

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

大規模並列計算による車輪・レール間の転がり接触解析手法の構築

公益財団法人鉄道総合技術研究所
鉄道力学研究部 計算力学
坂井 宏隆

JR Railway Technical Research Institute

2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

バーチャル鉄道試験線

JR Railway Technical Research Institute

2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

車輪の損傷事例

フラット: 制動時に車輪が滑走することにより局所的な摩耗が生じる。

多角形摩耗: 原因は特定されていないが、車輪・レールの過大な振動が影響していると考えられている。

フラット 多角形摩耗

JR Railway Technical Research Institute

2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

レールの損傷事例1

波状摩耗: 車両からの振動荷重による車軸のたわみ共振やまくらぎ間の共振などより発生

きしみ割れ: 急曲線で発生する横方向荷重(横圧)や直線での蛇行動が原因で発生

波状摩耗 きしみ割れ

JR Railway Technical Research Institute

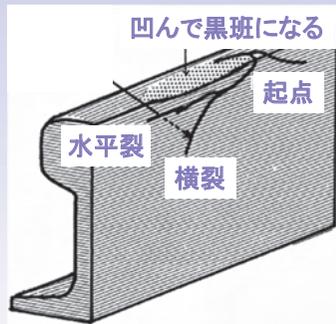
2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

レールの損傷事例2

レールシェリング: 車両の通過による衝撃荷重は、レールに対して複雑なモードで負荷されるため、レール頭頂面内部に疲労き裂が発生



レールシェリング



大規模並列計算によるレール・車輪間の 転がり接触解析手法の構築

・目的

1. 車輪/レール間に生じる鉄道固有の劣化現象を解明するため、転がり接触挙動を評価できる解析手法を構築。
2. 車輪の回転による衝撃力や数kHzの高周波振動、およびレールと車輪の接触面(コンタクトパッチ)における力学的挙動を解析する。



- ・レールや車輪の損傷の発生原因の解明
- ・路盤、あるいは車両へ掛かる外力を評価

将来、粒状体解析、MBDや空気流解析と連成し、路盤からパンタグラフまでを含めたバーチャル試験線を構築



車輪/レール間の荷重状態

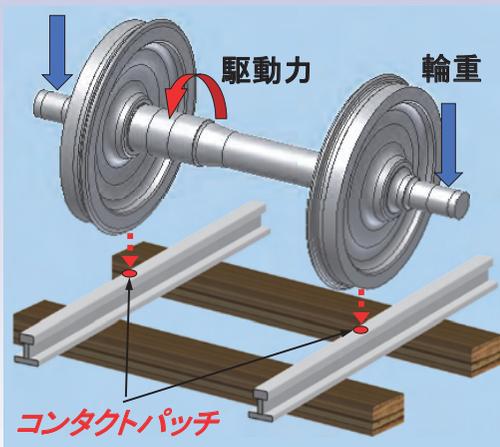
鉄道車両の車軸には車体からの荷重とモーターからの駆動力が掛かる。



車両からの負荷は、車輪を介してレールに負荷される



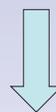
直径10~20mm程度の接触面
⇒コンタクトパッチ



劣化の現象解明

従来の研究

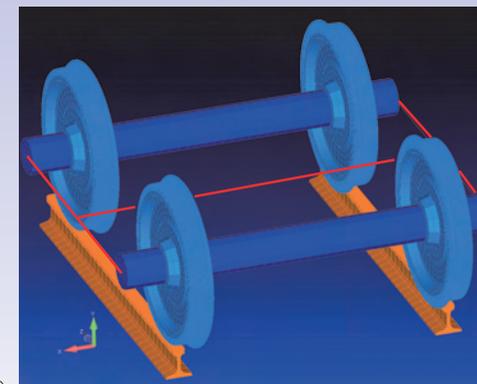
- ・静的、低周波振動、定速
- ・解析対象: 1輪



現象解明のためには

- ・動的、高周波振動、加減速
- ・解析対象: 複数輪

想定される自由度数: 数十億規模



2軸4輪解析モデル



解析概要

- 解析手法: 大規模並列有限要素法 (FrontISTR)
弾塑性・大変形・接触
 - 評価対象: 車輪/レール間のコンタクトパッチ
(接線力、法線力、形状、位置、すべり/固着)
 - 車輪並進速度: 0⇒300km/h
 - 評価の周波数領域: ~2kHz
- オリジナルのFrontISTRに対して、車輪/レール間の
転がり接触解析に特化した機能の実装

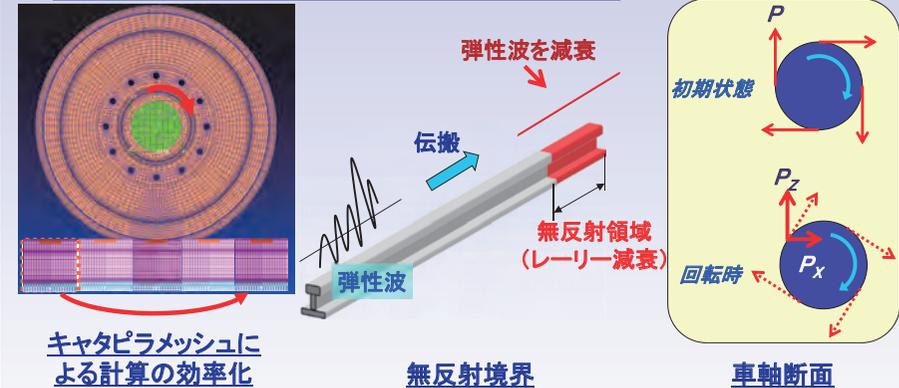


2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

車輪/レール間の転がり接触解析に特化した機能

1. キャタピラメッシュによる計算の効率化
2. 無反射境界の導入
3. トルク相当の集中荷重について



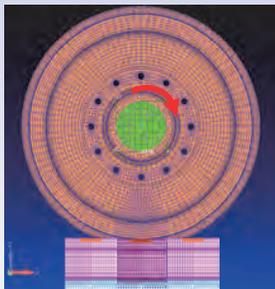
2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

高速走行時の車輪/レール間の 大規模並列解析に向けて

• FrontISTRを拡張して、接触を考慮した動的な弾塑性解析の実施

助走区間
300km/hまでの加速領域は、粗メッシュにより解析し、安定した高速回転状態を表現



助走区間におけるメッシュモデル

評価区間
• 不整などが生じているレールをモデル化した詳細なメッシュによる解析
• まくらぎをモデル化した解析



評価におけるモデル

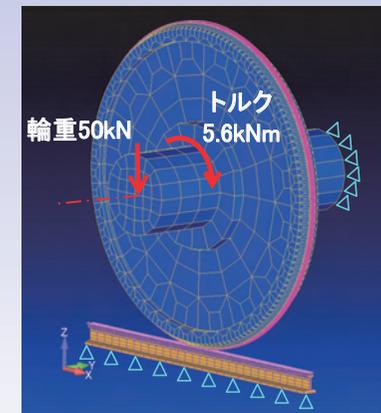


2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

車輪/レール間の動的転がり接触解析

- 解析手法: Updated Lagrange法
- 時間積分: Newmark β 法
(時間刻み: 2.0×10^{-4} sec.)
- 接触解析: Lagrange乗数法
摩擦力考慮(クーロン摩擦則)
- 材質: 新幹線車両の車軸・車輪鋼材
および60kgレール用鋼材
- 要素: 8節点六面体要素
- 要素/節点数: 64932/85112
- 接触面近傍の要素サイズ: 1mm×1mm



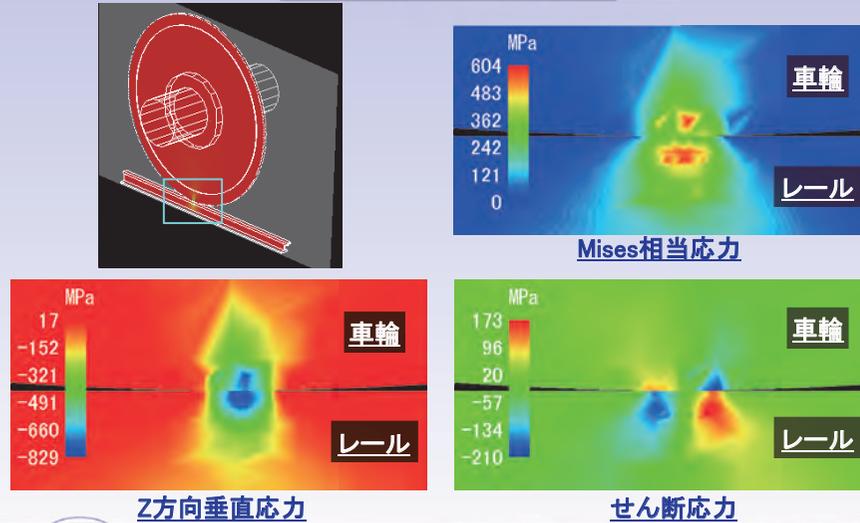
解析モデルおよび境界条件



2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

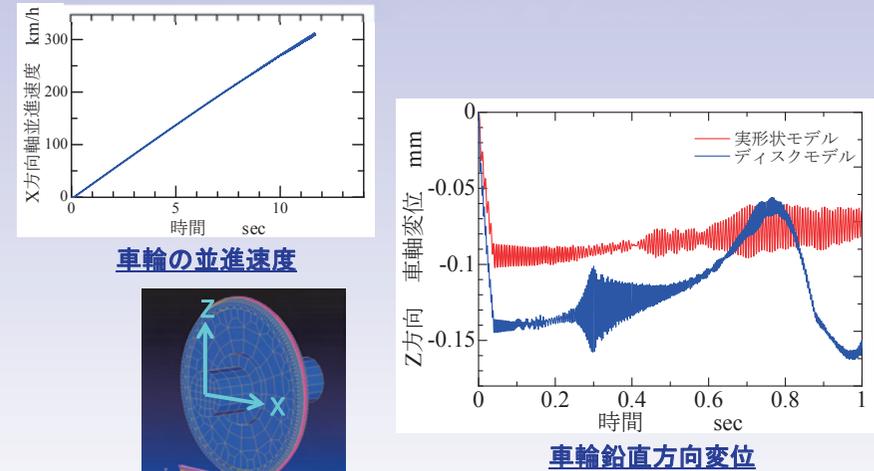
接触面近傍の応力分布 (まくらぎ方向断面)



2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

時速300km/hに向けての動的解析

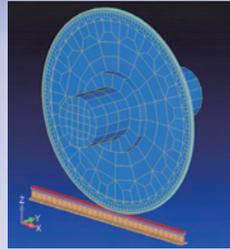


2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

プログラム実行の概要

- ・計算環境
SMP版FrontISTR
CPU : Xeon 3.3GHz
Core数 : 8コア
(理論性能: 106 Gflops)
- ・計算時間
2423600 sec ⇒ 約4週間
(車輪の到達速度 300km/h)



SMP版による大規模モデルでの解析実行は非現実的

超大規模並列計算が可能な
計算環境が必要

総研スパコン、地球シミュレータや京



2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

Railway Technical Research Institute

分散メモリ版にむけたFrontISTRの修正

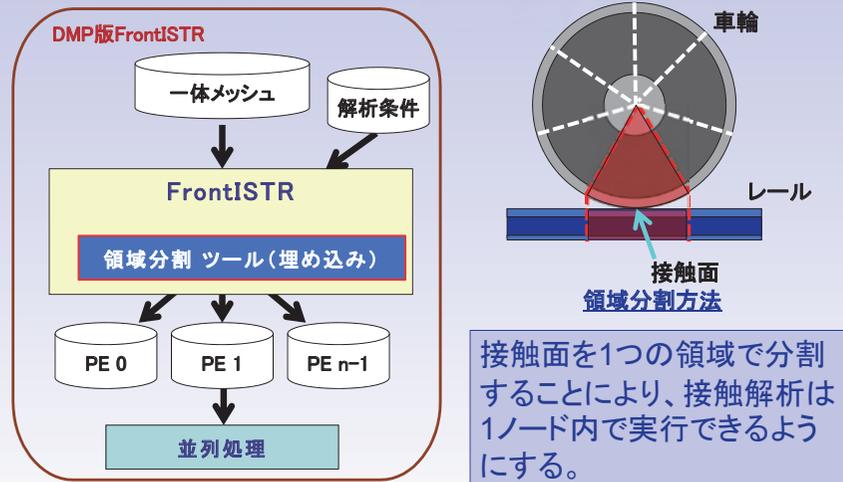
- ・ DMP用非対称直接法ソルバの導入
MUMPS、WSMP、SuperLU_DIST...
- ・ 接触解析のためのパーティショナの修正
- ・ 接触アルゴリズムの並列化対応
 - ◆実装して稼働確認されている手法
 - ①パーティショニングの際、各マスター面に対して、全スレーブ面情報を記憶
 - ②接触剛性行列作成時に隣接プロセッサより寄与を計算して足し込む



2012/10/11 地球シミュレータ産業利用シンポジウム2012

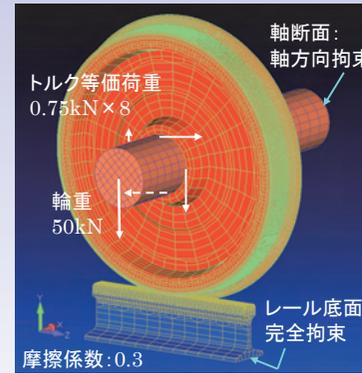
Railway Technical Research Institute

分散メモリ版転がり接触解析の プログラム構成

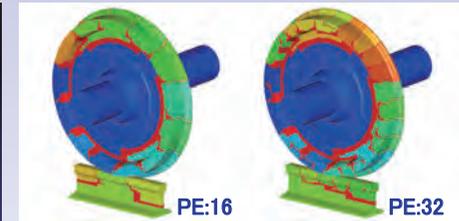


地球シミュレータによる解析

- FrontISTR(オリジナル版)の実行環境の移植
- 160万自由度規模のモデルでの静的応力解析の実施



試解析用モデル



PE	解析時間 [sec]	ベクトル化率 [%]
16	315.7	95.9
32	153.9	95.9

