

最新現場改善手法を総集編で一気にマスター

画像道場

セミナー/研修
プロ講師 平井
が教えます!!

はじめに

- ・画像処理（カメラ検査）に興味はありますか？
 - ・貴社のラインで目視検査をしていて、「これを自動化したい」と考えたことはありますか？
 - ・画像処理を検討したけれど、難しそうで分かりにくくて導入を見送ったことはありますか？
- これらの質問に思い当たるところがあれば、ぜひこの資料をお読みください。
貴方をFA関連画像処理のプロにするための講座を今回公開させていただきます。

道場其の1	▶ 入門編	CCD（画素）と画像処理の基礎	P2
道場其の2	▶ 初級編①	レンズ選定の基礎と画像処理への効果	P4
道場其の3	▶ 初級編②	論理的に照明を選定する方法	P7
道場其の4	▶ 中級編①	カラーカメラの効果と前処理について	P10
道場其の5	▶ 中級編②	外観検査/傷モードの原理と最適な設定方法	P13
道場其の6	▶ 中級編③	寸法測定/エッジ検出の原理と活用方法	P16
道場其の7	▶ 中級編④	位置測定/サーチモードの原理と活用方法	P19
道場其の8	▶ 上級編①	位置補正のしくみを理解して移動体を正しく検査する	P22
道場其の9	▶ 上級編②	最適な処理結果の出る画像に加工する／前処理フィルタについて（前編）	P25
道場其の10	▶ 上級編③	最適な処理結果の出る画像に加工する／前処理フィルタについて（後編）	P28
道場其の11	▶ 実践編	現場で使える外観検査設定方法	P30

↓ 1-1 画像センサの代表的用途

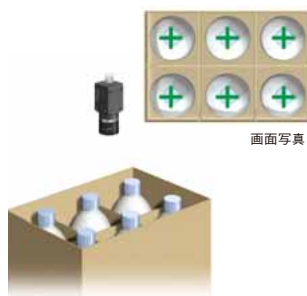
画像処理は、対象物を2次元の面でとらえることができるという特長を持っています。

それにより、**目視検査**や**目視チェック**に代わる自動検査に広く活用されるようになってきました。

画像センサの4大用途

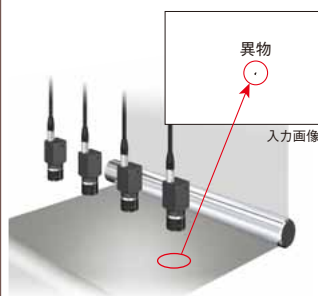
画像センサの使い方は大きく分けると以下の4つに分けられます。それぞれ様々な業界で使われる用途です。

1 数量・欠品検査



包装箱内の本数カウント
箱内のピンの本数をカウントします。

2 異物・キズ・欠陥検査



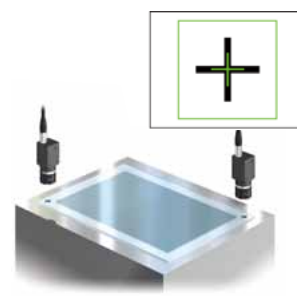
シート上のピンホール・異物付着検出
シート表面の異物やピンホールを検出します。

3 寸法計測



コネクタピンのコプラナリティ測定
ピンのコプラナリティを1つのウィンドウで測定します。

4 位置計測



液晶ガラス基板の位置決め
アライメントマークの位置を輪郭情報を
用いたサーチで検出します。

貴社の商品で検査すべき内容の多くが、上の『画像センサの4大用途』に当てはまると思います。『～（貴社のワーク）の～検査』と当てはめて考えてみてください。

↓ 1-2 撮像素子CCDについて

デジタルカメラは、従来のフィルム式カメラ（アナログ式）の構造とほとんど同じです。違うのは、デジタルカメラではフィルムのかわりにCCDと呼ばれる撮像素子があることで、ここで画像がデジタル情報として取り込まれます。CCDはアナログ式カメラでいえば、フィルムに相当するものですが、ではどのようにして画像をデジタル信号に変換しているのでしょうか。



CCDはCharge Coupled Device（電荷結合素子）を略したもので、画像を電気信号に変換して取り出す半導体の素子です。大きさは縦横1センチメートル程度で、基盤の目のような格子状に並んだ小さな画素（ピクセル）からできています。

風景などをカメラで写すとき、被写体からの光がレンズを通してCCD上に像を結びます。

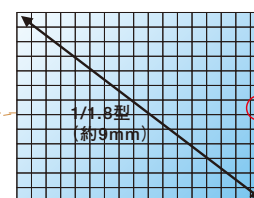
CCDのひとつの画素に光が当たると、光の強さに応じた電荷が生じます。

その電荷の大きさを電気信号として取り出すことで各画素の光の強さ（濃度値）が得られます。

つまり、ひとつひとつの画素が光の強さを検出できるセンサ（フォトダイオード）であり、200万画素CCDとは200万個のフォトダイオードの集合体なのです。

ある決まった場所の、決まった大きさの物の有るか無いかであれば、光電センサ1つで検出可能です。しかし、ライン上で場所が決まらない場合、ワークの大きさが複数種類ある場合、有る無しでなく大きさを検出する用途、寸法を測定する用途、外観検査をする用途などになると、センサ1つでは検出不可能です。

ここで、数十万～数百万個のセンサの集合体であるCCDを使うことで検出できる用途が大きく広がり、上記の4大用途をはじめとする多くの用途で役立つ機器となります。



↓ 1-3 画素データの画像処理への活用方法

ここまででCCDの各画素が光の強さを検出して数値化し、その数十万～数百万データの集合体を使って様々な画像処理が可能になることはご理解いただけましたでしょうか？

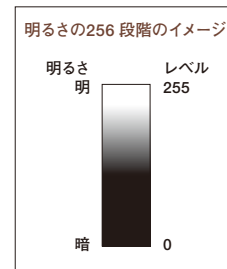
今回の講座での最後は、各画素は光の強さをどんなデータとしてコントローラに伝えて、コントローラはそのデータをどのように処理しているのかを簡単に説明します。

《各画素のデータ》(最も汎用的な白黒カメラを例に説明します)

画像センサの多くは各画素が光の強さによって伝えるデータを256段階(8ビット)としています。基本は白黒処理なので、黒(黒の中でも真っ黒)を数値『0』として、白(白の中でも真っ白)を数値『255』として、各画素が受けた光の強さを数値に変換します。

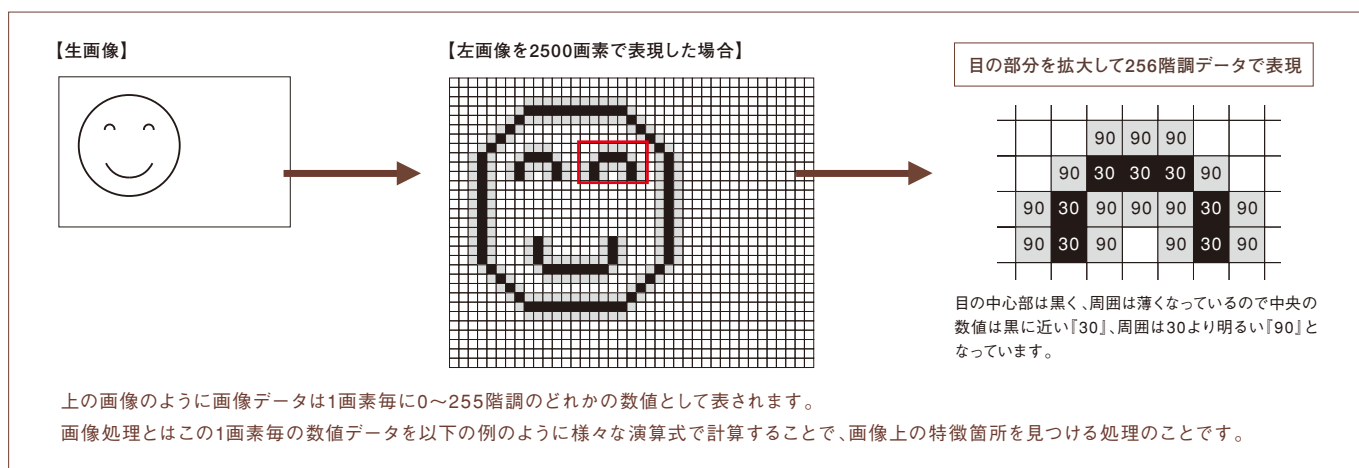
つまり、CCDの全ての画素は0(真っ黒)から255(真っ白)の内、どれかの数値をもっていることになります。

例えば、白と黒が完全に半分ずつ混ぜられた灰色なら『127』と数値化されることになります。



《画像は256階調データの集合体》

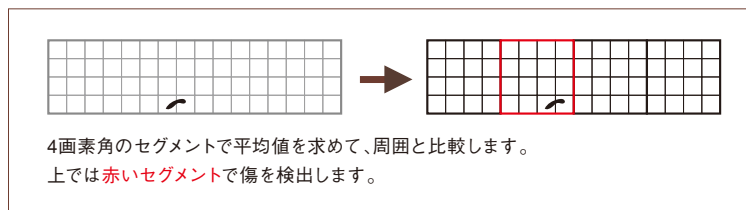
CCDで撮像された画像データは、CCDを構成する画素データの集まりであり、画素データは256階調の濃淡データで表されます。



例1) 傷／欠陥検査

計測枠内をセグメントという小単位(数画素角)に分けて、小単位内の平均濃度データ(0～255)を求めた上で、この数値を周囲と比較します。

比較の結果、一定以上の数値変化があった箇所を傷／欠陥と検出します。



入門編のまとめ

CCD とは数十万～数百万のセンサの集合体。

そのCCD を使うことで1つのセンサでは検査が難しい用途に活用できる。

画像処理センサとは撮像素子CCDの各画素の256階調濃度データを使用して、

面積＝画素数、位置＝濃度変化点、傷＝濃度変化量などを検出する機器のことです。

情報量を多くするための高画素化、ラインで使うための高速化により様々な用途に活用できます。

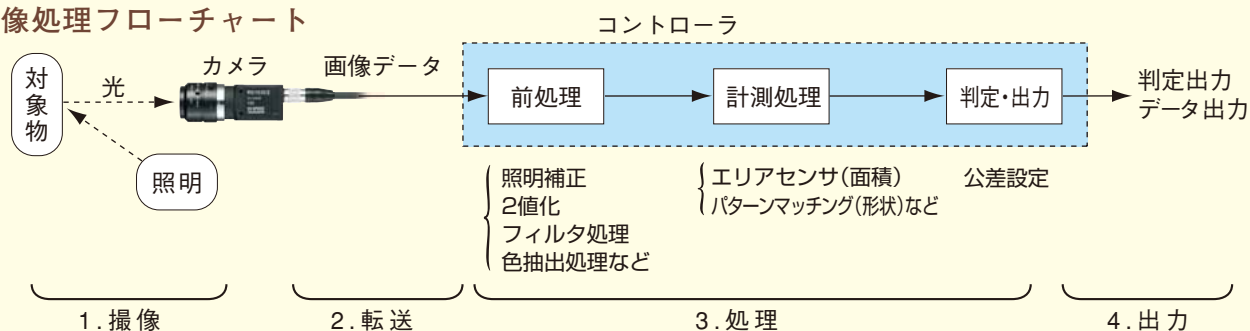
今回のテーマは「**レンズと照明**」です。画像処理は画素濃度データの変化を計算により検出する処理なので、明瞭な画像を映すことが安定検出に必要です。そのポイントとなる「**レンズ**」と「**照明**」の活用方法について説明いたします。

↓ 2-1 画像処理の構成

画像処理は大きく分けると次の4つのステップで構成されます。

- 1 撮 像 シャッターを切り、画像を撮影する
- 2 転 送 カメラからコントローラへ画像データを送る
- 3 処 理 前 処 理:画像データを加工して特徴点を画像上で分かりやすくする
計測処理:画像データより傷や寸法などを計測する
- 4 結果出力 処理結果を接続された制御機器(PLC等)に信号として送る

画像処理フローチャート



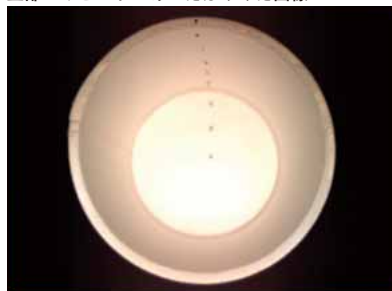
画像センサ各メーカーのカタログには『3.処理』に関する説明が多く、コントローラの処理能力が重要視されがちですが、実は正確で安定した画像処理に一番大事な項目は『1.撮像』です。この撮像のカギを握るのが『**レンズと照明の選定**』です。初級編ではこの『**レンズ選定**』を中心に、撮像に関して説明します。

↓ 2-2 撮像が画像処理に与える影響

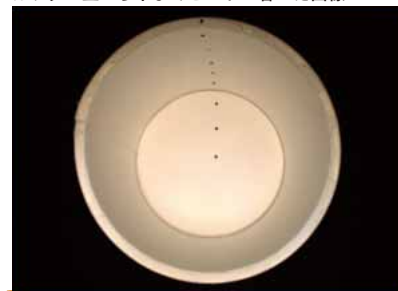
Q カップ内側の異物・汚れを目的とした場合、下の2枚の画像ではどちらが小さな汚れを全範囲で検出できるでしょうか？

A 答えはもちろん右側の画像です。

上部のみピントのあったぼやけた画像



カップの上から下までピントの合った画像



どんなに高性能なコントローラを使っても左の画像では小さな汚れ検出は不可能です。カップのように上から下まで高さの差があるワークでも正しい知識があれば、右のように全範囲でピントのあった良い画像を映すことができます。

➡ 次のページ 3 ピントの合った画像を作る方法 を見てください。

2-2 のポイント

画像処理において、撮像は最も重要です。
高精度に安定した検査を行なうには、以下の3点が一番の近道です。

対象物を大きく映す

ピントの合った画像を映す

明るくはっきりした画像を映す

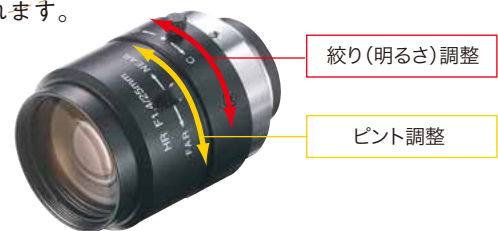
↓ 2-3 レンズの基礎と選定方法

1 レンズ構造

構造的にカメラ用レンズは、複数のレンズと絞り／ピント調整機構から構成されます。

絞り(明るさ)調整とピント調整はモニタ画面を見ながら人が『明るくて綺麗』な画像になるように調整します。

(レンズによっては調整機構が固定のものもあります)



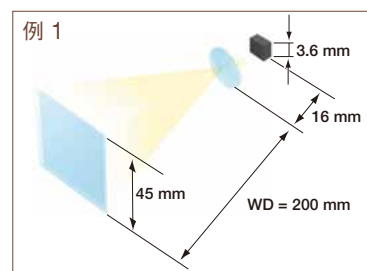
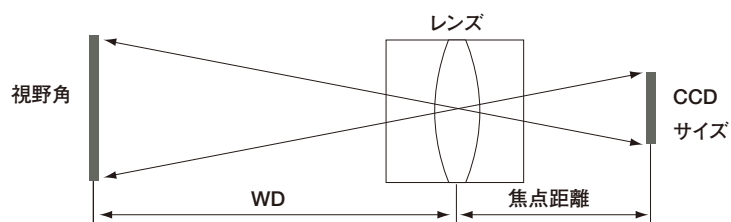
*レンズ選定には視野・焦点距離・ピント・歪みなど様々なポイントがありますが、今回はその中でも全ての用途で確認すべき項目である『視野からレンズを選定する方法』と『ピントが合う画像を作る方法(被写界深度を深くする方法)』の2つを解説します。

2 レンズの焦点距離と視野の求め方

レンズの仕様の一つとして「焦点距離」があります。

FA用のレンズには代表的なものとして、8mm/16mm/25mm/50mmといった仕様のレンズがあります。

撮像したい対象物に必要な視野と焦点距離から、焦点の合う位置＝WD(ワークディスタンス)を求めることができます。



WDと視野の大きさは、レンズの焦点距離とCCDのサイズで決まり、接写リングが不要な最至近距離以上では、次の比例式で表されます。

WD: 視野角 = 焦点距離: CCD サイズ

例1: 焦点距離16mmレンズ、CCDサイズ3.6mmの場合、視野を45mmにするには、WDは200mmとなる

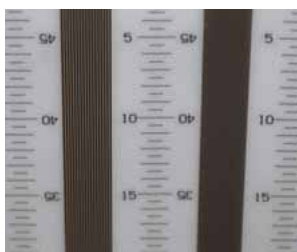
3 ピントの合った画像を作る、被写界深度(ピントの合う高さ範囲)を深くする方法

- 1 焦点距離が短いレンズほど、深度の範囲が深くなります。
- 2 対象物までの距離が遠くなるほど、深度の範囲が深くなります。

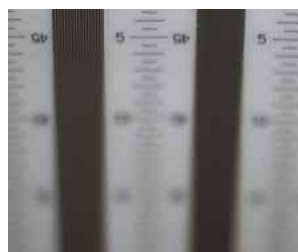
▶ 接写リングやマクロレンズを使用した場合に被写界深度が浅くなるので注意が必要です。

- 3 絞りを絞っている状態ほど深度の範囲が深くなります。

▶ 同じレンズでも絞りを絞って、明るい照明で照らした方が、ピントが合いやすくなります。

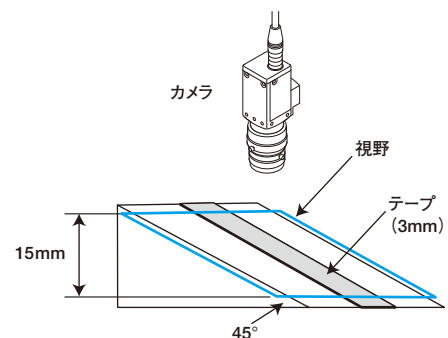


絞りを絞ったときの画像(CA-LH25)



絞りを開放したときの画像(CA-LH25)

下図のような斜面に高さを表示したテープを貼った対象を撮像したとき、絞りを開放した場合と絞った場合を比較しています。



4 レンズ性能の違いによるコントラスト差について

右の画像は弊社製高解像度レンズ「CA-LH16」と標準レンズ「CV-L16」で同じ画像を映したときのものです。画像の違いはレンズの材質と構造の差です。用途によって高解像度レンズを選定すると、よりコントラストの高い画像を得ることができます。

CA-LH16



高解像度レンズ



CV-L16



標準レンズ



使用レンズ	CA-LH16/CV-L16
検査対象物	コピー用紙
視野	60mm/汚れサイズ:約0.3mm

参考:カメラの違いによる画像への影響

24万画素CCDと200万画素CCDの比較

右の写真は弊社製24万画素カメラと200万画素カメラで同じ対象物を撮影し、パソコンで拡大したものです。例えば、文字を読みとる場合どちらの方が正確に読み取れるでしょうか？200万画素ですね。映像の美しさの違いはそのまま画像処理の検査精度の差として表れます。用途によりカメラの選定も必要です。

＜拡大画像での比較＞



200万画素の画像は拡大してもエッジがはっきりしており、細部までありのままにとらえています。

従来 (24万画素)



200万画素

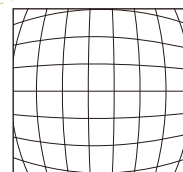


5 レンズの歪み(ディストーション)について

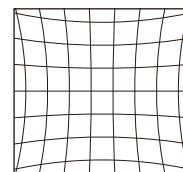
ディストーションとは？

撮像中央部と周辺部における像の変化比率を示します。収差により、撮像画像の周辺にいくほど像が歪みます。歪みかたは、「樽型」と「糸巻き型」の2種類があります。ディストーションをあらわす数値の絶対値が小さいほど、高精度なレンズといえます。寸法測定などの用途ではディストーションの小さなレンズを使います。一般的に焦点距離が長いレンズはディストーションが小さくなる傾向があります。

樽型



糸巻き型



初級編①のまとめ

画像処理の基本は撮像です。レンズ選定の基本知識があれば、

- ・ 対象物にとって最適な視野で、
 - ・ 画像全体にピントが合って、
 - ・ 最適な明るさで対象物と背景とのコントラストのついた画像
- を撮像することができます。

今回のテーマは**照明選定**です。今回のレンズ選定と同様に、画像処理にとっては検査性能を決める大きな要素です。正しい照明選定をする為のポイントを説明いたします。

3-1 照明選定の3ステップ

1 照明の当て方（正反射光／拡散反射光／透過光）を決める

- ・検出部分の特徴（キズ・形状・有無等）を見る。
- ・表面は平面か曲面か、凹凸があるかを見て決める。

2 照明方法・形状を決める

- ・ワークの立体的条件や設置条件から決める。
- リングかローアングルか同軸かドームか 等

3 照明の色（波長）を決める

- ・ワークと背景の材質や色を見て決める
- 青か赤か白か 等

【代表的な照明の形状（LED 照明の場合）】



3-2 照明の選定_ステップ1（正反射と拡散反射と透過）

LED照明には様々な形状がありますが、大きく分ければ以下の3通りに分けられます。

①正反射タイプ：

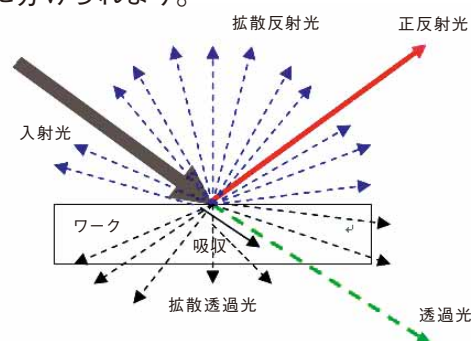
対象物に正反射した光をレンズが受け取る方式

②拡散反射タイプ：

対象物に正反射した光を逃がして全体的に均一な光をレンズが受け取る方式

③透過タイプ：

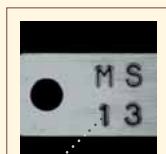
照明を対象物の背景から照射し透過光でシルエットを検出する方式



①正反射の画像例 金属表面の刻印有無検査



刻印が不明瞭です。



刻印のエッジが際立ちます。

フラットな金属表面と凹凸のある刻印部分とのコントラストをとることが必要です。



金属表面は照明が反射しやすいので、正反射光を利用して表面部と刻印部の差を明確にする手法が最適です。

②拡散反射の画像例 透明テープ越しのチップ印字検査



フィルムに照明が映り込みます。



フィルムの影響がなくなります。

照明の映り込み（ハレーション）が起こりやすい透明テープの影響をなくして、チップの表面部と印字のコントラストをとることが必要です。



透明テープで正反射をしない為に、斜めから照射する拡散反射光を利用する手法が最適です。

③透過の画像例 不織布の異物検査



異物がかすかに透けて見えます。



異物の影が浮かび上がります。

表面を見るだけでは判別困難な同系色の異物とワーク表面とのコントラストをとることが必要です。



反射では出ない差でも、異物とワークの厚みや色の差があれば、ワーク背面から透過光を照射することで異物が黒く浮かびあがります。

↓ 3-3 照明の選定_ステップ2 (照明方法と形状を決める)

① 正反射の画像例

ガラス端面の欠け検出

単純な反射光では



正反射した照明がランダムにガラス面に映ります。

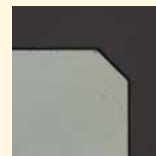
ワークと検出内容から照明選定

- 1) ガラス表面に照明が映りこむ
- 2) ガラスと背景との差を明確にしたい
- 3) ワークに垂直な照射が最適
- 4) ワークの上にはスペースを確保可能

↓
同軸落射照明が最適な選択です



同軸落射照明なら



ガラス面全体を均一に照射できます。

② 拡散反射の検出例

ゴムパッキンの欠け検出

単純な反射光では



円周部の欠けが認識できません。

【ワークと検出内容から照明選定】

- 1) ワークは黒ゴムで正反射しない
- 2) 欠け部分も黒く正反射しない
- 3) 欠け部分が正反射する角度から照射すると効果的
- 4) 照明をワークに近づけることが可能

↓
ローアングル照明が最適な選択です



ローアングル照明なら



エッジ部の欠けが白く際立ちます。

③ 透過の検出例

リードの形状検査

単純な反射光では

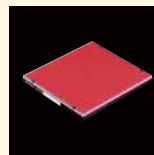


エッジ部分のコントラストが得られない部分があります。

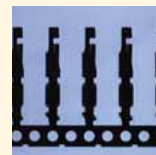
【ワークと検出内容から照明選定】

- 1) ワークは金属で凹凸があり、均一に正反射しない
- 2) 透過光を使うと凹凸の影響なくエッジ検出可能
- 3) ワークの背後に照明設置可能

↓
面照明 (バックライト) が最適な選択です



バックライト照明なら



複雑な輪郭をシャープに映します。

3-2 のポイント

照明選定の第一段階はワークの形状と検査用途から判断して、正反射／拡散反射／透過から照明方式を決めることです。次に、処理に最適な画像を撮像できるように照明の大きさや色を選定します。

3-3 のポイント

正反射／拡散反射／透過から照明方式を決めた後は、検出内容と背景と周囲環境から照明の種類(型式)を選定します。

正反射なら同軸落射照明／リング照明／バー照明から、拡散反射ならローアングル照明／リング照明／バー照明から、透過なら面照明／バー照明から選択するのが基本です。特にリング照明とバー照明は設置距離によりあらゆる用途で活用できるため、汎用的によく使われています。

3-4 照明の選定_ステップ3 (照明の色・波長を決める)

最後にワークと背景に合わせて照明の色を決めます。

カラーカメラを使うなら通常は白色を選択しますが、白黒カメラを使うとき以下の知識が必要です。

補色を利用した検出

赤色のお菓子がダンボール箱の中に入っています。

この有無を検出するために、白・赤・青の3種類のLED照明を使い、コントラストの違いを比較します。

白色LED使用

明るさが均一でコントラストが得られません。



赤色LED使用

赤色ワークが明るくなりますが、今ひとつです。



青色LED使用

赤色ワークだけが黒くなって安定検出可能です。



青色が最適

コラム

色相環図



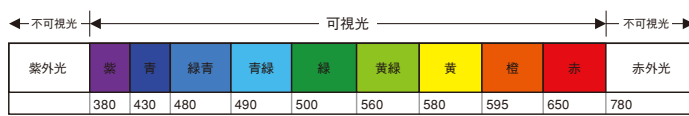
補色とは：

色相環で対向する色を補色といいます。
補色光を当てると黒に近くなります。

波長の長さを利用した検出

キャリアテープ内のチップ部分の印字をフィルム越しに撮像します。

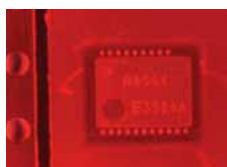
フィルムでの透過率が高い（散乱率が低い）赤色の方が青色よりもコントラストが得られます。



光は波長の違いにより違う色として映ります。波長の違いによって、透過しやすい（長波長の赤色）、拡散しやすい（短波長の青色）などの特性があります。



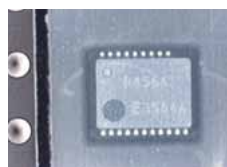
カラーカメラ画像
白色照明



カラーカメラ画像
赤色照明



カラーカメラ画像
青色照明



グレーカメラ画像
赤色照明
フィルム越しに印字のコントラストが得られます。

赤色が最適



グレーカメラ画像
青色照明

初級編② (照明選定編) のまとめ

照明の選定によって画像処理に一番大事な撮像画像の状態が決まります。

照明はやみくもに試すのではなく、以下の手順に沿うことで効率的に選定ができます。

- ① 正反射か拡散反射か透過かを定める
- ② 照明形状 (型式) ・大きさを定める
- ③ 照明の色 (波長) を定める

次のテーマはカラーカメラの効果と前処理です。

外観検査や位置検出など用途に最適な画像に加工するための重要な要素です。

最適な色抽出、前処理選定のポイントを説明いたします。

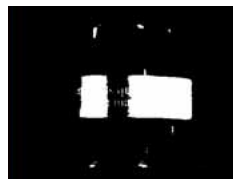
↓ 4-1 カラーカメラの効果

キャップに貼られた金色ラベルの検査

実画像



白黒カメラ処理画像



白黒カメラではラベル全体を抽出できません

カラーカメラ処理画像



カラーカメラならラベル全体を抽出できます

上のように、ワークが曲面状の光沢面である場合などは白黒カメラでは人が目で見えるように画像を処理できません。

これは実画像を見ても分かるとおり、ラベルの明るさが一定にならないためです。

この場合、カラーカメラであれば右の画像のようにラベルの金色だけを抽出することができます。

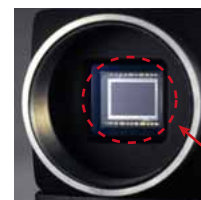
これは、白黒カメラの処理基準である明度（明るさ）ではなく、色相（色合い）のデータを使ってカラーカメラが画像を処理するためです。

現在画像センサの主力である白黒カメラでは対応が困難な検査でもカラーカメラを使うことで安定検査が可能になる場合が多くあります。画像道場では過去3回を通して撮像【絵を映すこと】を中心に書いてきましたが、今回は人の目に近い画像を映す『カラーカメラ』及びコントローラで安定した画像処理を実現するために画像を加工する『前処理』について説明します。

↓ 4-2 カラーカメラとは

画像センサで使われるカラーカメラは一般的に **単板式** といわれるCCDが1つのカメラです。カラー画像には色の3原色（RGB）情報が必要なので、CCDの1画素毎にRGBいずれかのカラーフィルターが貼りついており、1画素毎にRGBいずれかの256階調の濃淡情報をコントローラに送ります。

コントローラでこの情報を使ってカラー画像処理を行います。



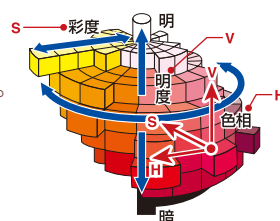
撮像素子
CCD

【表色系について】

色を数値的に表すための体系を表色系といい、通常は3つの軸を持つ3次元空間で表現されます。

表色系は複数ありますが、色相（Hue）、彩度（Saturation）、明度（Value）の3要素を使う

HSV方式が最も人の目に近く、画像処理に適しています。



↓ 4-3 カメラのゲイン調整による画像最適化

画像を最適化する方法の1つにカメラのゲイン調整があります。カラーカメラであれば、RGBそれぞれのゲイン調整をすることで、赤いものをより赤く、青いものをより青く、緑色のものをより緑に変換することができます。色の判別をする際に効果的です。

カメラゲイン調整の実用例

キャップの色判別

実画像



R (赤) データゲイン調整後の画像



赤色が鮮明になって安定した色判別が可能になります。

4-4 カラー2値化処理

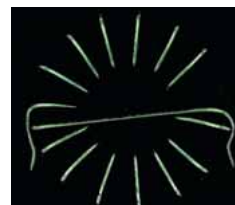
白黒カメラが持つ濃淡情報は256階調ですが、カラーカメラならRGBそれぞれに256階調を持つので、 $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$ 階調の情報をもちます。この白黒カメラ比8万倍の情報により、グレー256階調では検出できない物が検出できるようになります。この約1677万階調の中から指定した色範囲だけを抽出する機能をカラー2値化処理といいます。

カラー2値化処理の実用例①

コイルの巻き線から
緑色の線の切れを検出する場合



巻き線から緑色だけを色抽出し、カラー2値化処理を実行



緑色だけが抽出された画像です。
どこか1箇所がきれても検出可能です。

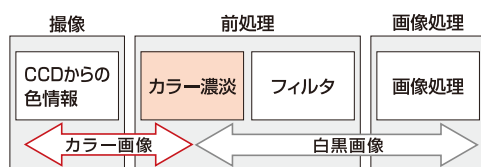
4-4のポイント

カラー画像センサはRGB毎の256階調濃淡データ=1677万階調データを使うことで、白黒カメラの256階調では判別できない色の差を検出できます。カラーカメラを使うことで、画像センサの用途は大きく広がります。

4-5 カラー濃淡処理

カラーカメラの情報量は白黒カメラの8万倍あると書きましたが、この情報を全て処理に使うと膨大な処理時間がかかります。一方高速ラインで用いられる画像センサには、百分の一秒単位の処理時間が求められます。また2値化処理では検査できない形状サーチや外観傷検査の用途においては、多すぎる情報量がノイズとなって特徴点を曖昧にする恐れがあります。この双方の問題をクリアする為に開発された前処理機能が「カラー濃淡処理」です。

カラー濃淡処理のフロー



カラー画像の膨大なデータを、指定した色を明度の最高階調とする256階調グレー画像に変換する前処理です。明るさだけでなく、色情報を用いるために金と銀の判別や、淡い色の判別など白黒カメラでは検出困難な検査に対応できます。

カラー濃淡処理の実用例

実画像



白黒カメラ処理画像



カラーカメラ処理画像



左のワークのように淡い色の模様を検出する場合、白黒濃淡処理では非常に薄い模様として認識されます。これに対してカラー濃淡処理なら、色情報をもとに濃淡画像を作成するので背景は真っ黒、淡い色ははっきりしたグレーとして認識可能です。

両方でマークの形状違いや位置ズレを検査した場合、どちらが安定するかは一目瞭然です。

4-5のポイント

カラーカメラは情報量が多いという利点とその情報量が多いために処理時間が遅いという弱点を抱えていました。その弱点を解消するために『カラー濃淡処理』という前処理が開発され、現在ではカラーカメラでも百分の一秒単位の高速処理が実現できています。

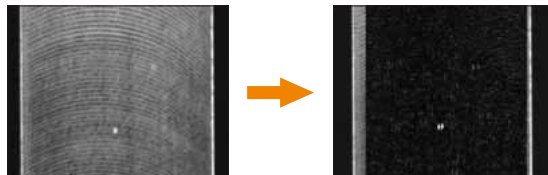
↓ 4-6 その他の前処理について

画像センサには用途によって最適な画像に変換するための前処理機能が多く搭載されています。
これらは白黒カメラだけではなく、カラー2値化処理、カラー濃淡処理後のカラーカメラでも使用できます。
そのいくつかを紹介します。

1 コントラスト変換: 明るい箇所をより明るく、暗い箇所をより暗く変換する処理

実用例

鉄板表面の傷検査

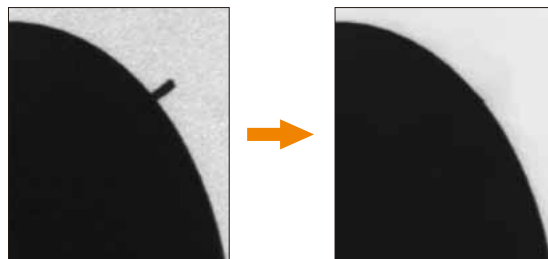


ワーク表面のヘアラインの影響をなくして、傷だけが浮かび上がります。

2 膨張+収縮処理: 無駄な突起を消した後にワーク全体のアウトラインは元に戻す処理

実用例

ゴム加工品のバリを
無視した表面汚れ検査



3 リアルタイム差分処理: 現在画像に加工した後に、現在画像と画像演算をして汚れだけを残す処理

*ワークの複雑な形状を無視して汚れだけを残します。

実用例

コネクタのハウジング部
異物・汚れ検査



複数の前処理を多段に組み合わせるマルチフィルタがより最適な画像を実現します。

中級編①のまとめ

画像処理の基本は撮像【きれいな絵を撮ること】です。

カラーカメラを使うことで人の目に近い色の差を抽出することができます。

また前処理機能により、検査内容に最適な画像に加工ができます。

傷検査・寸法計測などの本処理を設定する前に、撮像と前処理を最適に行なうことで安定した検査ができる可能性が高まります。

次のテーマは外観検査/傷モードの原理と最適な設定方法です。

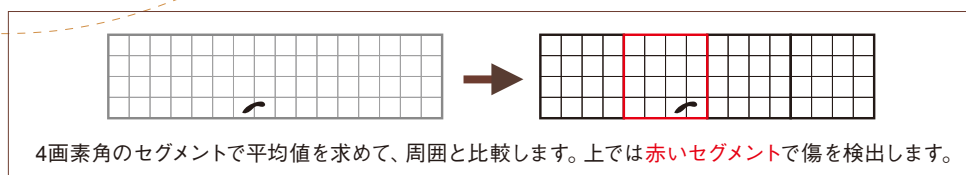
数ある検査モードの中でも最も多く使われるのが傷モードです。

様々なワークの外観検査に対応するための傷モードアルゴリズムを説明します。

↓ 5-1 傷モードの原理

1 セグメント

画像センサは撮像素子CCDの1画素毎の濃度（明暗）データを使って、濃度の変化を傷／エッジとして検出します。しかし、1画素単位で全ての処理をすると膨大な処理時間がかかる上に、検査に必要なないノイズデータが結果に影響することが問題となります。そこで画像センサでは数画素の小単位の平均値を使って処理をします、当社CVシリーズでは「セグメント」という小単位で周囲と平均濃度を比較して傷を検出します。

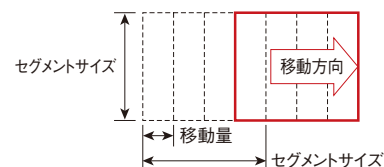


2 傷モードのアルゴリズム（セグメント毎の周囲との比較・計算方法）

当社CVシリーズに搭載されている「傷」計測モードのアルゴリズムに関して説明します。

■ 検出原理（検出方向をXに指定した場合）

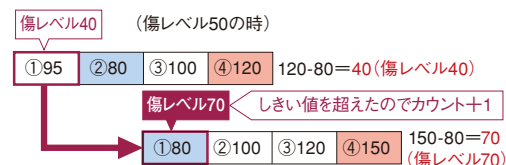
- ① 検査領域内で任意サイズの小領域（セグメント）をセグメントサイズの1/4を移動量としてずらしながら平均濃度計測を行ないます。



- ② 注目セグメント（右図 ①95 の位置）を含む検出方向4セグメント内の最大濃度と最小濃度の差を計測します。この値が注目セグメントの「傷レベル」となります。



- ③ 傷レベルが設定しきい値を超えている場合、その注目セグメントは傷としてカウントされます。このカウント値は「傷量」と呼ばれる検査結果となります。



以後、領域内で注目セグメントを移動量分ずらして①～③を繰り返します。

検出方向をXYの2次元方向に指定した場合の処理方法

XYを指定した場合は、注目セグメントを含むXY方向それぞれ4セグメント、計16セグメント内の最大濃度と最小濃度の差を計測します。

隣り合う2セグメントだけではなく、周囲4セグメント間で比較することで、より小さく薄い濃度変化（傷）が検出可能となります。



5-1 のポイント

傷モードは「セグメント」という数画素の小単位毎に周囲と比較して、濃度の変化点を傷・汚れとして検出するモードです。セグメント毎に処理することで、ノイズの影響を軽減させながら高速性が実現でき、周囲セグメントとの比較を複数候補から行なうことで従来検出が困難であった『小さい傷』『薄い汚れ』などを検出できるようになりました。

5-2 傷モードの最適な設定方法

1 最適なセグメントサイズ

傷検知を使用する際の最適な設定方法を説明します。

セグメントサイズを調整することにより、検出感度と処理時間の最適化が可能です。

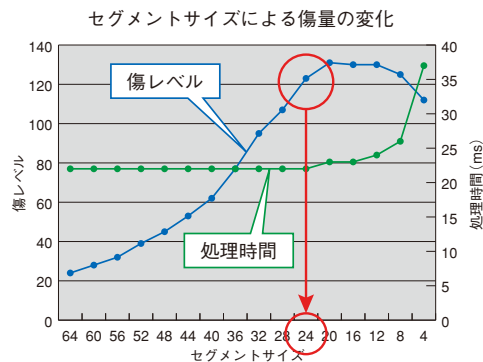
右の表はセグメントサイズによる傷レベルと処理時間の変化を実験して求めた結果です。(当社CV-3000使用)

セグメントサイズが検出対象とほぼ同じサイズのとき傷レベルの値が最大となっています。つまり、実際の検出対象サイズにセグメントサイズをあわせると、検出感度と処理時間のバランスの取れた設定が可能になります。

最適なセグメントサイズ＝傷の大きさ(mm)×Y方向画素数/Y方向視野(mm)

例：傷が2mmで視野が120mm角の時、24万画素カメラ(Y方向480画素)なら

$2 \times 480 \div 120 = \text{セグメントサイズ } 8$ となります



検査イメージ



2 画像に適したセグメント移動量/比較間隔設定

傷モードにはセグメントをどれだけ移動して濃度比較をするかを決める移動量/比較間隔というパラメータがあります。

これらを調整することで、「小さな傷」や「薄いシミ」など違う特徴のある傷・汚れを安定して検出することができます。

小さな傷を検出するには移動量・比較間隔とも小さな値にして細かく比較することが必要。

薄いシミを検出するには移動量・比較間隔を大きな値にして広く比較することが必要。

このように傷・汚れの種類によって適切な設定をすることが安定検出につながります。

比較間隔=3の時
傷レベル=13



比較間隔=12のとき
傷レベル=47



比較間隔を広げることで、
なだらかな濃度変化での傷レベルの値が高くなります。

5-2 のポイント

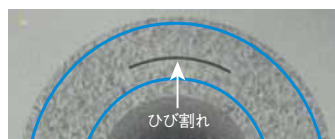
最適なセグメントサイズと移動量/比較間隔設定の調整をすることで、対象物に対して最適な検査が可能となります。セグメントサイズは傷/汚れと同じ大きさとして、移動量と比較間隔については傷/汚れのサイズと濃さから考えて調整すると最適な設定ができます。

5-3 円周方向の傷検査の原理

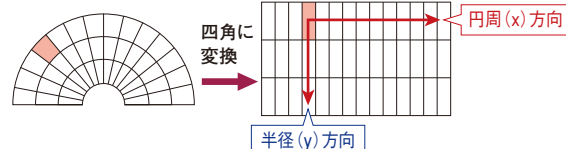
ペットボトル、ベアリング、Oリングなど円周形状のワークは多くあります。このようなワークの外観検査には曲線に対応した検出原理が必要です。

この時プログラム内部では「極座標変換処理」を行なっています。円弧形状のウインドウ(検査領域)を四角に変換して、円周方向及び半径方法にセグメント間濃度比較をして傷を検出します。

(ベアリング外輪の傷検査)



■ 極座標変換 (イメージ図)

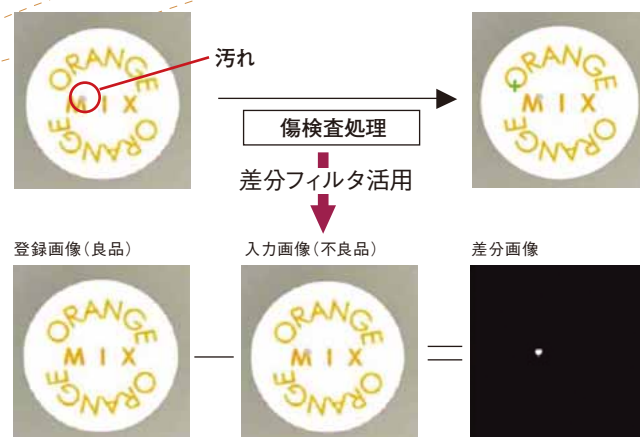


↓ 5-4 よりよく傷モードを使いこなす為の前処理

1 差分フィルタ:印刷を無視して汚れだけを検査したい場合

基準がなく、濃淡の変化値だけを計測すると、汚れか印刷かの判断ができません。よって、薄い汚れよりもはっきりした色の印刷部を「傷・汚れ」と間違えて検出してしまいます。

良品を登録画像として記憶して、毎回入力画像と差分前処理を行ないます。その結果、差分として残った画像に対して256階調での平均濃度比較を行ないます。そのために、複雑な印刷があるワークにおいても汚れ・傷検査が可能となります。

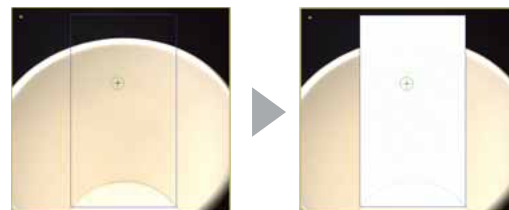


印刷があっても汚れだけを安定検出可能!

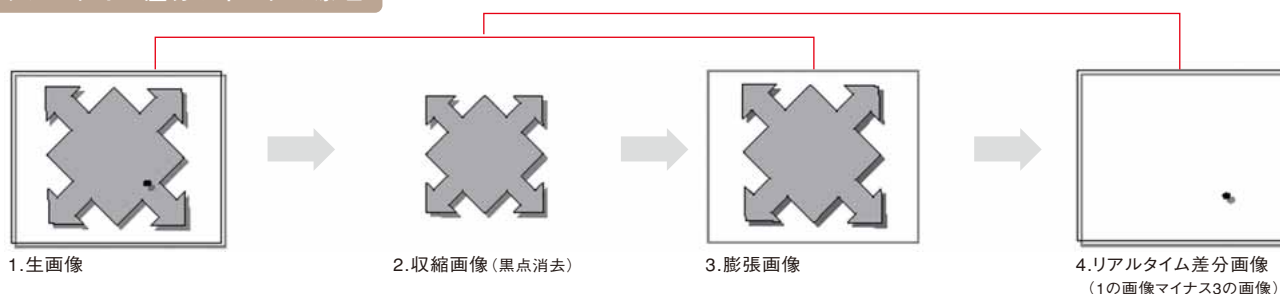
2 リアルタイム差分フィルタ

このフィルタは、生画像に膨張収縮フィルタを掛けた画像と生画像自体の差分を取ることで、小さな黒点などの欠点だけを抽出するものです。このフィルタを使用すると複雑な形状の対象物の輪郭に合わせて領域を設定する必要がなく、対象物の位置ズレを補正するための位置補正も不要になり非常に簡単な設定一つで検査ができます。

カップ内側面の汚れ検出



リアルタイム差分フィルタの原理



中級編②のまとめ

傷モードを最適に使うには、以下の3点を覚えてください。

- 1 セグメントサイズは検出したい傷の大きさに合わせて設定する
- 2 移動量／比較間隔は傷の大きさや濃さに合わせて設定する
- 3 ワークの形状に合わせて前処理を組合せて設定する

最後に、画像センサを最適に使うには綺麗な絵を撮ることが大事です。撮像に関しては、P2～9を参照して下さい。

次のテーマは寸法測定/エッジ検出の原理と活用方法です。
エッジは位置／幅／ピッチ／角度など様々な用途で使うことができます。
エッジモードのアルゴリズムとその活用方法を説明します。

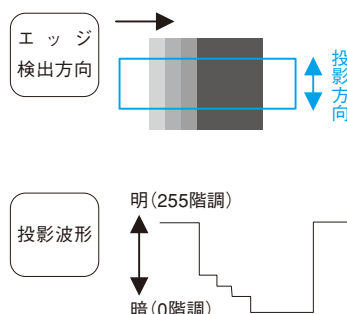
エッジ検出を用いた寸法検査が画像センサアプリケーションの最近のトレンドです。画像センサを使用した寸法検査では、対象物を2次元で捕らえ、エッジを検出することで、位置や幅、角度を計測することができます。ここでは、エッジ検出の原理を処理プロセスに従って説明しています。原理を理解することで、検出を最適な状態に設定できるようになります。さらに、エッジを用いた代表的な検査例を紹介し、検出安定化のための前処理フィルタの選定方法を説明します。

6-1 エッジ検出の原理

エッジとは、画像内に生じる明るい部分と暗い部分の境界のことです。エッジ検出とは、この濃淡変化の境界を画像処理で検出することです。エッジは以下の4つのプロセスから求められます。

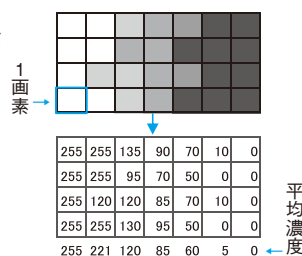
① 投影処理を行なう

計測領域内の画像に投影処理をかけます。投影処理とは、検出方向に対して垂直にスキャンを行ない、各投影ラインの平均濃度を求めることです。投影ラインの平均濃度波形を投影波形と呼びます。



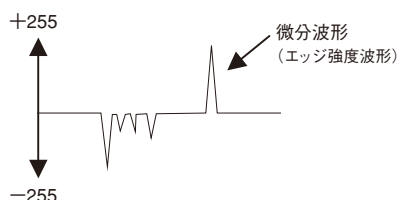
投影処理とは？

投影方向の平均濃度を求めることです。領域内のノイズ的な変化による誤検出を軽減します。



② 微分処理を行なう

投影波形をもとに微分処理を行います。エッジとなりうる濃淡変化が大きい箇所は微分値が大きくなります。

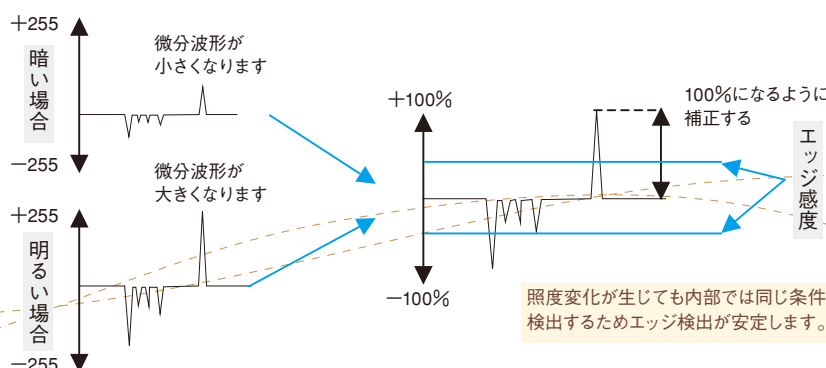


微分処理とは？

濃淡(階調)の変化量を求める処理です。領域内の濃度絶対値変化の影響をキャンセルします。例)濃淡変化のないところは0。白色(255)→黒色(0)の変化の場合は-255。

③ 微分の最大値が100%になるように補正する

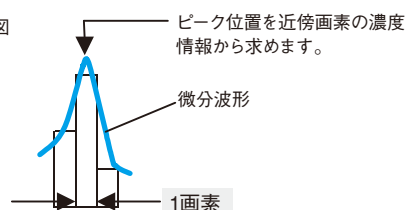
実ラインでのエッジを安定させるために、常に微分値絶対値の最大が100%になるように補正をかけます。設定した「エッジ感度(%)」をこえた部分の微分波形のピーク点をエッジ位置として求めます。濃淡の変化度のピーク点を検出する原理のため、照度変化の多い実ラインでも安定するエッジ検出が実現できます。



④ サブピクセル処理を実行

微分波形の最大部分を中心とする近傍3画素に注目し、この3つの画素で形成される波形から補間演算を行ないます。エッジ位置を1/100画素単位まで計測します。(サブピクセル処理)

拡大イメージ図



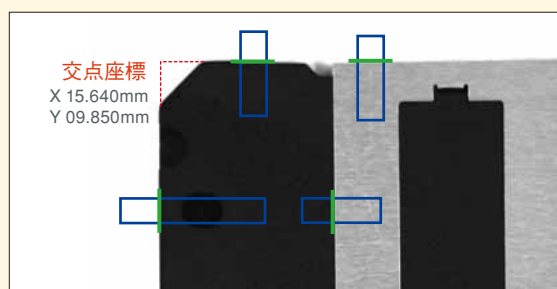
6-2 エッジ検出を用いた検査の代表例

エッジ検出は、次のような多数の派生モードがありますが、それらを使った代表例を紹介します。



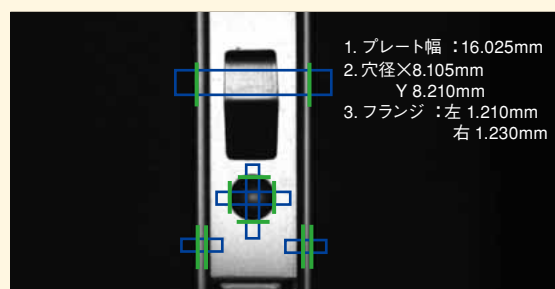
<例1> エッジ位置による各種検査

エッジ位置モードを複数箇所設定し、対象物のX座標やY座標を計測しています。



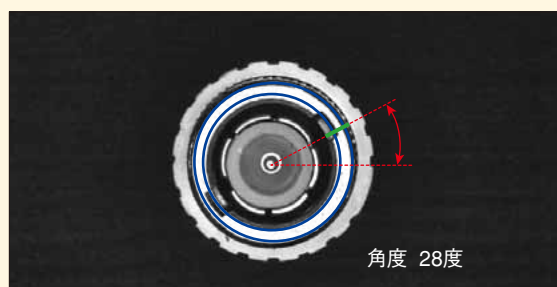
<例2> エッジ幅モードによる各種検査

エッジ幅の「外寸」モードを使用し、金属プレートの幅計測、穴のX方向/Y方向の径などを計測しています。



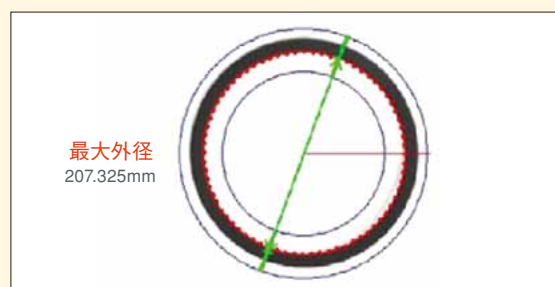
<例3> エッジ位置円周領域による各種検査

計測領域を「円周」にし、切り欠きの角度(位相)を計測しています。



<例4> トレンドエッジ幅による各種検査

「円周」領域による「トレンドエッジ幅」モードを使用し、リングの内径をスキャンし、扁平度合いの評価を行なっています。



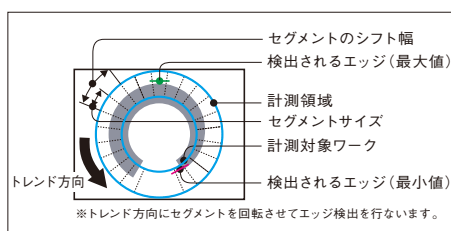
トレンドエッジモード

トレンドエッジ位置(幅)モードは、検査領域内を幅の狭いエッジウィンドウをスキャンしながら各点のエッジ位置を検出します。この検査モードにより、一つのウィンドウで多点のエッジ位置(幅)を検出できることから、対象ワークの微妙な変化を逃しません。

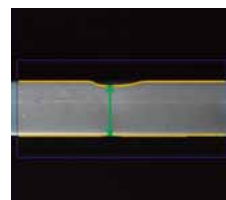
■ 検出原理

幅の狭い領域セグメントを細かいピッチで移動しながら、各ポイントでのエッジ幅やエッジ位置を検出します。

- 高精度な位置を検出するときは…セグメントサイズを小さくします。
- 処理時間を短縮するときは…セグメントのシフト幅(=移動量)を小さくします。
- トレンド方向とは…セグメントを移動させる方向のことです。

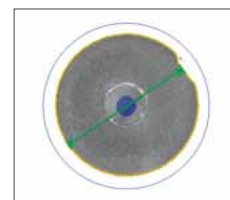


樹脂部品のひけ

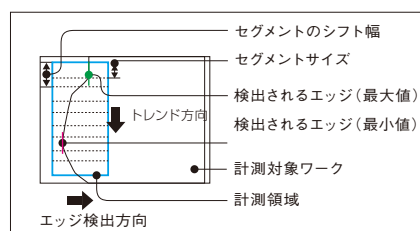


緩やかな変化を確実にとらえます。

ゴムパッキンの欠け

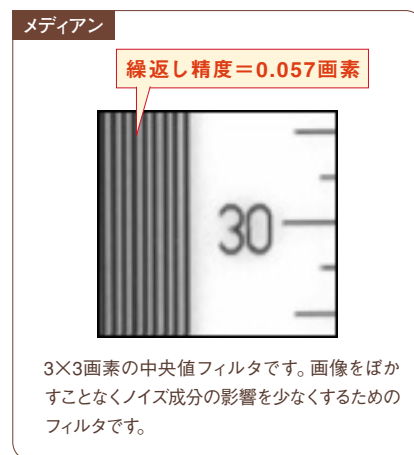
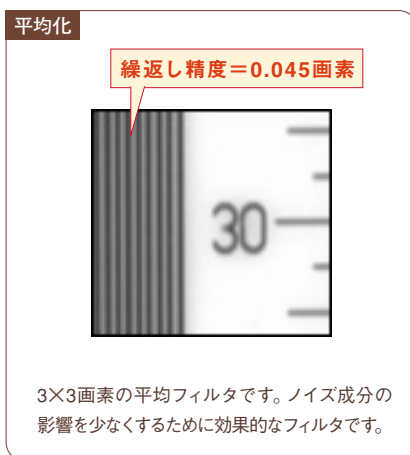
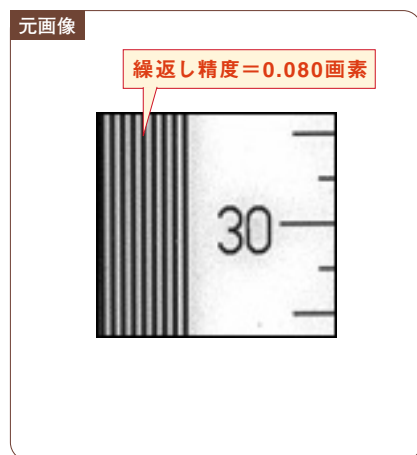


円形ワークも円周方向にエッジが回転して検出箇所を確実にとらえます。



↓ 6-3 よりエッジ検出を安定させるための前処理フィルタ

エッジ検出においては、エッジのばらつきをいかに抑えるかが鍵となります。エッジ検出を安定させるために効果的なフィルタとしては、「メディアン」や「平均化」が良く知られています。これらの前処理フィルタの特徴と効果的な選定方法を説明します。



前処理フィルタをどのように最適化するか

一般的に「メディアン」や「平均化」がエッジ安定化につながるのですが、手元のワークにはどれが有効かということは、なかなか分かりません。ここでは、各フィルタを施した場合の計測値のばらつきを統計的に評価する手法を紹介します。



CV シリーズ (CV2000以降) には統計解析機能が搭載されています。これは、計測したデータを本体内に記録し、同時に統計解析までをも行なう機能です。

この機能を利用し、「フィルタなし」「メディアン」「平均化」「メディアン+平均化」「平均化+メディアン」を施して静止状態を繰り返し計測し、各々のデータの統計解析結果を確認すれば最適フィルタを選定することができます。

最大値 222.851
最小値 222.771
偏差(σ) 0.016

一般的には、「最大値-最小値」または「偏差」がもっとも小さくなるフィルタを最適フィルタとします。

中級編③のまとめ

画像センサでエッジモードを有効に活用するため、以下のポイントを覚えてください。

- ① エッジの検出原理を踏まえると調整がスムーズにできます。
- ② 多数の派生モードを知ることによって検出の可能性が格段に向上します。
- ③ 代表的な検出例を参考にすることで、立上げがスムーズになります。
- ④ 実験的に最適前処理フィルタを選定することでより速やかに検出を安定させることができます。

次のテーマは位置測定/サーチモードの原理と活用方法です。
組立工程での部品位置決めなどで使う他に、
位置補正機能としても使うサーチモードの原理と活用方法を説明します。

画像センサでよく使われる用途のひとつに『位置・角度測定』があります。

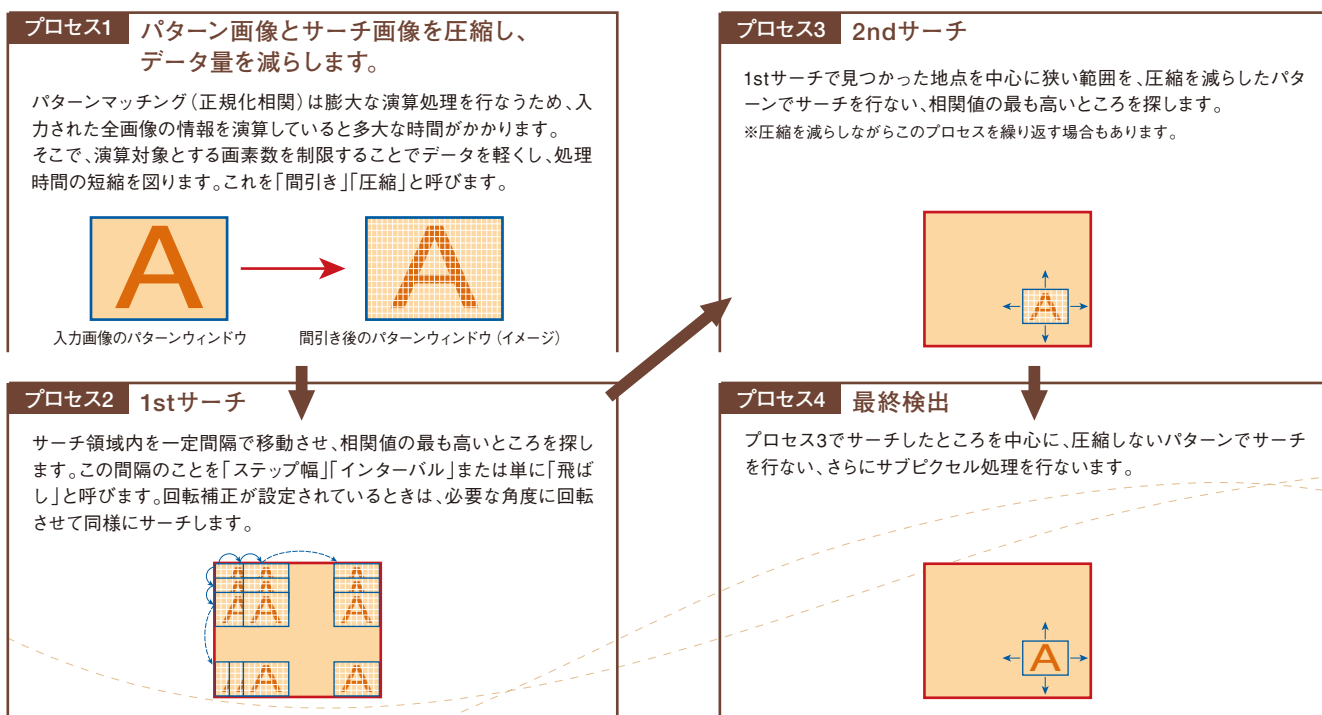
ガラス基板であればより精度の高い位置情報が必要となり、IC の検査であれば高速ラインに対応できる処理能力が要求されます。また、過去2 回にわたり紹介してきた「傷」「エッジ」といった計測項目の検査実行前にワークの位置ズレを修正する「位置補正機能」としても汎用的に使用されています。今回は最も汎用的な『パターンサーチ』モードを中心として、その原理から安定した検出を行なう手法を詳しく説明します。

7-1 「パターンサーチ」モードのアルゴリズム

「パターンサーチ」とは・・・

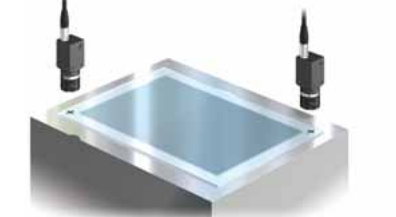
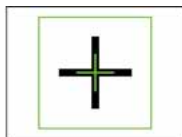
基準となる画像（パターン）に類似しているものを、画像内から1つまたは複数個所見つけ出し、その位置・角度および相関値（一致度）を出力する手法です。

当社CV シリーズに搭載されている「パターンサーチ」モードのアルゴリズムに関して説明します。



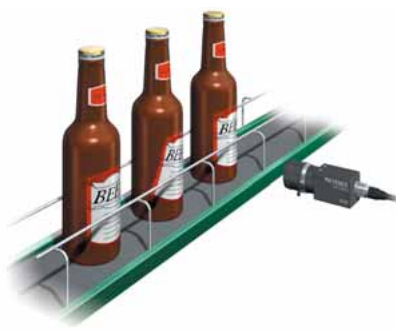
7-2 サーチモードを用いた検査の代表例

ガラス基板の位置決め



ガラス基板貼り合わせ前に、基板対角にあるマークの位置を計測しアライメントを行ないます。

ビンのラベルズレ検査



ビンに貼られているラベルの位置ズレを検査します。高速ラインにおいても全数検査が可能のため不良流出防止につながります。

ICの方向判別



角度 OK 0度



角度 NG 270度

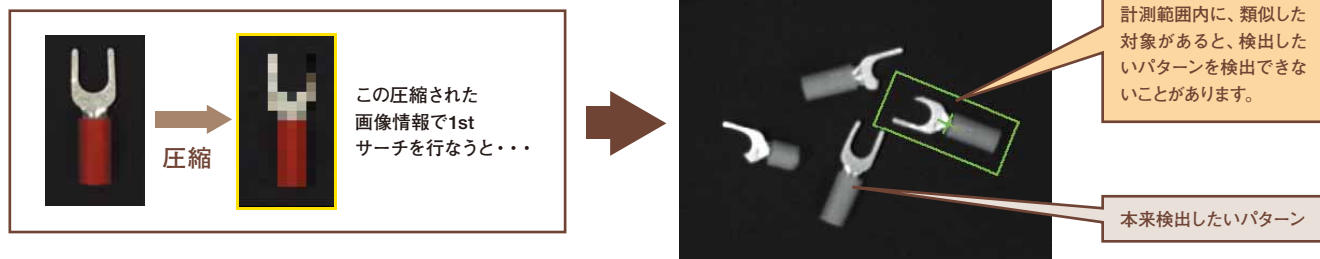


インデックス上でICの印字をサーチして角度検出を行ない、方向判別をします。高速ラインにも対応できる処理能力が必要とされます。

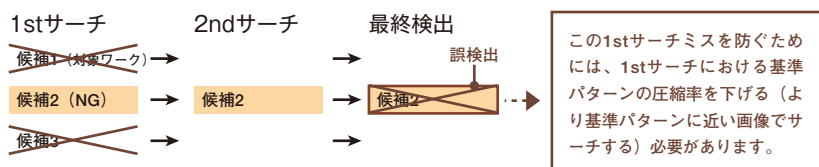
7-3 サーチをミスしないポイント

1 サーチをミスしてしまう要因

アルゴリズムで説明したように、1stサーチでは処理の高速化のために基準パターンを圧縮した画像で大体の位置を検出します。

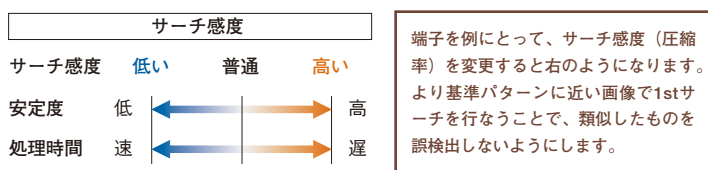


サーチをミスする主な要因は圧縮された画像による1stサーチで本来検出したいパターン(下図候補2)を誤って候補として検知してしまっていることです。



2 サーチをミスしないポイント(圧縮率を変更する)

弊社CVシリーズでは、専門知識が必要だったサーチの各種パラメータ(圧縮率など)設定が、あらかじめ目的別に用意されている組み合わせを選択することで完了します。圧縮率は「サーチ感度」という設定項目にあたり、「低い」～「高い」までの7段階設定が可能です。



3 サーチを安定させるポイント(結果精度を向上させる)

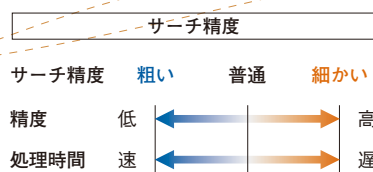
2で、ほとんどのサーチミスは防げるようになります。サーチにはもうひとつ、精度が求められる(数値のばらつきを抑える必要がある)ことがあります。前頁のアルゴリズムで考えると、最終プロセスにおいてどれだけ細かく見ることができるかということになります。ここでは、最終結果の精度を向上させるための手法について説明します。

結果精度を向上させるために有効な手法とは?

- ① 最終プロセス(詳細サーチ)の繰り返し回数を増やす
- ② 連写機能を使用する
- ③ 前処理フィルタを活用する

① 最終プロセス(詳細サーチ)の繰り返し回数を増やす

■において、1stサーチにおける圧縮率を変更する「サーチ感度」を説明しましたが、同様に「サーチ精度」というパラメータを用意しています。こちらはサーチにおけるサーチステップ数の回数を決定するので、「粗い」～「細かい」の5段階設定が可能です。



計測結果をより高精度にしたい場合は、「サーチ精度」を細かくすることで2ndサーチ～最終サーチの繰り返し回数を増やします。これにより最終結果の精度を向上させることができます。

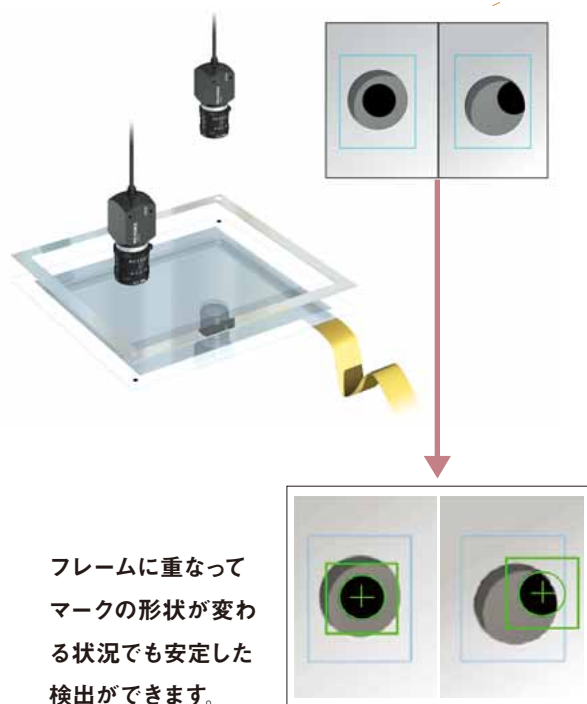
② 連写機能を使用する。

連写機能とは、1回のトリガ入力で複数回撮像、画像処理を繰り返し、その平均値や最大値、最小値を計測値とする機能です。1回のみの撮像と比較して、計測値のバラつきを抑えることができます。

↓ 7-4 次世代サーチ「幾何形状サーチ」

正規化相関法を使用するパターンサーチのほかに、対象の輪郭情報を用いてサーチを行なう「幾何形状サーチ」があります。弊社CVシリーズでは「ShapeTraxⅡ」がこれにあたります。「ShapeTraxⅡ」は輪郭情報を使用するため、対象が欠損していても残された形状情報をもとに正確なサーチが可能です。また、対象のサイズ変動や、白黒反転などが発生しても対応できるため、表面処理の状態が変化しても安定した検出が可能になります。

例 ガラス基板貼り合わせ時の位置決め



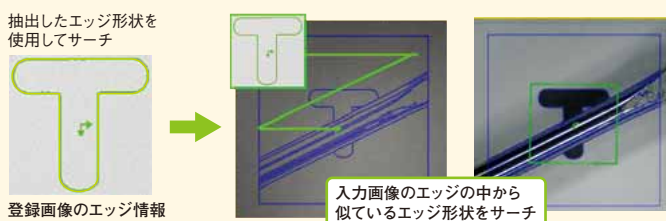
従来のパターンサーチで検出が困難だった例



ShapeTraxⅡによって解決



Ⅰ ShapeTraxⅡを使った検出



中級編(水)のまとめ

画像センサで安定したサーチを行なうため、以下のポイントを覚えてください。

- ①サーチの検出原理を知ることによって最適なモード選択と詳細設定を行なうことができる。
- ②「サーチ感度」の変更は狙ったところからサーチが外れる場合に有効。
- ③「サーチ精度」の変更は最終検出の精度を上げたい場合に有効。
- ④ワークの状態・形状に合わせて輪郭情報を使用する幾何形状サーチを選択する。

次のテーマは位置補正を理解して移動体を正しく検査する方法です。

ライン上で稼動するワークの検査には位置補正機能が必要です。

位置補正を理解するには補正元検査、補正先検査、座標軸、回転角度がポイントとなります。

これらを詳しく説明いたします。

一般的にライン上で移動する個体を検査するには、位置補正機能が必要です。

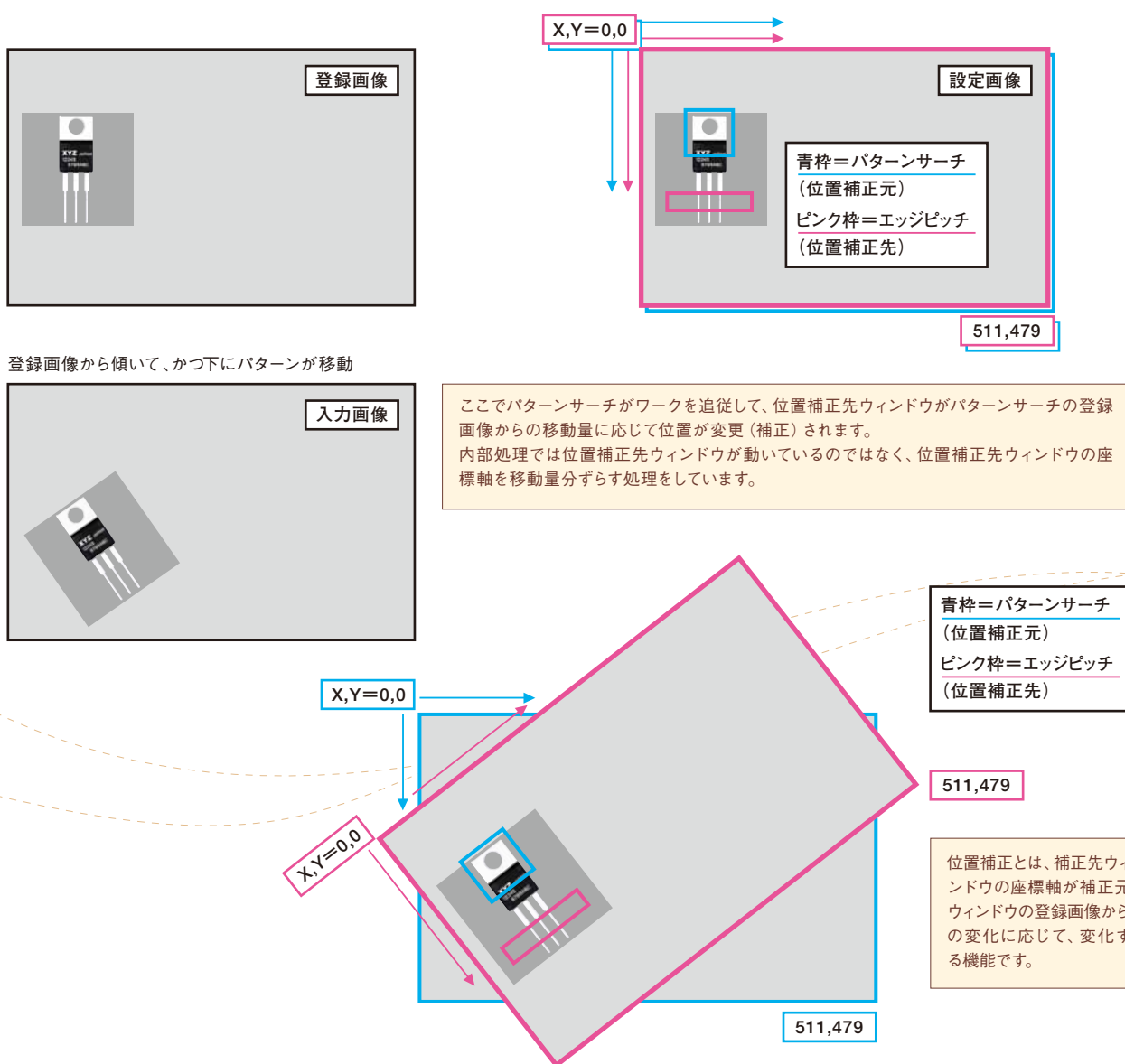
位置補正機能では、補正元ウィンドウ（基準画像と入力画像を比較して位置ズレ量を算出する検査枠）と補正先ウィンドウ（補正元ウィンドウからの補正量を受け取る検査枠）を組み合わせる設定をします。

複数のウィンドウが連携して画像処理（演算）をするため、動作原理を理解して目的に合った設定をする事が求められます。今回は、位置補正を「座標軸」「回転角度」といった原理から説明します。



8-1 位置補正の原理／座標軸（パターンサーチを使った一括位置補正の場合）

例) 三端子の放熱板部（青枠）の基準画像からのズレ量を、リード部（ピンク枠）のピッチ検査をするウィンドウ（ピンク枠）の位置補正データとする場合



8-1 のポイント

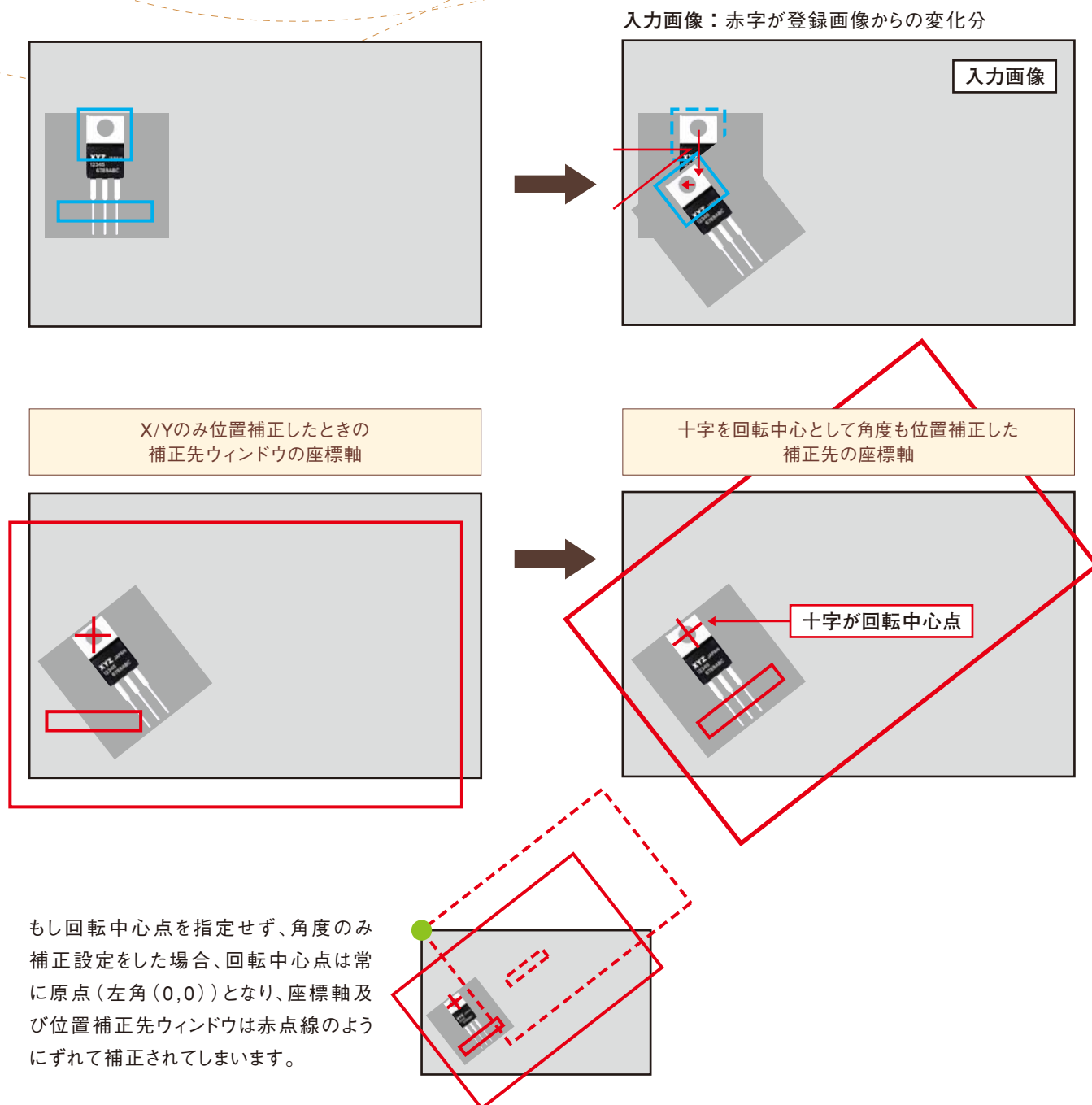
位置補正機能とは内部処理では補正元ウィンドウの基準画像と入力画像との差を補正值として、補正先ウィンドウの座標軸を変化させることです。

そのため、補正元ウィンドウと補正先ウィンドウではモニタ上では同じに見える箇所でも、計測値として出力される座標点データの基準が違います。座標軸の異なるウィンドウ間で演算などをする場合は、**CCDの左上を常に原点とするデータ「絶対計測値（CV/XGではAB）」**を使用します。

↓ 8-2 位置補正の原理／回転中心点（パターンサーチを使った一括位置補正の場合）

位置補正とは補正元ウィンドウの計測結果が登録画像から入力画像に対して、どれだけ変化したかを計測し、その結果を補正先ウィンドウの座標軸の変化に反映させることです。

そして、角度データの場合はどの点を中心として角度を変化させるのが非常に重要です。この点を**回転中心点**といい、パターンサーチからX/Y/角度全てを補正した場合は、パターンの中心点が回転中心点となります。



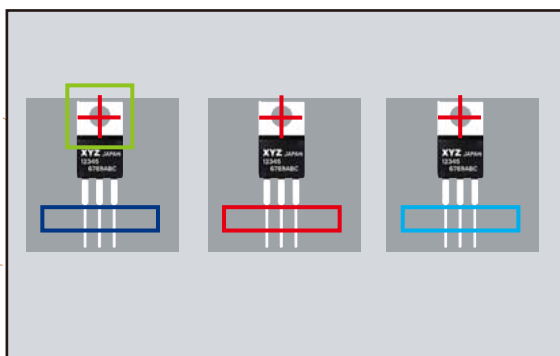
8-2 のポイント

角度を位置補正するには、回転中心点を意識する必要があります。

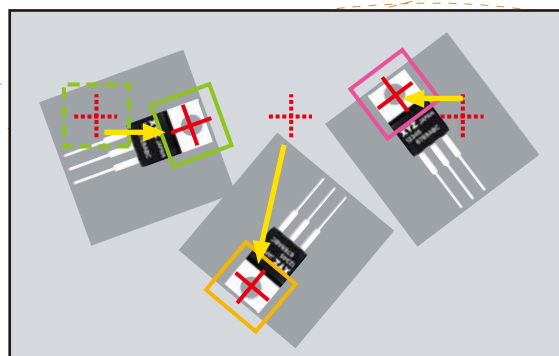
角度補正はどの点を回転中心点とするかで、位置補正先ウィンドウの結果が大きく変わります。

角度を計測するパターンサーチの検出した座標を使用している場合は、正しく補正されます。また、演算を使って角度補正をする際も角度だけではなく、どこを回転中心点として補正するかを把握していれば、正しい角度補正ができます。

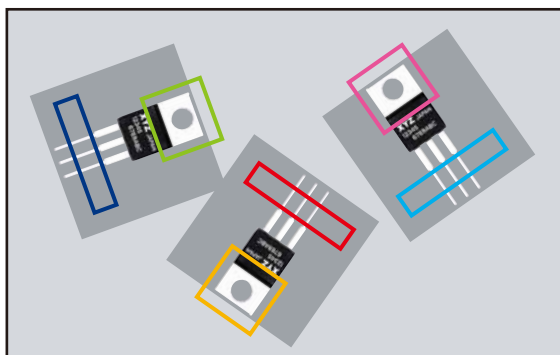
↓ 8-3 位置補正の原理／複数検出パターンサーチからの個別位置補正



3つのワークを同時に検査します。パターンサーチでは1つのパターンを登録し、検出個数を3個として3個同時に追いかけます。位置補正先3ウィンドウ(青/赤/水色)はそれぞれのリード位置にエッジピッチ枠を作ります。



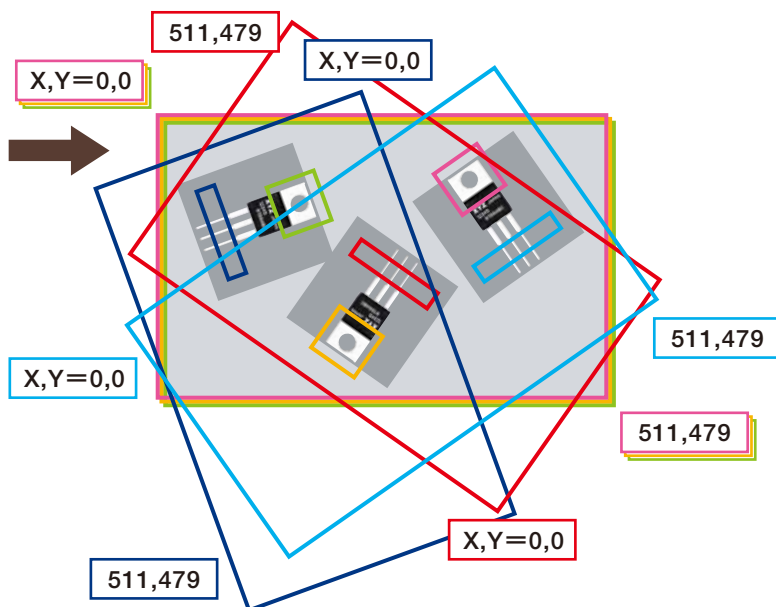
3つそれぞれが自由に動く場合でも、X昇順であれば左から順番がつきます。黄色矢印が基準位置からの位置補正量になります。



青枠のエッジピッチの位置補正値は緑枠から、赤枠の補正値は黄色枠から、水色枠の補正値はピンク枠から与えることで正しい補正がかかります。

この時の、青枠／赤枠／水色枠の座標軸は右のようになります。

このように複数検出時には、位置補正先それぞれで座標軸が変わります。位置補正方法として、補正元パターンは1つでも、補正先ウィンドウ(今回ならエッジピッチ枠)はそれぞれのワークの位置を検出するパターンサーチで作成する必要があります。



当社CV/XGシリーズでは基準ウィンドウを1つだけ指定して、残りのウィンドウをまとめて位置補正する(一括補正)だけでなく、今回のように複数の基準ウィンドウを指定して、個別のウィンドウ間で位置補正する(個別補正)こともできます。

上級編①のまとめ

位置補正に関しては以下の点を基本として覚えてください。

- ①位置補正とは補正元ウィンドウの基準画像と入力画像との検出位置の差分を、座標軸の変化分として補正先ウィンドウに渡す処理のことである。
- ②角度補正する際には回転中心点を考えて設定する必要がある。
- ③複数の検出結果から位置補正をする際には、補正先ウィンドウそれぞれに座標軸の変化があることを考えて、補正元パターンは1つでも補正先ウィンドウはそれぞれの箇所に領域設定をする。

【参考】正確な位置補正にはまず補正元の正確な検査が必要です。パターンサーチ／エッジ位置などを正確に設定する方法は画像道場中級編で確認してください。

次のテーマは最適な処理結果の出る画像に加工する／前処理フィルタについて(前編)です。

膨張フィルタ/平均化フィルタなど様々な前処理フィルタは、計測処理を安定させるために役立ちます。

これらを正しく使うには、原理の基礎知識が必要です。原理と活用方法を詳しく説明します。

画像処理の基本は、撮像・きれいな画像（＝ピントの合ったコントラストのはっきりした）を撮ることです。加えて前処理フィルタの活用により、検査内容に最適な画像に加工ができます。傷検査・寸法計測などの本処理を設定する前に、撮像と前処理を最適に行なうことで安定した検査ができる可能性が高まります。今回は最適な前処理フィルタの選定及び設定方法を原理から説明します。

↓ 9-1 基本的な前処理フィルタの種類と原理

前処理フィルタの中でも最も汎用的に使われる4種類を原理から解説します。
以下のように、全画素に対して各画素を中心とする3×3での前処理計算を実施して、画像を加工しています。

（3×3画素の原理）

（画像データ）

元画像例

2	5	9
4	7	3
0	1	2



膨張フィルタ

3×3の中心画素の濃度を中心を含む9個の画素の中で、最大濃度（一番明るい値）に置き換える処理です。
黒いノイズ成分を除去する効果があります。

膨張

2	5	9
4	9	3
0	1	2



収縮フィルタ

3×3の中心画素の濃度を中心を含む9個の画素の最小濃度（一番暗い値）に置き換える処理です。
黒い画素を強調し、黒点などの傷検査を安定させる効果があります。

収縮

2	5	9
4	0	3
0	1	2



平均化フィルタ

3×3の中心画素の濃度を中心を含む9個の平均濃度に置き換える処理です。画像をぼかしてノイズ成分の影響を減らし、サーチを安定させる効果があります。

平均化

2	5	9
4	3	3
0	1	2



メディアンフィルタ

3×3の中心画素の濃度を中心を含む9個の中で、濃度順で5番目の濃度に置き換える処理です。平均化フィルタより画像をぼかさずにノイズ成分を除去する効果があります。

メディアン

2	5	9
4	3	3
0	1	2



9-1 のポイント

画像処理では、人が見た画像を正確に再現するために、**きれいに撮像することが重要**ですが、検査の目的によっては見た目通りではなく、特長点を強調したり（膨張／収縮など）、逆にぼかしてノイズ成分を減らす（平均化／メディアンなど）方が最適な検査結果が出ることがあります。

前処理を理解するには、上記の**前処理を全画素分実施**していることを覚えてください。

9-2 エッジ抽出とエッジ強調前処理フィルタの種類と原理

(元画像)

元画像のコントラストが低い場合やライン情報を強調したい場合に、エッジ抽出やエッジ強調といった前処理フィルタを活用します。エッジ関連フィルタは目的別で種類が多いので、選定には原理を基にした知識が必要です。

以下では活用頻度の高い「ソーベル」「プレヴィット」「エッジ抽出X方向」「エッジ抽出Y方向」の原理を解説します。

加えて、「エッジ強調」のエッジ抽出系フィルタとの違いについても解説します。



ソーベルとプレヴィット

ソーベル/プレヴィットはともに、XとY方向について別々にエッジ抽出を行ない、その両方の結果を合成するエッジ抽出処理です。3×3の中心画素を、9画素それぞれに以下のような係数をかけた後、合算した濃度値に置き換えます。ソーベルは中央部の画素に「2」がかかるので、プレヴィットと比較してコントラストの少ないエッジを強調する効果があります、そのかわりノイズも抽出してしまいます。

ソーベル

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

+

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1



プレヴィット

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

+

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1



エッジ抽出系まとめ

	微分	横方向	縦方向	斜め方向	その他
プレヴィット	1次微分	○	○	△	
ソーベル	1次微分	◎	◎	○	
ロバーツ	1次微分	△	△	○	
ラプラシアン	2次微分	△	△	△	方向に依存しない

◎○△の記号は強度を表します。
強度が強い場合は、ノイズ的な変化も抽出されることもあります。

【参考】方向指定エッジ抽出フィルタ

エッジ抽出X方向／Y方向フィルタは、縦傷限定／横傷限定検出などで活用しますが、原理はソーベルフィルタの方向限定処理です。

エッジ抽出X
(X方向ソーベル)

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1



エッジ抽出Y
(Y方向ソーベル)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1



エッジ強調フィルタのエッジ抽出フィルタとの違い

エッジ強調はぼやけた画像をはっきりさせる処理です。エッジ抽出フィルタとの違いは、9画素の合算結果を0ではなく1にすることで中心画素の濃度を強調します。エッジ抽出なら9画素が同じデータなら合算して0(濃度ゼロ)になりますが、エッジ強調では中心画素が強調された濃度が残ります。

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0



9-2のポイント

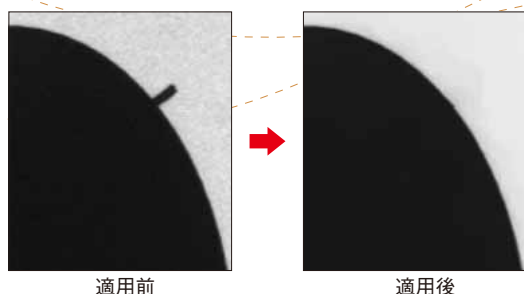
エッジ抽出フィルタとは、一般的に3×3の中心画素の濃度をその上下(X方向)や左右(Y方向)から演算して置き換える処理のことです。強調したい方向やノイズの有無から種類を選定する必要があります。

また、エッジ強調フィルタは比較的均一な部分でも中心画素を強調するため、ノイズ成分が多くなることに注意してください。

↓ 9-3 フィルタテクニック活用事例

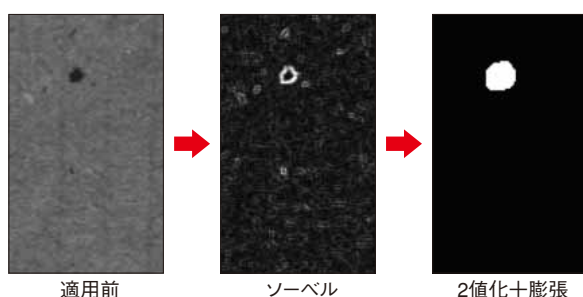
弊社CV-3000/5000およびXGシリーズでは、1つの検査領域に複数の前処理フィルタを重ねて設定することができます。それぞれのフィルタの原理を知れば、それぞれを組み合わせで最適な画像加工が可能になります。その例を紹介します。

【例1 輪郭平滑化】膨張n回+収縮n回



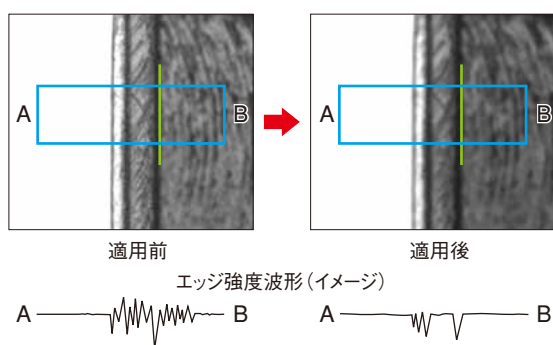
同じ回数の膨張→収縮を適用することで、元の形を維持したまま、黒いノイズ形状だけを除去します。

【例2 微小傷・汚れ強調】ソーベル+2値化+膨張



ソーベル+2値化+膨張（傷強調）
ソーベルおよび2値化で傷・汚れだけを抽出、膨張で拡大します。

【例3 ノイズ平滑化】平均化+メディアン（計測値の安定化）



ざらついた表面の影響によるノイズ成分をキャンセルさせるために、「平均化+メディアン」のフィルタをかけます。エッジ検出での計測をさらに安定させることができる有効なテクニックです。

不安定なエッジ検出での繰り返し精度〈代表例〉

フィルタなし	6.27画素
平均化+メディアン	0.3画素

安定化

上級編②のまとめ

前処理に関しては以下の点を基本として覚えてください。

- ①まずは、きれいな元画像（＝ピントの合ったコントラストのはっきりした）を撮像する。
その上で強調したい部分があれば、画像加工＝前処理フィルタを使用する。
- ②一般的な前処理とは、3×3の中心画素を様々な係数を適用した周辺濃度値を使って強調したい結果に置き換えることである。
- ③それぞれの原理を知って用途ごとに効果のある前処理フィルタを使う、または組み合わせで使用するれば検査が安定する。

次のテーマは最適な処理結果の出る画像に加工する／前処理フィルタについて（後編）です。

今回の基本的な前処理フィルタに加えて、差分フィルタやリアルタイム差分フィルタなど新しく高度な前処理フィルタの効果を説明します。

10-1 差分（画像演算）フィルタの効果

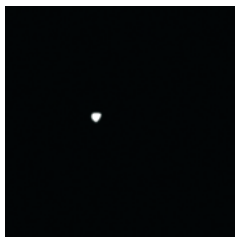
登録画像（良品）



入力画像（不良品）



差分画像



（汚れ付着部分）



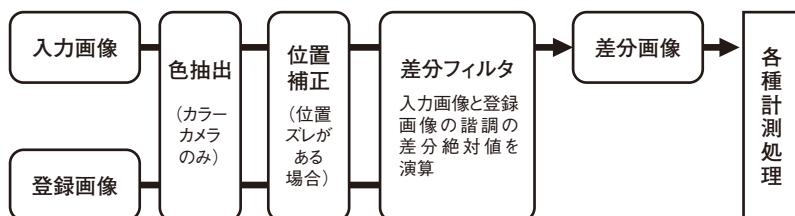
印刷の絵柄がキャンセルされ、汚れのみが不良として抽出されています。
ワークが回転しても対応可能です。

差分フィルタとは、マスター登録した良品画像と入力画像を比較して、違いのある部分を抽出する**前処理機能**です。
良品の個体差を考慮し、どの程度の差を不良として捉えるかは任意に調整が可能です。

10-2 差分フィルタについて

登録画像と入力画像の濃度値の差分絶対値を演算して、差分画像を出力するフィルタです。

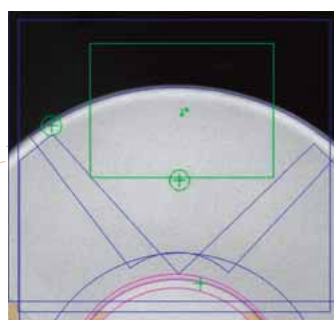
〔処理プロセス〕



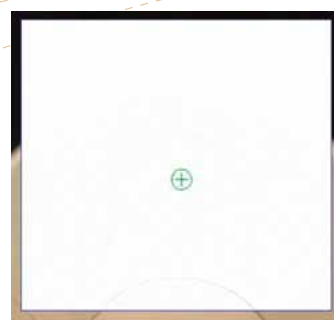
従来、画像センサでの差分フィルタ活用ツールは傷、汚れ検査中心でしたが、弊社CV/XGシリーズでは傷検査の他にも正規化相関の相関値では難しかった形状変化判別などにも使用できます。

10-3 リアルタイム差分フィルタについて

リアルタイム差分フィルタは、生画像に膨張収縮フィルタを掛けた画像と生画像自体の差分を取ることで、小さな黒点などの欠点だけを抽出するものです。
このフィルタを使用すると複雑な形状の対象物の輪郭に合わせて領域を設定する必要がなく、対象物の位置ズレを補正するための位置補正も不要になり非常に簡単な設定一つで検査を行なうことができます。

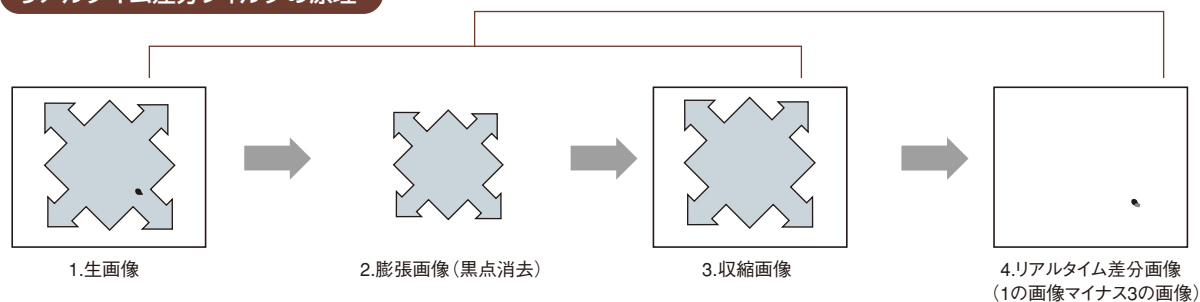


カップ内壁の欠点検査 通常の処理イメージ
（形状に合わせた領域設定が複雑です）



リアルタイム差分画像
（短形領域のみで検査可能です）

リアルタイム差分フィルタの原理

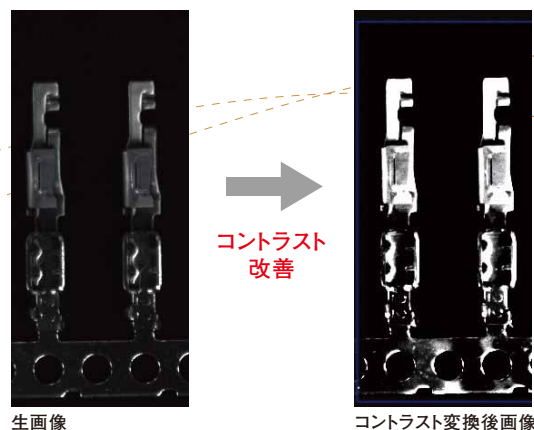


1の生画像を膨張することで、黒点が消えます。2を収縮して生画像と同じ大きさに戻します。

3の画像と1の画像を引き算することで黒点だけが残ります。この処理は、毎回撮像した画像に対して実行されるため、入力される生画像の形状が変わっても、安定した差分をとることが可能です。

↓ 10-4 コントラスト変換フィルタについて

濃淡差の小さい対象のコントラストをアップして、より安定した外観検査を行うための機能として、CV-3000シリーズ以降にはコントラスト変換フィルタが搭載されています。この前処理フィルタはカメラ設定におけるスパン/オフセット機能のみを前処理として独立させ、ウインドウごとに調節ができるようになっています。効果としては、生画像の特定の階調の濃淡差を強調することができます。



↓ 10-5 マルチフィルタの効果について

CV/XGシリーズには、様々な前処理フィルタが搭載されていますが、これらを一つの領域に対して複数組み合わせることで、外観検査により適した画像を作ることができます。下の例では、リアルタイム差分フィルタに、さらに、収縮、平均、コントラスト変換を組み合わせることで、ほぼ真っ白な背景に黒点だけを残す画像を作っています。



【この例での各フィルタの役割】

- リアルタイム差分 ワーク上の黒点だけを残すためのフィルタです。
- 収縮 残った黒点を一回り大きくするためのフィルタです。
- 平均化 周囲のノイズを平滑化するためのフィルタです。
- コントラスト変換 周囲と黒点のコントラストを大きくするためのフィルタです。

上級編③のまとめ

画像演算系、明るさ補正系の前処理フィルタに関しては以下のことを覚えてください。

- ①画像演算系フィルタとは、入力画像と比較する画像との差を抽出して、汚れ／傷検査などで効果的に使用できます。
- ②コントラスト変換フィルタとは、ウインドウ毎に濃淡データの傾きを調整してコントラスト調整ができる機能である。
- ③P25～27の基本的な前処理フィルタと組み合わせて、検査目的に合わせた最適な画像に加工することができる。

画像道場の最後は実践編として、現場で使える外観検査設定方法を説明します。
ここまでの初級、中級、上級の知識に加えて現場で使える知識、テクニックを説明します。

↓ 11-1 必要な処理速度と最大検査回数の求め方

検査対象が断続的に流れてきて、カメラの前で一定時間停止して、次の対象が流れてくる場合について解説します。

例えば、1分間に何個の対象を検査できるか?については、画像センサの処理スピードから算出できます。

$$\text{1分間の最大検査回数} = 60(\text{秒}) \div \text{画像センサの処理時間(秒)}$$

例) 画像センサの処理速度が20msとすると、
1分間に最大何回検査できるかについては
 $60\text{秒} \div 0.02\text{秒} = 3000\text{回/分}$ と考えられます。(=50回/秒)

画像センサの処理速度は、
画像センサ自体の能力や設定内容に依存しますので、
実際の対象物で設定を作って確認します。
簡単な検査なら**20msくらいから100ms**で処理できます。

逆に、検査スピードの希望値が予め分かっている場合は、
以下の式より

$$\text{画像センサに求められる処理速度 (ms)} = 1(\text{秒}) \div \text{希望検査回数(回/秒)} \times 1000$$

となります。



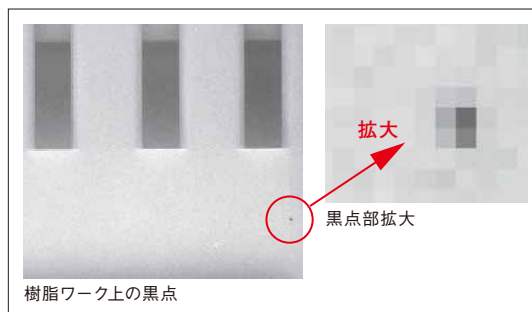
↓ 11-2 欠陥の最小検出サイズの考え方

お客様から「どれくらい小さな異物や黒点が検査できるの?」という質問がよくあります。

以下に、画像センサにおける最小検出サイズの考え方の一例をご紹介します。最小検出サイズは、以下の要素から概算値を算出できます。

A=カメラのCCDのY方向画素数
B=撮像視野(Y方向)(mm)
C=CCD上の最小検出画素サイズ(画素)

$$\text{最小検出サイズ} = B \times C \div A$$



【考え方】

対象物を撮像する視野は、使用するレンズによって変更することができます。

つまり、撮像する範囲を10mmにしたり、100mmにすることは、自由に変更できます。

次に、使用するカメラによってCCDの画素数が異なります。

標準サイズの24万画素タイプのCCDは縦の画素数が480画素ですが、メガピクセルタイプの200万画素タイプは1200画素あります。

また、CCDの最小サイズは1画素ですが、検出可能な最小画素数は、2画素角は見ておく必要があります。

条件によっては、4画素角くらいで考えるべき場合もあります。

ここで、例えば、視野60mmで、メガピクセルカメラを使った場合で考えてみます。

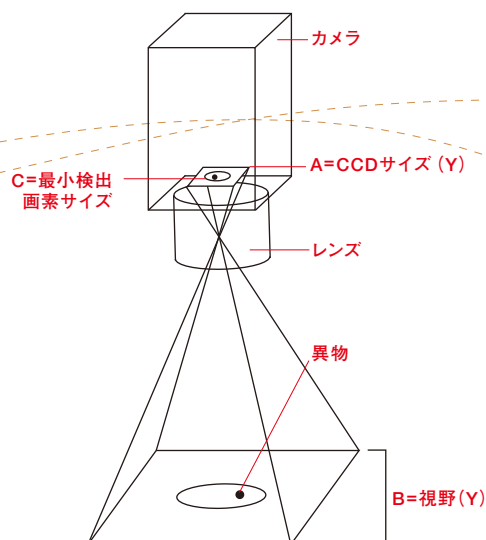
最小検出画素数は、最も理想的な2画素角とします。

この場合の最小検出サイズは、

前述の式にA=1200画素、B=60mm、C=2画素を代入すると

$$\text{最小検出サイズ} = 60 \times 2 \div 1200 = 0.1\text{mm}$$

となります。



↓ 11-3 連続送りワーク検査時の設定について

■シャッター速度について

例えば、連続シートの上の異物を検査する場合、シートは連続的に流れていきます。

これをカメラで撮像した場合、シャッター速度（露光時間）がライン速度に対して十分速くないと撮像した映像にブレが生じてしまいます。



高速シャッター画像



異物の映像がぼやけています。

低速シャッター画像

そこで、このブレを十分に抑えるためには、検出異物の最小サイズの1/5程度の距離を移動する時間をシャッター速度の目安と考えます。

$$\text{シャッター速度} = \text{希望最小検出異物サイズ} \div 5 \div \text{ライン速度}$$

例) 希望最小検出異物サイズ=1mm ライン速度=1m/秒

シャッター速度=1mm÷5÷1000mm/秒=1/5000より、シャッター速度は、1/5000が理想的と考えられます。

■最大ライン速度について

次に、希望最小検出サイズから検出可能なライン速度を求める方法を解説します。

検出したい最小の異物サイズが決まれば、前頁の考え方より必要な視野が決まります。

視野が決まれば、その視野を画像処理時間内に移動するライン速度が、漏れなく検出できるライン速度となります。

$$\text{最大ライン速度} = \text{撮像視野} \div \text{画像処理時間}$$

ここで、画像処理時間は、画像センサの能力と設定内容によって変わりますので、テストにより実測します。

たとえば、希望検出最小サイズ=0.2mm、前頁の表より、200万画素カメラを使用した場合、

撮像視野は、最大100mmまで可能になります。

画像処理時間=50msとすると

$$\text{最大ライン速度} = 100\text{mm} \div 0.05\text{秒} = 2000\text{mm/秒}$$
より、2m/秒までなら、検出漏れがないことになります。

【最小検出サイズ】

CCD の最小サイズは1画素ですが、検出可能な最小画素数はコントラストのはっきりした画像でも2画素角は見ておく必要があります。条件によっては、4画素角くらいで考える場合もあります。

逆に、最小検出サイズから視野を求める場合もあります。このときの計算式を、最小検出サイズ0.1mm、縦方向画素数1200画素で考えるなら、視野=0.1(mm)÷2(画素)×1200(画素)、これより視野(Y方向)は60mmとなります。

【対応可能なラインスピード】

【間欠送りの場合】

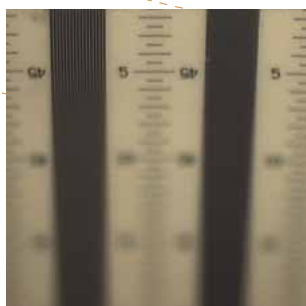
- 1分間の最大検査回数=60(秒)÷画像センサの処理時間(秒)
- 画像センサに求められる処理速度(ms)=1(秒)÷希望検査回数(回/秒)×1000

【連続送りの場合】

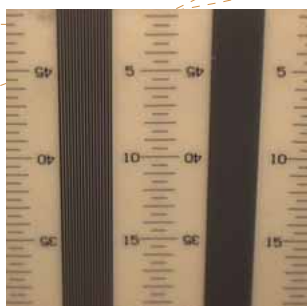
- シャッター速度=希望最小検出異物サイズ÷5÷ライン速度
- 最大ライン速度=撮像視野÷画像処理時間

↓ 11-4 高速シャッター使用時の注意点について

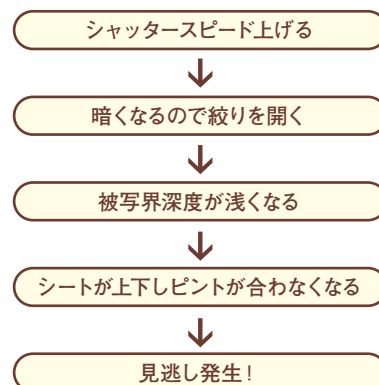
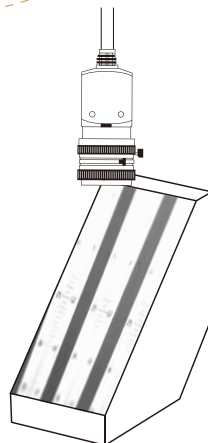
シャッタースピードを上げると露光時間が短くなり、絞りを開くケースが多いのですが、ここに落とし穴があります。実は、絞りを開けると被写界深度（ピントの合う範囲）が小さくなります。例えばシートの異物検査でシートが上下するような場合では特に注意が必要です。最悪の場合は、シートの上下によりピントが甘くなり、検出に影響を与えます。



絞りを開いた状態
(ピントの合う範囲が狭くなります)



絞りを閉じて光量を調整した状態
(ピントの合う範囲が広がります)

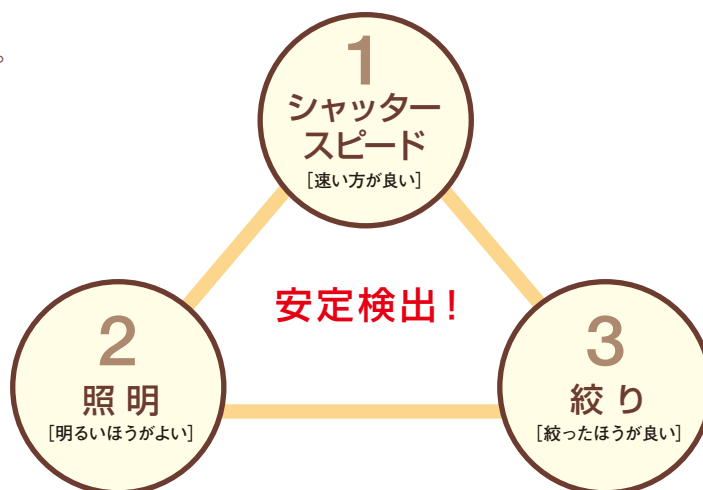


↓ 11-5 高速ラインでの検査を成功させるための絵作りのポイント

■3つの要素のバランスをうまく取ることが重要です。

- 1.シャッタースピードを決め、
- 2.絞りを考慮し、
- 3.照明で必要光量を決める

という考え方が、最も安定する一般的なセッティング方法です。



実践編のまとめ

インラインにおける外観検査の最適な設定方法を決めるには以下の点を覚えてください。

- ①まず検査すべき最小検出サイズを決める。基本的には視野内の2画素角以上を基準とする。
- ②①の最小検出サイズを基準として、対応可能なワークスピードを求める。
ラインの動きによって、間欠送りなら画像センサの処理速度を求める。
連続送りならシャッタースピードを求めた上で、画像センサの処理速度を求める。
- ③高速ラインでの絵作りでは、シャッタースピード・照明の明るさ・レンズの絞りに注意して、最適な撮像をする。