



鉄道車内空間実物大モックアップ

須田研究室で着席・乗降実験を行った結果、4人掛けから3人掛けにすることで利用者が座りやすくなる3人掛けセミクロスシートが、生態心理学的乗客行動分析に基づく快適な鉄道車両空間であることがわかった。



東急7000系と3人掛けセミクロスシート

© 東急株式会社

須田研究室の研究成果を採用し、3人掛けセミクロスシートを2007年12月から導入。車椅子やベビーカーなどのためのフリースペースを設け、快適さを追求した。

須田 モビリティ・システム全般です。モビリティとは、交通手段や移動手段に関するモノ・コト全般を指す言葉です。私は子どものころから交通に興味があつて、タイヤとか車輪のついているものを研究してきました。

そのなかで、鉄道分野ではどうしたら安全に早く人や物を運べるのか、そのための技術を開発する研究を進めています。急なカーブを安全に曲がるための台車の開発、また車輪とレールを研究することで摩擦や騒音を低減する研究です。

しかし、研究成果が社会で利用されるためにはそれだけでは不十分です。たとえば、安全性

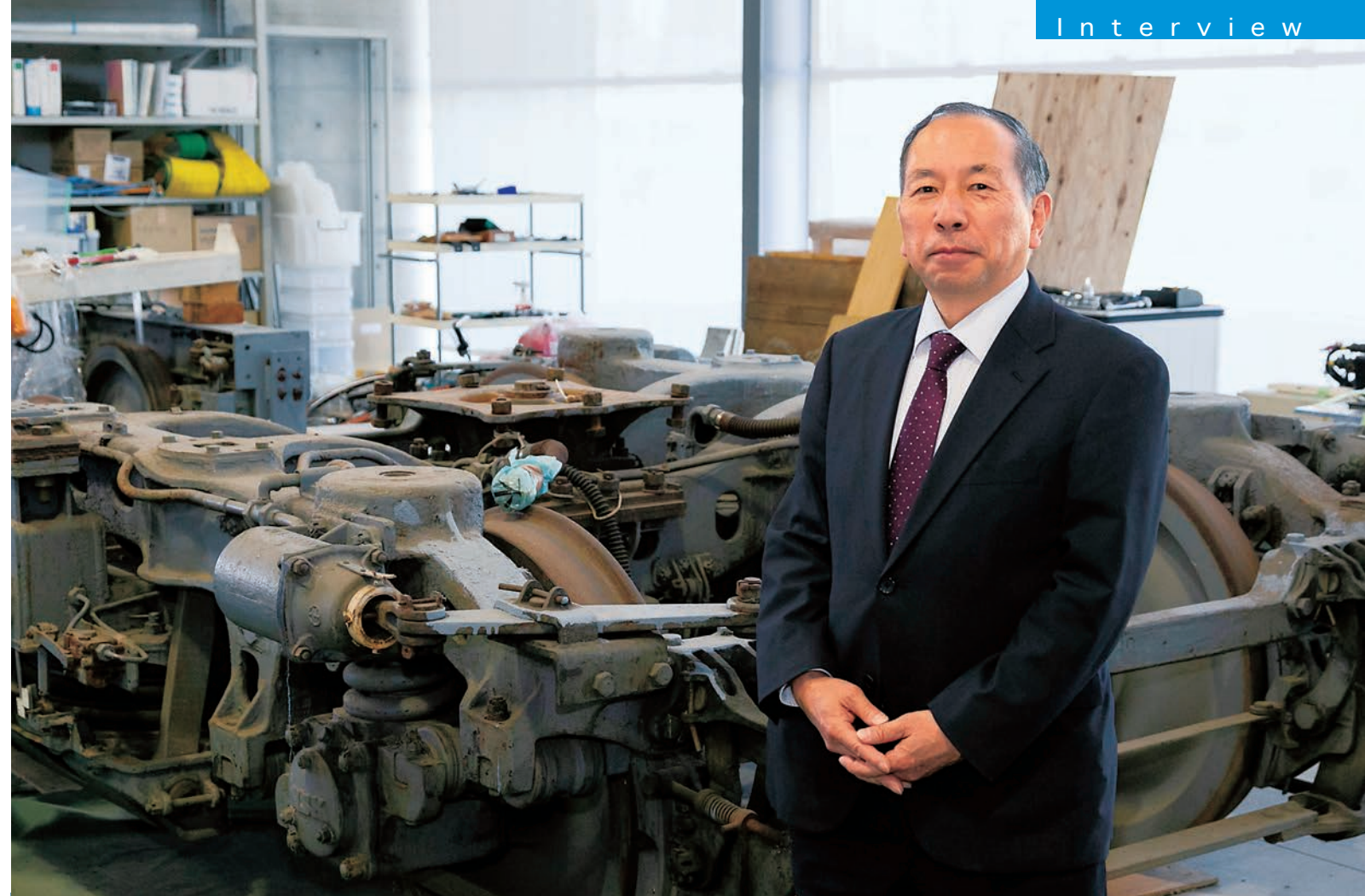
社会実装を見据えた研究

——須田先生はどのような研究に取り組まれているのでしょうか。

を高めることに加えて、同時に低コスト化を進めなければ、企業は新しい技術を導入できません。社会実装を見据えながら研究を進めていくのは、私たち生産技術研究所の伝統です。

また、鉄道の利用者についても研究しています。早く移動できても、車内で過ごす時間が不愉快では、利用者の満足度は上がりません。そのため、鉄道とは関係が希薄に見える心理学なども活用して研究を行っています。

例えば皆さんの身近なところでは、「座りたくなる」座席の配置の研究です。座席の配置を定量的に評価する手法を考え計算したり、実物大のモックアップを使って実験を行いました。その結果、快適性や乗降容易性を満たす通勤電車の座席配置を提案し、東急7000系池上線・多摩川線に採用されました。モビリティの研究には、そういった幅広い視点が必要です。



京阪電鉄から須田研究室に寄贈されたFS327台車(旧住友金属工業製)とともに

台車技術の革新で 鉄道の未来を描く

東京大学

モビリティ・イノベーション連携研究機構 機構長

生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター 教授

須田 義大氏

●プロフィール すだ・よしひろ

1982年東京大学工学部卒業、87年同大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。2000年より東京大学生産技術研究所教授。10年より現職。車両制御動力学、ITS(高度道路交通システム)を専門とし、国内外の学協会の理事・評議員、国土交通省等の審議会など政府委員を務める。

公共交通機関として、鉄道は重要な役割を果たしています。サステナブル・モビリティの実現を目指した研究に取り組む東京大学の須田義大教授に、安全で快適な鉄道輸送を支える台車技術の研究開発や鉄道の未来についてお話しいただきました。



東京大学生産技術研究所 大規模実験高度解析推進基盤(旧附属千葉実験所)(千葉県柏市)

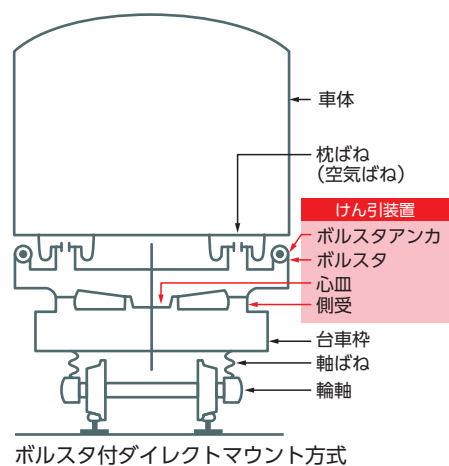
実験フィールドに、全長約333メートルの実験線を国内の大学としては初めての敷設。鉄道車両の走行実験のための設備環境が整備されている。ここで台車の走行試験、脱線安全性やITSに関する研究などが行われている。



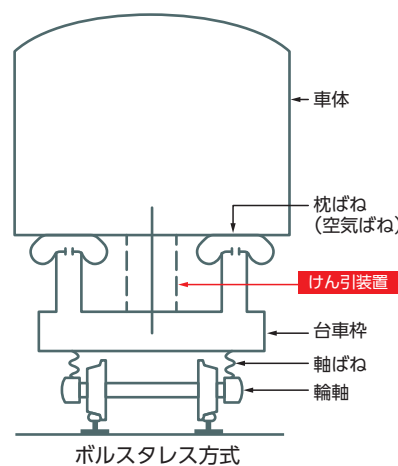
台車の役割と働き

台車は何十トンもある車両を支えること、カーブをスムーズに曲がることの2つの役割を果たしています。安全に快適な走行を実現するための重要な働きを担っているのです。

その① 車両を支える



ボルスタ付ダイレクトマウント方式



ボルスタレス方式

ボルスタ付台車とボルスタレス台車の仕組み

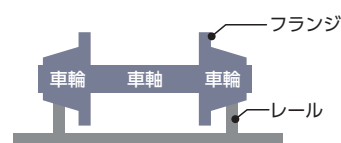
台車とは、車体や乗客の荷重を支え、電車がレールに沿って進行するための走行装置です。輪軸(車輪と車軸)、軸受、軸箱、駆動装置、ブレーキ装置などが収められ、車両の下に取り付けられています。1車両を2つの台車で支えています。

台車には、走行する際の上下左右の揺れを低減して、乗り心地を良くする役目もあります。そのため、輪軸と台車、台車と車体はばねでつながっています。主に軸ばねが細かな振動を、枕ばねが上下左右の大きな揺れを吸収しています。

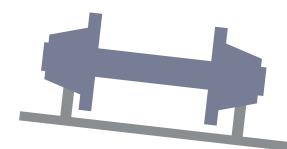
車体と台車をつなぐ部分には揺れ枕(ボルスタ)という部品があるタイプのボルスタ付台車と揺れ枕がないタイプのボルスタレス台車の2種類があります。

ボルスタレス台車は新幹線や通勤車に、ボルスタ付台車はカーブが多い線区などで採用されています。

その② スムーズに曲がる



まっすぐ走るとき



カーブするとき

車輪は車軸の中心寄りから端部に向かって傾斜しています。また車輪の間隔は、レールの間隔よりも少し狭くなっているため、輪軸はレールに対して左右に少しずれることができます。

この傾斜と間隔によって、カーブするときは外側の車輪は直径の大きい位置でレールと接し、内側の車輪は直径の小さい位置でレールと接しています。さらにフランジがレールにガイドされるような状態となります。そのため脱線することなく、左右の車輪径の差によって車軸はレールに沿ってスムーズに曲がることのできるのです。



東京メトロから須田研究室に寄贈された銀座線01系
1984～2017年に運用されていた東京メトロ銀座線01系には、日本製鉄の関西製鉄所製鋼所地区で製造されたFS520ボルスタ付台車が採用されていた。

常識にとらわれない発想の転換

——安全性や快適性を高めるためにさまざまな鉄道技術が開発されてきました。台車では、どのようなイノベーションがあったのでしょうか。

須田 台車は真っ直ぐ走り続ける走行安定性能と、カーブするときの曲線通過性能の2つの性能が求められます。

台車には2つの輪軸が取り付けられていて、直線を走行するときは車輪とレールの向きは同じ方向を向いています。しかしカーブでは、レールが曲線になっているのに対し、2つの輪軸の向きが変わらないと、アタック角と呼ばれる角度差が生じます。アタック角が生じると、車輪がレールに横方向の力を加えることになり、車輪やレールを摩耗させ、騒音発生の原因にもなります。

この問題を解消したのが、操舵台車です。曲がる際、2つの輪軸がカーブに合わせて角度を変えることができるように工夫した台車です。輪軸と台車を前後左右で固定しているばねの強さを変えることで、進行方向の輪軸がカーブに沿って曲がりやすくなります。

——自己操舵台車の社会実装化にあたっては、どのような工夫をされたのでしょうか。

須田 鉄道は前後とも同じ速度で走ることができます。それは車両に取り付けられている2つの台車が前後で対称形になっているからです。しかし自己操舵台車では、進行方向の前方の輪



JR東海383系

© 東海旅客鉄道株式会社

曲線通過時の車体傾斜にコンピュータ制御を採り入れた振り子式特急で、中央西線の名古屋～長野間を結んでいる。須田研究室で開発した前後非対称方式自己操舵台車が1995(平成7)年に実用化された。

軸は柔らかいばね、後方の輪軸は硬いばねで台車枠に支持されていて、前後が非対称になっています。これではバックする際にうまく走ることができないため、当初はばねの硬さを切り替える装置を搭載して対応することを考えました。ところが、切り替え装置を搭載すると部品点数が多くなり、メンテナンス作業が大変なこともわかったのです。それを解消できたのは前後が非対称の台車を背中合わせで取り付けることでした。

進行方向に向かって台車枠に輪軸を支持するばねは、柔剛・柔剛になっていたものを、柔剛・剛柔とすることで、前後どちらに進んでも柔剛の台車が先頭方向になるようにしました。この工夫によって、どちらに進んでも操舵性に優れ、かつメンテナンスの負担を増やさない台車が実現できました。

——前後非対称台車という発想は、どのようにして生まれたのでしょうか。

須田 自分自身でも最初は、前後で同じ形でなければならぬと思い込んでいました。操舵性能は式で表すことができ、必要な操舵性を得るためには、どのように設計すればいいのかを解析することができました。

非対称にすることで、性能が向上できる可能性は自分の修士論文で、すでにわかっていたのですが、研究室の学生が非対称の場合に、理想的な操舵性が得られるという解析結果を出しました。半信半疑でしたが、詳しく調べていると前後対称では実現できない理想的な操舵が前後非対称で得られることがわかりました。それまでの常識にとらわれていたら、自己操舵台車は生まれていなかったかもしれません。

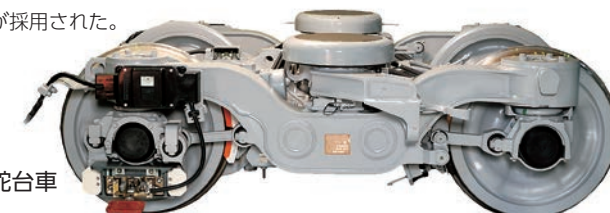


東京メトロ銀座線1000系

© 東京地下鉄株式会社

2012年4月から運用開始。須田研究室、東京メトロとの共同研究を踏まえて日本製鉄が開発したSC101操舵台車が採用された。

SC101操舵台車



産官学で共同研究

—— 柏の実験フィールドの試験線では、実際に電車を走らせているところがありました。

須田 以前はメーカーが実際の車両、大学では模型を使って研究することが多かったのですが、実験フィールドでは10分の1スケールの台車模型で実験したあと、実物大台車を使って実験線で走行実験を行っています。実物大台車を使った実験では、模型だけではわからなかったデータが得られるので、高い安全性や信頼性が求められる鉄道技術の研究ではとても重要です。

台車や車両の研究に加えて、実験線では線路についても研究することができます。レールは、昼と夜や季節の温度差によって伸び縮みすることと徐々に劣化していきます。レールの熱伸縮を抑えるための研究などにも利用されています。

実験フィールドには、鉄道の試験線のほかにも自動車用の道路や信号機、踏切なども設置されているので、自動車などの自動運転の研究にも利用することができます。世界的にも珍しい実験施設で、産官学の共同研究に利用されています。

—— 台車技術については、どのような研究が進んでいるのでしょうか。

須田 1つ目は逆勾配踏面独立回転輪軸の開発です。左右の車輪を独立回転させるときに、車輪の踏面の勾配を従来と逆にするので、より高い曲線通過性能を実現しようというものです。

材料として使われ続ける鉄

—— モビリティの未来に不可欠なキーワードとして、須田先生は6つのセルフ技術を提案されています。どのような技術なのでしょう。

須田 セルフステアリング(自己操舵機能)、セルフフルーティング(自律的な運行)、セルフドライブ(自動運転)、セルフパワー(回生エネルギーの利用)、セルフチェック(自動精算)、セルフメンテナンス(自己修復)の6つです。すでに実用化が始まっている技術もあります。

例えば、セルフステアリングは自己操舵台車として鉄道で導入されています。セルフドライブはバス会社と協力して、柏の葉キャンパス駅と東京大学柏キャンパス間のシャトルバスで自動運転の実証試験を行っています。セルフチェックはICカードなどを利用した運賃収受システムとして鉄道やバスで利用されています。

セルフメンテナンスは故障を自動的に修理するという意味のほかに、脱線検知のように各種センサーを取り付けることで、故障の予兆を捉えるという意味も含まれています。故障を予知できるようにすれば、これまでは異常がなくても定期的に交換していた部品を、必要に応じて交換するようにできるなど、メンテナンス作業の効率化・省力化が可能になります。これも鉄道で実用化されています。

—— 新しい技術や材料が開発されているなか、鉄道台車には現在でも鉄が使われています。須田先生は鉄の魅力をどのように感じていますか。



逆勾配踏面独立回転輪軸台車の模型

従来とは逆向きの踏面(車輪がレールと接する面)勾配を持ち、また左右の車輪が別々に回転できる新しい構成の台車。従来では難しい半径10メートル以下の急カーブを通過できる台車開発を進めている。

左右の車輪を独立して回転させることにより、車軸を使わない台車も実現できます。車軸をなくすことで、鉄道車両を低床化することができるので、普及が拡大している低床路面電車の台車として注目されている技術です。

2つ目は鉄道車両の脱線検知技術の開発です。IoTといわれるように、最近はさまざまなところにセンサーが取り付けられていて、いろいろな情報をAIで分析することができます。台車に左右の揺れ(ロール)や前後の揺れ(ピッチ)を測定するセンサーを取り付け、そのデータから脱線の兆候を検知する研究を進めています。

須田 台車に新しい素材を使う試みはありません。しかし主流ではありません。その理由は、壊れる兆候をつかむのが難しい点ではないかと考えています。鉄の場合、あるとき急に壊れるということはなく、なんらかの兆候があります。傷ができて、亀裂が生じ、徐々に広がっていく、最後に破断する。破壊のメカニズムがよくわかっている、破断する前にその兆候を検知することが可能です。新素材ではそのためのデータが不足している、故障を予知することが難しいのです。

知見が豊富に蓄積されている鉄は、安全性・信頼性が重要な鉄道を支える材料として、適しているといえます。

—— 日本製鉄は、鉄という素材を活かしてレールや車輪、台車なども製造しています。メーカーに対する期待をお聞かせください。

須田 これまでレールと台車は別の分野として扱われてきましたが、これからは一体的に研究していくことが必要です。レールだけ丈夫にする、車輪だけ強くするといった、従来のやり方ではより安全な鉄道を実現することは難しくなるでしょう。以前は別々の会社で鉄、レール、台車が製造されていました。それが新日本製鉄と住友金属工業が統合して現在の日本製鉄となったことで、レール関係技術と台車関係技術を融合させた一体的な研究開発が進んでいくことに期待を寄せています。そして、これからも産学が連携し、より安全で快適な鉄道の未来を描いていきたいと思っています。



スケールモデル走行実験装置

10分の1模型実験用の試験線で、脱線予兆の検知に関する研究や急曲線通過性能と駆動力の影響など、走行関連の研究を行っている。

