光源などの計測環境の改良により改善可能と思われる。

また、識別処理の基準となる太さ計測の分解能が長さ計測に比べ低いため、より精度の高い計測が必要な場合には、太い根元側を拡大して計測を行うことで可能となる。

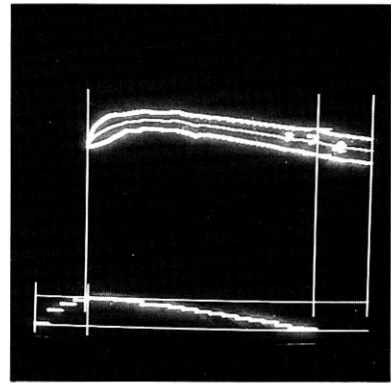
処理速度は、太さ・長さの 2 項目による識別処理で約 2 本 / 秒が得られた。曲がり処理を含めた 3 項目識別処理では約 1 本 / 秒 (曲がり 20 点毎処理) であった。画像処理による太さ、長さ、曲がり計測としては高速な処理が可能となった。

4.3 じゃがいも 2 次元等級識別処理システム

じゃがいものサイズによる等級識別規格として重量に



(a)アスパラ原画像



(b)計測処理結果

図 15 汎用高速画像処理装置によるアスパラ等級識別処理

よる等級が定められている。このため、重量選別による仕分けが一般的に用いられている。しかし、市場での評価基準として形状の良いものや揃ったものが好まれる傾向にあり、独自に形状や大きさによる識別を行い、消費者ニーズにあった規格により出荷する農協や食品工場が増えている。

本研究は、じゃがいもの2次元形状による等級識別システムの開発を行った。

4.3.1 じゃがいも2次元等級識別処理手法

じゃがいもの2次元形状による画像選別のための評価基準の検討を行った。高速処理を考慮すると投影形状の外接長方形(フィレ座標)を求め、その長軸、短軸、投影形状と長方形の面積比により識別可能と考え、フィレ座標を求める処理を行った。処理フローを図16に示す。じゃがいもと背景を2値化により分離し、膨張・収縮処理により雑音除去を行った。さらに、得られた画像に対して、特定輝度値をもつ画素数を求めるために、濃度投影処理を行い、垂直方向、および水平方向のフィレ径を求めた。

4.3.2 結果および考察

識別処理結果を図17に示す。本処理フローにより、フィレ座標を求めることができた。なお、汎用高速画像処理装置での処理速度として、2.5個/秒が得られた。

本研究では、結果の評価や面積抽出は行わなかった。今後、面積を求めるためには、じゃがいもの投影形状を完全に抽出するため、ベルト形状、光源などの計測環境および穴埋め処理の付加などの処理方法の検討が必要で

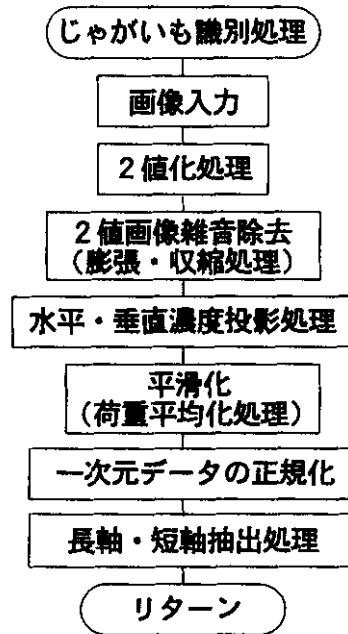
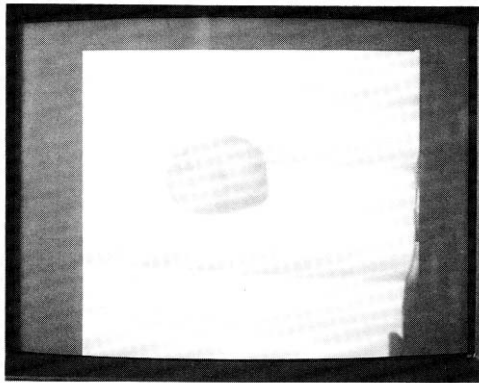


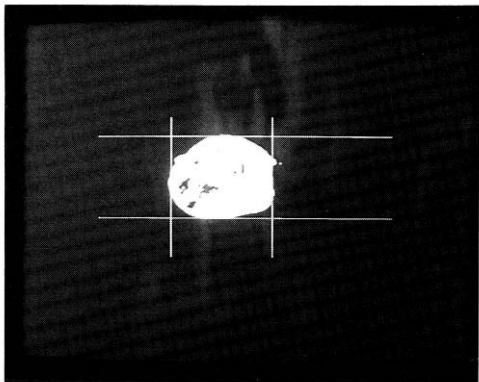
図 16 じゃがいも識別処理フロー

ある。また、これらの計測結果から識別処理を行うための評価方法の確立および計測パラメータの検討が必要と思われる。

今後は汎用画像処理装置を用いたじゃがいも用識別処理手法の確立およびシステムの開発を進める予定である。



(a)じゃがいも原画像



(b)形状計測処理結果

図 17 じゃがいも 2次元形状識別処理

4.4 カラー画像による等級識別システム

現在、実用化されている多くの画像処理識別システムでは濃淡画像を用いた処理により計測・識別を行っている。濃淡画像を用いた形状などによる等級識別と共に色合いや変色などによる識別処理への需要も多い。しかし、カラー識別処理は光源などの環境による影響を受けやすく絶対的評価が行いにくい。また、濃淡画像に比べ情報量が多く処理も膨大となるなどの課題がある。

本研究では、カラー画像による等級識別システムの開発を目的として、カラー画像処理の検討を行った。

4.4.1 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、非常に有効な場合が多い。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り、色をこれらの属性で表現することにより、人間と同様な評価が行える。

光は赤、緑、青を3原色とし、この3原色の光を加えることで、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 18 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、色ベクトルの方向は色度(色相・彩度)を表す。色ベクトル F と $R + G + B = I$ (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。

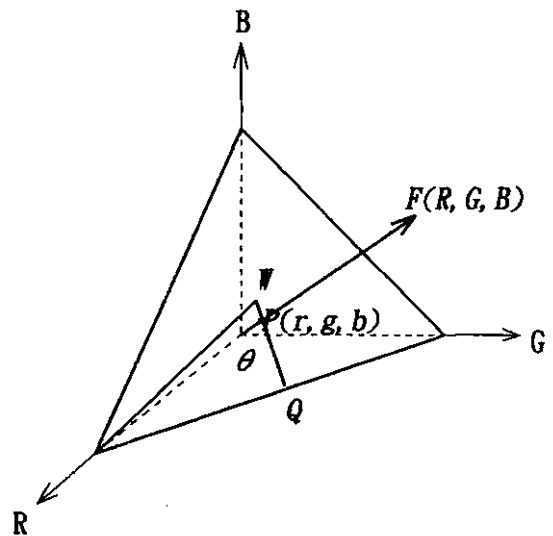


図 18 カラー画像の色度座標系

$$\begin{aligned} r &= R/T \\ g &= G/T \\ b &= B/T \end{aligned} \tag{4}$$

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、辺に近付く程大きくなる。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。

$$\theta = \begin{cases} \theta_1 & g > b \\ 2\pi - \theta_1 & g < b \end{cases} \quad (5)$$

ただし、

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{2r - g - b}{\left(6\left(r - \frac{1}{3}\right)^2 + \left(g - \frac{1}{3}\right)^2 + \left(b - \frac{1}{3}\right)^2\right)^{1/2}} \quad (0 < \theta_1 < \pi) \quad (6)$$

また、彩度 S は次式のように求められる。

$$S = 1 - 3 \min [r, g, b] \quad (7)$$

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。なお、 (T, θ, S) は、人間にとってほぼ(明るさ、色相、彩度)に対応している。

一方、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。

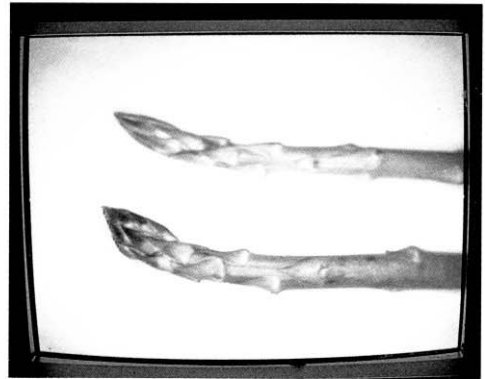
$$Y = 0.31R + 0.59G + 0.11B \quad (8)$$

このように、画像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。

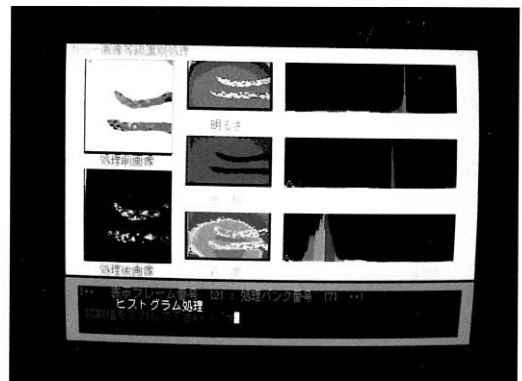
4.4.2 カラー等級識別試験

アスパラは形状による等級識別とは別に、穂先の開きを識別するために穂先が開くと赤色化することを利用した選別を行っている。そこで、カラー画像処理を用いて

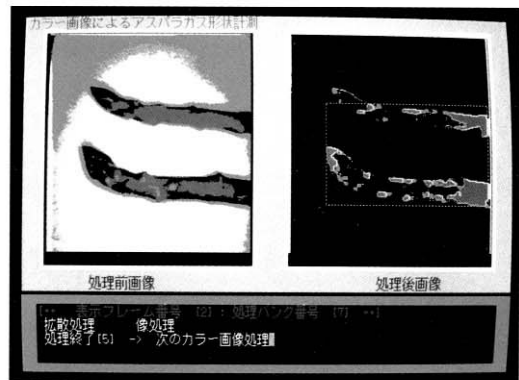
穂先の色が識別可能であるか検討を行った。現段階では、実際の色の評価基準が確立しておらず、実体物を用いた識別処理への検討は行えないが、明るさ、色相、彩度のカラーヒストグラムを求める処理を行い、穂先の色による分離の可能性を検討した。このことにより、今後の色



(a)アスパラ画像



(b)カラーヒストグラム処理結果



(c)カラー画像処理結果

図 19 カラー画像処理結果

選別における評価基準確立に反映することができ、自動色識別システム開発への第1ステップになると考える。

本システムはパソコン(PC-9801VX)、カラーイメージメモリーボード、カラーカメラから成る。色の変化の大きいアスパラ2個を用いて処理を行った。システムおよびカラー画像処理結果を図19に示す。

明るさ、色相、彩度それぞれのヒストグラムからしきい値を検討した結果、明るさ、彩度のヒストグラムで差異が認められ分離可能であることがわかった。図19(b)はヒストグラム処理結果である。決定したしきい値により領域抽出した結果を図19(c)に示す。下側のアスパラの画素がより多く抽出されている。このように、カラー画像処理を用いることで穂先の色による識別処理の可能性が確認された。本処理システムで領域抽出処理を行った結果約90秒以上要した。このように簡易的なカラー画像処理においても、明るさ、彩度を求めるには2次処理の負荷が大きく非常に処理時間を要する。

4.4.3 COREによるカラー等級識別処理

明るさ、色相、彩度によるカラー処理をプロセッサによる演算処理で行うには負荷が大きい。実用速度で実行させるには高速な処理能力をもった高性能なプロセッサが必要となり、現時点ではコスト的にみて現実的ではない。RBGフレームに入力された値を用いて、しきい値処理などにより分離可能であれば、COREによる高速処理が行え、汎用高速画像処理装置に搭載することが可能となり、他のアプリケーションと共に経済的に運用可能となる。

そこで、汎用高速画像処理装置に搭載してカラー画像識別処理の高速化を目的として、IV-80によるアスパラのカラー識別の可能性について検討を行った。IV-80でカラー画像を扱う関数として、RGBのしきい値処理、色彩・色彩距離・明度による領域抽出などがある。本処理では、しきい値処理による領域抽出手法の検討を行った。最初にR、G、Bそれぞれの画面でアスパラが分離可能となるしきい値を決定した。そのしきい値をもとに処理した結果を合成することによって、最終的な分離を行った。分離処理により領域抽出後、雑音除去として収縮、膨張処理を施した。抽出処理フローを図20に示す。

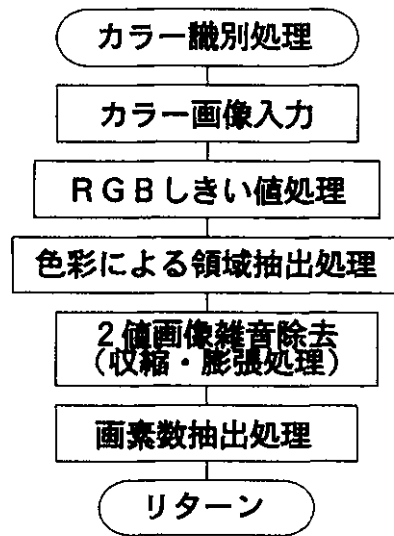


図20 カラー識別処理フロー

4.4.4 試験結果および考察

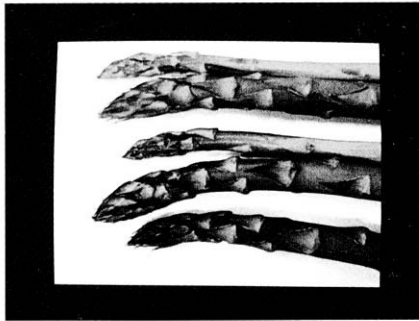
実験の段階では穂先の開いたアスパラが入手できなかったため、比較的赤色化したものを選定して処理を行った。処理結果を図21に示す。図21(a)の原画像では下側のアスパラの方がより赤みがかっている。図21(c)で抽出された結果から、下側の方がより多く抽出されているのが確認できる。処理速度は1本/秒と非常に高速化できた。

このように、COREではある程度色彩に差がある場合には非常に高速にカラー処理が可能なが確認できた。現時点では、汎用画像処理装置への搭載は行っていないが、カラー処理に対応するためのライブラリを作成することで、比較的容易に搭載可能と思われる。

今後は、カラー処理ライブラリの作成と汎用画像処理装置への移植およびアスパラのカラー等級識別システム開発への検討を行っていく予定である。

5. まとめ

農産加工品の選別工程の自動化を目的として、高速画像処理による汎用性、機能性に優れた農産加工品識別システムの開発を行った。要素研究として、汎用高速画像処理装置、アプリケーション開発環境、農産加工品等級



(a)原画像



(b)RGBしきい値処理結果



(c)カラーによる領域抽出処理結果

図 21 IV-80 によるカラー画像識別処理

識別アプリケーションおよびモジュール型選別装置それぞれの開発を行い、一体化して全体システムとした。各アプリケーションとも良好な識別結果および処理性能が確認され、汎用性、機能性、経済性に優れたシステム構築が可能になった。

さらに、冷凍食品工場において実証試験を行い、良好な識別結果が確認できた。

今後は、汎用高速画像処理装置に搭載する数多くの農産加工品、工業製品用アプリケーションおよび各種モジュール開発を検討していく予定である。

本研究は、北海道地域人材不足対策技術開発事業の一環として行ったものである。

研究に当たって、ご尽力頂いた(社)北海道機械工業会並びに関係者の方々には深く謝意を表します。

また、コーンの実証試験において、システムの設置および試験用コーン提供などご協力いただきました武田商事株式会社に併せて感謝致します。

引用文献

- 1)「食品加工における等級識別・乾燥工程の自動化システムの開発」,北海道地域人材不足対策技術開発事業実績報告書(1992)
- 2)「食品加工における等級識別・乾燥工程の自動化システムの開発」,北海道地域人材不足対策技術開発事業実績報告書(1993)
- 3)高橋,波,長尾,山本,森田,大堀,大島,神谷,河合,清野:「画像処理を用いた軸付きコーンの長さ計測システムの開発」,北海道立工業試験場報告, No.289 pp101-110(1990)
- 4)高橋,波,長尾:「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-」,北海道立工業試験場報告, No.290 pp157-163(1991)
- 5)高取,熊谷,山本:「生態取覚系に範を置いたイメージ処理LSIの開発」,映像情報(I) pp27-32(1988)
- 6)高取,熊谷:「ニューラルネットに対する最適な入力系を構成する視覚LSI」,電子情報通信学会ICD88-131pp97-102(1988)
- 7)「HRU-TAICHI CORE IV-80 画像処理ライブラリリファレンスマニュアル」,EZEL Inc.(1989)