

CVT 金属ベルト用エレメント画像処理 検査システムの開発

Development of Image Inspection System for CVT Steel Belt Element

江口 純 司*

Junji EGUCHI

片岡 隆 平*

Ryuhei KATAOKA

萩原 顕 治*

Kenji HAGIWARA

伊東 孝 夫*

Takao ITOH

要 旨

部品検査の作業時間の短縮を目的とした画像処理検査システムを開発した。CVT 金属ベルトの構成要素であるエレメント(以下、エレメントと呼称)の検査基準を構築し、CCD カメラによって撮影された画像をその基準にしたがって自動検査できるようにした。さらに、選別収納ができるように、画像処理検査結果にしたがってエレメントを自動的に振り分けて並べるエレメント搬送システムを開発した。この画像処理検査システムをエレメントの検査に用いることで、目視で行った場合と比較して、作業時間を半分以下にすることができた。

ABSTRACT

An image inspection system has been developed to reduce the time expended on product inspection. This system has been designed for inspection of the elements utilized in CVT steel belts. Images from a CCD camera are automatically inspected on the basis of a quantified grading standard. In addition, a new element transport system which automatically sorts and arranges the elements according to the results of inspection of the images has been developed to specific elements to be sorted out. The use of this system for inspection of CVT elements has reduced the time required for inspection by more than half against the visual product inspection method.

1. まえがき

Honda は快適な走行と低燃費を実現する CVT の構成要素である金属ベルトを自社開発し、2001 年から量産化した⁽¹⁾。金属ベルトは Fig. 1 に示すように、400 枚のエレメントと複数層、二束の金属リングにより構成される。これらのエレメントと金属リングの製造品質は、動力伝達性能に影響するため、高い信頼性が要求される⁽²⁾。

金属リングと接触する、エレメントのサドル面の欠け傷を Fig. 2 に示す。サドル面の検査には時間を要し、時間短縮が望まれている。そこで、筆者らは画像処理技術を用いた検査システムを開発し、エレメントの検査時間の短縮を実現した。

本稿では画像処理検査システムをエレメントに適用した事例について紹介する。

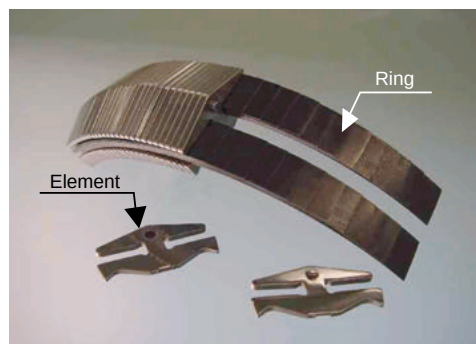


Fig. 1 CVT steel belt

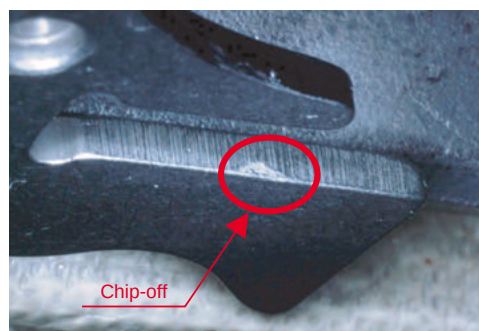


Fig. 2 Chip-off on saddle surface

2. 開発のねらい

Fig. 3 にエレメントの形状, Fig. 4 にサドル面に生じた欠け傷の例を示す。今回は、このエレメントサドル面に生じた欠け傷を検出し、その大きさを定量化する画像処理検査システムの開発をねらいとした。

システム開発に当たって三つの技術開発を行った。

- (1) 付け根R部を含めたサドル面全域の画像認識
- (2) 画像処理による検査基準の構築
- (3) エレメントを自動搬送、および画像処理検査結果に基づいてエレメントを選別収納可能なシステムの開発

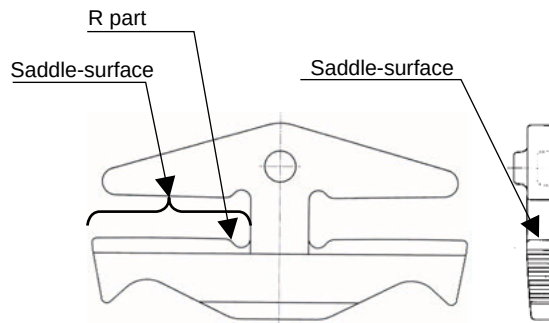


Fig. 3 Configuration of element

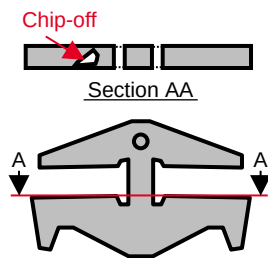


Fig. 4 Sample of chip-off on element

3. CVT エレメント画像処理検査システム

3.1. システム概要

Fig. 5 に画像処理検査システムの外観を示す。本システムは Fig. 6 に示すとおり、エレメントを一枚ずつ画像処理部まで搬送し位置決めを行う搬送機能部、サドル面を撮像し画像処理による欠け傷の検出を実行する画像処理機能部、画像処理結果に基づいてエレメントを選別収納する選別機能部の三つに分類される。また、各機能部は、システム制御ユニットと画像処理機能部にあるPCにより制御される。

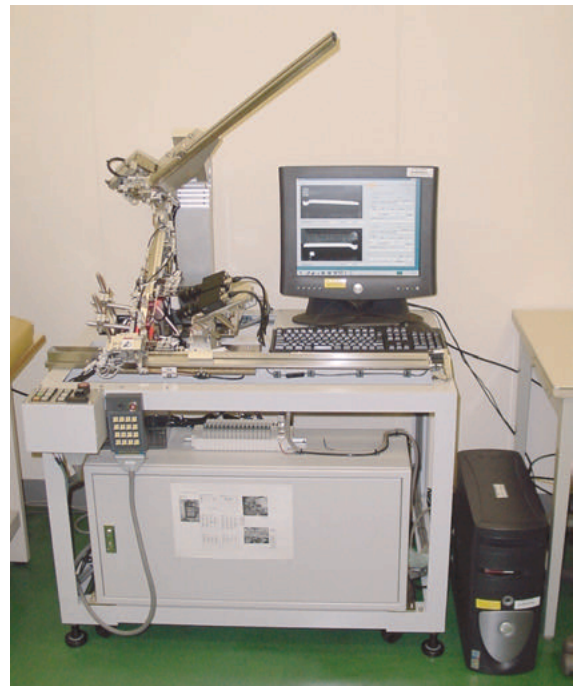


Fig. 5 Image inspection system for CVT element

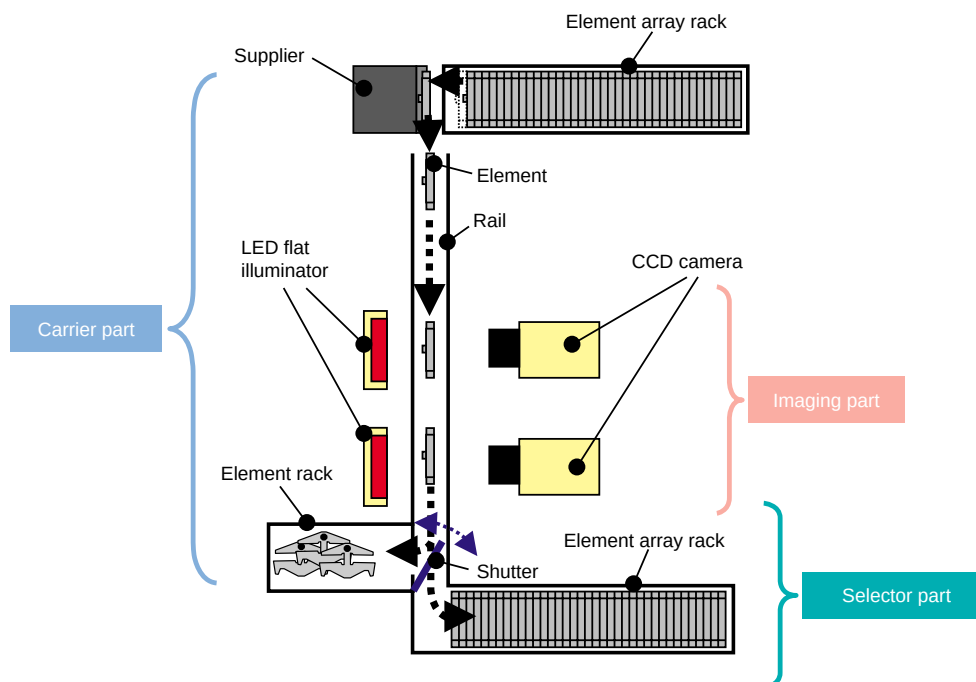


Fig. 6 System configuration

3.2. 搬送機能部

搬送機能部は、搬送ユニットへエレメントを供給する供給ユニットとエレメントを撮像位置へ搬送し位置決めを行う搬送ユニットからなる。

Fig. 7 に示す供給ユニットはエレメントを直列に並べて保持する供給ラックと、供給ラックのエレメントを一枚ずつ搬送ユニットに搬送する切り出し機構から構成される。搬送ユニット内のエレメントが空になるとシステム制御ユニットから動作指令が出力され、供給ラックと同軸上に設置された切り出し機構が供給ラック内のエレメントの最前列に向かって移動する。切り出し機構は吸引機が組み込まれており、最前列のエレメント一枚を吸着することができる。吸着されたエレメントは搬送ユニットに搬送され、搬送が終了すると、切り出し機構は初期位置である供給ラックの同軸上に戻る。

搬送ユニットの外観を Fig. 8、撮像位置の外観を Fig. 9、撮像位置拡大図を Fig. 10 に示す。搬送ユニットは、エレメントを搬送する搬送レール、搬送レール内のエレメントの存在を検知する光学センサ、エレメントの滑降を補助するエアブロー、撮像位置への位置決めを行うピストンとストップ、エレメントが撮像位置にきたことを検知する光学センサより構成される。

供給ユニットから送り出されたエレメントは、搬送レール内を滑降して撮像位置に位置決めされる。なお、搬送レールには傾斜角が設定されており、さらに、エアブローによって空気を吹き付けることでエレメントの搬送性能を向上させた。

第一撮像位置に搬送されたエレメントはストップに当たって停止する。その際光学センサによってエレメント位置が検知され、その情報をもとにシステム制御ユニットからの作動命令を受けたピストンが撮像位置にエレメントの上部から押し付けることによってエレメントが固定される。撮像が終了すると、ピストン押し付けが解除されると同時に、ストップが搬送レール下面内に収納されることで、第二撮像位置に搬送される。同様の処理が実行された後エレメントは選別機能部に搬出される。

3.3. 画像処理機能部

画像処理機能部は、エレメントのサドル面を撮像する撮像ユニット、および画像処理を実行する画像処理ユニットからなる。

本システムでは画像処理機能部において、CCDカメラと照明光の設定自由度を持たせるために左右対象のエレメントサドル面を独立して画像処理を実行するようにした。こ

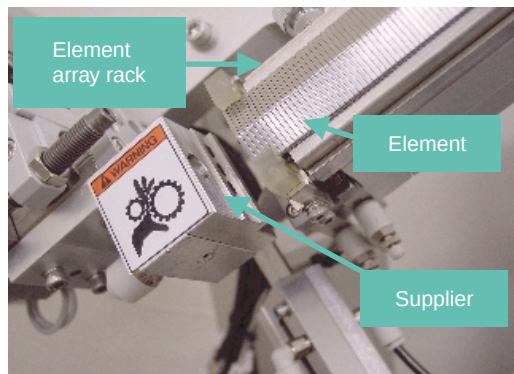


Fig. 7 Supply unit

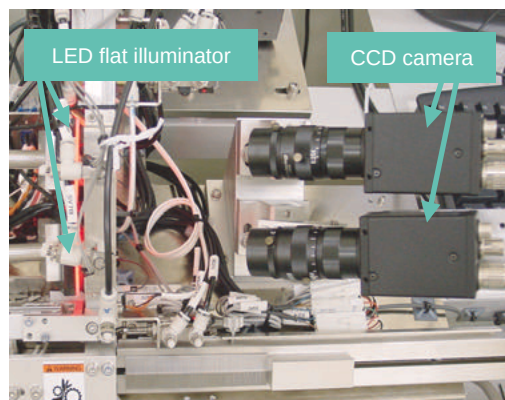


Fig. 9 Imaging position

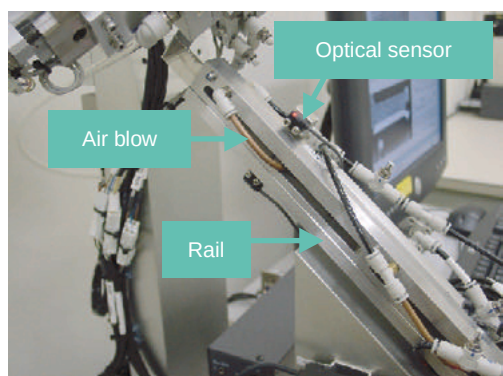


Fig. 8 Carrier unit

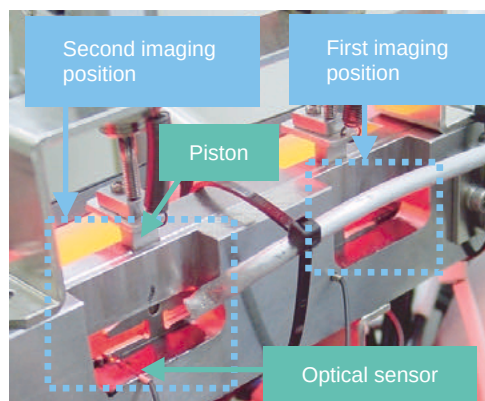


Fig. 10 Configuration of imaging positions

れにより、搬送されてきたエレメントは第一撮像位置で Fig. 3 の正面からみてエレメント左側のサドル面を処理し、第二撮像位置で右側のサドル面を処理するようにした。

撮像ユニットは赤色 LED 面照明、CCD カメラより構成される。照明装置の選定にあたっては、エレメント付け根 R 部に影を生じることなくサドル面全域を均一に照射することを条件とした。その結果、平行光成分が多く含まれる赤色 LED 面照明を採用した。一般的なハロゲン面照明光を照射した場合、拡散光成分が多く含まれるため、凹部を含めた対象物の照明では影が生じてしまい、エレメント付け根 R 部を含めたサドル面全域の欠け傷の検出が困難となる。Fig. 11 に、赤色 LED 面照明とハロゲン面照明の比較結果例を示す。赤色 LED 面照明で撮像した画像は、付け根 R 部を含めたエレメントのサドル面全域に影がなく輝度が均一であることがわかる。

次に、赤色 LED 面照明、CCD カメラおよび撮像対象物であるエレメントの配置を Fig. 12 に示す。赤色 LED 面照明で照射した照明光は、エレメントのサドル面で鏡面反射し、CCD カメラにて取得される。それらの位置関係は、エレメント正面に対して CCD カメラの光軸の角度 θ_c と照明の垂直軸角度 θ_l が対称となるように CCD カメラと赤色 LED 面照明の位置と姿勢を設定する。

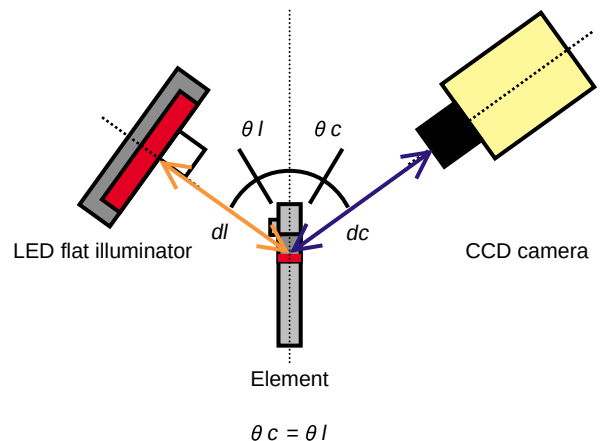
画像処理ユニットは、Fig. 13 に示すように画像処理用 PC、画像入力ボード、デジタル I/O ボード、画像処理ソフトウェアから構成される。CCD カメラで撮像された画像が、画像入力ボードによって画像処理用 PC 内の RAM に取り込まれる。取り込まれた画像は、画像処理ソフトウェアによってエレメントサドル面品質の定量化が実行される。その結果はデジタル I/O ボードを介してシステム制御ユニットに送信される。

画像処理ソフトウェアによるサドル面品質定量化プログラムの開発にあたっては、システム制御ユニットからの制御信号の監視、プログラム操作、画像処理を、同時に実行可能なマルチスレッドアプリケーションとして構成した。

画像処理検査はシステム制御ユニットと画像処理ユニットの連携により実行される。システム制御ユニットはエレメントの撮像位置への位置決めを行い、位置決めされたエレメントを画像処理ユニットが撮像し、画像処理を実行する。

Illuminator	Image
Halogen flat illuminator	
LED flat illuminator	

Fig. 11 Images using each illuminator



θ_c : Optic angle of CCD camera

θ_l : Vertical angle of LED flat illuminator

dc : Distance between CCD camera lens and element

dl : Distance between LED flat illuminator and element

Fig. 12 Layout of CCD camera and LED flat illuminator

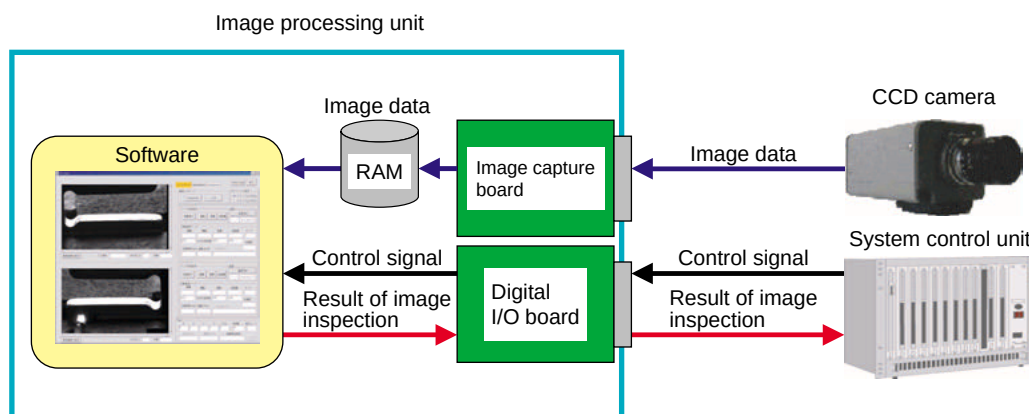


Fig. 13 Configuration of image processing unit

Fig. 14 に画像処理検査におけるシステム制御ユニット、および画像処理ユニットの処理のフローチャートを示す。エレメントの第一撮像位置への位置決め後、システム制御ユニットより画像処理ユニットへ撮像トリガが発行される。画像処理ユニットは撮像トリガの受信直後にサドル面を撮像し、画像処理を実行する。画像処理結果はシステム制御ユニットに送信される。第一撮像位置での画像処理終了後、エレメントは第二撮像位置へ送出され、第一撮像位置での処理と同様の手順で画像処理が実行される。

3.4. 選別機能部

選別部機能部は、搬送レールの最下端に設置された画像処理終了品ユニットと、選別品ユニットからなる。

Fig. 15 に示す画像処理終了品ユニットは、押し出し機構、エレメントが搬送レールによって送られてきたことを検知する光学センサ、画像処理終了品収納ラック、ストッパから構成される。画像処理検査が終了し、搬送レール内を滑降してきた画像処理終了品は、光学センサによって存在が検知される。その後、システム制御ユニットから押し出し機

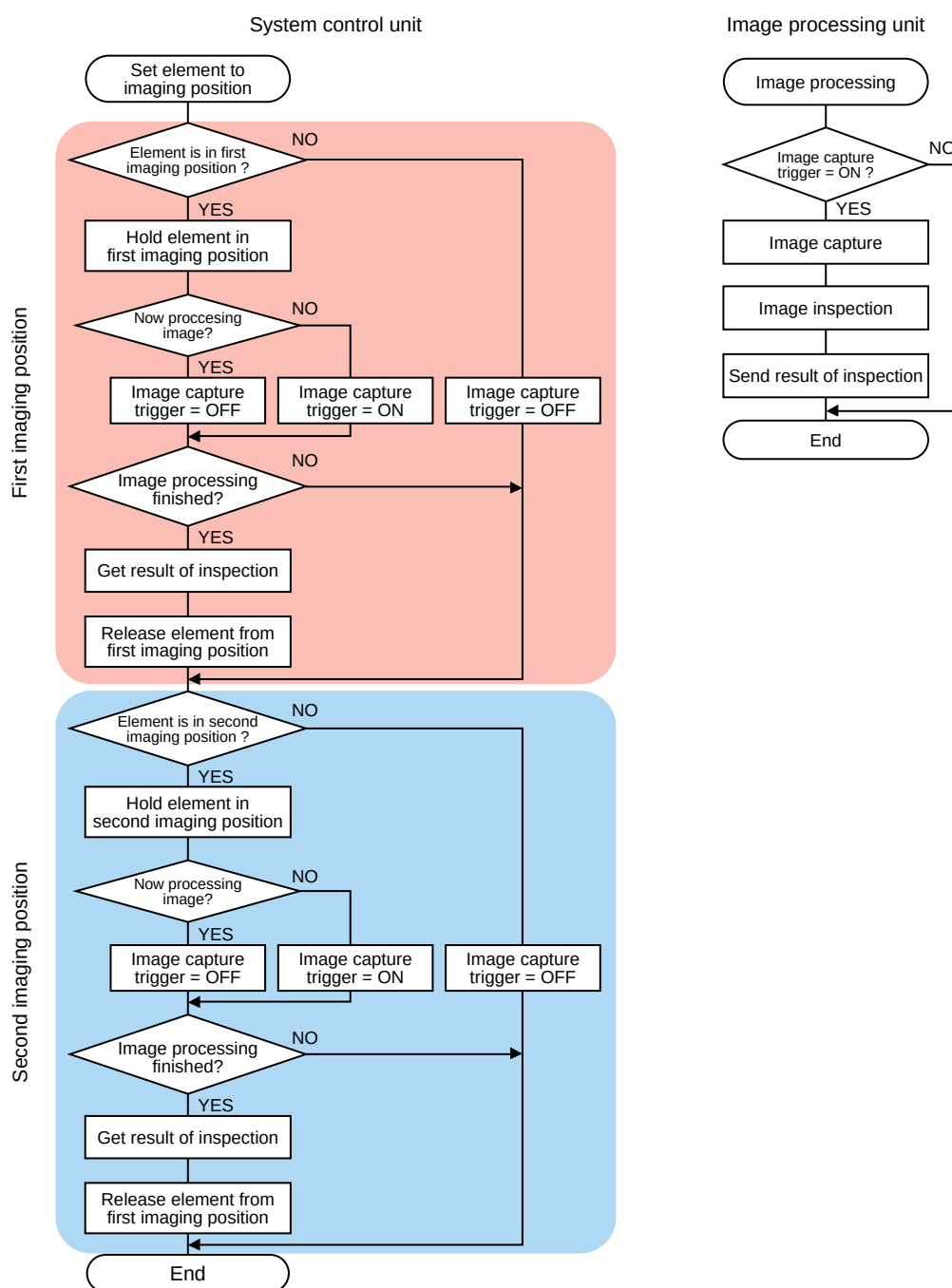


Fig. 14 Flow chart of image inspection

構に制御実行指令が送信され、搬送レールから直角方向に設置された画像処理終了品収納ラック内に、エレメントが押し出される。画像処理終了品収納ラック内には移動式ストッパが設けられており、押し出されたエレメントが順次整列されるようになっている。

Fig. 16に示す選別品ユニットは、排出シャッター、排出検知センサ、選別品収納ラックから構成される。排出シャッターは、搬送レール最下端の下面に設置され、システム制御ユニットから開閉命令が出力される。画像処理検査結果、選別品と判別されたエレメントが搬出レールによって搬出された際、シャッターが開閉され、選別品ラックに落下するようになっている。また、エレメントの落下は光学センサによって検知され、その結果にしたがってシステム制御ユニットからシャッターの開閉が実行される。

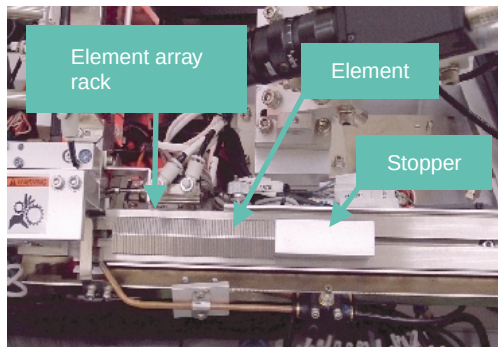


Fig. 15 Inspection completed element selector unit

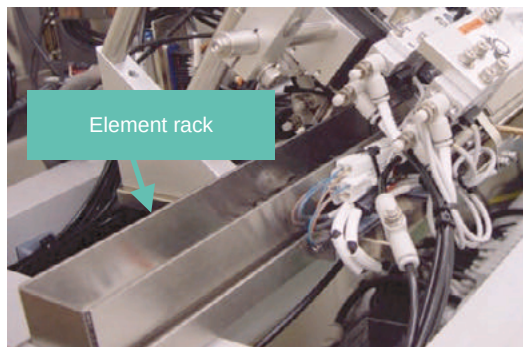


Fig. 16 Specific element selector unit

4. エレメント検査基準の構築

画像処理検査システムによる検査を実行するために、エレメントの検査基準を構築することが必要となった。そこで、欠け傷の面積、複数の欠け傷総面積、厚さ方向の長さによってエレメントの検査基準を設定し、選別品を判別するようにした。以下に撮像された画像からの欠け傷検出手法と、検査基準について述べる。

4.1. 撮像された画像からの欠け傷検出手法

Fig. 17に画像処理によるエレメントサドル面上の欠け傷の検出手順を示す。欠け傷検出において、欠け傷部分の輪郭と、それ以外すなわち欠け傷が無い部分との輝度変化が異なることに着目した。Fig. 18にサドル面に一つの欠け傷を有するエレメントの CCD カメラによって撮像された原画像、その画像を基にして輝度値分布解析した結果をFig. 19に示す。これより、欠け傷の輪郭部分では欠け傷のない部分と比較して輝度値が大幅に低下していることがわかる。

以下に、Fig. 17に示す欠け傷の検出手順について述べる。

Fig. 18に示す原画像においては、画像処理対象であるサドル面以外の画像も含まれていることから、最初にサドル面のみを抽出するため、輝度値に基づく二値化処理を行った。サドル面は、照明光が強く照射されることから輝度が高い。したがって輝度値が高く、その面積が原画像の中で最大となる領域をサドル面領域として抽出するようにした。二値化処理を実行し、サドル面を抽出した結果例をFig. 20に示す。次に、二値化処理によって抽出された領域より、輝度変化の大きいエッジ部分を抽出する。エッジ抽出は Kirsch オペレータを用いて行う⁽³⁾。これにより、サドル面のエッジ画像が得られる。その結果を Fig. 21 に示す。このエッジ画像より、サドル面のエッジ領域を抽出することができる。このエッジ領域に対して膨張収縮処理を実行する。その結果、欠け傷部分、輪郭部分、サドル面端部を抽出することができる。その抽出結果をサドル面抽出結果 Fig. 20 に重ね合わせた結果を Fig. 22 に示す。次に膨張収縮処理した結果 Fig. 22 から輪郭部分の領域を消去するために収縮膨張処理を実行する。その結果を Fig. 23 に示す。ここで端

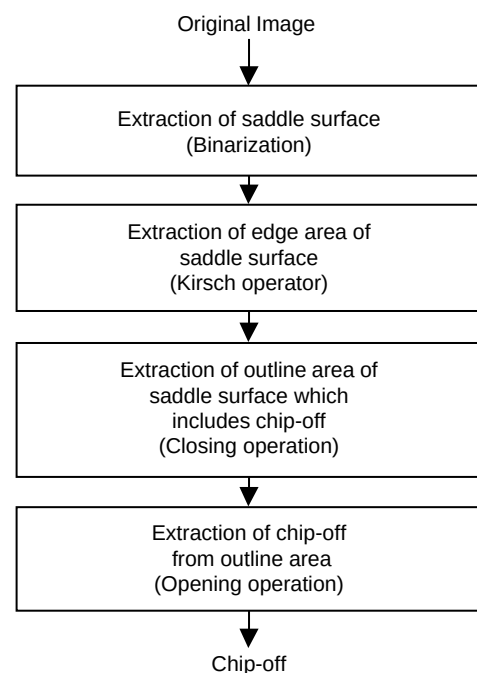


Fig. 17 Image processing for extraction of chip-off

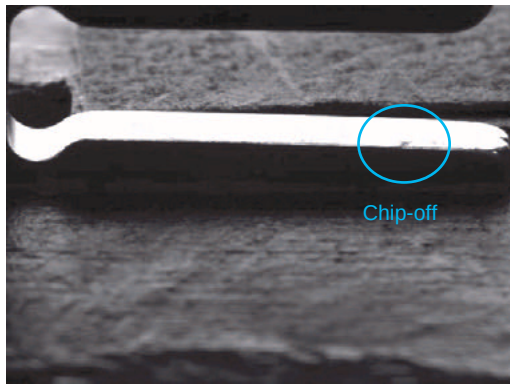


Fig. 18 Original image

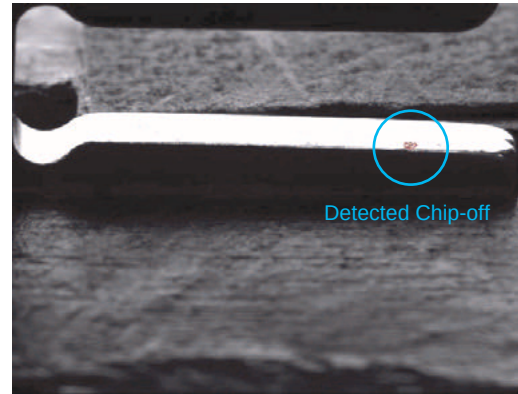


Fig. 24 Result of image processing

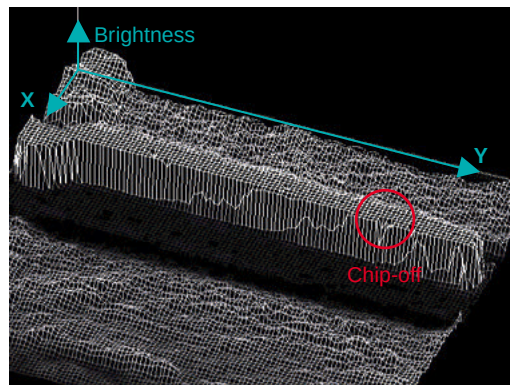


Fig. 19 Distribution map of brightness



Fig. 20 Result of extraction of saddle surface

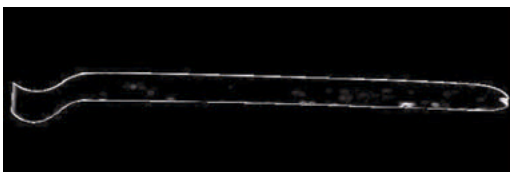


Fig. 21 Edge image

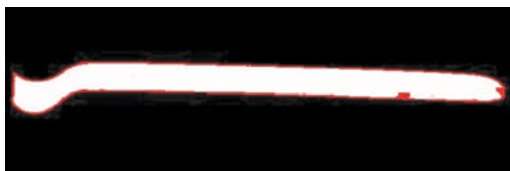


Fig. 22 Result of closing operation



Fig. 23 Result of opening operation

部についてはリングに接触しないことから検出対象外として消去するようにした。

以上の処理により、エレメントサドル面の欠け傷を検出することができる。Fig. 24に全ての画像処理を実行した結果を原画像上に重ね合わせて表示した一例を示す。Fig. 24において欠け傷検出部分は赤色で表示するようにした。エレメントのサドル面における欠け傷検出が正しく実行されたことがわかる。

4.2. エレメント検査基準

4.1の画像処理によってエレメントのサドル面上の欠け傷を検出することが可能となり、欠け傷の大きさを定量化した。

その定量化した値と、目視で検査を行った場合の基準値との相関をとり、Fig. 25に示す三つの検査基準を構築した。

- (1) 欠け傷の一つあたりの面積
- (2) 複数の欠け傷の総面積
- (3) 厚さ方向の長さ

Standard	Chip-off
Area: S	S
Total area of all chip-offs : S_a	$S_1 S_2 S_3$ $S_a = S_1 + S_2 + S_3$
Length: l	l length

Fig. 25 Standard for inspection

これら三つの基準値を決定するにあたっては、各欠け傷の複数のサンプルを用意し、目視検査の基準値の最小値を画像処理検査の基準値に設定した。三つの基準値の中で、面積の基準値の設定において、傷の深度の影響があるため、画像処理により検出した面積が目視検査と同一となるようにエッジ画像生成段階でエッジ抽出のパラメータを最適化した。

5. 画像処理検査システムの適用方法

今回の画像処理技術によるエレメントの検査と、目視による検査の作業時間を比較した事例を紹介する。Fig. 26に、画像処理検査システムを適用し、エレメントの検査を実行した結果を示す。CVT車一台相当分のエレメント400枚を、欠け傷の厚さ方向の長さについて、全数目視検査に要した作業時間を100%としたときの、画像処理検査システムによる作業時間比率を示す。画像処理検査システムによる作業時間を、目視で行った場合と比較して、半分以下にすることができた。

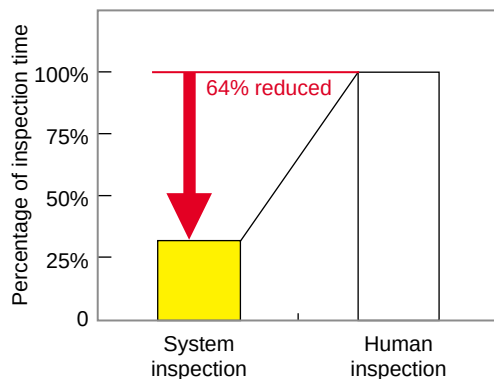


Fig. 26 Inspection time

6. まとめ

画像処理を用いた、エレメントのサドル面の欠け傷検査システムを開発した。このシステム開発にあたって構築した三つの技術を以下にまとめる。

- (1) 赤色 LED 面照明による照明光をエレメントサドル面にて鏡面反射させ、CCD カメラにて撮像することで、付け根R部を含めたサドル面全域の画像認識を実現した。これにより、サドル面上の欠け傷の画像処理による検出が可能となった。
- (2) 画像処理により欠け傷の大きさを定量化し、三つの検査基準を構築した
- (3) エレメントを自動搬送し、画像処理結果に基づいてエレメントを選別収納可能な画像処理検査システムを開発した。

以上により、目視で検査を行った場合と比較して、作業時間を半分以下にすることができた。

参考文献

- (1) 矢ヶ崎徹, 青山英明, 斎藤俊博, 石井和夫, 岡田善成, 有川守: CVT 用金属ベルトの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.181-190 (2002)
- (2) 有川守, 嵩宏敏: CVT 用金属ベルト用リングの形状評価技術, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.57-62 (2002)
- (3) 画像電子学会編: 新版画像電子ハンドブック, 東京, コロナ社, 1993, p.37

■ 著 者 ■



江口 純 司



萩原 顕 治



片岡 隆 平



伊 東 孝 夫