

車両の省エネルギー関連の研究開発

車両制御技術研究部

部長 秦 広

1. はじめに

鉄道は、他の輸送機関に比べて省エネルギー性に優れている。旅客の人キロあたりで乗用車の約6分の1、航空機の約4分の1になっている(図1)。これは、鉄車輪と鉄レールの組み合わせで走行抵抗が小さい、大量輸送ができるという本質的な特徴に由来しているが、長年にわたる技術開発の成果も大きな部分を占めている。今回の発表では、車両の省エネ技術について鉄道総研電気関係の取り組みを中心に概観する。

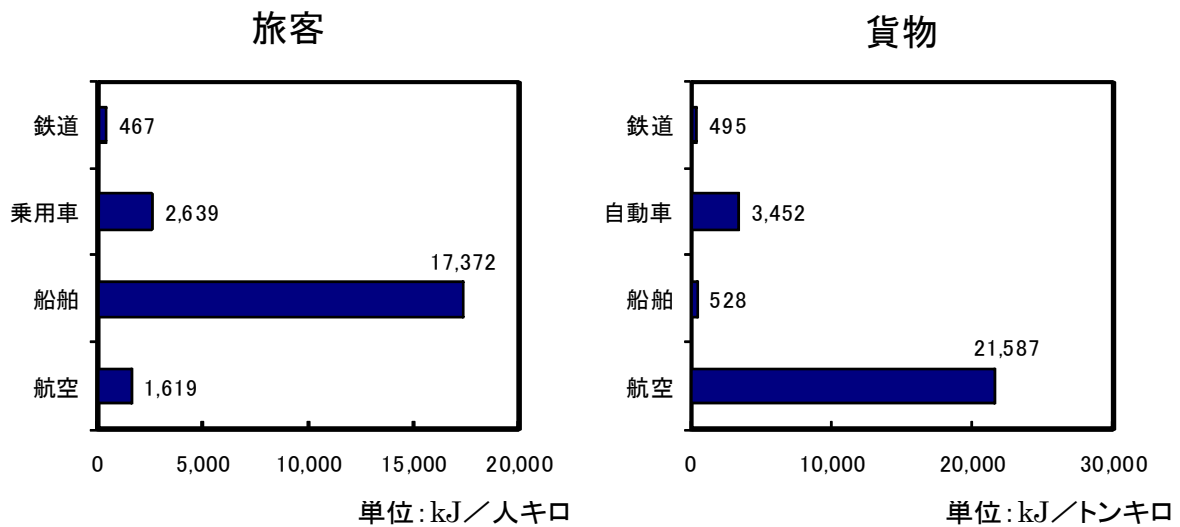


図1 輸送機関ごとの所要エネルギー

2. 車両の省エネ技術

2.1 走行抵抗の低減

走行抵抗は機械抵抗と空気抵抗からなる。機械抵抗は質量に比例するので、車両の軽量化は効果の大きい方法である。ステンレス鋼、アルミ合金などの使用による車体の軽量化、ボルスタレス化などの台車の軽量化、交流電動機の適用による主電動機の軽量化、主変圧器巻線のアルミ化などが今までに行われてきた。現在総研で取り組んでいるのは主変圧器の超電導化である。巻線に超電導線材を用い、これを液体窒素で冷却する。ビスマス系超電導線材の進歩を踏まえて、2005年に3.5MVAという新幹線クラスの超電導主変圧器を初めて試作した(図2)。これにより質量の20%低減を目標にしている。軽量化以外では、以前の話であるが車軸軸受を平軸受からころ軸受にしたことが機械抵抗の低減に該当する。

空気抵抗の低減のため、車体の平滑化、パンタグラフ等の突起を少なくして形状を工夫する、床下機器を覆うなど



図2 試作した超電導主変圧器

の方策が進められている。

2.2 主回路システムとその機器の効率向上

主電動機関係では永久磁石同期電動機が挙げられる。磁力が大きい希土類磁石の発展により、鉄道車両への適用が視野に入った。誘導機の効率が92%程度であるのに対し、96%程度への向上ができる。鉄道総研では10年前から開発を進め、通勤電車用、新幹線電車用などの試作を行った(図3)。軌間可変電車(一次車)用に2両分製作し、アメリカの高速試験線で60万kmの耐久試験を行い、実用上の問題がないことを確認した。

また、駆動装置を省略する直接駆動方式(DDM)の開発も同時に行った。上記の軌間可変電車(一次車)用は車輪一体型である。また通勤電車用の試作も行った(図4)。JR東日本で開発が進められ、試作編成が作られている。

最近の電車は回生ブレーキを備えているのがほとんどであるが、負荷を吸収する車両がないときは回生失効になる。これを防ぐ手段の一つとして「電力リサイクル車両」と名づけて車載リチウムイオン二次電池を開発した(図5)。300kW、1.1tという軽量で大容量の電池を2002年に開発した。車両に搭載した走行試験で、回生ブレーキ中にパンタグラフをおろしてブレーキパワーの行き先がスムーズに電池に切り替わることを確認した。後述のトラムの札幌市での走行試験で、営業線での省エネ実績のデータをとることができた。このほか、フライホイールの試作も行った。また、JR東海では電気二重層キャパシタを搭載した試験を行った。

「電力リサイクル車両」で開発したリチウムイオン二次電池の高いパワー密度、エネルギー密度を応用して、主な停留所で急速充電し、このエネルギーで架線レスで走行することができる架線ハイブリッドトラムの開発を行った。これにより、回生失効や架線で発生する損失をなくすることができる。バッテリーに充電する際の損失が新たに発生するが、差し引き数%程度の効果があると考えている。NEDOの資金を得て急速充電などの要素技術開発を行った後に試作車(トラム)を製作し、総研構内および札幌市の営業線で試験走行を行った(図6)。リチウムイオン二次電池は先述のものをパワーアップして、600kW、72kWhとした。

先述の超電導主変圧器は効率向上にもつながる。現行の効率96%程度を99%以上にすることが目標である。巻線の損失低減や大容量高効率冷凍機の開発などの

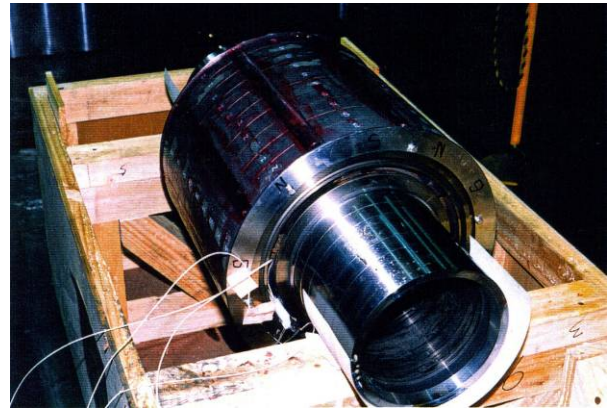


図3 永久磁石同期機の回転子

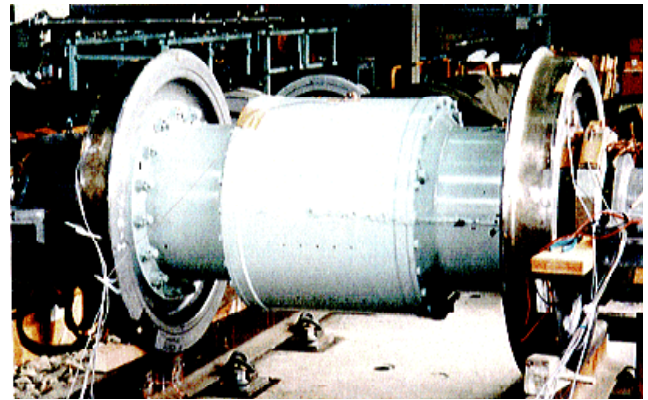


図4 直接駆動方式主電動機



図5 開発したリチウムイオン二次電池

課題があり、現在取り組んでいる(図7)。



図6 試作したトラム



図7 開発した低損失超伝導線材

中間ノッチで高速で運転する時に編成中の主回路ユニットの半数をフルパワーで運転し、半数をオフにする手法を開発した(図8)。主回路機器全体で見ると、高速域では負荷に依存しない固定損失が多いので、これが有効な方策になる。JR 北海道の特急電車で使われている。

ディーゼル車の動力システムのシステムチェンジにより、回生ブレーキを利用することも進めている。ひとつは燃料電池車である。リチウムイオン二次電池もあわせて搭載して、ハイブリッド化することにより、消費エネルギーを少なくすることができる。排気をクリーン化するメリットもある。2006年度に120kW級の試作燃料電池を車両に搭載して走行試験を行った(図9)。

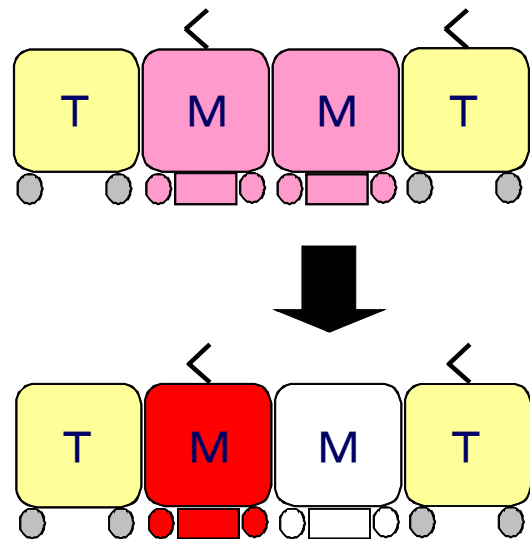


図8 主回路動作両数変更制御



図9 燃料電池試験電車の構成

また、エンジンとバッテリーのハイブリッドにより回生ブレーキを有効利用する方法の開発も行われている。JR 東日本でシリーズ方式の車両が営業運転を行い、JR 北海道でパラレル方式が車両改造で試作されている。

2.3 そのほかの省エネ技術

補助回路の損失低減はあまり目を向けられることがなかったが、常時発生する損失であるため、重要な課題である。S I Vの低損失化、補助回路で最大の負荷である冷暖房関係の損失低減がターゲットになろう。

さらに運転方法による省エネも考えられる。今までの研究から、基本的には惰行をなるべく多くする、言い換えれば中間ノッチの使用を少なくすることが省エネ上有利であることがわかっている。

3. 関連する技術

回生失効対策を検討する場合、状況把握が重要である。電車の主回路用インバータを改造してこのデータを取得する装置を2002年に開発した。回生ブレーキの指令値と実際の電流などを測定することにより、駅間単位で回生率を算出することができる。線区、時間帯、曜日による回生率の違いを細かく分析することができる(図10)。

また、電車やディーゼル車の消費エネルギーを算出するソフトを開発している。これはspeedyと組み合わせることにより、駅間ごとに消費エネルギーをなど算出するものである。損失低減について施策を検討する際に重要なツールになると考えている。本日、電車用について別途報告する。

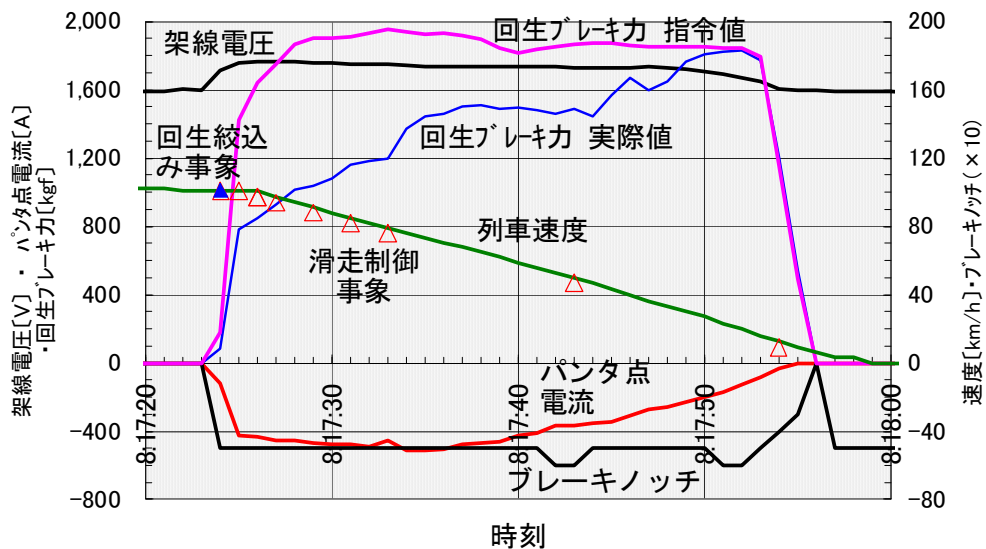


図10 回生ブレーキ動作状況測定システム

4. 終わりに

車両の省エネ技術についてまとめてきた。今後、さらに省エネを進めることは喫緊の課題である。しかし、初期投資のコストが普及の課題になっているのも事実である。さらなる技術開発などでこれを克服する努力をしていきたい。