



春
2025

- クローズアップ ① 鉄道の研究開発をモノづくりで支援する
研究＆開発 ② 通勤時のグリーン車料金変化による需要変動
研究＆開発 ④ 高速走行する新幹線車両の音源探査
解 説 ⑥ 鉄道の脱炭素化（１）



鉄道の研究開発をモノづくりで支援する

研究開発推進部 設計・試作 上席主査 GL
風戸 昭人

鉄道総研は、車両だけでなく、軌道、構造物、電力、人間科学など、鉄道に関する幅広い分野の研究者が集まる組織です。研究開発には、多種多様かつ特殊な試験装置や治具が必要になります。私が所属する研究開発推進部 設計・試作課は、そのような研究者をモノづくりの面から支援するチームです。主に試験装置・治具類の設計・製作、および試作工場（工作機械）の管理・運営を担当しています。

① 車両関係の設計・製作事例

私たちが手がけるもののほとんどは一品ものです。さまざまな分野の研究者と打合せを重ねながら設計を進め、形にしていく作業には大きなやりがいを感じます。ここでは、車両関連の設計・製作事例を2点ご紹介します。

① 台車試験装置用治具（図1）

この大型の治具は、地震時の台車の挙動を観察する実験のために設計しました。大きな揺れが加わった際に台車の動きを妨げず、かつ試験の安全を確保する役割を担っています。

② 模型車両用軌条輪加振装置（図2）

こちらは小型の装置の一例です。模型台車の各車輪の下に、それぞれを上下に振動させる機構を配置し、さらに車両側からレールを模擬した軌条輪を駆動できる構造となっています。

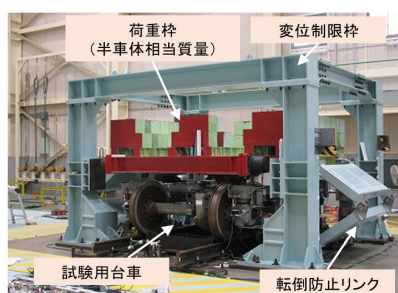


図1 台車試験装置用治具

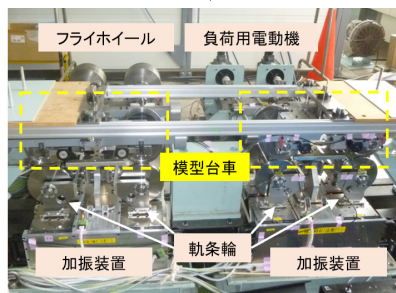


図2 模型車両用軌条輪加振装置



図3 試作工場

② 設計・試作課の環境

設計・試作課には試作工場（図3）が併設されており、設計した部品を迅速に製作できます。工場には、専門の職人が扱う大型のNC工作機械をはじめ、研究者自身が簡単な加工を行えるよう、旋盤、せん断機、ボール盤などの汎用工作機械も揃え、適切に管理しています。近年では3Dプリンターによる製作依頼も増えています。

③ モノづくりの大切さ

先日、テレビ番組で司会の方が発した言葉に深く共感しました。

「モノを作らなくなった国内には、いつの間にかモノづくりができないエンジニアが生まれていました。それじゃいけない。だから〇改造の夜に挑みます！」

私自身、モノづくりが好きで機械工学の道に進み、車両関連の業務に携わってきました。しかし近年、AIブームの影響などで理系学生の志望先は情報系が人気を集め、機械系は特に不人気だと聞きます。高度にデータを扱う技術が発展しても、その成果を活かす「モノ」を作る人材がいなくなる未来に、漠然とした懸念を感じざるを得ません。

今年度からスタートする鉄道総研の基本計画『RESEARCH2030』では、研究開発のコア技術の高度化が掲げられています。近年、三次元設計・製作技術が急速に進展するなか、コア技術としてこれらも積極的に活用し、独創的で実用性の高い試験装置の開発に取り組んでいきたいと思っています。私たちは普段あまり表に出ることはありませんが、手がけた装置を通じて皆さまの課題解決に貢献できるよう、これからも活動してまいります。[NL]



研究&開発

通勤時のグリーン車料金 変化による需要変動

情報通信技術研究部 情報解析 副主任研究員
松本 涼佑

1 はじめに

通勤列車でも混雑を回避できる選択肢として、JR 東日本のグリーン車、JR 西日本の A シート、快速うれしシートなどの有料座席サービスがあります。ここで有料座席サービスの料金が現状より上がった状況を想定すると、有料座席サービスの利用者が普通車両にシフトして普通車両がより一層混雑します。反対に有料座席サービスの料金が下がれば、普通車両の利用者が有料座席サービスの車両にシフトして有料座席サービスの快適性が下がります。このように有料座席サービスの快適性と普通車両の混雑度はトレードオフの関係にあるため、それらのバランスを適正にするためには、まず有料座席サービスの料金変化がもたらす需要変動を定量的に把握する必要があります。そこで首都圏のグリーン車を対象に、実際のデータを活用して、平日朝の通勤時間帯におけるグリーン車の料金（以下、グリーン料金）の変化がグリーン車需要に与える影響を推定できるモデルを構築しました。

2 実社会の営業路線に実験的状況を見いだす

このような需要推定に理想的な方法は、路線や日ごとにグリーン料金を変化させる社会実験を行うことです。図 1 に、グリーン料金に安いパターンと高いパターンの 2 パターンを設定し、路線や日ごとにその 2 パターンを変化させる社会実験を行って得られる結果

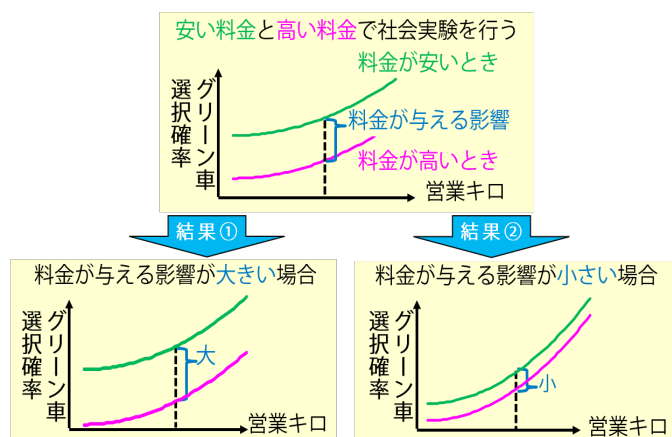


図 1 社会実験から得られる結果のイメージ

のイメージを示します。通勤旅客の鉄道利用距離を示す営業キロが長くなればなるほど、快適性を求めてグリーン車が選択される確率が高くなると考えられます。ここで安い料金と高い料金の 2 パターンによる結果があると、営業キロとグリーン車の選択確率の関係を示す曲線は 2 パターン得られます。そしてその 2 パターンの料金の差と、グリーン車選択確率の差の関係を定量化することによって、グリーン料金の変化が需要に与える影響を推定することができます。しかしこのような社会実験を実現するためのハードルは非常に高いといえます。

そこで社会実験を行わずとも、実社会の営業路線であたかも上記のような実験が行われたかのような状況を見いだすアプローチによって、グリーン料金が需要に与える影響を推定することを試みました。具体的にはグリーン料金体系が階段状であることに実験的状況を見いだししました。後述する使用データの年次に合わせて 2015 年の料金体系で説明すると、図 2 上部のようにグリーン料金は営業キロ 50 km までは一律 770 円ですが、51km を境に一律 980 円に変化して 210 円ジャンプします。ここで営業キロ 50 km と 51 km の旅客に着目すると、移動距離はほとんど変わらないにもかかわらずグリーン料金が異なることになります。したがって図 2 下部のように、営業キロ 50 km まではグリーン車の選択確率は高くなると考えられる一方、営業キロ 51 km の境目ではグリーン料金が 210 円上がるため、グリーン車の選択確率が下方ジャンプすると考えられます。このグリーン料金とグリーン車選択確率のジャンプを利用して、グリーン料金が需要に与える影響を推定します。このように実社会の変数の境界線前後にある非連続な性質を利用して因果関係を定量化する手法を回帰非連続デザインといいます。

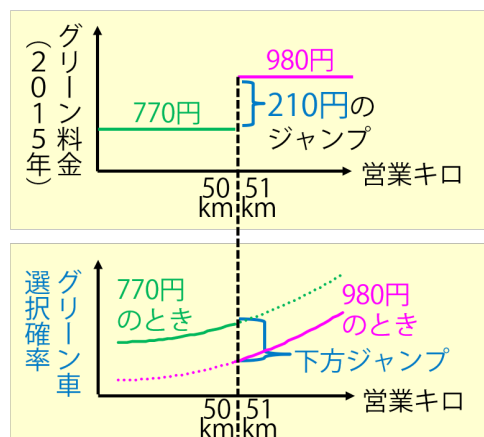


図 2 グリーン車の需要変動の推定イメージ

3 実需要データを用いてグリーン車選択確率を計算する

現実社会における図2のような営業キロとグリーン車選択確率の関係を定量化するためには、実需要データを活用して、それらの関係を表す統計モデルを構築する必要があります。実需要データとして、2015年(新型コロナウイルス流行前のデータ最新年次)における大都市交通センサスの個票データを用いました。大都市交通センサスとは、三大都市圏において5年に一度国交省によって実施されている鉄道等の公共交通機関の利用実態調査です。本分析での対象は、当時普通列車に常時グリーン車が併結されていた路線の通勤旅客サンプル17,136人分のデータです。図3に、営業キロ1kmごとに通勤旅客の属性や移動時刻を平均した値を示します。営業キロが長くなるほど女性割合は低く、平均年齢は高く、家を出発する時刻は早くなり、勤務先始業時刻はやや遅くなる傾向が見て取れます。このデータを活用して、営業キロとグリーン車選択確率の関係を示す統計モデルを構築しました。

図4に、営業キロとグリーン車選択確率の関係を示します。点のプロットは営業キロ1kmごとの実績を平均した値、実線は構築したモデルにより計算した値です。モデルから計算されたグリーン車選択確率が営業キロ51kmで下方ジャンプしていることが見て取れます。この下方ジャンプは統計的にもたまたま起こったものではなく、有意なものであることが確認できました。グリーン車選択確率の具体的な値は、営業キロ50kmから51kmにおいて4.3%から1.5%に、2.8ポイント下方ジャンプする結果が得られました。

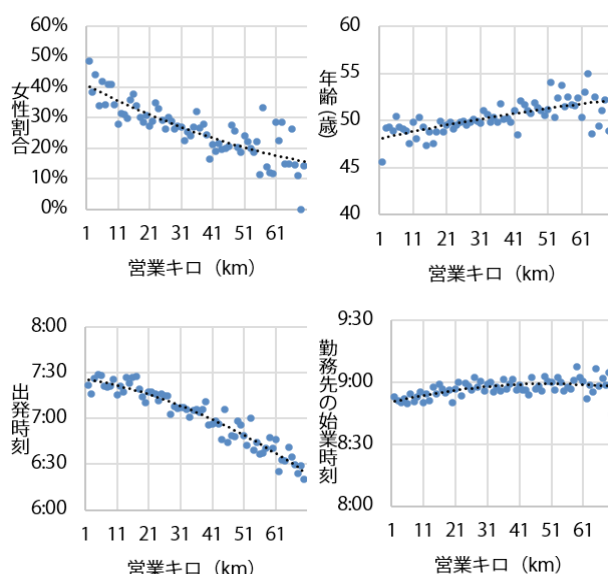


図3 営業キロ別の属性・移動時刻の平均値

4 グリーン料金変化による需要変動を推定する

グリーン料金の変化によるグリーン車の需要変動の定量化には、需要の価格弾力性という指標を用います。これは分母に価格の変化割合、分子に需要の変化割合をとることで計算できます。上記グリーン料金とグリーン車選択確率のジャンプから、グリーン車需要の価格弾力性は4.0と計算できました。これはグリーン料金が1%増加(減少)すると、グリーン車需要は約4%減少(増加)することを意味します。このことから、グリーン車需要の料金変動に対する感度は非常に高く、グリーン料金施策は需要に大きなインパクトを与え、通勤列車の普通車両とグリーン車の混雑水準を適正化するために有効な手段であることがわかりました。

さらに価格弾力性の値が1を上回ることから、グリーン料金を下げると当然旅客一人あたりの料金収入は減少するが、その減少割合以上に需要の増加割合が大きく、トータルでのグリーン料金収入が増加すると推定できます。このことからグリーン料金施策は、複々線化や車両増結といった大規模な設備投資を行わずとも鉄道事業者収入の増加に寄与し得ることがわかりました。ただし、過度な値下げはグリーン車が混雑し快適性を提供できなくなるため、適正なグリーン料金の設定には普通車両とグリーン車の混雑度を見比べた慎重な検討が必要です。

5 おわりに

本分析により、社会実験を行わずとも、グリーン料金が需要変動に与える影響を推定することができました。今後の課題としては、時間帯や路線ごとのより詳細な分析を行うことが挙げられます。[NL]

(注釈) 本記事は、『交通学研究』第63号に掲載された論文1)の内容を一般向けに修正したものです。

参考文献

1) 松本涼佑：普通列車のグリーン車需要の価格弾力性の推定 — Regression discontinuity design に基づいて —, 交通学研究, No. 63, pp. 71-78, 2020

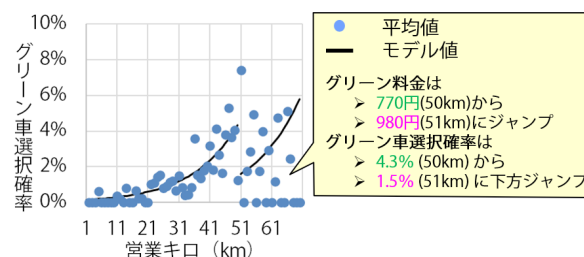


図4 実需要データを用いた計算結果



研究&開発

高速走行する新幹線 車両の音源探査

環境工学研究部 騒音解析 上席研究員 GL
宇田 東樹

1 はじめに

日本の新幹線は住宅の密集した地域を通ることが多く、沿線騒音に関して世界的にみても厳しい環境基準が定められています。新幹線はこの環境基準を遵守しつつ、1964年の開業以降、走行速度の向上を続けており、現在では営業上の最高速度 320 km/h（東北新幹線）まで達しています。これは、鉄道事業者において、新幹線車両の低騒音化ならびに防音壁のかさ上げや改良などといった地上側対策の双方が継続的に行われてきたからに他なりません。

このような走行速度向上に資する騒音低減の戦略を策定するうえでは、新幹線車両走行時の騒音発生源を把握する音源探査技術が重要です。本稿では、鉄道総研が独自に設計したマイクロホンアレイと新幹線車両まわりの音源探査結果を紹介します。

2 マイクロホンアレイの設計

近年、音源探査を行う一般的な測定ツールとして、多数のマイクロホンを二次元的に配列したマイクロホンアレイ（フェイズドアレイとも呼ばれる）が広く普及しており、解析ソフトウェアも含めたシステムとして音響計測メーカーなどから販売されています。これらの市販品は手軽に扱える一方、安全性や設置性の点から必ずしも鉄道沿線における利用には向いていません。そこで、鉄道総研では沿線で迅速に仮設することのできる独自のマイクロホンアレイ（以下、アレイ）を設計しました（図 1）。

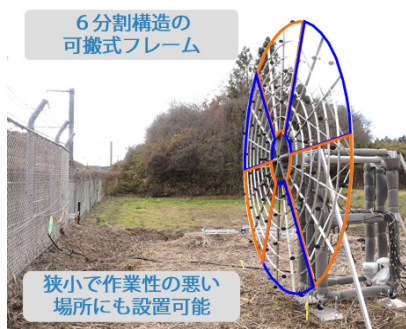


図 1 設計したマイクロホンアレイ

(1) フレーム設計

本アレイのフレームは直径 3 m の円形で、6つのピザ状に分割されています。仮設時は中心軸を回転しながらマイクロホンを取り付けることで大型の脚立等を使うことなく、鉄道沿線でも安全に仮設作業を行うことができます。また、分割構成されたそれぞれのフレームにはあらかじめケーブルが組み込み配線されており、アレイ中心軸で集合ケーブルとして束ねるため、現地で大量のケーブルを取り回す必要がなく、迅速に設置することが可能です。

(2) 音響的な性能設計

アレイの音響的な性能はマイクロホンの幾何的な配置で決まります。基本的には展開領域が広いほど波長の長い音波を捉えられ、低周波数域が測定できます。また、マイクロホン数が多いほど S/N が良好となり、虚像（音の発生していないところに音像が現れる）を抑えられます。しかし、アレイの展開領域、マイクロホン数のいずれも限りがあるため、両者のバランスのとれた配置を設計する必要があります。

本アレイの測定周波数は、新幹線車両が高速走行した際に発生する空力音（風切り音）および車輪・レール間音を捉えるという観点から、250 Hz ～ 6.3 kHz に決めました。250 Hz の音波に対応する波長は約 1.36 m ですので、サンプリング定理によれば半波長の 0.68 m 程度の展開領域があれば原理的には問題ないのですが、実際にはこれでは十分な音源分離性能は得られません。このため、約 3 m の展開領域を確保することにしました。一方、マイクロホン数については、データを収録するレコーダのチャンネル数の制約から 72 本となりました。以上の制約条件のもと、マイクロホンの配置を検討しました。紙面の都合で詳細は割愛しますが、さまざまな配列パターンを系統的に性能評価した結果、9 本の腕が螺旋状に配列されたマルチアームスパイラル形状（図 2）を採用することにしました。この配列は、各マイクロホンが一定程度ランダムに配置され

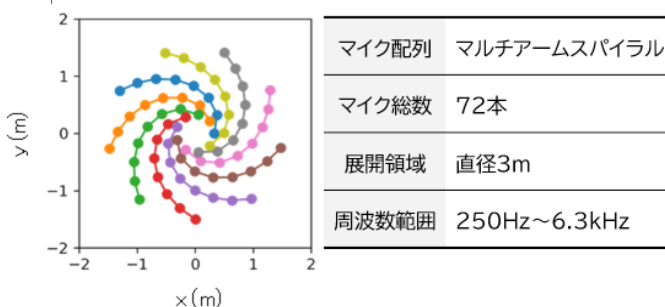


図 2 マイクロホンの配置

ることに加え、アレイの中心付近でマイクロホンを密にすることで、高周波数域のS/Nが良好になるという利点があります。

図3に本アレイの性能(指向特性)を示します。これは、アレイの正面中心に点音源が存在した場合に、どのような音源分布が描かれるかを計算したものになります。中心の点音源を明確に捉えられているかを分解幅(音源の広がり)と虚像に対するS/Nの性能で評価します。同図より、空間分解幅については、1 kHzにおける3 dB分解幅が約1 mであり、新幹線車両の軸距(2.5 m)よりも十分に短いことが確認できます。また、虚像に対するS/Nについても15 dB以上確保できています。

3 音源探索のアルゴリズム

アレイ配列と同様に音源探索の性能は、各マイクロホンに到達した音圧信号を処理するアルゴリズムに左右されます。アレイによる音源探索の信号処理は、もともと電波天文学の分野で研究が進められておりましたが、その解析技術を応用して最近では新たな音源探索アルゴリズムが開発されています¹⁾。

図4は、音源探索アルゴリズムの違いによる音源分離性能の違いを示したものです。上段が従来使われてきた遅延和法と呼ばれる手法、下段がデコンボリューション法(DC法)と呼ばれる、逆畳み込み演算による手法です。デコンボリューション法を適用した下段は上段に比べて、音源位置が明確となっており、空間分解能が格段に向上していることが確認できます。

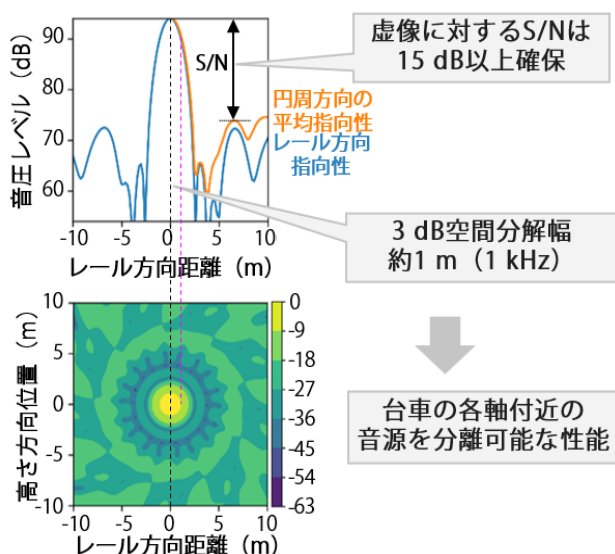


図3 周波数1 kHzにおける本アレイの性能

4 実験による検証結果

開発したアレイを用いて300 km/h程度で高速走行する新幹線車両まわりの音源分布を実測した例を図5に示します²⁾。同図より、高速の気流が流れ込む先頭車両下部における音源が強いことがわかります。また、各台車部にも強い音源(空力音および転動音による車両下部音)が存在することが確認できます。車両間隙部に存在する音源は、車体間のヨーダンパあるいは車両間隙部の下部ホコリ付近から発生する空力音が要因と推定されます。

5 おわりに

新幹線の速度向上に貢献できるコア技術の1つとして、鉄道総研で独自に設計したマイクロホンアレイと音源分布の測定事例を紹介しました。今後は、車両形状の変更による局所的な騒音レベル変化の把握、あるいは環境基準の評価点における総合音への影響度合いの把握など、マイクロホンアレイの技術を最大限に活用し、車両のさらなる低騒音化ならびに沿線騒音の低減に向けた研究開発を進めていきます。[NL]

参考文献

- 1) Ehrenfried, K. and Koop, L.: Comparison of iterative deconvolution algorithms for the mapping of acoustic sources, AIAA Journal, Vol.45, No.7, pp.1584-1595, 2007.
- 2) Uda, T., et al.: Sound source distribution of high-speed trains and reduction of aerodynamic bogie noise, In Proceedings of Inter-Noise 2022, August 2022.

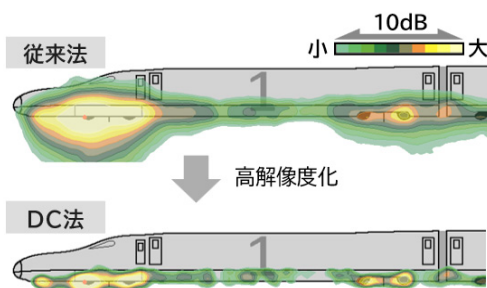


図4 音源探索アルゴリズムの変更による高解像度化

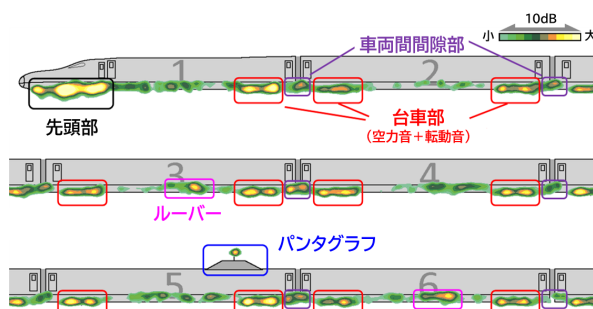


図5 新幹線車両まわりの詳細な音源分布



鉄道の脱炭素化（１）

研究開発推進部 次長
長谷川 均

昨今、2050年のカーボンニュートラルに向けて、脱炭素化に関する動きが盛んになってきています。脱炭素化については、経済発展や人口減問題との両立が必要で、社会全体で対応していかなければなりません。そこで、鉄道分野においても目標に向かってCO₂排出量を削減していく必要があります。

この度、車両ニュースレターの間を借りて、鉄道の脱炭素化の現状について簡単に解説させていただきます。第1回目は、ライフサイクルを考慮したCO₂排出量の試算と、運行エネルギーによるCO₂排出の削減について、技術的な面から解説させていただきます。第2回目は、鉄道事業者の皆様の取り組みなど、経済的な面からの解説をしたいと考えています。第1回目は理科、第2回目は社会科と考えていただければと思います。

1 鉄道分野の脱炭素化基本方針

2020年10月当時の菅総理大臣が2050年にカーボンニュートラルを達成するとの公約を発表しました。これを受け、2023年2月にGXの基本方針が、5月に鉄道分野の

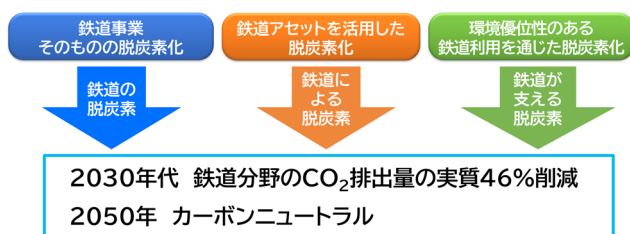
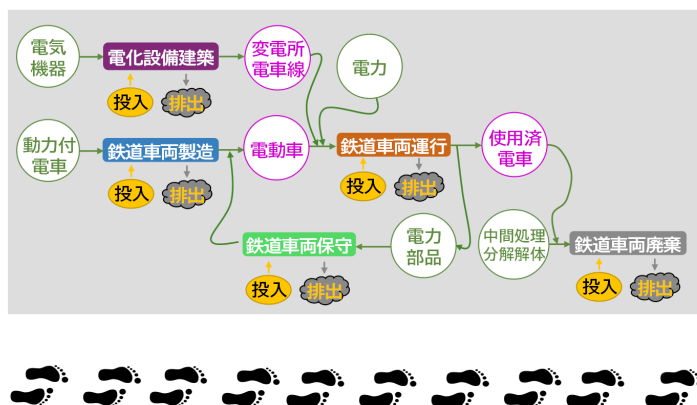


図1 鉄道分野の脱炭素化の基本方針¹⁾



カーボンニュートラルの目指すべき姿が制定されました¹⁾。これにより、鉄道分野においては、図1に示す3本柱で2030年のCO₂排出量実質46%減、2050年の実質ゼロを目指すこととなりました。

1番目の柱「鉄道の脱炭素」は、そのものズバリ、鉄道事業を行う上で排出されるCO₂を減らすことです。2番目の「鉄道による脱炭素」は、鉄道の設備を脱炭素化に利用することで、例えば、敷地に太陽光パネルを設置したりすることを示しています。3番目の「鉄道が支える脱炭素」では、環境優位性のある鉄道へのモーダルシフトを行うことを示しています。鉄道は、単位輸送量当たりの消費エネルギーが、自動車などに比べて少ないため、旅客や貨物輸送を自動車から鉄道にシフトすることで全体でのCO₂排出が少なくなるという目論見です。この柱の中で、特に「鉄道の脱炭素」については、鉄道業界自らが様々な施策や技術開発により、達成していく課題と考えられます。

2 ライフサイクルを考慮したCO₂排出量の試算

実際にCO₂排出量が減ったかどうかには、ライフサイクルを考慮した評価が必要です。例えば、非常に軽い素材で車両を作ることにより走行時の消費エネルギーを減らしたとしても、その素材を作るときに大量のCO₂を排出していたら意味がありません。そこで、LCA（ライフサイクルアセスメント）という手法を使って、CO₂排出量を計算します。この手法では、図2に示すように、鉄道車両の一生を考えて、製造、運用、保守、廃棄の各段階での「投入」と「排出」を積み上げていきます。この「排出」の一つとしてCO₂排出量を計算することができます。

鉄道システムでは、さらに、土木構造物や軌道、電化設備などの地上システムも計算する必要がありますが、ここでは、車両のみのライフサイクルを試算しています。グラフを見ていただくとわかる通り、気動車、電車とも、運行

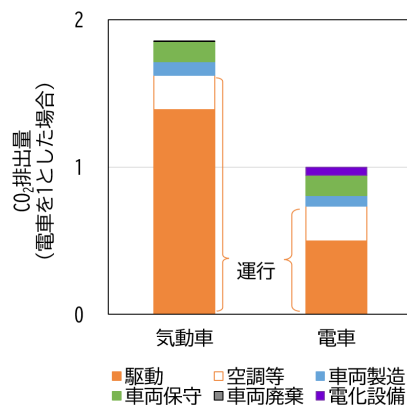


図2 鉄道車両のLCAによるCO₂排出量試算例（電車を1とした場合）

エネルギーの消費に伴う CO₂ 排出が大部分であることがわかります。すなわち、2030 年に向けては、この運行エネルギーによる CO₂ 排出の削減が効果的であることがわかります。ただし、2050 年カーボンニュートラルに向けては、運行以外の部分についても減らしていく必要があることを忘れてはいけません。

3 運行エネルギーによる CO₂ 排出の削減

では、運行エネルギーによる CO₂ 排出をどのように減らしていけばよいでしょうか。図3に電化区間と非電化区間でのハード面での対応を示します。電化区間では、電力会社の再生可能エネルギーの主力電源化によるところが大きいです。一方で、非電化区間については、動力源の非化石燃料化が必要で、車両の技術開発が求められます。

現在非電化区間で運用している気動車は、化石燃料である軽油を使っており、車両から CO₂ が多く排出されています。

一つ目の対応策として、軽油からバイオ燃料への転換が考えられます。バイオ燃料は、植物由来の炭化水素であり、太陽光のエネルギーを使って大気中の CO₂ から油を作ります。このため、燃焼させて CO₂ が排出されたとしても、地球上の CO₂ の総量は増えることはありません。現在の車両や給油設備をそのまま使えるため、導入も比較的容易ですが騒音や保守性の問題は現行の気動車と変わりません。

二つ目の蓄電池電車は、電気自動車と同様に、車両に搭載した蓄電池に充電して走行するため、車両からの CO₂ 排出はありません。また、モーターで駆動するため、気動車に比べて騒音や振動が少なく、保守が容易という特徴があります。既に国内でも営業運転を行っており、技術的にも確立しています。ただし、1回の充電での航続距離に限りがあるため、比較的短い路線での運用となっています。

三つ目の水素燃料電池電車は、車両に搭載した水素燃料と空気中の酸素による化学反応で直接電気を作りモーターにより車両を駆動します。水素と酸素の反応のため、排気ガスに CO₂ は含まれません。また、水素の搭載量に比例し



図3 鉄道車両運行エネルギーの脱炭素化アイテム

て航続距離が延びるため、蓄電池電車よりも長距離走行することが期待できます。

しかし、一見、蓄電池電車も水素燃料電池電車も車両からの CO₂ の排出がないため、非常にクリーンなイメージがありますが、水素や電気を作るときに排出する CO₂ を考えておかなければなりません。図4²⁾は、一次エネルギーから車両を走行させるまでに排出した CO₂ を試算したグラフです。このような試算を Well To Wheel(井戸から車輪まで)での評価と呼んでいます。数値が低いほど CO₂ 排出量は少ないことを示しています。

水素燃料の場合、水素を何から作るかによって、大きく CO₂ 排出量が変わることがわかります。水素の作り方によっては、現行の気動車より、水素燃料電池電車の方が悪くなることもあります。

これらを踏まえると、将来的にこれまでのように全国一律に同じ動力源ということではなく、バイオ燃料、蓄電池、水素燃料電池を適材適所に導入していくことで、脱炭素化と社会問題への対応の両立が成り立っていくと思われます。

なお、このほか、省エネ運転などのソフト対策も有効ですが、今回は割愛いたしました。

今回は、経済的な面からの鉄道分野の脱炭素化について、解説できればと考えています。(つづく) 

参考文献

- 1) 「GX 実現に向けた基本方針（令和5年2月、閣議決定）」及び「GX 鉄道分野のカーボンニュートラルの目指すべき姿（令和5年5月、国土交通省 鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会最終報告）」を元に作成
- 2) 長谷川、門脇：「鉄道運行エネルギーの脱炭素化技術と今後」、運輸と経済、第85巻、第4号、'25.4 pp.38-43

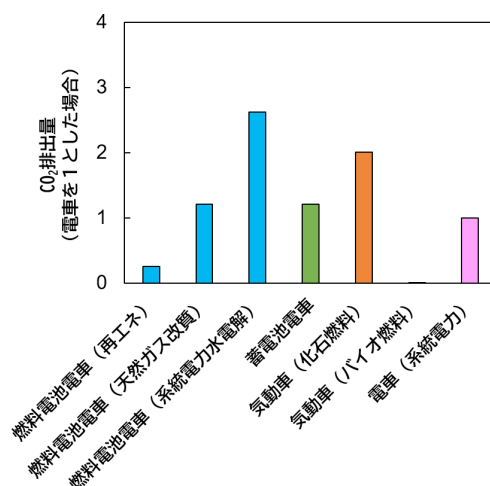


図4 Well to Wheel での CO₂ 排出量の比較

車両ニュースレターは季刊（1，4，7，10月発行）です。
次の2025年夏号は，2025年7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年春号 No.70	● 発行日 2025年（令和7年）4月25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) 042-573-7268	
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・渡邊有人・松原孝聡・小笠原柚	©Railway Technical Research Institute