鉄道における検査ロボット*

塩 谷 明 男** 笹 間 宏**

1. は じ め に

現代社会では航空機、鉄道、自動車、船舶といった交通機関の重要性が増大しており、航空機や鉄道の事故、あるいは高速道路の閉鎖などが社会生活に与える影響の大きさは、我々が日頃よく体験するところである。本来、交通機関の最大の使命は安全かつ安定に輸送サービスを提供することであり、そのために日常の検査とそれに基づいた修繕活動が欠くべからざるものである。特に最近のように交通機関の大規模化に伴い、一旦事故を起こした場合の社会的影響を考えると、事故を避けるために行う検査の重要性が増大しており、検査機能の向上とコストの低減を図るため、検査の自動化・ロボット化が検討されてきた。

2. 鉄道における検査の特長

これまで、鉄道を始め多くの乗物では、定期検査方式による予防保全の考え方に則ってメンテナンスを行ってきた。しかし、鉄道システムの中で用いられている各種部品の故障パターンは、初期故障型や摩耗劣化型、さらに全く偶発的なランダム故障などの多様なパターンの組み合わせになっており、定期保全方式によってこれらの複合した故障モードに対応することは難しい。特に信頼性の低い部品に合わせての短い周期でのオーバーホールはメンテナンスコストを増大させるだけでなく、他の部品の初期故障を誘起するといった問題も生じている。そこで最近では定期保全方式から状態監視保全方式への移行が図られている。

状態監視保全方式では、常に保全対象の劣化の程度を監視把握して計画的に修繕取替を行うと共に、異常が検知された時には速やかに対応処置を取ることが出来る。さらに、それらの状態監視データの蓄積によって、時系列的に見た劣化の進行メカニズムの把握や、多次元的な状態指標による設備診断論理が確立され、総合的な健全

度判定と故障の予測が可能となる。

しかし、このように状態監視保全方式は大変優れた方式であるが、常時状態監視を人間によって行おうとするとな手が掛かり過ぎ、ほとんど実現が不可能である。従ってこのような状態監視保全方式を実現しようとするならば、検査の自動化あるいはロボット化が不可欠である。

鉄道において検査すべき対象は、乗客を乗せる車両だけではなく、車両を安全に走らせるための軌道設備、信号設備、電力設備などの地上側の多くの設備も維持管理していかなければならない。従って、検査対象が車上設備と地上設備の2種類、それを検査する側も車上からと地上からとの2方式が考えられるので、それぞれの組み合わせとして、図1に示すように四つのモニタリングタイプに分類する事が出来る¹⁾。

鉄道や道路のように、地上に広く散在している地上設備を効率良く検査するには、タイプ2のように車両で走りながら沿線の設備を逐一検査する方式が適している。鉄道ではこのような目的のために各種の検測車が開発され実用に供されている。これは走行車輪を足として活用した一種の巨大な検査ロボットと見なすことが出来る。

他方、線路の上を走行する多数の車両の検査を効率的に行うには、タイプ3のように地上の適当な場所に検査ステーションを置き、この上を通過する車両の異常を逐一チェックするのが効率的である。このような地上定置型の検査システムも、若干広義に捉えれば、対象が向こうからやって来てくれるので足の退化した検査ロボットと見なすことも出来る。

3. 検測車ロボット

前記のように、鉄道においては線路周辺の検査や修繕のために検査修繕車両が営業列車の合間を縫って活動している。日々の営業列車を快適で安全に運行させるためには、線路の形状の検査をはじめ、電力を供給するための架線や変電システム、運転保安を司る信号システムや通信システムなどが全て適正な状態にあることを確認する必要がある。もしそれぞれの管理限界を逸脱している場合は速やかに修繕などの対応処置を取らなければなら

原稿受付 1986年6月16日

* Inspection Robots in Railways

** 日本国有鉄道鉄道技術研究所

タイプ1 車上モニタリング

タイプ2 車上→地上モニタリング (検測車ロボット)

○：センサ □：非接触センサ D：監視処理部

タイプ3 地上→車上モニタリング

タイプ4 地上モニタリング

図1 鉄道における状態監視の四つのタイプ

ない。

上記の目的に従って、軌道の検査を行う軌道検測車、電力や信号などの検査を行う電気検測車、レールの亀裂などを検査する超音波探傷車、さらに特殊なものとしてトンネルなどにおける限界支障を犯している物が無いかを確認して走る限界支障確認車など各種の検測車が開発され、各線区の実情に応じて活用されている。特に新幹線においてはこれらの検査機能を一つの列車に集中した総合試験車が開発され、効果を発揮している（表1、図2）。

このような車両による検査システムは舗装路面の状態

表1 新幹線総合試験車における検査項目

検査対象	検査項目
軌道	軌間、水準、高低、通り狂い、平面性、長波長高低、輪重、横圧、輪重横圧比、車両動揺加速度、騒音レベル、軸箱振動加速度
架線	トロリー線摩耗、トロリー線高さ、トロリー線偏位、トロリー線硬点、トロリー線勾配、支障物、離線・離線率、パンタグラフ衝撃、電柱位置、わたり線位置
電力	切替無電圧時間、切替総合時間、き電回路異常電圧、電車線電圧
信号	ATC軌条電流、ATC周波数、ATC瞬時現示変化、無絶縁軌条電流、無絶縁信号周波数、列車番号コイル添乗軌道回路電流、地点検知地上子、列車検知軌条電流、電車線電流不平衡率、ATC後部レール電流レベル
通信	電界強度、信号レベル、雑音レベル、パイロットレベル、基地局特性、接続動作試験、瞬時特性

監視のためにも有効であり、路面の轍割れ、ひび割れ、縦断凹凸などを検査するためのものが開発され、道路や空港の滑走路の検査に活用されている。

もし検測車において異常が発見された場合には速やかに対応処置をとる必要がある。従って検測車ロボットの検査結果を受けて修繕作業を担当する修繕作業ロボットが必要になる。特に軌道や架線に関する修繕は作業規模が大きく、作業中は営業列車を通すことが出来ないため、夜間に出来るだけ速やかに作業を完了する必要がある。運行密度の高い新幹線などではとても人間の作業では対応出来ない。そこで軌道周辺をつき固めて軌道の狂いを補修するマルチプルタイタンパや軌道のバラストを取り替えるバラストクリーナ、あるいは架線の張り替えを行う架線延線車などの大型作業車が実用化されており、これらの検測車ロボットと修繕車ロボットとがペアとなって鉄道の安全を守っている。

なお検測車のように高速で走行しながら地上設備の検査を行う場合には大部分の場合、対象物に直接触れることは出来ないので何らかの形で非接触の計測のセンサが必要である。特に形状検査の場合は光学的な計測が必要となり、例えば新幹線の総合試験車で重要な検査項目である架線の摩耗量の測定には図3のような測定システムが用いられているが、200 km/h以上の高速走行中に昼間光のもとで精度の高い寸法計測を行うためには、高出力のレーザ光と高速のミラースキャンを用いた非常に

図2 新幹線総合試験車①

複雑なシステム⁴⁾が必要で(図3)、コスト・パフォーマンスの面で問題がある。今後は更に検査項目として画像処理的な検査機能の拡充が要望されており、よりコンパクトで性能の良い検査ロボットの視覚機能を実現する事が望まれる。

4. 知能列車の構想

最近では自動車をはじめ航空機や船舶においても車上や機上に多くのマイクロプロセッサを搭載し、車上や機上の設備にたいする自己診断や環境条件に適した運転特性を実現するといった乗物自体の知能化が進められようとしている。この動きは検査や診断の自動化、ロボット化を一步進めて、車両自体が自律的に診断機能や適応機能を持った、一種のロボット化を目指すものである。

このような状況の中で鉄道も、他の輸送機関との激しい競争状態の元で、大幅なシステムチェンジを図り、走行性能や乗り心地性能の向上が迫られている。このような要望に応えるものとして、知能列車の構想が議論されている。

知能列車の具体的なイメージについては、まだ必ずしも固まったものは無いけれど、概念的には車上にマイクロプロセッサを搭載し、これの下に最新のAI技術、センサ技術、制御技術、メカトロ技術などを動員して、運転状況や環境条件に適した高度の輸送サービスを実現しようと言うものである。この構想の中の重要な機能の一つとして、自律的な検査診断機能が挙げられている。すなわち、旅客を乗せた営業列車自体が、車体の状態と線路の状態を検査診断

しながら走行し、診断された車体と線路の状況に応じて走り方を制御すると共に、車両の機能や特性を状況に適合させ、より性能の高い、乗り心地の良い輸送サービスを実現しようと言うものである。

このような考えに基づいて車両モニタリングシステムが開発され、国鉄の新幹線をはじめ私鉄各社でも実用化されている。モニタリングシステムの代表的なものとして、東北・上越新幹線用200系電車に導入されたシステムの構成を図4に、その中でモニタされている項目を表2に示す。これらのモニタ項目は運転台のディスプレイ上に表示され、運転士は速やかに運転速度の減速や異常の有った機器の切り離しなどの対応処置を取ることが出来る⁵⁾。

車両モニタリングシステムは知能列車実現への第一歩であり、今後このようなモニタリング項目を増強していくと共に、設備の状況に応じた適応制御や異常に対応した機器構成の改変などが自動的に行われるシステムへの

図3 架線摩耗検査のための光学的測定システム

図4 東北・上越新幹線200系電車モニタリングシステム

表2 東北・上越新幹線200系電車モニタリング項目

モニタリング対象	モニタリング項目
主回路機器	パンタグラフ稼動状態、シャ断器入/切、変圧器油温、油流、整流器制御状態、冷却系統の状態、主電動機電流、送風機回転状態、カム接触器接点開閉、抵抗チョッパ故障
主回路	過電流・地気検出、電気ブレーキ失効、主回路動作状態
補助回転機類	回転機の回転状態
制御回路機器類	力行・ブレーキ指令状態、制御回路シーケンスの状態
ブレーキ装置	ブレーキ力、ブレーキ不足検知、ブレーキ装置関連機器故障、滑走・固着・緩解不良発生状況
台車、走り装置	軸箱温度、歯車等駆動装置温度
戸閉装置	側引戸開閉状態、側引戸開閉時間
空調装置	空調装置動作状態
その他	列車速度、列車位置

進展が望まれる。

5. おわりに

検査ロボットと言う概念をかなり広義に解釈し、鉄道を中心に乗物の特長である車上と地上の設備を相互に自動検査するシステム全体について解説させて頂いた。

第5章で述べたように、今後は陸海空の各輸送機関は共に、個々の検査ロボットの活用に加えて、乗物自体の知能化・ロボット化が進んで行くことになると思われる。鉄道においてもこのような時代の流れに沿って列車の知能化を図り、乗客の快適性・利便性を増すことにより、他の輸送機関との競争に対処して行かなければならない。

特に国鉄においては、民営化を控えて大幅な体質改善を図る必要が有り、そのためには定常業務の中で大きな負担となっている検査修繕作業の省力化・自動化は焦眉の課題であり、今後ともロボットの導入が進められて行くものと思われる。

参考文献

- 1) 「設備保全の現状と将来の課題」、鉄道技術研究所研速報 No.B-85-18 (1984) p.27
- 2) 電気学会・検査の自動化調査専門委員会編：「外観検査の自動化」、電気学会 (1984) p.171~211
- 3) 「東北新幹線技術のすべて」、鉄道評論社 (1972)、p.307~315
- 4) 堀木他：「レーザによるトロリ線摩耗の昼間測定」、鉄道技術研究報告 No.1085 (1978)
- 5) 保川、金田：「鉄道車両のモニタリングシステム」、鉄道技術研究資料、41-11 (1984)、p.3~7

塩谷明男 (Akio SHIOYA)

昭和38年東京教育大学理学部数学科卒業。日本国有鉄道本社入社。貨物情報処理、貨車操車場自動化の研究を経て、貨車過偏積測定(途中脱線防止用)システム、車輪踏面摩耗測定(東北・上越新幹線用)システムを実用化。その後高速電子走査形赤外線方式の列車火災検知(青函トンネル用)システムの開発に従事。現在、鉄道技術研究所情報システム研究室制御情報処理ユニットリーダー、計測自動制御学会、電気学会などの会員。

笹間 宏 (Hiroshi SASAMA)

昭和19年6月24日生れ。44年東京大学工学部産業機械工学科修士課程修了。同年国鉄鉄道技術研究所入所。システム研究室、自動制御研究室を経て、現在情報システム研究室主任研究員。検査のための画像処理の研究に従事。機械学会、計測自動制御学会会員。