

操舵台車

急カーブの多い地下鉄で
騒音を低減する

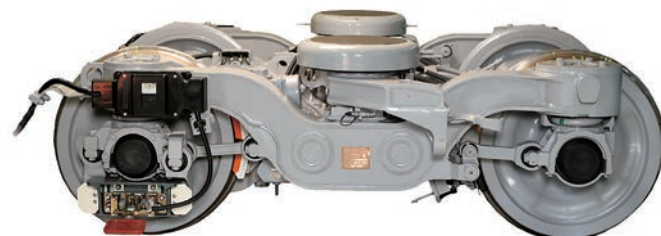
鉄道台車には2組の車輪と車軸がついていますが、車軸は台車に固定されています。曲線通過時でも車軸が平行のままなので、車輪とレールが擦れて、フランジ音(曲線走行時に聞こえる「キーツギャンギャン」という音)が発生します。この騒音や車輪の摩耗を軽減するため、日本製鉄は操舵台車を開発しました。

日本製鉄の操舵台車は、従来、台車に固定されていた車軸の向きを、レールの曲線に合わせて動かし、曲線をスムーズに走行します。その結果、フランジ音がほぼなくなり、車輪摩耗が大幅に減少しました。2012年東京メトロ銀座線1000系に国内で初めて地下鉄に採用されて以来、同丸ノ内線2000系、同日比谷線13000系、東武鉄道スカイツリーライン70000系、仙台市地下鉄東西線2000系に続き、24年には福岡市地下鉄空港線・箱崎線の新型車両4000系に導入されます。また東京都交通局大江戸線12-600形に試験導入されます。



東京メトロ丸ノ内線 2000系

©東京地下鉄株式会社

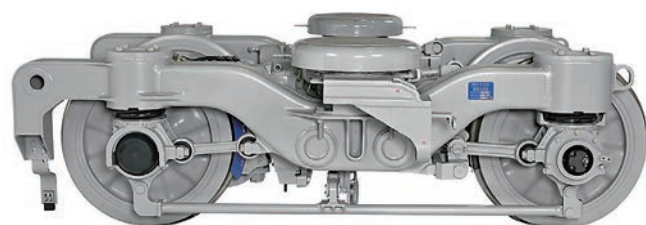


東京メトロ銀座線 1000系用操舵台車



福岡市地下鉄空港線・箱崎線 4000系

©福岡市交通局



福岡市地下鉄空港線・箱崎線 4000系用操舵台車

Point

営業路線で試験走行

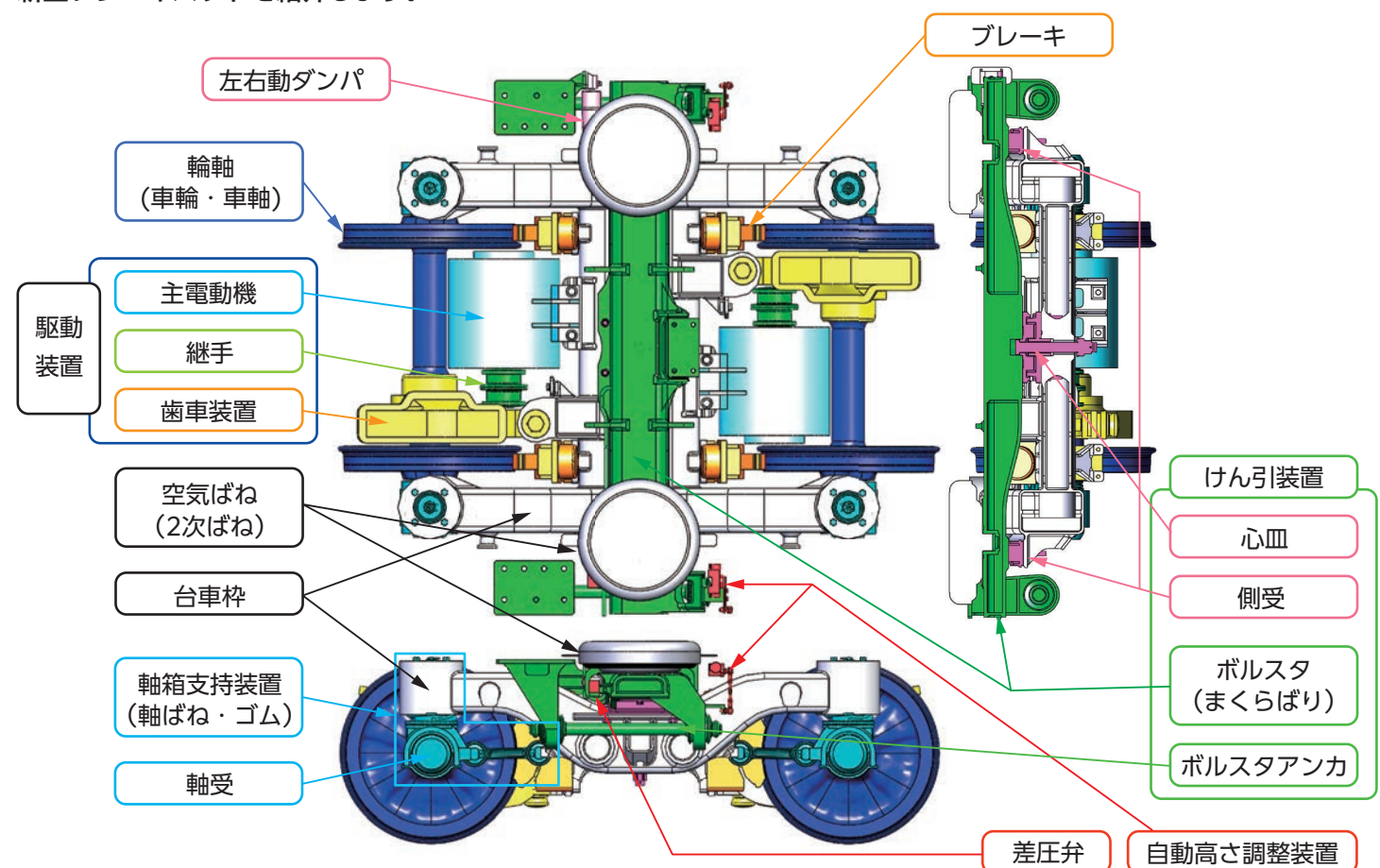
東京メトロ銀座線・丸ノ内線では、台車の軸受部に取り付けられた集電装置が、走行レールの脇に敷設されたもう1本のレール(第三軌条/給電用レール)から電気を取り入れています。操舵台車では軸受部を前後に動作させることから、新たな集電装置の保持機構が必要になりました。

日本製鉄は、東京メトロおよび集電装置メーカーと共同で、手押しのトロック台車に集電装置を設置し、約1ヵ月近い期間、夜間の終電後から始発までの間に丸ノ内線と銀座線を人力で走り、分解・調査を繰り返しながら集電装置の通過性能を確認しました。



鉄道の足元から 安全走行を支える 日本製鉄の台車技術

日本製鉄は東日本製鉄所鹿島地区(鹿嶋市)の鋼板(厚板)、関西製鉄所和歌山地区(和歌山市)の鋳片から、関西製鉄所製鋼所地区(大阪市)で鍛造・圧延・溶接・機械加工などにより、車輪や車軸、ブレーキディスク、台車枠などの鉄道車両品をつくっています。また、九州製鉄所八幡地区(小倉)(北九州市)や山陽特殊製鋼(姫路市)の線材や棒鋼からサプライヤーでコイルばね、ボルト、主軸受をつくり、これらを組み上げて鉄道台車をつくっています。強度や耐摩耗性に優れた特性を持つ材料、曲線をより安全に通過する性能や高速でも安定に走行する性能をもつ鉄道車両品の開発・設計・製造まで一貫生産できることが日本製鉄の強みです。鉄道の安全走行を支える日本製鉄の鉄道台車の技術から、操舵台車、ヤマバ歯車装置、新型ブレーキパッドを紹介します。



新型ブレーキパッド

高速化と停止距離削減を両立する



新幹線の速度向上を図るためには、高速から確実に止まることが求められています。特に地震の多い日本では、非常時により短い距離で停止できるようブレーキ性能を大幅に高めたいという安全確保に対するニーズが高まっています。

日本製鉄は東海旅客鉄道(株)(JR東海)と共同で、新幹線用

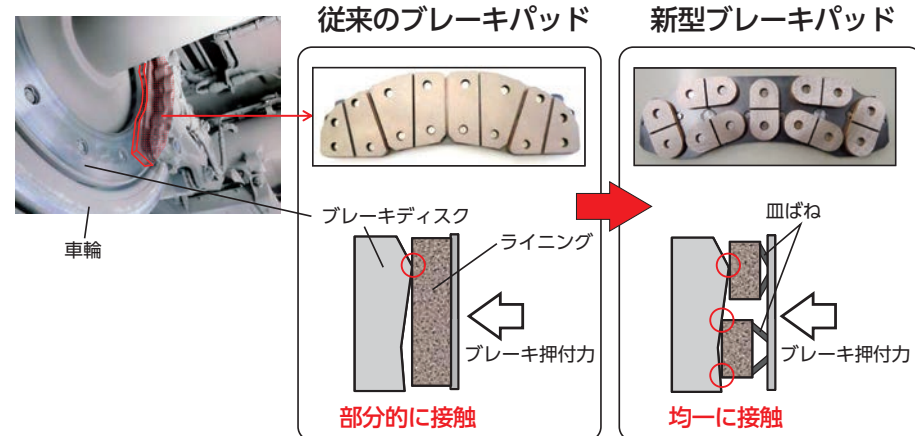
新型ブレーキパッドを開発し、令和5年度文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞しました。新型ブレーキパッドは現在、東海道新幹線全ての営業車両に搭載されており、高速化(利便性)と停止距離削減(安全性)を両立させた輸送手段の提供に貢献しています。

Point ①

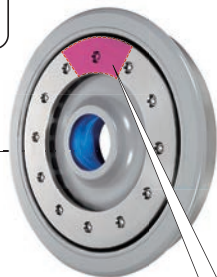
より均一に接触させる

従来のブレーキパッドは摩擦材を一体で押し当てる構造となっていますが、高速からブレーキをかけた際には、摩擦材が熱変形したディスクに追従できず部分的に接触するため、局所的な高温部(ヒートスポット)を生じ、結果としてブレーキ力の低下など、さまざまな問題を誘発していました。

そこで高速時に急ブレーキをかけた際でも、熱変形したディスクに摩擦材が追従できるように、皿ばねを搭載した新型ブレーキパッドを開発。摩擦材の位置や形状は、解析を繰り返すことで摩擦材がディスクに、より均一に接触するように設計しました。



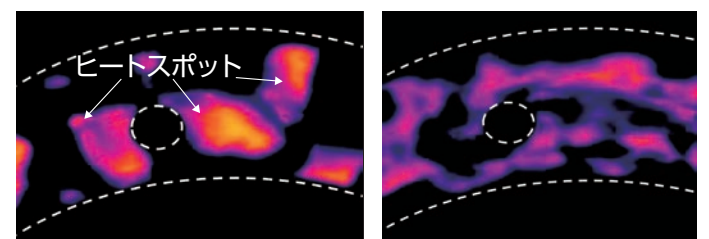
新幹線用ブレーキパッドの構造



Point ②

ヒートスポットの発生を抑える

ブレーキ試験で性能確認を実施した結果、新型ではディスク表面でのヒートスポットの発生を抑え、ディスクの表面温度を100℃以上低減できるようになり、ディスクの長寿命化につながりました。ディスクへの当たりが良くなる(分散する)ことで高いブレーキ力が得られるため、ブレーキ距離の短縮が可能となり、地震時のブレーキ距離は5%の短縮を達成しました。



低温 高温
ブレーキ時のディスク表面温度(左:従来品、右:開発品)

ヤマバ歯車装置

高速走行時の騒音を低減する

新幹線を中心に走行速度の向上が図られており、車内快適性に加え、沿線の居住環境改善に向けた騒音低減が求められています。鉄道の騒音源は多岐にわたりますが、モータの回転を車軸に伝える歯車装置から発生する音もその1つです。

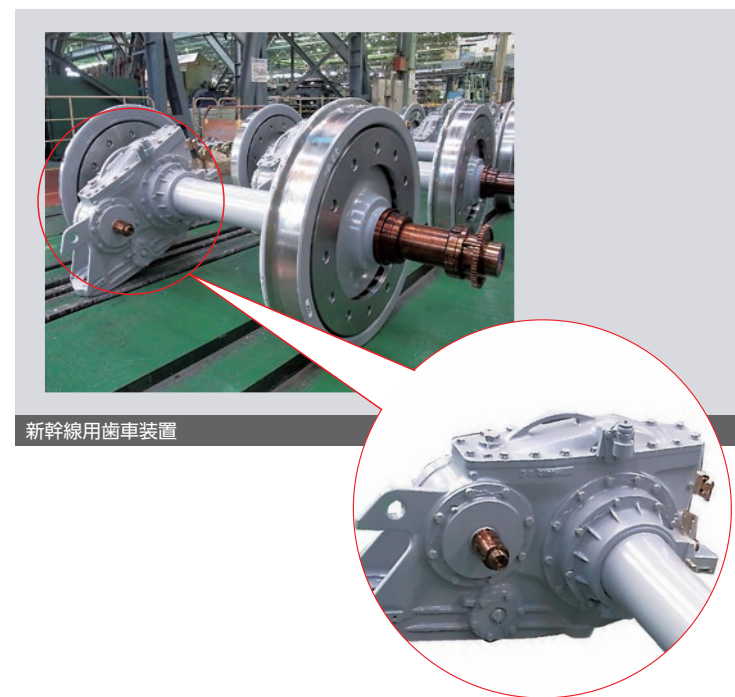
日本製鉄は、歯車のかみ合い振動を大幅低減し静粛性を大幅向上できる、歯車の歯面修形状を考案し特許化。本技術により実車両での騒音低減が実現し、鉄道会社による防音壁設置の削減の可能性など、環境対策負担が軽減されるなどの理由で高評価を得ており、幅広いユーザーの車両に低騒音駆動装置として採用されています。

さらに近年では、より信頼性向上を目指したヤマバ歯車装置を開発しました。ヤマバ歯車装置は、従来のハスバ歯車に対して歯車のかみ合いによるスラスト荷重(軸方向の荷重)が発生せず軸受への負荷を低減でき、信頼性向上、長寿命化となる特徴があります。一方で、歯車加工の特性上、歯の中央部に空間を設ける必要があり、通常のホブ加工では歯車の大型化や質量増が懸念されていました。そこで中央部の空間が省スペースとなる加工技術を開発し質量増加を抑制し、東海旅客鉄道(株)(JR東海)のN700Sに採用されました。現在、西日本旅客鉄道(株)(JR西日本)、九州旅客鉄道(株)(JR九州)のN700Sにも採用されています。



東海道新幹線 N700S

© 東海旅客鉄道株式会社

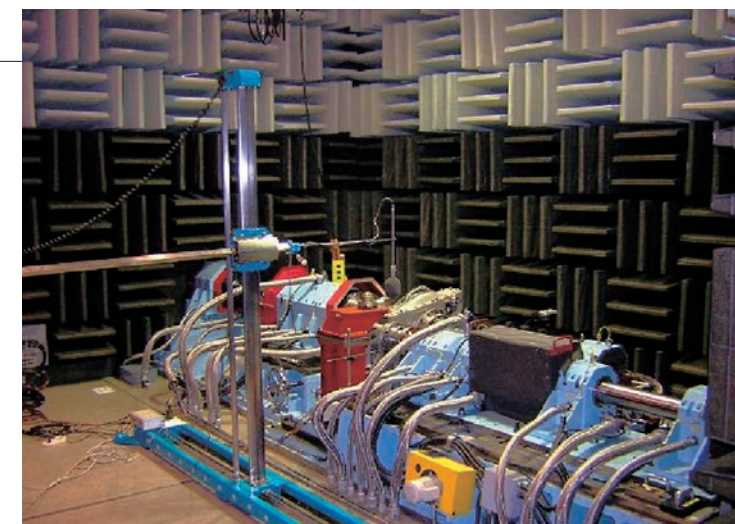


新幹線用歯車装置

Point

高速負荷回転試験機の導入

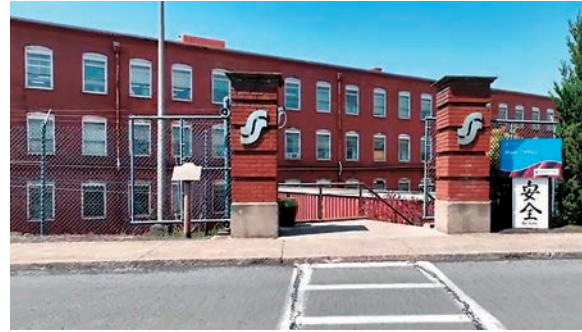
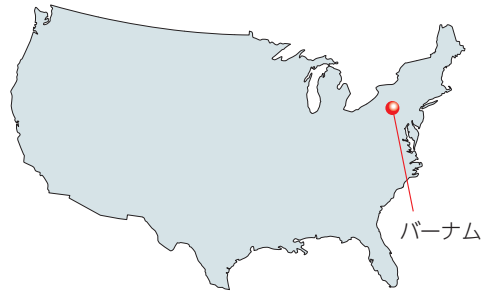
日本製鉄は歯車装置単体の騒音を評価することを目的に、世界で初めて鉄道用歯車装置専用の半無響音室を備えた、高速負荷回転試験機を導入。この試験機により、騒音発生要因となる歯車のかみ合い音の発生メカニズム、歯面修整やヤマバ歯車装置による低減効果を明らかにしました。





会社概要

会 社 名：Standard Steel, LLC
所 在 地：米国ペンシルベニア州バーナム
設 立：1795年
従業員数：約620人(2024年4月現在)
事業内容：鉄道車輪・車軸の製造・販売
生産規模：車輪約26万枚、車軸約10万本
(2024年現在)



レジリエンスな製造体制で 北米の鉄道輸送を支え続ける

日本の貨物鉄道の営業路線全長約8000キロに対して、アメリカには28倍に当たる約22万4000キロもの貨物路線があります。北米で200年以上の歴史を持つスタンダードスチール社は、鍛鋼車輪・車軸製造の米国トップメーカー。北米では唯一、鍛造で車輪を製造しています。2011年、住友金属工業(株)（現在の日本製鉄）と住友商事(株)による買収を機に、製鋼所が持つオンリーワン技術(成型用回転鍛造、高纯净度化技術)を注入し、今日まで日本と同等のハイエンド製品を、高荷重貨車向けを中心とする北米市場に供給し続けています。

「2011年に住友金属工業(株)に入社し、製鋼所で車輪・車軸の製造技術に一貫して携わり、23年10月、スタンダードスチール社に赴任しました。スクラップを電炉で精錬した高纯净度鋼から、車輪と車軸をつくり分けるなかで、アメリカ人5人と日本人3人の技術部メンバーが、操業、メンテ、エンジニアと協力して、品質や生産性の向上、将来に向けた投資検討などの技術改善に取り組んでいます」(筒井俊博マネジャー)

重量物を運ぶ貨物鉄道では車輪・車軸にも大きな荷重負荷がかかるため、一層の強度・耐久性が求められます。

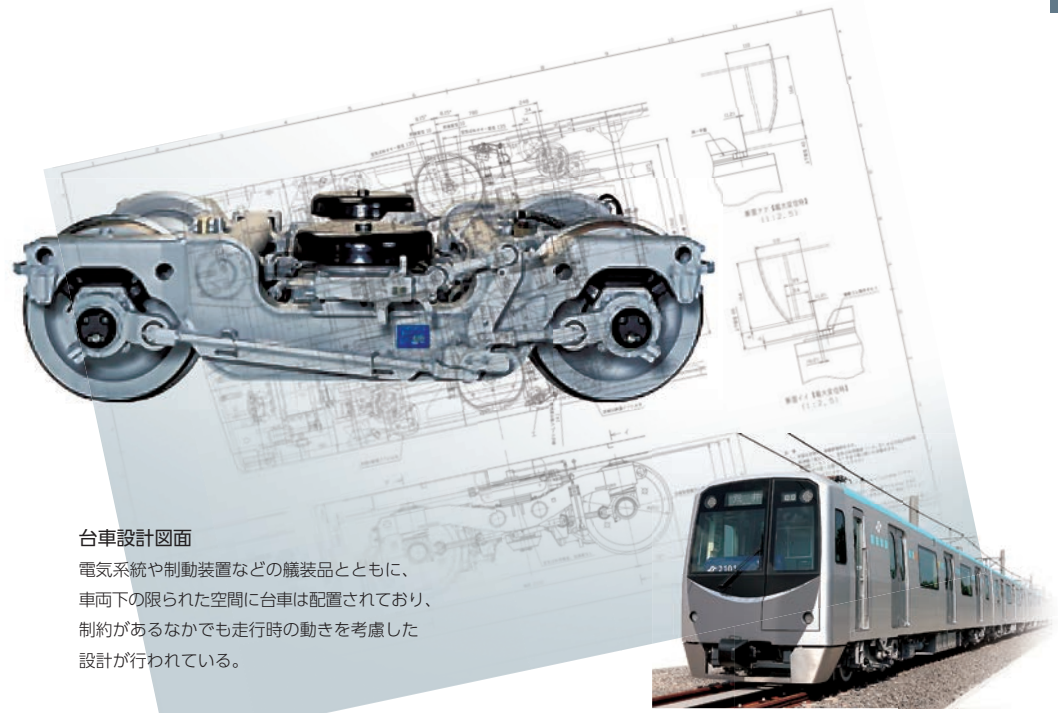
「日本刀のように、鉄は叩くことで強度を上げることができます。車輪の場合も、鋼片を加熱して叩いて鍛えた鍛鋼品のほうが強度・靱性が上がります。貨物列車用車輪には鍛造品もありますが、より重量物に耐えられる鍛造の車輪しか採用しないお客様もいます。そつしたハイエンド品においてスタンダードスチール社はアドバンテージがあります。」



スタンダードスチール社
技術部
筒井 俊博 マネジャー

日本との違いは、求められる供給量のスケールの大きさです。また、日本製鉄の車輪・車軸は高炉材ですがスタンダードスチール社は電炉材です。設備やオペレーションが異なるなかで、日本と同等の品質を維持するのが私たち日本から派遣された技術者の役割です。現地のエンジニアと議論しながら、設備更新も含めて製造技術を日々改善していくことは難しくもありますが、醍醐味もあります。両社に根付いたやり方が異なるなかで、誇りを持つ現地エンジニアの考えを尊重しながら、データや理論に基づく議論による相互理解を通じて最善策を見出しています」(筒井マネジャー)

最重要課題は、数量ニーズに柔軟に対応する安定生産だと筒井マネジャーは話します。車輪メーカーが2社しかない北米市場で、設備トラブルなどでの供給量不足は北米の貨物輸送全体に悪影響を及ぼしかねません。「高品質なものを安定的につくり続けることが最大の課題です。古い設備の操業方法やメンテナンスなどの改善と設備更新を図りながら、高品質・安定生産を継続できるレジリエンスな体制を確立していくことが使命です。私の任期中にさらなる成長につながる技術改善や投資を実行して、次の世代に引き継いでいきたいと考えています」(筒井マネジャー)



台車設計図面

電気系統や制動装置などの機装品とともに、車両下の限られた空間に台車は配置されており、制約があるなかでも走行時の動きを考慮した設計が行われている。

仙台市地下鉄東西線2000系 ©仙台市交通局

安全性、快適性に加え、 持続可能性という新しい価値を提供

鉄道車両用台車は、台車枠と呼ばれる溶接フレームに車輪、車軸、モーター、ブレーキ装置、駆動装置などを収めた走行装置です。日本製鉄は台車設計・製造のトップメーカーとして新幹線・民営・公営を問わず幅広い鉄道事業者に供給しています。

新幹線高速車両用、通勤車両用、リニアメトロ車両用、路面電車用、気動車用など、さまざまな台車の設計・製造を行っているのが交通産機品事業部です。尾崎拓也課長は2010年の入社以来、開発、仕様調整、設計など、一貫して台車に関わってきました。

「入社時はちょうど仙台市地下鉄東西線の開業に合わせた新型操舵台車の納入が決まり、私もそのプロジェクトへアサインされました。東西線のきついカーブにも対応できる操舵台車の開発がミッションで、設計・製造の制約も大きく、そつしたなかでどのように安全性と性能を満足していただけるものにするか。一つひとつ技術を積み上げながら形にしていくなかで、私にとって大きな自信となりました」

最先端の技術を駆使しながら台車設計に携わってきた尾崎課長は、鉄道事業者のニーズに少しずつ変化が起きていると話します。

「鉄道事業者様が台車に求める安全性、快適性は不変です。しかし、それに加えて、近年はメンテナンス性へのニーズが高まっています。これは労働者人口の減少によって人手不足に拍車がかかってくるなか、今後も鉄道事業を持続可能なものにするために欠かせないテーマとなっています。メンテナンスの省力化・合理化という課題に対して私たちもさまざまな取り組みを行っているところです」

その一つが、走行時の台車の振動をモニタリングして、台車部品やレールの最適なメンテナンスのタイミングを知らせる技術だと言います。

「台車は通常4〜5年に1回定期メンテナンスをして部品交換を行っています。けれど線路によって台車に与える振動が異なります。さらに部品の状態は部品種別ごと、路線ごとに違います。その点を考慮せずに一斉に交換するのはやはり合理的とは言えません。私たちが開発しているモニタリング技術の活用で、適切なタイミングで適切な部品交換やメンテナンスを可能にしていきたいと考えています。」

ほかにも、台車はお客様ごとに設計段階で細かい仕様調整を行ったため、部品が1点ものようになっていくのですが、そつした部品が将来生産中止となった場合、安定して事業を続けていくことができなくなります。そのため現在は部品を集約化することで将来的な安定供給を可能にする取り組みも進めています。

安全で、快適で、なおかつ早く目的地に到着できる。そつした鉄道の価値は従来どおり追求しながら、今後は持続可能性という新しい価値を提供していきたいと考えています」



日本製鉄(株)
交通産機品事業部
交通産機品技術部 交通産機品技術室
鉄道車両品課
尾崎 拓也 課長