

## 技術解説

## 台車技術からみた鉄道車両の高性能化の状況と今後の展望

## Advance in the Rolling Stock Technology and Future Prospects

小 泉 智 志\*  
Satoshi KOIZUMI

## 抄 録

1825年イギリスで世界初の公共鉄道が開業して以来、鉄道車両の高性能化を目指した高速化や安全性向上への取り組みが続けられている。台車技術においては特に、高速走行安定性と曲線通過性能とのトレードオフが基本課題となるが、今日では、シミュレーション技術の発展により、2つの課題に対してバランスを取りながら用途に適した台車を設計することができる。それぞれの具体的な技術課題として、高速化については、蛇行動の防止、車体傾斜制御などによる曲線での速度向上、高速域から早期に減速するブレーキ技術、軽量化などが、また、安全性向上については、曲線での脱線に対する安全性、自然災害に対する安全性などがある。そのほか、乗り心地などの快適性、騒音、振動などに対する環境保全、メンテナンスなども重要な課題となっており、それらについて展望した。

## Abstract

Since the world's first public railway opened in Britain in 1825, high speed and safety have been the most important technical issues for the improvement of rolling stock performance. In particular, the trade-off problem between the curve negotiation and the high-speed running stability is a basic issue for bogie design technology. But today, by the use of simulation techniques, we can design the suitable rolling stock for the various applications. For the higher performance of rolling stocks, the following technical issues have been challenged. The issues for high speed are the prevention of hunting, high speed curve negotiation by the use of tilting control, brake technology to slow down early from the high-speed range, and acceleration of lightweight. The issues for safety are the derailment prevention on the curve, the safety against the natural disasters. In addition, we are working on a ride comfort, an environmental protection such as noise and vibration, and the issues of maintenance.

## 1. はじめに

1825年イギリスで世界初の公共鉄道が開業して以来今日に至るまで、鉄道車両の最も基本的な技術課題は高速化と安全であったといえる。

鉄道開業間もない1830年前後には、すでに踏面勾配やボギー台車など曲線を安全かつスムーズに曲がるための基本となる技術が発明されている。ボギー台車については、軌道状況が悪く脱線が多発していたアメリカの蒸気機関車において、車体をカーブの方向へ誘導する先台車として実用化されたのが始まりである。その後すぐに、客車にもボギー台車が採用され、鉄道の黎明期にはすでに現在に至る鉄道車両としての基本構成ができあがったと言える。

以来、より高速で安全な鉄道車両を目指して、様々な技

術課題への取り組みが続いており、本稿では発明されて180年以上を経た台車技術からみた鉄道車両の高性能化について紹介する。

本稿では最初に、高速で安全な鉄道車両を目指すにあたって、最も基本的な“高速走行安定性”と“曲線通過性能”という二律背反する課題への挑戦を紹介し、さらにより質の高い鉄道車両へのニーズにこたえる形での、快適性、環境保全に対する技術課題、また今後注目されるメンテナンスに関する課題を紹介したうえで、最後に今後の展望する。

## 2. 台車の構造と台車設計における基本課題

## 2.1 台車の構造と役割

台車は車体の荷重を支え、かつ駆動力、ブレーキ力を伝達するという走行装置としての基本的な役割だけではなく、

\* 交通産機品事業部 製鋼所 鉄道台車製造部長 大阪府大阪市此花区烏屋 5-1-109 〒554-8555

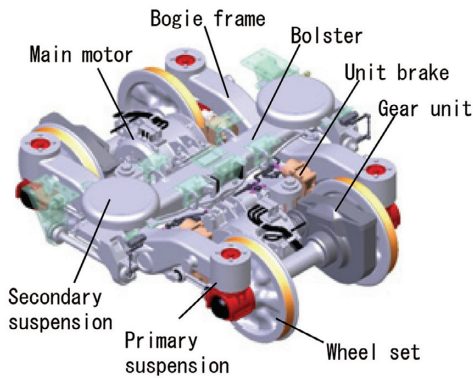


図1 台車の構造と名称  
Designations of each part of a bogie

高速での走行安定性や曲線を安全に通過する性能、乗り心地など、車両に要求される種々の走行性能を実現するためにも重要な役割を担っている。台車は構造上ボルスタレス台車とボルスタ付台車とに分類される。代表的な電車でボルスタ付台車の構造を図1に示す。

台車を構成する部品には、輪軸、台車枠（台車で最も大きい構造部材で、鋼板、鋼管、鋳鋼部品、鍛鋼部品などを溶接で組み立てる）、サスペンションとしての1次ばね（輪軸と台車枠とを結合し、コイルばねやゴムばねで構成される）、2次ばね（台車枠と車体とを結合し、主として空気ばねが使用される）、走行装置としての主電動機、歯車装置、ブレーキ装置などがある。

### 2.2 高速化と曲線通過とのトレードオフ

輪軸は、車輪と車軸とを組み立てた鉄道車両の基本となる部品である。図2に輪軸の構成を示す。車輪がレールと接する面は踏面 (Tread) と呼ばれ、曲線をスムーズに曲がったり、直線区間では輪軸を中立に戻したりするための工夫として踏面勾配と呼ばれるテーパが付けられている。

曲線を走行する際に、輪軸が曲線外側に移動することで、自動的に曲線内側と外側とで車輪に直径差ができ、紙コップが弧を描いて転がるように曲線をスムーズに走行することができる。一方で、この踏面勾配の存在が、高速走行時に蛇行動という不安定な振動を招くことになる。鉄道車両のダイナミクスの観点からは、踏面勾配を大きくするほど

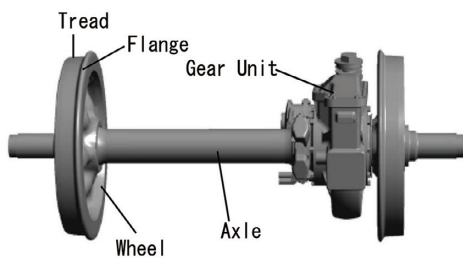


図2 輪軸の構成  
Designations of each part of a wheel set

曲線は曲がりやすくなるが、高速では不安定になるという二律背反の課題を抱えており、このトレードオフが台車設計上の基本課題となっている。例えば、急曲線が多く走行速度の低い地下鉄では踏面勾配を大きく、曲線が少なく高速走行時の安定性を重視する新幹線では踏面勾配を小さくするといった思想で設計されている。

### 3. 高速化についての課題と技術開発

#### 3.1 高速走行安定性

鉄車輪、鉄レールで構成される鉄道車両システムでは、速度の向上という課題に対して、車輪の駆動力を空転せずレールに伝えるための粘着の壁、前章で述べた台車の高速安定性の壁、パンタグラフでの集電の壁があるといわれている。

かつては、300km/h程度が速度の限界と言われていたが、車輪レール間の粘着の改善、空気抵抗などの走行抵抗の改善、駆動力の増強などにより、世界的にも320km/hで安定した営業運転が行われている。実験的には2007年にフランスで574.8km/hという世界最高速が記録され、360km/h程度の営業運転を目指した開発が継続して行われている。図3に1980年以降の国内外の営業運転、試験運転での速度向上の変遷を示す。

速度の向上に対する台車設計上の課題は、高速での走行安定性である。新幹線開発の初期には、試験車両で線路を変形させるような激しい蛇行動が発生したと言われるが、敗戦によって鉄道に移ってきた零戦の設計者が、主翼のフラッターと言われる振動現象の解析を蛇行動の解析に應用することで解決が図られたことはよく知られている。

現在では、コンピュータシミュレーションによる台車諸元の選定や台車回転試験機を利用した検証などによって、蛇行動そのものは、大きな壁とはなっていない。

ただし、2.2で述べたような高速化と曲線通過との両立は現在でも大きな課題であり、東北新幹線で2013年春から営業開始予定のE6系新幹線電車では、東京から盛岡ま

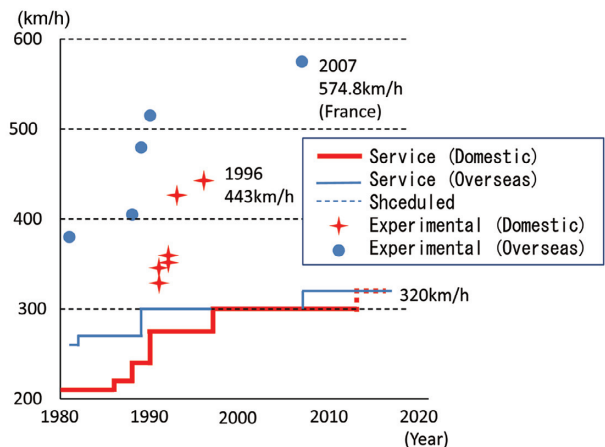


図3 1980年以降の最高速度の変遷  
History of rolling stock maximum speed since 1980

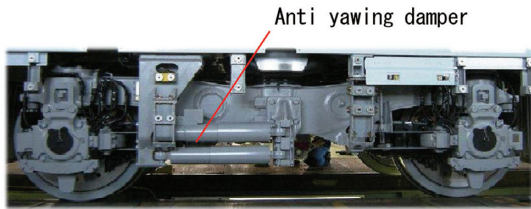


図4 JR 東日本 E6 系新幹線台車  
Bogie for JR East series E6 Shinkansen

では新幹線区間を高速で走行し、盛岡から秋田までは曲線の多い在来線区間へ直通するため、ヨーダンパと呼ばれる台車の蛇行動を防止するオイルダンパの減衰特性を新幹線区間と在来線区間とで切り替えるといった新しい工夫もなされている。図4にJR 東日本 E6 系新幹線台車を示す。

### 3.2 曲線での速度向上

目的地までの到達時間を短縮するための方法として、最高速度の向上とともに重要なのが、曲線での速度向上である。特に山間区間を走行する在来線では最高速度を高く設定しても、曲線で減速する区間が多いため到達時間の短縮に結びつきにくい。新幹線についても最高速度が向上するに従って曲線での速度向上が重要になっている。

曲線を高速で走行した場合、遠心力が過大となって乗客が不快な力を感じることになり、これが曲線での速度向上を阻む第1の要因となっている。一般に、乗客を感じる左右方向の力を加速度で表し、日本では  $0.8\text{m/s}^2$  程度が限度の目安となっている。

そこで、曲線では線路にカントという傾きを設けて、遠心力によって車体が曲線外側に倒れる力と、カントによって車体が重力の影響で曲線内側に倒れる力とを相殺するように考えられている。カントの値は通常左右レールの高さの差で表され、線路の曲線半径と列車の走行速度で決定されるが、同じ線路を様々な速度の列車が走ることで、曲線上で列車が停止し、さらに横風が吹いた場合などを考慮してその値が決定される。そのため、曲線での速度向上を行う場合に、カント量だけを拡大して対応することには前述のような理由で限界がある。そこで、不足しているカント量の分を車両側で車体を傾けて補うことで、乗客を感じる不快な力を解消し速度向上を可能にした車体傾斜機構が開発され実用化されている。

日本では、1973年に、振り子車両といって、車体をころで支持して遠心力の力で車体がころの上を移動して傾く車体傾斜機構が実用化された。この機構によって車体を5度程度傾けることで曲線通過速度を向上させることができる。図5に振り子車両の構造を示す。この振り子車両は、ころの抵抗の影響によって曲線に入って遠心力がある程度働いてから初めてころの上を車体が移動するために、曲線の入り口と出口で遅れが生じ、その違和感が乗り物酔いに

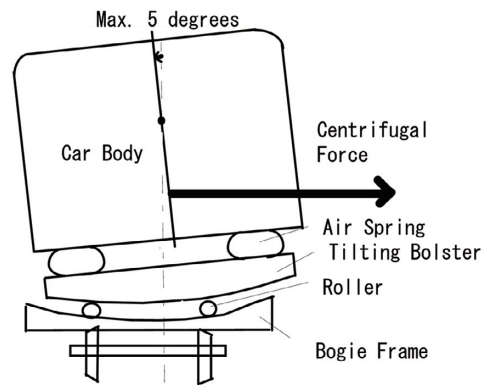


図5 振り子車両の構造  
Structure of a pendulum tilting system

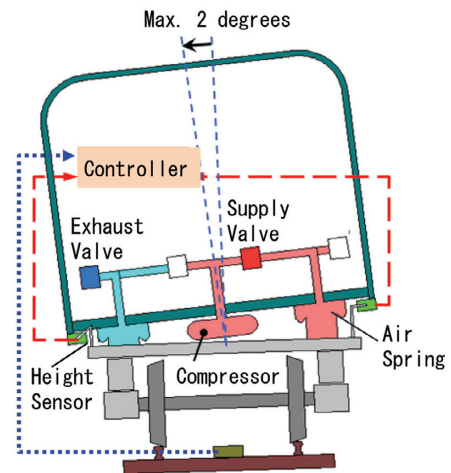


図6 空気ばね車体傾斜の構成  
Structure of air spring tilting system

つながるという問題があった。そこで、のちには現在の走行地点を検知して、車両側に記憶した曲線データをもとに曲線の手前から空気圧アクチュエータの力で傾きを助ける制御付き振り子に進化した。

しかしながら、振り子車両は、構造が大掛かりで複雑になることから、のちに台車の空気ばねへ給排気することによって車体を傾ける空気ばね車体傾斜制御が実用化されている。この方式は傾斜角が最大2度に制限されるため、速度向上幅はやや小さいものの、構造が簡単であることのメリットが大きい。

空気ばね車体傾斜制御は、軽量化が重要な新幹線やコストや保守性を重視する民鉄、在来線などで実用化されている。図6に空気ばね車体傾斜制御の構成を示す。

### 3.3 ブレーキ

一方で、高速化において大切なのは列車を止めるブレーキの技術である。1955年にフランスの電気機関車が3両の客車をけん引し、架線を溶かし線路を変形させながら、331km/hという当時の世界最高速度を記録した際も、ブレー

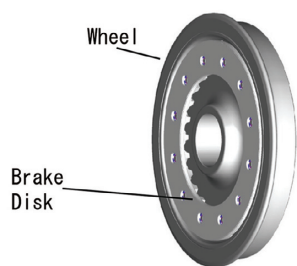


図7 中央締結ブレーキディスク  
Center connection type wheel mounted disc

キの技術が伴わず、客車の窓を全て開けてまでして減速したと言われたことから、加速することより止めることの方が難しいことが分かる。

最近の電車では、通常は電気ブレーキ（駆動用電動機を発電機として使用して、運動エネルギーを電気エネルギーとして消費または再利用することで発生する減速力を利用する）によって、停止寸前まで減速することができる。

しかし、ブレーキは非常に重要なシステムであるため、機械的なブレーキ機構のみでも停車できることが求められている。

新幹線の場合は、機械ブレーキとしてディスクブレーキが使用されている。高速化によるブレーキエネルギーの増加や、地震発生時に少しでも早く減速するために、日々改良がおこなわれており、新しい新幹線には、高負荷化に伴う熱容量増加による質量増を抑え、安定したより強いブレーキ力を実現できる中央締結ブレーキディスクが採用されている。ブレーキディスクの締結ボルトがこれまでディスクの内周側で締結されていたのに対して、ディスク摺動面の中央付近で締結するもので、軽量化とともにブレーキ時の熱による変形を抑制することができる。中央締結ブレーキディスク付きの車輪を図7に示す。

### 3.4 軽量化

新幹線などの高速車両には、特に台車ばね下重量の軽量化が大切である。これは、直接軌道に接しているばね下重量が大きくなると軌道への負担が大きいことはもちろん、走行中の動的な輪重変動が大きく軌道破壊の要因となるほか、沿線への騒音、振動の低減という点でも、その軽量化が重要であると言える。

軽量化を図るためには、ボルスタレス台車の採用、有限要素法（FEM）を活用した強度解析による軽量化設計、軸箱体や歯車箱へのアルミニウム材料の適用、中ぐり軸や前章で述べた中央締結ブレーキディスクなどが適用される。

## 4. 安全についての課題と技術開発

### 4.1 脱線に対する安全性の評価方法

走行安全性で最も重要な課題は、曲線通過時の脱線と転覆である。脱線については、新線が開業する際や新形式車

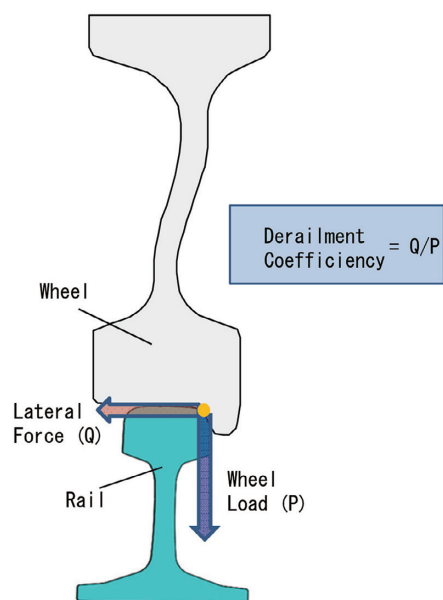


図8 脱線係数  
Derailment coefficient

両が完成した場合には、PQ輪軸と呼ばれる特殊な測定用輪軸を用いた走行試験によって安全性を評価することが多い。その安全性評価の指標を脱線係数と呼んでいる。

脱線係数は、図8に示すように、車輪とレールの間の横方向に働く力Q（横圧）と垂直方向に働く力P（輪重）との比Q/Pであらわされる。このQ/Pが許容限度（例えば0.8）内にあることで脱線に対して安全であると判断される。

### 4.2 曲線での走行安全性

脱線係数Q/Pを改善するためには、横圧Qの増加を抑え、垂直圧Pの減少（輪重抜け）を防止することが大切である。横圧Qの増加を抑える方策の一つとして、2.2で述べたようにスムーズに曲線を通り過ぎる踏面形状を設計することがあげられる。ただし、単純に踏面勾配の角度を変えるのではなく、直線での走行安定性との高度な両立を目指して、直線走行時に車輪とレールが接触する部分では勾配を小さくして安定性を狙い、曲線で輪軸が移動したときには左右車輪直径差が有効にとれるように、円弧を組み合わせて設計した“円弧踏面”が使用されることがある。図9に主に在来線で使用されている修正円弧踏面形状の例を示す。

さらに、輪軸が曲線にそって動きやすくするために台車枠に対して輪軸を支持する1次ばねを柔らかくするなどの設計も行われる。ただし、ここでも、この輪軸を支持するばねの剛性（軸箱支持剛性）を柔らかくしすぎると高速での安定性が損なわれるため、その車両が使用される路線の特性や列車の運行条件を考慮した設計が行われる。この点も台車設計のポイントとなる。

さらに最近では、より積極的に輪軸を曲線に沿う方向に向ける操舵台車が実用化されている。

操舵台車で最も基本的な方式は、輪軸がその左右車輪直

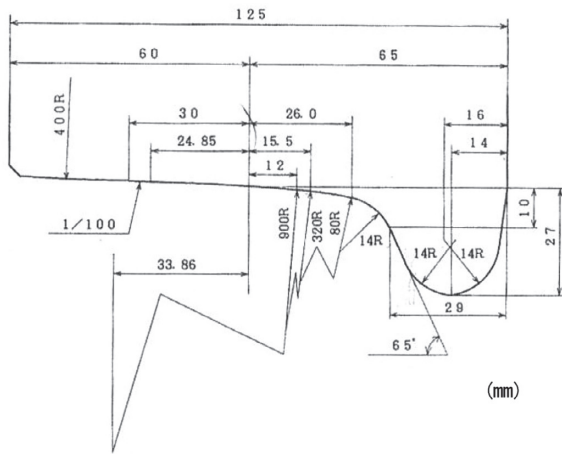


図9 在来線用修正円弧踏面形状  
Modified arc wheel profile for conventional line

径差で回ろうとする能力を阻害しないように軸箱支持剛性を工夫した自己操舵台車である。中でも、高速走行安定性と曲線通過性能を両立させた高度な自己操舵台車として開発された前後非対称操舵台車の構造を図10に示す。これは、台車内2軸の内、車両連結端部側の輪軸のみ軸箱支持剛性を柔らかくするという軸箱支持剛性を前後非対称とした台車で、前後対称を基本とした鉄道車両には珍しい構造である。

また、曲線で台車が車体に対して回転する角度をリンク機構で輪軸に伝えて、輪軸を曲線方向に操舵する半強制操舵台車がある。2012年に営業を開始した東京メトロ銀座線ではこの方式が採用されている。図11に銀座線で実用化された操舵台車を示す。詳細は本誌別稿に譲る。

操舵台車は、横圧低減による走行安全性向上にとどまらず、急曲線で車輪とレールが競り合うことによる騒音の低減や、車輪、レールの摩耗低減に大きな効果がある。

一方、輪重抜けについては、特に曲線出口で円曲線区間のカントを直線に向けて徐々に小さくするカント逡減区間という軌道面のねじれた区間での輪重抜け防止が重視されている。このために、台車内での軌道ねじれに追従するため1次ばねの上下方向を柔らかくしたり、台車枠自体がねじれる機構を持たせたりした例がある。また、車体内での軌道ねじれに対応するため、車体を支える4個の空気ばねの高さや内圧をコントロールする新たな機構が実用化されている。

これら以前の基本的な問題として、車両自体の荷重が均等に各車輪に配分されるような設計を行い、車両の定期検査で左右の輪重差を一体範囲内に管理することが決められており、輪重を調整しやすい調整装置や調整機構が工夫されている。

また、脱線係数は車輪とレールとの間の摩擦係数と大きな相関があることが分かっている。摩擦の大きさは、気温や湿度等の天候状態や列車の通過本数等によって変動す

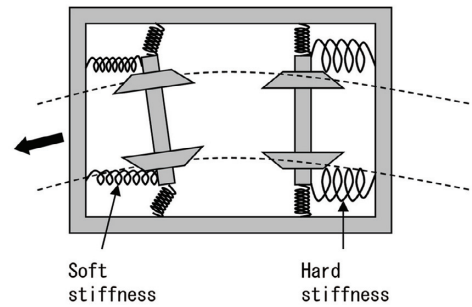


図10 前後非対称支持剛性 自己操舵台車の構造  
Structure of asymmetric stiffness self steering bogie

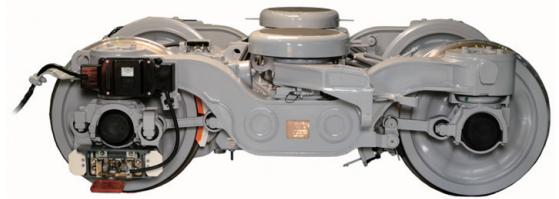


図11 東京メトロ銀座線用操舵台車  
Steering bogie for Tokyo Metro Ginza Line

る。脱線に対する安全性の面では、摩擦係数を低減することは効果があるものの、滑走や空転等の問題を生じることにも考えられる。このような点に注目し、摩擦係数を適正範囲に安定させるための摩擦調整材などの開発も行われており様々な方式が実用化されている。

#### 4.3 自然災害に対する安全性

2004年新潟県中越地震で走行中の上越新幹線が脱線するという事故が発生した。これを機会に、地震発生時に早期に列車を減速し停止させる技術や、万一脱線してもレールにガイドされ線路から大きく逸脱しないための安全装置が開発された。その一例として、図12に台車軸箱下に取り付けられた逸脱防止L型ガイドを示す。このガイドはすでに、JR東日本の全ての新幹線台車に装着されている。

また、強風時には列車の横方向からの風圧で列車が転覆するという事故も発生することがある。台車設計時には、そのような力も考慮した安全性も評価している。



図12 逸脱防止L型ガイド  
L-shaped guide to prevent deviation from rails

## 5. 快適性についての課題と技術開発

### 5.1 乗り心地

快適性に影響を与える要因は様々であるが、台車設計上は、不快な振動を発生させず、乗り心地を向上させることが重要なポイントの一つである。

通常は、軌道側からの外乱を車体に伝わらないようにサスペンションの設計がおこなわれ、振動計算によってばね系の諸元が定められる。

また最近では、振動計算において運動方程式を直接用いることなく、マルチボディーダイナミクス解析ソフトウェアによる解析が行われることも多い。マルチボディーダイナミクス解析とは、システムを構成する部材とそれらを結合する要素の情報を入力することでモデルを自動作成するもので、鉄道車両の解析用に車輪とレールの接触解析ツールを備えたものも用意されている。詳細は本誌別稿に譲る。

鉄道車両のサスペンションは、ばねやダンパのような機械的な要素で構成されている。そのようなメカニカルなサスペンションにおいて、これまでも、オイルダンパや空気ばね、ゴム部品の適用やシミュレーション技術の向上などにより、乗り心地は格段に改善されてきた。

しかしながら、このようなメカニカルなサスペンションのパラメータをチューニングするだけでは、乗り心地の改善に限界があることは、長い改良の歴史の中で直面してきた事実である。また、新幹線の高速化に伴い、トンネル通過時に発生する車体周りの空気流れにより車体が直接加振されるという新たな現象が重要視されるようになった。これらの課題に対して、これまでのメカニカルなサスペンションではその対応に限界があり、これらを一気に解決するための新技術として、コンピュータ制御によって振動を抑制するアクティブサスペンションが開発された。

アクティブサスペンションは、2001年より世界で初めてJR東日本E2系新幹線に空気圧方式が採用された<sup>3)</sup>。図13にE2系で採用されたアクティブサスペンションの構成を示す。空気圧式のアクティブサスペンションは、新幹線以外にも在来線や民鉄の優等列車にも多数採用されている。

また、2011年からは、最高速度320km/h運行する予定のJR東日本E5系新幹線の全車両に、さらに性能を向上さ

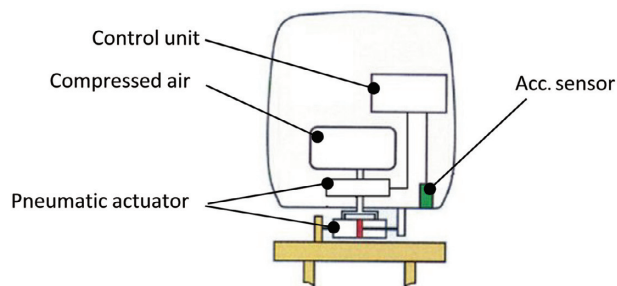


図13 アクティブサスペンションの構成  
Structure of an active suspension system



図14 低床式LRV  
Low floor light rail vehicle

せた電動式のアクティブサスペンションが採用されている。アクティブサスペンションの詳細は、本誌別稿に示す。

アクティブサスペンションにはこの他にも、オイルダンパの減衰力を切り替えることで、振動を抑制するセミアクティブサスペンションも実用化されている。セミアクティブサスペンションは、基本的にオイルダンパの減衰力を利用しているため、原理的にアクティブサスペンションに比べて振動低減効果は劣るが、空気圧や電力などの比較的大きなエネルギー源を必要としないことから、その特性を見極めて使い分けられる。セミアクティブサスペンションも新幹線を中心に多数採用されている。

これら、アクティブサスペンションは主に車体の左右振動の改善を目的に適用されている。一方、上下方向の乗り心地については、空気ばねの適用によってすでに改善されているが、乗り心地改善へのニーズはさらに高まっており、今後は車体の曲げ振動による高周波振動の改善に対してさらなる取り組みが必要である。

### 5.2 バリアフリー

台車技術として取り組んでいるバリアの課題の一つとして、ホームと車体床面との段差があげられる。特に旧来の路面電車では、道路上の乗降場から数段のステップを上らないと乗車できないことから、大きなバリアとなっていた。そこで、車両の床面を低くし、乗降場との段差をなくした低床式LRV (Light Rail Vehicle)が開発されている。低床式LRVの例を図14に示す。このタイプでは、車体を3分割し、台車を運転席の下に配置することで客室を低床化している。この他にも、通常は台車に搭載されるモーターを、車体床下に直接設置して台車との間はプロペラシャフトを介して輪軸を駆動することで、床面を車軸ぎりぎりまで下げたタイプも採用されている。

## 6. 環境についての課題と技術開発

### 6.1 騒音、振動

鉄道車両に関わる環境問題において、台車技術と関係が深いのは沿線への騒音・振動問題である。以前、沿線住民が騒音被害を受けたとして、損害賠償を求め一部認められ

た例もあったことから、さらに関心が高まっている。

また、新幹線騒音については厳しい環境基準が定められており、最高速度向上という課題に対しても取り組むべき重要な項目となっている。

鉄道車両の騒音源は、転動音、集電音、空力音、構造物音、機器音に分類される。

転動音は、広義には車輪がレールの上を転がる際に、双方の微小な表面粗さに起因する騒音や、レールの継ぎ目、車輪がブレーキ時に滑走することによって発生するフラットなどによる衝撃的な力による騒音、また、レールの波状摩耗による振動、騒音などが含まれる。

また同じく、車輪とレールの間で発生する騒音には、曲線外軌側でレールと車輪フランジが接触することによって発生するフランジ音や、曲線内軌側で車輪とレールの左右方向の相対振動であるスティックスリップによって車輪の板部が振動して発生するきり音などがある。

これらの対策としては、車輪とレールとの間の潤滑や、防音車輪の採用、操舵台車の採用などが行われる。防音車輪の例を図15に示す。

機器音は、車両の機器から発生する騒音で、台車に関する機器音としては、歯車装置の歯車のかみ合い音がその一例としてあげられる。歯車形状の見直しによる、歯車装置の騒音改善の例については、本誌別稿に示す。

空力音は、車両の走行によって生じる空気の乱れから発生する騒音で、主に車体先頭部や連結部、車体表面の凹凸やパンタグラフや碼子などにおける空気の乱れにより発生するものである。最近の高速車両では、車体側の空力音が下がった結果、転動音や台車周りの空力音も注目されつつある。

## 6.2 省エネルギー

東日本大震災後、節電を中心とした省エネルギー対応の技術が注目されている。台車技術において一般的には、軽量化、機械損失の縮小などが考えられる。最近の話題としては、操舵台車による曲線での走行抵抗の低減、車体傾斜

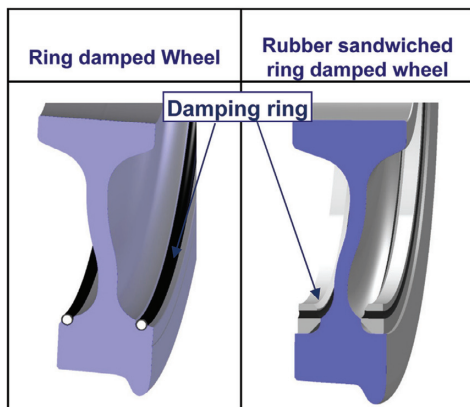


図15 防音車輪  
Noise damped wheel

制御による加減速頻度の減少なども省エネルギー効果として期待されている。

## 7. メンテナンスについての課題と技術開発

### 7.1 鉄道車両の保守体制

鉄道車両の保守は、車両の走行距離または期間によってその周期が定められた定期検査による予防保全を基本としている。最近の車両には、車両間に伝送線を引き通して、各機器の状態を遠隔監視するためのモニタリング装置が搭載されており、保守の支援装置として利用される例が増えてきている。

モニタリング装置には、定期検査時に各機器の機能を確認する検査装置としての機能もある。例えば、アクティブサスペンションには、車両静止状態で逆にアクチュエータで車体を加振するなどして各機器の機能を確認する自己診断システムが内蔵されている。また、故障発生時に、故障を検知するだけでなく、故障前後の動作状況をデータとしてストックしておき、原因調査に用いることができる。

### 7.2 状態監視

最近の鉄道車両では、予防保全から状態監視保全へ移行することが検討されている。これまでも、台車における故障検知システムとしては、新幹線台車においてベアリングの温度上昇が一定値を超えることで故障を検知するシステムが採用されている。

状態監視保全は、モニタリングシステムの機能を一歩進めて、使用中の機器の動作状態を常時監視し、故障してからではなく、故障の予兆を検知して事前に検査、修繕する考え方である。台車では、ベアリングの温度や振動をセンサーで監視するシステムなどが開発されている。

また一方、営業車両を用いて常時軌道の状態を監視するシステムも開発されている。その実用化例として東京メトロ各線区に導入が進んでいるPQモニタリング台車を図16に示す。

4.1で述べた脱線係数(Q/P)の測定は、特殊な測定用輪軸を用いることから、測定用に特別に仕立てた試運転列車で測定をおこなっている。しかしながら、毎日列車が通過する軌道は日々移動するとともに、温度や湿度、車輪とレールとの間の潤滑や表面状況によって変化することが分かっ



図16 PQモニタリング台車  
Track condition monitoring bogie

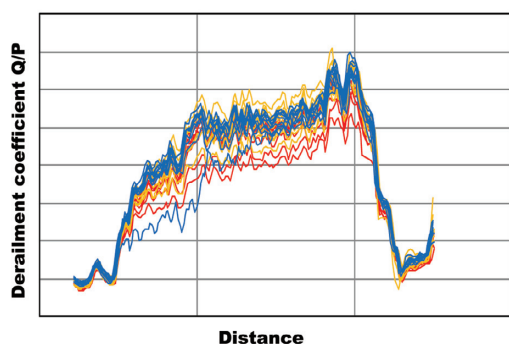


図 17 PQ モニタリング台車の測定データの例 (1 週間)  
Measured data by track condition monitoring bogie (1 Week)

ている。そこで、軌道状況を常時監視し、その変化を分析しながら事前に保守することが検討されている。

図 17 に PQ モニタリング台車で測定した同じ曲線での 1 週間分のデータを示す。これより、Q/P 値は日々変化しばらついていることが分かる。

一方、軌道側から車両側を監視するシステムも実用化されている。レールに貼り付けたひずみゲージによって、Q/P を測定したデータを集積し、車両の異常を事前に検知することに用いられている。ただし、このような状態監視システムでは日々大量のデータが蓄積されることから、それらの解析が最大の課題となる。

### 7.3 摩耗, 劣化

保守における、現実的かつ重要な課題は、部品の摩耗や劣化による交換作業である。これまで、摺動部品を極力減らしゴム部品を使用した台車へと移行し、ボルスタレス台車の開発につながった。しかしその一方で、ゴム部品の劣化対応が今後の課題となる。

また、車輪、レールの摩耗に対しては、潤滑技術の開発や操舵台車の導入が行われ、さらに摩耗を予測するシミュレーションへの取り組みも行われている。これら境界領域問題も今後注目される技術である。

## 8. 今後の展望

鉄道が開業して間もなく 190 年、ボギー台車が発明されて約 180 年、日本の鉄道が開業してちょうど 140 年、新幹線が開業して間もなく 50 年が経過する。その間、基本的な鉄道車両の構成は変化していないと言われながらも、最高速度は徐々に向上し現在は 300km/h を超える高速鉄道が営業し、360km/h への高速化を目指した研究開発がおこなわれるなど、鉄道へより高い付加価値を求める社会のニーズと、それに応える技術の進化は留まるところがない。

足回りへのコンピュータ制御導入を果たしたアクティブサスペンションについても、すでに実用化後 10 年以上が経過し、この間、制御システムの信頼性が実証され、コン

ピュータ制御の導入による性能改善効果が認められるようになり、もはや快適な乗り心地を提供するために必要不可欠な技術となっている。このような背景から、今後さらに、安価で信頼性の高い電子機器の発展とともに鉄道車両全般にコンピュータ制御を活用した知能化が促進されると考えられる。

また、メンテナンスについても今後の課題は多い。人材の確保、技能の伝承、ライフサイクルコスト低減など多くの課題がある一方、安全に対する要求はさらに高まっている。この課題に対して、これまでの定期検査による予防保全から、モニタリングシステムを利用した状態監視への転換が考えられている。営業列車で日々の状態を監視するシステムの試みは、すでに進んでいるが、日々蓄積するビッグデータの扱いが当面の課題となると考えられる。今後、状態監視装置など ICT (Information and Communication Technology) を活用したメンテナンスの革新が進むと考えられる。

また、こうした、新しい技術を開発するためには、評価設備の充実が欠かせない。鉄道車両の技術開発では、最終段階で実車両による、安全性、信頼性、耐久性などの評価が不可欠である。しかし、日本の現状は、営業線における走行試験によらざるを得ず、車両メーカーが大規模な試験線を所有している欧州や、大学が大規模な試験設備や試験線も持つ中国に対して遅れをとっていると言える。この点も日本の鉄道がグローバル展開するにあたっての制約となっている。このような中で先般、国内に延長 3.2km、最高速度 100km/h の都市鉄道をターゲットとした試験線の建設が発表された意義は大きい。

このように、これからも鉄道車両の技術革新に対するニーズは衰えることがなく、引き続き、安全、安心かつ快適な環境にやさしい鉄道車両を目指した技術開発が必要である。

### 参考文献

- 1) 砥上 ほか：第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、東京、2012-12、日本機械学会、p. 73
- 2) 事故調査検討会：帝都高速度交通営団 日比谷線中目黒駅構内 列車脱線事故に関する調査報告書、2000、p. 85
- 3) Koizumi, S.: The International Symposium on Speed-up, Safety and Service Technology for Railway and Maglev Systems. Seoul, 2012-9
- 4) 清水 ほか：鉄道車両と技術。No.167, 15 (2010)



小泉智志 Satoshi KOIZUMI  
交通産機品事業部 製鋼所  
鉄道台車製造部長  
大阪府大阪市此花区島屋5-1-109 〒554-8555