

MMS (Mobile Mapping System) の鉄道への適用に関する基礎技術の開発

西日本旅客鉄道株式会社	正会員	○新名	恭仁
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	今西	進也
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	桶谷	栄一
アジア航測株式会社	非会員	本間	亮平

1. はじめに

近年のセンシング技術の発展は目覚しく、道路分野ではレーザ計測技術のひとつであるMMS (Mobile Mapping System) の利活用が進んでいる。そこで本取り組みでは、MMSを鉄道へ適用する可能性を探るために、当社の営業線でMMSの計測を行い、取得した3次元座標を持ったレーザ計測点からレールを抽出する基礎的な技術開発を行ったので、ここに報告する。

2. MMS とは

MMS とは、一般的にはレーザスキャナと GNSS (Global Navigation Satellite System: 全地球航法衛星システム)、IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) 等を統合させた機器を車両に搭載し、移動しながら周辺の物体を計測するシステムのことをいい、高周期のレーザパルスを送るスキャナにより、高密度かつ高精度に物体の3次元座標を取得することができる。なお、3次元座標を持つレーザ計測点の集まりは「点群」と呼ばれるため、ここでも「点群」と称することにする。

3. 計测试験

本取り組みでは、道路用の MMS 車両を鉄道の台車に搭載し牽引することで、線路周辺物体の点群の取得を試みた(図-1)。本取り組みで用いた MMS 機器は、秒間 30 万発のパルスを送射するレーザスキャナを 2 台搭載したものであり、高密度な点群を取得できる。点の地球上における位置精度は GNSS 衛星電波の受信状況が良い場合では 5cm 程度であり、測距精度は 1cm (1 σ) である。



図-1 計测试験の状況

4. レール抽出アルゴリズム

(1) レール抽出の必要性

例えば、MMS を鉄道の建築限界支障寸法の自動算出に用いるとすると、得られた点群からレールや軌道中心位置を正確に抽出することが必要となる。そこで MMS の鉄道への適用の第一段階として、点群からのレール位置抽出アルゴリズムの構築を試みた。

(2) アルゴリズム

レール位置抽出アルゴリズムの全体の処理フローを図-2に示す。本取り組みでは、1.0m 間隔でレール位置の抽出を行うこととし、まず MMS で取得した走行軌跡情報を用いて 1.0m 幅でレール長手方向に対して点群を切り出した。次に、ICP アルゴリズム¹⁾という手法を応用し、切り出した点群に対し理想的なレールの頭頂面の形状を当てはめることにより、左右レールのゲージコーナ(以下「GC」とする)の位置を抽出した。その後、軌道中心位置や水準といった数値を算出し、最終的には、抽出した GC 位置と軌道中心位置を順次連結してレールおよび軌道中心線とした。

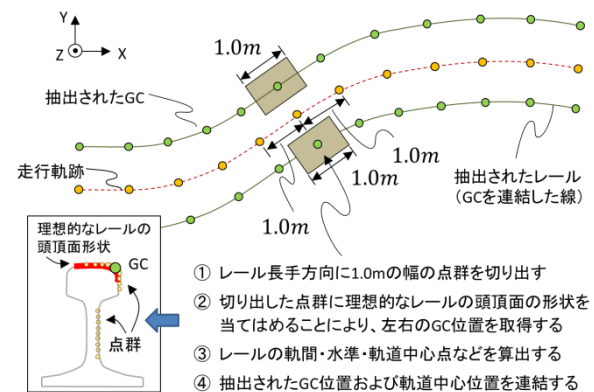


図-2 全体の処理フロー

5. レール抽出結果と考察

(1) 定性的評価

様々な線路形状、環境におけるレール位置の抽出を行い、まず目視により全体的な抽出状況を確認した。点群の取得状況とレール位置の抽出例を図-3に示す。

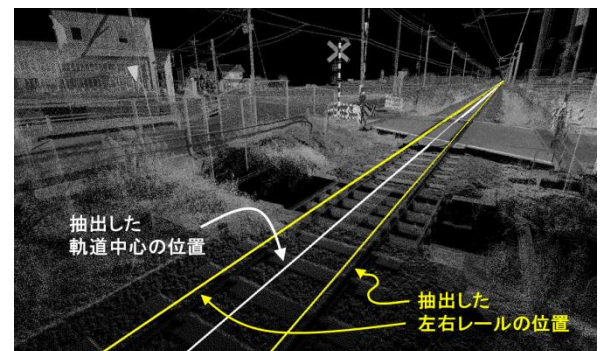


図-3 点群の取得状況とレール抽出例

確認の結果、直線、曲線といった線路の線形に依存することなく、多くの区間において誤差 10mm 以内程度でレール位置が抽出できていた。分岐器存在区間や橋梁ガードが存在する区間、踏切、下草の多い区間

キーワード MMS, 点群, レール抽出

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田 2 丁目 4 番 24 号 西日本旅客鉄道(株) 施設部 施設技術室 TEL 06-6375-2156

などでも問題なくレール位置を抽出できていた。一方、急曲線区間等のレール摩耗が著しい区間においては、レール位置の抽出が適切でない箇所があった。

(2) 定量的評価

計測試験を行った区間のうち、山陰線（周布～三保三隅間）の延長 2km の区間において、MMS 計測日直近の軌道検測車のデータとの比較による定量的な評価を試みた。

a) 軌間

本手法で抽出した左右 GC 間の実距離を軌間として、直近の軌道検測車で計測した軌間とを比較した結果を図-4 に示す。傾向は近似しているが、一部で大きな差もある。また、直線、3 種類の曲線、および全区間での差を評価した結果を表-1 に示す。全区間での差の標準偏差は 7.0mm であり、曲線 B では差が大きかった。

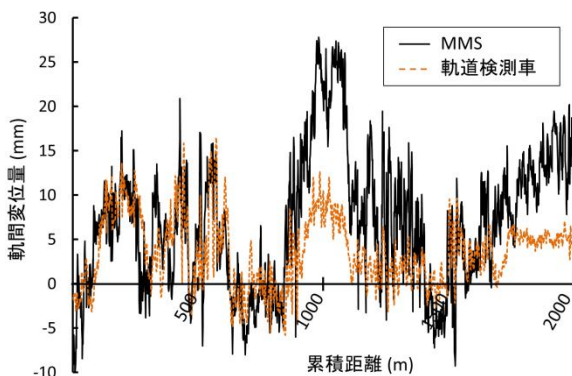


図-4 軌間の比較

表-1 線路線形による軌間の差

線形	諸元		軌間の差	
	曲線半径	延長	平均	標準偏差
直線	直線	710m	3.2 mm	6.3 mm
曲線 A	R=360 m	130 m	-0.4 mm	2.9 mm
曲線 B	R=400 m	115 m	14.7 mm	15.1 mm
曲線 C	R=1200 m	60 m	-4.0 mm	4.4 mm
全区間	-	2000 m	3.3 mm	7.0 mm

b) 水準

本手法で抽出した左右レール頭頂面の高低差を水準として、直近の軌道検測車で計測した水準と比較した結果を図-5 に示す。傾向はほぼ同様であるが、全体的に MMS によって算出した水準のほうが 10mm 程度プラス側に偏っている。

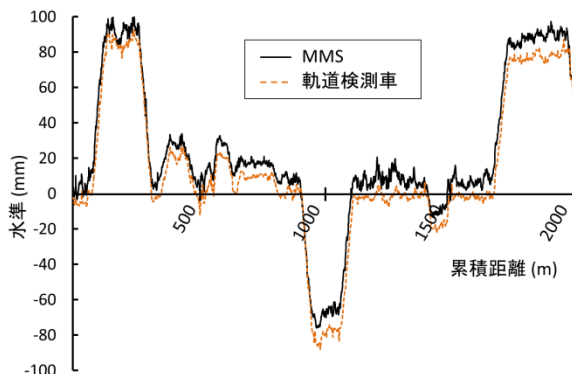


図-5 水準の比較

また、軌間と同じ区間で差を評価した結果を表-2 に示す。全区間では標準偏差 9.6mm であり、プラス側に偏った値がそのまま差として現れている。また軌間と同じく、曲線 B においては差が大きかった。

表-2 線路線形による水準の差

線形	諸元		水準の差	
	曲線半径	延長	平均	標準偏差
直線	直線	710m	8.6 mm	9.3 mm
曲線 A	R=360 m	130 m	6.8 mm	7.7 mm
曲線 B	R=400 m	115 m	11.5 mm	11.8 mm
曲線 C	R=1200 m	60 m	8.5 mm	8.7 mm
全区間	-	2000 m	8.8 mm	9.6 mm

(3) 考察

レール位置の抽出が適切でない箇所に共通していた条件のひとつは、レール頭頂面の点が少ないことであった。これは、レール摩耗が著しい箇所ではレール頭頂面が鏡面状になり、レーザのパルスが鏡面反射して戻って来ず、結果としてレール頭頂面上の点が取得できなかったためと推察される。

また、定量評価において差が大きくなった曲線 B は、区間の半分程度が 12.5‰の勾配区間にある曲線である。勾配区間では、点群を切り出した際に、レール頭頂面の点群の上下のずれが大きくなり、その結果、適切にレール位置を抽出できなかったと推察される。

これらの課題に対して、以下のような方策を考えている。

- ・ レールの側部や底部も含めたレールの形状により抽出を行う。ただし、この方法を用いれば、分岐器や踏切などでは別の手法が必要となる。
- ・ 勾配を考慮した点群の切り出しを行う。
- ・ 軌間や水準、線路勾配などが急激に変化した場合は誤抽出と判断し、別途処理をする。

なお、MMS から算出した水準の 10mm 程度の偏りについては、道路用の MMS を台車に搭載して計測したことによるセンサキャリブレーションの誤差による影響であると推測している。

6. おわりに

本取り組みにより、以下の知見が得られた。

- ・ 道路用の MMS 車両を台車に搭載して計測することで、線路周辺の物体の点群を取得できた。
- ・ 点群からのレール抽出アルゴリズムを構築し、レールの位置を抽出できることを確認した。
- ・ レール頭頂面に点が少ない箇所や勾配の大きな箇所ではレール位置の抽出が適切でない場合があった。レール底部の点も用いるなど、一部アルゴリズムの改良が必要である。

今後はレール位置の抽出精度の向上と、鉄道への具体的な適用について検討していく予定である。

参考文献

- 1) Besl, P. and McKay, N.D. : A method for registration of 3D shapes, IEEE Trans. On PAMI, 14(2), pp.239-256, 1992