

# 転てつ装置設計のための シミュレーション技術

信号・情報技術研究部 信号システム研究室

副主任研究員 潮見 俊輔



Railway Technical Research Institute

## 本発表の要旨

転換鎖錠装置の設計業務にご利用頂けることを目指して  
開発を行っているシミュレーション技術を紹介いたします

### 発表内容

- 開発の背景と目的
- 転てつ機設計のためのシミュレーション技術
  - ✓ 転換鎖錠装置の動作シミュレーション  
対象: 転換力・転換負荷の伝達効率の評価
  - ✓ 転換システム全体(分岐器含む)のシミュレーション  
対象: 転換負荷, 密着力, 異物検知性能の推定



Railway Technical Research Institute

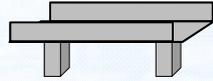
# 開発の背景と目的



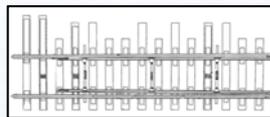
Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の設計のプロセス

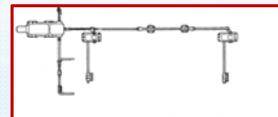
転換鎖錠装置の設計：構造物、分岐器等の設計が先行している事例が多い(変更は難しい)



土木構造物の設計



分岐器の設計



転換鎖錠装置の設計

Time →

### 設計項目

- ✓ どのような構成とするか  
(電気転てつ機の種類, エスケープクランクの種類, 数など)
- ✓ 物理的配置をどうするか  
(リンク類の配置, スイッチアジャスタの配置位置など)
- ✓ 機械として成立するか(耐久性が期待できるか)

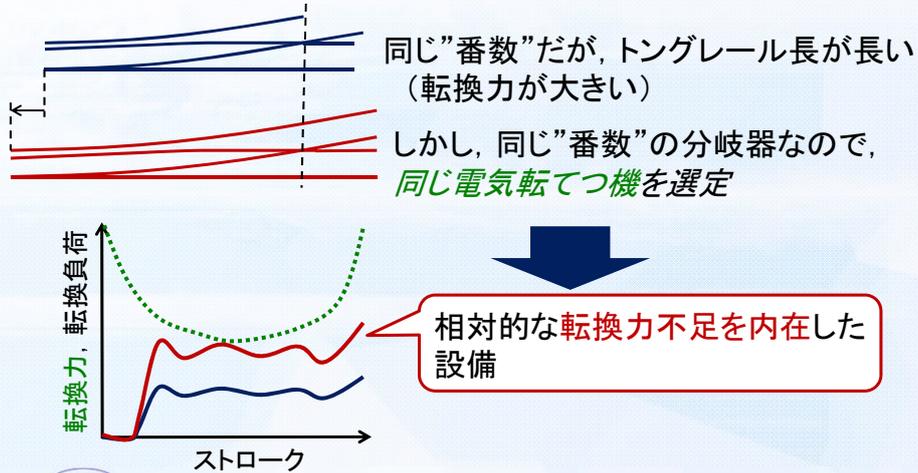


Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の設計とその影響

転換鎖錠装置の設計失敗 → 保守によるカバーはできない

- ✓ 電気転てつ機選定の失敗

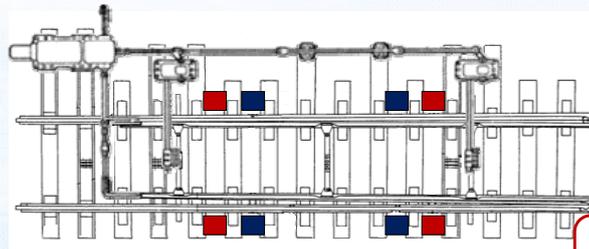


Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の設計とその影響

転換鎖錠装置の設計失敗 → 保守によるカバーはできない

- ✓ 回路制御器(接着照査形)の設置位置の選定失敗



異物検知範囲	鎖錠かん	CC1	CC2	評価
配置 ■	←→	←→	←→	×
配置 ■	←→	←→	←→	○

検知できない  
区間有

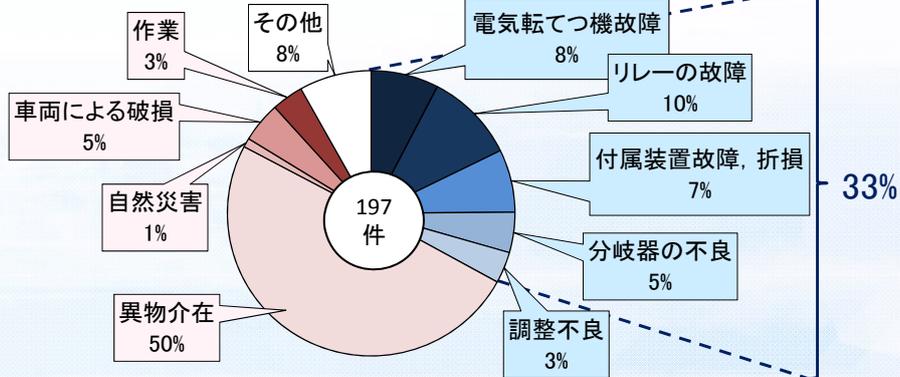
設計に起因する障害の対策 = 施工前の検討, 検証の実施



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置に関する運転事故等

1993～2007 運転事故等届出書で報告のあったもの



鉄道総合技術研究所 鉄道安全データベースより引用

異物介在等の外部要因以外、  
33%の障害は、適切な設計で減らせる可能性がある

**設計段階で十分な検討を行う、行えることが重要**



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の評価方法

### ① 実物を用いた評価 (これまでの手法)

分岐器, 転換鎖錠装置を工場内, もしくは現場に敷設して実施

#### 評価試験の一例(先行して敷設)



#### 評価項目

- 転換負荷
- 異物検知性能
- 異物挟み込み時応力
- 列車通過時の各部状態 (応力, 変位, 加速度等)



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の評価方法

### ① 実物を用いた評価 (これまでの手法)

分岐器, 転換鎖錠装置を工場内, もしくは現場に敷設して実施

#### 利点:

- 現物で評価するため, 結果の信憑性は高い
- 車両走行などの動的な影響を評価できる
- 測定を通じて, 評価項目以外の課題を確認する場合もある

#### 課題:

- 実施のコスト, 時間を必要とする(現物の手配, 仮設, 測定)
- 試験結果に基づいて全面的に手直しできる場合は少ない  
→設計の結果を最終的に確認を行う意味合いが強い

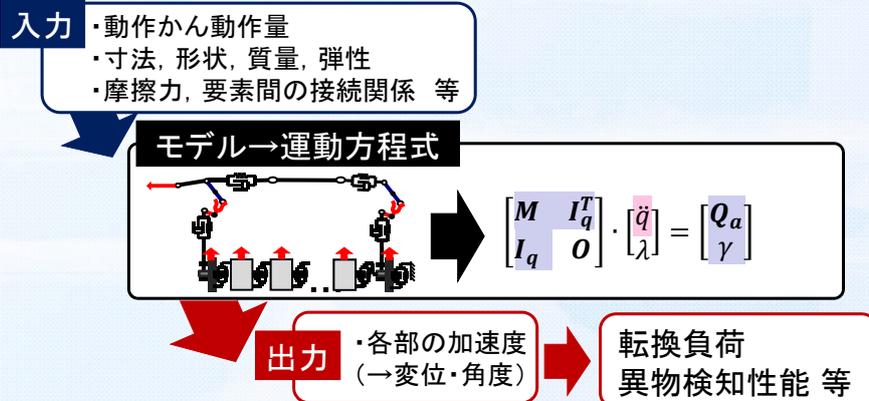


Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の評価方法

### ② シミュレーション技術を用いた評価 (提案する手法)

設計段階で得られるパラメータ(用品・設備の種類, 位置, 寸法)を入力として, モデル化した転換鎖錠装置の振る舞いから評価する



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の評価方法

### ② シミュレーション技術を用いた評価 (提案する手法)

設計段階で得られるパラメータ(用品・設備の種類, 位置, 寸法)を入力として, モデル化した転換鎖錠装置の振る舞いから評価する

#### 実物試験の評価項目

- 転換負荷
- 異物検知性能
- 異物挟み込み時応力
- 列車通過時の各部状態 (応力, 変位, 加速度等)

シミュレーションによる評価の  
現在の取り組み対象



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の評価方法

### ② シミュレーション技術を用いた評価 (提案する手法)

設計段階で得られるパラメータ(用品・設備の種類, 位置, 寸法)を入力として, モデル化した転換鎖錠装置の振る舞いから評価する

#### 現状の課題:

- 検証できる項目が限られている
- 使用するモデルや仮定が計算結果の精度に影響する

#### 利点:

- 設計途中で影響を評価できるため, **手戻りが容易**
- データ作成の手間は必要だが, 実機の試作は不要
  - **様々な条件**(分岐器との組み合わせ等) **に対して検討できる**
  - これまで評価が行われていない小規模な設計変更等に対しても事前の評価を行うことが可能となる



Railway Technical Research Institute

# 転てつ装置設計のための のシミュレーション技術



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置のシミュレーションによる評価

評価対象： ① 転換負荷  
② 異物検知性能

評価項目： ① 転換動作を行ったときの、電気転てつ機に伝わる負荷の大きさ  
② 転換動作を行ったときの、トンゲレールと基本レールに挟まる異物による、レールの変形量の大きさ



基本となる部分は共通

評価手順： ● 転換鎖錠装置の動作をシミュレーションする  
● 各評価項目に必要なパラメータを取り出す  
(①:動作かんに加わる力, ②:レールの変位)



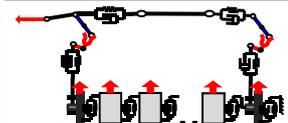
Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置の動作のシミュレーション

転換動作のシミュレーションの手順

- 入力**
- ・動作かん動作量(既知の加速度項)
  - ・寸法, 形状, 質量, 弾性
  - ・摩擦力, 要素間の接続関係 等

モデル→運動方程式


$$\begin{bmatrix} M & I_q^T \\ I_q & O \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_a \\ \gamma \end{bmatrix}$$

- 出力**
- ・各部の加速度
  - ・未知の外力項

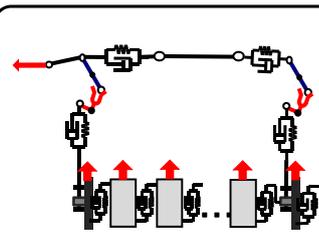
転換負荷  
異物検知性能 等



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置, 分岐器のモデル

転換動作のモデル化と導出(マルチボディダイナミクス)


$$\begin{bmatrix} M & I_q^T \\ I_q & O \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_a \\ \gamma \end{bmatrix}$$

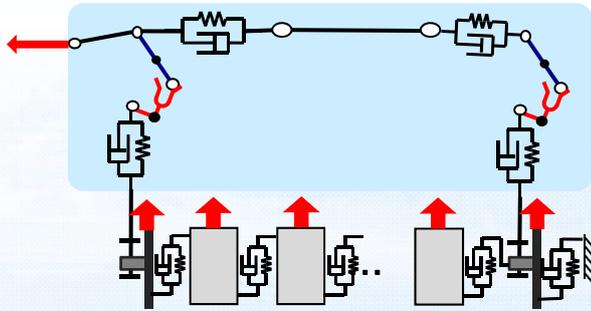
- 転換鎖錠装置, 分岐器を, 移動や変形に着目した「かたまり」(Body)に分解し, Body間の結合や外力の関係を整理する
- 上記をもとに運動方程式を記述し, 未知の加速度と外力を導出する



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置, 分岐器のモデル

モデル化の状況



転換鎖錠装置

- ・ロッド類の運動
- ・エスケープクランク

接触, 分離を考慮

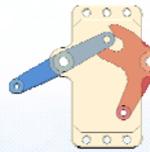


Railway Technical Research Institute

## エスケープクランクの動作のモデル

モデル化の着目点

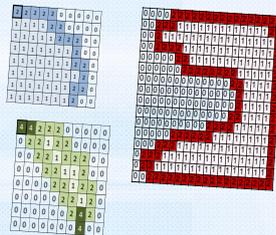
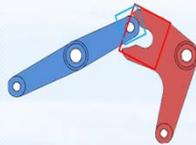
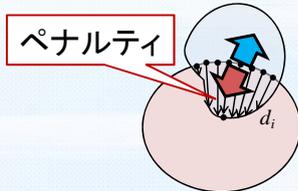
原動クランクと従動クランクが  
常時接触しているわけではない



どのように  
扱うか？

エスケープクランクの形状に着目した接触力計算法を提案

拘束を侵して侵入した量(ペナルティ)に応じた力を  
物体に与え, 拘束違反を解消する



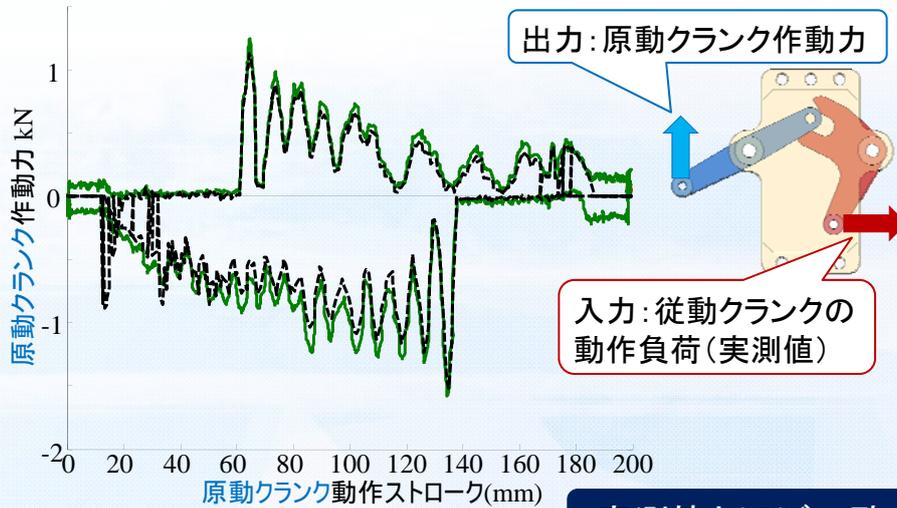
クランクの形状を粗いメッシュデータで表現し,  
原動クランクと従動クランクの重なり領域, 深さを短時間で計算



Railway Technical Research Institute

## エスケープクランクの動作のモデル

エスケープクランクの伝達特性の実測結果と計算結果の比較



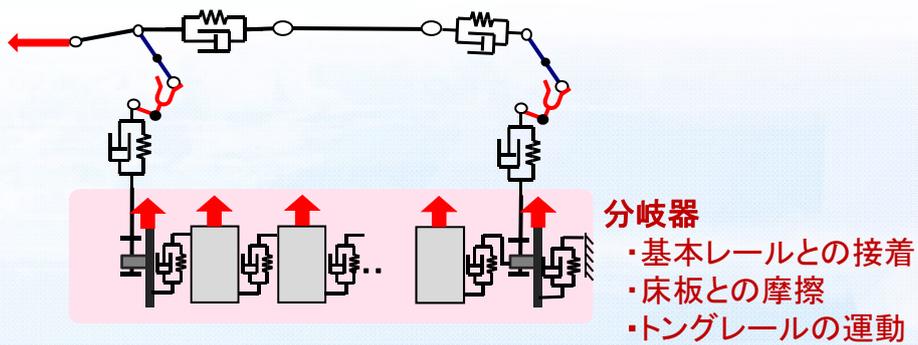
実測値とほぼ一致



Railway Technical Research Institute

## 転換鎖錠装置, 分岐器のモデル

モデル化の状況



2種類のモデルを検討



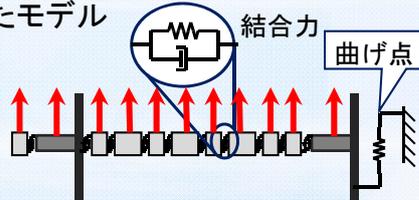
Railway Technical Research Institute

## 分岐器の動作のモデル

2種類のモデルを検討

➤ 分割モデル

トングレールを一定長(約0.6m)単位のBodyとして扱う。各Bodyに摩擦力, 基本レールとの接触力, 結合力(レールの弾性に相当)が加わると仮定したモデル  
分岐器転換負荷推定に適用



➤ 梁モデル

トングレールを短い梁の集合として扱い, 各梁の端部に摩擦力, 基本レールとの接触力・変位変形量(たわみ)が加わり, かつ各梁は相互に作用しあうと仮定したモデル

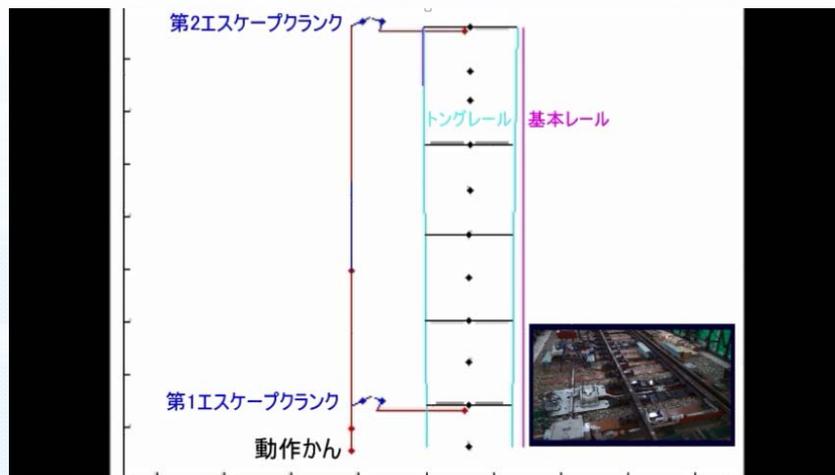
異物検知特性に適用  
(転換負荷推定: 検討中)



Railway Technical Research Institute

## 分岐器の動作のモデル

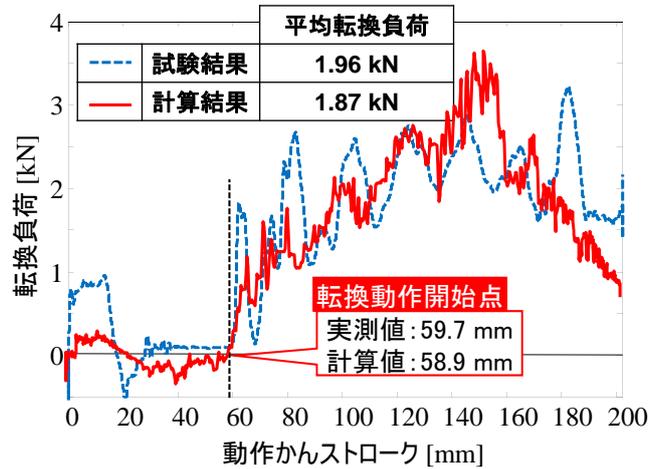
分割モデルによる転換動作, 転換負荷推定結果  
(新幹線501形式18番分岐器および転換鎖錠装置)



Railway Technical Research Institute

## 分岐器の動作のモデル

分割モデルによる転換動作, 転換負荷推定結果  
(新幹線501形式18番分岐器および転換鎖錠装置)



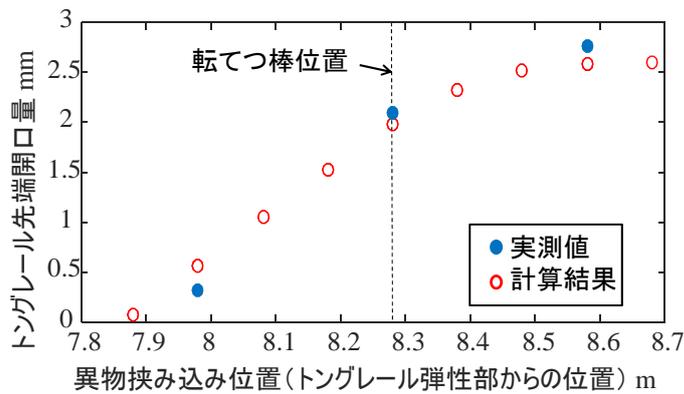
概ね一致



Railway Technical Research Institute

## 分岐器の動作のモデル

梁モデルによるトングレー変形量の推定結果  
(在来線10番弾性分岐器, 異物厚2.6mm, トングレー単体で計算)



※転換鎖錠装置と組み合わせた場合の推定: 実施中



Railway Technical Research Institute