

# 画像処理による走行鉄道車両の制輪子自動計測システム\*

川崎製鉄技報  
24 (1992) 1, 32-37

## Automatic Thickness Measuring System for Brake Shoe of Traveling Rolling Stock Using Image Processing



佐藤 仁  
Hitoshi Sato

新事業本部 システム・  
エレクトロニクス事業  
部技術部 主査(掛長)

西井 久雄  
Hisao Nishii

新事業本部 システム・  
エレクトロニクス事業  
部技術部

足立 茂聡  
Shigetoshi Adachi

新事業本部 システム・  
エレクトロニクス事業  
部技術部

### 1 緒 言

鉄道における設備の検査・保守作業はさまざまな場面で行われている。たとえば、レールの摩耗状態の点検、架線の摩耗や架線を吊っている碍子、柱の点検、信号機や線路に設置されているATS装置の点検、沿線の樹木などによる障害物の点検、そして電車など車両の装置の機能検査、パンタグラフや制輪子のような消耗品の摩耗状態の点検など広範である。

これらの検査・保守作業は定められた期間ごとあるいは車両の場合、走行距離ごとに行われており、作業者が現場に出向き、目視により検査・点検している。さらに、これらの作業は一般に営業運転している列車の合間を縫って行ったり、深夜から早朝にかけて行われたりしている。

したがって、時間的制約や危険が伴い作業者に大きな負担をかけることになる。鉄道分野では以上のような作業環境を改善し、検査・保守作業を効率よく行うための技術開発が望まれていた<sup>1)</sup>。

これらの目視点検作業に、画像処理技術を適用すると、自動処理による高速化、定量化、データベース化等多くの利点が生み出される可能性がある<sup>2)</sup>。

当社では、今回東日本旅客鉄道株式会社の依頼を受けて、これらの課題の中から、走行している鉄道車両の制輪子(ブレーキシュー)の残存厚を計測するシステムの開発を進めてきた。

その結果、当社の画像処理装置「画像博士」を用いるとともに、新たに物体認識と輪郭抽出のアルゴリズムを開発することによって、JR山手線の205系電車を対象に、制輪子自動計測システムを開発することができた。

### 要旨

筆者らは、走行している鉄道車両の制輪子(ブレーキシュー)の摩耗量を画像処理により自動計測するシステムを開発した。20 km/hで走行している連結車両の80個以上の制輪子の像をストロボ発光で連続撮影し、制輪子の位置を抽出し、幅60 mmの制輪子の残存厚を分解能1 mm、精度 $\pm 3$  mmで自動計測してデータベース化し、個々の制輪子の交換時期予測を可能とするもので、点検作業および消耗品管理の効率化に寄与している。本システムは、画面幅で上下左右に変動する制輪子の物体抽出、汚れ等で不鮮明な輪郭線の欠落補正等に特殊なアルゴリズムを開発しており、ハードウェアとしては、当社開発の汎用画像処理装置「画像博士」を使用している。

### Synopsis:

An automatic system for measuring the thickness of brake shoes on moving rolling stock was developed using a unique image processing technique. Initially, more than 80 brake shoes on a series of moving cars were photographed stroboscopically as reference (memory) images. The positions of the shoes were then extracted and the remaining thickness of the shoes was automatically measured across a 60-mm width with a resolution of 1 mm and an accuracy of  $\pm 3$  mm. This information was incorporated in the system data base. The system makes it possible to estimate the interval between shoe changes and contributes to more efficient inspection and spare parts control. A unique algorithm was developed for the system, permitting the extraction of shoe images regardless of their position within the picture and reconstruction of the outline of the shoe which may be obscured by dirt. A multi-purpose image processor, Dr. Image, which was also developed by Kawasaki Steel, plays an important part in this labor saving automatic system.

本稿では、このシステムの装置構成とアルゴリズムについて述べる。

### 2 制輪子画像処理化の技術課題

JR山手線の205系電車の制輪子は、Photo 1に示すような形で車輪に装備されており、車輪の踏面(レールと接触する面)に直接制動をかけるもので、従来、検査員が定期的目視による検査を行い、一般に3~6箇月で交換していた。制輪子の摩耗量にはバラツキがあるが、全制輪子を人手で測定するには負荷が大きく目視判断が主体となるため、全制輪子を定量的にデータ管理し設備管理に計

\* 平成3年11月27日原稿受付

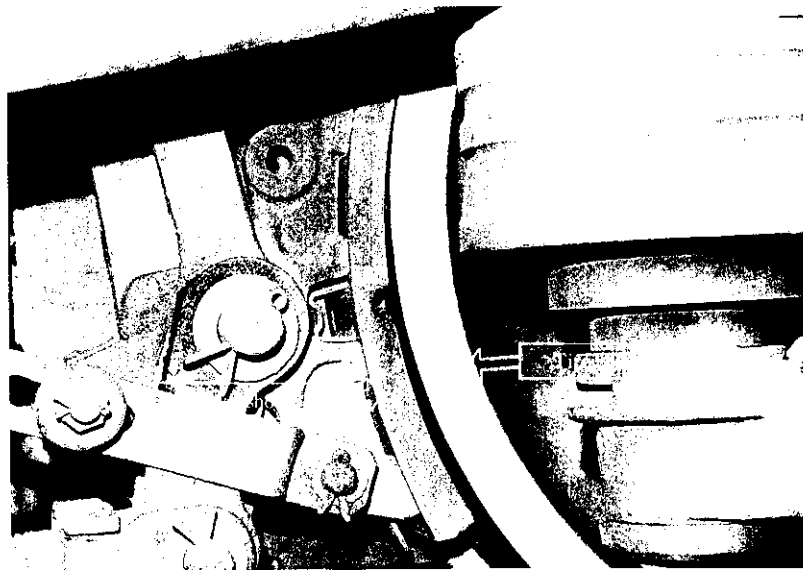


Photo 1 Brake shoe

画性をもたせることが困難であった。

しかしながら、この課題を自動化するには、次の事柄を満足する必要があった。

- (1) 車両が走行している状態で測定できること  
制輪子を画像化するには、営業線と操車場との中間地点に撮像装置を設置し、操車場に引き揚げて来る電車の制輪子を撮像する必要がある。走行速度は約 20 km/h 以下であるが、移動している制輪子を静止画像として捉えることが必要である。
- (2) 撮像装置は屋外の線路わきに設置可能なこと  
引揚げ線は、屋外であるため、雨、風、熱などの環境対策が必要である。
- (3) 昼夜の区別なく測定ができること  
昼間は太陽光により極端に明るいが夜間はほとんど照明がない状態となる。昼夜を問わず同程度の画像を撮像する必要がある。
- (4) 遠隔測定ができること  
屋外に設置された撮像装置と屋内に設置するコンピュータとは約 500 m 離れるため、適当な通信手段とリモート・コントロール機能が必要となる。
- (5) 処理が高速に行えること  
1 日当り 18 編成程度の測定を行うが、終電車近くの時間帯に引揚げ電車が集中し、10 分前後の間隔で入線することがある。通信方法や画像処理方法を工夫して高速化を図る必要がある。
- (6) 操作が簡単であること  
コンピュータの知識をあまり必要とせず操作できるようにすることが必要である。
- (7) ネットワーク構築が簡単にできること  
他のシステムとデータの交換、共有ができる必要がある。
- (8) 高い検出性能があること  
制輪子の厚さ測定を自動化するためには、制輪子部分の高精度な画像抽出技術が必要となる。

### 3 機器構成

前章の要求条件を満足させるためのハードウェア構成を Fig. 1 に示す。本システムは、二つの部分に分けられる。一つは、走行し

ている車両の制輪子をテレビカメラで撮影し、その画像を記録、蓄積していく画像入力部、もう一つは、画像入力部に蓄積された画像データを画像処理し、制輪子の厚さ測定を行い、結果を出力する画像処理部である。本章では、これらの各部について要求条件を満足させるための対策について述べる。

#### 3.1 画像入力部

画像処理において、入力する画像の画質は処理に大きな影響を与える。このため画像入力部は、前章の条件下でも安定した画像を得るための対策が必要である。本システムでは以下の対策を施して対応した。

##### (1) ストロボ発光方式による走行車両の撮影

走行している車両の制輪子を動画のまま画像処理することは、処理時間の点から見ても困難である。また、通常のテレビカメラは、ある一定時間 (NTSC 方式の場合 1 フレーム 1/30 秒) 像を撮像素子に露光することにより映像信号を得るため、移動物体を撮影すると写真でいうぶれを生じ、画像処理が困難となる。この問題を解決するため、ストロボ発光方式とトリガシャッター方式を併用した。

ストロボ発光方式は、短い閃光時間 (5~50  $\mu$ s) を利用し、移動物体を静止画として撮影する方法で、マルチストロボ撮影などに利用されており、高速移動物体の撮影に適した方式である。

一方、トリガシャッター方式は、テレビカメラの撮像素子に CCD が用いられるようになり、かつ電子的にシャッターの制御が可能となったことで実現した。電子シャッターカメラは 1/125~1/10 000 秒程度のシャッター速度を備えているものが多い。さらに、今回用いたカメラは、トリガシャッター機能を有しており、トリガ信号によってシャッターが動作するものを用いた。

以上の 2 方式を併用した理由は、走行車両の制輪子を静止画像として捉えると同時に、次に述べる昼夜撮影にも適応させるためである。

##### (2) 昼夜の撮影における画像の均一化

画像入力部は、屋外の線路わきに設置するため照明条件が大きく変化する。特に昼間の明るい時と夜間ではその差は極端な

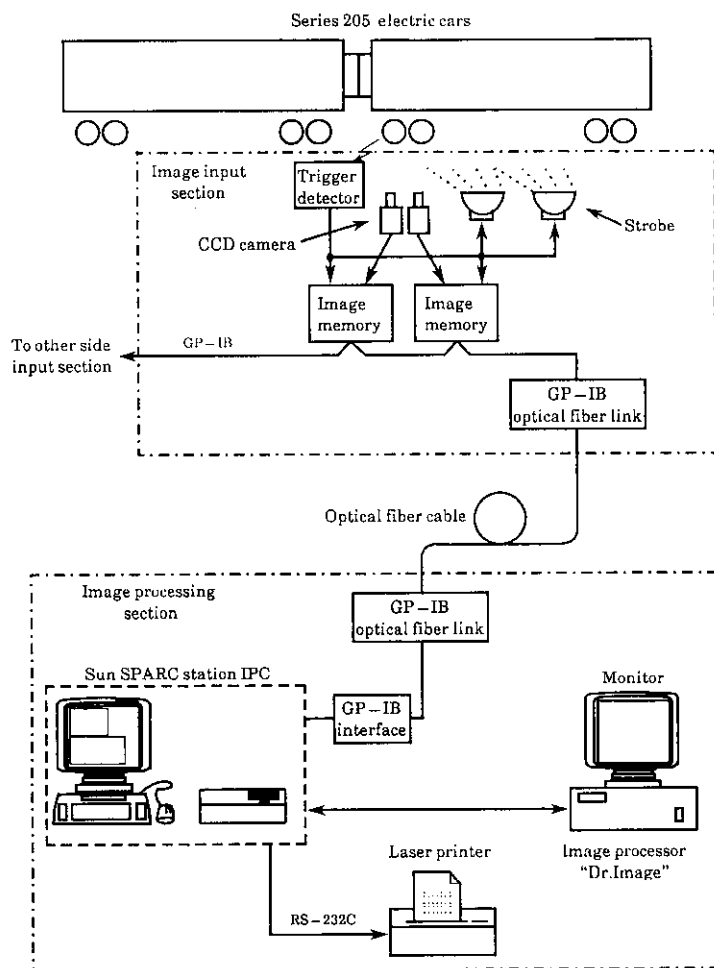


Fig. 1 Configuration of hardware

ものとなる。安定した画像を得るためには、自然光の不安定さを軽減することが必要である。

また、制輪子は車体の下で、しかも台車の影になる場所に取り付けられているので暗い。このため、昼間でもストロボを使用した。しかし、制輪子は静止画として撮影されるが、台車の外側に突起している軸ばね等の部分が自然光の強い照明によりぶれて写り、このぶれが制輪子にかかったが、この問題は高速のトリガシャッターカメラを用いることで解決した。シャッター速度は使用したカメラ最速の1/2200秒とした。この結果、常時、同程度の画質が得られるようになった。

### (3) 屋外設置対策

画像入力部は屋外の線路わきに設置するため (Photo 2)、機器類はハウジング内に収容し、ファンおよびヒータを装備し、ハウジング内の温度範囲を一定に保つようになっている。

### (4) 光ケーブルによる遠隔測定

画像入力部は、画像処理部から約500m離れた場所に設置するため、画像処理部のコンピュータからリモートコントロールできることが必要である。今回の画像記録装置はGP-IBインタフェースを装備し、制御と画像データの転送を可能とした。GP-IBは画像データのような大量のデータを高速で転送するには有利である。

画像入力部と画像処理部を結ぶ伝送路は、ケーブル長が700mに及び、外来ノイズの影響を受けやすくなったため光ファイバーによる伝送を採用した。

次に画像入力部の構成機器について述べる。今回、対象となる車両は、205系電車で1車両に台車は2台付いていて、1台車に制輪子が左右2個ずつある。したがって、1編成10両の列車で制輪子は合計80個となる。これらの制輪子の撮影は、台車単位で行う。そこでFig. 1に示したようにCCDカメラおよび画像記録装置をそれぞれ4台使用した。1台の画像記録装置は、最大20枚の画像記録が可能である。また、画像記録装置に接続するCCDカメラは、前述のトリガシャッター機能を有する。ストロボについても一つの制輪子ごとに発光するようにして、照度を確保するようにした。

トリガ検出器により車輪の通過を検出し、シャッタータイミングが与えられ、1台車分の制輪子が1度に撮影される。

## 3.2 画像処理部

画像処理部は、画像の高速処理と画面の中でどれが制輪子かを自動認識することが重要である。また、マン・マシンインタフェースの操作性も重視され、さらに今回は他の計測システム等とデータの交換や共有化を図るため、ネットワークへの接続が容易にできることが必要である。

このため、当社製汎用画像処理システム「画像博士」<sup>4)</sup>を用いた。本システムは、高速処理および制輪子抽出のためのアルゴリズム開発に必要な豊富な画像処理機能を備えている。また、画像博士は、UNIXワークステーション上で動作するため、GUIを用いたマン・マシンインタフェースが可能であり、イーサネットへの接続も簡単に行うことができ、これらの特長が有効に活用された。



Photo 2 External view of image input section

#### 4 ソフトウェア構成

本システムのソフトウェアで最も重要なものは、制輪子抽出の画像処理アルゴリズムである。このアルゴリズムの適否で制輪子の抽出率が大きく左右される。画像処理以外の部分では、画像入力部の制御と画像転送を行うための通信ソフトおよびマン・マシンインタフェースのためのソフトが必要である。

本章では、ソフトウェアの構成と全体の動作を述べ、制輪子抽出アルゴリズムについて解説する。

##### 4.1 ソフトウェア構成と動作

本システムのソフトウェア構成図を Fig. 2 に示す。大きく三つのプログラムから成っており、画像入力部と通信を行う通信プログラム、制輪子の測定を行う画像処理プログラム、そして、ユーザとのインタフェースを行うマン・マシンインタフェースプログラムで

構成される。各プログラムは、UNIX によりマルチタスクで動かし、これらの動作を以下に述べる。

まず、画像入力部の画像記録装置に 1 列車分の画像 (80 枚) が記録されると、画像処理部のワークステーションに GP-IB を介して割込みを送り、記録完了を知らせる。通信プログラムは、割込みを受けると画像記録装置から 1 列車分の画像データを逐次読み込み、ハードディスクに格納する。

画像処理プログラムはディスクに画像データが存在していることを確認すると画像処理を開始し、測定結果は、マン・マシンインタフェースプログラムに渡され、表示やプリントアウトが行われる。また、制輪子の測定位置や摩耗限界値の設定、フロッピーディスクへの測定結果の保存などの制御も行われる。

これらの動作の中で通信プロセスと画像処理プロセスは、必ず多重で動作する必要がある。それは、1 列車分の画像処理は約 30 分であるのに対し、列車は最小 10 分前後の間隔で来るため、画像処理中でも新しい画像データを取り込めることが必要となるためである。

マン・マシンインタフェースは、Fig. 3 に示したようなウィンドウシステムを使用したメニュー方式とし、簡単に操作できるようにしている。右下のウィンドウに測定結果の表示がされており、限界以下となった部分は判定の欄に星印が表示される。プリンタにも同じフォーマットで印字される。

##### 4.2 制輪子抽出アルゴリズム

画像処理で非常に重要な作業の一つは、画像の中から対象物を抽出するためのアルゴリズムの開発である。制輪子の場合、Photo 1 に示すように制輪子以外に車輪や軸バネ、制輪子を保持している金具、台車枠などの機構部品が複数存在している。この画像から制輪子だけを抽出し、その残存厚を測定することが本システムの目的である。以下に今回開発したアルゴリズムについて述べる。

画像処理アルゴリズムを開発するための対象画像の特徴と条件を以下に示す。

- (1) 制輪子は三日月状の外形をしている。
- (2) 撮像方式の性質上、制輪子は画面の中で上下左右に数センチメートル変化するので、まずその位置の抽出が必要である。
- (3) 制輪子の車輪接触面側は摩耗のため曲率が変化するが、制輪子取付け側は曲率も一定しているので、摩耗計測の基準線として用いられる。
- (4) 制輪子の縦方向の寸法は、摩耗によってほとんど変化しないので制輪子の種別の認識に活用できる。
- (5) 制輪子およびその周辺の部品の階調濃度も汚れや照明で変化するので、階調補正が必要となる。
- (6) 制輪子の輪郭線は認められるが、汚れで不鮮明な部分が存在し、それを曲率的に推計する等の方法が必要である。

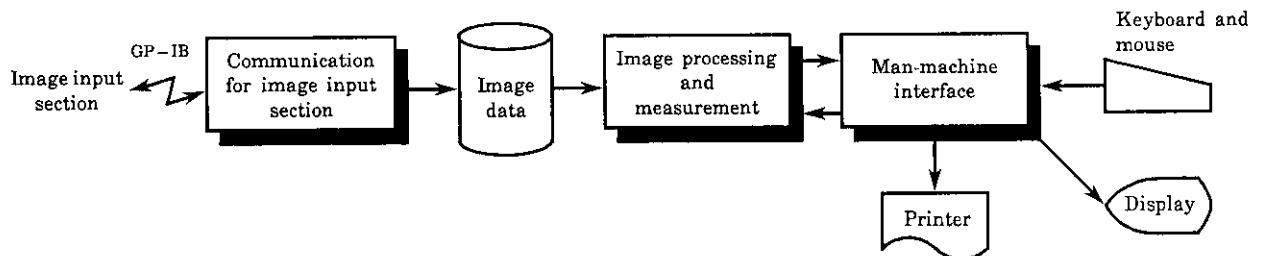


Fig. 2 Configuration of software

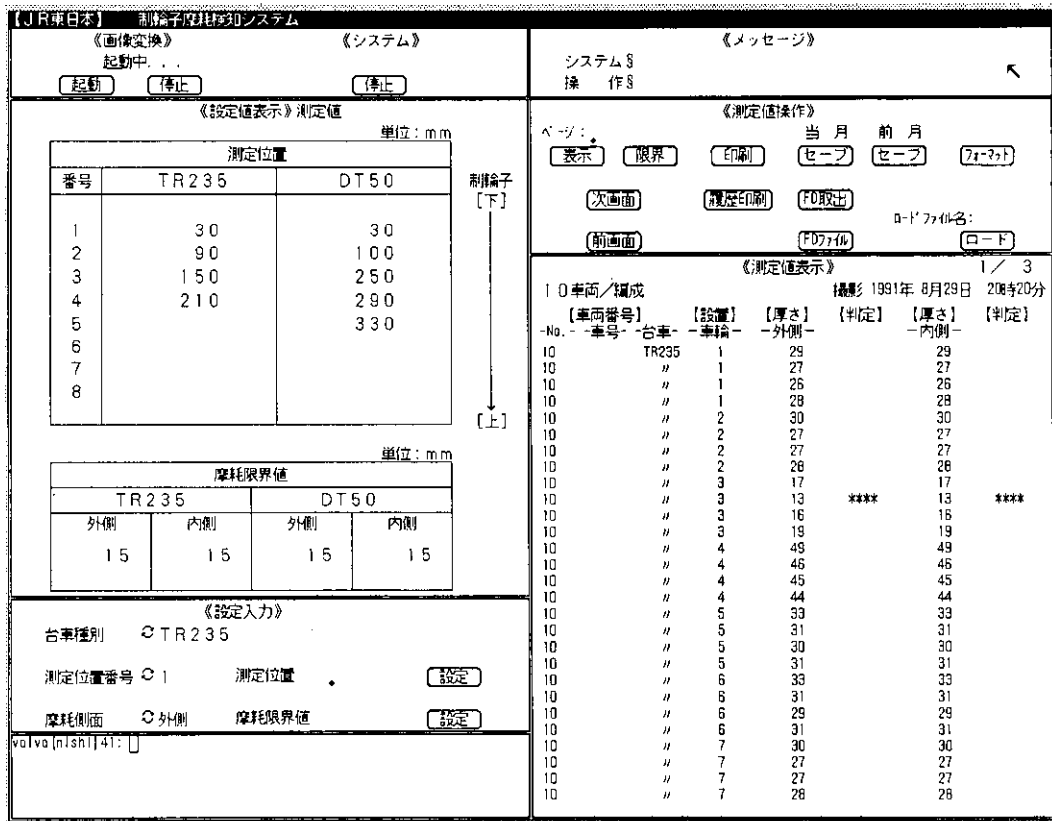


Fig. 3 Example of operation menu displayed on Sun workstation monitor

これらの条件をもとに考案したアルゴリズムについて、以下に述べる。Fig. 4 にフローチャートを示す。

入力された画像にマスク処理を行い、制輪子の存在する付近の領域を切り出す。次にエッジや線の部分を強調する特殊なフィルタ処

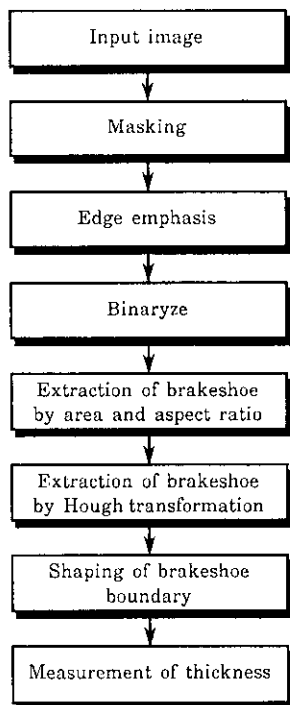


Fig. 4 Flow chart for extracting brakeshoe shape and measuring its thickness

理を行い、原画像と合成する。これにより、原画像のエッジと線の部分を強調しておき、次の2値化を容易にできるようにしておく。

2値化を行った後、2値図形の中から面積、フィレ径により、制輪子候補を抽出する。さらにハフ (Hough) 変換<sup>5)</sup>を用いて制輪子取付け側の輪郭線を検出してその輪郭を含む図形を制輪子と判定する。

抽出した制輪子は途中の処理で外形に若干凹凸が出たり、ノイズで穴が発生することがあるので膨張・収縮処理を行い、形を整形する。汚れ等によって欠落した曲線の補正にも特殊な処理を行っている。

最後に制輪子の厚さは、制輪子の測定箇所<sup>6)</sup>の水平平均切辺長を2値計測により測定し、法線方向の長さに変換して求める。

ここで、当社独自の高速で処理できるハフ変換について簡単に触

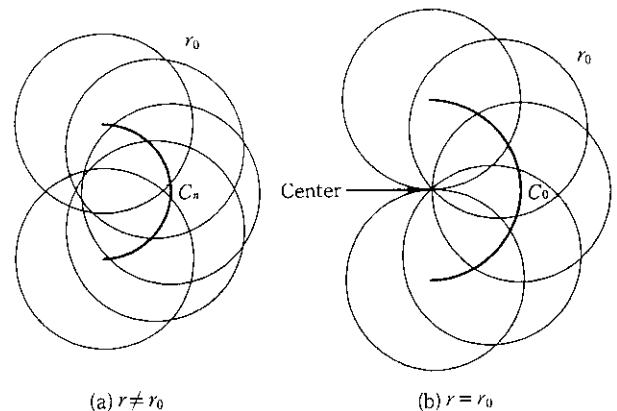


Fig. 5 Extraction of a circular arc with a definite radius  $r_0$

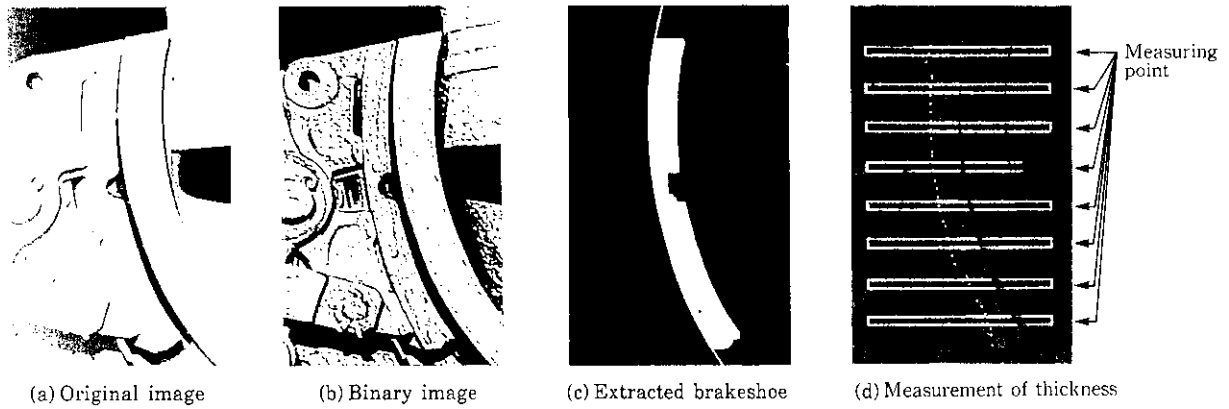


Photo 3 Progress of image processing

れておく。ハフ変換は、式で表現できる図形（直線、円、楕円、放物線等）を式のパラメータにより構成される空間上の点に対応させ、この空間の分離（クラスタリング）により図形を検出する方法である。今回の制輪子の場合、制輪子取付け側の輪郭が円弧で曲率が一定しているという性質を利用して円を検出するハフ変換を適用した。

Fig. 5 は、ハフ変換を利用し、半径  $r_0$  の円弧を検出する場合を図で示したものである。(a) は、円弧  $C_n$  の半径  $r$  が  $r_0$  と異なる場合で、 $C_n$  の円弧上を中心とする半径  $r_0$  の円を多数描くと、その軌跡どうしが交差する座標は分散している。したがって交差座標ごとの交差回数を積算した値は小さい。一方、(b) は、円弧  $C_0$  の半径  $r$  が  $r_0$  と一致した場合で、交差座標群の中で 1 箇所積算値にピークが生ずる。このようにして特定の半径を有する円弧を検出することができ、それを基に所定の半径の円弧をもつ制輪子を抽出している。

Fig. 4 に示すアルゴリズムで処理した画像の流れを Photo 3 に示す。(a) は原画像、(b) は 2 値画像、(c) は抽出された制輪子、(d) は原画像に抽出した制輪子と厚さ測定箇所（矩形で囲まれた 8 箇所）を重ねて表示したものである。

処理画像からわかるように制輪子はほぼ正確に抽出されており、アルゴリズムの有効性が示されている。

以上のような処理の結果、現在ブレーキシューの幅 60 mm に対して、分解能 1 mm、測定精度  $\pm 3$  mm という要求仕様を満足している。

## 5 結 言

当社は、東日本旅客鉄道株式会社より依頼を受けて、走行中の車両の制輪子の残存厚を画像処理により自動計測するシステムを開発した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 速度 20 km/h で走行する連結車両の 80 個の車輪の制輪子を、屋外でかつ昼夜で照明が変化する環境の中で、ブレのない安定した静止画像をとりこむことに成功した。
- (2) 画面の中の制輪子の位置の検出を、ハフ変換を制輪子の一定曲率に適用するというアイデアによって達成した。
- (3) 部分的に欠落した輪郭線の補正処理等により、制輪子の残存厚を要求される精度で自動計測することができた。
- (4) 測定されたデータは、別の車両番号読取装置のデータとともに全制輪子の残存厚をデータベース化して、取替時期の予測等、定量的設備管理することも可能となった。

以上のように、このシステムは鉄道車両の定量的保全管理と、危険な人手作業の廃止に貢献するものであり、このような画像計測と画像データベースを結びつけたシステムは、鉄道車両のみでなく、鉄道送電設備、電力設備、道路等広域のフィールド設備の保守管理に役立つものとして、適用を拡大していく所存である。

本システムの開発に当り御指導、御助言を賜った東日本旅客鉄道株式会社運輸車両部検査課および山手電車区の担当者の方々に、深厚なる謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 松本俊行：電車，429 (1991) 6, 6-12
- 2) 笹間 宏：O plus E, No. 135 (1991), 120-131
- 3) 鶴岡正人，笹間 宏：「車輪踏面形状検査システムの開発」，第 31 回自動制御連合講演会，(1988)
- 4) 宮脇 明，浅野有一郎：映像情報 (I)，(1989) 7, 63-69
- 5) R. O. Duda and P. E. Hart: "Use of Hough transformation to detect lines and curves in pictures", *CACM*, 15 (1972) 1