

分岐器検査へのステレオカメラ技術の適用法の検討

鉄道総研 正会員 ○坪川 洋友
 鉄道総研 正会員 矢澤 英治
 鉄道総研 石川 智行

1. はじめに

分岐器は構造が複雑で検査項目が多く、検査のほとんどが人力により行われている。これらの検査項目の中で特にトンダレールに関係する項目は、走行安全性に関係するため適切な管理を行わなければ事故を引き起こす要因となる。現在のトンダレールの検査は、一般には目視による損傷の有無の確認や定点における摩耗量測定によって行われ多くの労力を要しているため、効率的かつ適切にトンダレールの状態を把握することが求められる。そこで、トンダレールの形状を連続的に把握する手段として、ステレオカメラ技術により画像データから作成した3次元モデルを摩耗検査へ適用する方法を検討するため、台車搭載式のステレオ画像撮像装置を試作し、静止状態で撮影した摩耗レールの画像データから3次元座標データを出力するプログラムを作成した結果を示す。

2. ステレオカメラの計測原理

ステレオカメラとは、画像を用いた3次元計測技術であり、複数台のカメラを用いて距離センサを構成する手法である。通常のカメ​​ラは、視線と交差する対象表面上の輝度を出力するのに対し、ステレオカメラでは2台のカメラ画像のずれ量から距離データを出力する。

図1に2台のカメラを用いたステレオカメラの計測原理を示す。まず、左右どちらかのカメラ画像を基準として、この画像上の点 p_1 を特定する。次に、もう一方のカメラ画像を参照画像として、その画像上で対応する P_2 を求める。この画像上で対象物の同一点として対応付けられる点を、以下「特徴点」という。ここで、直線 L_1 と L_2 は点 P で交差するため、 P の3次元座標 $P(X,Y,Z)$ は、2つのカメラ間距離（基線長）を B とした場合に、式(1)及び式(2)によって求まる。

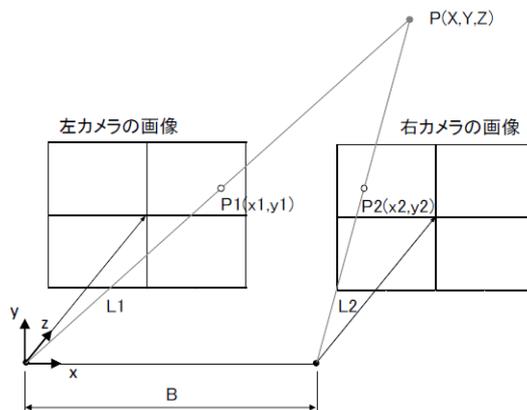


図1 ステレオカメラの計測原理

$$P(X,Y,Z) = \frac{B \cdot f}{d} \dots (1) \quad d = P_1(x,y) - P_2(x,y) \dots (2)$$

ここで、 B : 2つのカメラ間の距離（基線長）、 f : カメラの焦点距離、 d : 視差 とする。

つまり、特徴点の視差を画像上のより多くの点で算出することにより、カメラから対象物までの距離データを精度よく得ることができる。

理論上のステレオカメラの計測精度は、平面方向は式(3)、奥行き方向は式(4)で表わされる。

$$\Delta X = \Delta Y = \frac{Z}{f} \cdot p \dots (3) \quad \Delta Z = \frac{Z^2}{f \cdot B} \cdot p \dots (4)$$

ここで、 p : 撮像素子の画素ピッチ、 ΔX , ΔY , ΔZ : 各座標軸方向の精度 とする。

3. カメラのキャリブレーション

台車搭載式のステレオ画像撮像装置の撮像部を図2に示す。本装置には、工業用カメラ2台、ストロボ光源2台が搭載されている。本装置で撮像された画像データの処理には、画像処理ソフトウェア「HALCON 12.0」

キーワード ステレオ画像撮影装置、分岐器、摩耗検査

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 軌道管理研究室 TEL(042)573-7278

を用いることとし、①画像の取り込み、②ステレオパラメータの特定(左右カメラのキャリブレーション)、③ステレオ画像処理による距離画像の算出、④3次元座標データの出力の手順で処理を行った。

まず、左右のカメラ撮像条件を一致させるために、マニュアルでピントと絞りを調整した後、左右のカメラの視野に収まる範囲でキャリブレーションプレート(またはレール)を前後左右に動かして複数枚の撮影を行い、①②の処理で撮像条件の調整を行った。図3に右カメラの理想的な撮影(キャリブレーション)範囲と現在の撮影範囲を示す。その結果、図2のように装置にカメラを固定した状態では、カメラとキャリブレーションプレートとの距離が狭く奥行き方向の距離を変えた撮影が不十分となってしまうため、図3に示すように画像の角部の一部ではキャリブレーションが不十分となる可能性があることが分かった。ただし、この問題は、装置内のカメラの配置やレールとの相対距離が決定すれば、事前にキャリブレーションを行うことにより解決できる。

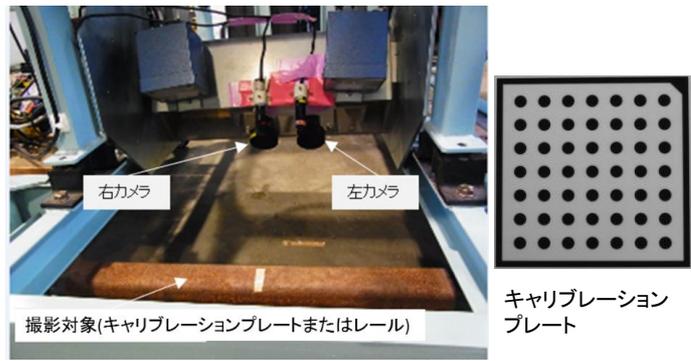


図2 ステレオ画像撮影装置の撮像部

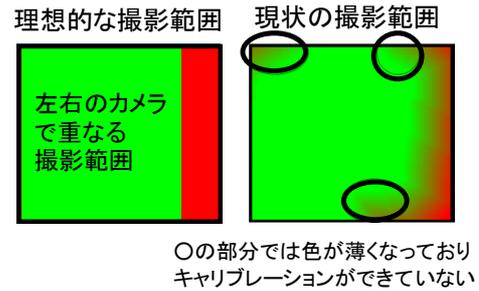


図3 キャリブレーション範囲(右カメラの場合)

4. 摩耗レール撮影及び3次元座標データ出力結果

次に、画像の中央部では十分なキャリブレーションが行えていたため、得られたステレオパラメータを用いることとし、静止状態で図4に示す摩耗レールを撮影して、③④の処理で3次元座標データを出力した。その結果を図5に示す。

図5左図は、図4の赤枠の範囲の3次元座標データを回転してレール断面形状を示したものであるが、レール摩耗の形状が得られていることが分かる。なお、図5右図はさらに広範囲の3次元座標データを斜めから示したものであり、レールの周辺に見られるノイズの除去方法を今後検討する必要があるが、概ねレールの形状を再現できている。このことから、作成したプログラムにより、レール形状モデルを作成できることが分かった。

5. まとめ及び今後の予定

対象物をステレオ撮影した2枚1組のデジタル画像から、3次元座標データの出力を行うプログラムを作成した。本プログラムにより、ステレオ画像撮影装置で撮影した静止状態のレールの画像を処理し、キャリブレーション処理を行うことで、レール形状モデルを作成できることが分かった。

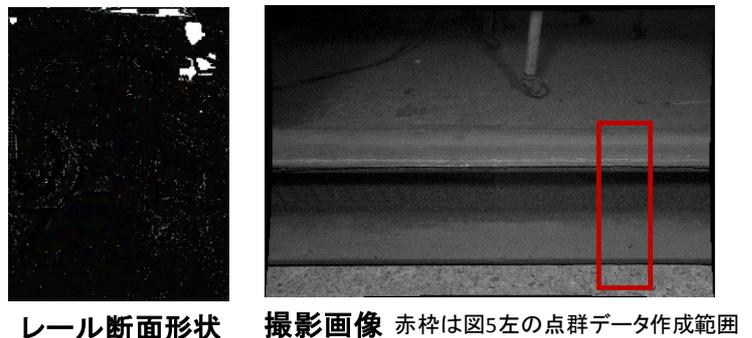


図4 撮影した摩耗レール

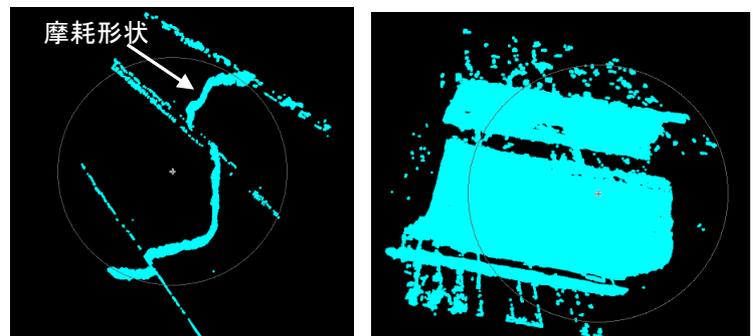


図5 作成したプログラムによる3次元座標データ

今後、照明の投射法を含むステレオカメラのキャリブレーションの精度を改善する方法を検討し、保守用車速度で走行可能な分岐器検査カメラのプロトタイプ機を製作する予定である。