



冬  
2025

クローズアップ	① 基本計画 —持続可能な鉄道システムの創造— RESEARCH 2030
研究&開発	② 実物大車体構体とダンブとの衝突解析(下)
研究&開発	④ 超音波でブレーキ材の摩耗を捉える
レポート	⑥ 第20回国際輪軸会議(IWC 2023)に出席して



## 基本計画 —持続可能な 鉄道システムの創造— RESEARCH 2030

公益財団法人鉄道総合技術研究所 理事  
曾我部 正道



謹んで新年のお慶びを申し上げます。平素より、鉄道総研の研究開発事業等について、ご協力を頂いておりますことを、この場を借りて御礼申し上げます。

本稿では、2025年度からスタートする表題の新しい5か年計画「RESEARCH 2030」の概要についてご紹介したいと思います。

### ・深刻化、顕在化、複雑化する社会課題

日本の社会・経済や鉄道を取り巻く環境は、新型コロナウイルス感染症拡大以降、変化が一層加速しています。また、気候変動や大規模自然災害の頻発、2050年カーボンニュートラルの実現、地政学的なリスクの高まり、少子高齢化による生産年齢人口の減少等、従来からの社会課題は深刻化、顕在化、複雑化しています。特に鉄道においては、労働力不足やインフラの老朽化、地域鉄道の事業継続等が喫緊の課題となっています。

### ・研究開発の目標と柱、進め方

こうした状況をふまえ RESEARCH 2030 では、研究開発の目標として、安全性の向上、生産性の向上、環境との調和、利便性の向上の4つを設定しました。また、リソースを有効活用して効果的に研究開発を進めるための研究開発の柱として、鉄道の将来に向けた研究開発、実用的な技術開発、鉄道の基礎研究の3つを設定しています(図1)。

研究開発を進めるに当たっては、社会実装までのロードマッ

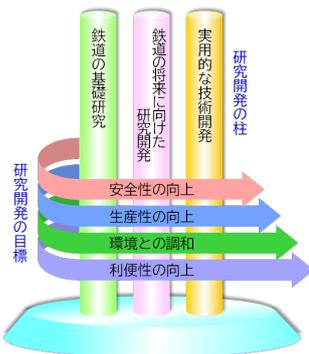


図1 研究開発の方向性と柱

プを描き、鉄道事業者等との緊密な連携を図ります。また、最先端のデジタル技術に加え、鉄道総研の得意とするフィジカル技術、シミュレーション技術等の鉄道の諸課題の本質の追究や解決に資する研究開発のコア技術の高度化を図ります。

### ・研究開発の例

鉄道の将来に向けた研究開発では、鉄道総研の研究開発能力の高い分野や特長のある領域を活かせる課題、総合力を発揮できる課題等に対して、プロジェクト形式の大課題を設定して取り組みます。具体的には、激甚化する自然災害に対する強靱化、自動運転の高度化、メンテナンスの省人化、鉄道システムの脱炭素化、シミュレーションによる鉄道固有現象の解明の5つの大課題を推進します(図2)。

実用的な技術開発では、JR各社の指定課題等、鉄道事業者のニーズが高い課題等に取り組みます。車両関係では例えば台車枠のき裂進展シミュレーションに基づく検査手法や新幹線用パンタグラフモニタリング技術の開発、次世代振子システムの既存振子車両への適用等に取り組みます。

鉄道の基礎研究では、鉄道固有現象の解明等の革新的な技術の源泉となる課題等に取り組みます。車両関係では例えば編成車両としての復元性能に着目した地震時車両挙動の解明や台車部空力音を対象とした沿線観測点の音源寄与度推定手法、鉄道用材料の循環利用等に取り組みます。

### ・持続可能な鉄道システムの創造を目指して

RESEARCH 2030 では、持続可能な鉄道システムの創造を目指し、安全・安心かつスマートで、環境に優しく、持続可能な未来の鉄道のあるべき姿を実現するために、革新的な技術を創出する研究開発を推進していきます。関係各位のご支援、ご協力を宜しくお願い申し上げます。[NL]

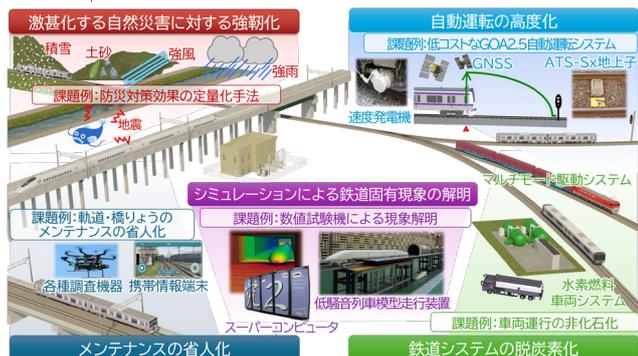


図2 鉄道の将来に向けた研究開発



## 実物大車体構体と ダンブとの衝突解析(下)

車両技術研究部 車両強度  
上席研究員 GL 沖野 友洋

### 1 はじめに

筆者らは、列車衝突事故時の先頭車の衝撃挙動を把握することを目的として、ステンレス鋼製先頭車両の実物大の部分車体構体を用いて、剛体壁に衝突させる衝突試験を実施するとともに、衝突試験を模擬した数値解析を実施し、試験結果と解析結果を比較検証して解析モデルの精度を向上しました。また、大型ダンブトラックとの衝突についても、同様の試験・解析を実施しました<sup>1)</sup>。前号では、上記文献1の大型ダンブトラックとの衝突試験について一部加筆・修正のうえ紹介しましたが、本号では当該試験を模擬した数値解析等について紹介しません。

### 2 衝突試験を模擬した有限要素解析

図1に本研究で用いた有限要素(FE)解析モデルを示します。試験体および走行台車モデルは、剛体壁への衝突試験結果との比較検証によって解析精度を確保したモデルです。車体に用いられる各種材料については必ずみ速度依存性を考慮し、スポット溶接やアーク溶接の破断特性を考慮しています。

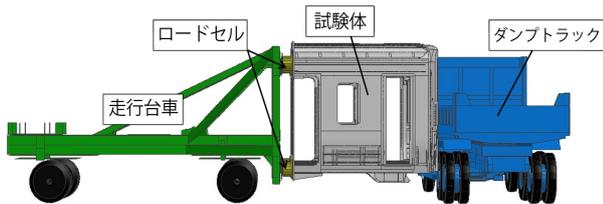


図1 試験体とダンブトラックのFE解析モデル

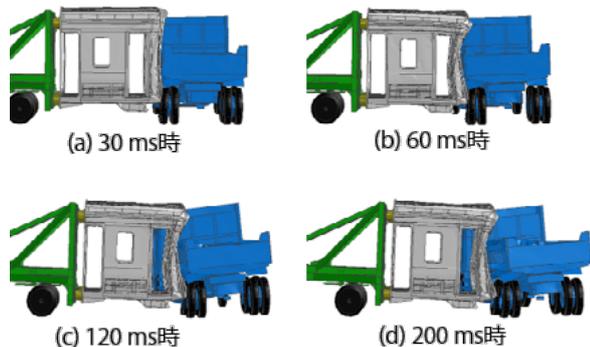


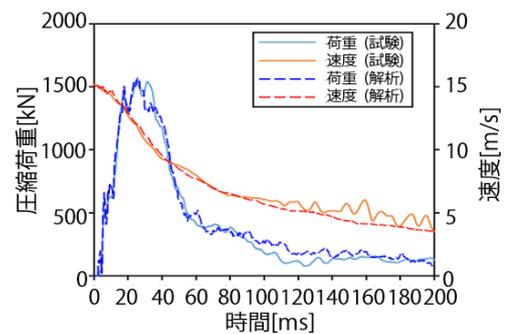
図2 衝突試験を模擬した解析結果  
(試験体とダンブトラックの変形挙動)

このモデルを用いて衝突試験を模擬したFE解析を実施しました。試験体およびダンブトラックの変形状況の解析結果を図2に示します。また、図3(a)に試験体の圧縮荷重および速度の時刻歴の解析結果を、図3(b)に試験体のまくらばり直上床面位置(A-1およびA-1')における加速度の時刻歴の解析結果を試験結果とあわせて示します。図2と前号で示した試験結果を比較すると、時系列での試験体の変形状況やダンブトラックの挙動がほぼ一致しました。試験において、貫通路フレームの中央部が前後方向に押し込まれた最終的な変形量は514 mmでしたが、300 ms時での解析結果は488 mm(最終変形量の95%)であり、概ね一致していると考えられます。

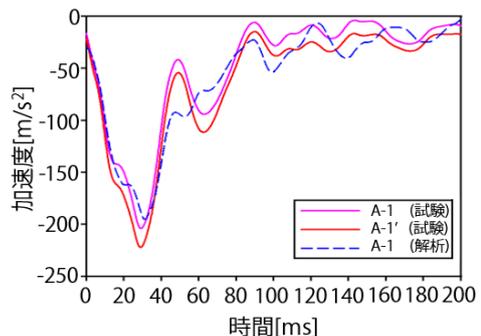
図3(a)の解析結果(破線)と試験結果(実線)を比較すると、圧縮荷重および試験体速度の時刻歴も良く一致しました。圧縮荷重の最大値は1572 kNであり、誤差は1.2%でした。図3(b)より、A-1における減速度波形は、最大値を含む40 ms程度までは良く一致しましたが、40~80 ms程度における減速度の変動が再現できず、80 ms以降の定常状態は概ね再現できました。全体的な傾向は概ね一致したと考えます。

### 3 実際の試験体高さでの衝突挙動の推定

前号で示した通り、衝突試験では安全への配慮のため、試験体の台枠底面の地上からの高さは実際の高さより



(a) 圧縮荷重と試験体速度の時刻歴



(b) 試験体の加速度(A-1)の時刻歴

図3 試験結果と解析結果の比較

390 mm 程度低い条件（以後、試験条件）で試験を実施しました。試験体が実際の高さだった場合の衝突挙動を確認するために、試験体高さを実際の高さとした条件（以後、実高さ条件）および実高さ条件に、列車一両の条件を加えたより実際の車両に近い条件（以後、実車条件）で FE 解析を実施しました。列車一両モデルの総質量は 30.6 トンとしました。

試験体およびダンプトラックの 200 ms 時での変形状況について、実高さ条件および実車条件での解析結果を、図 4 に示します。図 2 (d) と比較すると、試験体の沈み込みおよびダンプトラックの傾きが小さくなりました。これは、試験条件では比較的強度の高い台枠よりもダンプトラックの荷台が上方に位置する乗り上がり条件での衝突であったのに対し、実高さ条件では台枠の高さが相対的に高くなり、乗り上がり量が低下したためと考えられます。また、列車質量が増加したことにより、図 4 (a) と比較して図 4 (b) の方が試験体の変形量が大きくなりました。

試験体とダンプトラックの接触荷重の時刻歴、および試験体の加速度の時刻歴について、解析条件間で比較した結果をそれぞれ図 5 (a) および図 5 (b) に示します。まず、衝突高さによる影響については、図 5 (a) より、実高さ条件では試験条件と比較して、圧縮荷重は 45 ms 程度までは小さくなり、45 ~ 100 ms までは大きくなりました。

また図 5 (b) より減速度は、試験条件で最大値 195  $m/s^2$  程度であったのに対し、実高さ条件では 160  $m/s^2$  程度と小さくなり、全体の傾向は接触荷重と同様となりました。試験条件では試験体の台枠近傍がタイヤホイールに衝突し、タイヤホイールを介してダンプトラックの駆動装置などの重量物が台枠近傍に荷重を负荷したのに対し、実高さ条件ではタイヤホイールとの接触はなく、

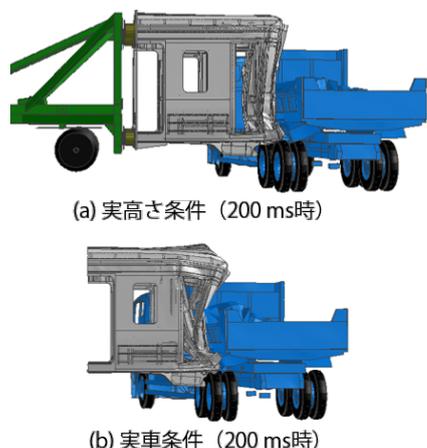


図 4 実高さ条件および実車条件での解析結果 (変形挙動)

ダンプトラックの荷台との接触による荷重負荷が主であったためと考えられます。

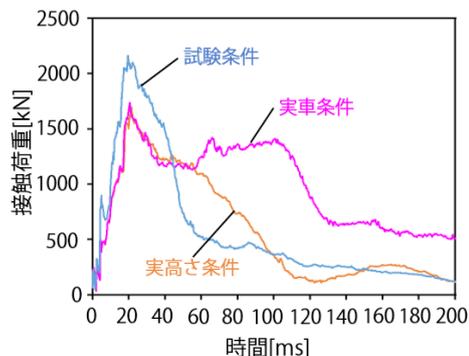
次に、列車質量の影響については、図 5 (a) より、試験体とダンプトラックの接触荷重は、最大荷重値を含め 56 ms 程度まではほぼ一致し、実高さ条件では荷重が徐々に低下するのに対し、実車条件では荷重を維持する結果となりました。一方、図 5 (b) より減速度は、実高さ条件で最大値 160  $m/s^2$  であったのに対し、実車条件では 51  $m/s^2$  と 32% 程度となりました。

#### 4 まとめ

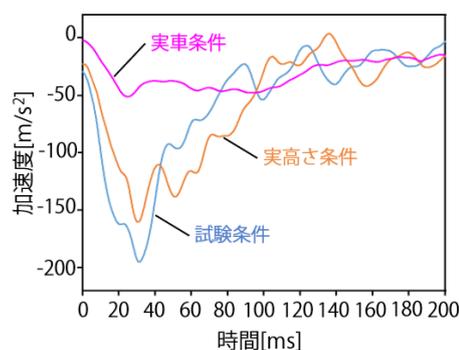
前号で紹介した試験体（車体構体）を大型ダンプトラックの側面に衝突させる試験を模擬した有限要素解析を実施し、試験結果と解析結果が良く一致することを示しました。また、試験体モデルを拡張して実車モデルとし、実際の事故を想定した衝突解析を実施し、変形挙動、衝撃圧縮荷重、衝撃減速度の時刻歴を推定しました。本研究で構築した列車と大型ダンプトラックとの踏切事故解析モデルを用いて、今後も様々な衝突条件下での検証を進め、衝突事故時に乗客や乗務員の被害を軽減するための車両の設計指針の検討を進めていく予定です。[N]

#### 参考文献

- 1) 沖野友洋, 永田恵輔, 高野純一, 小林秀敏: ステンレス鋼製鉄道車体構体とダンプトラックの実車を用いた衝突試験と FE 解析, 日本機械学会論文集, Vol.87, No.902, 2021



(a) 試験体とダンプトラックの接触荷重の時刻歴



(b) 試験体の加速度 (A-1) の時刻歴

図 5 試験条件, 実高さ条件, 実車条件での解析結果の比較



## 研究&開発

### 超音波でブレーキ材の 摩耗を捉える

車両技術研究部 ブレーキシステム  
主任研究員 嵯峨 信一

#### 1 はじめに

通学や通勤で利用する鉄道車両のブレーキには様々な材質や形状をした制輪子（車輪踏面に押し当てるブレーキ材）が使用されています。その理由としては、鉄道事業者の要求仕様（走行線区条件や車両性能諸元などに基づく）に応えるべく、製造メーカーがノウハウをつぎ込んで調整したことが挙げられます。一方で、制輪子の摩擦表面で起きている現象を直接的に捉える方法がなく、従来から摩擦係数や内部あるいは表面温度のほか、振動や騒音を用いた評価などで代用しています<sup>1)2)</sup>。

また、近年は環境負荷低減への関心の高まりから、摩擦材から排出される粉じんの問題が顕在化しつつあり、欧州の自動車分野ではタイヤやブレーキから排出される摩耗粉を規制化<sup>3)</sup>する動きがあります。このため、摩擦や摩耗といった現象のメカニズムを捉えることが可能な測定・評価手法が求められています。

そこで、本研究では、物体や材料が変形するあるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを弾性波として放出する現象を利用したアコースティック・エミッション法（以下、AE法）<sup>4)5)6)</sup>に着目し、制輪子の摩耗を実験的に評価しました。

#### 2 アコースティック・エミッション法（AE法）

一般的に、振動や騒音の測定法では数Hz～数10kHzの可聴領域の信号を検出・評価しています。これに対して、AE法ではいわゆる非可聴域（人は聞こえない）である超音波領域を対象としており、その歴史は日本では1934年<sup>7)</sup>まで遡ります。AE法は回転機械の部品や土木構造物などの破壊検知で幅広く使われており、近年ではIoT（モノのインターネット）を活用した状態監視システムなどへの適用が拡大しています。

一方、摩擦材の関連ではこれまで報告事例がほとんどなかったブレーキ材への適用研究<sup>8)</sup>も報告されており、小型試験片による評価で一定の成果が得られてい

ます。

踏面ブレーキの制輪子とその内部を伝わる弾性波のイメージを図1、センサで測定されるAE信号のイメージを図2に示します。制輪子の摩擦面では無数の微視的な破壊や摩耗が次々と繰り返し生じ、明瞭なAE信号が得られる可能性が期待できます。

一般に、き裂のAE信号は突発型波形であることが知られていますが、制輪子では連続型波形を示しました。また、学術的知見によると、AE信号の最大振幅は摩擦力と、実効値は摩耗との関連があるといわれています<sup>4)</sup>。

#### 3 実物大の台上ブレーキ試験

最も汎用性の高い制輪子である合成系について、弾性波を検出するAEセンサを制輪子の上部に貼り付け、実物大の台上ブレーキ試験を実施し、摩耗量の比較評価を行いました。試験は、乾燥条件で初速度35、65、95km/hから最大ブレーキ相当を複数回繰り返して、その際の摩耗量とAE信号を測定しました。

摩耗量の比較結果を図3に示します。初速度を基準とする従来手法とAE信号を基準とするAE法はそれぞれの指数関数で近似できますが、各速度の結果をみると、従来手法のグラフでは“ばらつき”が見られません。また、同一のブレーキ条件（初速度と押付力）を数百回繰り返して実測した摩耗量を用いて近似式を求

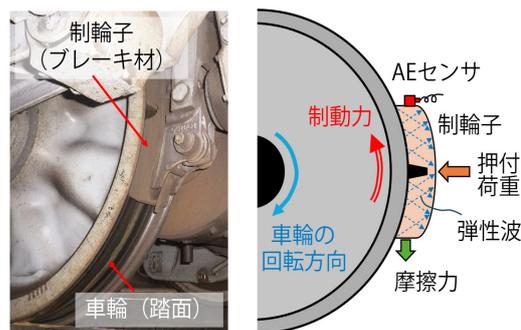


図1 踏面ブレーキの制輪子と弾性波のイメージ

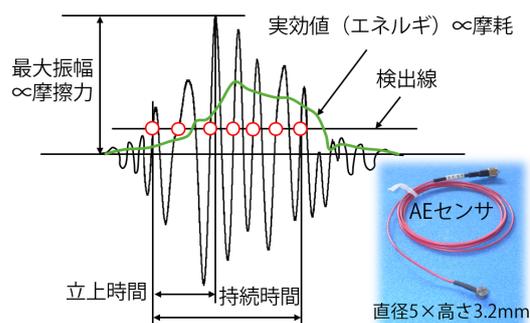


図2 AE信号（突発型）のイメージ

めるため、条件と摩耗量が一对一の関係となります。

一方、AE法では、取得したAE信号積分値[V・s]（最大振幅の時間積分）に応じた推定摩耗量を、ブレーキ試験の都度（1回あたり）求めることができます。

ここで、各指数近似式から求めた推定値と実測値の比（相対誤差）および両者の特徴を図4に示します。これらの結果から、AE法の優位性が分かるほか、積分値が瞬間値の総和である理屈を利用すると、瞬間的な摩耗量も精度よく推定できることが分かります（図5）。

前述したように、近年、顕在化しつつある摩擦材から発生する粉じんの問題に対して、微粒子数による計測評価や粉じんを可視化した画像解析などによる評価の研究がさかに行われていますが、いずれも飛散・浮遊する粉じんの捕集が課題となっています。このような課題に対しても、AE法は有効な手段と考えられます。

#### 4 おわりに

本研究では、鉄道車両用ブレーキ材の摩耗量を把握するために、超音波を利用したアコースティック・エミッション法(AE法)を適用した事例を紹介しました。

摩耗量を評価する従来手法では、数百回におよぶ相当数の試験を繰り返しこなす必要があり、時間的・人的コストの増大を招くほか、摩耗量はあるブレーキ条件により一通り（一对一）で決まるため、瞬時的な摩

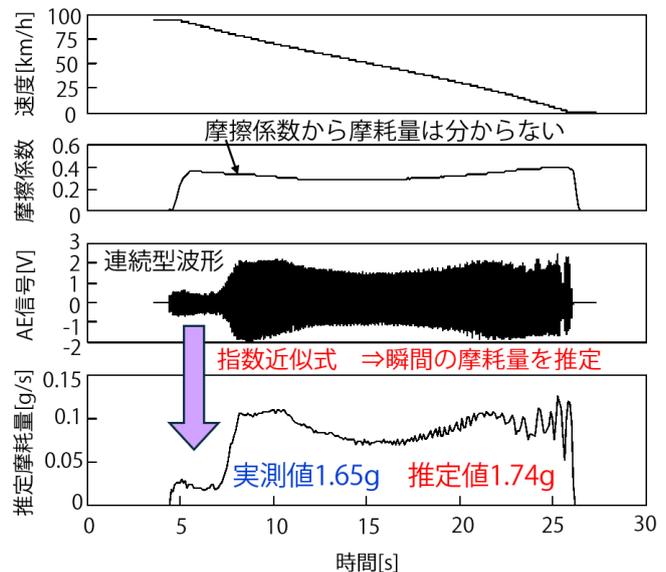
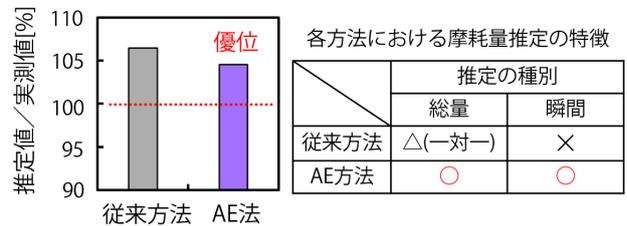
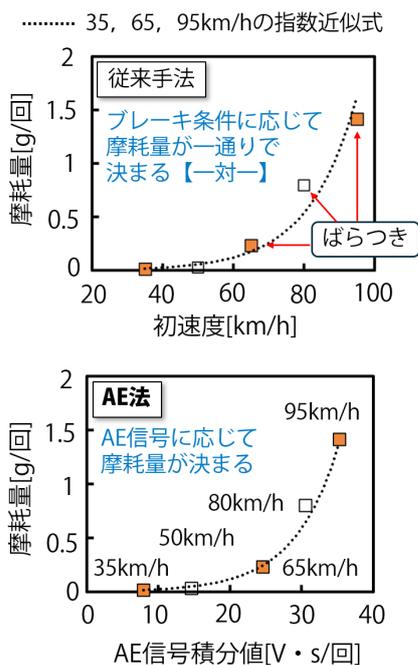
耗量を推定することが困難でした。

一方、AE法では、これまで困難とされた摩耗量（総量、瞬間）の推定に加えて、実車両への適用が期待できます。さらに、摩耗の少ない制輪子の研究開発や効果的なブレーキ操作方法といった応用展開も考えられます。

今後は、複数個のAEセンサを用いた際の影響を調べるほか、AEセンサの使用温度限界（～80℃）を超えた新たな測定方法を検討します。[N]

#### 参考文献

- 1) 嵯峨信一ほか：車輪への熱負荷軽減と制動性能を両立した合成制輪子の開発，鉄道総研報告，Vol.27，No.5，pp.35-40，2013
- 2) 嵯峨信一ほか：冬期走行環境を模擬した制輪子のブレーキ性能評価手法，鉄道総研報告，Vol.33，No.3，pp.17-22，2019
- 3) 環境省：排出ガス規制に関する欧州の動向について，<https://www.env.go.jp/council/07air-noise/【65-sannkou】.pdf>（入手日：2024年2月19日）
- 4) 日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッション試験Ⅱ，2008
- 5) エヌエフ回路設計ブロック：AEの基礎と測定方法，2018
- 6) 長谷亜蘭：アコースティックエミッション計測の基礎，精密工学会誌，Vol.78，No.10，2012
- 7) 岸上冬彦：破壊の進行に関する一実験，地震，No.6，pp.25-31，1934
- 8) 長谷亜蘭ほか：アコースティックエミッション計測による自動車用ブレーキ材の摩擦特性評価，日本機械学会 第25回交通・物流部門大会（TRANSLOG），No.1214，2016





## レポート

### 第20回国際輪軸会議 (IWC 2023) に出席して

車両技術研究部 車両強度  
主任研究員（上級） 牧野 一成

#### 1 はじめに

少々前の話になりますが、2023年5月8日～11日の日程で、第20回国際輪軸会議（20th International Wheelset Congress, IWC 2023）がアメリカ合衆国のシカゴで開催されました。以前、2010年夏号でも、南アフリカのケープタウンで開催された第16回国際輪軸会議の様子をお伝えしましたが、今回改めて報告したいと思います。

#### 2 会議概要

国際輪軸会議は1963年に第1回がイタリアで開催されて以降、ほぼ3年に1回の頻度で開催されています。上記の2010年以降では、2013年にウクライナのキーウ、2016年に中国の成都、2019年にイタリアのベネチアで開催され、今回はコロナの影響などもあり4年ぶりの開催となりました。会議の会場は、シカゴの中心部から少し北に位置する「The Drake」というヒルトン系列のホテルでした。会場の写真（外観とメインホール）を図1に、会議の概要を表1に示します。今回は、当時の事情で中



図1 会場の写真（外観とメインホール）

国が不参加となったため、参加者数は若干少なかったようです。

#### 3 発表内訳

発表の内訳を図2に示します。開催国はアメリカでしたが、地域別ではヨーロッパからの発表が最も多数でした。発表者の所属別では、メーカー／企業の発表がほぼ半数でした。発表の対象は当然ながら車輪、車軸、および輪軸が中心で、ブレーキや車輪／レールの接触などの発表もありました。内容別では、強度・損傷に関するものが最も多かったですが、検査・メンテナンス、設計・開発、摩耗・変形など、バランスの取れた構成でした。

#### 4 発表内容の紹介

私は、非破壊検査の研究者として、「Examination of Phased Array Ultrasonic Flaw Detection in Railway Axles」（車軸のフェーズドアレイ超音波探傷検査の実験的評価）のタイトルで発表しまし

表1 IWC2023の概要

開催期間	2023年5月8日～11日（4日間） ・レセプション：5/8 夕方 ・会議：5/9～11 AM ・テクニカルツアー：5/11 PM
開催場所	シカゴ（アメリカ合衆国） The Drake ホテル
発表件数	69件（約20カ国より、すべて口頭発表） 日本：4件（鉄道総研3、日本製鉄1）
参加者数	200名程度

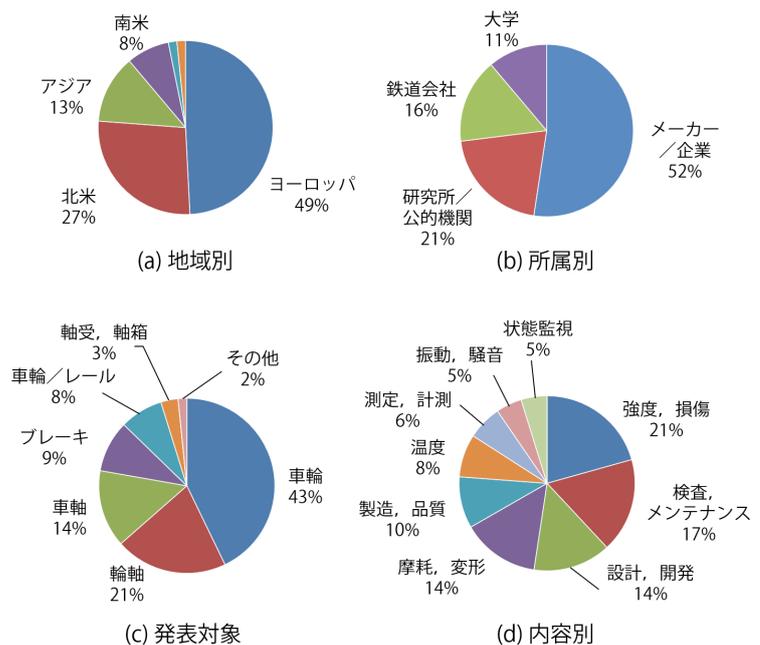


図2 発表内訳

た。輪軸の非破壊検査に関しては、イギリスの Peak to Peak 社の発表<sup>1)</sup> (レール・車輪に貼付した超音波センサで車輪-レールの接触を常時監視し、転がり接触疲労を防止する取組み)、アメリカの MxV Rail 社の発表<sup>2)</sup> (車両の入出場線のレールに取り付けられた電磁超音波センサによる車輪踏面の非接触での検査事例)、アメリカの Standard Steel 社の発表<sup>3)</sup> (渦電流センサを用いた貨車用車軸の探傷) などがありましたが、件数は少ない印象でした。

他の分野に目を向けると、アメリカの BNSF 社の発表<sup>4)</sup> では、車両の側面や床下の画像に対してマシンビジョン (画像処理技術) を適用し、車輪踏面や軸受の異常を判定する技術が紹介されました。今回は、AI や機械学習に関する発表はそれほど多くありませんでしたが、今後は増えるものと予想されます。ドイツの GHH-BONATRANS 社の発表<sup>5)</sup> では、車軸-車輪のはめ合い部におけるトルクの伝達効率を向上させるため、車輪の内径面と車軸の外径面に非鉄金属を熱スプレーでコーティングする事例が報告されました。圧入力 EN 規格の規定内で、圧入・圧抜き後の「かじり」などのきずの発生もなかったとの記述があり、日本においても何か応用できそうな内容かもしれません。

## 5 テクニカルツアー

会議最終日の午後に行われたテクニカルツアーでは、シカゴの中心部から少し南側にある、アメリカの鉄道運営会社 (アムトラック) の車両検修工場を見学しました。工場の建屋外には輪軸が所狭しと並べられており (図 3)、建屋内には機関車・客車の床下車輪旋盤などが設置されていました。また、日本の「5S」のような安全を喚起する看板が掲出された場所もあり、日本との共通点も探せばいろいろあるように感じました。



図 3 車両検修工場内の輪軸

## 6 会議以外の話題

シカゴの中心部には、シカゴ各所を放射状に走るシカゴ交通局 (CTA) の路線が集約する「Loop」と呼ばれる環状の高架線があります。車両が急曲線を曲がりながら、街なかの高層ビル群を縫うように走る姿は、シカゴ独特の光景と言えます (図 4)。また、「クラウド・ゲート」という勾玉のような形状のオブジェは、表面が鏡状で、周囲の景色が不思議な感じで映り込んでおり、観光客で賑わっていました。会議会場近くのビルの展望台「360 CHICAGO」は、窓ガラスの部分が斜め前方にせり出して展望できるようになっており、こちらも訪れる価値がありそうです。

## 7 おわりに

このレポートでは IWC 2023 の会議の内容を中心に紹介しましたが、シカゴの雰囲気の一部も感じて頂ければ幸いです。余談ですが、会議初日が新型コロナの 5 類移行と同じ日で、その前後の海外出張とあって行けるかどうか分からない中で準備を進め、結果的には何事もなく無事に終了し、今となってはいい思い出です。次回開催場所は原稿執筆時点では未定ですが、出席が叶えば、またどこかの場で紹介したいと思います。NL

## 参考文献

(いずれも Proceedings of 20th IWC (2023) より)

- 1) H. Brunskill et al., A novel wheel mounted sensor technology for VTI measurements and monitoring.
- 2) A. Poudel, EMAT NDE for in-motion wheel defect detection.
- 3) J. Galbraith et al., Advantages of damage tolerant approach using automated eddy current nondestructive inspection of freight car axles.
- 4) M. Baldwin, In-service freight car wheelset monitoring.
- 5) T. F. LEHNERT et al., Increasing the transmissibility of high torsional moments by special metal coatings in press fits of wheelsets.



図 4 シカゴ中心部の Loop を走行する CTA 車両

車両ニュースレターは季刊（1，4，7，10月発行）です。  
次の2025年春号は，2025年4月25日に発行します。

鉄道総研 車両**ニュースレター**

車両技術研究部／材料技術研究部／鉄道力学研究部

● 2025年冬号 No.69	● 発行日 2025年（令和7年）1月24日（金）
● 発行所  公益財団法人鉄道総合技術研究所 車両技術研究部	
〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL) 042-573-7269	
鉄道総研 URL) <a href="https://www.rtri.or.jp">https://www.rtri.or.jp</a> <input type="text" value="鉄道総研"/> <input type="button" value="検索"/>	
● 発行者 瀧上唯夫	
● 編集者 山下道寛・牧野一成・渡邊有人・小笠原柚	©Railway Technical Research Institute