

鉄道における状態監視の現状と将来

○ [機] 網島 均 (日本大学)

Condition Monitoring of Railway System - Present and Challenge -

○Hitoshi Tsunashima, (Nihon University),

1. はじめに

車輪がレールで案内されて走行する鉄道にとって、軌道の安全管理は重要である。その状況を把握し、事故に至る前に補修していく予防保全が不可欠である。そのためには、軌道の状態を常時あるいは高頻度で監視することが望ましい。しかし、軌道検測車やレール探傷車などの検査用車両の走行により精密な軌道検査が可能になっているものの、コストや要員などの点から走行頻度は非常に制限される。さらに地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方で、費用の確保や技術力の維持が難しく、十分な検査が行えない事業者も少なくない。このような問題に対して、営業車両を用いて軌道状態の常時監視と診断が可能になれば、適切な保全時期、保全内容の計画によって、より確実な予防保全の実現が期待できる。車両自体をセンサとして使用しようという発想である。

走行に伴って発生する振動を常時計測して、軌道の状態診断を行う技術は、車両のサスペンションなどの状態監視への適用も可能である。また、鉄道全体の安全性を確保するためには、運転士のヒューマンファクタにも注目する必要がある。本稿では、軌道、車両および運転士の状態監視技術の現状と将来について述べる。

2. 軌道の状態監視

軌道不整は車両の乗り心地と安全性に密接に関係し、最も重要な検査項目の一つである。軌道不整には、軌間狂い、水準狂い、高低狂い、通り狂い、平面性などがある。

軌道不整を計測する方法としては、慣性測定法が知られている。慣性測定法は、加速度を2回積分すると変位が計算できるという物理法則を利用した方法で、軸箱などに取付けた加速度計の出力から、軌道不整を計算する¹⁾。慣性測定法は、加速度計そのものの精度による誤差と、加速度計の傾きによる誤差がある。特に大きな傾斜のカントでも精度よく計測するためには、ジャイロで補正する必要がある。慣性測定法を用いて、営業列車によって軌道狂いを推定する方法が、Westonらによって提案されている²⁾³⁾。また、新幹線の営業車両による軌道診断システムも開発されている⁴⁾。

車両のモデルを用いて軌道の高低狂いを推定する方法も提案されている。Bruniらは車両の上下振動モデルを用いて、逆伝達関数から軌道入力を推定する方法を提案し、ETR500 車両で有効性を確認している⁵⁾。

これらの方法は、いずれも台車に加速度計やジャイロを搭載し、計測を行う方法であるが、営業車両の車体の振動から、軌道の状態が診断できればさらに有用である。軌道不整に対する車両の応答特性は、車両固有の諸元、走行速度や荷重などの条件により変化するが、簡易的には、車体振動加速度のRMS値や車体のロール角などを時々刻々評価することにより診断できる⁶⁾⁷⁾。

レールの異常の一つに波状摩耗がある。波状摩耗は、レールの頭頂部が数cmから十数cmの周期で摩耗する現象で、これが成長すると、著しい騒音や振動が発生するため、レール保守の重要な項目のひとつとなっている。波状摩耗が発生している区間を車両が走行すると独特な騒音が発生することから、車内騒音のスペクトルを利用して波状摩耗の発生位置と程度を検出、診断する方法が開発されている⁷⁾。

3. 車両の状態監視

車両の検査は、重大な事故を防ぐために特に重要である。車両故障を早期に検出するためには状態監視が必要であり、常時監視するためには車両に付けたセンサの信号から車両の異常を検出する方法が提案されている。状態監視は、故障を引き起こす前に劣化を検知・特定を行うコンディションベースメンテナンス(condition-based maintenance)の重要な要素である。

車両の異常状態の検出には、これまで研究が多く行われてきたFDI(Fault Detection and Isolation (or Identification))技術を適用することが可能である⁸⁾。Goodallらはモデルベース推定手法を用いて車両のサスペンションパラメータの推定を行う方法を提案し、実車両(Coradia 175)により検証した⁸⁾。Tsunashimaらは、多重モデル法を用いてサスペンションの故障を検出する方法を提案している⁹⁾が、実車実験による検証はまだ行われていない。Charlesらはカルマンフィルタを用いて踏面形状を推定する方法を提案している¹⁰⁾。これらの方法は、安全性の面からだけでなく保守の面からも有効な技術である。

車輪・レール間の状態を表す物理量である輪重と横圧は、鉄道の安全管理上大変重要な検査項目である。横圧を輪重で除したものを脱線係数といい、この値が基準以下になるように管理される。輪重や横圧は、従来車輪にひずみゲージを貼付し、スリップリングを用いて取り出すか、地上側のレールなどにひずみゲージや変位計を用いて計測するな

どの方法がとられてきた。これらの方法は、予防保全を行うためには経費、労力、耐久性等の面からは不向きなものである。Xiaらは、逆モデルを用いて脱線係数を推定する方法を提案している¹¹⁾。一方、Matsumotoらは、光学センサを用いて非接触式に脱線係数を車上で常時推定する方法を開発¹²⁾し、現在、実路線において検証を行っている。

4. 運転士の状態監視

JR福知山線における重大事故以降、運転士のヒューマンファクタの重要性が指摘されている。鉄道システムのトータルでの安全性を確保するためには、運転士と車両との関連に着目する必要がある。運転操作の状態を監視する方法としては、予め車内に設置した監視装置で、標準運転パターン、標準ノッチ操作を記憶しておいて、実際の運転速度、ノッチ操作と比較を行って、標準パターンからのずれが顕著になった場合に、運転士に異常を警告するシステムが考えられる¹³⁾。この方法は、運転のリスクが顕在化した場合には有効と考えられる。

一方、運転のリスクが顕在化する前に、運転士の不適切な運転行動を事前に検出することにより、潜在的なリスクを評価することも重要である。これにより“危険の芽”を早期に摘み取ることが可能になると考えられる。心的負荷がある場合は、心的負荷がない場合に比べて異なるブレーキ操作パターンになることから、普段の運転によるブレーキ操作のパターンから逸脱するような傾向が検知された場合には異常と判断し、警報を発出することができる⁷⁾。この方法は、速度超過まで至らない潜在的異常の検出に有効である。

5. 鉄道の状態監視に関する国際会議 (Railway Condition Monitoring)¹⁴⁾

この会議は、バーミンガム大学のClive Robertsらが中心となり、英国で、2年ごとに開催している鉄道の状態監視に関する国際会議であり、今回で4回目となる。前回はバーミンガム大学で開催されたが、今回はダービーの会議場で開催された。前回の会議と比較すると、産業界からの参加者の比率が大きく増加している。このことから、鉄道の状態監視技術に対する産業界の期待がうかがえる。

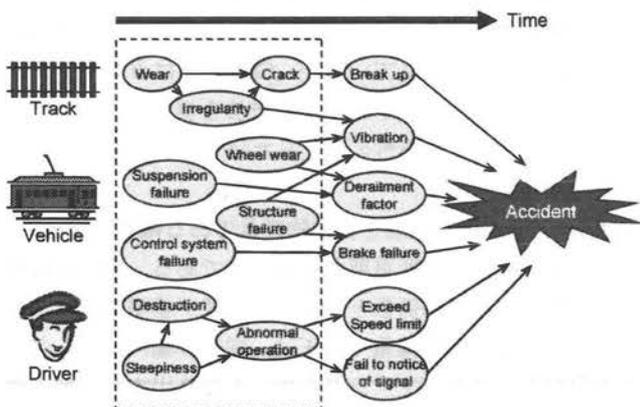


Fig.1 Active safety of railway by condition monitoring

6. まとめ

鉄道における状態監視技術は、異常を「発見して、修理する」から「予測して、予防する」へ、保守の考え方を革新するための技術であり、IT技術の発展に伴って大きく進化している分野である。リスクが比較的顕在化した場合(時間軸の下流側)の検出技術は存在する。一方、潜在的なリスク(時間軸の上流側)を検出する技術の開発が今後の課題である。

参考文献

- 1) 矢澤英治, 慣性正矢法による軌道検測, 鉄道車両と技術, Vol.13, No.3, pp. 17-22 (2007)
- 2) Waston, P. F. et al, Monitoring vertical track irregularity from in-service railway vehicles, *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 221, No. F1, pp. 75-88 (2007)
- 3) Waston, P. F. et al, Monitoring lateral track irregularity from in-service railway vehicles, *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 221, No. F1, pp. 89-100 (2007)
- 4) Naganuma, Y. et al, Condition Monitoring of Shinkansen Tracks using Commercial Trains, *International Conference on Railway Condition Monitoring 2008* (2008)
- 5) Bruni, S. et al, Estimation of long wavelength track irregularities from on board measurement, *International Conference on Railway Condition Monitoring 2008* (2008)
- 6) 網島 均, 営業車両によるレール診断システムの開発, 日本機械学会誌, 2008年11月号 (2008)
- 7) 網島 均, プローブ車両による鉄道の状態監視, 油空圧技術, 46巻6号, pp. 44-49 (2008)
- 8) Bruni, S., Goodall, R. M., Mei, T. X. and Tsunashima, H., Control and monitoring for railway vehicle dynamics, *Vehicle System Dynamics*, vol. 45, No. 7-8, pp.765-771 (2007)
- 9) Hayashi, Y., Tsunashima, H. and Marumo, Y., Fault Detection of Railway Vehicle Suspension Systems using Multiple-Model Approach, *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics*, Vol. 1, No. 1, pp. 88-99 (2008)
- 10) Charles, G., Goodall, R. and Dixon, R., Wheel-Rail Profile Estimation, *International Conference on Railway Condition Monitoring 2006*, pp. 32-37 (2006)
- 11) Xia, F., Cole, C. and Wolfs, P., A method for setting wagon speed restrictions based on wagon responses, *Vehicle System Dynamics Supplement 44*, pp. 424-432 (2006)
- 12) Matsumoto, A. et al, A new monitoring method of train derailment coefficient, *International Conference on Railway Condition Monitoring 2006*, pp. 136-140 (2006)
- 13) Mizuma, T. et al, The development of supervising system for train operation by imaging picture, *International Conference on Railway Condition Monitoring 2006*, pp. 167-171 (2006)
- 14) <http://conferences.theiet.org/rcm08/>