

脱線検知装置の開発



斉藤 憲司*

三須 弥生**

吉田 豊*

列車脱線から大事故に発展する事を防止するために、運転士に警報を発し列車を緊急停車させる事ができるように、脱線を検知できる装置の開発を行った。この装置の開発のため、実際に車両を脱線させる試験を行うなどして、脱線に関わるデータの採取を行い、誤検知しない判定方法を2種類考案した。

開発した装置は2002年1月より次世代通勤近郊形車両（ACトレイン）に搭載し、確認試験を行っている。

●キーワード：車体振動、振動解析、脱線検知、バンドパスフィルタ

1 はじめに

列車脱線は、車両の横転、橋桁やホーム等の建築物・対向車両に衝突する等して大事故につながる可能性がある。鉄道事業者としては、「脱線事故を起こさない」対策を実施することが最優先であるが、脱線を事前に予知することは現状の技術では確立されていない。従って、脱線が発生した場合に「直ちに運転士へ警告する」あるいは「車両を緊急停止する」ことによって、二次被害を最小限に留める事を目的に、脱線検知装置の開発を行った。

脱線検知システムのイメージを図1に示す。脱線検知装置を各車両に搭載し、脱線検知装置が脱線と判断した場合、運転士に警告あるいは緊急停止するシステムとする。

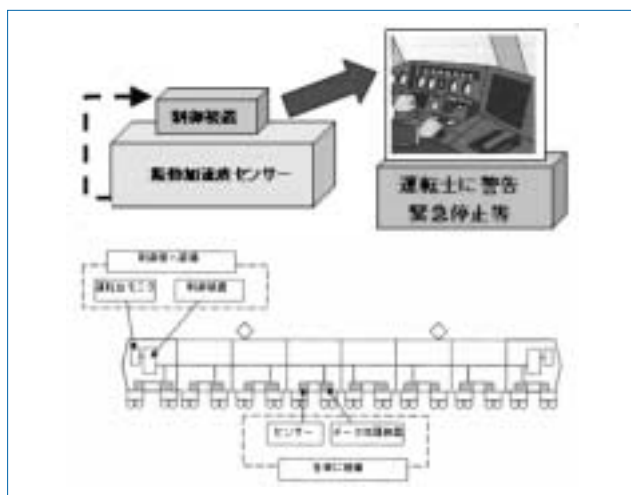


図1：脱線検知装置システムイメージ

2 脱線検知装置の開発

2.1 開発コンセプト

開発する脱線検知装置に求められる条件として、

脱線を即座かつ確実に検知すること

あらゆる軌道条件において、誤検知しないこと

低コストとすること（全車両が搭載対象となるため）

が挙げられる。従って、脱線の判定方法には、解析に複雑な処理を行わない、出来るだけシンプルな判定アルゴリズムとする事が求められる。脱線を検知する方法としては、これまでに線路からの落下量を演算する事により判定する方法が提案されているが¹⁾、本開発では脱線が発生した場合は通常走行に比べ極端に大きな振動が発生すると予想される事から、振動加速度から検知する事とした。

また、配線や取付を簡素化することにより装置取付コストやメンテナンスコストを抑えるために、台車ではなく車体に脱線検知装置を取り付ける事とした。

判定方法を検討するに先立ち、通常走行時および脱線時の振動加速度を把握するために、以下の通常走行時の振動測定および脱線試験を実施した。

2.2 通常走行振動測定

線路の継目部など軌道条件等による振動を脱線と誤検知することのないよう、様々な条件での通常走行時の振動を把握する必要がある。

そこで、JR東日本の主な通勤電車の新旧7種類の車両

を使用して、首都圏の10線区について、通常走行時の振動加速度を測定した。以下に振動測定線区および対象とした車両形式を示す（図2、表1）



図2：通常走行振動測定行路

表1：通常走行振動測定種類

	形式	線区	km
前期	E217系	横須賀線	36.6
		京葉線	14.7
		外房線	3.8
	103系	総武緩行線	49.0
		中央急行線	7.5
後期	短期	山手貨物線	1072.0
		総武緩行線	944.9
		E231系	289.2
		南武線	370.3
		205系	920.0
	長期	高崎線	87.0
		115系	17068.6 (のべ)
	回送列車	横須賀線	26.7
		総武快速線	46.5
		横須賀線	36.6

7車種10線区 20973.4km

2.3 脱線試験

低速脱線を模擬する為、脱線器（スロープ）を取付けたレールに向かって供試車両を押し出し、車輪がレールから落下した際の振動加速度を測定した。

レール高さからの落下を再現する為のスロープを取り付けることによって、脱線を模擬した。実施箇所は、JR東日本大宮工場内で行い、車両は115系電車を用いた。

脱線試験の概要図を図3に示す。

2.4 測定結果、評価

2.4.1 振動波形の比較

通常走行時（115系電車 井野～高崎間：測定データ中、振動加速度最大）および脱線試験時の振動測定デー



図3：脱線試験概要図

タを図4、5に示す。これらの図を見ると、脱線試験時において1[G]を超える振動は殆どなく、0.5[G]を超える振動も僅かであった。また、通常走行時においても0.5[G]に近い振動も発生していた。

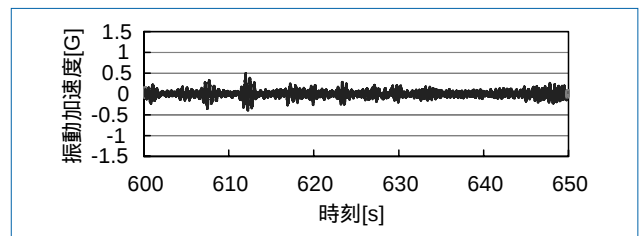


図4：通常走行測定結果

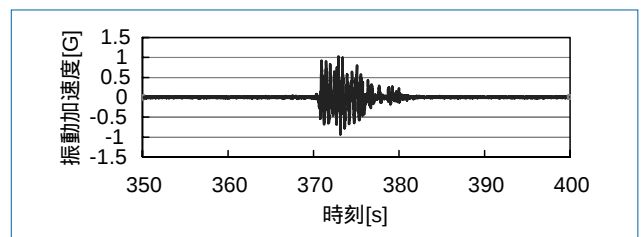


図5：脱線試験結果

2.4.2 バンドパスフィルタの適用

前述の結果から、生波形で脱線判定のしきい値を振動加速度の大きさだけで単純に決めるのは精度が低いと考えられる。

そこで、バンドパスフィルタを適用し、両者の差を顕著にする事を試みた。バンドパスフィルタとは、振動波

形の生データから、任意の周波数範囲の振動を取り出す事が出来る装置の事である。鉄道車両は乗り心地を向上するために人間の最も感じやすい周波数（6～20Hz）の振動を抑える設計がなされているが、脱線時には全ての周波数において加速度振幅が顕著に大きいと予想される事から、6～20Hzのバンドパスフィルタを用いる事とした²⁾。また、この事により、車種の違いによる影響を除く事ができると考えられる。

図4、5のデータに、このバンドパスフィルタを適用した結果を図6、7に示す。これらを比較すると、通常走行時の大きな振動が取り除かれ、一見すると振動波形に顕著な差が現れるようになったが、一時的には大きな加速度が残った。この結果、単純な振動加速度の測定のみでは脱線を誤検知することなく確実に検知する事が困難であると判断した。

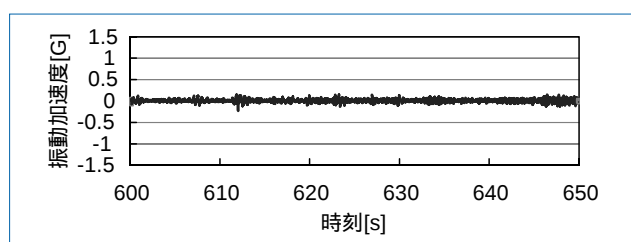


図6：通常走行測定結果（6 - 20Hz BPF使用）

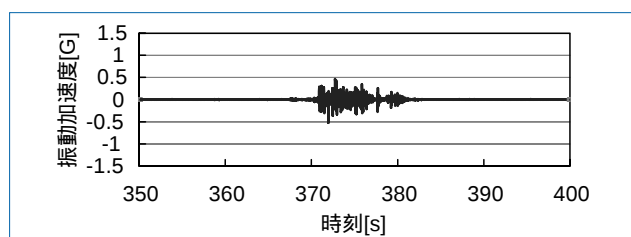


図7：脱線試験結果（6 - 20Hz BPF使用）

2.5 判定方法の検討

前述のように、通常走行時と脱線時の振動加速度に顕著な差が見られるが、脱線を誤検知することなく確実に検知するしきい値を決定する事はできない。

そのため、脱線を正確かつシンプルな方法で検知できる判定方法を考案する必要があると考え、以下に述べる2種類の判定方法（図8）を考案した。

判定法の考え方は次のとおりである。

判定方法1においては、計測した振動加速度を一定時間（判定時間 本開発では1S）蓄積し、この中で設定した加速度のしきい値を超えた加速度の頻度を求め、その頻度が設定した判定回数（しきい値）を超えた場合に脱線と判定する事とした。

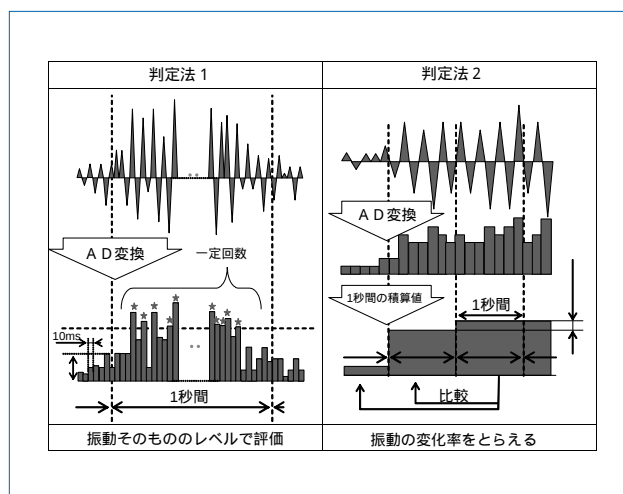


図8：判定法1および2

判定方法2では、一定時間（判定時間 本開発では1S）の加速度を積算した加速度積算値を用い、現在と直前の加速度積算値を比較し、極端に大きくなっている場合に脱線と判定する事とした。

表2：各判定法における結果

	判定法1		判定法2
	加速度	判定回数	変化率
通常走行 (最大)	±0.15G	4回	6.46
	±0.20G	2回	
	±0.25G	0回	
脱線試験	±0.15G	26回	11.86
	±0.20G	13回	
	±0.25G	8回	

なお、これらの判定法に対するしきい値は、前述の通常走行における振動測定および脱線試験の結果が表2のように得られた事から、統計的手法および安全度を考慮して表3のように決定した。

表3：各判定法におけるしきい値

しきい値	判定法1		判定法2
	加速度	判定回数	変化率
±0.15G		20回	8

2.6 脱線検知装置の試作及びACトレインによる検証

2.6.1 脱線検知装置の試作

これまでに述べたように判定方法およびそれらに対するしきい値を決定する事ができたので、実際に脱線検知装置を試作し、JR東日本において開発した次世代通勤近郊形車両（ACトレイン）に搭載する事により、検証する事とした。

ACトレインの3号車、4車、5号車の妻部および運転台に搭載する事とし、合計6組の脱線検知装置および

データ記録用簡易レコーダをそれぞれ一対となる形で近傍に設置した。搭載箇所を図9に示す。



図9：ACトレイン脱線検知装置搭載箇所

装置は電氣的ノイズに対する影響や搭載箇所による振動の違いを検証し、さらに低コスト化に向け判定装置の統合や配線種別による違いを検証するため、配線の切り替え等ができるものとした。また、加速度センサの出力信号のノイズが脱線検知に影響のない程度で、ローコストとなる組み合わせを検討した。試作した脱線検知装置の概念図を図10に示す。

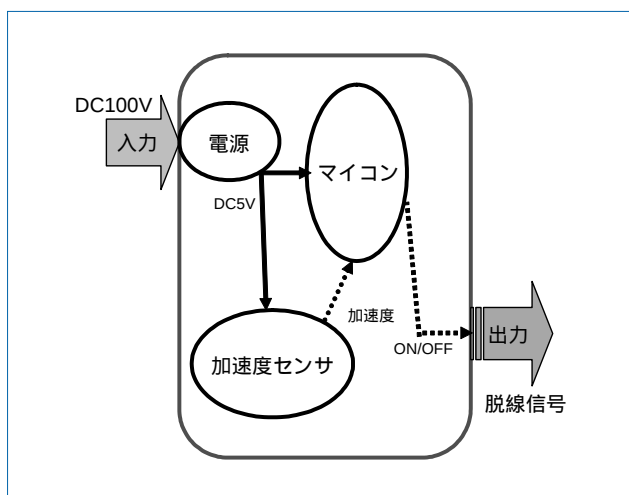


図10：試作品概念図

2.6.2 ACトレインによる検証

開発した脱線検知装置の検証を行うため、試験車両であるACトレインに2002年1月より搭載し、長期確認試験を実施している。川越線（大宮～川越間）・中央線（東京～甲府間）において様々な条件（曲線での速度向上、急制動等）にて走行試験を行っているが、2002年11月1日現在、誤検知等もなく順調に機能している。

3 おわりに

開発した脱線検知装置については、今後の搭載に向け運転士や車掌等の取扱を含めて検討を進めている。

参考文献

- 1) 佐藤、平林、河田：J-Rail 98講演論文集、P351 - 354、1988年
- 2) 鉄道総合技術研究所編、在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説、P42 - 43、1993年