

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 鉄道の省エネルギー

鉄道は自動車や航空機に比べて省エネルギーな交通機関です。最近の省エネの重要性は一段と高まっています。鉄道総研ではさまざまな研究開発を行ってきました。本稿では、鉄道の省エネについて総合的に解説します。



秦 広  
Hiroshi Hata  
研究開発推進室  
主管研究員  
専門分野 / 車両の電気  
技術

## はじめに

化石燃料の消費の抑制、地球温暖化を促進するとされるCO<sub>2</sub>排出低減、原子力発電所の状況を踏まえると省エネの重要性は一段と高まっています。資源エネルギー庁のホームページによると、日本のエネルギー消費のうち運輸部門は全体の24%を占めています。

自動車や航空機では近年大きな省エネの技術開発が実用化されています。燃費を画期的に改善するハイブリッド自動車、電気自動車の本格的な普及が始まっています。航空機もエアバスA380やボーイング787といった最新鋭機で、複合材料の適用拡大や高効率エンジンの採用などで燃費を改善しています。

ここでは、鉄道の省エネについて総合的に解説します。

## 鉄道のエネルギー消費

鉄道は省エネな交通機関です。旅客輸送で見ると、輸送した人数と距離の積の総和である輸送人キロ割合は29%ですが(図1)、消費エネルギーはわずか7%です(図2)。この比である人キロあたりの消費エネルギーは図3

のようになります。

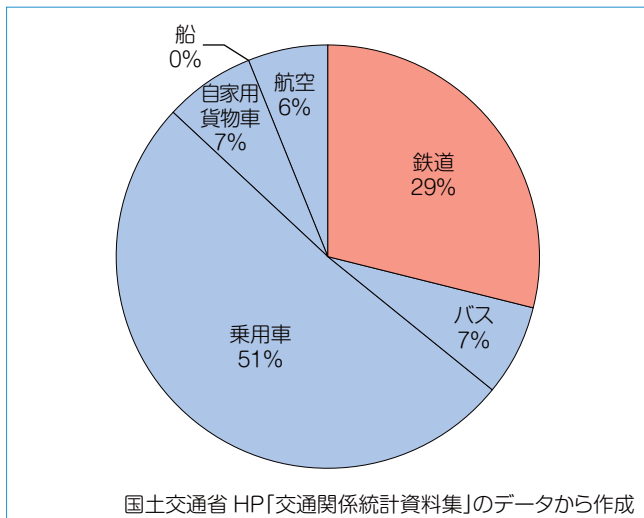
鉄道のエネルギー消費は、電車を走らせるのが主ですが、車内の空調や照明など(補機用と呼びます)にも必要です。また駅の照明、空調、エレベーター、エスカレーターでも使われます。これらを考慮した鉄道の省エネ技術の分類を図4に示します。

鉄道各社のホームページによると、車両で使う電力と駅などの地上で使う電力との割合は概ね8:2です。地下鉄では構造上駅の消費が多く概ね6:4です。最近では、軽量で、高効率なインバーター制御の普及などで車両を走らせるエネルギーは少なくなっています。駅では利便性の向上やバリアフリーの観点からエスカレーター、エレベーターが普及し、むしろ消費電力が大きくなる傾向です。鉄道の省エネというと電車を走らせる電力に目が向きがちですが、駅での省エネも重要です。

車両で使われる電力の駆動用と補機用(図5参照)との割合は最高速度、駅

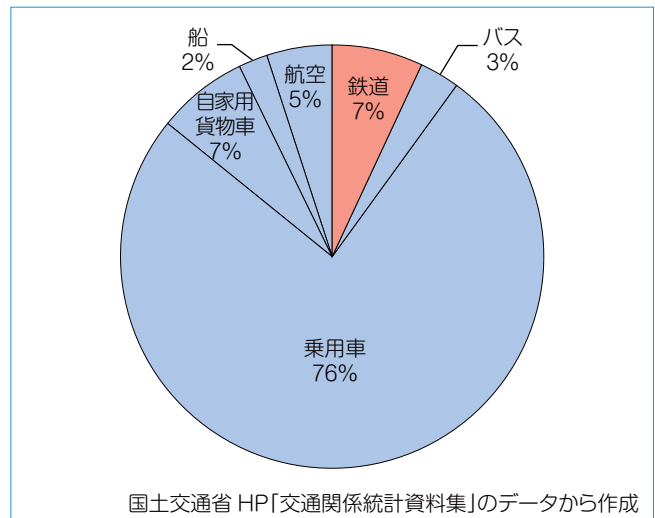
### 補機

車両を駆動する機器に対し、空調、照明など補助的な役割をする機器の総称です。



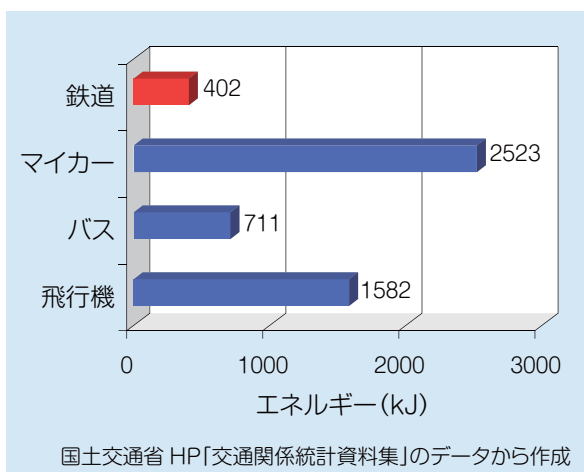
国土交通省 HP「交通関係統計資料集」のデータから作成

図1 各交通機関の輸送人キロの割合



国土交通省 HP「交通関係統計資料集」のデータから作成

図2 各交通機関の消費エネルギー割合



国土交通省 HP「交通関係統計資料集」のデータから作成

図3 人キロあたりの消費エネルギー

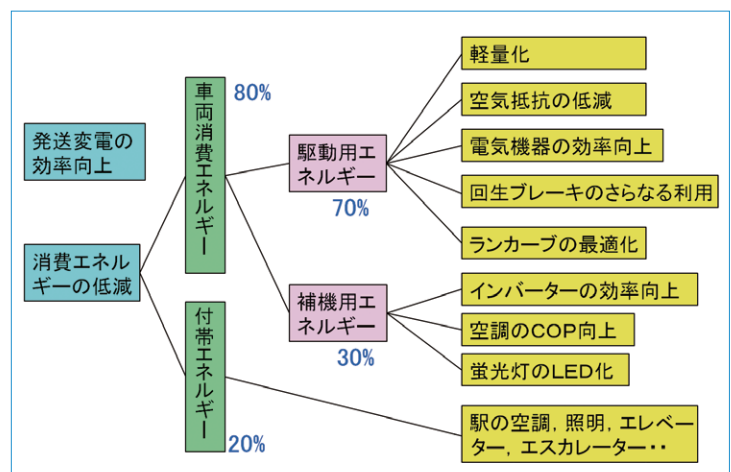


図4 鉄道の省エネ技術の分類

間距離などで大きく変わりますが、平均的には概ね7：3と推測しています。上述のように駆動用は低減の傾向がありますが、補機用は最近の猛暑対策で首都圏の新しい車両では空調の容量が増大される傾向にあります。今後は補機の省エネ対策も軽視できません。

### 駆動用エネルギーの損失低減

駆動用エネルギーの損失は、起こる場所で分けると3つに分類できます。①走行抵抗、曲線抵抗による損失、②動力伝達、変換の損失、③機械ブレー

キの損失、です。

走行抵抗とは機械抵抗（車輪・レール間や車軸軸受などの摩擦の合計）と空気抵抗の合計です。これを減らすためには、車両の軽量化、摩擦の小さな軸受の使用、車両表面の平滑化といった方策があります。

次に、動力伝達、変換の損失低減ですが、電気鉄道の場合、損失は、①発電所、②送電線、③変電所（変圧器、整流器）、④き電線、⑤電車（インバータ、モーターなど）で発生します。これらの効率向上、損失低減が省エネ方

策となります。

三つめの機械ブレーキの損失低減ですが、電車は機械ブレーキと電気ブレーキを備えています。機械ブレーキは車輪などに金属などを押しつけてその摩擦力を使うもので、電車の運動エネルギーが熱エネルギーになって車輪や空気中などに放散されます。電気ブレーキはモーターを発電機として使う（車軸からモーターに伝わる回転力を電気に変える）もので、最近の電車は発生した電気エネルギーを架線経由でその時に加速中の電車で再利用する回

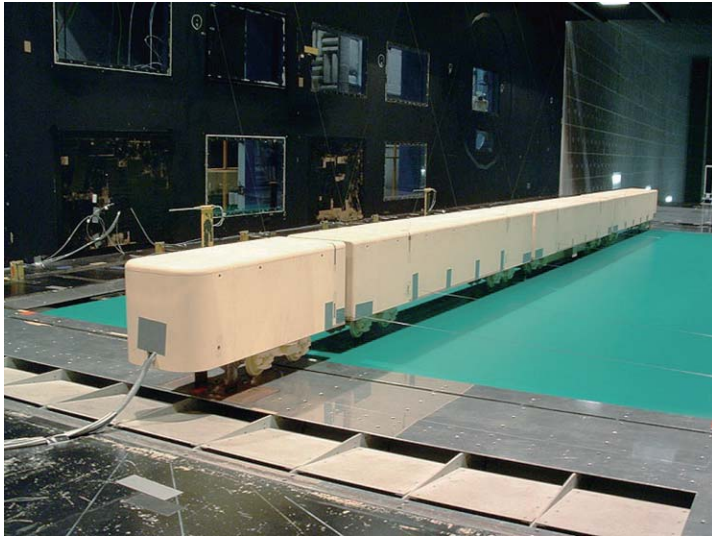


図5 大型低騒音風洞での試験



図6 試作した永久磁石同期電動機

生ブレーキ<sup>1)</sup>を備えています。省エネなどの観点から回生ブレーキを優先して使い、加速する電車が周囲にいないとき(回生失効と呼びます)に機械ブレーキを使うようにしています。回生失効を少なくすることも省エネにつながります。

### 鉄道総研における省エネ技術開発の例

#### 車両の空気抵抗の低減

走行抵抗の低減の取り組みの例として車両の空気抵抗低減を紹介します。空気抵抗は速度の2乗に比例して大きくなります。そのため、新幹線では省エネのためには空気抵抗の低減が重要で、車両の凹凸をなるべくなくすなどの対策が行われてきました。在来線でも最高130km/h運転の列車が立ちこちがあり、このクラスの速度では空気抵抗の低減が有力な方策になります。鉄道総研では、米原に大型低騒音風洞があり、ここで車両の形状を工夫

することにより、空気抵抗を減らす取り組みを行っています(図5)。現在、1/8.4スケールの模型により、在来線車両の各部の形状を変えることがどの程度空気抵抗低減に寄与するかを明らかにする試験を行っています。

#### 永久磁石同期電動機

動力伝達、変換の損失低減の成果として、永久磁石同期電動機があります。ここ20年ぐらいは新しく作られる電車のモーターには誘導電動機という種類が使われてきました。これは構造がシンプルで保守が容易などの特徴があります。最近の永久磁石の特性の進歩により、永久磁石機で電車の駆動に必要な特性を得られるようになってきました。磁界を作るために誘導機では巻線に大きな電流を流すので損失が発生しますが、永久磁石機では電流を流さず磁石で作るのでここでの損失が大きく低減できます。そのため誘導機で約92%の効率を永久磁石機では95%以上にすることができます。図6は鉄

道総研が試作した大容量永久磁石機です。効率は97%を達成し、省エネ効果を実証しました。フランスの車両メーカーでは高速電車や通勤・近郊電車に向けた量産を始めており、日本でも最近地下鉄電車で採用されています。永久磁石のコストなど課題もあり、今後は誘導機と使い分けられていくと思われる。

#### 超電導主変圧器と超電導き電ケーブル

浮上式鉄道の研究開発を長年行っている中で、鉄道総研は超電導技術を培ってきました。これを新幹線や在来線に適用して、動力伝達・変換の損失低減に役立つ研究開発も行っています。新幹線などの交流電化区間を走る電車には主変圧器が搭載されています。電車の部品は軽量化に重点を置いた設計をするので、効率が96~97%と電力用の変圧器に比べるとやや低くなっています。超電導線材の低損失という特性を生かして、新幹線を想定した超電導主変圧器を試作しました(図7)。



図7 試作した超電導主変圧器

その後、改良を加えて効率98%相当まで進みました。まだ重量などの課題がありますが、理論的には99%以上の効率が期待できます。

電車のパンタグラフが接触する電車線路に電流を供給するために並行敷設される電線には数千アンペアの電流が流れますが、ここに超電導ケーブルを用いることにより、発生する損失を低減する取り組みも行っています。これは別稿で紹介しています。

#### バッテリー電車と超電導フライホイール

機械ブレーキでの損失を小さくするには、回生失効を減らすことが有効です。近くに加速中の電車がいない場合にエネルギーを蓄えられる装置を設けて、回生失効をなくす研究開発も行っています。エネルギー蓄積装置は車上設置、地上設置の両方が考えられ、一長一短があります。車上に搭載する方式(バッテリー電車)を別稿で紹介し

ています。また、地上に超電導フライホイールを設ける方式にも取り組んでいます。超電導技術を用いてフライホイールの軸受の固定部と回転部を非接触にして、保守の手間がかからないようにするのが特徴です。

#### あとがき

昔の蒸気機関車の時代では、石炭の消費を減らすために関係者は心血を注いできました。省エネは時代を越えて常に鉄道の取り組むべき課題の一つです。省エネという鉄道の特性にさらに磨きをかけるために、今後も研究開発を進めていきます。

超電導主変圧器、超電導電ケーブル、超電導フライホイールの研究開発は国土交通省の補助金を受けて実施しています。RRR

#### 文献

- 1) 秦 広：電車を動かす制御技術, RRR, Vol.68, No.6, pp.2-5, 2011.6

ここで紹介した以外の鉄道総研の省エネ技術開発については

- 2) 秦 広, 他：エネルギーの高効率な利用, RRR, Vol.68, No.1, pp.18-21, 2011.1

海外の電車の主回路の省エネ技術開発の動向については

- 3) 秦 広：車両用主回路システムの海外の研究開発動向, 鉄道総研報告, Vol.23, No.11, pp.1-6, 2009.11