

加速度センサと Python を応用した簡易軌道検測技術

理工学研究科 電気電子情報工学専攻
電力システム工学研究

MA20109 ^{レイ} 冷 ^{レンバク} 連博
指導教員 藤田 吾郎

1. はじめに`

日本では、旅客量と旅客キロメータが年々増加していることを証明するデータが国土交通省から発表されている^[1]。日本の鉄道需要は増加している。鉄道事業者は乗客により良い鉄道サービスを提供する必要がある。

その一方で、日本は少子高齢化の深刻な問題を抱えており、労働力も時間とともに減少する懸念がある。鉄道事業者は例外ではなく、労働力不足の危機に直面している^[2]。鉄道産業におけるスマートメンテナンスは、鉄道軌道からのデータがデータ収集アルゴリズムを用いて遠隔収集され、機械学習（ML）技術が熟練した現場労働者の知識と直感に頼らずに異常検出を行うために使用されることを意味する。したがって、すべての日本の鉄道会社の目的は、スマートメンテナンスを導入することにより、労働力の数を減らすことである。

鉄道軌道検査の自動化は、スマートメンテナンスの一例であり、必要な労働力の数を大幅に減らすことが期待される。

2. 研究目的

鉄道は、定期的な点検によってレールが壊れてしまう前に、予防保全を行うが、列車の使用期間中はほとんど行われない。夜間の急激な冷え込みによりレールに亀裂が発生する等の症状が各年に数回報告されている。直近でのレール破断の事故例としては、東京都立浅草線の泉岳寺・三田で近年の鉄道事故による事故が起きた。

もちろん、電車が壊れたレールを通過するならば、電車は脱線を引き起こす可能性を増やす。脱線などの深刻な事故の場合、日本では鉄道の需要が増加しており、この章では日本社会と経済に大きな混乱をもたらすと予想されている。浅草線の破断事故の場合、上記浅草線内でのレール破断事故においては三時間の運転見合わせにより、約 19 万人の通学・通勤客らに影響を及ぼしたう

え、大学入試の開始時間変更を余儀なくされた。上記のような社会的・経済的大混乱を招かないために、レールの破断位置やレール損傷箇所を正確に検知することによる事故の未然防止が鉄道事業者にとっては不可欠な命題である。

本研究の目的は、鉄道輸送の安全性の向上と鉄道輸送障害の解消に寄与する効果的なレール破壊検出方法を確立することである。新技術を開発し、列車運転時のレール異常検出方法を確立することが望まれる。しかし、新技術の導入コストは高く、収益性のない地方鉄道事業者の新技術を導入することは困難である。

そこで、本研究の目的は、スマートメンテナンスを実現する簡単な軌道検査手法を開発することである。この方法は振動と音のデータセットを用いる。三軸加速度センサ KXR 94 - 2050 を用いて振動データを収集した。

3. データ測定装置

3.1 .三軸加速度センサ

Kionix 社製の三軸加速度センサ kxr 94-2050 を使用した。測定範囲は ± 2 g、測定感度は 660 mV/g である。出力はアナログ値である。

3.2 .データ測定装置の全体像

図 1 はデータ測定装置の回路図である。記録装置としては HINOKI データロガー 8430 が用いられ、サンプリング周波数は 100 Hz である。

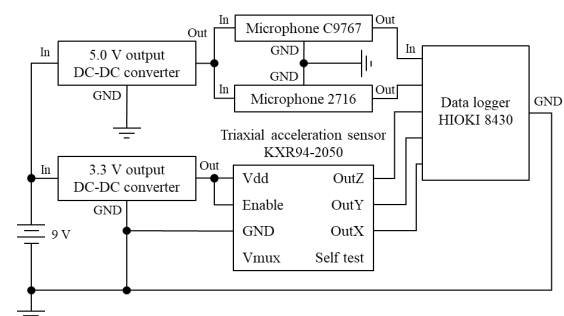


図 1 データ測定装置回路図

4. データ測定方法

三軸加速度センサ KXR94-2050 より得られる加速度データを以下の手順で解析した。

1. オフセット係数を乗算
2. 力行開始5秒前から停止完了5秒後のデータ抽出
3. 力行開始前1~4秒間の平均値を算出し、駅停止時発生加速度理論値と比較・修正
4. 加速度の単位換算 (G から km/h/s への換算)
5. 加速度を積分して速度[km/h]の算出
6. 速度を積分して在線位置[m]の算出

5. 長周期の部分解析結果

平均絶対誤差 (MAE : Mean Absolute Error)

平均二乗誤差 (MSE : Mean Squared Error)

二乗平均平方根誤差 (RMSE : Root Mean Square Error)

を用いた。以下に定義を示す。

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_{i1} - y_{i2}|$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{i1} - y_{i2})^2$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{i1} - y_{i2})^2}$$

y_{i1} = i 番目の実際値

y_{i2} = i 番目の予測値

本稿前述した方法を用いて、由利高原鉄道鳥海山ろく線において軌道検測試験を実施した。測定区間は吉沢～川辺と子吉～鮎川である。理由は上り坂と下り坂の設定があるので、Z軸の変化がより見やすくなる。図2は縦断面図によって吉沢～川辺までX軸位置とZ軸位置特性結果を示す。

データのサンプリング周期は0.01 s、総時間は199.91s、総データ量は28447個である。

同一時間サンプルデータは3回の往復データがあり、毎回の片道データを取る。毎回のデータは1号機と2号機の2つのデータがある。したがって、全部で6回のデータがある。Pythonによる解析では、一つのデータの精度が著しく低いため、このセットを除去し、最終的には5セットのデータである。

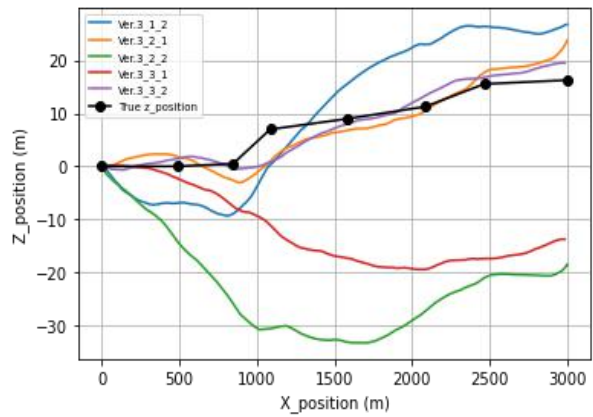


図2. 縦断面図によって吉沢～川辺 X 軸位置と Z 軸位置特性結果

図2において、5本の線が推定値である。Ver.3_2_1とVer.3_3_2は実際の値に最も近い2本の線であることが明らかになった。この2つの線を実際の値と比較する。Pythonを用いて2本の線の各種誤差を導出し、どの測定データがより信頼できるかを判断した。結果を表1に示す。

表1. 吉沢～川辺各種誤差

	Ver.3_2_1	Ver.3_3_2
MSE	11.78	7.91
RMSE	3.43	2.81
MAE	2.82	2.12

6. 結論

本研究では、三軸加速度センサとPythonを用いてデータ測定装置を製作し、Python解析データを用いて対象線の車両振動データを解析した。長周期で軌道スリットによる縦振動が存在することが分かったが、今後はより多くのデータを採取し、深度学習を応用することで軌道破断などの異常状況を判断できる。

文献

- (1) 国土交通省「鉄道輸送統計年報 旅客数量及び旅客人キロ年度別推移」
- (2) <<https://www.stat.go.jp/data/nihon/02.html>> 2021年12月閲覧
- (3) 佐藤 幸雄・辰巳 光正・上田 正治・三田尾 真司「ペイナイトレールの長期耐久試験による耐シェリング性の評価」鉄道総研報告(鉄道総合技術論文誌)第22巻第4号 P29~P34, 2008年発行
- (4) JR 東日本 <[HTTPS: //www.breast.co.jp/train/local/e235.html](https://www.breast.co.jp/train/local/e235.html)> 2021年12月閲覧

代表的な研究業績

- (1) Leng Lianbo and Goro FUJITA "A Simple Railway Track Inspection Technique using an Accelerometer Sensor and Data Analysis Tools" ICEE (The International Council on Electrical Engineering) 2021, No.202103140000008