



(公財) 鉄道総合技術研究所 国立研究所

1 はじめに

2014年 は日本の新幹線開業50年を迎える節目の年である。日本における鉄道の歴史は1872年新橋駅-横浜駅間の開通とともに始まり、すさまじいほどの進歩を遂げてきた。今日では日本の鉄道が世界に広まりつつある。今回は、そんな日本の鉄道技術を日本国有鉄道の分割・民営化後も研究開発を担う(公財)鉄道総合技術研究所(以下、鉄道総研)国立研究所にうかがった。

2 アシスト操舵台車

最初にある試験車両を見せていただいた。この試験車両の車体は銀一色であり、台車から車内には配線が伸びていた。そして車内には配線の束と計測装置が置かれていて、いかにも試験車両であるという印象を受けた。この試験車両ではアシスト操舵台車の構内走行試験が行われていた(図1)。鉄道車両は車体とそれを支える前後の台車からなり、台車は左右一つずつの車輪を車軸1本でつないだ輪軸2本で構成される。アシスト操舵台車は、曲線を通過するときに車のステアリングのように舵を切る動作をする台車をいう。一見すると、曲線通過時に舵を切るのはごく普通のこのように思われるか

もしれない。では、そもそも一般的な鉄道車両はどのようなメカニズムで曲線をスムーズに通過しているのだろうか？

鉄道車両の輪軸は、左右レールの中間位置を走行しようとする自己操舵性という特性をもつ。これは、車輪とレールの接触点で働く自己操舵力によるものである。一般的な鉄道車両の車輪は、円錐の一部を切り取ったような形をしている。つまり、レールの内側の車輪半径は大きく、外側の車輪半径は小さくなるような勾配がついている。このような形状をした車輪が曲線上を走行するとき左右レールの中央位置から片側に寄る。中央から離れた方の車輪は、より大きな車輪半径のところまで接触し、その反対側の車輪はより小さな車輪半径で接触する。左右の車輪は車軸でつながっており、同じ回転速度で回転する。したがって、外側に寄った車輪の方が一回転あたりに進む距離が長い。そのため、外側の速度が速くなり、左右レールの中間位置に戻ろうとする力が働く。これを自己操舵力と呼ぶ(図2)。車輪の内側にはフランジと呼ばれる出っ張りがあるが、これをレールに当てることで曲線を曲がるわけではない。フランジがレールに接触する前に、自己操舵性をもってレールの中間位置に戻るのである。これによって鉄道車両は曲線を通過することができる。

しかし、急な曲線を通過するときに

はレールと車輪の向きが一致しなくなる。すると、横圧、つまりレールと車輪の接触点で横方向に働く力が大きくなる。大きな横圧が発生してしまうと、曲線走行時に出すことのできる最大速度が低くなってしまふ。また、車輪の摩耗が大きくなることや、「キー」というキシリ音が発生してしまう。そこで、曲線通過時にアシスト操舵機構を用いて、輪軸を上から見てハの字になるように動かし、車輪をレールに対して正しく向けるようにする。これにより曲線通過時の横圧を低減し、摩耗やキシリ音も減らすことができる。

では、このアシスト操舵機構はどのような仕組みなのだろうか。もともと鉄道車両の輪軸は自己操舵性を備えている。その自己操舵力を補助するように、アクチュエータを用いて輪軸を曲線半径方向に沿わせようとする。曲線通過性能を高めている。具体的には、台車と車体の底面を機械式のリンク(図3)でつなぎ、その動きから台車の旋回角を検出する。その検出した台車の旋回角に合わせて、リンクとつながれたバルブで適切な空気圧を発生させ曲線の外側のアクチュエータを伸び動作させる。万一故障などで、車軸の向きを本来向くべき方向とは逆の方向に向けてしまうと、非常に危険な状態になってしまう。そのため、このアクチュエータには、伸ばされる方向に力を受けた場合にだけ選択的に伸



図1 アシスト操舵台車

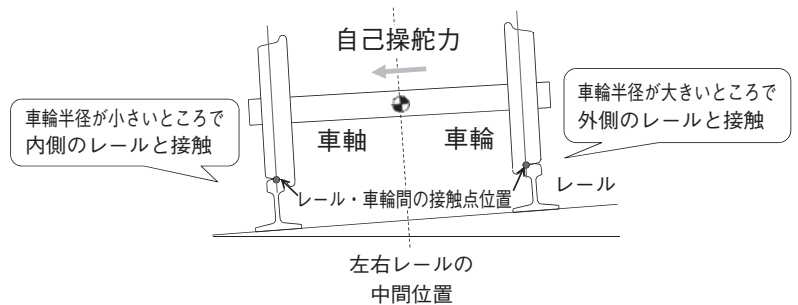


図2 曲線通過時に作用する自己操舵力



図3 アシスト操舵台車に取り付けられている機械式のリンク

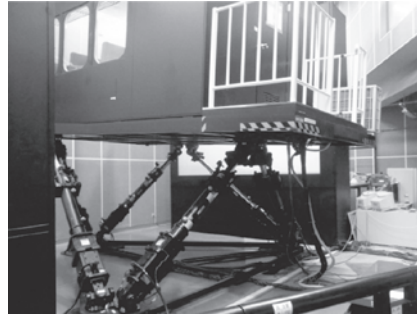


図4 車内快適性シミュレータ外観



図5 シミュレータ内部

び動作し、それ以外の状態では伸び動作しないようなフェイルセーフ性を持たせてある。鉄道は、このような意外にも単純な機械式の制御を行うことで信頼性を高めている。

ここで、ご説明下さった車両振動研究室の鴨下主任研究員に質問をさせていただきました。

Q 他の企業でもこのような台車が研究されているようですが、どのような違いがあるのですか？

A 他社の操舵台車には機械リンクを使った操舵台車があります。これは機械式の部品を使っているので、摺動部分があったり台車の重量が重くなったりといった側面があります。そこで、機械リンクの動きを空気圧系に置き換えることによって、軽量化や保守性を改善することができます。また、機械系では台車に組み込まれた状態で常に操舵動作しているのですが、空気圧系では、空気圧をカットすることで操舵動作を止めることができるメリットがあります。

3 PQ 軸

次に、PQ 軸と呼ばれる輪軸を見学させていただきました。輪軸は車輪と車軸からなり、PQ 軸の車輪にはレンコンのようにいくつかの円孔がある。PQ 軸は、車輪とレールの接触点に働く力の垂直成分 P (輪重) と水平成分 Q (横圧) を測定するために用いられる。この円孔にはひずみゲージが張られ、ひずみを検出することで輪重と横圧を求めることができるようになっている。また、走行中に測定するには、車輪の回転により配線がねじれて断線しないようにする必要がある。そこで、回転している物体から外部への電気信号の出力を可能にするスリップリングを用いる。スリップリングを介して、車上まで配線がなされている。輪重や横圧

とひずみの関係は、あらかじめ専用の装置で PQ 軸に一定の荷重をかけることで求めておく。そうすることで、走行時でも測定されたひずみから輪重と横圧を知ることができる。

4 車内快適性シミュレータ

続いて、所内でも比較的新しい建物にある人間工学研究室にお邪魔した。ここでは、列車内の乗り心地を研究するための室内実験設備である「車内快適性シミュレータ」を見学させていただいた。この設備は、実験車両を 6 本の脚が支える構造になっている (図 4)。それぞれの脚は電動のアクチュエータになっており、6 種類の振動 (前後、左右、上下、ローリング、ピッチング、ヨーイング) を発生させることが可能だ。一方、実験車両の内部は、実際の客室が再現されている (図 5)。座席の種類や配置、吊り革の有無などを変更することができ、実験目的に応じてカスタマイズできる。さらに車両の両脇には、大型スクリーンが設置されている。これに映像を投影することで、車内からは模擬的に車窓風景を眺めることができる。

今回、われわれは新幹線のデモプログラムを体験させていただいた。実験車両に乗り込み、新幹線風に配置された客席につく。プログラムがスタートすると、左右のスクリーンに映像が映し出された。客室から見た駅構内の風景である。発車すると同時に、車内から見える風景が動き出し、徐々に加速していく。このとき、体にはグンと後ろ向きに負荷が掛かった。とてもリアルな加速感に「これはすごい！」という感想が漏れた。走行中は、ガタンゴトンという電車特有のゆれや、曲線を曲がるときの左右のゆれが忠実に再現されていた。

約 3 分間のプログラム終了後、今度

は外に出て装置の動きを眺めながら、仕掛けについて解説していただいた。最も気になっていた加速感は、車両の前側を上げて傾斜をつけることで、被験者に後ろ向きの負荷をかけていたことがわかった。ここで、スクリーンに投影した映像も同時に傾けるため、被験者は傾いていることに気づかないという仕掛けだ。逆に、減速する際は、後ろ側を上げることで減速感を再現しているようだ。人間の感覚は、いともたやすくだまることができるということを思い知った。

その後、人間工学研究室の大野主任研究員にいくつか質問をさせていただいた。

Q とても完成度が高いシミュレータであると感じましたが、ここまで再現度を高めるために、どのような改善をされてきたのでしょうか。

A 実験と評価のサイクルを繰り返すことですかね。以前は、4 本の脚の上に、むき出しの椅子が乗っているような設備でしたので、単純な振動の試験しかできませんでした。それに比べて、現在の設備は大きな進化を遂げています。

Q この設備を開発した際に、一番お金が掛かったのはどこでしょうか。

A ハードウェアよりもソフトウェアの方が高いと聞いています。本日は簡単なデモプログラムを体験してもらいましたが、そのようなプログラムを作るためのエディタがあります。たとえば、直線区間を \bigcirc km/h で走って、R600 の右カーブを \bigcirc km/h で走るといったことを繋いでいくことで、多様なプログラムを作ることができます。そのエディタの開発にいちばんお金が掛かっているのではないかと思います。

Q 乗り心地の評価をする際には、どのようなデータを取るのでしょうか。

A 実験の目的や方法によって変わるので一概には言えません。主観的なア

ンケートデータをとることもありますし、心拍や呼吸といった生理データであったり、立っている人の頭や腰の動きをカメラで三次元計測したりと、いろいろなデータを取ります。また、快適性には個人差があるので、なるべく多くの被験者を確保して、統計的にデータを分析する必要があります。

Q どのような人が被験者になるのでしょうか。

A 所内で確保する場合もありますし、モニタとして登録している所外の方に依頼する場合があります。

Q 車内の温度や湿度は調整できるのでしょうか。

A エアコンがついているので、ある程度は調整できます。電車に乗っていると直射日光で暑いといった状況があると思いますが、そういったものは再現できません。温熱は快適性に与える影響が大きいので研究している同僚はいますが、この設備だけでは不十分でしょう。

Q 他の電車とのすれ違いも、ゆれの要因になるかと思いますが、そのようなことは再現できるのでしょうか。

A すれ違う際の振動自体は再現できますが、気圧は変えられません。トンネルも同様で、本来トンネル内で電車は少し縮むので、内部の気圧はあがるのですが、それも再現できませんね。

5 インタビュー

最後に、今回ご説明いただいた車両運動研究室の日比野さんと坂本さんに学生からの質問にお答えいただいた。

Q 研究テーマはJR各社から依頼されたものがほとんどになるのでしょうか。

A 研究テーマは、基本的に自主テーマとして自分たちで決めます。鉄道事業者のニーズを踏まえたうえでテーマを立てています。また、将来的なシーズから立てていくテーマもあります。このような自主テーマ以外には、JR側から依頼を受ける課題に鉄道総研のテーマの中で取り組む指定課題と呼ばれるものがあります。さらに、JR各社や私鉄から個別に受ける受託研究もあります。このように、大きく分けて三つの分類ができます。また、テーマの種類によって研究にかかる期間が異なり、自主テーマは2~3年、指定課題は1~2年、受託研究は数箇月のスパンで研究を行うことが多いですね。

Q 基礎研究と実用的な研究はどちらの方が多いのでしょうか。

A どちらも同程度の件数があります。たとえば、車両関係で最近実用化された要素技術の例として、九州の観光列車に適用されたダンパなどが挙げられます。

Q 基礎研究としてはどのような研究をされているのでしょうか。

A たとえば、境界問題が挙げられます。具体的には、車輪とレールが接触しているところがどのように接触しているか、どのような力が加わっているのか、といった問題があります。このような問題は鉄道ならではの問題だと思えますね。

Q 鉄道ならではの課題としては他にどのようなことがあるのでしょうか。

A 鉄道は最適化が非常に難しい対象だと思えます。たとえば車輪踏面勾配(車輪のテーパ)を例に挙げると、速く真直ぐ安定的に走らせるための車輪と曲線をスムーズに走らせるための車輪とでは形状が全く相反する物になります。そこのトレードオフの関係が非常に難しく、鉄道ならではの課題だと思えます。

Q 大学での研究との違いをどのように感じていますか。

A 大学ですと、小さい模型を作って実験をすることが多いと思うのですが、鉄道総研では実物を実験対象として扱うことができます。これが大学と違うと感じた点です。シミュレーション結果も実物を用いた実験による検証ができるので、醍醐味があります。

Q 今後の日本の鉄道技術はどのように進んでいくのでしょうか。

A 鉄道事業者それぞれに事情があって一概には言えませんが、たとえば首都圏と過疎化が進行する地域とでは今後必要になる開発要素が異なると思います。ただ、全体としては少子高齢化が確実に進んでいきますので、今後はこれまでの大量輸送からシフトしていかなければならないと思います。たとえば、メンテナンスや管理、維持をいかに効率よく、安全性を損なうことなく行っていくかが今後の課題だと思えます。また、産業としての生き残りを考えていくうえで、海外への展開が必要だと思えます。

Q 技術の輸出ということですね。このような海外展開の流れが出てきて、鉄道総研に求められることが変わってきているという実感はありますか。

うか？

A そうですね。国際規格を扱う部署が数年前に立ち上がりまして、鉄道事業者やメーカの方も交えて国際規格の動向把握や規格に関する計画・戦略などの検討を行っています。たとえば、衝突の安全性に対する基準一つにしても、日本と海外とでは異なる点があるのです。このような基準の違いにどのように対応していくかが今後の課題となっています。

6 おわりに

私たちの日常生活にはなくてはならない存在であり、走って「当たり前」と感じられている鉄道。それを支える技術は機械・電気・土木の技術が不可欠であることを今回の見学を通して実感した。加えて、今後の鉄道のさらなる発展には、「車内快適性シミュレータ」のように、騒音・湿度・温度・車窓風景などの人間科学も加えて多岐にわたる技術が不可欠であり、それらの集合体であることを認識した。今後も世界に誇る日本の鉄道の持続的発展を願ってやまない。

最後になりましたが、終始ご対応して下さいました日比野さん、坂本さん、試験装置をご説明下さいました研究員の方々に深くお礼申し上げます。

(メカライフ編修委員

根本裕次郎・田尻聡太郎・栗原秀輔・中野なつみ・近藤瑠歩・酒井康徳)