

陸上コンテナ輸送における燃料消費特性の把握

An Investigation of Fuel Consumption Efficiency in Land Container Transportation

村野昭人*・鈴木武*

Akito Murano*, Takeshi Suzuki*

ABSTRACT ; To construct ports consumes much energy and materials. So ports become one of the main origins of CO₂ emissions. For the exact estimation of the environmental impact, it is necessary to assess CO₂ emissions through its life cycle from material production, construction, usage, maintenance, to demolition. Especially in case of infrastructures whose life cycle is long, the stage of usage plays a heavier part. In this study, fuel consumption from transportation by a container trailer which total weight is over 10ton is investigated at the port area and on highway. The relation between fuel consumption efficiency and traffic speed is analyzed by using the estimation of the running resistance. As a result, it is shown that fuel consumption efficiency can be explained by the weight of a trailer and its average speed. And the relation among them is different because of the driven road.

Keywords ; Container trailer, Fuel Consumption Efficiency, Running Resistance

1 はじめに

港湾整備は大規模な施設整備を伴うとともに、整備後の港湾活動にも大きな影響を与える。これらの活動は大量の資材やエネルギーを消費し多くの温暖化ガスを排出するため、その低減のための努力が求められる。温暖化ガス排出の低減効果を正確に把握するためには、ライフサイクル全般にわたる温暖化ガス排出量を適切に推計することが必要となる。港湾のライフサイクルには、資材生産・輸送・施工からなる建設段階から、維持管理・稼動・コンテナ輸送からなる運用段階、解体廃棄段階までが含まれる。港湾施設などのインフラストラクチャーは一般の工業製品と比較してライフサイクル期間が長いので、運用時の評価がより重要となる。港湾施設の運用時における温暖化ガス排出の要因としては、施設の維持管理、施設の稼動、コンテナの輸送等がある。さらにコンテナの輸送における温暖化ガス排出要因は、コンテナ船による海上輸送、コンテナトレーラーによる陸上輸送、港湾施設内の荷役作業等に分けることができる。これらの中から、本研究ではコンテナトレーラーによる陸上輸送を対象とする（図-1）。

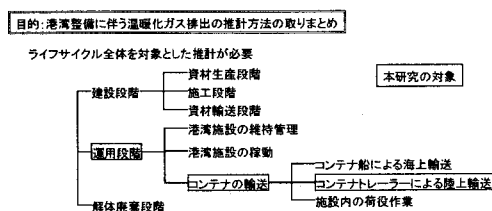


図-1 本研究の対象

従来の研究においては、一般的なトラックの走行時の環境負荷原単位について数多くの調査・分析がなされてきた^{1), 2)}。例えば、(独)交通安全環境研究所³⁾においては、エンジンの回転数比や負荷率の組み合わせに対する燃料消費量の理論値を算出し、その値に各走行モードにおけるエンジン回転数比と負荷率の使用頻度を掛け合わせることで、平均速度と燃費の関係についてシミュレーションを行っている。しかし、総重量が10トンを超える車両を対象とした分析は、端緒についたばかりである⁴⁾。

*国土交通省 国土技術政策総合研究所(横須賀) National Institute for Land and Infrastructure Management

国土交通省では、自動車の燃費基準を作成する際には、運転パターンをモード化し、それに基づいて燃料消費量や排出ガス成分を測定して行う。しかし、実際の走行が想定したモード走行となることは稀であり、実際の燃費は公表された燃費とは必ずしも一致しない。

そこで本研究では、環境に配慮した港湾施設整備計画に資することを目的として、港湾エリアや高速道路を対象に、コンテナトレーラーの燃料消費量・速度を測定する走行実験を行った。その結果を基に速度や重量が燃料消費量に与える影響について分析し、その特性について考察した。

2 コンテナトレーラーの燃料消費量測定実験

2.1 走行実験の概要

実験は平成 14 年 10 月 21, 22 日及び平成 15 年 1 月 20, 21 日の二度に分けて行い、同じ車両を使用した。一般道路については、主に東京の大井埠頭や平和島といった港湾エリアを走行エリアとした。高速道路については首都高速道路・常磐自動車道などを走行した。走行実験に用いた車両は、ヘッドの部分の重量が約 6.6 トンのコンテナトレーラーである。その諸元を表-1 に記す。主に使用したシャーシの重量は 40 フィートで約 3.7 トン、20 フィートで約 3.5 トン、空コンテナの重量は 40 フィートで約 3.7~3.9 トン、20 フィートで約 2.2~2.4 トンであった。

燃料消費量を測定するための燃費計、速度を測定するための速度計を運転室内に取り付け、各データを計測しデジタルデータとして取得した。使用した燃費計はディーゼル車用のもので、エンジンに入った燃料の流量とエンジンから出てきた燃料の流量を計測し、その差を取って燃料消費量を算出する。燃料消費量は 1 秒ごとに 0.05cc 単位で測定可能であり、速度は 0.5 秒単位・時速 1km 単位で測定可能である。分析の際には、速度のデータを 1 秒ごとのデータに変換した。また、走行状況についてビデオ撮影を行い、取得したデータのチェックを行った (図-2)。

表-1 走行実験に使用した車両の諸元

車両型式					KL-CK482BAT (平成 12 年製造)	
寸法	車両	全長	mm	5,550		
		全幅	mm	2,490		
		全高	mm	2,860		
	トレッド	前	mm	2,040		
		後	mm	1,840		
	最低地上高			mm	225	
重量	車両重量			kg	6,550	
	乗車定員			人	2	
	連結車両総重量			kg	39,520	
エンジン	総排気量			L	13.1	
	最高出力			kW/rpm	294/1,900	
	最大トルク			N・m/rpm	1,726/1,400	

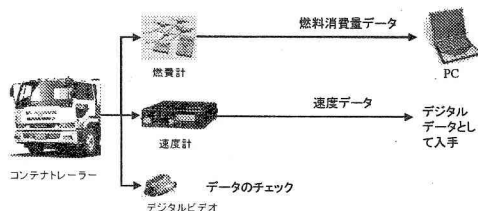


図-2 実験における測定項目

2.2 実験結果

(1) 速度の時間分布

走行実験における速度の時間分布を図-3 に示す。エンジンを止めた駐車時間除外している。この図より、一般道路走行時には、全体の 4 分の 1 以上の時間は停車していることが分かる。さらに時速 20km 以下の時間帯が過半数となっており、平均速度は時速 22km であった。高速道路走行時において、時速 40km 以下の時間

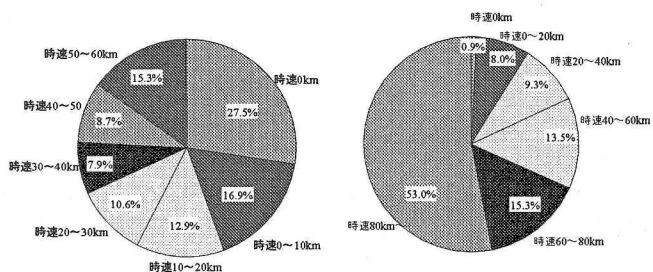


図-3 速度の時間分布 (左: 一般道路走行時、右: 高速道路走行時)

帯が 20%近く存在するのは、渋滞の影響であると考えられる。一部渋滞はあったが、おおむね順調に走行できたため、時速 80km 以上の時間帯が過半数を占めており平均速度は時速 74km であった。

(2) 車両重量・速度と燃費の関係

一般道路走行時を対象に、300 秒ごとの平均速度と燃費の関係について総車両重量別にプロットし（図-4）、さらに各重量別に時速 10km ごとに区切った平均値を算出した（図-5、表-2）。概ね、総車両重量が重いほど燃費が悪くなるという結果が得られ、総重量 6.6 トンにおける燃費は、総重量 22.8 トンの燃費の約 3 倍近い値となった。さらに、時速 20km 以下の低速域よりも、時速 20～40km の中速域の方がその差が明確に現れている。これは平均速度が時速 20km 以下の区間では、停車中の時間が長いために重量による影響が相対的に小さくなったことが原因であると考えられる。また、図-5 より、コンテナトレーラーが一般道路を走行するときの燃費は、平均速度が変化しても大きな違いは生じないという結果が得られた。

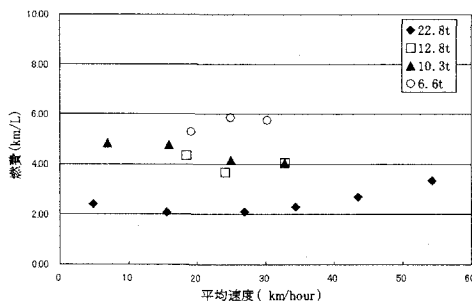


図-5 一般道路走行時の燃費
(速度帯ごとの平均値)

次に、高速道路走行時の平均速度と燃費の関係について総重量別にプロットし（図-6）、さらに各重量別に時速 10km ごとに区切った平均値を算出した（図-7、表-3）。これによると、高速域においては重量ごとの顕著な差は見られない。これは、高速域においては、車両重量の影響を受けない空気抵抗が燃費を左右する支配的な要因になることが原因であると考えられる。空気抵抗の詳細については次章で述べる。また、図-7 より、平均速度が変化しても、コンテナトレーラーが高速道路を走行するときの燃費には大きな変化は生じないという結果が得られた。

通常、一般道路走行時には時速 50km 付近が、高速道路走行時には時速 80km 付近が経済速度、すなわち最も燃費が高くなる速度と言われており⁵⁾、今回の実験結果とは一致しない。その原因について、次章で検証する。

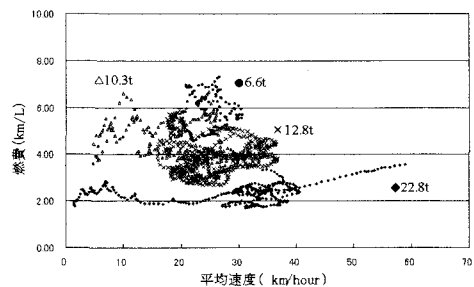


図-4 一般道路走行時の燃費

表-2 一般道路走行時の燃費

	速度 (km/hour)					
	0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
22.8t						
データ数	203	113	152	935	57	57
平均速度	4.9	15.5	26.9	34.4	43.5	54.3
平均燃費	2.42	2.07	2.12	2.30	2.71	3.36
標準偏差	0.29	0.13	0.24	0.38	0.26	0.12
12.8t						
データ数	0	534	1200	599	0	0
平均速度	-	18.5	24.2	32.8	-	-
平均燃費	-	4.34	3.66	4.06	-	-
標準偏差	-	0.95	0.69	0.40	-	-
10.3t						
データ数	121	345	695	147	0	0
平均速度	7.0	15.9	25.0	32.9	-	-
平均燃費	4.83	4.78	4.16	4.03	-	-
標準偏差	0.64	0.69	0.79	0.11	-	-
6.6t						
データ数	0	30	591	19	0	0
平均速度	-	19.2	24.9	30.4	-	-
平均燃費	-	5.29	5.88	5.75	-	-
標準偏差	-	0.28	0.75	0.16	-	-

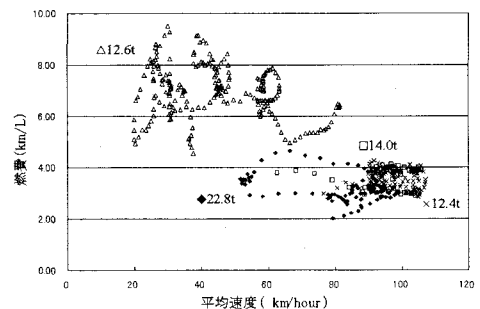


図-6 高速道路走行時の燃費

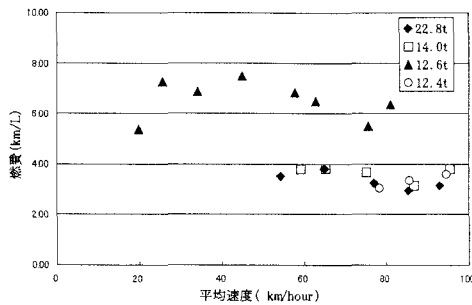


図-7 高速道路走行時の燃費
(速度帯ごとの平均値)

表-3 高速道路走行時の燃費

	速度(km/hour)									
	10<=v<20	20<=v<30	30<=v<40	40<=v<50	50<=v<60	60<=v<70	70<=v<80	80<=v<90	90<=v<100	
22.8t										
走行数	0	0	0	0	221	70	142	584	554	
平均速度	-	-	-	-	54.2	65.0	77.0	85.4	92.9	
平均燃費	-	-	-	-	3.53	3.33	3.25	2.96	3.15	
標準偏差	-	-	-	-	0.34	0.81	0.67	0.49	0.22	
14.0t										
走行数	0	0	0	0	5	28	29	78	710	
平均速度	-	-	-	-	52.2	65.2	75.1	86.7	95.5	
平均燃費	-	-	-	-	3.80	3.33	3.63	3.14	3.79	
標準偏差	-	-	-	-	0.01	0.03	0.14	0.14	0.30	
12.6t										
走行数	12	348	422	379	272	185	84	44	0	
平均速度	19.3	29.7	34.0	44.9	57.7	62.6	75.7	81.0	-	
平均燃費	5.39	7.27	6.67	7.50	6.96	6.49	5.50	6.37	-	
標準偏差	0.12	1.14	1.13	0.63	0.48	0.89	0.23	0.06	-	
12.4t										
走行数	0	0	0	0	0	0	13	79	904	
平均速度	-	-	-	-	-	-	78.2	85.7	94.6	
平均燃費	-	-	-	-	-	-	3.06	3.35	3.61	
標準偏差	-	-	-	-	-	-	0.05	0.17	0.32	

3 走行抵抗値による燃料消費量の推計

本章では、燃料消費量に影響を与える走行抵抗を算出し、その値を基に燃料消費量を推計することを試みる。

3.1 走行抵抗

自動車の燃費性能を改善するためには、走行中に生じる様々な抵抗を少なくすることが必要となる。この抵抗する力の総称を走行抵抗といい、転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、加速抵抗が含まれる⁶⁾。

(1) 転がり抵抗

転がり抵抗は、タイヤが路面上を転がることによって起こるすべての抵抗の和で、タイヤや路面のひずみ、路面の凹凸、ホイール軸受けの滑り摩擦などが原因となる。自動車の総重量を W [ton]、転がり抵抗係数を μ_r 、重力加速度を g [m/s²]とすると、転がり抵抗 R_r [N]は式 (1) で求められる。

$$R_r = 1000 \times g \times \mu_r \times W \cdots (1)$$

(2) 空気抵抗

自動車が走行するとき、ボディーに空気の力が作用して抵抗を受ける力を空気抵抗という。自動車の前面面積を A [m²]、空気の密度を ρ [N・s²/m⁴]、自動車の速度を V [m/s]、ボディーの空気抵抗係数を C_d とすると、空気抵抗 R_a [N]は式 (2) で求められる。

$$R_a = \frac{\rho}{2} C_d A V^2 \cdots (2)$$

(3) 勾配抵抗

自動車が一定の速度で勾配のある坂道を登るとき、自動車の総重量の斜面に平行な分力は、進行方向と反対向きに働くので、登坂を妨げる力になる。この妨げる力が勾配抵抗 R_g [N]であり、自動車の重量 W [ton]、斜面の傾き角を θ 、重力加速度を g [m/s²]とすると式 (3) で求められる。

$$R_g = 1000 \times g \times W \times \sin \theta \cdots (3)$$

(4) 加速抵抗

自動車を加速させるためには、等速走行している自動車の慣性に打ち勝つ必要があり、さらに自動車のエンジンから駆動輪までの回転部分の速度を増加させるための慣性にも打ち勝つ必要がある。この二つの慣性に打ち勝って加速が行われることから、これらを加速抵抗と呼んでいる。

自動車の重量を W [ton]、自動車の加速度を α [m/s²]、回転部分相当質量係数を σ とすると、加速抵抗 R_{ac} [N]は式 (4) で求められる。

$$R_{ac} = 1000 \times (1 + \sigma) \times W \times \alpha \cdots (4)$$

(5) 走行抵抗

自動車が勾配のある道路を加速しながら走行している場合に働く全走行抵抗 R [N]は、転がり抵抗、空気抵抗、

勾配抵抗, 加速抵抗の総和となる。すなわち式 (1) ~ (4) より, 式 (5) で求められる。

$$R = R_r + R_a + R_g + R_{ac} \\ = 1000 \times g \times W \left\{ \mu_r \cos \theta + \sin \theta + (1 + \sigma) \frac{\alpha}{g} \right\} + \frac{\rho}{2} C_d A V^2 \quad \dots (5)$$

となる。

これらの各抵抗を減少させる運転を推進すべく, 自動車会社・運送会社においては, 省燃費運転研修等で指導を行っている⁵⁾。その中では, 「経済速度による走行」「急発進・急加速を控える」「波状運転を控える」「車両のメンテナンス」「エンジンブレーキを用いた惰力走行を行う」などが, 省燃費運転として推奨されている。ヒアリング調査の結果, 研修前のテスト走行と研修後のテスト走行における燃費を比較すると, 平均して 20~30% 燃費が向上するということがあった。

3. 2 走行抵抗に対する仕事量の推定値とエネルギー消費量の実測値の比較

(1) 走行抵抗に対する仕事量の推定

速度 V_i [m/s] (t [s] は経過時間を表す) で走行する自動車が, 走行抵抗 R_i [N] に逆らって $t=1 \sim T$ [s] の間走行した際に発生する仕事量 W_T [J] は, 式 (6) で求められる。

$$W_T = \sum_{i=1}^T (R_i \times V_i) \quad \dots (6)$$

平均速度を V [m/s] とすると, $t=1 \sim T$ [s] の間に自動車は $V \times T$ [m] 走行するので, 単位距離を走行する際に発生する仕事量 W_L [J/m] は, 式 (7) で求められる。

$$W_L = \frac{\sum_{i=1}^T (R_i \times V_i)}{\sum_{i=1}^T V_i} \bigg/ (V \times T) \\ = \sum_{i=1}^T (R_i \times V_i) \bigg/ \sum_{i=1}^T V_i \quad \dots (7)$$

式 (5), (7) より, W_L を求める。前節で述べたように, 走行抵抗は, 転がり抵抗, 空気抵抗, 勾配抵抗, 加速抵抗の和として求められる。しかし今回行った実験では, ほぼ平坦な地形のみが対象となったため, 勾配抵抗は考慮しないものとする。式 (2) より, 空気抵抗 R_a は速度 V_i の二乗に比例する。従って, $R_a \times V_i$ の値は V_i^3 に比例する。また, 式 (4) より, 加速抵抗 R_{ac} は加速度に比例する。従って, $R_{ac} \times V_i$ の値は $\alpha_i \times V_i$ に比例する。そこで, 実測データを速度帯ごとに分類し, それぞれにおいて速度の三乗及び加速度×速度の合計値の平均・標準偏差を求めた。惰力運転による影響を除去するために, 減速時を惰力運転時と仮定し, 加速時・等速時の速度の三乗値のみを集計した。また, 加速抵抗が車両に加わるのは, 加速時のみであることから, 等速時・減速時の加速度はすべて 0 とみなして集計した。集計結果の一例を表-4 に示す。

集計した結果を基に, 各抵抗に逆らって単位距離を走行する際に発生する仕事量を算出する。各抵抗の算出に

表-4 速度の三乗, 加速度×速度の集計値

一般道路22.8t		速度(km/hour)					
		0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
データ数		203	113	152	935	57	57
平均速度	km/hour	4.9	15.5	26.9	34.4	43.5	54.3
平均燃費	km/L	2.42	2.07	2.12	2.30	2.71	3.36
加速・等速時の ΣV ³ の平均値	km ³ /hour ³	691	13,662	46,739	85,248	119,228	174,950
加速・等速時の ΣV ³ の標準偏差	km ³ /hour ³	632	7,130	16,446	24,110	8,354	39,666
加速時のΣα・V の平均値	(km/hour)・ (m/second ²)	0.58	3.34	6.06	7.27	7.82	7.00
加速時のΣα・V の標準偏差	(m/second ²)	0.40	1.05	0.64	0.96	0.40	0.59

高速道路22.8t		速度(km/hour)				
		40<=V<50	50<=V<60	60<=V<70	70<=V<80	80<=V<90
データ数		0	221	70	142	584
平均速度	km/hour	-	54.2	65.0	77.0	85.4
平均燃費	km/L	-	3.53	3.83	3.25	2.96
加速・等速時の ΣV ³ の平均値	km ³ /hour ³	-	254,497	372,909	456,767	567,204
加速・等速時の ΣV ³ の標準偏差	km ³ /hour ³	-	34,499	28,827	29,726	56,154
加速時のΣα・V の平均値	(km/hour)・ (m/second ²)	-	5.06	4.52	6.16	6.94
加速時のΣα・V の標準偏差	(m/second ²)	-	1.16	2.56	2.22	1.73

表-5 各抵抗に対する単位距離あたりの仕事量

一般道路22.8t		速度(km/hour)					
		0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
データ数		203	113	152	935	57	57
平均速度	km/hour	4.9	15.5	26.9	34.4	43.5	54.3
平均燃費	km/L	2.42	2.07	2.12	2.30	2.71	3.36
転がり抵抗	J/m	2,234	2,234	2,234	2,234	2,234	2,234
空気抵抗	J/m	38	222	438	625	691	814
加速抵抗	J/m	33	116	154	177	48	184
加速抵抗の標準偏差	J/m	3,111	5,641	5,899	5,539	4,708	3,379
加速抵抗の標準偏差	J/m	2,157	1,766	623	734	241	284
走行抵抗	J/m	5,381	8,098	8,571	8,999	7,634	8,427
走行抵抗の標準偏差	J/m	2,157	1,770	642	735	246	338

高速道路22.8t		速度(km/hour)				
		40<=V<50	50<=V<60	60<=V<70	70<=V<80	80<=V<90
データ数		0	221	70	142	584
平均速度	km/hour	-	54.2	65.0	77.0	85.4
平均燃費	km/L	-	3.53	3.83	3.25	2.96
転がり抵抗	J/m	-	2,234	2,234	2,234	2,234
空気抵抗	J/m	-	1,186	1,449	1,497	1,677
加速抵抗	J/m	-	161	112	97	166
加速抵抗の標準偏差	J/m	-	2,449	1,824	2,098	2,131
加速抵抗の標準偏差	J/m	-	561	1,034	754	531
走行抵抗	J/m	-	5,870	5,507	5,829	6,043
走行抵抗の標準偏差	J/m	-	584	1,040	760	556

必要な係数として、転がり抵抗係数 $\mu_r = 0.01$ ，空気密度 $\rho = 1.225 [\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4]$ ，空気抵抗係数 $C_d = 0.75$ ，自動車の前面面積 $A = 2.49 \times 2.86 \div 7.1 [\text{m}^2]$ を用いた。回転部分相当質量係数 σ は、代表的な値から0.15を使用した^{4), 6)}。結果の一例を表-5に示す。

転がり抵抗に対する仕事量は平均速度によらず一定となるが，空気抵抗・加速抵抗に対する仕事量は平均速度によって異なる。ただし低速域においては，空気抵抗に対する仕事量は小さく，加速抵抗に対する仕事量が，走行抵抗に対する仕事量において支配的な要素となる。速度が増加するに従って，空気抵抗に対する仕事量は増加するが，一方で加速抵抗に対する仕事量は減少していることが多い。この両者が相殺されたことによって，平均速度による燃費の変化があまり見られなかったものと考えられる。

(2) エネルギー消費量の算出

燃費が $F [\text{km/L}]$ であった場合，1km 走行するために消費された燃料のエネルギー量 $E [\text{J}]$ は，式 (8) で求められる。 k はエネルギー効率を示す係数であり，燃料の単位発熱量やエンジンの熱効率により変化する。ここでは，軽油の発熱量を，資源エネルギー庁の資料⁶⁾に基づいて $3.82 [10\text{GJ/kL}]$ ，ディーゼルエンジンの熱効率 η は，実験に用いた車両のデータを入手できなかったため，資料に基づいて0.47とする⁶⁾。

$$E = k \times \frac{1}{F} \cdots (8)$$

前項で求めた $W_L [\text{J/m}]$ の値より1km 走行時の仕事量を算出し，式 (8) によって求まる $E [\text{J}]$ の値とを比較した(図-8)。エネルギー消費量の実測値と走行抵抗に対する仕事量の推定値との間の相関係数は，一般道路走行時で0.88，高速道路走行時で0.81となり，両者の間にはかなり良い対応が認められた。すなわち，燃料消費量は式 (5)，式 (7) に基づいて走行抵抗に対する仕事量を推定することによって，ほぼ説明できることが明らかとなった。

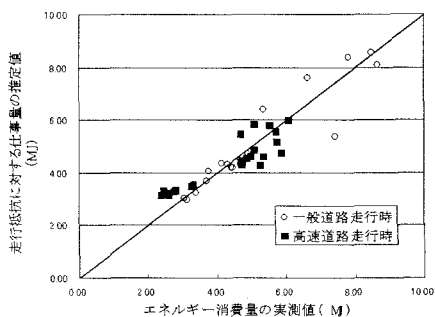


図-8 1km 走行時のエネルギー消費量と仕事量

3.3 コンテナトレーラーの燃費推計式の作成

前節の結果，走行抵抗に対する仕事量を算出することによって燃費を精度よく推計できることが分かった。そこで本節では，平均速度を変数として走行抵抗に対する仕事量を推計する式を基にして，コンテナトレーラーの燃費の推計式を作成する。推計式の作成の際には，サンプル数の少ないデータは除去した。

(1) 空気抵抗に対する仕事量の推計式

単位距離あたりの空気抵抗に対する仕事量 $W_a [\text{J/m}]$ を平均速度別にプロットした(図-9)。図より，空気抵抗に対する仕事量は，一般道路走行・高速道路走行によらず，平均速度 $V [\text{km/hour}]$ を変数とした一つの曲線によって近似できることが分かる。近似式を求めると，式 (9) となり，決定係数は0.94であった。

$$W_a = 7.9 \times V^{1.2} \cdots (9)$$

式 (2) によると，空気抵抗は速度の二乗に比例するが，式 (9) ではそのようになっていない。これは，式 (2) が瞬間的な状態を表しているのに対し，式 (9) は一定区間における平均値を表しているため，速度二乗の項が $\sum V^3 / \sum V$ という形になったことに起因すると考えられる。

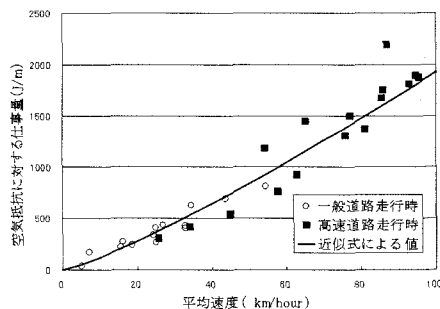


図-9 平均速度と空気抵抗に対する仕事量の関係

(2) 加速抵抗に対する仕事量の推計式

式(4)より、加速抵抗は車両重量に比例する。その影響を除去するために、加速抵抗に対する仕事量を車両重量で割った値を平均速度ごとにプロットした(図-10)。高速道路走行時のデータは、14.0t及び12.4tと、22.8t及び12.6tの二つに分割した。前者は、走行中の全体の平均速度が時速100km近く、スピードを出して走行したケースとみなすことができる。後者は、道路が混雑していたためにあまりスピードを出せなかったケースとみなすことができる。

図-10より、加速抵抗に対する車両重量あたりの仕事量には、平均速度に対して概ね単調に減少する傾向が見られる。そこで、単位距離あたりの加速抵抗に対する仕事量 W_{ac} [J/m]を表す関数として、式(10)(車両重量 W [ton], 平均速度 V [km/hour], a , b は定数)をあてはめたと、高速道路走行時に対しては比較的よい相関が得られたが、一般道路走行時に対しては得られなかった。

$$W_{ac}/W = a \times e^{-bV} \cdots (10)$$

そこで、一般道路走行時に対して式(11)をあてはめたと、比較的よく適合した。なお、高速道路走行時には、平均速度が時速20km以下となるデータが存在せず、式(11)の適合性を判断することが困難であるため、式(10)をあてはめている。各ケースにおける a , b の値及び相関係数を表-6に記す。

$$W_{ac}/W = aV \times e^{-bV} \cdots (11)$$

式(11)は、平均速度の値が小さい時には平均速度が増加するに従って値が大きくなるが、平均速度の値が大きい時には逆に漸減する、という特徴を持つ。この式の持つ意味を以下のように解釈することが出来る。平均速度が低い時は停車時間が長いと考えられるため、加速することが相対的に少なくなる。一方で、平均速度が制限速度に近い時は、比較的等速で走行していると考えられるため、この場合も加速することが少なくなる。もっとも今回の実験結果に対してはうまく適合したが、その普遍性に関する検討が今後の課題として必要となる。

(3) コンテナトレーラーの燃費推計式

式(1)より、転がり抵抗の値は車両重量に比例し、平均速度によらず一定である。すなわち、単位距離あたりの転がり抵抗に対する仕事量 W_r [J/m]は、車両重量を W [ton], 転がり抵抗係数を μ_r , 重力加速度を g [m/s²]とすると、式(12)で求められる。

$$W_r = 1000 \times g \times \mu_r W \cdots (12)$$

今回の実験では、ほぼ平坦な地形のみが対象となったため、走行抵抗を空気抵抗、加速抵抗、転がり抵抗の和であると仮定する。また、3.2の分析結果より、走行抵抗に対する仕事量はエネルギー消費量に等しいとみなすことができる。以上のことから、コンテナトレーラーの燃費 F [km/L]を推計する式を以下のように作成した。 W [ton]は車両重量、 V [km/hour]は平均速度を表す。各係数の値は、3.2で用いた値と同じである。

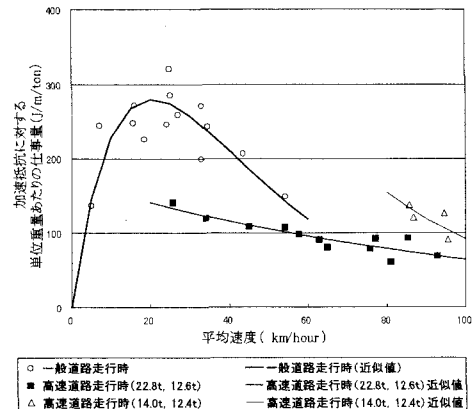


図-10 平均速度と加速抵抗値に対する単位重量あたりの仕事量の関係

表-6 加速抵抗に対する仕事量の推計式の係数

	a	b	相関係数
一般道路	37	0.049	0.80
高速道路(22.8t, 12.6t)	171	0.0097	0.87
高速道路(14.0t, 12.4t)	1246	0.026	0.90

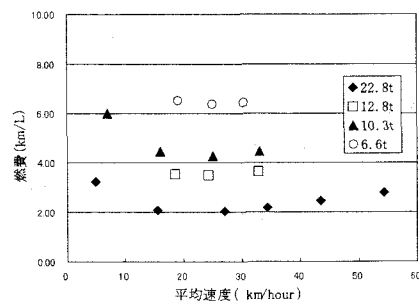


図-11 燃費の推定値(一般道路走行時)

一般道路走行時

$$F = \frac{18000}{(37 \times V \times e^{-0.049 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \cdots (13)$$

高速道路走行時 (22.8t, 12.6t)

$$F = \frac{18000}{(170 \times e^{-0.0097 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \cdots (14)$$

高速道路走行時 (14.0t, 12.4t)

$$F = \frac{18000}{(1200 \times e^{-0.026 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \cdots (15)$$

図-11, 12に, 式 (13) ~ (15) を基に推定した燃費の値を示す。図-5, 7と比較すると, よく再現できていることが分かる。燃費の推定値と実測値との関係を図-13に示した。相関係数は一般道路走行時で0.94, 高速道路走行時で0.87となり, 燃費推定式の有効性が示された。今後, 加減速の頻度及び強度を考慮した, さらに詳しい分析⁹⁾を行い, 燃費推計式の精度を上げることが課題となる。

4 おわりに

4. 1 まとめ

本研究では, 総重量が10トンを超えるコンテナトレーラーを用いて走行実験を行い, 車両重量別に燃費と速度の関係について明らかにした。それによると, 既存研究で言われている内容とは異なる傾向の結果が導かれた。あくまで合計4日間の実験日数の中で, 港湾エリアや高速道路という限定されたルートを行走したことのでられた知見であることを補足しておく。さらに, 実験に協力していただいた運転手が, 普段から省燃費運転に対する意識の高いドライバーであったことが, 既存研究事例とは異なる実験結果が出た原因となった可能性が存在する。

主な結論は以下の通りである。

- ・速度帯別に燃費の平均値を算出したところ, 一般道路・高速道路ともに, 平均速度が変化しても燃費には大きな変化は生じなかった。これは, 平均速度の増加に伴う, 空気抵抗の増加と加速抵抗の減少が相殺された結果と考えられる。
- ・燃料消費量の実測値と走行抵抗に対する仕事量の推定値の間にはかなり良い対応が認められ, 燃料消費量は車両重量, 速度, 加速度によってほぼ説明することができた。
- ・車両重量及び平均速度を変数としてコンテナトレーラーの燃費の推計式を作成し, 推定値と実測値された値の比較を行ったところ, 比較的良好な相関が得られ, 燃費推定式の有効性を示すことができた。

4. 2 今後の課題

本研究では, コンテナトレーラーの車両重量・速度と燃費の関係について, 平均値を中心としたマクロな分析を行った。今後は, ミクロな走行パターンをモデル化することによってより詳細な分析を行い, 走行パターンが燃費に与える影響について解析を加えることが必要となる。それらを踏まえつつ, コンテナトレーラー走行時のCO₂排出量の原単位の精度を上げていくことが今後の課題となる。

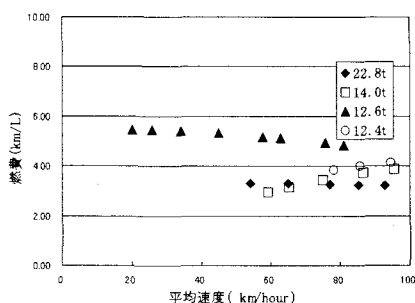


図-12 燃費の推定値 (高速道路走行時)

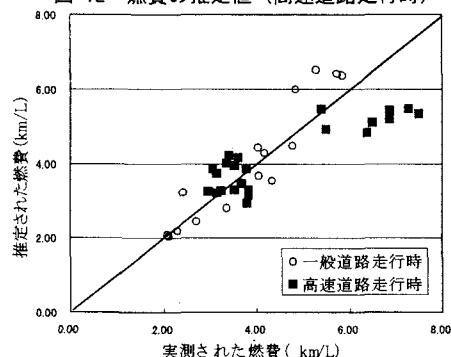


図-13 燃費の推定値と実測値の比較

謝辞

走行実験の実施にあたり、日産ディーゼル工業（株）の川津光男様、関東日産ディーゼル（株）の渡辺正和様、（株）三港運輸の日下栄作様、（株）三港運輸の小林速敦様を始め、多くの方の御助言・御協力をいただきました。この場を借りて厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会 運輸分科会報告書, 2000
- 2) 東京都環境保全局：車種別速度別排出係数, 都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書, 1996
- 3) (独) 交通安全環境研究所：交通安全環境研究所講演会 講演概要集, 2003
- 4) (財) 日本自動車研究所：自動車研究第 20 巻 第 11 号, pp3-14, 1998
- 5) (株) 日産ディーゼル：省エネナビゲーター, 2002
- 6) 竹花有也：自動車工学概論, 理工学社, 1995
- 7) (社) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック 1 基礎・理論編, 1990
- 8) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：平成 12 年度総合エネルギー統計, 通商産業研究会, 2001
- 9) 加藤博和, 鈴木弘司, 丹羽晴紀：自動車交通流改善施策の環境負荷評価のための走行モード別微視的原単位モデル, 環境システム研究論文集 Vol. 30, 2002, pp135-141