

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業
(経済危機対応・地域活性化予備費事業)

「プラスチックペレット品質管理システムの高度化開発」

研究開発成果等報告書

平成 23 年 12 月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人 山形県産業技術振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景と研究概要
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該プロジェクト窓口

第2章 透明プラスチックペレット品質検査システムの開発（実施内容①）

- 2-1 PCモニタリングシステムの構築（実施内容①-1）
- 2-2 自由落下方式によるドーム照明光学系の構築（実施内容①-2）
- 2-3 無影化の実現（実施内容①-3）
- 2-4 検査精度評価（実施内容①-4）

第3章 カラープラスチックペレット品質検査システムの開発（実施内容②）

- 3-1 カラープラスチックペレット画像処理アルゴリズムの開発
- 3-2 PCモニタリングシステムによる閾値決定処理の実現
- 3-3 画像処理ボードへの実装
- 3-4 検査精度評価

第4章 プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発（実施内容③）

- 4-1 リアルタイム画像処理システムの構築
- 4-2 外部 I/O 制御ボード開発
- 4-3 形状計測アルゴリズム開発

第5章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景と研究概要

国内のプラスチック産業は、ここ十数年 1,400 万トン前後の生産量で推移しており、殆ど成長していない状況にある。一方で、アジア諸国では毎年高い成長を続け、世界全体の50%程度にあたる 1 億 5,000 万トンの使用が予想されている。こうした状況で、国内のプラスチックメーカーに求められるのは量的な成長ではなく高付加価値化による利益や生産量の確保である。この様な背景を受けて、現在、プラスチックペレット市場では、高品質な高透過率（以後、完全透明と記載する）プラスチックペレット及びカラープラスチックペレットを原材料とする、光学、ディスプレイ、医療、食品包装、外装材用途などの高品質で高付加価値の製品が多く求められている。テクマン工業㈱は、プラスチックペレットから異物除去を行う選別機のメーカーとしてこれまでに 100 社前後のコンパウンドメーカーとの取引実績があり、それらの取引先においても光学材料・外装材用途のペレットが大量に生産・使用されており、製品品質を確保するためにも微細な異物も許さない高い品質のペレットが求められている。また、微細プラスチック成形加工分野においては、異物除去に加えてペレット形状の安定性も求められており、各エンドユーザーは具体的に次のような背景から高品質なペレットの供給を希求している。

- 光学材料用途では、異物混入が光学的な性能劣化に直結する。
- 医療分野用途では、異物混入などの欠陥は生命に関わる問題につながりかねないことから法律などでも厳しく規制されている。
- 食品包装材用途では、ガラス容器の置き換え目的で、高いガスバリア性能が要求されており、異物混入によるリーク不良の発生は大きな問題となる。
- 大型成形品やフィルム生産では、僅かなゴミの侵入で製品全体が不良になってしまう可能性があり、不良ロス比率が非常に大きい。
- カラーペレットは少量多品種で且つ色指定も厳しく、外装用途が多くを占めるために外観的に異物混入も許されない。
- マイクロピッチコネクタや携帯電話用のカメラモジュール用のパーツの成形では、ペレット形状が不安定なために成形条件が不安定になり易く、成形不良が多発したり微細金型を破損したりしてしまうことが考えられる。

こうした高付加価値の成形製品は、国内の成形メーカーにとって国内生産で生き残るための鍵となる製品群と捉えられており、この様な製品では材料品質の確保のための原料ペレットの全数検査が強く求められる。しかし、現在の検査技術では透明なペレットや多彩な色付きのカラーペレットに対応できる検査装置が実現できておらず、検査装置メーカー側として成形業界の要求に十分に答えることができていない状況にある。こうした背景を受けて、プラスチックペレット用品質検査装置として、次の三つの装置の開発を行う。一

つ目は、複雑な光学特性によりこれまで実現が困難であった高速な透明ペレットの検査装置の開発である。二つ目は、色調が多様で検査の条件出しが難しかった多様なカラーペレットに対応する検査装置の開発である。三つ目は、形状検査に対応した検査装置の開発である。これらの開発の実現のために、それぞれ下記のサブテーマを設定して開発を進める。

① 透明プラスチック品質検査システムの開発

①-1 PC モニタリングシステムの開発

高速・高分解能であるラインスキャンカメラによる撮影画像を詳細に分析するため、PC を使って撮影画像を容易にモニタリングできるシステムを構築する。

①-2 自由落下方式によるドーム照明光学系の構築

光学シミュレータを用いて、ドーム照明環境におけるペレットの撮影状況を把握し、ドーム照明のテストベンチで実際のペレットの見え方を確認する。これらの評価に基づいて検査装置の照明エリアの光学系を構築する。

①-3 無影化自動調光の実現

現行のシステムでペレット内の異物検出を実現するためには、背景エリアとペレットが同じ明るさで撮影されることが望ましい。このため、カメラで撮影する際の背景部分に設置する背景板を最適な条件に設定するような仕組みについて調査を行い、無影化状態を実現する。

①-4 実働評価

透明プラスチックペレット検査装置を試作し、ペレット製造工程へ導入して実働評価を行う。

(目標)

分解能 40 μ m、処理速度 1t/hr の透明プラスチックペレット品質検査システムを開発する。

② カラープラスチックペレット品質検査システムの開発

- カラーラインセンサを実装したペレット検査装置化を行う。
- 分光光度計によるカラーペレットの色データの分析を行う。
- カラーペレット対応の画像処理アルゴリズムの開発を行う。
- 開発した画像処理アルゴリズムを FPGA ベースの画像処理ボードへ実装する。
- カラーラインセンサとカラー対応の画像処理ボードを搭載してカラーペレット品質検査の装置化を行う。
- ペレット製造工程へ導入して実働評価を行う。

(目標)

分解能 40 μ m、処理速度 1t/hr のカラープラスチックペレット品質検査システムを開発する。

③ プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発

- PC モニタリングシステムにリアルタイム OS を導入する。
- 形状計測アルゴリズム開発と高速化処理の開発を行う。
- 画像処理と並行してリアルタイムに外部へデジタル出力できる機能を実現する。
- FPGA を用いた外部機器制御ボードを開発する。
- PC による画像処理結果に基づいてデジタル出力を行い FPGA 外部機器制御ボード経由でイジェクタ動作することで装置化を行う。
- ペレット製造工程へ導入して実働評価を行う。

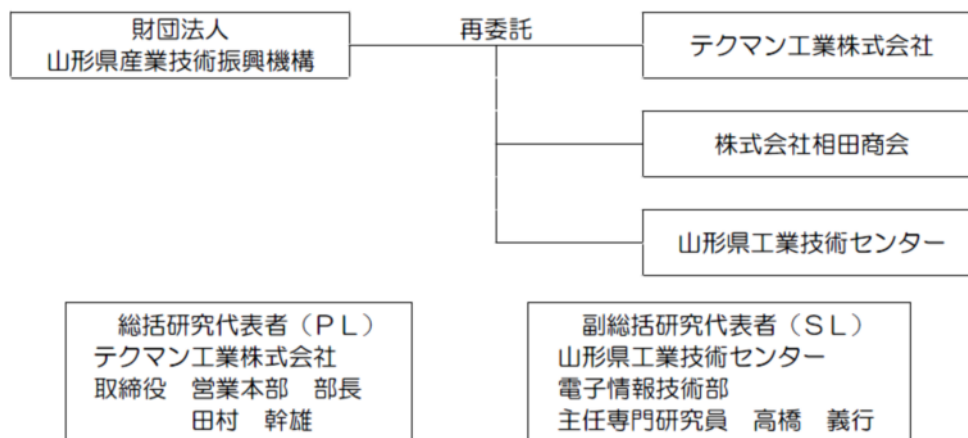
(目標)

分解能 20 μ m、処理速度 0.5t/hr のプラスチックペレット形状計測品質検査システムを開発する。

これらの装置の開発により、成形品の高品質・低コスト化を促進し、プラスチック成形分野における製品競争力の強化に寄与することを開発の目的とする。

1-2 研究体制

本事業における研究体制は下図の通りである。



1-3 成果概要

① 透明プラスチックペレット品質検査システムの開発

コンピュータによるシミュレーション、ドーム照明テスト環境、PC モニタリングシステムを用いて、拡散照明下での透明プラスチックペレットの撮影状態の最適化を行い、これを検査装置へ実装して、透明プラスチックペレット品質検査システムとして装置化し、動作確認を行った。

② カラープラスチックペレット品質検査システムの開発

カラー画像処理アルゴリズム開発、カラー対応画像処理ボード開発、ペレット品質検査装置へのカラーカメラの搭載及びカラー画像分析ソフトウェアにより、柔軟に様々なカラーペレットに対応可能な品質検査システムを装置化し、動作確認を行った。

③ プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発

制御用の PC にリアルタイム OS を導入し、ペレット検査装置のカメラ画像を PC へ取り込み、画像処理を行いながら、新たに開発した外部 I/O 機器制御用の FPGA ボード経由でイジェクタ制御が行えるペレット品質検査システムを開発した。

1-4 当該プロジェクト窓口

財団法人山形県産業技術振興機構プロジェクト推進課

〒990-2473 山形県山形市松栄二丁目2番1号山形県高度技術研究開発センター内

電話番号：023-647-3163

FAX 番号：023-647-3139

E-mail：pro-yamagata@ypoin.jp

第2章 透明プラスチックペレット品質検査システムの開発

2-1 PCモニタリングシステムの構築（実施内容①-1）

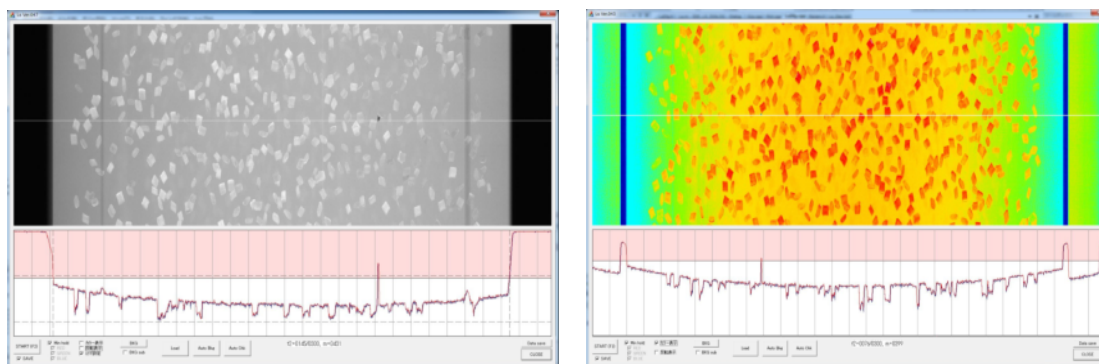
今回開発する透明プラスチックペレットの検査装置には、高分解能のラインスキャンカメラが搭載されている。しかし、これまではこうした高解像度のラインスキャンカメラで撮影した際に、実際にどのような画像が撮影されているのかを把握することは非常に困難であり、光源の調整やカメラのフォーカス合わせなどは半ば人の勘に頼りながら作業を行っているのが実態である。このため、この撮影画像の可視化を目的にPCモニタリングシステムを構築する。

カメラによる撮影データは CameraLink バス経由で専用の画像処理ボードへ入力され、ラインスキャンカメラの信号を評価して異物を検出・除去している。この CameraLink バスの信号をそのまま外部へも平行してスルー出力し、PC に実装したフレームグラバボード経由で取り込み、画像のモニタリングを行う。

このモニタリングを実現する目的は大きく二つある。一つ目は、現在のカメラの撮影状態をリアルタイムで確認できる環境を実現すること。二つ目は、撮影されたペレットの画像を詳細に観察し、分析を行うというものである。このため、撮影モードは、リアルタイムモニタリングモードとレコーディングモードの2種類を開発した。

リアルタイムモニタリングモードでは、撮影画像をフレーム化してモニタへ出力するという作業を延々と繰り返し、現在の撮影状態を即座に把握しながら撮影条件の最適化を行う。モニタリングソフトウェアの概観を図2-1に示す。モノクロ表示機能と疑似カラー表示機能がある。また、レコーディングモードでは、約10秒間のペレットの流れる画像を保存し、この画像をシームレスに連結して自由にスクロールして観察できる。また、画像上にセンスラインを設定しラインプロファイル観察を行えるようにした。これにより、検査用の判定レベルの評価や、ペレットの落下画像を詳細に分析することが可能となった。

同様に、2台のカメラの画像を同時に表示・録画するソフトウェアも開発した。マルチカメラ用のモニタリングソフトウェアの概観を図2-2に示す。こちらもモニタモードとレコードモードを有している。



(a) モノクロ表示

(b) 疑似カラー表示

図2-1 モニタリングソフトウェア概観

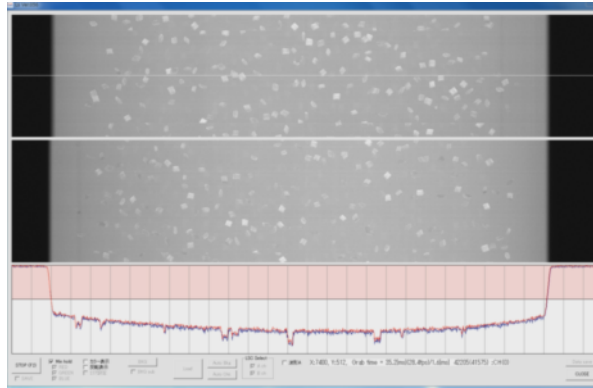


図 2-2 マルチカメラ用モニタリングソフトウェア概観

2-2 自由落下方式によるドーム照明光学系の構築（実施内容①-2）

透明プラスチックペレットの検査装置として、低速ではあるが我々は既にシステムの構築を実現し、テクマン工業㈱で「EP-100TR」として製品化している。しかし、ドーム照明と試料を乗せ搬送するトラフ部分にガラス板を用いて、透明な試料の無影化を実現しており、処理速度を上げることは難しい。このため、既存の有色ペレット用の検査装置と同様に自由落下方式での装置の実現を目標にしている。

透明ペレット中の異物を検出するためには、ペレット内の反射と屈折により生じる明暗を可能な限り低減し、異物のみが高いコントラストとなる画像を撮影する必要がある。このため、ペレット周囲からの照明光を均一にすればペレットの明暗のコントラストは低減する。我々はこの照明環境を屈折率の高い透明体に応用することで明暗の低減が可能か、実験とシミュレーションにより評価した。

円筒状に LED を配置し、拡散板で光量を均一にした疑似ドーム照明を構築し、その外側と内側で透明なプラスチックの円柱状ロッドの観察テストを行った。これにより、実際の撮影条件の問題点を検討した。ロッドをドーム照明内に置いた場合は明暗のコントラストが少なく、異物のモデルとして付した油性ペンによるマークが明瞭に観察できる。しかしながら、ロッドの中に黒いスジが生じていることが確認された。また、撮影窓から照明光を入射して改善を図ったが、照射部は明るくなり画像は改善するが、窓から均一に照明光を入射する必要があり、実現は困難と思われる。

次に、光学シミュレータソフトウェアを用いて検査装置のカメラ撮影エリアにおける照明部のモデルを実寸に近いレイアウトでモデリングし、実際の照明条件を再現した。そこに透明なペレットを模した円筒モデルを置いた場合のカメラ側からの見え方のシミュレーションを行った。ペレットモデルは、カメラ撮影の光軸に対して 45° の傾きで配置した状態が比較的光の散乱が大きくなり厳しい条件となることから、そのように配置した。最初に、従来の検査装置の照明モデルとして、開放空間に蛍光灯を模した面光源を撮影エリア中心から 4 方向に配置してペレットモデルの見え方をシミュレーションした。その結果を

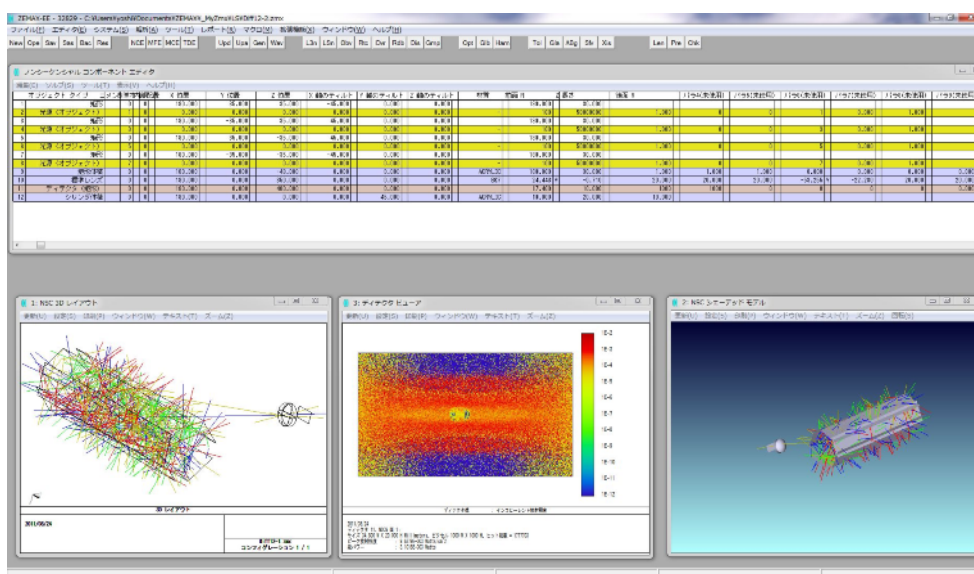


図2-3 従来照明モデルのシミュレーション

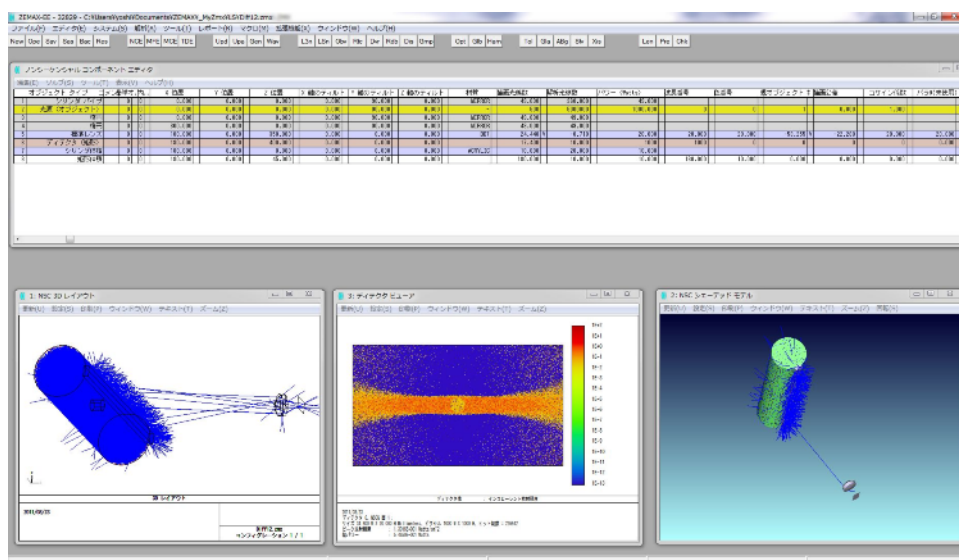


図2-4 ドーム照明モデルのシミュレーション

図2-3に示す。図中央のディテクタビューアの結果を見ると、ペレットモデル両端部の反射光が極端に少なく、暗部として見えることが予想される。次に、ドーム照明光学系のモデルとして、円筒内面に面発光体を配置して撮影窓のスリット部分のみ開放したモデルによるシミュレーション結果を図2-4に示す。この結果を見ると、ペレットモデル部分に大きなコントラストは生じておらず、ほぼ影の生じない状態で撮影できることが予想される。

これらの知見をもとにドーム照明を搭載した検査装置を試作して実験を行った。この開発では $50 \mu\text{m}$ の異物検出を最終目標とするが、評価の都合上、排除率 0.5% 以内の条件で $300 \mu\text{m}$ の不良品検出率 50% 以上を当面の目標とする。これが達成できれば撮影光学系の構造上、原理的な分解能は $40\mu\text{m}$ 程度となり最終目標も達成できると考えられる。

はじめに、従来の蛍光灯を両面に配置した照明条件での PC モニタリングシステムにより取得した撮像画像とラインプロファイルを **図 2-5** に示す。プロファイルは、上側が暗、下側が明を示す。この撮影画像から、透明ペレット内部に強いコントラストが生じ、異物検出は困難であった。次に均一照明へ近付けるために円筒状の拡散板を取り付けて光を均一化し、蛍光管も従来の二倍の片側 4 本として光量を上げた (実験①)。この構成での撮影画像とラインプロファイルを **図 2-6** に示す。その結果、排除率 1.5% 以内に設定した条件で、不良品検出率は、46%(500 μm)、20%(300 μm) で、従来の照明では殆ど検出できない透明ペレット中の不良品が自由落下条件下である程度分別できることが確認できた。

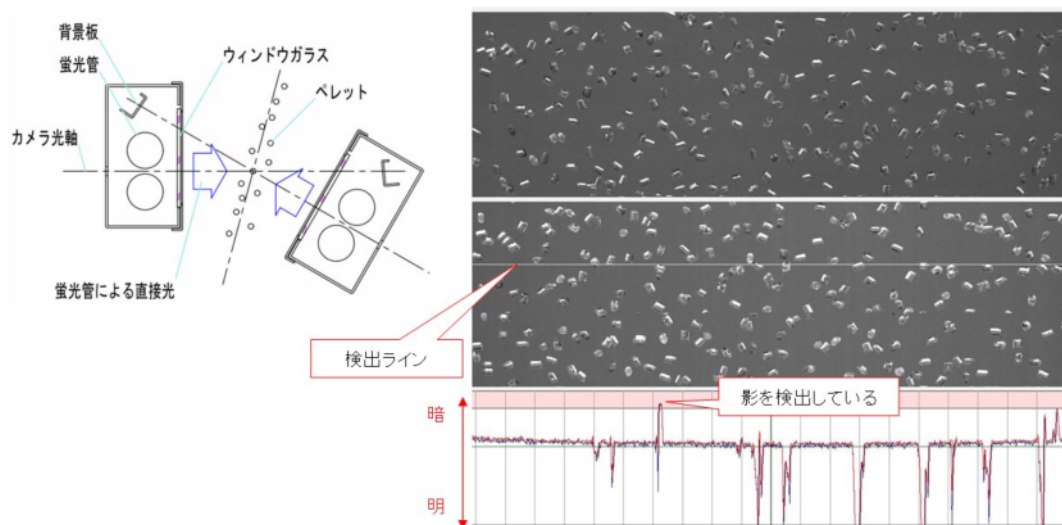


図 2-5 検査装置における従来照明による撮影画像

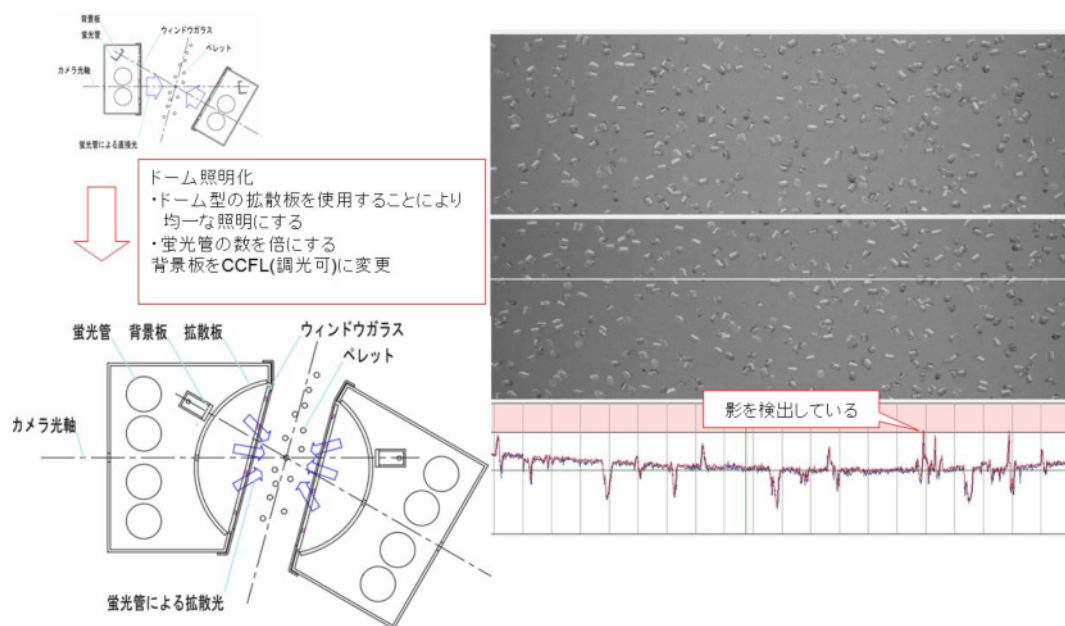


図 2-6 拡散板と蛍光灯の増設による撮影画像 (実験①)

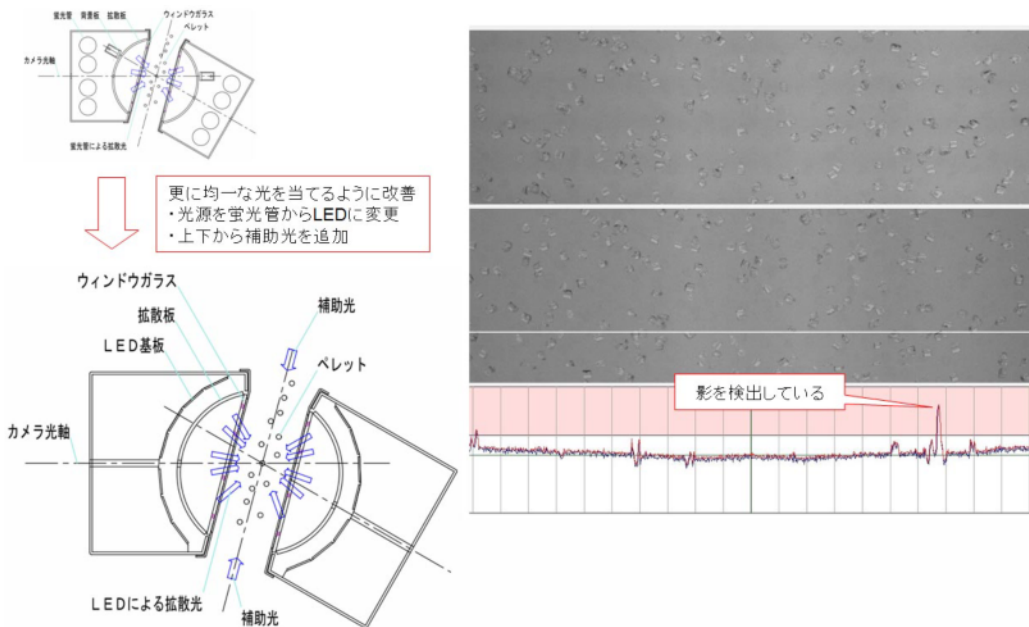


図 2-7 LED ドーム照明による撮影画像（実験②）

次に、短冊形の LED 基板を円筒状に並べて均一度を向上させた照明を製作し、実験を行った。図 2-7 に光源のレイアウトと撮影画像を示す。このセッティングで透明ペレットの疑似不良品の除去実験を行ったところ、排除率 1.5%以内の設定で、不良品検出率は、52%(500 μm)、36%(300 μm)と検出率は大幅に改善している。更に開口部への追加照明を行った条件での疑似不良品の除去実験（実験③）を行ったところ、排除率 1.0%以下の設定で、不良品検出率は、56%(500 μm)、46%(300 μm)であった。継続して、次節の撮影画像の無影化実験によって更に改善の取り組みを行う。

2-3 無影化の実現（実施内容①-3）

LED 照明導入と最適化によって異物検出実験結果からもペレット内の暗部の発生が誤検出要因となることが判明した。未だに周囲が影として現れてしまう現象が多く発生していることから、2 台あるカメラの 1 台のみを使用することとし対向する撮影窓を除去する

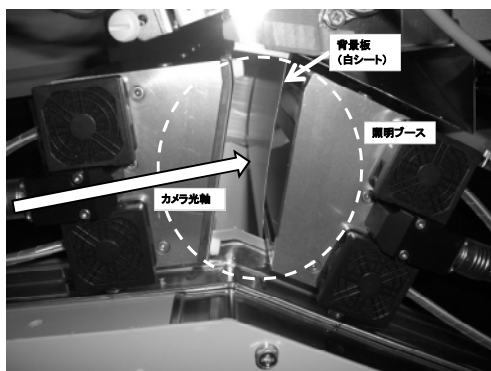


図 2-8 撮影ブースレイアウト

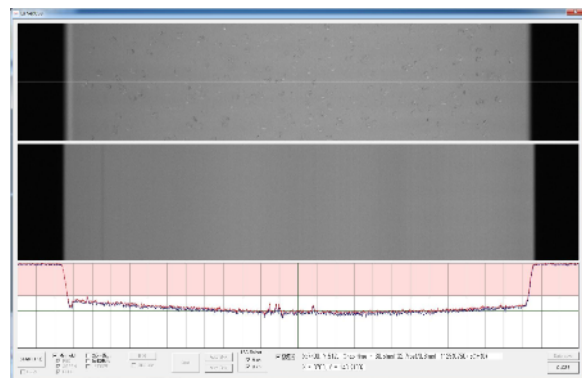


図 2-9 撮影画像とラインプロファイル

改善を検討した。実験時の撮影ブース部分のレイアウトを示した写真を図2-8に、この環境での撮影画像とラインプロファイルを図2-9に示す。

この実験では、疑似不良品として黒点サイズ毎に各10個ずつ混入されている。この結果から、処理能力0.5t/hrの設定で排除率平均0.69%での不良品検出率平均は、70%(1mm)、52%(500 μ m)、34%(300 μ m)、同様に処理能力1.0t/hrでは排除率平均1.11%で、不良品検出率平均は、54%(1mm)、48%(500 μ m)、34%(300 μ m)であった。この後の改善策については、現在、撮影画像の解析を行いながら検討を進めている段階である。

2-4 検査精度評価（実施内容①-4）

これまでの改善で撮影画像は比較的安定し、処理能力0.5t/hrでの500 μ mの異物検出率平均が50%程度となったことから、(株)相田商会のペレット生産工程へ検査装置を導入し、検査の評価を行った。約0.5tの投入で0.52kg程度の排除が行われたが、そもそもバージン材での異物発生率は低いことから、排除ペレットの中に実際の異物混入ペレットは検出されなかったが、ペレットに静電気などで付着しているゴミなどを検出している傾向がうかがえた。今後、装置の改良を加えながら、対象試料としてリサイクル材やロットアウト品などで検出能力や検査の効果確認を行う必要がある。

第3章 カラープラスチックペレット品質検査システムの開発（実施内容②）

3-1 カラープラスチックペレット画像処理アルゴリズムの開発

従来のプラスチックペレット品質検査装置における検査のアルゴリズムは、背景レベルをメモリ上に記憶しておき、そのレベルに対して著しく低い信号が入力された場合に、反応したセンサの位置に応じたエアジェクタを動作させ落下して来たペレットを除去するというものであった。しかし、判断材料として輝度情報しかないために感度域が狭く、調整が難しいという課題があり、ペレットの種別毎にセンサ反応レベルを非常にシビアにチューニングする必要がある。このチューニングにより検査そのものは実現できるが、その反面、微妙な光源の明るさの変化やワークの表面状態のちょっとした変化で誤判定が生じ易く、その都度調整を行いながら稼働させるような運用となっている。

多様な色彩を有するカラーペレットに対して柔軟に対応可能で且つ安定的に動作可能な検査装置を実現するためには、こうしたセンシティブな状況を極力避ける必要がある。このため、センサの感度域に対する検査の閾値にある程度余裕を持てるようなシステムを開発する必要がある。そのため、まずカメラをモノクロからカラーと変更し、これに対応したアルゴリズム開発を行った。カラーカメラのRGB信号はYUVという色空間へ変換して、輝度成分と色調成分に分離して評価を行うこととした。図3-1にRGB-YUV画像変換例を、図3-2に相互座標軸の関係を示す。

カメラで撮影される画像に映り込む色は、基本的に背景と検査対象となるペレットの色ということになる。従って、どちらかに該当すれば、それは検査では除去対象とはしない。

	原画像	Y	U(Cb)	V(Cr)
白				
黒				
赤				
青				

図 3-1 RGB-YUV 画像変換例

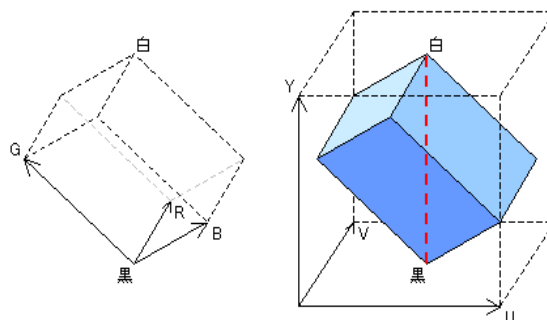


図 3-2 RGB-YUV 座標軸

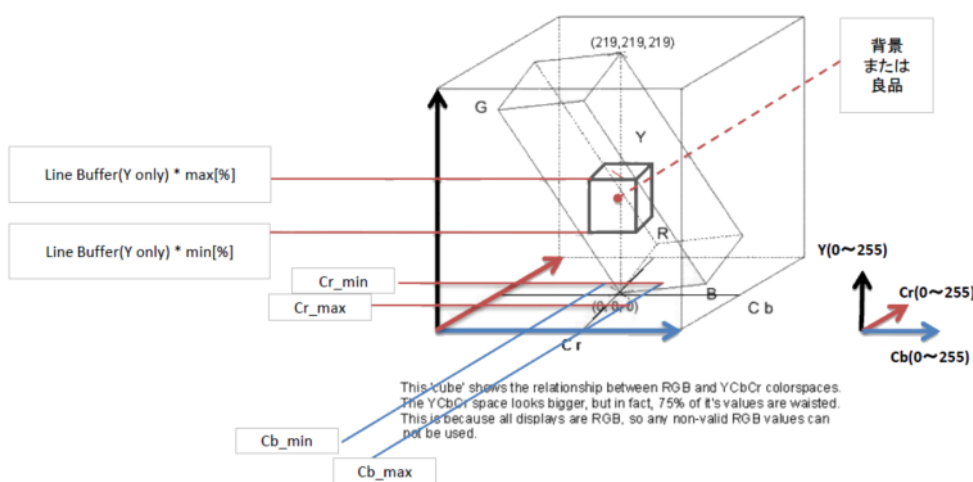


図 3-3 YUV 空間における良品画像通過帯域

我々はこの考え方に従って画像処理アルゴリズムを構築した。このイメージを YUV 空間に投影したものが図 3-3 である。この図の中央に設定された直方体が色空間の中の通過帯域となる。この通過型フィルターを用いた画像処理アルゴリズムを装置用の FPGA に実装した画像処理ボードとして開発（外注）し、このボードを利用してカラーペレット品質検査システムでのペレット検査を実現する。

3-2 PC モニタリングシステムによる閾値決定処理の実現

このフィルター設定処理は、2-1 項で構築した PC モニタリングシステムをベースに機能付加して、自動的な画像処理で行うこととした。まず、PC モニタリングシステムによりカメラの撮影信号から一枚のエリア画像の静止画を構築する。画像例を図 3-4 に示す。



図 3-4 エリア画像撮影例

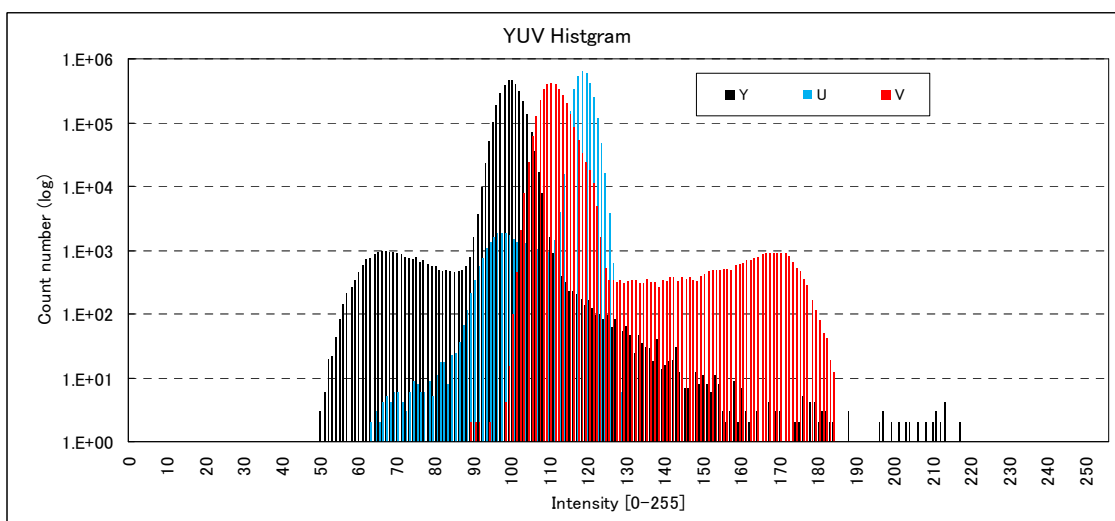


図3-5 YUV 値のヒストグラム (縦軸：対数)

この画像で、色分析の流れを説明する。基本的に撮影画像では背景の画素数が最も多いので、撮影画像の全画素の YUV 値の分布状態から自動でその通過帯域を設定する。画像の YUV 値のヒストグラムを図3-5に示す。縦軸を対数で、背景の画素の度数に対して非常に少ないが画像の中に内在する様々な色情報の分布が分かる。こうして得られた YUV の評価値を分析して、その分布の統計情報を用いてフィルターを自動的に構築する。このフィルターを通すと、図3-5に見られる第二ピーク部分が残る。これはペレットの色情報を示すピークと考えられる。初段フィルターを通過した画素を除外した後の YUV の分布を図3-6に示す。この統計情報から第二のフィルターを構築する。この他に、良品を流した際に生じる特異な色分布があればそれに対しても同様にフィルターを構築して、不良誤検出を防止する。このフィルターを自動で構築するソフトウェアの概観を図3-7に示す。このソフトウェアにより、YUV 値に対するフィルターの閾値が自動で設定され、対象画像のどの画素をパスさせるのかが直観的に確認できるようになっている。

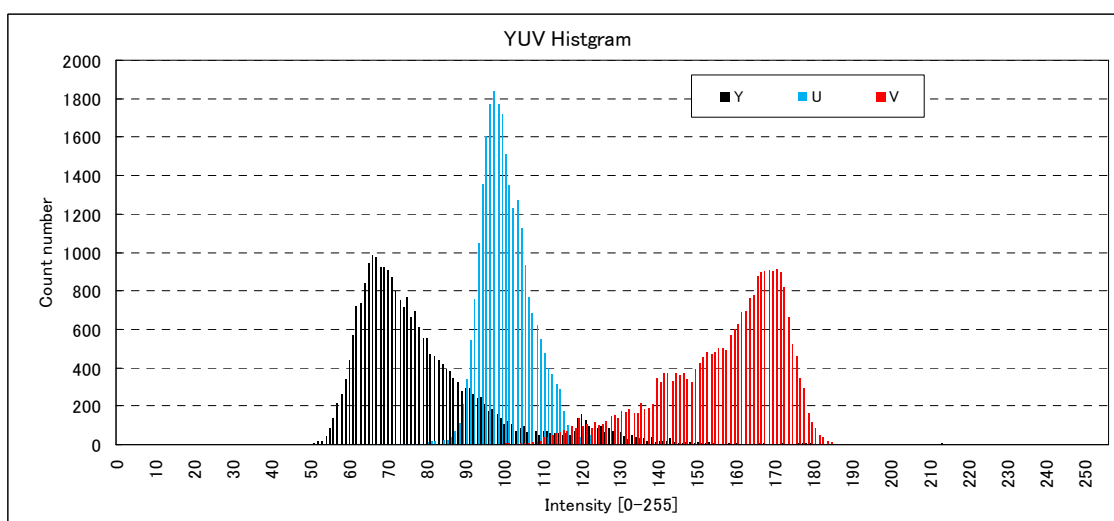


図3-6 フィルター通過後の YUV 値の分布

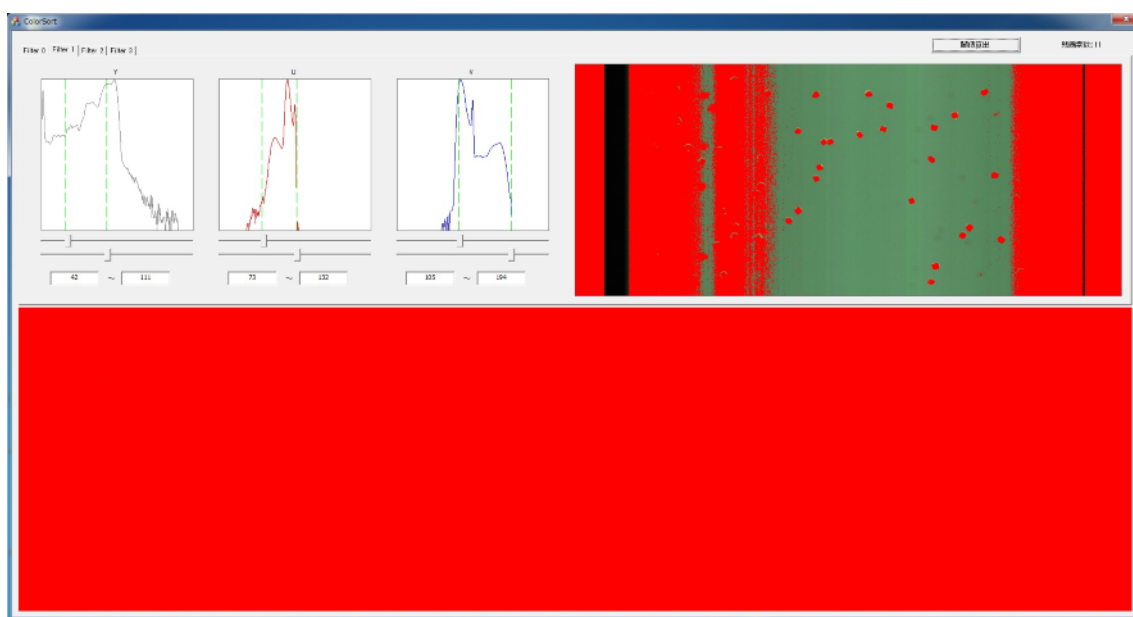


図3-7 フィルター自動構築ソフトウェア概観

3-3 画像処理ボードへの実装

画像処理のアルゴリズムについては、従来のモノクロカメラでは、背景を記憶したバッファに対して所定のレベル変化があった場合に異物としてイジェクタを作動させていたのに対して、前項で記載の通り、良品ペレットの画像を分析して、そこに映っている画素を通過させるフィルターを用意して、そのフィルターからの外れを検出した際にイジェクタを動作させて除去する処理を行うように画像処理を実装する。

3-4 検査精度評価

こうしてカラーペレット品質検査システムが構築できたため、(株)相田商会のペレット生産工程へ検査装置を導入し、検査の評価を行った。対象として生産のあった水色と橙色のペレット2種に絞り、フィルター自動構築ソフトウェアで閾値を設定して、それぞれ約0.5tの投入を行った。バージン材での生産で短期間の評価では不良発生そのものが殆どないことから、異物としては空間に浮遊するゴミが検出されている程度であったが、今後、リサイクル材などを対象に装置の精度改善や用途開拓を行う予定である。

第4章 プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発（実施内容③）

4-1 リアルタイム画像処理システムの構築

現在のペレット品質検査システムでは、ラインセンサ出力を見て異物除去の処理を行っているが、今後、ペレット形状計測用途などへの対応を検討する場合には、現状のシステムの延長上では次の様な課題が考えられる。①現在の画像処理ボードベースのシステムでは、画像保持用のメモリもデータ処理能力も不足することが予想される、②性能向上のため

めの新しいハードウェア（CPLD や FPGA）への移行や画像処理アルゴリズム開発のハードルが高い、③画像処理ボードはカスタム品であり、在庫確保や型式寿命がメーカー次第となり、代替がきかない。こうした点を踏まえ、PC ベースのシステムへの移行も視野に入れながら開発を行う必要がある。PC ベースのシステムへ移行するメリットとしては、比較的ハードウェアへの依存が少なくなることや、Windows ベースでの画像処理開発が可能となるため開発が非常に容易になる。また、PC の性能向上の恩恵を即座に享受でき、GPGPU（General-purpose computing on graphic processing units：GPU による汎用計算利用）などの最新の強力な演算技術を利用することもできるようになることなどが挙げられる。

しかし、検査装置の動作としてリアルタイム処理が必要となる。本事業では、Windows との親和性が高い INtime と呼ばれるリアルタイム OS を選定・導入した。このリアルタイム OS は Windows と共存して相互に通信しながら協調動作することができるという特徴を持ち、Windows アプリケーションでの画像処理と連携して、外部機器との通信・制御の部分を INtime が担って時間保証するというシステムを構成する。

従来のシステム構成と、PC ベースの新システムの構成を図 4-1 に示す。現行機では、2 台のライスカンカメラ（LSC）からの信号を個々の画像処理ボードで画像処理を行い、その判定結果をビット拡張ボード経由でイジェクタドライバに入力してイジェクタを駆動している。これが新システムでは 2 台の LSC 出力を PC に搭載した 1 枚のフレームグラバボードへ入力して PC で画像処理を行い、その判定結果をデジタル出力ボードからイジェクタ駆動するというシンプルな構成となる。

システムに利用している PC は 8 コアを持つ Intel 製の CPU Core i7 を搭載しており、図 4-2 に示す通り 8 コアの内 1 コアを INtime 専用として割り当て、残り 7 コアを通常の Windows 管理下で使用する設定としている。

実際のプログラムの動作としては、計測動作中にはラインセンサカメラの出力を PC のフレームグラバボードで取得し、その画像処理を行って、異常が検出された場合にはイジェクタの該当する位置を動作させるというものである。フレームグラバボードのドライバは INtime に対応しており、所定のライン取得で割り込み通知する。

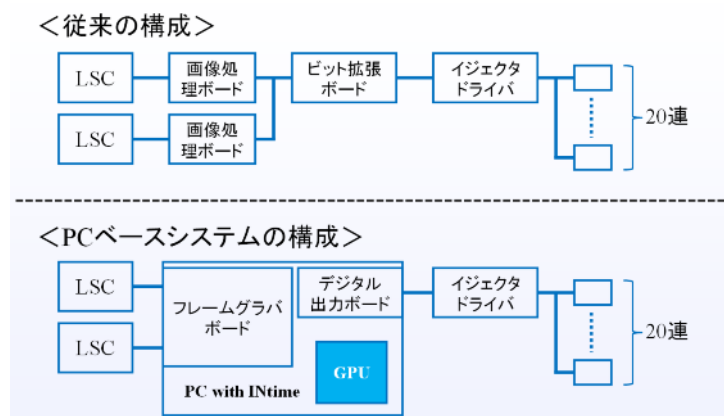


図 4-1 従来のシステム構成とリアルタイム処理システムの構成

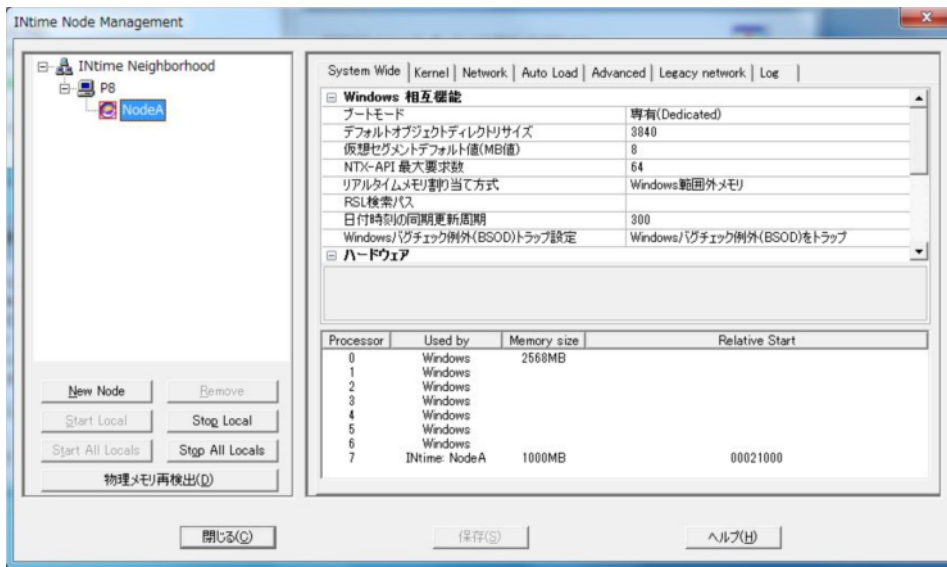


図 4-2 INtime におけるリソース割り当て (ノード設定)

この割り込みが画像取得に対する唯一リアルタイム性を保証した応答であることから、ソフトウェアの機能設計上、この部分で必要なリアルタイム処理（外部機器制御）を全て行う必要がある。つまり、イジェクタドライバなどの外部機器へ制御信号を出すために必要な画像処理は事前に終わらせておく必要があるということになる。

この処理の流れを図 4-3 の処理フローに示す。本システムでは、プラスチックペレットの画像取得から異物除去までの間には落下時間として所定の遅延時間が設けられるため、この時間内に画像処理を済ませて、次の割り込みタイミングを利用して時間保証しながらイジェクタ制御を行う。リアルタイム処理の動作状態を確認するために、LSC のライン取得割り込みを INtime 付属のアナライザ INScope で確認した結果と、割り込み毎にデジタル出力ボードから 1ms のパルスを出力し、それをオシロスコープで観察した結果を図 4-4 に示す。LSC のラインレートは 12.7kHz、256 ライン取得で約 20.16ms となる。それぞれ、INScope では 20.24ms、オシロスコープでは 20.2ms 間隔でイベントが発生していることが確認でき、想定した動作が実現できていることが確認された。

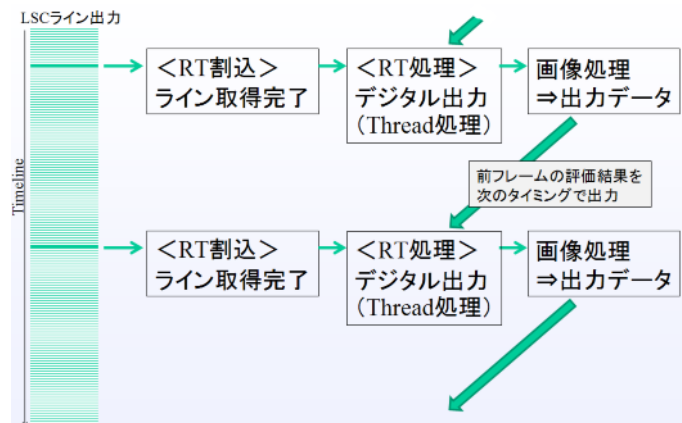


図 4-3 リアルタイム外部機器制御処理フロー

INtime付属の解析ツールによる確認



ダミー信号出力による確認

```
//デジタル出力間隔評価処理
void TestDigitalOut()
{
    _outp(nAdr, 1); // output Hi
    RtSleep(1);    // 1ms sleep
    _outp(nAdr, 0); // output Lo
}
```

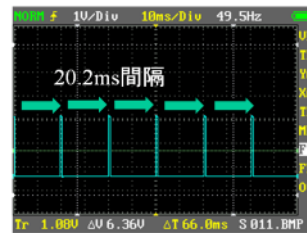


図 4-4 リアルタイムイベント確認結果

4-2 外部 I/O 制御ボード開発

極力カスタムパーツを使用せず、冗長部分を排除していくことが新システムでの大きなメリットとなる。現状、イジェクタ制御用のドライバ部分に無駄な部分が多いことや、現行のカスタム基板の入手寿命が不確定であること、今後、市場要求に応じて最適なラインセンサに柔軟に切り替えてゆく必要性が予測されることなどから、本装置に最適化した外部I/O制御ボードや画像処理ボードを開発してコストや供給の改善を図る必要がある。

検査装置では、検出された不良品はエアイジェクタで除去されるが、この際、ペレットは落下途中でラインスキャンカメラによって撮影され、それが画像処理ボードで判定され、撮影位置の数十cm下に配置されているイジェクタ部を通過する際に不良品のみ除去される。このため撮影時点と除去のタイミングには遅延が必要となる。この遅延処理はイジェクタ制御回路に組み込まれる形で実装されている。

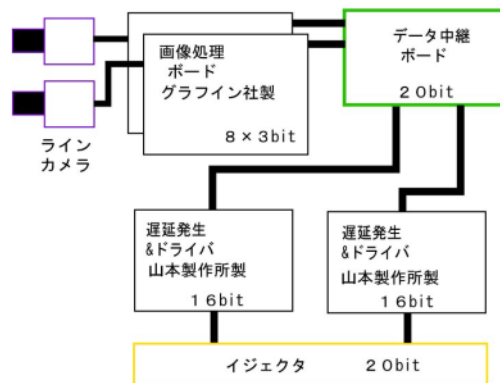
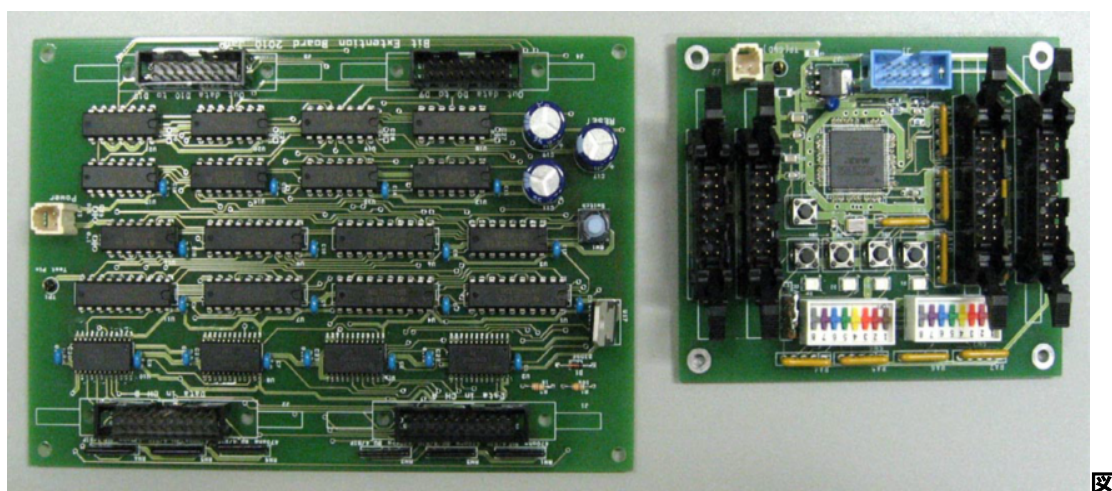


図 4-5 電子回路ブロック図

図4-5に画像処理から異物除去用イジェクタ駆動までの電子回路のブロック図を示す。制御のコアになるのは、CPLD（Complex Programmable Logic Device）やFPGA（Field Programmable Gate Array）などの書き込み可能なロジックICで、これらのICを用いることで、システムに最適な電子回路を自由に構築できる。本装置のように生産数が少ないケースではインシャルコストが安いFPGAが有利な選択となる。一方、FPGAでは、回路設計に高い技術が必要であることから、初期の開発は山形県工業技術センターが担当し、順次テクマン工業㈱に技術移転する体制とした。基板開発は次の三つのステップで行うこととした。まず、2枚の画像処理ボードから送信される除去要求信号を統合して遅延／ドライバ基板に転送する中継基板をCPLD化する。現在の中継基板は20個のCMOS標準ロジックICにより構成されている。この20個のCMOS-ICを1個のCPLDに置き換えた。比較写真を図4-6に示す。基板の大きさは半分以下となり、部品点数も減り、大幅なコストダウンが可能となる。この製作基板を従来の基板に置き換え良好に動作することを確認した。



4-6 従来の中継基板（左）と開発したCPLD基板（右）

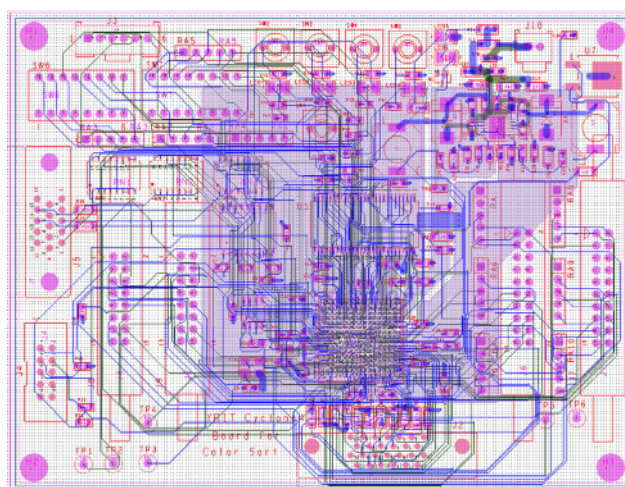


図4-7 中継基板と2枚の遅延ドライバ基板を集約した基板レイアウト

次に、中継基板と最終段の2枚の遅延／ドライバ基板の統合を試みた。基板の回路レイアウトを図4-7に示す。3枚の基板を1枚の基板とするため実装密度が上がっているが、4層基板に抑えて低コスト化を図っている。本ボードにはCyclone4（ALTERA社製）と呼ばれるFPGAを搭載した。Cyclone4の中にはNiosIIプロセッサと呼ばれるIPベースのCPUと周辺回路を書き込むことが可能で、これにより3枚の基板の機能を1個のIC中にまとめることができた。

次のステップとして上記の統合基板に2枚の画像処理基板を統合することが考えられる。画像処理基板は大きなラインバッファを搭載する必要があるため、高集積のFPGAが必要となる。また、CameraLink インターフェースから送られてくる高速デジタル信号の処理も必要である。このため、かなり高密度な基板となることが考えられ、高速信号処理のためのハードウェア、ソフトウェア開発には高度な技術集積も必要となることから、企業側で技術開発およびその維持を行うかどうかについて検討を行っている段階である。

4-3 形状計測アルゴリズム開発

微細プラスチック成形加工においては、形状の揃った高品質なペレットが求められる。そのため、ペレットの製造工程では、その寸法をノギスによって計測し、ばらつきを検査している。しかしながら、従来の検査は人手による検査であるため、検査時間がとても長く、結果も検査員によってばらつくために正確性に欠いていた。そこで、PCを利用した画像処理により、高速で正確な寸法を計測できる形状計測アルゴリズムの開発を行った。

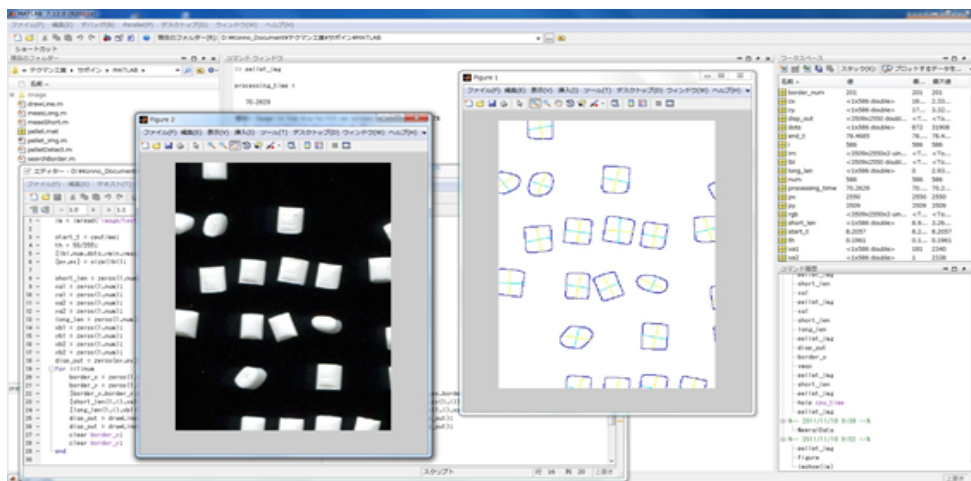


図4-8 画像処理シミュレーション



(a) スキャン画像 (b) 二値化画像

図4-9 二値化処理

まず、はじめにイメージスキャナで取得した画像に対して基本アルゴリズムの検証を行った。結果を図4-8に示す。画像処理は、二値化、ラベリング、長径短径算出、輪郭距離算出、姿勢判別の5つの処理を順次行っている。

二値化処理は各画素がペレットか背景かを区別するための処理である。ペレットは背景よりも明るいという特徴を利用して、ある閾値より明るい画素についてペレットを構成する画素として抽出する。処理画像を図4-9に示す。次のラベリング処理は、個々のペレットを識別するための処理である。ペレットを構成する画素のブロックを抽出し、それぞれに番号付けを行うことで、各画素が何番目のペレットを構成しているのかが分かる。処理結果を図4-10に示す。輪郭検出処理は、個々のペレットの長径と短径を算出する処理である。処理結果を図4-11に示す。ラベリングされた画素の塊に対して、上下左右からペレットと背景の境界点を検出する投影法という手法でペレットの輪郭画素を抽出した後、短径を求めるために各輪郭画素とペレットの重心の距離を算出する。

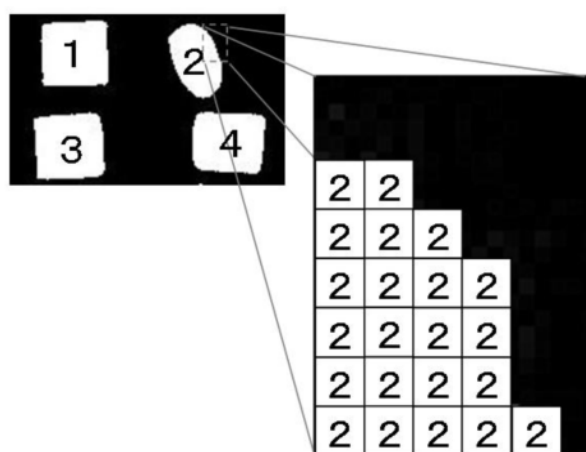


図4-10 ラベリング処理

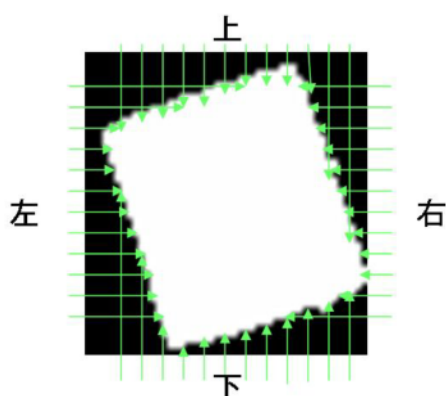


図4-11 輪郭検出（投影法）

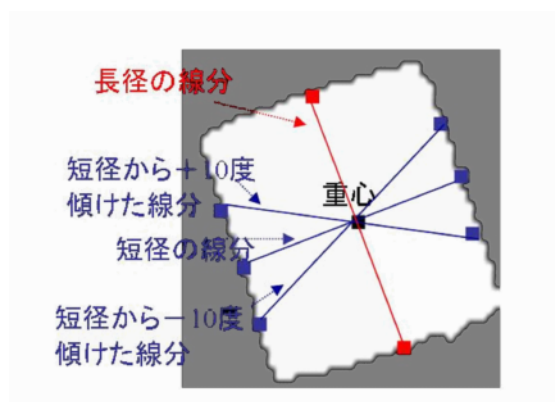


図4-12 長径短径算出

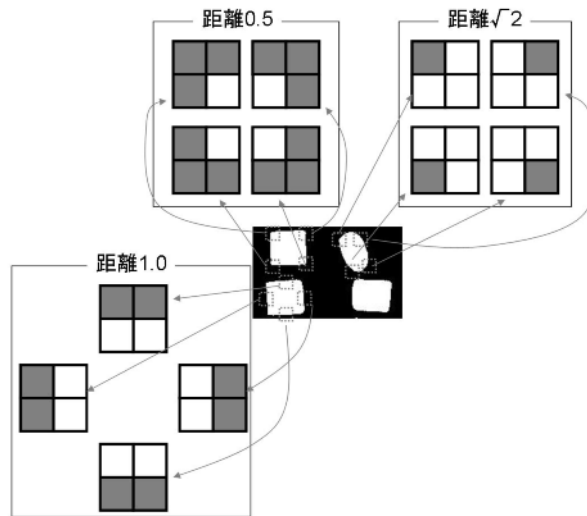


図 4-13 輪郭距離算出処理

検出結果を図 4-12 に示す。姿勢判別処理では、輪郭距離を算出して楕円柱のペレットがどのような姿勢にあるのかを判別するためのパラメータとして利用する。輪郭のパターンを、①コーナー、②水平または垂直な直線、③斜め 45° の直線の三つケースに分類し、それぞれの距離を 0.5、1.0、1.4 と定義する。こうして、輪郭を構成する全画素のレイアウトから距離を算出して、その総和を輪郭距離とした。モデルを図 4-13 に示す。この値を元にペレットの姿勢判別を行う。ペレットの断面は楕円形、側面は長方形となっており、一般的には円形度（面積÷輪郭距離長の二乗）による判定が行われる。円形度による姿勢判別テスト結果を図 4-14 に示す。図の縦軸は円形度であるが、ペレットの断面を分析したデータ（紺色マーク）と側面を分析したデータ（ピンクマーク）について、円形度では分離できていないことが分かる。これは、対象としたプラスチックペレットでは傾いて断面が投影されていたり輪郭が不明瞭であったりしたためと思われる。

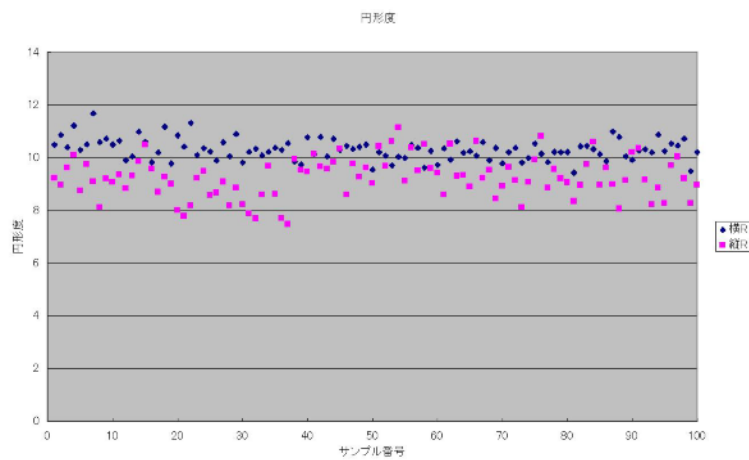


図 4-14 円形度による姿勢判別テスト結果

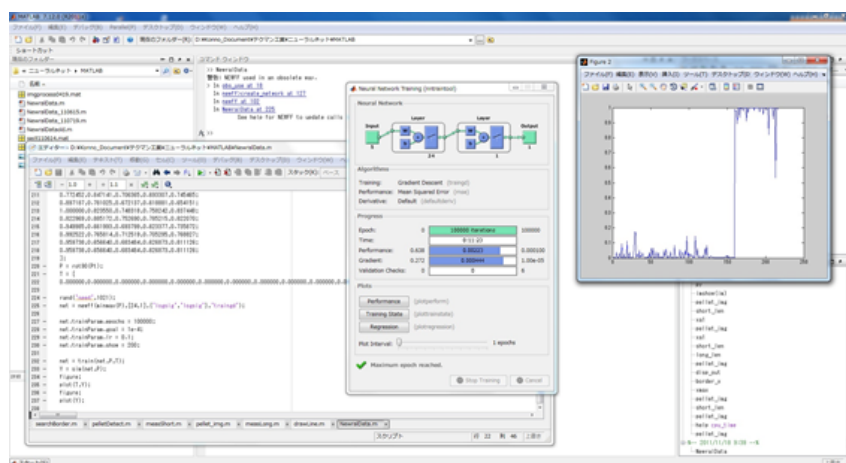


図4-15 MATLABによるニューラルネットワークの検証

この不安定な判定処理への依存は危険であるため、ニューラルネットワークによる判別を評価した。開発画面を図4-15に、構築した論理回路を図4-16に示す。学習信号により各ユニットの重みを設定し、予め断面のみを撮影した画像と側面のみを撮影した画像をからそれぞれのペレットの5つの特徴量と姿勢を教師データとして与えた。図4-17に判別テストの結果を示す。ペレット断面の画像と側面の画像の分析データから出力値が明瞭に分離でき、良好な判別ができることを確認した。

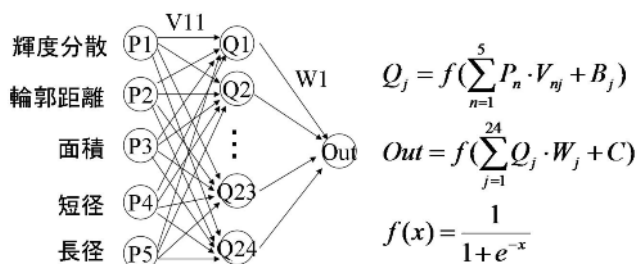


図4-16 ニューラルネットワークの構成

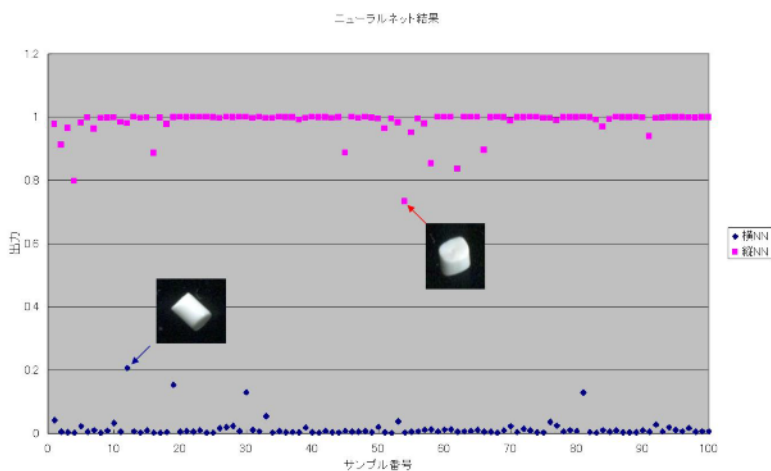


図4-17 ニューラルネットワークによる姿勢判別テスト結果

次に処理時間の把握を行った。作成したニューラルネットワークのアルゴリズムを C 言語で最適化して書きかえることで従来 60 秒以上かかっていた処理は 1 秒程度となった。その後、並列処理が可能な部分である長径短径算出処理と輪郭距離算出処理の高速化に取り組んだ。並列処理の手法としては今回、大きく分けて二つの手法で行った。一つは GPU を用いた GPGPU という手法で、もう一つはマルチコア CPU (Intel Core i5 : 動作周波数 2.80GHz、コア数 4) を用いた、OpenMP ライブラリを用いた並列化手法である。GPGPU で用いた GPU は動作周波数がやや高いもの (GeForce GTS450 : 動作周波数 1.566GHz、コア数 192) とコア数が多いもの (GeForce GTX580 : 動作周波数 1.544GHz、コア数 512) でどちらが今回の処理に適しているかも比較した。長径短径算出処理及び輪郭距離算出処理をペレットの数だけ並列化したところ、コア数をもっとも多い GPU で並列化した場合がもっとも高速であった。処理時間計測結果を表 4-1、図 4-18 にまとめて示す。

表 4-1 処理時間の高速化

処理内容	処理時間[ms]			
	従来	GTS450	GTX580	OpenMP
2値化処理	17.12	17.16	17.37	17.25
ラベリング処理	239.61	239.72	236.31	238.75
データメモリ確保	0.09	0.07	0.07	0.08
データ抽出時間(面積など)	39.15	39.21	39.18	39.24
元画像コピー	6.05	5.68	5.59	6.39
長径短径算出	706.63	518.95	172.33	183.52
輪郭距離算出	189.26	32.20	32.00	22.72
形状判別	10.70	10.94	10.80	10.96
合計	1208.61	863.93	513.65	518.91

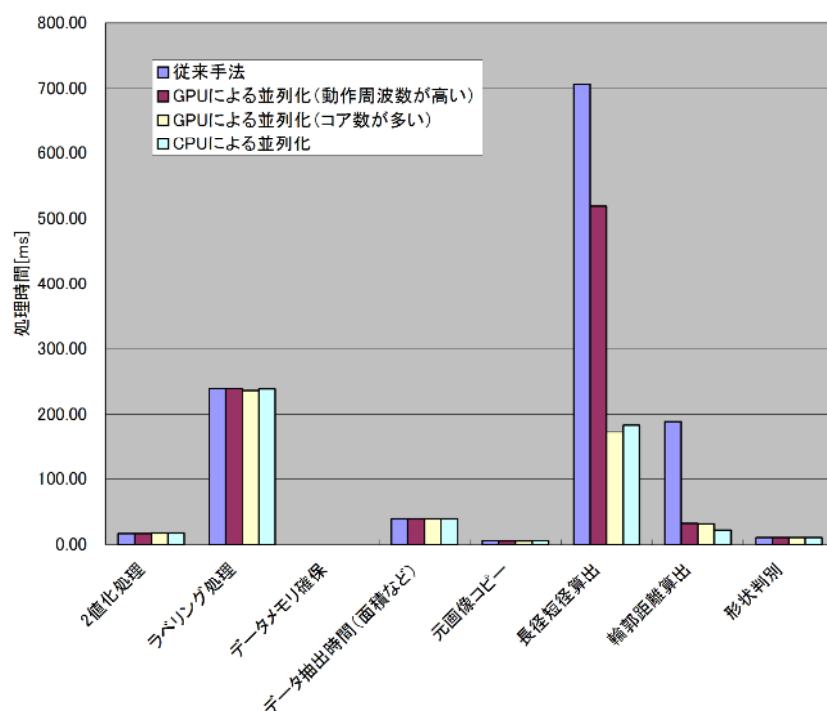
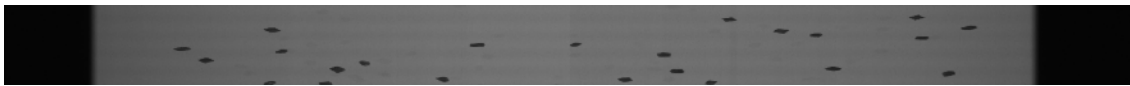
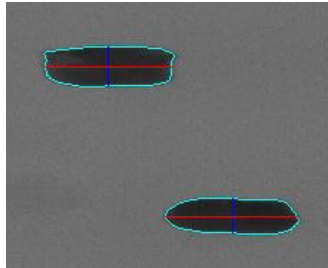


図 4-18 処理毎の処理時間



(a) 撮影画像全体 (512 ライン分)



(b) 長径短径計測結果

図 4-19 ラインスキャンカメラ撮影画像の処理

処理能力が高い自由落下方式の選別機において、形状を把握しながら不良ペレットを除去することを目的として、この処理速度の計測結果を踏まえてラインスキャンカメラからの画像をもとに形状計測アルゴリズムの開発を行った。ラインスキャンカメラの画像 512 ライン分を 1 フレームとして、フレーム単位で形状を計測する。フレームを取得して不良品の判定をするまでの時間は、仮に 100ms と設定した。図 4-19 の(a)にラインスキャンカメラで取得した画像 (1 フレーム分) を示す。(b)は長径短径計測結果である。

この画像処理に要した時間を表 4-2 に示す。約 20 粒の処理時間はトータルで約 85ms というところで目的とした 100ms 以内であった。尚、全数検査をするためには、1 フレームの周期が約 40ms であることから、100ms の間に約 3 フレームを平行して処理する必要があるが、3 個以上のコアを持つマルチコア CPU を利用すれば処理を並列化することで実現可能と思われる。

表 4-2 処理時間

処理内容	処理時間[ms]
2値化処理	7.09
ラベリング処理	51.00
長径短径算出	26.23
合計	84.32

第 5 章 全体総括

本研究開発は、戦略的基盤技術高度化支援事業（平成 22 年度 経済危機対応・地域活性化予備費事業）に採択され実施するに至った。単年度の集中的な開発スケジュールであったが、①透明プラスチックペレット品質検査システムの開発、②カラープラスチックペレット品質検査システムの開発、③プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発の三つの装置開発について、装置構想→原理確認→装置化と進めることができた。その成果はそれぞれ次の通りである。

①透明プラスチックペレット品質検査システムの開発

- ・PC モニタリングシステムの開発により、高速・高分解能のラインスキャンカメラによる撮影画像を容易にモニタできるようになった。
- ・ドーム照明を自由落下方式のペレット検査システムへ導入し、透明ペレットの検査が実現した。
- ・計測分解能は原理的に約 40 μ m、処理能力は 1t/hr である。
- ・現在のところ、処理能力 1t/hr で 300 μ m の異物検出率が約 50%であり、今後、実用化に向けて改善を進める。
- ・国際プラスチックフェア 2011 (IPF2011) へ試作機を出展し、多数の企業から評価依頼や問い合わせがあることから、早期に製品化に向けて取り組む必要がある。

②カラープラスチックペレット品質検査システムの開発

- ・従来のペレット検査装置をベースに、高分解能カラーラインスキャンカメラへ置き換えを進めた。
- ・計測分解能は原理的に約 40 μ m、処理能力は 1t/hr である。
- ・カラー画像対応の画像処理アルゴリズムを開発し画像処理ボードへ処理を実装した。
- ・カラー処理によるペレット検査を実現した。
- ・カラー画像処理用の閾値分析ソフトウェアを開発した。今後、様々な試料でのテストを行い、実際の運用に向けた改善を進める予定である。
- ・従来のモノクロカメラタイプでは困難だった再生材などでの評価が良好であることから、検査条件の最適化などを行い、製品化に向けた取り組みを進める。

③プラスチックペレット形状計測品質検査システムの開発

- ・PC にリアルタイム OS を導入し、Windows ベースの画像処理と連動してリアルタイムにデジタル出力できることを確認した。
- ・イジェクタ制御を行うための外部 I/O 制御基板を CPLD ベースで独自に開発し、動作確認を行った。今後、画像処理部分と統合して FPGA 化する対応について検討を進める。
- ・ラインスキャンカメラの画像を対象にした形状計測画像処理アルゴリズムを構築し、処理能力の評価を行った。
- ・処理能力は装置ベースで 1t/hr、ペレットの長径短径計測程度の画像処理であればこれに応じる処理速度が実現できることを確認した。
- ・計測分解能は原理的に約 40 μ m で、測定値は端点の画素間距離で計算するためそれよりも高分解能で算出される。繰り返し精度は現在評価中である。
- ・形状計測の画像処理を行う検査装置としての構築を今後進める予定である。