

知的搬送技術による
各種自動外観検査装置の研究

2013 年 3 月

高知工科大学

中谷 信幸

目次

目次.....	1
論文要旨	3
第1章.はじめに	7
1.1 現状の外観検査の課題.....	11
1.2 解決されるべき課題とその期待される効果.....	12
第2章 自動外観検査におけるこれまでの研究と成果.....	13
2.1 2次元検査対象の実施例(いりこ).....	13
2.1.1 基本原理.....	15
2.1.2 知的搬送システムの構成.....	15
2.1.2.1 分離搬送部.....	17
2.1.2.2 分岐部.....	22
2.1.3 知的検査システムの構成.....	23
2.1.3.1 撮像部.....	23
2.1.3.2 検査部.....	26
2.1.4 実験.....	32
2.1.4.1 搬送実験.....	32
2.1.4.2 搬送実験結果	33
2.1.4.3 識別実験.....	35
2.1.4.4 識別実験結果	36
2.1.5 まとめ	38
2.2 2次元検査対象の実施例(タグ).....	39
2.2.1 基本原理.....	39
2.2.2 知的搬送システムの構成.....	40
2.2.2.1 分離搬送部.....	44
2.2.2.2 重送検知部.....	45
2.2.2.3 分岐部.....	46
2.2.3 知的検査システムの構成	47
2.2.3.1 撮像部.....	47
2.2.3.2 検査部.....	49

2.2.4 実験	53
2.2.5 実験結果	54
2.2.6 まとめ	54
2.3 3次元検査対象の実施例(ピーマン)	56
2.3.1 基本原理	56
2.3.2 知的搬送システムの構成	59
2.3.2.1 分離搬送部	61
2.3.2.2 分岐部	65
2.3.3 知的検査システムの構成	65
2.3.3.1 撮像部	65
2.3.3.2 検査部	67
2.3.4 実験	70
2.3.4.1 搬送実験	70
2.3.4.2 搬送実験結果	71
2.3.4.3 識別実験	73
2.3.4.4 識別実験結果	75
2.3.4.5 鏡面反射抑制の追加検討	77
2.3.4.6 鏡面反射抑制手法の全カメラへの展開	79
2.3.4.7 キズの認識再実験	80
2.3.5 まとめ	81
第3章 むすび	82
参考文献	86
研究論文, 学術論文, 研究会講演等リスト	90
謝辞	91
付録(各種実験装置)	92

論文要旨

現在、多くの生産現場では品質保証の一環として製品を組み立てる前に、部品の外観検査が行われている。

外観検査は、迅速且つ正確さが要求されるが、まだ多くの現場では人間の能力に頼る目視検査が主流となっている。目視検査は、部品の外観形状、色、状態を人間の目(視覚)で見て、良品と不良品の判断基準をもとに合否を客観的に判断するのであるが、検査もれなどのヒューマンエラーの発生はかならずしも避けられない。

いかに人間の“集中力”を持続させるかが課題となるが、ヒューマンエラーは繰り返され、検査もれは再発することが予想される。

また、検査員の技量によっても結果にばらつきが生じるため、検査基準の認識の解釈に曖昧性があるため、検査結果にもばらつきが生じている。

このような問題を改善するため、一部では自動外観検査装置の導入が計られているが、省力化、効率化を主眼とした外観検査の自動化を構築するにあたり、検査対象である個々の部品をバラ積み(ビン状態)から対象を一つに分離し検査する必要がある。

そのため検査対象が変われば、その都度、検査対象の形状や特性に合わせた治具及びラインや検査ソフトを修正する必要があり、設備の新規設計も必要となる場合も多く、時間もコストもかかる結果となる。

また、外観を撮像する場合、検査対象表面の形状に物理的な起伏があることや、起伏の影響により撮像光の照射量が均一にならず、取得画像に不適切な影が発生するため、光源の位置や光量などを検討するなどの対処が不可欠となる。

さらに、取得した画像に対して判定する場合に、表面の起伏の影響により、通常の2値化では正しい判定ができない場合も多く発生するため、撮像領域全体を小領域に分割し、小領域ごとに適切な閾値を用いて、2値化を行う適応的2値化手法の導入をするなどの工夫も必要となる。

このような種々の理由により、取り扱いが困難な形状や材質のものに関しては、未だ、人間の手作業に頼り、目視検査しているのが現状である。

特に、一次産業製品である漁業及び農産物の等級及び選別判定においては対象の形状バ

ラツキや状態の複雑さから専用機といえども満足な性能が出ていないのが現状である。

それ故、これらの多くの選別作業は従事者の高齢化の進む中で人手に頼り、繁忙期には長時間労働を強いられる結果となっている。その結果、一次産業製品の品質基準に対するバラツキが生じておりブランド化も損ねられている。

このような問題を解決するため、本研究では検査対象の形状によって、厚さを考慮しない場合(2次元物体)と厚さを考慮しなければならない場合(3次元物体)に分類し、種々の検査対象に適応した自動外観検査装置を分離搬送機構と画像処理技術及び判定技術をふまえ、包括的に提案する。

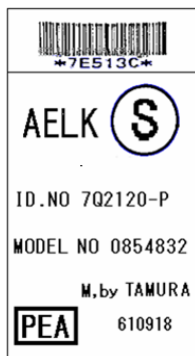
まず始めに、2次元物体として海産物である一夜干しした“いりこ”を取り扱い、自動で外観検査し、魚類の識別をする装置を提案する。



いりこ

本研究で取り扱う魚類は、体長5～10cmほどであるが、形状的に湾曲しているものもあり、検査対象として一様な形状とはいえない。そこで本研究では、これら数十匹を一括混合して装置の受け入れ部に投入し、絡み合ういりこを搬送しながら極力キズを最小限にとどめ、検査対象を撮像部で1個に分離できる手法として6台のベルトコンベアからなる独立駆動系を提案し、その有効性を実験的に示す。

次に、2次元物体の検査として提案するのは、薄さ0.15mmの自動車のシートベルトに張り付ける品質保証の注記を記した“タグ”である。



タグ

現在、様々な商品に貼付されているタグは、その製造の最終過程で脱字、汚れ、および文字のかすれなどの種々の不良が発生する場合がある。

そのため、最終検査として複数名の作業員が目視によってタグの印刷面の検査を行っているのが現状である。しかしながら、目視検査は長時間の連続検査が必要な作業であり、人の疲労や感覚のバラツキにより検査基準を一定に保つのは難しい。

本研究は、この最終目視検査の工程を自動化するため、タグの搬送機構と画像処理を新たに提案し、タグの搬送性能と画像検査性能を実験的に示すものである。一方、目視検査の自動化を実現するためには1枚毎のタグ表面をカメラによる撮像で画像を取得する必要がある。また、検査効率を上げるため無人で連続して処理を行う必要がある。

このためタグは数百枚重ねられた状態で本装置に装填される。この一括装填重されたタグを撮像部に導くため1枚毎に分離して搬送する機構が必要となる。さらに、判定後の処理として判定結果に応じて、良品と不良品に分離する機構も必要となる。

また、タグの印刷面にはインクの付着性を高めるためラバーコーティング処理が施されている。これによりタグには強いソリが生じ、全体に屈曲するため、一般的な紙葉類と比較して取扱いが困難となる。

さらに、複数枚が堆積した状態から1枚だけを分離する場合、表面のラバーコーティングにより、タグ間に高い摩擦力が発生するため、1枚分離が困難であると予想される。

また、大気中の湿度によりタグ同士が軽度付着する現象もみられる。これにより2枚以上が付着して重送される危険性も予測され、装置の信頼性を上げるためには従来の水平方向の分離ではなく、新規な機構が必要とされる。

そこで本研究ではタグ間の摩擦力や付着に対処するため、タグを垂直方向に吸引すると同時に、小さな半径で屈曲させ、確実に1枚だけを取り出し、搬送路へ導く機構を新たに考案する。

これらの独自性によりタグの目視検査の自動化を実現させ、その搬送性能および汚れ検査性能の両方から本研究の有効性と実用性を示す。

最後に、3次元物体の検査対象の実施例として赤ピーマンなどの長楕円体状青果物を取扱い、搬送機構と検査手法を提案する。特に、いりこやタグと異なり、3次元物体の搬送においては厚さと方向を考慮する必要がある。



赤ピーマン

厚さがある場合は搬送途上のロール回転(転がり)が顕著となり一時的に 1 個にした場合でも前段の他の対象が次段のベルトコンベアに転がり入ることが 2 次元対象と比べて確率的に高くなると予想される。

それ故、厚さを考慮すべき対象を 2 次元用の搬送機構では対処することは不可能となる。赤ピーマンは長楕円体状青果物であり、鏡面反射が発生する。したがって、画像処理の難易度が高い課題となる。

本研究で開発した長楕円体状青果物全面検査選別システムは分離搬送部、撮像部、および検査部により構成される。

分離搬送部では、投入位置に投入された検査対象が複数台の V 字型ベルトコンベアおよびテグスからなるセンサ駆動の独立駆動系を用いることにより転がらずに長手方向に 1 個に分離され、撮像位置まで搬送される。撮像部では 6 台の Web カメラを用い、6 面同時撮像することにより、検査部で検査対象の大きさ、形状不良とキズの有無を判定する。

特に、この部分においてはビン状態(バラ積み状態)の部品を個々の形状や質量、重心、表面状態、配置方向などの特性を考慮し、搬送しながら一つに分離し、撮像ポイントで対象を 1 個にするという搬送機構の提案であり、またその全面検査手法の提案である。

本論文では、このような種々の検査対象の形状的特性（表面状態、重さ、突起、起伏、厚みなど）に応じた分離搬送系と認識手法を提案し、その有効性を実験的に示す。

また、これらの知見を元に検査対象の形状的特性にとらわれない汎用性のある分離搬送技術の開発が今後特に必要と考えられるため、センサをトリガとする独立駆動系によるベルト搬送だけではなく、ロボットハンドなどの併用も検討する必要がある、認識機構と複数のロボットハンド、さらに複数のベルト群をセンサおよび画像認識結果により統合的に駆動させる物流システムの構築が必要であると考ええる。

第1章 はじめに

現在、多くの物作りの現場では品質保証の一環として製品を組み立てる前には必ず部品の外観検査が行われている。部品の外観検査は、製品の性能を保証し、市場に不良を出さない流出防止対策としての歯止め効果があり、品質を維持するために必要な工程である。

外観検査は、その検査情報を製造工程へフィードバックし、製品品質を維持および向上させる役割も果たす。

多くの場合、連続して迅速且つ正確な検査が要求されるが、詳細な検査においては未だに目視検査が主流となっている。目視検査は、部品の外観形状、色、状態を人間の目(視覚)で見て、良品と不良品の判断基準をもとに合否を客観的に判断するのであるが、検査もれなどのヒューマンエラーの発生は避けられない。

特に、急な増産や部品の変更に対応して短期間に生産量が集中し、検査時間が短くなり、部品ひとつ当たりの検査時間が十分に確保されないまま検査もれが発生してしまう場合が多い。

したがって、いかに人間の“集中力”を持続させるかがテーマとなるが、誤検査は繰り返され、再発の危険が多々存在する。また、検査員の技量によっても結果にばらつきが生じるため、検査基準の認識にズレが生じていないかなど、明確化しがたいグレーゾーンにも注意を払わなければならない。このような問題を改善するため一部では自動検査装置が導入されようとしているが、その都度、対象部品の形状や特性に合わせた治具やラインやソフトを設計する必要があり、設備の新規設計も必要となる場合も多く、時間もコストもかかるため、可能な限り人為的な目視検査で解決しようとするのが生産現場の実状である。

その中でも比較的、簡単な部品を扱う場合においては自動化が進められているが、工業製品の中でも取り扱いが困難な形状や材質のものに関しては未だ、人間の手作業を通じて目視検査に頼っているのが現状である。

このような背景により生産現場の要求として、正確かつ、効率的で、より汎用性のある安価な外観検査装置が求められている。

特に、一次産業製品である漁業、農業産物の等級および選別判定においては対象の形状

バラツキや状態の複雑さから専用機といえども満足な性能が出ていないのが現状である。

それ故、これらの多くの選別作業は未だに高齢化の進む中で人手に頼り、繁忙期には長時間労働を強いられる結果となっている。このような現状から一次産業の製品の品質基準に対するバラツキが生じておりブランド化も損ねられているのが現状である。

本研究はこのような検査作業の状況を改善するための自動検査機器に関するものであり、先進の画像処理とセンサを用いた知的制御による独立搬送機構を有機的にリンクさせることによりフレキシブルで汎用性に富む自動外観検査システムを実現しようとするものである。

特に、ビン状態(バラ積み状態)の部品を個々の形状や質量、重心、表面状態、配置方向などの特性を考慮し、搬送しながら一つに分離し、撮像ポイントで対象を1個にする機構と制御技術と認識技術の研究である。

本研究では、現状の部品供給と検査における問題点を提起し、その課題解決の提案を実施する。特に、2次元物体及び3次元物体を自動搬送と検査の実施例として列举し、搬送系の提案とそれに連動した撮像および認識系の提案を実施する。

まず始めに、2次元物体として海産物である一夜干しした“いりこ”を取り扱い、自動で外観検査し、魚類の識別をする装置を提案する。

本研究で取り扱う魚類は、体長5～10cmほどであるが、形状的に湾曲しているものもあり、検査対象として一様な形状とはいえない。そこで本研究では、これら数十匹を一括混合して装置の受け入れ部に投入し、絡み合ういりこを搬送しながら極力キズを最小限にとどめ、対象を撮像部で1個に分離できる手法として6台のベルトコンベアからなる独立駆動系を提案し、その有効性を実験的に示す。

次に、2次元物体の検査として、薄さ0.15mmの自動車のシートベルトに張り付ける品質保証を注記した“タグ”を採用する。

現在、様々な商品に貼付されているタグは、その製造の最終過程で脱字、汚れ、および文字のかすれなどの種々の不良が発生する場合がある。そのため、最終検査として複数名の作業員が目視によってタグの印刷面の検査を行っているのが現状である。しかしながら、目視検査は長時間の連続検査が必要な作業であり、人の疲労や感覚のバラツキにより検査

基準を一定に保つのは難しい。

本研究では、この最終目視検査の工程を自動化するため、タグの形状特性に適した搬送機構と画像処理を新たに提案し、その搬送性能と画像検査性能を実験的に示すものである。

一方、目視検査の自動化を実現するためには1枚毎のタグ表面をカメラによる撮像で画像を取得する必要がある。また、検査効率を上げるため無人で連続して処理を行う必要がある。

このためタグは数百枚重ねられた状態で本装置に装填される。この一括装填重されたタグを撮像部に導くため1枚毎に分離して搬送する機構が必要となる。さらに、判定後の処理として判定結果に応じて、良品と不良品に分離する機構も必要となる。

また、タグの印刷面にはインクの付着性を高めるためラバーコーティング処理が施されている。これによりタグには強いソリ(湾曲)が生じ、全体に湾曲するため、一般的な紙葉類と比較して取扱いが困難となる。

さらに、複数枚が堆積した状態から1枚だけを分離する場合、表面のラバーコーティングにより、タグ間に高い摩擦力が発生するため、1枚分離が困難であると予想される。

また、大気中の湿度によりタグ同士が軽度付着する現象もみられる。これにより2枚以上が付着して重送される危険性も予測され、装置の信頼性を上げるためには従来の水平方向の分離だけではなく、新規な機構が必要とされる。

そこで本研究ではタグ間の摩擦力や付着に対処するため、タグを垂直方向に吸引すると同時に、小さな半径で屈曲させ、確実に1枚だけを取り出し、搬送路へ導く機構を新たに考案する。これらの独自性によりタグの目視検査の自動化を実現させ、その搬送性能および汚れ検査性能の両方から本研究の有効性と実用性を示す。

最後に、3次元物体の検査対象の実施例として赤ピーマンなどの長楕円体状青果物を取扱い、搬送機構と検査手法を提案する。特に、いりこやタグと異なり、3次元物体の搬送においては厚さと方向を考慮する必要がある。

厚さがある場合は搬送途上のロール回転(転がり)が顕著となり一時的に1個にした場合でも前段の他の対象が次段のベルトコンベアに転がり入ることが2次元対象と比べて確率的に高くなると予想される。

それ故、厚さを考慮すべき対象を 2 次元用の搬送機構で対処することは不可能となる。

また、赤ピーマンは長楕円体状青果物であり、鏡面反射が発生する。したがって、画像処理の難易度が高い課題となる。

本研究で開発した長楕円体状青果物全面検査システムは分離搬送部、撮像部、および検査部により構成される。分離搬送部では、投入位置に投入された検査が複数台の V 字型ベルトコンベアおよびテグスからなるセンサ駆動の独立駆動系を用いることにより転がらずに長手方向に 1 個に分離され、撮像位置まで搬送される。撮像部では 6 台の Web カメラを用い、6 面同時撮像することにより、検査部で検査対象の大きさ、形状不良とキズの有無を判定する。

特に、この部分においてはビン状態(バラ積み状態)の部品を個々の形状や質量、重心、表面状態、配置方向などの特性を考慮し、搬送しながら一つに分離し、撮像ポイントで対象を 1 個にするという搬送機構の提案であり、またその全面検査手法の提案である。

本研究では、これらの提案の詳細と種々の実験結果を示し、検査対象毎の有効性と実用性を示す。

1.1 現状の外観検査の課題

日本の製造業の多くは、経済性および生産性向上を求め、生産拠点の多様化が進められてきた。しかしながら、その一方、一部製品の生産を国内に残し、生産技術力開発に特化した活動を進めている企業も少なくない。

この場合、国内生産は、試作、開発、高級機種中心の多品種少量生産となる。多品種少量生産では、機器の試験検査に多大の工数と検査技術者の高い能力が必要となり、この比率はさらに大きくなるものと予想される。

業界各企業では設計から製造工程の各段階で、新しい製法の導入および生産設備の高度化と製造技術の改善が進められているが、検査部門は以下のような理由で他工程に比べて対応が遅れている[1]。

- ①効率的な検査技術の開発がなされない。
- ②最新技術が導入できない。(採算、有益性の定量化が難しい)
- ③設計段階で検査容易化設計が考慮されていない。(検査は“なんとかなる”の誤解)
- ④検査技術、運用のノウハウが各企業内にとどまる。(交流が少ない)

ここで、検査部門の置かれた現状の課題を整理すれば、以下の3つが挙げられる。

- ①検査にかかる費用が高い。
- ②検査の結果としての品質保証が不十分である。
- ③人員が不足している。

上記にある中でも特に、検査に高い費用をかけているにもかかわらず検査の品質は不十分との認識を持つ企業が多い。また、検査人員の不足と捉えるより、解析技術者の不足と認識すべき場合がほとんどである。

検査対象の多様化に伴い、解析技術者に求められるレベルが高くなるため、十分な処置がなされていない現場も多いのが現状である。

1.2 解決されるべき課題とその期待される効果

現状の外観検査の課題として、形状が複雑で不定形である対象、温度や湿度の影響により表面の状態が不均一となる対象の検査を自動化するには解決すべき問題が多く、未だ、目視検査に頼っていることがこれまでに報告されている[1]。

これらに対処するためには大がかりな機構、あるいはロボット化された複雑な装置が必要なこともあり、工場スペースや設備の導入には相当なコストと開発期間が必要になることが問題となる。

省力化および効率化を主眼とした外観検査の自動化を構築するにあたり、検査対象である個々の部品をビン状態から対象を一つに分離し、検査する必要がある。

そこで、本研究では各種の検査対象を、ビン状態から一つに分離し、多段の搬送ベルト列の動作を駆使した知的搬送機構を開発し、簡易な装置として実現することを試みる。

また、検査対象が薄物である場合には吸引動作に屈曲動作を付加するなどの工夫により、分離搬送の性能向上を検討するものとする。

本研究では、搬送系の種々の工夫と先進の画像処理技術を有機的にリンクさせることにより、工業製品だけでなく、従来、外観検査の自動化が難しいと考えられてきた一次産業製品も含めて自動検査の可能性とその実現性を各種実験により示していく。

第2章 自動外観検査におけるこれまでの研究と成果

本章では自動外観検査における著者のこれまでの研究について述べる。一般に、人間が目視で対象の表面状態ならびに種類などを検査確認する場合にはその対象を手に取り一つにしてから詳細に検査している。

工場の更なる FA 化ならびに手作業の自動化を進めるにしても、単品の検査のためには個々の部品をビン状態から対象を一つに分離する必要がある。特に、対象の厚さを考慮しない場合と厚さを考慮しなければならない場合は、その分離技術は異なるものとなる。

そこで、著者がこれまでに研究開発してきた自動検査のための知的物流搬送機構の中から3例を示し、検査対象の特徴を考慮した独自の搬送機構の提案とその実証結果を示す。まず、対象の厚みを考慮(2次元物体)しない例として魚(いりこ)と印刷ラベル(タグ)を、次に、厚みを考慮(3次元物体)すべき例として凸状の野菜である赤ピーマンを対象とする。

2.1 2次元検査対象の実施例(いりこ)

ここでは検査対象として2次元とみなせるいりこを例にして、その特徴を考慮した搬送系と検査システムについて述べる。

いりこ(小魚を乾燥させた煮干)は数種類存在する。このいりこの選別のための作業は図2.1.1に示すように、水揚げされた小魚を一度釜揚げし、機械による大きさの選定を行った後、作業員による目視確認および手作業によって魚種が選別されている。しかし、選別作業には豊富な知識と経験が必要であり、かつ長時間の連続作業を伴う重労働である。更に、高齢化に伴う作業員の不足という問題を抱えている。

また、目視による判定基準には個人差や時間差によるばらつきが生じやすく、作業従事者からの聞き取り調査では、いりこ分類の平均識別精度は90%程度である。

以上の状況を改善するため、本研究では選別作業の自動化と選別基準の安定化を目的としたいりこ検査システムの開発を行う[2]-[4]。

その場合、Webカメラを用いて個々の魚を撮像し、画像処理とパターン認識を組み合わせることにより、いりこの自動選別を実現している。

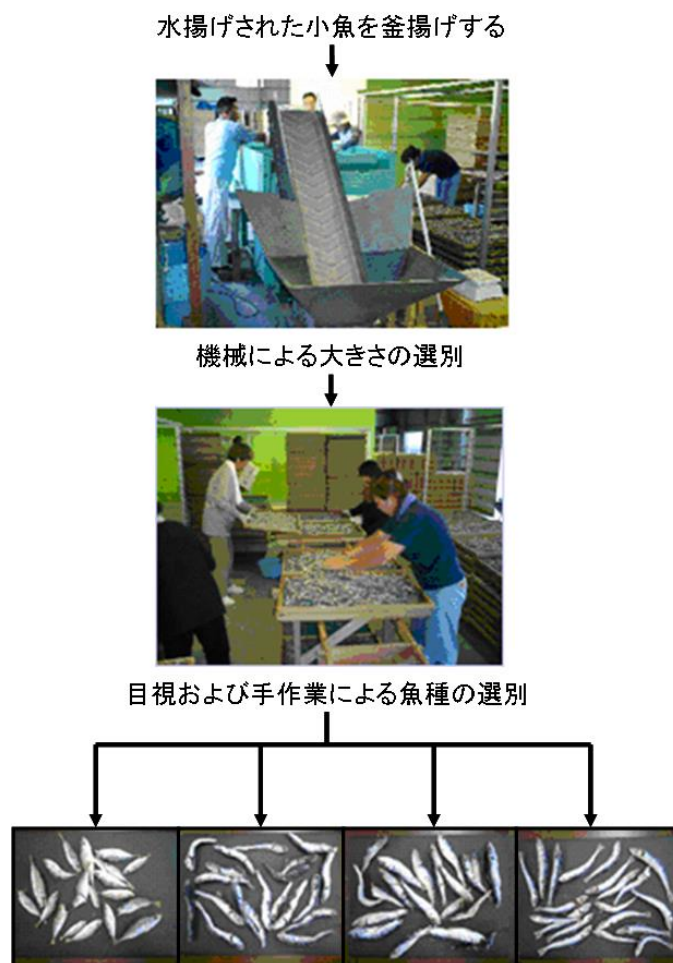


図 2.1.1 現在のいりこ選別作業

いりこ自動選別システムを実現するためには、大きく分けて搬送における機械工学的な課題、撮像における光学的な課題、及び識別における情報工学的な課題を解決する必要がある。しかしながら、それらの課題は複雑に関連しているため、統一的な視点から課題の解決を図る必要がある。

本研究においては、複数のいりこが絡み合う集団から自動選別する必要がある。しかし、ビン状態での検査及び選別は困難であるため、搬送部においてまずビン状態のいりこを1匹ずつに分離する必要がある。したがって、本研究ではセンサ駆動の独立駆動系を用いた分離搬送部を開発し、課題の解決を図っている。

1匹に分離されたいりこを Web カメラで撮像し、デジタル静止画像を得た後、魚種の識別を行う。これにより、個々のいりこに対する安定した検査識別と選別を可能にしている。

検査識別を実際のいりこに適用するためには、撮像位置を完全に回転対称かつ並進対称とすることは困難であり、それにより環境光及び検査対象の反射光の分布は回転不変とはならないという課題がある。特に、いりこの鏡面反射(テカリ)の割合が多い対象については、その影響が顕著である。また、更に検査対象であるいりこは自然物であり、同一魚種においても形状、大きさ、及び模様には個体差がある。したがって、本研究では曖昧な入力画像に対しても、ある程度正しい出力を期待できる階層型ニューラルネットワーク(NN)を用いて識別を行うことにより課題に対応する[5]-[11]。

2.1.1 基本原理

本研究では検査のため対象であるいりこを、損傷を最小限にとどめ、撮像部まで搬送する必要がある。

絡み合ういりこを搬送しながら撮像および検査のために1個に分離する手法として本研究では、6台のベルトコンベアからなる独立駆動系メカニズムとそれを有機的に稼働させるためのセンサ処理を提案する。さらに、撮像した画像からいりこのサイズや撮像画像における検査領域の指定等の閾値処理を用いて、いりこ1匹ごとに識別を行い、魚種の選別を行う。また、NNの入力値を作製するための特徴抽出法に Two-Dimensional Fast Fourier Transform(2DFFT)を用いている[3]-[5]。しかし、特徴抽出を行う際に回転に普遍的な特徴抽出能力が不十分である。そこで、本論文では問題点を解決するためにいりこ検査システムの改良を行い、システムの分離搬送能力を検証するとともに、2DFFTを用いた特徴抽出法の回転普遍性を検証する。

2.1.2 知的搬送システムの構成

本研究で開発したいりこ検査システムは、投入部、分離搬送部、撮像部、検査部、及び分岐部によって構成されている。実験筐体の外観を図 2.1.2 に示す。

ここで、図 2.1.2 の左の投入部にビン状態のいりこを入れて本システムを駆動することにより、分離搬送部により1匹に分離されたいりこが撮像部で撮像され、分岐部で魚種によって選別され、排出される。

その場合，画像を用いて魚種の識別を行っているが，ビン状態(図 2.1.3 参照)では正確に
いりこを識別し選別することは難しい。よって，先に述べたように，ビン状態のいりこを
個々に分離するため，センサ駆動の独立駆動系を用いた分離搬送部を開発している。

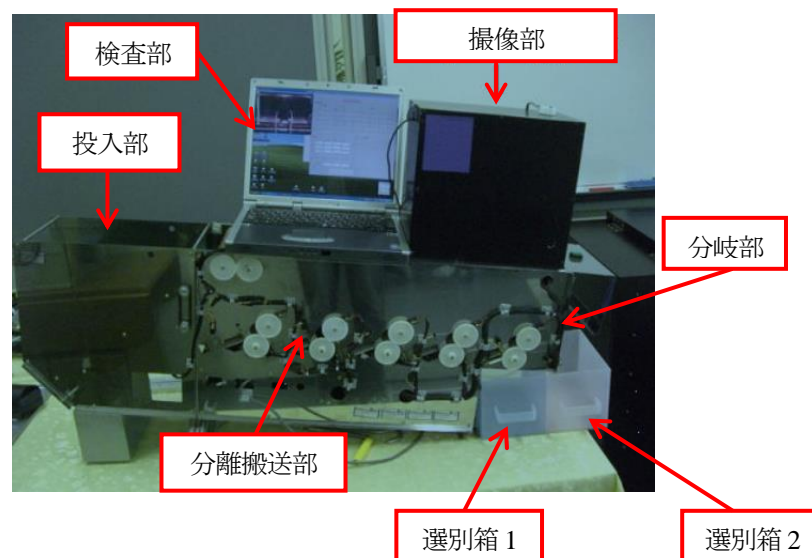


図 2.1.2 いりこ検査システム実験筐体



図 2.1.3 ビン状態のいりこ

投入部に投入された多数のビン状態のいりこは投入部の栈付きベルトコンベアにより数
匹単位で分離搬送部へと搬送される。分離搬送部では撮像位置までに 1 匹に分離するため
近赤外線センサ駆動による独立駆動系を用いている。

撮像部では Web カメラを用いていりこを撮像する。また，画像処理により撮像した画像
からいりこの識別を行う。撮像したいりこの画像から入力値を作成し NN に入力する。

最後に NN からの出力を閾値判定し，判定結果に従い選別箱 1，あるいは選別箱 2 に振り分ける。検査システムの動作フローを図 2.1.4 に示す。

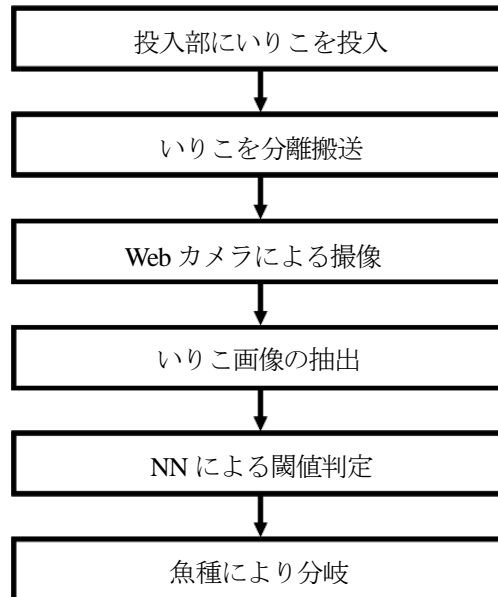
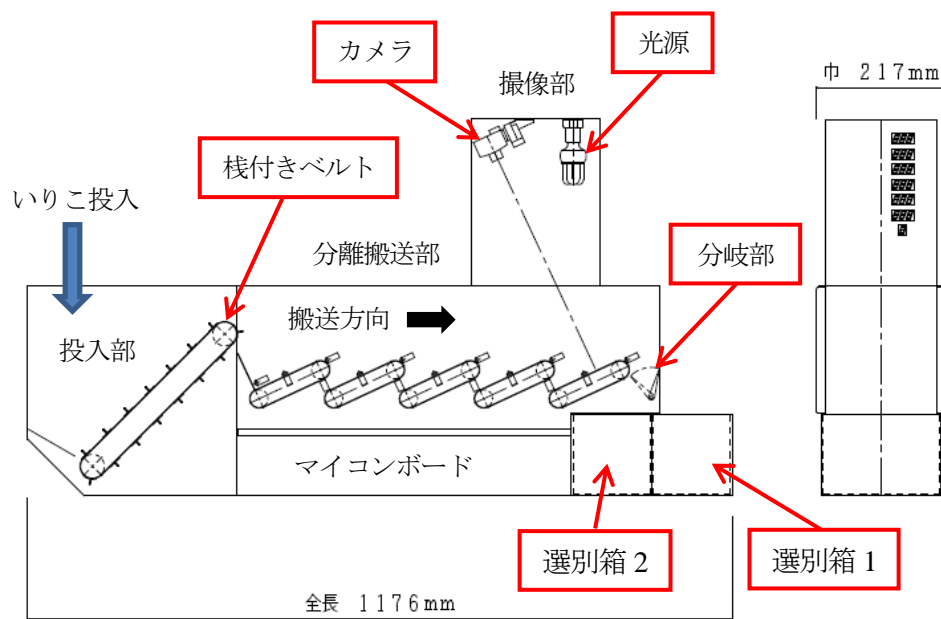


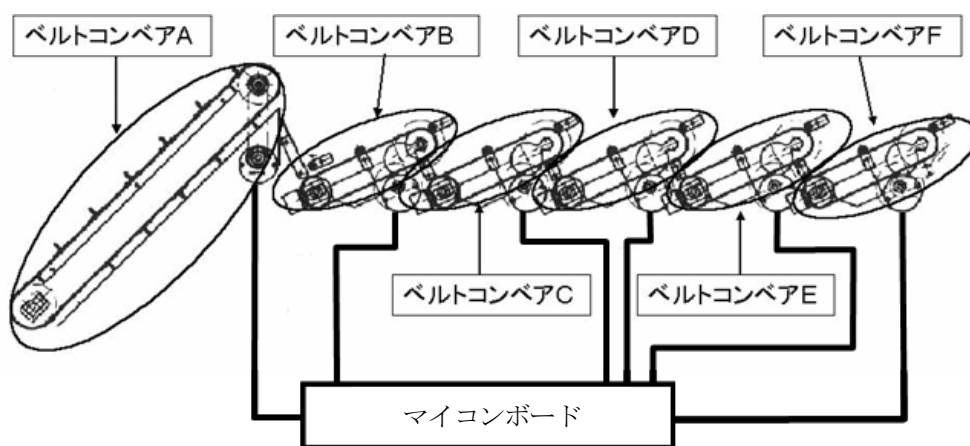
図 2.1.4 検査システムの動作フロー

2.1.2.1 分離搬送部

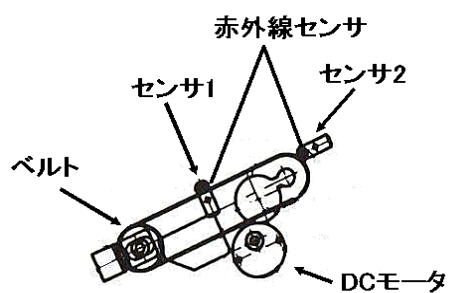
分離搬送部のベルトコンベア構成を独立搬送系ベルトコンベア構成として図 2.1.5 に示す。図 2.1.5 (a)に示すように 6 台のセンサ駆動のベルトコンベア及び 1 台のマイコンボード(H8CPU)からなる独立駆動系により構成される。ビン状態のいりこを 1 匹に分離するため，各ベルトコンベアを前後のベルトコンベアと連動させて正回転，停止，逆回転させることで，投入部であるベルトコンベア A に投入したビン状態のいりこを，撮像部であるベルトコンベア F までに分離搬送を行う。この動作は人の物流搬送の知識に起因しており，人が縦に数人並んで前から後に物を手渡しで搬送するバケツリレーの動作が今回の搬送機構の知識となっている。図 2.1.5 (b) に独立駆動系の抜粋を示す。図 2.1.5 (c) に独立駆動系 1 台の詳細図を示す。各ベルトコンベアは，ベルト，DC モータおよび 2 個の赤外線センサにより構成されている。



(a)独立駆動系全体図



(b)独立駆動系の抜粋図



(c)独立駆動系ベルトコンベア詳細図

図 2.1.5 独立搬送系ベルトコンベア構成

図 2.1.5 (b)(c) により独立駆動系の動作を以下に示す。まず、ベルトコンベア B のセンサ 2 が遮光反応するまで、ベルトコンベア B の正回転を行い、ベルトコンベア C へいりこの搬送を行う。次に、ベルトコンベア C のセンサ 2 が遮光反応するまで、ベルトコンベア C の正回転を行い、ベルトコンベア D へいりこの搬送を行う。いりこをベルトコンベア D へ搬送すると、ベルトコンベア C の逆回転を行い、センサ 1 の遮光反応によりいりこがベルトコンベア C に存在するか確認する。センサ 1 が遮光している場合、ベルトコンベア C にいりこが存在すると認識し、センサ 2 が遮光反応するまで、ベルトコンベア C の正回転を行い、いりこの搬送を行う。センサ 1 が遮光反応しなかった場合、ベルトコンベア C にいりこが存在しないと認識し、ベルトコンベア C を停止し、ベルトコンベア B の正回転を行い、ベルトコンベア C へいりこの搬送を行う。以上の動作を 6 台のベルトコンベアが独立して繰り返し行うことにより、ビン状態のいりこを高い確率で撮像部までに搬送途上で 1 匹に分離することが可能となる。

図 2.1.6 にベルトコンベア C を基準とした独立駆動系の動作フローを示す。

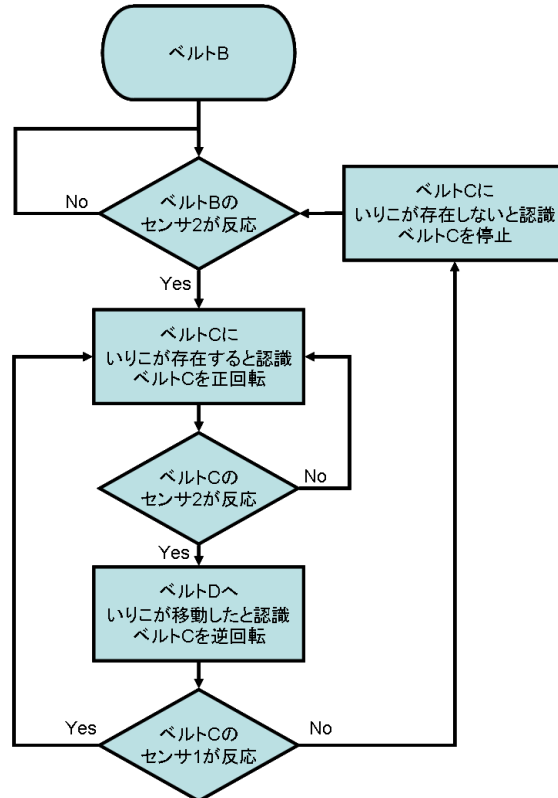


図 2.1.6 ベルトコンベア C を基準とした独立駆動系の動作フロー

ここで、分離搬送部に設けられたガイドについて記述する。これまでの実験により、独立駆動系のみによる分離搬送では分離搬送能力は不十分であることが判明している。このことから図 2.1.7 (a)(b)に示す 2 種類のガイドを搬送部に図 2.1.8 のように設置し、分離搬送を行う。

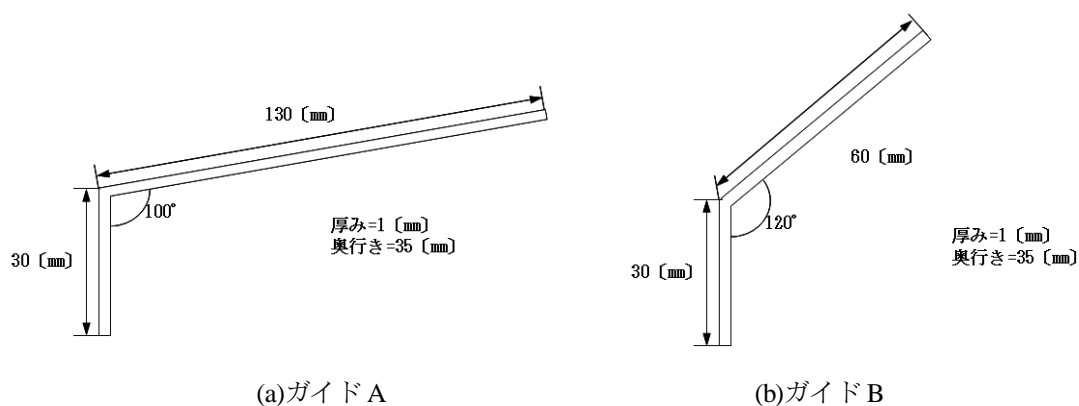


図 2.1.7 ガイド形状

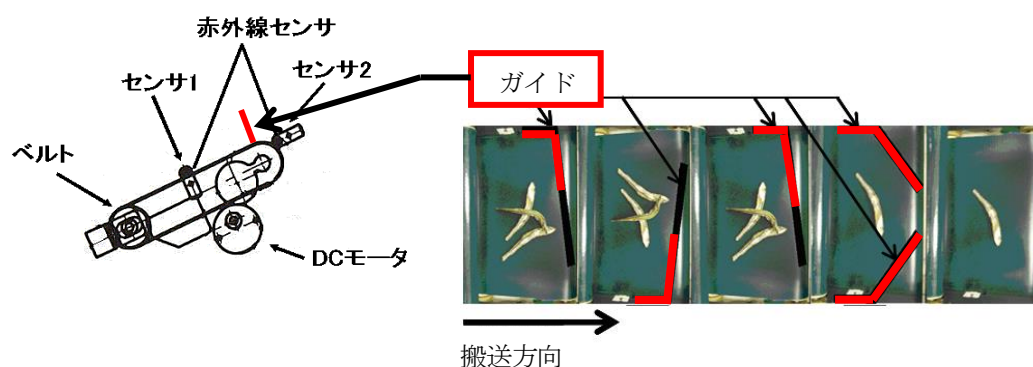


図 2.1.8 ガイド位置

しかしながら、本ガイドの設置により分離搬送を行う際の弊害として、図 2.1.9 (a)(b)に示すつまりおよびロール回転生じることも確認される[3][4]。このことから、分離搬送能力向上のため、ベルトコンベア B、ベルトコンベア C およびベルトコンベア D に設置しているガイドの設置位置の変更およびベルトコンベア E に設置しているガイドの呼び込み角度を 30° から 45° へ改良を行うことによりつまりの抑制を行う。これは実験により試行錯誤的に決定された値である。ベルトコンベア E に設置する呼び込み角度を 45° に改良した

ガイドのテクニカルイラストレーションを図 2.1.10 に示し、これを図 2.2.11 に示すように設置する。

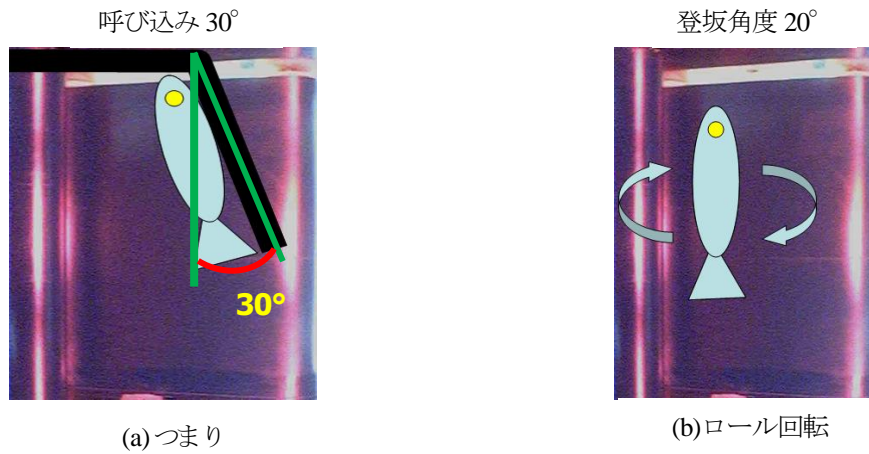


図 2.1.9 つまりおよびロール回転イメージ図

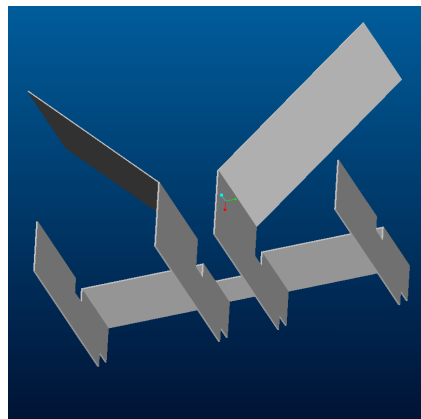


図 2.1.10 改良ガイドテクニカルイラストレーション

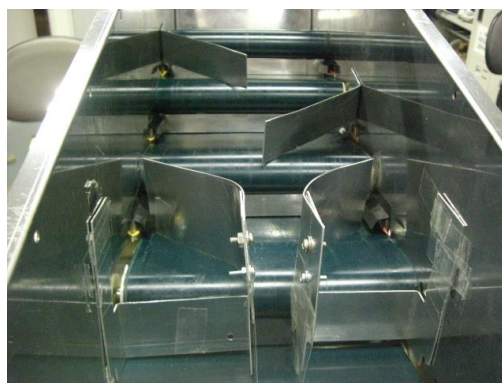


図 2.1.11 改良ガイドの設置状態

また、これまでの研究により筐体角度を変更することによりロール回転の抑制が可能であることが判明している[3]。このことから、図 2.1.12 に示すように実験筐体の設置角度を 10° 傾ける。これにより、登坂角度を 20° から 10° へと緩和することができるためロール回転の抑制が可能となる。この値は、格段のベルトコンベアの動作速度が全段均一に 200mm/秒 であることを考慮し、ロール回転の発生確率が高いと考えられる直線形状のいりこを搬送実験のサンプルとして実験を実施し、試行錯誤的に決定した値である。

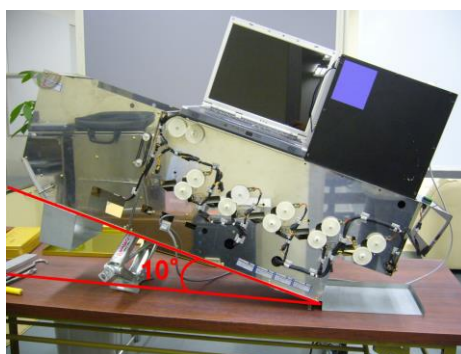


図 2.1.12 実験筐体角度変更

こうした工夫により、いりこの姿勢を搬送方向に対し一定に保つことが可能となり、分離能力が高まり、80%以上の確率でいりこ一匹に分離可能なことを確認している。

また、複数匹の異なる種類のいりこがフレーム内で一度に撮像された場合には、その種類は特定できるが、機械的に分離不可能であるので、これらを再度投入口に還流し再選別を実施する機構も今後検討できる。

2.1.2.2 分岐部

検査部で種類の判定がなされたいりこは、判定結果に従い二つの箱に分類する。これらが混合しないように分離する機構について以下に示す。

予め選別対象として指定した種類のいりこの判定結果が確定した場合は図 2.1.13(a)に示すように選別箱 1 へ、検査部で対象外と判断されたいりこは図 2.1.13(b)に示すように分岐板を上方に 60° 開くことにより選別箱 2 へと導き、収納する。また、検知部で 2 匹以上であると判定された場合で全てが予め選別対象と指定した種類である場合は分岐板を開かず直進させることにより選別箱 1 へ、それ以外の場合は選別箱 2 へと導く。

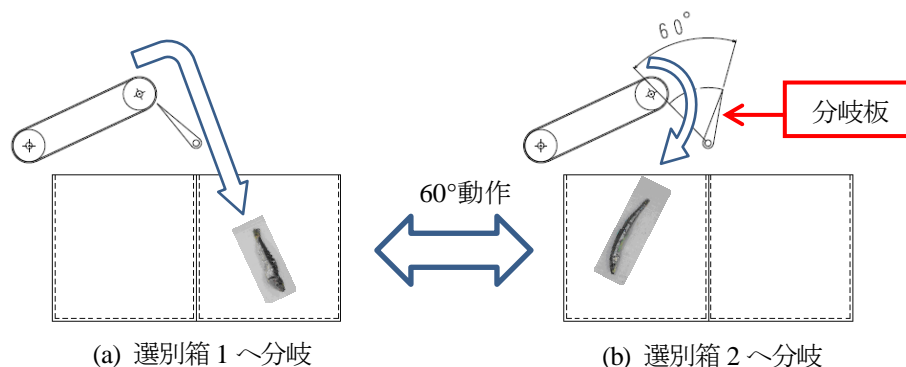


図 2.1.13 分岐構造

2.1.3 知的検査システムの構成

2.1.3.1 撮像部

ここでは、本検査システムの撮像部について記述する。撮像部では Web カメラを用いて 1 匹に分離されたいりこを撮像する。本研究では、図 2.1.14 に示す解像度 640×480 pixel, 量子化ビット 24 bit カラーの CCD カメラ(ロジクール社製 QV-700NWHS)を採用する。その際、図 2.1.1 に示すとおり、黒いボックスで覆うことにより外来光を遮断する。さらに安定した撮像環境の実現のため光源には、図 2.1.15 に示す電球型蛍光灯(日立社製 EFD9EN-E17)を用い、搬送ベルトの補色である赤色の透過フィルムで被い使用する赤色蛍光灯を用いる。また、撮像時には画像にブレが生じないようにベルトを 1 秒間停止し、いりこが静止した状態で画像を取得する。



図 2.1.14 Web カメラ



図 2.1.15 電球型蛍

撮像した画像からいりこの抽出処理および識別処理を行い、魚種の選別をおこなう。いりこは背景となるベルトコンベアより光の反射率が高いという特徴を有しているため、Web カメラにより撮像したカラー画像の各画素から光の3原色である RGB 値を取得し、その後、光源として赤色光を用いていることから、R 値のみを用いてグレースケール化を行う。

次に、撮像環境においてグレースケール化を行った画像に対して予め実験により適切に設定された閾値を用いて2値化を行い、いりこの領域の候補を特定する。その後、膨張収縮処理を組み合わせることで背景ノイズを除去した後、ラベリング処理により各連続領域の座標および面積を求める[12]。

最後に、いりこの最小サイズや撮像画像における検査領域の指定等の閾値処理を用いていりこを1匹ずつ抽出する。

その後、1匹に分離されたいりこ画像に対して、いりこの魚種を特定し、選別結果に応じて分岐排出を行うことにより自動選別を行う。

検査対象を撮像する際に、図 2.1.16 に示すように、撮像した画像には背景であるベルトコンベアおよび実験筐体内壁が写りこんでいる。そのため、検査対象であるいりこを切り出すため抽出処理を行う必要がある[7][8]。

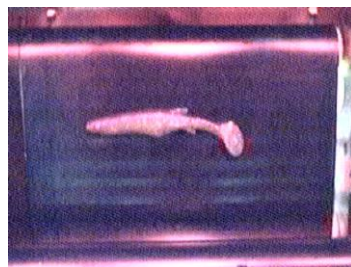


図 2.1.16 撮像画像

抽出処理の手順を以下に示す。まず、Web カメラにより撮像したカラー画像の各画素から光の3原色である RGB 値を取得する。その後、式(2.1.1)に示すように各の RGB 値に 0.3 乗算した値を加算し、グレースケール化を行う。次に、グレースケール化を行った画像に対して閾値を用いて2値化を行う。2値化を行った画像から白色部(0xFF)をラベリングし、閾値を用いて検査対象を切り出す。次に、切り出した画像の中心位置を求め、グレースケ

ール画像から検査対象を1匹ずつ抽出する。図2.1.17に抽出処理フローを示す。

$$S_{(x,y)} = 0.3 \times R_{(x,y)} + 0.3 \times G_{(x,y)} + 0.3 \times B_{(x,y)} \quad \text{式(2.1.1)}$$

S = 各画素におけるグレースケールの画素値

R = 各画素における赤の画素値

G = 各画素における緑の画素値

B = 各画素における青の画素値

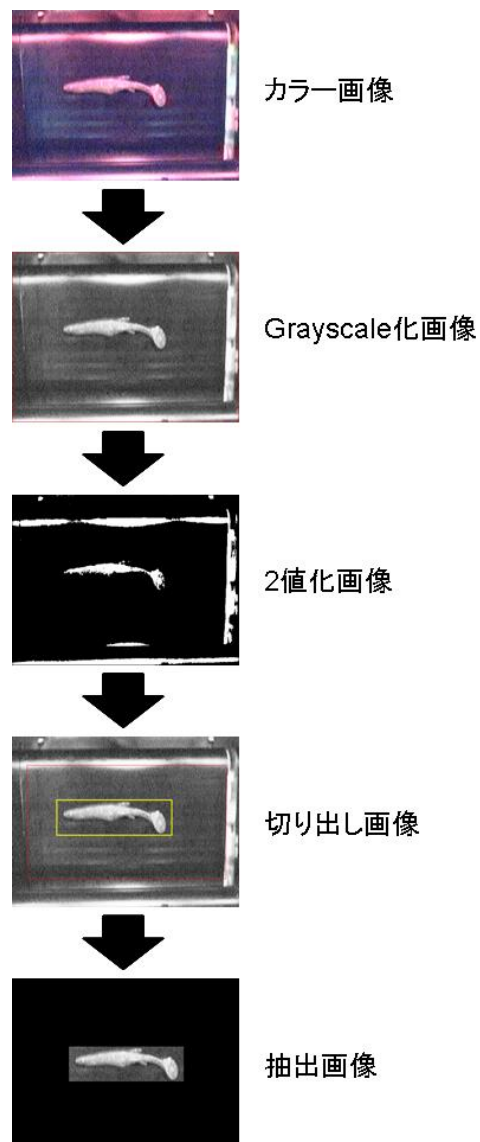


図 2.1.17 抽出処理フロー

2.1.3.2 検査部

ここでは，本検査システムの検査部について記述する。魚種の識別のため非線形識別が可能な最小構造である3層構造の階層型NNを用いる。柔軟な識別が可能であるNNを用いることにより，同一魚種間においても形状および模様による個体差のあるいりこを，正確に選別することが可能であると考えられる。図2.1.18にNNの構成を示す。

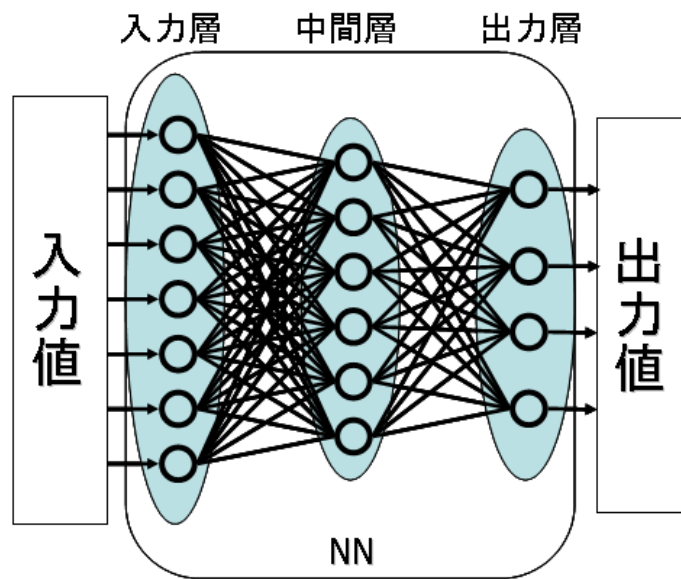
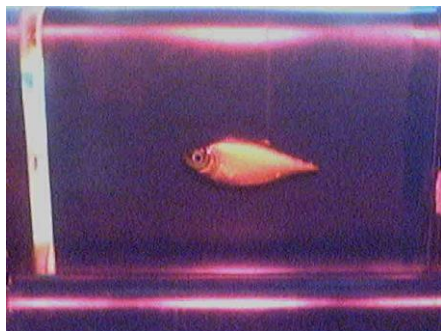


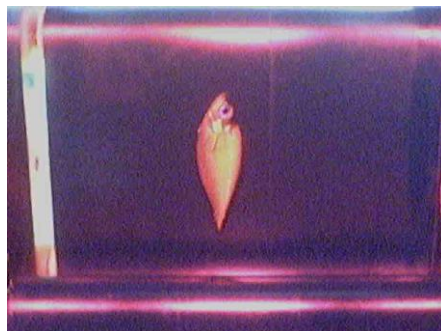
図 2.1.18 NN の構成

撮像部で撮像されるいりこは図2.1.19に示すように常に一定の角度で撮像されるとは限らない。そのため，いりこの回転に普遍な特徴抽出法が必要となる。このことから，いりこ検査システムでは，特徴抽出法として2DFFTを用いる[9]。抽出処理されたいりこ画像に対して2DFFTを用いて周波数解析処理を行い，周波数帯ごとのパワースペクトルを算出する。これにより，異魚種のいりこの大きさ，形状および色相の変化を特徴とし，画像の回転に対して普遍である特徴抽出が可能であると考えられる。

式(2.1.2)に2DFFTの式を示す。また，式(2.1.3)にパワースペクトルの算出式を示す。



(a)回転例 1



(b)回転例 2

図 2.1.19 撮像時の回転例

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-2\pi i \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad \text{式(2.1.2)}$$

$$u = 0, \dots, M-1; v = 0, \dots, N-1$$

M: 実数

N: 虚数

$$P(x, y) = \sqrt{H(x, y)^2 + (H(x, y)i)^2} \quad \text{式(2.1.3)}$$

H は 2DFFT の
解の配列を示す

ここで、特徴抽出法の手順を以下に示す。抽出したいりこ画像から閾値を用いて背景を除去するため、黒(0x00)で塗りつぶす。その後 2DFFT による周波数解析処理を行い、抽出したいりこ画像を周波数領域に変換する。

次に、周波数領域に変換した画像をメッシュ状に分割する。さらに、同周波数帯を加算平均し、パワースペクトルを算出する。最後に NN の入力値に適した値にするためにパワースペクトルの最大値を 1 として 0~1 の実数値に正規化を行う。以上の処理により作製した入力値を用いて、NN の学習および選別を行う。図 2.1.20 に特徴抽出法のフローを示す。

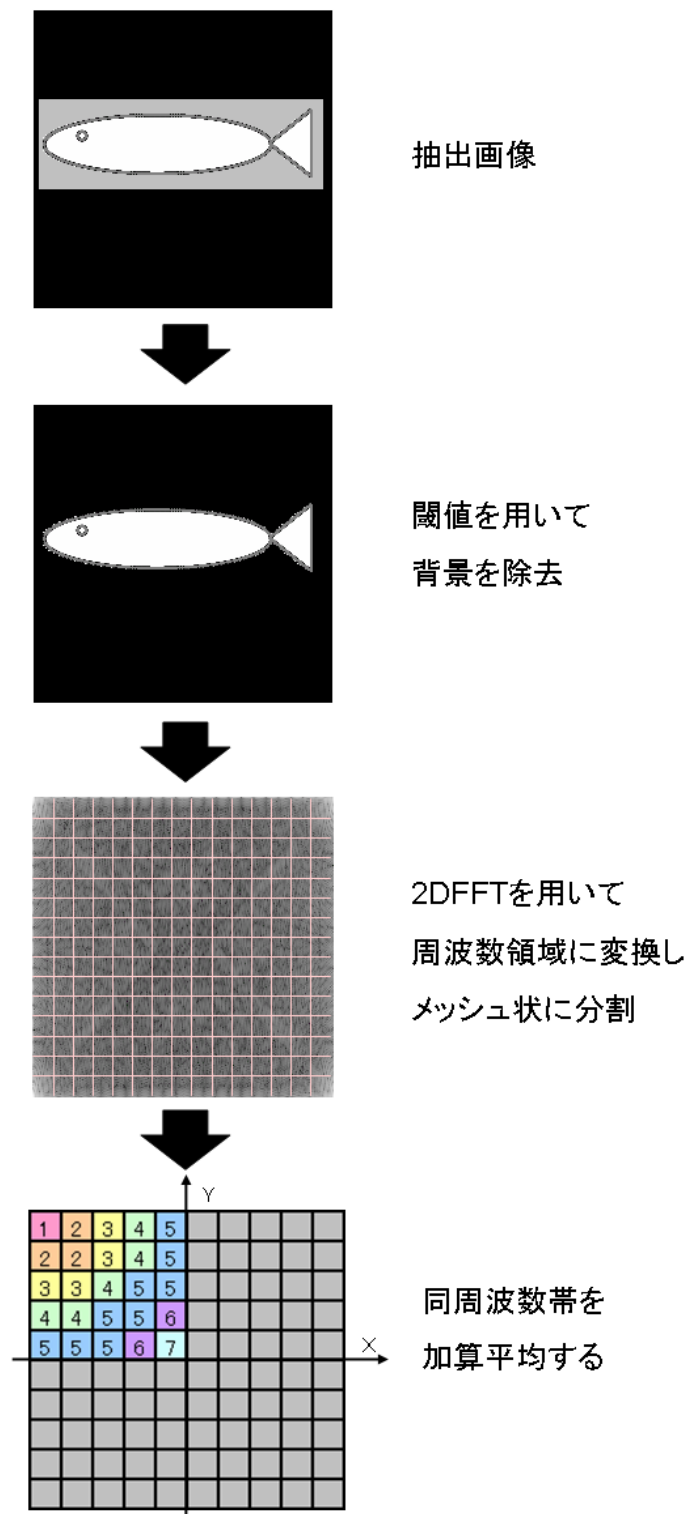


図 2.1.20 特徴抽出法フロー

NN の学習には式(2.1.4)に示す Backpropagation 法を用いて学習を行う。学習に用いるシステムの Graphic User Interface(GUI)を図 2.1.21 に示す。図 2.1.21 に示す①には検査する魚種のパターン数および学習に用いる画像の個数を入力する。②には最終誤差判定値，現在の出力値および教師信号の誤差，学習回数およびそれらをグラフ化したものを表示する。

$$\Delta W_{jk}(t) = -\eta \delta_k O_j + \alpha \Delta W_{jk}(t-1) + \beta \Delta W_{jk}(t-2) \quad \text{式(2.1.4)}$$

学習定数 $\eta = 0.05$

慣性定数 $\alpha = 0.95$

振動定数 $\beta = -0.1$

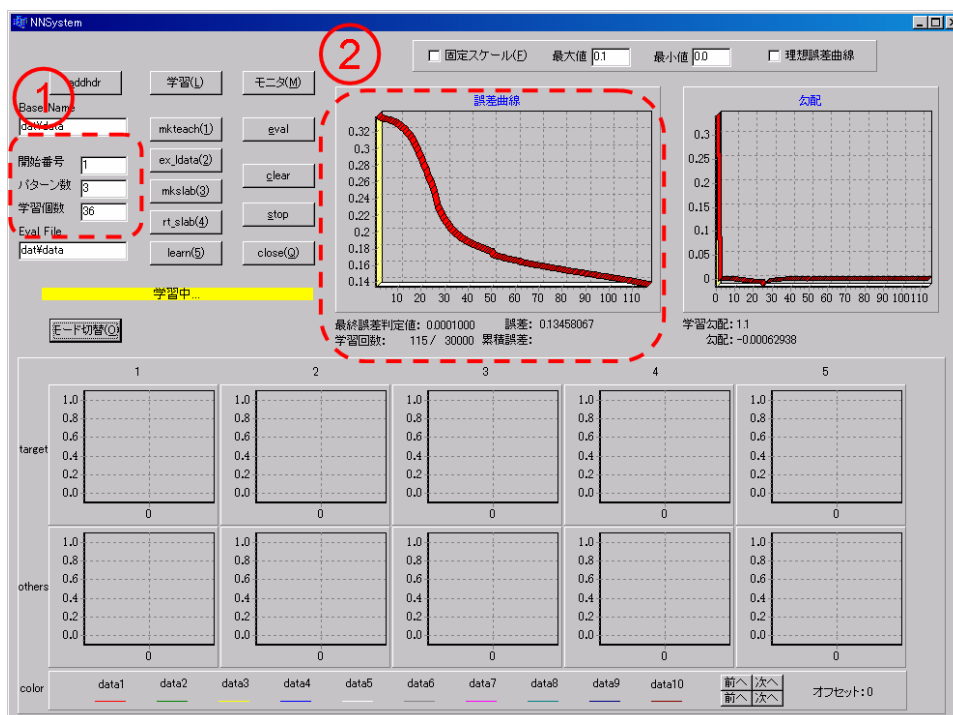


図 2.1.21 学習用 GUI

次に，いりこ検査システムの GUI を図 2.1.22 に示す。図 2.1.22 に示す①には，撮像された検査対象画像のラベリング結果を表示する。②には，検査対象を切り出す際に用いる画像の中心座標および切り出し範囲を表示する。複数の検査対象が抽出された場合，複数分の表示を行う。③には，NN の出力値を表示する。最大出力値を緑で表示し，それを検査結果とする。複数の検査対象が抽出された場合，複数分の表示を行う。④には，検査結果の集計を表示する。

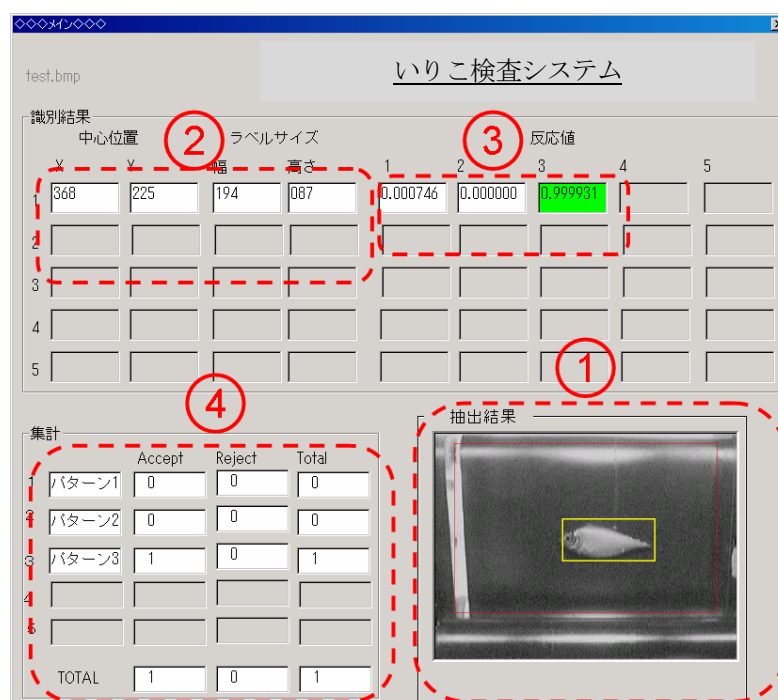


図 2.1.22 いりこ検査システム GUI

ここで、いりこ検査システムにおける検査部の改良について記述する。いりこ検査システムは、抽出した画像を 2DFFT により周波数領域に変換する[9]。2DFFT を用いて画像を変換することにより画像の 4 隅を中心とした扇状の同周波数帯を持つ原点を中心とした点対称の周波数領域画像が得られる。このことから、図 2.1.23 に示すように画像の中心を原点とした X-Y 座標における第 2 象限のみの同周波数帯を加算平均し、入力値を作製している[3]-[5]。しかし、図 2.1.24 に示すように第 2 象限のみ同周波数帯を加算平均した場合、周波数成分の一部しか特徴抽出ができていないため、画像の回転による主成分の特徴を正確に抽出することができない。このことから、画像の回転に対して普遍な特徴抽出が不可能であることがわかる。

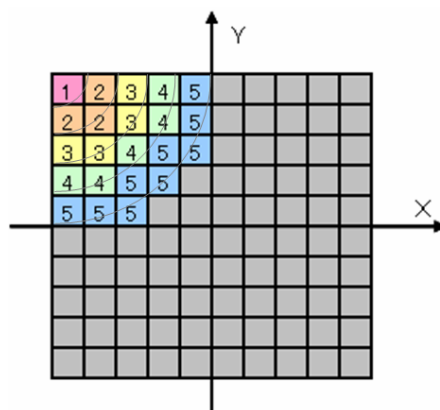
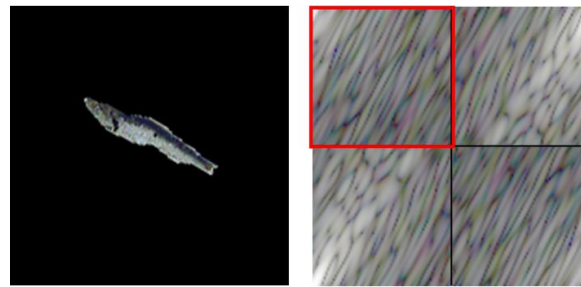
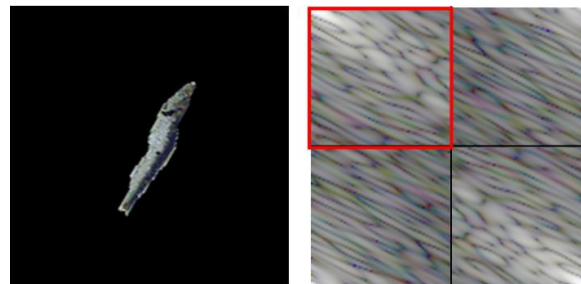


図 2.1.23 現在の同周波数帯加算平均法



(a) 回転角度 0°



(b) 回転角度 90°

図 2.1.24 回転を加えたいりこ画像および周波数領域変換画像

このような問題点を解決するために特徴抽出法の改良を行う。現在同周波数帯の加算平均を行っている第2象限に、隣接する第3象限を加えて、図 2.1.25 に示すように加算平均を行う。このように、同周波数帯を加算平均することにより、検査対象が回転して撮像された画像に対して普遍な特徴抽出が可能であると考えられる。

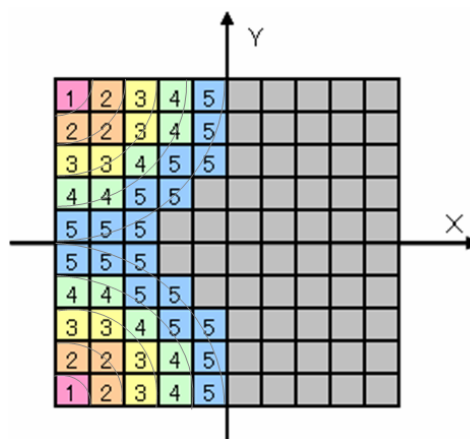


図 2.1.25 改良後の同周波数帯加算平均法

2.1.4 実験

搬送実験として分離搬送部での分離能力を検証するための実験を実施する。はじめに独立搬送系の基本的な性能を客観的に示すため人工成型物である“ルアー”を検査対象として実験を実施する。

次に、本検査システムの分離搬送部が本物の魚類に対して有効であるかを確認するため、魚類(いりこ)を対象として実験を実施する。これはルアーに比べ、弾性および粘り、あるいは形状も不定形であるなど注視すべき項目が多数あると予想される。

2.1.4.1 搬送実験

ここではルアーを検査対象とし、2.1.2.1 章で記述した分離搬送部において改良を行ったガイドおよび筐体角度 10°変更によるロール回転およびつまりの抑制に対する確認実験と分離能力実験を実施する。検査対象として、図 2.1.26 に示すルアーを 50 個用いる。



図 2.1.26 ルアー

検査対象であるルアーをビン状態のまま、50 個を投入部へ投入し、分離搬送を行う。検査対象が撮像部までに 1 個以上搬送された状態を 1 回とし、50 回分離搬送を行う。このとき、撮像部で撮像された画像から検査対象が 1 個である場合、分離搬送成功とし、2 個以上である場合、分離搬送失敗とする。図 2.1.27 に分離搬送成功例および分離搬送失敗例を示す。また、ロール回転およびつまりが発生した場合、ロール回転およびつまりとする。



(a)分離搬送成功例



(b)分離搬送失敗例

図 2.1.27 ルアーを用いた分離搬送実験判定例

次に，図 2.1.28 に示すいりこを検査対象として実験を実施する。実験条件は前述したルアーを用いた分離搬送能力確認実験と同様の条件で実施する。図 2.1.29 に分離搬送成功例および分離搬送失敗例を示す。

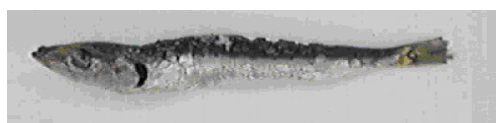


図 2.1.28 いりこ



(a)分離搬送成功例



(b)分離搬送失敗例

図 2.1.29 いりこを用いた分離搬送実験判定例

2.1.4.2 搬送実験結果

ルアーを用いた搬送実験の結果を表 2.1.1 に示す。表 2.1.1 より分離搬送成功率は 100% という結果が得られた。また，ロール回転およびつまりは発生しなかった。

表 2.1.1 ルアーを用いた分離搬送能力確認実験結果

分離搬送成功率 (分離搬送成功数/評価母数)	100% (50/50)
分離搬送失敗率 (分離搬送失敗数/評価母数)	0% (0/50)
ロール回転率 (ロール回転発生数/評価母数)	0% (0/50)
つまり率 (つまり発生数/評価母数)	0% (0/50)

いりこを用いた搬送実験の結果を表 2.1.2 に示す。表 2.1.2 より分離搬送成功率は 88%という結果が得られた。また、分離搬送失敗率は 10%、つまり率は 2%という結果が得られた。ロール回転は発生しなかった。

表 2.1.2 いりこを用いた分離搬送能力確認実験結果

分離搬送成功率 (分離搬送成功数/評価母数)	88% (44/50)
分離搬送失敗率 (分離搬送失敗数/評価母数)	10% (5/50)
ロール回転率 (ロール回転発生数/評価母数)	0% (0/50)
つまり率 (つまり発生数/評価母数)	2% (1/50)

実験結果より、ルアーに対して改良したガイドを設置することによって、高い分離搬送能力を得ることが判明した。しかし、本システムの選別目的である本物の魚類に関してはルアーに比べ、分離搬送成功率は 88%という結果であった。また、いまだつまりが 2%発生していることも確認された。つまりの原因として剛体であるルアーに比べ、釜揚げされた魚類には弾性および粘り、さらに外形形状が一定でないためであると考えられる。このことから、さらにガイドの改良を行い、つまりを抑制しながら、魚類の分離搬送に最適な搬送構造を構築していく必要がある。

2.1.4.3 識別実験

ここでは識別部の特徴抽出能力の確認実験を実施する。

実験には図2.1.30に示す3種類の本物の魚類を用いる。画像は実験筐体を用いて撮像し、本検査システムの回転普遍性を検証するものとする。回転を加える際には図2.1.31に示す回転台を用いる。魚類1に回転を加えた画像例を図2.1.32に示す。

また、表2.1.3に選別に使用するNNの構成を示す。



表 2.1.30 魚類を用いた回転普遍性能確認実験



図 2.1.31 回転台

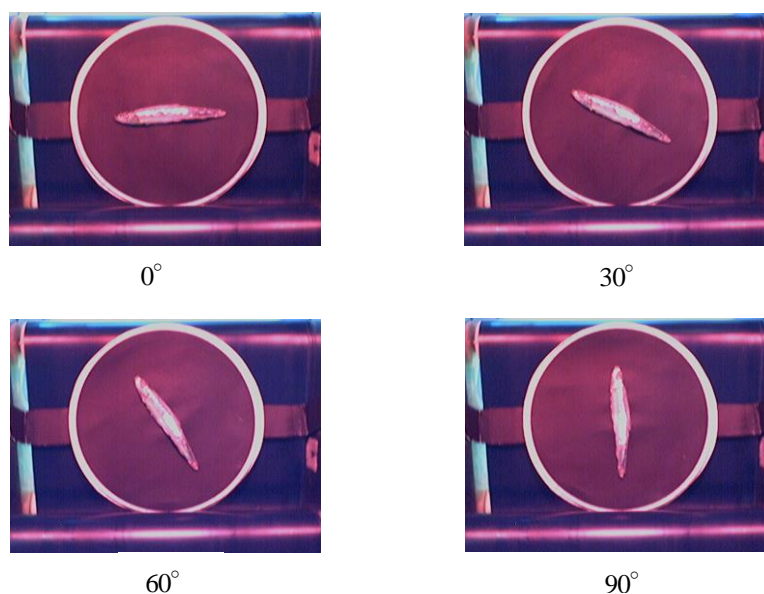


表 2.1.32 魚類1 画像回転例

表 2.1.3 魚類を用いた回転普遍性能確認実験に用いる NN の構成

入力細胞数	中間細胞数	出力細胞数	最大学習数	最終誤差判定値
512	30	3	30000	0.0001

各検査対象に対しては 5° ごとに回転を加えた画像を 72 枚($360^{\circ} \div 5^{\circ} = 72$)を用いて、表 2.1.4 に示す 3 種類の学習データで NN の学習を実施する。表内の“ 30° 学習”は模様 1 種類につき 30° ごとに回転を加えた画像を 12 枚学習データとすることを示す。次に学習に使用しない画像 60 枚を未学習画像として選別を行う。同様に“ 15° 学習”は模様 1 種類につき 15° ごとに回転を加えた画像を 24 枚学習データとすることを示す。また、学習に使用しない画像 48 枚を未学習画像として選別を行う。最後に“ 10° 学習”は模様 1 種類につき 10° ごとに回転を加えた画像を 36 枚学習データとすることを示す。また、学習に使用しない画像 36 枚を未学習画像として選別を行う。

表 2.1.4 実験に用いる画像枚数

	30° 学習	15° 学習	10° 学習
学習画像数	12 枚	24 枚	36 枚
未学習評価画像数	60 枚	48 枚	36 枚
合計	72 枚	72 枚	72 枚

2.1.4.4 識別実験結果

回転普遍性能確認実験の結果を表 2.1.10 および表 2.1.11 に示す。表 2.1.10 および表 2.1.11 より、学習済み選別率において全て 100%という結果が得られた。また、未学習選別率において 30° 学習は平均 98.9%、 15° 学習および 10° 学習は平均 100%という結果が得られた。

表 2.1.10 学習済み画像に対する魚類を用いた回転普遍性能確認実験結果

	30° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)	15° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)	10° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)
魚類 1	100%(12/12)	100%(24/24)	100%(36/36)
魚類 2	100%(12/12)	100%(24/24)	100%(36/36)
魚類 3	100%(12/12)	100%(24/24)	100%(36/36)
平均	100%(36/36)	100%(72/72)	100%(108/108)

表 2.1.11 未学習画像に対する魚類を用いた回転普遍性能確認実験結果

	30° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)	15° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)	10° 学習 選別成功率 (選別成功数/評価母数)
魚類 1	98.3%(59/60)	100%(48/48)	100%(36/36)
魚類 2	98.3%(59/60)	100%(48/48)	100%(36/36)
魚類 3	100%(60/60)	100%(48/48)	100%(36/36)
平均	98.9%(178/180)	100%(144/144)	100%(108/108)

実験結果より、学習済み選別率が 100%であることから学習が正常に行われていることが判明した。また、未学習選別率が 30° 学習においては 98.9%であることが判明した。選別失敗の原因として現在用いている光源による検査対象の影のでき方に問題があると考えられる。このことから、光源を変更することにより、光の当たり方による影を無くし、より正確な特徴抽出を行うことが可能であると考えられる。15° 学習および 10° 学習においては 100%と高い選別率を得ることができた。このことから、本物の魚類においても回転に対して普遍である特徴抽出が行えていることが判明した。

2.1.5 まとめ

目視検査の自動化を前提とした検査装置の実現として、2次元対象個別分離型独立搬送系から、その有効性を実験的に示した。検査対象として2次元とみなせるいりこを例にして、その特徴を考慮した搬送系と検査システムについて述べた。

独立搬送部においては、まずビン状態のいりこを一匹ずつに分離する必要があるため、6段の独立駆動ベルトを用いて分離性能を検証した。

搬送部および選別部の問題点を記述し、その問題点を解決するためにいりこ検査システムの改良について記述した。また、改良を行ったいりこ検査システムを用いて、システムの分離搬送能力を検証するとともに、特徴抽出法の回転普遍性を検証し、今後の課題を記述した。

分離搬送部の改良により、ルアーの分離搬送成功率は100%という結果が得られた。また、本物の魚類の分離搬送成功率は88%という結果が得られた。しかし、いまだ2%つまりが発生していた。つまりの原因として剛体であるルアーに比べ、釜揚げされた魚類には弾性および粘り、および形状にバラツキがあるためだと考えられる。このことからガイドの再設計を行い、つまりの抑制を行いながら、いりこの分離搬送に最適なガイドの改良を行う必要がある。また、ガイドの設置により検査対象が一定の範囲内に搬送されていることが確認された。このことから、現在用いているWebカメラの変更および撮像距離の短縮により、より多くの特徴を持った画像が撮像でき、選別能力が向上するのではないかと考えられる。

本装置の検査対象における適応範囲としては、体長30mmから150mmの一夜干しした魚類、あるいは登坂角度 10° のベルトコンベア上で留まることが可能な薄型直方体形状のものであれば検査対象として普遍的に適応可能と考えられる。

また、撮像部の改良後、魚類を用いた回転普遍性能確認実験を実施したことにより、未学習選別率が 30° 学習においては98.9%であることが判明した。選別失敗の原因として現在用いている光源による検査対象の影のつき方に問題があると考えられる。このことから、光源を変更することにより、光の当たり方による影を無くし、より正確な特徴抽出を行うことが可能であると考えられる。また、 15° 学習および 10° 学習においては100%と高い

識別率を得ることができた。今後は、Web カメラの変更、撮像距離の短縮および光源の変更によるいりこ検査システムの改良を行う。また、同一種類の魚類を複数匹用いて同種の魚種間における大きさおよび模様に対する選別能力の検証を行う。

2.2 2次元検査対象の実施例(タグ)

ここでは、2.1 に続いて2次元検査対象の実施例の二つ目として形状的に厚さ方向に薄い対象であるタグを示す。特に、薄物であるタグは堆積状態から1枚に分離するには種々の課題を解決する必要がある。以下にその詳細を述べる。

2.2.1 基本原理

現在、様々な商品に貼付されているタグは、その製造の最終過程で脱字、ヨゴレ、および文字のかすれなどの種々の不良が発生する場合がある。そのため、最終検査として複数名の作業員が目視によってタグの印刷面の検査を行っているのが現状である[13][14]。

しかしながら、目視検査は長時間の連続検査が必要な作業であり、検査員の疲労や感覚のバラツキにより検査基準を一定に保つのは難しい。

本研究は、この最終目視検査工程の現状を改善するため、検査の自動化を前提とし、タグの自動搬送機構と知的画像処理を有機的にリンクし、タグの搬送機構と画像検査性能の有効性を実験的に示すものである[15]-[18]。

一般に、目視検査の自動化を実現するためには1枚毎のタグ表面をカメラ撮像により画像を取得する必要がある。また、検査効率を上げるため無人で連続して処理を行う必要がある。

このため本装置に装填するタグは数百枚重ねられた状態から動作を開始する。この一括装填重されたタグを撮像部に導くため1枚毎に分離して搬送する機構が求められる。撮像判定後の処理として判定結果により、良品と不良品に分離する機構も必要となる。

また、タグの印刷面にはインクの付着性を高めるためラバーコーティング処理が施されている。これによりタグには強いソリが生じ、全体に屈曲するため、一般的な仕様類と比較して取扱いが困難となる。

さらに、複数枚が堆積した状態から 1 枚だけを分離する場合、表面のラバーコーティングにより、タグ間に高い摩擦力が発生するため、一般的に摩擦が比較的小さい紙葉類の重送分離に用いられる水平方向への分離手法では搬送が困難となることが予想される [13][14]。

また、大気中の湿度によりタグ同士が軽度が付着する現象もみられる。これにより 2 枚以上が付着して重送される危険性も予測され、装置の信頼性を上げるためには従来の水平方向の分離ではなく、新規な機構が必要とされる。

そこで本研究ではタグ間の摩擦力や付着に対処するため、タグを垂直方向に吸引すると同時に、小さな半径で屈曲させ、確実に 1 枚だけを取り出し、搬送路へ導く機構を新たに考案する。

また、画像処理部は、撮像部と検査部により構成され、撮像部でのタグはラバーコーティングの影響により反った状態となっている。このためタグ表面には凹凸が生じている。このような状態からでも鮮明な画像を取得するために、まず、照射量の均一性が得られる光源を選定したうえで、タグ印刷面の場所による輝度ムラを抑制するように照射位置なども工夫するものとする。

検査部では、光源の工夫だけでは通常の 2 値化により正しい印刷画像が現れない問題が未だ残存する。そこで本研究ではタグ表面の撮像領域全体を小領域に分割し、小領域ごとに適切な閾値を用いて、2 値化を行う適応的 2 値化を導入して問題の解決を図る。

これらの工夫によりタグの目視検査の自動化を実現し、その搬送性能および汚れ検知性能と良品検知性能の両方から本研究の有効性と実用性を示す。

2.2.2 知的搬送システムの構成

実験装置はタグの装填、分離、搬送、分岐を行う機構部と印刷面の良否を判定するための撮像、検査部より構成されている。

本研究で対象とするタグは幅 40mm、長さは 60mm～120mm までの数種類であり、薄さは 0.15mm である。無負荷状態では図 2.2.1 に示すように強いソリを発生するため搬送途上で角部などのひっかかり等に特に注意を要する。

搬送ベルトで搬送力を与えながら搬送通路には継ぎ目に段差のない形状を工夫することが前提となる。特に、ここで取り扱うタグは、いりこと異なり2次元選別対象であるが厚さ方向に薄いので、いりこの搬送機構とは異なる独自の工夫が必要となる。

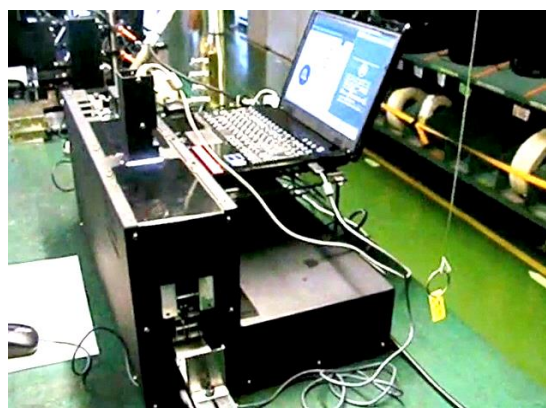


図 2.2.1 タグのソリ

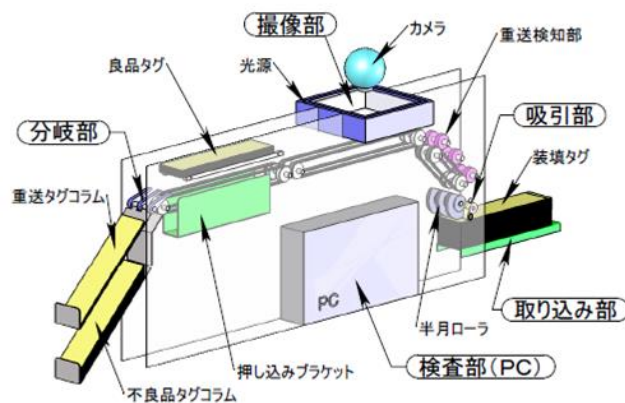
提案する卓上式タグ印刷検査システムは、複数タグを装置に一括装填後、良品および不良品に仕分ける。その機構区分としてはタグの取り込み部、重送検知部、撮像部、検査部、分岐部に分類される。開発した実験筐体の外観を図 2.2.2(a)に示す。図 2.2.2(b)に実験筐体のテクニカルイラストレーションを示し、その各部名称を図中に示す。また、図 2.2.2(c)にその内部構造を示す。ただし、各部名称は図 2.2.2(b)に順ずるものとする。

本装置は図 2.2.2(b)に示すように取り込み台上に印刷面を上向きにした複数のタグ(最大 300 枚)を重ねて取り込み部に装填し、自動で良品と不良品を仕分けていくものである。

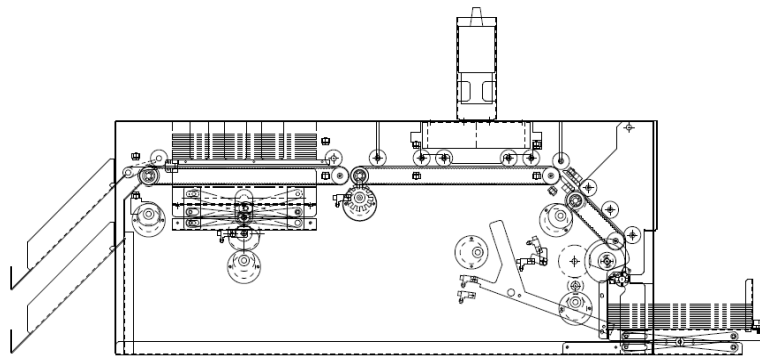
提案装置ではタグの搬送速度を 100mm/秒としている。これはタグ搬送時に壁面との摩擦により搬送不良が生じないように考慮したことと、撮像時に一時停止する必要があるため、使用モータのブレーキ特性から算定した値である。これにより処理速度はタグの長さにより異なるが1枚あたり2秒(長さ 60mm)から最大6秒(長さ 120mm)となる。



(a) 実験筐体外観



(b) 実験筐体テクニカルイラストレーション



(c) 内部構造

図 2.2.2 検査システムの構造

まず、1枚に分離されたタグはベルトコンベアと複数設けられた押さえローラー列間に挟み込まれ搬送される。その後、重送検知部、撮像部、検査部、分岐部に順次搬送されることにより良品と不良品に選別される。

また、撮像部では撮像時の画像のブレを防ぐため、タグを瞬時停止させながら 40mm×40mm の領域に複数分割して撮像を実施するものとしている。

一連の動作フローを図 2.2.3 に示し、各部の詳細について記述する。提案装置では連続して安定した1枚分離ができるように配慮したため、特に取り込み部に多数の動作手順が設定されている。

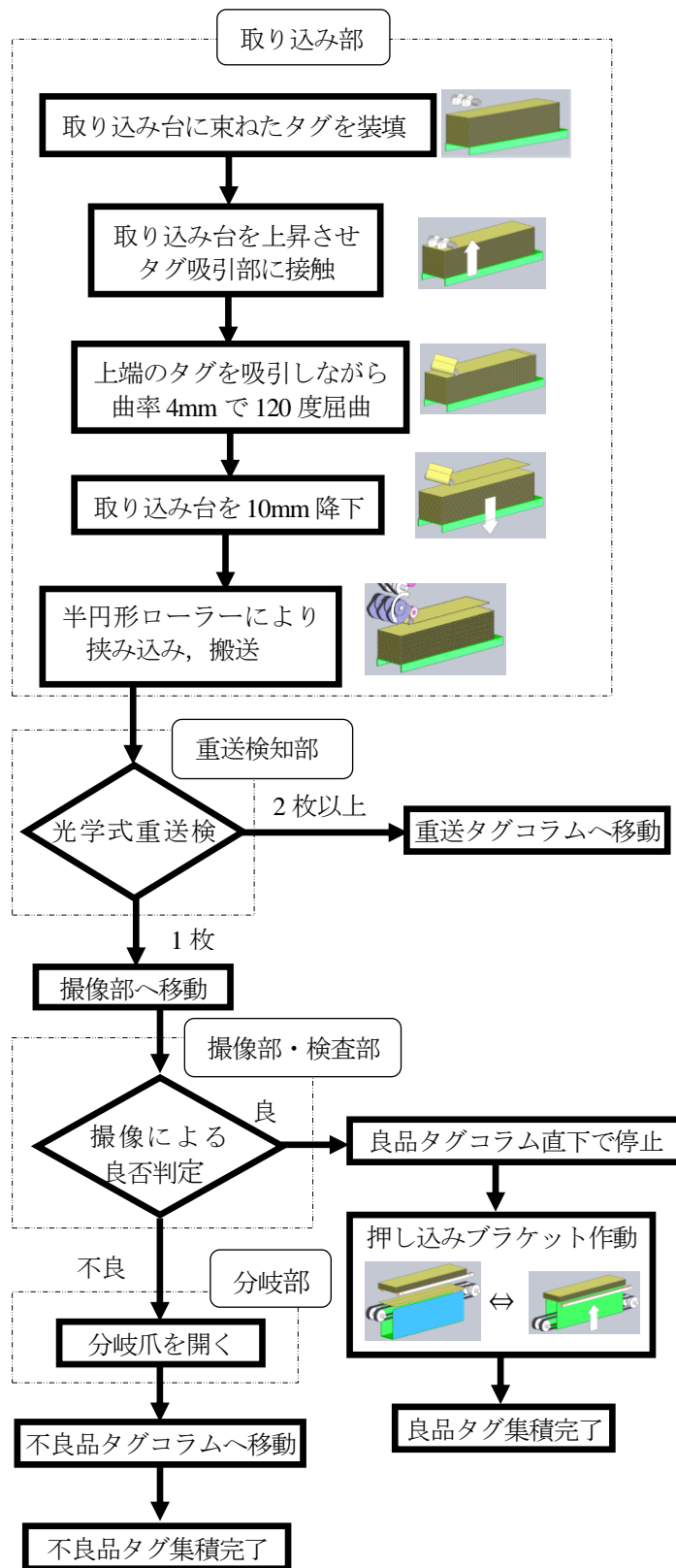


図 2.2.3 全体動作フロー図

2.2.2.1 分離搬送部

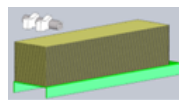
ここでは、提案装置の取り込み部について詳しく述べる。

通常、タグを撮像し、検査するためには数百枚に堆積されたタグから連続して1枚ずつ抜き取り、搬送する必要がある。しかしながら、タグの印刷面はインクの付着性を高めるためのラバーコーティングが施されており、これによりタグ間に分離を困難とする高い摩擦力が生じる。

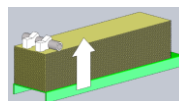
また、同時に湿度によるタグ同士の軽度な付着も分離処理をさらに困難なものとしている。この状態では一般的な水平方向に分離する方法では後続のタグが摩擦でよれてしまう不具合が多発する。あるいは2枚が付着したまま搬送されることもあり、確実な分離処理が不可能となる。

そこで、水平方向に分離するのではなく、吸引によりタグを上方向に剥離すると同時に形状的に小さな半径で屈曲させ、分離性能を向上させる独自の方式を考案する。これを実現させるために分離動作をいくつかに分割する。以下に本研究での取り込み機構について順次述べる。

まず、タグを装填しやすくするために昇降運動する取り込み台を最下部まで下降させておき、取り込み台の上に印刷面を上方向に向けたタグを最大 300 枚装填する。

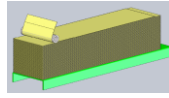


次に、装填終了後、タグを1枚ずつ取り込むため、取り込み台を上昇させ、上端のタグを吸引部に接触させる。



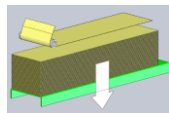
この時点で吸引装置を作動し、上端のタグを吸引する。吸引しながら曲率半径 4mm で吸引部を回転させ、上端のタグのみを 120° まで屈曲させる。これはラバーコーティングにより水平方向の分離が困難なため、タグの一端を摩擦力が生じない上方向に剥離すると

同時に、湿度などで付着している直下のタグのタグ自体の剛性を利用し、分離するための処理である。



この状態で半円形のローラーが回転することによりタグの屈曲端をローラー間に挟み込み、タグを撮像部へと導く。

この場合、取込み台を押し下げ機構により 10mm 下方に押し下げておく。これは、直下に集積されているタグの摩擦力が円滑な搬送を阻害しないように配慮したためである。



以上により、タグは取り込み部で 1 枚に分離され、半円形のローラーの回転によりローラー間に挟み込まれ、次工程である重送検知部へ搬送される。取り込み部ではこの動作が最後の 1 枚まで繰り返される。

2.2.2.2 重送検知部

次に、タグが複数枚重なった状態で搬送されてしまう不具合を検知するための機構を詳しく述べる。

システムでは、タグがローラー列の搬送力によって撮像部まで搬送される以前に 1 枚であることを確定する必要がある。ここで 2 枚以上重なっている場合、下のタグは検査することができないため 2 枚以上と判定されれば撮像および検査の処理をすること無しに一時的に排除する。2 枚以上の場合は直接、重送タグのコラムへと導かれ、後で再検査する仕様としている。

ここで、重送を検知する方法としてはタグを 2 対の光源の直下を通過させ、その透過光量を判定基準とするものである。この方式は著者が開発してきた紙幣処理機の紙送りに関する重送検知として使われている技術と同一手法である[15]。

今回の提案装置において、判定閾値を決定するために 2 枚を重ねたタグを多数回光源の

直下に通過させ、その透過光量で図 2.2.4 に示す重送判定基準を決定している。

透過光量を判定基準としているため、広範囲で汚損したタグも同様に 2 枚重なりと判定される場合がある。これは次工程の処理により再検査された際に再び 2 枚重なりと判定される可能性が高いが、その場合は目視により汚損タグと判定され除外される。

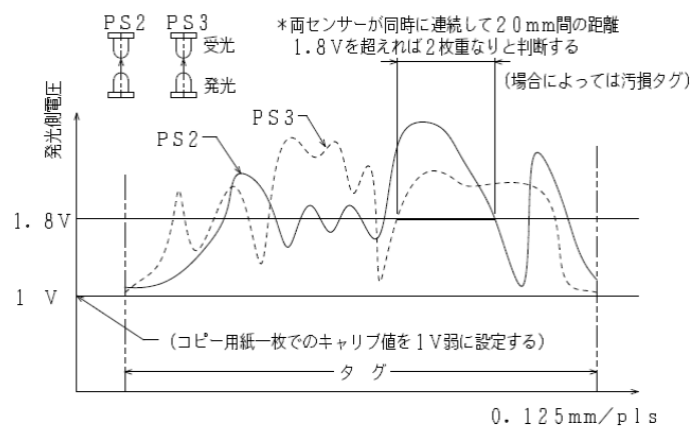


図 2.2.4 重送判定基準

一方、1 枚であると判定されたタグは撮像部まで搬送され、40mm 間隔の撮像を複数回繰り返す、タグの全表面の撮像を実施する。その後、タグを良品、或いは不良品に分岐選別し、それぞれを再集積する。

2.2.2.3 分岐部

検査部の画像判定で不良品と判断されたタグは再検査する必要性はないが、重送検知部で 2 枚以上重なっていると判定されたタグは良品である可能性が高いので、再度判定する必要がある。そのためこれらが混合しないように分離する機構が必要となり、その方法について以下に示す。

検査部で不良品と判断されたタグは図 2.2.5 に示すように分岐爪を上方に 15 度開くことにより不良品タグコラムへと導き、堆積させる。

また、重送検知部で 2 枚以上重なっていると判定されたタグは分岐爪を開かず直進させ

ることにより図 2.2.6 で示すように重送タグコラムへと導き、堆積させる。この重送タグは人手を介して再び取り込み台上に装填されることにより、再検査される。

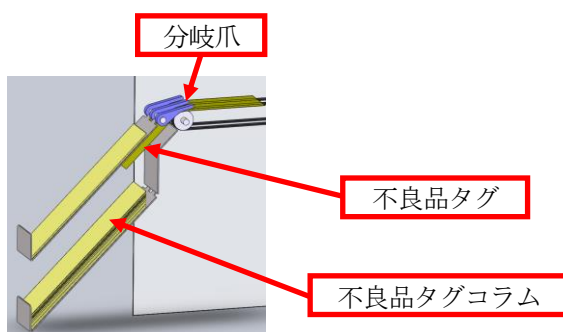


図 2.2.5 不良品タグコラムへの誘導

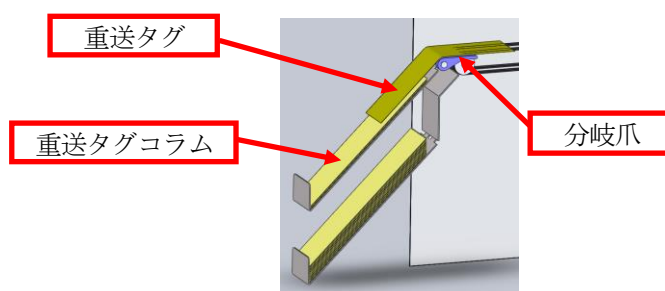


図 2.2.6 重送タグコラムへの誘導

2.2.3 知的検査システムの構成

2.2.3.1 撮像部

ここでは、撮像部についてさらに詳しく記述する。撮像に用いるカメラは、工業用の Web カメラとし、その仕様は被写体からの距離を 60mm に設定し撮像範囲 55×40mm、カメラの絞り値 65 とする。

まず、このカメラの性能を有効に引き出すため光源の選定が必要となる。今回撮像部で使用を検討した光源は輝度と取り付けスペースの制限から図 2.2.7 に示す 3 種類を候補とした。これらを予備実験で輝度の最大値が飽和点の 90% 程度となるように照明を設定し、輝度の均一性を検証するため印刷用コピー用紙(漂白紙)を用いて比較検討する[17]-[19]。



図 2.2.7 LED 光源の種類

その結果，図 2.2.8(b)(c)で示すように，撮像対象である印刷用コピー用紙の表面が周囲の物理的な起伏で十分な光量を得られていないので光源として性能を満たしていない。

しかし，図 2.2.8(a)に示すボックス型の光源は，隅々まで光量がおよび，照射量の均一性も確認されたので，これを採用することとする[19][20]。

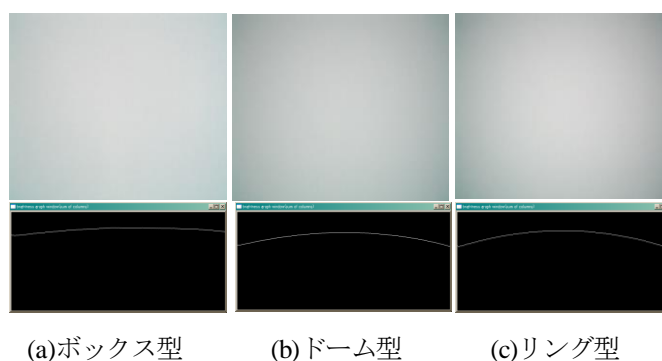


図 2.2.8 漂白紙による照射量の一様性の比較

以上からボックス型面照明を採用し，図 2.2.9 のようなカメラとのレイアウト構成にすることにより，タグ印刷面の場所による輝度ムラをかなり抑制することができる。

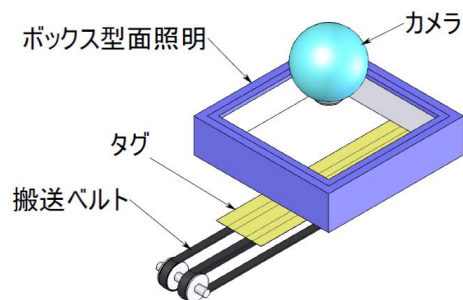
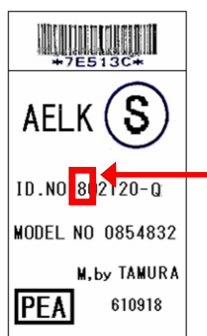


図 2.2.9 撮像部のカメラと光源のレイアウト

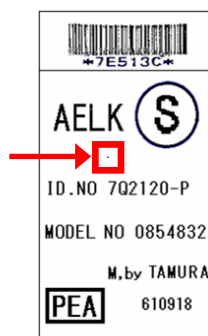
2.2.3.2 検査部

検査用 PC では、撮像された画像に対して 2 値化処理を行い、タグの不良検査を行う。
本研究では、これまで工場内で専門家が不良と判断してきたタグの印刷を解析し、タグの不良項目(検査項目)として図 2.2.10 に示し、以下のように分類を実施している。

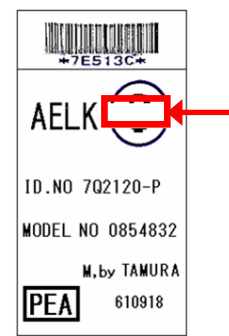
- ・検査項目 1 パターンミス(記入漏れ, 誤印字 : (a))
- ・検査項目 2 ヨゴレ(不要なインクおよびシミ : (b))
- ・検査項目 3 カスレ(文字および記号の途切れ : (c))
- ・検査項目 4 ニジミ(文字および記号のニジミ : (d))
- ・検査項目 5 ブレ(印字部の相対位置のずれ : (e))
- ・検査項目 6 カケ(文字および記号の一部の欠損 : (f))



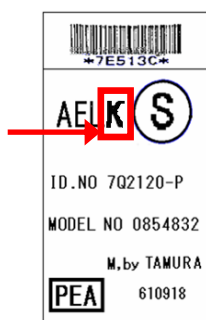
(a) 検査項目 1
パターンミス



(b) 検査項目 2
ヨゴレ



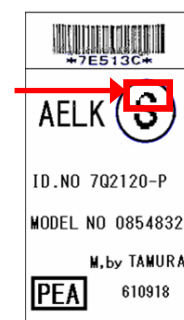
(c) 検査項目 3
カスレ



(d) 検査項目 4
ニジミ



(e) 検査項目 5
ブレ



(f) 検査項目 6
カケ

図 2.2.10 タグ印刷面の不良項目

本研究では、特にこの中で発生頻度が 90 % 以上と最も高いヨゴレとカスレについて検査性能を実験により確認するものとする。以下におけるこれらの検査項目の処理内容について詳しく述べる。

はじめに、撮像部で撮像された画像に対して 2 値化処理を行う。ただし、前述までで LED 光源の比較採用によりタグの場所による照射量の不均一性を低減しているが、依然、タグが撮像部でラバーコーティングにより反った状態で撮像される。そのため図 2.2.11(a)に示すように通常の 2 値化では正しい印刷画像が現れない問題点が発生する。そこで、撮像領域全体を小領域に分割し、小領域ごとに適切な閾値を用いて、2 値化を行う適応的 2 値化手法[21] [22]をここでは導入する。

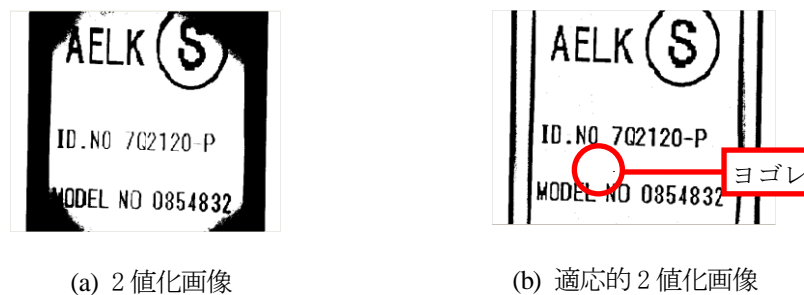


図 2.2.11 適応的 2 値化の効果

手順として、図 2.2.12 に示すように最初にラベルの撮像画像の抽出を行う。つぎに、適応的 2 値化により印刷部と背景の分離を行う。その場合、膨張収縮処理を用いてノイズの除去を行う。つぎに、ヨゴレおよびカスレの検査を行い、良品、不良品の振り分けを行う。

ここで不良品と判定された場合は排出し、良品と判定された場合はその他の検査項目に対して順次検査を行い、各検査項目においても同様に良品、不良品の判定を行う。すべての項目に対して良品と判定された場合のみ良品と認識される。ここで、ヨゴレとカスレの検査を先に実施する理由は、その発生頻度が他の不良項目よりも高く、先にヨゴレかカスレかで不良と判定された場合は、以降の検査が実施されない。したがって、ラベルは不良として排除され、検査時間の短縮になるからである。以下に今回用いた適応的 2 値化手法について具体的に説明する。

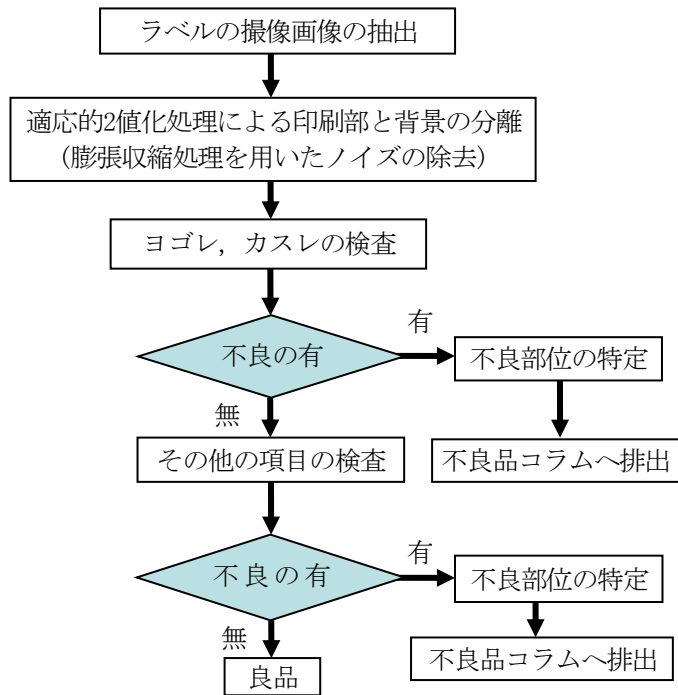


図 2.2.12 検査処理フローチャート

2次元座標 (x, y) 上の2値化画像を $g(x, y)$ 、また、グレースケール画像を $f(x, y)$ (0 から 255 で表現させる輝度値)で表現する場合、適応的閾値 $\theta_{x,y}$ は式(2.2)で得られる。

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > \theta_{x,y} \text{ のとき} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$\theta_{x,y} = \frac{1}{(2d-1)^2} \sum_i^{|i-x|<d} \sum_j^{|j-y|<d} f(i, j) - c \quad \text{式 (2.2)}$$

ここで、 d および c は適応的閾値 $\theta_{x,y}$ を決定する設定パラメータであり、図 2.2.13 に示す N 画素 $\times M$ 画素の画像内で、 d はグレースケール画像の局所的平均値を求める場合に用いる局所レベルを表す。また、 c は 2 値化感度の調整に使用する。実験では、前述の各検査項目全体に対する検査処理手順について説明を行う。なお、ラベルの正常印刷パターンはテンプレート情報としてあらかじめデータベースに登録を行っているものとする。

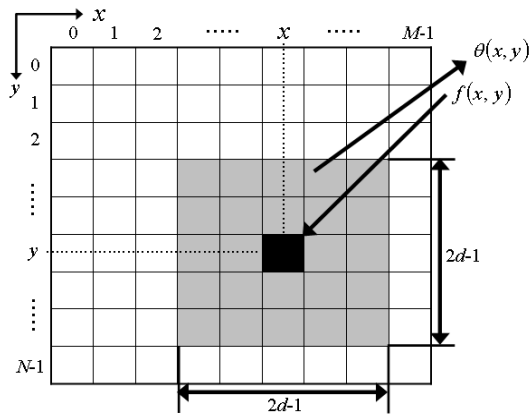


図 2.2.13 適応的 2 値化の閾値設定法

前述したヨゴレおよびカスレの検査を例にとり，この画像処理の内容をさらに詳細に説明する。はじめに，ラベルのグレースケール画像(図 2.2.14(a))を用いた固定閾値法によりラベル領域の検出を行う。つぎに，光源の枠の除去および膨張収縮処理を行う(図 2.2.14(b))。つぎに，式(2.2)で示される適応的 2 値化により，ラベルの印刷部とエッジ部分を背景から分離する(図 2.2.14(c))。この場合，図 2.2.14(b)を用いてラベルの印刷部のみの抽出を行う(図 2.2.14(d))。印刷部を抽出した後，図 2.2.14(e)に示されるように記号を特定し，記号以外の印刷部に対して設定された最小面積以上のブロブ(画像フレーム内の孤立点[13])の数を特定する。

つぎに，特定したブロブの数とテンプレート情報におけるブロブの数を比較することにより，ヨゴレおよびカスレの検査を行う(図 2.2.14(f))。

図 2.2.15 にヨゴレおよびカスレの検査手順の全体フローを示す。

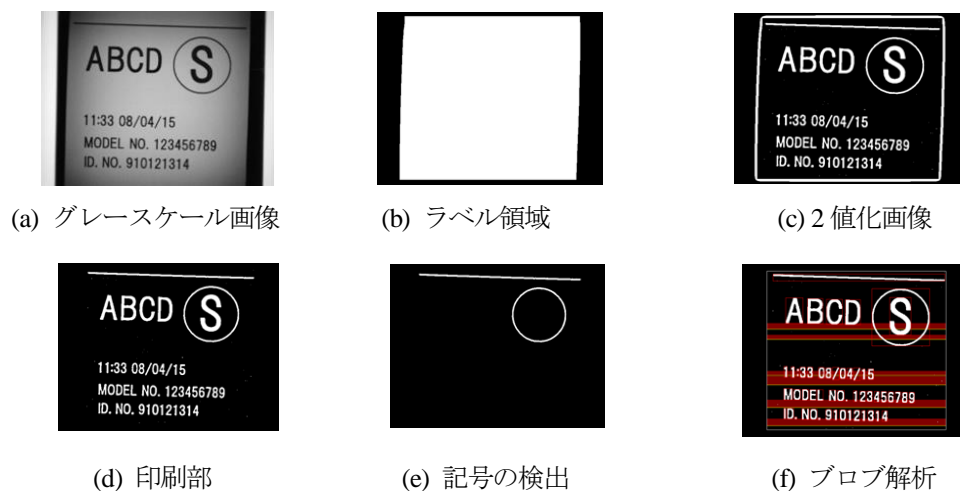


図 2.2.14 ヨゴレおよびカスレの処理画像

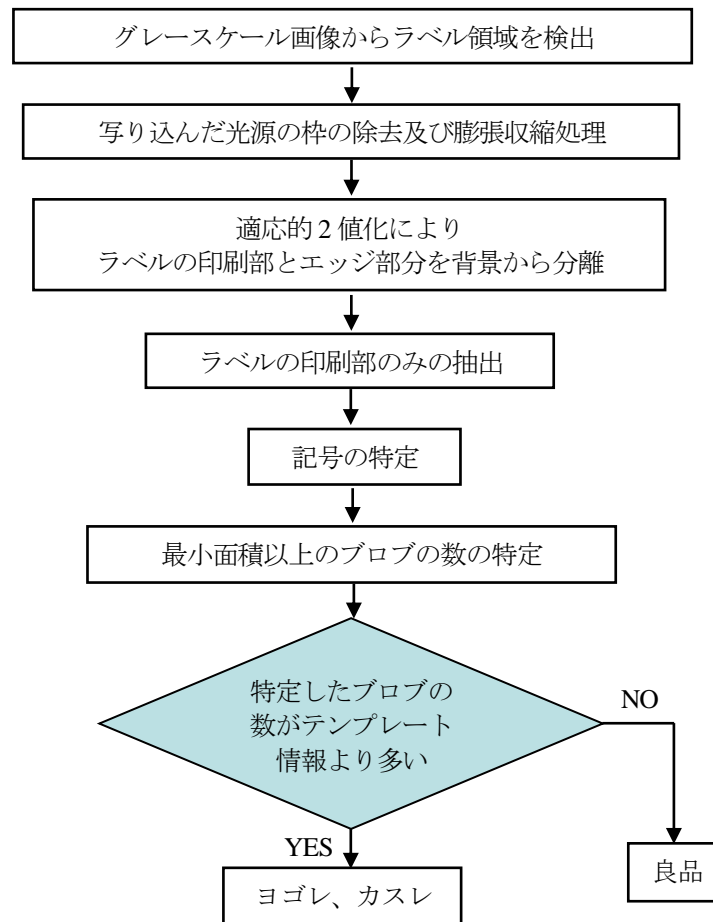


図 2.3.15 ヨゴレおよびカスレの検査手順

2.2.4 実験

ここでは、実際に使用される自動車部品に張り付けられるタグを用いて搬送実験を実施する。その条件は、40mm×60mm, 40mm×80mm, 40mm×120mmを各300枚使用し、延べ1700枚を分搬送する。この中には、1枚, 10枚, 50枚, 100枚, 200枚, 300枚と同じ長さのタグにおいてそれぞれ異なる枚数で取り込み部に装填し、提案システムを取り込み部と撮像部への搬送機構の有効性が客観的に示されるように配慮する。

次に、タグのヨゴレに的を絞り、検査能力確認実験を行う。図 2.2.10 に示すタグの印字において、最小の印字の大きさは 0.6mm×0.6mm である。そこで、本実験では最小の印字よりも小さい 0.5mm×0.5mm のヨゴレを記したタグおよび 0.3mm×0.3mm のヨゴレを記した

タグの2種類をそれぞれ50枚ずつ用いて、タグ1枚につき1カ所ずつ異なる場所にヨゴレを記したものと、ヨゴレ無しのタグ50枚を検査対象とする。

2.2.5 実験結果

搬送実験の結果として搬送不良が2枚(2枚搬送1回, 搬送壁面への乗り上がり1回)となりその搬送性能は99.88% (1698/1700×100%)に達成した。以上から提案システムの搬送系は有効であると思われる。

また、タグのヨゴレに的を絞った検査能力確認実験の結果として表2.2.1に一覧を示す。表より0.5mm×0.5mmのヨゴレおよび0.3mm×0.3mmのヨゴレの検査成功率は100%であることが確認できた。したがって、0.3mm×0.3mmまでの大きさのヨゴレが検出可能であることが判明した。しかしながら、実験用に記したヨゴレ以外のヨゴレを検出することがあった。その原因を解析したところ、タグに付着したホコリが原因であることが判明した。

表 2.2.1 検査能力検証実験結果

	検査成功率 (検出数/検出対象母数)
ヨゴレ 0.5mm×0.5mm のタグ	100%(50/50)
ヨゴレ 0.3mm×0.3mm のタグ	100%(50/50)
ヨゴレ無しのタグ	88%(44/50)

(搬送能力 99.88% の条件下)

2.2.5 まとめ

2次元対象のいりことは物理的形狀の異なる検査対象として、薄さ0.15mmの自動車のシートベルトに張り付ける品質保証の注記を記した“タグ”を取り上げた。

Webカメラを用いた卓上式タグ印刷面検査システムの開発について述べ、タグの1枚繰り出しと搬送、および撮像についての独自の提案を行った。特に製造過程で不具合としての発生頻度が高いヨゴレとカスレについて、実験により検査性能を確認し、その有効性を実験で示した。

薄物であるタグは堆積状態から一枚に分離するには種々の課題を解決する必要があり、最上部のタグを吸引すると同時に屈曲させる構造を考案した。このような工夫により分離搬送性能 99.88% と高い精度で達成できた。

本装置の検査対象における適応範囲として、任意の曲率において、その屈曲状態が弾性域内である薄物であれば普遍的に適応可能と考えられる。

撮像部においてはタグ印刷面の場所による輝度ムラを抑制するために隅々まで光量が及び、照射量の均一性も確認されたボックス型光源を採用した。

検査部では、撮像画像にタグ表面の反った状態の影響が表れたため、通常の 2 値化では正しい印刷画像が現れない問題点が発生した。そこで、撮像領域全体を小領域に分割し、小領域ごとに適切な閾値を用いて適応的 2 値化手法導入することにより 0.3mm×0.3mm までの大きさのヨゴレが検出可能であることが判明した。

しかしながら、実験用に記したヨゴレ以外のヨゴレを検出することがあった。この問題を解消するため、今後は、ホコリを取り除く機構の開発とヨゴレ以外の項目における検査能力の検証を計画している。

2.3 3次元検査対象の実施例(ピーマン)

ここでは、3次元検査対象の実施例としてピーマンなどの長楕円体状青果物を対象とした搬送機構を提案する。特に、本検査対象はいりこやタグとは異なり、搬送において厚さと方向を考慮する必要がある。つまり、長楕円体状青果物は厚さがある場合はロール回転(転がり)が顕著となり一時的に1個にした場合でも前段の他の対象が次段のベルトコンベアに転がり入ることが2次元対象と比べて確率が高くなるということである。それ故、厚さを考慮すべき対象を2次元搬送機構で対処することは不可能となる。

ここでは、長楕円体状青果物の形状と表面状態に特化した搬送機構と画像処理を提案し、その詳細をのべる。

2.3.1 基本原理

現在、青果物市場では、商品価値を向上させる目的により、青果物の等階級の均一化が重要視されている。そのため、農業従事者や農業共同組合などでは青果物商品のブランド化を目的として等階級を均一化する努力が行われている。一方、青果物の選別に用いられている選別機は重量を選別規準としたものがほとんどであり、形状やキズ等の選別作業は長時間に渡り複数人で目視により、図 2.3.1 に示す等階級規格表と比較照合し選別を行っているのが現状である。

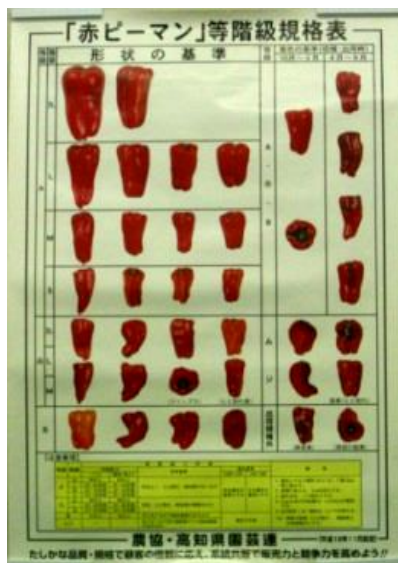


図 2.3.1 等階級規格表

等階級規格表では、重量の選別基準はグラム数により明確に定義されている。しかしながら、形状やキズ等に対する選別基準は、それぞれの不良を示した写真との比較であるため、明確な選別基準が示されていない。そのため個人差により選別基準の均一化が困難となり商品価値の低下が問題となっている。

さらに、手作業での選別作業は青果物の全面を確認しなければならないことから、長時間の作業が必要とされ、作業者の負担は大きくなっている。

以上の状況を改善するため、本研究では選別作業の自動化と選別基準の安定化を目的とした長楕円体状青果物検査システムの開発を行う。

また、近年は画像処理を用いて等階級を選別する選別装置の開発が各種行われている[23]-[26]。画像処理による等階級の選別は、検査対象の大きさやキズ、形状等の外観を選別規準としている。

一方、キズや色ムラに関しては表面の一部に現れることが多いため、検査対象の全面を検査する必要がある。しかしながら、搬送部と青果物の接触部の撮像が行えないことが問題となっており、搬送部との接触部分の撮像を行うため、さまざまな手法が提案されている。例えば、青果物の表面を撮像後にローラーで挟み込み、青果物を反転し、接触部を撮像する手法[26]や、コンベアの間を青果物が移動する時に、接触部を撮像する手法[27][28]。さらに、吸着パッドを用いて検査対象を持ち上げ搬送部と青果物の接触部を撮像する手法[29][30]などが列举できる。

しかしながら、これらの手法は対象となる青果物の寸法および形状により使用が限られるため、複数種類の青果物に対応できない問題点がある。また、上方および水平方向の撮像を行った後に、搬送部との接触部の撮像を行うため、全面の撮像および検査を行うまでに、ある程度の時間が必要となる点も問題点となる。

本研究では回転楕円体状青果物である赤ピーマンを検査対象とし、これによる実験を行い本提案システムの機械的および選別性能の有効性を示すものである。また、他の形状および重量特性が赤ピーマンと類似するナス、キュウリなどにも応用展開が容易な設計としている。

本提案システムではセンサ駆動の独立搬送系で検査対象を強制的に一つに分離し、これ

をテグスで保持し、前後2面と側面4面の合計6面を同時にカメラで撮像する。それ故、同時に全面の画像を得られることで、これまでの従来技術の問題点を解決可能と思われる。

また、搬送速度、センサ検知間隔さらに検査対象の大きさと良否判定の閾値などは検査対象ごとに調整が必要である。しかしながら基本的な搬送ならびに撮像、さらに振り分け機構の設計は他の回転楕円体状青果物に対し汎用性がある。

一方、認識においては、画像処理による大きさ、形状抽出、良否判定アルゴリズムは検査対象ごとに閾値を設定可能であるので、検査対象が異なっても対応可能となっている。

また、一般に青果物は大きく回転楕円体と球体に二分される。本研究で検査の対象とする赤ピーマンは回転楕円体に見立てることができ、これは長軸方向を直径とする回転動きに対しては安定している。

一方、短軸方向を回転の直径とする回転動きに対しては不安定(転がり易い)となる。したがって、ピーマンなどの回転楕円体形状の青果物は長軸方向に整列させながら斜め上方にベルトコンベアで押し上げて搬送しても長軸方向には転がり落ちてくることがほとんどないと想定される。

それ故、本提案システムではこのような検査対象の形状特性に合わせた搬送機構が効果的と判断している。また、全面検査を実現するために検査対象を直方体と見なし、USB インターフェースを有する Web カメラで6面を同時撮像し検査を行う仕様としている。

これらにより、選別作業の自動化および検査基準の均一化を目的とした赤ピーマン全面検査選別システムを提案する。特に装置内では、複数同時に投入される赤ピーマンを撮像部で一つに分離する必要がある。

そこで、これまで著者が開発してきた平面的分離対象である魚類選別システム[31]-[35]とタグの搬送系から立体的分離対象(回転楕円体状青果物)に拡張したセンサ駆動の独立搬送系を考案したものである。これにより赤ピーマンを一つに分離した後に6面同時撮像を行い、これまで著者が種々の産業アプリケーションで研究開発[36]-[38]を実施してきた各種画像処理を応用し、大きさ、形状、およびキズを検査する。

また、撮像部では、検査対象の鏡面反射を抑制するため、拡散フィルタを取り付けた拡散板付き LED 光源を用いる。識別部では、6面の画像を用いて検査対象の大きさ、形状、

およびキズの識別を行う。

本研究では回転楕円体状青果物の中でも鏡面反射が多く、画像処理の難易度が高い赤ピーマンを実施例として搬送性能および検査性能の評価を行い、提案システムの有効性を実験的に示す。

2.3.2 知的搬送システムの構成

ここでは、図 2.3.2 に示す赤ピーマン全面検査選別システムの特徴および構成について示す。提案システムは分離搬送部、撮像部、検査部、分岐部で構成される。本研究で開発したシステムの外観を図 2.3.2 に示す。

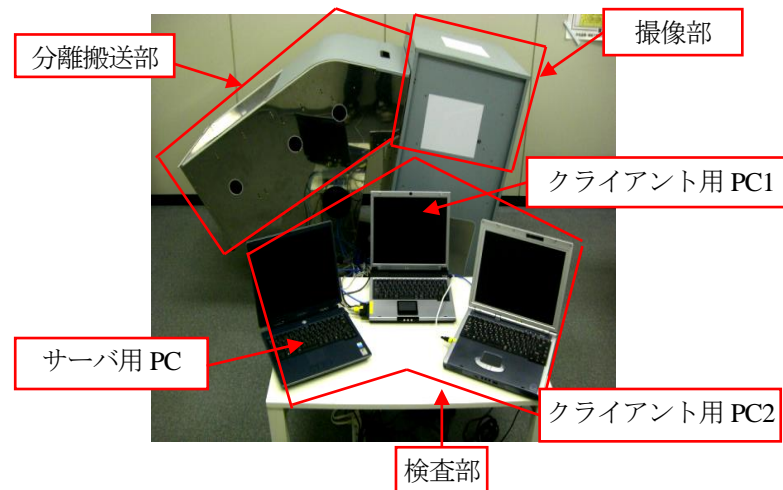
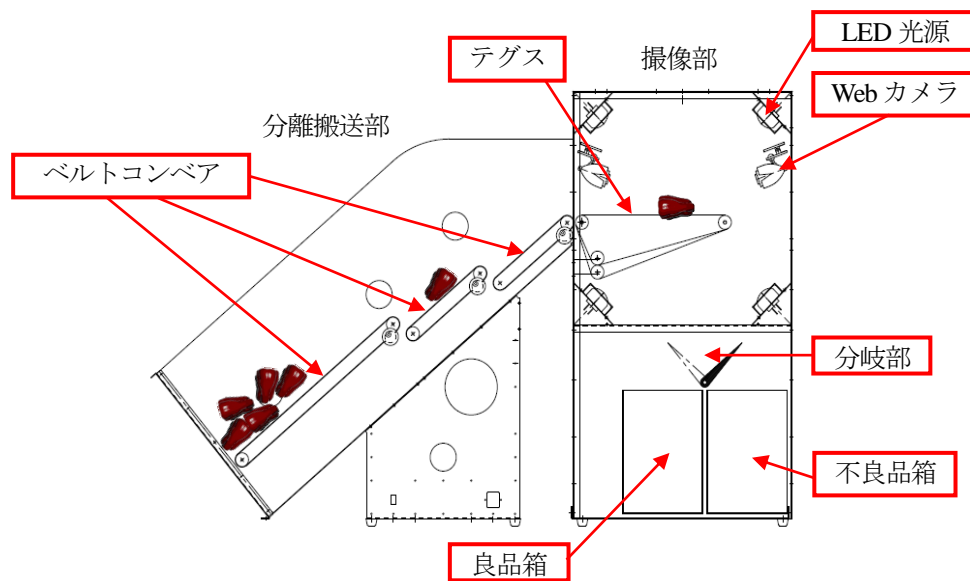


図 2.3.2 システムの外観

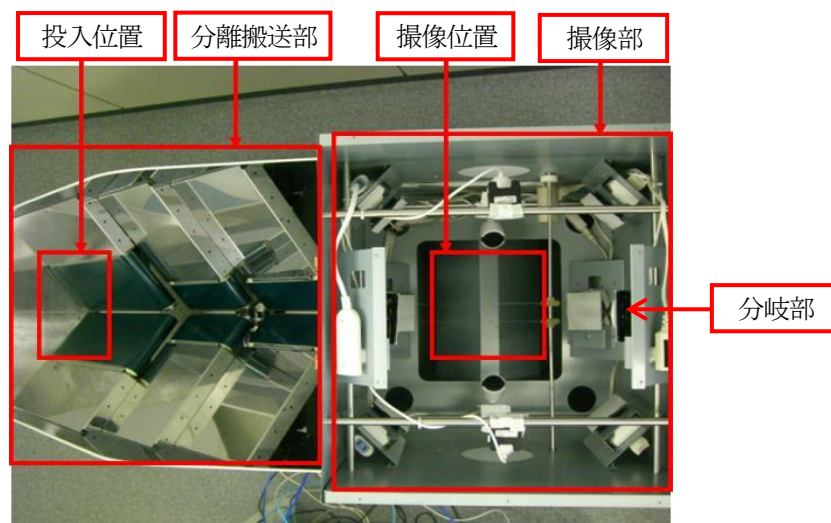
特に、本システムは赤ピーマンの全面の撮像を行い、検査を行う。そのため、赤ピーマンが相互に隣接した状態、あるいは搬送ベルトに乗った状態では全面の撮像が不可能となり検査を行うことができない。

そこで、赤ピーマンの全面の撮像を 6 面同時撮像で実施するため、撮像を極力阻害しない細く透明なテグスを用いて赤ピーマンを撮像位置まで搬送することを考案する。

これは、あたかも赤ピーマンが空中に浮いている状態を具体化するための構造である。図 2.3.3 にシステム内部を示す。図 2.3.3(a)に示すように搬送部に投入された赤ピーマンに対し、複数台のセンサ駆動型ベルトコンベアを用いることにより、赤ピーマンを搬送途上で一つに分離する。図 2.3.3(b)にシステム内部の外観を示す。



(a) 内部構造



(b) システム内部外観

図 2.3.3 システム内部

光源には検査対象の鏡面反射を抑制するため、拡散フィルタを取り付けた LED 光源を用いる。検査部では、パーソナルコンピュータ(PC)を 3 台用い、PC1 台につき 2 台の Web カメラを接続している。各 PC は 100Base の LAN を用いて接続し、撮像画像をサーバ PC に転送する。6 面の撮像画像が PC にそろったところで検査プログラムが起動し、個々に大き

さ、形状、キズの判定を実施し、PC の画面にそれらの検査結果を総合判定結果として表示する。以上の基本的なシステムの動作フローを図 2.3.4 に示す。

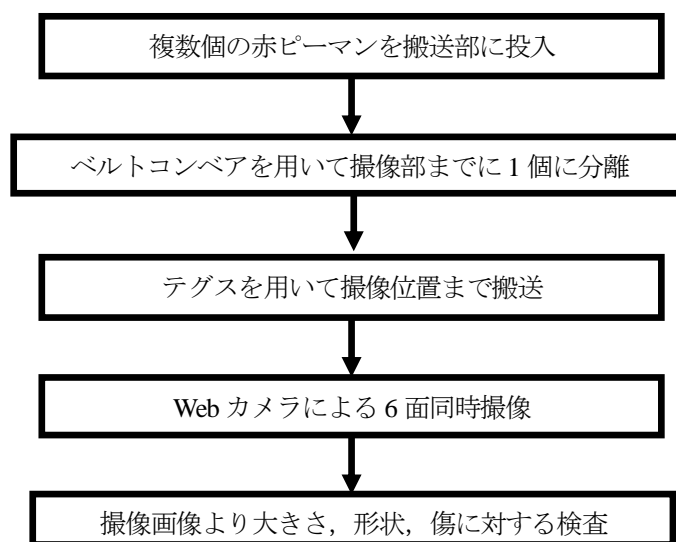


図 2.3.4 検査システム動作フロー

2.3.2.1 分離搬送部

ここでは、分離しながら搬送する構造について説明する。提案システムの分離搬送部は、図 2.3.5 に示すように 1 段につき 2 台のベルトコンベアを図中のように V 字型に組み合わせ、それを 3 段に配置したベルトコンベア、および 2 本のテグスにより構成される。

ここで特に、2 台のベルトコンベアを図 2.3.5 内で示すように V 字型に組み合わせる理由は赤ピーマンの向きを搬送方向に対し長手方向にそろえる必要があるからである。

また、撮像部までに赤ピーマンを一つに分離する必要があるため、搬送部では 3 段のベルトコンベアをそれぞれ赤外線センサの判定により独立して制御駆動し、図 2.3.6 に示す 2 本の平行に張られたテグス上まで搬送し、撮像する。

ここで、3 段のベルトコンベアおよびテグスの搬送速度は全て 100mm/秒としている。これは形状にバラツキがある赤ピーマンが安定して分離搬送可能であり、かつ最短の処理時間となるように試行錯誤的に決定した値である。これにより赤ピーマン 1 個あたりの検査にかかる時間は撮像停止時間 1 秒を含めて 5 秒である。

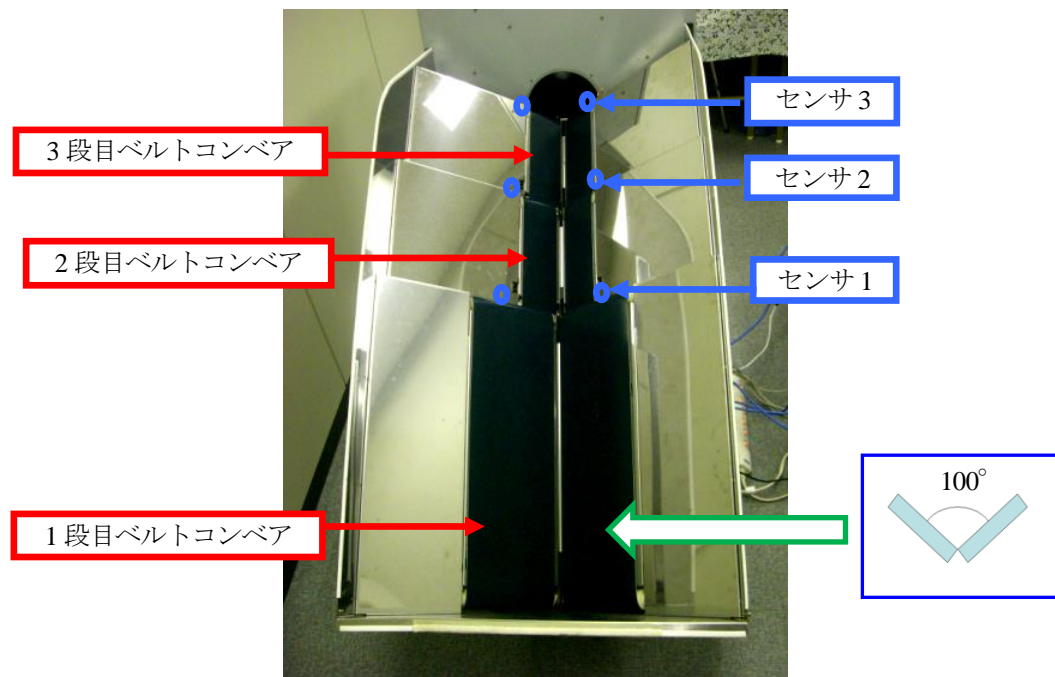


図 2.3.5 搬送部の外観

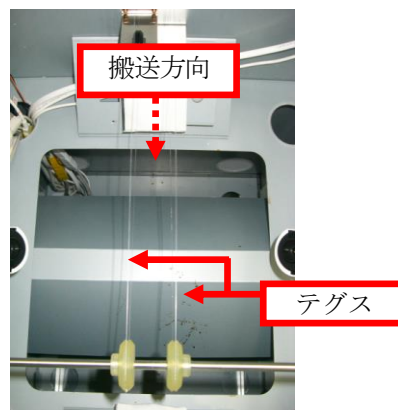


図 2.3.6 テグスを使用した撮像部

次に、テグスの繰り出し動作に連動し、赤ピーマンを撮像位置にまで搬送し、撮像が実施される。ここでテグスを用いたのは直径 0.3mm と細く透明であり、赤ピーマンの撮像画像を阻害しない上に十分な強度があるからである。これらの搬送機構を模式図で図 2.3.7 に示す。

特に、ここで対抗ベルトコンベアが3段である理由は、少ない段数である程度分離精度を維持するには、少なくとも3段のベルトコンベアが必要であることを予備実験と、これまでの著者が開発してきた魚類選別システム[31]-[35]で判明しているからである。

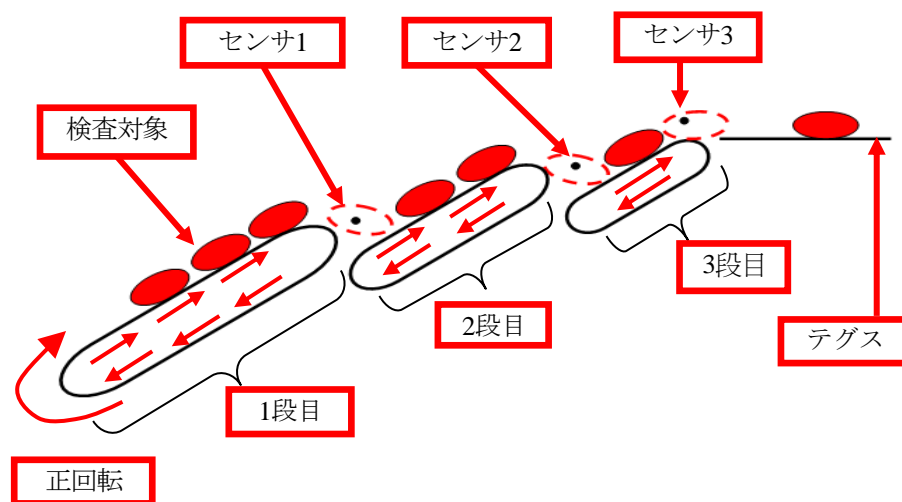


図 2.3.7 独立駆動系の構成

以下に、センサ駆動による独立搬送系の動作手順を次に示す。

はじめに、全てのベルトコンベアおよびテグスを搬送方向に回転(正回転)させる。

次に、図 2.3.7 に示すセンサ 1 が遮光反応した場合、赤ピーマンが 2 段目のベルトコンベアに搬送されたと認識し、1 段目のベルトコンベアが停止する。

一方、センサ 1 が t_1 秒間遮光反応し続けた場合は、1 段目のベルトコンベアを再度 t_2 秒間正回転する。

次に、センサ 2 が遮光反応した場合は、赤ピーマンが 3 段目のベルトコンベアに搬送されたと認識し、2 段目のベルトコンベアが停止する。一方、センサ 2 が t_1 秒間遮光反応し続けた場合には、2 段目のベルトコンベアを再度 t_2 秒間正回転する。

次に、センサ 3 が遮光反応した場合、赤ピーマンがテグスに搬送されたと認識し、3 段目のベルトコンベアが停止する。次に、テグスが x 秒間正搬送を行った後、撮像を行うために y 秒間停止する。

最後に、再び正回転を行い、赤ピーマンを排出する。また、全てのセンサが s 秒間遮光反応しない場合は、自動的に搬送を停止する。

ここで、 x , y , s は予備的な搬送実験で試行錯誤的に決定する。今回の実験では $x=y=2$ 秒, $s=30$ 秒としている。この機構の基本原理の動作フローとイメージを図 2.3.8 示す。

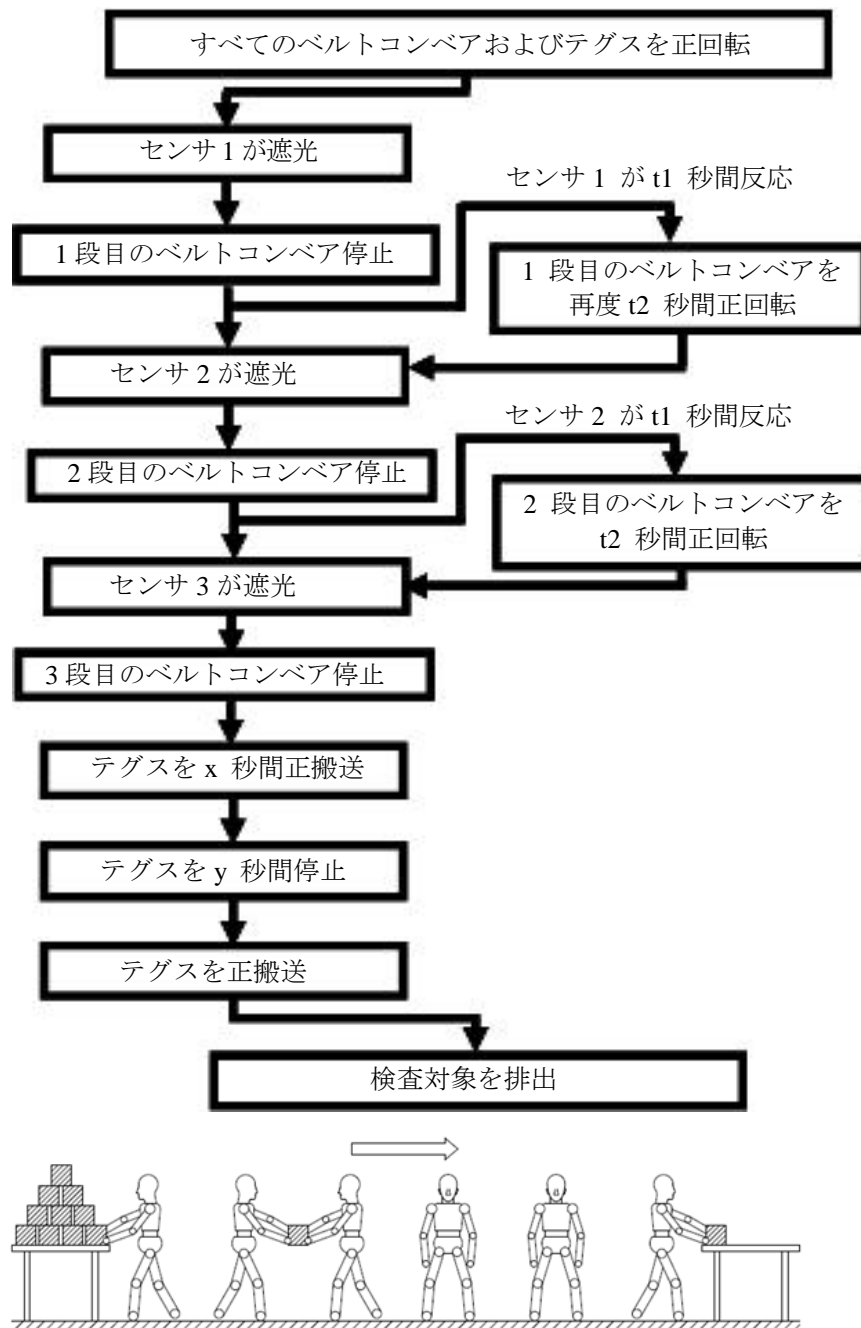


図 2.3.8 基本原理の動作フローとイメージ

つまり、人を縦列に配置し、前段の人から後方へたくさんの荷物を手渡しで渡す方法に類似している。まず、最前段の人はたくさんの荷物から一つの荷物を取り込む。次に自分の

後段を観察し、後段の人の手が空であるならばその荷物を手渡し。既に荷物を持っている場合は後段の人がさらに後段の人に荷物を手渡し、その人の手が空になるまで自分で荷物を保持し続ける。その後、手が空になった状態を確認して自分の荷物を渡す。これらの動きをベルトコンベア上の赤外線スポットセンサで荷物の有無を判断し、上述の手続きをドミノ式に繰り返すことにより、結果的に多くの荷物を運搬しながら一つに分離できる機構である。

2.3.2.2 分岐部

検査部で良否を判定された赤ピーマンは、判定結果に従い二つの箱に分類する。これらが混合しないように分離する機構について以下に示す。

良品と判断された赤ピーマンは図 2.3.9(a)に示すように良品箱へ、検査部で不良と判断された赤ピーマンは図 2.3.9(b)に示すように分岐板を 90° 動作させることにより不良品箱へと導き、収納する。

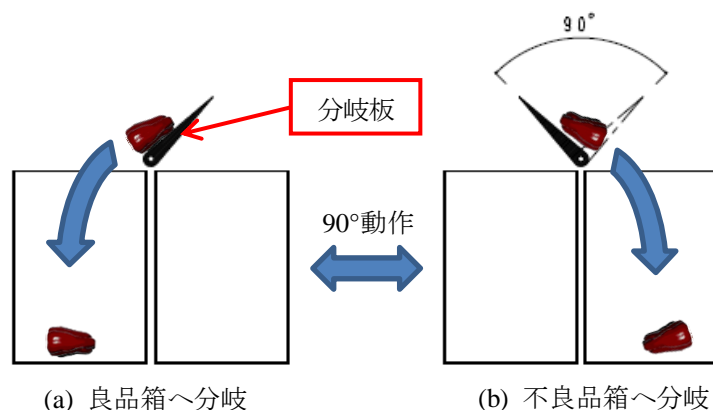


図 2.3.9 分岐構造

2.3.3 知的検査システムの構成

2.3.3.1 撮像部

撮像部は、種々の撮像に特化した予備実験より 6 台の Web カメラおよび 8 個の光源により構成されている。

撮像部の外観を図 2.3.10 に示す。また、撮像筐体内の Web カメラおよび光源の配置を図 2.3.11 に示す。提案システムでは、Web カメラ(ELECOM UCAM-E1L30MNWH, 最大解像

度:640×480 ピクセル, 受像素子:1/4 インチ 30 万画素 CCD センサ, 量子化:24bit/pixel, 分解能:0.3mm/pixel)を 6 台用いて図 2.3.11 内に示すように検査対象の前後に 2 台および側面に 90°おきに 4 台配置する。

また, 光源には半透明アクリル板を拡散板として装着した LED 光源(ELPA PM-L200(W))を 8 台用いている。これは, 赤ピーマンなどの表面の乱反射を光学的に減少させるためである。つまり, 本研究では先に FFT(高速フーリエ変換)により, 周波数領域の高域に鏡面反射が出現することは確認している。しかしながら, 赤ピーマンの表面に発生する引っ掻きキズ, あるいは, 虫の食べ跡のようなキズは鏡面反射の存在する周波数領域とほとんど同じであり, 区別がつかないことも確認している。

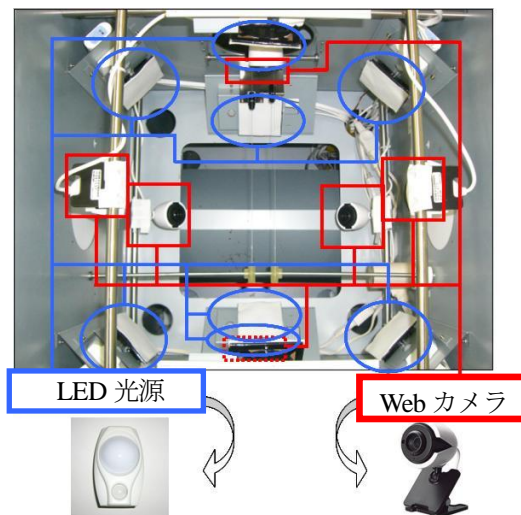


図 2.3.10 撮像部の外観

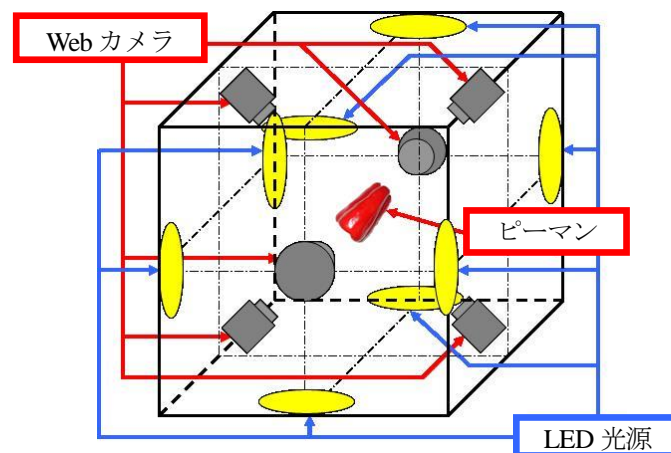


図 2.3.11 撮像部の Web カメラおよび光源の配置

一方、カラー元画像においても、それらの光量レベルでの安定した有意差は認められない。それ故、本研究では光学的な手段で、まず鏡面反射を低減する方法を検討し、拡散板を採用することで環境光[22]を撮像系で実現するものとした。

これらの光源およびカメラの相対配置、光源の数、および拡散フィルタの材質は別途実験筐体を使用し、試行錯誤的に決定したものである。

2.3.3.2 検査部

提案システムの検査部では、撮像によるコンピュータの負荷を軽減するために複数PCによる分散処理を実現する。具体的にはサーバPCを1台およびクライアントPCを2台をLANで接続することにより検査部を構成する。

検査部では、PC1台につき撮像部の2台のWebカメラを接続し、撮像画像をクライアントPCからサーバPCに転送する。最終的に、撮像された6枚の画像を用い、検査対象の大きさ、形状およびキズの検査を行う。

以下に検査部の処理手順を示す。はじめに、クライアントPCにおいて t 秒おきに撮像を行い、撮像位置の色情報を用いて対象物の特定を行う。この場合、色空間として、人間の視覚を近似する様に設定された $L^*a^*b^*$ 空間[39]を採用する。

次に、検査対象の色相が n 回連続で検知された場合を検査対象が撮像位置に搬送されたと判断し、サーバPCへ画像を転送する。次に、サーバPCにおいて6枚の撮像画像に対して2値化を行う。この2値化画像に対し膨張および収縮処理を行いノイズ除去後、検査対象を背景から抽出する。抽出した検査対象の面積により、大きさの判定を行う。

さらに、図2.3.12に示すように抽出した対象の長方形近似を行い、短軸と長軸の比を求め、予め設定したしきい値により対象に対する形状の判定を行う。

最後に、背景ノイズの除去を行い、抽出した検査対象の輝度が一定値以下の領域の面積が一定値以上であればキズと判定する。以上の検査部のクライアントとサーバの各動作フローを図2.3.12に示す。また、画像処理手順を図2.3.13に示す。

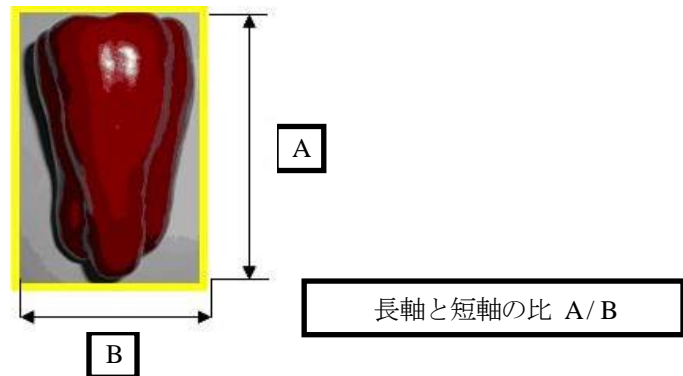
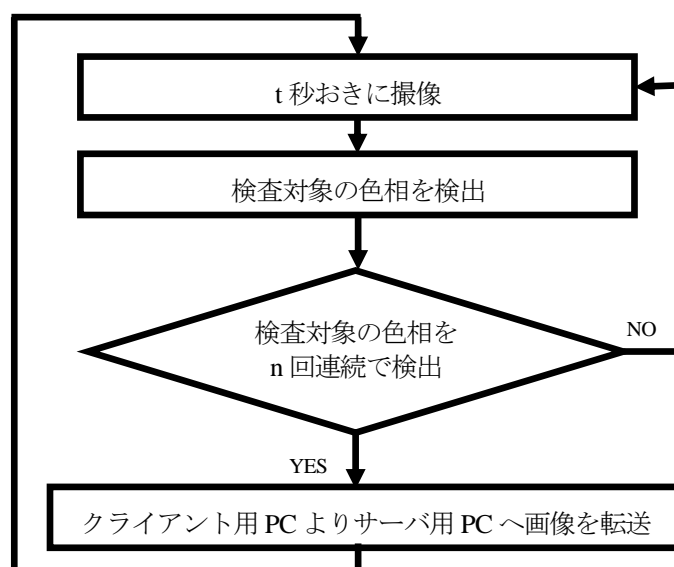


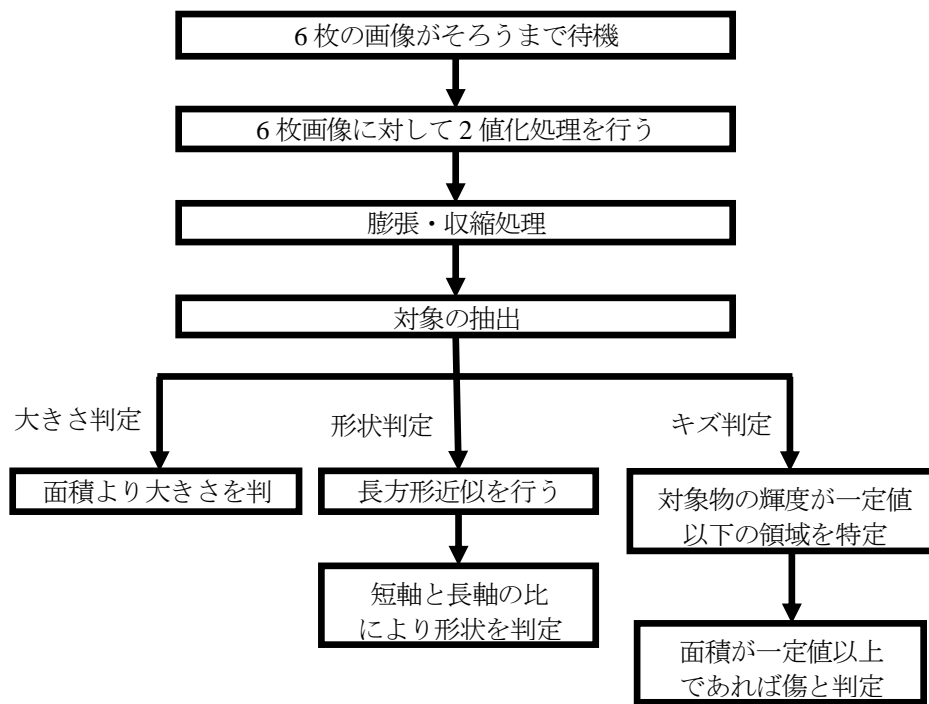
図 2.3.12 対象の長方形近似による短軸と長軸の比

本来は画素単位での輪郭抽出を行い、規格表の良品と不良品の画像を用いて判定値を作るのが妥当と思われる。しかしながら、ここでは規格表の良品と不良品においては長方形近似した場合の長軸と短軸の比でもその優位性は認められるのでこちらを判定方法として採用している。最後に、背景ノイズの除去を行い、赤ピーマンの輝度値がしきい値以下の領域の面積を求め、それが特定値以上であればキズと判定する。ここで、これらの検査は6枚の撮像画像全てに個々に実施される。

最終の統合判定においては、一つでも不良項目があれば、それらが統合判定を代表するものとする。以上の検査部の動作フローを図 2.3.13 に示す。また、画像処理手順を図 2.3.14 に示す。



(a) クライアント動作



(b) サーバ動作

図 2.3.13 クライアント PC とサーバの動作フロー

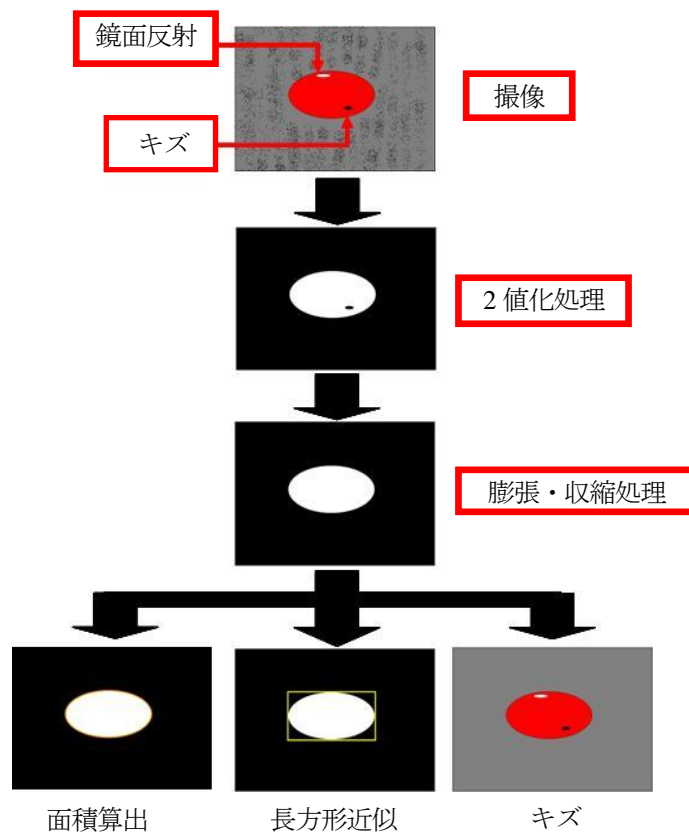


図 2.3.14 画像処理手順

2.3.4 実験

ここでは、高知県で特産物となっている赤ピーマンを検査対象として提案システムの搬送および検査実験を実施し、提案システムの有効性を検討する。赤ピーマンは表面に光沢があり、起伏と相まって鏡面反射を生ずる。

また、回転楕円体状ではあるもののその形状は内側に屈曲するなど多様である。さらに、へた部分は腐り易いなどの問題点に加え、その表面にキズや熟れムラがある場合は大きく商品価値を低下させる要因となっている。したがって、画像処理の対象として赤ピーマンを扱う場合、特に難易度の高い検査対象と考えられる。

2.3.4.1 搬送実験

図 2.3.15 に示すように 11 個の赤ピーマンを搬送部の投入位置に一括投入する。



図 2.3.15 搬送部に投入された赤ピーマン

次に、撮像部内の撮像範囲まですべての赤ピーマンを搬送する。これを 22 回繰り返すことにより、計 242 個の赤ピーマンに対する搬送性能を評価する。実験の判定基準としては、図 2.3.16(a)に示すように撮像範囲までに赤ピーマンが 1 個に分離された場合を分離成功とし、図 2.3.16(b)に示すように 2 個以上が同時に撮像範囲まで搬送された場合、または撮像範囲まで赤ピーマンが搬送されない場合を分離失敗とする。

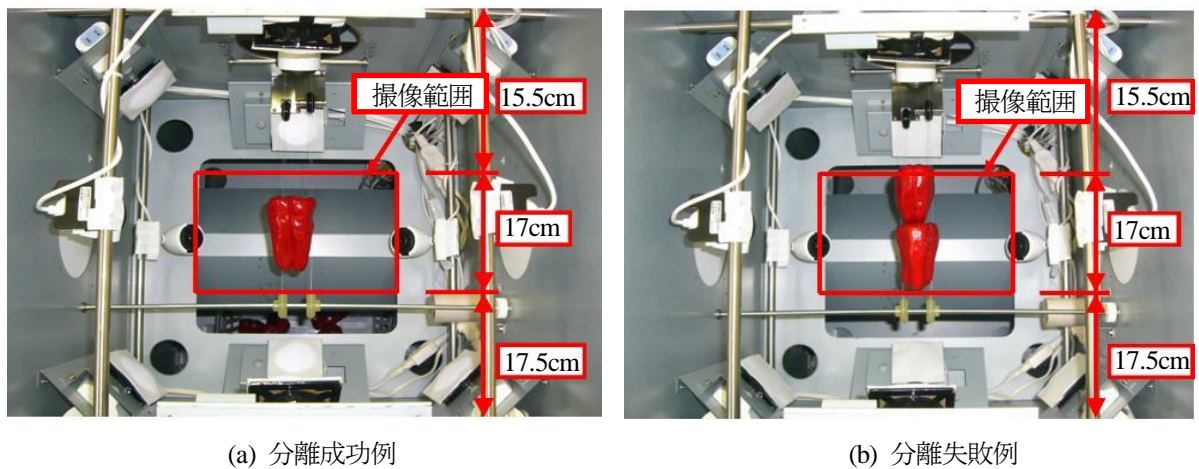


図 2.3.16 撮像範囲での分離状態

2.3.4.2 搬送実験結果

搬送実験の結果を表 2.3.1 に示す。実験により、搬送成功率は 75.2%であることが確認できた。また、搬送時に赤ピーマンがベルトコンベア上で回転し続け、次段のベルトコンベアに搬送されないロールが発生した。さらに、赤ピーマンのベルトコンベアへの巻き込み、および複数個の赤ピーマンが撮像部入り口に同時に搬送されることによるつまりなどが発生した。ロール、巻き込みおよびつまりの発生例を図 2.3.17 に示す。ただし、ロールは場合によっては後続の別の赤ピーマンに押されることにより解消されることも確認している。

表 2.3.1 搬送実験結果

	発生率(発生数/評価母数)
分離成功	75.2%(182/242)
分離失敗	21.5%(52/242)
ロール	1.2%(3/242)
巻き込みおよびつまり	2.1%(5/242)



(a) ロール

(b) 巻き込み

(c) つまり

図 2.3.17 ロール・巻き込み・つまりの発生例

次に搬送失敗の内訳を示す。表 2.3.2 に示すようにテグスへの搬送失敗による落下、テグス上での撮像位置に停止しない位置ズレ、テグスに対して垂直に搬送される縦乗り、2 個以上がテグスに搬送される項目に分類できる。

まず、落下については、現在の搬送部の構造のみではすべての赤ピーマンが長手方向を向かず、横向きの状態で搬送されることが原因である。縦乗りについては、現状のテグス間隔では、すべての大きさのピーマンに対応できていない。また、位置ズレについては、図 2.3.7 のセンサ 3 がテグスから少し離れているため、ピーマンがテグスに搬送される前に対象を検知してしまい、センサ 3 が遮光反応した t 秒後に停止する設定であることから、停止位置にズレが生じているからである。

表 2.3.2 搬送失敗の内訳

	搬送失敗率(各状態の個数/施行個数)
落下	14.0%(34/242)
位置ズレ	5.8%(14/242)
縦乗り	0.4%(1/242)
2 個以上搬送	21.5%(52/242)

ここで搬送失敗の要因について考察する。分離搬送の例として、1 段目では投入された 11 個の赤ピーマンが搬送され、2 段目では 1 から 4 個の赤ピーマンが搬送され、3 段目のベルトコンベアに搬送された時点で 3 個以下に分離されている。

したがって、さらにベルトの段数を 4 段、5 段と増設することで高い確率で 1 個に分離されると予想される。

さらに、分離に十分なベルトコンベアの段数が確保できていないこと、および現在のベルトコンベアは正回転もしくは停止のみで、逆回転を行わないことも原因と考えられる。

次に、巻き込みについては、1 段目のベルトコンベアの幅が 2 段目のベルトコンベアの幅よりも大きいため、赤ピーマンが筐体壁面の 1 段目のベルトコンベアとの間に巻き込まれる。また、つまりについては、ベルトコンベアを赤ピーマンの長手搬送のため V 字型に配置しているが、赤ピーマンが上下に重なった状態で搬送され、そのまま撮像部入り口に接触している。

一方、ロールについては、ベルトコンベアの勾配がすべての赤ピーマンに対して最適ではないことが原因と予想される。以上の項目については、機械部品の寸法変更やベルトコンベアの段数を増やすこと、およびベルトコンベアに逆回転の動作を追加することにより分離搬送の成功率の向上を目指すことが可能と考えられる。

また、赤ピーマンの向きを長手方向にそろえて筐体壁面へ接触させないためのガイドの設置[30]-[34]、あるいは全ての赤ピーマンの大きさに対応するためのテグスの追加(3 本による 3 点支持)などにより分離搬送性能の向上を目指すことが可能と思われる。

2.3.4.3 識別実験

ここでは、鏡面反射や表面起伏によるランダムな陰影の影響を多数受ける赤ピーマン画像を用いて、大きさ、形状、およびキズに対する識別実験を行う。

まず、図 2.3.1 等階級規格表に示されている写真との目視比較により、表内の大きさ L 以上のピーマンを“大”，M 以下を“小”と判定し、湾曲しているものを“形状不良”とする。ここで、“形状不良”についてはピーマンを長方形近似した場合の“長軸と短軸”の比により識別するが、具体的には図 2.3.1 において赤ピーマンの一部が大きく湾曲している状態(図中左最下段)が“形状不良”であり、この場合の“長軸と短軸”の比が良品の場合と比較して大きく異なることで判断する。

その場合のしきい値は図 2.3.1 の規格表の良品と不良品の“長軸と短軸”の比をあらかじめ

め算出し、分離可能な値を設定している。

しかしながら、本手法のみでは、対象物の湾曲が少なく外形の一部に凹みがある場合などは“形状不良”として検出できないという限界も想定される。従って、湾曲の少ない

“形状不良”の検出のためには、さらに対象物の画素単位の外形(輪郭)抽出を実施するなどの手法が必要になると考えられる。また、キズについては図 2.3.1 の右下段に示される不良図を基準としている。そのキズの中でも赤ピーマンの腐りにつながる“黒いキズ”を“キズ有り”とする。

実験では客観性を実現するために3mm×3mmの黒マーカーによる印をした赤ピーマンを用いる。その判定方法は赤ピーマンの輝度値の明暗情報のみを用いるため、実験においては規格表の不良図とほぼ同じ明暗値を再現できる黒色マーカーを使用している。

図 2.3.18 に、それぞれ実験で使用する大きさ、形状、さらにキズの検査用赤ピーマンの画像例を示す。特に、実験では識別性能を評価するので、赤ピーマンを直接手で一つずつ撮像位置に設置する。



図 2.3.18 実験に使用した赤ピーマンの例と母数

また、今回の実験で用いる赤ピーマンは農業専業従事者の専門家が事前に、それぞれ大きさ、形状を判定したものとしている。それ故、装置の判定結果は専門家が判定した結果と同じ場合のみを正解とする。また、大きさ判定についての評価母数は大を 20 個、小を 20 個の合計 40 個とする。形状判定については大きさが大小異なる赤ピーマンの形状不良のものを合計 104 個とする。さらに、黒キズについては、図 2.3.18 のようにマーキングしたものをランダムに合計 20 個とする。

実験では、撮像角度の影響を考慮するため、赤ピーマンの長手方向を x 軸、水平方向を y 軸、垂直方向を z 軸とした場合、1 回の検査ごとに、y 軸について 0 度または 180 度に回転し、x 軸について軸周りの角度を任意に回転して識別を行う。

実験の判定基準としては、大の赤ピーマンを大と識別した場合、小の赤ピーマンを小と識別した場合、さらに形状不良の赤ピーマンを不良と識別した場合、キズ有りの赤ピーマンをキズ有りと識別した場合を識別成功とし、それ以外の判定を識別失敗とする。

2.3.4.4 識別実験結果

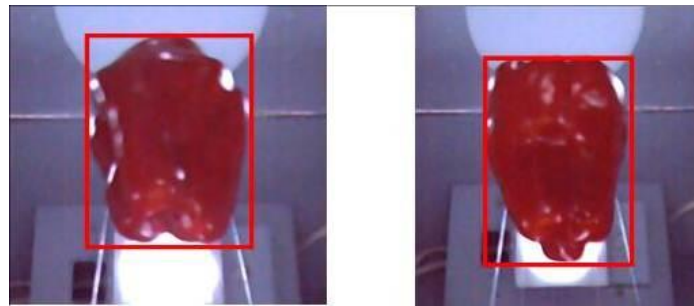
識別実験の結果を表 2.3.3 に示す。実験により、大および小の識別率は 100%であることが確認できた。しかし、形状不良は 82.7%，キズ有りは 75%の識別率であった。今回の赤ピーマンにおいてサイズの識別に関しては高い精度であると判断する。

表 2.3.3 識別実験結果

	認識成功率
大	100%(20/20)
小	100%(20/20)
形状不良	82.7%(86/104)
キズ有り	75%(15/20)

しかしながら、形状不良については赤ピーマンに対して長方形近似を行い、短軸と長軸の比により判定するため、比較的湾曲の少ない赤ピーマンにおいては図 2.3.19 に示すように赤ピーマンの撮像角度により良品と判定される場合があることが判明((a)は不良品を不良

と判定, (b)は不良品を良と判定)した。



(a) 良品を良と判定 (正解)
 $A/B > \theta$

(b) 不良品を良と判定 (不正解)
 $A/B > \theta$

図 2.3.19 撮像角度による判定誤差

キズについては, 図 2.3.20 で示すように鏡面反射の位置とキズの位置が重なったためキズを抽出できないのが主な要因と判明した。今後は, キズの識別をより正確に行うため, 鏡面反射をさらに抑制する光源および分解能の高いカメラの採用する必要がある。

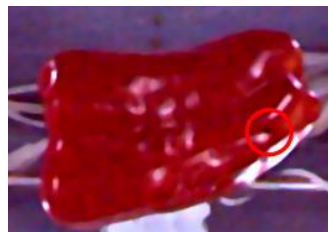


図 2.3.20 鏡面反射による影響例

また, 形状不良の識別については近似する長方形を x 軸, および, y 軸に平行に設定せず, ピーマンの長手方向とその垂直方向に平行になるように設定し, 近似の精度を高める必要がある。さらに, 今後予定する検査項目として赤ピーマンの色ムラにも対応し, システムの識別性能の向上を目指す。

一方, (2.3.3.1 撮像部)で既に述べたようにFFTを含む画像解析により, 元画像においても, さらに周波数領域においても十分な有意差を持ってキズと鏡面反射とを区別することが難しいと思われる。そこで, 拡散板に加え鏡面反射のさらなる低減を実現するために光学的見地から撮像系に改良を加えるものとする。以降では反射の低減を考慮した撮像系を検討する。

2.3.4.5 鏡面反射抑制の追加検討

ここでは、赤ピーマンのキズ検出率の低下の一因となる鏡面反射について、2 台の Web カメラおよび2 台の光源に対し、著者がこれまでに採用を試みてきた円偏光フィルタの導入[40]-[42]を検討し、その光学的改良の有効性を実験的に確認する。

実験では、図 2.3.21 に示す円偏光フィルタを用いて、鏡面反射の抑制性能をそれぞれの撮像画像を用いて検証する。



図 2.3.21 円偏光フィルタ

鏡面反射が最も抑制される角度をピーク時と記述し、鏡面反射が最も抑制されない角度をワースト時と記述する。また、実験対象には黒いキズの判別が最も困難である緑ピーマンに黒マーカによるキズを付したものをを用いる。

はじめに、撮像部内での Web カメラおよび光源の位置関係は図 2.3.22 とし、撮像部内の光量を増加させるため、これまでより高出力の LED 光源(図 2.3.23)を取り付ける。

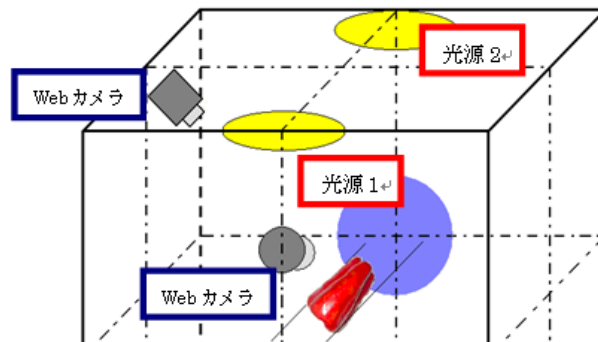


図 2.3.22 撮像部内での Web カメラおよび光源の位置関係



図2.3.23 高出力のLED光源

本実験の評価は円偏光フィルタをピーク時に設置して、ワースト時と比較して行う。
 例をカメラ 1 の撮像画像を用いて図 2.3.24 に示す。
 設置する円偏光フィルタのピーク時およびワースト時の回転角度は 0° または 90° である
 ことが本予備実験より判明している。図中の右端 (○) が最も反射を抑制していることが
 判明している。

	反射有り (×)	反射なし (ピーク時) (△)	反射なし (○) (ピーク時、ワースト時)
ピーク時			
ワースト時			

図 2.3.24 円偏光フィルタを用いたカメラ 1 の撮像画像

2.3.4.6 鏡面反射抑制手法の全カメラへの展開

ここでは6台のカメラ全てに対して有効な光源位置および設置する円偏光フィルタの角度を検討し、6面の撮像画像に対し鏡面反射抑制性能が最適な設置条件を明らかにする。

光源を2箇所設置して図 2.3.25 の組み合わせ実験を実施し、撮像部の鏡面反射抑制性能を最適化する光源位置を特定する。

ただし、光源に設置する円偏光フィルタの角度は統一する。検査番号ごとに撮像画像を解析し、番号1番、2番、および3番の光源位置では、カメラに対し鏡面反射抑制は小さいことが判明した（オレンジ枠内）。また、4番、5番、および6番の光源位置(図 2.3.26 を参照)では、カメラに対し鏡面反射抑制性能は大きいことが判明した。よって組み合わせ実験より、光源設置箇所が光源番号3, 5の間および光源番号7, 9の間である場合、6台全てのカメラに対して鏡面反射抑制効果が大であることが判明した。

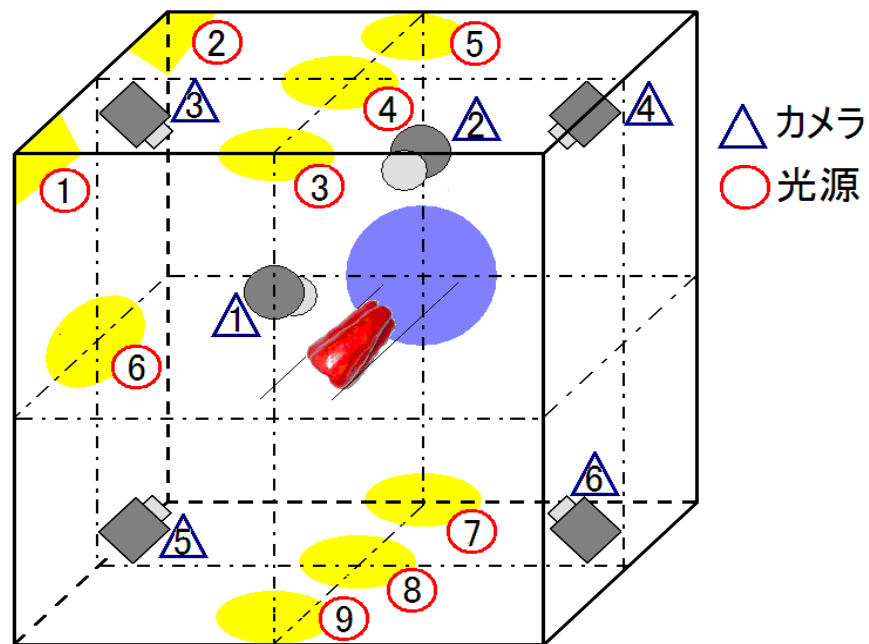
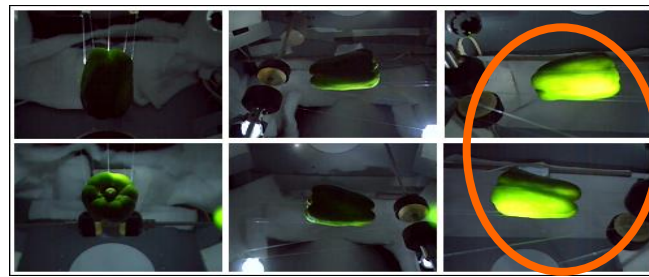
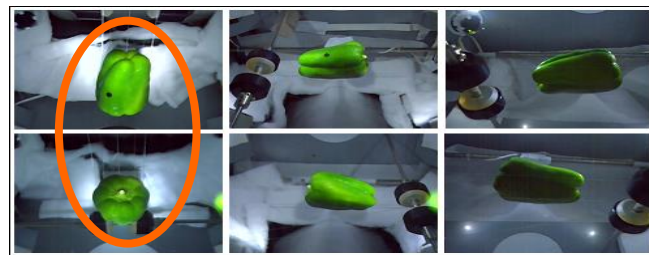


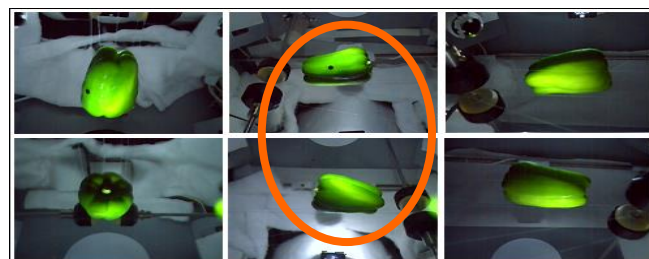
図 2.3.25 撮像部でのカメラと光源の位置関係



(a) 4番



(b) 5番



(c) 6番

図 2.3.26 カメラと LED の組合せ実験結果

2.3.4.7 キズの認識再実験

新撮像環境下での撮像画像によるキズの検査性能を、従来の撮像環境下での撮像画像と比較すると表 2.3.4 の様に、部位によって検査性能のばらつきが少なく 75%から 85%の平均的な性能向上を確認できた。(実験条件：3mm×3mm の黒マーカー、ピーマン 4 個に対してそれぞれ 5 回、計 20 回の評価)

表 2.3.4. 反射を減らすことによる傷の検査性能

	1 番	2 番	3 番	4 番	平均
円偏光フィルタ無し	100	40	80	80	75
円偏光フィルタ有り	80	80	100	80	85

2.3.5 まとめ

本研究では、農業専従者の手作業により行われている赤ピーマンの目視検査による選別作業を自動化するための具体化手法の一例を提案した。

分離搬送部に用いている独立駆動系の分離性能を確認するため、赤ピーマンに対して搬送性能評価実験を行った結果、搬送成功率は 75.2%であることが確認でき、また、分離失敗、ロール、巻き込みおよびつまりという複数の搬送項目を確認した。

また、識別性能では大きさ、形状およびキズに対する実験を行い、サイズの識別率は 100%、形状不良は 82.7%、キズ有りは 75%の識別率をそれぞれ確認した。

以上より、楕円体状青果物の全面検査選別はセンサ駆動型独立搬送系と 6 面同時撮像を実施することで可能であると考えられる。

本装置の検査対象における適応範囲として、回転楕円体に近似できる形状および重量特性が赤ピーマンと類似するナス、キュウリ、唐辛子などの長楕円体状青果物であれば、検査対象として普遍的に適応可能と考えられる。

また、撮像部においては対象の 6 面を同時撮像できることから球体にも応用可能と思われる。

今後、ベルトコンベアの段の追加および独立駆動系の動作に逆回転を追加することにより、分離性能の向上を目指す。また、反射に対しては特定周波数通過型光学フィルタの導入が有効と思われる。

今後、ベルトコンベアの段の増設ならびに独立駆動系の動作に逆回転を追加することにより、分離性能の向上が図れると考察できる。さらに、必要と予想されるピーマンの色ムラの識別にNNの導入が有効と想定でき、これらによりシステムの検査性能の向上を図れると思われる。

第3章 むすび

現在，多くの生産現場での部品検査は人間の能力に頼る目視検査が主流となっており，検査もれなどのヒューマンエラーの発生は避けられない。また，検査員の技量によっても結果にばらつきが生じるため，検査基準の認識に解釈に曖昧性があるため，検査結果にもばらつきが生じている。

本研究では，このような問題を解決するため，自動化、省力化，及び効率化を目指した外観検査システムを提案した。

このような自動検査システムを実現するためには，大きく分けて搬送における機械工学的な課題，撮像における光学的な課題，及び識別における情報工学的な課題を解決する必要があり，それらの課題は複雑に関連しているため，統一的な視点から課題の解決を図る必要があった。

まず，機械工学的な課題としては，検査対象である個々の部品をビン状態（バラ積み状態）から検査対象を一つに分離し検査する必要があるため，本研究では検査対象の形状によって，厚さを考慮しない場合（2次元物体）と厚さを考慮しなければならない場合（3次元物体）に分類し，種々の検査対象に適応した自動外観検査装置を分離搬送機構と画像処理技術及び判定技術をふまえ，包括的に提案した。

まず始めに，2次元対象個別分離型独立搬送系から，その有効性を実験的に示すため検査対象として海産物である一夜干しした“いりこ”を取り扱い，目視検査の自動化を前提とした検査装置の実現として，2次元対象個別分離型独立搬送系から，その有効性を実験的に示した。独立搬送部においては，まずビン状態のいりこを一匹ずつに分離する必要があるため，6段の独立駆動ベルトを用いて分離性能を検証した。

搬送部および選別部の問題点を記述し，その問題点を解決するためにいりこ検査システムの改良について記述した。また，改良を行ったいりこ検査システムを用いて，システムの分離搬送能力を検証するとともに，特徴抽出法の回転普遍性を検証し，今後の課題を記述した。

分離搬送部の改良により，ルアーの分離搬送成功率は 100%という結果が得られた。ま

た、本物の魚類の分離搬送成功率は 88%という結果が得られた。しかし、いまだ 2%つまりが発生していた。つまりの原因として剛体であるルアーに比べ、釜揚げされた魚類には弾性および粘り、および形状にバラツキがあるためだと考えられる。このことからガイドの再設計を行い、つまりの抑制を行いながら、いりこの分離搬送に最適なガイドの製作を行う必要がある。また、ガイドの設置により検査対象が一定の範囲内に搬送されていることが確認された。このことから、現在用いている Web カメラの変更および撮像距離の短縮により、より多くの特徴を持った画像が撮像でき、選別能力が向上するのではないかと考えられる。

撮像部の改良により、単純な模様に対して、未学習選別率は全て 100%という結果が得られた。これにより 2DFFT が正常に動作し、単純な模様に対する回転普遍である特徴抽出が可能であることが判明した。そして、より複雑な模様である図鑑画像に対して、未学習選別率が 30° 学習では 97.0%、15° 学習では 98.4%、10° 学習では 99.3%と高い識別率を得ることができた。また、魚類を用いた回転普遍性能確認実験より、未学習選別率が 30° 学習においては 98.9%であることが判明した。選別失敗の原因として現在用いている光源による検査対象の影のつき方に問題があると考えられる。このことから、光源を変更することにより、光の当たり方による影を無くし、より正確な特徴抽出を行うことが可能であると考えられる。また、15° 学習および 10° 学習において 100%と高い識別率を得ることができた。

今後は、Web カメラの変更、撮像距離の短縮および光源の変更によるいりこ検査システムの改良を行い、同一種類の魚類を複数匹用いて同種の魚種間における大きさおよび模様に対する検査能力の検証を行う。

さらに分離搬送の性能を高めるためには独立駆動ベルトの段数を 7 段以上に増やす必要があると考察した。独立駆動ベルトの段数と分離成功率の相関を立証することにより、確実な検査の自動化を確立していくことを目指している。

次に、2 次元物体の自動検査対象として、薄さ 0.15mm の自動車のシートベルトに張り付ける品質保証の注記を記した“タグ”を取り上げた。

二次元検査対象として Web カメラを用いた卓上式タグ印刷面検査システムの開発につ

いて述べ、タグの1枚繰り出しと搬送、および撮像についての独自の提案を行った。

特に製造過程で不具合としての発生頻度が高いとされるカスレについて、実験により検査性能を確認し、その有効性を実験で示した。

薄物であるタグは堆積状態から一枚に分離するには種々の課題を解決する必要がある、最上部のタグを吸引すると同時に屈曲させる構造を考案した。こうした工夫により分離搬送性能 99.88% と高い精度で達成できた。

撮像部においてはタグ印刷面の場所による輝度ムラを抑制するために隅々まで光量が及び、照射量の均一性も確認されたボックス型光源を採用した。

検査部では、撮像画像にタグ表面の反った状態の影響が表れたため、通常の2値化では正しい印刷画像が現れない問題点が発生した。そこで、撮像領域全体を小領域に分割し、小領域ごとに適切な閾値を用いた適応的2値化手法導入することにより 0.3mm×0.3mm までの大きさのヨゴレが検出可能であることが判明した。

しかしながら、実験用に記したヨゴレ以外をヨゴレとして誤検出することがあった。この問題を解消するため、今後の課題としてホコリを取り除く機構の開発が必要であることも考察した。

最後に、三次元の検査対象について述べるため、農業専従者の手作業により行われている赤ピーマンの目視検査による検査作業を自動化するための具体化手法の一例を提案した。

分離搬送部に用いている独立駆動系の分離性能を確認するため、赤ピーマンに対して搬送性能評価実験を行った結果、搬送成功率は 75.2% であることが確認でき、また、分離失敗、ロール、巻き込みおよびつまりという複数の不具合項目を確認した。さらに、識別性能に対しては大きさ、形状およびキズに対する実験を行い、サイズの識別率は 100%、形状不良は 82.7%、キズ検知は 75% の識別率をそれぞれ確認した。

以上より、長楕円体状青果物の全面検査選別はセンサ駆動型独立搬送系と6面同時撮像を実施することで可能であると考察できた。また、本搬送機構によれば回転楕円体に近似できる、例えば、きゅうり、ナス、唐辛子などへの適用も比較的容易と思われる。ただし、撮像部においては検査対象の6面を同時撮像できることから球体にも応用可能と思われる。

今後、ベルトコンベアの段の追加および独立駆動系のベルト動作に逆回転を追加するこ

とにより、分離性能の向上を目指す。また、反射に対しては特定周波数通過型光学フィルタの導入が有効と結論付けた。

本研究では、数々の部品をビン状態から1個に分離する搬送機構を中心に自動検査装置を提案し、実験によりその有効性を実証した。

以上から、本論文では検査対象の形状的特性（表面状態、重さ、突起、起伏、厚みなど）に応じた分離搬送系と認識手法を提案し、その有効性を実験的に示したが、これらの知見を元に検査対象の形状的特性にとらわれない汎用性のある分離搬送技術の開発が今後、特に必要と思われる。そのためには、センサをトリガとする独立駆動系によるベルト搬送だけでなく、ロボットハンドなどの併用も検討する必要がある、認識機構と複数のロボットハンド、さらに複数のベルト群をセンサおよび画像認識結果により統合的に駆動させる物流システムの構築が必要と考える。

参考文献

- [1] 検査技術委員会, “検査技術の現状と展望”The Current and Future Prospects in Test Technologies, エレクトロニクス実装学会誌 Vol. 12 No. 1 (2009)
- [2] M.Nakai,H.Satoh,and F.Takeda: “Proposal of an Automatic Fish Sorting System by Intelligent Image Processing”,Proc.of 2008 WorldAutomation Conference (2008)
- [3] 佐藤公信・竹田史章・香川真也:「知的高速選別システムの独立駆動系による搬送系の実現」, 高速信号処理応用技術学会論文誌, Vol.9, No.1,pp.42-47 (2006)
- [4] 佐藤公信・竹田史章・東幸靖・西蔭紀洋:「2次元高速フーリエ変換を特徴抽出に用いた知的高速選別システムの開発」, 高速信号処理応用技術学会論文誌, Vol.9, No.1, pp.48-54 (2006)
- [5] Y. Shiraishi and F. Takeda,“Development of a Camera-based Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using Neural Networks”, Proc.of 10th International Work-Conference on Artificial Neural Networks (IWANN 2009), Part II, pp.203-210(2009)
- [6] H. Satoh, F. Takeda, Y. Shiraishi, and R. Ikeda: “Development of a Awakening Behavior Detection System Using a Neural Network”,IEEEJ Trans. on EIS,128(11), pp.1649-1656(2008) (in Japanese)佐藤公信・竹田史章・白石優旗・池田理恵:「ニューラルネットワークを用いた起床検知システムの開発」, 電学誌 C, Vol.128, No.11, pp.1649-1656 (2008)
- [7] F. Takeda, Y. Shiraishi, and T. Sanechika, “Alarm Sound Classification System of Oxygen Concentrator by Using Neural Network”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Special Issue on Innovative Computing Methods in Management Engineering, Vol.3, No.1, Feb., pp.211-222(2007)
- [8] Y. Shiraishi and F. Takeda,“Classification of Driver Drowsiness Levels Using In-vehicle Sensors by Neural Networks”, Proc.of the 7th Int.Conf.on Optimization: Techniques and Applications (2007)
- [9] Y. Shiraishi, F. Takeda, T. Nishikage, M. Uechi, and K. Sasaki, “A Study of Driver State Classification Using In-vehicle Sensors by Neural Networks”, Proc.of the First World Congress of the International Federation for Systems Research(2005)
- [10] F. Takeda, T. Nishikage, and Y. Fujita, “Development of Self-Learning Neuro-Recognition Board for Banknotes and its Wide Use Expansion”,Trans.on IEEJ,part C,121(2), pp.357-365(2001) (in Japanese)竹田史章・西蔭紀洋・藤田靖:「自己学習型ニューロ紙幣識別ボードの開発とその汎用展開」, 電学誌 C, Vol.121, No.2, pp.357-365 (2001)
- [11] F. Takeda and S. Omatsu, “High Speed Paper Currency Recognition by Neural Networks”, IEEE Trans. on Neural Networks, Vol.6, No.1, Jan., pp.73-77(1995)
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, “Digital Image Processing, 3rd edn.”, Pearson Education, Inc(2008)
- [13] 尾方巖, “小型ラベル印字品質画像検査装置 TF0-10 印字品質検査にターゲットを絞った小型, 安価な画像処理装置”, 日本工業出版, 画像ラボ 8(5), 28-30, 1997-05

- [14] 大沢雅之, シューカート ダグラス, “コンパクトディスク印刷検査への画像処理応用”, テレビジョン学会技術報告(巻号一覧), テレビジョン学会技術報告 14(49), 19-24, 1990-09-21
- [15] 中谷信幸, 竹田史章: “軟質シート状タグを対象とした印刷面知的検査システムの開発”, 高速信号処理応用技術学会誌 第 15 巻 第 1 号(通巻 36 号) 平成 24 年 12 月号
- [16] 特開 2012-25515(P2012-25515A), “紙葉類の厚さ検出装置および紙幣取扱装置”, 日立オムロンターミナルソリューションズ株式会社
- [17] Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, “Development of a Camera-Based Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using Neural Networks”, Lecture Notes in Computer Science Volume 5518/2009, pp.203-210, 2009
- [18] Yukiyasu Higashi, Fumiaki Takeda, "Proposal of Plastic Parts Inspection System by the Neural Network", International Conference on Intelligent Technology 2006 Taiwan, pp.31-35, 2006
- [19] Shingo Tamura, Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, "Development of an Experimental Device of Automatic Inspection for Printed Labels and Extension to Its Prototype", The 6th International Conference on Information Technology and Applications, p98-p102, 2009
- [20] Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, "Development of a Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using a Web Camera", Proceedings of the Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA 2008), Kaohsiung, Taiwan, Vol.3, Nov. , pp.381-385, 2008
- [21] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Third Edition, Wiley-Interscience 2008, pp.756-761, 2008
- [22] 松良一, 山田宏向, “画像処理工学”, 株式会社コロナ社, 2000, ISBN4-399-04398-2
- [23] Maeda H. Surface inspection device for object(物体外観検査装置), 実用新案公開平 7-43779
- [24] Kinoshita S. , Shiomi T. , Ohta H. Multiple imaging device under indirect lighting condition to grade lump-shaped agricultural products(塊状青果物のカメラ選別機に用いる間接照明型多面撮影装置), 特許公開平 8-5563Keer, L.M. et al., Resonance Effects for a Crack near a Free Surface, *Transaction of the ASME, Journal of Applied Mechanics*, Vol. 51, No.1 (1986), pp. 65- 69.
- [25] Okada K. , Itou K. , Ikeura K. , Katayama Y. , Iwami K. , Kawase M. Imaging device for grading(選別用の撮影装置), 特許公開平 11-132739
- [26] Fujiwara M. , Ikeura K. Inspection device for agricultural products(農産物の検査装置), 特許公開 2000-84495

- [27] Ishii T. Inspection device for products(物品検査装置), 特許公開 2000-237696
- [28] Andrew, W. 2002. Vision system grades moving food products. Vision System Design. PP.26-29(2002-6)
- [29] Yamamoto Y. , Nakamura S. , Kikuchi A. , Makino H. Measurement device to agricultural products(農産物選別用の計測装置). 特許公開 2001-4342
- [30] shii, T. , Toita, H. , Kondo, N. , Tahara, N. 2003. Deciduous fruit grading robot (Part 2) -Development of image processing system. J. JSAM 65(6) pp.173-183(2003) (in Japanese)
- [31] 竹田史章, 一柳賀子, 都築健夫, 門田浩, 島内聡ニューラルネットワークを用いた流下米選別システムの開発“, 高速信号処理応用技術学会誌第 5 第 2 号 pp.10-17(2002)
- [32] Masaya Kagawa, Hironobu Satoh , “Fumiaki Takeda Development of High-speed Intelligent Sorting System for Dry Fishes on Photography Environment”, Tech2006, Taipei, Taiwan, pp.229-233 (2006)
- [33] 佐藤公信, 竹田史章, 香川真也, ”知的高速選別システムの独立駆動系による搬送系の実現”, 高速信号処理応用技術学会論文誌, 第 9 巻第 1 号, pp.48-54(2006)
- [34] 佐藤公信, 竹田史章, 東幸靖, 西蔭紀洋, ” 2 次元高速フーリエ変換を特徴抽出に用いた知的高速選別システムの開発”, 高速信号処理応用技術学会論文誌, 第 9 巻第 1 号, pp.48-54(2006)
- [35] Masato Nakai, Hironobu Satoh, Fumiaki Takeda, ” Proposal of an Automatic Fish Sorting System by Intelligent Image Processing”, World Automation Congress (WAC) Waikoloa, Hawaii, USA CD-ROM(2008)
- [36] Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, “Development of a Camera-based Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using Neural Networks”, International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence 2009 CD-ROM (2009)
- [37] Shingo Tamura, Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, ” Development of an Experimental Device of Automatic Inspection for Printed Labels and Extension to Its Prototype”, The 6th International Conference on Information Technology and Applications(ICITA2009)Hanoi, Vietnam, CD-ROM (2009)
- [38] Nobuhisa Yamanaka, Hironobu Satoh, Fumiaki Takeda, ” Development of an awakening detection system with the NN and adaptation for fluctuation of brightness quantity in the captured image”, The 6th International Conference on Information Technology and Application(ICITA2009)Hanoi, Vietnam, CD-ROM(2009)
- [39] Hunter, Richard Sewall (1948 July). “Photoelectric Color-Difference Meter”. *JOSA* 38 (7): 661. (Proceedings of the Winter Meeting of the Optical Society of America)

- [40] 竹田史章, 中谷信幸, 白石 優旗: “橢円体状成果物を対象とした全面同時撮像による全面検査システムの提案”高速信号処理応用技術学会誌 第14巻 第1号(通巻34号) 平成23年6月号
- [41] Nobuyuki Nakatani, Yuhki Siraishi, Fumiaki Takeda, International Cooperative Discussion about Development of oval-shaped agricultural product inspection and sorting system with simultaneous six-angle photograph taking (sensor oriented machine control), International Joint Discussion between CAIRO in UTM and Research Center for Development of Intelligent Recognition Systems in KUT for Artificial Intelligence and Sensor Oriented Mechanical Control, Center for Artificial Intelligence and Robotics, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, (2010/9)
- [42] Nobuyuki Nakatani, Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, "Development of Oval-shaped Agricultural Product Inspection and Sorting System with Simultaneous Six-angle photograph Taking", International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization Malaysia, Presentation(2011/4)

研究論文，学術論文，研究会講演等リスト

学術論文

- (1) 中谷信幸，竹田史章：“軟質シート状タグを対象とした印刷面知的検査システムの開発”
高速信号処理応用技術学会誌 第15巻 第1号(通巻36号) 平成24年12月号
- (2) 竹田史章，中谷信幸，白石 優旗：“楕円体状成果物を対象とした全面同時撮像による
全面検査システムの提案”高速信号処理応用技術学会誌 第14巻 第1号(通巻34号)
平成23年6月号

国際会議

- (3) Nobuyuki Nakatani, Yuhki Siraishi, Fumiaki Takeda, International Cooperative Discussion about
Development of oval-shaped agricultural product inspection and sorting system with
simultaneous six-angle photograph taking (sensor oriented machine control), International
Joint Discussion between CAIRO in UTM and Research Center for Development of
Intelligent Recognition Systems in KUT for Artificial Intelligence and Sensor Oriented
Mechanical Control , Center for Artificial Intelligence and Robotics, Universiti Teknologi
Malaysia, Malaysia, (2010/9)
- (4) Nobuyuki Nakatani, Yuhki Shiraishi, Fumiaki Takeda, "Development of Oval-shaped
Agricultural Product Inspection and Sorting System with Simultaneous Six-angle photograph
Taking", International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization
Malaysia, Presentation(2011/4)

特許

- (5) 竹田史章，中谷信幸，“鋼球の刻印認識システム”特願2009-165793(審査請求中)

学会発表

- (6) 中谷信幸，竹田史章：“知的搬送技術によるセンサ駆動型独立搬送機構の提案”
2011 高速信号処理応用技術学会研究会，2011.8
- (7) 中谷信幸，竹田史章：“軟質シート状タグを対象とした印刷面知的検査システムの開発”
2012 高速信号処理応用技術学会研究会，2012.8

謝 辞

本研究は、2008 年に竹田教授のご指導のもと開始しました。それから今日に至るまで、直接懇切なご指導とご鞭撻を賜り、また、人工知能のご教示をいただき、本論文の完成に向けて公私ともにお導きいただきました高知工科大学の竹田史章教授に深く感謝いたしますとともにお礼申し上げます。

そして、本論文を完成させるにあたり、有益なご教示を賜りました高知工科大学井上喜雄教授、岡宏一教授、大塚幸男教授、芝田京子準教授に感謝申し上げます。

国際会議ではマレーシア工科大学 Marzuki Bin Khalid 教授、Rubiyah Yusof 教授ご夫妻に暖かいご配慮を頂き、また、武蔵工業大学曾禰元隆教授(現 DSP 応用技術研究所)より論文指導、有益な助言も賜りました。

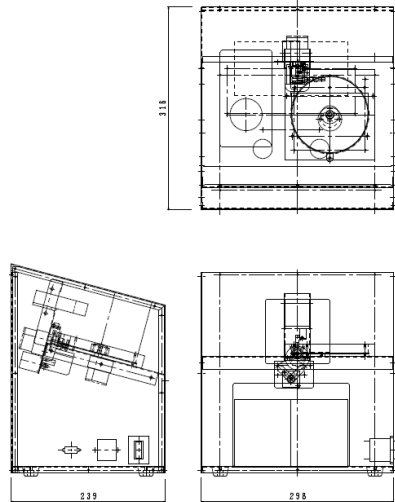
さらに、博士課程知能機械創造論でご指導いただいた竹内彰敏教授、百田佐多生準教授のご指導により、幅広い知識に触れ、研究のあり方を示唆していただきました。

こうした方々の支えにより本論文が完成できましたことに感謝いたしますとともにお礼申し上げます。

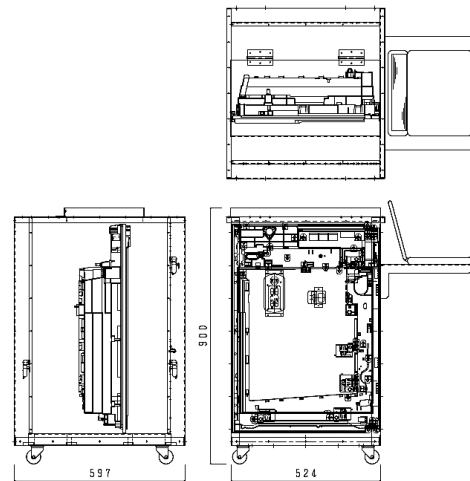
また、高知工科大学在学中、数々の事務処理を助けて頂いた秘書の濱田さん、数々の実験の手伝いをしていただいた竹田研究室の学生の皆さんに感謝いたします。

最後に、研究・開発の日々を支えてくれました妻育代に感謝します。

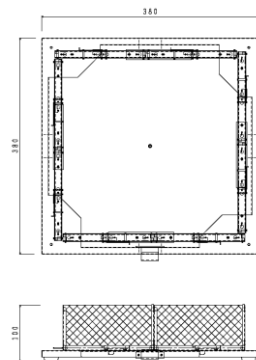
付録 (各種外観検査実験装置)



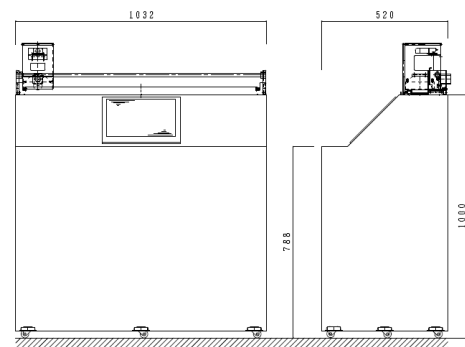
プラスチックワッシャ検査装置 (2008/11)



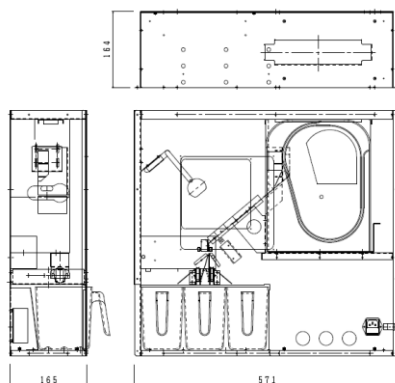
遊技台検査装置 (2009/5)



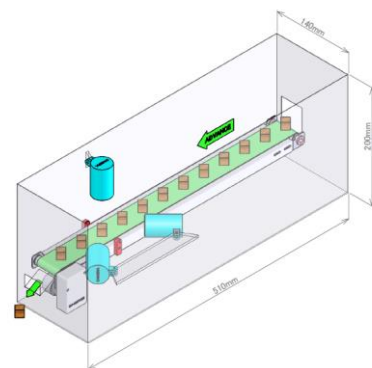
害獣捕獲実験装置モデル (2009/6)



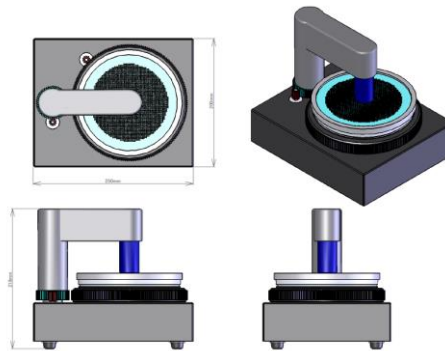
鋳剤検査装置 (2010/2)



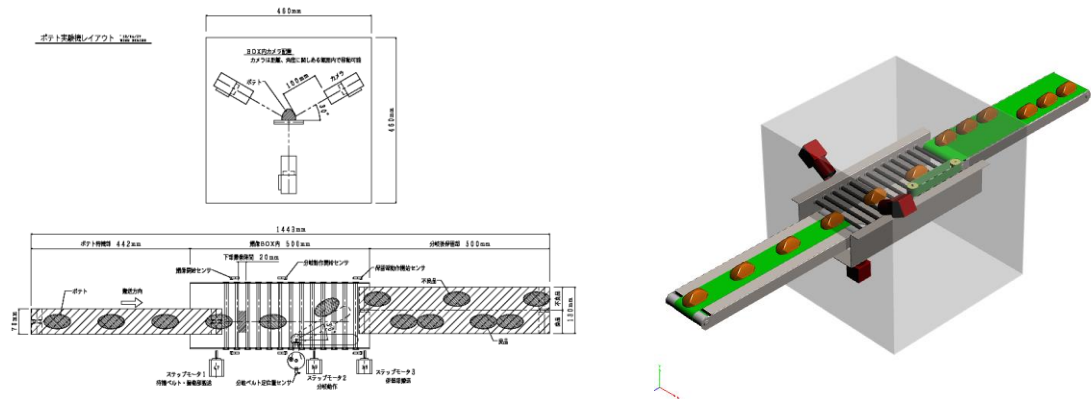
硬貨識別装置 (2010/4)



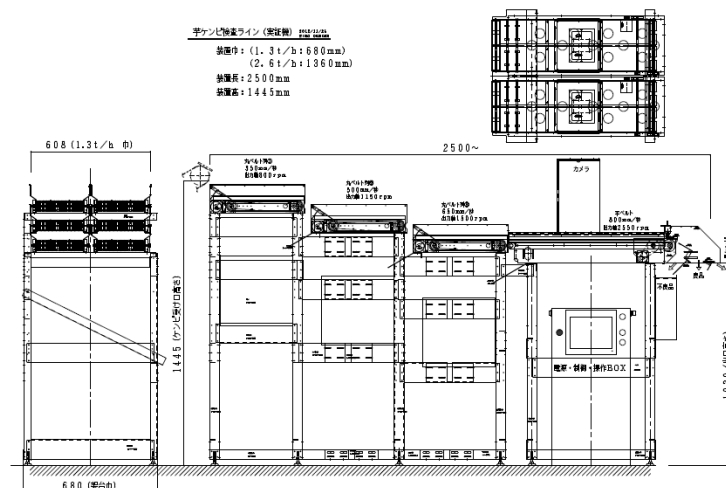
ウッドチップ検査装置 (2010/7)



半導体チップ検査装置(2011/5)



スリットポテト検査装置(2011/10)



芋ケンピ検査装置(2012/8)