

次世代振子制御システム

振子車両に特有の乗り物酔い解消を目指した「次世代振子制御システム」を開発、実用化しました。3つの要素技術の革新により、良好な乗り心地を実現します。

研究の背景と目的

- 1990年代に全国で導入された制御付き振子車両が更新時期を迎えており、さらなる乗り心地の向上、保守性の向上が期待されています。
- 制御付き振子車両によって乗り心地は大きく改善されましたが、振子車両に特有の乗り物酔いは完全には解消されていません。その解消を目的としています。

研究成果

- 酔いの原因となる低周波の左右動揺発生を防ぐには、曲線の形状に合わせた正確な車体傾斜が必要になります。これを実現するため3つの要素技術を開発しました。

①車上のセンサーのみで取得可能な線路の曲率(曲がり具合)情報を用いた、高精度な自車位置検出手法

②低周波の左右動揺発生を抑制し、傾斜速度なども考慮した振子角度の目標値(振子パターン)生成手法

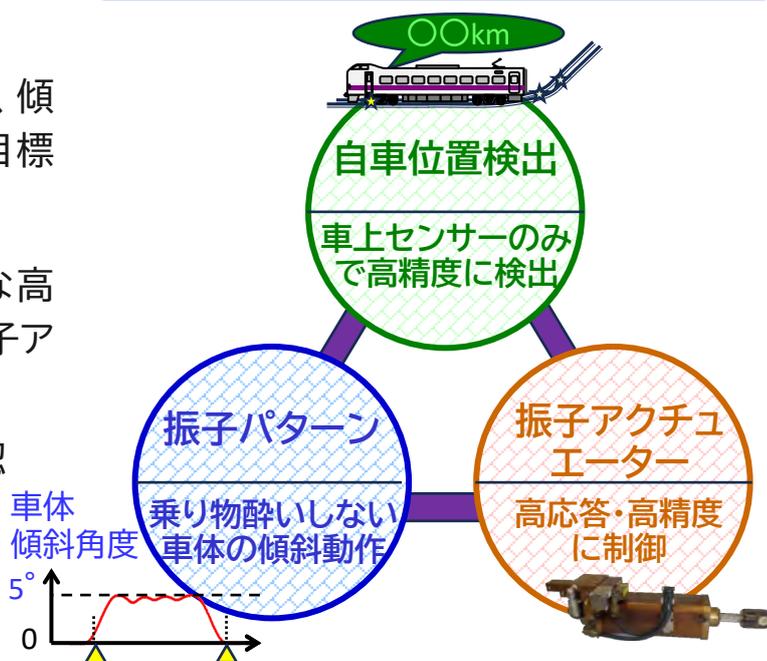
③上記の振子パターンに追従可能な高応答、高精度に車体を傾斜させる振子アクチュエーター

- 乗り物酔い指標の低減を現車で確認しました。
- JR西日本273系に採用されました。

今後の展開

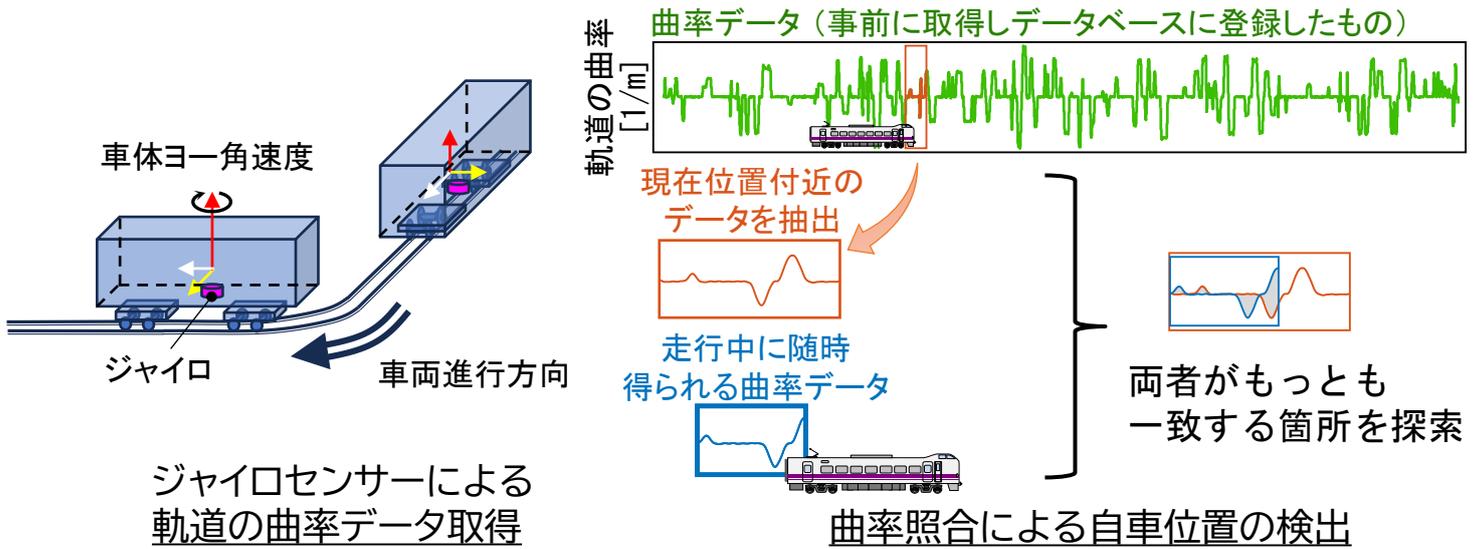
- 新製車両だけでなく、既存の制御付き振子車両のシステム更新に際しても次世代振子制御システムを活用いただけるよう、展開を進めていきます。

次世代振子制御システムの要素技術



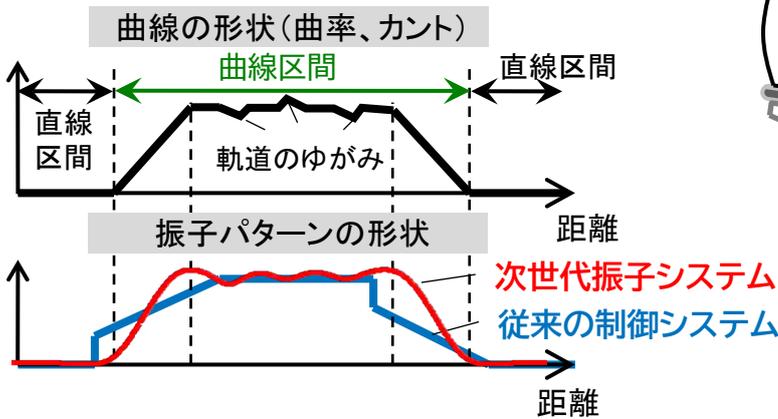
①自車位置検出

車上のジャイロセンサーで得られる軌道の曲率データをデータベースと照合することで自車位置を高精度に把握。ATS地上子など地上設備に頼らず省保守も実現。



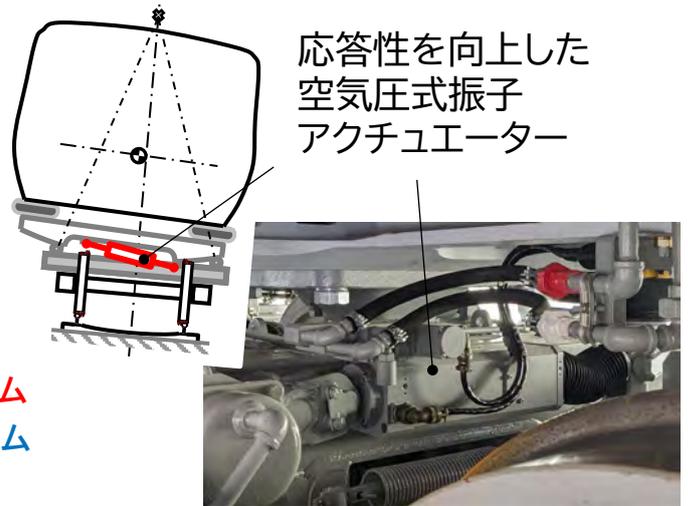
②振子パターン

低周波の動揺発生を防ぐため、実軌道の形状に合わせて振子パターンを生成

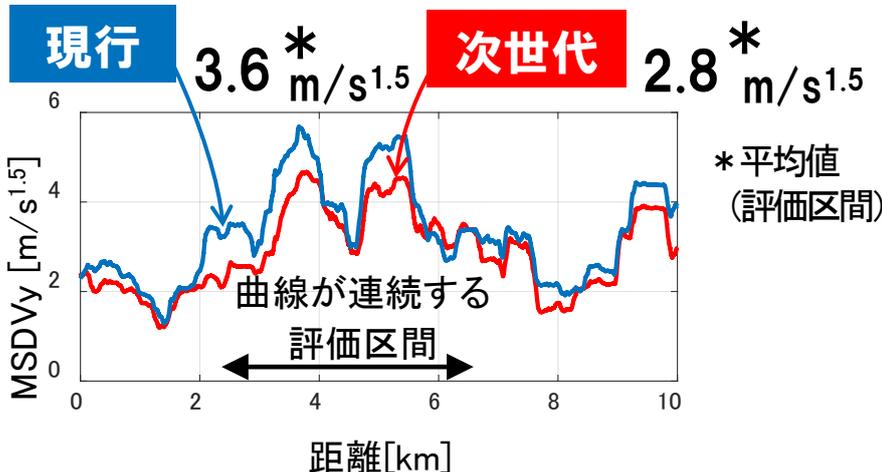


③振子アクチュエーター

応答性を向上した空気圧式振子アクチュエーター



乗り心地の改善例



乗り物酔い指標(MSDVy)を大きく低減

実用例



次世代振子制御システムが搭載されたJR西日本273系直流電車

車両床下外観検査システム

走行する鉄道車両の床下部側面を地上から連続撮影し、正常な外観からの変化を異常度として評価することで、床下部の外観上の異常を診断するシステムです。

研究の背景と目的

- 列車検査(または仕業検査)は、車両を分解せずに行う定期検査ですが、検査周期が短く、主に検査員の目視により行われているため、人手を要します。
- 目視検査箇所を自動で撮影・診断することで、人手に頼らない検査の実現を目指しています。

研究成果

- 昼夜を問わず一定の明るさでブレのない高精細連続画像を撮影できます。車両が加減速してもひずみのない画像が得られます。
- 太陽光や雨などの外乱の影響を抑えつつ正常状態からの変化を捉える診断アルゴリズムにより、不特定の異常を検知することができます。

車両基地に設置した撮影装置



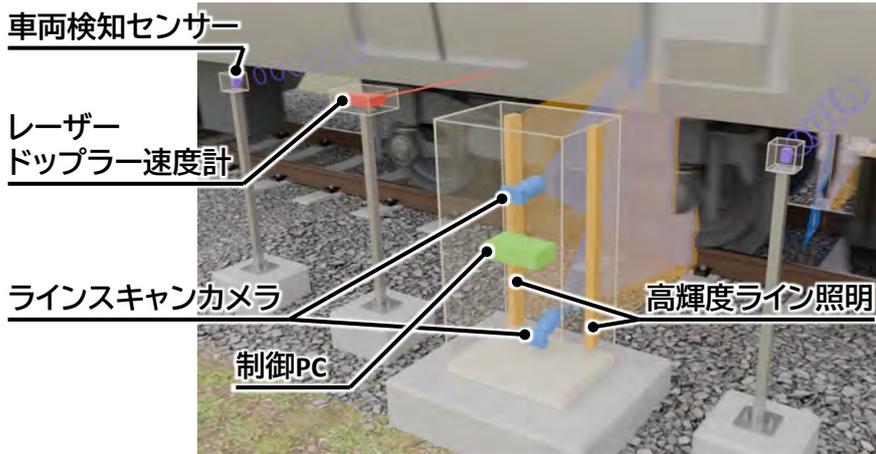
閲覧ソフトによる診断結果の表示



今後の展開

- 本システムの検査範囲を屋根上に拡大する予定です。

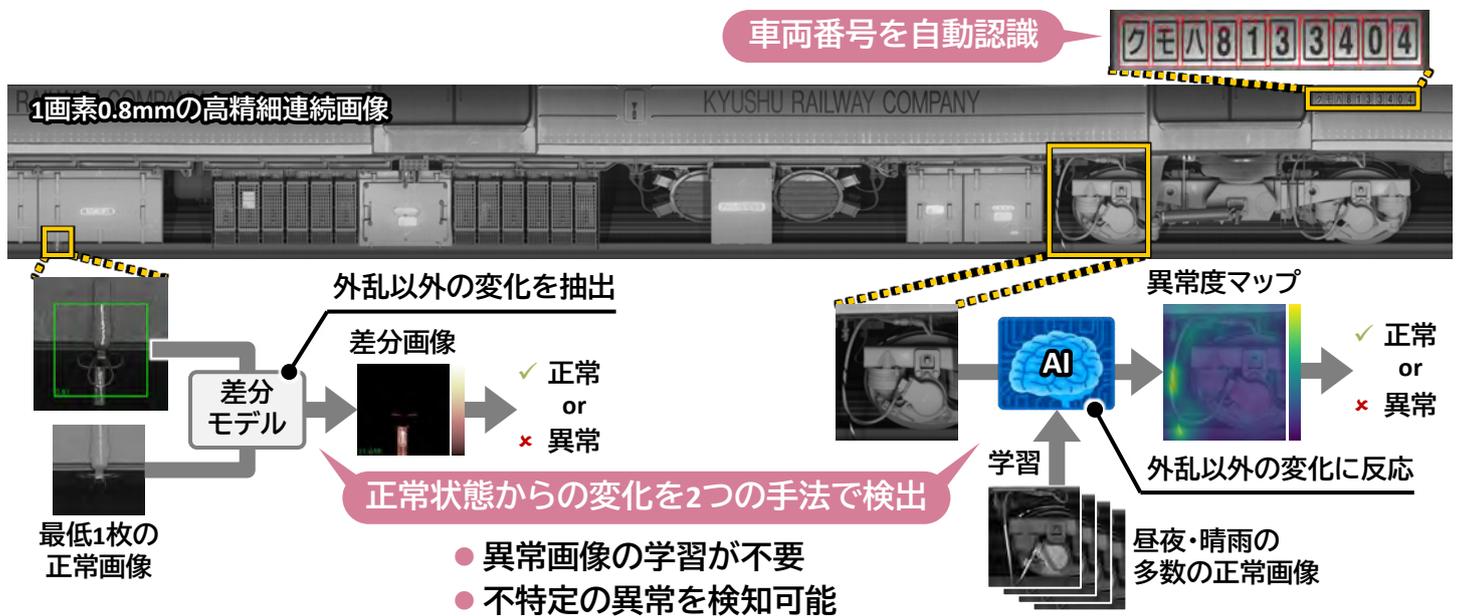
車両床下撮影装置の主な構成



撮影装置本体



診断アルゴリズム



異常検知例 - 模擬異常に対して検知率100%・過検知率1%未満で診断



D3

しゅう動摩擦に対する パンタグラフの安定性向上手法

走行中の摩擦により、パンタグラフに著大な摩擦振動が発生する場合があります。本研究では、摩擦振動の発生メカニズムの解明と、振動低減策を提示する安定性向上手法の提案を行いました。

研究の背景と目的

- 背景: すり板とトロリ線の摩擦係数が高くなると、パンタグラフに連続的な離線を伴う著大な摩擦振動が発生する場合があります。摩擦振動は輸送安定性やメンテナンスコストに影響しますが、発生メカニズムが解明されていませんでした。
- 目的: 摩擦振動の発生メカニズムを解明し、安定性向上手法を提案することを目的としました。

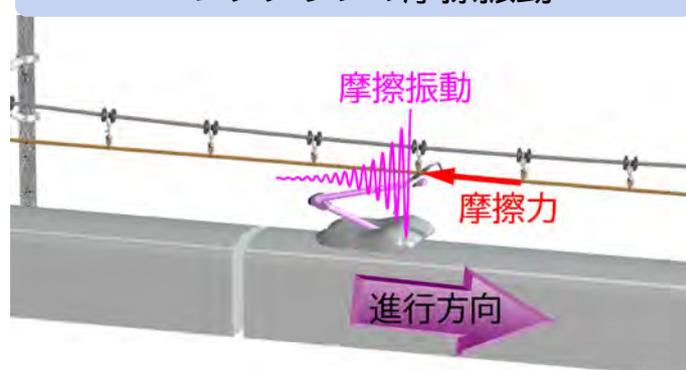
研究成果

- パンタグラフの詳細モデルを用いた数値解析により、摩擦振動の発生メカニズムが、2つの振動モードが近接し、増幅する現象であることを解明しました。
- 摩擦振動の原因となる振動モードを特定するために、振動モード同士の近接・増幅度を評価する手法を提案しました。
- これらの提案手法に基づいて、摩擦振動の低減策を提示可能な安定性向上手法を提案しました。

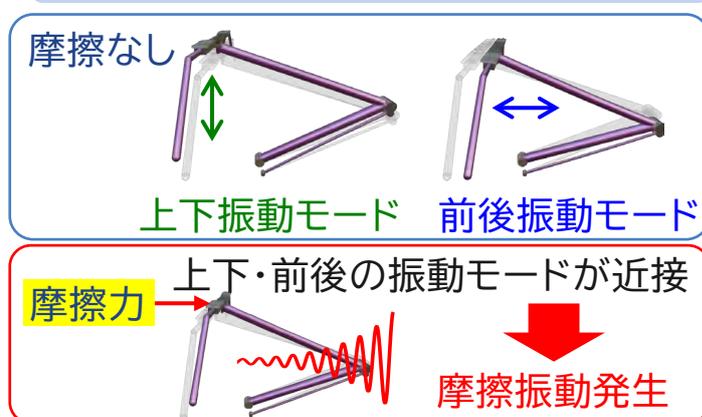
今後の展開

- 個別事象に応じた発生評価と対策提案などを行う予定です。

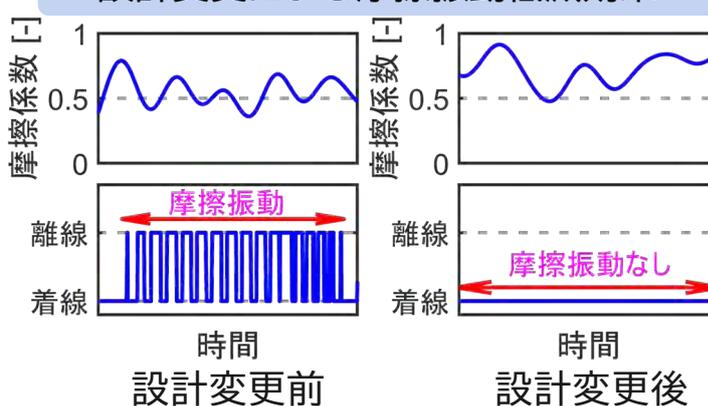
パンタグラフの摩擦振動



摩擦振動の発生メカニズム

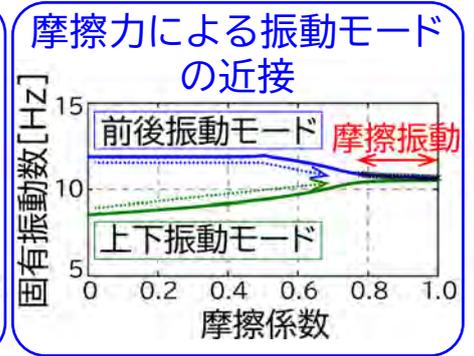
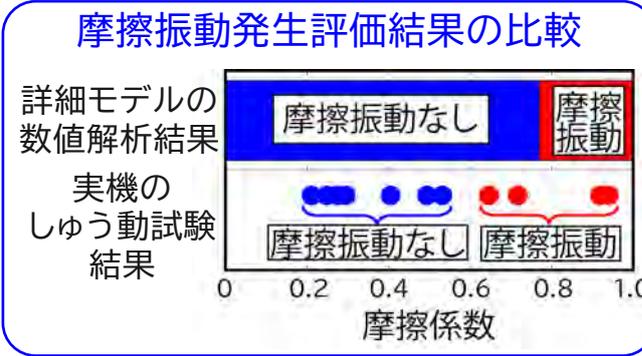
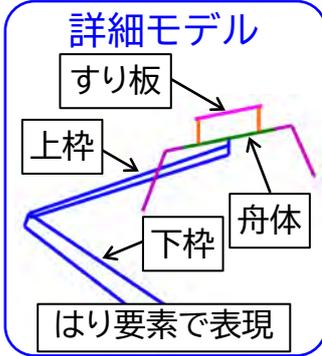


設計変更による摩擦振動低減効果



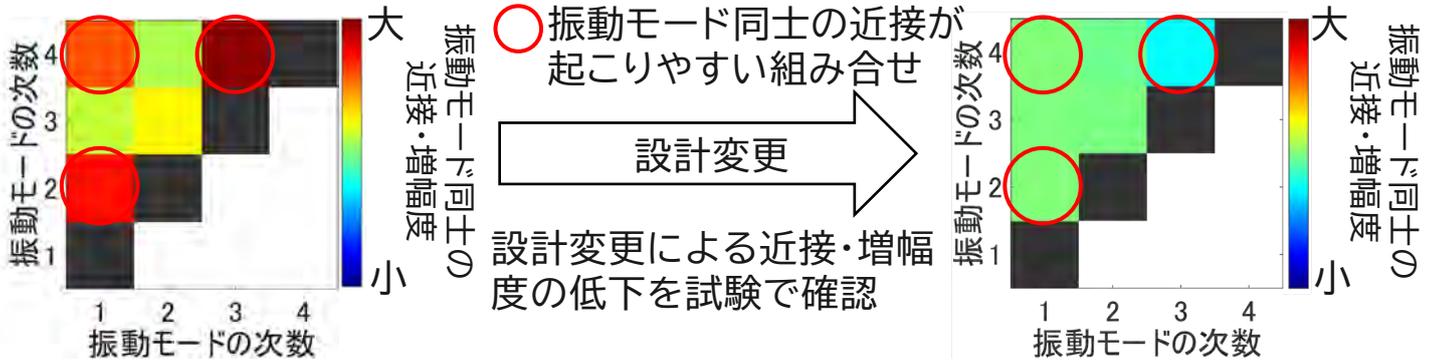
摩擦振動の発生メカニズムの解明

- ・摩擦振動を表現可能な詳細モデルを構築
- ・詳細モデルの数値解析による**摩擦振動の発生評価手法を提案**
- ・発生評価手法に基づいて摩擦振動の発生メカニズムを解明



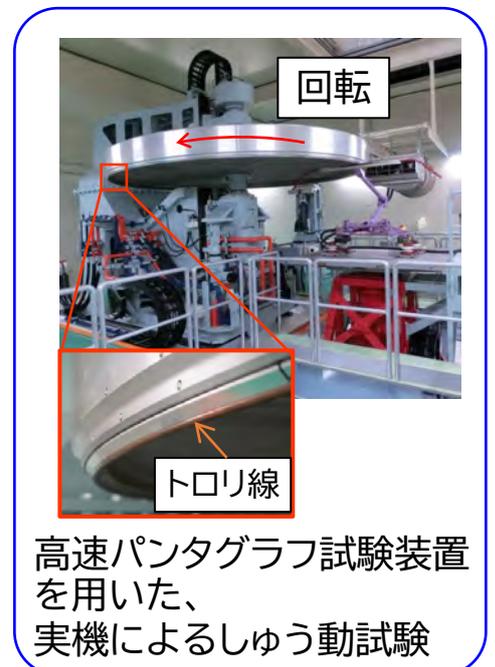
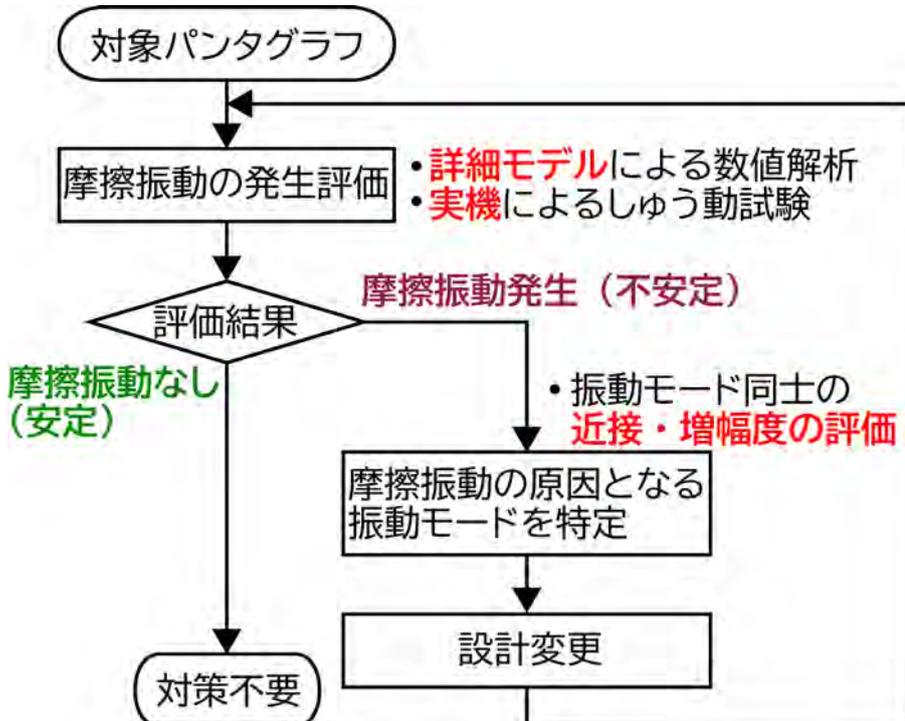
摩擦振動の原因となる振動モードの特定手法

- ・摩擦力に起因する**振動モード同士の近接・増幅度の評価手法を提案**
- ・特定された振動モードの固有振動数を変更することで摩擦振動を低減可能



摩擦振動の低減策を提示可能な安定性向上手法の提案

- ・**提案手法に基づく安定性向上手法を提案**
- ・フローに沿った設計変更による安定性向上(摩擦振動の低減)を確認



D4

地震動と構造物の特性を考慮した地震時走行安全性評価法

地震動と構造物の特性を考慮した鉄道車両の地震時走行安全性について、概略的に評価する手法を開発しました。地震対策の効果を容易に比較検討することができます。

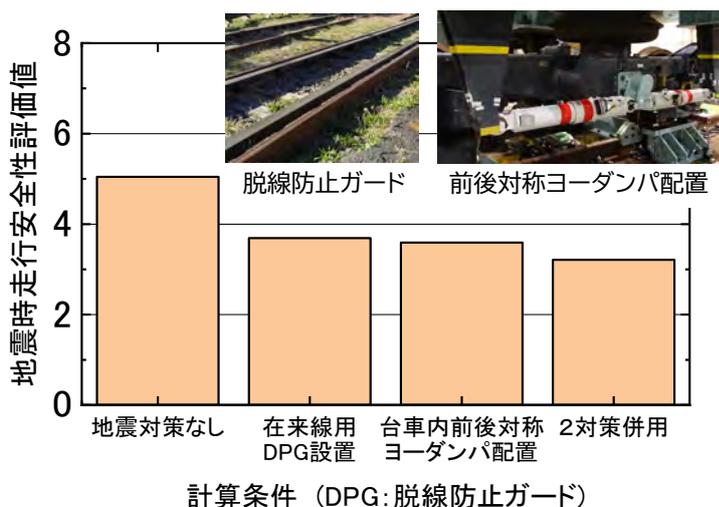
研究の背景と目的

- 鉄道車両の地震時走行安全性に関して、従来の評価法では周波数毎の比較であったり、特定の地震波での比較であったため、地震対策効果の優劣を把握しにくい場合があります。
- 本評価法は、地震動と構造物の振動特性を広範に考慮した上で、概略的に走行安全性を評価でき、地震対策等の効果を容易に比較することができます。

研究成果

- 過去に発生した地震の観測記録に基づいて、構造物の動的解析を行い、地震動と構造物の振動特性を広範に考慮した代表軌道面振動特性を求めました。
- 代表軌道面振動特性と正弦波加振に対する2種の限界線図から地震時走行安全性評価値を求める評価手法を開発しました。本評価値は値が小さいほど地震時走行安全性が高いことを意味します。
- 在来線車両を対象にした地震時走行安全性向上策の効果について、本評価法を用いて比較を行いました(右図)。

地震対策の効果比較例(在来線)



今後の展開

- 鉄道事業者からの依頼に基づき、地震時走行安全性向上効果の評価に活用します。

鉄道力学研究部(車両力学)

鉄道地震工学研究センター(地震応答制御)

地震動と構造物の振動特性を広範に考慮した代表軌道面振動特性

● 地震動

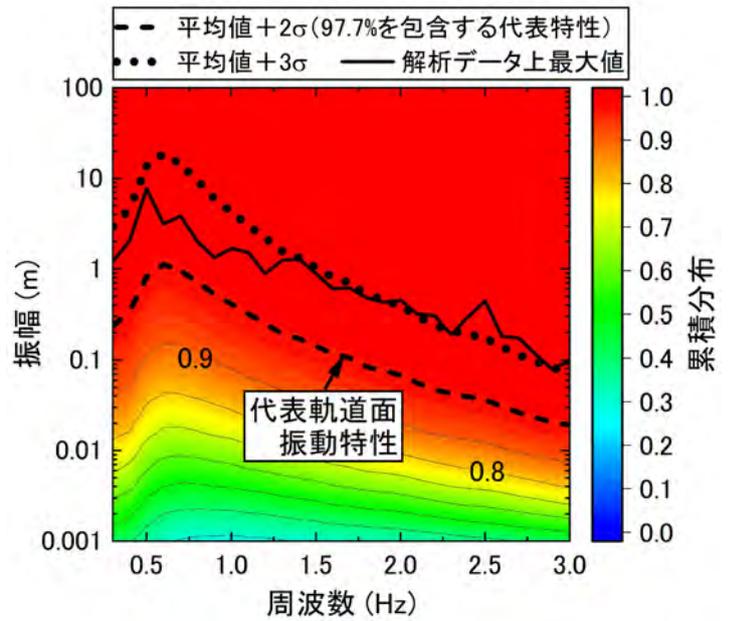
防災科学技術研究所強震観測網 (K-NET、KiK-net) のデータ

- 期間: 1996年5月～2019年2月
- 最大加速度: 200gal以上

● 構造物

- 固有周期: 0.1～2.0秒
- 減衰: 5%

多数の軌道面振動から代表軌道面振動特性を決定



地震時走行安全性評価値算出法

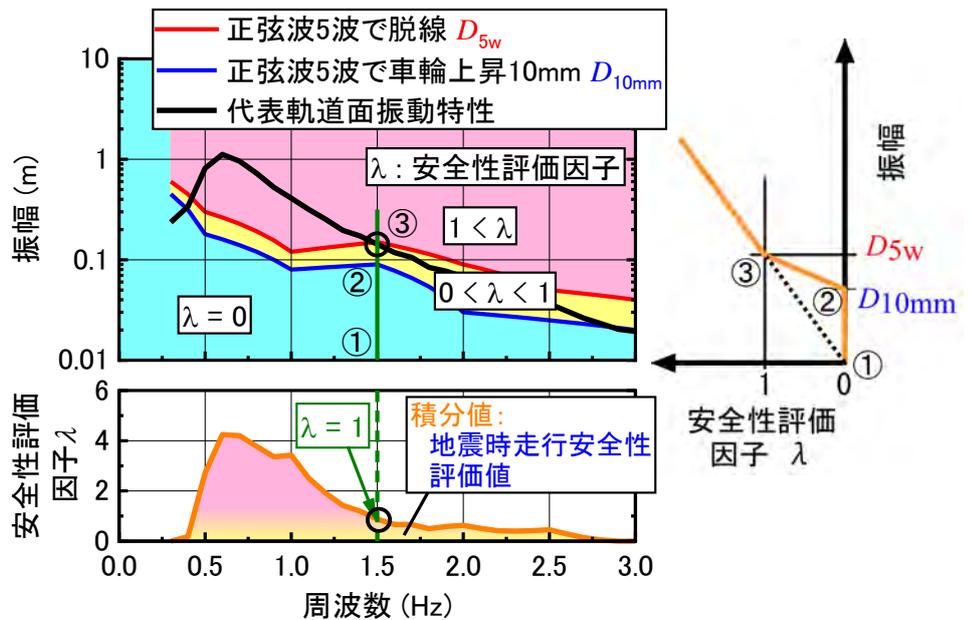
● 代表軌道面振動特性

● 正弦波加振に対する2種の限界線図

- 5波脱線
- 5波車輪上昇10mm

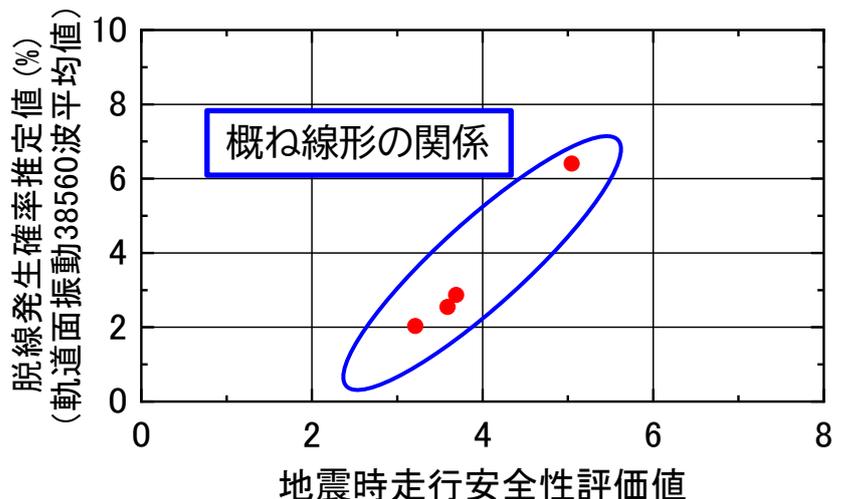
安全性評価因子 λ を周波数領域で積分

地震時走行安全性評価値



確率論に基づいた脱線発生確率推定値との比較

提案する地震時走行安全性評価値は、従来の脱線発生確率推定値の平均値と概ね線形な関係があり、従来と同等な比較・評価を短時間(概ね1/20)で実施可能です。



水素燃料電池車両の安全性評価

水素燃料電池車両の社会実装のために、リスクアセスメントを行うとともに、事故等による水素放出のシミュレーションを実施して安全対策をとりまとめ、技術基準の整備に寄与しました

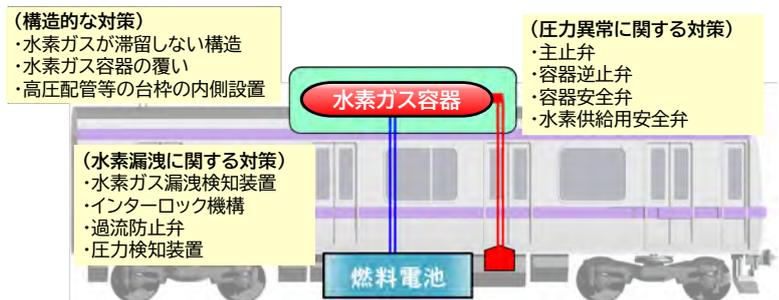
研究の背景と目的

- 国土交通省が水素燃料電池車両の社会実装を目的とした技術基準を整備するにあたり、「水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会」(事務局:国土交通省、鉄道総合技術研究所)が開催されました。その中で、水素燃料電池車両及びその運用における技術的な課題等の整理を目的として、リスクアセスメントを行い、技術基準の整備に資する安全対策をとりまとめる必要がありました。

研究成果

- これまでの鉄道事故の調査結果に基づき、水素燃料電池車両の運用に関するシナリオを作成し、リスクアセスメントを実施するとともに、水素漏洩検知装置や容器安全弁の設置、水素が滞留しない構造などの安全対策を提案しました。
- トンネル内のような閉鎖空間での水素の流動について、水素燃料電池車両の屋根上機器の配管からの少量の漏洩や、車両火災発生時の容器安全弁からの大量放出についてシミュレーションによる検証を行い、安全対策の有効性を確認しました。
- これらの成果は、有識者による「水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会」において有効なリスク低減策として認められ、技術基準に反映されました。

水素燃料電池車両の安全対策



「水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会とりまとめ」を元に作成

今後の展開

- 本検討手法は、水素エンジン動力車両など水素を燃料とする鉄道車両や鉄道による水素輸送の安全性評価にも適用可能であり、水素社会の実現に貢献します。

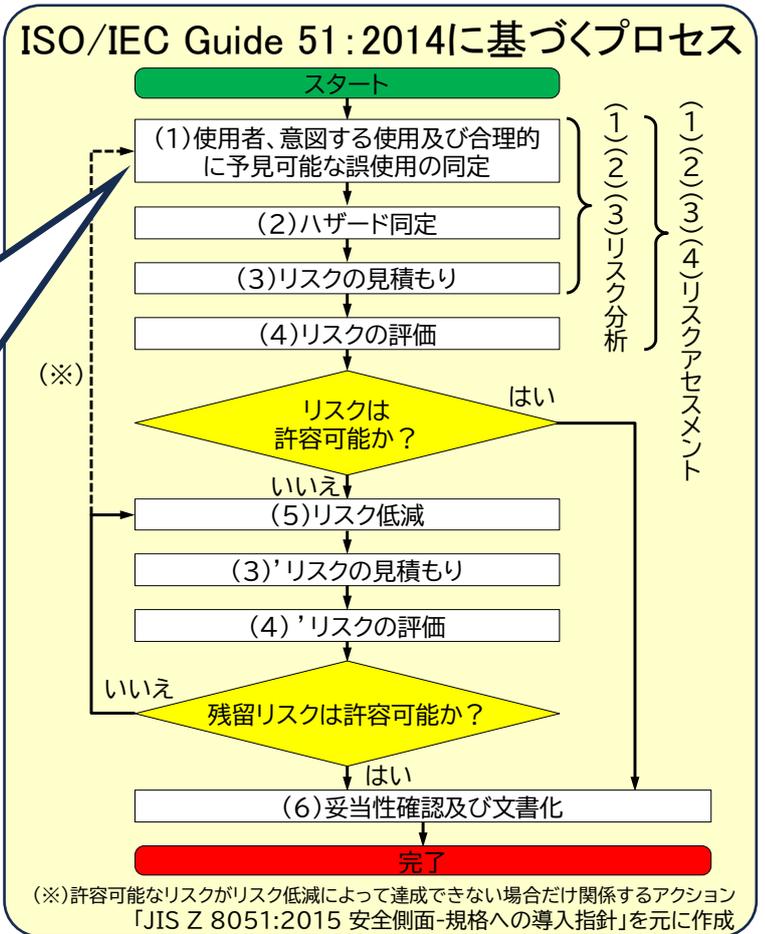
研究開発推進部(鉄道GX推進)
 車両技術研究部(水素・エネルギー)
 環境工学研究部(熱・空気流動)

リスクアセスメント

ISO/IEC Guide51に基づくプロセスによりリスクアセスメントを実施し、リスク低減策を講じて、リスクを許容可能範囲に収めることで安全を確保する

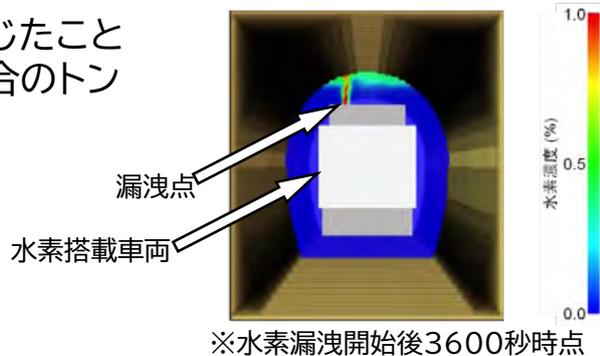
水素燃料電池車両に関するシナリオを作成 (シナリオ例)

- 踏切等で大型自動車と衝突
- 土砂崩れ・土石流等による脱線転覆
- 脱落部品による衝撃
- 軌道整備不良による脱線
- 台車枠損傷による脱線
- 大地震による脱線転覆
- ...etc



トンネル内で少量水素漏洩が継続した場合の濃度分布例

屋根上の高圧水素配管の接手に緩みが生じたことを模擬し、5NL/minの漏洩が継続した場合のトンネル内の水素濃度分布を計算 (車両停止状態、着火なし)



トンネル内で放出された水素に着火した場合の爆風圧分布例

容器安全弁動作2秒後に水素に着火した場合のトンネル内の爆風圧分布を計算 (車両停止状態)



関連する省令および告示

- ・鉄道に関する技術上の基準を定める省令
- ・圧縮水素ガスを燃料とする車両の燃料電池等の技術上の基準を定める告示

D6

大型低騒音風洞を模擬する数値風洞

風洞技術センター(米原)に設置されている大型低騒音風洞の気流を数値シミュレーションにより再現する数値風洞を開発しました。

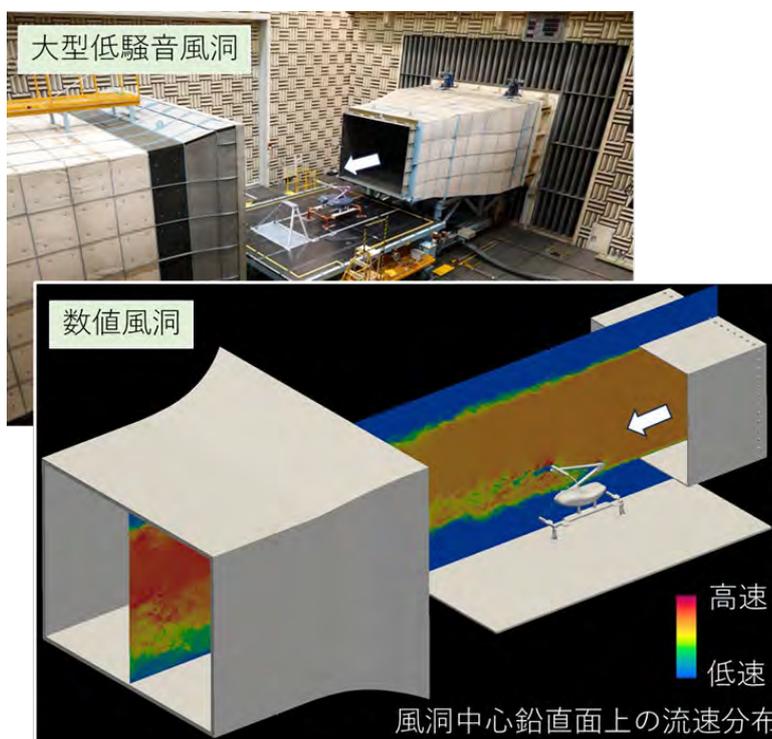
研究の背景と目的

- 鉄道総研における空気力学や空力音に関する研究開発では、大型低騒音風洞が重要な研究開発ツールとなっており、毎年200日以上、様々な風洞実験を実施しています。風洞実験のより効率的かつ高度な推進を目的に、風洞実験を数値シミュレーションで再現する「数値風洞」を開発しました。

研究成果

- 大型低騒音風洞の風洞気流の詳細(伴流、混合層、境界層の流速分布)を把握しました。
- 風洞気流を再現する流れの数値シミュレーション手法を開発しました。
- 三次元レーザースキャナーを用いた実験供試体の形状モデリングを導入し、形状定義から計算実行までを一気通貫に実施するシステムとして数値風洞を構築しました。

開発した数値風洞と実際の大型低騒音風洞

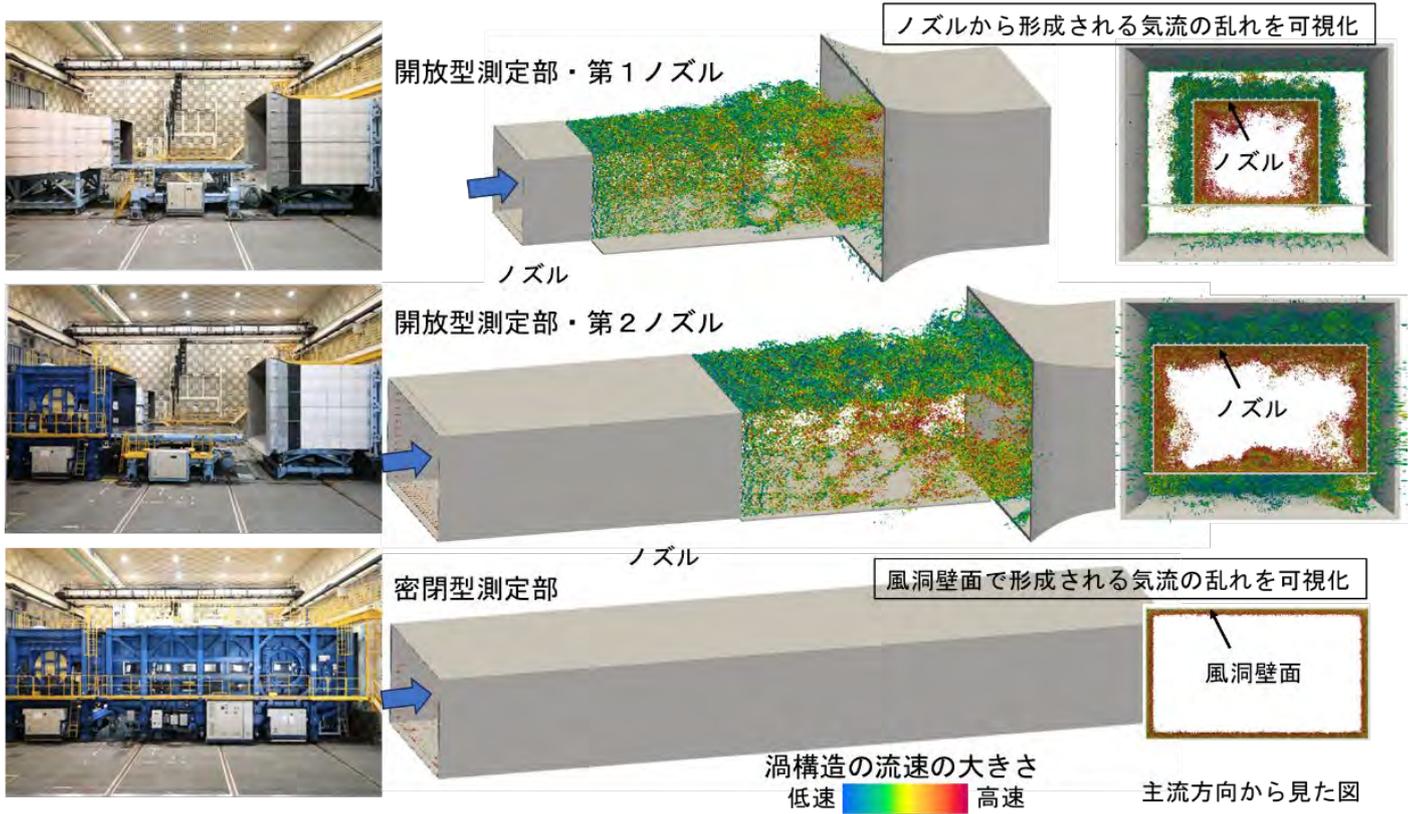


今後の展開

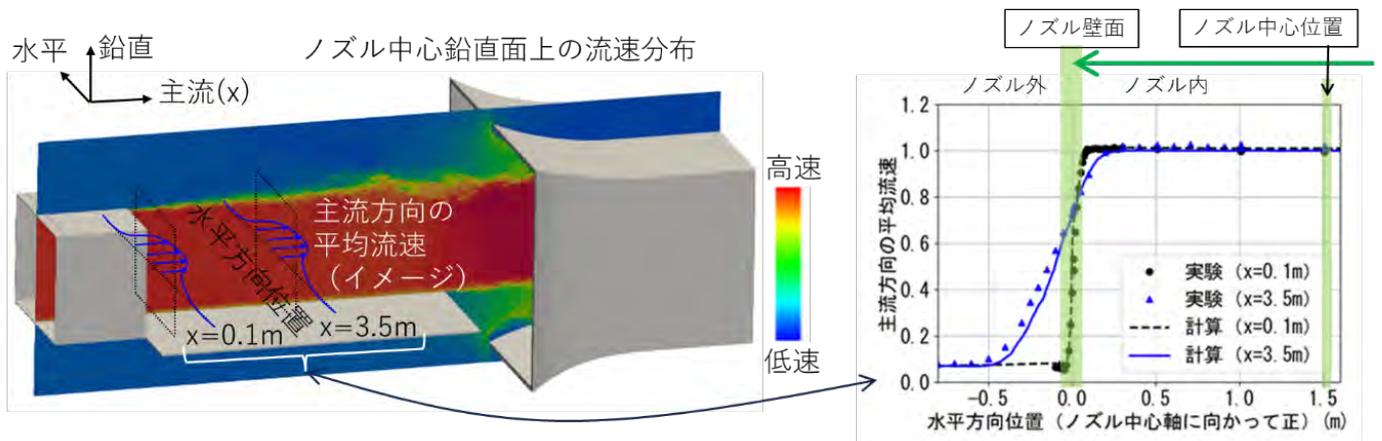
- 開発した数値風洞を用いて風洞実験の一部代替や補完、詳細流れ場の把握など、研究開発成果をより効率的に得るためのツールとして活用していきます。
- 風洞設備の大きさの制約を超えた大スケールの現象や、風洞設備では設定困難な条件に対する知見を得るためのツールへと発展させることにも取り組んでいます。

鉄道力学研究部(計算力学)、研究開発推進部(風洞技術センター)

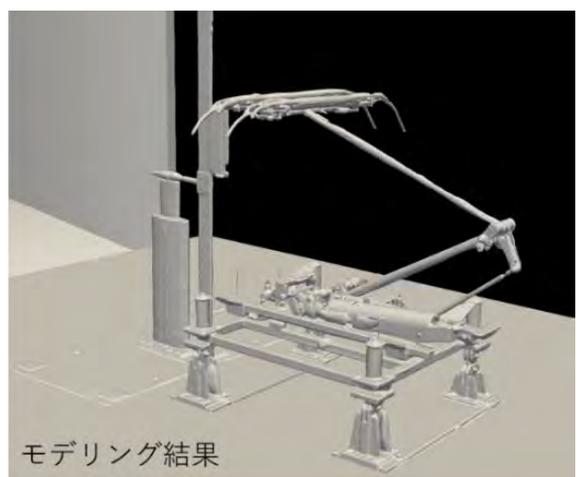
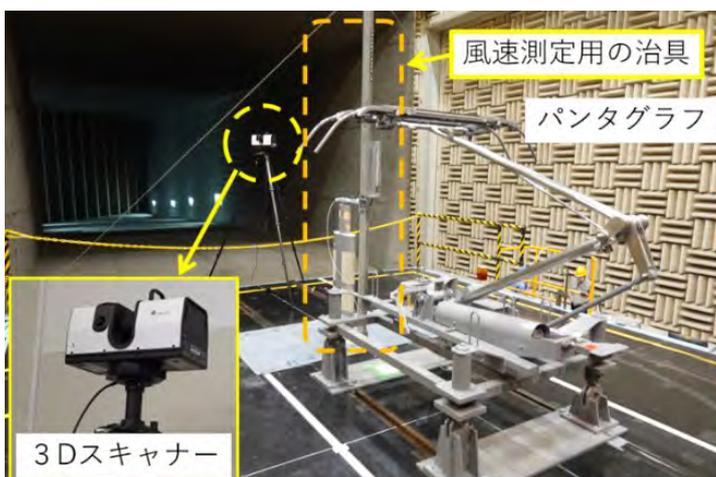
数値風洞で解析可能な風洞形状(大型低騒音風洞のすべての試験形態に対応)



数値風洞により計算された流速分布と実測値の比較



三次元レーザースキャナーを用いた風洞実験供試体の形状モデリング



D7

車両走行時の実現象を再現する 鉄道シミュレータ

車両や軌道構造・線形のモデル化を行い、各種シミュレーションとの連成環境を構築しました。走行試験が困難な現象、危険を伴う現象などを、デジタル空間上で再現して評価することができます。

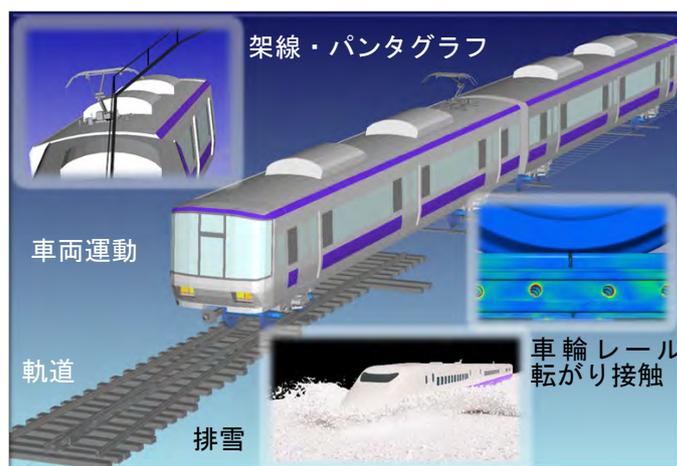
研究の背景と目的

- 鉄道固有の様々な現象を解明することを目指して数値シミュレーション手法の開発に取り組んできました。本研究では、実線区において生じる諸問題を評価するため、車両や軌道構造などのモデル化、および実現象を再現するシミュレーション手法との連成シミュレーション環境を開発しました。

研究成果

- 車両が分岐器や継目を通る際の車両運動シミュレーションを行い、車体の動揺や輪重変動などの実挙動が再現できることを確認しました。
- 車輪レール転がり接触シミュレータにより、車両通過時に分岐器や継目板にかかる衝撃力や応力を評価可能にしました。
- 架線・パンタグラフシミュレータでは、車両が大きく動揺した際のパンタグラフの不安定挙動を再現しました。あわせて、離線アークの可視化を可能にしました。
- 排雪シミュレータと車両運動シミュレータとの連成により、排雪走行時の走行安全性を評価可能にしました。

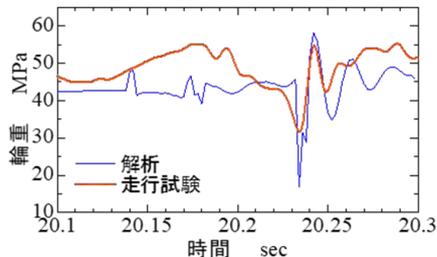
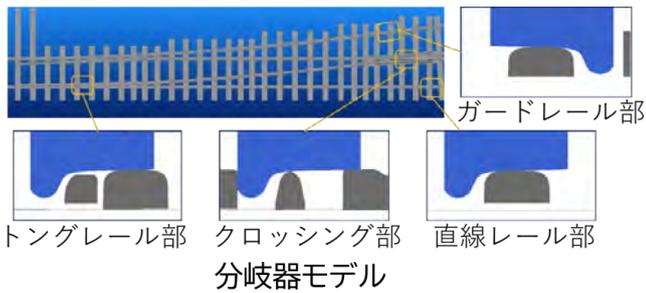
鉄道シミュレータの構成



今後の展開

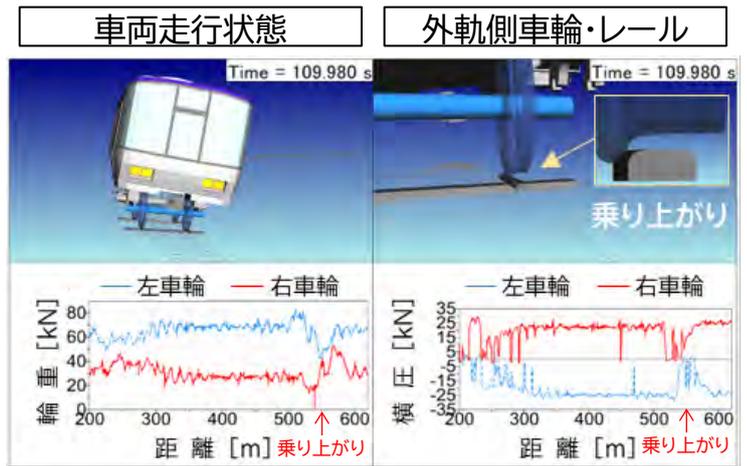
- 測定が困難であったり、危険を伴う事象に関する走行試験の補完、代替ツールとして活用します。
- 開発したシミュレータにより、「波状摩耗の発生／成長要因の推定」や「積雪による立往生メカニズムの解明」に取り組めます。

分岐器のモデル化

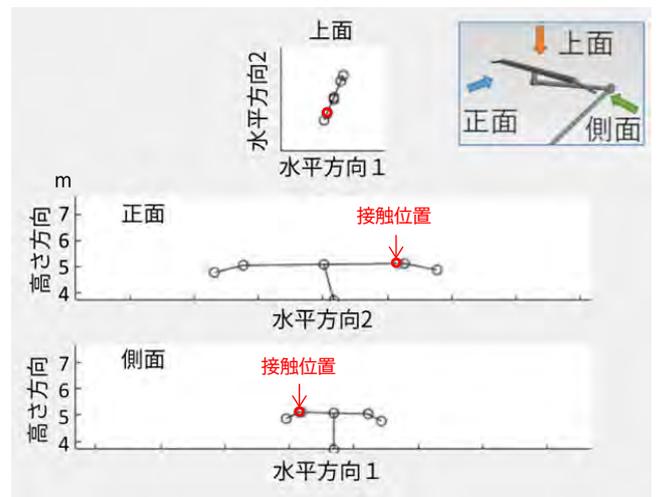
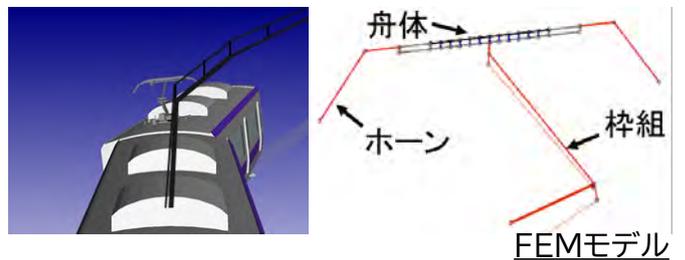


分岐器(クロッシング部)の輪重変動

乗り上がり脱線のシミュレーション

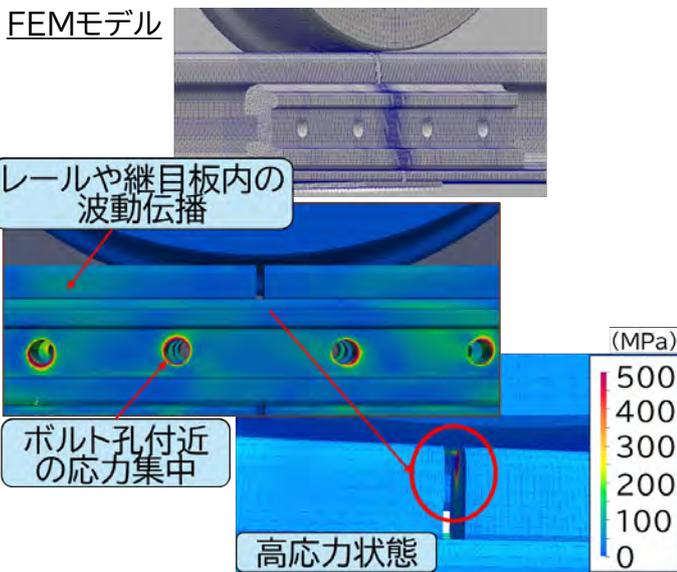


架線・パンタグラフシミュレーション



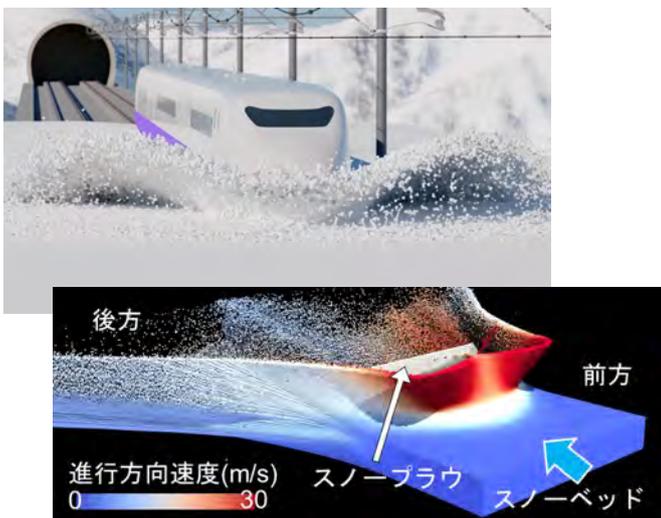
架線接触位置の挙動(赤丸印)

車輪・レール転がり接触シミュレーション

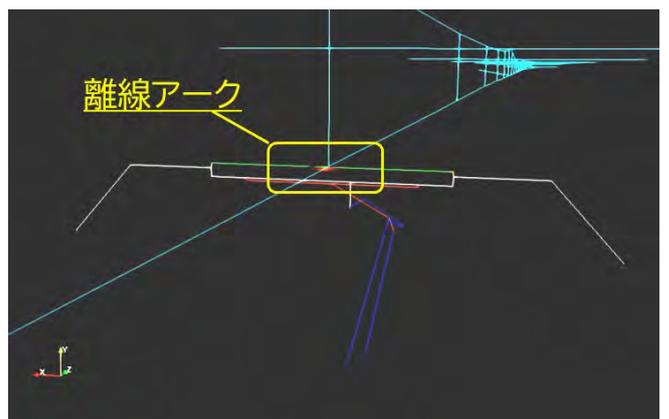


継目通過時の応力分布

排雪シミュレーション



離線アークの可視化



D8

デジタル画像相関法による地上コイル 温度上昇時の熱ひずみ評価

デジタル画像相関法を用いることで、約1m四方の地上コイルの通電温度上昇時の熱ひずみ評価手法を確立した。

研究の背景と目的

- 超電導浮上式鉄道の軌道の一部を構成する地上コイルは、東京から大阪まで敷設される重要な設備であり、高い信頼性が要求される。
- 地上コイルの開発において、熱と構造の連成解析により強度検討を行うが、実測との比較にはひずみゲージを用いていた。そのため、地上コイル全体の熱ひずみの分布まで評価することは困難であった。
- 地上コイル全体の表面ひずみを測定する方法として、デジタル画像相関法がある。これは予め、白と黒のスプレーなどを用いて地上コイルにランダムパターンを塗布した状態で、模様の変化をデジタルカメラで撮影し、その画像を比較することで行う。
- この方法を応用することで、解析精度の確認や、営業線の老朽取換で発生した地上コイルの劣化状態が開発時の想定通りとなっているか等の分析が期待される。そこで、デジタル画像相関法により地上コイルの通電温度上昇時の表面ひずみを評価した。

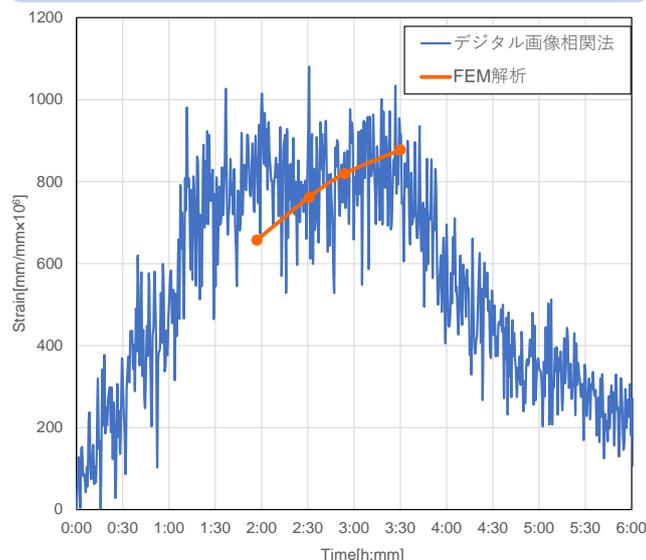
研究成果

- 地上コイルに直流電源をつなぎ、温度上昇させた際のランダムパターンの変化をデジタルカメラにより撮影して、模様の変化から熱ひずみを評価した。
- 温度上昇試験を実施した際の解析結果と、デジタル画像相関法による評価結果の比較により、精度確認を実施した。
- デジタル画像相関法の評価結果と解析結果は概ね一致し、熱ひずみの評価として十分な精度を有していることを確認した。

今後の展開

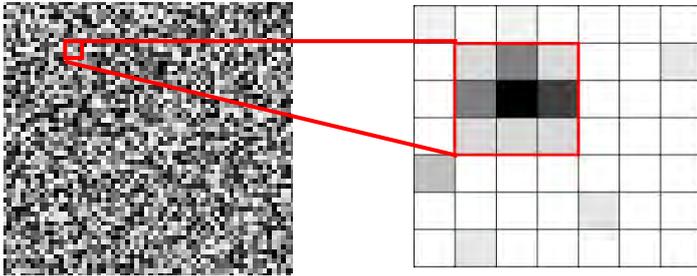
- 地上コイルが撮影面に垂直方向に変位する場合にも対応するため、カメラを2台に増やしてステレオ撮影することにより、3次元の模様の変化から表面ひずみを測定する手法を確立する。また、熱以外の各種荷重に対するひずみ評価手法を確立する。

デジタル画像相関法と解析による 熱ひずみの比較



ランダムパターン

デジタル画像相関法では、評価対象の地上コイル表面(樹脂)に、白と黒のランダムパターンを塗布する。



ランダムパターン

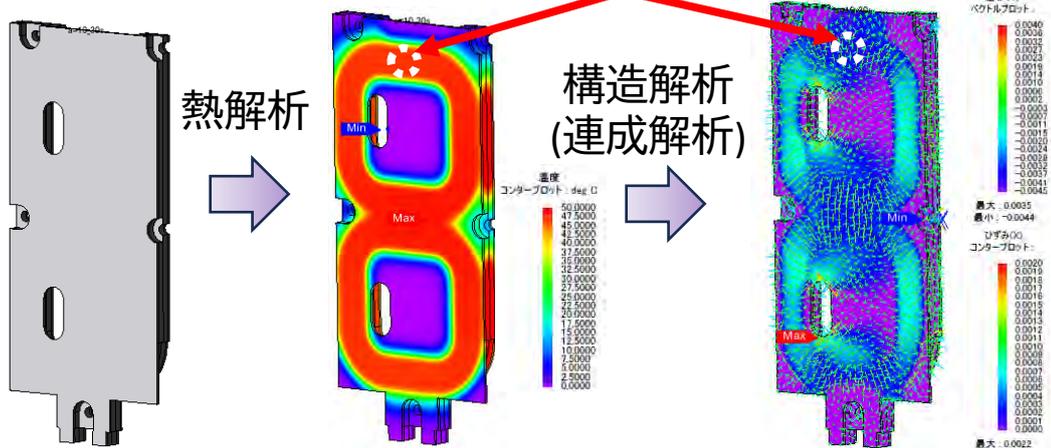
地上コイルの通電温度上昇中にランダムパターンを撮影している様子



熱と構造の連成解析

地上コイル通電時の熱解析と構造解析を行い、熱ひずみを算出した。

デジタル画像相関法とのひずみ比較部位



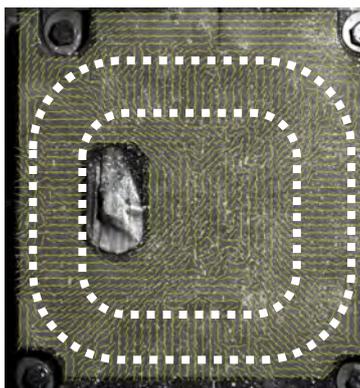
▲解析モデル

▲熱解析結果

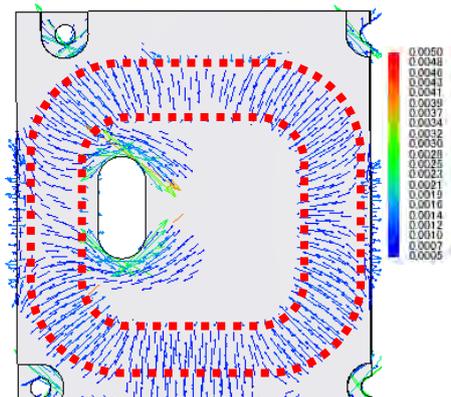
▲構造解析結果

デジタル画像相関法と解析による熱ひずみ方向の比較

デジタル画像相関法の評価結果と解析結果の比較より、熱ひずみの方向を完全に再現できていることが認められた。



▲デジタル画像相関法



▲熱と構造の連成解析

D9

高解像度音源分布を用いた 新幹線沿線騒音の予測手法

計測された車両まわりの高解像度音源分布と点音源の音の伝搬特性を用いて、軌道から25m離れた評価点における沿線騒音を予測する手法を開発しました。

研究の背景と目的

- 新幹線車両走行時の地上25m点騒音の大きさやその音源別寄与率の予測手法は、走行速度の向上、新型車両の導入や防音壁高さの決定等に活用されています。
- 車両の特定部位の形状変更による低減対策効果の試算に対応したツールとして、音源別寄与率の詳細化が可能な予測手法を開発しました。

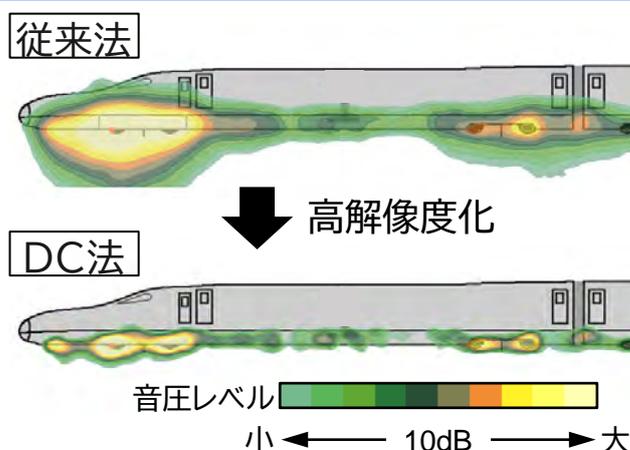
研究成果

- 二次元マイクロホンアレイによる計測結果と移動音源対応の計算アルゴリズム(デコンボリューション法;DC法)の適用により、例えば車輪スケールの空間分解能をもつ高解像度な音源分布の算出が可能となりました。
- 車両まわりの空間上に配置した点音源の強さと評価点における音圧レベルの差で表した音の伝搬特性を音響模型実験(1/20縮尺模型)等で推定可能となりました。

マイクロホンアレイによる測定概況



信号処理法による高解像度化

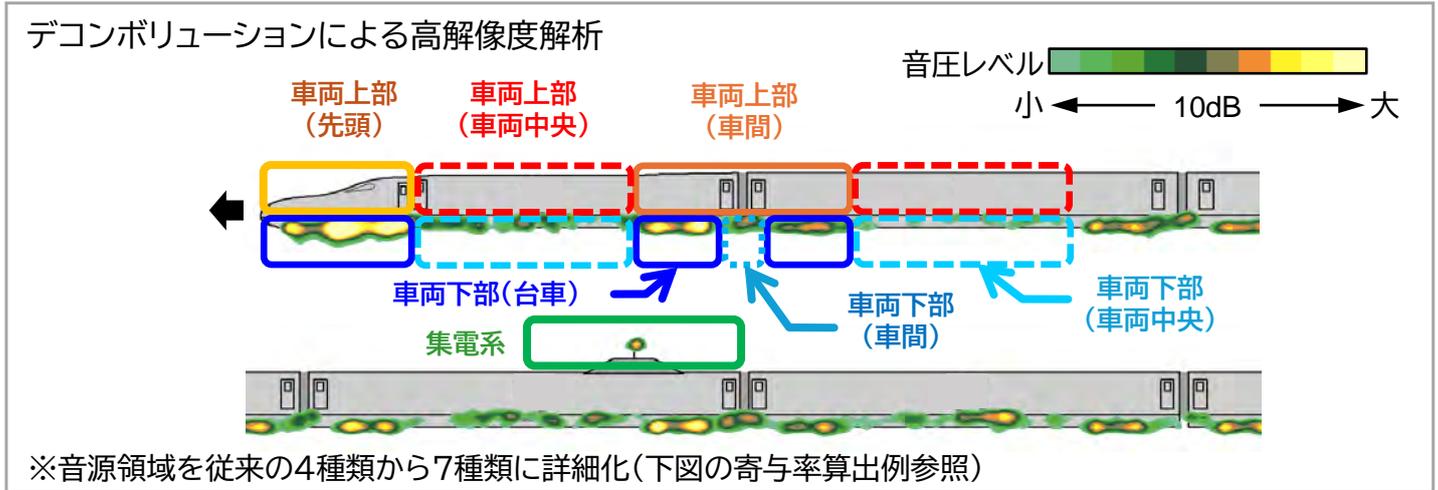


今後の展開

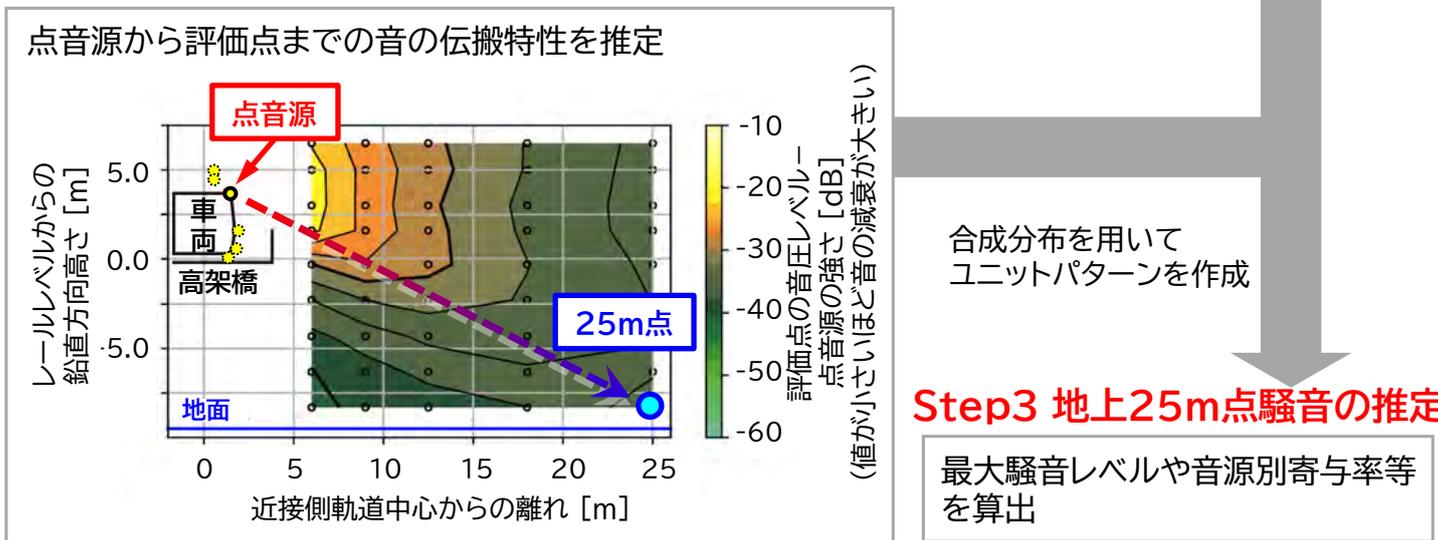
- 本予測手法を用いて、様々な車両・構造物条件における試算を行うとともに、速度向上時等において現状非悪化となるような低減対策方法の検討等に活用します。

本手法のフローおよび各ステップの詳細

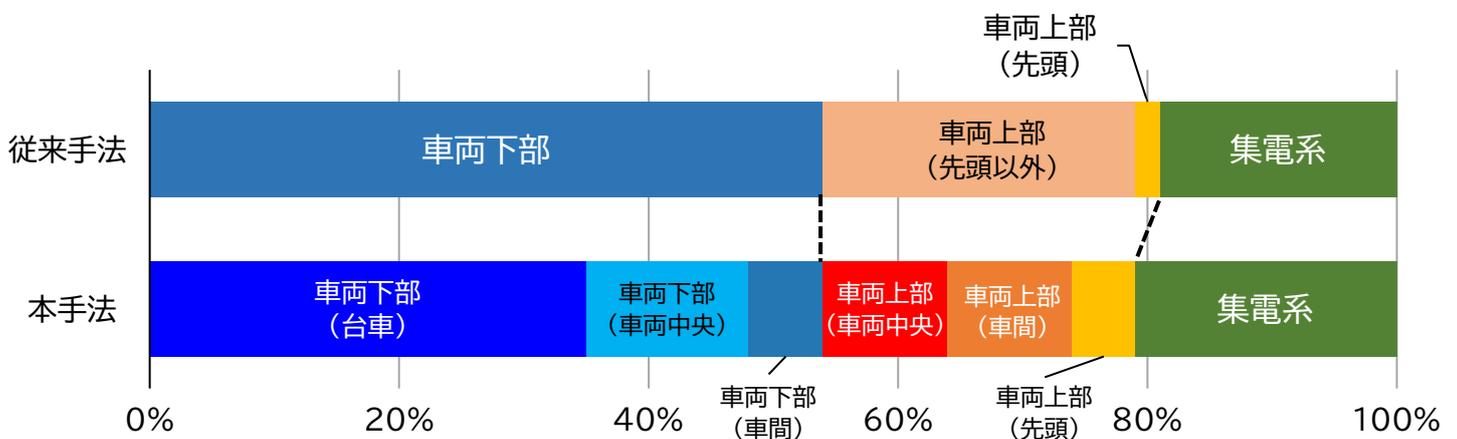
Step1 車両まわりの詳細な音源分布を実測



Step2 音響模型実験/有限要素解析等



地上25m点における沿線騒音の音源別寄与率の算出例



➡ 車両の特定部位の形状や防音壁高さを変更した場合の影響の予測も可能

D10

車輪の耐熱性評価と 異常加熱時の状態判定

踏面ブレーキ車輪の安全上の限界温度を把握する手法を開発し、全種類の車輪の耐熱性能を把握しました。さらに、在姿のまま異常加熱時の車輪安全性を判定する手法を構築しました。

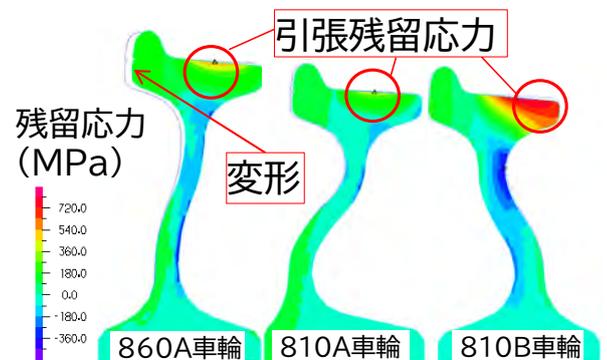
研究の背景と目的

- 車輪は、通常の踏面ブレーキ熱負荷に対し十分な熱容量をもちますが、不緩解等で異常加熱されると、引張残留応力が生じ、重大な損傷に至るおそれがあります。
- こうした状況が生じた場合、内面距離測定や塗料の焼けなどから状態を推定していましたが、車輪種類による限界温度や変形挙動の違いが不明のため不確実な推定しかできず、長期の運用離脱や不要な車輪交換が発生していました。

研究成果

- 踏面ブレーキ用の各種車輪について、実験データで検証された数値解析において、熱応力で塑性変形が開始する温度から限界温度を求める手法を開発しました。
- 車輪の種類によって限界温度は大きく異なり、一部の車輪では引張応力発生時の変形が小さく内面距離測定による異常の検出が困難なことがわかりました。
- 海外で用いられている超音波式応力測定に着目し、測定精度を検証して、車輪の異常判定に特化した適用方法を構築しました。
- この手法では、測定原理にもとづき、同一編成内の同種・同径の車輪との測定値の差から応力状態を判定します。
- 台上実験で異常加熱した車輪において、在姿での状態把握が可能であることを確認しました。

車輪による変形・応力挙動の違い

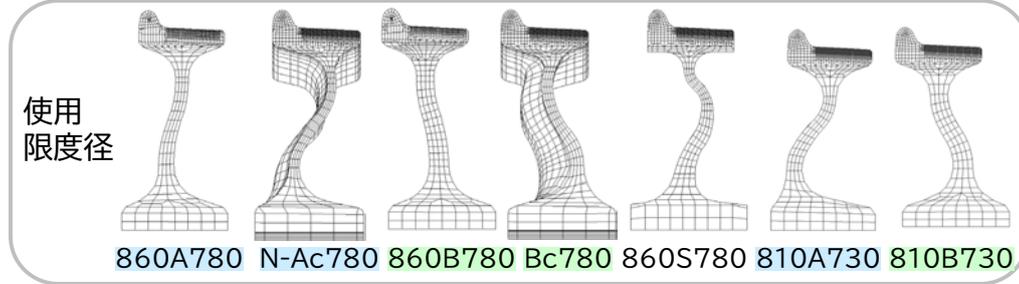
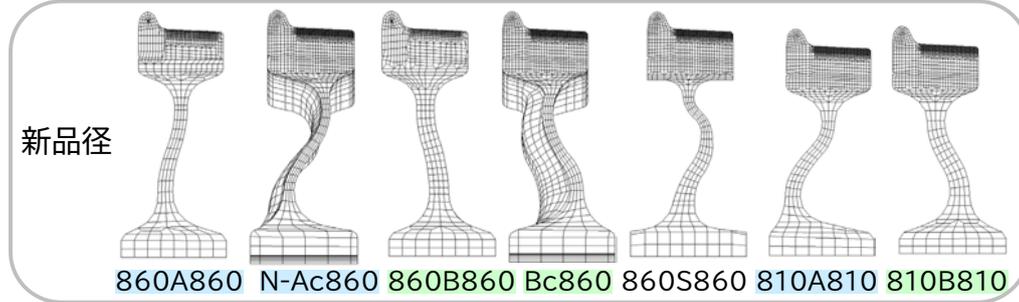


今後の展開

- これらの手法により、車輪の異常加熱が発見された場合に、車両在姿のまま非分解・非破壊で高精度に車輪の応力状態を把握することができます。
- 安全を担保しつつ、運用継続、車輪交換などを迅速に判断することが可能となります。

数値解析の対象とした車輪7種類(踏面ブレーキ用の全種類)と解析条件

車輪種類: 860A N-A波打 860B B波打 860S 810A 810B



A型車輪:

リムが外側・板部が外傾

B型車輪:

リムが外側・板部が内傾
狭軌M台車用

S型車輪:

JIS+EN準拠(海外製)

波打車輪:

A型(N-A)波打・B型波打

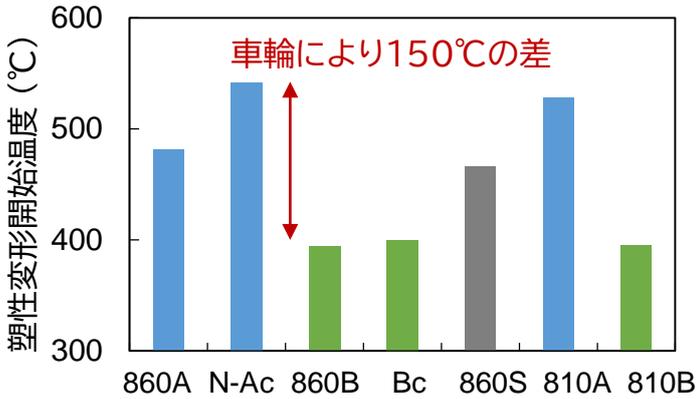
解析条件:

熱入力 33.3kW

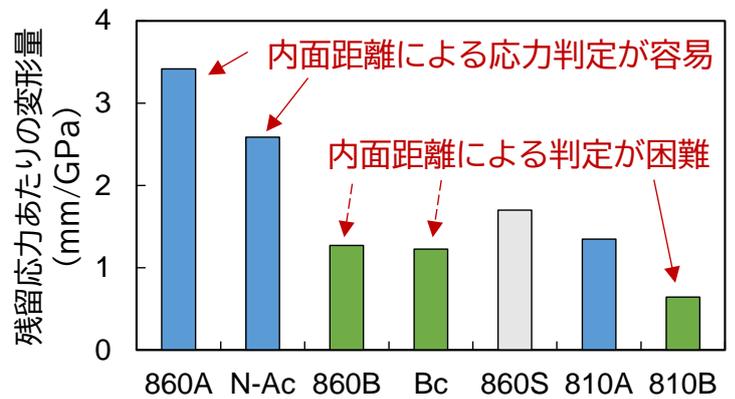
継続時間 40分間

最高温度500~700℃

車輪種類ごとの限界温度



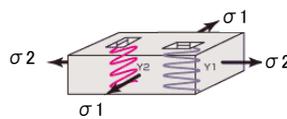
発生応力と変形(内面距離変化)の関係



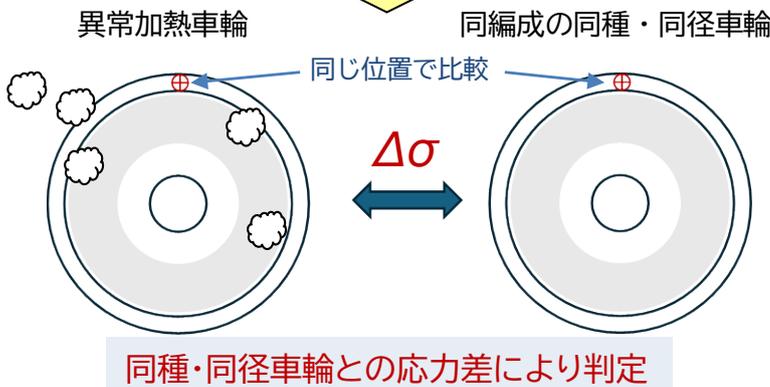
超音波応力測定の手輪状態判定への適用法

超音波応力測定

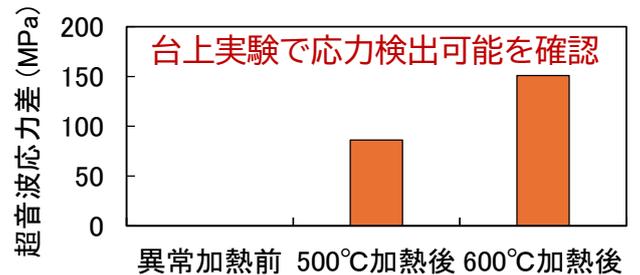
- 材料の異方性が影響



車輪種類・車輪径ごとに誤差が不可避



- 異常加熱車輪の状態把握可否の検証



- 現場での活用法



車輪異常加熱時、在姿のまま、迅速な車輪安全性の判定が可能

D11

付随車における電力回生が可能な 非接触ディスクブレーキ

省エネの追求、省メンテナンス・消耗品削減のため、付随車向けの非接触ディスクブレーキを提案しました。インバーターを用いずに、シンプルな回路で電力回生ができることを確認しました。

研究の背景と目的

- 近年、列車運行の脱炭素化やエネルギー効率の高い車両の開発が期待されるとともに、消耗品の削減やメンテナンスの省人化も求められています。
- 付随車の軸ディスクブレーキを電気ブレーキへ置き換えることにより、エネルギー消費と消耗品を削減することが考えられますが、付随車に電動機やインバーター、歯車装置などの搭載が必要になり、導入コストなどに課題があります。

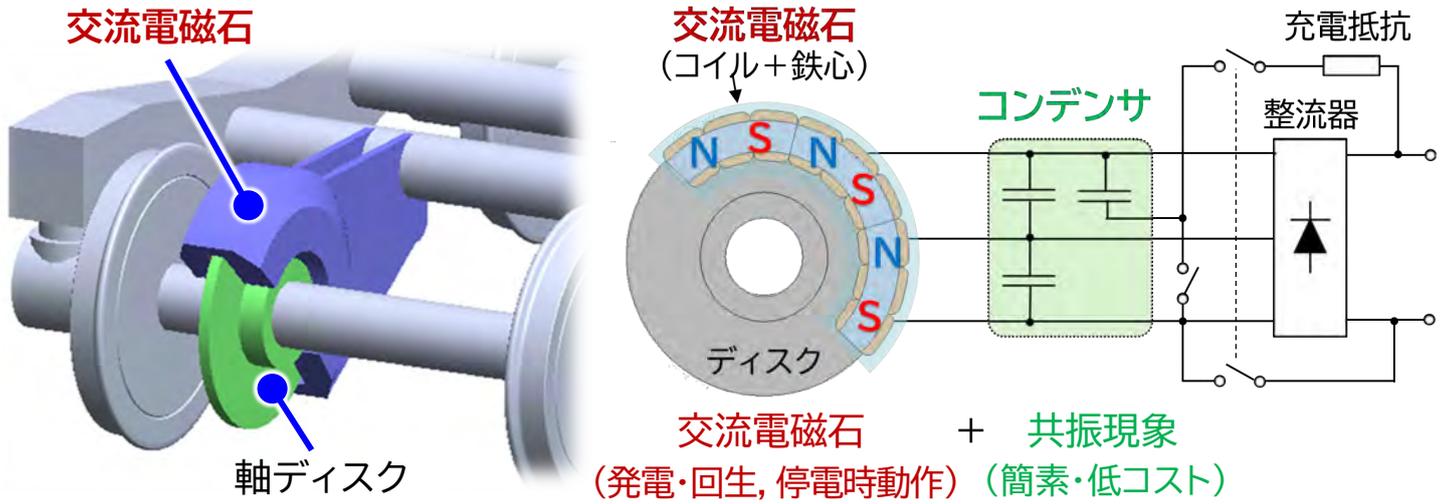
研究成果

- インバーターなどを用いないシンプルな回路により、付随車で簡易的な電気ブレーキを実現可能とする非接触ディスクブレーキを提案しました。
- 提案するブレーキは、電磁石とコンデンサの共振現象によって電気を流すことでブレーキ力と回生電力を得ます。原理検証試験の結果、実際に共振による通電でブレーキと電力回生が可能なことを確認しました。
- 今後実機を設計する際に必要となる基礎データを取得するため、実機大の直流電磁石による要素試験を行いました。数百℃になるディスク温度とブレーキトルクの関係などを把握しました。
- ブレーキ動作状態に応じて複雑に変化する電磁石の電気的特性に対して、所望の共振状態にするためのコンデンサ容量の決定方法などを考案しました。

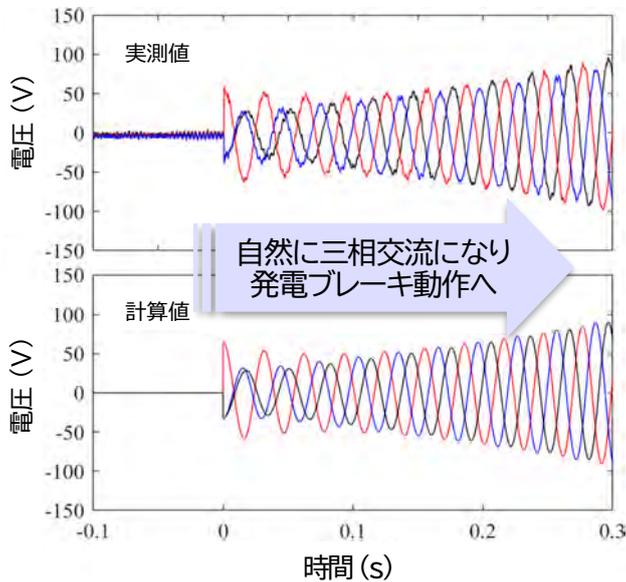
今後の展開

- 実機レベルでの性能評価と使用条件に合わせた詳細設計法の構築を進め、省エネで省メンテナンスな車両の実現に資する非接触ディスクブレーキの実現を目指します。

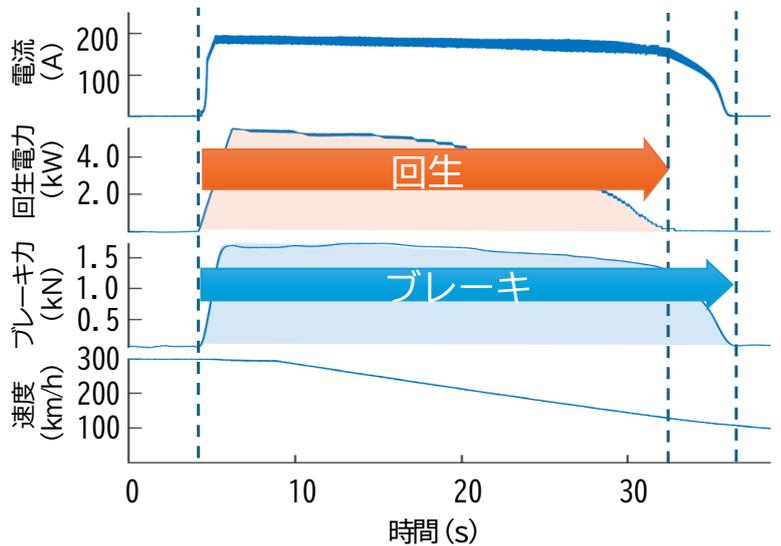
付随車向け電力回生非接触ディスクブレーキの構成



電磁石とコンデンサによる共振通電の原理検証試験



始動時の電圧波形

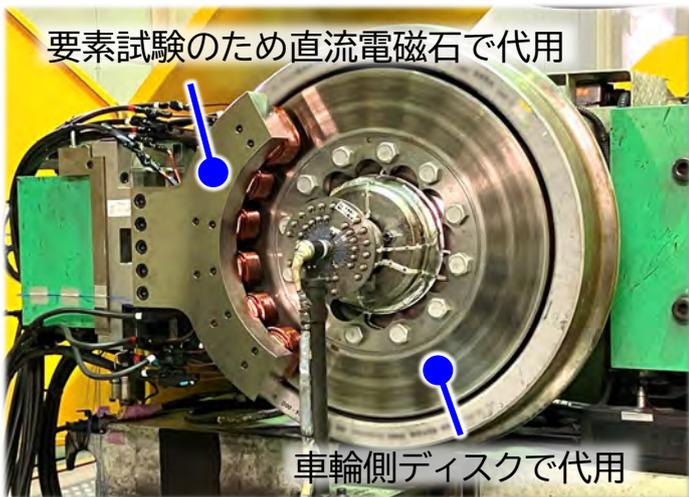


減速時の動作

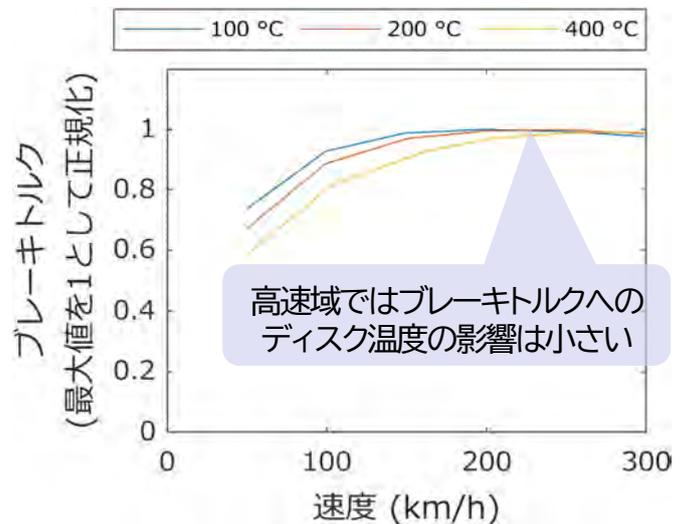
インバーターを用いずに三相交流を通電

速度が変化しても共振通電は維持

基礎データ取得のための要素試験



要素試験機



ディスク温度とブレーキ力

D12

切削力測定を用いた ブレーキ摩擦材の耐摩耗性評価手法

ブレーキ摩擦材の耐摩耗性を小試験片を用いた簡易な測定手法によって評価できます。

研究の背景と目的

- ブレーキ摩擦材の耐摩耗性を評価するには、多大な労力と時間を費やす実物大の摩擦材による台上試験が必要で、簡便な評価手法が望まれます。
- 表面・界面物性解析装置(SAICAS)による摩擦材小試験片表面の切削力から求まるみなしせん断強度を耐摩耗性評価に利用することを考え、実物大台上試験による摩耗量と比較しました。

研究成果

- SAICASで得た摩擦材小試験片(銅系焼結合金製)のみなしせん断強度は、実物大台上試験による比摩耗量*と強い相関があり、耐摩耗性評価に有効な指標として期待できます。

*比摩耗量

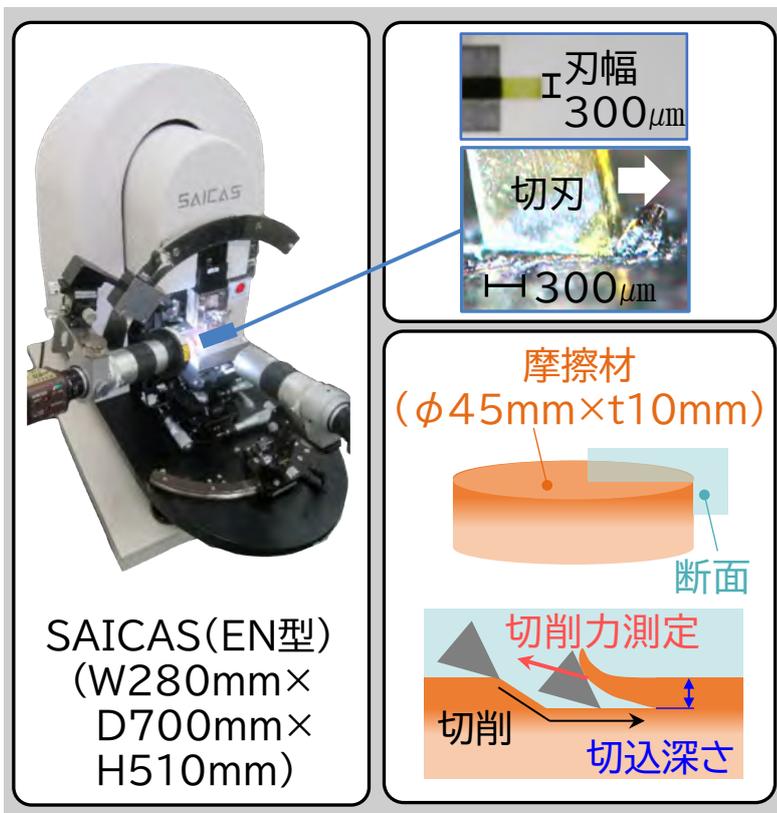
=摩耗体積/(しゅう動距離×押付力)

- 小試験片を用いた測定でわかる指標から、実物大摩擦材の耐摩耗性を簡便に評価できることで、材料選定を効率化し、摩擦材開発のスピードアップに貢献できます。

今後の展開

- 摩擦材開発における材料選定時に具体的な設計指針を提示する標準的な耐摩耗性評価手法の確立を目指し、ブレーキ条件や摩擦材の適用範囲を拡げ検証を進めます。

SAICASを用いた摩擦材の切削力測定



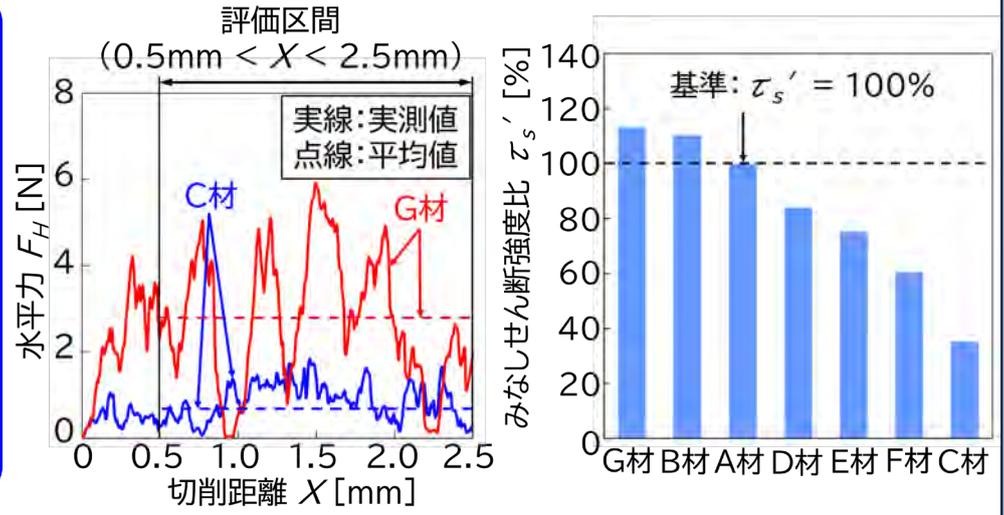
切削力測定によるみなしせん断強度比*

みなしせん断強度



$$\tau_s = \frac{F_H}{2dw} \tan \phi$$

F_H : 水平力(kN)
 d : 切込深さ(10 μ m)
 w : 刃幅(300 μ m)
 ϕ : せん断角(45deg)

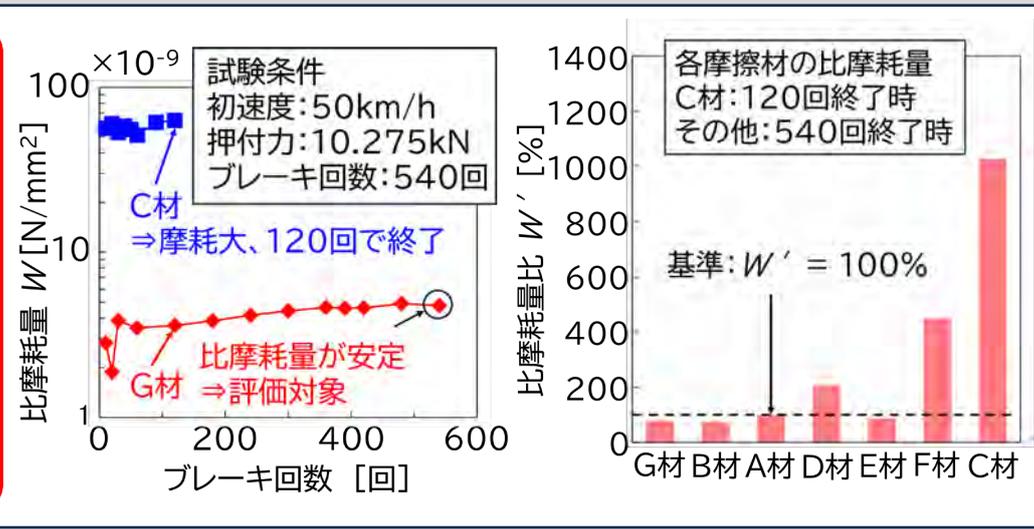


駅停車時のブレーキを想定した実物大台上試験による比摩耗量比*

比摩耗量

$$W = \frac{V}{PL}$$

V : 摩耗体積(mm³)
 P : 押付力(kN)
 L : しゅう動距離(m)



みなしせん断強度と比摩耗量の比較*



実物大台上試験 (実物大)

τ_s' を用いて耐摩耗性を簡便に評価可能

$W' \propto \tau_s'^{-2.3}$
 $R^2 = 0.95$

みなしせん断強度比 τ_s' [%]



切削力測定 (小試験片)

*出典: 第31回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2024) SS1-1-2 (2024)

D13

微気圧波低減のための 3段先頭部形状

線形音響理論と数値流体力学(CFD)を組み合わせ、微気圧波低減に有効な先頭部形状として、先端・中間・後端の断面積変化率を大きくする3段型先頭部を開発

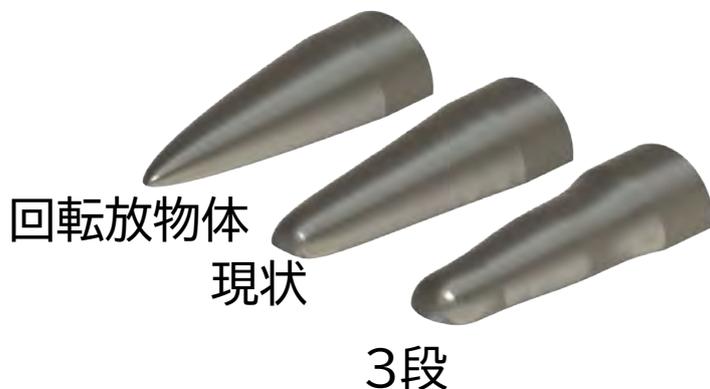
研究の背景と目的

- 列車先頭部の微気圧波低減性能の向上
- 列車先頭部の短縮化

研究成果

- 剥離、非線形の影響を無視した線形音響理論で得られる単位応答を三角波で簡略化した近似解析から、多段型先頭部の微気圧波低減効果が高いことを示しました。たとえば、15m先頭部の場合には、不連続な段差が先頭部先端、中央、後端にある3段先頭部が最も微気圧波低減効果が高くなります。
- 実際の流体では、不連続な段差まわりには大きな渦が生じ、また、単位応答が三角波ではないため、3段先頭部の角をほどよく丸める必要があります。
- 剥離、非線形の影響を考慮した軸対称数値流体力学(AX-CFD)により、実際のトンネル突入をシミュレートし、微気圧波低減効果の高い3段先頭部形状を開発しました。得られた3段先頭部と従来の先頭部の微気圧波低減効果を比較し、従来よりも微気圧波最大値を5%程度低減可能であること、あるいは従来と同等の微気圧波1m短い先頭部で実現可能であることを示しました。(特許7033827)

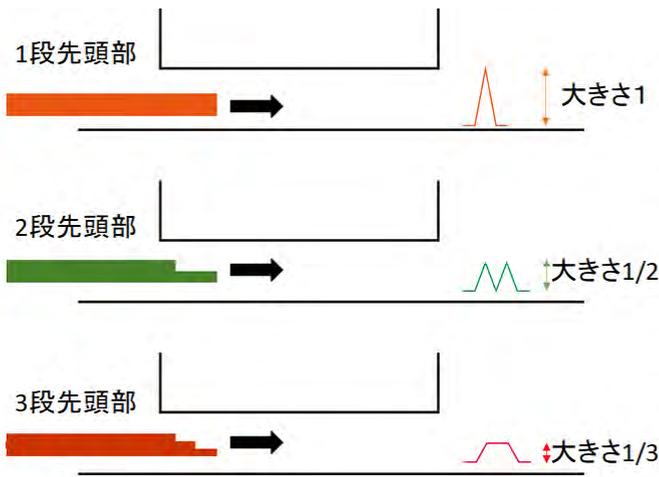
3段先頭部



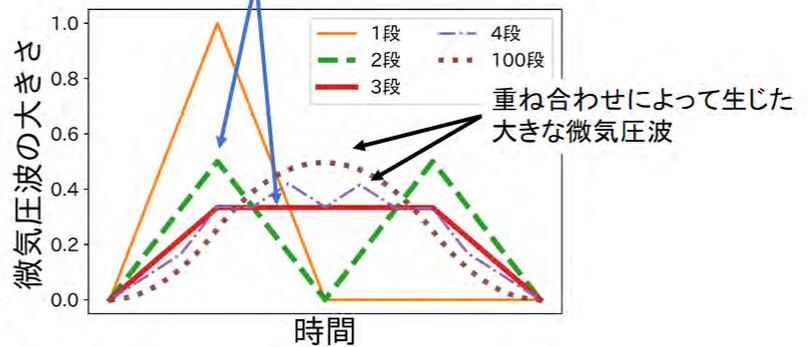
今後の展開

- 偏心走行を考慮した3次元多段型先頭部の開発

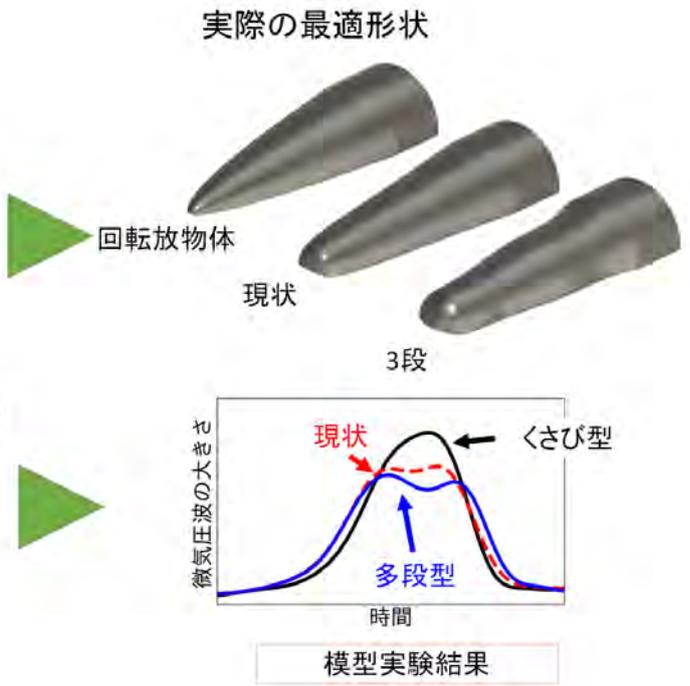
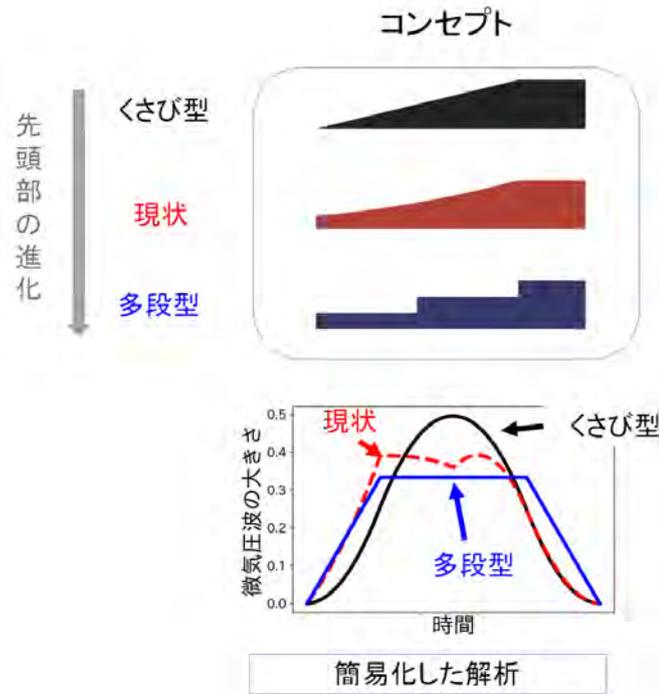
多段型先頭部による微気圧波の“近似”解析(各段差が等しい場合)



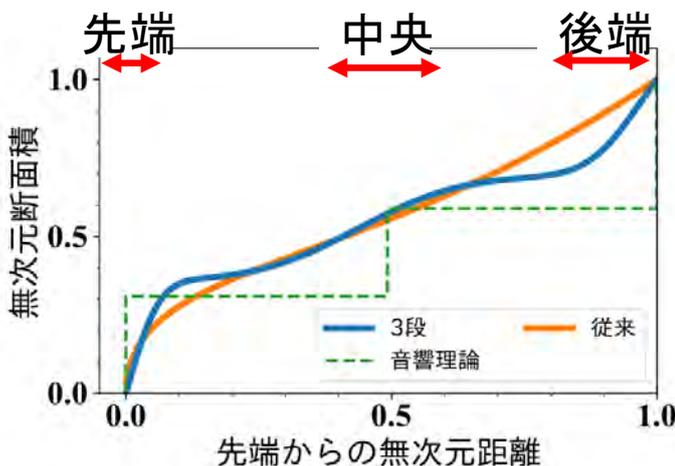
2段, 3段先頭部にすると微気圧波の大きさは1/2, 1/3になる



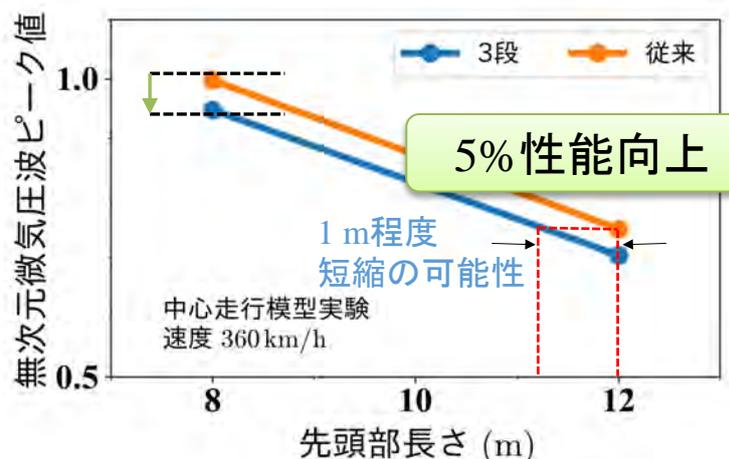
最適列車先頭部形状と発生する微気圧波の関係



3段先頭部の断面積分布



微気圧波ピーク値測定結果



D14

軽量化により長寿命を実現する 主電動機軸受

主電動機用円筒ころ軸受の長寿命化を実現するため、ころを軽量化する方法を考案し、これに基づき開発した軸受は、台上試験において、従来品の2倍以上の寿命となることを確認しました。

研究の背景と目的

- 主電動機軸受は、交換頻度が高く、グリースの定期的な給脂が必要なため、鉄道車両の台車のメンテナンス周期の延伸に対する制約因子の1つとなっており、長寿命化が求められています。
- メンテナンス周期延伸を見据え、従来品の2倍程度の寿命となる主電動機軸受の開発を目指しました。

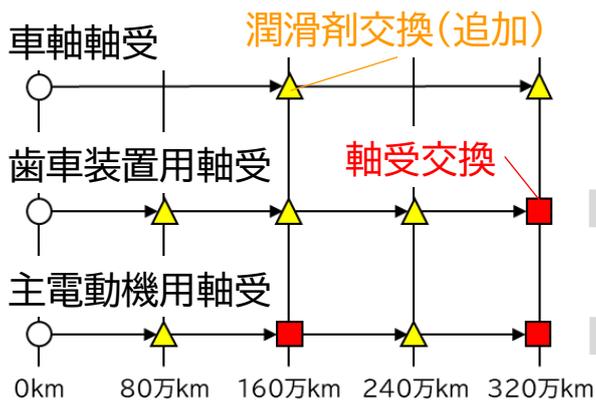
研究成果

- 主電動機軸受の主な損傷原因は保持器の摩耗であり、これまでに、摩耗量はころと保持器の接触力と接触時間の積(力積)に比例することを明らかにしてきました。
- 力積を力学モデルに基づき計算する動解析手法を考案しました。
- 動解析手法を用いた軸受諸元の検討の結果、主電動機の使用条件下では、ころを従来の半分程度に軽量化することで、保持器の摩耗を大幅に低減できることが分かりました。
- 2通りのころの軽量化方法を採用し、これらを組み込んだ軸受を開発しました。
- 主電動機の使用条件を模擬した台上試験を実施したところ、いずれの軸受も従来品に比べて寿命が延伸できることを確認しました。
- セラミックス製のころを用いた開発品の場合、寿命が2倍以上となりました。

今後の展開

- 既存の主電動機の軸受を開発品に交換するだけで、主電動機のメンテナンス周期の延伸が見込めます。
- 現在は台上試験での検証に留まっているため、現車での検証を目指します。

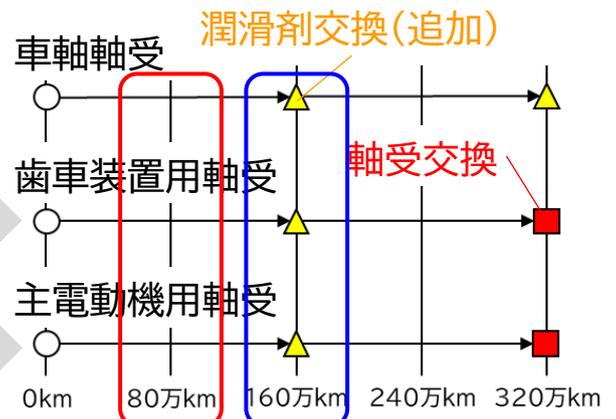
軸受のメンテナンス周期



現在の
軸受のメンテナンス周期(例)

更油は
随時可能

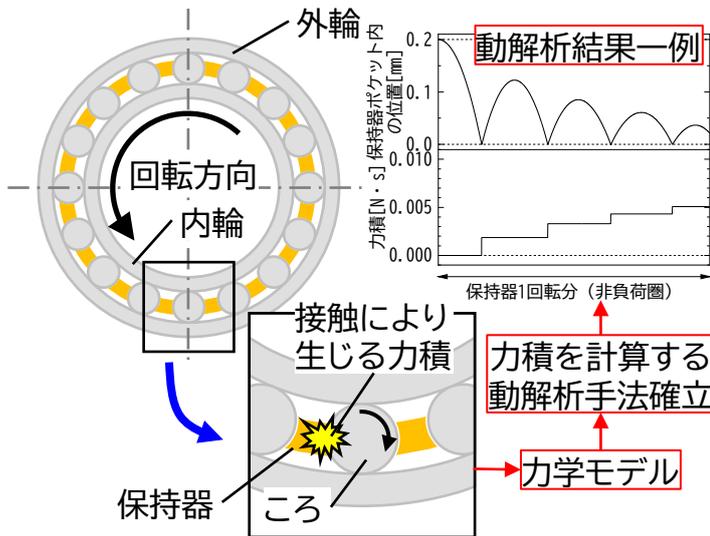
寿命延伸



周期延伸 検査簡略化

主電動機軸受の寿命が2倍となった場合の
軸受のメンテナンス周期(イメージ)

積を計算する動解析手法



ころの軽量化方法



台上試験結果

