

## 模型車両の動揺データを利用した状態監視システムの研究

池田 圭佑\* (埼玉工業大学 大学院)

河田 直樹 (埼玉工業大学 大学院)

Study on condition monitoring system using 1/10 scale model oscillation data

Keisuke Ikeda\*, (Saitama Institute of Technology Graduate School)

Naoki Kawada, (Saitama Institute of Technology Graduate School)

In the railroad industry, vehicle technology and advances are being used to evaluate ride quality and improve safety. In the maintenance of rolling stock, there is a shift from Time-Based Maintenance to Condition-Based Maintenance. Condition monitoring requires a large amount of data, and in-service testing is necessary to obtain a large amount of data, but it is difficult due to many technical problems. Therefore, a bench test has the advantage of safely obtaining data on vehicle dynamics through continuous testing compared to main line running test. In this study, a data-linked condition monitoring system that combines running tests and on-board tests was constructed. In this report, we selected characteristic frequencies and analyzed waveforms using the MT method of quality engineering for data from a running test using a 1/10 scale model, and then compared the waveforms to obtain the possibility of identifying failure conditions.

キーワード：状態監視，現車試験，走行試験，台上試験，データリンク型状態監視，動揺データ  
(condition monitoring, main line running test, road test, bench test, datalink-type condition monitoring, motion data)

### 1. はじめに

最近の鉄道車両の保全体系は，時間基準保全（Time-Based Maintenance）から状態基準保全（Condition-Based Maintenance）へと移行しつつある<sup>(1)</sup>。保全体系の移行を行うにあたり，状態監視技術の導入が必要と考えるが，その検証のための技術的問題点として，試験にかかる費用や試験場所の確保，試験時の安全性の観点から現車試験を行うことが難しいことにある。状態監視の実現には多くの状態の動揺データを必要とするため，台上試験機を用いた試験を行うことの重要性がある。

そこで，本研究では列車模型による様々な状態を模擬した走行試験と走行試験ではできない試験を行うための台上試験システムを検討し，これらの試験で得られるデータを組み合わせたデータリンク型状態監視システムを構築する。まず，1/10スケールの模擬車両と3軸加速度センサを用いた例<sup>(2)</sup>を参考に脱線とフラット検知相当の試験を行い，まず波形解析によって鉄道車両の台車の状態監視システムの検討を行った。なお，加速度センサはメンテナン

スや配線のしやすさから車体に設置した。

次に，品質工学のMT法(マハラノビス・タグチ法)を用いた鉄道車両の台車の状態監視システムの検討を行い，異常状態での検知精度の向上と異常状態での判別について検討を行った。具体的には，前記波形解析手法の移動平均，区間二乗和，RMS(Root Mean Square)値，周波数特性などの方法を特徴量とした。

MT法で特徴量を明確にし，その特徴量をMD(マハラノビス距離)のしきい値を用いて異常状態の判定することを目指している。

### 2. データリンク型状態監視システムについて

#### 〈2・1〉 本研究で用いるシステム

本研究では，車両の走行時に得られる多様な状態を測定，解析し，ホストとなる場所（基地局）に送信し，様々な走行データを蓄積することで，正常・異常を判断するシステムの構築を目指している。まず，模型を走行させて得られるデータと，模型による台上試験を行うことで得られるデータの二つを，実車相当のデータと見なして組み合わ

せ、異常や故障を検知するデータリンク型状態監視システムの構築を目的としている(Fig.1)。

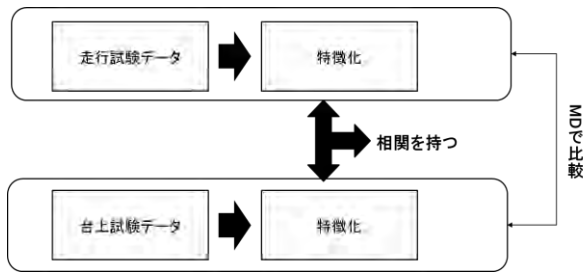


Fig.1 Data link monitoring system image diagram

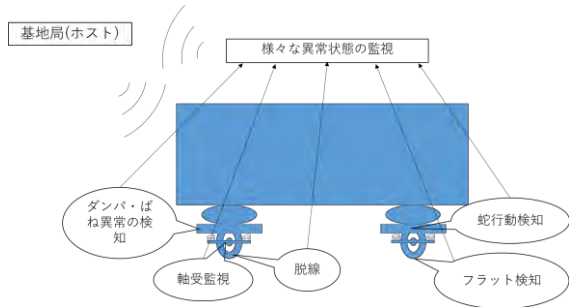


Fig.2 Model of condition monitoring system

〈2・2〉 異常検知のための解析方法

一般的に振動加速度を用いた異常検知を行う場合、多くは一律のしきい値などを設けてしきい値を超えた場合に正常・異常の判断を行うのが簡潔なシステムである。しかし、実際の鉄道車両の走行における振動加速度は軌道状態、走行速度などの状態により正常でもばらつきが大きいこともある。そのため、異常判断のしきい値と正常状態の誤検知を少なくする必要がある。だが、しきい値以下の車体に影響を与える振動が連続的に発生した場合に、異常であると判断することが困難になる。そこで、測定したデータにバンドパスフィルタの処理を行った後<sup>(3)(4)</sup>、MT法による特徴周波数の洗い出しをした。

その後、脱線とフラット走行で特徴周波数の選択をし、選択した周波数帯域に区間二乗和とRMS値を用いて、波形解析の結果を比較・考察した。

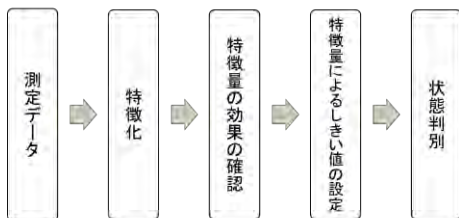


Fig.3 MT法で選別した特徴量による状態判別

3. 試験方法

〈3・1〉 試験機材

今回の試験で用いた加速度センサの仕様と試験機を

Table1, Fig2 に示す。3 軸加速度センサを進行方向の前台車の中心ピン (台車と車体の接合部分) に設置した加速度センサを No.1, 後台車の中心ピン上に設置した加速度センサを No.2 として走行時の車体振動加速度を計測した。試験機は実際の鉄道車両にも使用されている 2 軸ボギー車と呼ばれる試験車両を製作し、走行試験を行った。

Table1 Sensor Specifications

Micro Stone 社 MVP-RF3-HC	
サンプリング周期	1ms
データ数	10000
測定範囲	±20m/s <sup>2</sup>

Table2 Rolling stocks Specifications

車体長(mm)	2,400
軌間(mm)	127
車体質量(kg)	50
台車間距離(mm)	1,660
車軸間距離(mm)	300

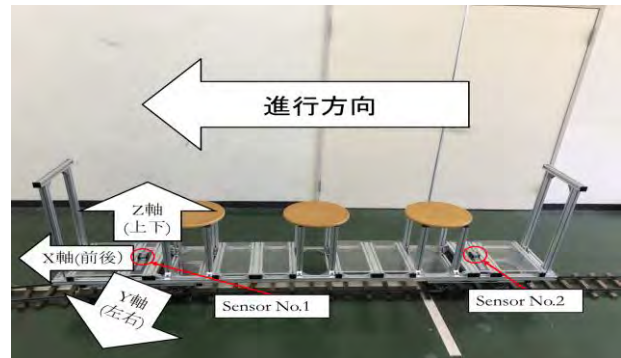


Fig.4 Vehicle-running-test machine

〈3・2〉 試験条件

今回の試験では異常状態にあたる脱線と車輪踏面フラットを模擬した試験を行った(Fig.4-5)。脱線は乗り上がり脱線を想定し、曲線を通る際に車体に外力を与え後方の台車を脱線させた。

フラット走行は前台車の進行方向右後方車輪に約5mm角、厚さ0.1mmのポリエチレン、ポリプロピレン、PETからなる樹脂片を車輪踏面上のフランジに寄せて貼りつけて試験を行った。(Fig.5)



Fig.5 Derailment test

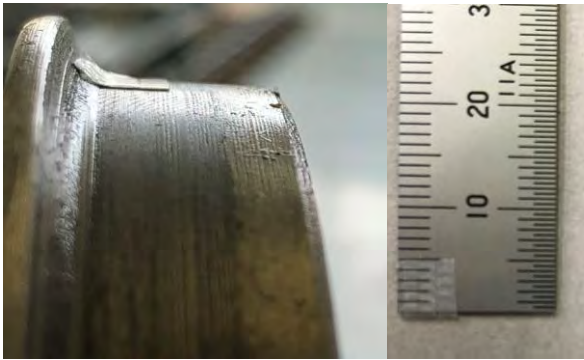


Fig.6 Location and size of flats

4.解析結果

<4・1> MT 法

今回の実験で得られた上下振動データの MT 法の解析結果を Table3 に示す。

MT 法による要因効果の結果から脱線では 0-6Hz, フラット走行では 20-40Hz, 65-100Hz の範囲でそれぞれ高い効果を示していた。脱線の波形解析の詳細結果については紙面の都合上割愛する。

今回の MT 法で用いた特徴量として、0-6Hz, 6-20Hz, 20-40Hz, 40-65Hz, 65-100Hz のバンドパスフィルタをかけた上下振動データと、それぞれの区間二乗和と RMS 値を特徴量として計算した。

要因効果図から、脱線の際は SN 比の振幅が大きく、0-6Hz の範囲のバンドパスフィルタが影響を与えたと考えられる。

同様にフラット走行では、20-40Hz, 65-100Hz の範囲のバンドパスフィルタが影響を与えたものだと考えられる。

このことから脱線では比較的左側の低周波の項目で効果が大きくなり、バンドパスフィルタの低周波の項目にお

いて特徴的であることがわかる。

そしてフラット走行では、要因効果図の右側の項目で比較的效果があることがわかり、こちらはバンドパスフィルタの 20-40Hz, 65-100Hz の項目で効果が特徴的であることがわかる。

<4・2> 波形解析結果

Table3 の MT 法から得られた結果から、バンドパスフィルタをかけていないときはレール継ぎ目の影響が大きく現れてしまい区間二乗和の結果からもその結果が現れている。

20-40Hz, 65-100Hz の二つの周波数帯でバンドパスフィルタをかけることで減衰していることが確認できた。

この効果によりフラット走行時の結果におけるレール継ぎ目の影響が小さくなったのでフラット走行時の特徴的なデータを得ることができた。

また、MD による異常検知の観点からでは、フラット走行により生じた MD 平均値を比較すると、バンドパスフィルタをかけていない時に MD 平均値が 10.7 と MD のしきい値である 4 を超え異常と判別することができるが、65-100Hz のバンドパスフィルタをかけた時は MD 平均値 59.4 という結果になった。

MD による異常検知の結果からも、バンドパスフィルタをかけていないときと比較すると MD 平均値が大きくなり、より効果的に異常の判別ができるようになった。

これらの結果を踏まえるとバンドパスフィルタをかけることで良い影響を与え、異常状態の判別の可能性があると考えられる。

Table3 MT Method Results

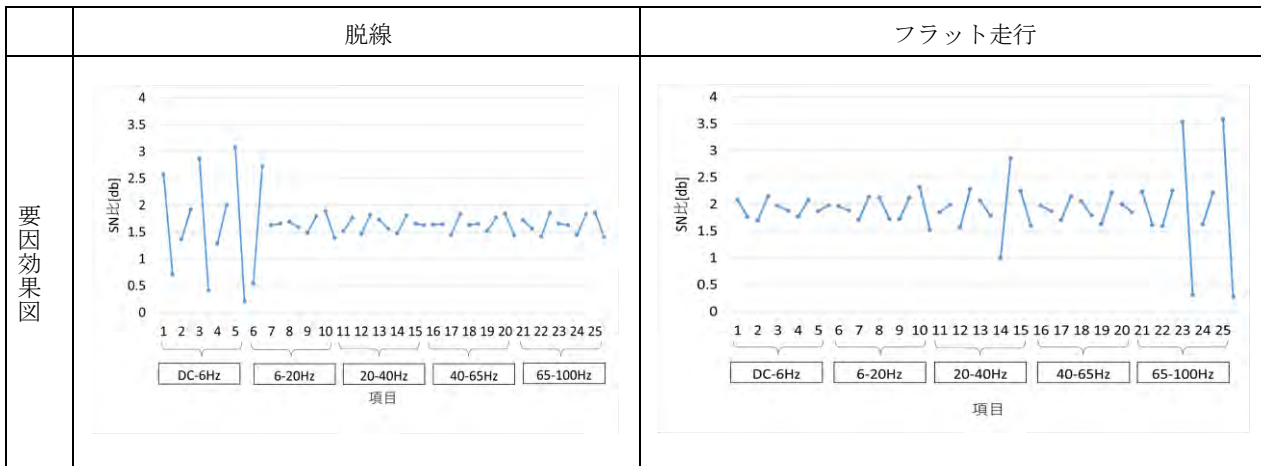
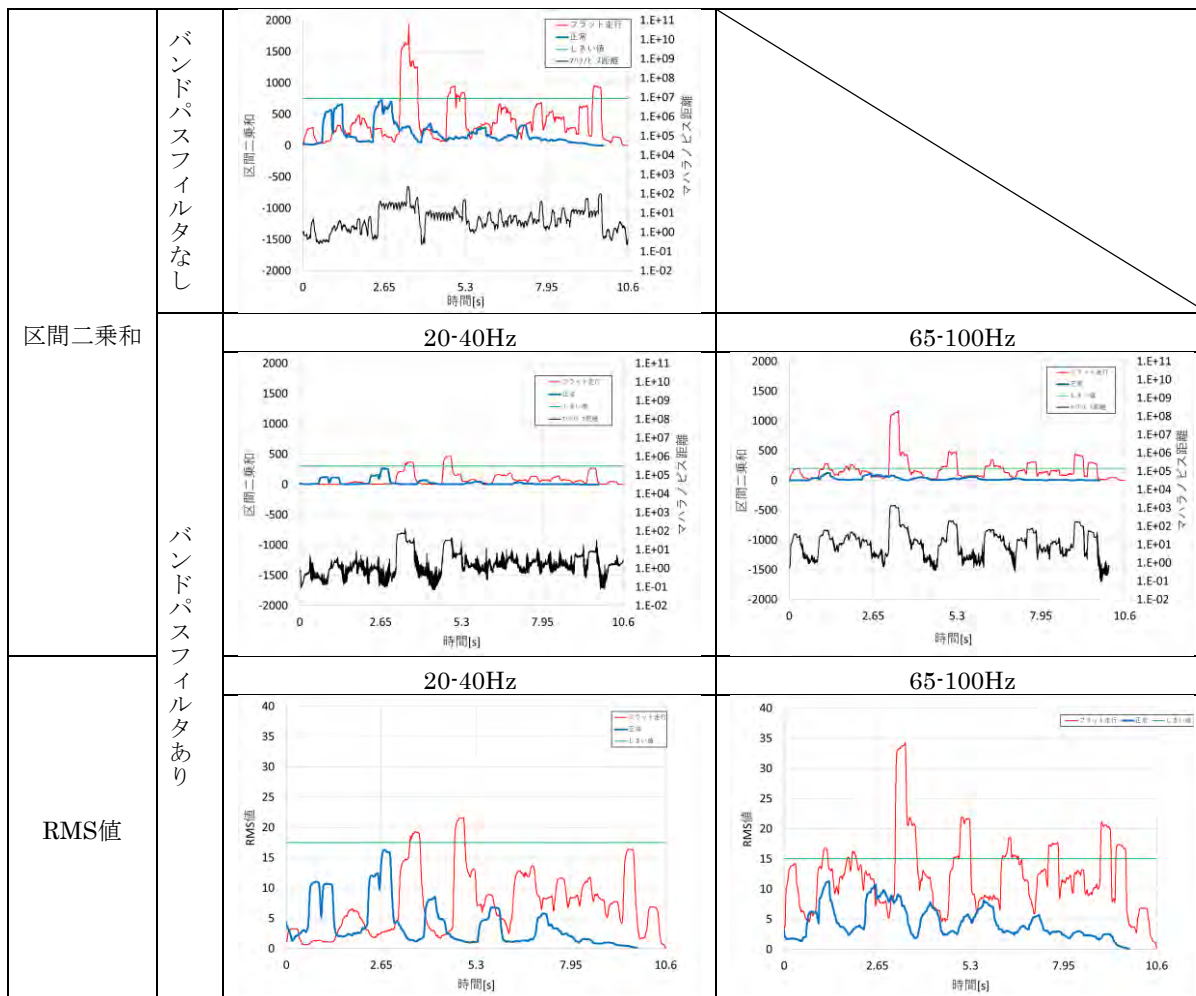


Table4 Waveform Analysis Result



5.まとめ

本研究では、鉄道車両の走行時の台車の状態監視システムの検討を行い、異常検知の精度向上と異常状態の判別の検討を行った。

まず、測定したデータにバンドパスフィルタをかけた後、特徴周波数の洗い出しを行った後に MT 法で要因効果を調べ、脱線の時には 0-6Hz の低周波の領域で効果が大きく、フラット走行では 20-40Hz, 65-100Hz の範囲で効果が大きくなっていった。次に、区間二乗和と RMS 値を用いて波形解析を行いそれぞれにおける波形の比較をした。バンドパスフィルタをかけることで脱線とフラット走行の両方で減衰させることができた。フラット走行の結果では、このバンドパスフィルタの処理を行うことでフラット走行の特徴的なデータを得ることができた。

さらに、Table4 の表からしきい値を設けるとバンドパスフィルタをかけることでしきい値を低くすることが可能になった。特に 65-100Hz のバンドパスフィルタをかけると、しきい値を 200 にまで下げることが可能になり、区間二乗和と RMS 値の波形の比較で判別が可能であると考えられる。

このことから、バンドパスフィルタをかけたデータの区間二乗和と RMS 値を MT 法の項目とすることで脱線とフラットに良い影響を与え、異常状態の判別の可能性があると

考えられる。

今後は、上記の結果と高速度の走行試験を行える台上試験を製作し、それぞれのデータを組み合わせたデータリンク型状態監視システム構築を目指し、検討を進めていく所存である。

文 献

- (1) 佐々木君章：台車モニタリングに関する最近の技術開発，鉄道総研報告，Vol.27, No.12(2013)，pp.1-4
- (2) 洪介仁，須田義大，王文軍，森川真人，山下高賢，川鍋哲也，国見敬：鉄道車両の乗り上がり脱線予兆検知に関する研究，日本機械学会，日本機械学会論文集(C編)，76巻767号，pp21-26(2010)
- (3) 大庭拓也，山田幸一，岡田信之，相馬仁，谷藤克也：振動解析に基づく新幹線台車の状態監視，日本機械学会，日本機械学会論文集(C編)，75巻757号，pp93-101(2009)
- (4) 鍋木哲志，河田直樹，野村秀則，久米原宏之：加工負荷電流の波形解析による突っ切り加工用工具の状態監視システムに関する研究，産業応用工学会，産業応用工学会全国大会 2019 講演論文集，pp19-20 (2019)