

円柱形状部品の外観検査用画像処理システム

Image Processing System for Visual Inspection of Cylindrical Parts

野上良治 Y. NOGAMI 山田和明 K. YAMADA 森川仁司 H. MORIKAWA

Despite the progress of automation in overall manufacturing processes, visual inspection process is behind others in advancement. However, there is growing needs of automatic visual inspection device that can replace manpower in the field of metallic cylindrical parts such as rollers, pins and shafts. Therefore, we have developed high speed and high accuracy image processing system for automatic visual inspection on cylindrical parts.

In this paper, our techniques are reported on image processing system enabling high speed and high accuracy visual inspection, which is realized by original simultaneous processing algorithms. The algorithms handle both the detection of defects and the development of 2-D image formed from many 1-D signals, obtained through line-scan camera scanning the on-feed objects directly while they are moving.

Key Words: image processing, visual inspection, cylindrical parts, line-scan camera, through-feed system

1. はじめに

円筒ころ軸受や、針状ころ軸受に用いられているころを含め、電機部品や自動車部品のピン、シャフトなどの多くは外観検査を受けているが、処理速度、精度面の問題で、目視による検査が多く残されている。生産工程の効率化、省人化を進めるうえで外観検査工程の自動化を望む声は非常に多く¹⁾、我々は、これまでに深溝玉軸受完成品など円環形状部品の画像処理による自動外観検査機を手がけてきており、そのノウハウを生かして、今回円柱形状の部品を対象とした自動外観検査用画像処理システムの開発に取り組んだ。

開発の第1ステップでは円筒ころの転動面をターゲットとし、位置決めした2個のワークを同時検査することによって高速化を図ったが、確実なワークの供給・排出を保証する機構部が一定以上の検査時間の短縮を妨げた。

続く第2ステップにおいては、さらなる高速化を実現するため、流動中のワークを止めずに検査するスルーフィード方式に取り組んだ。その結果、検査時間が大幅に短縮されるとともに、検査対象も針状ころからシャフトなどの長尺ワークにまで対応可能になるなど、より高性能なシステムを開発することができたので、その技術的内容の概略をここに紹介する。

2. 開発システムの概要

2.1 第1ステップ(ワーク固定方式)の概要

円柱形状部品外観検査の開発第1ステップでは、検査対象を円筒ころ転動面とし、撮像機構部を図1に示す構成とした。回転するローラ上に検査対象のころを2個直列に位置決めし、転動面をラインセンサカメラで走査した。

通常1次元信号として順次波形処理されるラインセンサカメラの走査信号は、図2に示すように2次元画像化する²⁾ことで、単に明暗差だけでなく、欠陥の形状、連続性などの特徴をとらえた検出が可能となり、検査の信頼性が向上した。

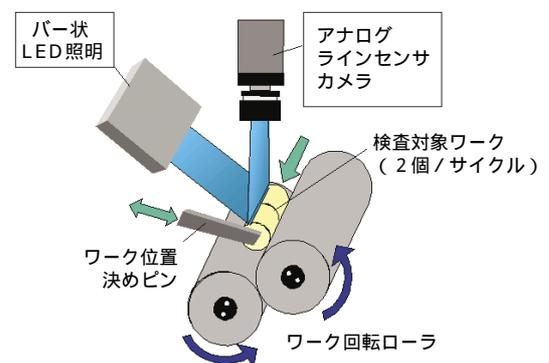


図1 開発第1ステップの円柱面撮像機構部
Mechanism to grab image of cylindrical surface
at the 1st step of the development

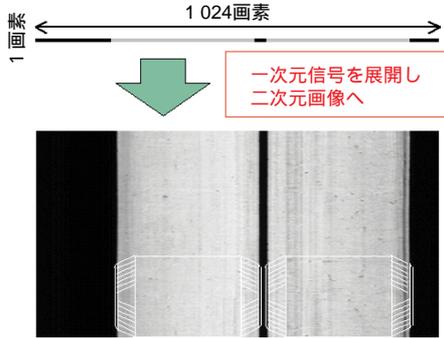


図2 ラインセンサ信号の2次元展開画像
2-D image formed from signals of line-scan camera

2.2 第2ステップ(スルーフィード方式)の概要

開発第2ステップではさらなる検査時間の短縮と、より多様なワークサイズに対応することを目的としてスルーフィード方式を採用した。その撮像機構部の構成を図3に示す。

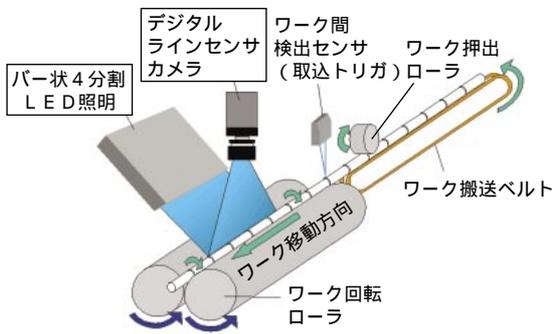


図3 スルーフィード方式外観検査システムの撮像機構部

Mechanism to grab image of the through-feed system

スルーフィード方式にしたことで、まず問題になるのが、図4に示すように移動中のワークが進行方向に斜めにシフトして映ることである。またワークの移動速度に変動があった場合には、図5のようにシフト量が変わり、ひずんで映る。このような不安定な画像においても個々のワークを正確に判別し、高精度な欠陥検出が行われなければならない。

また、ワークを位置決めして撮像する場合と比較して、移動分だけ撮像範囲が広がるので、より均一な照明が必要となる。

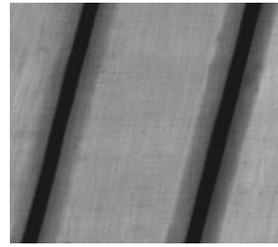


図4 移動中ワークのラインセンサ画像

Image of the work under feeding

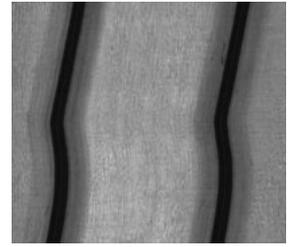


図5 ワーク移動速度の変動でひずんだ画像

Warped image by change of feeding speed

3. 移動中ワーク画像での検査

3.1 走査基準位置の検出

図4のようなワークが連なった画像で検査を行うには、まず検査対象とするワーク領域を特定する必要がある。さらに図4のような斜めにシフトした画像、または図5のように速度変動によってひずんでしまった画像においても正しく走査するために、画像から対象ワークの左端座標を検出し、それを基準位置として走査を行う。

走査アルゴリズムの説明を図6に示す。まず検査対象ワークが画像上のほぼ一定の位置にくるように図3にあるワーク間検出センサの信号をトリガとして撮像する。

以下のように定義したとき

$array_x[y_n]$: 走査基準配列

x_0 : 設定時のワーク左端位置

W : 設定時のワーク幅

画像中の x_0 から $\pm W/2$ の範囲を走査することで検査対象ワーク位置を特定し、 $array_x[0]$ に格納する。

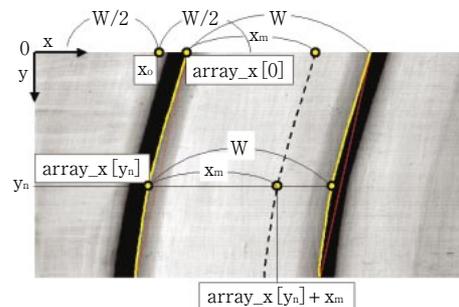


図6 走査アルゴリズム

Algorithm of scanning

次に走査基準位置として、 $array_x[0]$ から画像上のワーク切れ目の明度差を利用してワーク左端部分の座標を検出し、順次 $array_x[y_n]$ に格納する。各欠陥検出アルゴリズムの中で特定画素の明度値を呼び出すときには、この走査基準配列を使って

下のように変換し、走査を行う。

$$(x_m, y_n) \rightarrow (\text{array_x}(y_n) + x_m, y_n)$$

この手法により、ひずんだ画像においてもワーク検査面内の正確な位置情報が画素に関連づけられ、検査精度が向上した。

3.2 欠陥検出アルゴリズム

図7に、各欠陥検出アルゴリズムの概要を示す。この図から分かるように、画像上のワーク領域を明度分布によってフラット部、クラウニング部、面取部と三つの領域に分けて検査している。

フラット部とクラウニング部では、黒皮残りやピンホールを代表的な欠陥として検出し、フラット部ではそれに加えてかすれ傷(転動面の周方向(画像斜め縦方向)についた光沢不良)も検出している。面取部に関しては、局所的な欠けと広範囲の偏心とを個別に検出している。

かすれ傷に関しては特に明度差が小さいため、周方向に細く長い形状的な特徴をきわだたせて検出できるように、明度分布を最適化する変換曲線で画素値の変換を行った。さらに2値化した後、黒画素の膨張を行ってから周方向に走査し、黒画素の周方向の連続数によって欠陥を検出している。

他にもさまざまな欠陥の特徴をとらえたアルゴリズムを使って欠陥を検出しており、またこれらを別の要因で発生する欠陥として分類し履歴を残すことで、前工程の改善点を見つけやすくするなど、品質向上のツールとしても利用可能な検査システムとした。

また、前述の左端座標を基準に走査を行う方式だけでは、面取部の検査で左側に欠陥があったとしても右側として検出されてしまう問題があるが、これについて、検出された走査基準配列の直線性が高いほとんどの場合には直線に置換するなどして対応している。

4. 高速化のアプローチ

4.1 取込時間の短縮と照明手法の改善

取込ライン数をワーク外径寸法に合わせて最適化することで、取込時間を短縮した。

ラインスキャン時間も短縮するために高クロックのデジタルラインセンサカメラを新たに採用したが、その代償として電荷蓄積時間が短くなり、そのままでは画像の明度とコントラストが不足してしまう。その対策として照明を高出力化(LED数45個→120個)するとともに広範囲をむらなく照射するために、長尺化した照明を4分割し、個別にLED駆動電圧をPWM制御可能とした。これにより、画面両端での光量低下を補正し、ラインセンサの視野範囲全域(約100mm)において均一な光量が得られるようになった。さらにLEDの発熱などによる光量低下を自動補正することにより、常に検査に最適な画像が得られるようにしている。

4.2 画像取込と欠陥検出の並列処理化

この並列処理は、図8に示すように画像取込用バッファを二つ用意し、画像を取り込んでいる最

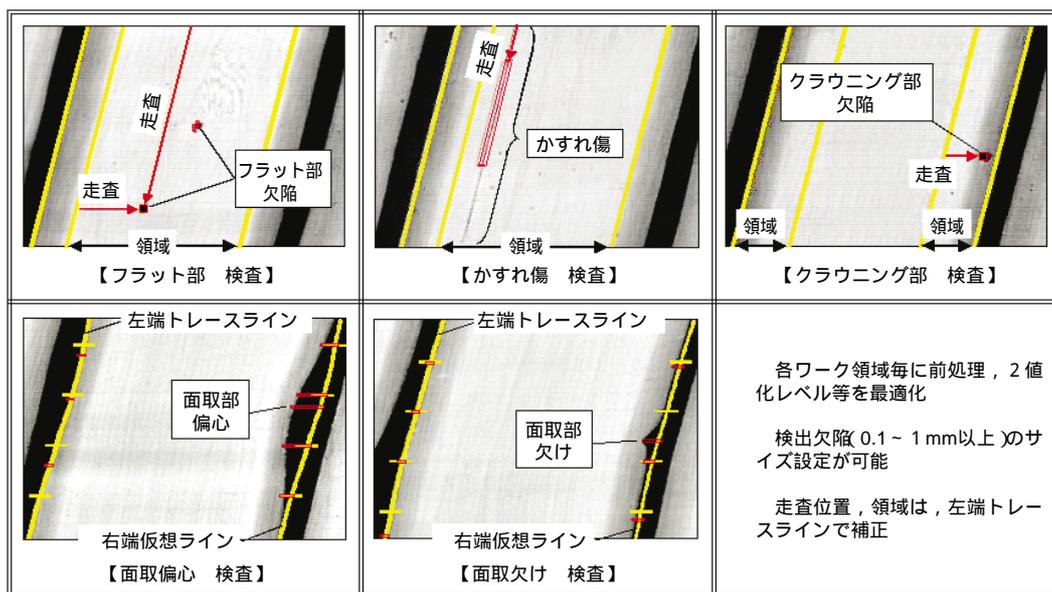


図7 欠陥検出アルゴリズム例
Algorithm of inspection

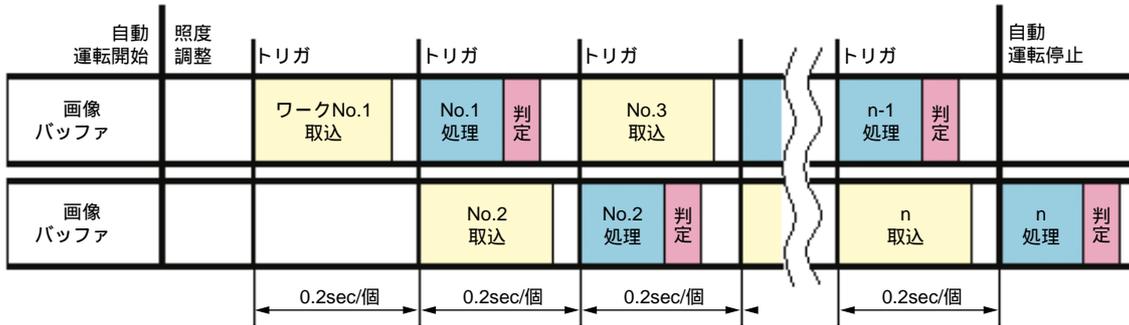


図8 並列処理のタイムチャート
Time chart of parallel processing

中に、すでに取り込んである前のワークのバッファ画像を処理する、いわゆるダブルバッファリング方式である。今回画像取込と欠陥検出の並列処理により、検査に要する時間は従来に比べてほぼ半減した。

参考として、第1ステップのシステムと、第2ステップのシステムを用いた外観検査機のサイクルタイム内訳を図9に示す。(ワーク固定方式は2個同時検査なので、グラフは1個分の時間に換算)

スルーフィード方式と新たな高速化の手法により、サイクルタイムを1/2以下にすることが可能となった。

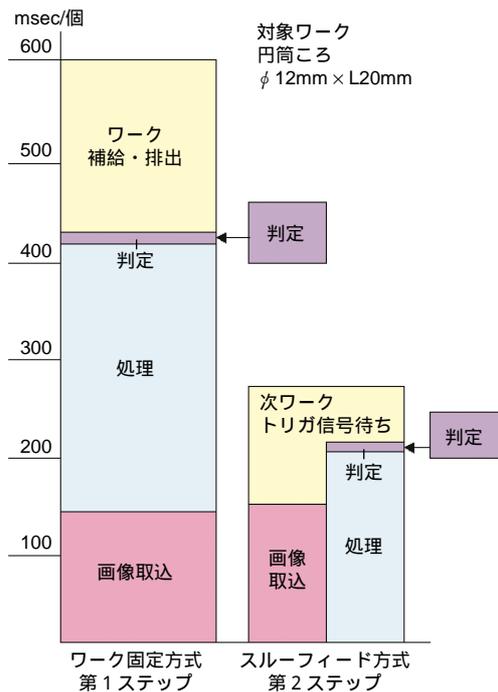


図9 サイクルタイム内訳
Items of cycle time

5. 設定の簡易化他

5.1 設定の簡易化

今回プログラムの動作環境を第1ステップのMS-DOS®環境から、第2ステップでは視認性、操作性に優れるWindows® NT環境へ変更するとともに以下のような機能を実装した。

- ・ワークサイズの自動簡易設定機能
設定ミスの防止、適正化、操作性の向上
- ・NG判定したワーク画像を最新10枚まで自動保存し、再計測可能
NG品履歴確認、設定レベルの適正化
- ・明度分布のラインプロファイルグラフ表示 (図10)

照明など光学系のメンテナンス性向上

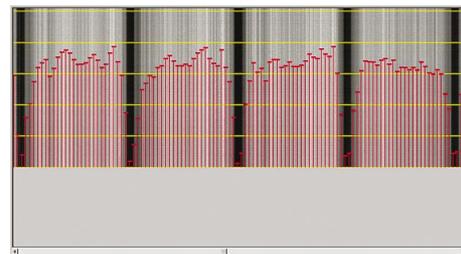


図10 ラインプロファイルグラフ
Line profile graph

5.2 ROM化による信頼性の向上

Windows®を用いたパソコンシステムを製造現場に導入したとき、その耐久性、信頼性が懸念されるHDD部について、本開発システムでは、Windows® NTの必要機能だけを取り出してROM化(ROM化Windows®)することによりHDDを用いずに、MS-DOS®環境と同等の信頼性を確保した。

その他、システムのHMI(ヒューマンマシンインタフェース)については、マウス・キーボードだけでなく、専用簡易操作パネル(スイッチ/ボタン)による操作を可能とし、製造ラインと親

和性の高いインターフェースとした。

6. おわりに

今回開発したスルーフィード方式による円柱形状部品の自動外観検査用画像処理システムにより、大幅な高速化と、多様なワークサイズへの適用が可能になった。図11に、本開発システムを適用した外観検査機の一例を示す。



図11 開発システム適用の外観検査機例

Application example of this development to visual inspection machine

今回の開発システムには対象ワークのサイズに適した2048画素のラインセンサカメラを用いたが、さらに高分解能のラインセンサを搭載することで100mm以上の長尺ワークの検査や、より微細な欠陥の検出にも対応が可能なシステムとした。また有効視野以上の長尺品も連続してスパイラル状に走査すれば、同様の方式で検査可能である。

金属部品の製造ラインにおける外観検査工程は自動化が最も後れており、自動外観検査の導入によって製品の信頼性向上、ラインの高速化、そしてそれらによる製造コストの低減効果が期待される。

MS-DOS[®], Windows[®] NT, Windows[®]は米国 Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。

参考文献

- 1) 富士経済大阪マーケティング本部第一事業部第一部：2003画像処理システム市場の現状と将来展望，株式会社富士経済(2003)。
- 2) 動体計測研究会：イメージセンシング デジタル画像 - 計測技術と応用 - ，社団法人日本測量協会(1997)B2。

筆者



野上良治*
Y. NOGAMI



山田和明*
K. YAMADA



森川仁司**
H. MORIKAWA

* 総合技術研究所 機械システム研究部

** 光洋機械工業株式会社 F A・精機事業部 技術部