

D-1

沿線騒音の遠隔常時監視による 編成別車輪状態の把握手法

沿線騒音やレール振動等を常時計測できる常時監視手法を開発しました。転動音の経時変化を把握できるため、環境保全の観点から、編成ごとの車輪転削時期の決定に役立てることができます。

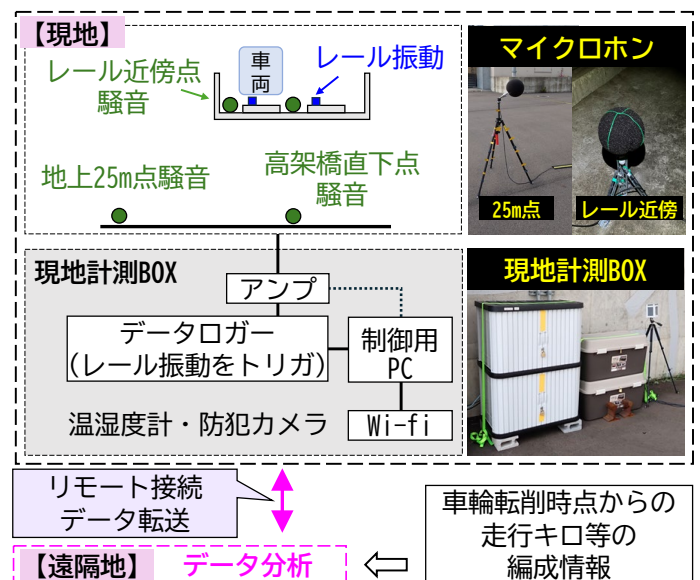
研究の背景と目的

- 沿線騒音に影響する転動音の増加を防ぐため、鉄道事業者では、主に走行キロ数を基本とした車輪転削が行われているものの、車輪踏面状態に応じてきめ細かく判断したいというニーズがあります
- 転動音の発生に影響する車輪踏面状態の時間的な変化の特徴を捉えるため、沿線騒音等の常時計測が可能なモニタリング手法を開発しました

研究成果

- 環境基準の標準的な評価点である地上25m点騒音をはじめ、レール近傍点騒音、高架橋直下点騒音、レール振動を遠隔で無人測定可能なシステムを構築しました
- 走行を重ねた車輪を転削することで、沿線騒音が低減することを実証しました
- 多数の通過列車に対する統計解析から、環境基準の超過に影響しうる編成の特定が可能になりました
- 高架橋直下点騒音からも転動音の経時変化を把握することが可能です

モニタリング手法の機器構成

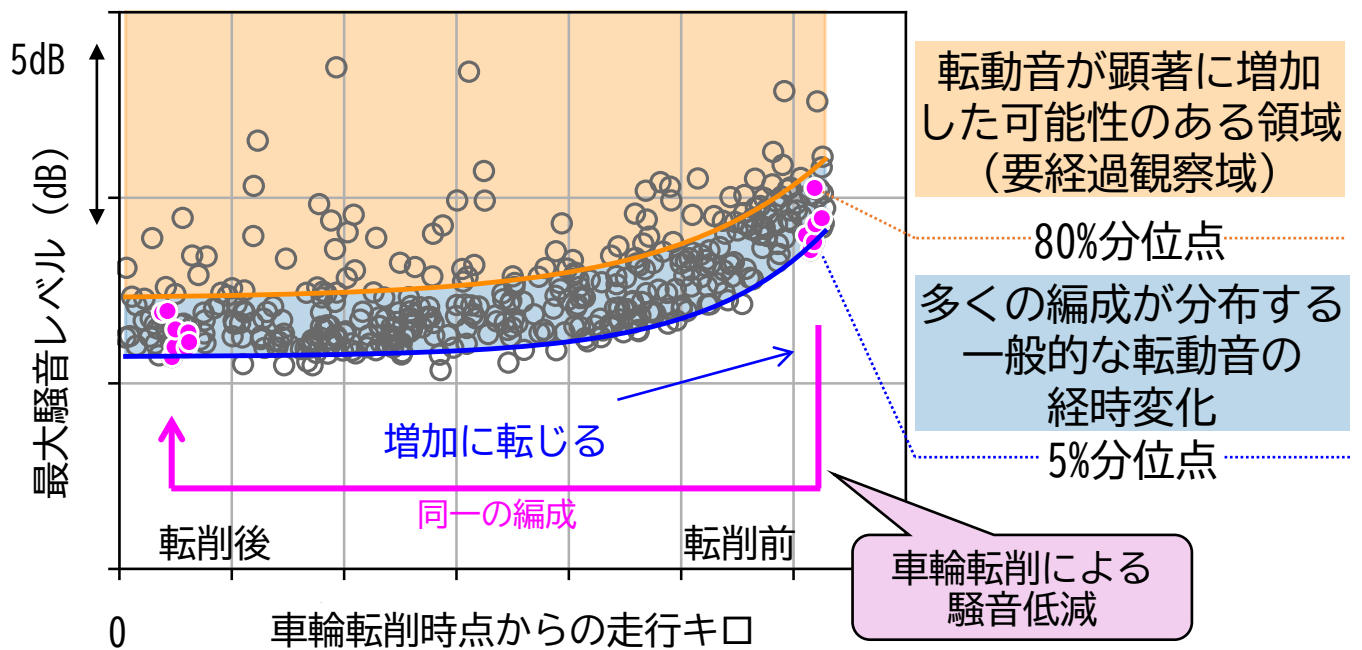


今後の展開

- 鉄道事業者における沿線騒音の実態や経時変化を定量的に把握することで、編成ごとの車輪転削時期の決定に役立てることができます

地上25m評価点における最大騒音レベルの経時変化

- 分位点回帰分析により、経時変化を経験式として表現できることを確認



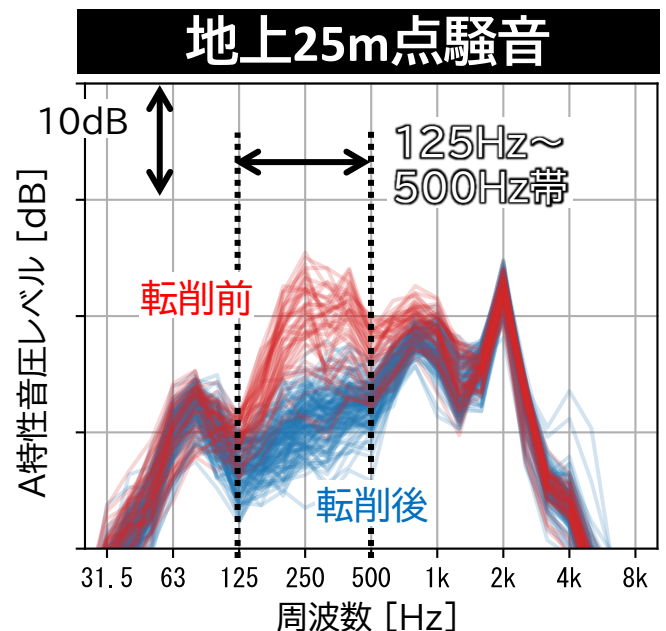
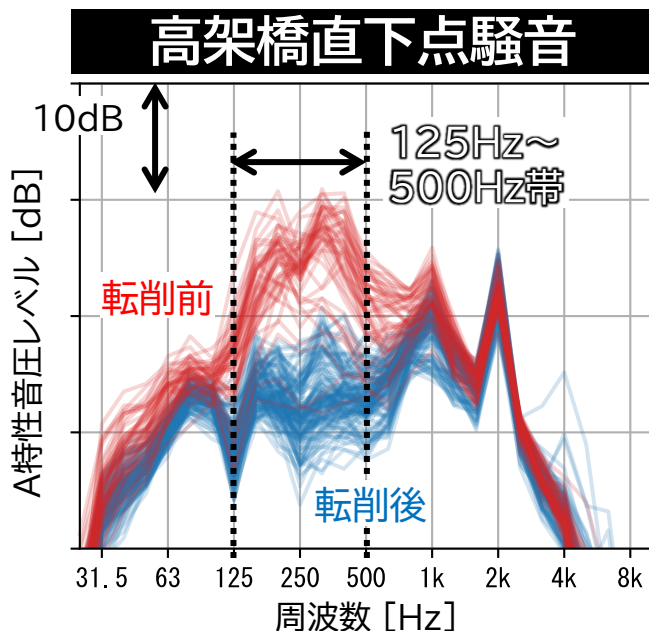
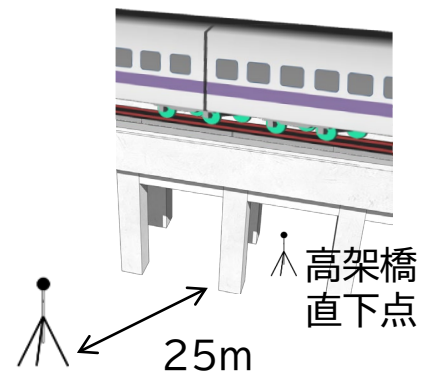
※測定期間: 1.5か月程度の測定

※分析対象: 約400通過列車(同一車両形式の約20編成)

※列車速度: 218~220km/h

隣接二台車を対象とした、車輪転削前後の周波数スペクトルの比較

- 上図でハイライトした編成に着目して分析
- 車輪転削前後のスペクトルの比較より、125Hz帯～500Hz帯の増加を確認
→ 転動音の経時変化
- 当該の周波数帯※を、編成別の車輪状態の評価指標の一つとして活用することが可能
※通過速度に依存
※車輪不整により増加する周波数帯と一致(既往の研究より)



D-2

列車事故時の乗務員傷害度を評価するためのニーインパクト試験

乗務員の大腿部傷害度を高精度で推定可能なニーインパクト試験を提案し、併せて、人体ダミーを用いたスレッド試験とニーインパクト試験を数値解析上で再現できる環境を整備しました。

研究の背景と目的

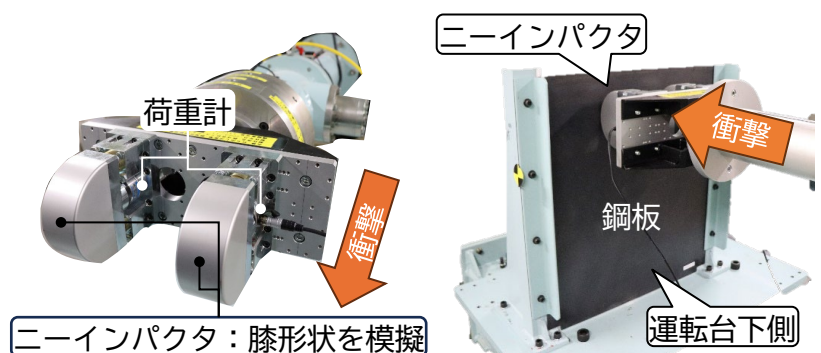
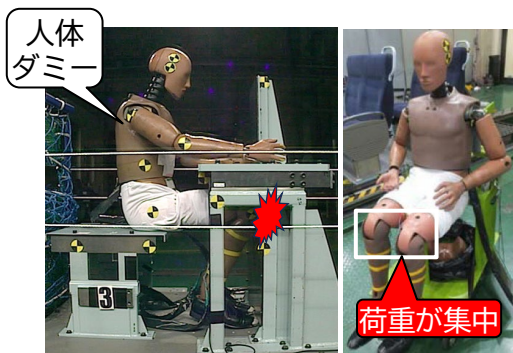
- 乗務員の傷害度の評価には、人体ダミーを用いたスレッド試験が使用されますが、実施可能な機関が少ない、実施コストが高額、といった課題がありました
- 傷害発生リスクが高い大腿部に着目して、傷害度を評価できる、新たな試験方法（ニーインパクト試験）の提案を目指しました
- スレッド試験とニーインパクト試験を、数値解析上で再現できる環境の整備を目指しました

研究成果

- 人体ダミーの膝形状を模擬したニーインパクトを独自に開発し、大腿部の傷害度を簡易かつ高精度に推定できるニーインパクト試験を提案しました
- スレッド試験とニーインパクト試験を数値解析上で高精度に再現できる運転台モデルを構築して、デジタル試験による現象解明が可能な環境を整備しました

人体ダミーを用いたスレッド試験

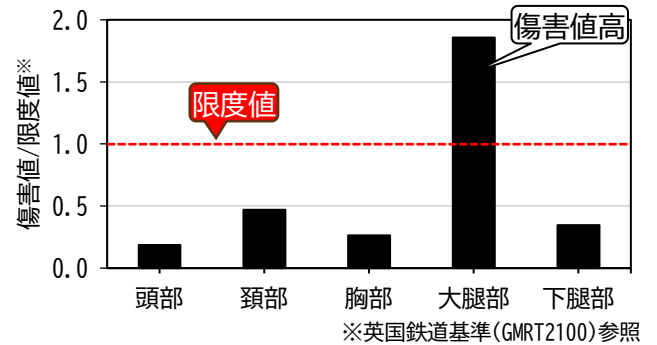
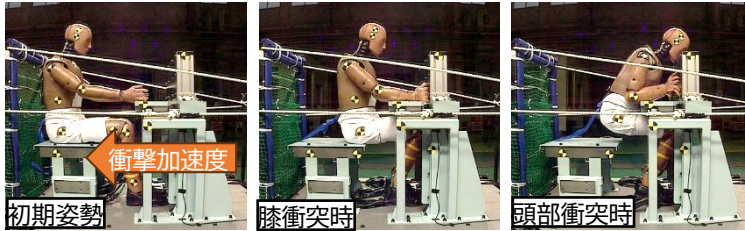
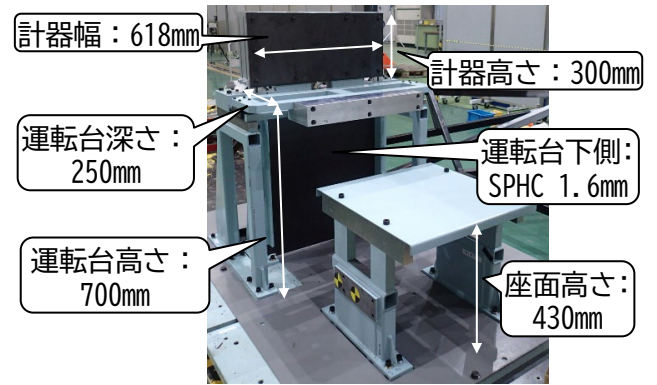
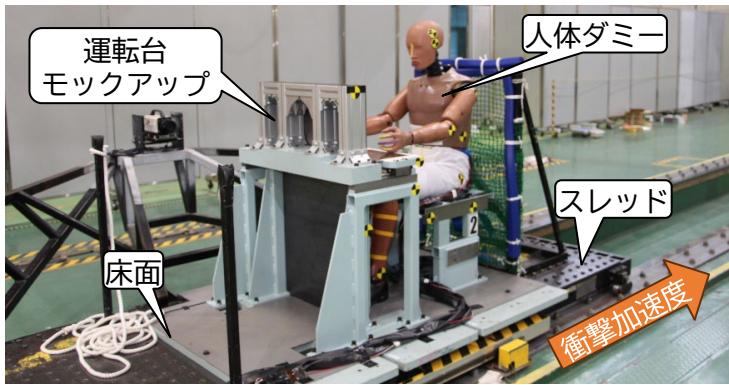
提案したニーインパクト試験



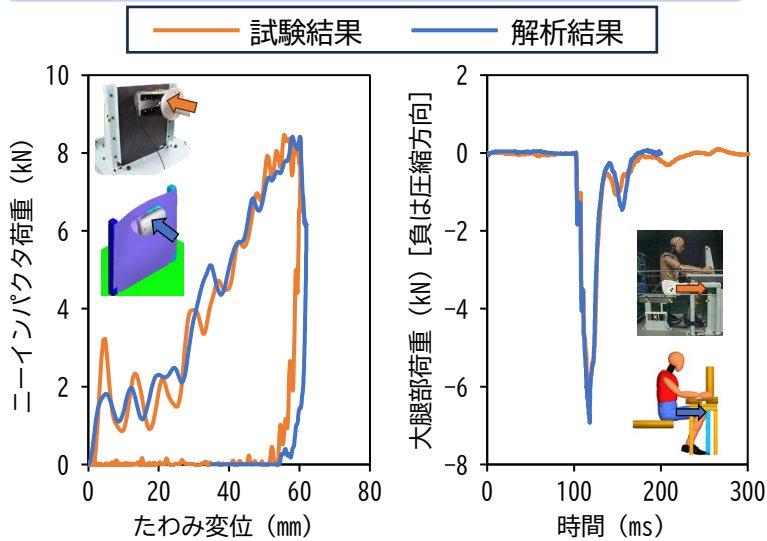
今後の展開

提案したニーインパクト試験やデジタル試験を活用することで、運転台仕様の策定に資する検討や、乗務員の被害軽減対策に向けた研究を推進します。

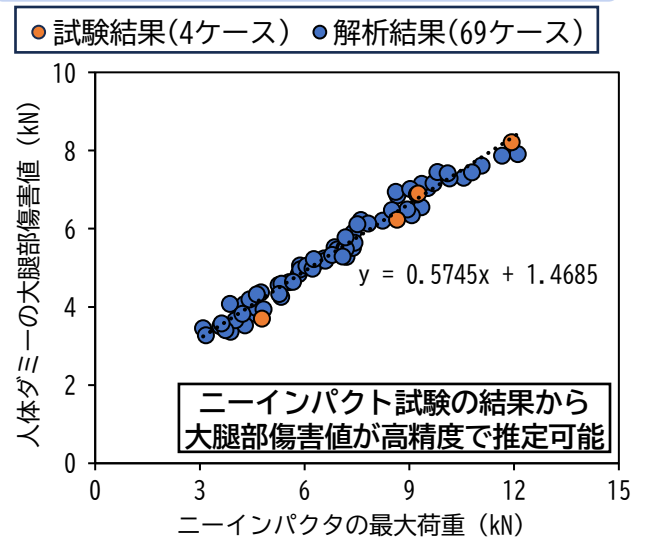
スレッド試験の概況と結果



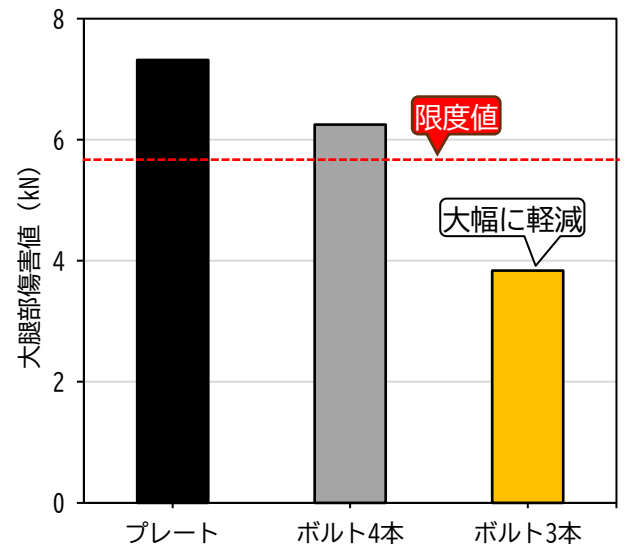
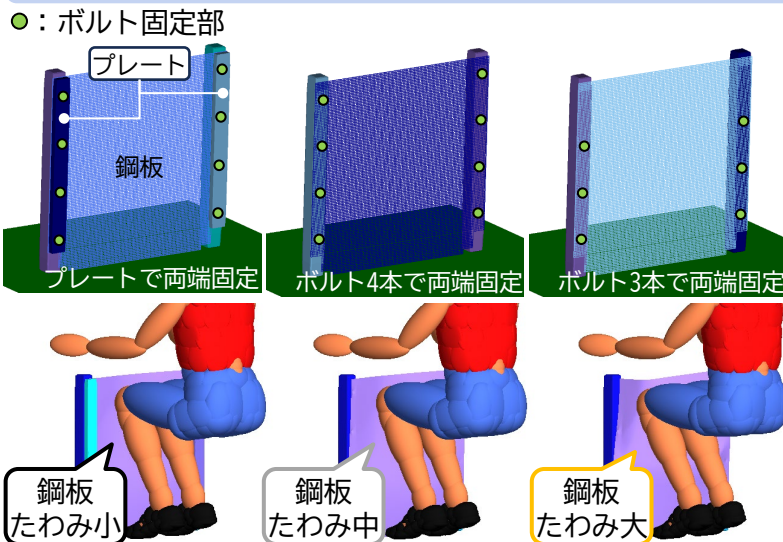
運転台モデルの精度検証



試験結果と解析結果の比較



デジタル試験による運転台下側の被害軽減対策の検討例



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。

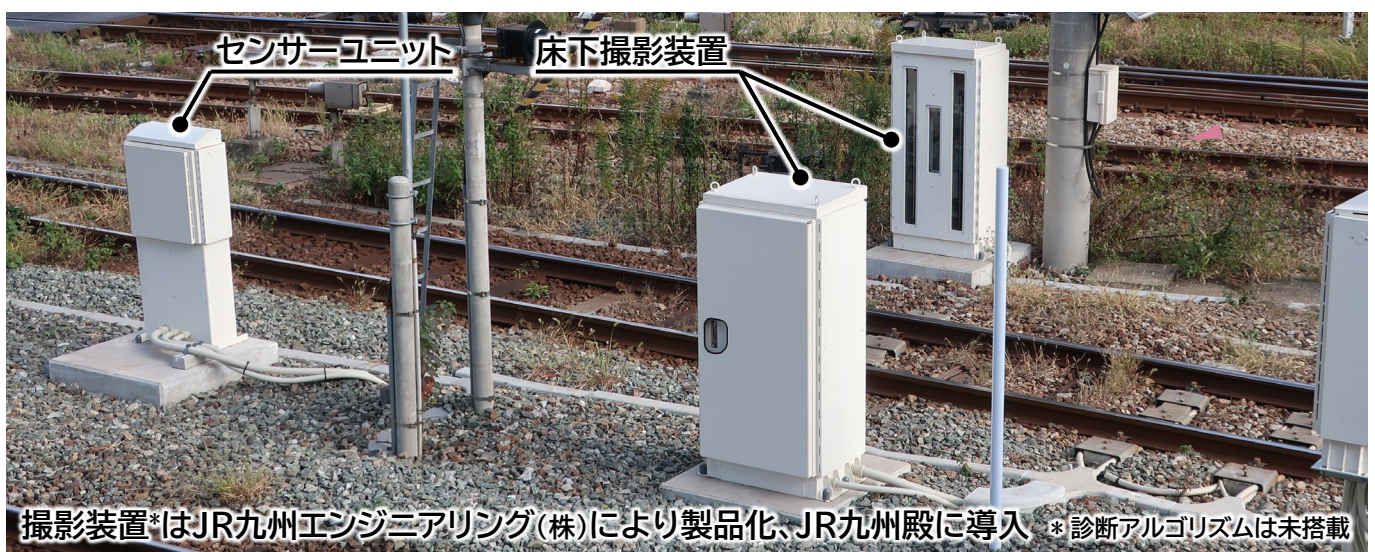
研究の背景と目的

- 列車検査（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、事前に想定できない異常の検知にも対応します。

車両基地に設置した撮影装置



今後の展開

- 屋根上診断アルゴリズムを開発中（屋根上撮影装置は製品化済み）

撮影装置の主な構成

ミリ波レーダーセンサー

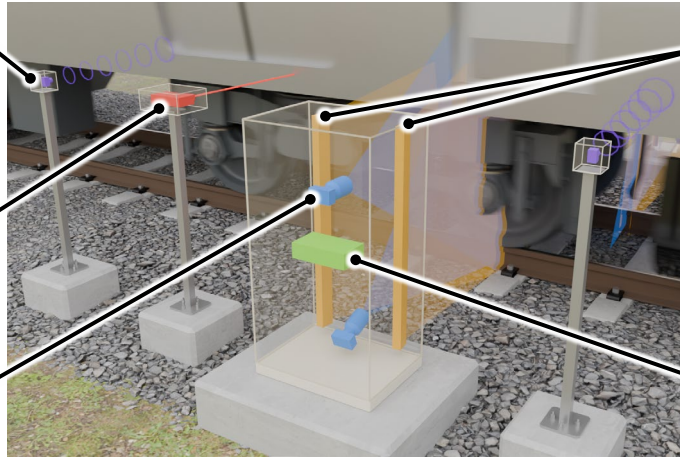
車両の接近・通過を検知します。
悪天候による誤作動が生じません。

レーザードップラー速度計

車両速度を連続計測しながら、
カメラのシャッターを制御します。

ラインカメラ

25km/hで走行する車両を
毎秒8000回以上で高速撮影します。



高輝度ライン照明

直射日光並みの照度で
撮影箇所を照らします。

制御PC

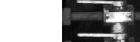
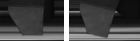
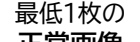
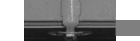
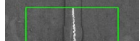
カメラから画像を取得し、
サーバーに保存します。

診断アルゴリズム

車体表記から車両番号を認識



1画素0.8mmの高精細連続画像



差分
モデル

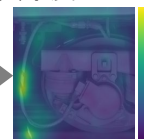
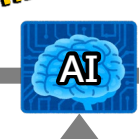
差分画像

✓ 正常
✗ 異常

正常状態からの変化を2つの手法で診断

検査箇所に応じて2種類の手法を使い分けて診断

異常度マップ



✓ 正常
✗ 異常

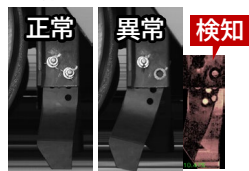
あらかじめ学習

多数の正常画像

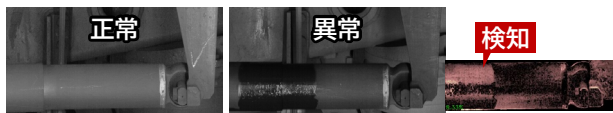
異常検知例

模擬異常に対して見逃し率0%・過検知率1%未満で診断できた例

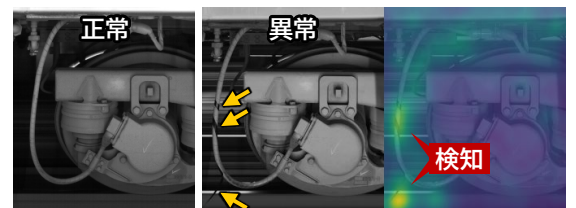
排障器曲がり



ダンパー油漏れ



リード線ほつれ



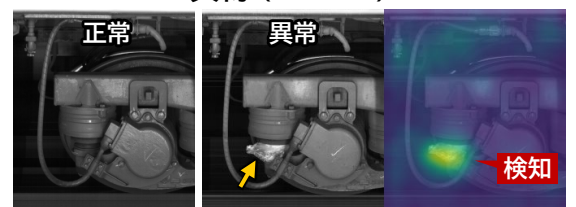
異物 (ハンマー)



ボルト落失



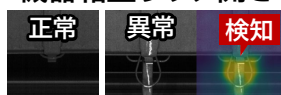
異物 (ビニール)



コック半開



機器箱蓋ラッチ開き



台車部品の塗装剥離時の レーザー照射条件選定と熱影響評価

探傷検査前の台車部品の塗装剥離作業へのレーザー技術導入を念頭に、照射条件選定のための材料試験を実施し、熱影響を評価しました。

研究の背景と目的

- 台車部品は定期検査で探傷検査が行われます。その前処理である検査箇所の塗装剥離作業の効率化・自動化のため、レーザー技術の導入が検討されています。
- 今後、様々な台車部品に対して本技術の適用を拡大していくにあたっては、照射に伴う熱影響の解明、照射条件選定に資する評価手法の確立が望まれます。

研究成果

- 試験片に過剰な入熱が加わる条件でレーザーを照射した場合に、外観観察ではテンパーカラーの発生、SEM観察ではマイクロクラックの発生といった熱影響が見られることを明らかにしました。
- レーザー照射に伴う台車部材への熱影響を評価する手法として、表面粗さ測定、SEM観察、金属組織観察、断面硬さ測定が有効であることを確認しました。
- レーザー照射時の走査速度、回転周波数などをパラメータとした照射試験と各種材料試験結果から、適切な照射条件を選定することで、熱影響がない塗装剥離作業が実現可能であることが示唆されました。

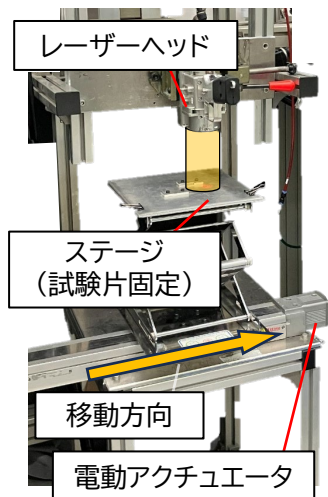
今後の展開

- 走査速度以外のパラメータ(試験片の表面状態、塗装の種類、照射パス数等)を変えた照射試験片に対する材料観察を進めることで、照射に伴う熱影響を網羅的に把握し、適切な照射条件の選定を目指します。
- 照射時の台車部品の温度分布を熱解析で再現し、試験片で選定した照射条件の台車部品に対する妥当性を検証します。
- 最終的には、選定した照射条件により実台車部品での塗装剥離性を確認したうえで、塗装剥離作業のための照射条件を決定します。

レーザー照射試験

照射試験片の金属組織観察結果(一例)

古河電工製『インフラレーザ』を使用
(出力700W、パス数1回)

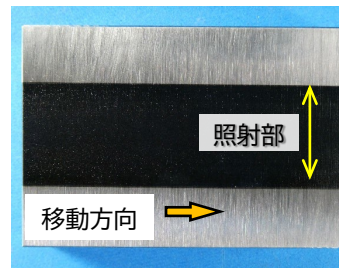


(照射パラメータ)

- ① 移動速度
2~40 mm/s
- ② 回転周波数
10~40 Hz
- ③ 塗装の有無
無塗装, 塗装あり

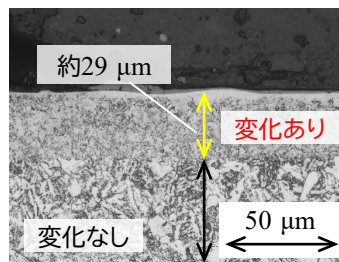
照射パラメータを変えた複数の
照射試験片に対して材料試験を実施

熱影響あり
(2mm/s, 10 Hz)

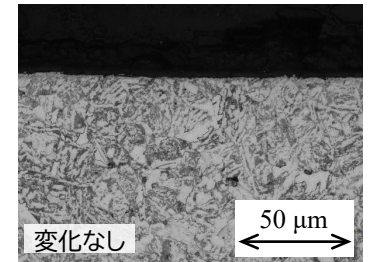
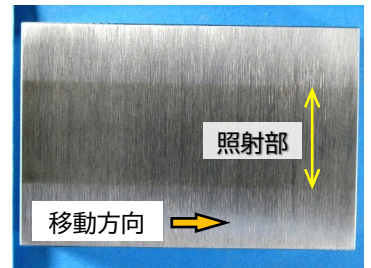


外観観察

金属組織観察



熱影響なし
(2mm/s, 40 Hz)



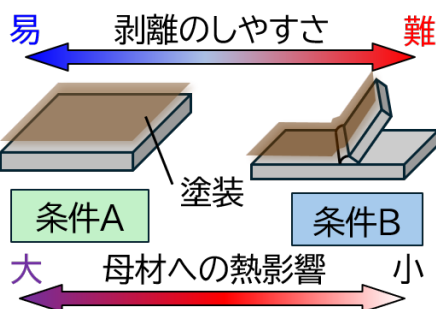
具体的な熱影響を各種材料試験で確認

レーザー技術導入のための熱影響評価手法と評価結果

	熱影響あり	熱影響なし
走査速度・周波数	2 mm/s、10 Hz	2 mm/s、40 Hz
外観観察 (テンパーカラー)	濃青～黒色	淡褐色
SEM観察	表面金属の溶融、 マイクロクラック	変化なし
表面粗さ測定	増加	変化なし
金属組織観察 (熱影響深さ)	表面のマルテンサイト化 (約29 μm)	変化なし
断面の硬さ※	変化あり	変化なし
残留オーステナイト	29%	なし

※ ナノインデンテーション試験により測定

今後の取り組みと課題



部位ごとの特徴を考慮した照射条件

熱影響・剥離性の網羅的な把握

(a) 熱影響の評価

パス	小←速度、周波数→大		
1回	×	○	○
5回	×	×	○
10回	×	×	○

(b) 剥離性の評価

パス	小←速度、周波数→大		
1回	×	A	×
5回	×	×	×
10回	×	×	B

様々な台車部品の塗装剥離作業に適用できるようレーザー照射条件を選定

台車枠の溶接に起因する 巨視的残留応力の推定手法

巨視的残留応力が台車枠の疲労強度に与える影響の評価に資するため、実台車枠側ばりの巨視的残留応力を把握するとともに、溶接に起因する巨視的残留応力の推定手法を構築しました。

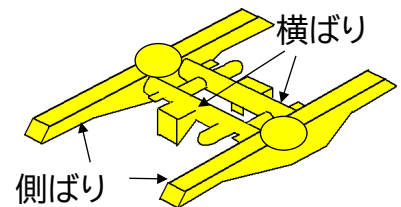
研究の背景と目的

- 台車枠は側ばりや横ばり、各種装置受等の複数の部材で構成されます。主にプレス加工による成形の後、溶接により組み立てられるため、一定程度の巨視的残留応力が存在している可能性があり、強度への影響も考えられます。しかし、台車枠の巨視的残留応力に関してこれまで公表された文献はなく、その程度も不明でした。
- 本研究は、実台車枠側ばりの巨視的残留応力を把握したうえで、シミュレーションによる側ばりの巨視的残留応力推定手法を確立することを目的に実施しました。

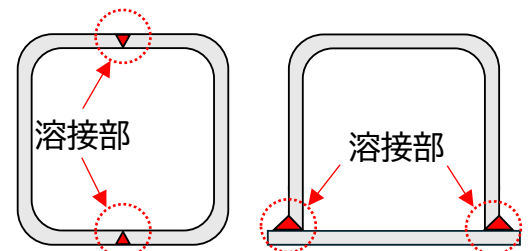
研究成果

- モナカ合わせ構造およびUハット構造の2種類の側ばりを対象に、切断法により残留応力を測定し、台車構造の差異による傾向を把握しました。両種ともに100MPaを超える引張側または圧縮側の残留応力が確認されました。また、Uハット構造よりもモナカ合わせ構造の方が圧縮残留応力が小さい傾向でした。
- モナカ合わせ構造の側ばりの溶接解析を行い、実台車枠での測定結果と比較しました。応力が概ね一致する箇所がある一方、乖離する箇所も見られ、加工時のひずみ取りなどが影響した可能性が考えられました。

台車枠と側ばり断面の模式図



台車枠の模式図



モナカ合わせ構造

Uハット構造

今後の展開

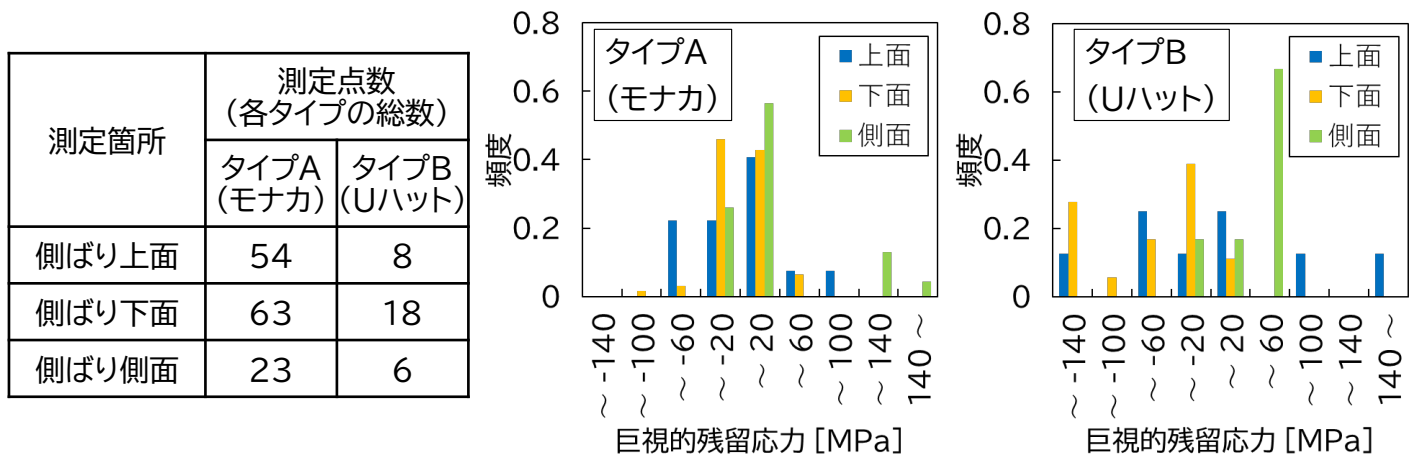
- プレス成形の影響が少ない部位に対して、溶接順序の変更に伴う巨視的残留応力の変化の予測など、台車枠設計時における製造条件の検討や改善に有用です。
- 溶接時の拘束条件等の実条件を踏まえた解析により、解析の精度向上を図ります。

切断法による台車枠側ばりの巨視的残留応力測定の様子

- 測定対象箇所にひずみゲージを貼付したうえで、その周囲を切断し小片状に加工した際のひずみ量の変化から残留応力を算出します。

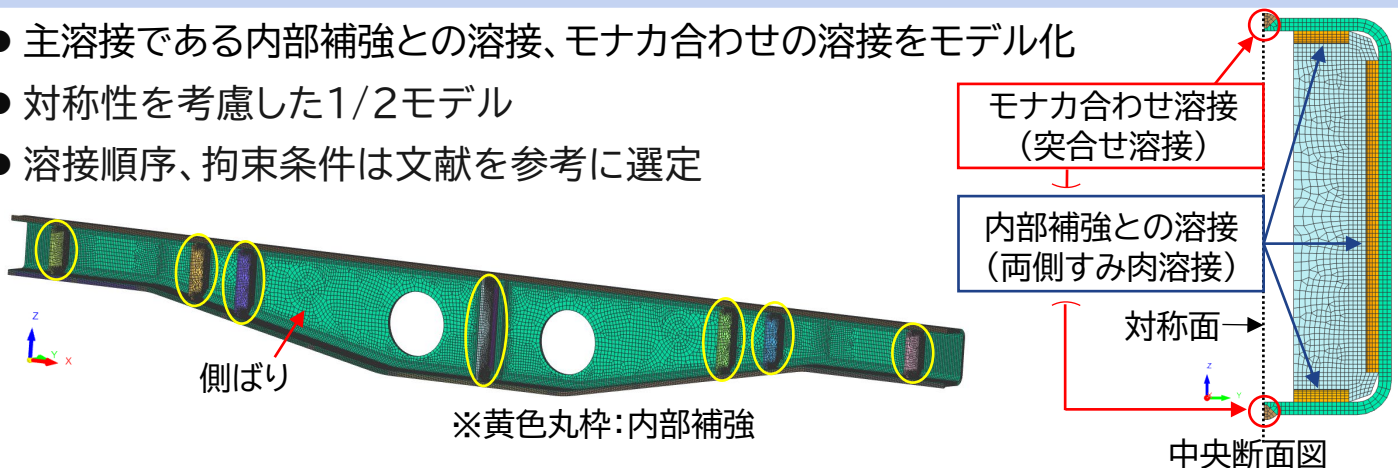


台車枠側ばりの巨視的残留応力の測定結果

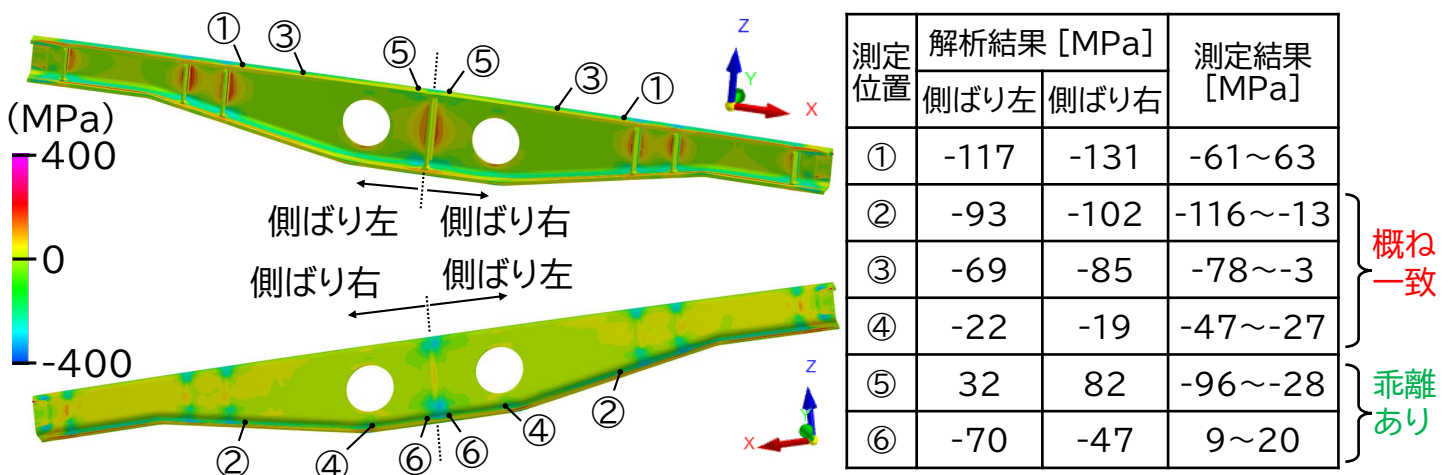


溶接解析における側ばり(モナカ合わせ構造)の解析モデル

- 主溶接である内部補強との溶接、モナカ合わせの溶接をモデル化
- 対称性を考慮した1/2モデル
- 溶接順序、拘束条件は文献を参考に選定



溶接解析の結果および測定結果との比較



D-6

大変位および異常時における 空気ばね挙動の解明

地震時を想定した大変位条件での空気ばね挙動を再現可能な解析モデルを提案しました。さらに既存の車両挙動解析プログラムに導入して、地震時の車両挙動評価を可能にしました。

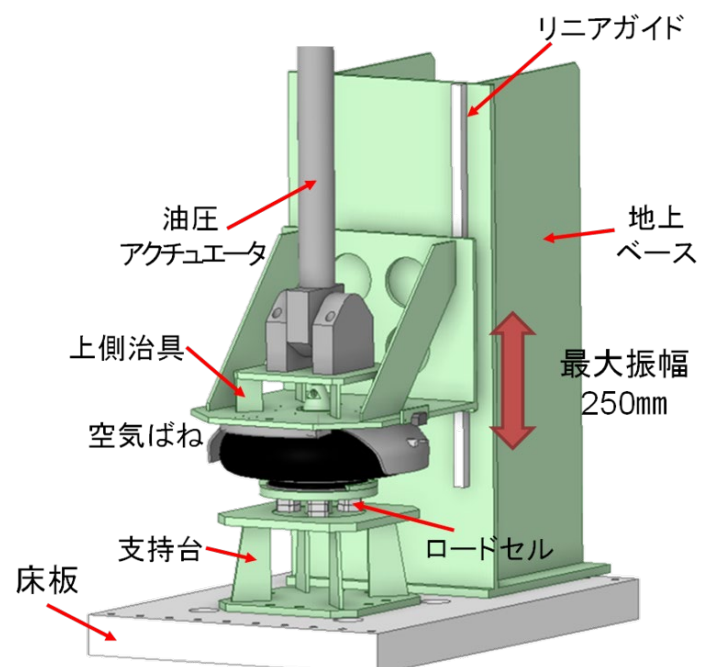
研究の背景と目的

- 空気ばねは、通常時は上下変位数十mmの範囲で使用されていますが、地震時は車両が大きく動揺するため、空気ばねが通常範囲を超えて伸長したり、内部の空気が漏出したりする可能性があります。
- 大変位条件での空気ばね特性や空気漏出のメカニズムは解明されていませんでした。
- これらの現象解明のため、大変位条件での空気ばね加振試験を行い、試験での空気ばね挙動を再現できる新しい解析モデルを提案しました。

研究成果

- 大変位に対応可能な構造物用の試験装置を用いて空気ばねの加振試験を実施し、従来モデルでは表現できない非線形特性を有していることがわかりました。
- 試験結果に基づき、大変位条件での空気ばねの挙動を再現できる新しいモデルを提案しました。
- 既存の車両挙動解析プログラムに提案空気ばねモデルを導入することで、実態に即した地震時車両挙動の評価が可能となりました。

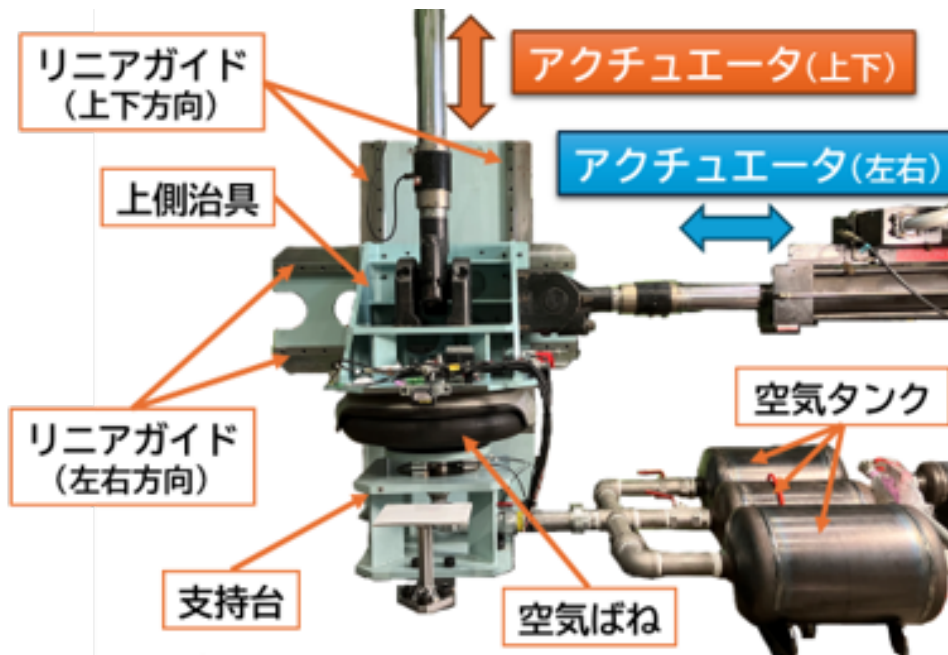
空気ばね加振試験(上下単軸)のイメージ



今後の展開

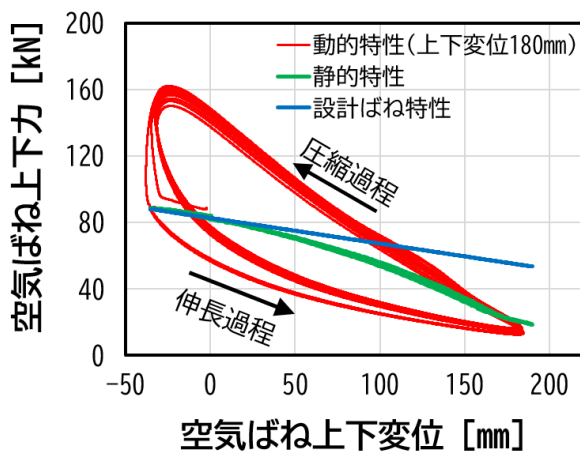
- 新しい車両挙動解析モデルは、地震時の走行安全性評価や地震対策部品の検討などに活用していく予定です。

空気ばね加振試験(2軸)の様子



- ・2本(上下, 左右)のアクチュエータで強制加振
- ・リニアガイドで案内
- ・加振条件
上下: -40~200mm超
左右: ± 60 mm
- ・空気タンクで補助空気室を模擬

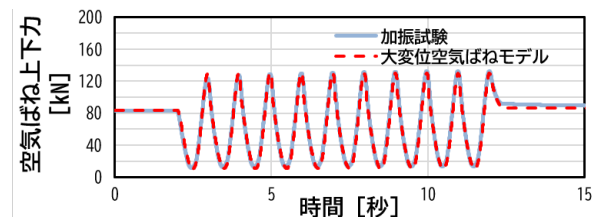
得られた空気ばね上下力特性



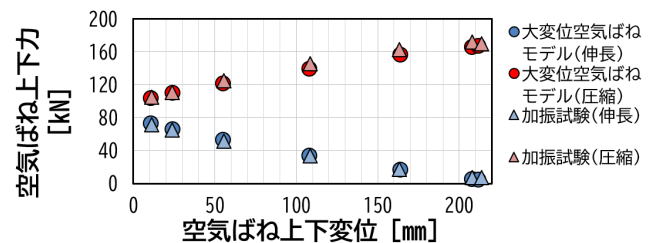
従来モデルで表現できない**非線形特性**

大変位空気ばねモデルと加振試験の比較

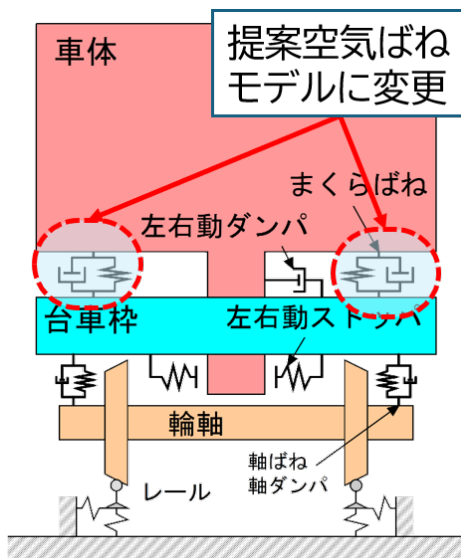
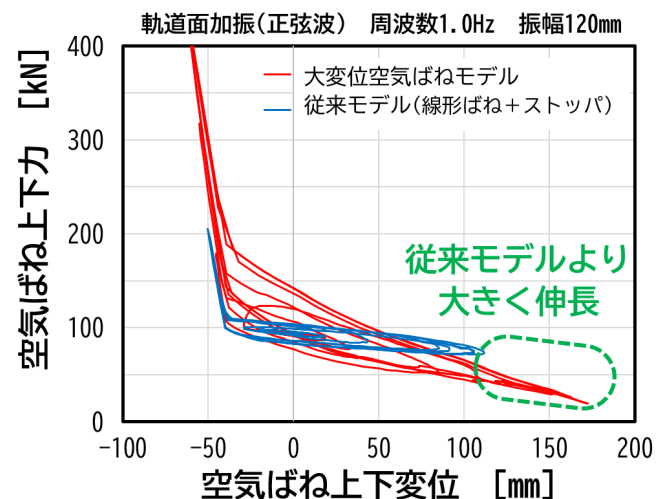
■ 時刻歴波形



■ 最大値、最小値の比較



車両挙動解析モデル

車両挙動シミュレーション結果
(空気ばねモデルの比較)

地震対策左右動ダンパ

車両側の地震対策として、現行品を置き換えることで地震時走行安全性が向上する台車部品である地震対策左右動ダンパを開発し、営業車両に搭載されることになりました。

研究の背景と目的

- 2004年新潟県中越地震による新幹線脱線事故を受け、地震時の走行安全性を向上する対策が求められるようになりました。
- 種々の車両パラメータを変更しながらシミュレーションにより、地震時の走行安全性を向上する車両側の対策について検討を進めた結果、左右動ダンパの効果が見込めることがわかりました。
- 現行の左右動ダンパを置き換えることで地震時走行安全性を向上する地震対策左右動ダンパについて、東日本旅客鉄道(株)の協力を得ながら開発を進めました。

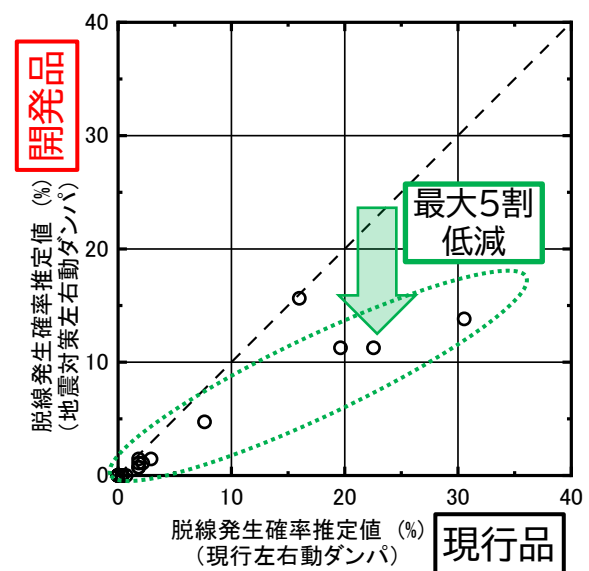
研究成果

- 地震対策左右動ダンパを用いることで地震時の脱線リスクを最大5割低減できることをシミュレーションにより確認しました。
- 通常走行時の走行性能には影響を及ぼさないことを走行試験により確認しました。
- 営業車両への搭載に向けた詳細設計は東日本旅客鉄道(株)で実施しました。

今後の展開

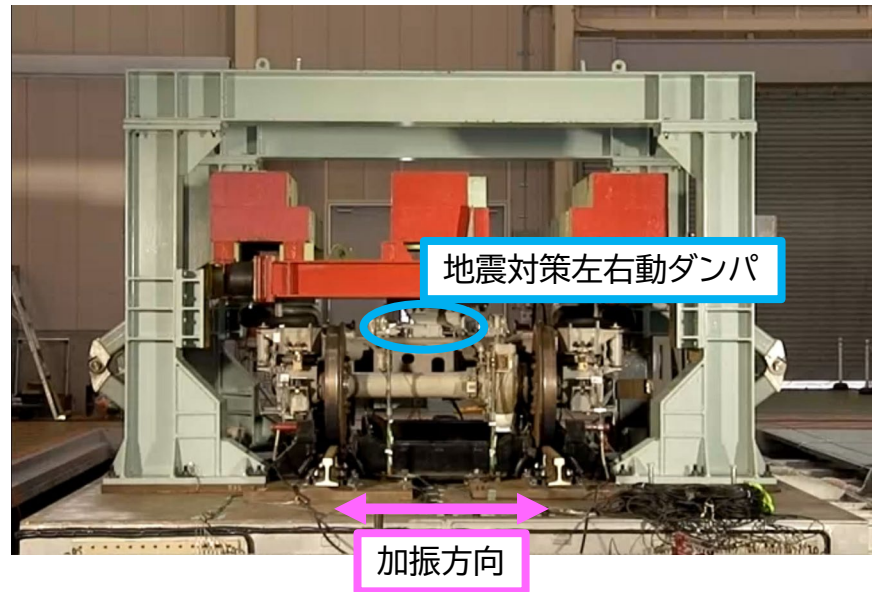
- 2027年度秋から順次東日本旅客鉄道(株)の新幹線車両E5系、E6系、E7系、E8系に搭載される予定です。
- 今後も事業者の要望に応じて車両側の地震対策として提案していきます。

地震対策左右動ダンパの効果

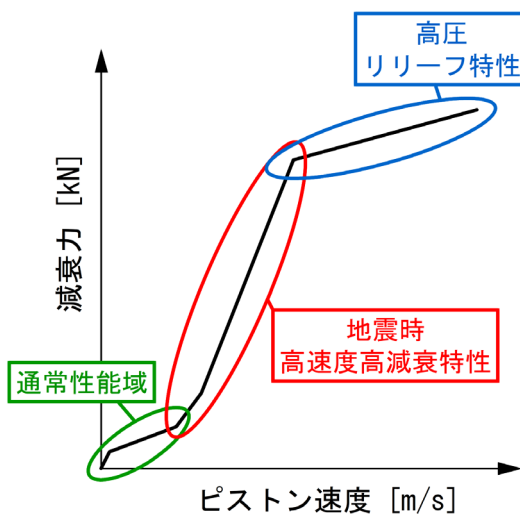


大型振動台での台車加振試験

地震対策ダンパの原理試作物および営業車搭載を見据えた最終的なプロトタイプについては、大型振動台での台車加振試験により実物を用いて効果を確認しました。



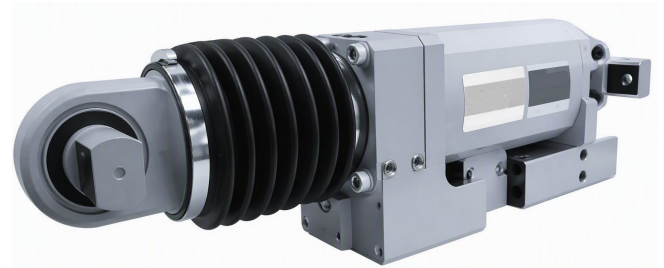
減衰力特性の概念図



高杉他、地震に強い台車の開発～高速試験車ALFA-X台車への地震対策ダンパ、クラッシュブルストツパの搭載～, J-RAIL2020, S6-1-1

営業車両搭載品

現行品と同様の制振制御に対応するよう、東日本旅客鉄道(株)により設計されています。



三苫他、地震対策品の試験車両への搭載と新手法を用いた安全性向上効果の評価, J-RAIL2022, S6-3-4
(生成AI (Copilot) を用いて高解像度化しています)

営業車両への搭載

営業車両搭載に際して

- 地震対策左右動ダンパの想定発生減衰力に基づいた台車枠や中心ピン等の強度確認
- 現行品からサイズが変わる場合、他部品との干渉検討が必要となります。



高速走行に対応した 次世代振子制御システム

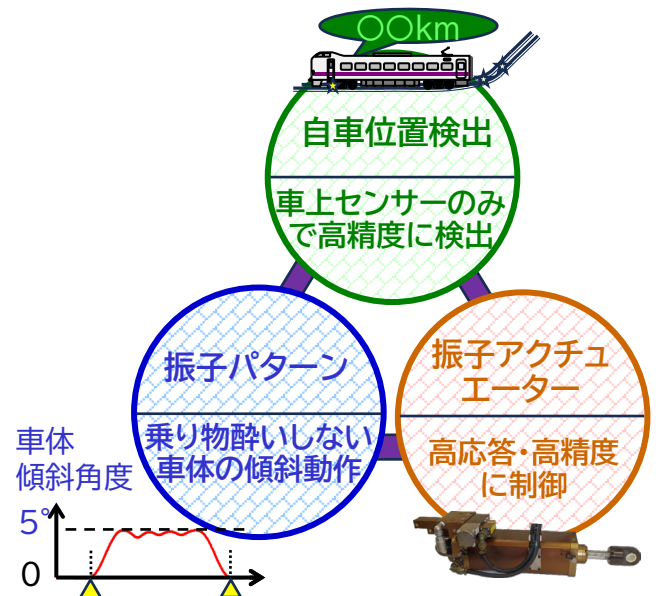
振子車両に特有の乗り物酔い解消を目指した「次世代振子システム」をより高速で走行する車両へ対応させました。

研究の背景と目的

- 2024年に実用化された本システムは、振子車両に特有の乗り物酔い解消を目指し、3つの要素技術を刷新して曲線の形状に合わせた正確な車体傾斜を実現するシステムです。

次世代振子制御システムの要素技術

- 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



- より高速で曲線を走行するニーズに応える必要がありました。

研究成果

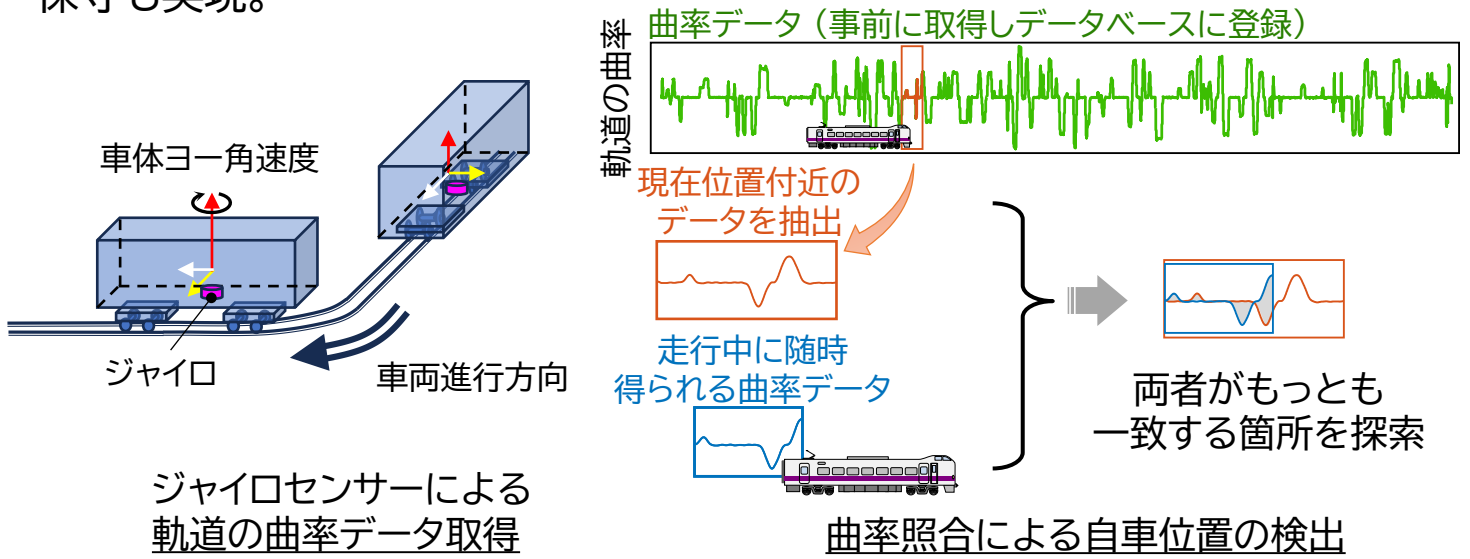
- 従来車両に搭載されていた振子ダンパーの機能を振子アクチュエータに統合するとともに、制御アルゴリズムの改良により、本システムを高速で走行する車両に対応させ、乗り物酔い指標の低減を実現しました。

今後の展開

- 幅広い速度域における振子車両の乗り心地向上を実現するとともに、新製車両および従来車両のシステム更新に活用いただけるよう展開を進めていきます。

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。



振子ダンパー機能



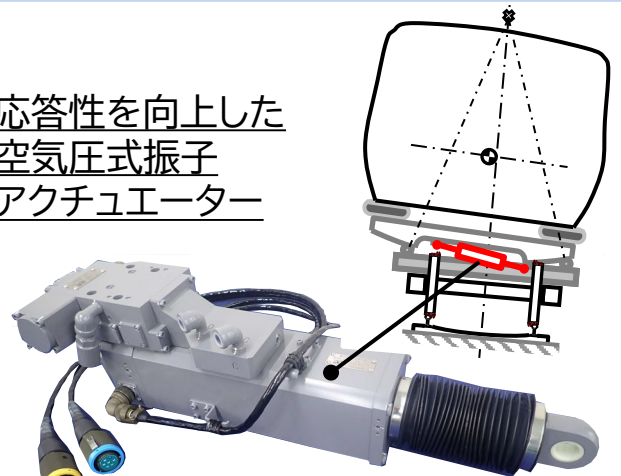
従来車両に搭載されていた振子ダンパー



振子アクチュエーターに機能統合
動作抵抗の低減、部品点数の削減

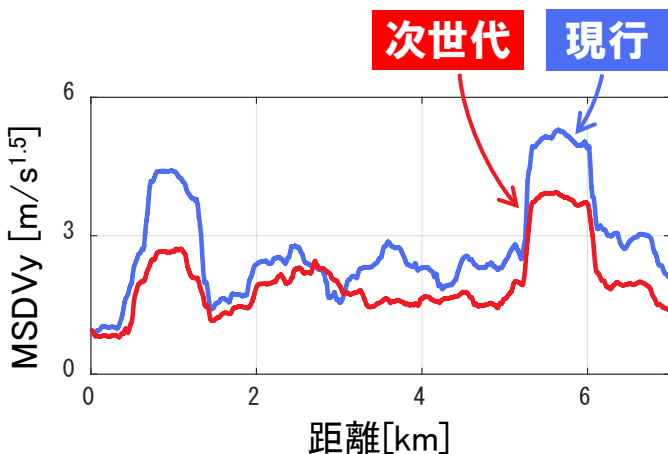
振子アクチュエーター

応答性を向上した
空気圧式振子
アクチュエーター



伸縮速度と加速度を考慮した
制御アルゴリズムを適用

乗り心地の改善例



乗り物酔い指標(MSDVy)を大きく低減

適用例



次世代振子制御システムが搭載
されたJR東海385系量産先行車

汎用機版連続PQ処理装置・ 簡易着脱式スリップリング装置

車両の走行安全性を確認する際に広く採用されている「新連続輪重横圧(PQ)測定法」の測定システムが抱える課題を解消するために、新システムを開発しました。

研究の背景と目的

- 輪重や横圧を連続的に測定するためには専用の演算処理装置が必要となります。現行装置は販売から30年程度が経過し、老朽化や陳腐化が進み、交換部品の手配も困難となっていることから、代替となる新しい装置が求められていました。
- 車輪で計測した信号を車上に伝達するためには、スリップリング装置が使用されます。この装置の取付を、限られたスペースと時間で行うには熟練が必要であり、今後作業要員の減少が見込まれる中での作業品質の維持が課題でした。
- 上で述べたようなそれぞれの装置の課題を解決し、新連続PQ測定法の持続可能性を高めるために、更新・改良版の装置を開発しました。

研究成果

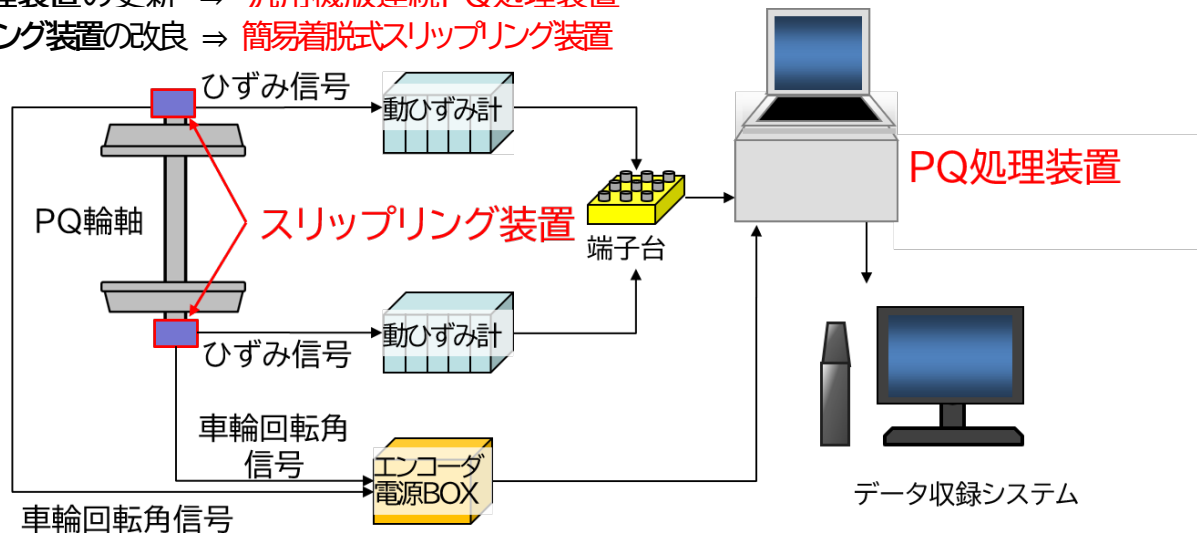
- 新型の演算処理装置である「汎用機版連続PQ処理装置」を開発しました。
 - ・従来機のような専用機器による構成とせず、汎用計測器を用いた構成とすることで、常に最新ハードウェアへの更新が可能となりました。
 - ・測定周期や通信速度の改善を図りました。
 - ・ソフトウェアに対して柔軟な機能改修・追加が可能となりました。
- 現場作業が簡便・時短となる「簡易着脱式スリップリング装置」を開発しました。
 - ・従来は現場でのはんだ付け作業等の複雑な作業が必要だった所を、端子台構造を採用することで、現場で行う作業をピン・ソケットの嵌合のみとしました。
 - ・現場作業時間が従来は2人で6時間程度であったのに対し、1人で1.5時間程度と大幅に短縮されました。また、本体部の着脱が容易となり、試験条件変更の対応迅速化につながりました。

今後の展開

- 汎用機版連続PQ処理装置は今年度中を目標に販売開始、簡易着脱式スリップリング装置はすでに使用可能です。鉄道総研はコンサルティングや技術支援でサポートします。

新連続PQ測定法の測定システムの概要と本開発品の位置づけ

PQ処理装置の更新 ⇒ 汎用機版連続PQ処理装置
 スリッピング装置の改良 ⇒ 簡易着脱式スリッピング装置



連続PQ処理装置の変遷

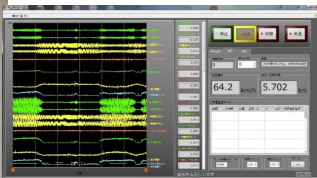
● 従来機種(専用機として開発)



汎用機版連続PQ処理装置の主要諸元

項目	汎用機版連続PQ処理装置	現行処理装置
制御PC	汎用品	専用基板
演算装置	汎用品	専用基板
チャンネル数	16ch	12ch
入力電圧範囲	±10V	±1V
分解能	16ビット	12ビット
サンプリング	最高20kHz	2kHz
チャンネル数	16ch	16ch
出力電圧範囲	±10V	±5V
分解能	16ビット	14ビット
PC接続方法	LAN(有線)	RS232C
寸法(W×H×D mm)	257×190×215	350×230×370

● 開発品(汎用機版連続PQ処理装置)

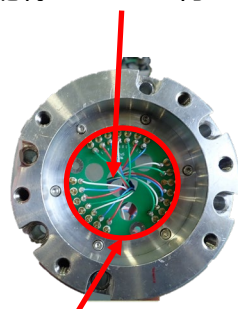


本体の外観

ホストPC上での測定波形表示例

簡易着脱式スリッピング装置の構造と施工イメージ

ソケットと導通する配線 (スリッピング各極に接続) ピンと導通する配線 (裏面でPQ軸からの配線とはんだ付け)



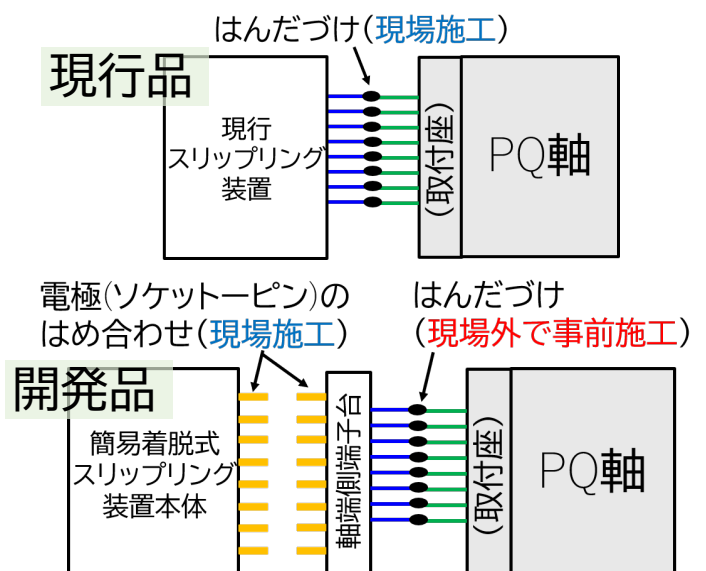
端子台部(ソケット付)

端子台部(ピン付)

本体部

軸端側端子台

施工イメージ



数値解析で迫る 車輪フラット生成メカニズムの解明

車輪フラットの大きさを20%未満の小さな誤差で定量的に評価できる数値解析手法(車輪フラット推定手法)を開発し、長年の課題とされてきた車輪フラットの生成メカニズムを解明しました。

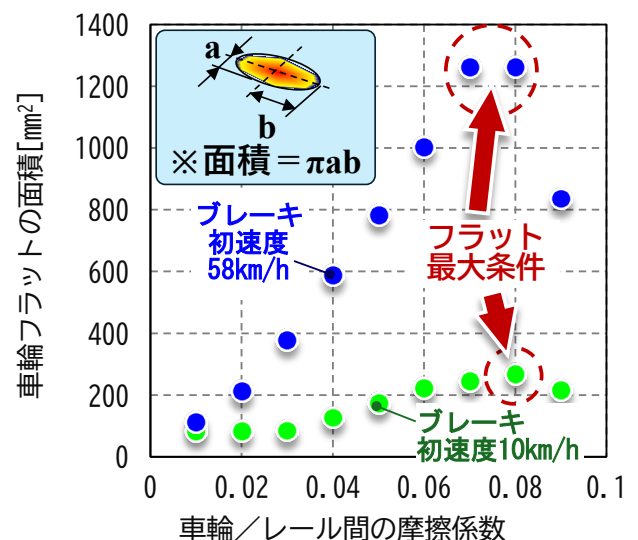
研究の背景と目的

- ブレーキ時に車輪が固着すると車輪踏面に傷が生じ、走行時の騒音や車両・軌道部品の損傷原因となりますが、特に、その成長メカニズムは明確ではありませんでした。
- 車輪フラット生成時の車輪／レール間の現象は計測困難なもののため、基礎実験に基づく数値解析手法の開発により課題解決を図ることとしました。

研究成果

- 車両運動解析と車輪／レール間の摩擦熱解析を連成した実用的手法を開発し、営業車両の実測条件を計算機上で再現することで、その有効性と妥当性を実証しました。
- 車輪が滑走して固着に至るときに摩擦エネルギーが一箇所の接触面に集中的に入熱することで、車輪フラットが瞬間的に生成することを明らかにしました。
- 鉄道現場で確認されている車輪踏面の円周方向や左右方向に成長する車輪フラットの形状を計算機上で再現できることを確認しました。
- ブレーキ初速度が同一でも、車輪／レール間の摩擦係数に応じて、フラットの大きさに極大値が表れることを示しました。

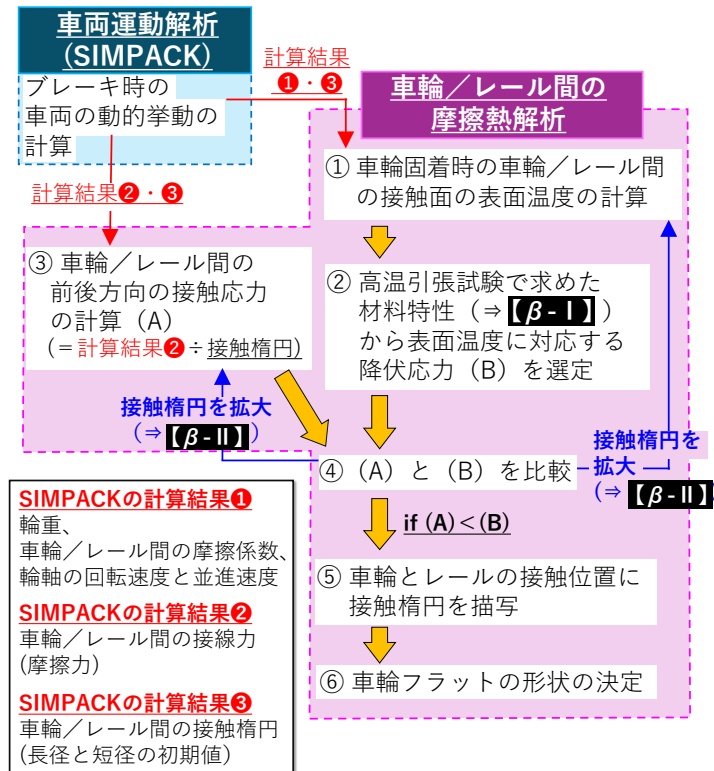
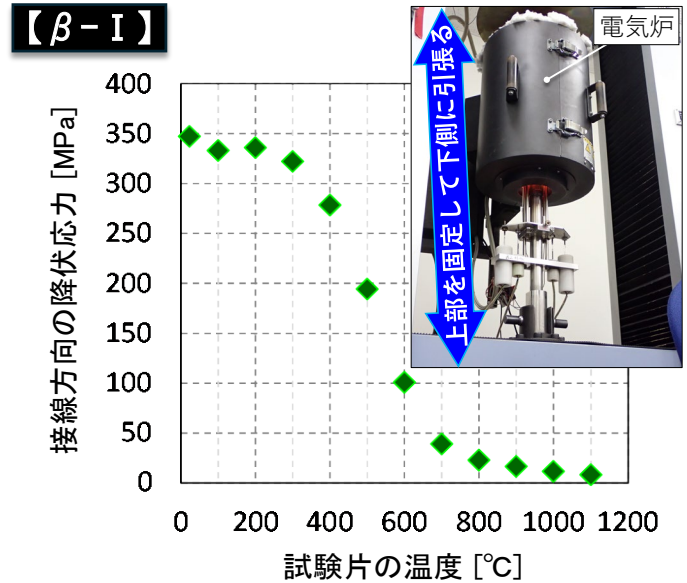
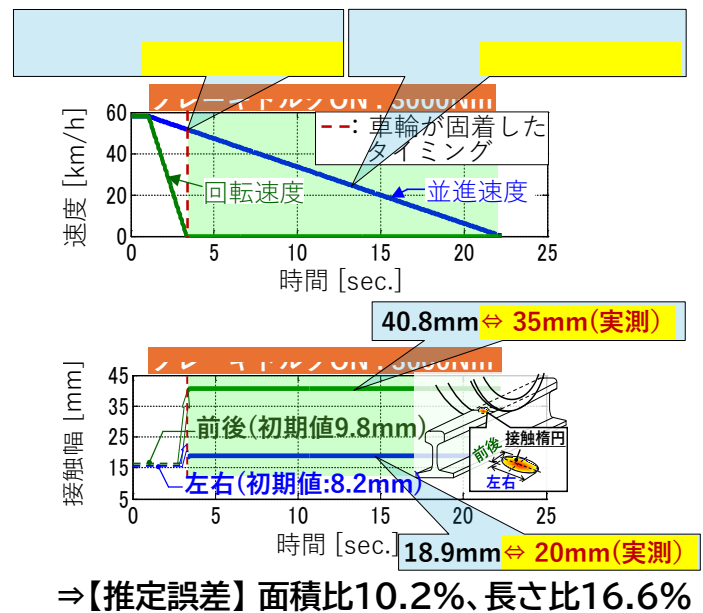
車輪／レール間の摩擦係数が
車輪フラットの生成に及ぼす影響



今後の展開

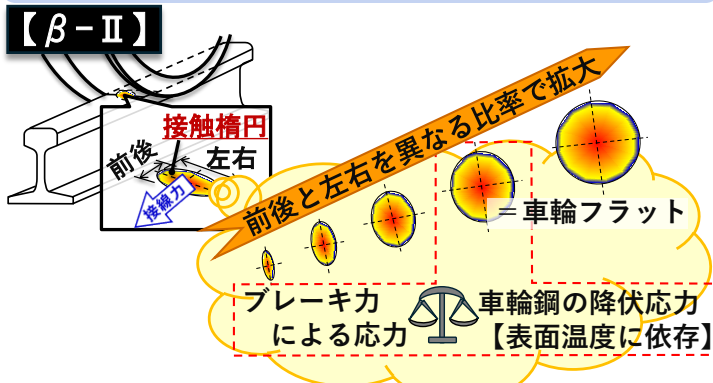
- 本解析手法を用いて車輪フラット生成メカニズムの深度化を図ります。
- 車輪／レール間の摩擦係数を推定する技術との融合により、ブレーキ制御の高度化を図り、制動性能を維持しつつ車輪フラットの生成を抑制する技術開発を目指します。

車輪フラット推定手法の計算の流れ

車輪／レール間の摩擦熱解析
～高温引張試験による車輪鋼の降伏応力の計測～車輪フラット推定手法による再現結果
～現車計測値との比較による妥当性の検証～

車輪／レール間の摩擦熱解析

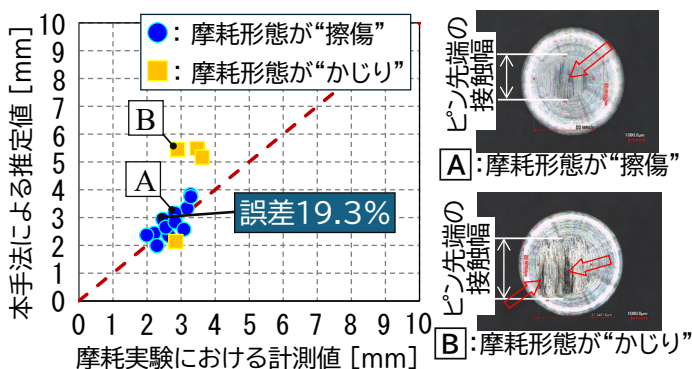
～車輪／レール間の接触楕円の拡大則の開発～



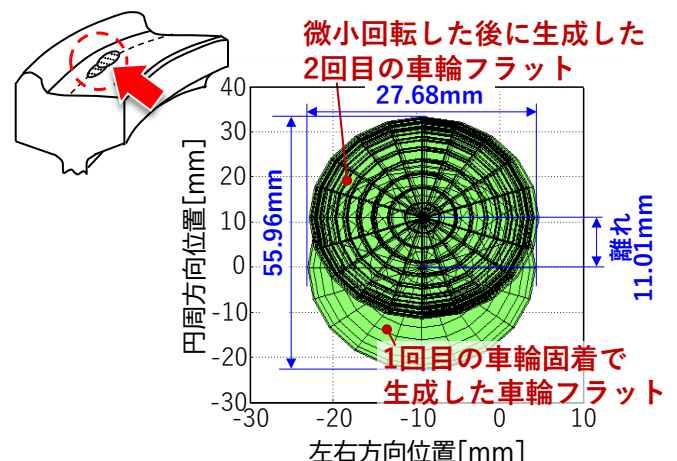
拡大則に基づき、車輪／レール間の接触楕円を逐次拡大しながら、2つの応力の均衡条件を解く⇒ 最終形状を『車輪フラットの形状』

本解析モデルの妥当性検証実験

～ピンオンディスク摩耗試験機による室内実験～



⇒ 室内実験でも、ピン先端の摩耗形状を最大19.3%の誤差で推定できることを確認

前後方向に成長する車輪フラットの
計算機上での再現計算

車輪の安全性判定 および寿命管理手法

車両が在姿のままで異常加熱時の車輪安全性を判定する手法を開発しました。また、車輪のフランジ摩耗を抑制する新しい車輪踏面摩擦材(踏面調整子)を開発しました。

研究の背景と目的

- 車輪の異常加熱は安全性に、またフランジ部の摩耗は車輪の寿命に大きく影響します。
- 踏面制輪子の不緩解等で車輪が異常加熱されると、引張残留応力が生じ、車輪の安全性に影響するおそれがありますが、その場で状態を把握することが困難でした。
- フランジ摩耗は車輪削正量を増加させるため、フランジ／レール間を塗油により潤滑することが一般的ですが、滑走等の懸念から適用できない車両や線区があります。

研究成果

- 車輪の異常加熱による引張残留応力判定手法として、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、車輪の安全性判定に特化した適用方法を開発しました。
- 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で、同手法による応力状態の把握が可能でした。
- 塗油などによらずフランジ摩耗を抑制し車輪の寿命を延伸する手法として、踏面研磨子のフランジ側側面に固体潤滑材を一体成型した踏面調整子を開発しました。
- 従来の踏面研磨子と互換性があり、交換周期や取扱方法は同じです。
- 長期の現車試験にてフランジ摩耗低減効果が認められ、現在九州旅客鉄道株式会社の在来線特急車両にて実用化が進んでいます。

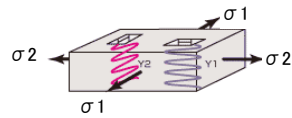
今後の展開

- 車輪の安全性判定手法は、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し早期復旧に貢献します。
- 塗油によらない車輪フランジ摩耗抑制手法として踏面調整子を適用することで、削正周期や車輪寿命の延伸等に寄与します。

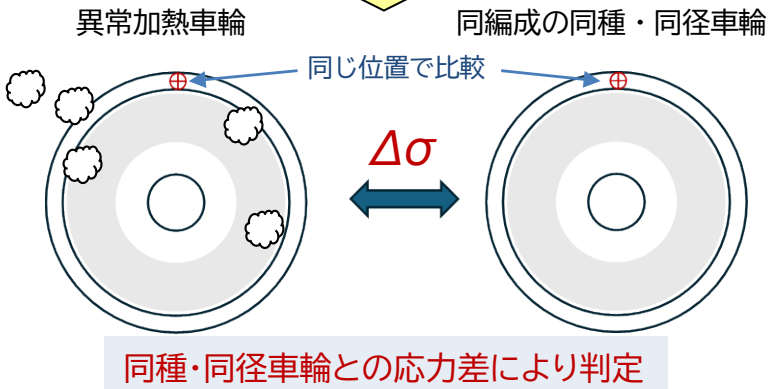
超音波応力測定の手輪状態判定への適用法

超音波応力測定

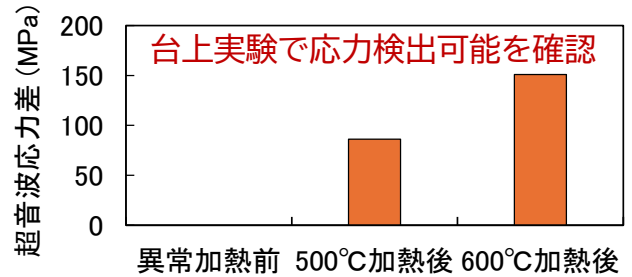
- 材料の異方性が影響



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



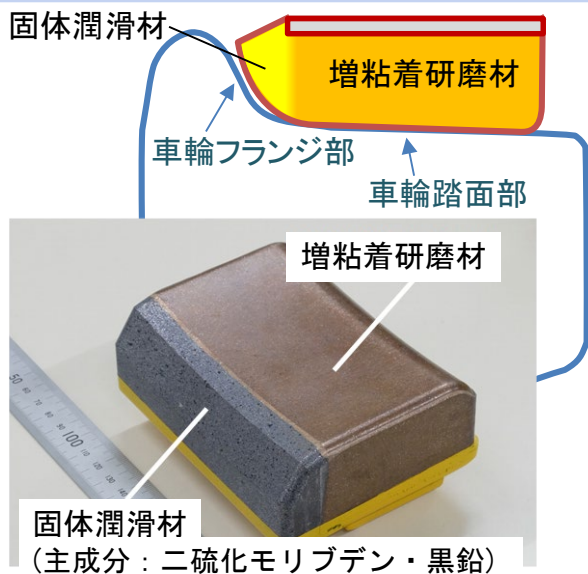
- 現場での活用法



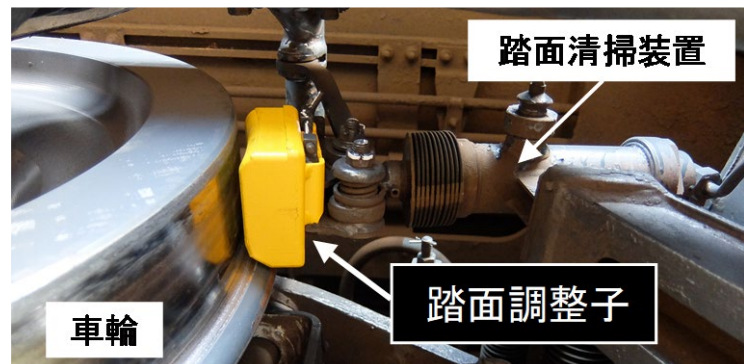
車輪異常加熱時、在姿のまま、迅速な車輪安全性の判定が可能

※本研究の一部にはチャルマース工科大学との共同研究の成果が含まれます

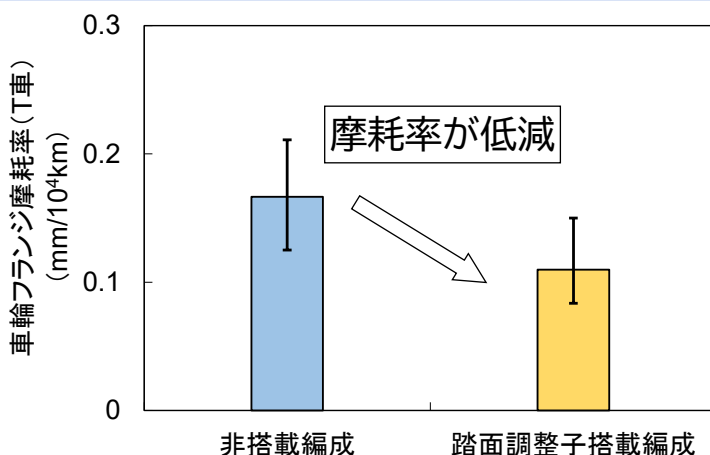
踏面調整子の構成



踏面清掃装置動作＋輪軸が台車枠に対し左右動することで潤滑材がフランジ部に接触



踏面調整子の適用によるフランジ摩耗率の低減



※搭載後の走行距離約19万km時点

摩耗率の低減で、削正周期の延伸や、削正量の削減による車輪寿命の延伸が見込めます。

※踏面調整子は上田ブレーキ株式会社にて製造・販売を行っています

車軸軸受で発生する フレッチング摩耗の抑制手法

大きな設計変更や追加部品を必要としない摩耗抑制手法を開発し、現車試験で走行キロ約55万kmまでの有効性を、台上回転試験で120万km走行相当までの長期耐久性を確認しました。

研究の背景と目的

- 車軸軸受の内輪と後ぶた間のフレッチング摩耗は、軸受の車軸への圧入に伴う後ぶたの変形により、接触面圧が局所的に高くなる領域で生じます。
- フレッチング摩耗粉は潤滑剤を劣化させ、鉄道車両の検査周期延伸のボトルネックになります。
- ボトルネックを解消するため、大きな設計変更を必要とせず、かつ部品点数を増やさない新たな抑制手法を開発しました。

研究成果

- 現用の後ぶたに円周方向の溝を追加することで、局所的な接触面圧の上昇を抑制し、フレッチング摩耗を低減する手法を考案しました。（特許第6552110号）
- 本手法を適用した**後ぶた（開発品）**を用いて接触面圧を実測したところ、**最大接触面圧**は現用品よりも**約50%低減**しました。
- 台上回転試験による**120万km走行相当の耐久性評価**においても、グリース中の鉄分が現用品（48万km走行相当）よりも**約65%低減**することを確認しました。

開発したフレッチング摩耗対策品

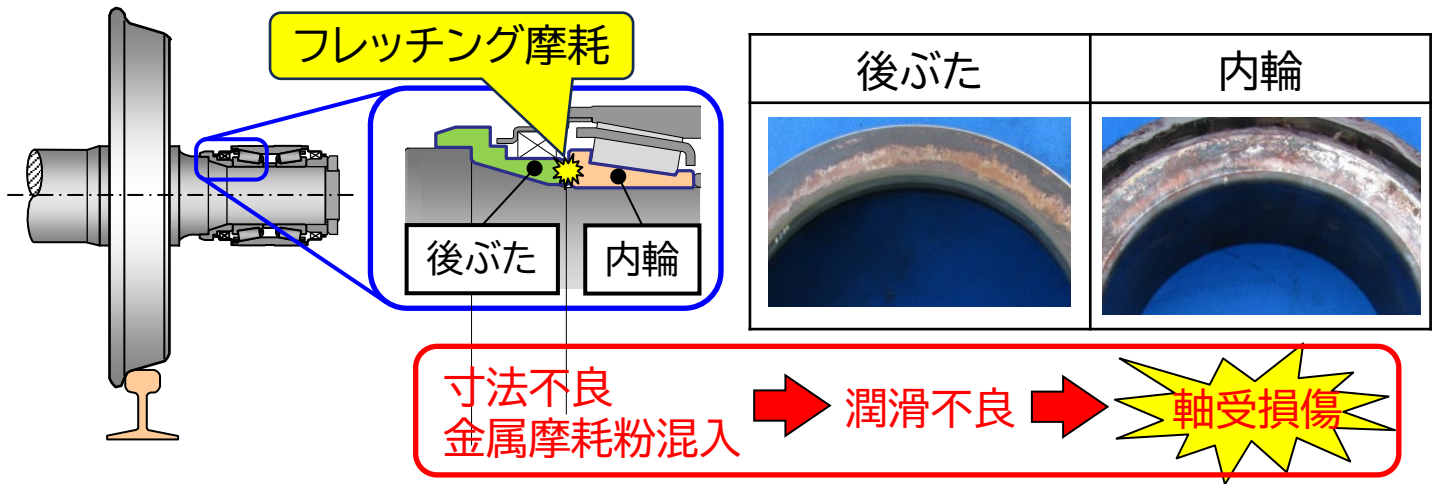


今後の展開

- 本手法は鉄道車両のさらなる検査周期延伸を可能とし、メンテナンス作業の省人化に寄与することが期待されます。

本研究の一部は、日本精工株式会社および株式会社ジェイテクトとの共同研究で実施しました。

車軸軸受のフレッチング摩耗

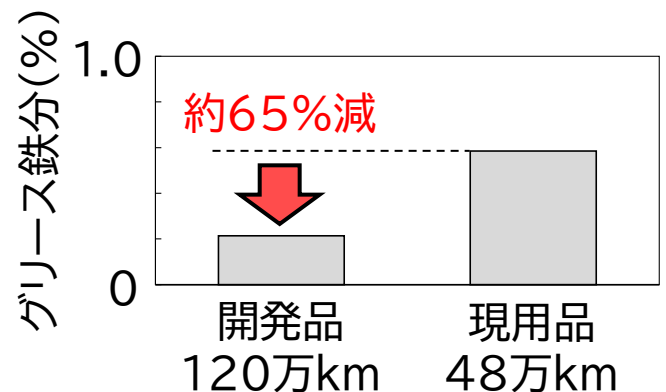


開発したフレッチング摩耗対策品の接触面圧分布

	外観	溝の位置	接触面圧分布
現用品			
溝1本			
溝2本			

台上試験による長期耐久性評価

台上回転試験による120万km走行相当の耐久性評価においても、グリース中の鉄分が現用品(48万km走行相当)よりも約65%低減することを確認しました。



車両床下機器箱の 結露発生要因分析と抑制対策効果

車両床下機器箱内の結露発生メカニズムを明らかにしました。厳冬期における現車検証試験の結果、4項目の気密対策によって、未対策の機器箱に対して結露発生時間を98%抑制できました。

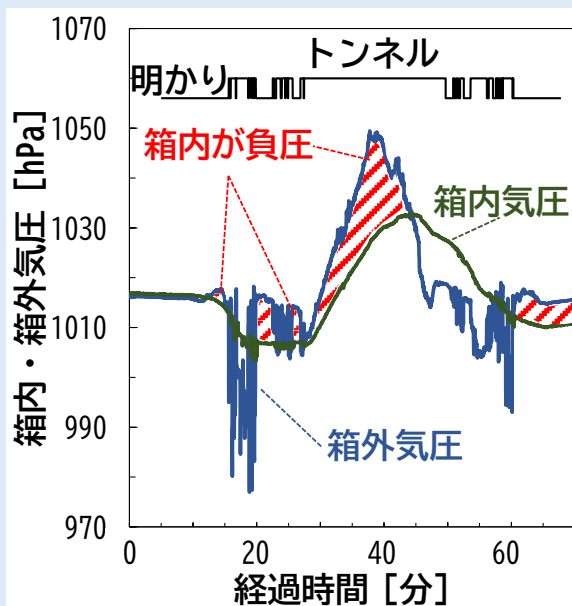
研究の背景と目的

- 冬季間に、一部の車両床下機器箱内で発生する結露現象の解明を目指します。
- 結露の発生に起因した車両故障を防ぎ安定輸送を確保するために、具体的な結露対策を検討しました。

研究成果

- 結露発生に至る要因は、機器箱の気密性能不足であることがわかりました。
- 現車測定の結果、走行線区の特状により機器箱外と箱内に圧力差が生じ、箱内が負圧となる時間が継続し、多くの水蒸気を含む空気が流入することを確認しました。
- 厳冬期の現車試験の結果、結露発生歴がある機器箱に4項目の気密対策を施すことにより、同一編成内未対策の箱に対し、箱内平均湿度18.5%pt低下、結露発生時間98.7%減と大幅な改善を達成しました。

機器箱内外の気圧変化



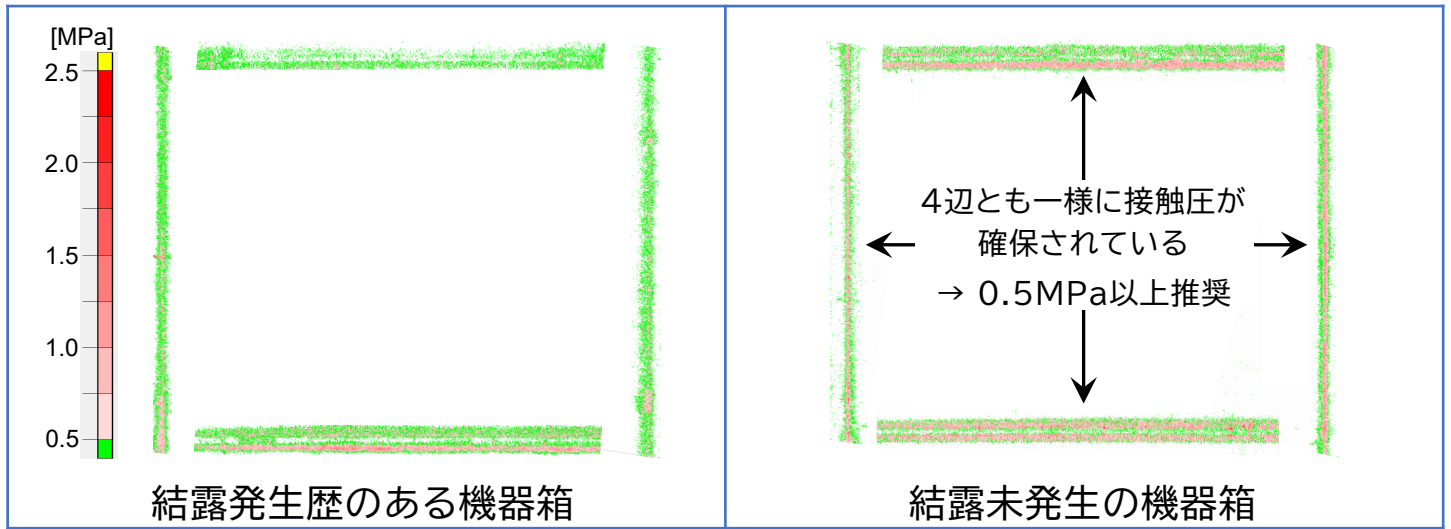
評価項目	(a) 未対策	(b) 4項目の対策実施	低減割合
箱内平均湿度	80.6 %	62.1 %	-18.5 %pt
結露発生時間	1567 分	21 分	-98.7 %

今後の展開

- 今後新製される車両に搭載する機器箱の仕様、既存車両の機器箱における結露対策の改善策としてご活用いただけます。

対策1: 点検蓋とパッキン間の接触圧確保

結露発生歴がある機器箱と、結露未発生の機器箱では、点検蓋とパッキン間の接触圧に差があることを確認しました。さらに、定置試験において、高接触圧化することで、箱外からの水蒸気流入を抑制できることを確認しました。

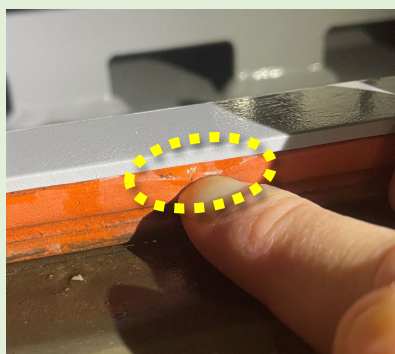


対策2: 切れ目の防止



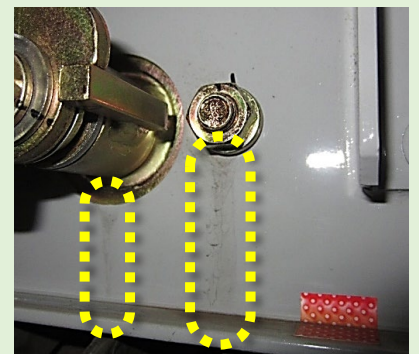
パッキン接着面に生じた切れ目
→ 一体成型を推奨

対策3: 固定方法



パッキン内側に回り込んだ水分
→ 接着剤で固定を推奨

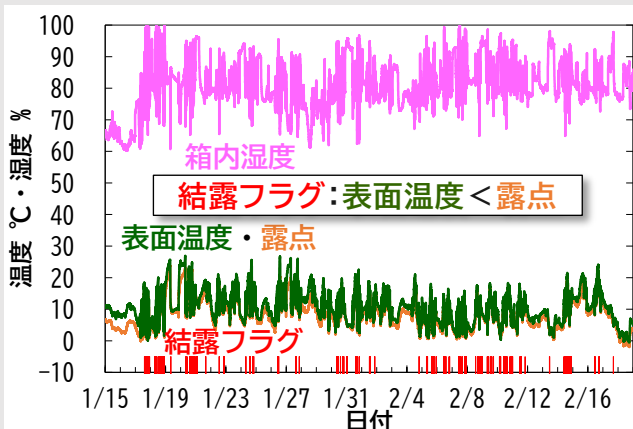
対策4: 部材の気密性



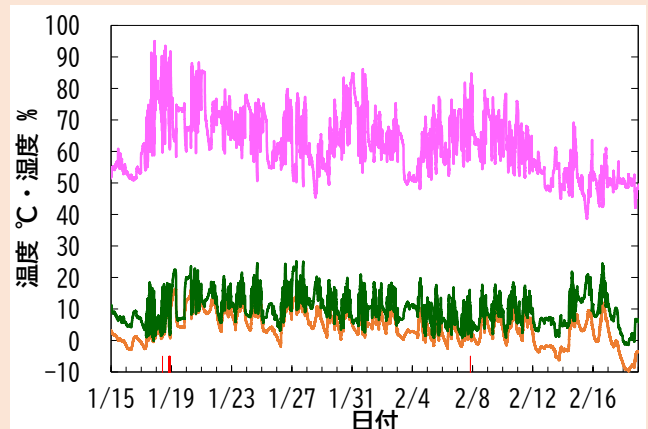
締付金具部からの水分流入痕
→ 気密性高い部材推奨

現車検証試験結果: 4項目の気密対策有無による箱内結露抑制効果

- 1月中旬～2月中旬の厳冬期、沿線最低-11.3℃、降雪環境下の走行も複数回あり



(a) 未対策の機器箱



(b) 4項目の気密対策を施した機器箱

磁性楔を用いた 高効率誘導主電動機

鉄道車両の駆動用に広く用いられている誘導電動機を高効率化する技術を開発しました。低損失材料の使用、回転子鉄心形状の改良等に加え、磁性楔の適用により96%の効率を達成しました。

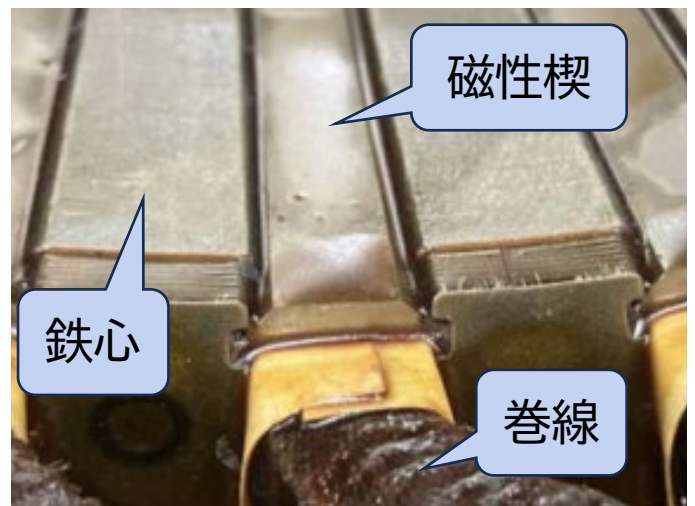
研究の背景と目的

- 主電動機を高効率化することは、省エネルギー化による電力コストの低減、温度上昇の低減による長寿命化、全閉化による省保守化・低騒音化等の観点で重要です。
- 誘導電動機では固定子鉄心のスロットの影響により回転子導体で高調波二次銅損が発生するため、磁性楔によりスロットの影響を軽減することを目指しました。

研究成果

- 長期間使用される鉄道車両用の誘導電動機に適用可能な磁性楔を実現するため、鉄系合金粒子を高密度に固めた樹脂を用いない材質を採用し、過去に開発した高効率誘導電動機に適用しました。
- 磁性楔を用いた高効率誘導電動機の特徴を定置試験で測定し、効率を算出した結果、定格点において96.0%の効率を達成したことを確認しました（高効率誘導電動機のベースとした従来の誘導電動機の効率は約93%）。
- 三次元磁界解析により評価した結果、定格点においてトルク脈動が約35%低減することが分かりました。

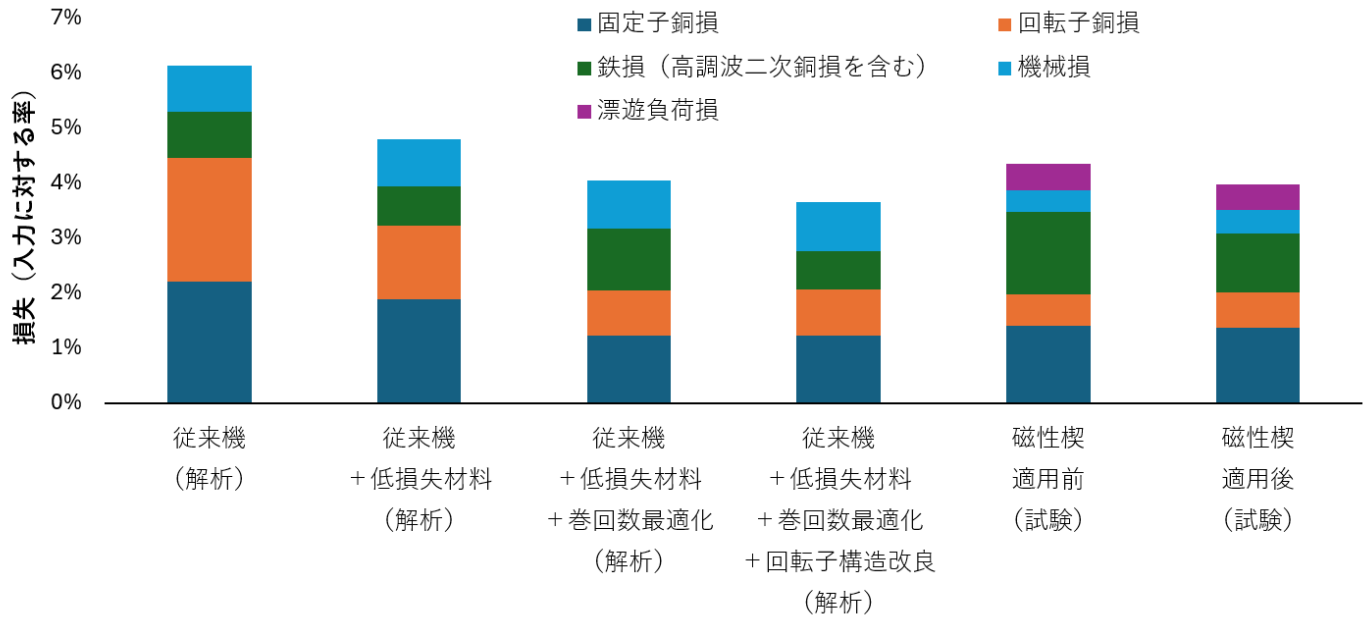
固定子に組み込まれた磁性楔



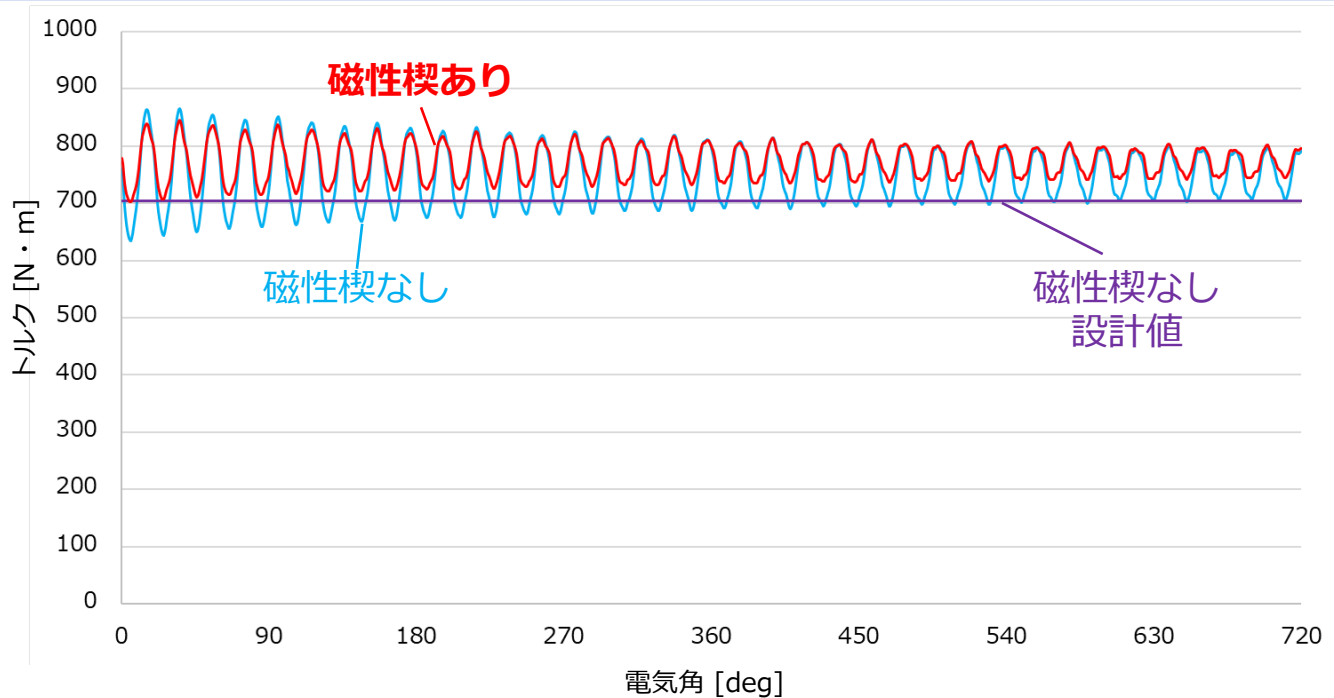
今後の展開

- 磁性楔を用いた高効率誘導電動機について更に定置試験を実施し、温度上昇への影響などを確認していきます。
- インバータ等との組合試験等を実施し、駆動システムとしての性能向上を確認していきます。

各種高効率化手法による損失低減効果



磁性楔によるトルク脈動低減効果

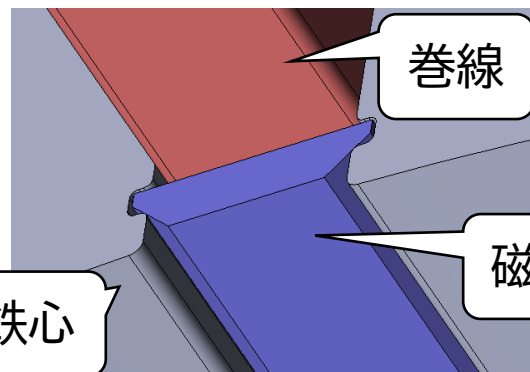


樹脂を用いない磁性楔

軸方向に二分割
して施工性向上



鉄心



D-15

光切断センサを用いた地上コイル表面傷・配線形状の三次元計測技術

ガイドウェイに設置された地上コイルの保守の効率化を目的として、光切断センサを用いた可搬型三次元計測装置を開発。幅1mm・深さ0.25mm以上の表面傷を非接触で計測可能なことを確認。

研究の背景と目的

- 労働人口減少に伴い、鉄道設備の保守ではデジタル技術を活用した効率化・省力化が求められている。本研究では、光切断法による三次元計測と画像解析を組み合わせ、地上コイルの表面傷を定量評価し、進展を監視する技術を開発し、鉄道設備の保守の効率化を目指す。

研究成果

■ 可搬型三次元計測装置を開発

- 光切断センサと磁気式エンコーダを組み合わせた、可搬型三次元計測装置を開発
- 地上コイル表面傷を非接触で計測

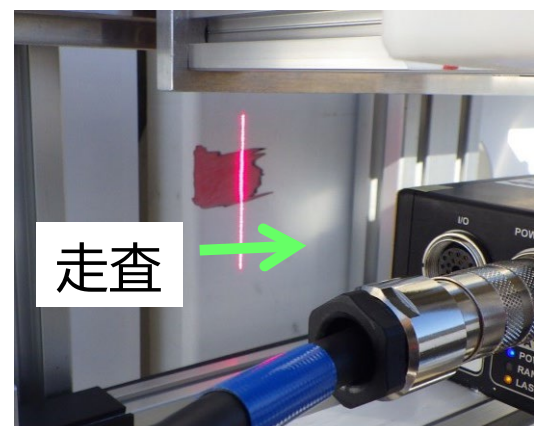
■ 表面傷検出性能を確認

- 幅1mm、深さ0.25mm以上の表面傷を検出
- 断面形状の測定精度は顕微鏡と概ね一致
- 地上コイルの模擬表面傷の定量評価を検証

■ 配線形状計測への応用

- 可搬式線なり測定装置を開発
- 地上コイル配線形状の連続三次元計測を実現

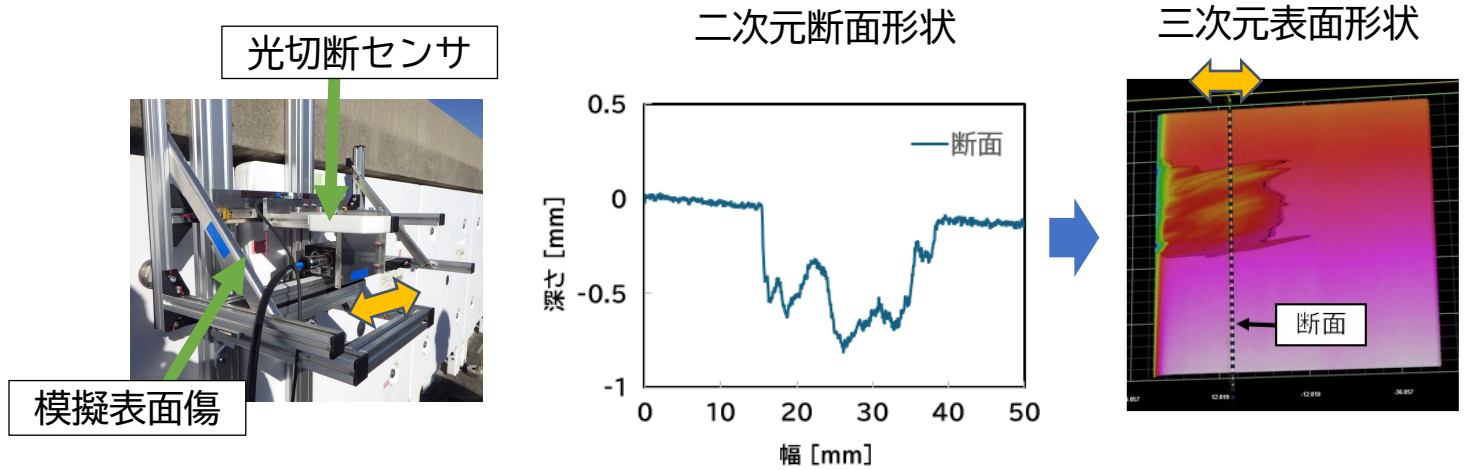
可搬型三次元計測装置



今後の展開

- 光切断法による三次元計測技術を鉄道の保守業務へ展開し、地上コイル表面傷の定量評価と進展監視を実現する。さらに、取得した計測データを活用し、交換・補修時期の適切な判断による状態基準保全(CBM)の実現を目指す。

実設備に設置された地上コイルへの適用性を実証

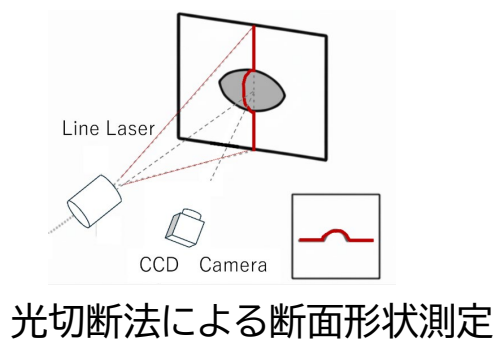


(a) 可搬型表面傷測定装置

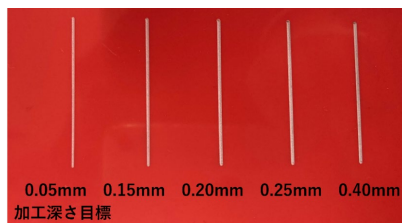
(b) 模擬表面傷の三次元形状測定結果

3次元形状測定精度の検証

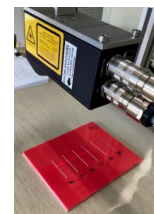
深さ0.25mm以上の表面傷を検出、光切断センサと顕微鏡の測定結果は概ね一致



光切断法による断面形状測定



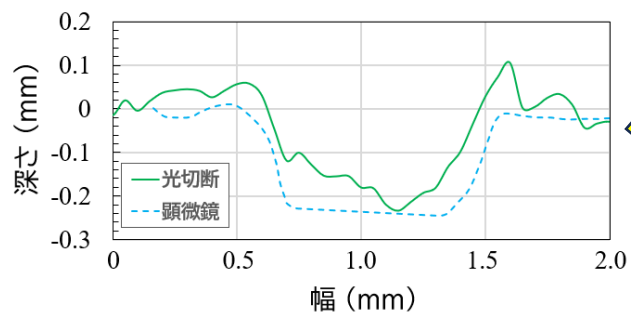
模擬傷入りコイル樹脂板



光切断測定

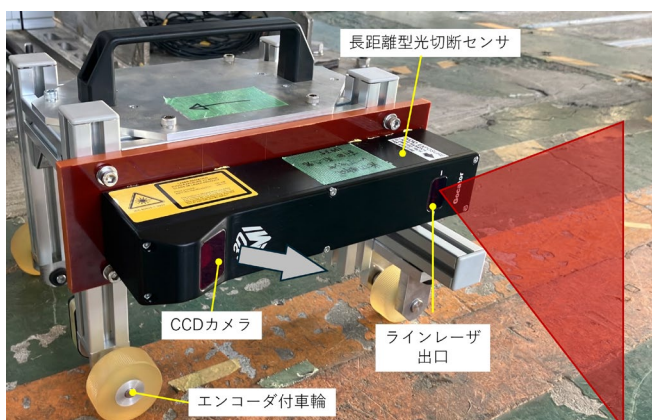


顕微鏡観察

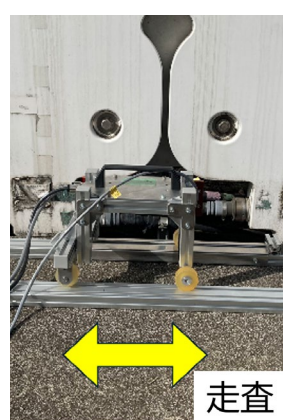


断面形状測定結果比較(深さ目標0.25mm)

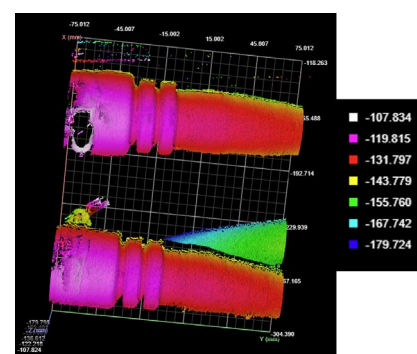
配線形状計測への応用



(a) 配線形状測定装置



(b) 測定状況



(c) 三次元配線形状

鉄道環境における低周波磁界の測定・評価

鉄道の磁界測定に関する規格が国内外で制定され、低周波の交流磁界を評価する重要性が高まっています。これに対応するため、車両内外の磁界を迅速に測定・評価する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）、国内の規格：JIS E 0201（2024年））。
- 従来から車両設計の仕様になることが多い直流磁界だけでなく、低周波の交流磁界を車両内外で測定・評価する重要性が高まっています。
- 時々刻々と変化する鉄道環境における複雑な低周波磁界を効率よく測定・評価することを目指しています。

研究成果

- 磁界測定器とPCを接続することで、測定から評価までを一貫して行うことができるシステムを開発しました。
- 評価のためには複雑な計算等が必要ですが、直流磁界、交流磁界（～20kHz）をまとめてリアルタイムで処理できます。
- さらに、手軽に磁界分布を把握できる磁界可視化装置や、広帯域で測定可能な3軸磁気光学プローブを開発しました。

磁界測定のイメージ

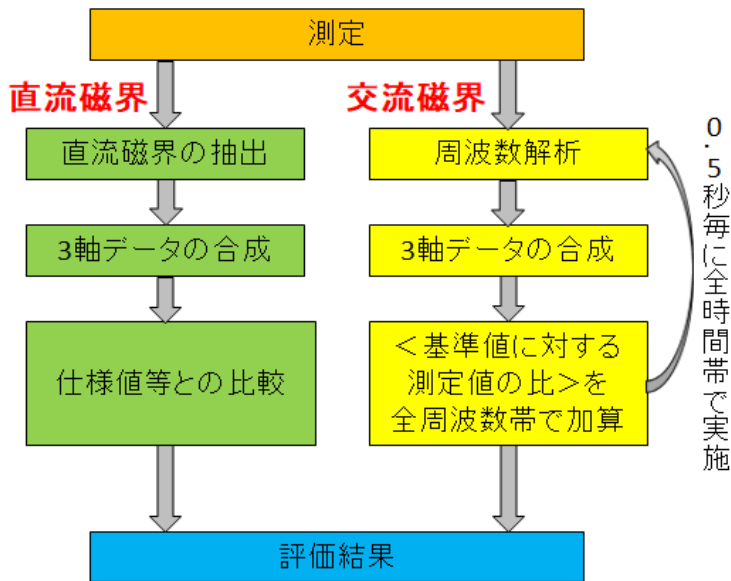


今後の展開

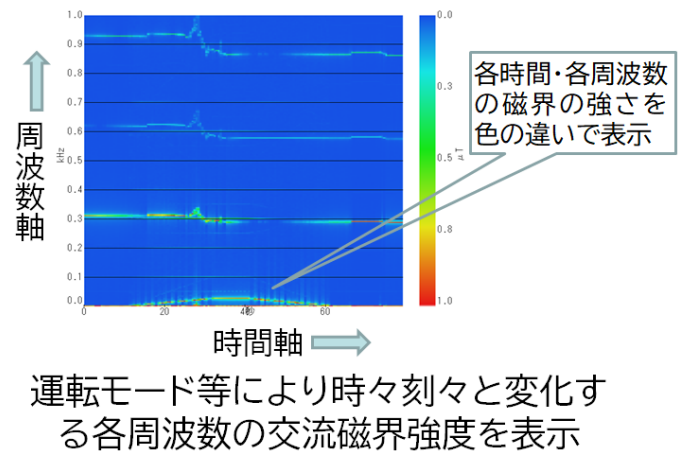
- これらのシステム等の活用により、車両磁界の分布特性等を解明していきます。
- 鉄道事業者殿・車両メーカー殿等への測定評価サービスに展開し、効率の良い測定・評価を実施いたします。

低周波磁界評価システム

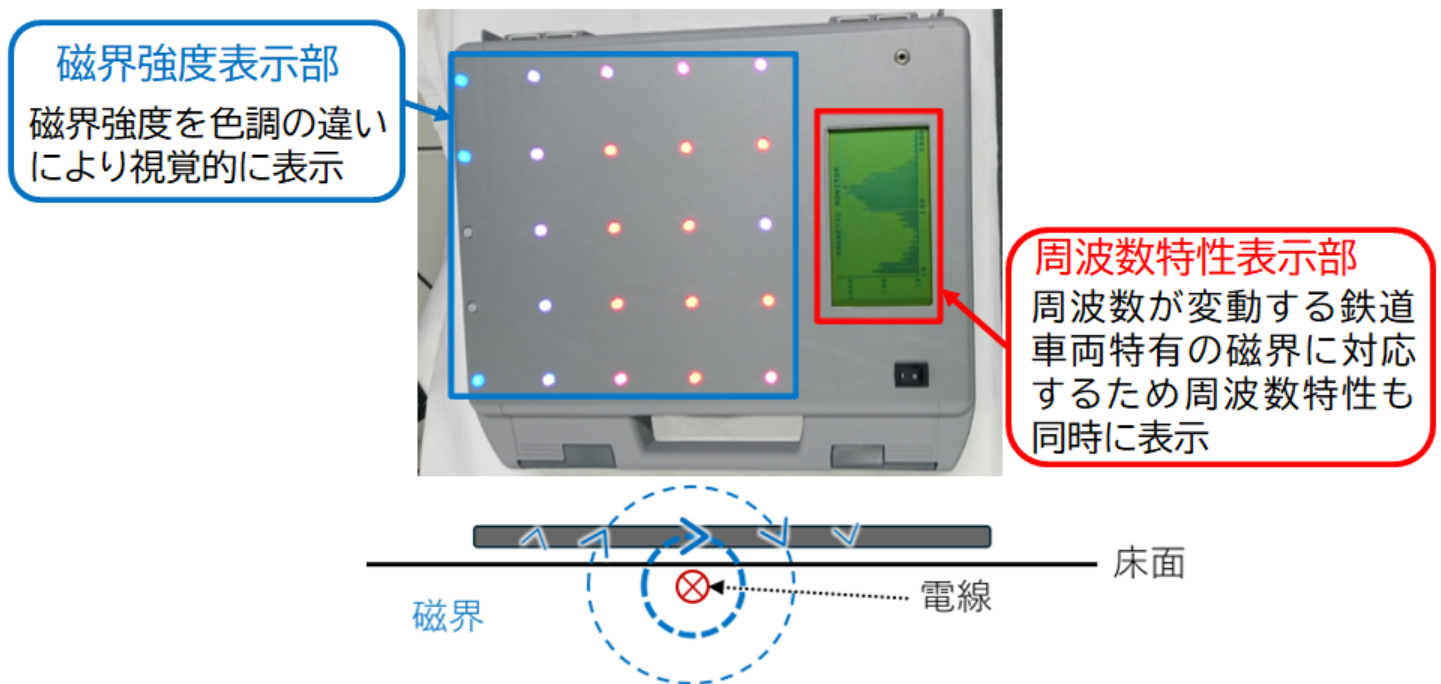
車両磁界評価フロー



所内試験機での測定例

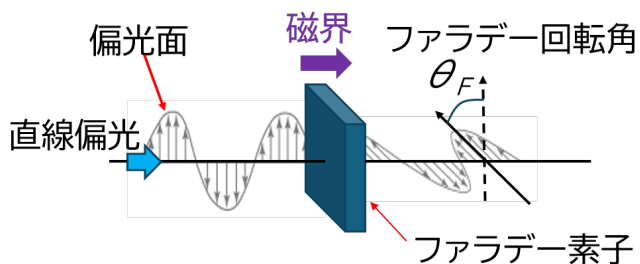


交流磁界可視化装置



3軸磁気光学プローブ

ファラデー効果



ファラデー素子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です。



ファラデー効果により磁界を検知します。

鉄道車両用ワイヤレス給電システム

鉄道車両に非接触で電力を伝送する技術(ワイヤレス給電・WPT)の研究開発を行っています。課電部の露出・摺動部がないため、安全性が高くメンテナンスの低減が可能です。

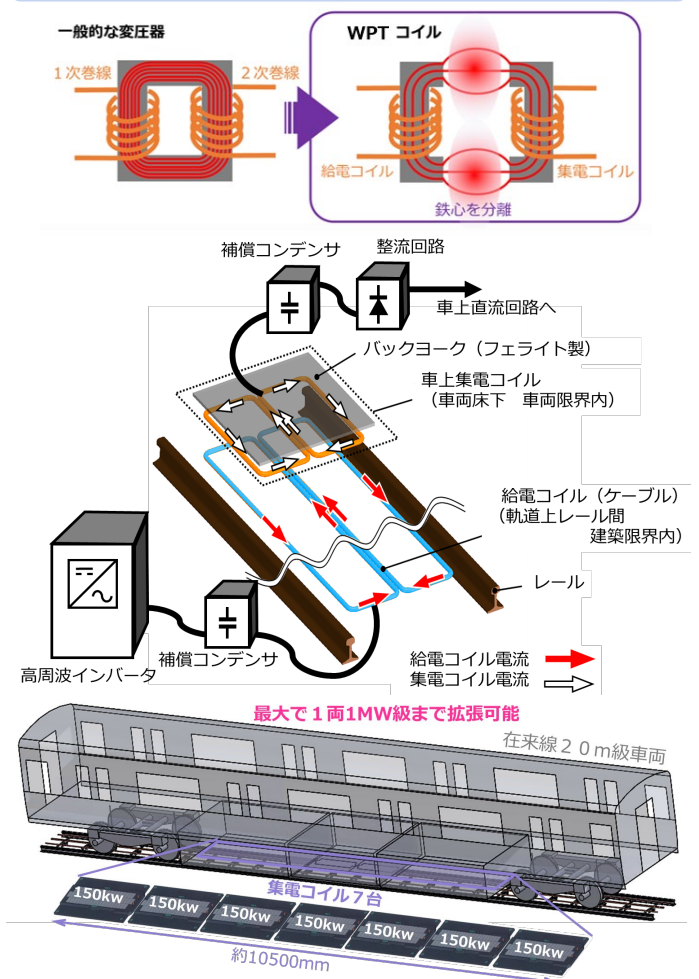
研究の背景と目的

- 電気自動車の普及を背景に、**大容量のワイヤレス給電(WPT :Wireless Power Transfer)技術**の開発が進んでいます。
- WPTはその特性上、鉄道車両の走行に必要とされる大電力を連続的に供給する用途には適しません。そのため、**バッテリー電車やハイブリッド車両など、走行用蓄電デバイス搭載車両向けの給電装置**として開発を進めています。

研究成果

- 対向させたコイルの間で、変圧器と同様に変動磁場を介して電力伝送します。
- レール間に敷設する地上給電コイルは、鉄心を用いず、ケーブル1条からなる簡素な構造です。また漏洩磁場によるレールでの損失を抑制するため、左右の磁束が打ち消し合う**8の字形状のコイル**を採用しています。
- 通電周波数が高いほどシステム小型化の面では有利ですが、法的制約やコイル・レールに生じる損失を考慮し、WPTとしては比較的低い**10kHz未満**に設定しています。
- 一般的な20m級在来線車体の場合、**最大1MW**程度の電力伝送が可能です。
- コイル間ギャップ**150mm**の設定で、**90%以上の効率(コイル対向部)**での電力伝送を実証しました。

高周波WPTシステムの構成



車上集電電力密度を向上した高周波WPT用コイルの設計



今後の展開

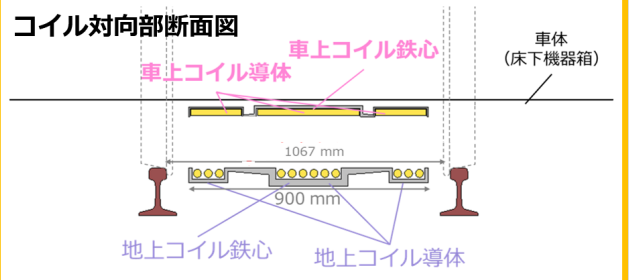
- 沿線の信号保安機器へのノイズ影響について検討を進めます。
- **低コスト・低ノイズを志向した低周波WPTシステムの開発**もあわせて行っています。

通電周波数による得失

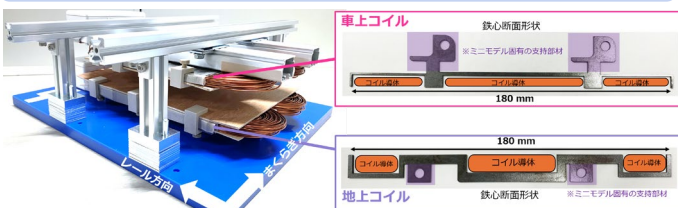
インバータを用いず 大幅な低コスト化			自動車用規格: ~85kHz 鉄道用 (高周波): ~10kHz
周波数	低 (商用周波) f = 50 Hz / 60 Hz	中 f ≤ 1 kHz	高 1 kHz ≤ f
地上電源	受電変圧器のみ	受電変圧器 + 変換器 (汎用インバーター)	受電変圧器 + 変換器 (高周波インバーター)
コイル導体	一般撚り線		リッツ線
鉄心	積層 (電磁) 鋼板		フェライト
回路特性	低電圧・大電流		高電圧・小電流
レール損失	小		大
高調波ノイズ	懸念小		懸念大・対応難
機器コスト	安価		高価
機器体格	大型・大重量		小型・軽量
最大 300kW/両 (コイル間効率88%)		車載可能な機器寸法・重量を維持しつつ 可能な限り低電圧下で制御	最大 1MW/両 (コイル間効率90%)

商用周波WPT用コイルの設計

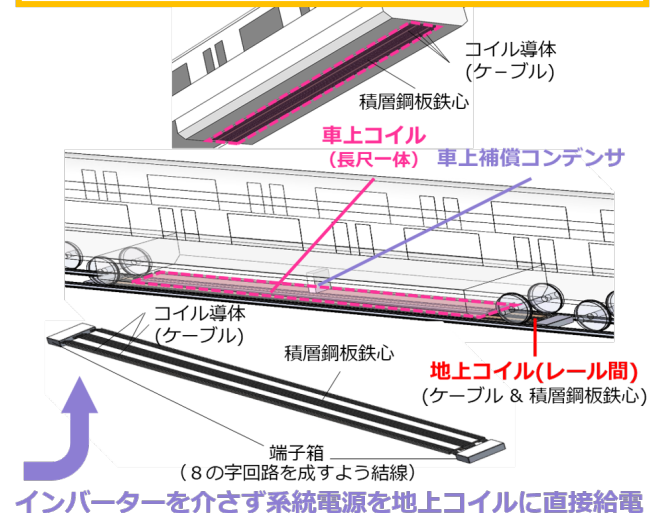
鉄心の使用 → 磁気結合を大幅に向上し
レール方向全長の有効利用 → 電力伝送性能を確保



商用周波WPT検証用ミニモデル



実機と同等の磁気結合状態を模擬できるミニモデルにて、設計通りの電力伝送が可能なことを確認しました。



車載リチウムイオン電池の高頻度な通電による劣化の予測手法

高頻度に通電される駆動用リチウムイオン電池を対象とした劣化予測手法を構築しました。劣化予測値に基づいて電池交換時期を適正化すれば、交換コストの抑制が可能となります。

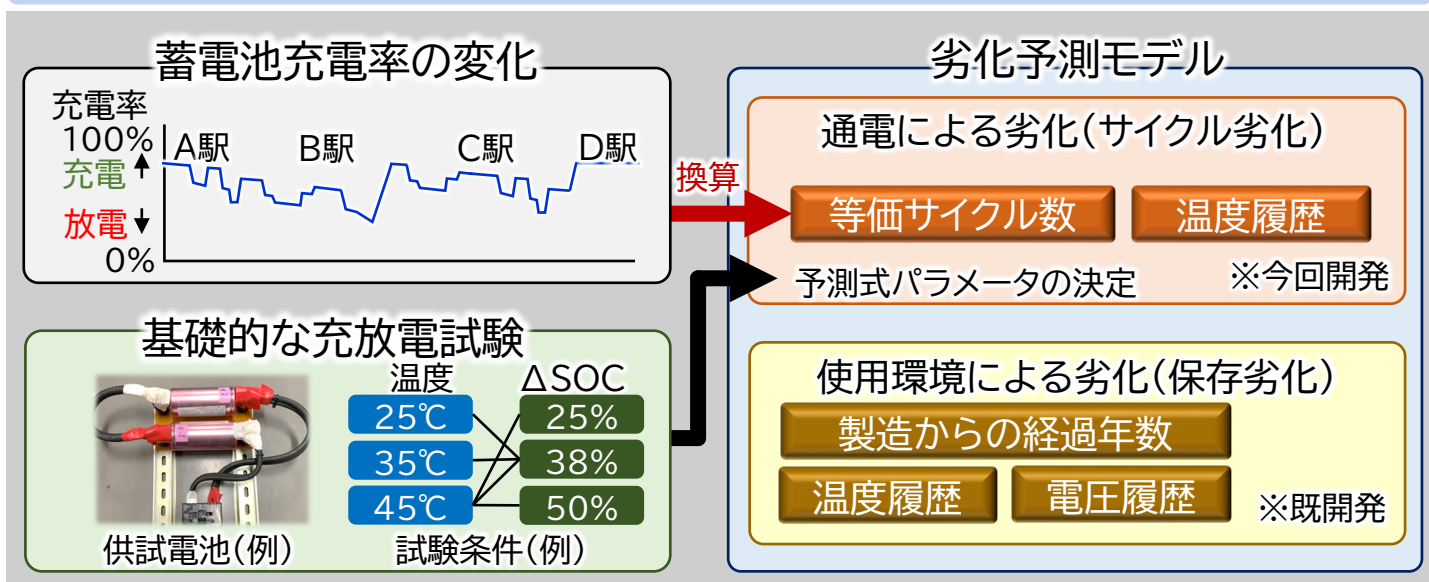
研究の背景と目的

- 駆動用のリチウムイオン電池(以下、蓄電池)を搭載した車両は、省エネルギー性が向上する等の利点がある一方で、高価な蓄電池の交換コストが課題となります。
- 従来の劣化予測手法は、ディーゼルハイブリッド車両等における複雑で高頻度な通電には未対応であったため、これに対応した実用的な予測手法を構築しました。

研究成果

- 蓄電池充電率の複雑な変化を等価サイクル数(変化幅100%の充放電回数)に換算し、これを用いてサイクル劣化を予測する手法を構築しました。

構築した劣化予測手法の全体概要

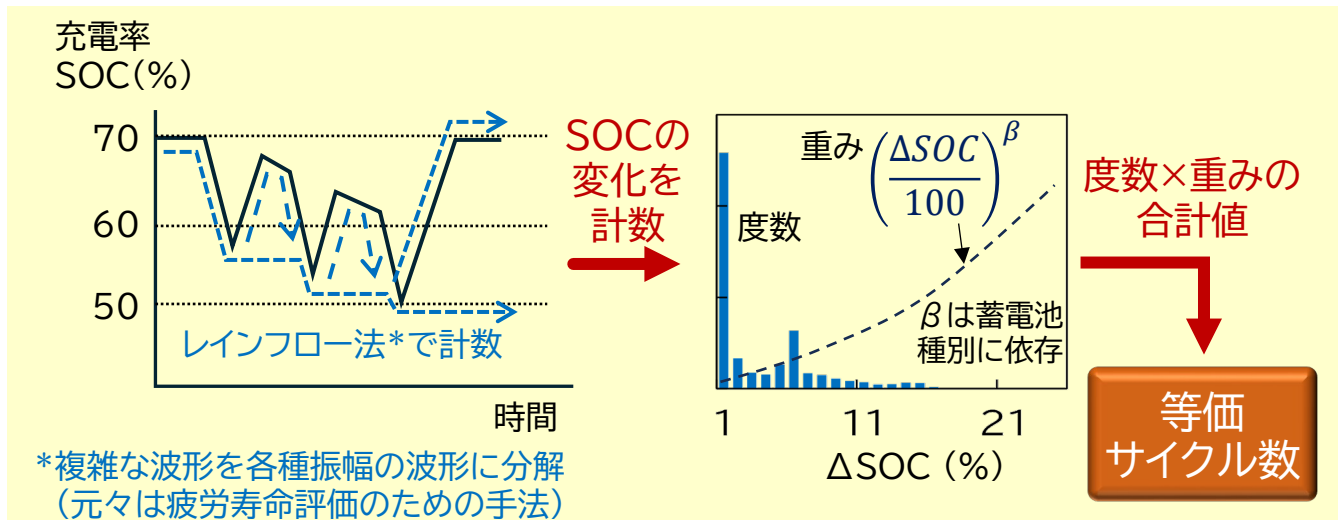


今後の展開

- 劣化予測を活用して蓄電池をなるべく長期に使用すれば、交換コストが抑制可能となり、省エネ性に優れた蓄電池搭載型車両の導入が容易となります。

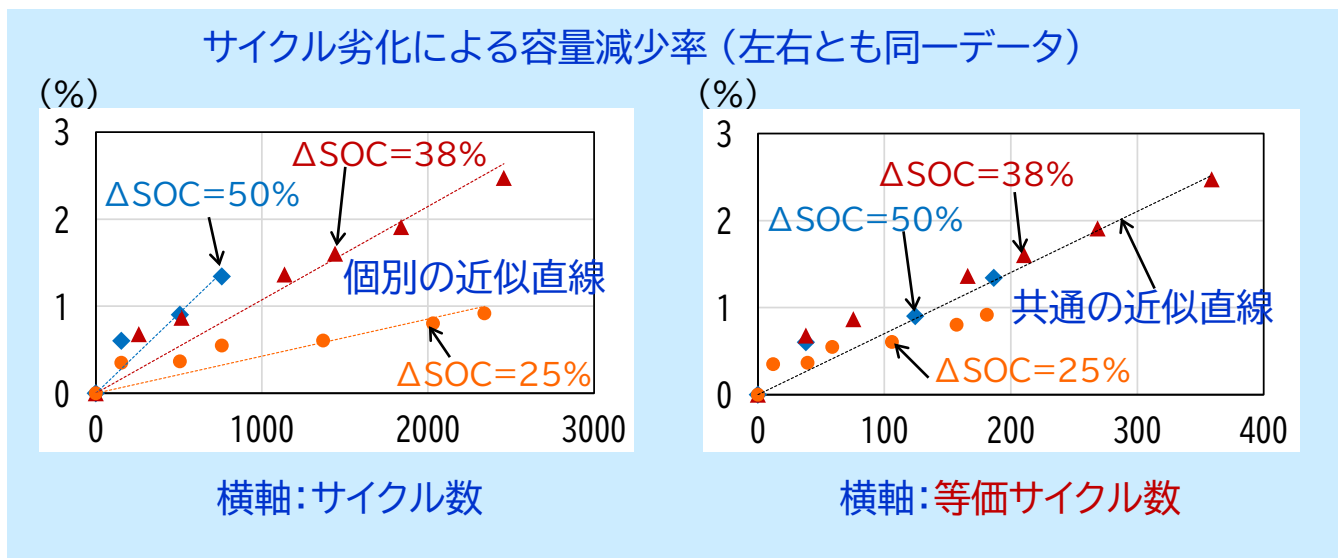
等価サイクル数への換算方法

複雑な充電率の変化を、レインフロー法でカウントし、度数に重みを掛けた和として等価サイクル数を得ます。重みや予測式は基礎実験データから決定します。



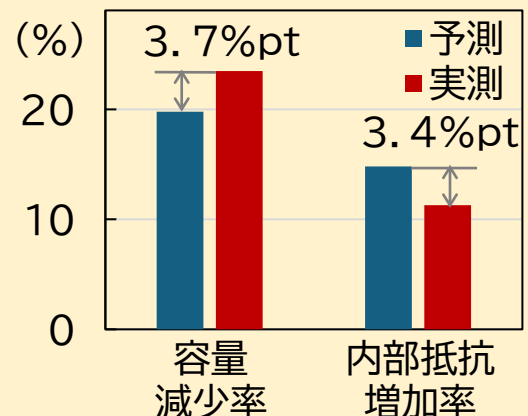
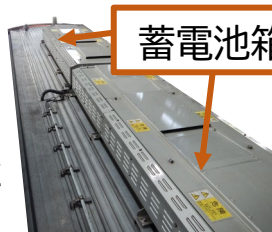
等価サイクル数の有効性

基礎実験で得られた容量減少率データを、等価サイクル数に対して整理すれば、共通の近似直線を適用可能です。別種の蓄電池でもこの傾向を確認しました。



予測値の検証結果

- ディーゼルハイブリッド車両の約3年間の実運用における蓄電池の劣化度を実測し、予測値と比較しました。
- 劣化指標である容量減少率と内部抵抗増加率は、ともに4%pt以下の予測誤差であり、実用的な精度で予測できることを確認しました。



新幹線パンタグラフの 揚力変化メカニズムの解明

パンタグラフに生じる揚力は、舟体形状やすり板摩耗などによって変化します。本研究では、これらによる揚力変化メカニズムの解明を行いました。

研究の背景と目的

- 背景: パンタグラフが良好な集電性能を発揮するためには、走行中に作用する揚力を適正な範囲に維持することが重要です。一方で、舟体形状の変更やすり板の摩耗によって生じる揚力変化のメカニズムについては、未解明な部分も多く残っていました。
- 目的: 舟体形状の変更やすり板の摩耗による揚力変化メカニズムを解明し、体系的な知見を得ることを目的としました。

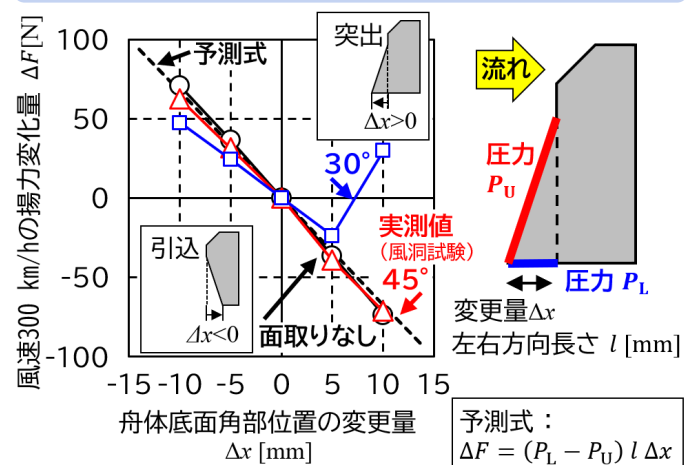
研究成果

- 舟体の断面形状の変更により揚力特性が変化するメカニズムを解明しました。
- 舟体の前面傾斜による揚力変化量の予測式を提案し、その推定値と風洞試験結果がよい一致を示す舟体形状の前提条件を確認しました。
- 段付き舟体を対象とした流れの形態マップを提案し、すり板摩耗による大きな揚力変化を避けられる形状パラメータ範囲を明確化しました。

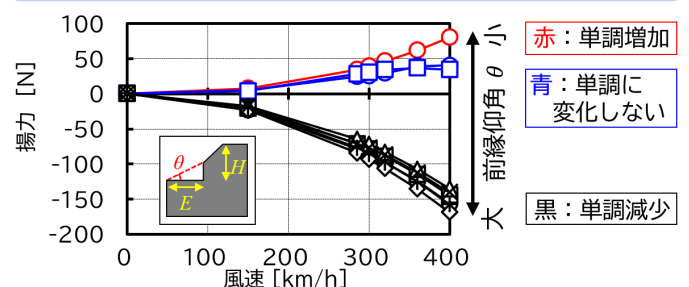
今後の展開

- 舟体設計における形状選定や揚力異常事象の対策検討に活用できます。

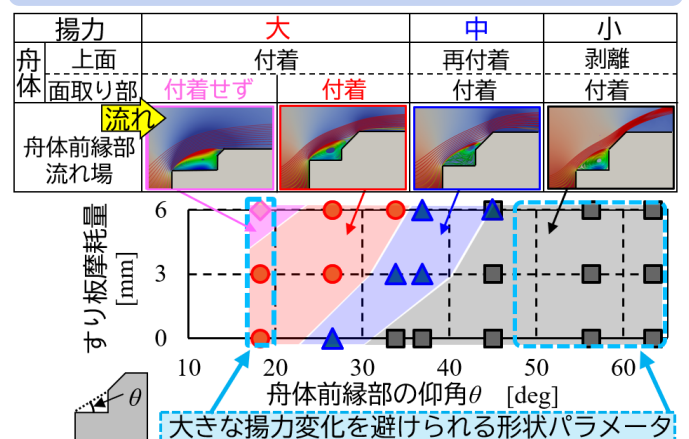
前面傾斜の揚力調整量推定モデル



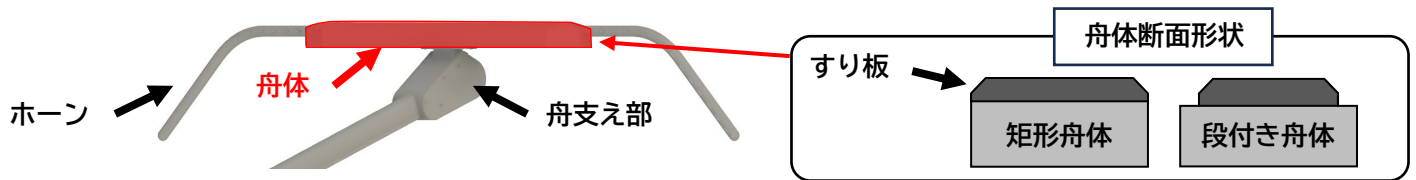
段付き舟体の揚力特性



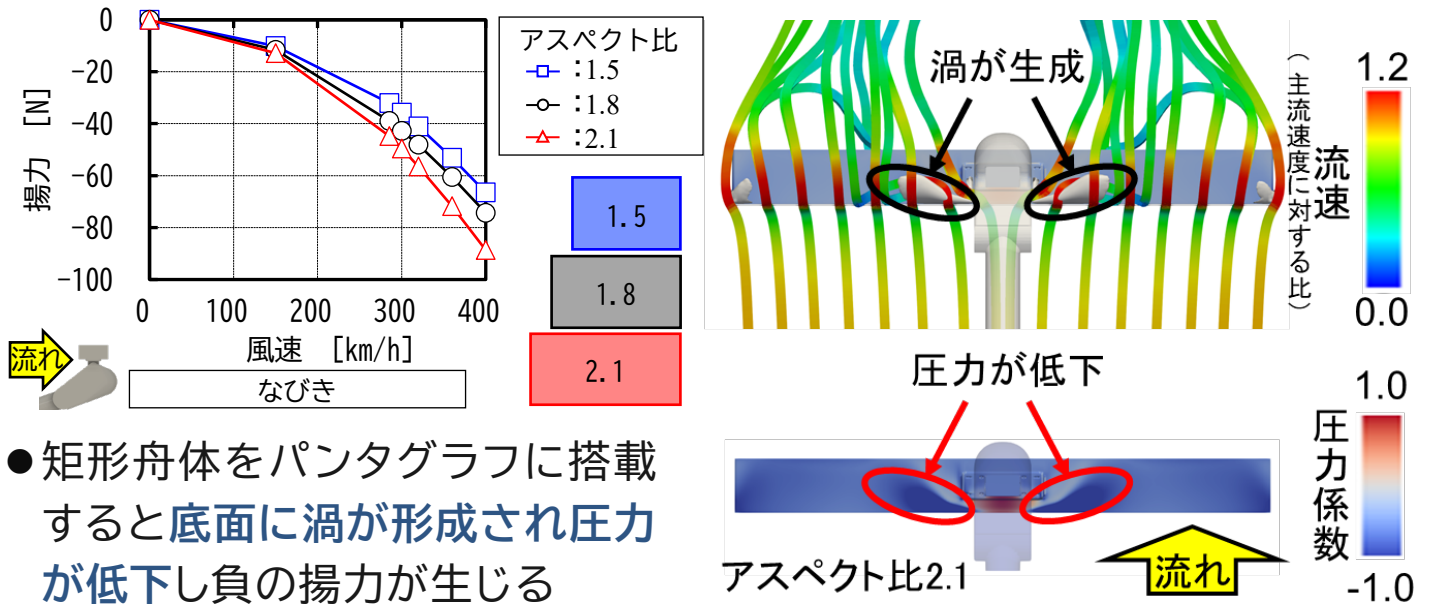
段付き舟体の流れの形態マップ



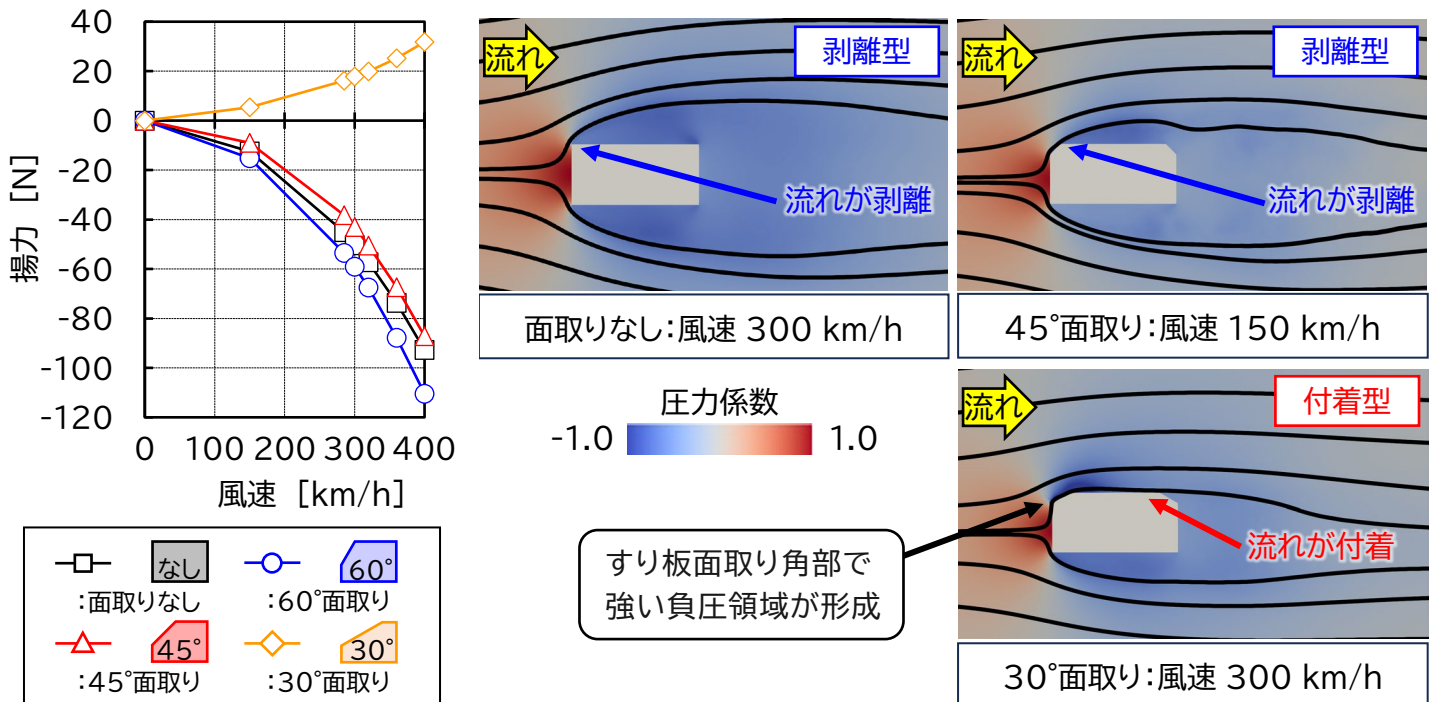
舟体周辺部材の概略図



矩形舟体の揚力の基本特性



矩形舟体のすり板面取り角度の変更による揚力変化メカニズム



矩形舟体のすり板面取り角度を変更した場合の揚力特性の分類

- 舟体上面の流れが**付着型の場合**⇒強い負圧が生じて、揚力が正となる
- 舟体上面の流れが**剥離型の場合**⇒強い負圧が生じず、揚力が負となる

在来線車両への 着雪シミュレーション

着雪シミュレーションにより、在来線車両床下の台車中央から後方で生じる氷状の着雪を再現

研究の背景と目的

- 降雪地帯を走行する鉄道車両の床下には、粉雪状および氷状の着雪が発生
- 舞い上がりによる着雪のみを対象としていた既存シミュレータを改良し、車輪による蹴り上げ着雪を再現

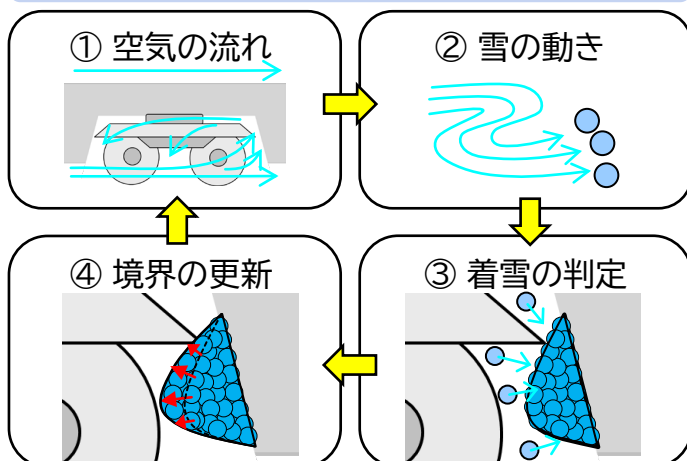
研究成果

- 実験により、雪が車輪に踏まれると圧力融解(含水)することを確認
- 撮影結果より、台車前方に粉雪状の着雪、台車中央から後方に氷状の着雪が発生
- シミュレーション結果により、台車前方に舞い上がりによる着雪、台車中央から後方に蹴り上げによる着雪が発生
- 蹴り上げによる着雪部位は氷状の着雪部位と一致し、蹴り上げによる着雪は氷化しやすいことを確認

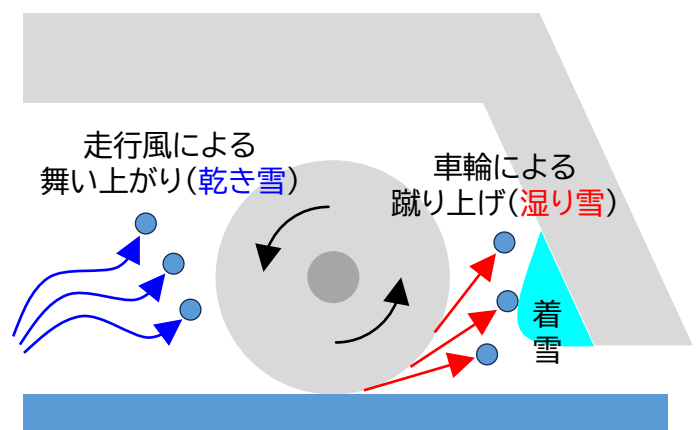
今後の展開

- 粉雪状に加えて氷状の着雪に対しても対策効果を予測可能
- 着雪障害のリスク低減・未然防止に寄与

既存の着雪シミュレーション

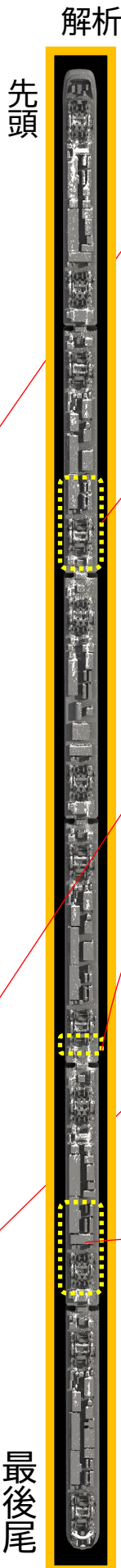


「舞い上がり」と「蹴り上げ」



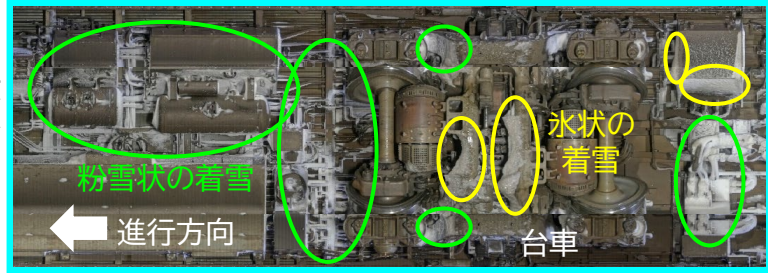
在来線6両編成車両の撮影結果と解析結果の比較

在来線6両編成車両全体の着雪

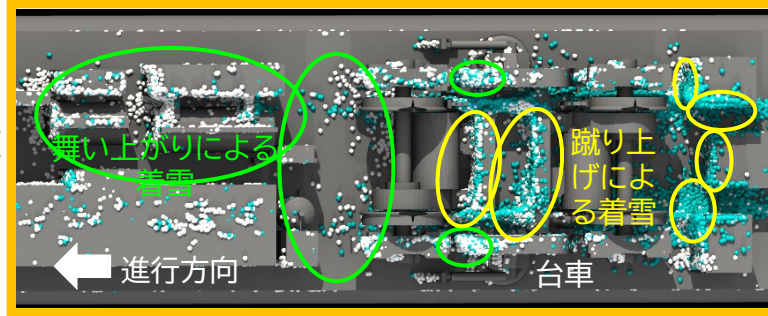


2両目第2台車周辺の着雪

撮影



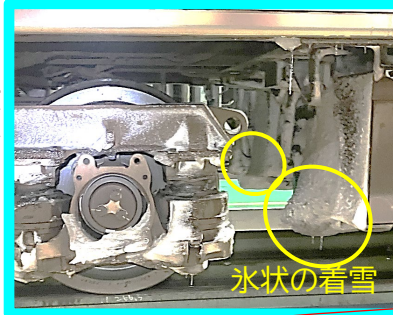
解析



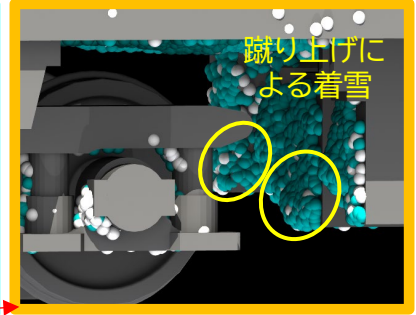
舞い上がりによる着雪(白)
蹴り上げによる着雪(水色)

4両目第1台車後方の着雪

撮影

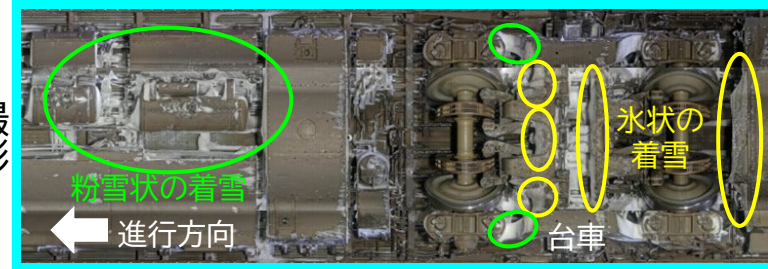


解析



5両目第2台車周辺の着雪

撮影



解析



舞い上がりによる着雪(白)
蹴り上げによる着雪(水色)

舞い上がった雪(白)と蹴り上げられた雪(水色)



鉄道車両用水素・燃料電池システムの 国際規格 IEC 63341シリーズの策定

鉄道車両への水素・燃料電池導入に向けた規格審議に参画し、日本の技術知見・実情を反映した国際要件策定に寄与しました

研究の背景と目的

水素・燃料電池車両は、非電化区間の脱炭素化手段として期待されています。一方で、鉄道車両に搭載する水素・燃料電池システムには、安全性、信頼性、性能評価方法などを国際的に整合させる必要があります。本研究では、日本の技術知見を国際規格に反映し、安全で合理的な普及基盤づくりに貢献しました。

研究成果

2020年から本格化した審議において、鉄道総研が持つ水素燃料電池鉄道車両の技術知見および他業界を含む日本の専門家の知見を国際規格の要件に反映しました。

● 市場での普及やコスト低減を意識し、他分野の基準を活用

水素社会の普及に向け、他産業との要件共通化による市場拡大およびそれに伴うコスト低減を目指し、他分野で蓄積された技術的知見を活用する観点から、技術開発や標準化が先行する自動車を中心とした他分野の基準類への参照を主張し、反映されました。

● 日本の使用実態を踏まえた70 MPa水素システムの反映

NP原案(新規格作成時の初期提案)の公称使用圧力は35 MPaのみでしたが、日本で使用例がある70 MPaについて航続距離向上等のメリットを説明し、公称使用圧力の規定に反映されました。

● 特定地域の評価手法に依らない、実用的な規格制定に貢献

安全性・信頼性評価手法を欧州で使用されるRAMS(信頼性・可用性・保全性・安全性を評価する考え方)に限定したい意見がありましたが、現在の日本で安全性や信頼性を定量的・解析的に記録した実績がほとんどない実情から、RAMSの義務規定化に反対しました。最終的にRAMS規格(IEC 62278シリーズ)を例示的記載とし、特定地域の手法に限定せず、各国の事情に合った安全評価を可能としました。

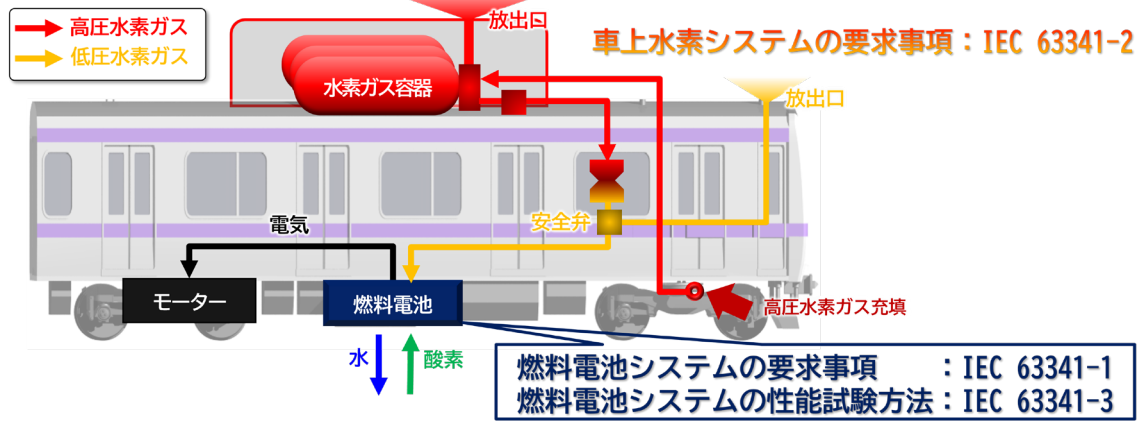
このように、技術的根拠の薄い提案を整理し、技術導入の自由度・安全性・実用性を高める提案が反映されたIEC 63341シリーズは2025年秋に制定されました。他国との要求事項の整理や国内での技術的議論等への活用が期待されます。

※参考:J-RAIL「鉄道車両用燃料電池・水素燃料システムに関する国際規格 IEC 63341 シリーズの制定」

今後の展開

- 今後議論が進められる周辺規格との整合を図り、鉄道車両への水素・燃料電池導入に大きく関係する安全要件・性能評価方法の国際的な整備に継続して貢献します。

IEC 63341シリーズ各規格の適用範囲



対面会議の様子



オンライン会議の他に2022年にパリで、2023年に東京で対面会議が開催され、各国活発な議論を行いました。

日本からの提案の採用例

○燃料電池の効率計算

$$\eta_{\text{FCPS}} = \frac{P_{\text{FCPS net power}}}{Q_{\text{H}_2, \text{FCPS}} \times LHV_{\text{H}_2}}$$

η_{FCPS} ：燃料電池システムのNet出力効率

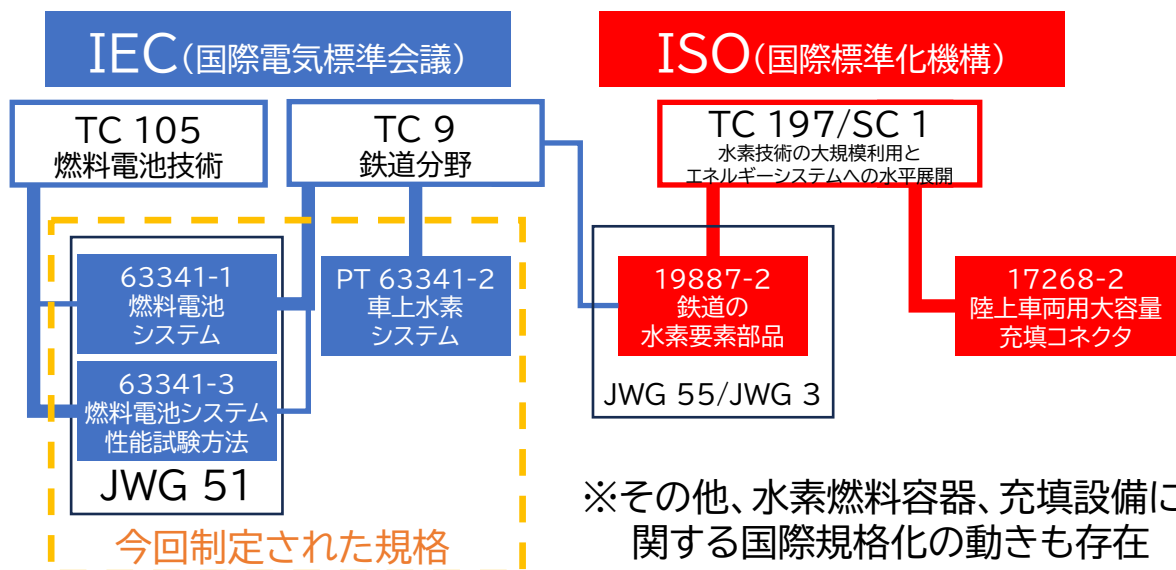
$P_{\text{FCPS net power}}$ ：燃料電池システムから供給されるNet出力[kW]

$Q_{\text{H}_2, \text{FCPS}}$ ：燃料電池システム水素流入口での水素質量流量[kg・s⁻¹]

LHV_{H_2} ：水素の低位発熱量[J・kg⁻¹]

IEC 63341-1,3に関連する燃料電池の効率定義およびその計算方法について、日本案が反映されました。

規格審議の枠組みと今後の展開



鉄道分野、燃料電池分野、水素技術分野の専門委員会が連携して規格化を推進しました

※参考：J-RAIL「鉄道車両用燃料電池・水素燃料システムに関する国際規格 IEC 63341 シリーズの制定」