

IV-359

運行プロファイルを考慮した交通モード間のエネルギー効率の比較

九州大学工学部 ○学生員 廣松 新
九州大学工学部 正 員 角 知憲

1. はじめに

近年エネルギー問題への関心が高まってきており、交通システムにおいても省エネルギーの必要性が重要視されている。異なった交通機関のエネルギー効率を比較するための指標は各種提案されているが、本研究では交通機関の運行プロファイルを考慮して推進という仕事に要したエネルギーを物理的に計算して各交通機関のエネルギー効率を比較してみた。

指標としてよく用いられるものにエネルギー消費量を輸送量で除したエネルギー消費原単位がある。しかしながらこれはあくまでマクロ的な数値であり、また、交通サービスにとって重要な要素である速度の概念が欠けている。

表-1 主要輸送機関別エネルギー消費原単位²⁾
(kcal/人キロ)

自家用乗用車	507
営業用バス	174
鉄道	100

また、交通機関の乗物効率を示す図として有名なのがカルマン-ガブリエル線図である。これは HP/WV {動力/(重量×速力)}を、最高速力 V に対してプロットしたものである。しかしながら一般に交通機関がその最高速度で常時運行したり、最高出力を常時発生させるのは稀なケースで、最高速度に達せずに減速することが多い。したがってカルマン-ガブリエル線図の内容は特に自動車において現実にそぐわない部分が多い。

2. エネルギー効率の指標

(1) L/D (揚抗比)

航空機の輸送効率を表す指標として揚抗比(lift-drag ratio) L/D がある。この値が大きいほど輸送効率は良い。航空機では

$$W = L, HP = D \times V / \eta$$

(W :全備重量、 L :揚力、 HP :出力、 D :抗力、 V :速度、 η :推進効率)

であるから

$$WV/HP = (L/D) \times \eta$$

となる。航空機以外の交通機関においても、重量と走行抵抗の比を L/D として計算できる。図-1にその結果を示す。低速時では船舶の、中速時では鉄道の輸送効率がよいことがわかる。

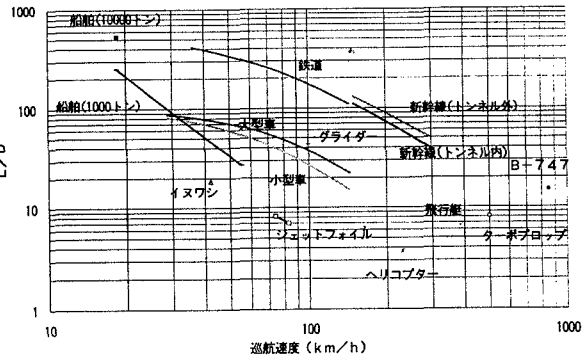


図-1 各交通機関の L/D の値

(2) 本研究での指標

HP/WV 及び L/D は交通機関が定速で走行するときの効率を表す指標であるが、これらの指標では定速走行にいたる前後の加減速プロファイルや有効輸送量すなわちペイロードについての考慮がなされていない。本研究では減速時のブレーキによるエネルギーロスを考慮に入れたエネルギー効率の比較を行うために図-2のような加減速走行を伴う走行パターンを仮定し、巡航速度 V_{crs} 及び定速走行時間 T_c を変化させたとき効率がどのように変化するかを計算した。この走行パターンにおける平均速度を表定速度、走行距離を区間距離と定めた。

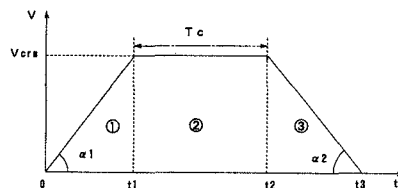


図-2 仮定した走行パターン

効率を表す指標として本研究では区間車両効率と区間輸送効率というものを定義した。前者は車両全体の輸送量(全備重量×区間距離)を、後者はペイロードの輸送量(ペイロード×区間距離)をそれぞれ推進に要した有効仕事量で除した値でどちらも単位エネルギー当たりの輸送量を表す無次元量である。単位時間当たりの有効仕事量 P (j/s) は外部抵抗(N)と速度(m/s)の積で与えられるので、全有効仕事量は P を時間で積分した値である。

3. 計算式

(1) 鉄道

列車の走行抵抗 R_r は、車輪とレールの間の転がり摩擦抵抗、車両の軸受けや歯車装置の摩擦抵抗、空気抵抗などが主なものであり、速度を変数とする二次式で表される。本研究では以下の式を用いた。

○電車

$$R_r = (16.2 + 0.242V)Md + (7.65 + 0.0275V)Mt + \{0.275 + 0.076(n-1)\}V^2 \quad (N)$$

○新幹線電車(トンネル外)

$$R_r = (11.8 + 0.22V)M + (0.127 + 0.00284L)V^2$$

(V : 車両の速度(km/h)、 M : 新幹線車両の質量(t)、 Md : モーター付電車の質量(t)、 Mt : モーター無し電車の質量(t)、 n : 編成両数、 L : 列車の長さ(m))

走行抵抗と加速抵抗の和は列車の引張力に等しい。加速抵抗 F は以下の式で表される。

$$F = \phi M \alpha \quad (N)$$

(ϕ : 質量 M の補正係数($\phi=1.094$)、 M : 列車の質量(kg)、 α : 加速度(m/s^2))

電車では、回生ブレーキを使用することで減速の際のエネルギーロスを小さくできるのでこの点も考慮に入れた。

(2) 自動車

自動車の場合については図-2の走行パターンを仮定しての効率の計算の他に都市内での走行を仮定した10モード及び11モードについての計算も行った。各抵抗の計算には以下の式を用いた。

$$\text{○転がり抵抗} \quad R = \mu W \quad (N)$$

$$\text{○空気抵抗} \quad F = C_d \rho V^2 A / 2 \quad (N)$$

$$\text{○加速抵抗} \quad F = \phi M \alpha \quad (N)$$

(μ : 転がり抵抗係数(0.01)、 W : 鉛直荷重(N)、

C_d : 空気抵抗係数、 ρ : 空気密度(kg/m^3)、

V : 速度(m/s)、 A : 正面投影面積(m^2)、

ϕ : 回転部分による見かけの質量増加係数

(1速: 2.70、2速: 1.54、3速: 1.20、4速: 1.10)、

M : 質量(kg)、 α : 加速度(m/s^2))

鉄道、自動車のデータは一般的な値を代入し、乗車率は全て100%として計算した。

4. 結果及び考察

計算結果をまとめたものを図-3、4に示す。図-3の右上がりの線は巡航速度を一定に保ち定速走行時間 T_c を0から次第に増加させたときの効率の変化を表したもので、各線の左端が $T_c = 0$ のときであり、右端が T_c が十分大きくなったときの値でこのときの表定速度は巡航速度にほぼ等しくなる。 T_c の値が増加するにつれてどの交通機関も効率が悪くなるが特に鉄道車両は T_c が十分大きいときは

自動車よりもはるかに効率が良いと言える。図-4の右下がりの線は同じ区間距離の点をつないだもので図中の数字は区間距離(単位km)を表している。 T_c が小さく区間距離が短いときにはペイロード当たりの重量が大きい鉄道は効率が極端に悪く、路線バスをはじめとする自動車の方がむしろ効率が良いことがわかる。

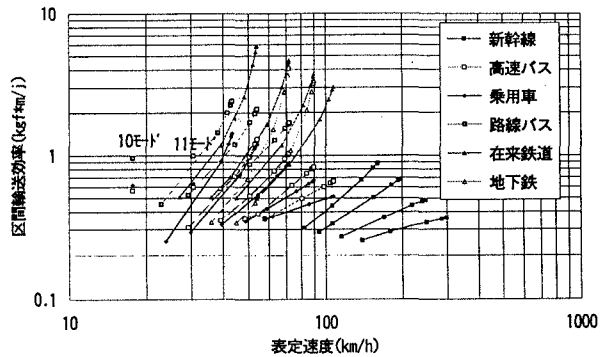


図-3 区間輸送効率の比較

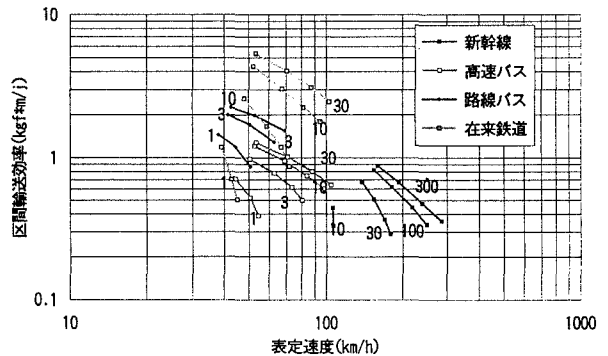


図-4 区間距離ごとの区間輸送効率の比較

5. 今後の課題

本研究では平坦な直線上の走行を仮定したが現実には即して勾配抵抗や曲線抵抗等を考慮して計算する必要がある。

今後は航空機、船舶、電気自動車などの交通機関の旅客輸送効率、及び貨物輸送効率についての計算や動力装置の種類を考慮したエネルギー効率の比較等を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 日本機械学会: 新版機械工学便覧 C2-交通
- 2) 運輸省運輸政策局情報管理部: 平成3年版 運輸関係エネルギー要覧
- 3) 赤木新介: 機械工学体系51 交通機関論, コロナ社, 1971
- 4) 九州運輸局: 九州運輸要覧(陸運編)平成3年度版