

# 車両の省エネルギー関係の研究開発

秦 広\*

## Researches and Developments for Energy Saving of Rolling Stock

Hiroshi HATA

Railway is an environmentally friendly transportation system in view of energy saving. It is owing to low rolling resistance and its mass transport capability. Also many and long term researches and developments have realized less energy consumption. In this paper, the author describe, as examples, on board lithium ion battery, fuel cell vehicle, superconducting transformer, permanent magnet traction motor, direct drive traction motor, hybrid system vehicle etc.

キーワード：省エネ，超電導，永久磁石，リチウムイオン二次電池，燃料電池

### 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の所要エネルギーは乗用車の約6分の1、航空機の約4分の1になっている(図1)。貨物も同様に自動車、航空と比べてエネルギー消費が少ない。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。本稿では、車両の省エネ技術について鉄道総研電気車関係の取り組みを中心に概観する。

### 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。ピ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)。これは、国土交通省の補助金を受けて実施した。これにより質量の20%低減を目標にしている。

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の方策が進められている。

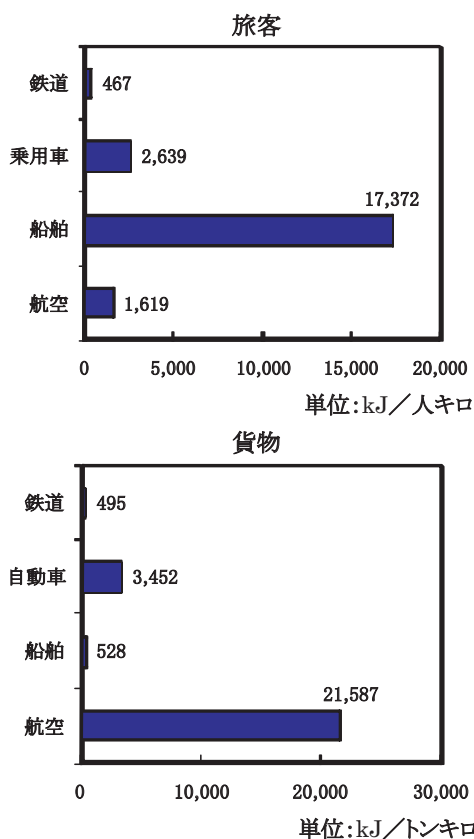


図1 輸送機関ごとの所要エネルギー<sup>1)</sup>

\* 車両制御技術研究部 部長

特集：車両技術



図2 試作した超電導主変圧器

2.2 主回路システムとその機器の効率向上

次に主回路を構成する主電動機、主変圧器などの効率向上、および主回路システムの改善による省エネ方策について述べる。

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<sup>2)</sup>。小型・軽量化というメリットもある。鉄道総研では約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<sup>3)</sup>。

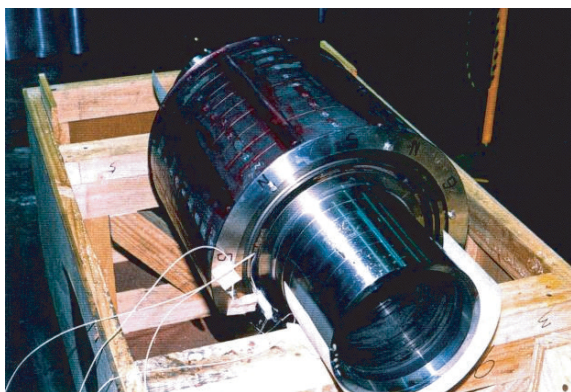


図3 永久磁石同期電動機の回転子

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。これにより、通常伝達出力の2.5%とされる歯車での損失をなくすことができる。あわせて、歯車の保守の低減、主電動機の低回転化による騒音低減というメリットもある。しかし、同一の駆動力を得るた

めには主電動機の大型化が必要になり、永久磁石機にするなどの小型化方策との併用が必須である。前述の軌間可変電車(一次車)用はこの方式で試作した。また通勤電車用の試作も行った(図4)<sup>4)</sup>。JR東日本で開発が進められ、この方式の主電動機を用いた編成が作られている<sup>5)</sup>。

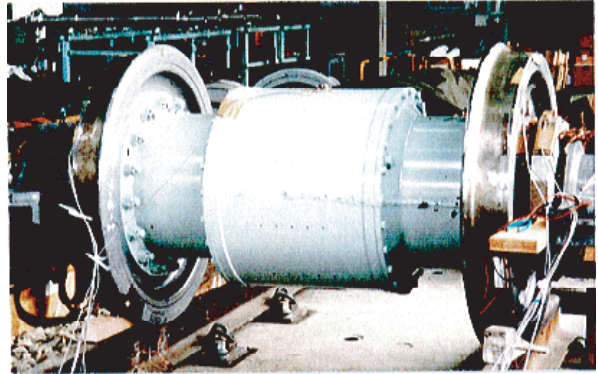


図4 直接駆動方式主電動機

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、回生電力を吸収する車両がない場合は回生失効になる。これを防ぐ手段として「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)<sup>6)</sup>。300kW、1.1tという大容量で軽量の電池を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下げ(回生失効を模擬)、ブレーキパワーの行き先が架線からスムーズに電池に切り替わることを確認した。また、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。



図5 開発したリチウムイオン二次電池

また、JR東海は在来線の電車に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%程度の損失低減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。



図6 試作したトラム

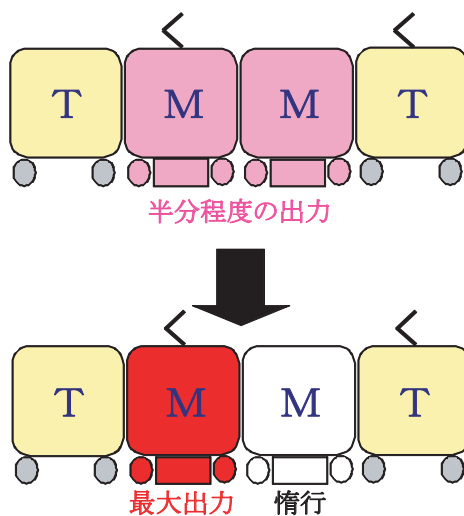


図8 主回路動作両数変更制御



図9 燃料電池試験電車の構成

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課題があり、現在取り組んでいる(図7) 7) 8) 9)。



図7 開発した低損失超電導線材

電車を中間ノッチで高速運転する時に、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。この方式はJR北海道の特急電車でも使われている<sup>10)</sup>。

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<sup>11)</sup>。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)。これらの研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

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。SIV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る。

特集：車両技術

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、失効状況の把握が重要である。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にこの装置で取得したデータの一例を示す。この例では、ブレーキのかけはじめに回生ブレーキ力実際値が指令値を下回っており、速度が下がるにつれて乖離が小さくなっていることがわかる。

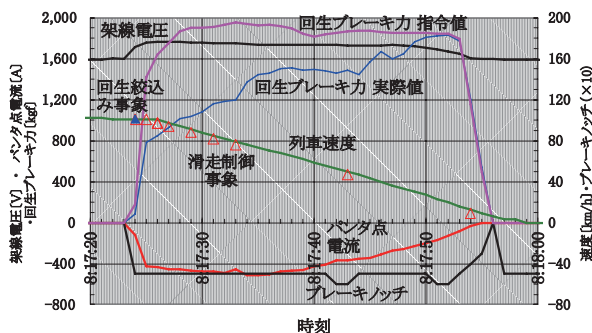


図 10 回生ブレーキ動作状況測定システムの測定例

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<sup>12)</sup>。これはSPEEDY<sup>13)</sup>と組み合わせることにより、駅間ごとに消費エネルギーなどを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。

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。

文献

- 1) 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/energy/index.html>
- 2) 近藤稔, 寺田泰也, 近藤圭一郎: 鉄道車両への永久磁石同期電動機の適用, 鉄道総研報告, Vol.16, No.5, pp.17-22, 2002
- 3) 松岡孝一, 近藤稔, 白石茂智, 山脇和典: 軌間可変電車用主電動機の開発, 電気学会論文誌 D, Vol.121, No.5, pp.569-576, 2001
- 4) 松岡孝一, 秦広, 佐藤潔, 近藤圭一郎, 徳田憲暁, 石毛真, 畑正, 佐藤真哉: 次世代通勤電車用直接駆動式主電動機システムの開発, 日本機械学会第6回交通・物流部門大会講演論文集(鉄道シンポジウム編), pp.197-200, 1997
- 5) 白石茂智, 山本肇: E331系用直接駆動式主電動機(DDM)の開発経緯と概要, 鉄道車両と技術, No.118, pp.27-32, 2006
- 6) 小笠正道: 鉄道における省エネルギーと環境(ハイブリッド車両を例として), 電気学会誌, Vol.127, No.4, pp.222-225, 2007
- 7) 上條弘貴, 福本祐介, 秦広, 藤上純, 加藤武志, 岩熊成卓, 船木和夫: Bi2223系超電導線の低交流損失化に関する検討, 平成18年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集, pp.52-17-18, 2006
- 8) 池田和也, 岩松勝, 長嶋賢, 宮崎佳樹: パルス管冷凍機による超電導主変圧器用冷却システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.9, pp.41-46, 2007
- 9) 上條弘貴, 池田和也, 秦広: 超電導主変圧器開発の現状, JREA, Vol.51, No.5, pp.10-12, 2008
- 10) 鬼頭智彰: JR北海道789系1000番台特急形交流電車, 車両技術, No.235, pp.22-40, 2008
- 11) 山本貴光, 古谷勇真, 米山崇, 小川賢一: 燃料電池試験電車の構内走行試験等による燃費及び効率の評価, 鉄道総研報告, Vol.22, No.2, pp.53-58, 2008
- 12) 村上浩一, 芳賀一郎, 山下修, 中村英男: ディーゼル車両の消費エネルギー計算システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.7, pp.39-44, 2007
- 13) 平野純一, 富井規雄, 山下修: 運転曲線作成システムSPEEDYの開発, RRR, Vol.49, No.5, pp.9-14, 1992