

- 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

# 曲線中の走行位置にあわせた車体傾斜で乗り心地を向上する

車体傾斜車両は、車体を曲線の内側に傾けて、乗客が感じる遠心力を緩和します。これにより、曲線を高速に通過することで速達性に寄与しています。一方で、良好な乗り心地を実現するために、曲線に沿って正確な位置で車体を傾けることが重要です。そのために車両には走行位置を検出するシステムが搭載されていますが、システムの保守や特定の条件での走行位置の検出失敗という課題があります。鉄道総研では、これらを解決する新しい検出手法の開発に取り組んでいます。ここでは、既存の手法と比較しながら、新しい検出手法の概要を紹介します。

## はじめに

山間部など曲線区間の多い路線を中心に、制御付自然振子方式や空気ばね車体傾斜方式（☞参照）といった車体傾斜車両が広く導入されています。

図1は在来線の車体傾斜車両の例と運用されている路線を表しています。この車体傾斜車両は、車体を曲線の内側に傾けて、乗客が感じる遠心力を緩和します。これにより、曲線を高速に通過することを可能にしています。

一方で、実際の曲線の位置にあわせて車体を傾けなければ、乗り心地の低下や乗り物酔いの原因となります。そのため、車両に記憶させた曲線データと車両が検出した走行位置を照合し、曲線にあわせて適切に車体を傾けています。

### ☞ 制御付自然振子方式

台車に振子ばりを設け、車体にかかる超過遠心力と空気圧シリンダーの作用で車体を傾けます。

### ☞ 空気ばね車体傾斜方式

空気ばねの高さを制御して車体を傾けます。



**原田 康平**  
Kohei Harada  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
研究員  
[専門分野] 車体傾斜技術



**真木 康隆**  
Yasutaka Maki  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
主任研究員(上級)  
[専門分野] 車体傾斜技術



**石栗 航太郎**  
Kotaro Ishiguri  
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] 車体傾斜技術、台車構造



**風戸 昭人**  
Akihito Kazato  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
主任研究員(上級)  
[専門分野] 車体傾斜技術、制御技術



図1 車体傾斜車両の例と運行路線(新幹線除く)

在来線の多くの車体傾斜車両では、車輪の回転数から計算した移動距離を走行位置として用います。さらに自動列車停止装置（ATS）などの地上子と車両に搭載したデータベースを照合して走行位置を補正しています。この方式は高精度に走行位置を特定できますが、データベースの管理の負担が大きく、条件によっては位置検出に失敗するという課題があります。

カーナビゲーションシステムや携帯電話などではGPS（全地球測位システム）が使用されています。しかし、トンネルの多い山岳区間で運転されることが多い車体傾斜車両では、電波の受信条件が悪く、GPSの活用が難しいのが実情です。

ところで、列車はレールに沿って移動しますが、レールが敷設されている路線の形状は大規模な工事をしない限り変化することはありません。そこで、あらかじめ曲線の敷設状況を表す線路曲率を路線の形状として車両に記憶させ、走行中に測定した路線の形状と照合すれば、列車の走行位置がわかります。この方法では曲線を通る度に補正を行えるため、曲線の多い区間を走行する車体傾斜車両の制御に適していると考えられます。

### 地上子を利用した位置検出とその課題

従来から使用されている地上子を利用した位置検出方法について、図2の例をもとに説明します。まず、走行する路線に設置された地上子のうち、補正に適した地上子を基準地上子として選び、基準地上子どうしの設置間隔の情報を地上子データベースとして車両に記憶させます。走行中は、車輪の回転数から移動距離を求め、走行位置とします。基準地上子と次の基準地上子との間にある地上子は無視します

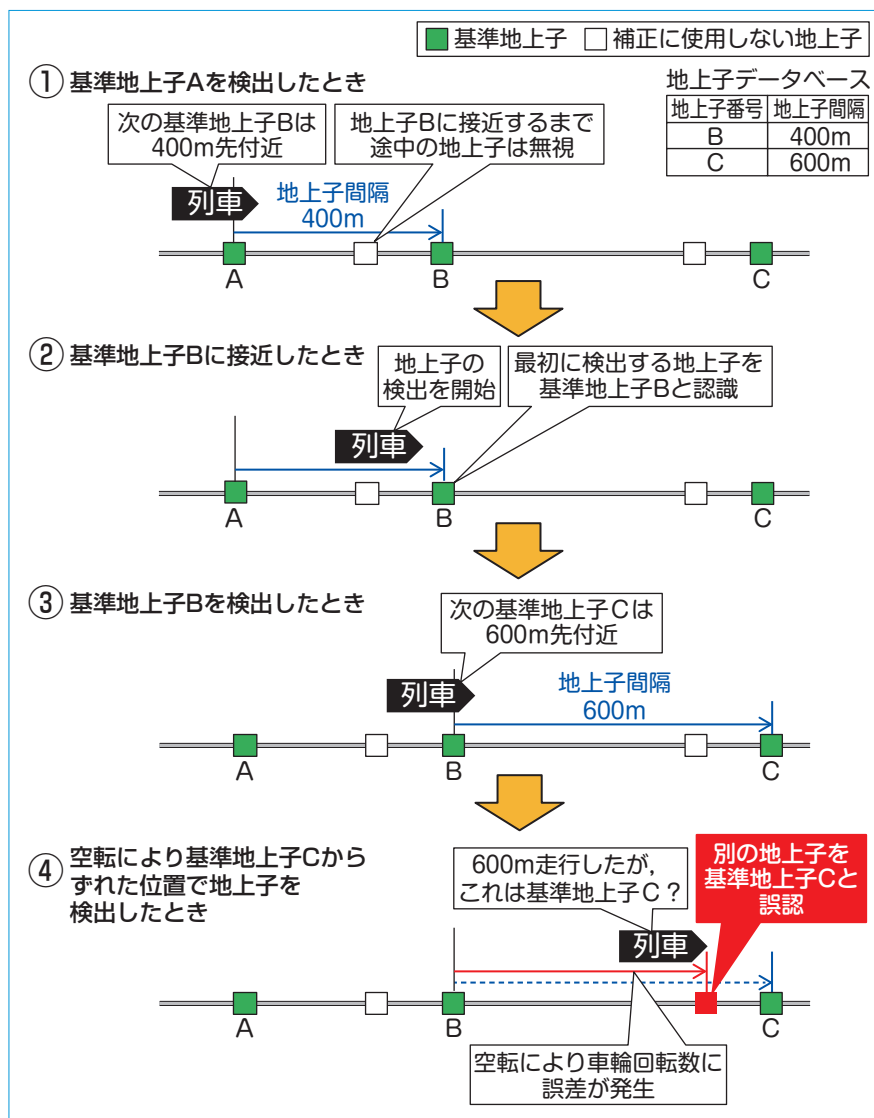


図2 地上子を利用した位置検出方法と、検出失敗の例

(図2①)。次の基準地上子に接近したとき(図2②)、地上子の検出を再開します。このときに検出した地上子を次の基準地上子と認識し、車両が認識する走行位置を補正します(図2③)。

車両には曲線データベースも搭載しており、曲線の位置を基準地上子からの距離として紐付けています。

この方法では、次のような原因により基準地上子を検出できず、位置検出失敗となる場合があります。

#### 空転・滑走による影響

空転や滑走が発生したとき、車輪の回転数から求める移動距離が、実際の移動距離に対して増減するため、車両が認識する走行位置も実際の位置から

変動します。このとき、本来の基準地上子の位置から外れた場所で地上子を検出しようとするため、地上子を検出できない場合や、図2④のように別の地上子を基準地上子と取り違える場合があります。

#### 地上子の移設の影響

本来、ATS地上子は列車を安全に止めるための装置であるため、安全性向上のためや、設備上の都合により移設、増設されることがあります。場合によっては地上子データベースを更新するまでの間、地上子を検出できなくなります。

#### 番線の違いによる影響

同じ進行方向に複数の番線がある駅では、それぞれの番線で違う位置に地

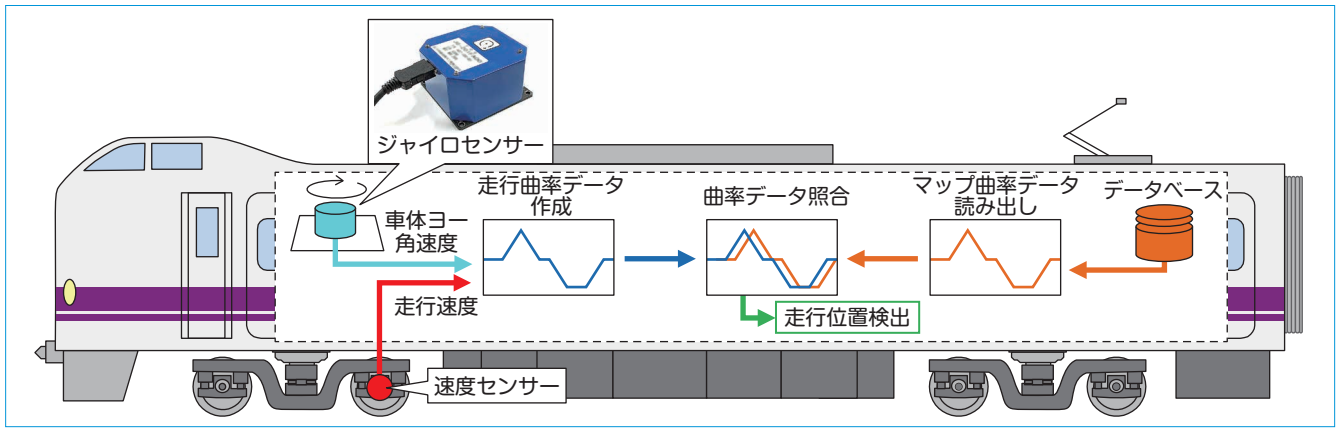


図3 線路曲率を利用した位置検出の流れ

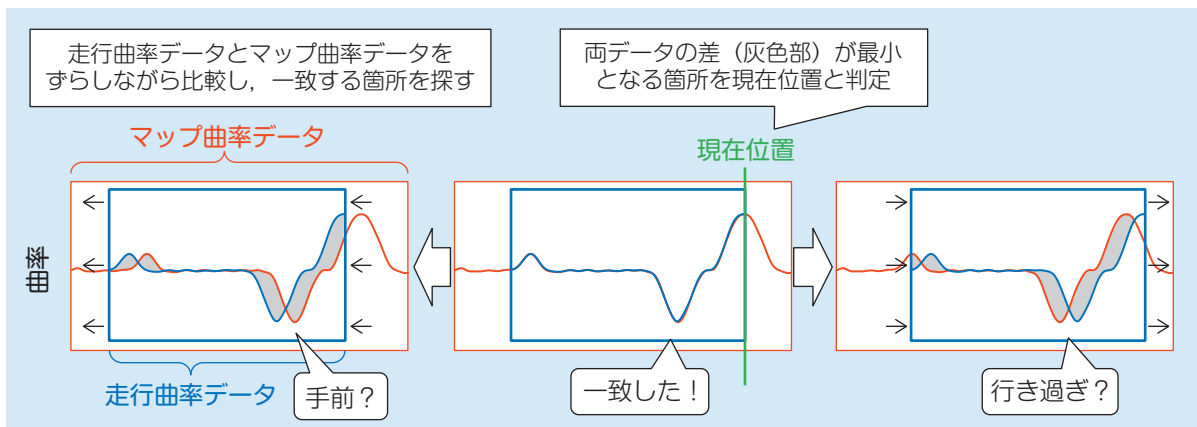


図4 曲率データの照合方法

上子が設置される場合があります。また、駅構内には他の場所と比較して多数の地上子が設置されています。このため、近くの地上子を基準地上子と取り違えて検出するという事例も多くなっています。

位置検出失敗の頻度を抑えるため、数多くの地上子の中から適切な基準地上子を選び出し、管理を行うのは非常に負担が大きい作業です。できるだけ位置検出失敗を起こさず、かつ人によるデータ管理の負担を軽減する方法が求められています。そこで、鉄道総研ではこれらの改善のために、線路曲率を利用した位置検出方法を開発しました。

車体ヨー角速度

上下方向を軸とした、地面に対する車体の回転速度です。車両にジャイロセンサーを搭載し、測定します。

線路曲率を利用した位置検出

検出方法の概要

線路曲率とは曲線半径の逆数に相当し、路線の形状を表します。走行中に測定した車体ヨー角速度(☞参照)と走行速度により求められます。

図3は線路曲率を利用した位置検出システムの構成を表しています。あらかじめ、走行する路線全体の線路曲率を測定し、マップ曲率データとして車両のデータベースに記憶させておきます。走行時も線路曲率を測定し、走行曲率データを作成すると同時に、データベースから現在地周辺のマップ曲率データを読み出します。そして、図4のように走行曲率データをずらしながらマップ曲率データに重ねていき、一致する箇所を探します。もし一致する箇所が見つければ、その箇所が現在位置であるとわかります。線路曲率を利用

した方法にもいくつか課題があります。その課題と解決法を紹介します。

課題1: 線路曲率波形の変化

走行中の車両で測定される線路曲率は、車両の動揺や、軌道変位とよばれる線路上のゆがみにより変化し、位置検出の精度にも影響します。

そこで、線路曲率波形に対して路線の本来の形状を表す部分だけを取り出すようなフィルター処理を行うことにしました(図5)。これにより、走行条件や経年によらず一定の線路曲率波形が得られ、車両に搭載するデータの更新が長期間にわたって不要となりました。

課題2: 長い直線区間の影響

線路曲率を利用した方法では、線路曲率が変化しない区間が長く続くと、正しく補正することができません。図6は列車が長い直線区間に進入した

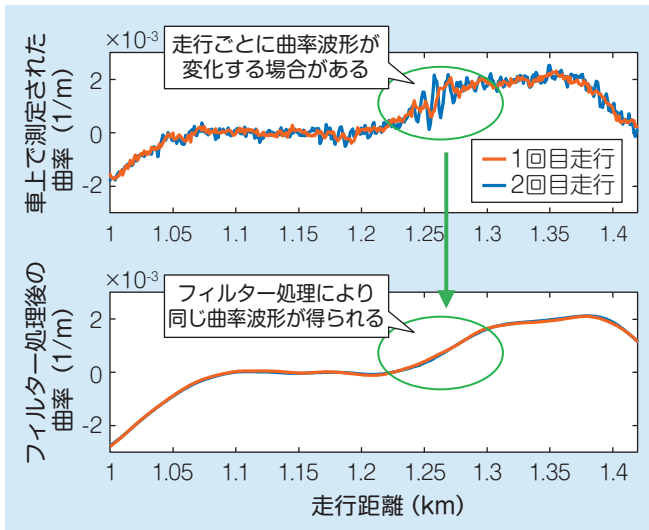


図5 曲率データのフィルター処理

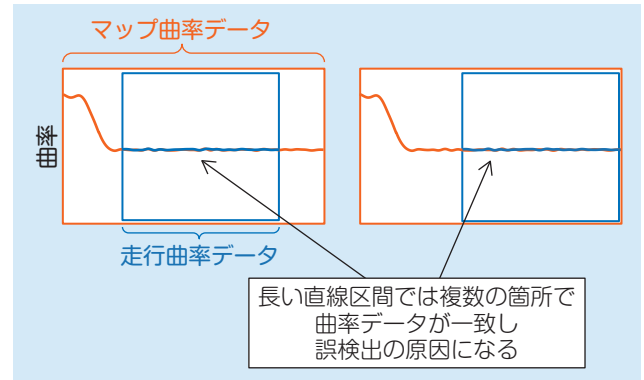


図6 長い直線区間における課題

ときの曲率データの例を表しています。このような長い直線区間に入ったと判断したときは補正を行わないようにしました。

### 課題3: 番線の違いによる影響

同じ進行方向に複数の番線がある駅へ進入するときにも課題があります。図7 (a) はそのような条件である駅の配線略図を示しています。双方の番線に進入したときの線路曲率波形を重ねると、図7 (b) のようになります。2番線に進入するとき、分岐器を通過するため、その部分の曲率が大きく変化していることがわかります。このように、マップ曲率データと異なる番線に進入した際に、別の場所を現在の走行位置と誤判定する可能性があります。この問題を防ぐためには、マップ曲率データと異なる進路に進入したことを検出する仕組みが必要です。マップ曲率データと走行曲率データを比較し、差の面積(図7 (b) の黄色部分)が一定値を上回ったときに、マップ曲率データとは異なる番線に進入したと判断するようにしました。

### データ管理方法

線路曲率による位置検出方法では、車両に搭載するデータの管理もより簡便になります。地上子による方法では、

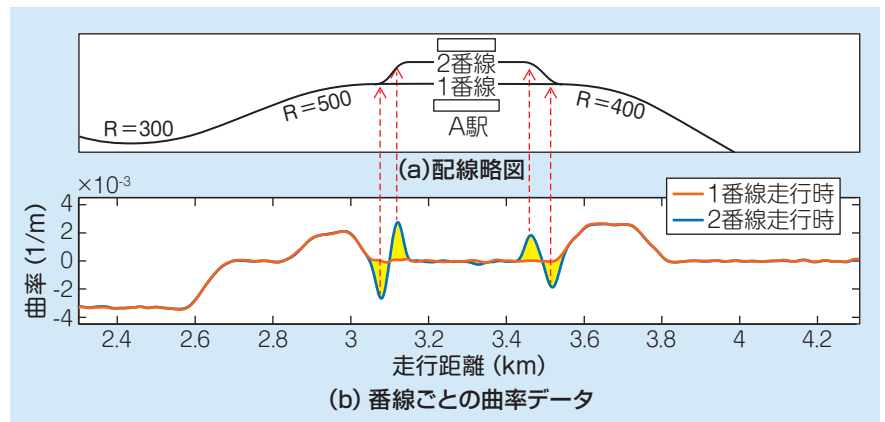


図7 異なる番線に進入したときの曲率データへの影響

膨大な数の地上子の中から適切な基準地上子を選定しつつ、曲線との位置関係を入力しなければなりません。しかし、線路曲率による方法では、走行中に測定した曲率データ自体が曲線の位置を表しているため、位置検出だけでなく車体傾斜角の制御にも利用できます。

### 走行試験による性能評価

本システムの目的である、実際の曲線の位置にあわせて車体を傾けるためには、高い精度で走行位置を検出する必要があります。性能評価のため、車体傾斜車両が実際に営業走行している区間において、試験車両に本システムの試作機を搭載し、走行試験を実施し

ました。その結果、現状の車体傾斜車両で標準的な地点検出許容誤差が10m程度であるのに対し、本システムでは2m以内にできることを確認しました。また、滑走や空転が発生した場合でも速やかに走行位置を補正できることを確認しました。

### まとめ

線路曲率による位置検出方法と、走行試験結果について紹介しました。既存の地上子を利用した位置検出方法の課題を克服し、データ管理が容易で、十分な位置検出精度が得られることを確認しました。実用化を目指して開発を進めていく予定です。[RRR]