

鉄道のエネルギー消費原単位からみた 車両省エネ技術の今後のあり方

秦 広*

Trends of Multiple Unit's Energy Saving Technology from the Viewpoint of Energy Consumption Rate of Railway Companies in Japan

Hiroshi HATA

From the beginning of the railway history, saving energy has been an important issue to manage a railway company. An energy consumption rate for the passengers, which is obtained by dividing energy consumption by passenger-km, is a useful index to get hold of the level of saving energy technology. It is well known that the energy consumption rate of railway for passengers is better than those of other transportation modes such as automobile, bus and airplane. The rate of Japanese railways is reported officially every year. Also, we can calculate the rate of each railway company by dividing energy consumption by passenger-km, both of which are reported officially. Distribution of the rates for the respective railway companies is shown in this paper. The trends of energy saving technology are examined by the author from the view point of the distribution, and the examination result is reported.

キーワード：車両，省エネ，原単位，人キロ

1. はじめに

まだ省エネという言葉が生まれる以前の蒸気機関車の時代から鉄道事業者は動力費の節減に取り組んでいた。日本国有鉄道百年史¹⁾には「運転用石炭費の節減に多大な努力が払われた。」とあり、大正9年度から昭和11年度の間蒸気機関車走行1km当たりの石炭消費量が約4分の3になったことが記されている。戦後の国鉄の動力近代化（電化，ディーゼル化）は、動力変換効率の向上という大きな効果を得た。その中でわが国は電車中心の時代になったが、1973年のオイルショックによる社会全体の省エネの高まりは抵抗制御からチョップ制御への移行の追い風になり、現在はインバータ制御が主流になっている。最近では地球温暖化の原因とされるCO₂排出低減が強く叫ばれ、省エネの取り組みの推進力になっている。

省エネについて論じる際に、従来はその手法を分類し、各手法について考察してきた。分類の一例を図1に示す。

輸送機関のエネルギー消費の指標として、エネルギー消費原単位が国土交通省から発表されている³⁾。旅客輸送については、1人を1km輸送する際に消費するエネルギーで、わが国の鉄道全体の消費エネルギーを輸送人キロで除して求めたマクロな値である。また、鉄道統計年報⁴⁾には事業者毎に輸送人キロ、運転用消費電力量、軽油使用量が記載されており、事業者毎の原単位を算出できる。今回は175事業者の分布を調べることにより、今後の省エネのあり方の展望を試みた。なお、原単位、言い換えれば輸送機関のエネルギー効率については、角らが定員乗車を前提に綿密な検討をしている⁵⁾。また、大野らは通勤電車、地下鉄、トラム、モノレールなどさまざまなタイプの鉄道について消費電力量を実測し、原単位を求めている⁶⁾。

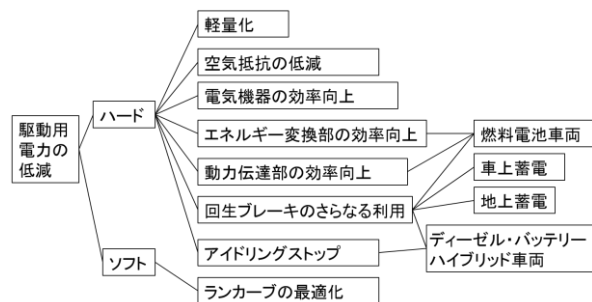


図1 車両の省エネ手法の分類の例²⁾

2. 原単位についての概要

原単位は、エネルギー消費の観点での鉄道の優位性を示す指標として使われている。自家用自動車のデータが公表された最終年度である2011年度の各輸送機関のデータ（旅客）をグラフ化して図2に示す。また、鉄道の原単位の推移を図3に示す。鉄道のエネルギー消費原単位は他の輸送機関と比べて小さく、さらに大局的にみると徐々に改善している。

* 車両制御技術研究部 主管研究員

特集：車両技術

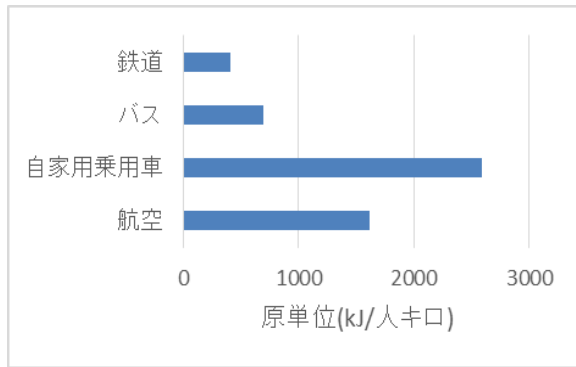


図2 各輸送機関のエネルギー消費原単位（旅客）

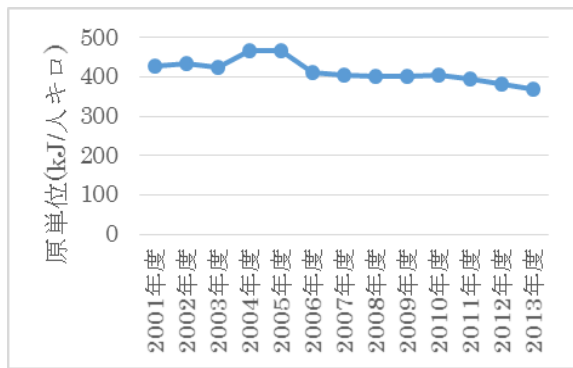


図3 鉄道のエネルギー消費原単位の推移（旅客）

3. 事業者毎の原単位の分布

3.1 分布の作成方法と分類方法

原単位は輸送密度と相関すると思われるので、これと対比した（図4）。現在公表されている最新の鉄道統計年報は2015年度の数字であるのでこれによった。なお、各鉄道事業者のサイトの環境報告書などで運転用電力、付帯電力を掲載している場合があり、これと統計年報の数値を比較すると、付帯電力を含めた電力量が統計年報に記載されている事業者が複数あった。そこで、旅客人キロの大きい事業者のサイト⁷⁾により必要により修正した。

年報では、事業者を大手（16社）、中小、公営、JRの4つのカテゴリに分類している。第三セクターは中小に分類されている。今回、動力方式（電気運転、ディーゼル運転）の違いや、ケーブルカー、モノレール、新交通システムの鉄車輪・鉄レールによる粘着運転との違いを可能な範囲で考察するため、以下の9つに分類した。

- 「大手民鉄およびJR」
- 「地下鉄」
- 「中小（電気）」
- 「中小（ディーゼル）」
- 「路面電車（トラム）」

- 「ケーブルカー」
- 「モノレール」
- 「新交通システム」
- 「その他」

ここで「地下鉄」は公営のうち軌道を除いた事業者とした。東京地下鉄(株)は大手民鉄に分類した。電力や軽油の消費量は上記のように細かく分類されていないので、民鉄、公営交通の事業者が上記の分類の複数のカテゴリを運行している場合は、それぞれの原単位の算出ができない。そこで、旅客人キロが95%を超えるカテゴリがある場合はそちらでプロットし、そうでない場合はその事業者はプロットしなかった。

この図から以下のことがわかる。

- ・輸送密度が高い事業者が概ね原単位が小さいという常識的な傾向を確認できた。
- ・今回9グループに分類したが、概してみると
 - 1 「JR・大手民鉄」「地下鉄」
 - 2 「モノレール」「新交通システム」
 - 3 「中小（ディーゼル）」「路面電車」
 - 4 「ケーブル」

の順に原単位が小さかった。ただし、原単位は乗車率で変わるので、この順が交通システムとしての本質的な大小とは単純には言えない。日本の事業者の現状をみたという位置づけである。

- ・最も原単位が小さい事業者では236(kJ/人キロ)であった。文献3ではこの年度の原単位が公表されていないが、最も新しい2013年度の369(kJ/人キロ)と比較すると約3分の2である。
- ・「地下鉄」のグループは「JR・大手民鉄」グループと遜色のない原単位であった。トンネル区間の空気抵抗により原単位が高くなることを想定していたが、運転速度が比較的低いためと考えられる。
- ・「中小（電気）」の原単位は広い範囲に分布した。これは、大都市圏の大手事業者と同様な輸送状況の事業者と地方の輸送量の少ない事業者を同じカテゴリにまとめたためと考えられる。
- ・「路面電車（トラム）」は「中小（電気）」と別に分類したが、同程度の輸送密度の事業者を比べると原単位に差はみられなかった。この理由については乗車率など事業者毎の状況を分析する必要がある。
- ・モノレール、新交通システムは鉄車輪・鉄レールのシステムより走行抵抗が大きいので原単位が高くなると想定したが、そのような傾向はみられなかった。この理由も上記同様事業者毎の分析が必要である。
- ・「中小（電気）」と「中小（ディーゼル）」は輸送密度の差が現れた。

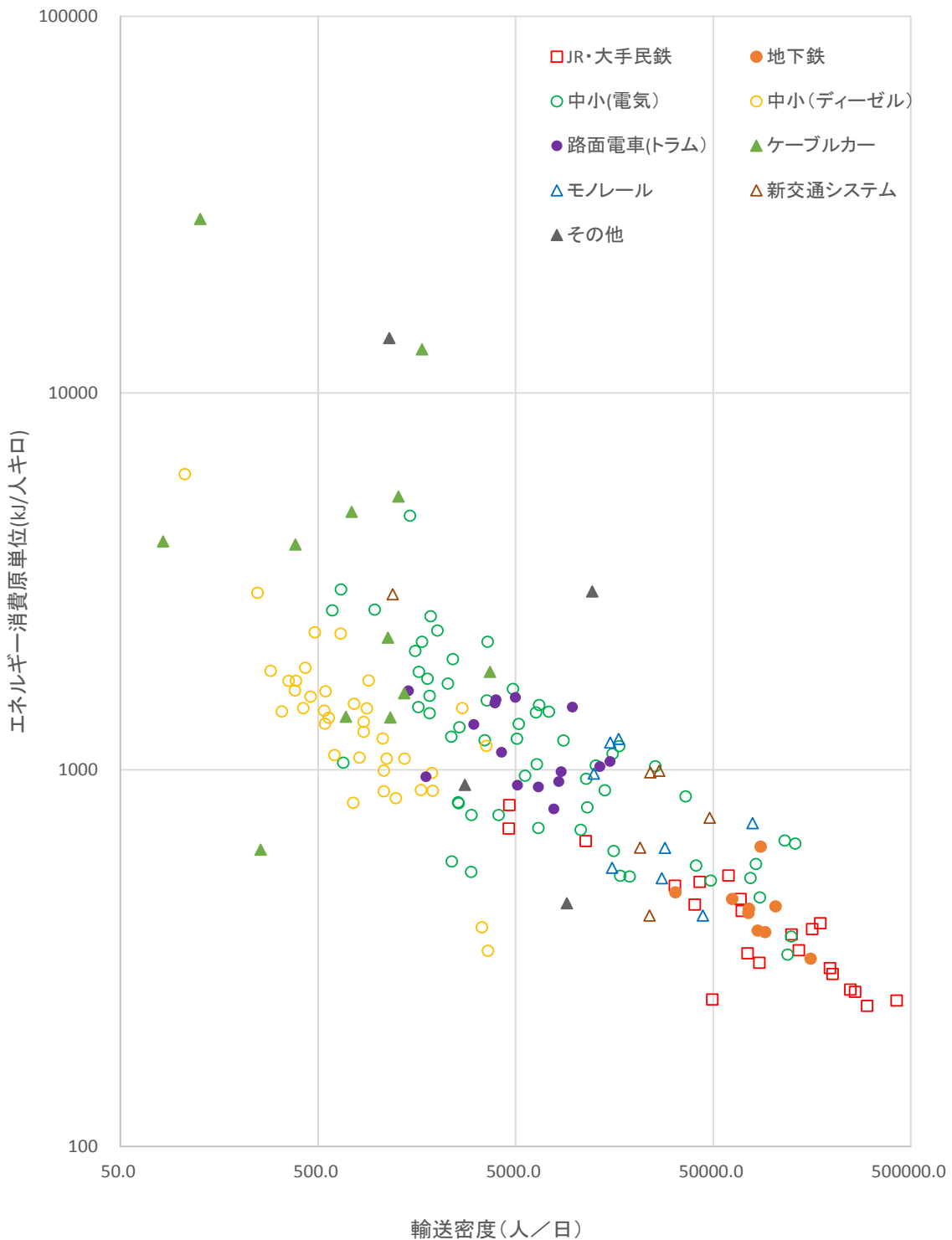


図4 輸送密度とエネルギー消費原単位の関係

3.2 今後の省エネのあり方

鉄道事業者は、より多くのお客様により長い距離をご利用いただくことや、需要に見合った編成両数による運用に努めることに取り組んでおり、これは原単位が小さくなる方策である。以下本稿では運転用電力を節減する技術的方策について考察する。この点で事業者の取り組みに挙げられているのは、

- ・最新の主回路システム（回生ブレーキ付き）の採用
- ・ステンレス鋼やアルミ合金製の軽量車体の採用
- ・蛍光灯のLED化
- ・新幹線に代表される高速列車では空気抵抗の低減
- ・ブレーキ車と力行車のタイミングが合わないことなどによる回生絞り込みや失効を防ぐ蓄電装置の設置
- ・上下一括き電にすることで回生ブレーキの絞り込みの

特集：車両技術

機会を減らす

・変電所に回生インバータを設置して回生電力を電力会社に返還などである。

車両運行に関わる今後の省エネ技術としては当面上記の技術の普及と深度化になろう。

数十年前に製造された鋼製の抵抗制御の車両を軽量車体で最新のインバータ制御車に置き換えれば、回生ブレーキの効果も合わせて消費電力量を半減することも可能である。一部の民鉄や地下鉄ではほぼ全数がインバータ車になっているが、直近では、インバータに特性の優れた SiC（シリコンカーバイド）を用いたスイッチング素子やダイオードを用いる技術が実用化され、損失の低減と回生ブレーキの領域拡大により、従前のインバータ車と比べてさらに消費エネルギーを低減できるので、上記のトップランナーでも今後さらに改善が可能である。

この際、回生エネルギーが増えるので絞り込みが多くなると見込まれ、蓄電装置の設置などの回生ブレーキ有効利用方策の重要性が増す。蓄電媒体としてリチウムイオン二次電池が多く使われているが、低価格化、高性能化により普及が進むことが望まれる。またさらに優れた蓄電媒体の開発も期待される。

ある列車のある駅間の消費エネルギーを分析すると、同じ所要時間でも最大数十%の消費エネルギーのばらつきがある^{8) 9)}。この中にはノッチ選択や惰行、ブレーキの開始、終了のタイミングなど運転操作の違いによるものもあると考えられる。省エネの点から適切な運転操作を見い出して水平展開すれば成果が得られる⁹⁾。適切な運転操作は列車の遅れの有無、余裕運転時分、雨や雪などの天候によるブレーキ操作の制約など多くの要素によって日々変わるので人間による 100% の対応は難しいかもしれないが、自動運転が実現されればそのソフトウェアに省エネアルゴリズムを入れ込むことが有効である。

ディーゼルカーの代替として、エンジン・バッテリーハイブリッド車両や架線・バッテリーハイブリッド車両が実用化されている^{10) 11) 12)}。回生ブレーキの使用などにより消費エネルギーを減らすことができる。先述の蓄電装置同様バッテリーの低価格化、高性能化が普及を進める鍵である。

本稿は車両が消費する運転用電力についての考察であり対象から外れるが、近年駅のバリアフリー化などの目的でエレベータ、エスカレータが多く設置され、空調の整備も合わせて、付帯電力が増加する傾向がある。地下鉄では、運転用電力より多い例もある¹³⁾。今後も駅

設備の整備はさらに進める必要があり、これによるエネルギー消費の増加をどう抑えるかを考えることも重要である。

4. おわりに

冒頭に記したように、省エネは時代ごとの背景、要請を受けて常に追求されてきた。現在、世界的に鉄道の省エネ性が再評価され、高速鉄道など多くのプロジェクトが進められている。今後もサステナブルな輸送機関としての魅力を高めるために努力が続けられよう。

文献

- 1) 日本国有鉄道：日本国有鉄道百年史第8巻，p.556，1971
- 2) 第23回鉄道総研講演会 講演要旨集，p.65，2010
- 3) 交通関連統計資料集
<http://www.mlit.go.jp/statistics/kotsusiryoo.html>
(参照日：2018年4月3日)
- 4) 鉄道統計年報
http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000040.html
(参照日：2018年4月3日)
- 5) 角知憲，広松新，属国権，大林義直：交通機関のエネルギー効率に関わる技術的性格に関する検討，運輸政策研究，Vol.3，No.1，pp.14-22，2000
- 6) 大野寛之，水間毅，林田守正，日岐喜治，千島美智男：鉄道における環境負荷定量化の試み，第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp/381-384，2009
- 7) 各鉄道事業者サイト
(参照日：2018年4月)
- 8) 井関一隆：JR西日本における電力削減に向けた 挑戦～運転士とともに～，鉄道車両と技術，No.199，2013
- 9) 小川知行，武内陽子，森本大観，今村洋一，影山真佐富：エネルギー評価用運転曲線を用いたエネルギーシミュレーション，鉄道総研報告，Vol.30，No.11，pp.29-34，2016
- 10) 大村哲朗：JR東日本 キハE200形ハイブリッド車両，R & m，Vol.15，No.5，pp.4-9，2007
- 11) 滝口裕之：蓄電池駆動電車EV-E301系の概要，R & m，Vol.22，No.5，pp.4-7，2007
- 12) 畠田憲司：交流架線式蓄電池電車「DENCHA」の量産開発，JREA，Vol.60，No.1，pp.25-40，2017
- 13) 札幌市交通局
<https://www.city.sapporo.jp/st/torikumi/monergy/transition.html>
(参照日：2018年4月6日)