

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。

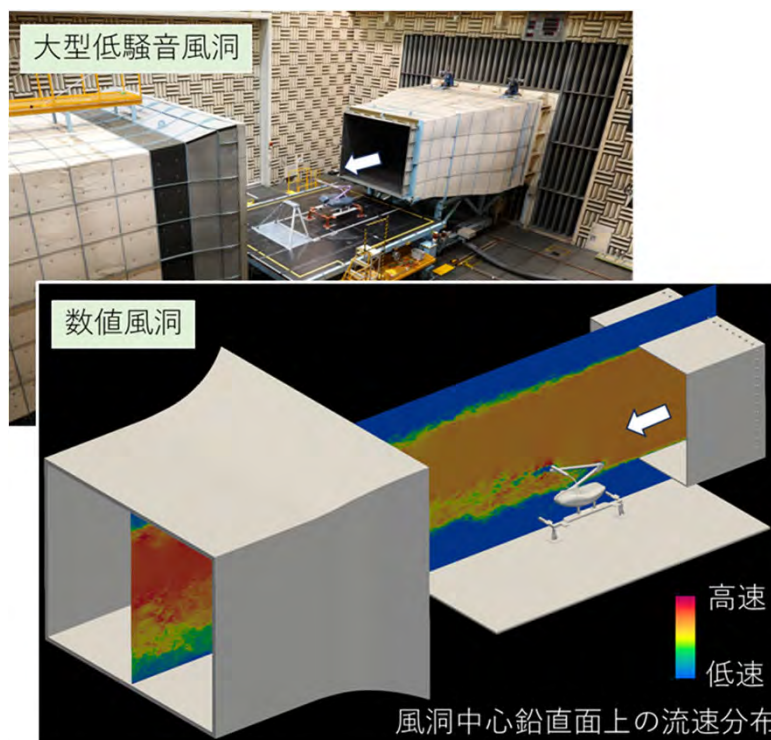
研究の背景と目的

- 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。

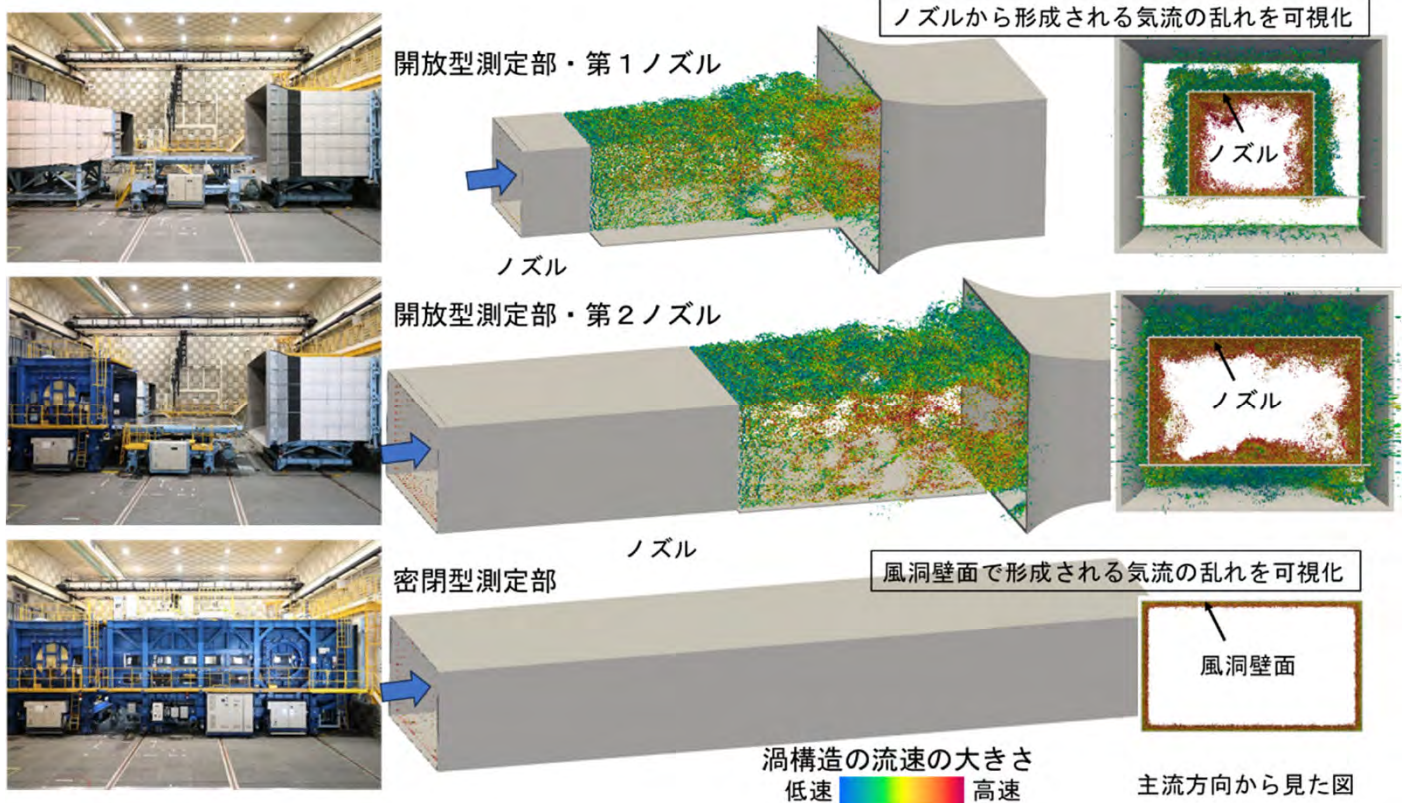
開発した数値風洞と実際の大型低騒音風洞



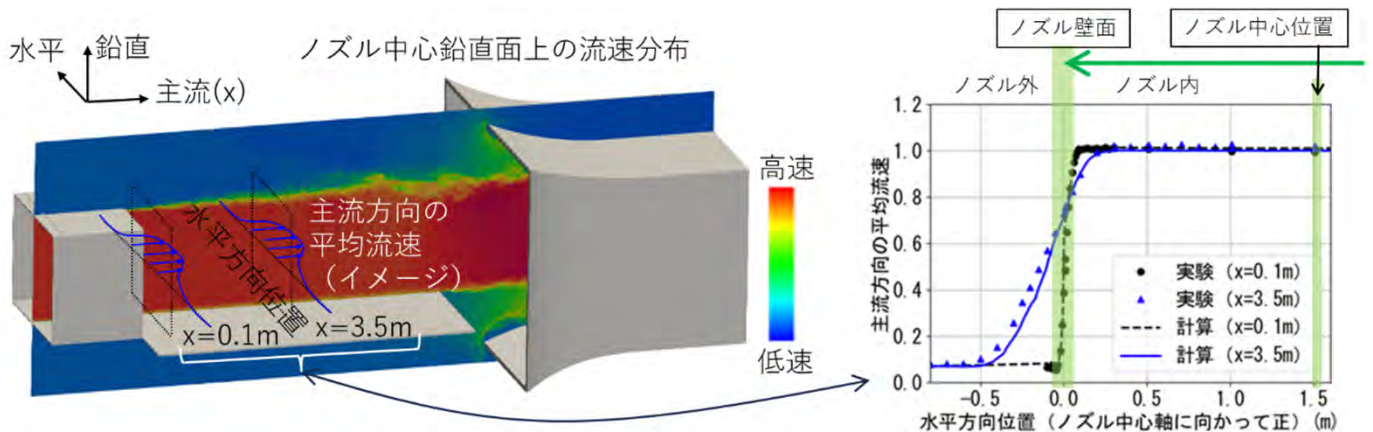
今後の展開

- 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。

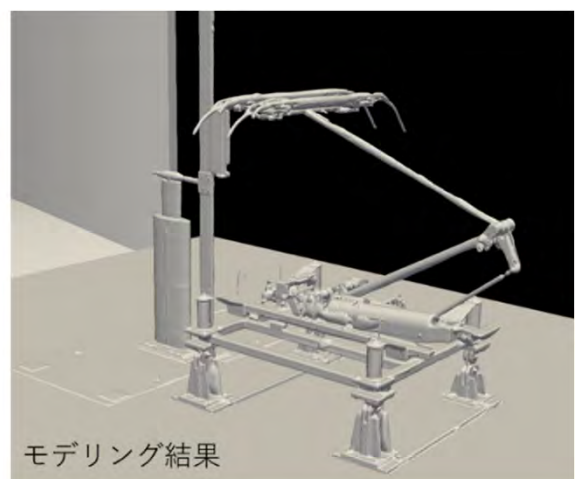
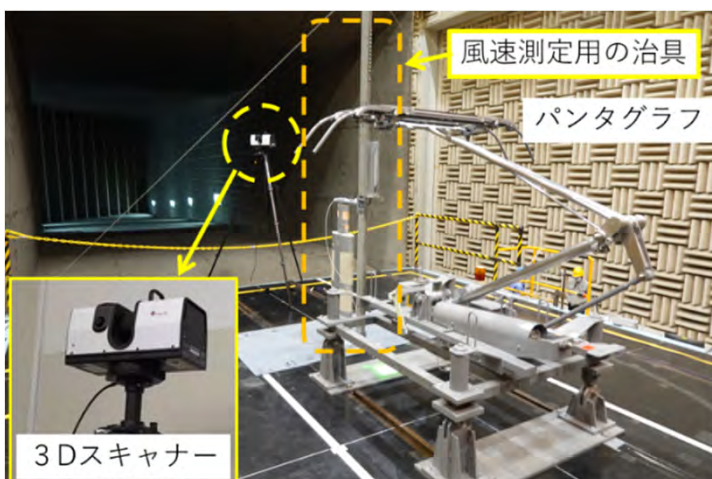
数値風洞で解析可能な風洞形状(大型低騒音風洞のすべての試験形態に対応)



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



局所的な強風による車両転覆 に対する走行安全性評価手法

局所的な強風が想定される場所(高層ビル周辺やトンネル坑口、防風柵の切れ目等)における走行安全性評価や効果的な強風対策の検討に利用できます。

研究の背景と目的

- 高層ビル周辺では、局所的な強い風、いわゆるビル風が発生することが知られていますが、その近傍を列車が走行する際の安全性評価手法は確立されていません。
- 転覆危険率の評価精度を向上し、走行安全性と輸送安定性のバランスに配慮した運転規制の構築に資することを目的に、局所風に対する車両挙動を解析しました。

研究成果

- 隣接した2棟のビルの影響で生じるビル風を対象に、風洞試験と鉄道総研が開発した数値風洞による数値流体解析を実施しました。その結果、2棟のビルの後流で生じる風速分布を解析によって精度良く再現できることを確認するとともに、その影響の大きさや範囲を明らかにしました。
- 数値流体解析に基づいて推定した空気力が走行する車両に作用することを考慮できる車両挙動解析手法を構築しました。解析の結果、ビルの風下に生じる遮風域からビル外側の強風域に進入すると輪重が減少することがわかりました。
- 本手法を用いたパラメータスタディの結果、急な強風にさらされると輪重が減少しやすくなり、特に、走行速度が高い場合など、車両に作用する空気力の立ち上がり時間が2秒程度よりも短いと、輪重減少率が増大する傾向であることが明らかになりました。

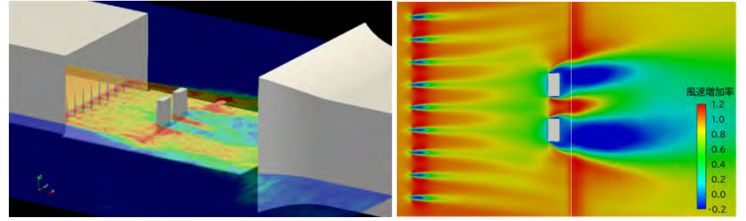
今後の展開

- 一般的な強風時運転規制ではカバーできない局所風の事象(高層ビル周辺やトンネル坑口)への対策の必要性有無、効果的な対策(速度規制や防風柵設置)について、コンサルティング・受託等で支援します。

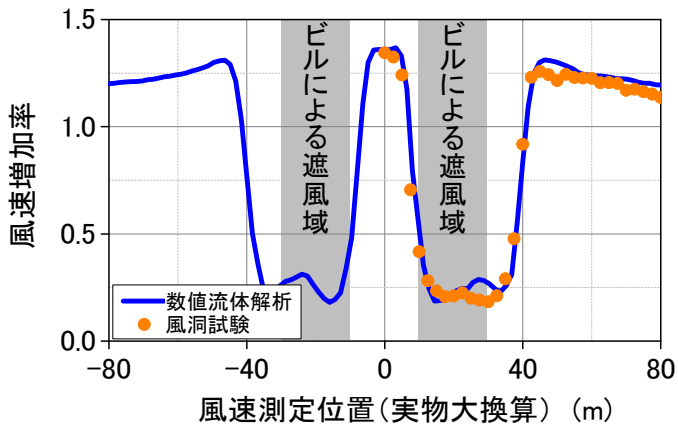
ビル風を模擬した風洞試験



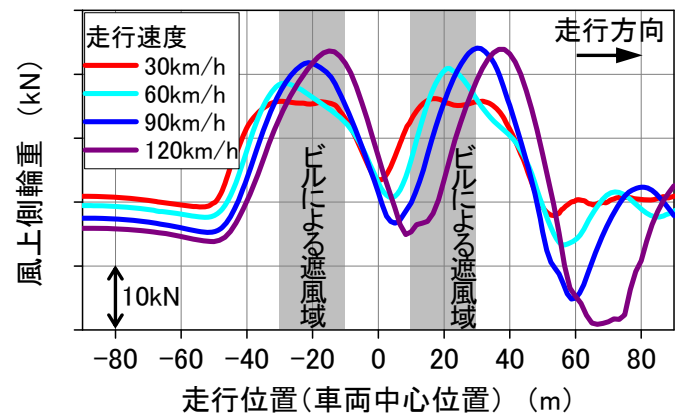
数値流体解析モデルおよび解析結果



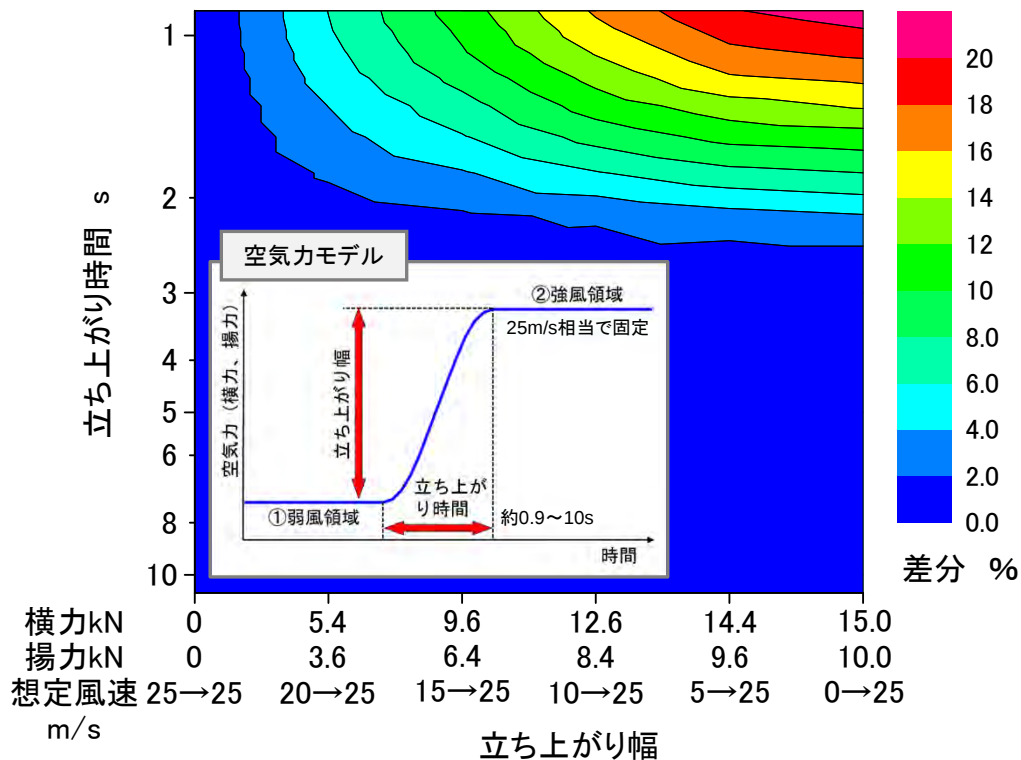
風速増加率の評価結果例



車両挙動解析による輪重変動例



局所的な強風を受けた際の輪重減少率と総研詳細式による輪重減少率の差分



空気力の立ち上がりの幅が大きく、時間が短い場合に、輪重減少率が増大します。立ち上がり時間が2秒以上となるような速度規制や防風柵設置が効果的な対策です。

排雪シミュレーション

積雪時の車両の安定輸送、運転規制、除雪頻度を検討するために、
現車試験を補完できる排雪シミュレーションを開発しました。

研究の背景と目的

【背景1】車両に作用する排雪力により輪重が減少する可能性があります。

【背景2】新幹線では積雪深に応じた速度規制等による対応がされています。

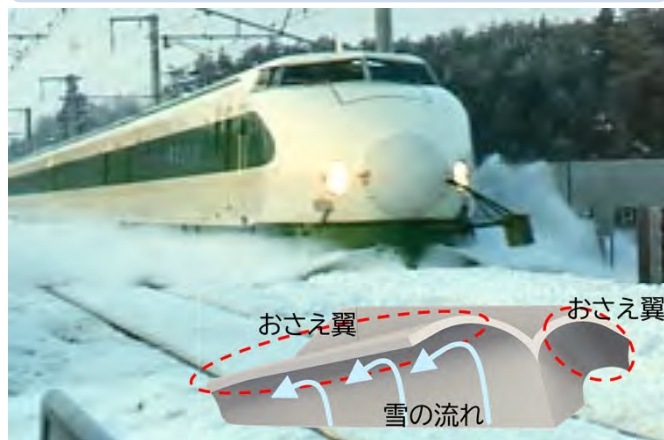
【背景3】現車による排雪走行試験では十分な試験回数の実施は難しいです。

【目的】排雪走行試験を補完できる手法を開発するために、排雪実験を実施し、
排雪実験を再現する排雪シミュレータの開発を目的としました。

研究成果

- 排雪走行時にスノープラウにかかる力を計算可能な排雪シミュレータを開発し、1/10車両模型に対する排雪実験を再現可能なことを確認しました。
- 車両運動シミュレータと連成することで、排雪走行時の走行安全性を評価するためのツールとして活用できるようになりました。

排雪走行試験

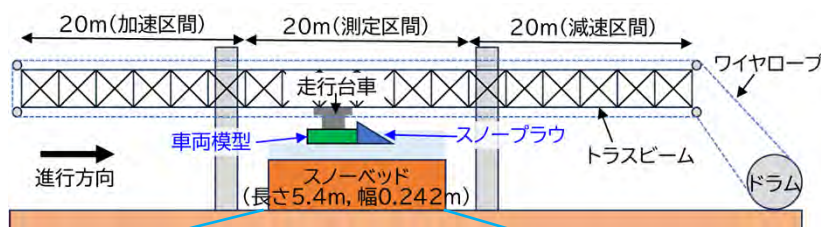


今後の展開

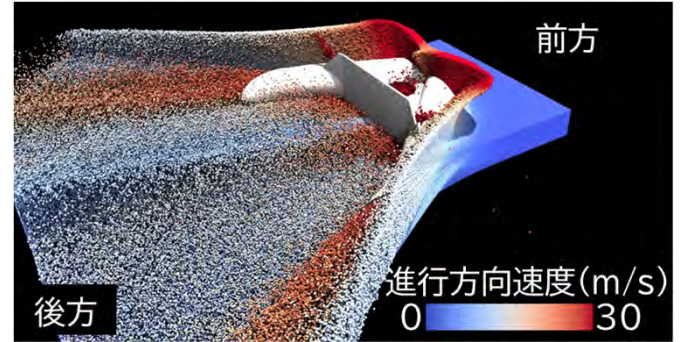
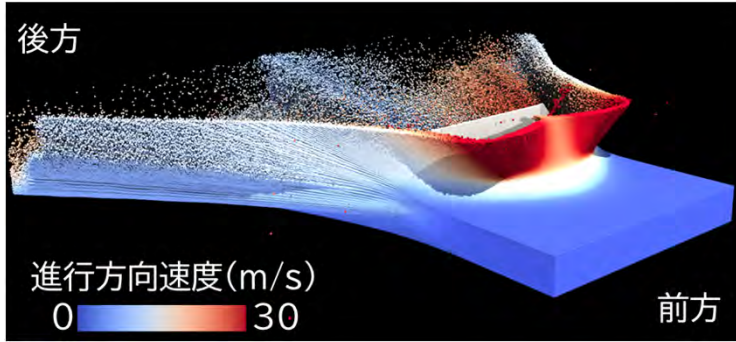
排雪シミュレータを用いて、実際の車両に対して走行安全性の評価を実施できるように開発を進めます。

- ① 排雪走行試験の事前検討
- ② 積雪時の走行安全性の評価
- ③ 新規スノープラウの設計・開発

排雪実験

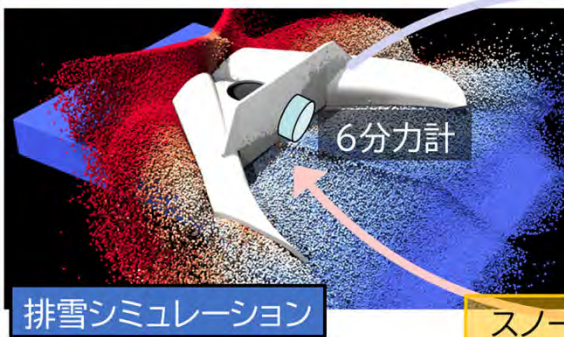


排雪シミュレーション



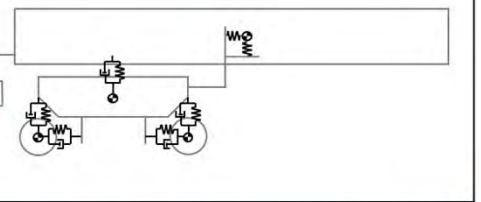
連成シミュレーション

スノープラウへの排雪力(直交3分力 + 力のモーメント3成分)



車両運動シミュレーション

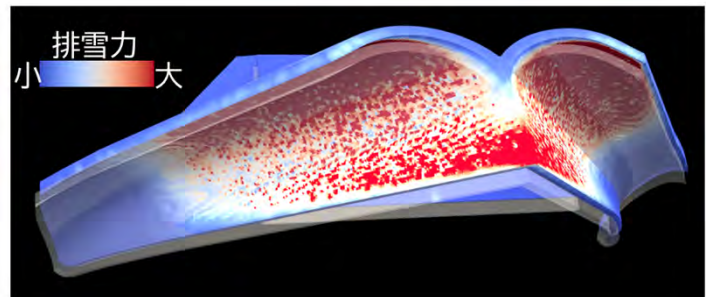
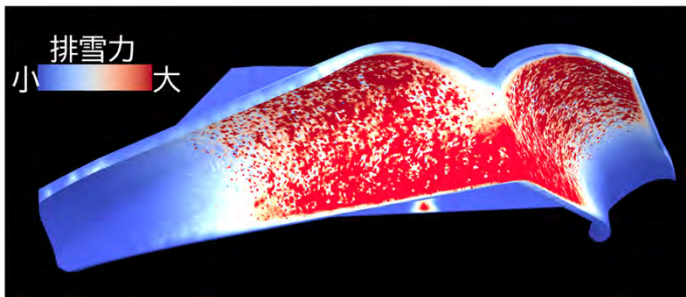
スノープラウの移動量と姿勢(平進運動3成分 + 回転運動3成分)



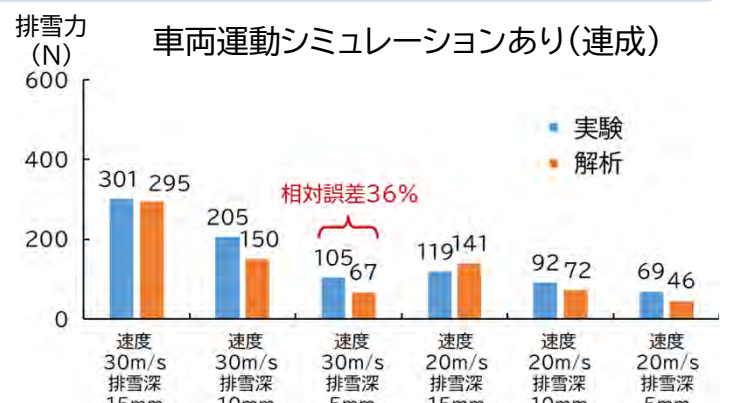
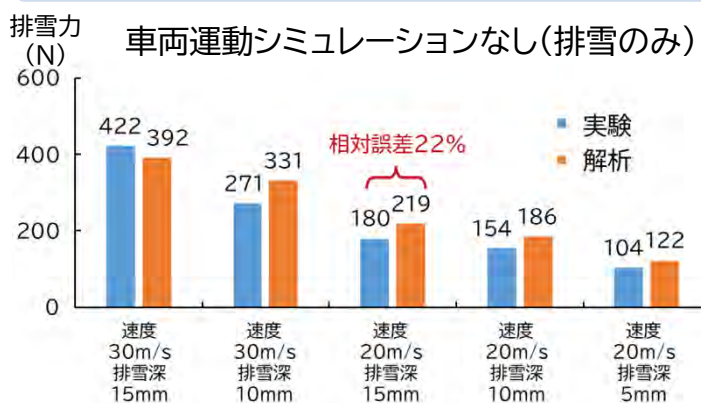
スノープラウにかかる排雪力の比較

車両運動シミュレーションなし(排雪のみ)

車両運動シミュレーションあり(連成)



実験とシミュレーションの排雪力の比較



車両屋根上の排気流れの可視化

数値シミュレーションおよび風洞実験により車両屋根上の排気流れを可視化する手法を開発しました。排気による車両の汚損度評価や、排気の客室内流入対策の検討などに活用できます。

研究の背景と目的

- 気動車の排気が原因と考えられる車両の汚損や、排気が客室内に流入する事象が確認されています。
- 車両屋根上の排気流れの現象解明と汚損の低減策検討のために、車両屋根上の排気流れを可視化する手法を開発しました。

研究成果

【数値シミュレーション】

- 汚損の有無が確認された車両A(汚損なし)と車両B(汚損あり)を再現した数値シミュレーションにより、排気の流れと車両表面温度を可視化しました。
- 排気が車間部に滞留して車両全体にまわりつくように流れる場合には、排気管下流の車両表面の一部が温度上昇することを確認しました。
- 本可視化手法を用いて排気管形状を検討し、車両Bの排気管形状の改良を提案しました。

【風洞実験】

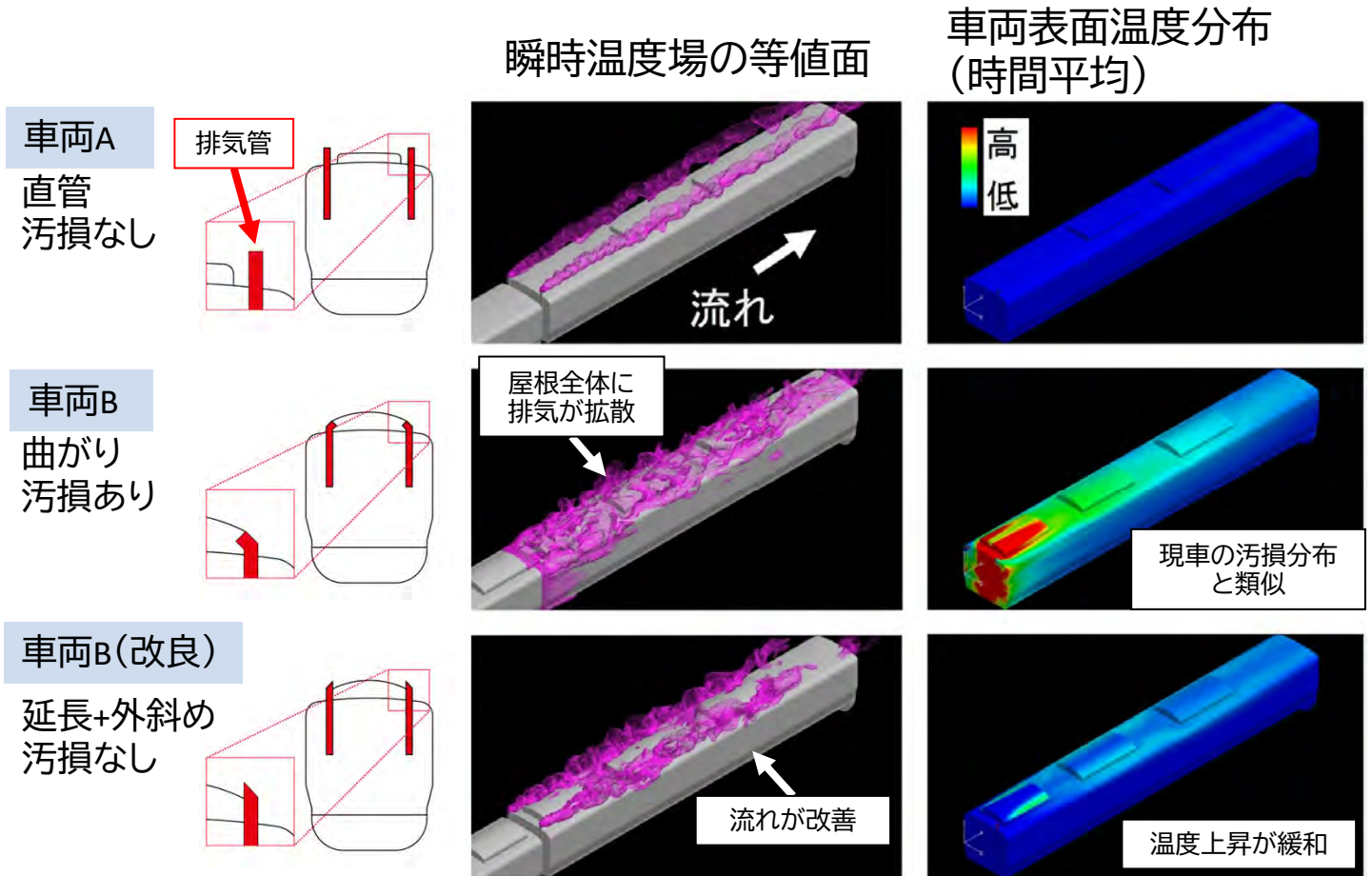
- 縮尺模型を用いた風洞実験により、車間部屋根上の流速分布を可視化しました。
- 車両Aの屋根上と比較して、車両Bの屋根上では車間部における流速が低いため、排気が後方に流れにくくなっていることを明らかにしました。
- 屋根上機器の配置を検討し、屋根上機器を車間部から離れた位置に設置することで車間部に生じた流れの滞留を改善できることを示しました。

今後の展開

- これらの手法は、屋根上排気が問題となる車両の排気管形状の見直しや、屋根上機器の形状とその配置に関する検討に活用することができます。

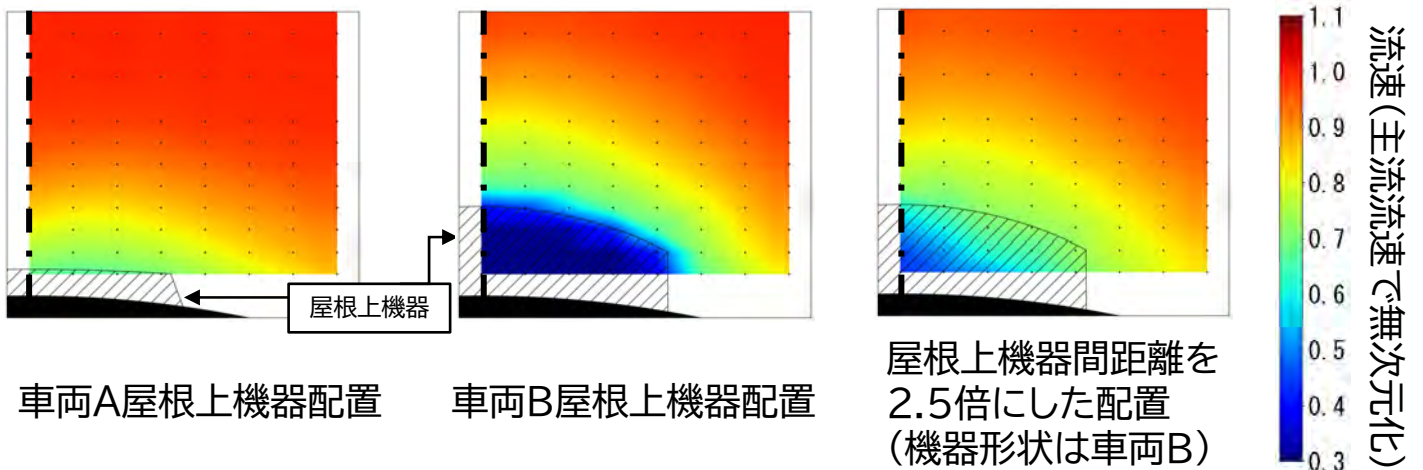
数値シミュレーション

車両A(汚損なし)と車両B(汚損あり)の屋根上排気流れを可視化しました。
車両Bの排気管を改良することで、排気の流れが改善されました。



風洞実験による流速測定

縮尺1/20の車両模型を使用した風洞実験を行い、
屋根上の流速分布を可視化しました。
屋根上機器の配置や形状を変更することで、車間部の
低流速領域を小さくすることができました。



車体の3次元的な弾性振動特性を把握する実験・解析手法

水平・垂直対応の起振器と無線式の測定システムを用いて、高周波数域における3次元的な変形を伴う車体の弾性振動の特性を把握する実験・解析手法を開発しました。

研究の背景と目的

- 近年の高速鉄道車両では、高周波数域の振動が人間の不快感に与える影響が大きいことが示されており、その低減策が求められています。
- しかしながら、20Hz以上の高周波数域における車体の弾性振動特性は、これまで明らかになっていませんでした。
- そこで、水平・垂直対応の起振器と無線式の測定システムを用いて、40Hz程度までの3次元的な変形を伴う車体の弾性振動特性を効率よく把握する実験・解析手法の開発に取り組みました。

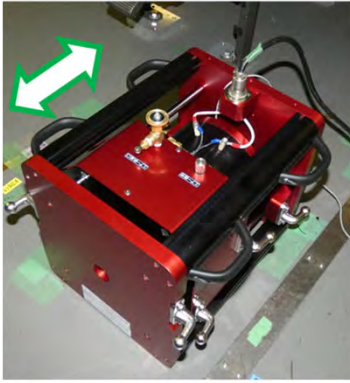
研究成果

- 車内に設置可能な水平・垂直対応の起振器を新規に開発しました。この装置により、車体床面の任意の位置を水平・垂直方向に加振できるようになりました。
- 多数の測定点で効率的にデータを収録するため、無線式の3軸加速度センサノードを主体とする測定システムを導入しました。これにより、車体の100か所以上の3軸加速度が実用的な試験時間で測定可能となりました。
- 多数の測定点および加振点を設定した加振試験結果から、車体の振動特性（固有振動数と変形形状）を把握する実験モード解析手法を確立しました。
- 新幹線型試験車体を対象とした加振試験を行い、その結果から実験モード解析を行うことで、車体の40Hzまでの振動特性を把握することができました。

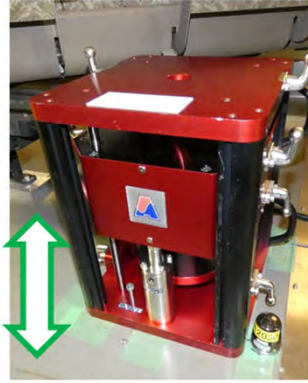
今後の展開

- 把握した振動特性に基づき、高周波数域の振動を効率的に低減するための振動低減手法の開発を進めます。
- 高周波数域の振動を表現できる数値解析モデルの構築に取り組みます。

水平・垂直対応起振器



水平加振

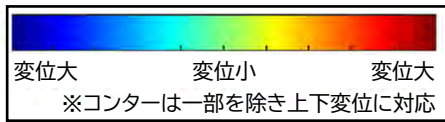


垂直加振

無線式測定システム

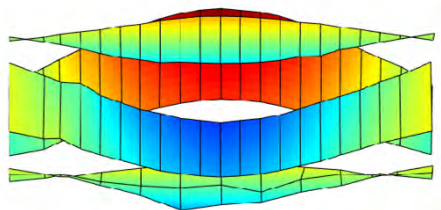


新幹線型試験車体の弾性振動特性(一例)

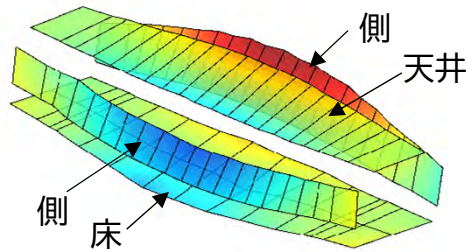


※コンターは左右変位に対応

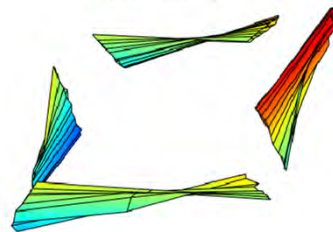
上面図



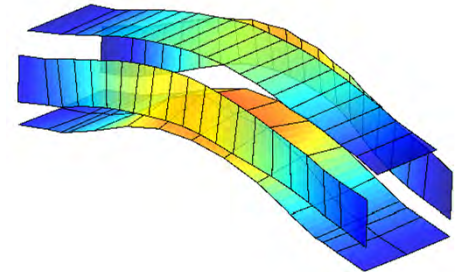
側面図



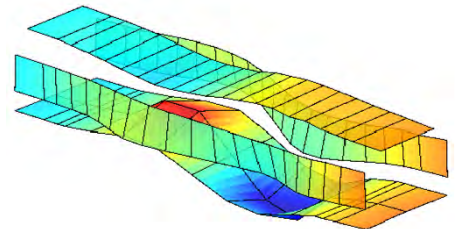
俯瞰図



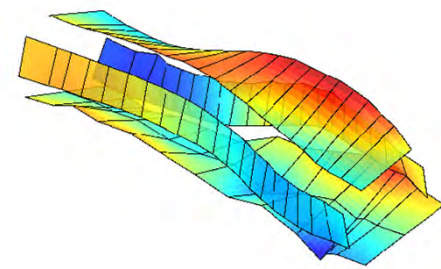
断面図



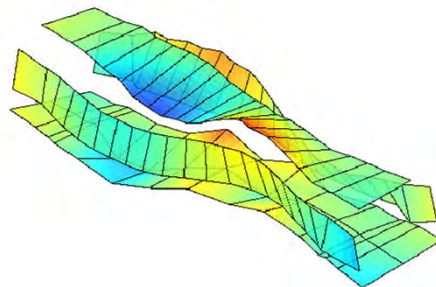
10.6Hz



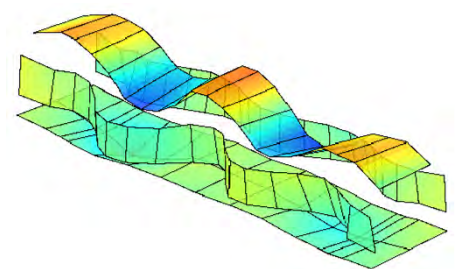
12.0Hz



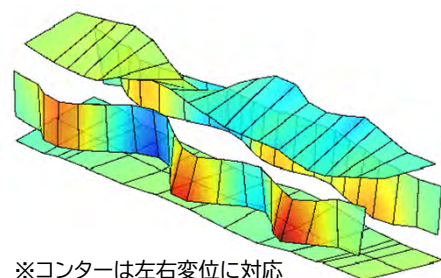
15.7Hz



19.4Hz

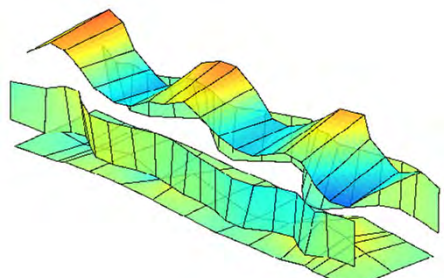


27.6Hz

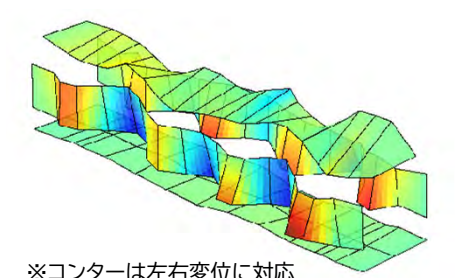


※コンターは左右変位に対応

30.4Hz



31.9Hz



※コンターは左右変位に対応

34.2Hz

ブレーキ摩擦材の SAICASによる材料強度分析

ブレーキ摩擦材の性能に影響する材料強度を、小試験片を用いた簡易な測定で分析・評価することができます。

研究の背景と目的

- ブレーキ摩擦材の性能(摩擦係数、耐摩耗性)は、摩擦熱に伴う組織変化の影響を受けるため、熱負荷による材料強度の変化を把握することが重要です。
- 表面・界面物性解析装置(SAICAS)を用いて測定した切削力から、熱負荷を受けた摩擦材の表面から深さ方向の材料強度分布を分析しました。

研究成果

- 切削力の水平成分(水平力)と切込深さから算出される「みなしせん断強度」を用いることで、摩擦材の深さ方向の材料強度分布が得られました。
- 新幹線用ブレーキ摩擦材の例では、500℃に加熱後の摩擦材では材料強度の低下はごく表層(表面から20 μm)にとどまりました。一方で、900℃に加熱後の摩擦材では材料強度の低下が表面から200 μm 以上の深さにおよび、200 μm における材料強度は非加熱試料の60%程度まで低下していました。
- 熱負荷が摩擦材の材料強度に与える影響をSAICASによって定量化することができました。

SAICASを用いた摩擦材の切削力測定

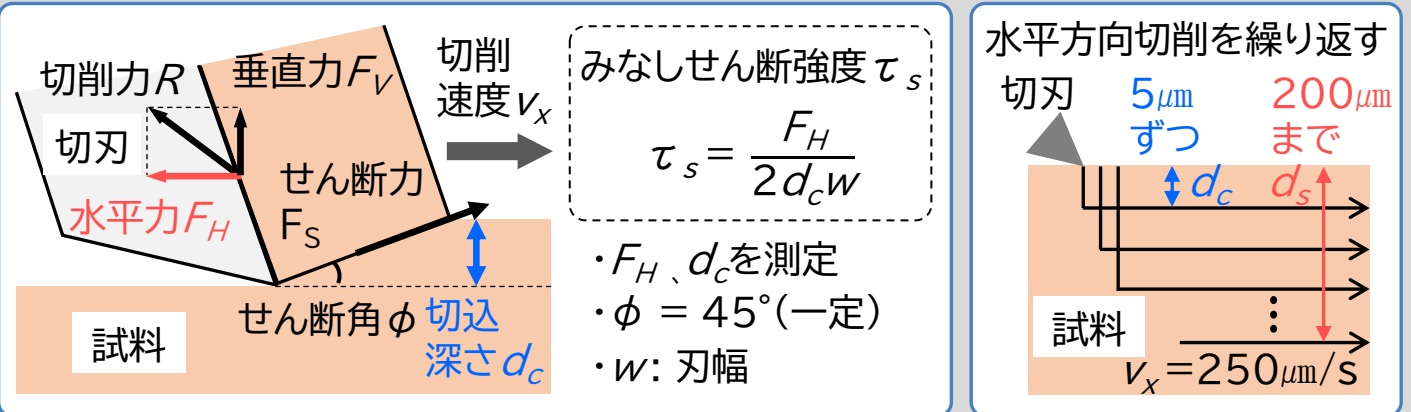


摩擦材を切削し、**切削力**≡材料強度を分析

今後の展開

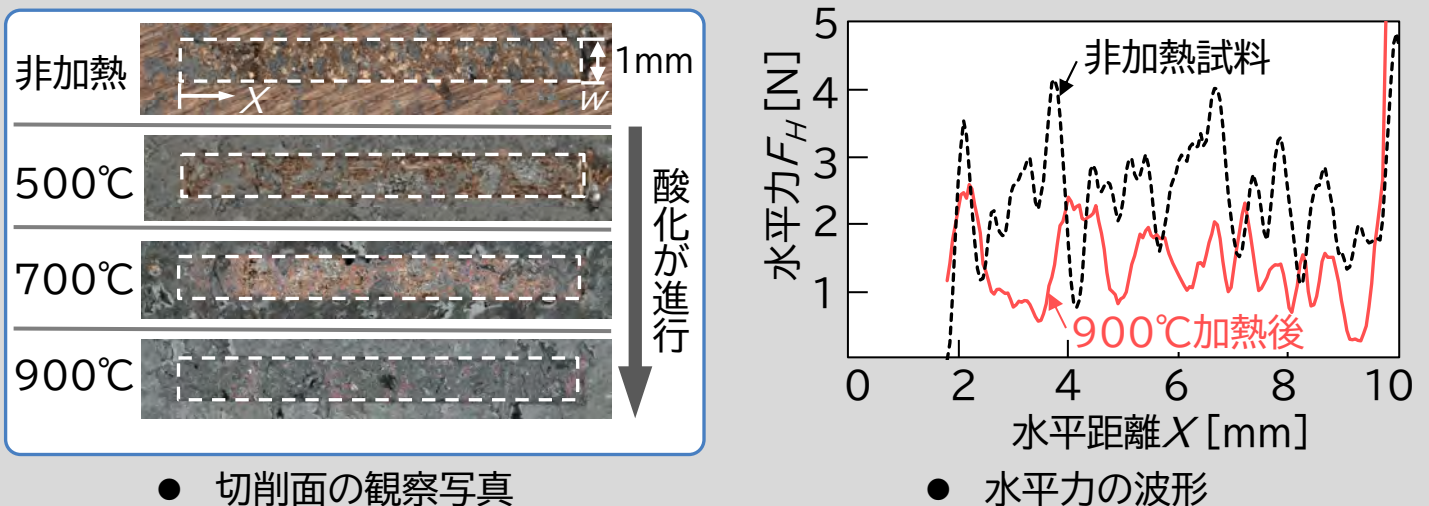
SAICASにより分析した摩擦材の材料強度と摩擦係数・耐摩耗性との関連を調査することで、本手法を摩擦材の耐熱性評価に実用することを目指します。

切削力測定による深さ方向の材料強度の分析方法

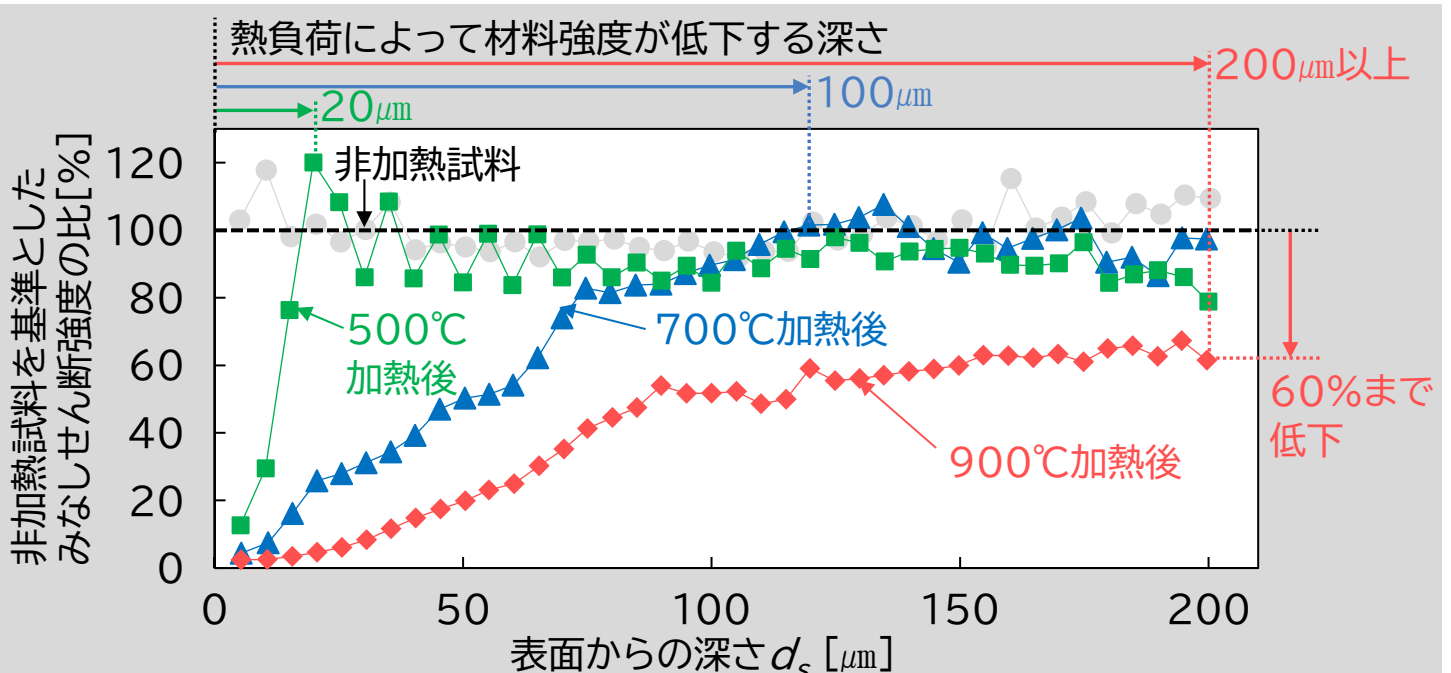


- 切削時のせん断面モデルからみなしせん断強度を算出
- 深さ方向の測定方法

熱負荷を受けた新幹線用ブレーキ摩擦材の切削力測定の実例(表面から深さ $200 \mu\text{m}$)



深さ方向の材料強度分布 ($2.5 < X < 8.8 \text{ mm}$ の平均値から算出)



ディーゼルエンジンの熱効率マップ

発電システムの詳細な現状把握と効率の良いエンジン動作範囲の実測により、燃費向上や高効率化に活用できる設計・評価手法を開発しました。

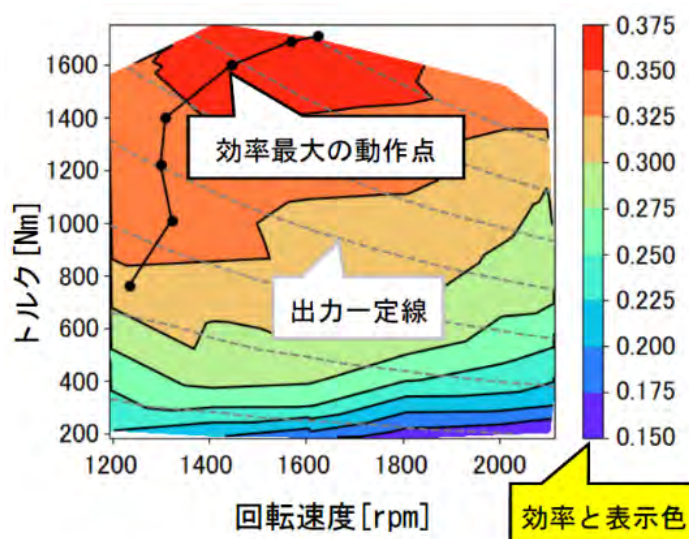
研究の背景と目的

- ディーゼルエンジンの燃費向上には、詳細な熱効率マップに基づいた効率の良い動作点での運転頻度を高める必要があり、詳細な現状把握が不可欠です。
- 環境対応型エンジンの詳細な熱効率マップを取得し、高効率な動作点の選択的使用や発電機最適化などの、実用的な発電システム全体の高効率化を目指します。

研究成果

- モニタ情報を分析することで、エンジンの動作点や運転頻度、発電電力量をはじめとする、車載発電システムの詳細な現状把握を実施しました。
- 中間ノッチを出力可能な可搬式エンジン簡易制御卓と、エンジン制御情報の収集に対応する計測システムの双方を開発しました。
- 環境対応型エンジンの熱効率マップを台上試験で取得し、エンジン動作点改良による高効率化手法を構築しました。
- エンジンの高効率な動作範囲を考慮した発電機設計と種類別の効率比較を行い、永久磁石同期発電機を用いた発電システムの省エネ性能を評価しました。

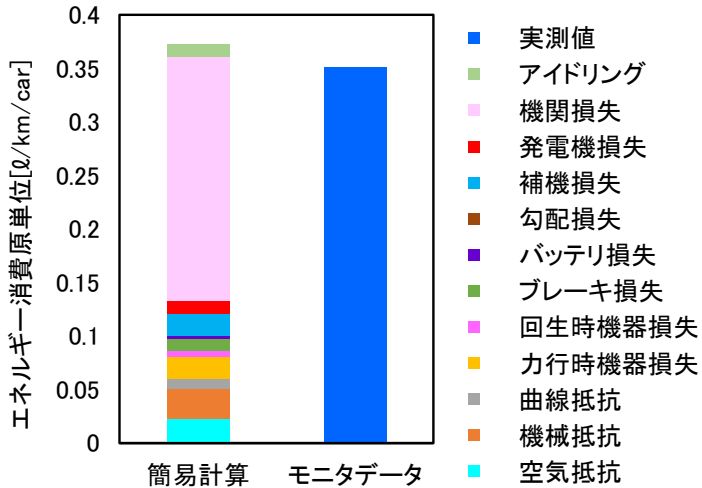
総合効率マップ



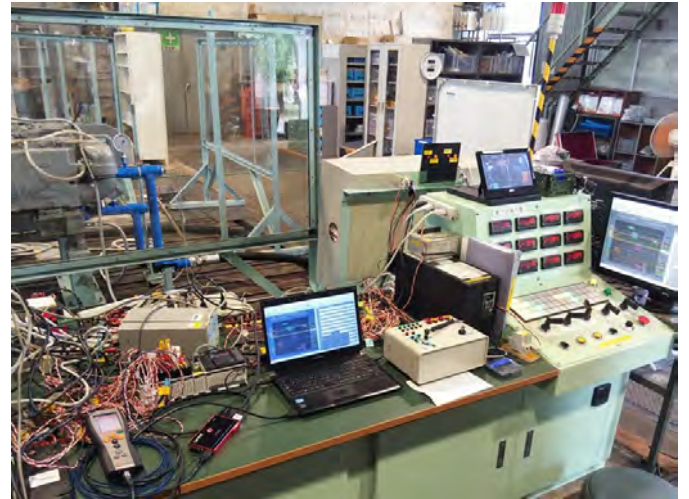
今後の展開

- 営業車両や新規車両の燃費向上、高効率化、エンジン換装時の設計検討や、燃費評価などの実態把握に活用します。
- 新システムの試験運用・台上試験や、検査の省力化・自動化などに活用します。

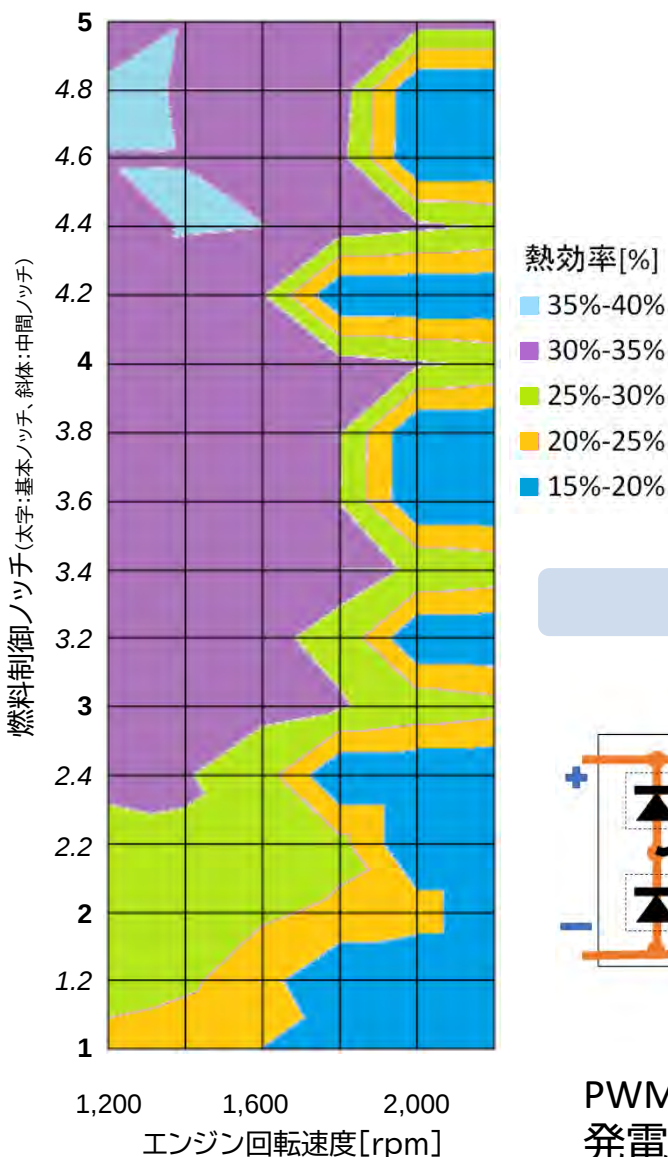
簡易計算法による損失内訳の計算例



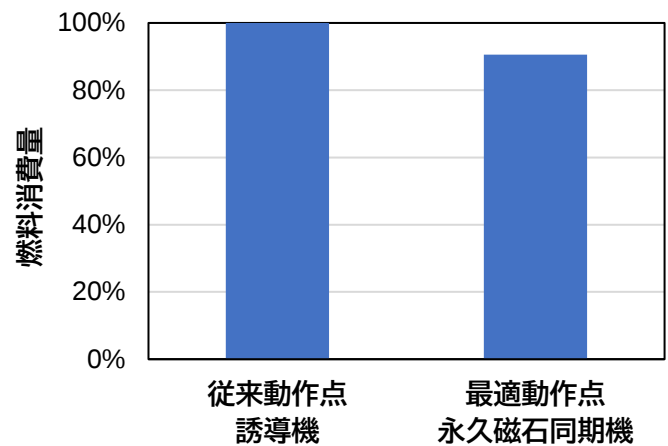
中間ノッチを含むエンジン台上試験



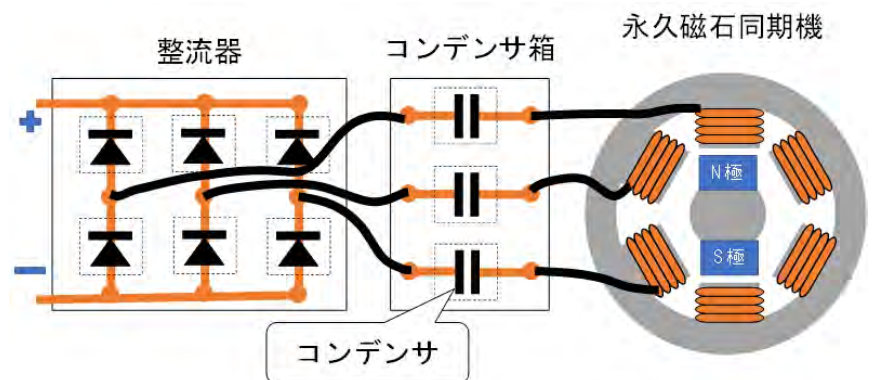
台上試験で取得した熱効率マップ



省エネ効果の試算結果



シンプルで高効率な発電システム



PWMコンバータを用いない、簡素で高効率な発電システム

バッテリーフリー無線センサを用いた振動監視システム

電源がとれず、配線が困難な車両や設備の振動監視を行うため、親機からの電波の反射を利用したバッテリーフリー無線センサによる振動監視システムの研究開発を行っています。

研究の背景と目的

- 車両や設備の状態基準保全において、振動監視による故障検知や劣化診断が注目されています。しかし、保全対象には、電源がとれない場所や配線が困難な場所が多数あります。そこで、電源や配線無しで振動監視することを目的として、バッテリーフリー無線センサを用いた振動監視システムの研究開発を行っています。

研究成果

- UHF帯(920MHz)アンテナ、無線周波数対応IC(RFIC)、市販のMEMS加速度センサ(Analog Devices社製ADXL362 / ADXL367)を用いて、バッテリーフリー無線センサを構成しました。
- 親機(質問機)からの電波の反射を利用して、2個のバッテリーフリー無線センサの振動データを電源なし、かつ、給電や通信のための配線なしで、サンプリング周波数400Hzにて、同期して収集できることを確認しました。
- 監視対象を10Hzで加振した際に、有線電池付き振動センサとバッテリーフリー無線センサの測定値の比較を行い、ほぼ一致することを確認しました。

バッテリーフリー無線センサ

UHF帯アンテナとRFIC搭載基板



市販のMEMS加速度センサ

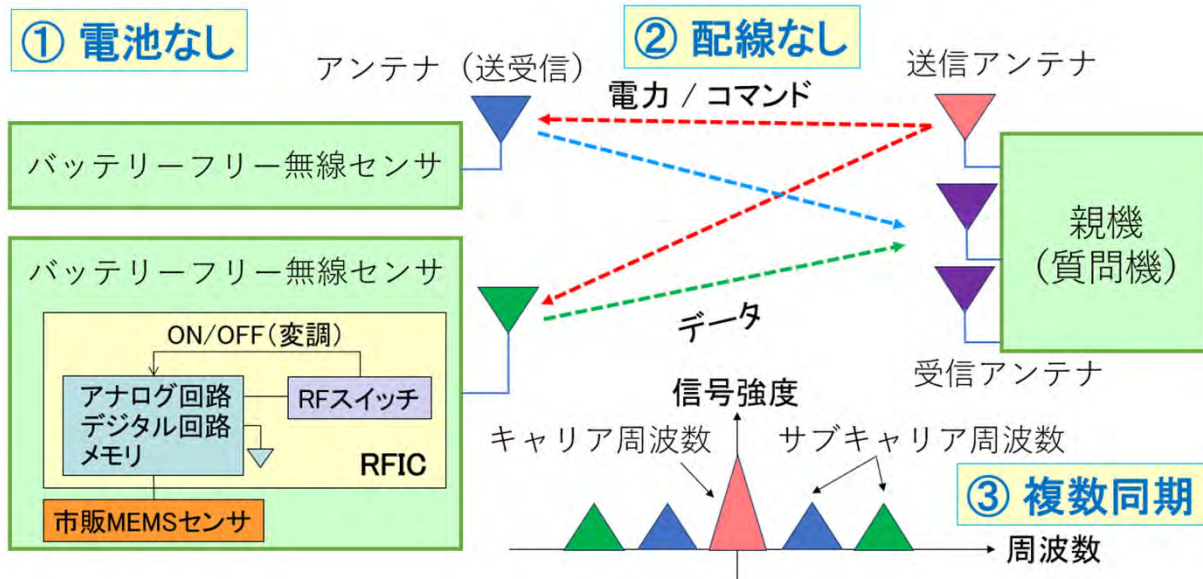
今後の展開

- 電池なしの特性を活かし、台車の振動監視やコンテナの積荷監視に展開予定です。
- 浮上式鉄道の振動監視に向け、磁場環境下の通信性能やセンサ性能を評価します。

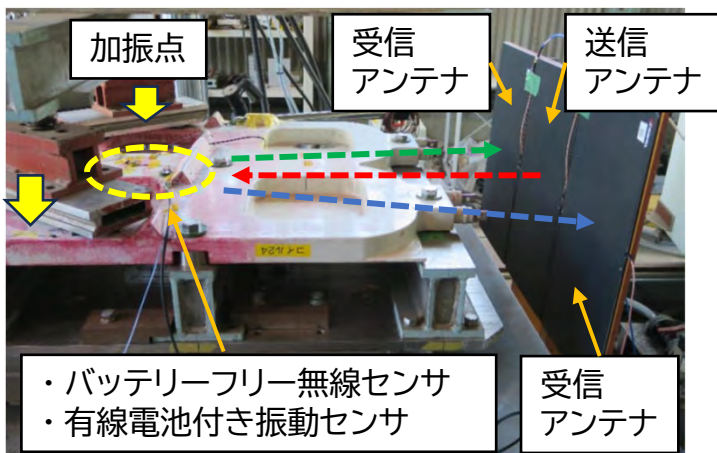
本研究開発は、慶應義塾大学との共同研究にて実施しました。

マルチキャリア後方散乱通信のしくみ

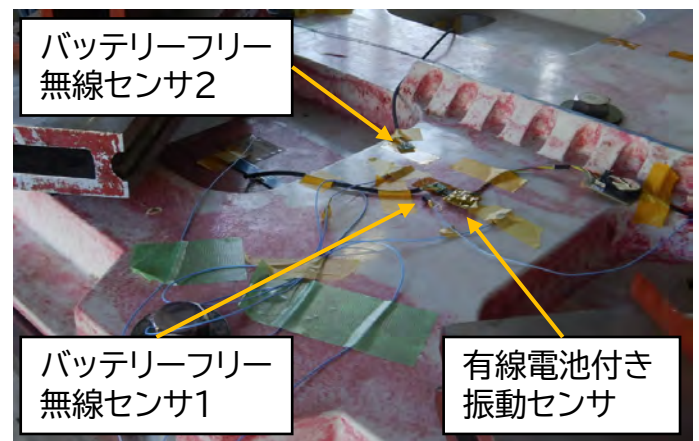
バッテリーフリー無線センサは、マルチキャリア後方散乱通信技術によって、
① 電池なし、② 配線なし、③ 複数同期によるデータ収集を実現しています。



浮上案内コイル振動計測構成

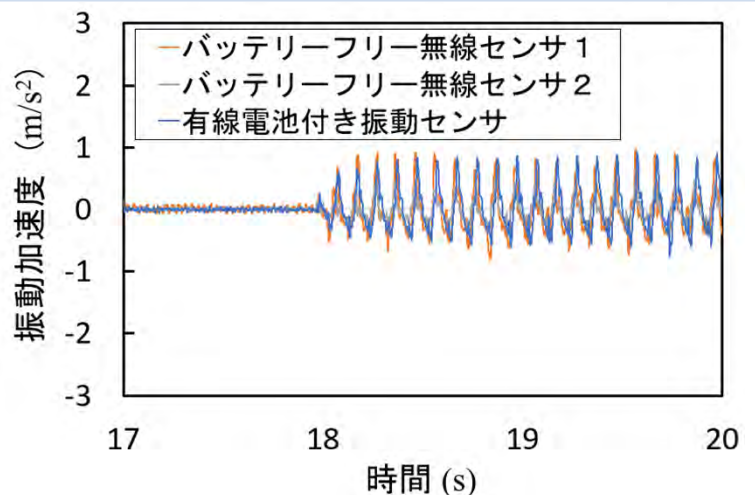


バッテリーフリー無線センサ設置状況



バッテリーフリー無線センサによる振動測定結果例

親機(質問機)からの電波の反射を利用して、電池無しの2個のバッテリーフリー無線センサの振動をサンプリング周波数400Hzで同期して収集できることを確認しました。また、有線電池付き振動センサの結果とほぼ一致することを確認しました。



マイクロホンアレイによる 音源探査技術

多数のマイクロホンと高度な信号処理の組み合わせにより、車両まわりの音源分布を高い空間解像度で測定可能です。騒音低減対策の定量的評価や音源別寄与度の算定などに活用できます。

研究の背景と目的

- 沿線騒音の低減や、新幹線騒音の予測手法の精度を向上するためには、車両まわりの音源分布を取得し、音源別寄与度を把握することが重要です。
- 音の多点同時計測と高度な信号処理を組み合わせることにより、高い空間解像度で騒音の発生箇所を特定可能な音源探査技術の確立を目的としています。

研究成果

- 高速走行する車両まわりの音源分布の測定に適したマイクロホンアレイを独自に設計しました。
- 対象とする音源の位置や周波数に応じて、マイクロホンアレイの展開領域や配列をカスタマイズすることも可能です。
- 移動音源対応の音響計算アルゴリズム（デコンボリューション法；DC法）を適用し、音源分布の高解像度化を行いました。
- 鉄道総研の大型低騒音風洞（滋賀県米原市）では、より大型の直径4mのマイクロホンアレイが活用されています。

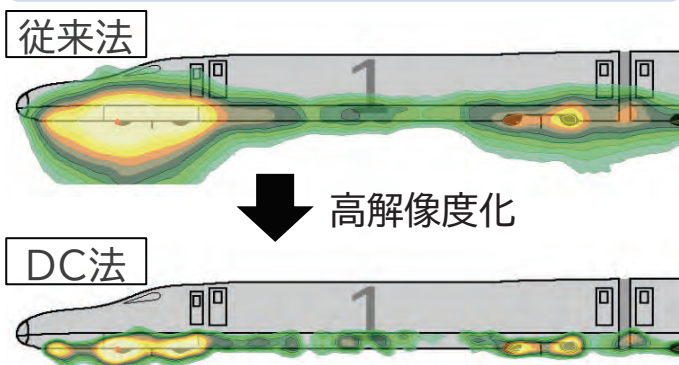
今後の展開

- 車両まわりの音源構成を解明し、騒音予測手法の精度向上に活用します。
- 騒音低減対策を検討すべき対象の決定、対策効果の定量的評価に活用できます。

マイクロホンアレイによる測定概況



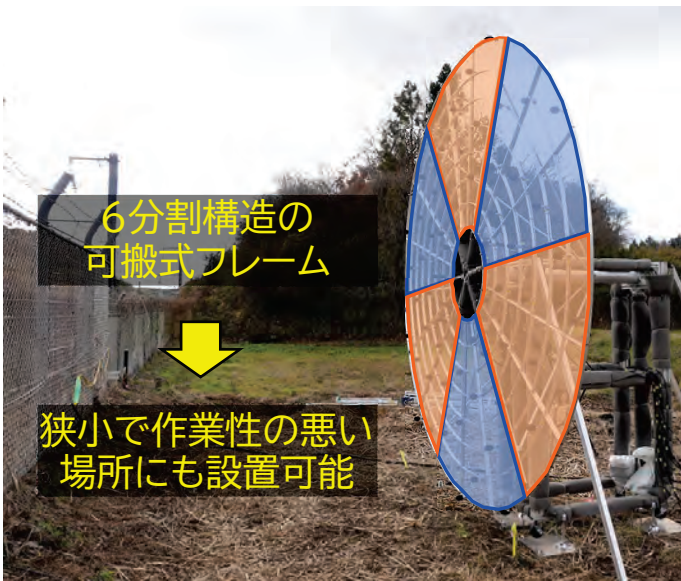
信号処理方法による高解像度化



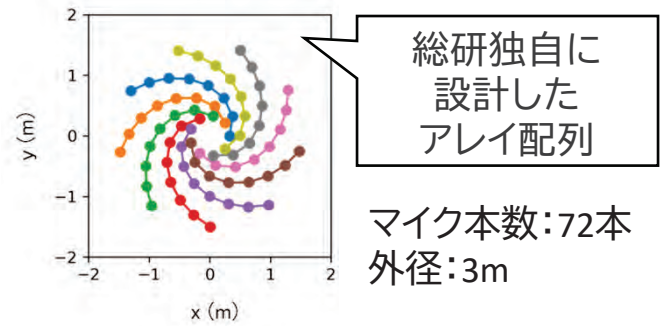
マイクロホンアレイの構造・主な特徴

配列	マルチアームスパイラル
マイク本数	72本
周波数範囲	250Hz～6.3kHz
空間分解幅	約1m(1000Hz)
その他特徴	可搬式(6分割構造)

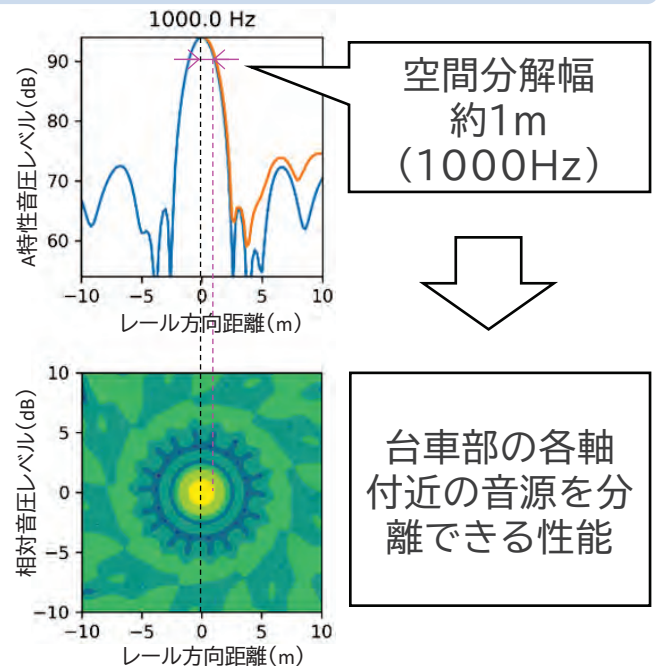
可搬式フレーム



マルチアームスパイラル

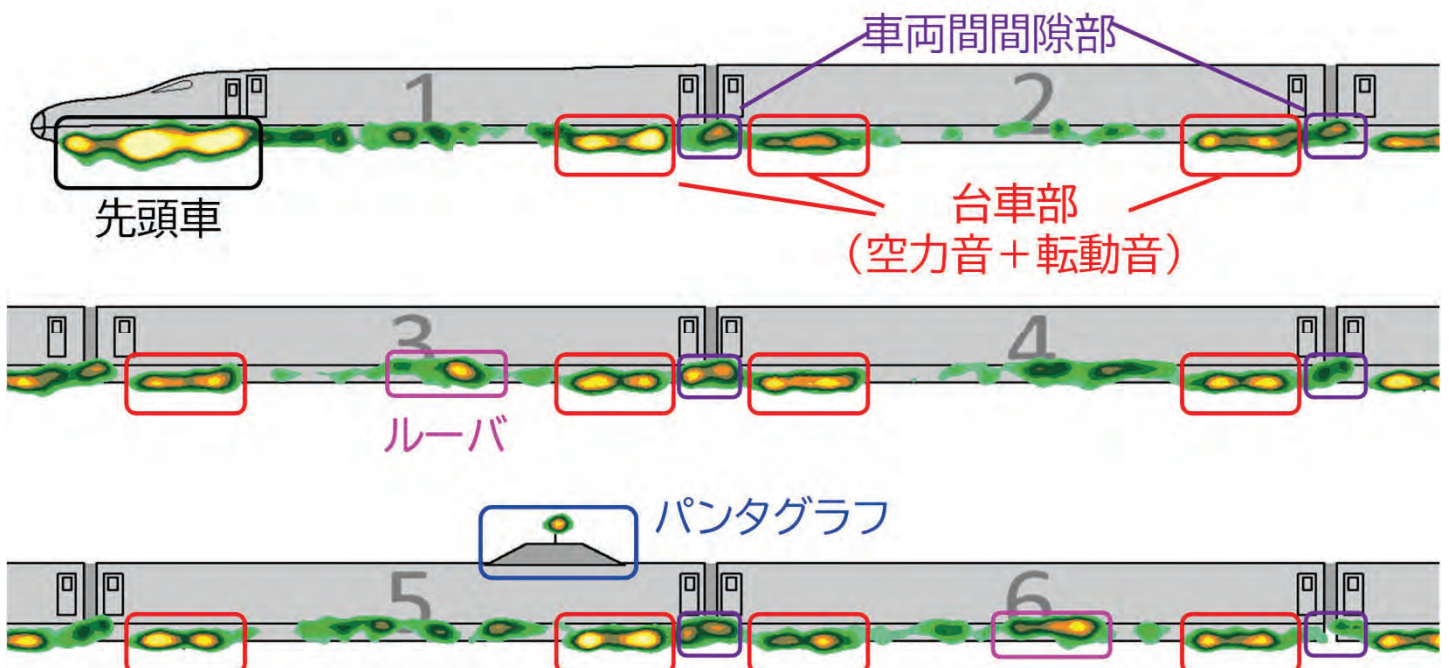


空間分解幅(例: 1000Hz)



車両まわりの音源分布の測定結果

高度な信号処理方法により、詳細な音源位置が明確化



台車部品の非破壊検査における きずの自動抽出手法

磁粉探傷画像や超音波探傷波形に対して機械学習を適用し、きずを自動的に抽出する手法を開発しました。きず検出率は、溶接部の磁粉探傷画像で概ね70%、超音波探傷波形で95%以上です。

研究の背景と目的

- 鉄道車両の台車部品の検査では、磁粉探傷や超音波探傷などの非破壊検査が行われますが、探傷で得られた画像や波形からきずの有無を判断するには経験を要します。
- そこで、台車部品の検査業務の省人化・省力化・脱技能化を目指して、機械学習によってきずを自動的に抽出する手法を開発しました。

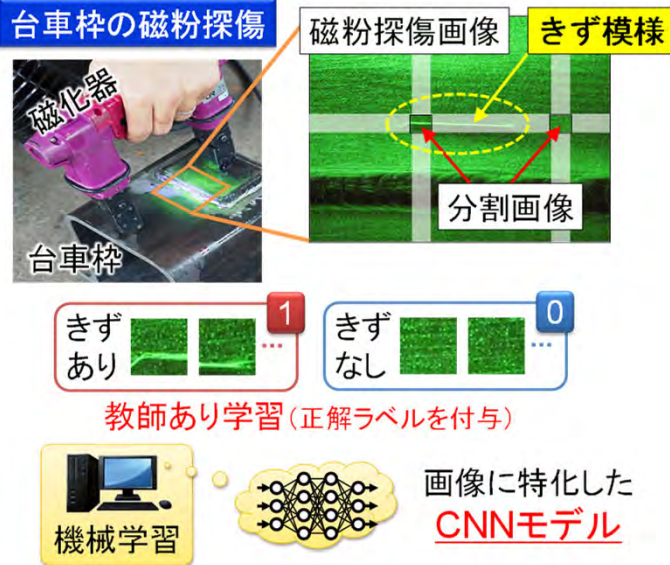
研究成果

- 磁粉探傷におけるきずの自動抽出手法では、溶接部の磁粉探傷画像を分割して作成した多数のきずあり・きずなし画像を、CNN(畳み込みニューラルネットワーク)で機械学習させたモデルを作成しました。
- 磁粉探傷のきず抽出手法の性能評価では、分割領域ごとに学習済みモデルを用いてきず疑い箇所を抽出し、それらが複数つながれば「きず」と判定させることで、溶接部の表面きずを概ね70%の正解率(再現率)で検出できました。
- 超音波探傷に関しては、台車枠の探傷波形を「時系列データ」として機械学習させたモデルを用いた場合、溶接部の内部きず、あるいは表面に対して傾いたきずを、95%以上の正解率(再現率)で検出できました。
- 超音波探傷波形を画像として読み込んだデータや、ウェーブレット変換を適用して画像化したデータをCNNで機械学習させたモデルを用いた場合でも、同等の成績できずを検出できました。

今後の展開

- きずの有無の判断に迷う磁粉探傷画像や超音波探傷波形に対して、統一的なきず判定結果を提供し、台車部品の検査業務の脱技能化に貢献します。
- ロボット化を見据えて、台車部品の検査業務の自動化(省人化)・省力化を目指します。

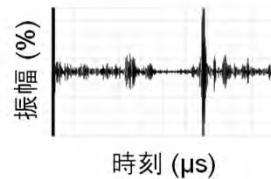
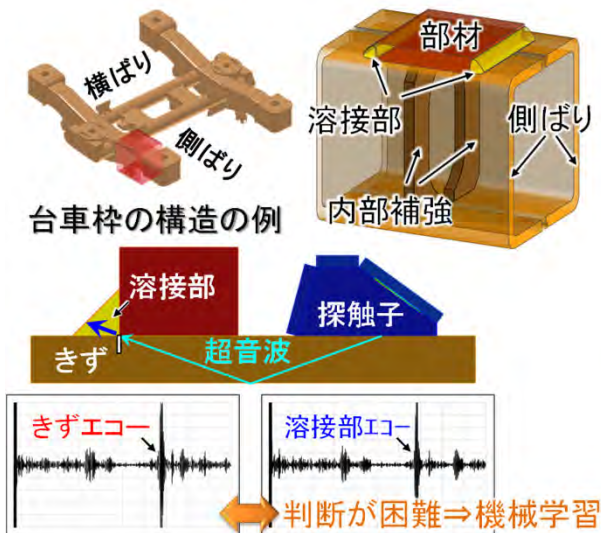
溶接部の磁粉探傷画像の機械学習



磁粉探傷画像でのきず検出例



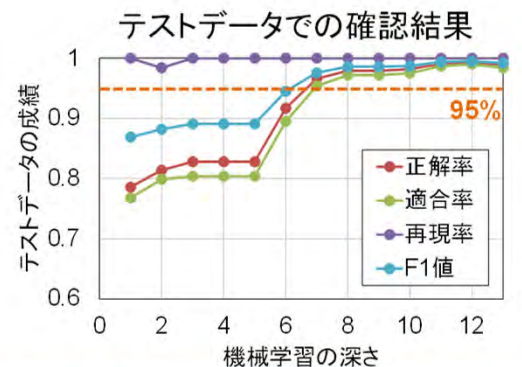
台車枠溶接部の超音波探傷波形



学習データの形式

時刻 (μs)	振幅 (%)
0.005	0.0
0.010	2.0
0.015	-4.4
...	...
50.000	-0.1

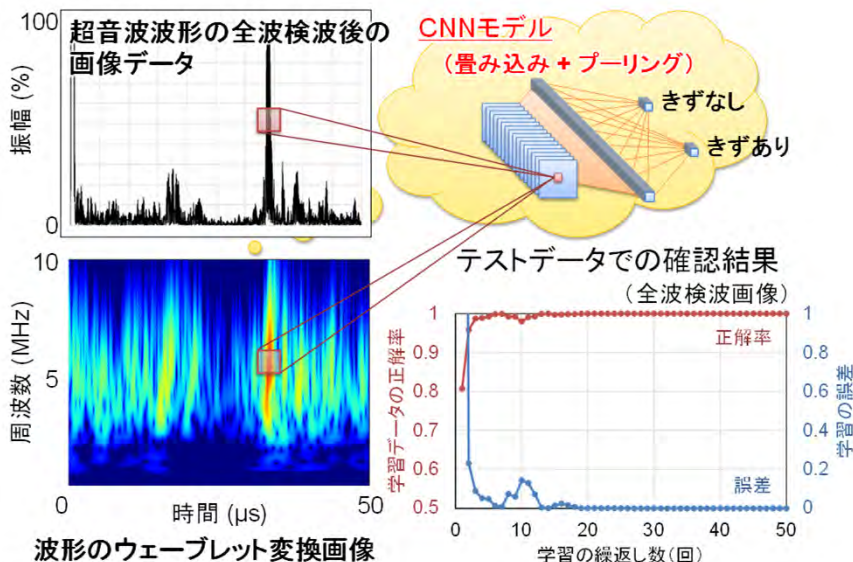
波形の時系列データによる機械学習



溶接部きず・傾斜きずを95%以上の成績で検出

時系列データ: 波形の振幅を時系列で示した数値データ

波形の画像データによる機械学習



今後の課題と活用イメージ



車載型潤滑油状態監視装置

気動車エンジンに直接設置する鉄粉濃度センサと、センサからデータを外部端末に転送する無線機器で構成される、潤滑油の鉄粉濃度を状態監視するシステムを開発しました。

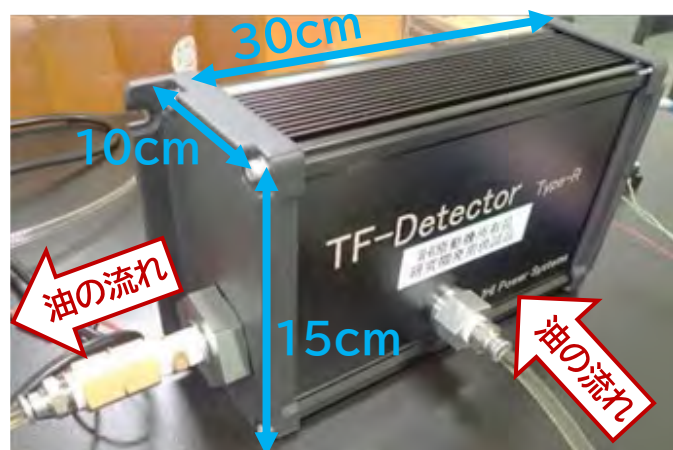
研究の背景と目的

- 現在行われているエンジンの状態診断では、油の交換時などに採油する必要や、大型で高価な分析装置を使用する必要があるため、時間と手間を要し、状態診断頻度の向上が難しいことが課題になっています。
- 潤滑油の鉄粉濃度センサをエンジンに直接設置し、車上からエンジン油の状態をモニタリングできる状態監視システムを開発することで、車両検修業務の省力化および異常診断頻度の向上による車両故障の防止を図ります。

研究成果

- 鉄粉濃度センサと、センサからの出力をWi-fiによりタブレット端末等に転送する無線機器で構成される状態監視システムを製作し、実物のエンジンに設置できることを確認しました。
- 実物のエンジンを使用した台上試験により、状態監視システムが正常に動作し、エンジン油に異物を混入させた際の鉄粉濃度の上昇を検知できることを確認しました。
- 営業車両を使用した構内走行試験により、出区点検、仕業検査および駅停車時などにおける異常診断に対応できることを確認しました。

エンジンに設置する鉄粉濃度センサ



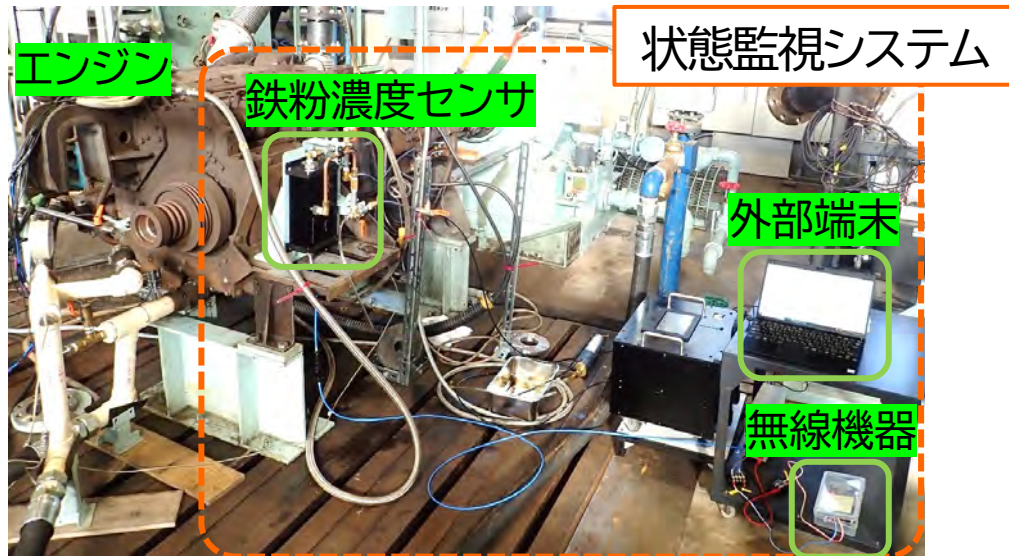
今後の展開

- 鉄道事業者や車両メーカーなどユーザーからのご要望に応じて、現車試験などによる導入支援を行います。

※本システムは株式会社三井E&Sとの共同開発品です。

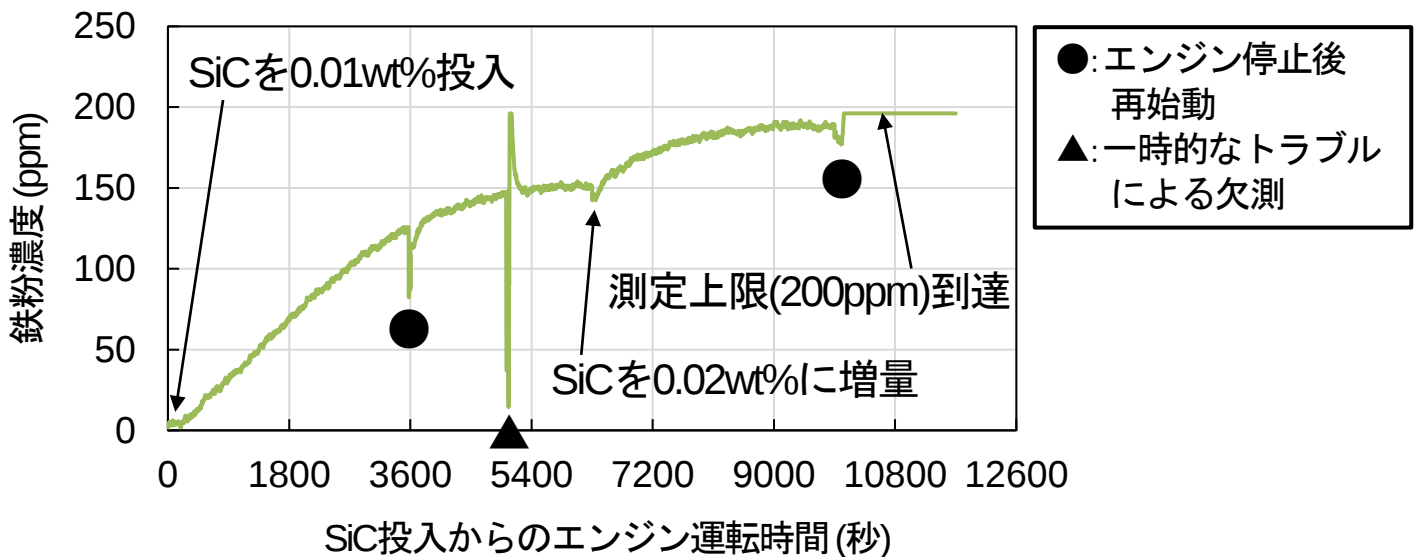
状態監視システムの構成とエンジンへの設置状況

エンジンの給油口に脱着が容易な治具を取り付けることにより、センサに給排油を行います。エンジン本体の改造を行わずに設置が可能です。

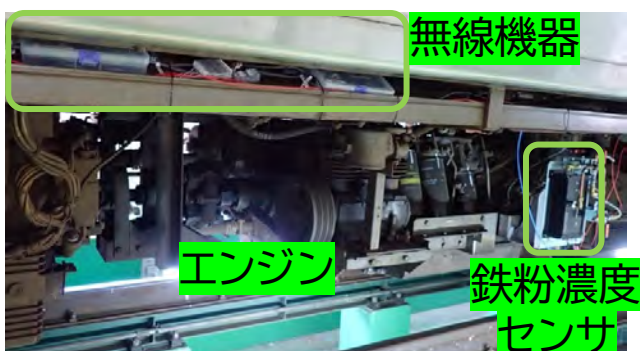


台上試験による状態監視システムの性能評価

エンジン油に異物(SiC粒子)を混入させた状態で回転試験を実施しました。エンジン内部の摩耗促進に伴う鉄粉濃度の上昇を検知できることを確認しました。



営業車両への設置状況



営業車両の床下に状態監視システムを設置し、走行中においても車両近傍からエンジン油の鉄粉濃度をモニタリングできることを確認しました。

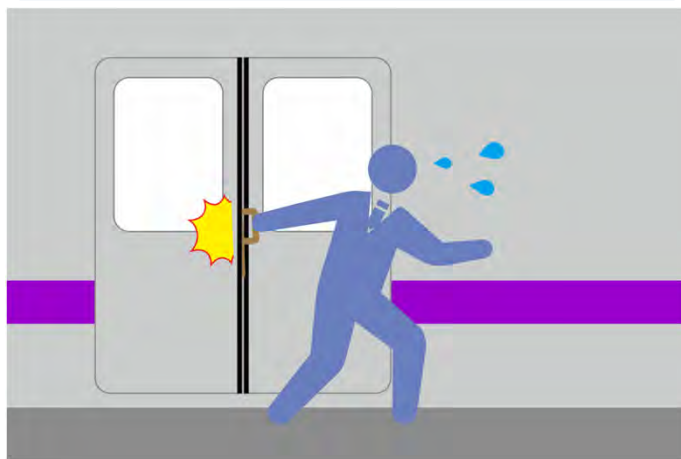
感圧センサを内蔵した 戸先ゴムによる戸挟み検知

鉄道車両の側引戸で、これまで検知困難であった細い介在物の挟み込みや引きずりを検知できる、感圧センサを内蔵した戸先ゴム”センサ戸先ゴム”による戸挟み検知手法を開発しました。

研究の背景と目的

- 鉄道車両の側引戸では、乗客の乗降時に乗客の手荷物などが挟み込まれる“戸挟み事象”が発生することがあります。
- 挟み込まれた介在物が杖や鞆の紐などのように細い場合、検知できずに挟み込んだままとなる”挟み込み”や介在物と一緒に乗客が引きずられる”引きずり”が発生する可能性があります。
- これまで検知困難であった”挟み込み”や”引きずり”の検知を目的としました。

戸挟み事象



研究成果

- 感圧センサを内蔵した戸先ゴム(センサ戸先ゴム)を開発しました。
- センサ戸先ゴムは、これまで検知が困難であった直径10mm～25mmの介在物の挟み込みや走行した際の引きずりが検知でき、検知感度が向上しました。
- センサ戸先ゴムと無線装置や非接触給電装置を組み合わせることにより、戸挟み検知システムとして利用できます。

センサ戸先ゴム



今後の展開

- センサ戸先ゴムと無線装置や非接触給電装置を組み合わせた戸挟み検知システムの営業列車への搭載、利活用に向けた実用化を進めます。

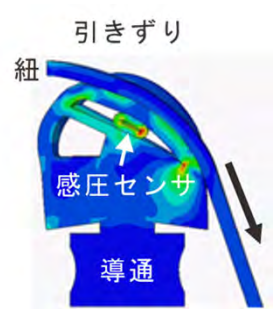
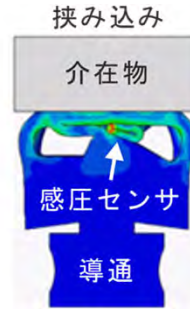
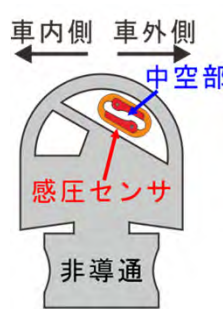
センサ戸先ゴムによる検知の仕組み



感圧センサ

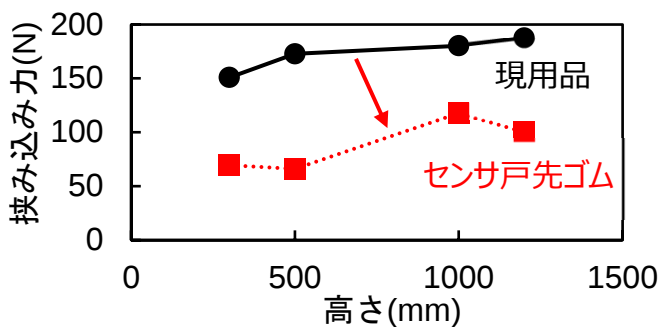


感圧センサによる検知:不通⇒導通



挟み込みや引きずりによって感圧センサが導通

挟み込みの際に発生する力



挟み込んだ異物への影響は小さい

挟み込みの検知感度

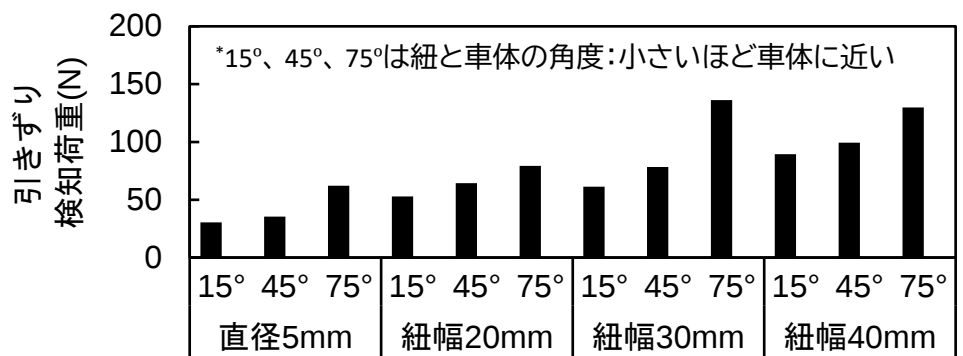


現行の戸挟み検知
⇒約25mm以上

センサ戸先ゴム
⇒直径10mm以上

挟み込みの検知感度が大幅に向上

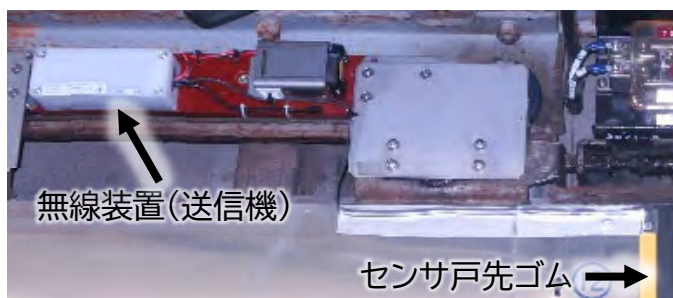
引きずりの検知感度



発生が想定される引きずり事象の多くを検知可能

車体への伝達手法

無線装置との組み合わせ



車体に設置した受信機に伝達

非接触給電装置との組み合わせ



車体に設置したシステムに伝達

燃焼特性と燃焼ガスの成分分析の同時測定が可能な試験装置

燃焼特性を定量的に測定可能なコーンカロリーメータ燃焼試験装置にFT-IR式ガス分析装置を併設させ、材料燃焼時に発生する発熱量・煙量・ガス濃度の経時変化評価を可能にした装置です。

研究の背景と目的

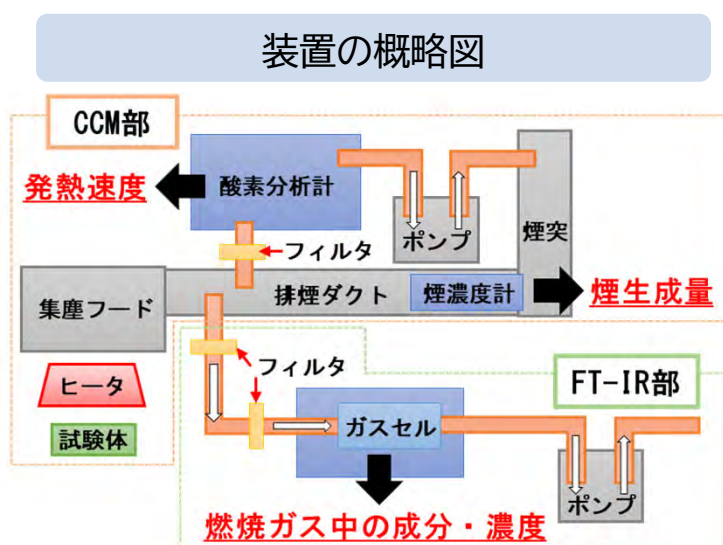
- 鉄道車両火災による被害を減じるためには、旅客や乗務員の円滑な避難と車両の安全な場所までの退避が重要です。
- 火災安全性の高い車両の設計には、旅客や乗務員の避難を妨げる煙や有毒ガスの発生抑制と車両構体が受ける輻射熱の抑制の両方が必要です。
- このため、燃焼特性と燃焼ガスの成分分析の同時測定が可能な試験装置を設計・導入しました。

研究成果

- コーンカロリーメータ(CCM)燃焼試験装置にFT-IR式ガス分析装置を併設させ、鉄道車両用材料の評価に適した仕様で設計・製作することにより、発熱特性と燃焼ガスの成分分析の同時測定を可能にしました。
- 積層材料等の複合材料において、材料の積層状態に対応した燃焼特性と燃焼ガスの段階的な変化を、定量的に評価できます。
- EN45545で規定される鉄道車両用材料の有毒ガス評価試験の結果と、一定の相関を持つことを確認しました。

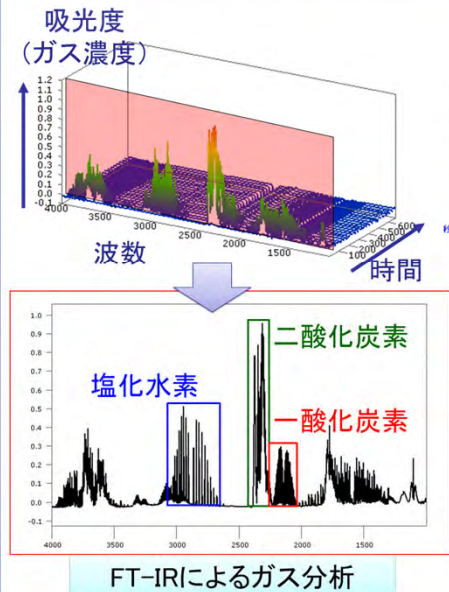
今後の展開

- 燃焼を抑制する材料の開発や、本装置により得られたデータと車両火災シミュレーションとを組み合わせることで、火災安全性をさらに向上させた車両用材料の提案に活用する予定です。

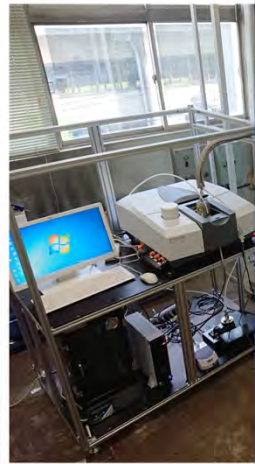


本装置の構成

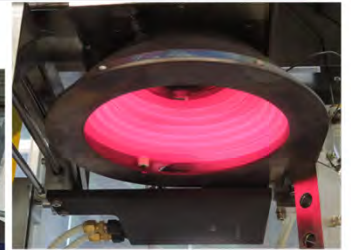
FT-IR式ガス分析装置



コーンカロリメータ燃焼試験装置



装置全景



円錐型ヒーターによる加熱

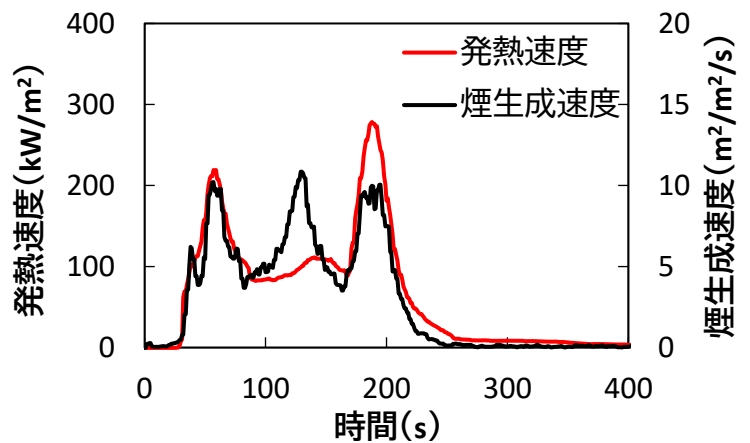
酸素分析計による
発熱速度の測定

本装置により得られた燃焼試験結果

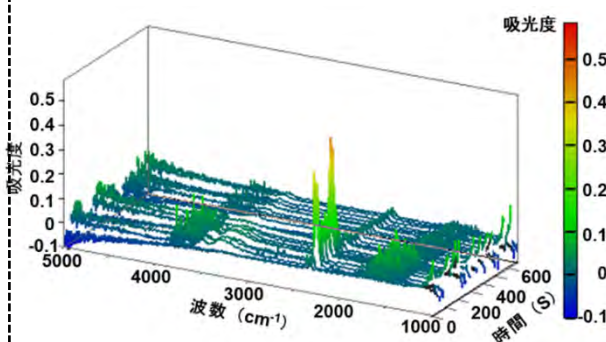
試験品(積層系材料)



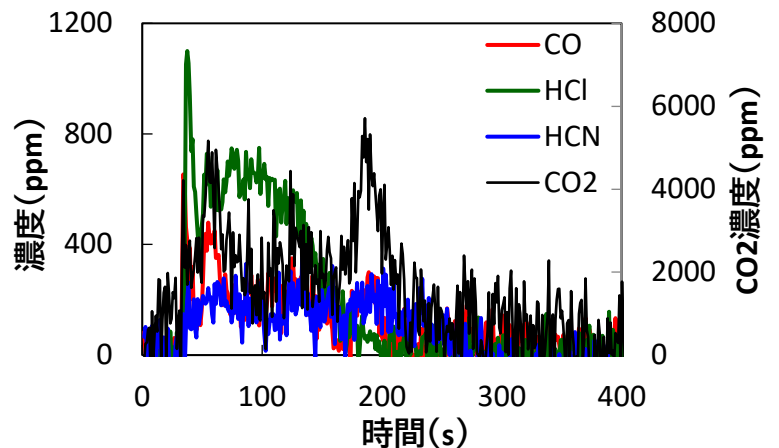
燃焼特性及び煙量の経時変化



FT-IR式ガス分析試験結果



燃焼ガスの経時変化評価

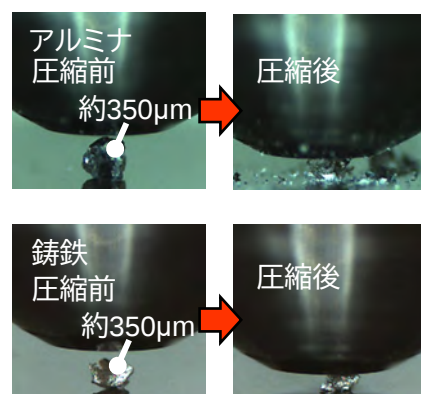
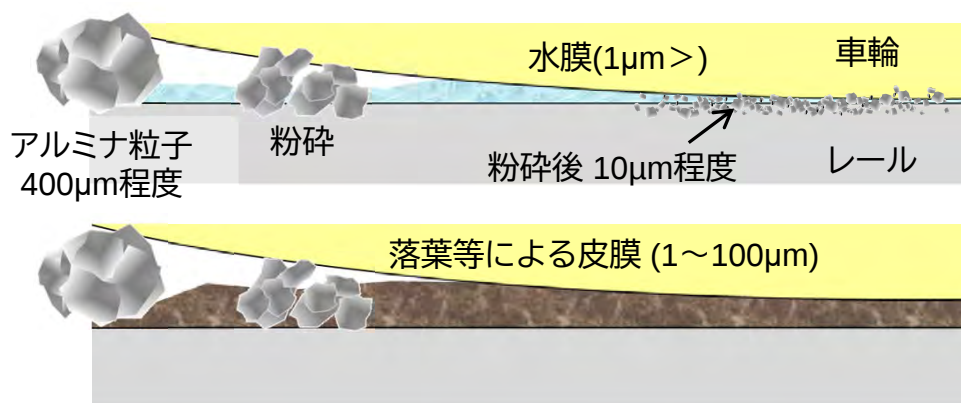


急こう配区間での空転対策として 用いる新しい増粘着材

落葉などによる空転時の勾配再起動のため、現用の珪砂よりも高い効果が得られる手撒き用の増粘着材を開発しました。

研究の背景と目的

- 在来線の急こう配区間では、落葉や雑草などに起因した空転とそれにとまなう列車遅延が問題となっています。
- 空転により失速し自然停車した際には、珪砂などを乗務員が手撒きする対策がとられていますが、十分な駆動力が得られず大幅な遅延や運休に至る場合があります。
- 現用の珪砂やアルミナなどは脆性材料であるため、車輪とレールの間で圧縮されると微粉化し、落葉などに由来する厚い皮膜では効果が低減すると考えられます。



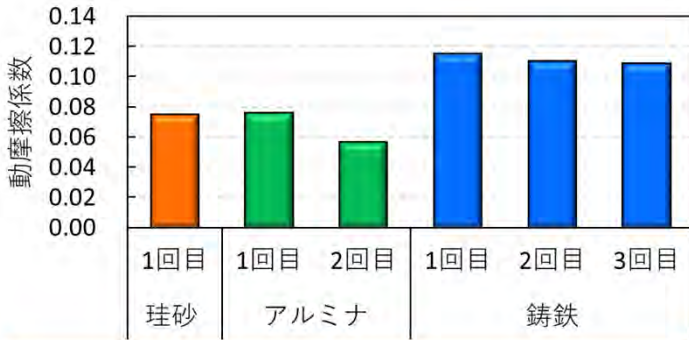
研究成果

- 新たな増粘着材として、圧縮時にも微粉化し難い性質がある鋳鉄を採用しました。
- 軌道回路への影響や保管時の防錆を考慮して、鋳鉄粒子に合成樹脂によるコーティングを行い、絶縁性、耐腐食性を向上させています。
- 手撒きでの使用を模して(断続的に散布)、25%、約20mの急こう配区間に模擬落葉を塗布し、1軸駆動気動車を使用した起動試験を実施した結果、珪砂使用時には空転が収まらず自然停車しましたが、新規材使用時には登坂に成功しました。

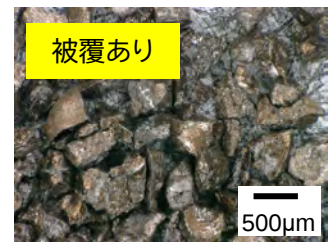
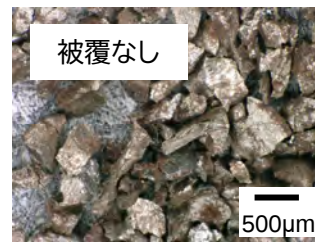
今後の展開

開発した新規材は、車両が急こう配区間で自然停車した際に乗務員がレール上に手撒き散布して使用する再起動用の増粘着材として活用できます。

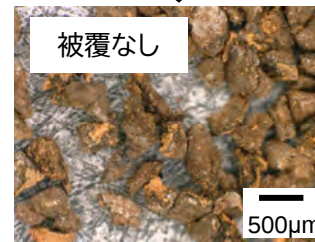
金属(鑄鉄)系増粘着材の試作



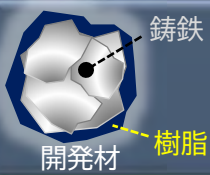
開発材の鑄鉄(粉碎し難い材料)では3回の繰り返し試験で動摩擦係数0.10以上を維持



↓ 蒸留水浸漬(64h)・乾燥 ↓

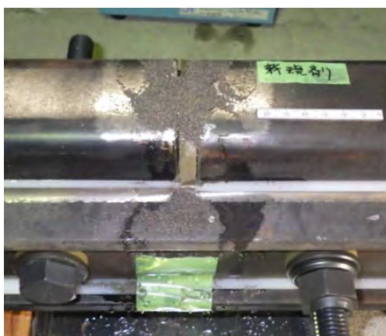


合成樹脂の被覆により耐腐食性を付与

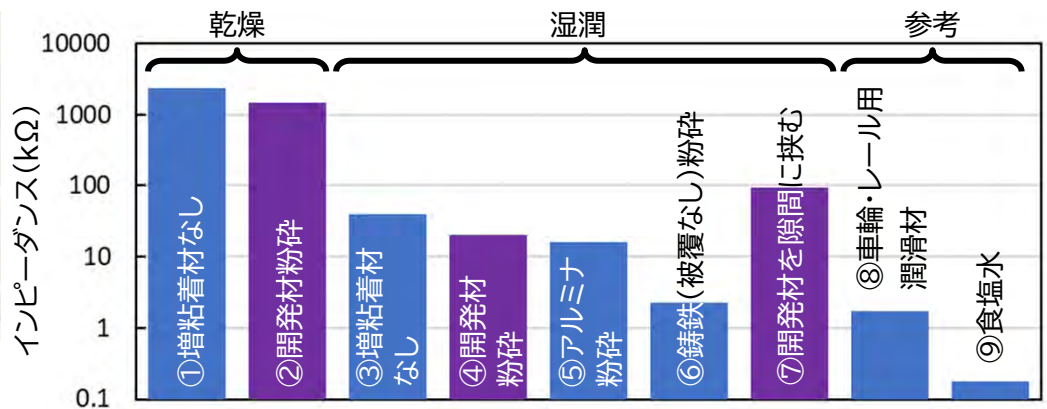


軌道回路への影響や保管時の防錆を考慮して、鑄鉄に合成樹脂を被覆し、絶縁性、耐腐食性を向上

軌道回路への影響調査



絶縁継目に粒子を介在させて電気抵抗を測定



25‰こう配起動試験

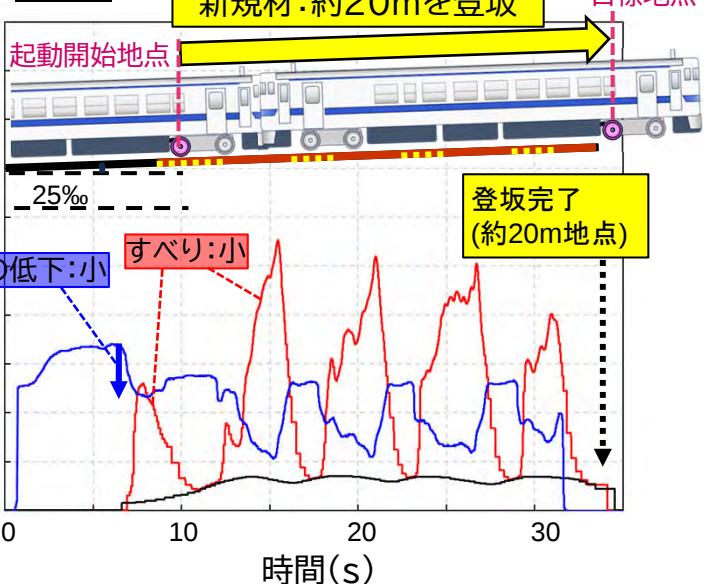
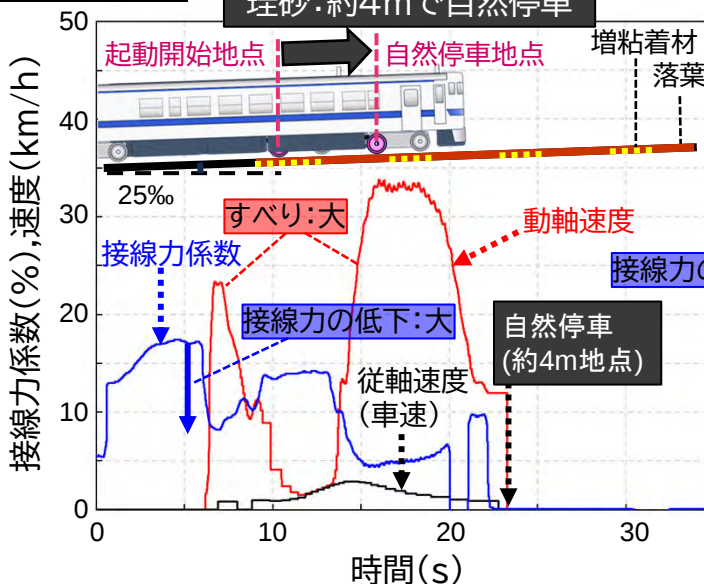
現用材(珪砂)

珪砂:約4mで自然停車

開発材

新規材:約20mを登坂

目標地点



車両床下撮影装置

走行する鉄道車両の床下機器を、地上に設置したカメラで撮影し、画像処理により、外観の異常を自動で検出するシステムです。

研究の背景と目的

- 部品を取り外さずに行う「列車検査(仕業検査)」では、車両搭載機器の取り付け状態や損傷の有無などを検査者が目視して確認しています。
- 目視検査箇所のうち床下機器を対象に、検査者が室内で撮影画像を見ることで検査したり、自動で診断することで、人手に頼らない検査の実現を目指しています。

研究成果

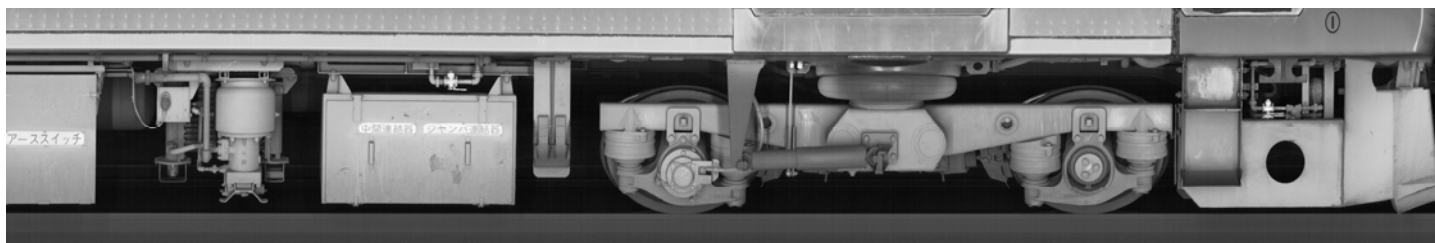
- レーザードップラー速度計で検出した車両通過速度にもとづきラインセンサーカメラで撮影することにより、通過速度に依存しない高精細な連続画像が得られます。
- 車体に表示されている車両番号を画像から自動認識することができます。
- 外乱の影響を抑制して正常時の外観との差分を計算することで外観の異常を検出します。

通過車両撮影中の撮影装置



撮影装置

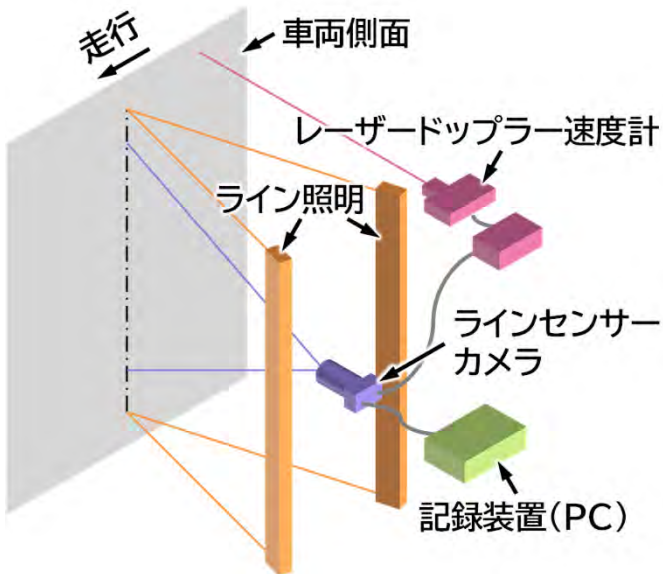
撮影画像の例



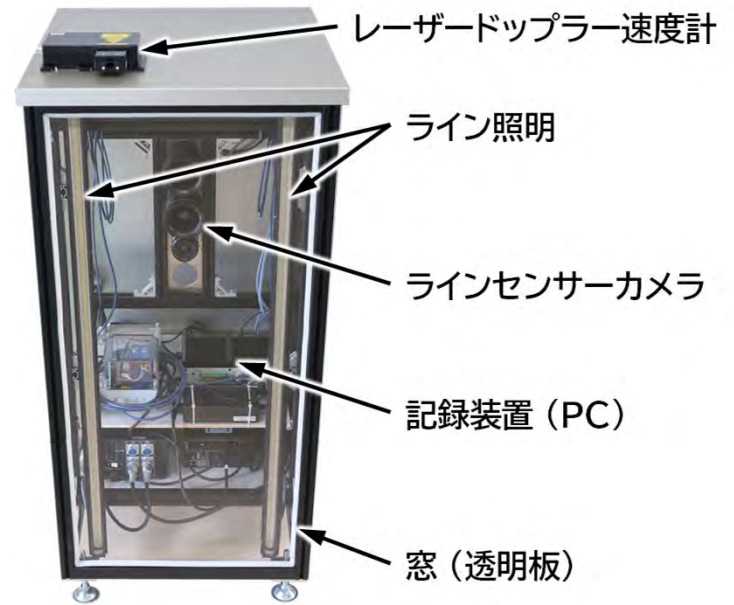
今後の展開

- 長期間撮影した多数の入換車両の画像を用いて、太陽光や雨ぬれ・汚れなどの外乱に強く、より小さな異常を診断可能なアルゴリズムの開発を進めています。

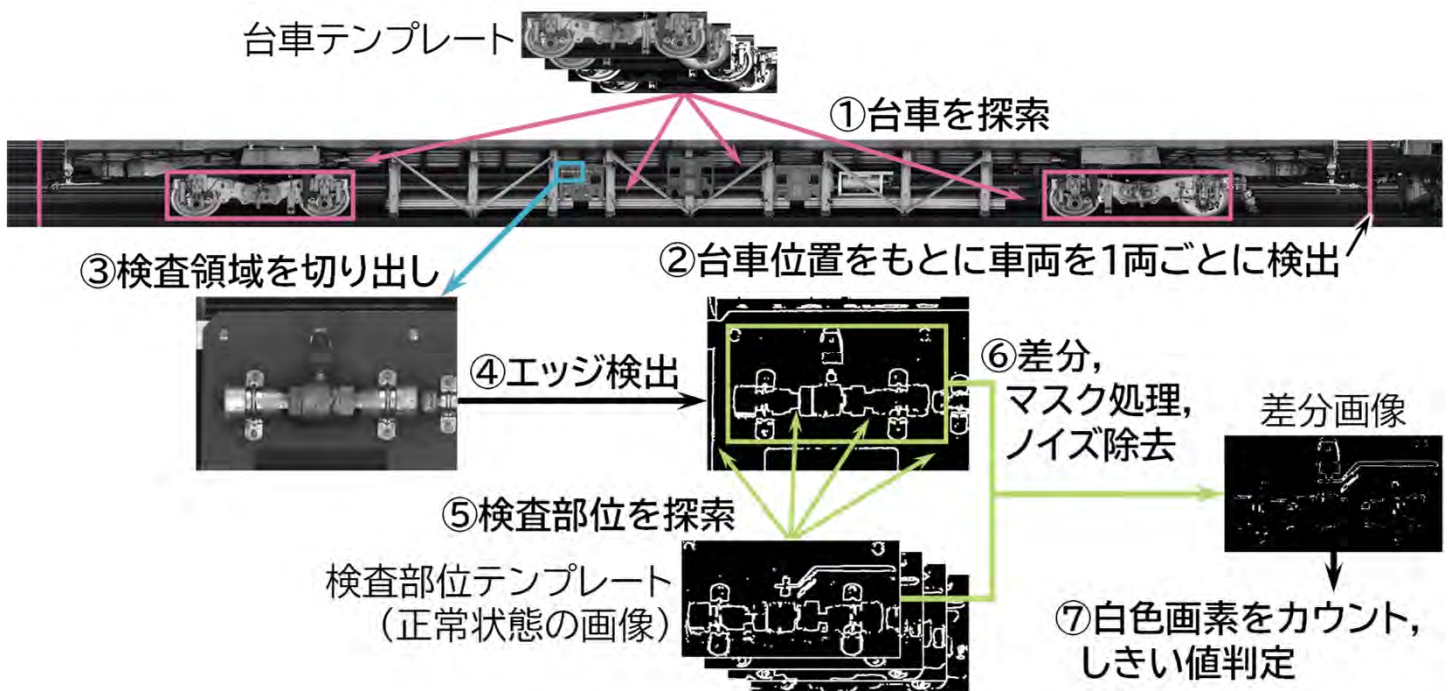
撮影装置の機器構成



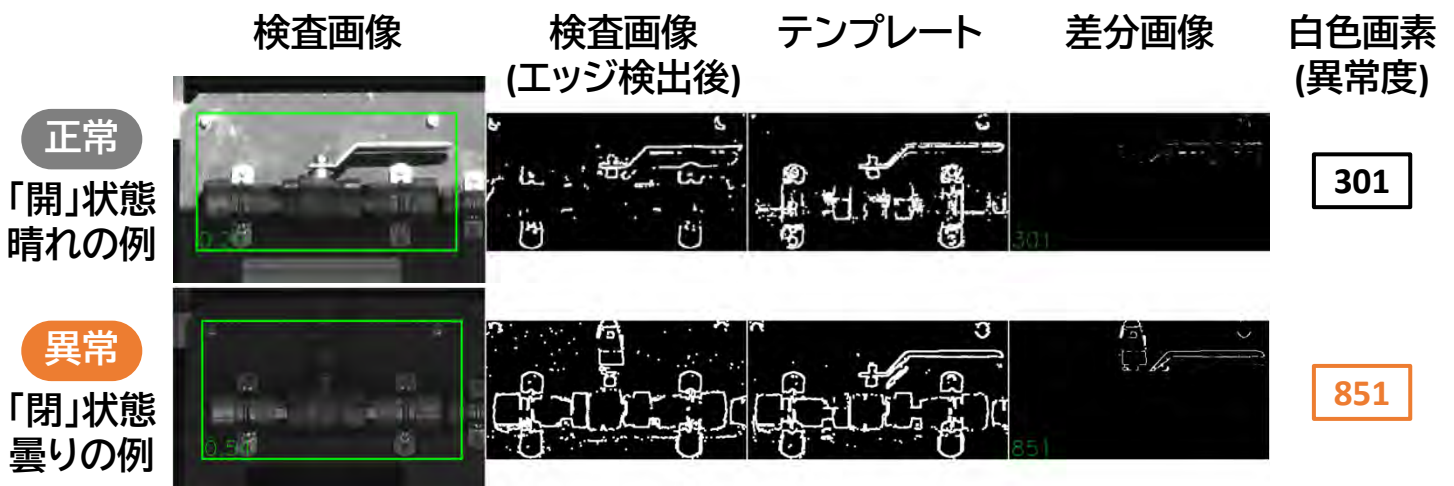
撮影装置 (試作機)



検査アルゴリズム



エアコックの開閉状態の診断例



アルミ合金製車両前頭部 衝突解析モデル

アルミ合金材の動的変形、破断特性を考慮できる車両前頭部解析モデルを構築し、事故状況を精度良く評価できる手法を確立しました。

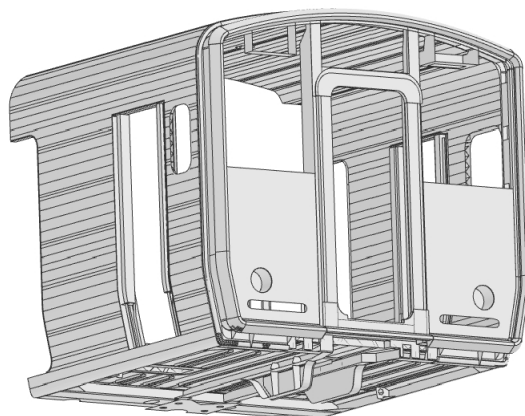
研究の背景と目的

- 万一の踏切事故時における乗務員および乗客の被害状況を想定する上で、車両の変形挙動を把握することが重要です。
- 衝突条件(衝突対象、位置、速度等)が多岐にわたること、試験実施に多大な労力がかかることから、変形挙動を把握するためには数値解析(FEM)が有効です。
- これまでの研究で着目していたのはステンレス鋼製構体であり、同様に採用例が多いアルミ合金製構体についても、その変形挙動を把握することを目的としました。

研究成果

- 車体構体用のアルミ合金材から製作した試験片を用いて引張試験を実施し、アルミ合金材の基礎的な材料特性を明らかにしました。
- 車体構体部材および前頭構体を用いた衝撃試験を実施し、部材レベル、構造体レベルでの衝撃挙動を明らかにしました。また、これらの試験を模擬した数値解析を実施し、数値解析手法の妥当性を確認しました。
- 妥当性が確認された数値解析手法を用いて車両前頭部解析モデルを構築し、車体の損傷状況を評価できるようになりました。

構築した衝突解析モデル



今後の展開

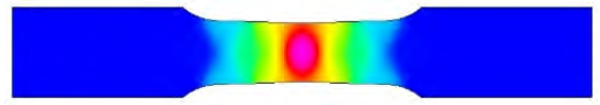
- 構築した車両前頭部解析モデルを用いて、踏切事故時の車体の損傷状況を評価し、乗客乗務員の被害軽減を図るための方策を車両構造の面から検討します。

アルミ合金材の引張試験

様々なひずみ速度条件の下でアルミ合金材の引張試験および再現解析を実施し、アルミ合金材の基礎的な材料特性を把握しました。



試験片(試験後)

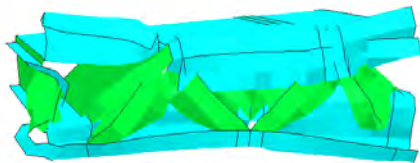


再現解析例

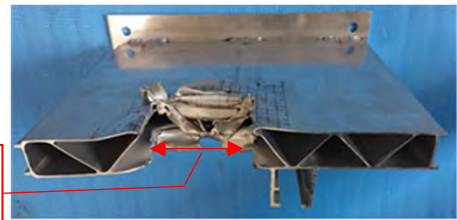
構体部材の衝撃圧縮試験

ダブルスキン構体部材を用いた衝撃圧縮試験では、断面全体を圧縮する条件と局所的に圧縮する条件で試験を実施し、アルミ合金部材の破壊を伴う衝撃圧縮特性を明らかにしました。

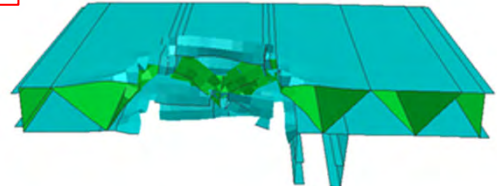
また、本試験を模擬した解析を実施し、破壊を伴う衝撃変形を再現できることを確認しました。



全体圧縮試験



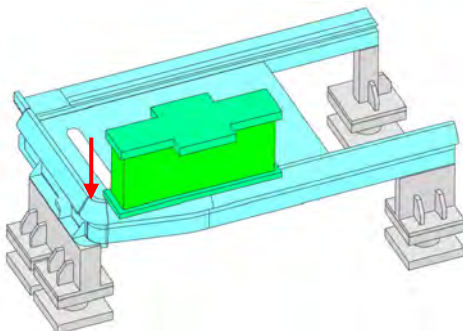
局所的に
圧壊させた範囲



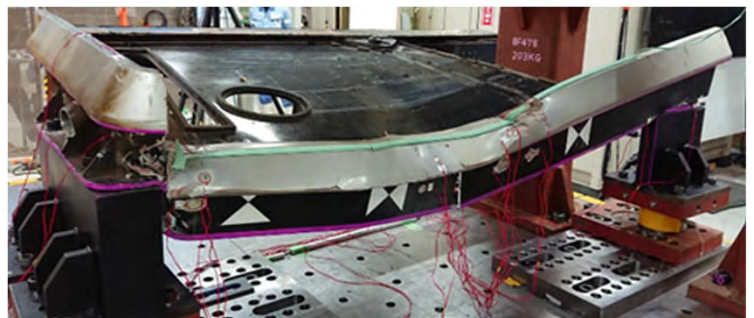
局所圧縮試験

前頭構体の落錘試験

車両前面部(前頭構体)の一部を用いた試験体に対し、重錘(約900kg)を速度54km/hで衝突させる落錘試験を実施しました。また、本試験を模擬した解析を実施し、損傷の過程を忠実に再現できることを確認しました。



落錘試験概略図



試験体(試験後)

次世代振子システム

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

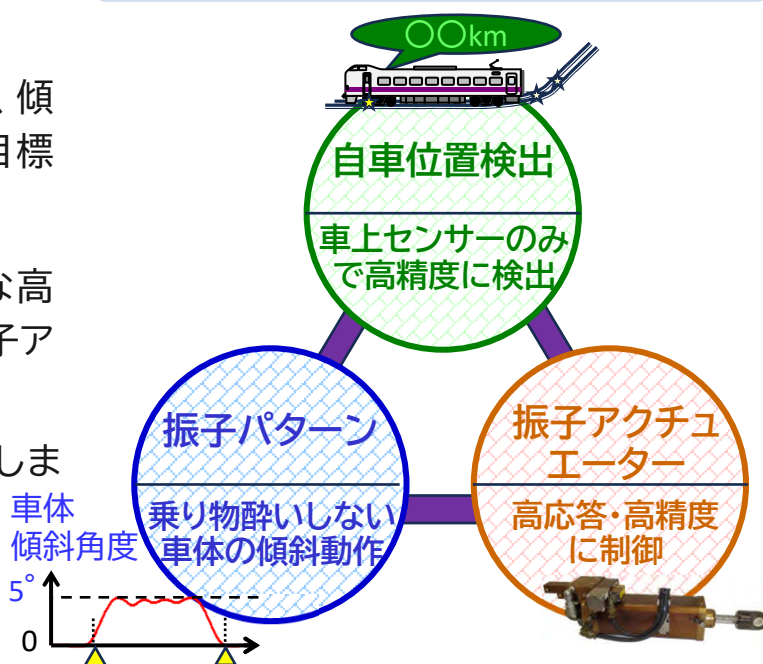
③上記の振子パターンに追従可能な高応答、高精度に車体を傾斜させる振子アクチュエーター

- 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

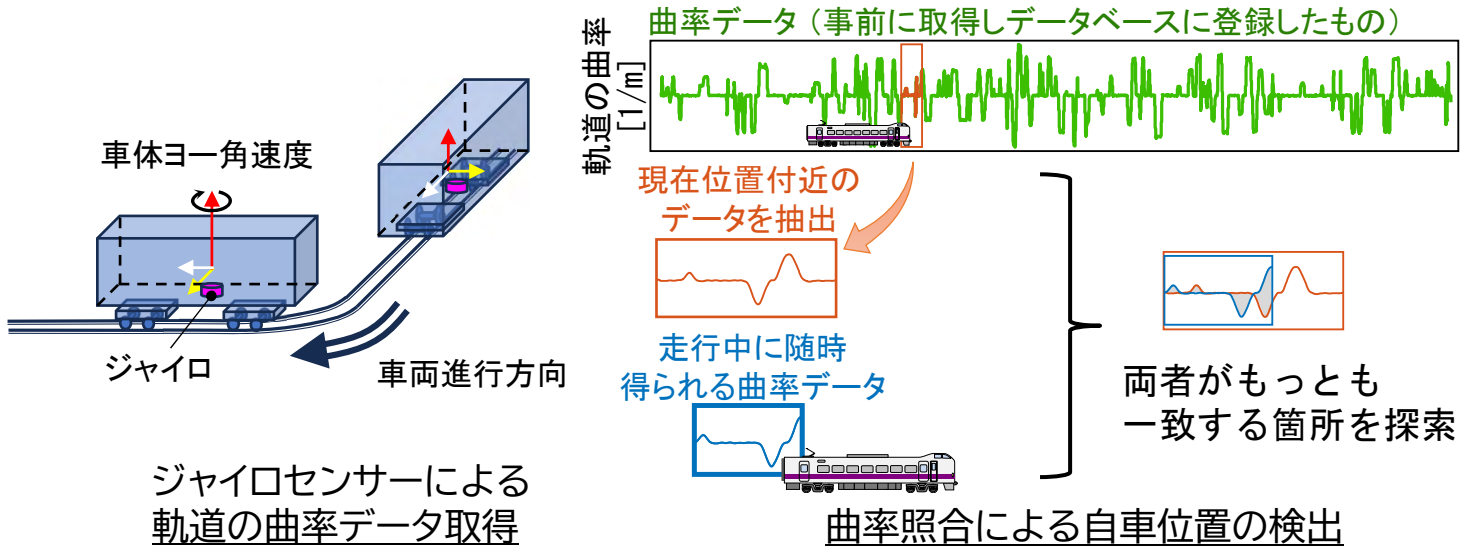
- 新製車両だけでなく、既存の制御付き振子車両のシステム更新に際しても次世代振子システムを活用いただけるよう、展開を進めていきます。

次世代振子システムの要素技術



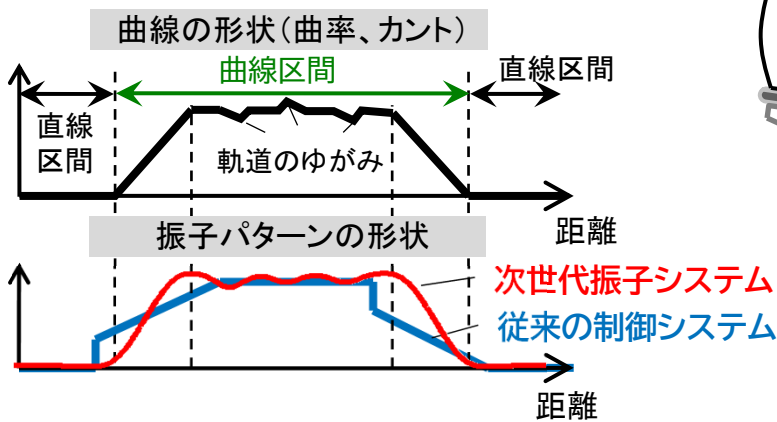
①自車位置検出

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。

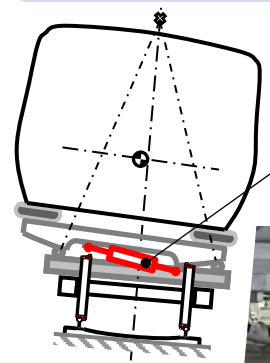


②振子パターン

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



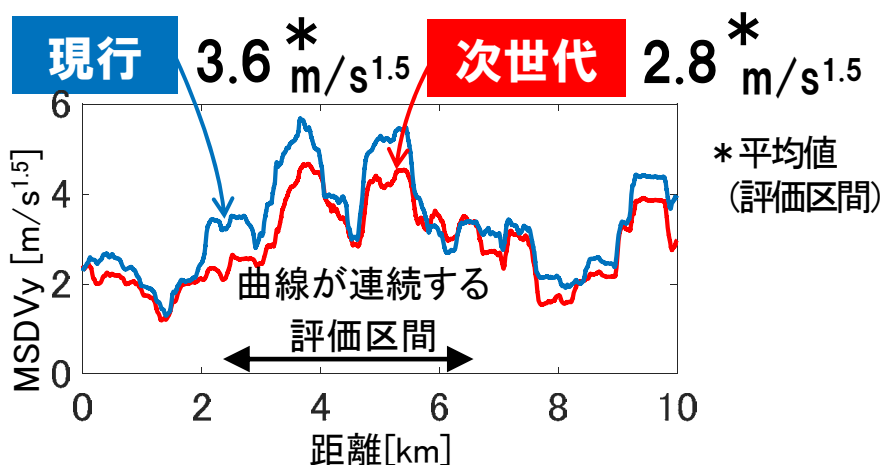
③振子アクチュエーター



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



次世代振子システムが搭載されたJR西日本273系直流電車

貨車用機械式脱線検知センサ

貨車において発生した脱線を早期に検知するため、貨車用機械式脱線検知センサを作製しました。

研究の背景と目的

- 長大編成となる貨物列車では、先頭の機関車から離れた貨車が脱線した場合に、脱線の認識が遅れるケースがあります。
- 旅客列車で実用化されている脱線検知の手法を貨車に適用する場合、機能面（誤検知や検知不良等）やコスト面に課題がありました。
- より簡素な方法で脱線を早期に検知することを目的に、脱線による台車部位同士の接触を検知する機械式の脱線検知センサを検討しました。

研究成果

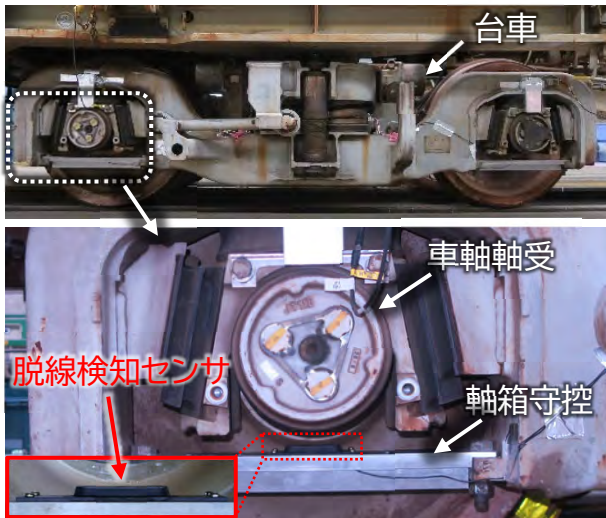
- 台車挙動シミュレーションによる検討を行い、過去の脱線事故において損傷が確認された台車部位の中から、軸箱守控を接触センサの設置位置として選定しました。
- 接触センサには、力が加わることで電氣的な導通の有無が変化する単純な機構のものを選定しました。また、飛石や着雪等の影響による低い荷重で誤検知しないように、ゴムカバーと組み合わせた機械式脱線検知センサを作製しました。
- 脱線器を用いて貨車を脱線させることで、脱線検知センサの検知性能を評価する試験（脱線検知試験）を実施しました。その結果、作製した脱線検知センサによって脱線直後に脱線を検知できました。

今後の展開

- 脱線検知センサを設置した台車を長期間走行させることにより、脱線検知センサの信頼性や耐久性を評価する予定です。
- 脱線検知センサで得られた検知情報の伝送手法について、実装に向けた課題を検討する予定です。

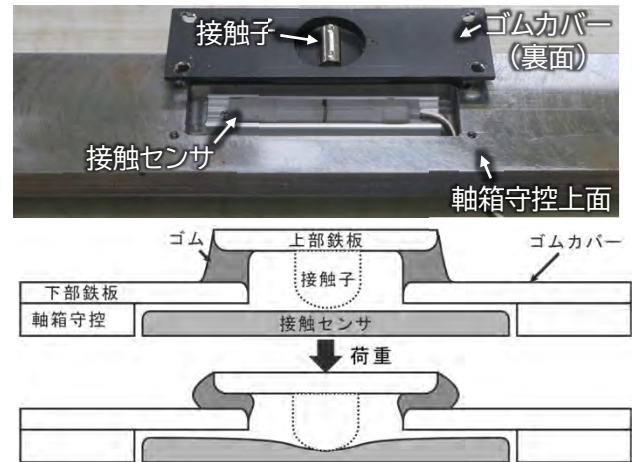
脱線検知センサの設置位置

設置位置は、軸箱守控の上面としました。



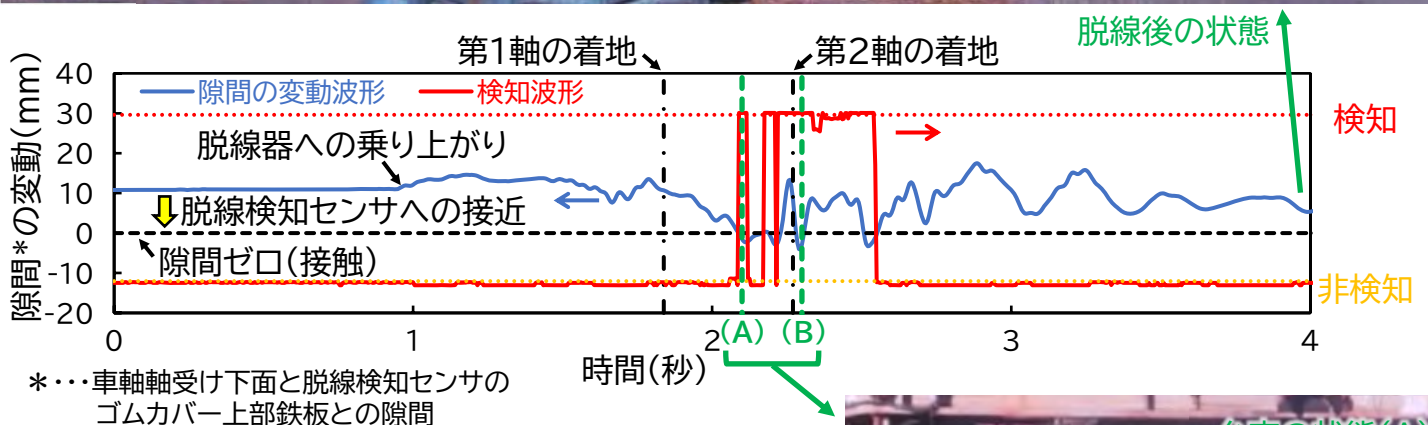
脱線検知センサの構造

脱線によって発生する荷重以外の低い荷重で検知することを防ぐため、接触センサにゴムカバーを組み合わせました。



脱線検知試験の結果

脱線検知試験の結果、脱線検知センサによって、脱線直後に脱線を検知できました。



せん断ひずみを活用した 車輪・レール間接触力・位置測定法

せん断ひずみを活用したPQ輪軸による横圧測定法を開発しました。これにより、脱線係数の誤差が最大18%低減され、より精度の高い走行安全性評価が可能です。

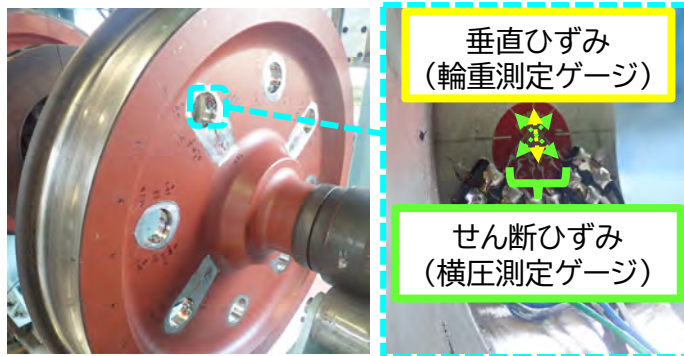
研究の背景と目的

- 鉄道車両の脱線に対する走行安全性を評価するために、「PQ輪軸」と呼ばれる、車輪にひずみゲージを多数貼付した専用の輪軸を用いて、車輪・レール間に作用する上下方向と左右方向の力(輪重と横圧)を測定する走行試験を行います。
- 現行の測定法には、車輪・レール間の接触位置が変化することに起因して、横圧に測定誤差が生じる場合があります。本研究では、横圧の測定精度を向上することを目的としました。

研究成果

- 車輪板部に生じる「せん断ひずみ」を横圧の尺度とすることで、接触位置が変化することに起因する測定誤差が小さくなることを見出し、これを応用した横圧測定法を開発しました。
- 静荷重試験と輪軸回転試験を通じて、走行安全性評価の指標である脱線係数(横圧を輪重で割った値)の誤差を、現行法と比較して最大18%低減できることを明らかにしました。
- 現行の横圧測定法と提案した横圧測定法における接触位置変化の影響の受けやすさの違いを応用した車輪・レール接触位置測定法を開発しました。

せん断ひずみを活用した横圧測定法

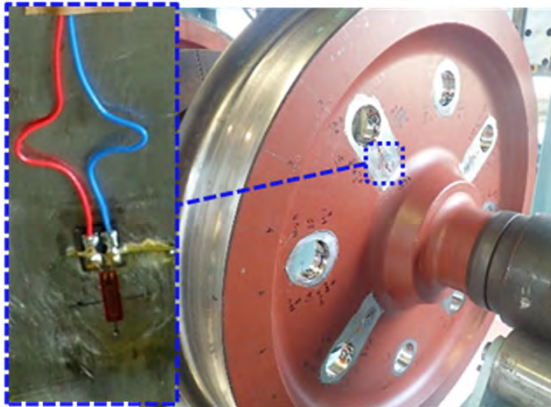


今後の展開

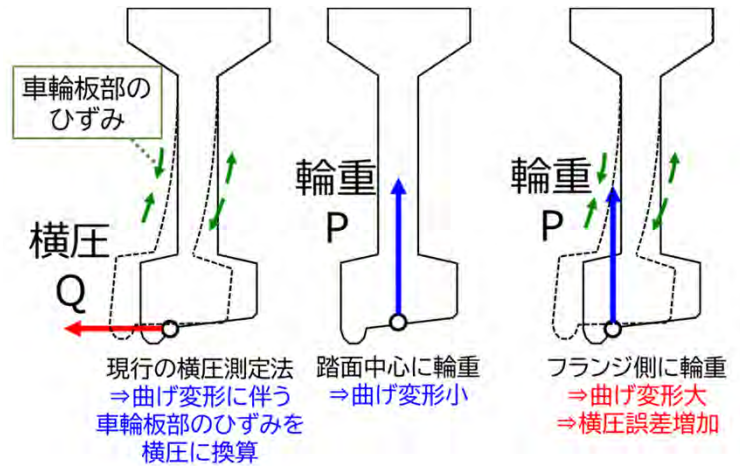
- 横圧の測定精度のさらなる向上を図るとともに、実用化を推進します。
- 接触位置測定を活用し、車輪・レール間接触に関わる各種現象解明に取り組みます。

現行の横圧測定法の原理とその課題

現行の測定法では、車輪板部の側面で曲げひずみを測定し、これを横圧に換算しています。しかし、曲げひずみの大きさは、輪重の大きさと左右方向の接触位置によっても変化するため、横圧測定に誤差が生じる場合があります。

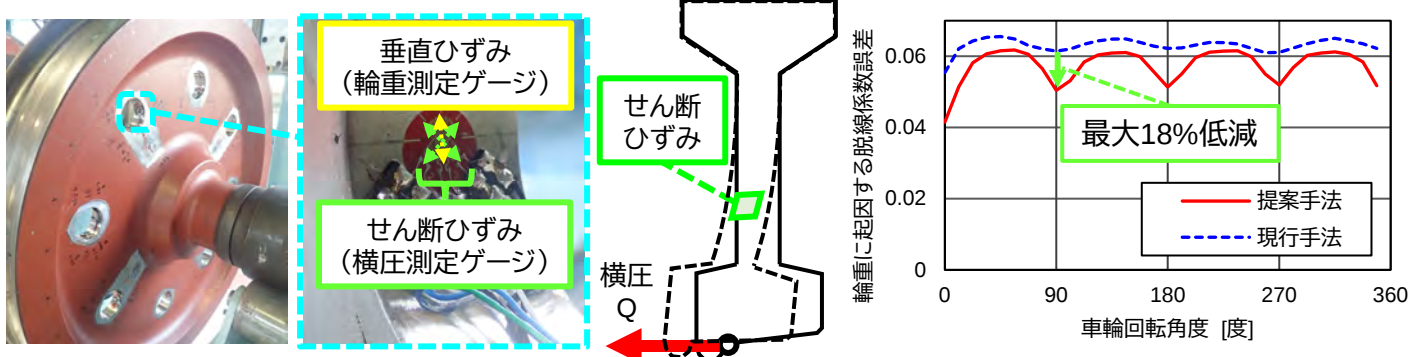


曲げひずみ測定用ひずみゲージ



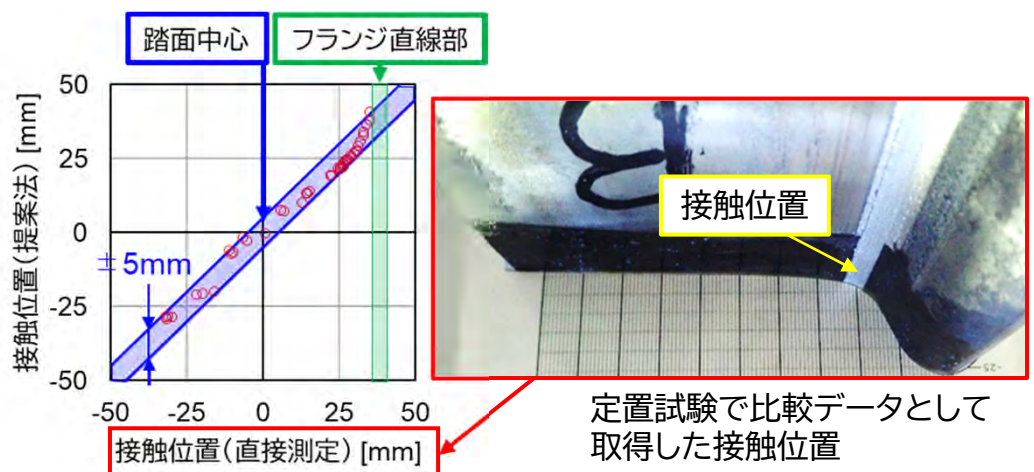
せん断ひずみを活用した横圧測定法の原理と精度向上効果

新たに開発した測定法は、横圧が作用した時に曲げひずみと同時に生じる「せん断ひずみ」に着目したものです。接触位置変化の影響を完全に除去することはできないものの、その影響を受けにくいことを明らかにしました。



車輪・レール接触位置測定法

現行の横圧測定法と開発した横圧測定法における接触位置変化の影響の受けやすさの違いを応用した接触位置測定法を開発し、5mm程度の誤差で接触位置を測定できることを明らかにしました。



横風揚力に着目した 割り込み事故の防止策

在来線において、強風時に割り込み事故が発生する場合があります。本研究では、横風による揚力増加に着目し、そのメカニズム解明結果に基づいた割り込み事故の防止策の提案を行いました。

研究の背景と目的

- 背景: 強風時の割り込み事故の発生要因の一つと考えられている横風による揚力増加については未解明な部分が多く、パンタグラフ側で実施可能な事故防止策も提案されていませんでした。
- 目的: 横風による揚力増加メカニズムの解明、および揚力増加メカニズムに基づいた割り込み事故の防止策の提案を目的としました。

研究成果

- 静解析に基づき、割り込み事故が発生するトロリ線偏位量とパンタグラフ揚力の関係を視覚的に示す限界揚力線図を提案しました。
- 横風を受けた場合の揚力特性を風洞試験により把握するとともに、横風による揚力増加メカニズムを流れのシミュレーションにより解明しました。
- 舟体上面に開口部を設ける対策を提案し、その有効性を風洞試験により確認しました。

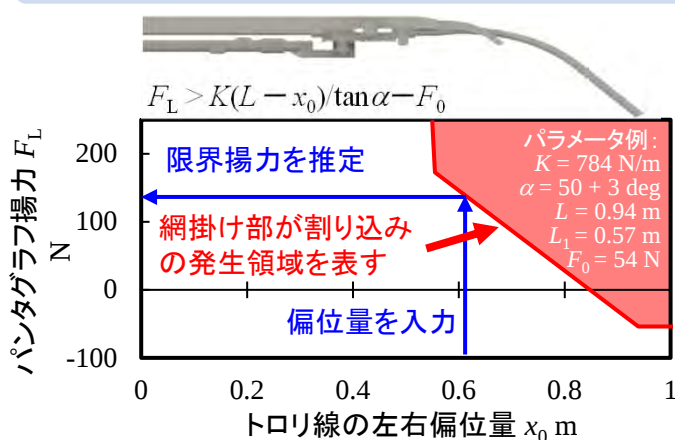
今後の展開

- 個別事象に応じた事例検討・対策提案などを進めていく予定です。

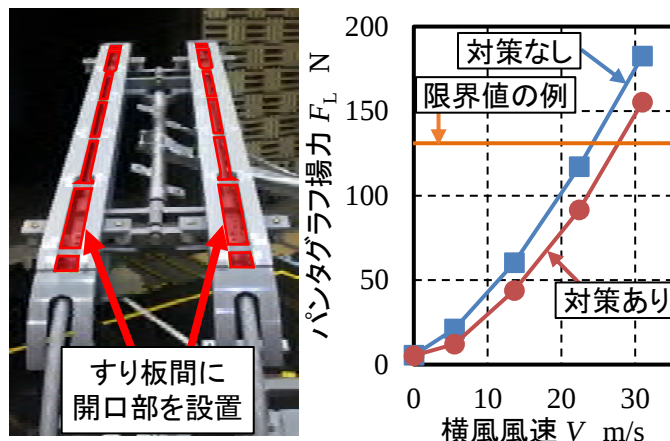
強風時の割り込み事故



限界揚力線図

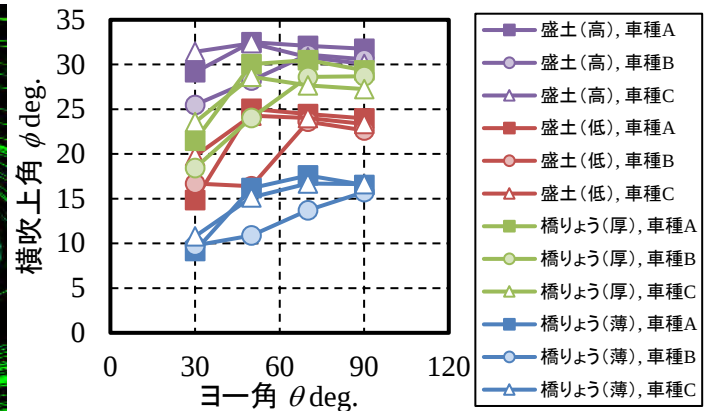
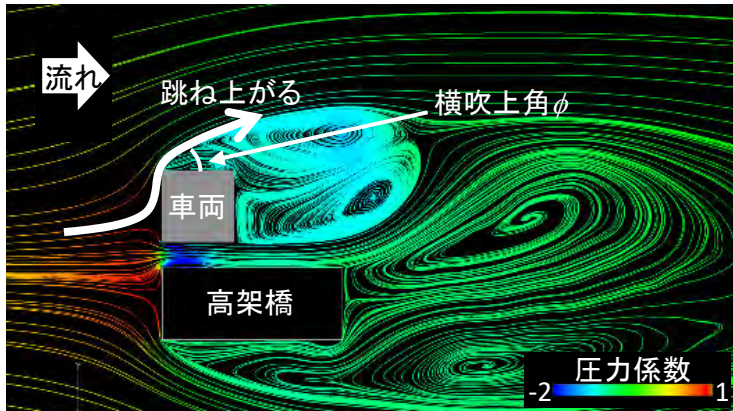


割り込み事故防止策



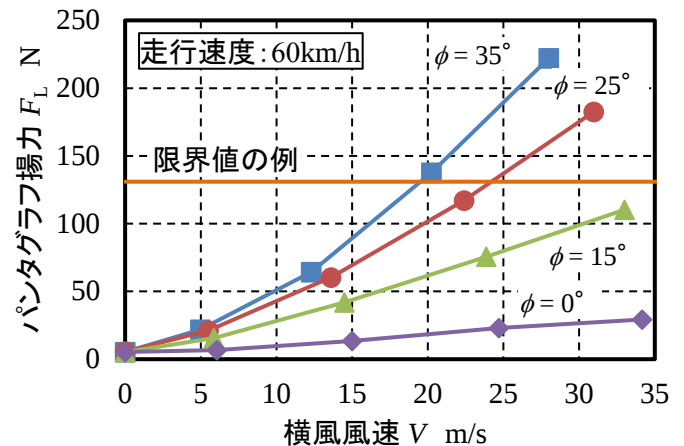
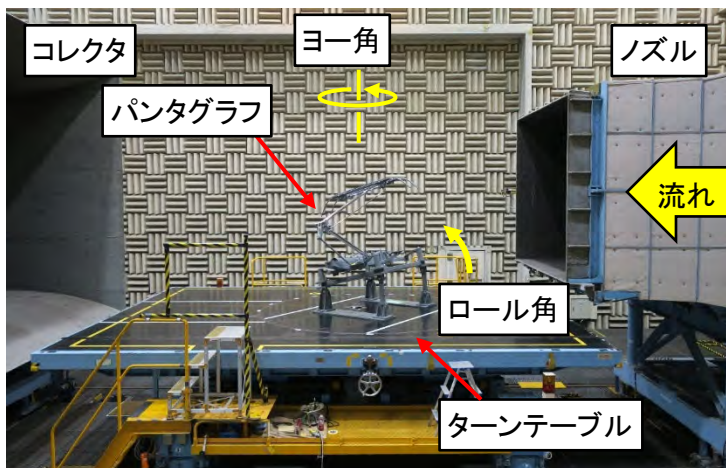
舟体位置での横吹上角の把握

- ・車両が横風を受けた場合の流れのシミュレーションを実施しました。
- ・舟体位置の横吹上角がおおよそ $10^{\circ} \sim 35^{\circ}$ の範囲となることを確認しました。



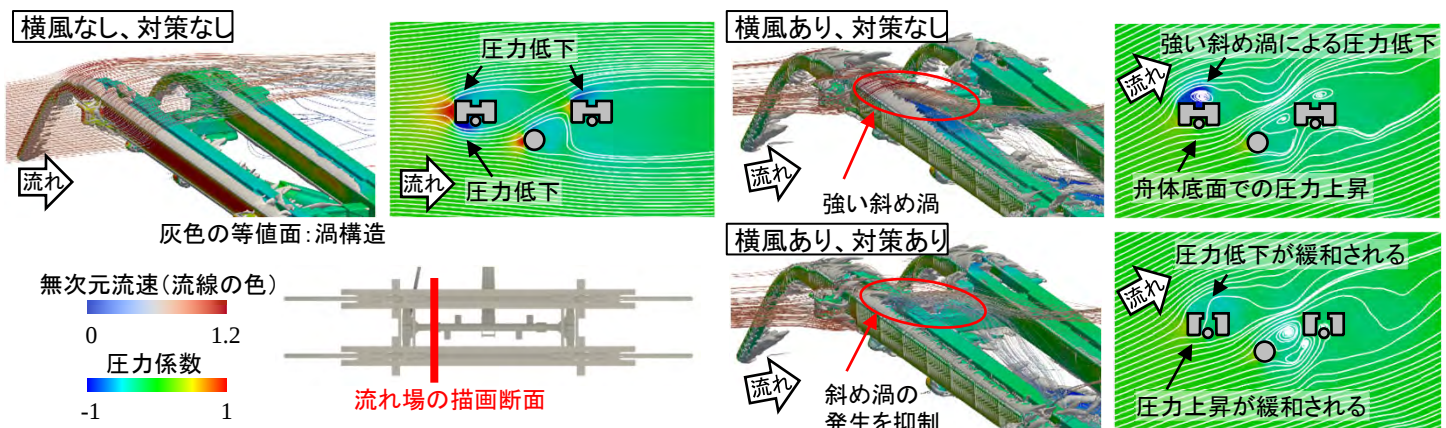
風洞試験による横風揚力特性の把握

- ・風洞試験においてパンタグラフが横風を受けた場合の揚力測定を実施しました。
- ・横吹上角や横風風速によっては大きな揚力が発生することを確認しました。



流れのシミュレーションによる揚力増加メカニズムの解明と対策提案

- ・舟体底面の圧力上昇に加え、上面の強い斜め渦により揚力が増加します。
- ・舟体上面を開口することで、底面の圧力上昇と上面の斜め渦を抑制できます。



車両に関する低周波磁界の測定システム

鉄道車両に関する低周波磁界を測定するため、測定帯域が広い磁気光学プローブを利用する新たな磁界の測定システムを開発しました。

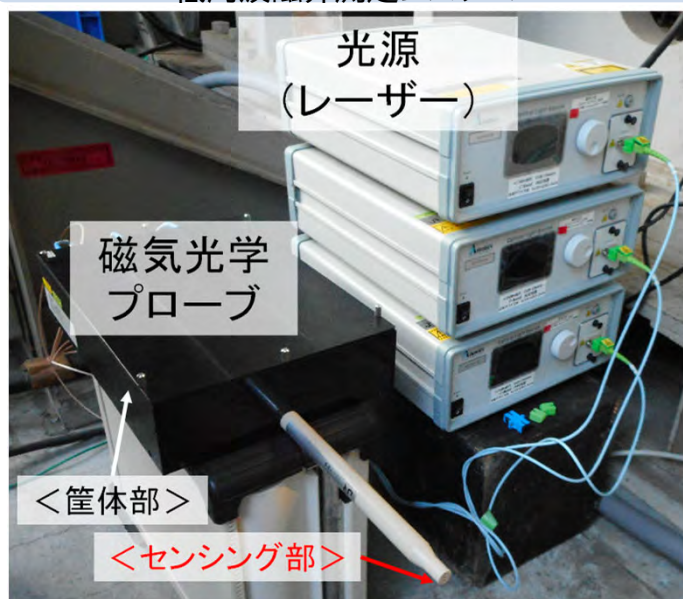
研究の背景と目的

- 鉄道環境における磁界測定の規格が国内外で制定されています(国際規格:IEC 62597(2019年)、国内規格:JIS E0201(2024年))。
- 鉄道車両に関する低周波磁界の測定においては、周波数帯や強度に応じて複数種のセンサが必要であり、測定作業の効率が悪いという課題があります。

研究成果

- 広範囲な周波数と強度に適用可能なファラデー効果に基づく3軸型の**磁気光学プローブ**を開発し、これを活用した**低周波磁界測定システム**を構築しました。
- 曲げ等による影響を受けやすいファイバーケーブルを筐体と一体化する等の工夫により、**フィールドで測定可能**な磁界測定プローブとしました。
- 性能評価試験により、国際規格IEC 62597等の要求を満たす性能を有することを確認しました。
- 既開発の磁界評価システムと組み合わせることで、**複雑な車両磁界を効率よく測定、評価**することが可能となりました。

開発した磁気光学プローブによる
低周波磁界測定システム

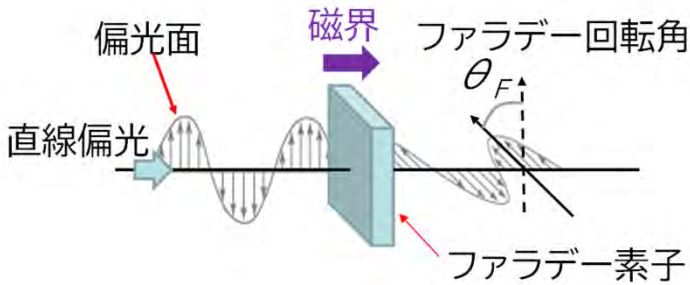


今後の展開

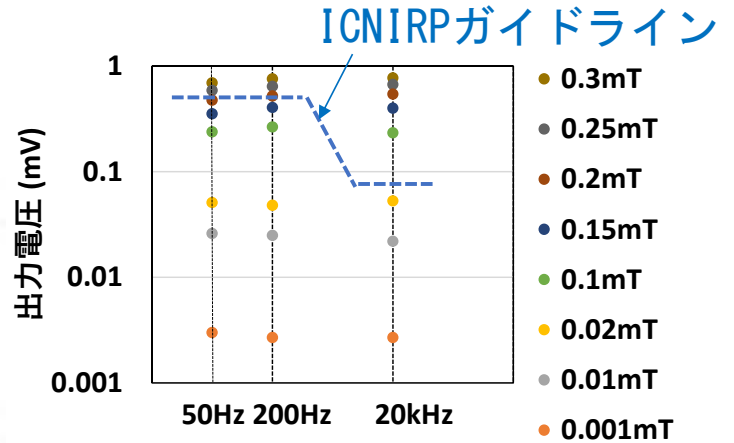
- 本システムの活用により、車両磁界の分布特性等を解明していきます。
- 車両を含む鉄道環境における低周波磁界の測定依頼の際に、本システムを使用して、効率の良い測定・評価を実施いたします。

ファラデー効果

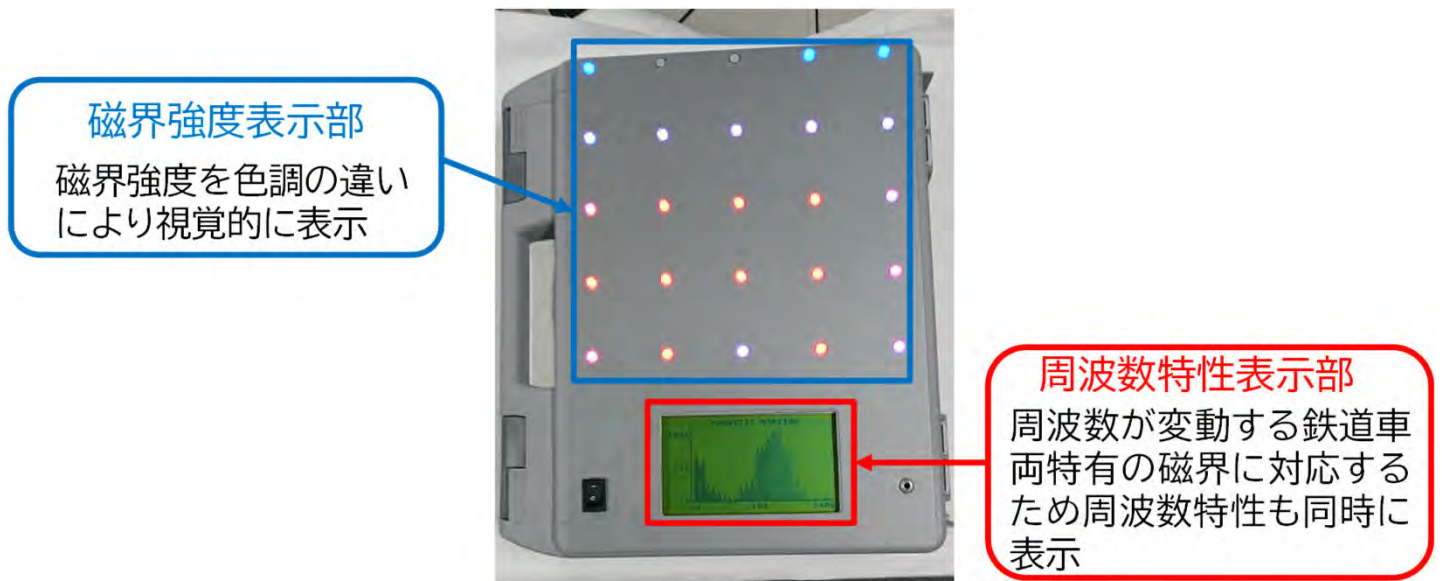
ファラデー素子と呼ばれる物質に偏光が透過すると、磁界によって偏光面が回転する現象を利用して磁界を検知します。



低磁界による確認試験

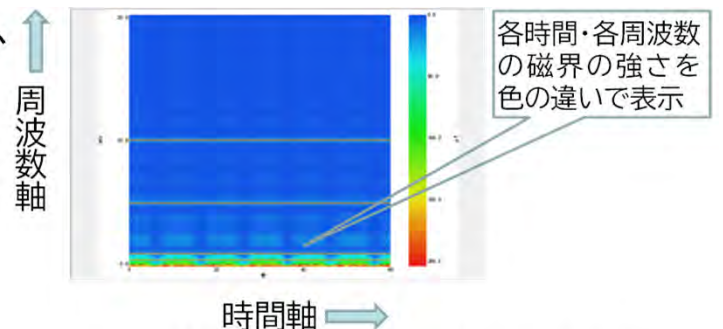


交流磁界可視化装置



低周波磁界評価システム

PCに測定プローブを接続することで、規格に沿った正確な車両内磁界の測定・解析・評価を一貫して行うことができるシステムです。本評価システムにより、直流磁界、交流磁界のそれぞれについて短時間で解析、評価することができます。



運転モード等により時々刻々と変化する各周波数の交流磁界強度を表示

衝突事故時の乗客被害を 軽減する腰掛座面

衝突事故時の乗客被害を軽減し、かつ座り心地も考慮した転換クロスシート用の腰掛座面を開発しました。踏切事故を想定した際、乗客下肢の傷害度を60%低減することを確認しました。

研究の背景と目的

- 近郊形車両などで設置される**転換クロスシート**など、まくらぎ方向に並べられた腰掛に着座した乗客が、**列車衝突時の衝撃**で**投げ出されて前席に衝突(2次衝突)**することで、**下肢傷害が発生**する可能性があります。
- **欧米では2次衝突時の傷害度を一定以下に抑えるための車内設備規定がありますが、国内では規定がなくこれまで転換シートの傷害度の評価例はありませんでした。**
- 衝突事故時の**下肢傷害度を低減できる**転換シート用の**腰掛座面の開発**を目指しました。

研究成果

- **座り心地が現状より悪化しない構造を主観評価で検討した上で、乗客下肢が2次衝突する部分をアルミ角とし、ウレタンで支持する緩衝構造座面※1を考案しました。**
- 本構造の傷害低減効果を確認するため、**プロトタイプ座面を製作し、踏切事故を想定した衝撃試験を実施しました。**
- 従来座面と比較して、**下肢の傷害度を60%程度低減**することを確認しました。

座り心地も考慮した緩衝構造座面

主観評価:現状非悪化な構造を検討

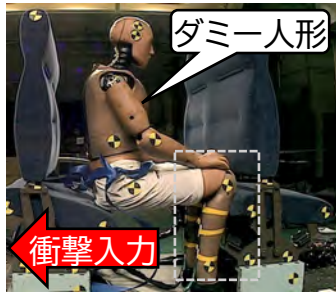


※1 本座面は「鉄道用座席」という名称で出願済み
出願番号:特願2022-018437
出願日:2022/2/9

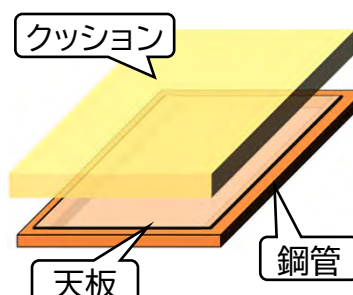
今後の展開

座面のみで大幅な緩衝効果が得られることから、腰掛全体に大きな設計変更を必要としないので、**転換席以外のボックス席などにも活用が期待**できます。

下肢傷害度を低減できる緩衝構造座面の考案



スレッド試験※2による事故時の
傷害発生状況の推定

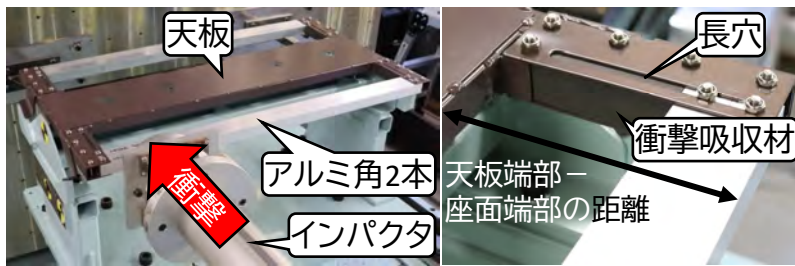


従来座面イメージ



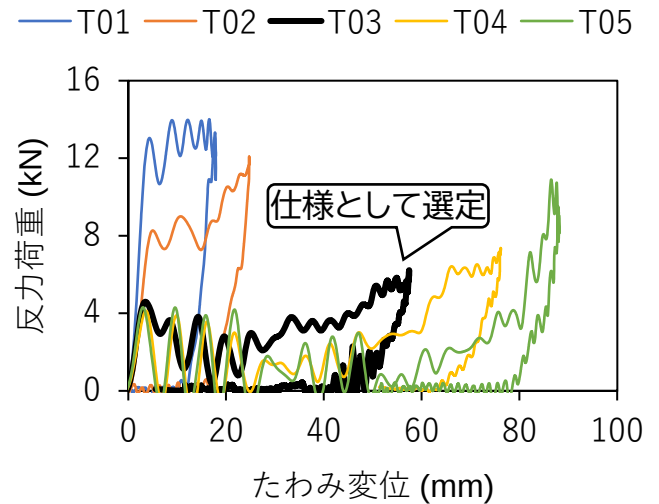
緩衝構造座面イメージ

インパクト試験による緩衝構造の詳細仕様の検討



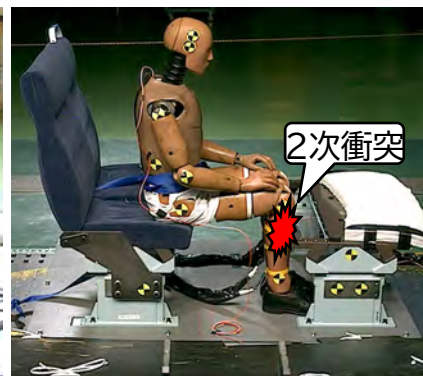
試験概況(左:全体、右:アルミ角支え部拡大)

試験ID	天板端部－ 座面端部の距離	衝撃吸収材の有無
T01	従来座面	
T02	100mm	吸収材無し
T03	150mm	吸収材有り (ウレタンA)
T04	150mm	吸収材有り (ウレタンB)
T05	150mm	吸収材有り (発泡ポリプロピレン)

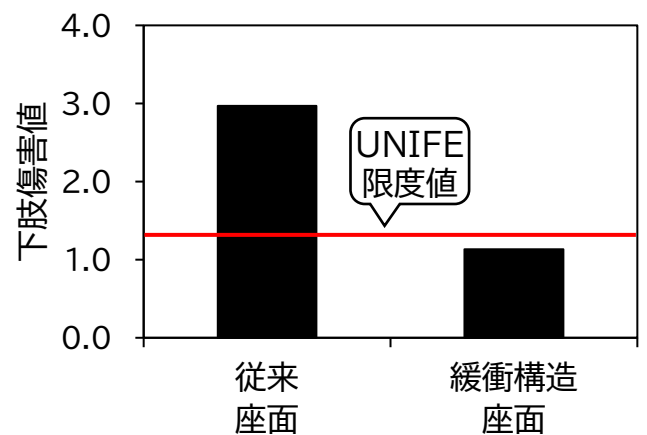


インパクト衝撃時の
反力荷重とたわみ変位の比較

スレッド試験※2による緩衝構造座面の効果検証



試験概況(T03条件の座面)



従来座面と比較して下肢傷害度を60%程度低減し、欧州を中心に広く参照されるUNIFE(欧州鉄道産業連合)技術レポートで規定される限度値を下回ることを確認しました。

※2 スレッド試験とはスレッドと呼ばれる台車上に車内設備や乗客を模したダミー人形を配置して、台車に事故時に車内に発生する衝撃を入力することで、傷害発生状況を推定するための手法