

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：82655

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14113

研究課題名（和文）鉄道車両の運動解析を活用した軌間拡大箇所の効率的な検出手法の研究

研究課題名（英文）Study in efficient detection method of gauge widening utilizing dynamics simulations of rail vehicles

研究代表者

一柳 洋輔 (Ichiyangi, Yosuke)

独立行政法人交通安全環境研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：60887529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：鉄道車両の運動シミュレーション、営業車両で測定した車体の動揺、軌道の検測データをもとに、軌間変位（左右のレールの間隔のずれ）を含む軌道のゆがみ（軌道変位）と車体振動加速度等の関係を整理した。整理した関係にもとづき、営業運転中の車両内で比較的容易に測定可能な車体の振動加速度をもとに軌間変位が拡大している可能性のある曲線部を路線内から効率的に抽出する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄道の軌間変位と車体動揺との関係は複雑であるが、両者の関係について車両運動シミュレーションや実測データを用いて多くの事例を収集したことで、車体動揺メカニズム解明のための有用な知見を得た。営業車両で低コストかつ高頻度に車体動揺を把握すれば、本研究課題の提案手法によって日々の営業列車による計測から軌間変位が拡大している可能性のある箇所を効率的に特定でき、鉄道の走行安全性の維持に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：Relationship between the gauge widening of railway track and the car-body acceleration is analyzed based on the dynamics simulations of rail vehicles, the measured car-body acceleration, and the track inspections. Based on the relationship, a method for efficiently extracting curved sections with large gauge widening from entire service line based on the car-body acceleration, which can be relatively easily measured inside the train during commercial operations.

研究分野：鉄道工学

キーワード：鉄道 軌道変位 車体振動 軌間拡大 車両運動シミュレーション

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

鉄道のレールは車両がその上を通過する度に繰り返し荷重を受け、図1のようなゆがみ（軌道変位）が発生する。定期的な軌道変位の計測として、専用車両「軌道検測車」によるものや、寸法計測器具で係員が計測する方法がある。近年では営業車両を用いて日常的に軌道状態を監視する手法が提案されている<sup>[1]</sup>。軌道の通り変位と高低変位（図1）は車体の動揺との関係が強いことから、容易に計測が可能な車体動揺をもとに通り変位と高低変位の状態を推定する手法は提案されている。しかし軌間変位から車体動揺への振動伝達メカニズムは複雑であり、軌間変位の推定手法は明らかでない。

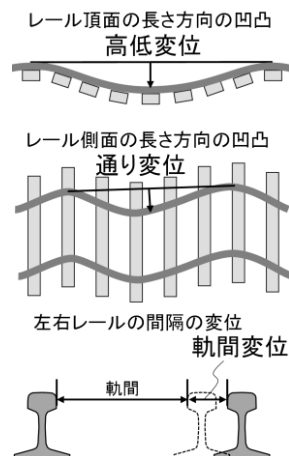


図1 軌道変位の例

### 2. 研究の目的

軌間変位を含む各種軌道変位と、車体で計測する振動加速度や角速度の関係について、実際の鉄道路線における測定データや車両運動シミュレーションを活用して明らかにする。安価で構成が簡易なセンサを営業車両内に設置して車体の振動加速度や角速度を日々計測し、それをもとに軌間変位が拡大している可能性のある箇所を効率的に特定する方法を構築する。

### 3. 研究の方法

車両運動シミュレーションや実車における測定データ等にもとづき以下の手順で検討した。

#### (1) シミュレーションによる軌道変位と車体動揺の関係分析

軌間変位を含む軌道変位が存在する軌道上を車両が走行すると、車両運動にどのような影響があるかを整理する（図2上段）。車輪・レール接触解析等の複雑な計算を容易に実行可能な、鉄道の運動解析に特化したモジュールを有する汎用シミュレーションツール Simpack を活用する。車両が直線軌道を走行する場合や、曲線区間を走行する場合、またその曲率半径の大小などの軌道の設計値に加え、各種軌道変位（軌間、水準、高低、通り及び平面性）が存在する軌道モデルを作成し、その上を車両モデルを走行させる。軌道変位通過時に車体において発生する振動加速度及び角速度を計算し、軌道変位との関係を定量的に把握する。

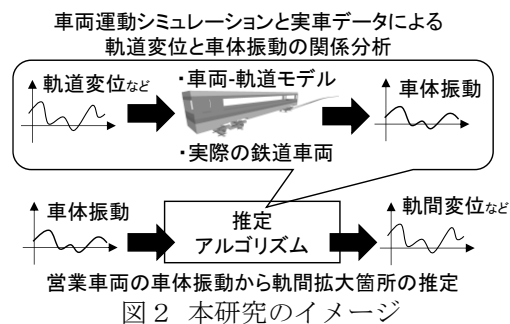


図2 本研究のイメージ

#### (2) 実測データによる軌道変位と車体動揺の関係分析

軌道検測車を用いた軌道変位の計測が定期的に行われている鉄道路線において、慣性センサを営業車両に設置し車体の振動加速度と角速度の計測を実施する。これら車体動揺のデータと軌道検測車による軌間変位量の実測データを比較し、軌間変位と車体動揺の関係を把握する。

#### (3) 軌間拡大箇所推定アルゴリズムの構築と妥当性確認

上記車両運動シミュレーションや実測データの分析から得た関係をもとに、営業路線内のどの場所で軌間変位が大きい可能性があるかを営業車両の車体動揺の計測値にもとづいて推定する方法を構築する（図2下段）。上記手法で検出した箇所については、実際に現場においてレールに載荷する試験<sup>[2]</sup>を実施し軌間拡大量を測定することで推定方法の妥当性を確認する。

### 4. 研究成果

#### (1) シミュレーションによる軌道変位と車体動揺の関係分析

図3のような車両運動モデルを構築した。軌道変位の条件を様々に変更し、約2万通りのシミュレーションを実施した。一例として半径300 mの曲線部において、図4最上段に示すようにスラック10 mmに加え静的に最大25 mmの軌間変位（外軌側に15 mmの通り変位、内軌側に10 mmの通り変位（“内軌拡大”））を有する箇所を車両が通過した際の、車体振動加速度等の計算結果を図4に示す。軌間変位は車体の上下と左右の加速度及びロールとヨーの角速度に影響する。内軌側のレール左右変位を0 mmへ変更した場合（“内軌拡大無”）の結果は、前述の25 mmの

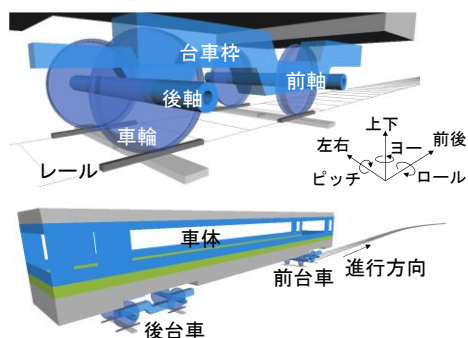


図3 構築したモデルの外観

軌間変位の場合と差が認められず、内軌の変位状態に関わらず外軌側の影響が大きいことが確認できる。但し、車体の振動加速度等は軌間変位の他高低変位や通り変位の影響を大きく受けるため、高低変位や通り変位が存在する軌道では車体の動揺から軌間変位のみの影響を定量的に推定することは難しいことを確認した。

## (2) 実測データによる軌道変位と車体動揺の関係分析

軌間拡大は急曲線部等で比較的大きな横圧(まくらぎ方向の力)がレールに作用する一方で、木まくらぎの劣化などによりレール締結力が低下することで発生しやすいため、軌間変位の増加に加えて高低変位も増加する場合があると考え、軌間変位と高低変位及び上下加速度の関係をもとに検討を進めた。地方鉄道路線実際に測定された軌間変位と高低変位の関係を調査したところ、半径300mの曲線部に着目すると、当該路線では概ね高低変位の大きい曲線部では軌間変位も大きい傾向を確認した。また、高低変位の大きい箇所では車体の上下加速度も大きい傾向にある。

図5は曲線部における軌道検測車による軌間変位の波形と、軌間検測日と同時期に営業車両で車体上下加速度を測定した結果の一例である。曲線部の波形から円曲線内の最大値を求め、当該路線のほかの曲線部を含め両者の関係を求めた結果(図6)、車体上下加速度の最大値が大きい曲線部では軌間変位の検測結果の最大値も大きい傾向が認められた。

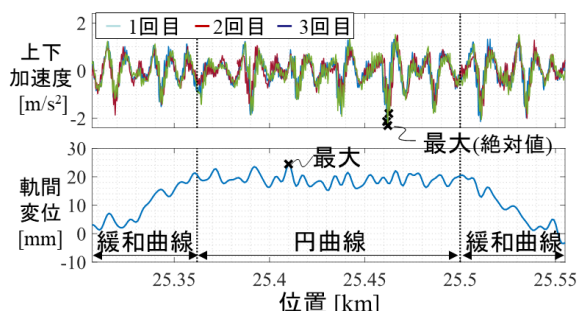


図5 車体上下加速度と軌間変位の例

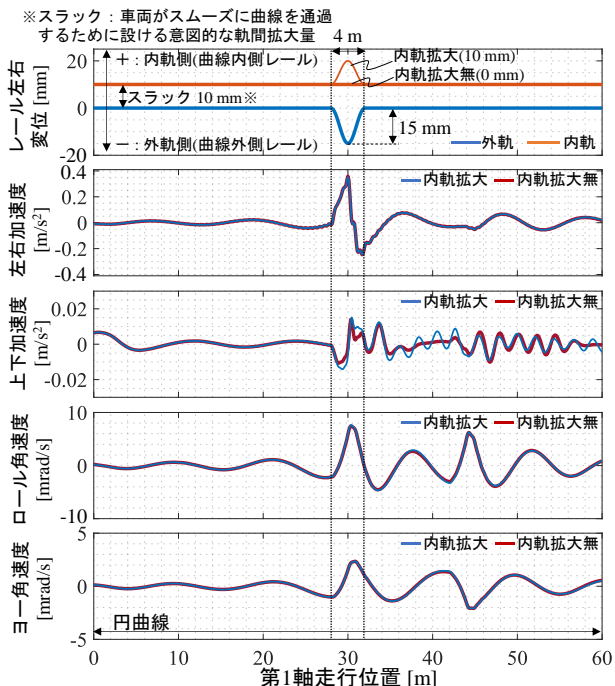


図4 曲線部軌間拡大箇所通過時の運動解析結果

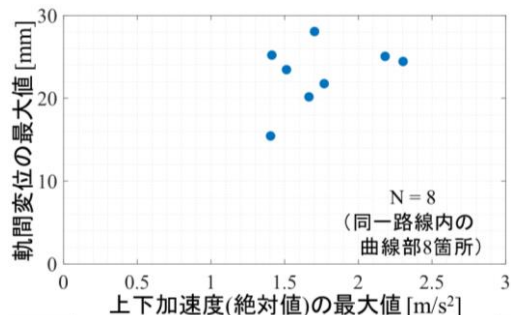


図6 軌間変位と車体上下加速度の関係

## (3) 軌間拡大箇所推定アルゴリズムの構築と妥当性確認

以上の検討から、車体の上下加速度のデータを曲線部ごとに整理することで、路線内に多数ある曲線部から、軌間拡大箇所を有すると思われる曲線部を抽出する方法を提案した。上記手法で検出した曲線部を観察すると、まくらぎの劣化がみられた。またレールに横圧を載荷する実験を実施した結果、横圧を受けると軌間が動的に拡大しやすい箇所であることを確認した。

本研究課題は営業車両で比較的容易に日々測定可能な車体の動揺を活用するものである。高頻度な測定で軌道検測車による年に数回の軌道検測を補完することで、軌間変位の成長を含む軌道の劣化を早期に検知できる。これは軌間拡大による脱線事故を未然に防ぎ、鉄道の走行安全性の維持に寄与する技術となる。また軌道検測車を所持せず寸法計測器具によって軌道の状態を計測する地方鉄道等では、車両の荷重が作用していない静的な状態でのレール変位をもとに管理しているが、本研究課題で提案する手法に則り営業車両によって低コストにかつ高頻度に軌道の劣化を把握できれば、高価な軌道検測車等を使用せずに日々の営業列車での計測から軌間変位が拡大している可能性のある箇所を効率的に特定できるようになる。

以上の成果について整理したものを所属機関の研究発表会にて講演し、聴講者との議論を通じて今後の課題を整理することができた。

- [1] 篠田 憲幸ほか, “携帯情報端末を用いた営業列車振動データにもとづく軌道管理手法”, 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 911 (2022)
- [2] 緒方 正剛, 佐藤 安弘, “レール横圧載荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2019, pp. 3-6 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

柳洋輔、緒方正剛、佐藤安弘、篠田憲幸、地方鉄道における軌間拡大リスクの評価の効率化に関する検討、交通安全環境研究所フォーラム2022

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------