

鉄道のエネルギー消費と環境負荷の評価手法について*

Evaluation Method for Energy Consumption and Environment Impact of Railways *

大野寛之**・日岐喜治**・水間 毅**・上田有美**・林田守正**

By Hiroyuki OHNO**・Yoshiharu HIKI**・Takeshi MIZUMA**・Yumi UEDA**・Morimasa HAYASHIDA**

1. はじめに

他交通機関に比べて格段に低いとされる鉄道のエネルギー消費や環境負荷については研究機関や鉄道事業者等で個別の評価が行われているが、公式に定まった評価手法は存在しない。一方、自動車の環境負荷評価の基礎となる燃費、排出ガス等の評価手法は国が定める保安基準、審査基準等の形で整備されている。したがって鉄道のエネルギー消費や環境負荷の低さを自動車と比較可能な評価指標を客観的に示すことで、鉄道への輸送転換を促進する必要がある。そこで、まず鉄道分野と自動車分野における環境負荷評価の実情を調査し、それに基づき、鉄道分野の環境負荷等を適切に表現する指標を提案した。そして実走行試験による実測を行って各種鉄道システムの環境負荷等を新しい指標により調査し、それらの結果を比較して特徴を把握することにより、鉄道のエネルギー消費や環境負荷の適切な評価手法を提示する。

2. 環境負荷の評価指標について

(1) 環境負荷指標設定の背景

交通機関が環境に及ぼす影響として、従来は大気汚染や騒音・振動等のいわゆる「公害」が主な課題であった。しかし近年は、化石燃料の大量消費による地球温暖化が環境問題の主要課題となっており、交通機関についても温室効果ガス排出削減が主要な課題となってきており、温室効果ガスの中では二酸化炭素（以下「CO₂」と表記する）の影響量が最も大きいとされている。鉄道の環境負荷を調査するに当たり、鉄道、自動車で一般に用いられている環境指標を表-1に示す。

(2) 自動車の環境負荷指標

自動車の環境負荷は、主として燃費性能（1リッターの燃料で走行できる距離を表すkm/l）で評価されている。

*キーワード：鉄道、省エネルギー、地球環境問題

**独立行政法人交通安全環境研究所交通システム研究領域
（東京都調布市深大寺東町、
TEL0422-41-3649、FAX0422-76-8602）

表-1 エネルギー消費およびCO₂排出による環境指標

エネルギー消費の指標		用途
鉄道	Wh/人・km	1人・1kmの移動の消費電力 旅客輸送量あたりのエネルギー消費量
	Wh/t・km	1t・1kmの移動の消費電力 貨物輸送量あたりのエネルギー消費量
	Wh/car・km	1車両・1kmの移動の消費電力 車両輸送量あたりのエネルギー消費量
	海外 : kWh/100seat・km	100席・1kmの移動の消費電力 旅客輸送量あたりのエネルギー消費量
自動車	Km/l	1lで移動できる距離 国内での燃費表記
	l/100km	100kmの移動に必要な燃料 ヨーロッパ等での燃費表記

CO ₂ 排出量の指標		用途
鉄道	g/人・km	1人・1kmの移動で発生するCO ₂ 旅客輸送量あたりのCO ₂ 排出量
	g/t・km	1t・1kmの移動で発生するCO ₂ 貨物輸送量あたりのCO ₂ 排出量
	g/100seat・km	100席・1kmの移動で発生するCO ₂ 旅客輸送量あたりのCO ₂ 排出量
自動車	g/km	1kmの移動で発生するCO ₂ 移動距離あたりのCO ₂ 排出量

乗用車等の小型車両は写真-1に示すようにシャシダイナモメータ上で所定の運転モードで走行することにより評価される¹⁾。またバスやトラックのようにシャシダイナモメータによる試験が困難な重量車についてはエンジン単体でのモード試験とシミュレーションとにより評価を行う²⁾。燃費性能をシャシダイナモメータ上で測定する際の運転モードは、10・15モード（図-1上）が用いられており、測定条件は以下の通り定められている。

- ・ 3,000km 慣らし走行後の車両
- ・ 完全暖機状態 60km/h 15分暖機後モード測定
- ・ 走行抵抗設定 車両重量 + 110kg (2名乗車分)
- ・ 搭載電気機器OFF 状態 ・ エアコンOFF 状態

現状の折線形速度パターンの10・15モードによる評価では、カタログ数値と実際の使用下での数字の差が大きいと言われていることから、平成23年度からはより実際の走行に近いJC08モード（図-1下）に変更されることが定められている。JC08モードの測定条件は コールドスタートで最高速度は80 km/hにする他、加速速のパターンも実走行を模したものとなり、より実走行パターンに近い測定法とされている。

こうしたモード試験により測定された燃費性能を基に、各種燃料のCO₂排出原単位を乗じることで当該車両のCO₂排出量が計算され公表されている。



写真 - 1 ジャグ付メータによる乗用車 (FF) の燃費測定

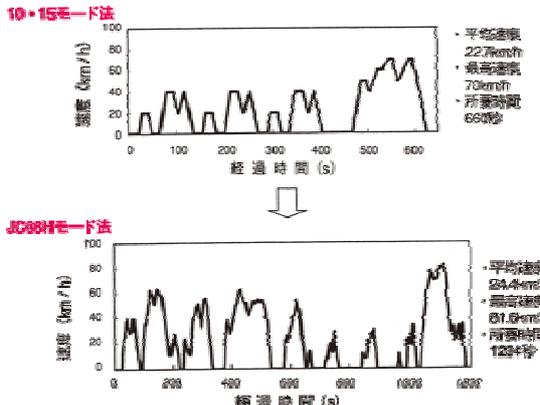


図 - 1 乗用車等の公式燃費測定パターン

(3) 従来の鉄道における環境負荷指標と課題

鉄道では、従来からの環境負荷指標は、g- CO₂/人/km で表されることが多かったが、それらを算出する基となる資料は鉄道統計年報である。しかしながら、そのマクロな統計データだけでは、大まかな傾向は掴むことが可能でも、以下に示す様々な要因から環境負荷の詳細を見るには情報量として十分なものとは言えない。電気鉄道の場合、消費電力量のデータは、運転電力量だけでなく、駅舎等の付帯設備の電力量も含まれていることが多く、ここから求めた比消費電力量 (単位輸送量当たりの消費電力量) は多めに算定される可能性がある。またこの比消費電力量から計算されるCO₂排出量は、給電を受ける各電力会社のCO₂排出係数 (1kWh発電する際に排出されるCO₂量) を乗じて求めるが、排出係数は各電力会社の発電形態の差によって大きく異なる。すなわち原子力発電や水力発電の比率が高いほど排出係数は小さくなる。

また、鉄道統計年報のデータに基づいた単位輸送量当たりの電力消費量やCO₂排出量は、多客の路線や列車ほど小さくなる。

以上のことより、鉄道統計年報とCO₂排出係数 (電力、軽油) から得られる環境負荷指標 g- CO₂/人・km は、基となるデータは入手しやすいが、詳細な解析 (制御方式、路線形態、電力会社毎の排出係数等の差異) が不可能である。ただし、鉄道以外も含めた異なる交通モードの環境負荷を比較する指標としてはこれまで一般的に、主な地球温暖化ガスであるCO₂の単位輸送量当たりの排出量で比較されてきた。輸送に用いるエネルギーは電力、石

油等様々な種類があるが、CO₂排出量に換算することにより異なる交通モード間の比較を行うことが可能となる。

(4) 交通機関の効率から見た環境負荷評価の検討

鉄道に関する環境負荷は、車両の消費電力量等だけでなく鉄道の効率そのものに着目し、本来は原油等の一次段階に遡ったWTW (Well to Wheel : 資源採掘から車両走行まで) で算定すべきであり、その場合は、各段階での効率等を正確に算定して行う必要がある。

a) 電気鉄道の効率

電気鉄道の場合は、Well to Tankに相当するものとして図-2の流れのうち「原油 輸送効率 重油精製効率 発電効率 送配電効率 変電所効率・き電線損失」までの効率を外部効率 (out) として考える。そこから車両の走行に係るエネルギー量がTank to wheelとすると、その値はこれまで当研究所等の調査で得られてきた車両の走行エネルギー (EC : 比消費電力量 : Wh/t・km等) で表されることになる。従って、外部効率 (out) を計算し、Well to tankの熱量を算定した結果とECから、Well to wheelのエネルギーが算定される。

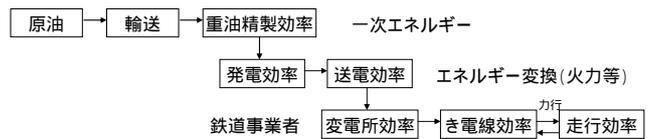


図 - 2 電気鉄道のエネルギーの流れ

b) ディーゼル鉄道の効率

図-3の流れのうち「原油 輸送効率 軽油精製効率 輸送・給油効率」までの効率外部効率 (out) で、以降の車両走行に係る比燃料消費量 (FC : ml/t・km) が Tank to wheelとなる。バスや乗用車 (燃料はガソリン) 等の自動車もディーゼル鉄道と同じ考え方になる。

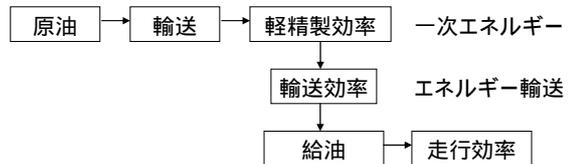


図 - 3 ディーゼル鉄道のエネルギーの流れ

(5) 鉄道システム等の各種環境負荷の評価指標

a) Wh/車・km, ml/車・km

定義: 車両1km走行させるのに必要な電力量または燃料特徴: 車両定員の小さい鉄道が小さい値となる傾向がある。車両の大きさによる評価となり、輸送容量が設定された場合の車両設計に反映できるが、実際は、鉄道車両の編成両数を考慮した列車キ口での評価が必要となる。

b) Wh/t・km, ml/t・km

定義：車両1tを1km運ぶのに必要な電力量または燃料

特徴：鉄道車両の実力を示す指標として考えられる。ただしディーゼル車との比較には換算が必要であり、車両重量、速度、位置等が既知でないと算定できない。乗車人数が3倍程度に増加してもt・kmの値はほぼ一定であり、乗車人数にかかわらず一定の値を示す指標といえる。

c) Wh/人・km、ml/人・km

定義：人1人を1km運ぶのに必要な電力量又は軽油消費量

特徴：車両性能に加えて乗客数が結果に大きく影響する。鉄道と他交通機関との人に対する省エネルギー性の比較には有効であるが、短距離輸送の路面電車等の値は高めにする傾向がある。また、ディーゼル車と電気車両の比較には換算が必要となる。実測の走行データによっても、輸送機関別のエネルギー消費の評価に利用できる。

d) Wh/列車・km、ml/列車・km

定義：1列車（編成）を1km走行する際の消費エネルギー
特徴：編成単位での列車としての単位走行キロ当たりの消費エネルギーが算定可能であるが、編成車両数、車両重量による差異が大きくなる。

e) g- CO₂/車・km

定義：1車両が1km走行する際のCO₂排出量
特徴：消費エネルギーから求められるCO₂排出量を表すことで環境負荷の指標となりうる。電気車両とディーゼル車両の比較が可能であるが、乗車人数、車両重量により値が大きく異なる可能性がある。

f) g- CO₂/t・km

定義：車両1tを1km運ぶ際に排出されるCO₂排出量
特徴：鉄道車両単体での環境負荷の指標であり、性能、定員を含めた重量を考慮した環境負荷の実力が算定可能で設計にも反映できるが、実測定の実施の必要がある。

g) g- CO₂/人・km

定義：1人を1km運ぶ際に排出されるCO₂
特徴：鉄道の他の交通機関との比較に利用でき、モーダルシフト推進や路線計画の環境評価にも利用できる。事業者にとってもCSR（Corporate Social Responsibility、企業の社会的責任としての環境レポート）に活用でき、さらに環境目標達成の目安となる。ただしg- CO₂/t・kmと同様、発電形態による排出係数の差異に左右される。

3. 各種鉄道システム等の環境負荷の実態調査

(1) 調査の方法

鉄道における環境負荷（CO₂排出量）は、実走行を実施して換算することが望ましいが、そのために輸送特性別に、鉄道としての平均的な距離を標準的な運転パターンで走行して、鉄道としての実力を求める方法を探った。また本来のモーダルシフトの主な対象は乗用車であるが、本報では比較対象とする自動車はバスとした。

(2) 走行パターン

a) 都市内交通（バス、新交通、LRT等）

1kmの区間を最高速度（40～70km/h）まで加速させ、その後だ行で走行し、常用最大ブレーキで停止する。

b) 都市近郊交通（在来線鉄道等）

10kmの区間を最高速度（100km/h程度）まで加速させ、その後、惰行で走行し、常用最大ブレーキで停止する。

(3) 測定手法

電気鉄道については図-4ならびに下記の手法で測定を行った。ディーゼル鉄道については消費電力量に相当するエネルギーとして燃料（軽油）消費量を測定した。

a) 全線または一部区間を試運転列車（空車）で走行し、全走行距離における車両（ユニット単位）での消費電力量を測定した。測定項目は、架線電圧、主回路電流と補機電流である。空調はOFFを基本とした。

b) 乗客の重量も含めた車両重量が既知の列車の走行において、平均的な駅間（都市内ならば1km程度、都市間ならば5km以上）で平坦な区間を通常の運転（加速、惰行、場合よっての再力行、ブレーキ）で走行した場合の消費電力量を測定した。空調、照明はONである。

c) 事業者の有しているデータから、比消費電力量を算定する。正確な電力消費量、乗車人数は把握できないため、1人当たりの環境負荷を算定する時は推定が入る。

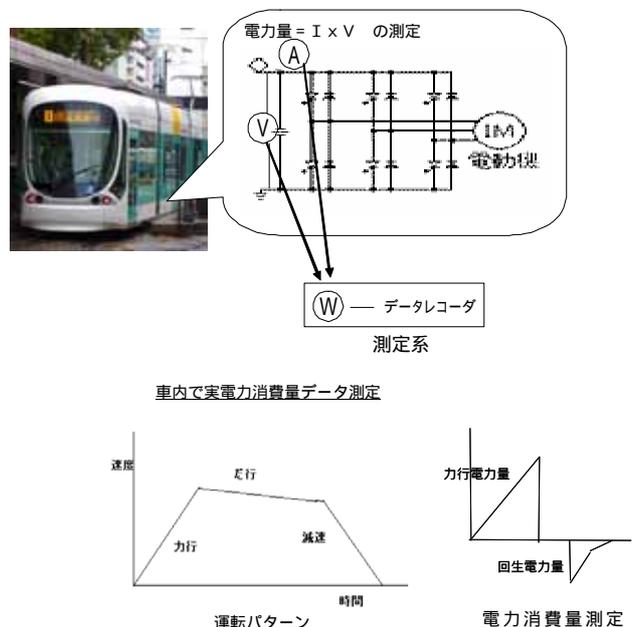


図-4 電気鉄道の消費電力量測定手法

(4) 実測調査結果の例

都市内交通における各種鉄道の車両1両または車両重量1トン・1kmの単位輸送量当たりの消費電力量を図-5、図-6に比較して示す。大量輸送に適した普通鉄道の消

費エネルギーが他の鉄道システムと比べて少なくなっていることが分かる。地下鉄の評価結果が悪くなっているが、これは調査路線の線形（勾配が多い）や車両特性（旧式のインバータ）が影響しているものと考えられる。

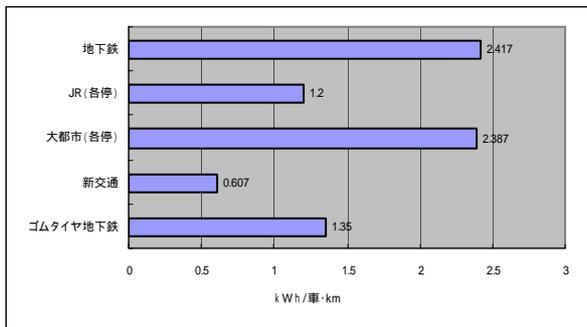


図 - 5 都市内交通のエネルギー消費の評価 (車・km)

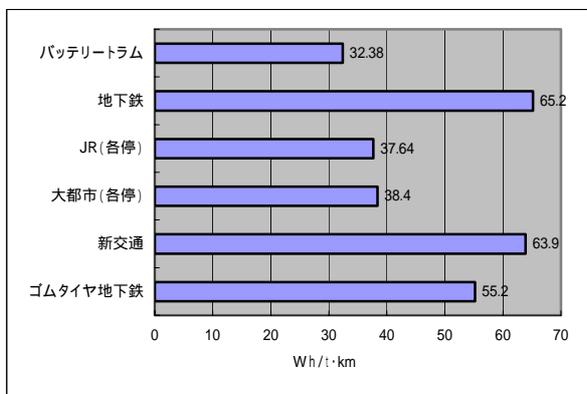


図 - 6 都市内交通のエネルギー消費の評価 (t・km)

また消費電力量等から計算される1人・1kmの単位輸送量当たりのCO₂排出量を、バス等を含めて図 - 7に示す。環境負荷の指標としてCO₂排出量を使って比較すると、都市内を走行する交通システム（新交通、地下鉄、バス）では、車両が小型軽量のシステムの環境負荷が小さい傾向にある。またディーゼルエンジンで走行するバスと電力で走行する鉄道とを比較すると、バスに対する各種鉄道システムの優位性が認められる。

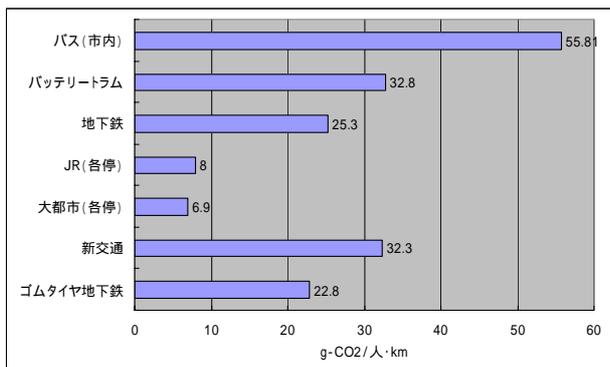


図 - 7 都市内交通の環境負荷の評価 (人・km)

一方、都市近郊交通においてモノレール、都市鉄道、ディーゼル鉄道、バスの中で1人・1kmの単位輸送量当たりのCO₂排出量を比較した結果では、都市鉄道の優位性が顕著であり、ディーゼル鉄道やバスの環境負荷がやや大きい値が得られた。これは、ディーゼル鉄道の車両重量が大きいことによる。鉄道の優位性が明らかであるが、乗車人数の少ないディーゼル鉄道も、郊外バスと同程度の環境負荷と評価される。計算上、ディーゼル鉄道は標準走行のバスよりは環境負荷は大きい結果となっているが、これは、バスの標準走行データ（基準値 = モード走行データ）が現実と乖離しているためである

4. おわりに

鉄道の環境負荷を示す指標としては、鉄道統計年報等で公表されている数値と、その際に使用した燃料消費量または電力消費量とから求められる、比消費電力量（または燃料）(Wh/人・kmまたはml/人・km)をベースとして、CO₂排出係数を乗じて一人1キロ当たりのCO₂排出量 (g-CO₂/人・km) で表現される。これについては、以下の課題がある。

- ・鉄道統計年報では、消費電力量の場合、駅舎や事務所等で消費される電力量と列車の走行に係る電力量の区別ができないケースがある。

- ・鉄道統計年報では、都市部の鉄道事業者と地方の鉄道事業者（都市鉄道、地方鉄道）、鉄道の形態（新幹線、普通鉄道、モノレール、新交通、地下鉄等）による分類がある程度できる程度で、車両の種類や路線の特徴による詳細な分類が不可能である。

自動車については、走行パターン、試験装置、試験手順がすべて公式試験法として定められており、2人乗車を想定した燃費計測を実施しているため、基本的には、人1人あたりの燃費量が環境負荷データとなっている。従って、人1人1km走行させる時に排出されるCO₂排出量で環境指標を表現することとなっている。

鉄道においても、標準走行パターンを設定し、重量が既知の車両を走行させて、車両1トン、1キロ走行させる時の電力量または燃費量を基本データとすることが適切と考える。この値が算定されれば、それを基に様々な鉄道の環境評価指標が提案可能である。また、この値が算定できない場合も、類似の路線で算定されたデータを利用して環境負荷を新たに算定することが可能と考える。

参考文献

- 1) 国土交通省自動車交通局：「TRIAS5-3-2007」ガソリン自動車10・15モード燃料消費率試験方法
- 2) 国土交通省自動車交通局：「TRIAS5-8-2007」重量車燃料消費率試験方法