

はじめての 画像センサ「超」入門

総集編

「画像センサは難しい」「導入までが大変」そんなイメージはありませんか？

確かに画像センサは機種のバリエーションが多いほか、照明(ライティング)・制御など、多くの要素をもったセンサです。逆にポイントとなる項目を事前におさえることで、安定した検査を実現して導入メリットを見出すことのできるセンサもあります。ここでは画像センサを導入～設置～運用していくまでにおさえておきたい手順とポイントを分かりやすく解説します。

はじめての画像センサ「超」入門 目次

Step 1 機種選定 その1 ～カメラを選ぶ！～

- カメラ選定① 画素数で選ぶ(高画素タイプ or 標準タイプ)
- カメラ選定② CCDタイプで選ぶ(カラータイプ or 白黒タイプ)
- カメラ選定③ 転送速度で選ぶ(高速タイプ or 標準タイプ)
- カメラ選定④ カメラサイズで選ぶ(小型タイプ or 標準タイプ)

Step 2 機種選定 その2 ～照明を選ぶ！～

- 照明選定① 照明を当てる方向を決める(正反射/拡散反射/透過)
- 照明選定② 照明のタイプ・形状を決める
- 照明選定③ 照明の色・波長を決める

Step 3 機種選定 その3 ～レンズを選ぶ！～

- レンズ選定① 焦点距離と視野の求め方
- レンズ選定② 被写界深度(ピントの合う高さ範囲)を深くする方法
- レンズ選定③ レンズ性能によるコントラスト差について

Step 4 検出判断

- 検出判断① 判断基準に必要な準備
- 検出判断② 判定公差と余裕度の確認
- 検出判断③ タクトタイムと画像処理時間
- 検出判断④ 画素数と処理時間

特別付録 設置のノウハウ

- カメラ・レンズ設置編
- 照明設置編

画像センサに使用されるカメラの種類は大きく以下のように分類されます。
この中から用途に合わせて最適な画像が得られるカメラを選定します。

- ① 高画素タイプ
- ② 高速タイプ
- ③ 標準タイプ
- ④ 小型タイプ

それぞれに
カラー・白黒カメラがあります。



カメラ選定 ① 画素数で選ぶ(高画素タイプ or 標準タイプ)

画像センサに使用されるCCD撮像素子は、格子状に並んだ小さな画素(ピクセル)の集合体です。標準タイプとしてよく使用される31万画素のCCDから、高画素タイプと呼ばれる200～500万画素のCCDが存在します。ではこの画素数の違いをどうやって使い分ければよいのでしょうか？

一般的には「視野サイズ」と「画素分解能」という考え方からカメラを選定します。
「視野サイズ」は検査対象物を撮像する範囲で、使用するレンズにより変更可能です。また「画素分解能」とは「CCDの1画素が何mmに相当するか」であり、それぞれの関係は以下の式であらわされます。

$$\text{画素分解能} = \text{Y方向視野サイズ(mm)} \div \text{CCDのY方向画素数}$$

それではY方向30mmの視野サイズに設定したときの画素分解能を考えてみます。CCDは標準タイプの31万画素(Y=480画素)と高画素タイプの中でも汎用的な200万画素(Y=1200画素)を使用します。

$$\text{[31万画素カメラ使用時の画素分解能]} = 30\text{mm} \div 480\text{画素} = 0.063\text{mm/画素}$$

$$\text{[200万画素カメラ使用時の画素分解能]} = 30\text{mm} \div 1200\text{画素} = 0.025\text{mm/画素} \quad \text{となります。}$$

画素分解能が分かれば、その時の視野サイズでの目安が算出できます。
画像センサの代表的なアプリケーションとして「外観検査」と「寸法検査」がありますが、「外観検査」では「最小検出サイズ」が、「寸法検査」では「寸法公差」が良否判定に用いられます。

それぞれの目安は一般的に、

$$\text{「最小検出サイズ」} = 4\text{画素角}$$

$$\text{「寸法公差」} = \pm 5\text{画素} \quad \text{を基準として算出します。}$$

先ほど計算した画素分解能から、「外観検査」をした際の「最小検出サイズ」を求めると

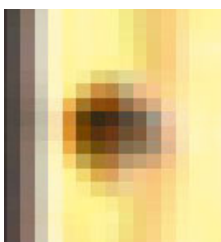
$$\text{[31万画素カメラ使用時の最小検出サイズ]} = 0.063\text{mm/画素} \times 4\text{画素角} = 0.25\text{mm角}$$

$$\text{[200万画素カメラ使用時の最小検出サイズ]} = 0.025\text{mm/画素} \times 4\text{画素角} = 0.1\text{mm角} \quad \text{となります。}$$

もし「視野30mm内でφ0.1mmの異物まで検出したい」という検査内容であれば200万画素以上のカメラを選定する必要があるといえます。

【参考】視野30mm内のφ0.5mmの異物部分を拡大

31万画素



200万画素



※200万画素の方がよりコントラストのとれた微細な変化のわかる画像が得られます。

カメラ選定 point 1

「画素分解能」という考え方から良否判定の目安をつけることで最適な画素数のカメラが選定できます！

カメラ選定

②

CCDタイプで選ぶ(カラータイプ or 白黒タイプ)

「カラーカメラと白黒カメラ、どちらを選定すればよいの?」という質問がよくあります。

一般的に、検出したいポイントが「色相変化」で差が出ている場合はカラーカメラでメリットが出るケースがあります。以下は白黒カメラでは検出しづらい白地に黄色の汚れをカラー処理を使用して検出している例です。

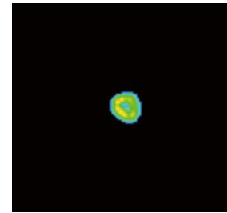
①カラーカメラ画像



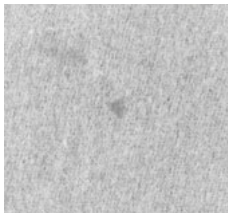
②カラー処理画像



③傷検査安定度表示



白黒カメラ画像

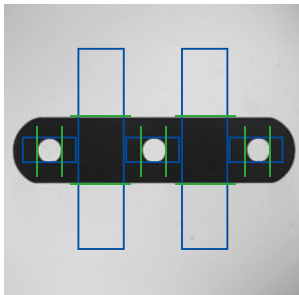


今回のように、「明度変化」に違いが出にくい場合、白黒カメラでは背景ムラとのコントラスト差が出にくいいため、検出が安定しません。
カラーカメラでは②の画像で、内部的には黄色と白のコントラストが大きく取れていることが分かります。また、③の画像は傷検査モードを設定して安定度表示にした画像です。実際の検査を実行した時にも、カラー処理によって安定検出が可能であることを示しています。

ただし、白黒カメラを選定するメリットが無いというわけではありません。

以下の「バックライトを使用した寸法計測」のように、「色相変化」ではなく「明度変化」で大きく差が出るようなケースでは白黒カメラを選定することもあります。

【バックライトを使用した金属ワークの各種寸法検査】



カメラ選定 point 2

検出したいポイントが「色相変化」なのか
「明度変化」なのかを見極めることで、
カラーカメラと白黒カメラを使い分ける!

カメラ選定

③

転送速度で選ぶ(高速タイプor標準タイプ)

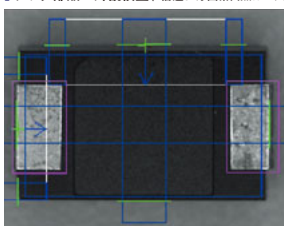
画像センサのカメラには、画素数は同じでも転送速度が高速なタイプがあります。

31万画素のタイプを例にあげると、標準タイプの転送速度16.0msに対して高速タイプでは4.7msの転送速度を実現しています。部分取込機能により更なる高速化も可能です。

ライン速度が高速な場合はもちろん、通常のライン速度における検査においても「前処理の追加」「検査ツールの追加によるダブルチェック」など、より安定性を高めた検査を行ないたい場合に高速タイプの選択が有効です。

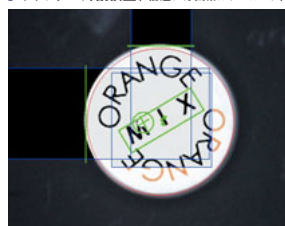
【高速カメラ使用アプリケーション】

■ チップ部品の外観検査 (7倍速31万画素白黒カメラ)



検査項目	トリガ間隔
・モールド部の傷検査 ・寸法検査 ・位置補正 (XYθ)	3ms
検査可能個数	19980個/分

■ キャップの外観検査 (7倍速31万画素カラーカメラ)



検査項目	トリガ間隔
・印刷欠け検査 ・位置補正 (XY) ・角度補正 (360°)	12ms
検査可能個数	4999個/分

カメラ選定 point 3

高速カメラ選定のメリットは「検査タクトの
高速化」だけではなく「処理を安定させる」
ことにもつながる!

カメラ選定

4

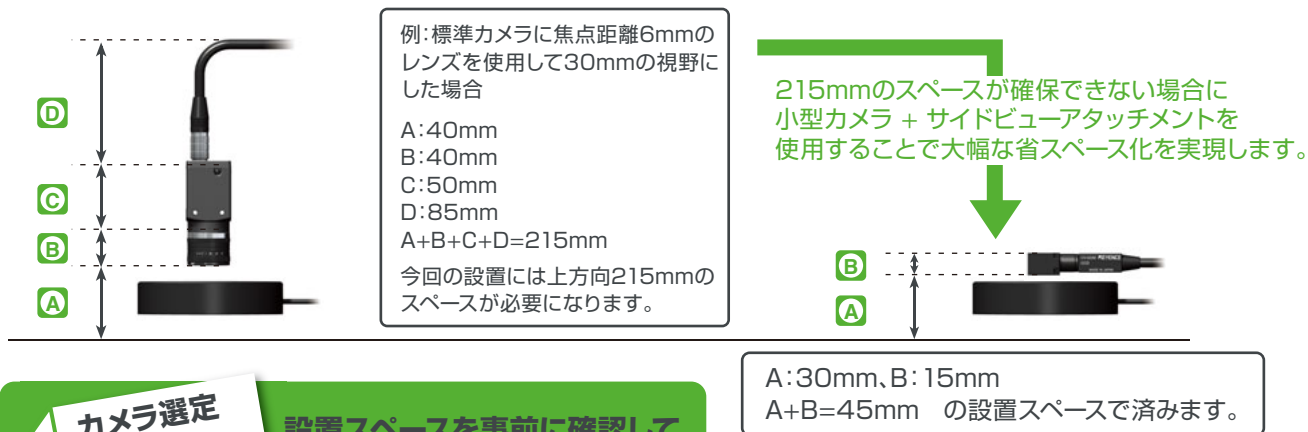
カメラサイズで選ぶ(小型タイプ or 標準タイプ)

小型カメラはスペックはそのまま、カメラサイズを大幅に小型化したものです。高画素タイプ、標準タイプのカラー・白黒それぞれに小型タイプがあり、多くは限られた設置スペースを有効活用するために選定します。

特に既存設備への後付けなどでスペースが無い場合などは、大幅な設備改造が不要になるため小型カメラを選定するメリットが出てきます。

【必要設置スペースの考え方】

下図のように、A:WD(ワーキングディスタンス = レンズ先端～ワークまでの距離)、B:レンズサイズ、C:カメラサイズ、D:ケーブルスペース(曲げ部含む)を合計したものがカメラ部分で必要になる設置スペースです。



カメラ選定 point 4

設置スペースを事前に確認して
 小型カメラを選択することで
 不要な設備改造を無くすことが可能!

カメラ選定のまとめ

画像処理におけるカメラ選定は、安定検査を行なう上で最も基本的、かつ重要な選定項目となります。今回「カメラ型式早見」をご用意しましたので、以下の選定手順とともに照らし合わせて確認することで最適カメラの選定にたどりつくことができます。

【手順①】「画素数で選ぶ」…必要精度を満たす画素数はどのタイプか

【手順②】「転送速度で選ぶ」…高速処理やさらかな安定化処理を必要とするケースでは高速タイプを選択

【手順③】「カメラサイズで選ぶ」…設置スペースが限定される場合は小型タイプを選択

【手順④】「CCDタイプ(カラー/白黒)で選ぶ」…色相変化をとらえる場合はカラーカメラを選択

①	31万画素			100万画素	200万画素			500万画素
	640×480			1000×1000	1600×1200			2432×2050
②	4.7ms	16.0ms		20.5ms	29.2ms	58.5ms		61.2ms
③	標準	標準	小型	標準	標準	標準	小型	標準
④	CV-H035C	CV-035C	CV-S035C	CV-H100C	CV-H200C	CV-200C	CV-S200C	CV-H500C
	CV-H035M	CV-035M	CV-S035M	CV-H100M	CV-H200M	CV-200M	CV-S200M	CV-H500M

現在画像処理で主に使われるのがLED照明です。
検査内容に合わせて最適な照明を選定するには
3工程あります。

- ① 照明を当てる方向を決める
- ② 照明タイプ・形状を決める
- ③ 照明の色(波長)を決める

【代表的な照明の形状(LED 照明の場合)】



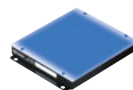
同軸落射方式
CA-DX



ローアングル方式
CA-DL



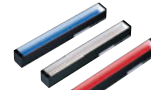
ダイレクトリング方式
CA-DR



バックライト方式
CA-DS



ドーム方式
CA-DD

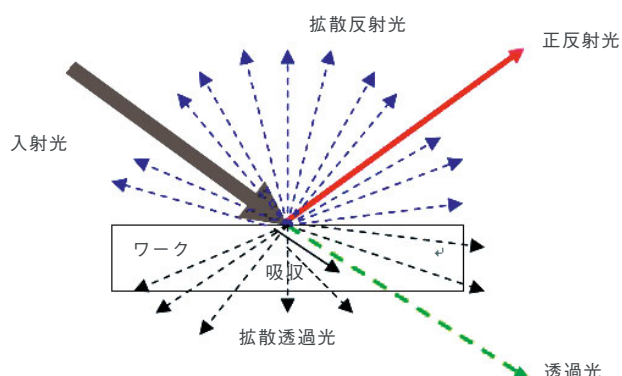


バー方式
CA-DB

照明選定

①

照明を当てる方向を決める(正反射／拡散反射／透過)



光の基本 入射光(茶矢印)がワーク表面にぶつかると、大きく分けて4種類の方向に分かれます。

- ① 同じ角度に反射する正反射光
- ② 表面で散らばる拡散反射光
- ③ ワークを真っ直ぐすり抜ける透過光
- ④ 表面で散らばるように透過する拡散透過光

入射光を100とした場合、正反射する光の割合を正反射率、それ以外の反射光の割合を拡散反射率、正反射と拡散反射の合計を全反射率といいます。

画像処理で使われる照明の方向は大きく3タイプに分けられます。

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、ガラス基板表面など反射しやすい特性のワークで有効

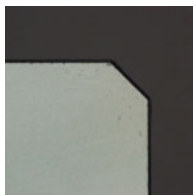
②拡散反射タイプ

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、透明テープ越しで検査をするなど反射しやすいワークを無視したいときに有効

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、不織布など光が通りやすいワークで有効

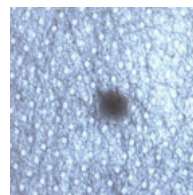
①正反射タイプの例
ガラス基板の欠け検査



②拡散反射タイプの例
フィルム越しのチップ印字検査



③透過タイプの例
不織布の異物検査



照明選定
point 1

ワークの素材・形状と検査用途から判断して、照明を
当てる方向を決めます。
正反射・拡散反射・透過の3種類から選択します。

照明選定

②

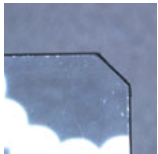
照明のタイプ・形状を決める

照射方向を決めた後は、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。それぞれの照射方向の照明候補から以下のように選定します。

各照射方向の代表的な照明タイプ

正反射	同軸落射照明	リング照明	バー照明
拡散反射	ローアングル照明	リング照明	バー照明
透過	面照明	バー照明	———

① 正反射の検出例



【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

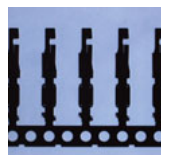
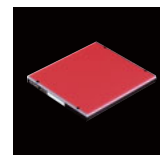


② 透過の検出例



【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
 - 3 ワークの背後に照明設置可
- 面照明(バックライト)が最適な選択です



照明選定

③

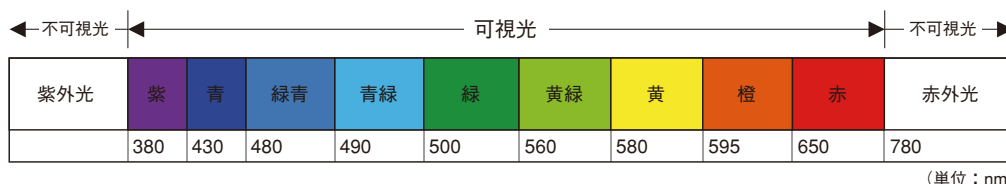
照明の色・波長を決める

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場合、白色を選択するのが一般的ですが、白黒カメラを使うときは以下の知識がより重要となります。

補色 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 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、フィルムなどを透過しやすい(長波長の赤色)、傷などの凹凸で拡散しやすい(短波長の青色)などの特性があります。

色相環図



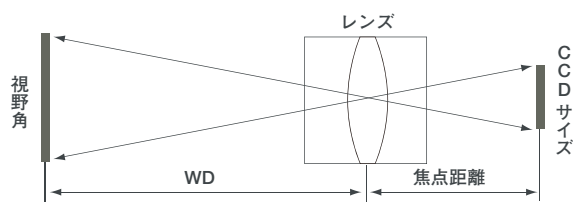
照明選定 point 2

照明の選定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。

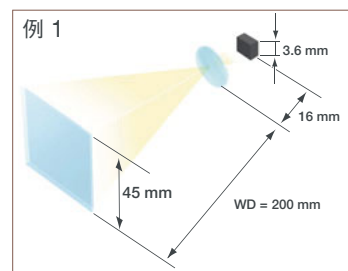
- ① 正反射か拡散反射か透過かを決める
- ② 照明形状(型式)／大きさを決める
- ③ 照明の色(波長)を決める

レンズ選定 ① 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、WDの概算の値は次の比例式で表されます。

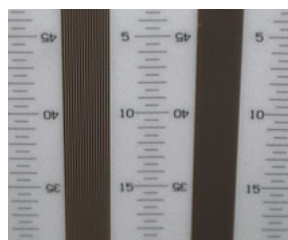


WD:視野角=焦点距離:CCD サイズ

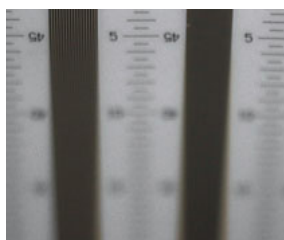
例1:焦点距離16mmレンズ、CCDサイズ3.6mmの場合、視野を45mmにするには、WDは200mmとなる。

レンズ選定 ② 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。

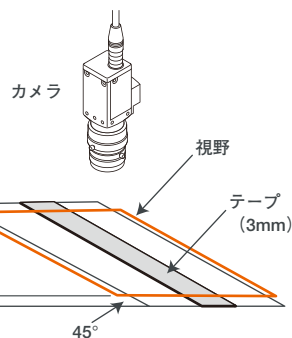


絞りを絞ったときの画像(CA-LH25)



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。



レンズ選定 ③ レンズ性能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。

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

CA-LH16



高解像度レンズ



CV-L16



標準レンズ



レンズ選定 point 1

レンズ選定の順序は右記のように行なってください。

- ① 撮像サイズと設置可能距離から焦点距離を決める
- ② ワークの形状から必要な被写界深度を考える
- ③ 検査精度から高解像度レンズか標準レンズかを選択する

検出判断

検出判断

①

検出判断に必要な準備

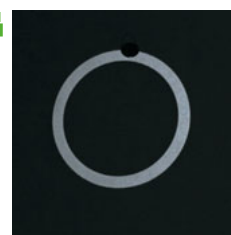
良品

不良品

良品、不良品サンプルを複数個用意する

画像センサによる検出可否を確認するためには、良、不良限度見本による実験が有効です。

また、限度見本サンプルは、複数個ご用意いただいた方が実ラインに近い結果になります。



「MUST」、「WANT」の切り分け

検査内容によっては、どうしても検出しなければならない「MUST」の項目と、できれば検出したい「WANT」の項目を明確にしておくことで、検出可否のランク分けが明確になります。

良品



不良品「MUST」

欠け



バリ



変形



白傷



不良品「WANT」

欠け(小)



バリ(小)



変形(小)



白傷(小)



「MUST」と「WANT」により具体的数値による違いがあれば、画像センサでの検出可否の安定性を判断しやすくなります。たとえば、大きさ20mmの対象を100万画素のカメラを使って視野25mmで検査した場合、1画素は、0.025mmになります。1画素を最小単位と考えるとこの条件での理論上の検出限界は、0.025mmということがわかります。ただし、実際には、様々な外乱条件により検出できる限界は、これよりも余裕を見る必要があります。

たとえば、上の例で「MUST」の欠けの深さが0.5mmであれば20画素の変化として検査でき検出可能と判断できます。もし、「WANT」の欠けの深さが0.05mmであれば、2画素の変化であり、検出できるかどうかのぎりぎりの欠けであることが推測できます。

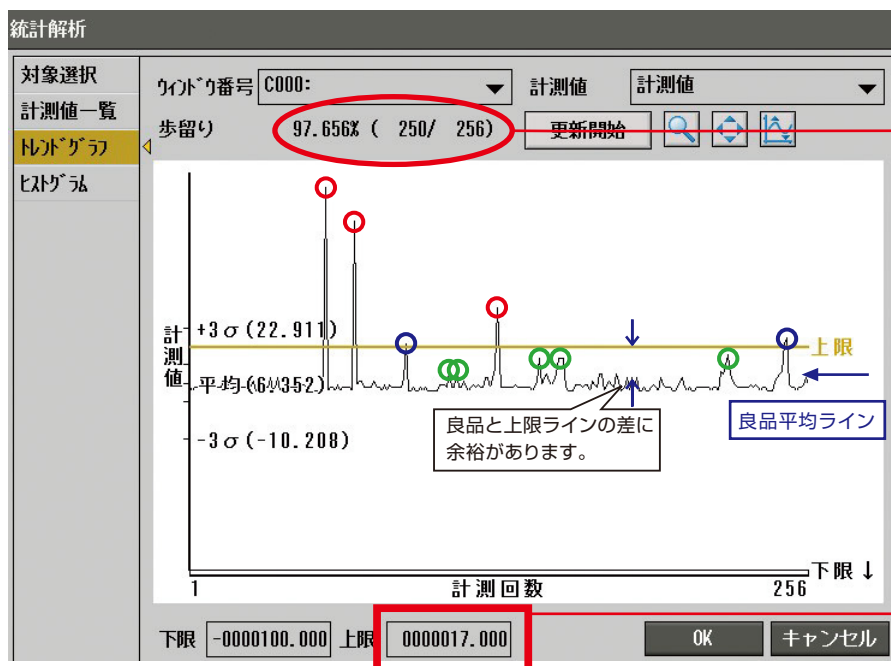
欠け「MUST」・・・0.5mm → 検出問題なし！

欠け「WANT」・・・0.05mm → 検出限界

検出可否の安定性を判断するには、複数の良品と不良品で計測値の統計データから判断する方法が確実です。下のグラフは画像センサCVシリーズの統計解析機能で256個の検査ワークの計測結果を表示したものです。上限ライン以上をNGとして検出しています。上限値の設定でどれくらいまでを不良品として検出できるかがわかります。

余裕を持った公差(上限)設定の場合

計測値の平均が約6.3で赤丸が「MUST」の不良品で十分上限を超えています。
青丸、緑丸は、「WANT」の不良品で上限17.0では青丸のNGまでが検出できています。
この設定では、緑丸の「WANT」の不良品は検出できませんが、良品は誤検出しません。

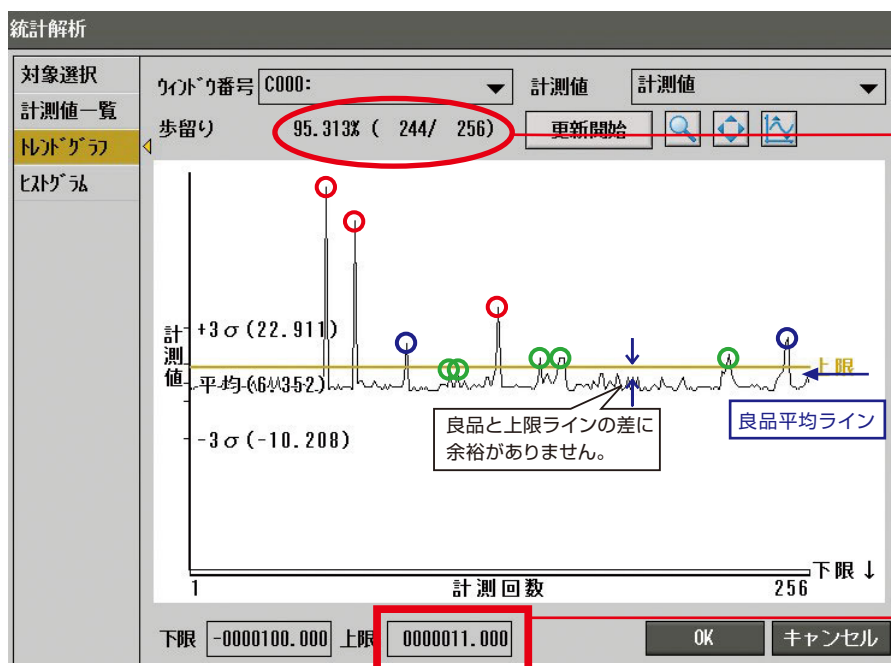


上限値: 17
↓
良品数: 250

上限値を17から11に厳しくすると、良品数が250個から244個に減り、歩留まりが下がることがわかります。

「WANT」の不良品もできるだけ検出するぎりぎりの設定の場合

「WANT」の不良品である緑丸を検出しようとするすると良品のばらつきとの最大値と重なるため、これ以上上限を下げると良品を不良品として検出する頻度が高くなります。
この例では、緑丸の不良品が良品と重なる限界ということがわかります。



上限値: 11
↓
良品数: 244

検出判断

③ タクトタイムと画像処理時間

画像センサを使用して検査を行なう場合、画像センサの処理速度については必ず考えておく必要があります。最新の画像センサは超高速処理が可能であり、検査内容によっては1秒間に100個もの検査も可能です。ただし、カメラの画素数や処理内容、処理項目数などによって画像処理時間は大きく変わりますので、画像センサの処理速度と検査ラインのタクトタイムの確認は重要です。

画像センサの処理フローとは？

画像センサによる検査の流れは、下のような流れになります。



撮像・転送: カメラがシャッターを切る時間と取り込んだ画像をコントローラへ転送する時間です。

画像処理: 取り込んだ画像を処理します。検査項目に応じて、有無、寸法、位置、個数などの検査が可能です。

判定出力: 良品、不良品の判定結果を出力します。

画像センサの処理速度

撮像・転送時間: 数ms ~ 数十ms

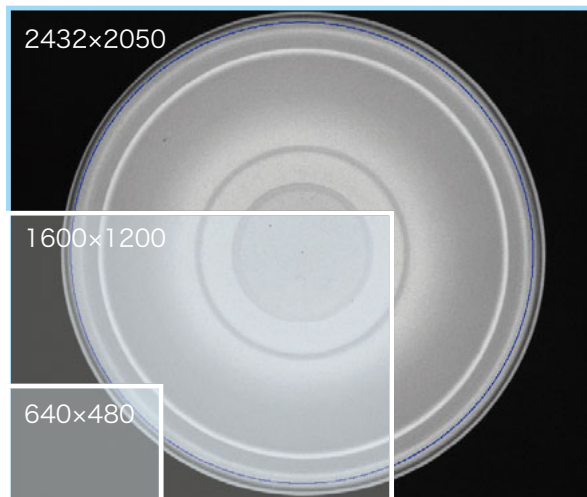
画像処理: 数ms ~ 数百ms

検査タクトに換算すると

数百個/分 ~ 数千個/分

検出判断

④ 画素数と処理時間

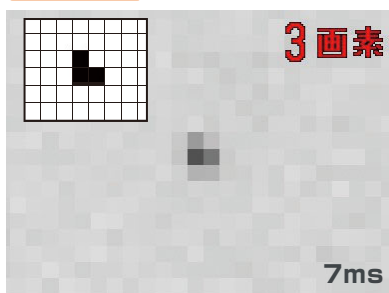


使用するカメラの画素数によって、検出できる最小分解能が変わります。カメラの画素数が多いほど分解能は高くなりますが処理時間は遅くなります。

下の例は、31万画素、200万画素、500万画素カメラでの容器上の黒点を検出した例です。各カメラで同じ視野で2値化の画素数を比較すると、検出画素数に大きな差があり、高画素ほど細かな検出が可能であることがわかります。逆に処理時間は高画素ほど遅くなることがわかります。

*下記は処理時間、画素数は代表例
処理時間は、最速トリガ間隔です。

31万画素



200万画素



500万画素



カメラ・レンズの取り付けに関するノウハウをご紹介します。
この方法を実行すれば意外と手間取る立上げ時の細かな調整、
さらにはメンテナンス時の工数削減間違いなしです。

接写リング

接写リングを複数
使用するときは要注意です。

アドバイス

接写リングを複数枚、複数個使用する場合には、しっかり固定するようにして下さい。ネジロックで固定するといいでしょ。また、2ミリメートル以内の視野にしたいときはマクロレンズを使うのが有効なときがあります。

カメラ取り付け

カメラは絶縁取付していますか。

アドバイス

絶縁取付をしなかったためにカメラが故障したケースもあります。付属の取付樹脂をつけるだけでOKです。必ずこれを使用して絶縁取付をしてください。

カメラ取付穴

カメラ取付用のステー(治具)には
長穴加工を！

アドバイス

適切な画像を得るために、カメラの位置を微調整する場合があります。そんなとき、上下に移動できるように長穴付治具を用意しておくで現場での調整工数が削減できます。

対象物

視野(Y)

ワーキング
ディスタンス
(WD)

ロックビス

絞り・フォーカスはきちんと
固定されていますか。

アドバイス

ロックビスはしっかりと固定してください。微小な振動でビスが徐々に緩んでしまい、誤検知につながる場合があります。

絞り

絞りは開きすぎていませんか。

アドバイス

適切な画像を得るためには明るさの調整が欠かせません。絞りを全開しているとそれ以上明るくできず、照明の劣化にも対応できません。明るめの照明を使用し、適当な絞りの状態で使ってください。

レンズの汚れ

レンズの汚れには保護フィルタが有効です。

アドバイス

使用環境によってはレンズに汚れが付着する可能性があります。こんなときには、ぜひ保護フィルタをつけてください。フィルタを取り替えるだけのメンテナンスでよく、手間が省けます。

コラム

高倍率はマクロレンズで

通常画像処理にはCCTVレンズを使用します。この、CCTVレンズで視野角を2mm程度にするためには、接写リングを使用します。しかし、接写リングをあまり多く使用すると、鮮明な画像が得られず、検出が安定しないことがあります。0.5～2mm程度の視野を得たい場合は、マクロレンズの使用が有効です。キーエンスでは寸法測定に有利なテレセントリック方式のマクロレンズを多種取り揃えています。

カメラやレンズと同様に照明の設定にもノウハウがあります。せっかくベストな照明を選定しても、現場での取り付けあるいはメンテナンスに工数がかかる場合があります。ここでは、照明に関する工数削減ノウハウをご紹介します。

取付位置

適切な位置につけていますか。

アドバイス

せっかくの照明も適切な位置に設置しないと無用の長物になりかねません。その照明を消すと画像が真っ暗になるのが理想です（もちろん点灯時はきれいな画像です）。

リング型



取付方法

高さを調整できるようにしていますか。

アドバイス

照明を上下するだけでワークの映り方は全く違います。したがって、最適な画像を得るためには、照明を上下できるようにしておくことをお勧めします。最終調整にも役立つこと間違いなしです。

照度変化

電源投入直後は照度変化します。

アドバイス

温度ドリフトで電源投入後はしばらく照度が安定しません。照度が安定したところを見計らって設定してください（一般的には15～30分必要です）。

バー型



コントローラとモニタ

照明用コントローラとモニタは近くに置いていますか。

アドバイス

照明の調光はコントローラでおこないます。このときモニタが近くにないと調整に苦労します。コントローラとモニタは近くにおいて移動しないでその場で確認できるようにしてください。

面型



メンテナンス(その1)

照明は消耗品です。長期運用するためには取り替える必要があります。

アドバイス

あまり奥まったところに取り付けるといざランプ交換のときにさあ大変。長期運用にはランプ交換のことも考えて取付場所を選定してください。

スポット型



メンテナンス(その2)

野書き線をつけておきましょう。

アドバイス

ランプ交換のため照明部分を取り出しました。いざ戻そうとすると、場所が分からない!ということもありがちです。取り付け位置には野書き線をつけておきましょう。

コラム

照明の寿命

照明には寿命があります。光源別の寿命は右のグラフのようにLEDが最も長く、ハロゲンが短くなっています。LEDは応答性がよく、間欠点灯ができるので、使い方によってはさらに長寿命にすることが可能です。

光源別の寿命(代表例)

