

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

車両試験台の軌跡と展望

鉄道車両の試験は長大な試験区間が必要なため、大がかりで、コストがかさみます。また、新車両の開発において、本線走行をいきなり行うのは安全上の問題があります。このため、定置で本線走行状態を評価したいという要求が古くからありました。

車両試験台はこの要望に応え、実車両の走行状態の試験を定置で行う装置で、車両開発の重要なツールです。走行模擬の原理は120年前の誕生時から変わりませんが、時代とともに試験内容が変化し、技術進歩を取り入れたさまざまな改良が行われています。ここでは、車両試験台の歴史、鉄道総研の車両試験台、進化の方向性について紹介します。



佐々木 君章
Kimiaki Sasaki
研究開発推進部
主管研究員
[専門分野]車両、制御

車両試験台の歴史

車両試験台の基本的な構造を図1に示します。車両の各車輪を断面がレールの形をした円盤(軌条輪)の上に乗せ、車輪の回転を軌条輪の回転で受けて車両の走行状態を模擬します。丸い軌条輪の上に丸い車輪が載っているので、車輪が軌条輪軸の真上にないと、運動特性が変わってしまいます。このため、車両が前後に動かないよう固定装置に連結器を接続して固定し、軌条輪と車輪の位置を慎重に調整したうえで試験を行います。

1892年にアメリカのパデュー大学において、軌条輪機構を用いて定置で車両性能を試験する設備が世界で初めて作られ、その後同様の設備が各地に

建設¹⁾されました。このような装置ができるまでは、スリッピングヤードという、レールにグリースを塗った上り勾配区間で車輪を空転させて試験する方法¹⁾も行われていたようです。

日本では1914年に鉄道院品川電車庫(現JR東日本東京総合車両センター)内に「機関車定置試験室」¹⁾が完成しています。

現代の車両試験台においては車両の安定性や振動特性の評価が重要な目的ですが、この時期の車両試験台は蒸気機関車の動力性能の試験が主な目的でした。試験台に載せた機関車を駆動して軌条輪を回転させ、軌条輪軸に設けた特殊なブレーキで反力を発生させて、運転状態での車輪周動力を測定する仕

組みになっていました。この試験室においては4軸の試験装置が設置され、試験能力としては速度50km/hで各軸540馬力、合計2160馬力となっていました。この時代の車両試験台の主な仕様¹⁾を表1に示します。

時代が進み、1960年ごろになると蒸気機関車に変わり電車方式が一般的になりました。ま

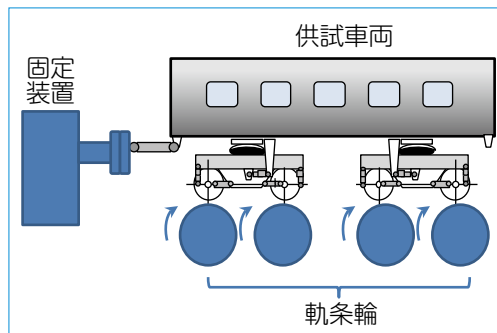


図1 車両試験台の基本構造

表1 初期の車両試験台の仕様

国	アメリカ	イギリス	アメリカ	アメリカ	日本
設置年	1892	1904	1906	1913	1914
事業者など	Purdue 大学	Great Western 鉄道	Pennsylvania 鉄道	Illinois 大学	鉄道院
所在地	Purdue	Swinden	Altoona	Illinois	東京
軌間	1435mm	1435mm	1435mm	1435mm	1067mm
最高速度	97km/h	130km/h	161km/h	72km/h	100km/h
軸数	不明	7	5	4	4
最大軸重	30t	30t	31.2t	不明	16t
最大引張力	12t	不明	35.7t	56.6t	35.4t

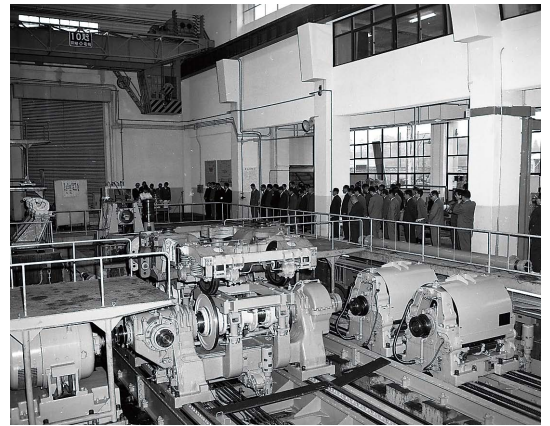


図2 旧車両試験台

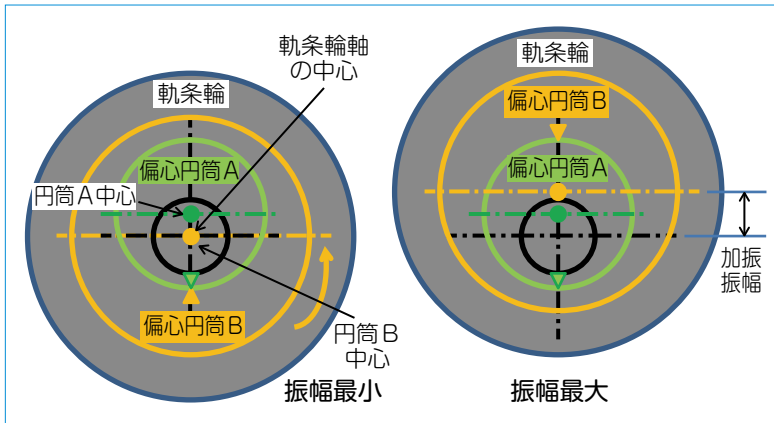


図3 軌条輪加振機構の模式図

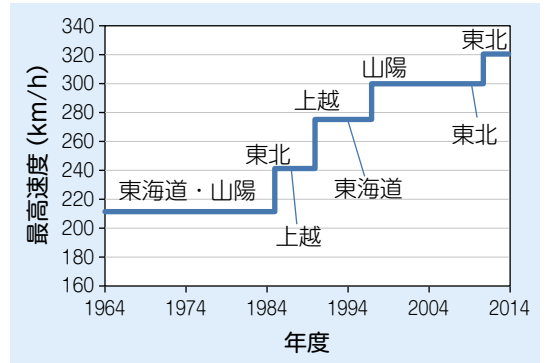


図4 新幹線の最高速度の変化

た、車両の高速化に伴って、高速時の走行安定性や振動の試験が重要になってきました。特に1964年の東海道新幹線の開業を控え、蛇行動限界速度(☞参照)などの高速走行時の特性把握が重要な課題となってきました。

このため、1959年に蒸気機関車以外の車両を対象として、走行試験、振動試験、強度試験などの各種性能試験が可能な車両試験台²⁾が旧国鉄の鉄道技術研究所(現鉄道総研)内に建設されました。後述する現用の試験台と区別するために、本稿では「旧車両試験台」と呼ぶことにします。図2は完成披露式で撮影された写真です。

この試験台の特徴的な機能として、軌条輪を偏心させることにより各輪で最大5mmの上下加振が可能なのが挙げられます。この機構は図3のように軸に対して2つの偏心円筒を組み合わせた仕組みになっており、2つの円筒の偏心位相を変えることによって加振振幅を変えることができます。軌条

輪の偏心は大きさ・位相とも各車輪に対して独立に設定できるため、ローリング加振やピッチング加振などのモードを変えた試験ができるようになっていています。また、軌条輪軸に直結してフライホイール装置を設けており、加減速性能の試験において車両の慣性力を模擬できるようになっています。大小4枚のフライホイールを設け、油圧により駆動する組み合わせを変えることにより、2.5t刻みで模擬する車両重量を変えることができます。最大速度

は250km/h(1台車では350km/h)で、軌間を変えられるなど、多様な試験が可能になりました。

この試験台は建設当時としては画期的な性能を持ち、新幹線を始めとする高速車両の開発に大きな貢献をしましたが、加振方向が上下方向だけに限られること、速度と加振周波数が独立に設定できないなど、構造的な制約条件も数多く存在しました。また、新幹線の最高速度は図4のように、営業開始から約20年間変わっていませんでし

☞ 蛇行動限界速度

鉄道の輪軸は1本の車軸に対してテーパのついた左右一対の車輪を剛に嵌め合わせた構造になっています。これが左右どちらかに寄った状態で軌道上を転動すると、軌道中心から遠い方の車輪は直径が大きい所でレールと接触しているため速く進み、軌道中心を向くように輪軸の進行方向を変えます。向きを変えた輪軸は中心を行き過ぎてから反対方向に戻る左右の動きを繰り返します。

鉄道車両はこの作用でレールに沿って走れるのですが、走行速度が限界を超えて速くなると、この行き過ぎが大きくなり、左右方向の振動が発散する危険な現象(蛇行動)が発生します。この現象が起きるときの速度を蛇行動限界速度といい、営業最高速度よりも十分に高くなければなりません。

蛇行動限界速度は台車の仕様で計算でき、十分に余裕を持って設計しますが、最終的な確認は試験台の上で行う必要があります。

たが、この間には航空便の普及や高速道路網の整備といった社会情勢の変化があり、さらにはフランスのTGVが1981年に260km/hの営業運転を始めるなど、外国でも高速列車の運行が始まりました。このため、新幹線においても高速化が真剣に検討され、より高性能な試験台が必要になったことから、鉄道総研の現在の車両試験台^{3),4)}が建設されました。

試験台の建設に当たっては、将来の鉄道車両の営業最高速度を300km/h～350km/hと想定し、その試験として400km/h程度での本線走行を安全に行うために、500km/h程度の速度で

試験できることが目標⁵⁾とされました。また、車両開発において、乗り心地向上の重要性が増していくとの認識から、車両動揺の原因となる軌道不整の模擬機能を設ける⁵⁾こととされました。

1987年に1台車分が作られ、その後3年計画で拡張・改良が行われ1990年に1両対応の装置として現在の姿が完成しました。この装置については次章で詳しく述べます。なお、鉄道総研では正式には本装置を「車両試験装置」と呼んでいますが、上述した発展の経緯を尊重し、本稿では「車両試験台」と呼びます。

鉄道総研の車両試験台

鉄道総研の現在の車両試験台の構造を図5に示します。また、完成から数度の改良が行われ、機能が強化されてきました。

本試験台は①高速走行安定性（蛇行動）試験、②乗り心地試験、③加減速性能試験などの各試験を主な目的としています。軌間は日本の在来線（1067mm）、新幹線（1435mm）だけ

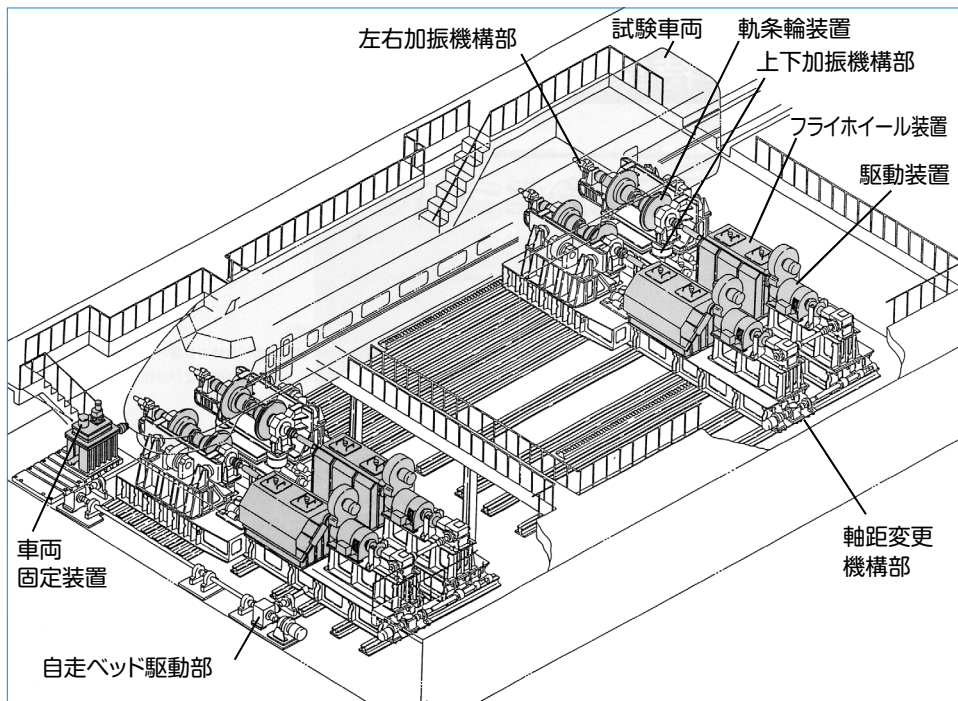


図5 現在の車両試験台

でなく、1000～1676mmの間で自由に変えることができます。軌条輪装置は前後に動かすことができ、さまざまな台車の軸距や、車両長さ（台車中心間距離）に対応できるようになっています。

駆動装置は軌条輪軸ごとに電動機を備え、直接駆動します。1つの台車の前後の軌条輪は回転を完全に一致させる必要がありますが、台車の軸距の違いに対応するため、スプラインという機構を用いて結合し、軌条輪軸の間隔を変えられるようにしています。車両の慣性力はフライホイール装置で模擬できるようになっています。

加振機構は強力な油圧装置で軌条輪変位を直接制御する方法が採用されました。これにより各軌条輪を上下、左右、ローリング方向に動かして軌道不整を模擬することが可能になり、本質的な意味で乗り心地の試験が可能になりました。また、台車の安定性を調べる蛇行動試験において、蛇行動の引金としてレールの通り不整に相当する左右加振を加える試験方法⁶⁾が可能にな

りました。これは軌条輪を偏心させて、軌条輪1回の回転で1回の上下加振（したがって、軌道不整の波長が固定される）を行っていた旧車両試験台と比較して、大きな進歩でした。

この試験台は、新幹線や在来線の多くの技術開発⁶⁾を支えてきましたが、特に270km/h以上の高速の台車開発や、振動制御をはじめとする各種の乗り心地向上技術の開発に大きな寄与をしてきました。現在も使用行程が密に組まれ、多くの試験をこなしています。

一方で、完成から25年が過ぎ、部品が入手しにくくなり、メンテナンス上の問題も目立つようになってきました。そこで最近、駆動系のリニューアルを行いました。この工事は古い直流式主電動機を新しいインバーター・交流電動機に更新するものですが、合わせて、2011年の東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、地震による全電源喪失に対して安全に停止できる仕組みや、高速運転時に発生した蛇行動を短時間で収束させる機能を組み込みました。この改良により、車両試験台が若返り、ま

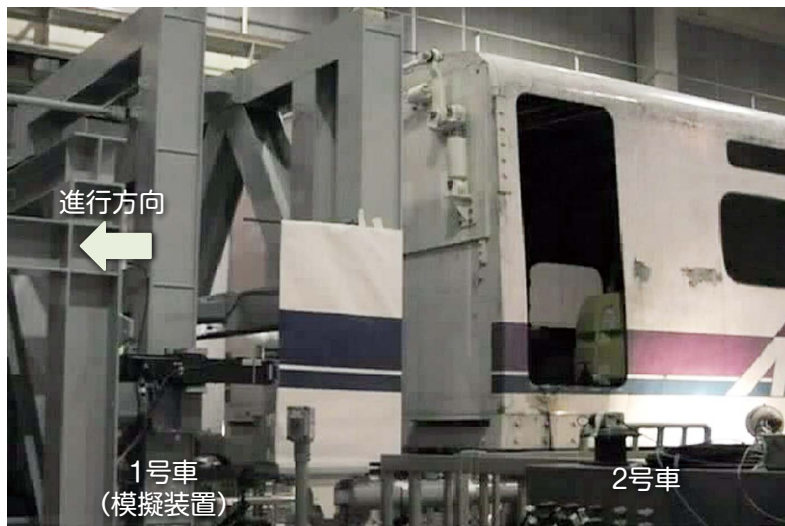


図6 車体間運動模擬装置による編成試験

た、高速における減速度や蛇行動収束性などの安全上の性能が向上しました。これから当分の間は、車両開発の屋台骨を支えてもらわなければなりません。

車両試験台の進化

前章までは、これまでの車両試験台の進化の軌跡をたどってきました。この章では今後の車両試験台に求められる性能や進化の方向性について考えてみます。

まず、これまで追求されてきた高速化については、今後の鉄道車両の高速化のペースを考慮すると現状+ α 程度の改善で済み、技術開発要素は小さいと考えています。

一方で、車両運動特性に係る次の点①、②についてはさらなる性能向上が求められていくものと考えています。

①本線走行の再現精度向上

②曲線走行の模擬

①に関しては、車両試験台の基本性能というべきものですが、本線走行と車両試験台には解決の難しい違いが存在します。

一つは、本線においては編成列車で走るのに対して、車両試験台では1両しか試験ができないため、隣接車両の影響や車両間の結合要素の評価ができ

ないことが挙げられます。この問題に対して、鉄道総研では隣接車両の挙動を実時間シミュレーターで求め、その車端部の動きを図6のような試験装置(車体間運動模擬装置)で再現する試験方法⁷⁾を開発しています。このとき車両間に働く力を測定して実時間シミュレーターに戻すことで仮想的な編成の動作を実現しています。

なお、車体間運動模擬装置は国土交通省の補助金を受けて開発しました。

もう一つは軌条輪とレールの違いに起因する本質的なもので、より解決が困難な課題です。

軌条輪は実際のレールと異なり、進行方向に曲率があることに起因して、実質的な車輪の踏面勾配がレールの場合より大きくなります。また、通り不整に相当する左右加振を行ったとき、軌条輪の左右速度に依存する力が車輪に作用しますが、現実の走行中の車輪ではレールとの接触点が移動するだけで、この力は車輪に作用しません。

車輪に発生する横方向の力にはこれらの違いが影響し、試験台上の車両挙動と実走行の車両走行を完全に一致させることが困難です。乗り心地の評価では台車枠の加速度が実走行と一致するように加振波形に修正を加える方

法⁸⁾などを開発していますが、横圧の評価を含めて本質的に一致させるためには輪軸に補正力を加える必要があり、今後の検討課題です。

②に関しては、これまでの車両試験台は直線走行の評価に重点をおいてきました。曲線部での特性を扱える試験台には、路面電車などの急曲線の評価を行える試験台⁹⁾の例はありますが、通常の鉄道車両の速度や使用条件において精度よく曲線走行の評価を行うためには、例えば曲線内外軌に発生するわずかな速度差を再現すること一つをとっても非常に高度な課題といえます。しかし、走行安全性の検証には曲線部の走行特性(横圧など)は重要な問題であり、これが試験台上で評価可能になると、メリットが大きいと考えています。実現には多くの技術的課題がありますが、シミュレーションとの役割分担を念頭に置きながら検討を続けていきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 横堀進：車両試験台を語る, 鉄道ピクトリアル, Vol.2, No.5, pp.25-28, 1952
- 2) 桑原辰夫：車両試験台(台車試験装置), JREA, Vol.11, No.2, pp.642-645, 1960
- 3) 一戸光一：車両試験装置の概要について, 鉄道車両技術, 193号, pp.123-129, 1991
- 4) 一戸光一：高速車両試験台について, 車両と電気, Vol.42, No.6, pp.20-22, 1991
- 5) 宮本昌幸：鉄道車両試験台, 車両と電気, Vol.43, No.12, pp.16-19, 1992
- 6) 石田弘明：新しい車両試験装置の活躍, 車両と機械, Vol.6, No.6, pp.60-62, 1992
- 7) 佐々木君章：最前線(2)実験室を走る試験列車-HILSによる仮想走行試験一, RRR, Vol.67, No.5, pp.26-31, 2010
- 8) 山口輝也, 下村隆行, 佐々木君章：車両試験台における実軌道走行模擬のための加振方法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.5, pp.11-16, 2013
- 9) 交通安全環境研究所HP, <https://www.nts-el.go.jp/sisetu/sisetu09.html>