

## 高速対応の軌道検測技術

小野重亮\* 沼倉明夫\*\* 尾高達男\*



新幹線用電気・軌道総合試験車は、長年「ドクターイエロー」が使われてきましたが、3台車軌道検測車の走行性能から、最高速度が210km/hでした。総合試験車では、走行時の線路・架線等の動的な状態も把握しているため、営業車の運転条件となるべく近い走行性能が望めます。そこで、高速試験用車両STAR21および「こまち」用車両E3系を用いて、通常車両と同じ2台車方式の軌道検測車の開発に取り組み、実用レベルの検測性能・走行性能を得ることができました。そして2002年、新幹線八戸開業に向けて「はやて」「こまち」と同じ275km/hで走行できる新しい検測車「East-i」を導入することができました。本稿では、この「East-i」に搭載した、新しい2台車検測装置について開発の概要を紹介します。

### 1 はじめに

線路は列車荷重を繰り返し受けることにより、上下・左右方向に少しずつ変形していきます。この結果生じる軌道変位（軌道狂い）を定期的に測定し、適切な補修を行うことは、乗心地の維持、走行安全性の確保の上で極めて重要です。この目的から、軌道検測車が使用されています。

新幹線における軌道変位の検測は、電気・軌道総合試験車の編成の中に組み込まれている軌道検測車により行われています。これまで使われてきた通称ドクターイエロー（図1）は、3台車方式検測方式を採用しており、走行性能の点から最高速度を210km/hとしてきました。



図1：ドクターイエロー

導入当初は、営業車もこの速度であったため、特に問題はありませんでした。その後の営業列車の速度向上に伴い、

- ・総合試験車だけ走行速度が遅いと、ダイヤ編成上の制約となる。
- ・総合試験車では、走行時の線路・架線等の動的な状態も把握している。このため、営業車の運転条件になるべく近いデータがほしい。

の2点から、検測車の速度向上が求められてきました。

そこで、走行性能に問題のない2台車方式の検測車の実用化が求められ、当社においては高速走行試験用に試作した電車STAR21等を用いた実用化開発に取り組みました。その成果を用いて、「はやて」「こまち」と同じ275km/hで走行可能な、新型電気・軌道総合試験車East-iに採用しました。

### 2 2台車方式軌道検測方式

2台車方式軌道検測の手法および検測装置は、鉄道総合技術研究所が文献<sup>1)2)</sup>などで提案を行っています。ここにその概要を紹介します。

#### 2.1 偏心矢法

これまでの3台車検測車は、図2、図3に示すように、各台車において5mおきにレール変位を検出し、10mの基準線中央と軌道との距離、いわゆる10m弦正矢の軌道変位を求めるものです。

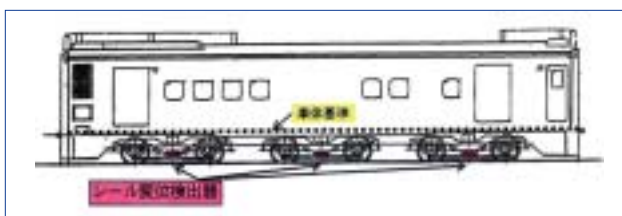


図2：3台車検測車

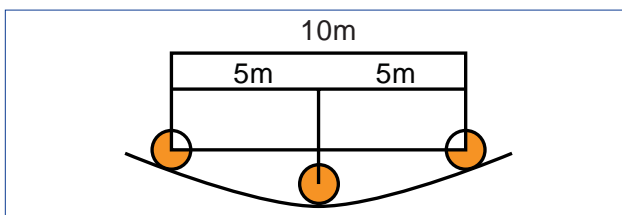


図3：10m弦正矢測定方式

これに対して2台車検測車は、図4に示すように、営業車と同じ台車配置で、3つの軸の位置でレール変位を検出します。これによって図5のように軌道変位が得られます。これを偏心矢法と称しております。偏心矢法の測定結果からデジタルフィルタ処理を用いて、軌道保守の実務に使用する10m弦正矢変位などを算出しております。

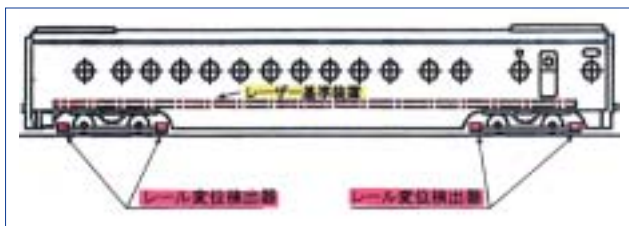


図4：2台車検測車

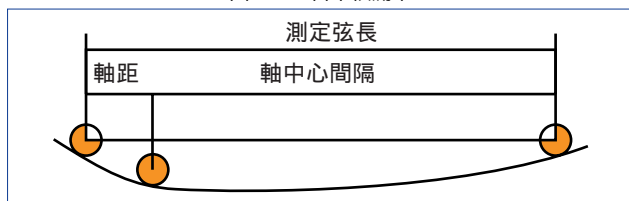


図5：偏心矢測定方式

## 2.2 レール変位検出器

軌道の上下方向の変位（高低変位）は、車輪がレール頭頂面と常に接しているため、車輪の変位により測定できますが、左右方向（通りと軌間）については、図6に示すように、車輪が左右レールの間をある程度の余裕を持って走行できる（可動遊間）ため、レールの位置を測定する必要があります。また、レール頭頂面下16mmの位置を基準とすることが定められております。新幹線においては高速走行時の安全性から、レール側面に接触させなくても位置が検出できる測定方法として、光学式レール変位検出器を従来から使用しておりました。

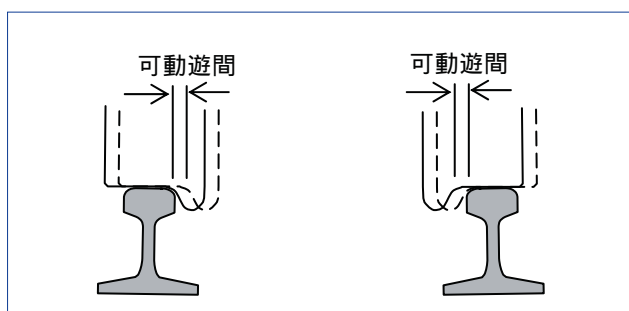


図6：軌道変位と車輪位置の関係

車輪と台車、台車と車体の間には、軌道の変位を車体に直接伝えないようにはばねとダンパーが挿入されています。レール変位検出器を台車や車体に取り付けると、これらのばねのたわみによりレールとの相対変位を生じます。したがって、図7に示すように、検出器は台車の軸箱に固定した測定枠に取り付ける必要があります。測定枠と検出器は、ばね下質量となります。



図7：検測台車と測定枠

3台車方式では、ハロゲンランプを光源とし、撮像管を受光部としたものを、台車下部に1台車あたり左右2組取り付けしていました。2台車方式では1台車あたり4組の取り付けが必要となります。さらに、3台車方式より高速運転をめざす上では、走行安定性を確保するためばね下質量の軽減が必要でした。したがって、装置の小型軽量化が課題となりました。

2台車方式の検出器では、光源に半導体レーザーを用い、受光部はPSD（Position Sensitive Device半導体位置検出素子）で変位を検出する方式としました。1組の大きさは従来の約1/2、質量で約1/8と、小型軽量化が図られました。レーザー光は、レール頭頂面下16mmで反射し、受光部のPSDで受光し、レール変位として検出します。

図8は床下からの写真です。レールから斜め上の位置に、左右のレール変位検出器が見られます。なお、図左右のレール直上には、積雪による光の反射で光学的測定が困難となった場合に使用する磁気センサーが見られます。



図8：光学式レール変位検出器

### 2.3 レーザー基準装置

3台車検測車は、車体長が17.5mと短く、車体剛性を強くして車体を基準として軌道変位を求めておりましたが、2台車検測車においては通常の車体を使用するため車体のたわみが検測誤差の原因となります。このため、床中にレーザー光線を通し、これを基準面として測定します。

装置は、He - Neガスレーザー・ビームエキスパンダの投光部と、PSDを用いた複数の受光部および接続する遮光ダクトで構成されています。

## 3 East-i用検測台車の開発

### 3.1 概要

1992年度から1995年度にかけて、STAR21を用いて2台車検測車の実用化に向けた開発を行いました。レール変位検出精度向上のため、電気的、光学的なノイズに対応することが必要であることがわかり、改良を繰り返しました。1997年の長野新幹線の開業に際し、設計荷重の点から2台車方式で軽量の検測車が必要となり、営業車を改造してドクターイエローに組み込みました<sup>3)4)</sup>。

さらに、E3系(「こまち」用車両)をベースとした最高速度275km/hで検測可能な新型検測車East-i(図9)の導入に伴い、高速走行時の走行安全性と検測精度を確保するために新たな技術開発を行いました。



図9 : East-i

先述したように、レール変位検出器を取り付けた測定枠は、台車の軸箱に固定しますが、振動等による測定枠のたわみによりレール変位検出器の上下変位が生じます。このとき、検出位置の微妙な変化が生じ、その結果検測誤差が生じます。そこで、次のような対応を行いました。

測定枠は車輪から張り出していますが、この量を小さくする。このために、E3系台車をベースに、以下の変更を行いました。

- ・ディスクブレーキ間隔を縮小(700mm 360mm)

- ・車輪径の縮小(890mm 820mm)

測定枠の断面剛性を高める。断面係数をSTAR21走行試験に用いたものの約3倍としました。

新しい検測用台車を図10、図11に示します。



図10 : 検測用台車

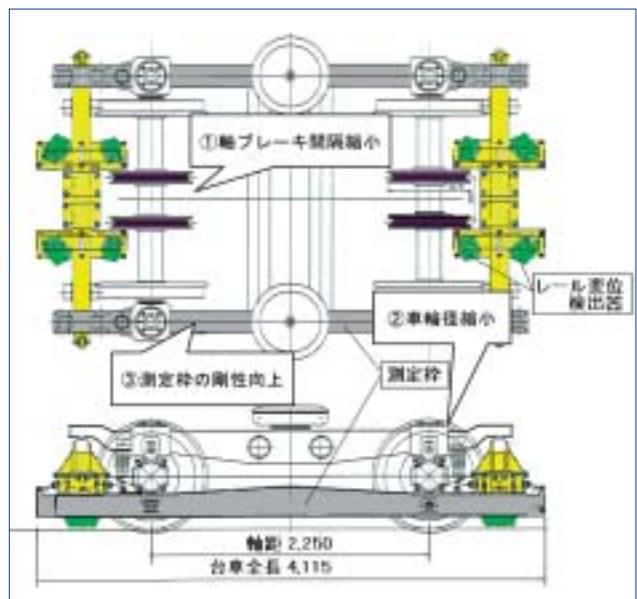


図11 : 検測用台車の変更点

### 3.2 走行試験

1999年11月～12月に、E3系車両に試作台車を取り付けて、新幹線区間及び新在直通運転区間(新幹線電車が乗り入れる在来線区間。軌間1,435mm)で走行試験を行いました。

新幹線区間においては、仙台～北上間の延長26km区間、速度174～272km/hにおいて、0.25msec間毎にレール変位検出器の上下変位の+側と-側の最大値を測定しました。図12に示すように、m+3は上下変位の目標値±2mmを下回りました。検出器の上下変位と検測誤差との関係から、275km/hでの検測は±0.5mmの精度が得られるものと考えられます。

輪重・横圧等は問題ない値でした。平均輪重、平均横圧と速度との関係を図13、図14に示します。なお、輪重についてはE3系車両を若干上回りました。これは、バネ下質量の増（1軸あたり0.6tf）による影響が考えられますが、その質量よりも大きく、動的な影響が考えられます。横圧は新幹線高速区間で最も急なR4000mの曲線で分析しましたが、通常台車との差異は認められませんでした。

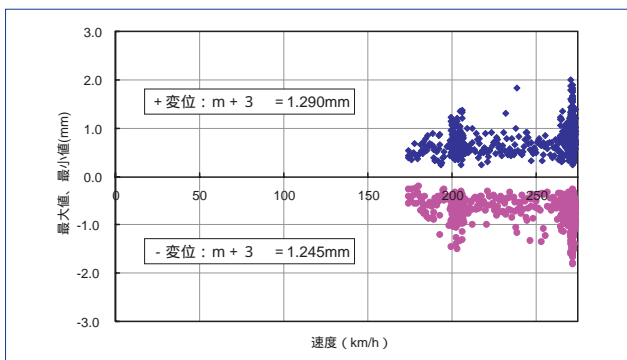


図12：センサー位置の上下変位

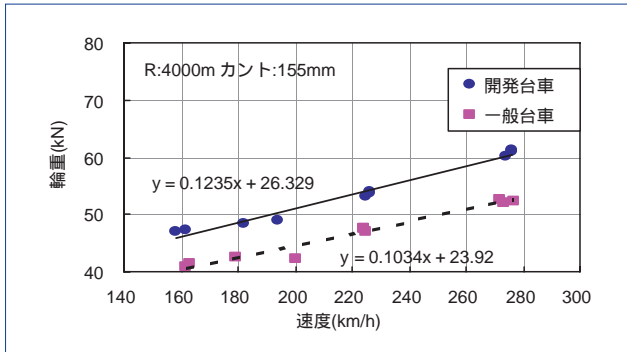


図13：輪重の平均値（新幹線）

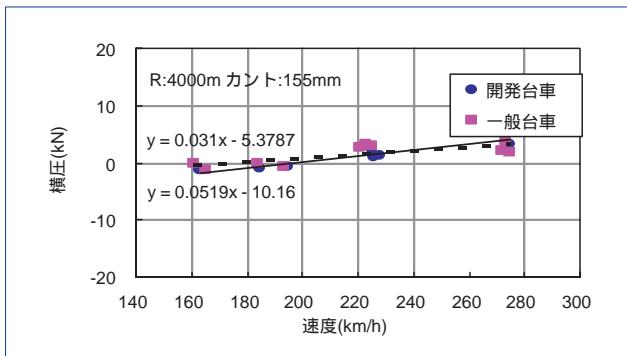


図14：横圧の平均値（新幹線）

新在直通運転区間においては、秋田～大曲間のうち延長9km区間、速度80～130km/hにおいて、前記と同様に測定した結果、上下変位は新在区間の目安値4mmをクリアしました。

また、輪重・横圧等は軌道条件によって一般台車を上回っておりましたが、問題ない値でした。平均輪重、平均横圧と速度との関係を図15、図16に示します。

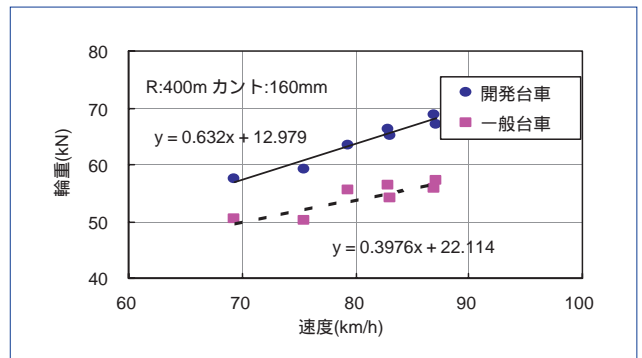


図15：輪重の平均値（在来線）

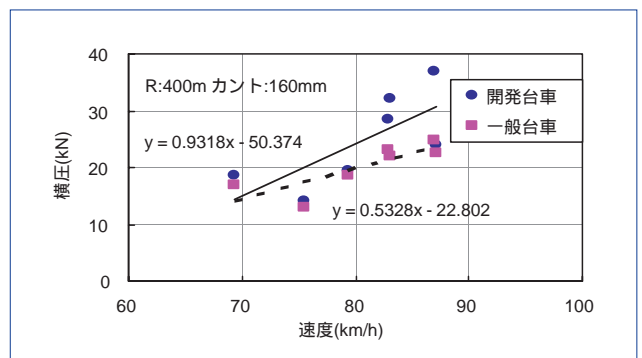


図16：横圧の平均値（在来線）

### 3.3 おわりに

E3系をベースとした次世代検測車East-iに今回開発した軌道検測用台車を組み込み、最終的な性能確認を行い、検測を開始しております<sup>5)</sup>。

今後は、275km/hで測定されるデータに基づいた、世界一の新幹線にふさわしい保守を確立することが課題であります。

#### 参考文献

- 1) 竹下邦夫：これからの高速鉄道を守る 軌道検測車の開発、RRR, 1987.9、pp.7-12
- 2) 竹下邦夫：偏心矢法による軌道狂い検出法、鉄道総研報告、1990.10、pp.18-24
- 3) 伊藤 穰、伊藤謙一：新幹線の次世代軌道検測車、新線路、1997.7、pp.4-6
- 4) 沼倉明夫：新幹線用2台車軌道検測車の導入、新線路、1999.8、pp.11-15
- 5) 佐藤隆男：新幹線電気・軌道総合検測車(East-i)の開発、日本鉄道施設協会誌、2002.5、pp.11-13