

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 鉄道の省エネルギー

鉄道が他の交通手段と比較して省エネルギーであることは、様々なデータから立証されています。しかし、2011年3月の東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）後の日本全体のエネルギー危機を背景として、鉄道に対してさらなる省エネルギーが求められています。本稿では総論として鉄道で使われているエネルギー量とその内訳、および省エネルギー技術開発の方向性を述べます。



**兎束 哲夫**  
Tetsuo Uzuka  
電力技術研究部  
部長  
[専門分野]変電システム



**秦 広**  
Hiroshi Hata  
車両制御技術研究部  
主管研究員  
[専門分野]車両電気

## はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）以降、日本のエネルギー事情は激変しました。電力料金は高騰しており、鉄道事業者にとって省エネルギーの必要性が高まっています。

## 鉄道が使用するエネルギー

国内旅客輸送において鉄道が占める割合は、2012年度の人キロベースで28.6%を占めています。2013年度に運輸部門が国内で占める二酸化炭素排出割合は17%、鉄道は運輸部門中の3.7%、すなわち全体の1%以下を排出するに過ぎません。また、電気事業連合会が公

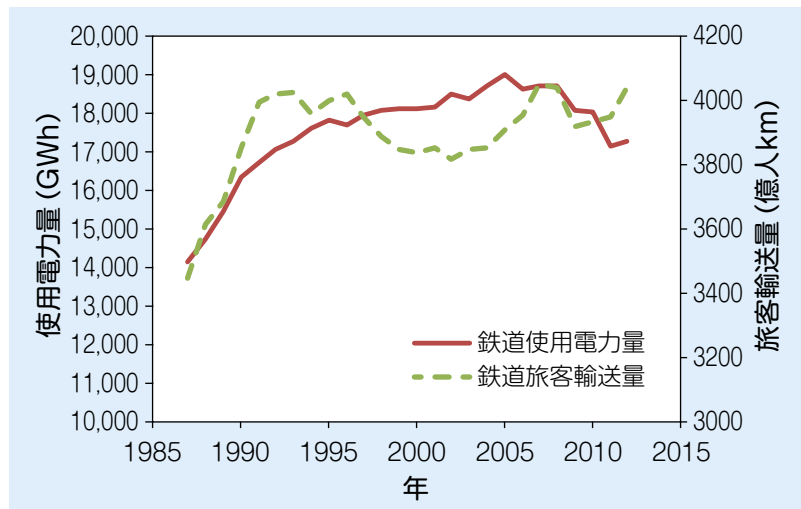


図1 鉄道使用電力量推移

### データの信頼性

2010年度途中から国土交通省の統計方法が変更され、自家用車の輸送人員・人キロは燃料消費量から求めた推定値となりました。また、図1の鉄道使用電力量には、JR東日本の自営電力分は計上されておりません。

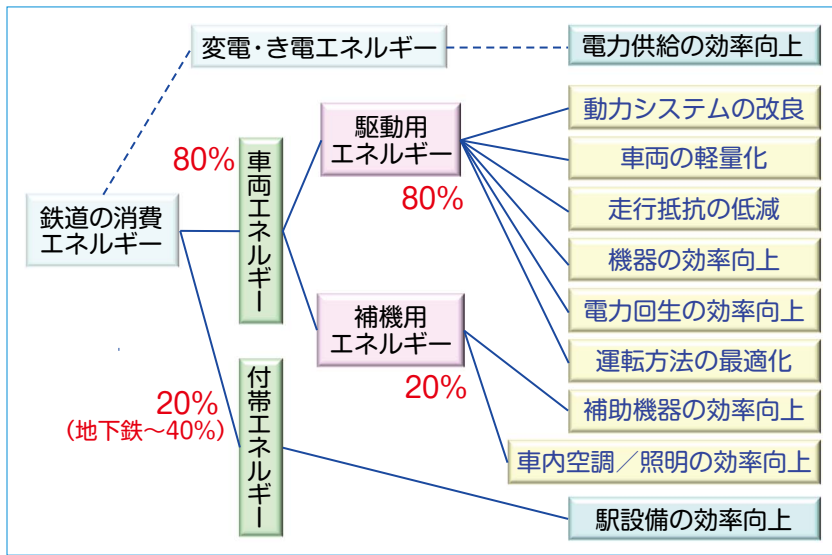


図2 鉄道の消費エネルギーの分析と省エネルギー方策

表1 鉄道事業者の省エネルギー目標例<sup>2)</sup>

JR A 社	2020年に2010年基準エネルギー8%削減
JR B 社	2017年に2010年度比、運転電力原単位3%改善、全社エネルギー2%削減
JR C 社	2015年に1995年比、運転電力原単位14%低減
民鉄 A 社	2014年に1960年代比、運転電力45%削減
民鉄 B 社	エネルギー消費原単位を年平均1%以上改善
民鉄 C 社	2013年に2009年比、運転電力原単位4%低減
民鉄 D 社	2012年に1990年比、運転電力原単位10%低減

表している産業用電力販売量データ<sup>1)</sup>から鉄道使用電力量（付帯電力および本社など使用分を含む）と、鉄道旅客輸送量の推移を図1に示します。

1990年代前半までは輸送量と電力量が同様に推移し、その後は電力量が微増しています。しかし、改正省エネ法が施行された2005年からは電力量が確実に減少し、鉄道における省エネルギー効果は明白となっています。

### 運行電力の内訳

公表されている鉄道事業者の環境報告書およびCSR報告書によれば<sup>2)</sup>、鉄道事業者の全電力消費量のうち、運転用電力はJR各社と大手民鉄（東京地下鉄を除く）で70～85%程度であり、残りは付帯電力、すなわち駅および管理部門で利用された電力です。東京地下鉄を含む地下鉄では運転用電力が40～60%程度となっており、駅構内の照明や空調、エレベーターやエスカレーターに代表される付帯電力の方が多い事業者もあります。

さらに図2に示すように車両内でも空調・照明に多くのエネルギーを使っていますから、鉄道が使用するエネルギーのうち、純粋に駆動に用いられているのは半分程度です。

### 鉄道の省エネルギーの意義

鉄道事業者の場合、省エネルギーの目的は地球環境対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減であり、副次的に電力料金の節減が可能です。東日本大震災以降は日本全体のエネルギー不足と大幅な価格上昇が続いていることから、各鉄道事業者では各分野にまたがった省エネルギー施策を検討しており、着々と実現に至っています。

このような状況において国土交通省鉄道局では、環境省と連携して平成24年（2012年）7月に「エコレールラインプロジェクト」事業を実行しています<sup>3)</sup>。これは2030年に鉄道からのCO<sub>2</sub>排出の2割程度の削減を目指し、省電力化・低炭素化に計画的に取り組む鉄・軌道事業者を支援するものとなっています。

### 鉄道事業者の取り組み

#### (1) 環境マネジメント

近年では、鉄道事業者において環境マネジメントシステムを実施するための国際規格ISO 14000シリーズに準拠した取り組みがなされています。これは、各社で環境基本方針を定め、これに基づいた環境目標を設定（Plan）、目標の達成に向けて活動し（Do）、活動進捗状況を検証し（Check）、見直し

する（Action）ものです<sup>4)5)</sup>。JRグループ各社や公民鉄などの多くの鉄道事業者では、環境報告書またはCSR報告書・社会環境報告書を発行し、成果を公開しています<sup>2)</sup>。

#### (2) 運行エネルギーの削減

全ての鉄道事業者各社は、環境マネジメントの目標として運行エネルギー削減もしくは全社的なCO<sub>2</sub>削減を掲げています。運行エネルギーに関する具体的な数値目標例を表1に示します。各社とも新型車両の導入や運転方法の改善を進めています。地上電力設備に関しては、蓄電装置や上下タイキ電の導入が目立っています<sup>2)</sup>。

#### (3) 付帯電力削減

付帯電力削減施策としては、駅および商業ビル・本社などでの照明のLED化や照明範囲の見直し、空調設備の効率的運転などの成果が挙げられています。さらに、省エネルギーだけでなく、駅屋根・車両基地屋根および鉄道用地などでの太陽光発電や風力発電の導入も進められています。

### 海外鉄道の動向

欧州各国の鉄道も省エネルギー施策を開始しており、以下の目標が公表されています<sup>6)</sup>。

1) 欧州鉄道全体：2020年までに



図3 鉄道総研の地上蓄電装置



図4 燃料電池車両

CO<sub>2</sub>を1990年比30%削減, 2008年5月CER (The Community of European Railway and Infrastructure Companies: 欧州鉄道事業者団体) 総会で宣言

2) ドイツ鉄道 (DB): 2020年までにCO<sub>2</sub>を2006年比20%削減, 2002~2007年で電力量5%削減済

3) フランス鉄道 (SNCF): 2020年までにCO<sub>2</sub>を1990年比40%削減, 同期間に運転エネルギー消費量5%削減

このように, 一見して日本より目標削減率が大きくなっていますが, これは欧州の鉄道において, 過去に省エネルギー指向があまり強くなかったことを反映しています。また, 運転エネルギーだけを取り出すと, 日本同様の目標値となっています。

### 鉄道の省エネルギーの歴史

鉄道の歴史は, 省エネルギーの歴史と言っても過言ではありません。簡単に歴史を振り返ってみます。

#### (1) 重量と走行抵抗の軽減

低速・中速鉄道の運動エネルギーは, その重量に比例するため, 衝突時の安全性や遮音性を保った上での軽量化は省エネルギーに直結します。

旅客車に関しては, 鉄の台枠に木造車体から始まり, 車体の材料は木材から鋼鉄, ステンレス, アルミ, さらにFRPと強度を保った上での軽量化

が進められています。新材料の開発だけでなく, 車内の手すりパイプを構造材の一部として用いるなど, 構造解析も進化しています。また, 台車の構造や部品も鉄道の歴史の中で大幅な軽量化が達成されています。

車両に積まれた様々な装置の重量軽減も大きな効果があります。主回路機器などの動力装置だけでなく, 座席や空調装置なども改良されています。古くは, 1950年代のつりかけ式からカルダン式への動力伝達方式移行が, 非常に大きな技術進化でした。

さらに, 高速車両においては, 車体の空気抵抗低減が走行抵抗の軽減に大きな効果があります。

#### (2) 電気車制御の進歩

電車および電気機関車 (合わせて電気車と呼びます) は, 強力で効率が高いことから, 現在の鉄道において主役を占めています。

日本における電気車の制御は, 直流電方式の抵抗制御に始まりました。

1970年代に高速で電流を切り切りできる半導体素子サイリスターを用いたチョッパー制御が誕生しました。この中でも電機子チョッパーと呼ばれる方式では主抵抗器での電力損失をなくし, 回生ブレーキが使えるようになったこと, さらに抵抗器省略による軽量化と相まって省エネルギー効果を得ました。その後インバーターにより誘導

機を駆動する時代が始まりました。

現在は回生ブレーキを装備した電車が多数派になっており, ブレーキ時に発生した電力を近くで加速中の電車に利用することにより省エネルギー効果をあげています。新幹線電車はすべて回生ブレーキ付きとなっています。

#### (3) 地上電気設備の対応

電車が回生ブレーキ使用を開始すると, 地上の電力供給設備もエネルギーを有効活用できるように改良されました。1970年代から変電所へのインバーター設置が開始され, 1980年代には蓄電装置による回生電力貯蔵, 2000年代にはPWM整流器による双方向電力融通などが実用化されています (図3)。

### 非電化区間の省エネルギー

日本の電化率は約60%ですが, 非電化路線ではディーゼルカーおよびディーゼル機関車が使われています。

車両の軽量化や空気抵抗低減はディーゼル車にも有効です。また, ディーゼル機関本体の燃費改善努力が地道に続けられています。最近の技術動向を紹介します。

#### (1) 燃料電池

ディーゼル機関の置き換えとして, 最もCO<sub>2</sub>削減効果が見込めるのは水素をエネルギー源とする燃料電池であり, 自動車の市販が開始されています。鉄道総研では, 約10年前から燃料電

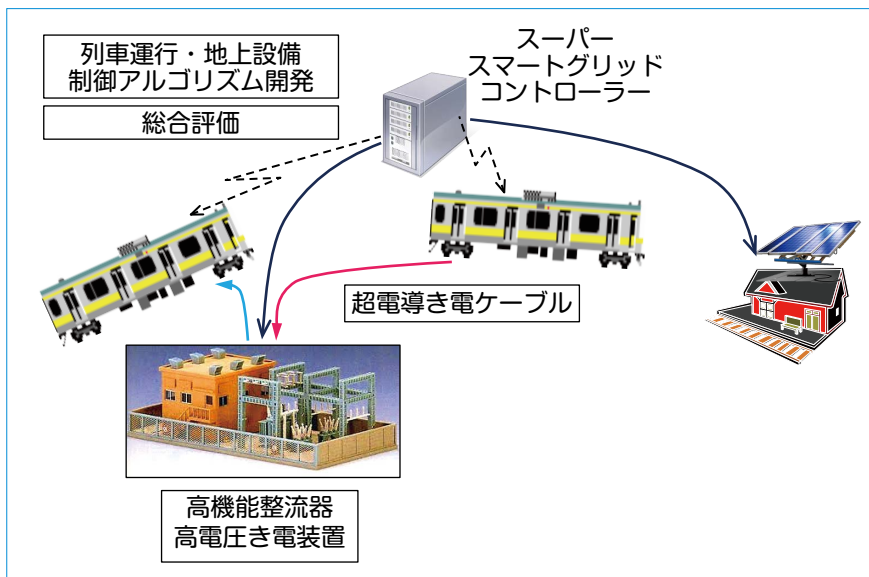


図5 車両・運転・電気の連携

池車両の開発に取り組み、現在走行試験を行って電池の長期劣化特性の把握など実用化に向けての技術開発を進めています(図4)。

## (2) 電気式ディーゼル

ディーゼルエンジンの出力を発電機に直結し、モーターで車輪を駆動する方法です。日本では誘導電動機のインバーター駆動が一般化してから大出力貨物機関車に採用され、従来の液体式ディーゼル機関車よりも効率を向上しています。

海外の貨物用ディーゼル機関車の大半はこの電気式です。海外ではパンタグラフを搭載して、電化区間と非電化区間を直通する電気式ディーゼル旅客車両もあります。

## (3) ハイブリッド駆動

電気式ディーゼル車と蓄電池を組み合わせて、大幅に燃費を向上したハイブリッド駆動ディーゼル車はJR東日本とJR貨物で実用化されています。

## (4) 蓄電車両

JR東日本烏山線では、2014年から駅に充電設備を設けて蓄電装置を搭載した車両を充電し、非電化区間を走行しています。また、鉄道総研ではJR九州に協力し、交流き電区間で充電して非電化区間を走行する蓄電車両の実用化を推進しています。

## (5) バイオディーゼル燃料

植物由来のバイオ燃料は再生エネルギーの一種であり、石油由来の軽油と燃費が同じであってもCO<sub>2</sub>削減効果が得られます。鉄道総研の研究結果では、軽油に5%のバイオディーゼル燃料を混合しても、燃費や排ガスなどに悪影響は見られませんでした。

## 今後の技術開発動向

このように様々な視点で、省エネルギーへの地道な努力が続けられてきました。今後の省エネルギー技術開発の方向と、鉄道総研の取り組みを紹介します。

### (1) 車両・運転・電気の連携

電気車の運転電力削減に関する次のステップは、車両・運転・電気各部門のさらなる協力です。例えば、運転士に対して省エネルギー運転を推奨するナビゲーション装置の導入が各地で開始され、効果を上げています。このナビゲーション装置が地上および他列車と情報を授受し、列車群制御が可能となれば、省エネルギー効果は一列車単位よりもさらに高まります。

鉄道総研ではこのような視点から、2015年度から、研究課題として「エネルギーネットワークによる省エネ

ルギー化」を開始します(図5)。

### (2) 動力系の革新

電気車のインバーターや変電所の整流器の半導体素子にSiC(シリコンカーバイド)を用いることにより損失を大きく低減し、小型・軽量化ができるので、研究開発が進められています。

一方、変電所・架線・パンタグラフ系の代替として、非接触集電の研究開発が進められ、自動車・バスでは車載の蓄電装置と組み合わせた試験的な実用化が開始されました。鉄道では大容量化が必要であり、さらに高速鉄道への適用はしばらく先になるでしょう。

また、非接触集電では電力伝送時の損失が大きいことから、省エネルギーの観点からは効率向上が必要です。

さらには、浮上式鉄道のように現在の鉄車輪・鉄レール式鉄道以外の方法も実用化へ進んでいます。

## おわりに

省エネルギーは日本の鉄道技術の強みともなっています。しかし、欧州をはじめとした海外の鉄道も、ここにきて体系的かつ積極的な取り組みを公表しています。また、自動車・航空機なども飛躍的な省エネルギー化を狙っています。鉄道総研でも、これまで以上に技術開発を進めていきます。**RRR**

## 文献

- 1) 電気事業連合会：電力統計情報、2015
- 2) 鉄道事業者各社のCSR報告書・環境報告書などより抜粋(2013-2014)
- 3) 国土交通省：エコレールラインプロジェクトの必要性とその目指す方向、2012
- 4) 環境省：環境会計ガイドライン 2005年版
- 5) 環境省：環境報告ガイドライン～持続可能な社会を目指して～(2007年版)
- 6) 兎束：「欧州Railenergyプロジェクトの概要」、J-Rail2011, S3-3-5, 2011