

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

# 台車技術に関わる最近の研究開発

車体を支える台車は地味ですが鉄道車両の走行に関わる機能が全部集約されている重要な装置です。初期の鉄道車両は、2本の輪軸をばねを介して車体に直接取り付け「二軸車」の構造でしたが、この構造では走行性能の面でも車両の大型化の面でも制約が多く、現在の鉄道車両の性能は台車の発明と進化があって実現されたといつてよいでしょう。ここでは台車の基本的な構造と働きを説明し、それらをさらに改善するために行っている研究の一端を紹介します。



佐々木 君章  
Kimiaki Sasaki  
研究開発推進部  
主管研究員  
【専門分野】 車両技術、  
制御技術

## 台車の仕組みとはたらき

台車には鉄道車両が走るために必要な以下の働きが集約されています。

- ①車体の荷重を支えたとともに、車体に伝わる振動を遮断する
- ②レールに沿って走行する
- ③駆動力・制動力を発生し、車体に伝える

上記の性能を向上するために、さまざまな形式の台車が開発されてきましたが、種類が非常に多いので、新幹線などの高速車両に用いられている「ボルスタレス台車」(図1)を例として、構造と働きを説明します(☞参照)。

①について、各台車は2個の車体支持ばね(まくらばね)で車体荷重を受け、台車枠に取り付けた2組の輪軸(車

軸に車輪をはめ込んだもの)でレールから支えます。4本脚の机や椅子で経験するように、脚の長さが少しでも違っていると、どれかの脚が床から浮いて不安定になります。鉄道車両も同じで、まくらばねの高さや、軸ばね(車軸と台車枠の間に入っているばね)の高さがそろっていないと、各輪にかかる荷重が不ぞろいになって不安定になるので、十分な調整が必要です。

また、まくらばねは台車の振動を車体に伝えにくくして乗り心地を改善します。このためには、まくらばねを柔らかく(ばね係数を小さく)することが有効で、近年では空気ばねが広く用いられています。

②については、輪軸の動きを前後方

### ☞ ボルスタレス台車について

台車はばねで車体を支えたとともに、曲線部では車体に対して回転できなければなりません。車体は非常に重いので、まくらばり(ボルスタ)という部材で車体荷重を一旦受けとめ、台車の回転を受け持つ機構に車体荷重がかからないようにして上下支持と回転の機能を分離するのが普通でした。長い台車の歴史を通じて、この部分の工夫は大きなテーマであり、さまざまな形式が開発されてきましたが、1980年頃になると空気ばねが大きく進化し、左右方向の荷重や台車の回転にともなう大きな変位を吸収できるようになってきました。これを応用してボルスタを省略し、回転も上下支持も空気ばねだけで行うようにしたのがボルスタレス方式です。これにより台車が劇的に軽量化・単純化され、乗り心地も良かったため、広く普及しました。

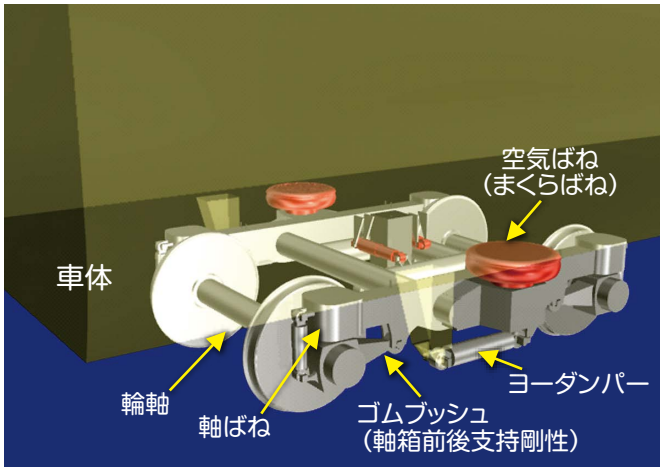


図1 ボルスタレス台車の例

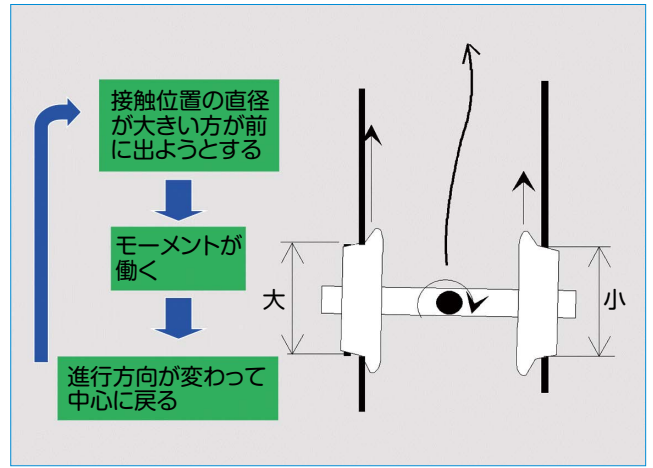


図2 輪軸の形状と自己操舵作用

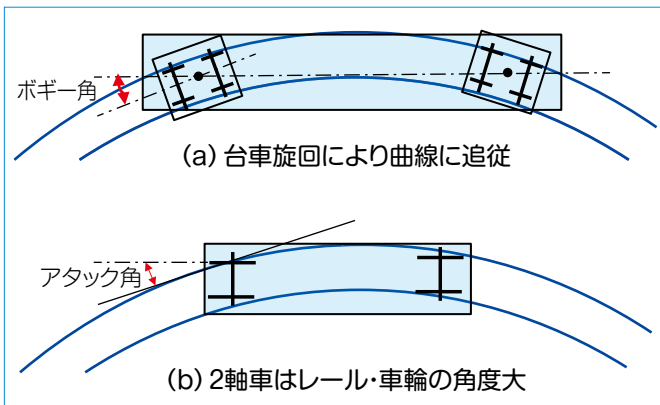


図3 曲線中の台車の働き

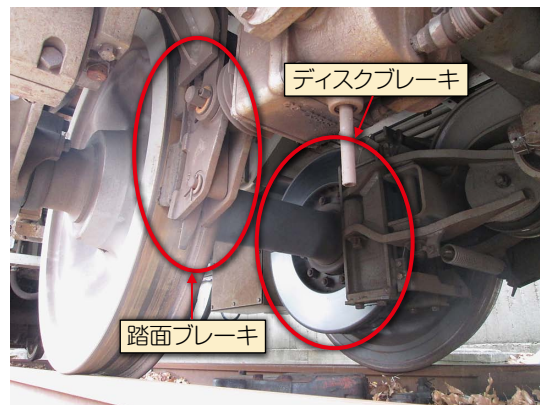


図4 機械式ブレーキ

向に抑えるばねの特性（軸箱前後支持剛性）と車輪の断面形状（車輪踏面形状）が非常に重要です。

鉄道車両の車輪は図2のように外側の直径が小さく、内側が大きくなっています。このため、輪軸が軌道の中心からずれて走行すると、レールと接触している位置の左右車輪直径に差が出ます。両方の車輪は車軸にはめ込んであり、回転数が同じですから、直径の大きい方（図2の左側）の車輪が余計に進み、輪軸の進行方向が軌道中心（右側）に向かいます。さらに、輪軸は一度軌道中心を歩き過ぎ、同様に反対方向（図2の右側）から中心に戻る動作を繰り返します。このように鉄道車両の輪軸は蛇行しながら軌道に沿って走る性質（自己操舵作用）をもっています。

一方で、上記の作用により輪軸が敏感に動きすぎると高速で走る際に左右

振動が大きくなります。このため、輪軸両端を台車枠からばねを介して支持し、前後の動きを抑えます。図1でいえば軸を前後に支えるはりの取り付け部分にゴムブッシュを設け、上記のばねの作用をもたせています。

もう一つ、曲線を走行するために重要な台車の機能として、旋回動作があげられます。曲線を走行しているとき、図3(a)のように前後の台車が車体に対して旋回し、車体と台車の間に角度が付きます。この角度をボギー角とよび、輪軸の進む方向と線路の接線方向の角度の差（アタック角）を小さくします。アタック角が大きいと横圧（車輪がレールを横に押す力）が増え、脱線しやすくなるので、小さくすることが望まれます。初期の鉄道車両は台車がない2軸車だったので、図3(b)のように前後軸の距離によって線路の接

線方向と車輪の転動方向の角度の差が大きくなり、横圧が大きくなります。このため、前後の車軸の距離を延ばすことができず、現在のような大型の車体の実現できませんでした。したがって、現在の鉄道の高い輸送能力の実現には台車の発明・発展が大きく寄与しているといえます。

③について、駆動力を発生する電動機は台車枠に取り付けられていますが、輪軸は台車枠に対して動くので、この動きを許容しながら電動機の回転を伝える必要があります。このため、「継手」という部品を使って輪軸と電動機間の位置・角度のずれを吸収しながら駆動力を伝える仕組みになっています。

制動力は機械式ブレーキや電気（回生）ブレーキで発生します。機械式ブレーキ（図4）には車輪の踏面に摩擦材を押し付けて制動する踏面ブレーキや、

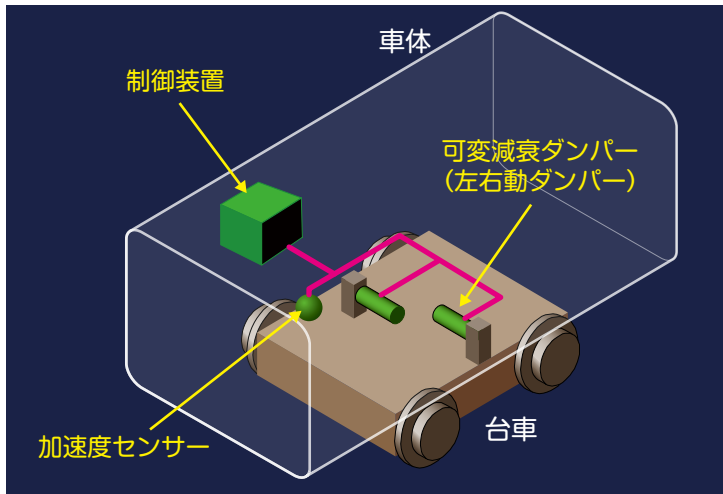


図5 振動制御装置の例(セミアクティブサスペンション)

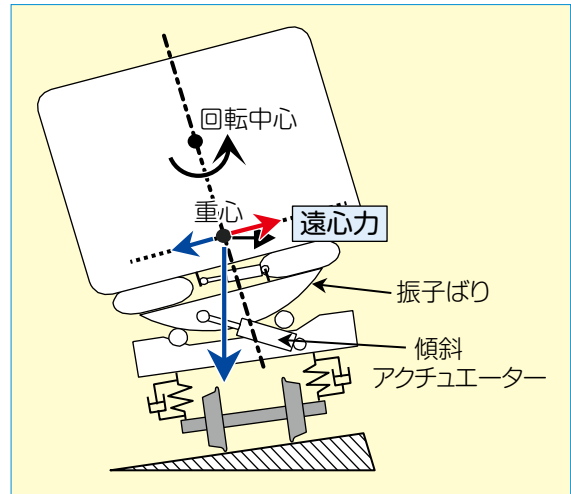


図6 振り車両の仕組み

車軸や車輪側面に取り付けたブレーキディスクに摩擦材を押し付けるディスクブレーキがあります。

電気(回生)ブレーキは電動機を逆に発電機として使うことで制動力を得る方法です。ブレーキ時に発生した電気をパンタグラフから架線に返すものを回生ブレーキといい、省エネルギーの有効な手段となっています。駆動力や制動力は最終的に車体に伝えなければなりません、大きな力なので、まくらばねを介して伝えることはできません。このため、台車枠と車体をつなぐ牽引リンクという棒を介して、前後方向の力だけを台車から車体に伝えるようになっています。

以上のように、台車には鉄道車両が走るための本質的な機能が集約され、それらが複雑に絡み合った装置になっています。台車の性能は車両の快適性、安全性、速度など、鉄道車両の性能に大きく影響するので、その向上は重要です。また、控えめにみて台車枠には車体より1桁大きな加速度が作用し、輪軸ではさらに1桁大きくなります。したがって、壊れにくい設計と確実なメンテナンスが非常に重要です。

### 乗り心地を良くする技術

乗り心地を良くするために近年開発が進められている台車技術としては、次のようなものがあります。

#### ①車体の振動低減

これは図5のように車体に加速度センサーを取り付け、この信号を元にして、枕ばねと並列に配置したアクチュエーター(空気圧シリンダーなど伸縮力を発生する部品)や可変減衰ダンパー(伸縮するときの抵抗力を制御する部品)を制御して車体振動を低減するシステムです。アクチュエーターを使うものをアクティブサスペンション、可変減衰ダンパーを使うものをセミアクティブサスペンションとよびます。

左右用の振動制御システムは高速走行する新幹線の(とくにトンネル内の)横揺れ低減のために実用化されて普及しましたが、近年ではさらに在来線の上下振動対策としての応用が進んでいます。乗り心地向上のためには線路の整備が大事ですが、在来線の、とくに地域鉄道の線路は新幹線ほど強固な構造ではありません。しかし、リゾート列車のような用途では、そのような線路であっても良好な乗り心地が求められます。このような用途に対して、振

動制御を導入することにより線路に大きく手を入れなくても快適な乗り心地が提供可能になります。

#### ②曲線走行時の遠心加速度低減

曲線を走行中の車両の乗客には遠心力が作用します。これが大きいと乗客に不快感を与えるので、曲線を走行中に車体をオートバイのように曲線内側に傾けて遠心力を低減する機能を持つ車両があります。従来は図6のように車体を振りばりの上に載せて傾斜させる方式(振り方式)が主流でした。この方式は傾斜角度を大きくできる反面、台車が重くかつ保守作業が大変といった短所がありました。このため、振りばりを省略し、空気ばね高さを左右で変えることで傾斜動作をさせる空気ばね式車体傾斜方式の採用が新幹線車両を中心に増加しています。この方式は図1で示したボルスタレス台車の構造とほとんど変わらず、シンプルですが、可能な傾斜角度が振り方式の1/3程度と小さく、また傾斜に必要な空気消費量が大きくなるという弱点があります。これらの方式に対して、既存のアンチローリング装置と電動アクチュエーターを組み合わせた新しい車体傾斜機構<sup>1)</sup>の開発を進めています。アン

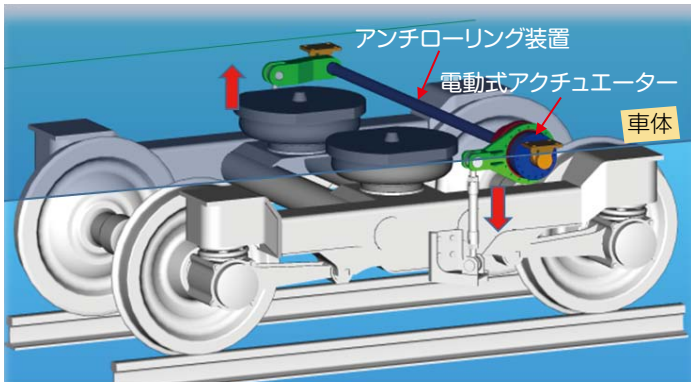


図7 アンチローリング装置式車体傾斜制御

チローリング装置は車体が傾きにくくするための装置ですが、本方式は図7のようにアンチローリング装置をねじることによって傾斜させます。空気ばねの取り付け間隔を小さくして、傾斜時の伸縮量を抑え、さらに応答性の良い電動式アクチュエーターとすることで、大傾斜角、高精度の傾斜機構とすることを目指しています。振子ばりを持たないため、軽量であり、空気ばね車体傾斜方式のような空気消費量の増加もありません。さらに人間工学的な乗り物酔い指標を最小化する制御システムなども開発しており、これらを組み合わせることで乗り心地の良い振子車両の開発を進めています。

### 走行性能を向上する技術

日本の在来線のように多くの急曲線を含む線区で高速化を進めるためには、曲線での性能と高速安定性の両方を改善していく必要がありますが、曲線通過性能と高速安定性の向上策は相反する面があり、両方を同時に向上するのは難しい課題です。

この有力な方法の一つに操舵台車があります。これは自動車のようにカーブに沿って輪軸の向きを進行方向に向けることで曲線を滑らかに走行させる

ものです。台車のボギー角をリンク装置で伝えて輪軸の角度を変える機械的な操舵装置が在来線特急気動車<sup>2)</sup>などで実用化されていますが、台車が重くなり、構造が複雑なため高価かつメンテナンスが大変なことが難点でした。

このため、制御の導入により、単純な機構で操舵機能を実現するための研究が進められています。操舵制御は機能・性能の面で大きな可能性をもっていますが、誤動作により安全性が低下する可能性があるため、万一の誤動作があった場合でも安全性が保たれるシステム構成とすることが最大の課題です。この解決のために開発した「アシスト操舵」システム<sup>3)</sup>を図8に示します。これは非動作に最縮状態となる特殊な空気圧アクチュエーターで軸箱を前後支持し、台車のボギー角により空気圧バルブを開閉して、曲線中で外軌側のアクチュエーターを伸ばす方向に空気を込めます。曲線中では輪軸自体の作用で外軌側の軸距（前後軸の車輪間距離）が大きくなる方向に動こうとしますが、アシスト操舵はこの動きを助け、輪軸の方向を変えやすくします。一方、制御が誤動作して内軌側のアクチュエーターに空気を込めた場合、輪軸の動きに逆らうことになり、この力に打

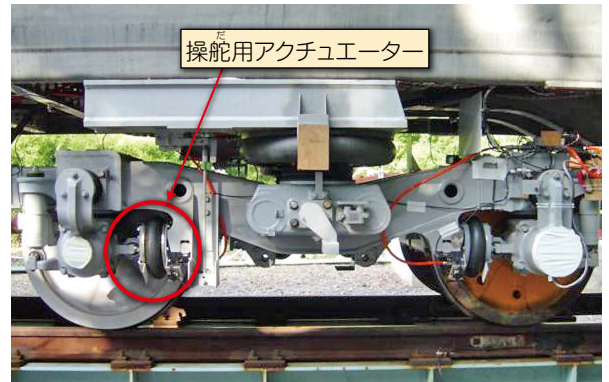


図8 アシスト操舵台車

ち勝たないとアクチュエーターは伸びることができません。この原理を用いて制御が誤動作しても横圧が増加しないシステムを構成できます。試験線で走行試験を行った結果、正常な操舵で横圧が半減すること、逆操舵しても横圧が増加しないことを確認しました。

### おわりに

台車は鉄道車両の走行性能の核心を担う装置です。鉄道車両における台車の重要性は今後も変わらないものと考えられ、ここで紹介した技術以外にも空転・滑走を防ぐ技術、壊れにくくするための技術などさまざまな開発が行われています。なお、これらの研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。RRR

### 文献

- 1) 風戸昭人：アンチローリング装置を活用した車体傾斜機構の開発，第295回鉄道総研月例発表会講演要旨，2015
- 2) 岡本勲，小林秀之，秋山良男：特急気動車用操舵付き振子台車の開発，鉄道総研報告，Vol.11，No.4，pp.19-24，1997
- 3) 梅原康宏，鴨下庄吾，石毛真，小島崇：ボルスタレス台車用アシスト操舵システムの性能確認試験，鉄道総研報告，Vol.26，No.3，pp.11-16，2012