

12. 鉄道のエネルギー消費とCO₂排出量算定の取り組みについて

交通システム研究領域 ※日岐 喜治 水間 毅 大野 寛之 林田 守正

1. 概要

京都議定書が平成 17 年 2 月に発行し、日本は平成 24 年までに平成 2 年度基準で 6% の温室効果ガス(主に二酸化炭素)の排出削減を達成する義務を負った(図 1)。また、今年 12 月にはコペンハーゲンで COP15 が開かれ、平成 25 年以降の新しい地球温暖化対策のあり方が議論されることとなっている。

わが国の二酸化炭素(CO₂)排出量の内、約 2 割が運輸部門からの排出で、その約半分が自家用自動車からの排出と見られている²⁾。一方鉄道をはじめとする公共交通機関は自家用車と比べて CO₂ 排出量は少なく(図 2)、自家用交通から公共交通へのモーダルシフトが CO₂ 排出削減に役立つものと考えられている。

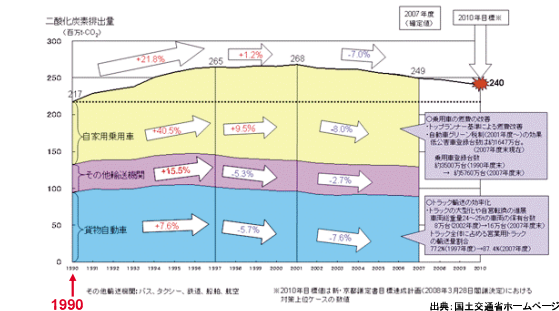


図 1 CO₂ 排出量の現状と削減目標¹⁾

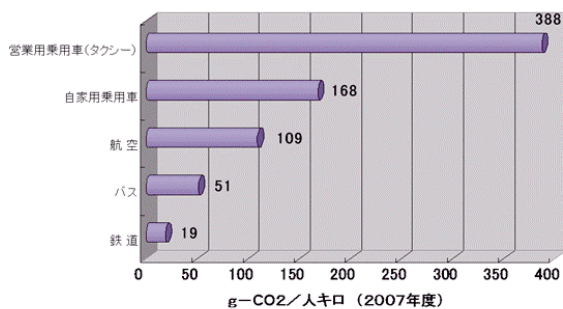


図 2 運輸部門における CO₂ 排出量の内訳¹⁾

また、ハイブリッドカーや電気自動車のような低排出ガスの自家用自動車が続々と開発され市場に投入されてきている。その一方で、地方の鉄道路線では乗客数の減少が続いており、重量の大きなディーゼルカ

ーにほとんど乗客がいない状況ではかえって環境に悪いのではないかという意見もある。

こうした様々な議論がある中、本稿では鉄道の環境負荷を客観的に評価する手法を検討することとして、鉄道車両の走行エネルギーを測定し、得られたデータより鉄道の環境負荷に関する定量的な指標を考察することとした。

2. 交通システムの環境負荷に関する指標

2. 1. 各種交通システムの環境負荷指標

自動車においては燃料消費率の測定方法が確立しているが、自動車以外の交通モードでは鉄道も含めて統一的な環境指標となしうるものは存在していない。

船舶においては現在、日本発の国際基準の提案として「海の 10 モード」と名付けた環境指標を、国際海事機関(IMO)に提出する検討を始めている²⁾。

航空機では座席数が旅客定員であることから、1 座席 1mile 当たりの燃料消費量(ガロン)を指標としてカタログ等に掲載している。

様々な種類の交通モードでの環境負荷を比較するには、何らかの共通的な指標を設ける必要がある。地球温暖化が喫緊の課題である今日では、旅客輸送の人・km 当たり、あるいは貨物の輸送 t・km 当たりの CO₂ 排出量を比較することが最も妥当だと考えられる。

2. 2. 自動車における指標

自動車については、主にエネルギー消費効率の観点から燃費値(km/l)が用いられている。乗用車等の小型車両についてはシャシダイナモメータ上(台上)で所定の運転モードで走行することにより評価される。また、バスやトラックのように台上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を組み合わせる評価を行う。

燃費性能を台上で測定する際の運転モードは、10・15 モード(図 3 上)が用いられており、平成 23 年度からはより実際の走行に近い JC08 モード(図 3 下)

に変更されることとなっている。JC08 モードの測定条件は コールドスタート（比率 25%、ホットスタート比率 75%）で最高速度は約 80km/h にする他、加減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。

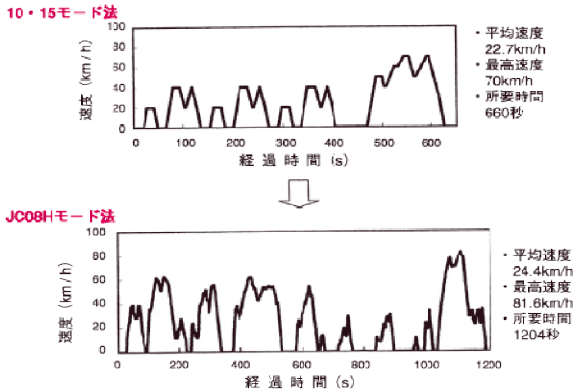


図3 自動車における計測方法

2. 3. 鉄道における指標

鉄道における環境負荷を CO₂ 排出量で議論する場合、電気鉄道とディーゼル鉄道では計算方法が異なることに留意する必要がある。

電気鉄道の場合は一次エネルギーを電力に変換した上で走行に用いている。発電に用いる一次エネルギー源は原油以外にも、石炭、天然ガス、原子力、水力等の自然エネルギーも含め様々な形態が用いられている。そのため走行に伴う CO₂ 排出量を算出するには、車両が走行する際に消費した電力量を求めた後、その電力を供給する電力会社の CO₂ 排出係数 (kg-CO₂/kWh) を掛けて求める必要がある。したがって、電気鉄道の場合はその地域における電力会社の発電方式の構成に大きく影響を受ける。例えば、平成 19 年度における各社の CO₂ 排出係数で、最小は 0.366(kg-CO₂/kWh : K 電力) で、最大は 0.677(kg-CO₂/kWh : S 電力) と、1.8 倍程度の開きがある。すなわち、電気鉄道では消費電力量自体が同じであっても、地域によって 1.8 倍の差となる可能性がある。それに対しディーゼル鉄道では、バスと同様に車両が走行する際に消費した軽油量を求めた後、軽油の CO₂ 排出係数 (2,620g-CO₂/l) を掛けて求めれば良い。

3. 鉄道における消費エネルギー量測定

3. 1. 測定方法

各種交通システムの環境負荷の比較として図 1,2 に

示されているようなデータは統計的なデータで、個別の事業者のデータを蓄積して得たものである。しかし、同じ事業者においても様々な制御方式の車両があり、また、走行線区によっても環境負荷は大きく異なる。

したがって、鉄道の環境負荷を統一的な走行方法によって得ることができれば、自動車で示されているような燃費表示が可能となり、鉄道の標準負荷と言ったものが示される可能性がある。

そこで我々は、標準的な走行パターン（図 4）を想定して実車両による走行を行い、その電力量（または軽油消費量）を測定することにより、鉄道車両の標準的な環境負荷を評価することとした。

測定に当たっては条件を統一することが望ましいが、わが国には鉄道車両の走行試験を行う実験線がないため実路線を用いる他はなく、線路条件や列車の運用条件の実情に合わせて以下に示す方法により測定を行った。

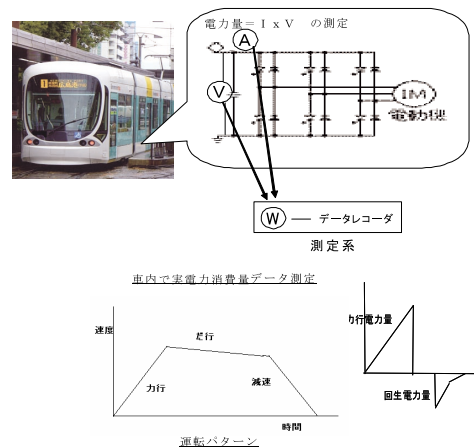


図4 測定方法と測定パターン

- 全線または一部区間を試運転列車で走行し、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。
- 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 1km 程度、都市間 5km 以上）で平坦な区間を通常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。
- 事業者のデータから、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。

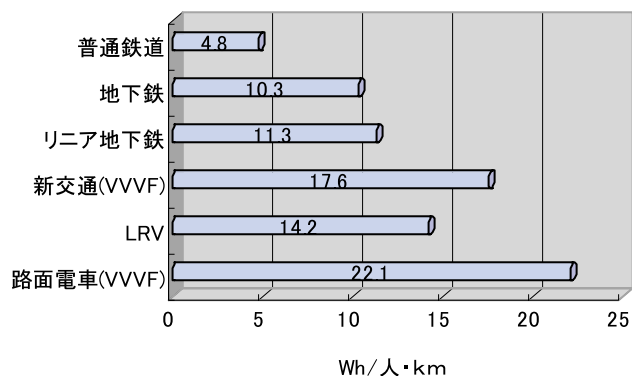
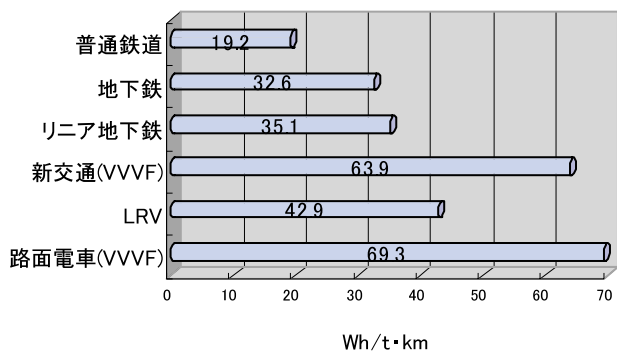


図5 都市内交通システムの消費電力量

3. 2. 測定結果

3. 2. 1. 都市内交通システム

都市内交通システムの平均的な駅間距離は 1km 以内であり、その間の最適な省エネルギー走行は、最大加速→惰行→最大減速であることが知られている。したがって、そのような条件での走行が可能な線区・車両において走行を行い、電力消費量測定を行った。

図5上に都市内交通システムで測定した走行消費電力量について、車両性能を評価するための指標として適していると考えられる Wh/t・km で比較した結果を示す。普通鉄道の消費電力が最も小さな値となっているが、これは他と比べ惰行区間を長く取れることが影響しているものと考えられる。一方、同じ鉄輪-鉄レールとで走行する路面電車や LRV が普通鉄道や地下鉄と比べて消費電力量が多くなっているがこの原因は短い編成に様々な機器類を搭載するために重量効率が悪くなることと、惰行区間を長く取れないことが原因だと考えられる。また、図5下は図5上で与えられた電力消費量原単位 (Wh/t・km) に、空車重量と定員乗車重量の合計値をかけて求めた乗客込みの消費電力量を乗車定員で除して求めた値である。これから、乗車定員が多く大量輸送可能な地下鉄、都市内民鉄ほど消費電力量が小さいことがわかる。

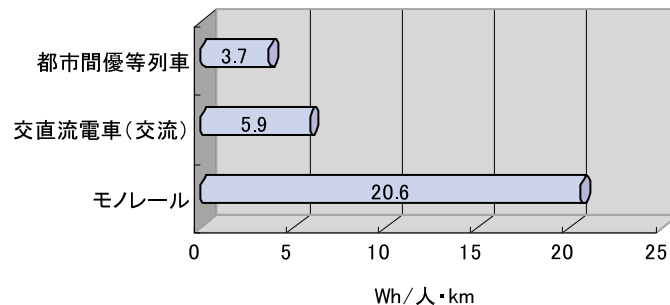
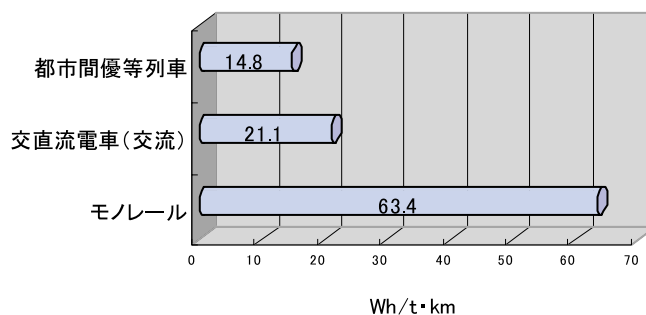


図6 都市近郊交通システムの消費電力量

3. 2. 2. 都市近郊交通システム

都市近郊交通システムの場合は、駅間距離が 1km～数 km と幅広いので、最適な走行パターンは一意に決まらないが、惰行区間を多く取る走行方法で消費電力量を測定した。その結果を図6上下に示す。都市近郊交通においても、鉄輪-鉄レールのシステムの電力消費量の小ささが確認される。特に、惰行区間が長い急行運転での効率の良さが際立ち、乗車定員が大きいことと併せて単位輸送量当たりの電力消費量を小さく抑える結果をもたらしている。

ゴムタイヤで走行するモノレールは電力消費量が大きくなっているが、急勾配区間を走行できる特性を持っており、エネルギー効率だけを以て評価することは適切ではなく、路線の特性も含めた形で総合的な評価が望まれる。

4. 鉄道の環境負荷評価

前節で示した走行に係る電力消費量に当該電力を供給する電力会社の CO₂ 排出係数を掛けることにより、CO₂ 排出量が求められ、他の交通システムとの間で環境負荷の比較が可能となる。

図7上に、都市内交通において定員乗車を仮定した場合の 1人・1km 当たりの CO₂ 排出量を、都市内を走行しているバスのデータと比較した結果を示す。都市内交通では、鉄道の環境負荷がバスに比べて圧倒的に小さいことが確認される。

図7下に都市近郊交通および地方交通で主に使われているディーゼル列車におけるCO₂排出量を示す。近郊交通では、モノレール、交直流電車、都市優等列車などのシステムの環境負荷は小さいものの、地方ディーゼル車両では、標準走行、定員乗車を仮定しても、地方バスのデータと同程度となっている。

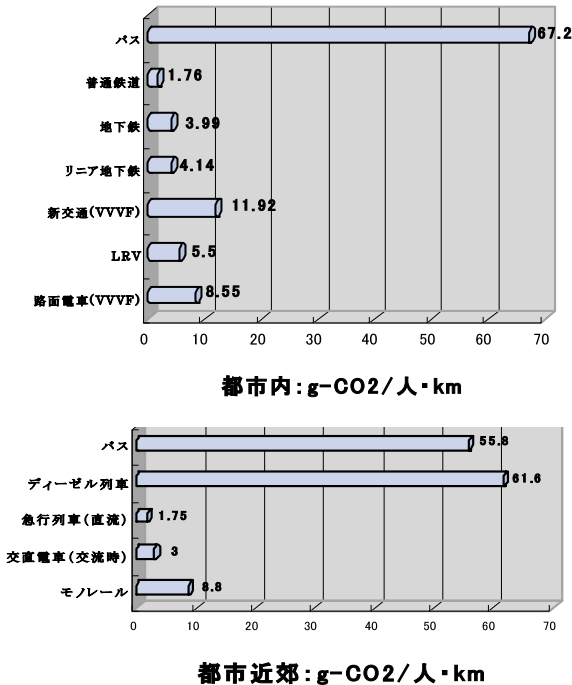


図7 鉄道交通システムとバスの環境負荷比較

5. エネルギーと時間価値を考慮した評価指標

環境負荷が決して小さくない地方鉄道のようなシステムの評価を行う際に、鉄道の利点である時間の早さを考慮する方法もある。鉄道、バスや自動車の走行エネルギーのコストと到達時間をコスト換算した和を比較して、鉄道利用の方が総コストが小さくなる乗車人数を省コスト係数と定義する。時間のコスト換算は、鉄道の時間価値原単位(37.4円/分)を利用する。

例えば、ディーゼル車両の走行燃費が、16.0ml/t・kmとして求められた場合、X人乗車した場合の、人キロあたりに必要な軽油量は(1)式で与えられる。

$$16.0 \times (27.5 + 0.06 \times X) / X \quad \dots\dots(1)$$

ただし、27.5はディーゼル車の空車重量であり、0.06は1人の重量である。これに軽油1lのコストYをかけると、人キロあたりの軽油コストが求められる。

$$Y \times 0.016 \times (27.5 + 0.06 \times X) / X \quad \dots\dots(2)$$

一方、このディーゼル車両の、走行線区における表定速度が30.0km/hであるから、人キロあたりの時間コストを求めると、(3)式となる。

$$37.4 \times 2.0 = 74.8 \text{ (円)} \quad \dots\dots(3)$$

一方、バスの走行燃費が、21.3ml/人・kmで与えられる場合、バスの軽油コストは(4)式となる。

$$Y \times 0.0213 \text{ (円)} \quad \dots\dots(4)$$

また、バスの表定速度が20.6km/hであるとする、時間コストは(5)式となる。

$$37.4 \times 2.91 = 108.8 \text{ (円)} \quad \dots\dots(5)$$

従って、バスの軽油コストと時間コストの和は、(4)+(5)となり、鉄道の和は(2)+(3)となるから、(2)+(3) < (4)+(5)となるXを求めれば、省コスト係数となる。

今、Y=80(円)とすると、X>0.99となる。

同様に、磁気浮上式鉄道、ゴムタイヤ式新交通システム(VVVF)をバス、自動車(燃費を10km/lとする)と比較して、省コスト係数を求めた結果を表1に示す。

表1 省コスト係数による各種交通システムの評価結果

鉄道の種類	対バス	対自家用車
ディーゼル車	0.99	33.11
磁気浮上式鉄道	1.32	7.5
新交通	0.2	1.45

これによると、ディーゼル車や磁気浮上式鉄道と言った、エネルギー消費量の高い鉄道でも、表定速度の早さを考慮すると、1人以上の乗車でも負荷が小さい結果が得られた。ただし、到達時間に遜色ない自動車と比較すると、ディーゼル車で34人以上乗車しないと、負荷が小さいと言えない結果となる。1人あたりの環境負荷が大きい地方鉄道では、単なる走行エネルギー量だけでなく、時間、乗り心地と言った鉄道の特徴を活かした指標も加えた評価が有効となる。

6. おわりに

鉄道の環境負荷を測定し、それを評価する指標について検討した。大都市内および周辺を走行する鉄道システムは、環境負荷が非常に小さいことが確認された。一方、地方鉄道では走行エネルギー量だけでは、環境負荷が小さいとは限らず、鉄道の特性(速さ、乗り心地の良さ等)を活かした評価を行う必要がある。また、今後、鉄道の環境負荷を議論する場合には、自動車やバスの分野で実施されている燃費(10・15モード、JC08モード等)測定法のような標準的な測定法を検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ
- 2) 独立行政法人 海上技術安全研究所ホームページ