

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 在来線車両の 曲線通過速度を向上する

在来線において車両側で速達性を向上させるためには、曲線通過時における減速を減らし、高い速度での走行を維持することが有効です。ここでは、曲線通過速度を向上する車両技術について操舵台車を中心に紹介するとともに、鉄道総研で開発したフェールセーフ機能を備えた操舵システムについて、その特徴と性能について紹介します。



**梅原 康宏**  
Yasuhiro Umehara  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 台車構造、  
車両のダイナミクス



**鴨下 庄吾**  
Shogo Kamoshita  
車両構造技術研究部  
車両振動研究室  
主任研究員  
【専門分野】 制御技術応用、  
車両のダイナミクス

## はじめに

鉄道車両の走行速度を向上する方法として、最高速度向上、曲線通過速度向上および分岐器通過速度向上が挙げられます。最高速度については、安全に停車できるブレーキ距離の制約から、在来線では一部の線区を除き、130km/h以下としています。現在はブレーキ技術の向上により、それ以上の速度からでも所定のブレーキ距離を満足できるようになりましたが、速達性を考えると少しの最高速度向上ではあまり効果は期待できません。また、分岐器通過速度の向上についても速達性の効果は同様です。一方、到達時間短縮が求められる地方都市間を結ぶ在来線などでは曲線が多いため、最高速度の向上よりも曲線通過速度の向上の方が速達性では有効となります。

## 曲線通過速度を向上する

車両が曲線を走行すると曲線半径と速度に応じて、曲線の外側に向けて遠心力が発生します。遠心力は車両だけでなく乗客にも作用するため、走行安全性の低下や乗り心地悪化などの影響を与えてしまいます。これに対して鉄

道では、外側のレールを内側のレールより高く設置し、車両を曲線内側へ傾けることで遠心力を打ち消しています。しかし、この両レールの高低差であるカントには低速時の転覆などを考慮し、在来線の軌間1067mmでは105mmに上限が定められているため、高速になると打ち消すことのできない遠心力が残ってしまいます。そこで、残った遠心力（超過遠心力）を打ち消すことで乗り心地の悪化を抑えつつ、曲線を高速で走行可能とするのが車体傾斜技術です。車体傾斜には空気ばね方式と振りやり方式がありますが、傾斜角度を大きく取れる振りやり方式の方が、曲線通過速度の向上においては効果的です。さらに鉄道総研では、乗り心地の向上に加えて、乗り物酔い解消を目指した研究開発<sup>1)</sup>も進めています。

車体傾斜技術で乗客に作用する超過遠心力を打ち消すことはできますが、車輪など台車に作用する超過遠心力を打ち消すことはできません。そのため曲線通過速度が高くなるにつれて、車輪とレールの間に発生するまくらぎ方向の力である「横圧」が大きくなります。横圧が大きくなると走行安全性を

低下させるとともに、車輪やレールの摩耗促進やレール締結装置の破損など悪影響を与えることになります。そこで曲線通過中に発生する横圧を低減する技術が操舵台車になります。この記事では操舵台車に焦点を当てて紹介していきます。

### 操舵台車とは

横圧は超過遠心力などいくつかの要因によって発生していますが、その一つの要因としてアタック角による横圧が挙げられ、この横圧を轉向横圧と呼んでいます。アタック角とは、曲線中に車輪がレール接線方向に対して持つ角度であり、アタック角が大きくなるほど横圧も大きくなります。操舵台車とは、曲線通過時に車輪が曲線に沿うように輪軸の向きを変え、アタック角を小さくすることで轉向横圧を低減させる台車です。通常台車と同じ大きさの横圧と比較するならば、操舵台車は減少した轉向横圧分を超過遠心力で発生する横圧に充てることができるので、曲線通過速度を向上させることができます。ここでは実際に在来線の曲線通過速度を向上させるため、振子はり方式の車体傾斜技術とともに国内の営業線で使われている2方式の操舵台車を紹介します。

まず名古屋-長野間などを走行している383系特急電車に使用されている台車は、自己操舵台車に分類されます。自己操舵台車とは、軸箱前後支持剛性の柔軟化や、車輪踏面勾配を大きくすることにより、輪軸の操舵性能を向上させ、アタック角を小さくする台車です。しかし、輪軸の操舵性能が高くなると、高速走行安定性が低下するため、曲線通過性能の向上には限界があります。そこで383系特急電車では、図1に示すように軸箱前後支持剛性を車端側では柔らかく、車体中央側では硬くす

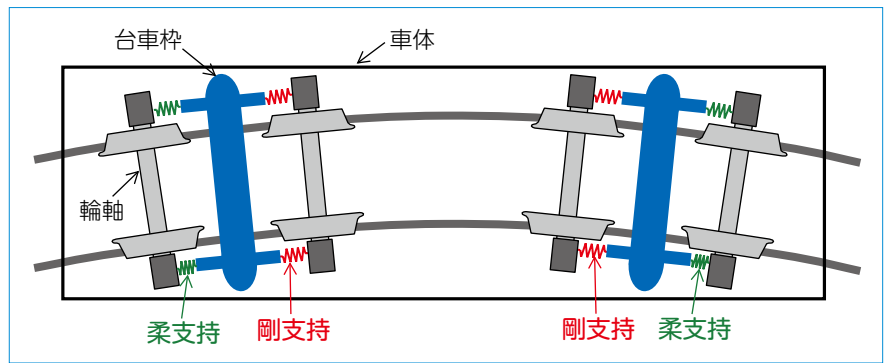


図1 自己操舵台車 (383系特急電車) の模式図

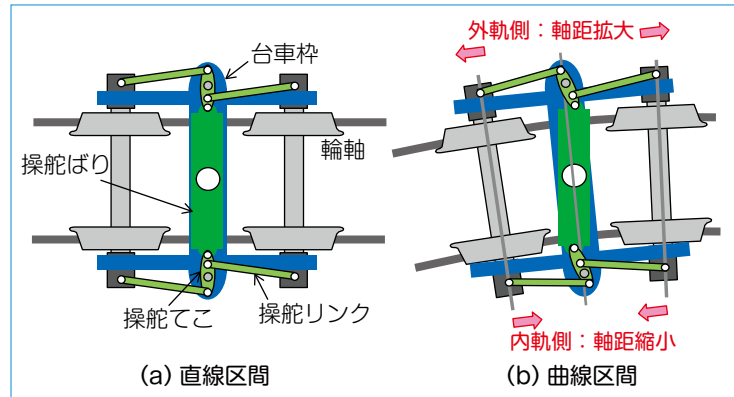


図2 ボギー角連動操舵台車 (283系特急気動車) の模式図

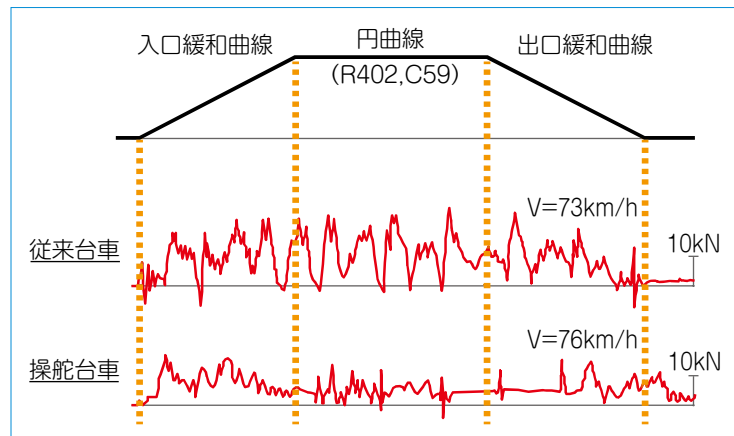


図3 外軌横圧波形例

ることで、操舵性能を向上させるとともに、高速走行安定性を維持しています。次に札幌-釧路間などを走行している283系特急気動車に使用されている台車は、ボギー角連動操舵台車と呼ばれています。この台車は、曲線通過時に生じる車体-台車間の相対ヨー角であるボギー角を利用し、アタック角を小さくします。この台車の模式図を図2に示しますが、台車枠と操舵ばり

間に生じるボギー角に輪軸が連動するように操舵リンクと操舵てこを構成することで、曲線通過時の台車旋回によって外軌側軸距を拡大し、内軌側軸距を縮小する構造になっています。過去に実施した走行試験結果より曲線通過時の従来台車と操舵台車の外軌横圧波形例を図3に示します<sup>2)</sup>。従来台車に比べて操舵台車は、円曲線区間において大幅に横圧を低減できています。

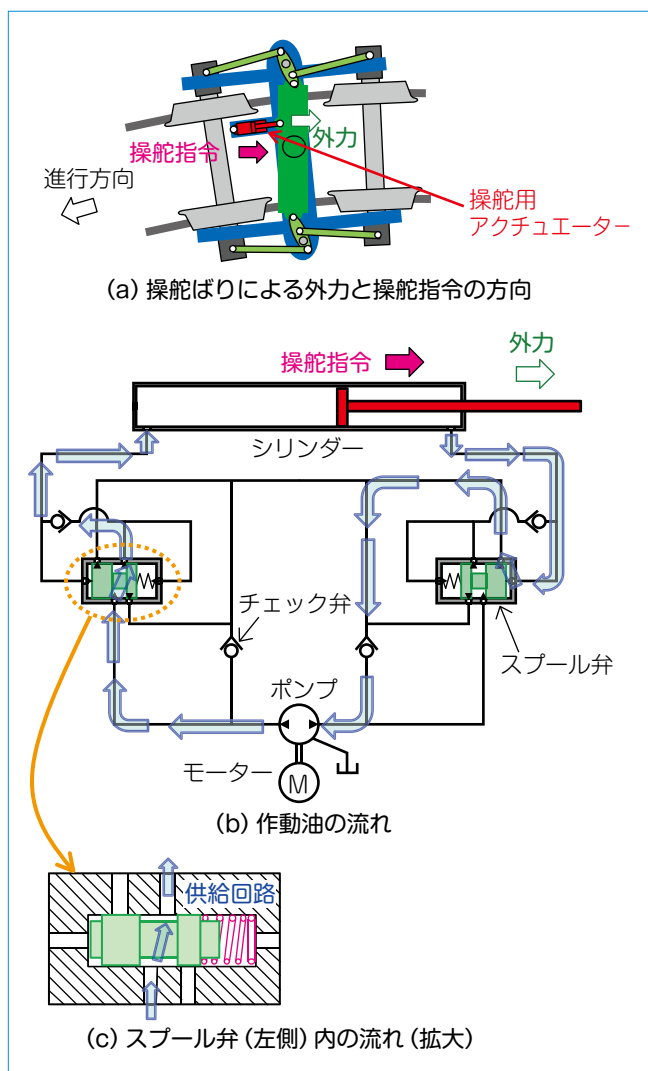


図4 通常制御時の動作メカニズム

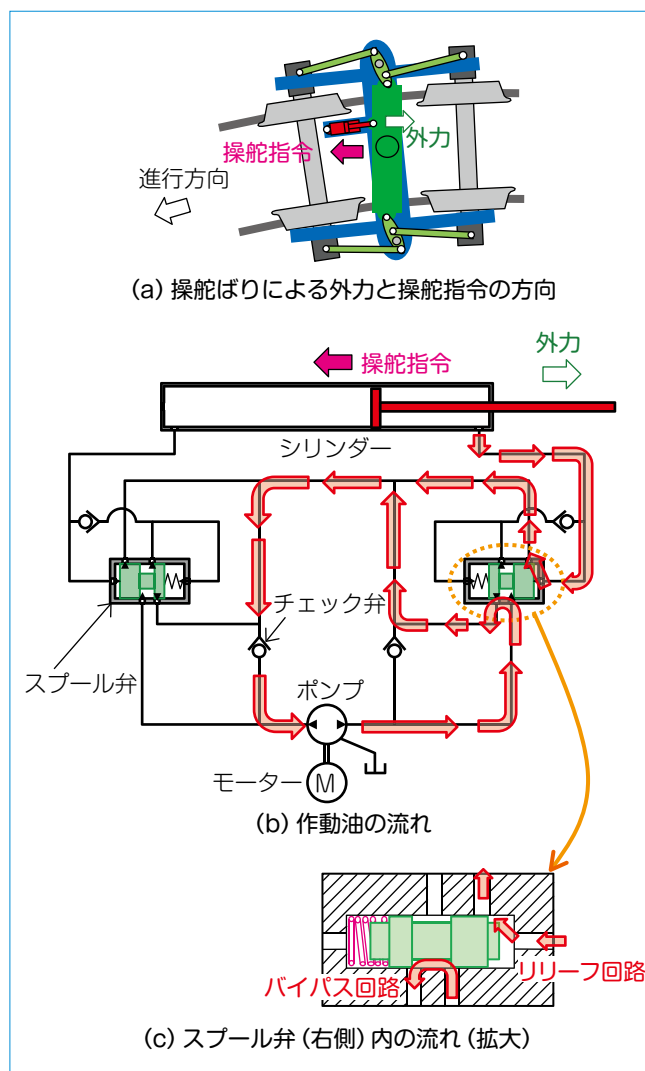


図5 異常制御 (フェール) 時の動作メカニズム

しかし、今後のさらなる曲線通過速度の向上を見据えると、緩和曲線区間における横圧が問題になることが懸念されます。そこで鉄道総研では、台車枠と操舵ばりの間に設置したアクチュエーターに指令を与え、緩和曲線区間で操舵力を発生させることにより横圧を低減する操舵システム<sup>3)</sup>を開発しました。

### 異常時も安全な構造

開発した操舵システムでは、台車が曲線でスムーズに旋回する方向に力を与えますが、間違っ逆方向に操舵アクチュエーターが動いてしまうと台車の旋回を阻害してしまいます。操舵アクチュエーターが発生する力は、台車

が旋回する力に比べて小さいため、曲線とは逆方向に台車が向くことはありませんが、そのようなフェール状態は走行安全上好ましくないため避けなければなりません。そこで機械的にフェール状態を回避できる方法を考案しました。

この方法では、2つのスプール弁と4つのチェック弁で構成される簡単な構造の油圧回路を操舵用電動油圧アクチュエーターの内部に追加することで、フェール状態における操舵力の付与を防止することができます(☞参照)。この油圧回路を「フェールセーフ油圧回路」と呼ぶことにします。

まず正常時の動作メカニズムを図4

に示します。曲線通過時に発生するボギー角により、操舵ばりに引っ張られてシリンダーのピストンは右側に変位します。これと同時に操舵指令により

#### ☞ スプール弁

スプールと呼ばれる串形状の弁体が、円筒内を軸方向に移動して流路を開閉します。

#### ☞ チェック弁

逆流を防止し、一方方向にのみ流体を通過させます。

#### ☞ 電動油圧アクチュエーター

油圧シリンダー・ポンプ・モーターが一体となっており、外部との油圧配管接続がないため、メンテナンス性に優れています。

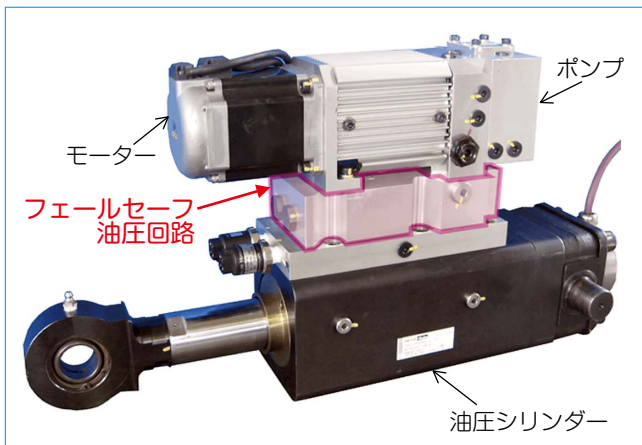


図6 フェールセーフ油圧回路を内蔵した操舵用電動油圧アクチュエーターの外観

シリンダー左側を加圧することでピストンを右側に変位させようとする場合、ポンプから供給される作動油は、フェールセーフ油圧回路を經由してシリンダー左側へ導入され、操舵ばりの旋回動作をアシストする力を発生します。

これに対してフェール時の動作メカニズムを図5に示します。正常時と同様に操舵ばりに引っ張られてシリンダーのピストンは右側に変位します。これと同時に間違った操舵指令によりシリンダー右側を加圧することでピストンを左側に変位させようとする場合、逆方向の作動油の流れが発生することでシリンダーの右側の圧力が上昇します。圧力が高くなるとスプール弁内のばねが押し縮められて、シリンダー右側の作動油を逃がすリリーフ回路がスプール弁で構成されます。同時にスプール弁ではバイパス回路が構成され、ポンプから供給される作動油は右側のスプール弁を經由してポンプ低圧側へと流れ、シリンダーの右側には供給されません。そのため間違った操舵指令が入りポンプが動作しても、フェールセーフ油圧回路が曲線方向に応じて機械的に動作し、操舵ばりの旋回動作を阻害する力は発生しません。

なお、フェールセーフ油圧回路は左右が同じ構造であるため、さきほどの

動作メカニズム例の方向が逆転しても同様の動作をします。

この動作メカニズムを検証する基本的な性能確認試験と油圧回路シミュレーション結果に基づいて、実際に操舵用電動油圧アクチュエーターに組込可能なフェールセーフ油圧回路を製作しました。図6にフェールセーフ油圧回路を内蔵した操舵用電動油圧アクチュエーターの外観を示します。

### 所内走行試験による性能検証

フェールセーフ油圧回路内蔵の操舵用アクチュエーターを備えたボギー角運動操舵台車を用いて所内走行試験を実施しました。走行試験においては、前台車が操舵台車、後台車がボルスタレス台車である試験車両をディーゼル機関車でけん引し、試験曲線(曲線半径100m, カント90mm)を走行速度20km/h程度で通過しました。なお走行地点情報を用いて緩和曲線区間のみ操舵制御を行いました。

付与した操舵力と入口緩和曲線における外軌横圧平均値の関係を図7に示します。通常時である操舵制御時は操舵力に応じて外軌横圧平均値を低減できています。そして、フェール時を想定した逆操舵制御時は、以前は操舵力に比例し外軌横圧平均値は増加してい

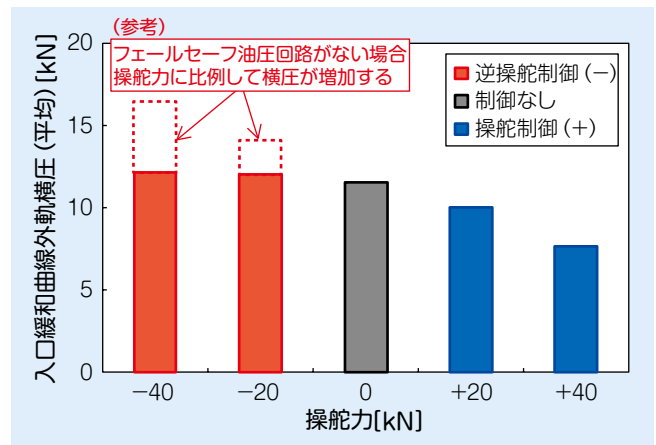


図7 操舵力と外軌横圧平均値の関係

ましたが、フェールセーフ油圧回路を装備することで操舵力が増加しても、外軌横圧平均値はほとんど増加しておらず、実車両においてフェールセーフ性をもった操舵システムの有効性が確認できました。

### おわりに

在来線車両の曲線通過速度を向上させる技術について、操舵台車に焦点を置き、さらなる速度向上を見据えて鉄道総研で開発した技術についても紹介しました。操舵台車は、曲線通過速度を向上するためだけの技術ではなく、急曲線における横圧低減など、曲線が多い線区にとってはとても有効であり、常に求められる技術です。今後も操舵台車の普及に向けて、要素技術の研究開発を進めていく予定です。RRR

### 文献

- 1) 風戸昭人：振り車両の乗り物酔い解消を目指して、RRR, Vol.68, No.10, pp.2-5, 2011
- 2) 小林秀之，他：特急気動車用操舵付き振り台車の主な走行試験結果，鉄道総研報告, Vol.11, No.4, pp.25-30, 1997
- 3) 梅原康宏，鴨下庄吾，他：フェールセーフ機能を備えた操舵用電動油圧アクチュエーターの開発，鉄道総研報告, Vol.27, No.12, pp.11-16, 2013