

秋
2025

- クローズアップ ① 車両と橋りょうの架け橋
- 研究&開発 ② 落葉による車輪空転のメカニズム
- 研究&開発 ④ 環境性能向上を追及する新たな付随車ブレーキ
- リポート ⑥ ESARS-ITEC 2024 参加リポート



車両と 橋りょうの架け橋

鉄道力学研究部 部長
池田 学



私は、4月より鉄道力学研究部長を務めています。もともとは土木施設の橋りょうが専門です。鉄道力学研究部では、車両・軌道・構造物、車輪・レール、パンタグラフ・架線等の接触現象や相互作用に関わる研究開発を多く行っています。ここでは複雑な現象には立ち入らず、“橋りょう”の観点から、“車両”との関わりについて、最近の取組みを含めいくつか書きます。

橋りょう上を列車が走行すると、橋りょうはたわみます。低速時は車両と橋りょうの相互の影響は小さいですが、高速になると共振する可能性があります。列車が一定速度で走行すると橋りょうは周期的に加振されます。共振はその際の振動数と橋りょうの固有振動数が一致する場合に生じます。顕著な状態になると、橋りょうのたわみ振動が大きく（図1）、列車の揺れも大きくなり乗り心地も悪くなる恐れがあります。列車と橋りょうの動的相互作用を考慮した解析によると、これらの質量比や特性により挙動が変わり、例えば比較的軽い橋りょうでは、車両のまくらばねの減衰を大きくすると橋りょうの動的応答も抑えられます。今後は、特に共振時には、これら相互の影響

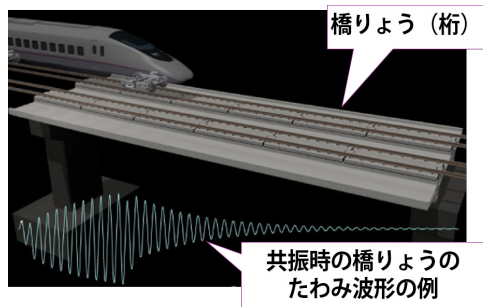


図1 橋りょうの共振状態

響を考慮して評価する必要があると考えています。

地震時に橋りょう上の車両が脱線しないようにすることは大事ですが、一般的な橋りょうでは、大規模地震時にも脱線しないようにすることはかなり難しいのが実状です。しかしながら、列車と橋りょうの動的相互作用解析によると、橋りょうを免震化して、車両の走行安全性が相対的に低い1秒前後の周期帯を避けて、固有周期2秒以上に長周期化させると、相当な大きさの地震に対しても走行安全性を確保できるようになります。このように、車両と構造物の動的特性を踏まえると、地震時の走行安全性をさらに高めることができると考えています。

橋りょうの維持管理の効率化を目指し、軌道検測車の軌道変位等の車上の計測を用いて、橋りょうのたわみの推定や、支承のあおりという異状の検知の開発にも取り組んでいます（図2）。最近、営業車両でカメラやセンサにより架線や軌道状態をモニタリングする技術開発が進められていますが、さらに橋りょうまでモニタリングできると、現地での検査の労力が大幅に軽減され、維持管理の効率化が図れることが期待されます。

より優れた鉄道システムの実現には、車両と橋りょう（構造物）のみならず、軌道や電車線路設備等の分野が連携して取り組むことが不可欠です。そのためには、車両と橋りょうをつなぐ架け橋、さらに異分野間の架け橋となる意識を持ちながら研究開発を進めることが大切です。私自身もこの意識をもって業務に取り組んでいきます。今後も、引き続き、ご協力をお願い申し上げます。

NL

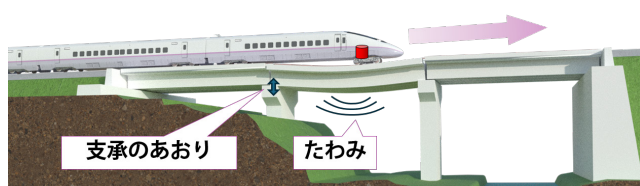


図2 車上計測による橋りょうモニタリング



研究&開発

落葉による車輪空転のメカニズム

材料技術研究部 潤滑材料 副主任研究員
生駒 一樹

1 はじめに

山間線区では、軌道周辺に堆積した落葉が列車通過時にまきあげられ、車輪とレール間に介在すると、粘着力が著しく低下することが知られています¹⁾。特に勾配区間では、車輪とレール間の粘着力低下により車輪の空転が発生しやすくなるため、列車が進めず、遅延や運休などの支障を引き起こす恐れがあります。そのため、落葉による車輪とレール間の粘着力低下は、山間線区を保有する鉄道事業者にとって重要な問題となっています。

本稿では、山間線区で見られる軌道の状況や、落葉の介在により車輪とレール間で低粘着となる現象の解明に向けた取り組みを紹介するとともに、これらを防ぐための対策法の開発状況について紹介します。

2 黒色皮膜形成の要因とそのメカニズム

粘着力が低下する現象が発生した線路の状態を調査した結果、車輪通過直後のレール頭頂面上には、車輪踏面による落葉の踏み跡(図1(a))の形成が確認されています。さらに、踏み跡を車輪が通過すると、踏み跡が車輪へ転写したり、引き延ばされたり、また様々な環境にさらされるなどして、結果的に最大数十kmにわたって断続的にレール頭頂面が黒くなることも確認されています(図1(b))。図1(b)のようなレール

ル頭頂面上に形成されている落葉由来の黒い付着物を黒色皮膜と呼んでおり、粘着力低下の主な原因と考えられています。黒色皮膜の形成には、沿線樹木の種類、地形などの沿線環境や列車の運行頻度(通過軸数)などの運転条件が影響をおよぼすと考えられています。国内の山間線区においてみられる樹木には、ブナやコナラなどの落葉広葉樹と、スギやヒノキなどの常緑針葉樹があります。一般に、落葉広葉樹が沿線に多く見られる線区では、晩秋の落葉時期に、黒色皮膜が形成されることが多いですが、常緑針葉樹が沿線に多く見られる線区では、台風や低気圧の通過に伴う強風や冬季の降雪などの一時的な気象現象により、多量の枝葉が落下した後に形成される傾向があります(図2)。

また、落葉による車輪の空転は、早朝の時間帯に比較的多く発生することが分かっています。気温が低下する早朝では結露が生じやすく、レール頭頂面が湿潤状態になりやすいため、粘着力が低下しやすいほか、黒色皮膜の形成も促進されと考えられます。実際の現場でも、踏み跡が車輪によって引き延ばされ、大気中の水分と反応しながら、黒色皮膜へと変化していると考えられます(図3)。

3 落葉介在時のレールと車輪間における接線力係数

車輪とレール間に落葉が介在した際の影響を評価するため、小型の二円筒転がりすべり摩擦試験機を用いて接線力係数の測定を行いました。この装置は、実物の車輪とレールから切り出した円筒形の試験片同士に任意のすべり率・荷重・回転数を付与して摩擦試験ができる試験機です。試験では、落葉を数種類用意し、ならし試験として、すべり率0%の純転がり条件で数分間、両試験片を接触させました。ならし試験開始時には薄片状だった落葉は、ならし試験終了時ではペー



(a) 落葉の踏み跡



(b) 黒色被膜

図1 落葉最盛期におけるレール頭頂面の状況



図2 常緑針葉樹の落葉
(台風通過直後)

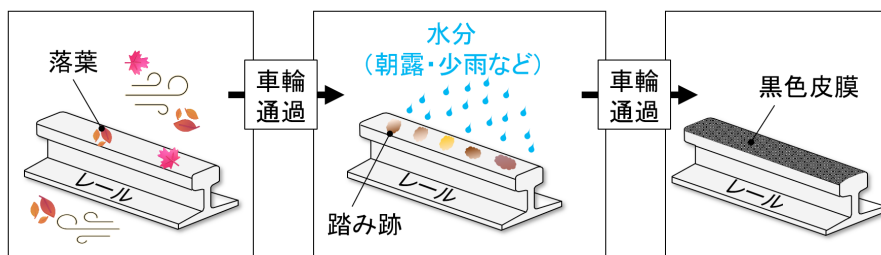


図3 黒色皮膜の形成メカニズム

スト状となり表面に黒色皮膜として形成されています(図4上)。その後、本試験として、すべり率3%で摩擦試験を実施しました。本試験における接線力係数は、乾燥・湿潤条件によらず、落葉が介在した方が、落葉が介在しなかったときに比べて低くなることがわかりました(図4下)。これは落葉をもとに形成された黒色皮膜が車輪とレール間の粘着力低下に寄与していることを示しています。

4 落葉による低粘着を防ぐための取り組み

落葉によって車輪とレール間での低粘着を起こさせないようにするためには、黒色皮膜が形成されやすく、また空転が頻発する急こう配区間沿線の樹木を伐採することが根本的な対策方法ではありますが、全区間にわたって伐採することは現実的ではありません。そこで、鉄道事業者では、軌道側での対策として、定期的にレール頭頂面の研磨を実施し、落葉の踏み跡や黒色皮膜を除去する取り組み²⁾が行われています。また、車両側での対策として、車輪とレール間に珪砂やアルミナを噴射・介在させて粘着力を高める手法³⁾や、電車では主電動機のトルクを制御する「空転再粘着制御方法」⁴⁾の導入など、軌道と車両の両面で空転の防止に取り組んでいます。

落葉の最盛期には、駆動力の低下にともない速度が低下するだけでなく、最終的に停車に至る場合があります。鉄道総研では最近、車両が急こう配区間で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を開発しています。現用増粘着材の珪砂やアルミナは車輪とレール間で圧縮されると微

粉化するため、黒色皮膜などの厚い皮膜条件下では効果が低減する可能性が考えられます。そこで、新たな増粘着材として、圧縮時にも微粉化しにくい性質がある鋳鉄を採用しました(図5)。なお、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。

そのほか、黒色皮膜の形成には、タンニンのような落葉に含まれるポリフェノール成分とレールの鉄との反応が関与していることを解明し、この反応生成物を分解する手法としてクエン酸が持つキレート効果が有効であるとわかってきました。クエン酸水溶液を黒色皮膜に滴下することで、これまで以上に黒色皮膜を容易に除去できることが期待されており、現在、除去効果やレール頭頂面への滴下によるレール部材・信号機器への影響について研究を進めています。

5 おわりに

本稿では、山間線区で見られる落葉起因の皮膜形成メカニズムなどを紹介するとともに、これらを防ぐ取り組みと対策方法の開発状況について紹介しました。落葉による車輪とレール間の粘着力低下は、国内だけでなく海外でも長年の問題となっていますが、根本的な対策方法が確立されていないのが現状です。鉄道総研では、鉄道の安定輸送に貢献できるよう、今後も研究を進めていく予定です。NL

参考文献

- 1) 陳樺、古谷勇真、深貝晋也、嵯峨信一、村上浩一、伴巧：粘着力に対する落ち葉の影響、鉄道総研報告、Vol.31、No.4、pp.29-34、2017
- 2) 高田倫義：石北線における空転対策の取り組み、新線路、Vol.74、No.3、pp.24-27、2020
- 3) 深貝晋也：車輪の空転防止装置、RRR、Vol.78、No.4、pp.24-27、2021
- 4) 山下道寛：空転再粘着制御、RRR、Vol.71、No.8、pp.28-31、2017

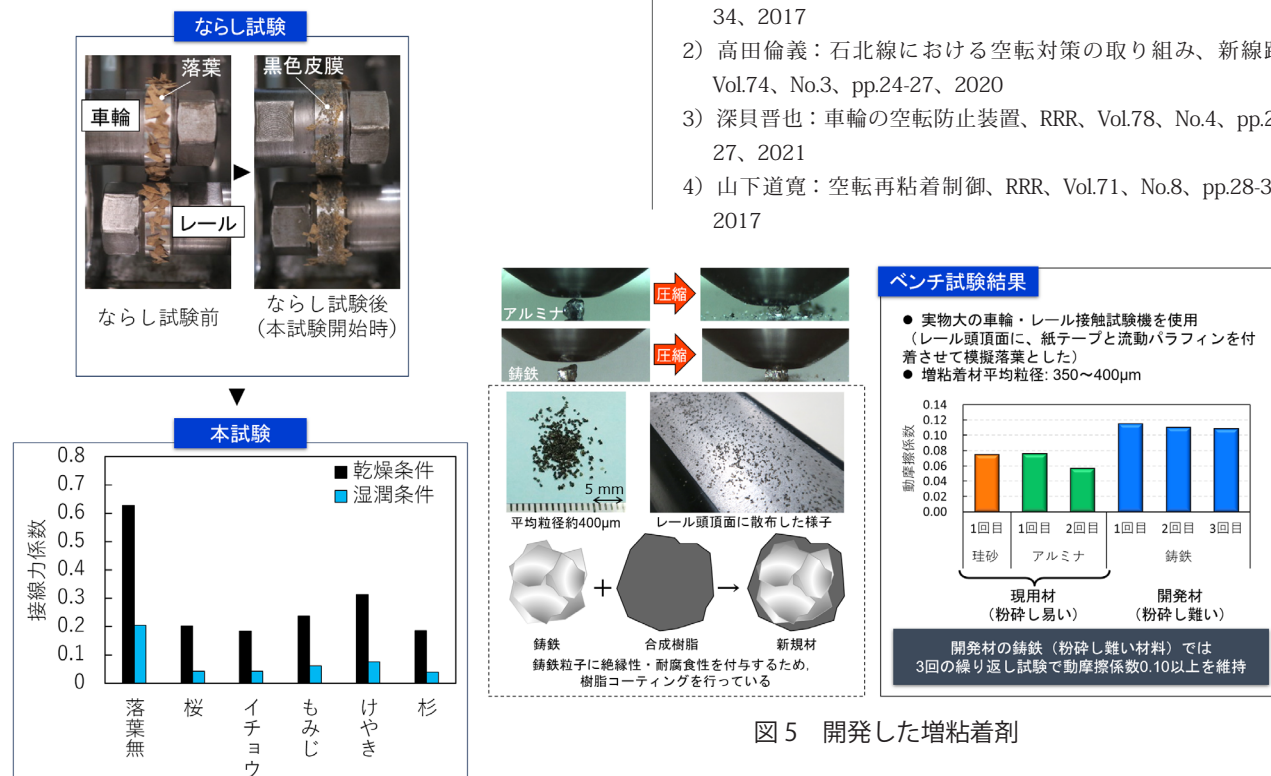


図4 落葉介在時の摩擦試験

図5 開発した増粘着剤



研究&開発

環境性能向上を追求する 新たな付随車ブレーキ

浮上式鉄道技術研究部 電磁気 上席研究員 GL
坂本 泰明

1 はじめに

鉄道車両には、迅速に減速し、安全に停止するためのブレーキ装置が必ず備えられています。ブレーキに対する性能要求は非常に高く、信頼性、省エネルギー性、経済性などが求められます。これに応えるため、鉄道車両では主に機械ブレーキと電気ブレーキの2種類が使用されています。

機械ブレーキは、地震などの緊急時に架線が停電し電気ブレーキが使用できない場合でも確実に作動するため、列車内のすべての車両に搭載が義務付けられています。一方、電気ブレーキはモーターを搭載した車両（電動車）のみで作動し、摩耗がなく、省エネ性や省メンテナンス性に優れています。

近年では、カーボンニュートラルの推進やメンテナンスの省人化が強く求められており、鉄道車両のさらなる環境性能向上が期待されています。そこで鉄道総研では、高速車両においてモーターを搭載していない車両（付随車）の機械ブレーキによるエネルギー消費と消耗品の削減を目指し、これに代わる簡易的な電気ブレーキの基礎研究を進めています。

2 高速車両の付随車ブレーキ

新幹線のような高速車両では、走行時の運動エネルギーが速度の二乗に比例して増加するため、ブレーキへの負担が大きくなります。このため、摩耗のない電気ブレーキが制動手段として適しています。初代新幹線0系では、列車内のすべての車両を電動車とし、電気ブレーキを優先的に作動させる仕組みが採用されました（た

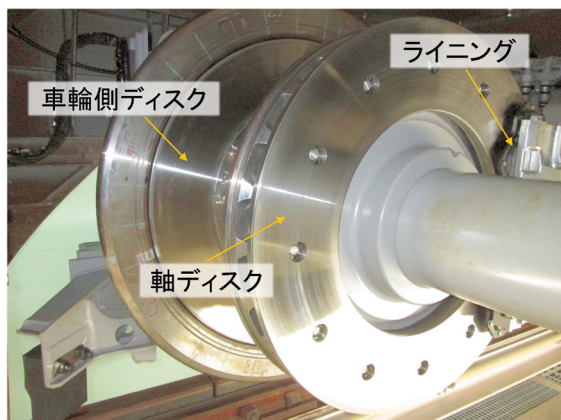


図1 付随車の機械ブレーキ

し、緊急時には機械ブレーキ）。

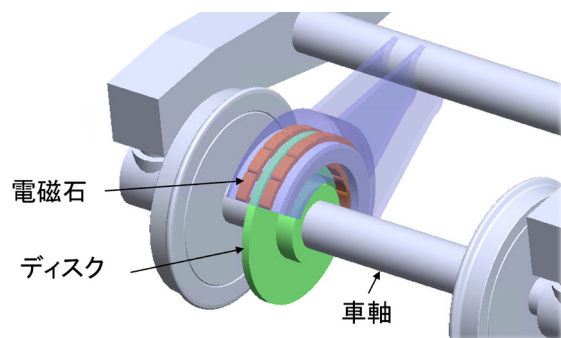
続く100系では、車両設備のコスト削減などを目的として付随車が導入されました。付随車ではモーターによる電気ブレーキが使用できないため、代替として渦電流ブレーキが採用されました。このブレーキは、車軸に取り付けられたディスクに対して隙間を介して直流の電磁石を配置し、電磁誘導によりディスクに渦電流を発生させ、電磁的な制動力を得るものです。摩耗がないという電気ブレーキの特長を備えていますが、電力回生機能はありませんでした。

その後、電動車の回生ブレーキ性能が向上したことや、車両の軽量化が進んだことから、近年、渦電流ブレーキは搭載されなくなりました。ただし、雪の多い地域を走行する列車の付随車には、車軸に機械ブレーキ（軸ディスクブレーキ、図1）を備え、回生ブレーキ力が不足した場合に機械ブレーキを併用して補う車両もあります。

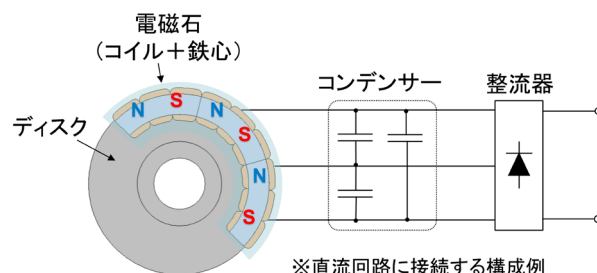
3 付随車回生を実現する非接触電磁ディスクブレーキ

前述の付随車の軸ディスクブレーキは、搭載数や使用頻度は多くないものの、使用時には運動エネルギーを摩擦熱に変換するため、ブレーキライニングの摩耗が発生してしまいます。これにより、メンテナンス負荷や環境負荷が生じます。

そこで鉄道総研では、これらの課題を解決し、鉄道車両の環境性能と省メンテナンス性を追求するため、電力回生機能を備えた非接触電磁ディスクブレーキ¹⁾を新たに考案しました（図2）。基本的な構成は渦電流ブレーキに類似していますが、三相交流の電磁石を用いるこ



(a) 装置構成



(b) 回路構成

図2 非接触電磁ディスクブレーキ

とで、従来の渦電流ブレーキでは不可能であった電力回生を可能としています。

また、付随車向けとして簡素かつ低コストであることを重視し、三相交流の通電にインバーターなどの電源装置を使用せず、安価な電気部品であるコンデンサーと電磁石による電氣的共振現象を利用して自己発電で通電する方式²⁾を考案しました。この方式が実現すれば、電源装置を必要とせずに電力回生が可能となるだけでなく、地震や停電などの非常時にも単独で安定して動作することができます。

4 設計法構築に向けた基礎検討

提案する非接触電磁ディスクブレーキは、従来の渦電流ブレーキとは通電方法や回路構成が異なるため、コンセプトの実現性を確認するとともに、設計法を基礎から構築する必要があります。

まず初めに、電磁界解析と回路シミュレーションを用いて、必要な性能が得られるかを試算しました。その結果、高速走行時の電動車とおおむね同程度のブレーキトルクが得られる見通しを得ました。次に、構成と電氣的特性が類似するリニアレールブレーキ²⁾の試験機を用いて、コンデンサーと電磁石の共振現象を利用した自己発電通電方式の検証を行いました。その結果、電源装置を用いずに通電できることが確認されました。さらに、車両内の回路に電力を回生することを模擬した基礎試験

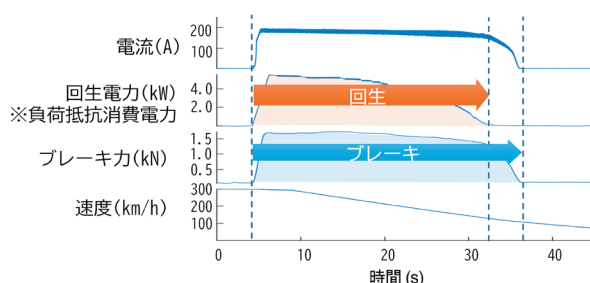


図3 自己発電通電による電力回生の検証

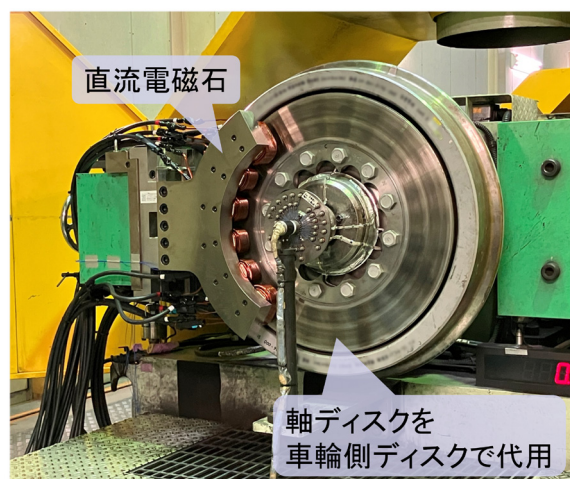


図4 基礎調査用試験機

を実施し、電力回生が技術的に成立することを確認しました(図3)。今後は、回生電力の増加に向けた技術的検討を進めていきます。

続いて、非接触電磁ディスクブレーキの基礎調査用試験機(図4)を用いて、台上試験機によるブレーキトルクとディスク温度の関係を調査しました。研究初期の基礎的な調査のため、ここでは電力回生機能を省き、直流電磁石で三相交流のある瞬間を再現した試験としました。また、軸ディスクの代わりに既存の車輪に取り付けられている車輪側ディスクを利用しました。

試験の結果、電流値を一定とすれば、ブレーキ距離への影響が大きな高速度領域のブレーキトルクについては、ディスク温度の影響が小さいことが分かりました(図5)。このことから、温度条件に左右されず、安定したブレーキ性能が得られる見込みが示されました。

5 おわりに

鉄道車両の環境性能向上と省メンテナンス性を追求する取り組みの一環として、非接触電磁ディスクブレーキの基礎研究について紹介しました。このブレーキが実現すれば、従来不可能であった付随車での簡易的な回生ブレーキを可能にするとともに、地震などの緊急時にも使用可能となります。

また、渦電流ブレーキと同様の構造が、地震時の台車逸脱を抑制する効果を持つ可能性も指摘されています³⁾。鉄道車両のさらなる安全性向上を念頭に置きつつ、環境性能の優位性を高めるべく、今後も研究開発に尽力してまいります。[NL]

参考文献

- 1) 浮田啓悟、坂本泰明、嵯峨信一：付随車回生制動の実現によりさらなる環境性能向上を目指す非接触電磁ディスクブレーキ、RRR、Vol. 82、No. 2、pp. 46-51、2025
- 2) 坂本泰明、浮田啓悟：リニアレールブレーキに向けたインバータレス励磁方法の開発、鉄道総研報告、Vol. 36、No. 6、pp. 5-11、2022
- 3) 遠見雑誌：高鐵也曾「車震出軌」這個秘密武器 救了3百條人命、<https://www.gvm.com.tw/article/37745> (入手日：2024/12/20)

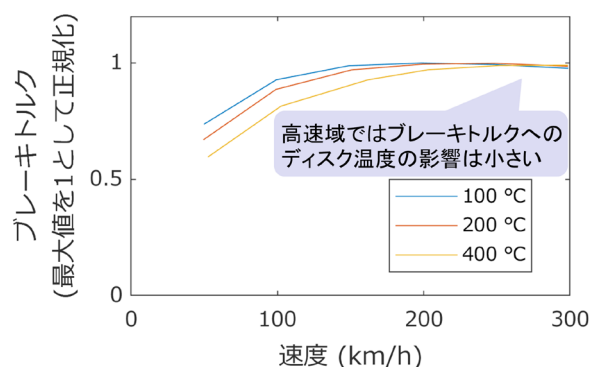


図5 ディスク温度とブレーキトルクの関係



レポート

ESARS-ITEC2024 参加レポート

車両技術研究部 駆動システム 副主任研究員
渡邊 有人

1 はじめに

昨年11月末になりますが、イタリアで開催された国際会議 7th ESARS-ITEC 2024(Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles (ESARS) and International Transportation Electrification Conference)に参加し、発表を行いました。本稿では、会議の内容や現地の様子をお伝えします。

2 会議概要と行程

ESARS-ITECは飛行機、鉄道、船舶、自動車の輸送分野における電力変換システムに関する国際会議です。コロナ禍を除き3年に一度、主に欧州で開催されており、今年はイタリア・ナポリのフェデリコ2世・ナポリ大学で開催されました(写真1)。全体の投稿数は183件、日本からの投稿はヨーロッパ以外では最も多く5.5%でした。鉄道総研からは私を含む4名が参加し、発表を行いました。期間中の行程を表1に示します。

3 会議レポート

会議初日(26日)の昼にナポリに到着したため、会

場入りはギリギリとなり時差ぼけもありましたが、リチウムイオン電池の劣化推定手法やEV用電池再利用に関する特別講演(チュートリアルセッション)があったため聴講し、その後夜に開催されたレセプションに参加しました(写真2)。港湾都市の歴史を感じる展示物や装飾品、調度品で彩られた会場の建物がとても印象的でした。

2日目(27日)および3日目(28日)は、主にキーノートスピーチや、電気鉄道のセッションを聴講しました。電気自動車の非接触給電、再エネ活用のか電システム、高速鉄道の省エネ化、気動車の蓄電池電車化改造に関する話題など、現在自身が取り組む研究に関係する興味深い研究内容について多数触れることができました。欧州からの参加者が多いこともあり、対象としている構造物や車両の規模がどれも大きく、「小型化・軽量化」が技術的な障壁として立ちはだかる事の多い日本と比べて広大な平地の多い欧州の強みを実感しました。

会議3日目の午後に"Estimating Cost Benefit of Supply-Demand Adjustment Utilizing Railway Onboard Batteries Based on their Deterioration Test"(鉄道用車載電池の劣化測定試験に基づく電力需給調整対応時の費用対効果試算)という題目で研究成果について講演しました¹⁾。鉄道総研では、鉄道による脱炭素化に向けて、地上と車載双方の鉄道用電力貯蔵装置を電力系統に組み込み、電力需給調整に対応させるための検討を進めています²⁾。そこで、需給調整を模擬した蓄電池の

表1 全体行程

2024/11/25(月)	東京・羽田発
2024/11/26(火)	イタリア・ナポリ着、国際会議レセプション参加
2024/11/27(水)	国際会議聴講
2024/11/28(木)	国際会議発表、ガラ・ディナー参加
2024/11/29(金)	国際会議の状況まとめ、ローマへ移動
2024/11/30(土)	ローマ発(機中)
2024/12/1(日)	東京・羽田着

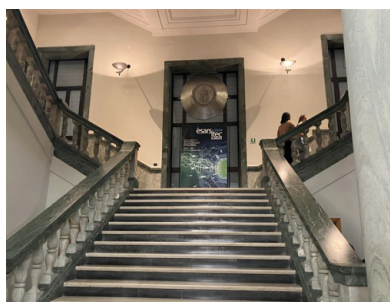


写真1 国際会議会場



写真2 レセプション会場の様子



写真3 講演の質疑応答を行う筆者(右)

充放電試験を実施し、充放電変化量（ Δ SOC）の違いによる容量減少傾向を明らかにしました³⁾。試験結果を元に、蓄電池の過度な劣化を抑制しつつ需給調整対応時の費用対効果が最大となる通電条件を導出できるようにしました⁴⁾。

講演に対して、試算時の容量減少特性パラメータをどう設定したのかという質問があり、劣化測定の試験結果を元に試算したと回答しました。これは近年シミュレーションのみに基づく研究が多いことも影響していると思います。蓄電池はとてもデリケートで、カタログスペックだけではわからないことが山積していることもあり、実験データを地道に積み重ねていくことが重要だと思います。

なお、総研参加者で私 1 人だけ伝統と歴史の重み溢れる大講堂ではなく、写真 3 のような普通の教室のようなありきたりな会場だったのが少々残念でした。

夜には、海辺の学会会場から山の上まで移動してガラ・ディナーに参加しました（写真 4）。夜景の美しい会場でのディナーは立食から始まり、屋内へ移ってからフニクリ・フニクラをはじめとするイタリア語の生歌を聴き、メインディッシュの後にまた生歌タイムという多段構えのスタイルでした。翌日もあるので最後までは残れませんでした、その盛況ぶりは深夜の海岸沿いからもはっきりと見え、まさに不夜城のごとし。

4 日目（29 日）は昼頃から、帰国に向けローマへ移動する予定でした。ところが、ナポリ市中心部で大規模なストライキがあり、地下鉄は全面ストップ。数万人ものデモ隊を横目にスーツケースを引き摺りながら、ナポリ中央駅まで約 4 km の道のりを徒歩で行くことになりました。ガラ・ディナーからの帰路、深夜に山の上の住宅街から中心部へ多数の車が移動していたことを思い出し、合点がいきました。幸いローマ方面行きの高速鉄道（写真 5）は平常運行で、無事にローマに到着することができ、日没までのわずかな時間を使って

コロッセオやトレビの泉へと足を運ぶこともできました。ローマは 1 日では到底回れないので、改めてまた訪れたいです。

4 その他雑感

ナポリは山の上に大規模な住宅街のある港町で、個人的には長崎に非常によく似た町だと感じました。物価はドイツやフランスとの比較や円安を考慮しても安いと思いましたが、これは主食が穀物メインだからかもしれません。ピザやパスタ類はどれも非常に美味しく（ビュッフェでは油断すると給仕係から大量に盛り付けられる）、日本では一度も見たことのない謎の形のパスタとの出会いも沢山ありました。また、レセプションやディナーが全くスケジュール通りに進まないという日本ではまず得られない経験もありました。これは、街中の時計がどれ一つ正しい「日時」を表示していないお国柄ゆえかもしれません。

5 おわりに

学生の頃から国際会議での発表は経験しており、場慣れもあって今回はとてもスムーズに発表できたという実感がありました。総研に入ってから共同研究に関わる機会もあり、定期的に自身の研究成果を国外で発表できる機会があるのは大変喜ばしいことです。今後も国際会議での発表に資する研究を続けていきたいと思っています。NL

参考文献

- 1) A.Watanabe and T. Yoshiaki, "Estimating Cost Benefit of Supply-Demand Adjustment Utilizing Railway Onboard Batteries Based on Their Deterioration Test." ESARS-ITEC 2024, #22 (2024.11.28)
- 2) 渡邊有人, 田口義晃, 小西武史: 鉄道車両用蓄電池のさらなる有効活用方法を考える, RRR, Vol.80, No.4, pp.20-25, (2023)
- 3) 渡邊有人, 田口義晃: 電力需給調整と高頻度力行回生の複合を想定した鉄道用車載電池の劣化傾向評価, 令和 5 年度電気学会全国大会, 5-207, (2024)
- 4) 渡邊有人, 田口義晃: 鉄道用車載電池の容量減少特性に基づく電力需給調整への対応電力量制御手法, 電学論 D Vol. 144 No. 1, pp 8-15 (2024)



写真 4 ガラ・ディナーの様子と会場からの夜景



写真 5 ナポリ中央駅で発車を待つ高速鉄道

車両ニュースレターは季刊（1，4，7，10月発行）です。
次の2026年冬号は，2026年1月23日に発行します。

鉄道総研 車両**ニュースレター**

● 2025 年秋号 No.72	● 発行日 2025 年（令和 7 年）10 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	
鉄道総研ホームページ https://www.rtri.or.jp 鉄道総研 検索	
● 発行者 瀧上唯夫	
● 編集者 山下道寛・牧野一成・松原孝聡・小笠原柚	©Railway Technical Research Institute