

複数車輪モデルによる車輪・レール間の動的転がり接触解析

公益財団法人 鉄道総合技術研究所
計算力学研究室 林 雅江

発表内容

- 研究の背景と目的
- 解析手法の特徴
- 解析事例
- 課題と今後の展望



Railway Technical Research Institute

発表内容

- 研究の背景と目的
 - 車輪・レール間の接触挙動解析の必要性
 - 関連研究
- 解析手法の特徴
- 解析事例
- 課題と今後の展望

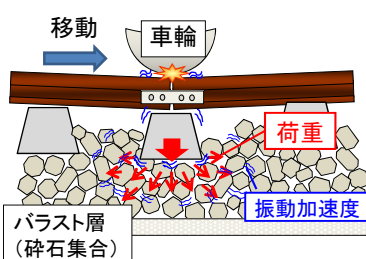


Railway Technical Research Institute

車輪・レール間接触挙動解析の必要性

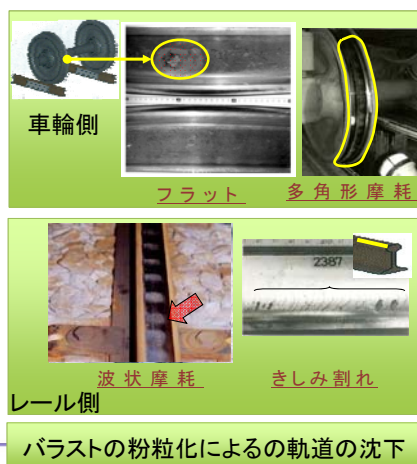
鉄道車両の走行

→車輪・レール間の振動, 衝撃力, 接触面の相対すべり



発生メカニズムは未解明な点が多い。現象解明によって、より適切なメンテナンス頻度、よりよい形状設計につなげられる。

現状対策: 定期的なメンテナンス



安全性
乗り心地
騒音

バラストの粉粒化によるの軌道の沈下

車輪・レール間の接触挙動を評価する 既存アプローチ

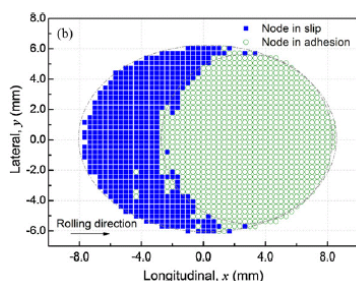
- 実験的なアプローチは困難
- 理論的アプローチ
 - Hertzの接触理論
 - 車輪・レールを単純な形状(円柱面と円柱面)とみなす
 - まっすぐに押しつけ合う場合の弾性範囲の解析解
- 数値解析的アプローチ
 - KalkerのCONTACT
 - 実際の車輪・レールの複雑形状／複雑な接触状況(スピンや側面での接触)に拡張
 - BEMベースの数値解析プログラム
 - 非線形材料の取り扱いが弱い
 - FEMモデルによる数値シミュレーション
 - 材料非線形
 - より現実的な接触の取り扱い → より現実的な現象の模擬
 - 動解析



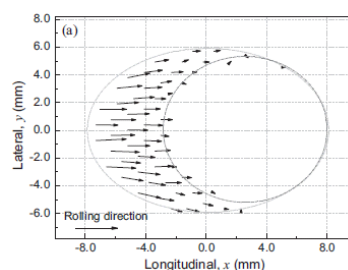
Railway Technical Research Institute

接触解析の評価対象と必要なメッシュサイズ

- 接触領域はわずか数センチ四方のサイズ
- 進行方向前側と後側にそれぞれ固着・滑りが発生
- 接触領域の精緻な評価には、1ミリ以下の離散化が必要
- 大規模計算となるため、定常的(準静的)転がり接触解析がほとんど



接触領域における固着／滑り分布



接触領域における微視すべり



X. Zhao, Z. Li, The solution of frictional wheel-rail rolling contact with a 3D transient finite element model: Validation and error analysis, Wear, 271, pp.444-452, 2011.

発表内容

- 研究の背景と目的
- 解析手法の特徴
- 解析事例
- 課題と今後の展望



Railway Technical Research Institute

車輪・レール転がり接触シミュレータ プログラムの開発

- 材料非線形性の考慮, 加減速状態の再現
- 有限要素法による動的非線形構造解析
- 文部科学省プロジェクト「次世代ものづくりシミュレーションソフトウェアの作成」で開発されたFrontISTR (大規模有限要素法による構造解析プログラム, オープンソース)をベースに、レール・車輪間の動的接触挙動プログラムを開発

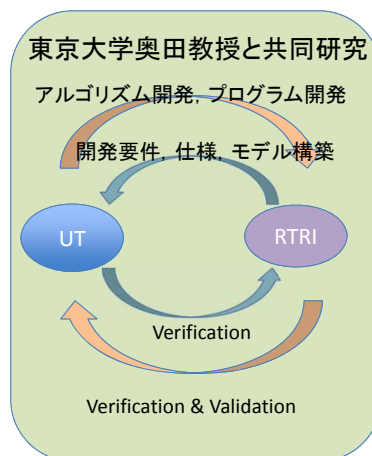


Railway Technical Research Institute

共同研究体制

年度		2015			
4半期		1Q	2Q	3Q	4Q
プログラム開発	計画				
	実施内容				
	UT				
	UT/RTRI				
プログラム検証	UT				
	UT/RTRI				
	UT/RTRI				
	RTRI				

2015年度 ロードマップ



Railway Technical Research Institute

FrontISTRにおける動的・接触解析手法

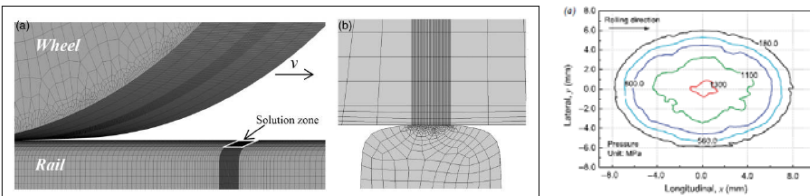
- 有限変形弾塑性問題: Update Lagrange法
- 時間積分: Newmark β 法 陰解法
- 接触解析: 法線方向「ラグランジュ乗数法」
接線方向「ペナルティ法」
- 摩擦力の考慮(弾完全塑性摩擦モデル)
- 領域分割法による並列計算
- 行列方程式解法: 分散並列用直接解法「MUMPS」



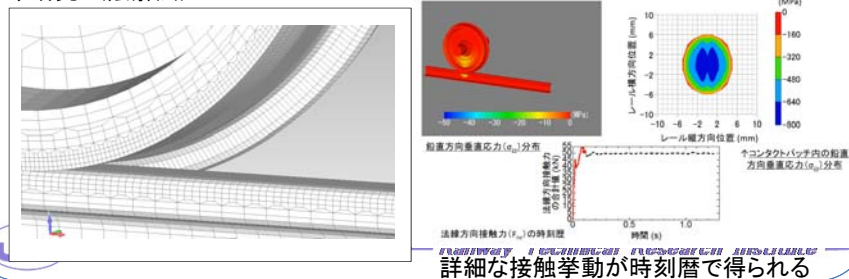
Railway Technical Research Institute

接触面の詳細な評価

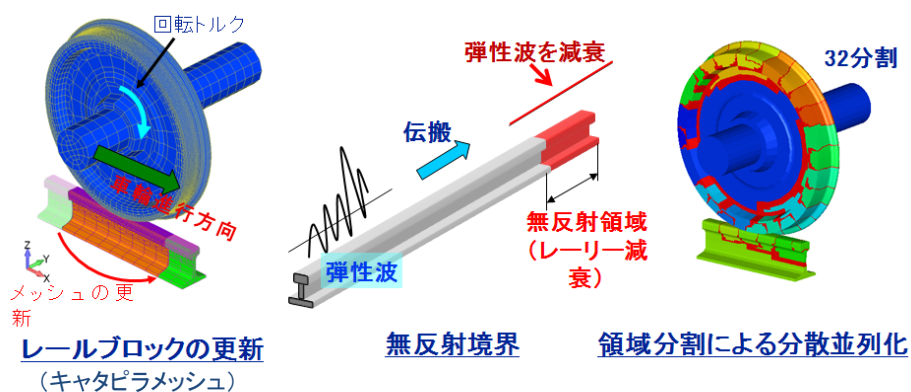
既存研究 (Zhao and Li, 2011., 陽解法)



本研究 (陰解法)



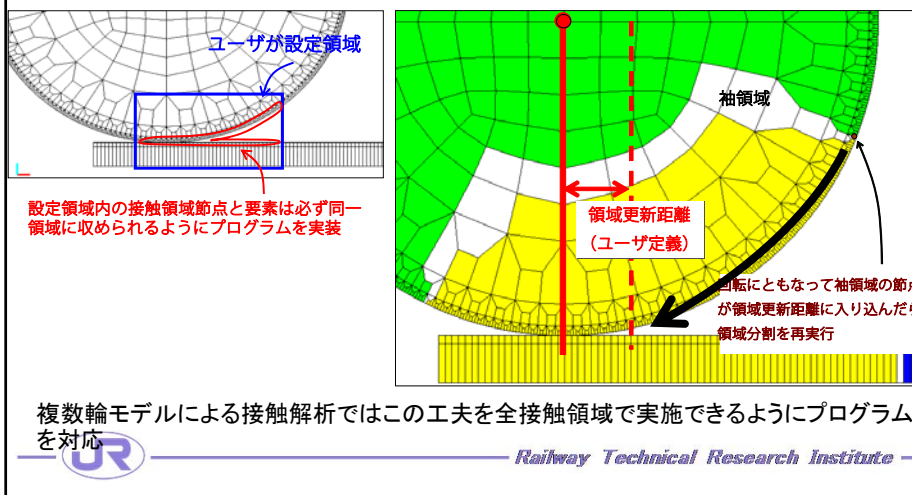
大規模並列計算による車輪・レール間接触解析のための機能



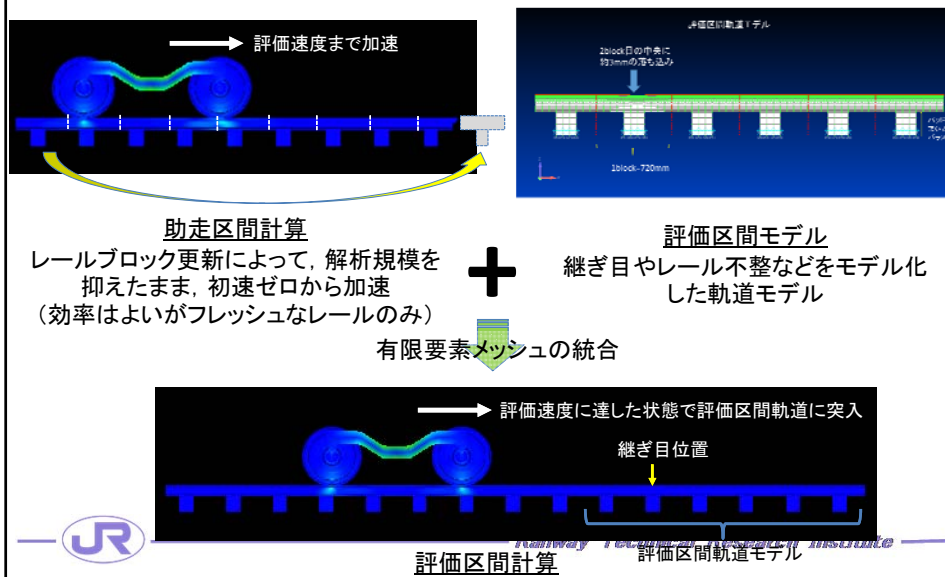
Railway Technical Research Institute

領域分割の工夫

並列化のための領域分割で接触領域が別々の領域(並列プロセス)に分散してしまうと接触箇所の探索処理で計算効率を阻害するため同一のプロセスになるように工夫



評価区間レールへの移行



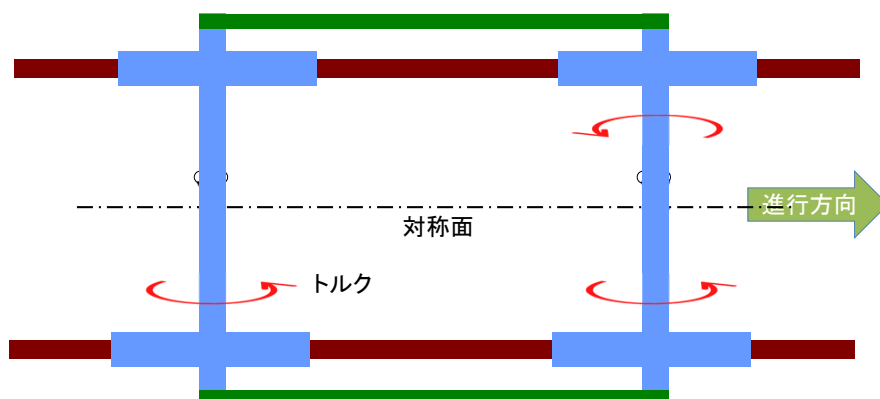
発表内容

- テーマの位置づけ, スケジュール
- 研究の進め方
- 解析手法の特徴
- 解析事例
 - 二軸二輪モデルを用いたレール継ぎ目の通過
 - 一台車モデルによる蛇行動の再現
 - 他シミュレータとの連成の取り組み
- 課題と今後の展望



Railway Technical Research Institute

二輪二軸モデルから一台車モデル

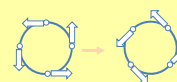


Railway Technical Research Institute

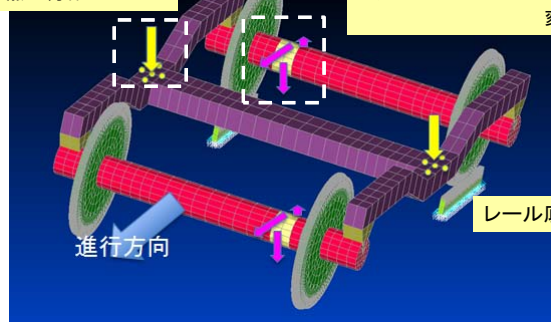
一台車モデル

車体からの荷重:
左右二本の台車梁中央の節
点に節点集中力, 鉛直方向に
100kNを5節点に分配

トルク:
前後二軸の対角位置にある
車軸上の節点に節点集中力
で負荷



変形に追従して荷重方向を更新



レール底面完全拘束

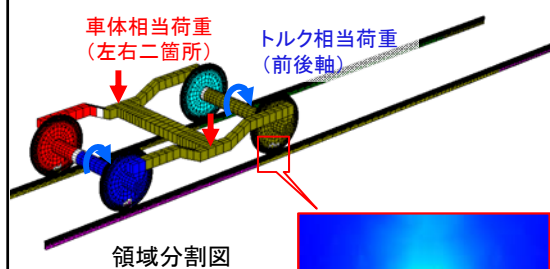
進行方向

実形状ではなく, 単純な形状モデル

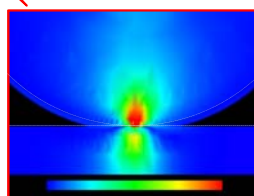


Railway Technical Research Institute

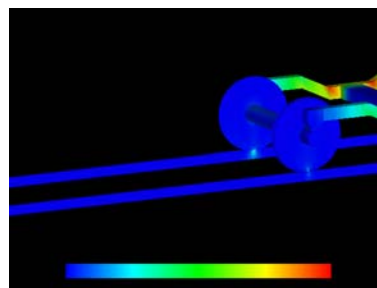
一台車モデルによる解析結果



領域分割図



Von Mises 相当応力



Railway Technical Research Institute

他のシミュレータとの連成

- バラスト詳細挙動シミュレータ

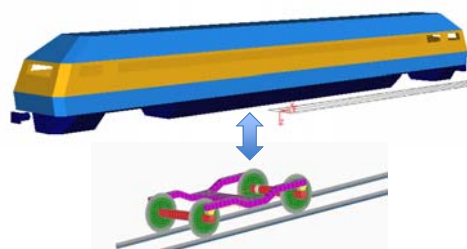
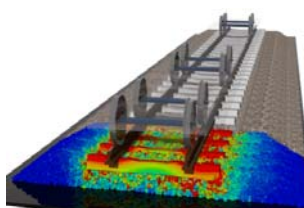
- 弾性体個別要素法

- 車両運動シミュレータ

- マルチボディダイナミクス解析

車輪レール間接触挙動⇔バラスト挙動

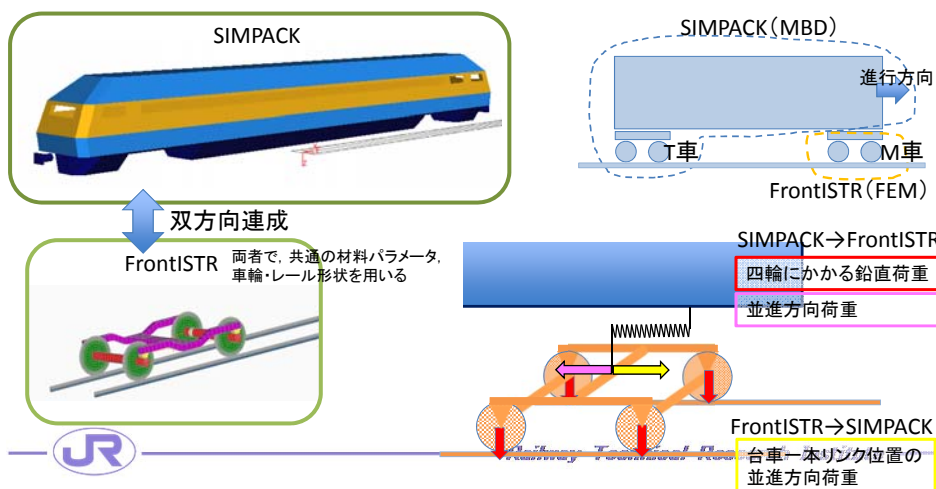
車輪レール間接触挙動⇔車両運動



Railway Technical Research Institute

SIMPACKとの連成

車両の複雑な構造・運動によって生じる輪重変動を車両運動シミュレータから取り入れることでより現実的な接触挙動の再現につなげる



発表内容

- テーマの位置づけ, スケジュール
- 研究の進め方
- 解析手法の特徴
- 解析事例
- 課題と今後の展望

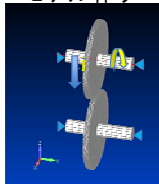


Railway Technical Research Institute

課題と今後の展望

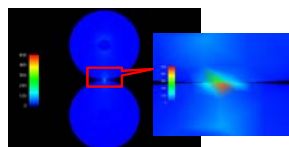
- 線形方程式ソルバーの高速化
- 曲線モデルの模擬
 - キャタピラメッシュの曲線対応
- V&V
 - 直線走行での検証
 - 二円筒試験機との比較

モデル作り



簡易なモデル化

プログラム機能検証



今後は実形状・実験条件に則した二円筒試験機のモデル化を進める

Railway Technical Research Institute

謝辞

本研究の車輪・レール間転がり接触解析プログラムは
東京大学奥田洋司教授との共同研究および株式会社
ASTOM R&Dの協力の下に開発しています。

また、開発に際しいろいろな場面で助言をいただいた
みなさまに深く感謝申し上げます。



Railway Technical Research Institute