

スパコンを知る集いin 富山 (2015. 12.19 @ 富山国際会議場)

## 鉄道の技術開発を支えるシミュレーション技術 ～より早くより安全に～



(公財)鉄道総合技術研究所 池田 充

### 公益財団法人 鉄道総合技術研究所



- 1907年 鉄道庁 鉄道調査所
- 1942年 鉄道院 鉄道技術研究所 (東京・浜松町)
- 1949年 日本国有鉄道 鉄道技術研究所
- 1959年 現所在地(東京都国分寺市)に移転
- 1986年 財団法人 鉄道総合技術研究所 設立
- 1987年 旧国鉄より事業を継承
- 2012年 公益財団法人に移行



Railway Technical Research Institute

2

## 東海道新幹線 開業当時(～1964年)

1957年 鉄道技研 創立50周年講演会「超特急列車 東京～大阪3時間  
への可能性」を開催

鉄道技研 [Bendix G15-D]を導入



1958年 東海道本線(東京～大阪)特急こだま号  
運転開始:最高速度110km/h



1959年 東海道新幹線 着工

1960年 オンライン列車座席予約システム [MARS-1] 稼働開始  
「有限要素法」という名称が初めて論文に登場

1962年 鴨宮モデル線 使用開始

鉄道技研 [Bendix G-20]を導入



1964年 東海道新幹線 開業

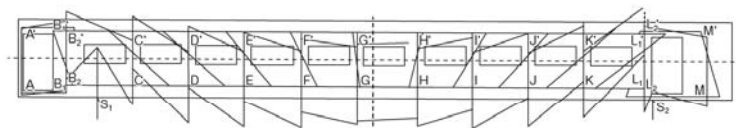


Railway Technical Research Institute

3

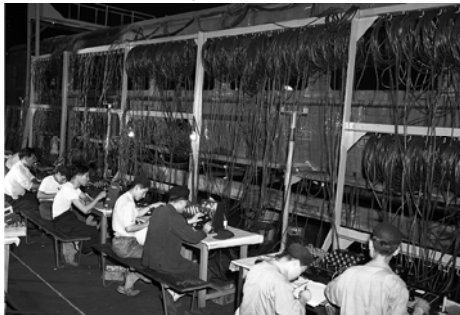
## 東海道新幹線試作車両の強度評価

吉峯法(構体の静解析法) 側構体をはしご状ラーメン構造でモデル化



曲げモーメント  $1 \times 10^6 \text{ kg-mm}$

新幹線試作構体の静荷重試験



動的応力は現車試験で確認

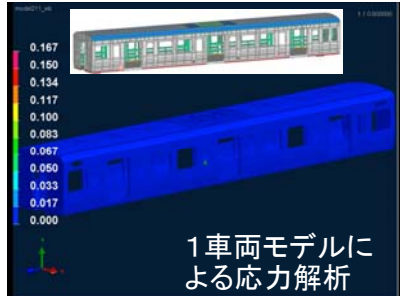


※ 230点のひずみを計測

Railway Technical Research Institute

4

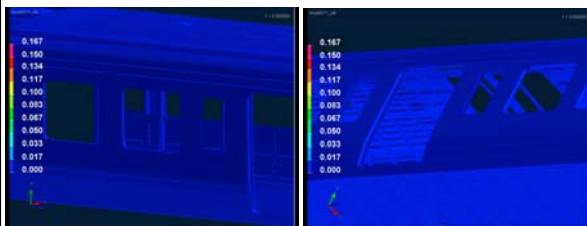
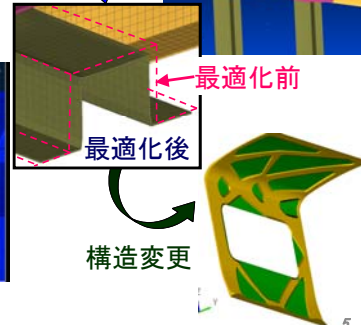
## 現在の鉄道車両の強度評価



1車両モデルによる応力解析  
Mises相当応力

- シミュレーションの活用
- ・開発の効率化(製作前の評価)
  - ・開発コストの低減
  - ・設計支援

形状最適化



車両側面

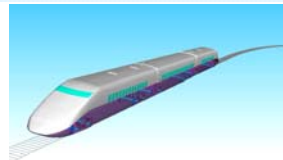
車両屋根内側



Railway Technical Research Institute

5

## 鉄道に関わるシミュレーションの例



列車走行シミュレーション



駅構内の旅客流動シミュレーション

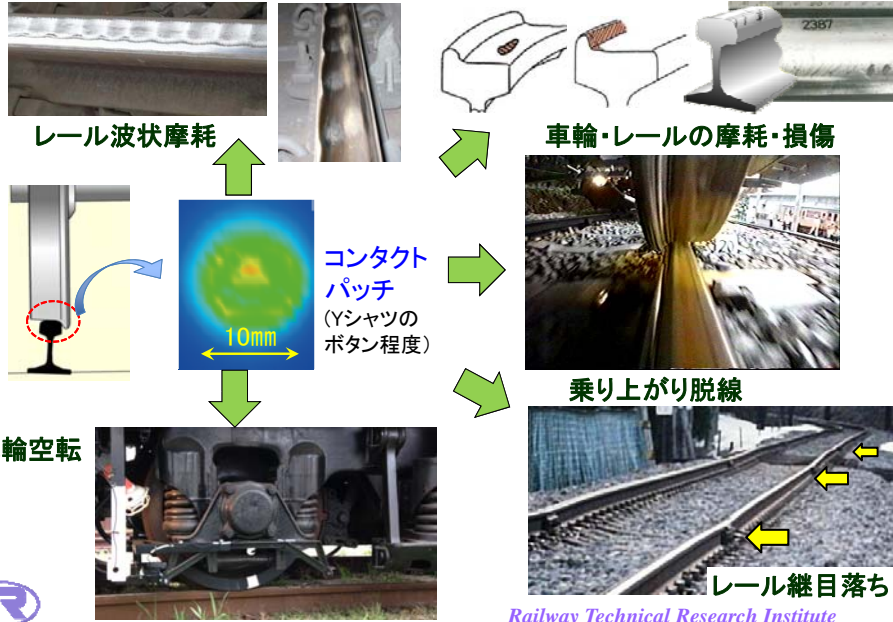
分野	シミュレーション例
車両	車両走行、地震時車両脱線挙動
軌道	軌道座屈、バラスト挙動
構造物	車両と構造物の動的相互作用、構造物の地震時応答
電力	架線・パンタグラフ系の動的挙動、き電回路
信号通信	連動、電波雑音
運転	列車運行、旅客流動
環境	列車まわり流れ、トンネル微気圧波、空力音
人間科学	列車衝突時の人体挙動



Railway Technical Research Institute

6

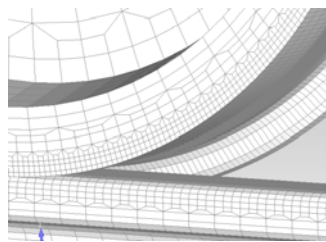
## 車輪・レールに発生する様々な問題



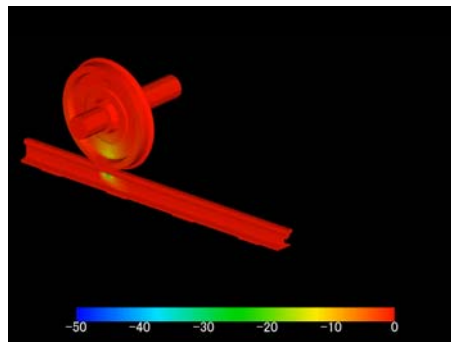
## 転がる車輪とレールとの間の接触力評価

東大 奥田教授との共同研究

大規模並列FEM構造解析ソフトウェア「FrontISTR」(東大)をベースとして、車輪・レール間転がり接触解析ツールを構築



接触部  
(一様ファインメッシュ)



- 車軸にトルクを与え、車輪の動的転がり挙動を計算
- キャタピラメッシュにより長区間走行の計算を実現

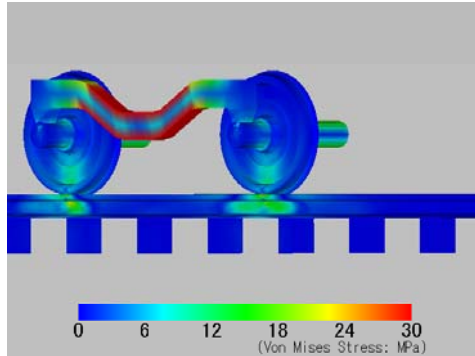


Railway Technical Research Institute

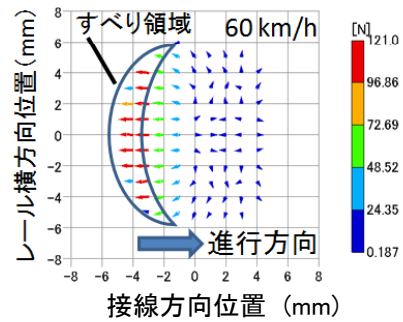
8

## 転がる車輪とレールとの間の接触力評価

車輪の転動により生じる  
ミーゼス相当応力分布



車輪/レール間の  
接線方向接触力分布



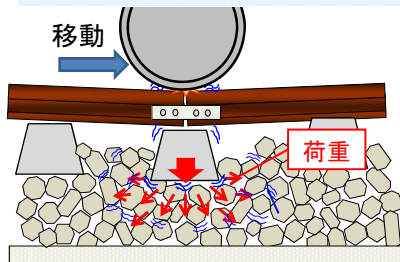
コンタクトパッチ内の摩擦、スピン、すべり、塑性を考慮したうえで、  
応力分布を評価することができる



Railway Technical Research Institute

9

## 列車通過時のバラスト軌道の挙動解析



バラスト(砕石)が時間とともに沈下する  
メカニズムの解明

⇒レールと車輪との間の力が  
どのようにバラストに伝播するのか？

自由落下によるバラスト散布

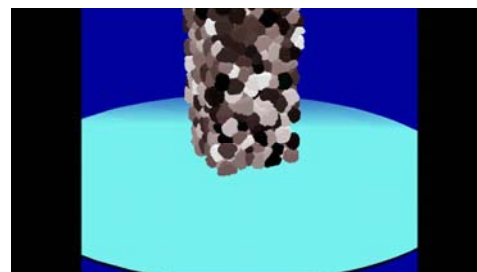
弾性体個別要素法(QDEM)

- ・個々のバラストの挙動を再現
- ・バラスト自体の弾性挙動も再現



(a) Ballast

(b) DEM



(海洋研究開発機構との共同研究)



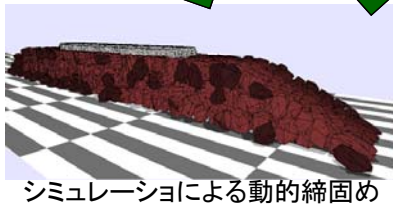
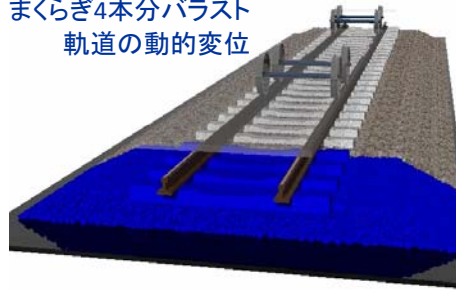
Railway Technical Research Institute

10

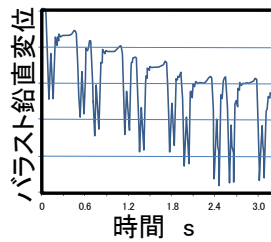
## 列車通過時のバラスト軌道の挙動解析

列車通過時の個々のバラスト挙動をシミュレーションにより再現  
(実験は可能だが、計測が困難)

まくらぎ4本分バラスト軌道の動的変位



シミュレーションによる動的締固め



つき固め直後のバラスト初期沈下



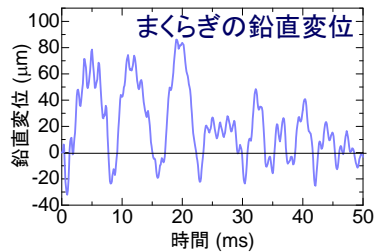
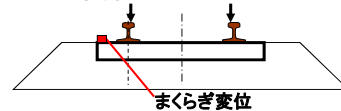
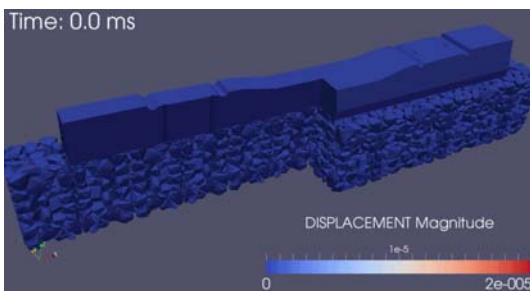
Railway Technical Research Institute

11

## 列車通過時のまくらぎの詳細な挙動解析

弾性体個別要素法(QDEM) → 有限要素法  
(各バラストの要素数 10倍)

衝撃荷重(左右合計100kN)



衝撃荷重を受けたまくらぎの過渡応答

- ・まくらぎの上下並進モードの運動がバラスト劣化の主要因
- ・まくらぎが跳ね上がるため、バラストによるエネルギー散逸が小さい



Railway Technical Research Institute

12

# 車両に作用する空気力の解析



室戸台風 (1934年)



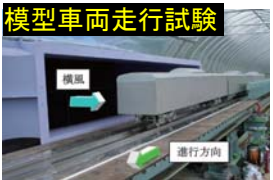
風速計の設置と風規制



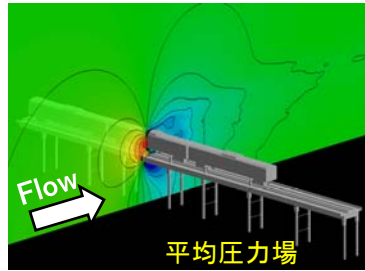
防風柵の整備



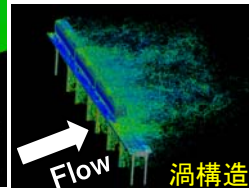
風洞試験



模型車両走行試験



平均圧力場



渦構造

シミュレーションの利点

- ・地表面上風速分布
- ・地表の地形などを自由に設定可



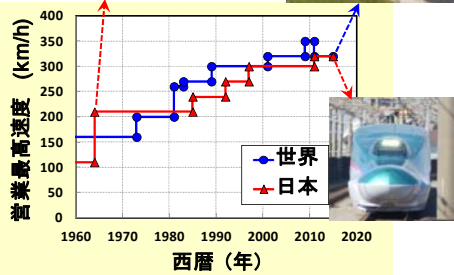
Railway Technical Research Institute

13

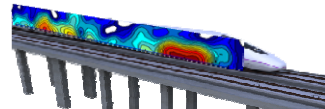
# 「新幹線」はどこまで早く走れるのか？



日本 フランス



新幹線：線路脇に多数の宅地  
⇒ 沿線騒音の増加抑止



2004年 新潟中越地震 (国交省HPより)

日本は地震多発国  
⇒ 地震対策



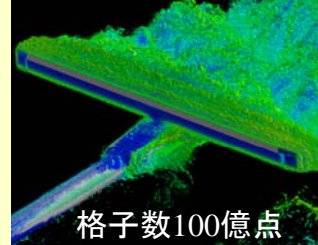
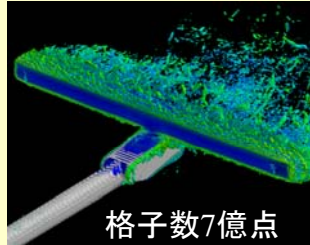
Railway Technical Research Institute

14

## パンタグラフの風切り音(空力音)の評価

パンタグラフまわりの  
流れ場解析

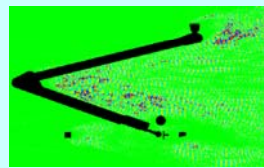
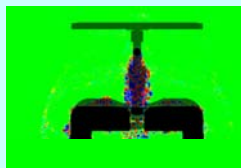
渦構造  
(速度勾配テンソル  
第2不変量)



空力音源分布(2.3kHz帯)

計算

風洞試験



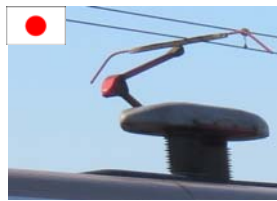
シミュレーションによる音源部位の特定



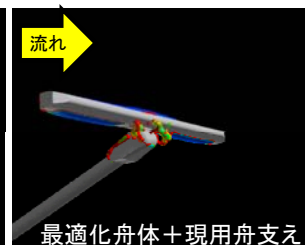
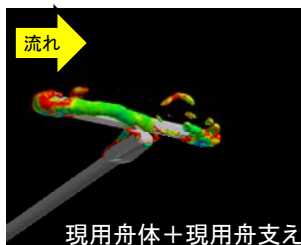
Railway Technical Research Institute

15

## パンタグラフの空力音低減



パンタグラフ集電舟とその支持部の形状最適化



- ・シミュレーションにより空力現象を容易に理解
- ・シミュレーションによる形状最適化



Railway Technical Research Institute

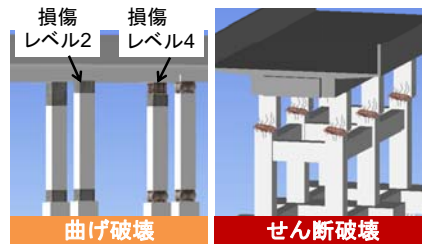
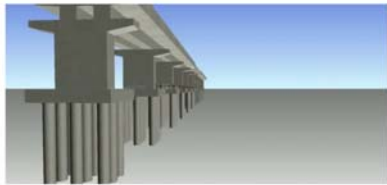
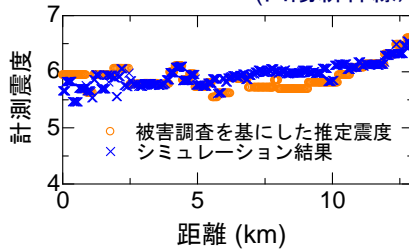
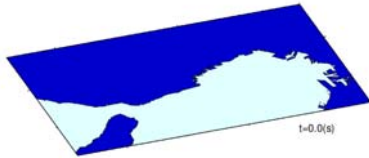
16



# 鉄道沿線の地震動シミュレーション

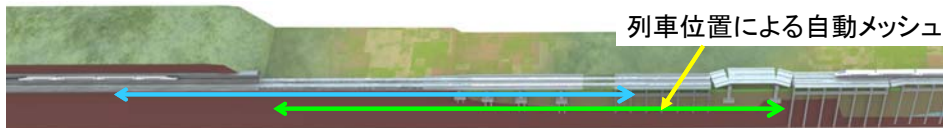
1995年兵庫県南部地震 (阪神淡路大震災)

被害率に基づく推定震度分布との比較  
(山陽新幹線)

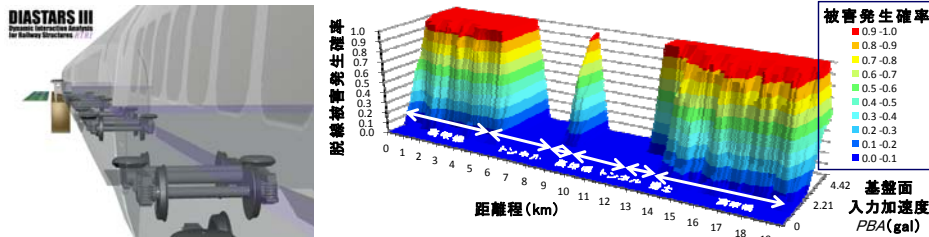


Railway Technical Research Institute

# 列車走行位置に応じた地震時被害の評価



マルチコアで並列処理した解析結果を自動合成して統計処理



Railway Technical Research Institute

## 鉄道に求められる技術

### 急激な人口減少

- ・保守の機械化、自動運転
- ・センシング、エキスパートシステム

### インフラの老朽化

- ・劣化のセンシング、健全度評価、検査の自動化

### 基盤技術

+  
シミュレーション

### 巨大災害の切迫

- ・早期地震検知、地震解析、耐震技術、脱線防止
- ・気象のセンシングと予測
- ・ハザードマップ、リスク分析、避難誘導

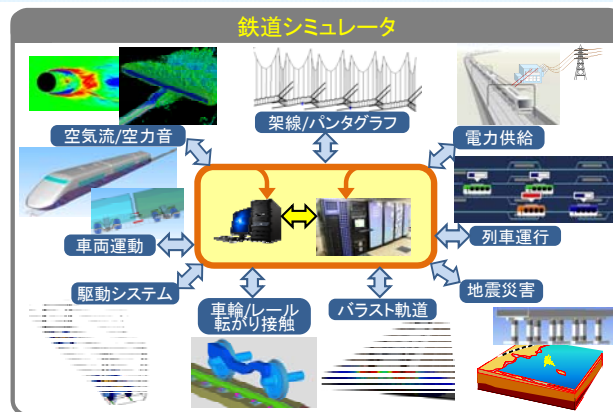
### エネルギーの制約

- ・蓄電装置、スマートグリッド、ピークカット
- ・自然エネルギー利用、クリーン動力の開発

- ・今後の社会環境変化に応じて鉄道システムにも変化が求められる
- ・シミュレーションの活用により、こうした技術開発を加速



## 鉄道技術の革新を目指して



革新的アイデアの創成ツールとして鉄道シミュレータを構築中

- ・不確定な仮定による制約からの解放: 大規模計算(空間, 時間)
- ・マルチフィジックス・マルチスケール: 複数シミュレーションの連成

⇒ さらなる計算能力の向上が不可欠……今後のスパコンの能力向上に期待

