

列車走行中に生じる三軸加速度データを応用した 簡易軌道検測手法

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

MA19040 佐藤 尚輝
指導教員 藤田 吾郎

1. はじめに

日本においては近年、旅客数量、旅客人キロともに年々増加しているというデータが公表されている^①。つまり、鉄道の需要が高まっているということであり、鉄道事業者はより良い鉄道サービスを乗客に提供することが必然になっている。

その一方で、日本は深刻な少子高齢化が進行しており、それに伴う労働力の減少が危惧されている^②。鉄道事業者も例外ではなく労働力減少の危機に直面している^③。鉄道事業においては、軌道の状態検測や電鉄変電所のメンテナンスは作業員が現場に向いて、対象機器の状態を目や耳等の感覚を用いて検測しているという現状がある。そこで、各鉄道事業者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削減を目指している^④。電鉄変電所の定期メンテナンスを自動化すること等がスマートメンテナンスの一例であり、それを導入することによって変電所に向く作業員が不要となり、労働力の削減を図ることが可能となる。

2. 研究目的

軌道の状態検測に関しては、営業列車の終電から初電までの間に作業員が現場に向いて、または、軌道の状態検測専用車両を走行させることで状態を検測しており、多数の作業員を要しているという現状がある。東日本旅客鉄道株式会社所有の新型車両 E235 系には軌道や架線のモニタリングシステムが搭載されており、通常の営業中に画像データを用いて架線や軌道の状態検測が可能である^⑤。しかしながら、画像解析技術を用いるためデータ量が膨大になるうえ、多額の設備導入コストが発生する。

そこで、本研究では三軸加速度センサを用いて、それから得られる三軸加速度データを応用させることにより安価で簡易的に軌道の状態検測を可能とすることを目的とする。

3. 軌道状態異常

軌道は列車の通過に伴う荷重負荷の蓄積や、昼夜間の温度差による金属疲労が原因となり、軌道歪みが発生する。更に、最悪の場合にはレール破断を引き起こす可能性も存在する。当然のことながら、歪んだ軌道や破断したレール上を列車が走行した場合、当該列車は脱線する可能性が高まる。万が一、列車が脱線してしまった場合、

社会に与える影響は大きく、鉄道事業者にとって避けなければならない事象である。したがって、鉄道事業者は軌道歪みやレール破断を早急に検知し、改善に努めることが重要である。

4. データ測定装置

4.1 三軸加速度センサ KXR94-2050

三軸加速度センサには Kionix 社の KXR94-2050 のモジュールを使用した。測定レンジは $\pm 2G$ で、測定感度は 660 mV/G である。ここで、 G は重力加速度である。出力はアナログで X, Y, Z 軸の三軸各々の加速度が電圧として出力される。また、価格が 1000 円に満たずに安価である理由より本加速度センサモジュールを使用した。

4.2 メモリハイロガー-8430

三軸加速度センサの出力を記録するデータロガー装置として、日置電機株式会社のメモリハイロガー-8430を使用した。その主要仕様を表 1 に示す。

表 1 メモリハイロガー-8430 の主要仕様

| | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------|
| チャンネル数 | アナログ 10 ch パルス 4 ch | |
| 最高サンプリング速度 | 10 ms / 全 ch | |
| 外部記憶 | 最大 CF カード容量 | 2 GB |
| | 記憶内容形式 | バイナリ形式 CSV 形式 |
| カットオフ周波数 (サンプリング速度 10 ms 時) | 11.56 kHz | |

※CF カード：コンパクトフラッシュカード

4.3 データ測定装置全体像

前述の三軸加速度センサとデータロガーを使用して製作したデータ測定装置の回路図を図 1 に示す。

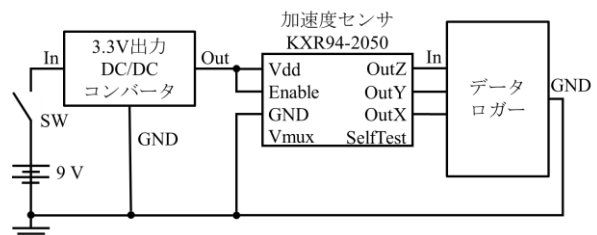


図 1 データ測定装置回路図

5. データ測定線区

軌道の状態異常として完全なるレール破断の検知を行う。レール破断は頻繁に発生する事象ではないため、破断発生時の列車走行時の振動の採取は困難を極める。そこでレール継ぎ目をレール破断の模倣とし、レール継ぎ目を検知する解析を行う。

本解析を行うにあたり、由利高原鉄道株式会社保有路線である鳥海山ろく線のデータを採用することとする。採用路線の特徴は、単線であるため列車のすれ違いが存在せず無駄な振動が発生し難いこと（ホーム停車時や進入時のすれ違いは存在）、また、ロングレール化されておらず定尺レール（25 m レール）を使用しているため、レールの継ぎ目上を通過する際に大きな振動を生じること等である。

6. 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

7. データ解析結果

データ測定線区の中でも大きな勾配や大きな曲線区間が存在しない羽後本荘一薬師堂間のデータの解析を行った。図 2, 3 に解析結果を示す。図 2 は三方向の加速度の時間特性を示しているが見易さの観点より、X 軸加速度には 15 km/h/s のオフセットが加算、Z 軸加速度には 15 km/h/s のオフセットが減算されている。図 3 は Z 軸加速度の位置特性を示している。

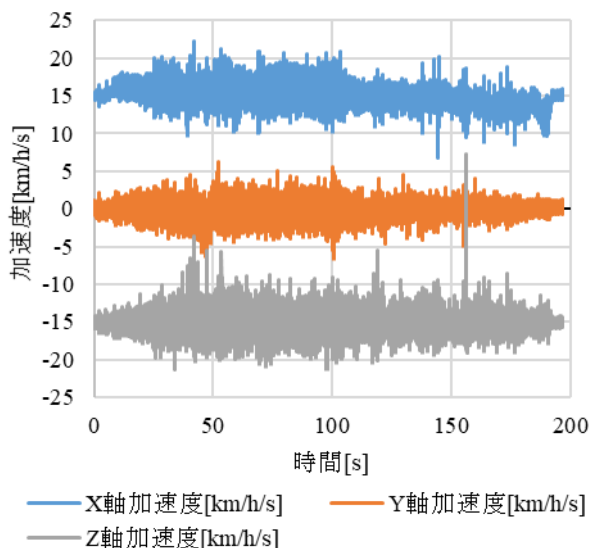


図 2 解析結果（時間特性）

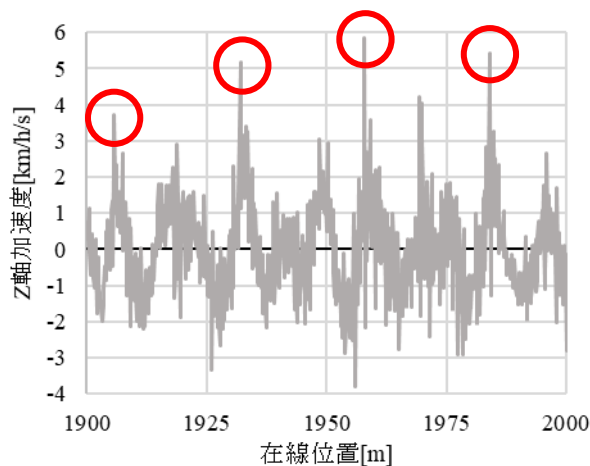


図 3 解析結果（位置特性）

図 2 の X 軸加速度より、駅停止前に進行方向後ろ側に大きく減速していることが明らかであることより、正確にデータが採取されていることが確認できる。尚、X 軸加速度より算出した走行速度と列車在線位置の終端値（次駅停車時）が理論値とほぼ等しい値となっているため、製作したデータ測定装置の動作は正しいことが確認された。

図 3 では、Z 軸加速度が周期的に変動していることがわかる。その周期は図中赤丸で示すように約 25 m であり、これはデータ測定線区が使用している定尺レールの長さとも一致するため、この周期的振動はレール継ぎ目、すなわちレール破断に関係するものだと考えられる。

8. まとめと展望

本研究では三軸加速度センサを用いてデータ測定装置を製作し、対象線区の車両振動データの解析を行った。そこではレール継ぎ目が原因による周期的な縦方向の振動が存在することが明らかになった。今後は多くのデータを採取し、機械学習を適用することで、レール破断等の異常を判断することが可能になると考える。

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) 総務省統計局「人口の推移と将来人口」
- (3) 国土交通省「地域鉄道の鉄軌道部門社員数の推移」
- (4) JR EAST Technical Review No.62 P5~P10「スマートメンテナンスの取り組み状況について」穴見 徹広 2019 年発行
- (5) JR EAST Technical Review No.55 P33~P36「E235 系搭載の電力設備モニタリング装置のデータ活用について」山田 創平, 貴志 俊英, 山本 浩志 2016 年発行

代表的な研究業績

- (1) Naoki SATO, Goro FUJITA 「Suggestion of Rail Break Detection Method by Using Magnetic Sensor」ICEE (The International Council on Electrical Engineering) 2019 No.ICEE19J-278
- (2) 佐藤 尚輝, 藤田 吾郎, 唐鎌 敏夫「機械学習を適用した簡易軌道検測手法」令和 2 年電気学会全国大会 No.5-194