

軌道材料の異常検出に向けた鉄道巡航速度における高解像度画像撮影手法の提案

東京大学 正会員 ○早川 智彦, 非会員 望戸 雄史
非会員 村上 健一, 非会員 石川 正俊

1. はじめに

鉄道構造物の点検は、敷設時の初回点検の後、2年に一度の通常全般検査で十分な照明を用いて徒歩等により目視を行い、必要と判定された箇所について打音又はこれと同等以上の方法によって実施されているが、老朽化しつつある構造物を対象として、より効果的・効率的な点検の実施が望まれている。

これに対して、鉄道車両を走行させながら構造物の点検を行う装置が開発されているが¹⁾、特に視認性に優れる鮮明な二次元画像を取得するためには、車両走行時に発生するモーションブラーによって画質の劣化が生じてしまうことが課題である。そこで、本研究ではガルバノミラーを用いて、移動を補償する回転動作を光軸上に設けることで静止時と遜色ない画質で撮影可能とするシステムを開発し、ベルトコンベアを利用した時速100km以上での走行を想定した実験により0.2mm幅のレールの表面傷撮影を検証する。

2. レール撮像時におけるガルバノミラーによるモーションブラー補償

モーションブラーを補償するため、これまで筆者らが高速道路のトンネル向けに開発してきたモーションブラー補償機構²⁾を応用し、図1のように鉄道での車両走行時に床下の軌道材料、特にレールの傷を撮像する状況を想定する。

本研究では高速カメラの前に取り付けけたガルバノミラーの角速度 ω_x を車両の走行速度に合わせて設定し図2のように制御を行うことで、車両の移動速度とガルバノミラーによる光軸の移動速度を一致させ、車両の移動速度を相殺することで静止時と同等の画像を得ることを目指す。

まず、ガルバノミラーが対象をトラッキングするように、カメラが露光している間は下記の式で得られる一定の角速度 ω_x でガルバノミラーを制御する。

$$\omega_x = 2 \tan^{-1} \left(\frac{x_d}{width} \tan \frac{\alpha}{2} \right) \quad (1)$$

このとき、 x_d は連続した画像間のピクセルのずれ量、 α は画角、 $width$ は撮像画像の最大幅を表す。なお、角速度と車両の移動速度が露光時間の間で等しければ、カメラから見た視線は常に同一位置に留まることとなり、撮像される画像にはモーションブラーが含まれない。カメラが露光を終えたあとは、ガルバノミラーによる追従動作を継続する必要がなく、次の対象へと視線を更新するため、これまでと反対方向へとガルバノミラーの回転方向を切り替え、連続的に対象を切り替えることで軌道材料表面の画角に収まる一列を撮像可能である。本手法によって高速カメラを利用した傷を検知する床下設置式軌道材料検査システムを開発し、鉄道車両に搭載することで図1のように走行しながら軌道材料の点検が可能となる。

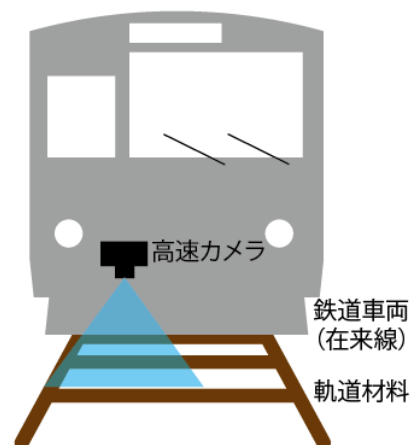


図1 車両走行時における軌道材料の点検の様子

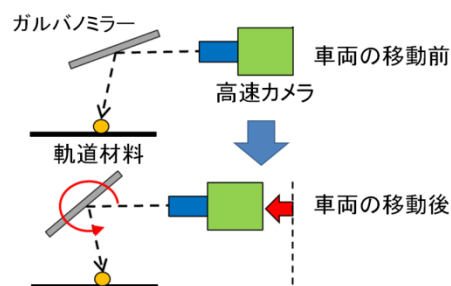


図2 モーションブラー補償の原理

キーワード 軌道材料, 高解像度撮像, モーションブラー補償, 構造物点検, レール, 高速カメラ

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-0224 FAX 03-5841-6952

3. 高解像度レールサンプル画像を用いた時速 100km における軌道材料の撮像

鉄道車両の床下スペースの寸法より、本システムは 1m 先に対して時速 100km 以上でのモーションブラー補償を必要とする。一方、車両に搭載する前の実験として、実験室で時速 100km を出す環境を作り出すことは容易ではない。そのため、本研究では図 3 のように距離を 30cm まで近づけてベルトコンベアを 30km で動作させることで、相対的に時速 100km を達成した。このとき、ベルトコンベアには 0.2mm の表面傷を含むレールの写真及び指標となるマーカーが貼られている。

高速カメラは JAI 社の SP12000、ガルバノミラーはノヴァンタ社 M3s を用いた。また、レンズは AI Nikkor 20mm f/2.8S を使い、画像の分解能は計算上約 0.0825mm/pix となり、サンプリング定理を考慮すると 0.165mm 以上の傷の検知に使用可能と考えられる。

時速 30km でベルトコンベアが回転中に高速カメラで撮影した画像を図 4(a)–(c) 及び図 5(a)–(c) に示す。補償なしの図 4(b) 及び図 5(b) と比べて、補償ありの図 4(c) 及び図 5(c) の方が傷が鮮明に映っており、静止時に撮影した図 4(a) 及び図 5(a) と比べても遜色ない結果が得られた。

このことから、実際の点検の場面においても、異常の検知に寄与できるものと考えられる。ただし、静止時の画像と補償ありの画像を細かく比べると、幾分モーションブラーを含んでしまっていることもわかった。今回の実験で設定したガルバノミラーの制御値等が正確ではなかった可能性が考えられるため、今後は事前のキャリブレーションや走行中の対象に移動速度に応じたフィードバックによる制御機構の開発だけでなく、ガルバノミラーを新たなものに更新することなどを進める必要があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、軌道材料の検査システムについて床下への設置と軌道材料の点検スペックから要求される仕様を明確化して、システムを設計し、実験により、1m 先時速 100km までのモーションブラー補償が可能であることを示した。その結果、提案システムはレールの表面傷検知への適用可能性も十分にあることを示した。

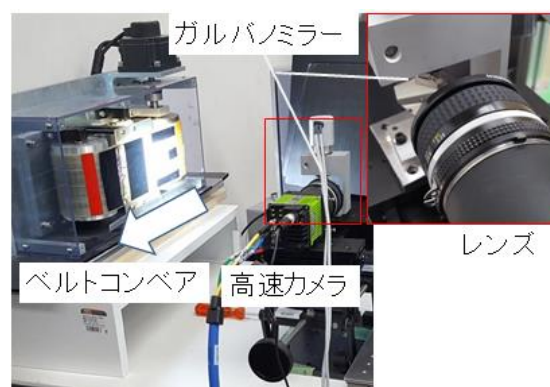


図 3 実験システム

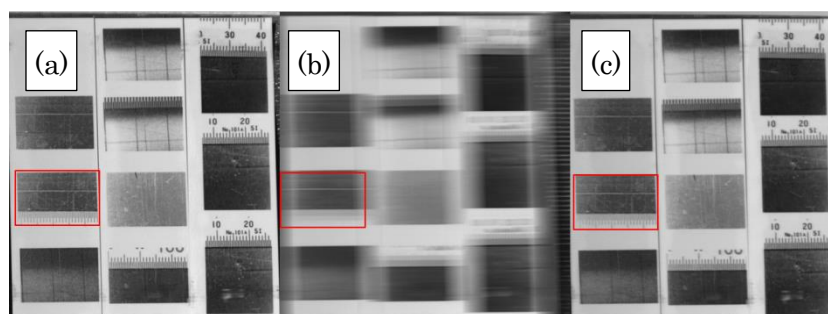


図 4 時速 100km 相当でベルトコンベア動作時におけるレール表面傷の撮像結果

(a) 静止時, (b) 移動あり・補償なし, (c) 移動あり・補償あり

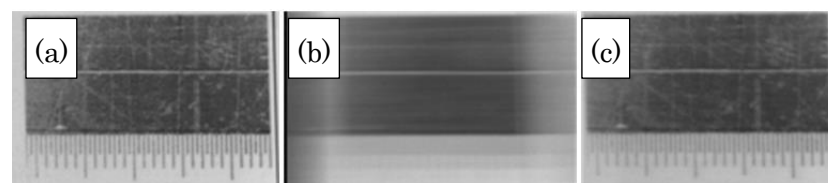


図 5 時速 100km 相当でベルトコンベア動作時におけるレール表面傷の撮像結果のズーム画像

(a) 静止時, (b) 移動あり・補償なし, (c) 移動あり・補償あり

参考文献 1) T. Asakura and Y. Kojima, “Tunnel maintenance in Japan,” Tunn. Undergr. Sp. Technol., Vol. 18, No. 2 3, pp. 161 169 (2003). 2) Tomohiko Hayakawa, Takanoshin Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Real time high speed motion blur compensation system based on back and forth motion control of galvanometer mirror, Opt. Express, Vol. 23, No. 25, pp. 31648 31661, 2015.