

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 109

December 2003

コンテナトレーラーの燃料消費特性の把握

村野昭人・鈴木武

An Investigation of Fuel Efficiency Consumed by Container Trailer

Akito MURANO and Takeshi SUZUKI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

コンテナトレーラーの燃料消費特性の把握

村野昭人*・鈴木武**

要 旨

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、資材生産・施工から施設の運用・解体廃棄に至る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。特に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いため、運用時の評価がより重要となる。港湾施設の運用時に排出される温暖化ガスの中では、コンテナ輸送に由来するものが大きな位置を占めるため、コンテナトレーラーによる陸上輸送時の発生量を正確に把握することが不可欠である。一般的なトラックの走行時の環境負荷原単位については従来数多くの調査・分析がなされてきたが、コンテナトレーラーのように総重量が10トンを超える車両を対象とした分析はまだ端緒に付いたばかりである。

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走行してコンテナトレーラーの燃料消費量の測定を行った。そのデータを基に、燃料消費量に与える要因について定量的な分析を行った。

その結果、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、推計値と実測値された値の比較を行ったところ、比較的よい相関が得られ、燃費推計式の有効性を示すことができた。これらの結果は、港湾整備に伴う環境負荷を検討する際の基礎資料となるものである。

キーワード：地球温暖化，燃料消費，コンテナトレーラー，走行抵抗

*沿岸海洋研究部沿岸域システム研究室研究官

**沿岸海洋研究部沿岸域システム研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省 国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5025 Fax：046-844-5074 e-mail: murano-a92y2@ysk.nilim.go.jp

An Investigation of Fuel Efficiency Consumed by Container Trailer

Akito MURANO*
Takeshi SUZUKI**

Synopsis

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 analysis intended for the vehicle like that is hardly performed. The relation between fuel consumption efficiency and traffic speed is analyzed by using the estimation of the running resistance.

The results are;

- 1) The fuel efficiency consumed by a container trailer does not change so much depending on its average speed.
The reason for this is that the accelerating resistance counterbalances it to the air resistance.
- 2) The fuel efficiency consumed by a container trailer can be almost expressed by the traffic total weight, the average speed, and the acceleration.
- 3) The fuel efficiency estimate type of which the variable is the traffic total weight and the average speed is made. As the difference between the estimation value and the measurement value is small, the effectiveness of the estimate type is shown.

Key Words : global warming, fuel consumption efficiency, container trailer, running resistance

* Researcher of Coastal Zone Systems Division, Coastal and Marine Department
** Head of Coastal Zone Systems Division, Coastal and Marine Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5025 Fax : +81-46-844-5074 e-mail:murano-a92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 燃料消費量に影響を与える要素	1
2.1 自動車の燃費性能	1
2.2 走行抵抗	2
2.3 省燃費を実現する運転方法	3
3. コンテナトレーラーによる燃料消費量測定実験の概要	4
3.1 走行実験に用いた車両	4
3.2 走行実験の概要	4
3.3 速度の時間分布	6
4. 燃料消費量測定実験の結果	7
4.1 瞬間速度と燃費の関係	7
4.2 区間平均速度と燃費の関係	9
5. 走行抵抗値による燃料消費量の推計	15
5.1 走行抵抗に対する仕事量の推計値とエネルギー使用量の実測値の比較	15
5.2 コンテナトレーラーの燃費推計式の作成	20
6. まとめ	22
7. おわりに	23
参考文献	23
付録	24

1. はじめに

発効の時期が近づいている京都議定書において、日本は2008年から2012年の5年間で、1990年に比べ6%の温暖化ガスの排出削減を義務付けられた。しかし、2000年度の排出量は1990年比で8.0%増となっており、早急な対策を講じることが求められている。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・稼働・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ため、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、施設の稼働、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)。

目的: 港湾整備に伴う温暖化ガス排出の推計方法の取りまとめ

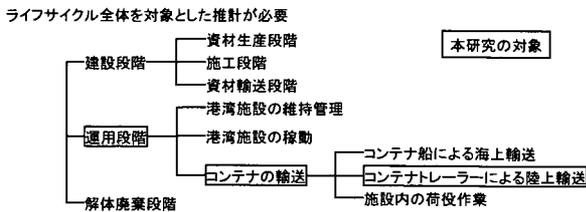


図-1 本研究の対象

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。例えば、(独)交通安全環境研究所(2003)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(図-2)。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、端緒に終わったばかりである。

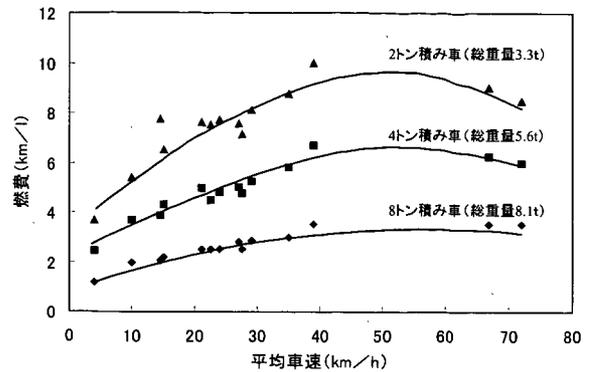


図-2 燃費シミュレーションによる平均車速と燃費の関係：(独立行政法人 交通安全環境研究所, 2003)

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、特性について考察した。

2. 燃料消費量に影響を与える要素

2.1 自動車の燃費性能

自動車の燃費性能を表す指標としては、燃費性能は、自動車の経済性を示す性能で、次のような値で表される。

- ①燃料 1L あたりの走行距離[km/L]
- ②100km の走行に要した燃料消費量[L/100km]
- ③(積荷重量) × (輸送距離) に対する燃料消費量
[L/9.8kN・km]
- ④(輸送人員) × (輸送距離) に対する燃料消費量
[L/人・km]

乗用車は、一般的に燃料 1L あたりに走行距離で燃費性能が表されるが、エンジンの燃料消費率 (rate of fuel consumption) が最小の状態で行っているときに最も経済的である。

車速を V [km/hour], エンジンの 1 時間あたりの燃料消費量を B [L/hour], エンジンの軸出力を P_e [kW], エンジンの燃料消費率を f [N/kW・hour], 燃料の比重量を

γ [N/L]とすると、自動車の燃料 1L あたりの走行距離 L [km/L]は次式で求まる。

$$L = \frac{V}{B} = \frac{\gamma V}{P_e f} \dots (1)$$

したがって、 L は V 、 P_e 、 f によって変化し、 f が最小値のときの車速 V が最も経済的であることになる。

2.2 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。

(1) 転がり抵抗

転がり抵抗 (rolling resistance) とは、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、

$$R_r = 1000 \times g \times \mu_r \times W \dots (2)$$

で求まる。

μ_r の値は、路面の状態や空気圧、車速によって変化する(表-1)。

表-1 転がり抵抗係数の値

路面の状態	μ_r の値
良好平滑なアスファルト舗道	0.01
良好平滑なコンクリート舗道	0.011
一般のアスファルトまたはコンクリート舗道	0.015
良好な木れんが舗道	0.015
良好な敷き石舗道	0.025
手入れのよい未舗装道路	0.040
手入れ不良の未舗装道路	0.08
新設の固まらない砂利道	0.125
砂道	0.165
かわいた粘土質の自然道	0.25

(2) 空気抵抗

自動車が走行するとき、ボディに空気の力が作用して抵抗を受ける。これを空気抵抗 (air resistance) という。自動車に働く空気抵抗は、圧力抵抗 (pressure resistance) と摩擦抵抗 (frictional resistance) との和である。さらに圧力抵抗は、形状抵抗・凹凸抵抗・吹抜け抵抗・誘導抵抗に分類される。この中で、形状抵抗が空気抵抗の約 60%を占めることから、空気抵抗はボディ

の形状によって決定されるといっても過言ではない。

自動車の前面面積を A [m²]、空気の密度を ρ [N・s²/m⁴]、空気に対する自動車の相対速度を V_a [m/s]、ボディの空気抵抗係数を C_d とすると、空気抵抗 R_a は、

$$R_a = \frac{\rho}{2} C_d A V_a^2 [\text{N}] \dots (3)$$

となる。表-2に各種自動車の空気抵抗係数値を示す。

表-2 空気抵抗係数

自動車の種類	空気抵抗係数 C_d
乗用車	0.3~0.5
トラック	0.4~0.6
バス	0.5~0.8
二輪車	0.6~0.9

また、空気に対する自動車の相対速度は、空気が静止している場合には自動車の速度と等しいので、一般に無風状態の下での空気抵抗として捉える。したがって、自動車の速度を V [m/s]とすると、

$$R_a = \frac{\rho}{2} C_d A V^2 [\text{N}] \dots (4)$$

となる。

(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。この妨げる力のことを勾配抵抗 (hill climbing resistance) と呼んでい

る。斜面の傾き角 θ 、重力加速度を g [m/s²]とすると、自動車の重量 W [ton]は、図-3に示すように水平な分力 X [N]と垂直な分力 Y [N]になる。このうちの X が勾配抵抗 R_g となり、

$$R_g = 1000 \times g \times W \times \sin \theta [\text{N}] \dots (5)$$

で求まる。

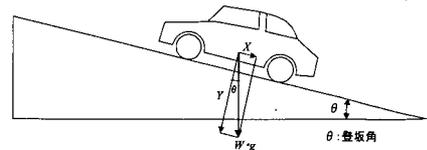


図-3 勾配抵抗

(4) 加速抵抗

自動車を加速した場合には、一定の速度で走行していた時の転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗のほかに、加速

抵抗が発生する。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 (accelerating resistance) と呼んでいる。この加速抵抗に打ち勝って加速するときの、自動車のエンジンの出力の余裕を示す性能のことを加速性能という。

自動車の重量を W [ton]、自動車の加速度を α [m/s²] とすると、加速抵抗 R_{ac} [N] は次式で求まる。

$$R_{ac} = 1000 \times (1 + \sigma) \times W \times \alpha \dots (6)$$

ここで、 σ は回転部分相当質量係数で、乗用車の場合には、トップ状態で 0.08、低速状態で 0.7 前後である。

(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 (2)、式

(4)、式 (5)、式 (6) から、

$$R = R_r + R_a + R_g + R_{ac}$$

$$= 1000 \times g \times W \left\{ \mu_r \cos \theta + \sin \theta + (1 + \sigma) \frac{\alpha}{g} \right\} + \frac{\rho}{2} C_d A V^2 \dots (7)$$

となる。

2.3 省燃費を実現する運転方法

前節で述べた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。その主な項目と、内容の概要について表-3 に示す。この中で、「経済速度による走行」は、転がり抵抗・空気抵抗に、「急発進・急加速を控える」は加速抵抗に、「波状運転を控える」は加速抵抗に、「車両のメンテナンス」は転がり抵抗にそれぞれ影響する。またエンジンブレーキ使用中には燃料を消費しないため、エンジンブレーキを用いて惰力走行を行うことが、省燃費運転として推奨されている。

表-3 省燃費を実現する運転方法

運転方法	内容
アイドリングストップ	1時間のアイドリングにより、大型車は1.0~1.5L、中型車では0.7~0.8Lの燃料を消費する。30秒以上の停止が予想される場合には、エンジンの一時停止を心がける。
経済速度による走行	車が走行する時に受ける空気抵抗は、速度の二乗に比例する。一般道では時速50km、高速道路では時速80kmが一般的には経済速度となる。
急発進・急加速を控える	アクセル全開での急発進や急加速は、緩やかな加速に比べて加速抵抗が大きくなり、燃料の消費量が増える。
惰力走行	エンジンブレーキを使用中には燃料を使用しない。従って、下り坂や赤信号の手前ではエンジンブレーキを使用して、惰力走行することを心がける。
適切なシフトチェンジ	エンジン回転数を上げると、燃料消費量が増大する。従って、なるべく高速段のギヤを使用し、エンジンの回転数を抑えることが重要となる。シフトアップを早めに、シフトダウンを遅めに行うことを心がける。
波状運転を控える	加速と減速を繰り返す波状運転は、燃費を大きく悪化させる。波状運転は、定速運転に比べて燃費が約25%悪くなる。
車両のメンテナンス	タイヤの空気圧が低いと、転がり抵抗が増大することにより、燃費が悪化する。エアエレメントが目詰まりしていると、吸入空気の抵抗が増え、出力の低下から燃費が悪くなる。

3. コンテナトレーラーの燃料消費量測定実験の概要

3.1 走行実験に用いた車両

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。その外観を図-4 に、諸元を表-4 に記す。キャビンの上部には、空気抵抗を減らすウィンドデフレクターを取り付けている。この装置は特に高速運転時に効果を発揮し、現在では多くのトレーラーに取り付けられている。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。

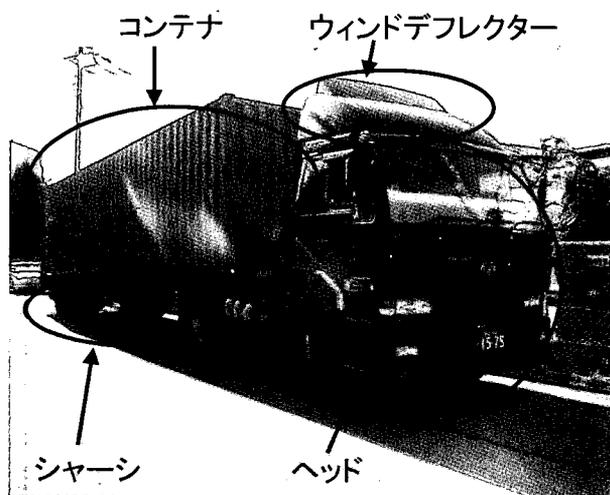


図-4 実験に用いたコンテナトレーラー

表-4 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	

実験に用いた車両が、平坦な道を等速度で走行した場合の走行抵抗の値を求める。2章の(7)式に、転がり抵抗係数 $\mu_r = 0.01$ 、勾配 $\theta = 0$ 、加速度 $\alpha = 0$ 、空気密度 $\rho = 1.225$ 、空気抵抗係数 $C_d = 0.75$ 、自動車の前面面積 $A = 2.49 \times 2.86 \approx 7.1 [m^2]$ を代入すると、

$$R = 0.01 \times W + 3.3 \times V^2 [N] \text{ となる。}$$

$W [ton]$ と $V [m/s]$ とを変化させた時の、走行抵抗 R の値の変化を図-5 に示す。時速 0km 時の走行抵抗が、転がり抵抗の値である。速度が増すに従って、重量ごとの走行抵抗の比率が小さくなっていることが分かる。

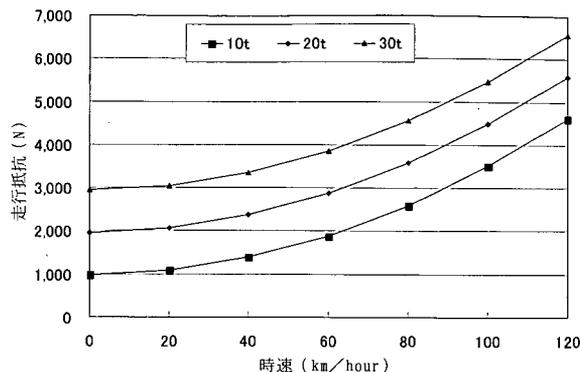


図-5 走行抵抗の値の変化

3.2 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、同じ車両を使用して行った。運転したドライバーも同一人物である。実験を行う前日に、整備工場にて燃費計、速度計を取り付けた。運送会社の通常業務に同乗する形で実験を行い、実験のために特別な走行ルートを設定するという事はしていない。

一般道路については、主に東京港の中を走行し、コンテナヤードのある大井埠頭や倉庫が多く立地する平和島の間などを、様々な重量下で走行した。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(図-6、図-7)。



図-6 走行エリア (関東全体図)

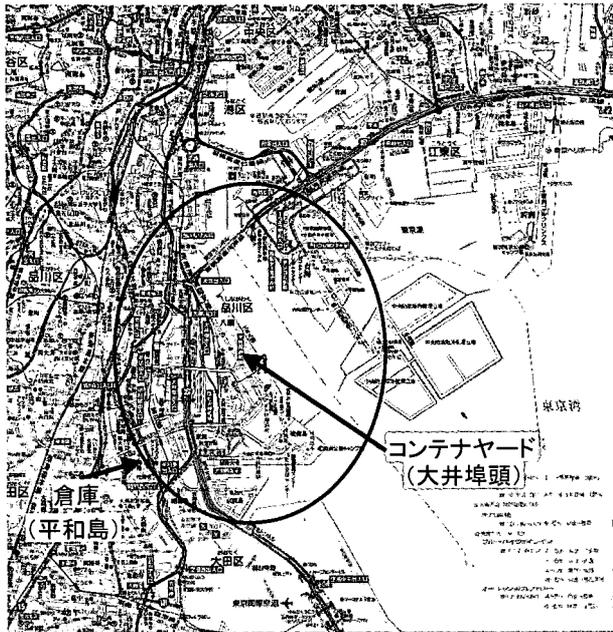


図-7 走行エリア (港湾エリア)

実験の概要を表-5、表-6に示す。表中にあるコンテナ重量は、空コンテナの重量と積荷の重量を合計した値である。積荷の重量としては、伝票に記載されている値を用いた。朝から夕方にかけて実験を行ったが、道路の混雑状況に時間帯による大きな相違は見られなかった。表より、一般道路走行時には、約15分前後でコンテナ・シャーシの積み替えが行われていることが分かる。

表-5 走行実験の概要 (10月)

天候	開始時刻	終了時刻	重量(トン)			走行場所・状況
			ヘッド	シャーシ	コンテナ	
小雨	2002/10/21 0:10	2002/10/21 1:47	6.6	0	0	一般道路
小雨	2002/10/21 2:25	2002/10/21 3:55	6.6	3.7	3.9	一般道路
雨	2002/10/21 8:40	2002/10/21 9:12	6.6	3.7	3.9	高速道路
小雨	2002/10/21 9:35	2002/10/21 9:56	6.6	3.7	20	一般道路
小雨	2002/10/21 10:29	2002/10/21 10:35	6.6	3.7	0	一般道路
小雨	2002/10/21 10:39	2002/10/21 10:47	6.6	3.7	13.7	一般道路
小雨	2002/10/21 10:55	2002/10/21 11:01	6.6	0	0	一般道路
小雨	2002/10/21 11:11	2002/10/21 11:50	6.6	3.7	4.1	一般道路
小雨	2002/10/21 11:50	2002/10/21 12:15	6.6	3.7	0	一般道路
雨	2002/10/21 13:00	2002/10/21 13:37	6.6	3.7	0	一般道路
小雨	2002/10/21 13:37	2002/10/21 13:43	6.6	3.7	3.7	一般道路
小雨	2002/10/21 13:45	2002/10/21 13:47	6.6	0	0	一般道路
小雨	2002/10/21 13:59	2002/10/21 14:15	6.6	3.7	28.7	一般道路
くもり	2002/10/21 14:30	2002/10/21 14:35	6.6	3.7	0	一般道路
くもり	2002/10/21 14:35	2002/10/21 14:54	6.6	3.7	4.0	一般道路
くもり	2002/10/21 15:10	2002/10/21 15:25	6.6	0	0.0	一般道路
くもり	2002/10/21 15:25	2002/10/21 15:36	6.6	3.7	3.9	一般道路
くもり	2002/10/21 15:45	2002/10/21 15:55	6.6	3.7	0	一般道路
晴れ	2002/10/22 7:00	2002/10/22 7:40	6.6	3.7	3.7	高速道路
晴れ	2002/10/22 10:17	2002/10/22 11:48	6.6	3.7	8.7	高速道路
晴れ	2002/10/22 13:32	2002/10/22 13:35	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2002/10/22 13:35	2002/10/22 14:45	6.6	3.5	0	一般道路
晴れ	2002/10/22 15:05	2002/10/22 15:25	6.6	3.5	4.5	一般道路
晴れ	2002/10/22 15:28	2002/10/22 16:00	6.6	0	0	一般道路

表-6 走行実験の概要 (1月)

天候	開始時刻	終了時刻	重量(トン)			走行場所・状況
			ヘッド	シャーシ	コンテナ	
くもり	2003/1/20 7:50	2003/1/20 7:57	6.6	3.7	3.9	一般道路
晴れ	2003/1/20 10:00	2003/1/20 10:08	6.6	3.7	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 10:08	2003/1/20 10:30	6.6	3.7	3.7	一般道路
晴れ	2003/1/20 10:33	2003/1/20 10:35	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 10:35	2003/1/20 11:05	6.6	3.5	2.3	一般道路
晴れ	2003/1/20 11:05	2003/1/20 11:20	6.6	3.5	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 13:07	2003/1/20 13:15	6.6	3.5	2.2	一般道路
晴れ	2003/1/20 13:15	2003/1/20 13:33	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 13:33	2003/1/20 14:25	6.6	3.7	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 14:42	2003/1/20 15:08	6.6	3.7	12.2	一般道路
晴れ	2003/1/20 15:08	2003/1/20 15:16	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 15:16	2003/1/20 15:19	6.6	3.7	3.0	一般道路
晴れ	2003/1/20 15:20	2003/1/20 15:26	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 15:27	2003/1/20 15:45	6.6	3.7	0	一般道路
晴れ	2003/1/20 15:45	2003/1/20 16:00	6.6	3.7	3.8	一般道路
晴れ	2003/1/21 6:42	2003/1/21 7:27	6.6	3.8	2.4	一般道路
晴れ	2003/1/21 8:30	2003/1/21 9:18	6.6	3.8	2.2	高速道路
晴れ	2003/1/21 9:47	2003/1/21 10:49	6.6	3.7	0	一般道路
晴れ	2003/1/21 10:49	2003/1/21 11:11	6.6	3.8	3.5	一般道路
晴れ	2003/1/21 11:12	2003/1/21 11:15	6.6	0	0	一般道路
晴れ	2003/1/21 11:15	2003/1/21 11:36	6.6	3.5	0	一般道路
晴れ	2003/1/21 13:02	2003/1/21 13:11	6.6	3.5	0	一般道路
晴れ	2003/1/21 13:11	2003/1/21 14:14	6.6	3.5	2.3	高速道路
晴れ	2003/1/21 14:57	2003/1/21 16:16	6.6	3.5	12.7	高速道路

燃料消費量を測定するための燃費計 (図-8)、速度を測定するための速度計 (図-9) 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した。1秒ごとに0.05cc単位で測定した。

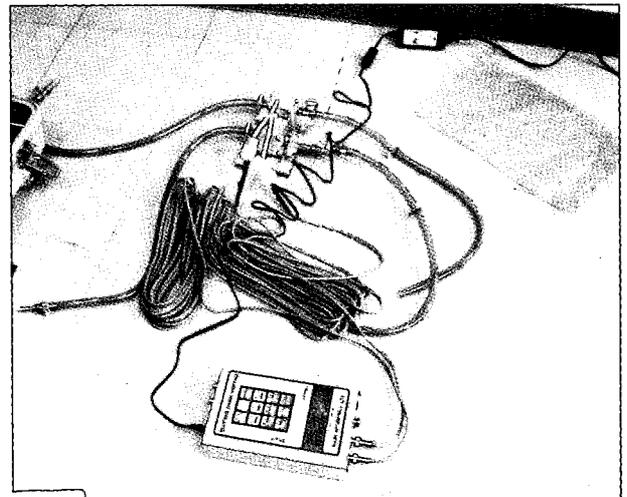


図-8 燃費計

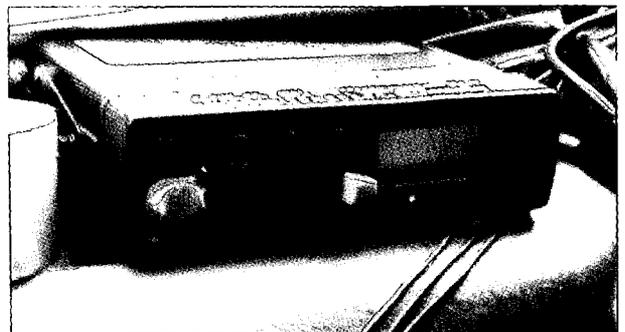


図-9 速度計

本実験においては、デジタル式の速度計を使用し、0.5秒単位で時速1km単位で測定した。分析の際には、2データの平均値を取ることによって、1秒ごとのデータに変換した。速度のデータは、交通事故死者数の増加を食い止めるため、1962年10月から貸切バス、片道100kmを超える長距離路線バス、路線トラックを対象として、時間・距離のデータとともにチャート紙に記録・保存することが義務付けられた。これらのデータを記録・保存する装置をタコグラフと呼んでいる。さらに1967年5月からは、車両の総重量が8トン以上のトラック及び牽引車、最大積載量が5トン以上のトラック及び牽引車が対象として追加され、1967年10月からは全国15都市の指定地域のハイヤー及びタクシーが追加された。記録されたデータ解析の合理化・簡素化を進めるために、近年タコグラフのデジタル化が普及しつつある。

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-10)。

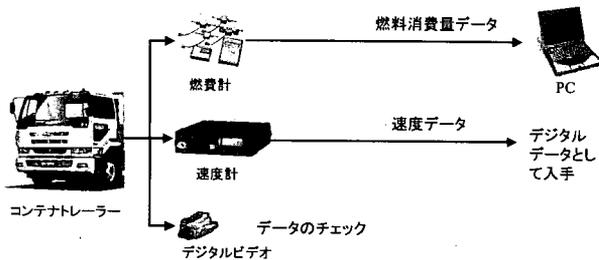


図-10 走行実験における測定項目

3.3 速度の時間分布

走行実験における速度の時間推移及び時間分布を図-11～図-14に示す。加減速の特色を把握し易くするために、図-11、図-13は実験開始から100分間のデータのみを抜粋して示している。一方、図-12、図-14における割合は、全走行時間を対象とした値であり、エンジンを止めた駐停車時間は除いている。エンジンの停止は約3分以上駐停車する際にのみ行い、一般の信号による停止時など、停止時間が2分以下の場合には行わなかった。

これによると一般道路走行時には、全体の4分の1以上の時間は止まっていることが分かる。さらに時速20km以下の時間帯が半分以上を占めており、平均速度は時速22kmであった。時速100km近い時間帯が存在するのは、高速道路への取り付け道路を走行した時のものである。高速道路走行時において、時速40km以下の時間帯が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以上の時間帯が半分以上を占めて

おり平均速度は時速74kmであった。瞬間的に時速0kmになっているのは、料金所やインターチェンジを通過する際のデータである。

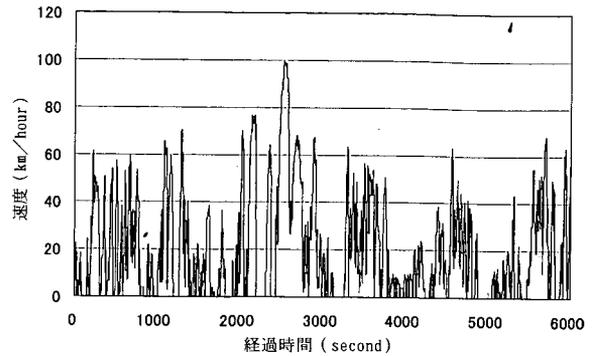


図-11 速度の時間推移 (一般道路走行時)

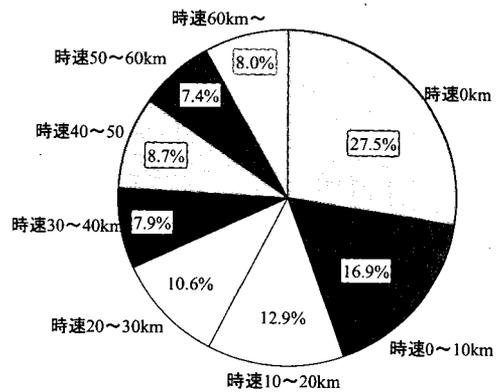


図-12 速度の時間分布 (一般道路走行時)

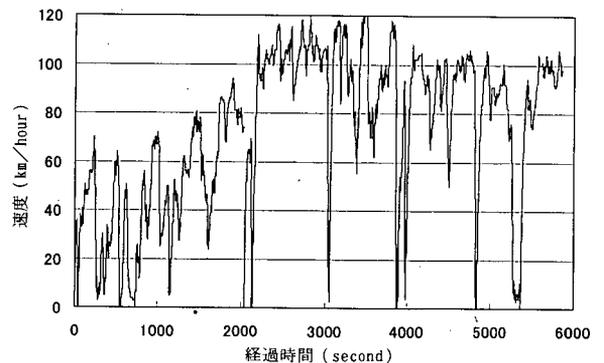


図-13 速度の時間推移 (高速道路走行時)

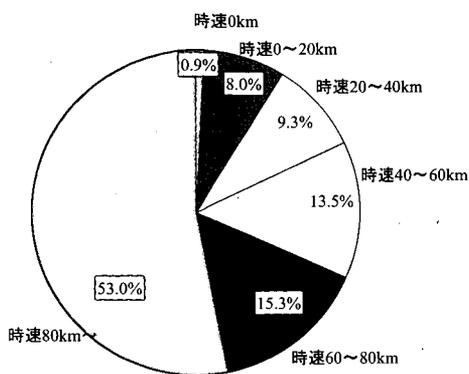


図-14 速度の時間分布 (高速道路走行時)

4. 燃料消費量測定実験の結果

4.1 瞬間速度と燃費の関係

(1) 総重量別の瞬間速度と燃費

一般道路走行時と高速道路走行時に分けて、総重量別の速度と燃費の関係を図-15、図-16に示す。データの総数が少ないケースにおいては、結果のばらつきが大きくなるため分析対象から除外している。重量ごとに個別にプロットしたグラフは付録図A-1~10に示す。

これによると、総重量が重いほど、総じて燃費が悪くなるという結果となっており、時速60km付近では、総重量が30.3トンの燃費は、総重量10.3トンに比べて約3分の1となっている。

しかし時速20km以下の低速域においては、その差は明確には現れていない。これは、そのような低速域は減速時にあたるケースが多いために、エンジブレーキを用いた惰力運転を行うことで、総重量に関係なく省燃費運転が可能となることが原因と考えられる。

時速40km~60kmにおいては、高速道路走行時の方が燃費が低くなっているケースが多い。これは、渋滞によって加速・減速を頻繁に繰り返した影響、もしくは高速道路では時速40km~60kmは加速途中にあたるためにアクセルを強く踏み込むことが多い影響によるものと考えられる。

高速道路走行時の時速100km付近においては、総重量による差が小さくなっている。これは、時速100km付近では、定速走行状態となっているケースが多いことが原因と考えられる。すなわち、加速度と総重量に比例して生じる加速抵抗の、発生頻度及び強度が減少することが影響していると考えられる。

速度が燃費に与える影響を見ると、一般道路走行時に

は、時速60~70kmまでほぼ右上がりに燃費が向上している傾向が見られる。通常、一般道路走行の場合には時速50km前後が経済速度と言われており、得られた実験結果と異なる。これは、直線距離が長く信号も少ない港湾エリアを走行するケースが多かったことが原因と考えられる。一方、高速道路走行時には、時速80km前後がピークになっており、一般に言われている経済速度とほぼ一致する。

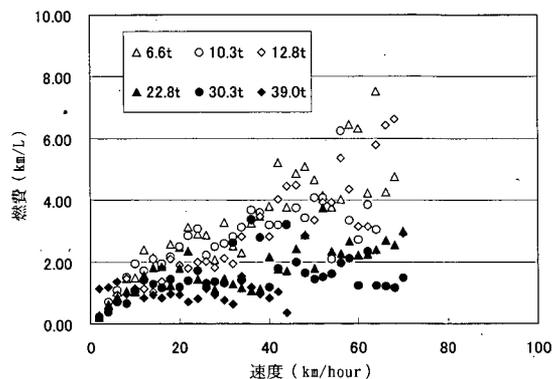


図-15 速度と燃費の関係 (一般道路走行時)

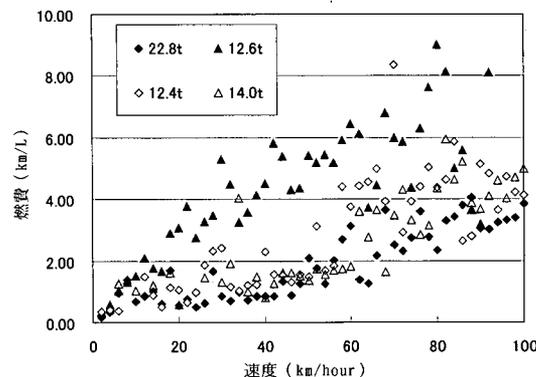


図-16 速度と燃費の関係 (高速道路走行時)

(2) 既存の研究例との比較

前項で得られた結果から燃費の推計式を求め、既存研究による普通貨物車の燃費推計式との比較を行った(図-17、図-18)。

比較対象として用いた式は、東京都環境保全局による式であり、式(4)の関係に似せて速度の二次式で燃費を推計している。そこで、本研究でも速度の二次式として推計式を作成した結果、決定係数の多くは0.8以上であったが、データの少ない39.0トンについては0.22という低い値となった(表-7)。

一般道路走行時には、東京都の式による値と、6.6トン、10.3トン、12.8トンのケースの推計式による値とが

比較的良好に一致している。東京都が推定に用いた普通貨物車の平均総重量の値が約7.7tであったことから、妥当な結果であるといえる。

一方、高速道路走行時においては、12.6トンのケースを除いて、低速から中速域にかけて東京都の推計値よりもかなり小さくなった。高速道路走行においては、時速100km前後に到達するまで加速し続けることが、その原因と考えられる。前章で述べたように、高速道路走行時には時速80km以上で走行する時間が過半数を超える。従って、高速道路走行時の燃料消費量を推計する際に、全体の平均速度をもとに原単位をかけるマクロな推計方法を用いると、実際の値との相違が生じる可能性があるため注意が必要となる。

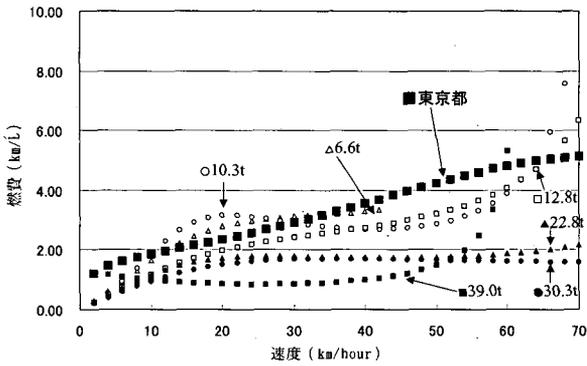


図-17 既存研究との比較（一般道路走行時）

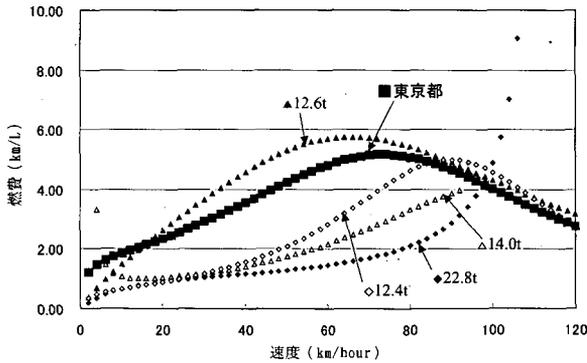


図-18 既存研究との比較（高速道路走行時）

表-7 速度の二次式による燃費の近似式

	総重量	近似式	決定係数
東京都環境保全局	普通貨物車 (平均重量7.7t)	$Y=(539.0/V - 11.03V + 0.0758V^2 + 587.8) \times 0.001$	-
	8.6t	$Y=(7740/V + 19.99V - 0.2175V^2 - 341.4) \times 0.001$	0.988
一般道路走行時	10.3t	$Y=(10080/V + 40.30V - 0.4178V^2 - 825.0) \times 0.001$	0.972
	12.8t	$Y=(8476/V + 12.28V - 0.1466V^2 - 105.4) \times 0.001$	0.970
	22.8t	$Y=(9380/V + 25.35V - 0.2323V^2 - 306.5) \times 0.001$	0.914
	30.3t	$Y=(10210/V + 13.97V - 0.08243V^2 - 93.6) \times 0.001$	0.956
	39.0t	$Y=(270.2/V + 41.98V - 0.8253V^2 + 835.5) \times 0.001$	0.224
高速道路走行時	12.4t	$Y=(3280/V - 29.72V + 0.1680V^2 + 1477.8) \times 0.001$	0.844
	12.6t	$Y=(5350/V - 3.584V + 0.0368V^2 + 169.1) \times 0.001$	0.979
	14.0t	$Y=(-5246/V - 27.35V + 0.1306V^2 + 1720.1) \times 0.001$	0.834
	22.8t	$Y=(8028/V + 4.340V - 0.0930V^2 + 609.8) \times 0.001$	0.821

V: 速度[km/hour], Y: 燃料消費率[L/km]

次に、重量・輸送距離あたりの燃料消費量について、積載率との関係を算出した。実験で用いたコンテナトレーラーのヘッド、シャーシ、空コンテナの重量は、合計で約14.1トンであった。そこで最大総重量39.5トンとの差である25.4トン積んだ場合を積載率100%とした(図-19)。一般道路走行時において、総重量が14.1トンを超えている総重量22.8トン、総重量30.3トンのケースを分析の対象とした。総重量39.0トンのケースは、推計式の決定係数が低いため対象から除外した。また、高速道路走行時には、該当するケースが一つしかないため、算出対象からはずしている。

これによると、全速度において、積載率が高いほど重量・輸送距離あたりの単位燃料消費量が少なくなることが示された。すなわち積載率を高めることが燃料消費量の削減に効果があると言える。

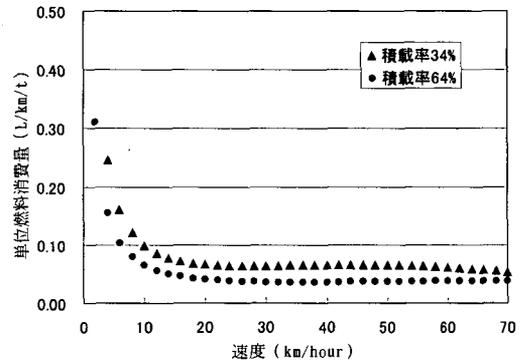


図-19 重量・輸送距離あたりの燃料消費量

4. 2 区間平均速度と燃費の関係

(1) 一般道路走行時の区間平均速度と燃費

コンテナトレーラー走行時のCO₂排出量をマクロに把握する際には、瞬間速度よりもある区間における平均速度と燃費の関係を把握しておくことが重要である。そこで本節においては、300秒間ごとの平均速度と燃費の関係について分析を試みた。

一般道路走行時・総重量 22.8 トンのケースについて図-20に平均速度と燃費の関係、図-21に速度の推移を示す。さらに、燃料消費量の値が0となる時間を惰力運転時間もしくは停止時間とみなし、各経過時間から300秒間における惰力運転時間と停止時間の合計の推移を図-22に示す。グラフ中に途切れた部分があるのは、エンジンを停止して駐車したり、途中で高速道路を走行したりすることによりデータの連続性が無く、平均速度や惰力運転時間を算出するに相応しくないと考えられる部分が存在するためである。これは以下に出てくるグラフについても同様である。

平均速度が時速 25km~40km の範囲にデータが集中しているが、最も燃費が低い時に約 2.00km/L、高い時に約 3.50km/L と、ほぼ 2 倍の開きが生じている。時速 25km 以下の領域においては、燃費は平均速度に対してあまり変化しないことが分かる。一方、時速 45km 以上の領域においては、速度とともに燃費が向上している。これらのプロットは、高速道路から出て、取り付け道路を走行中のデータとなっており、惰力運転を用いて徐々に減速した結果、燃費が高くなったものと考えられる。

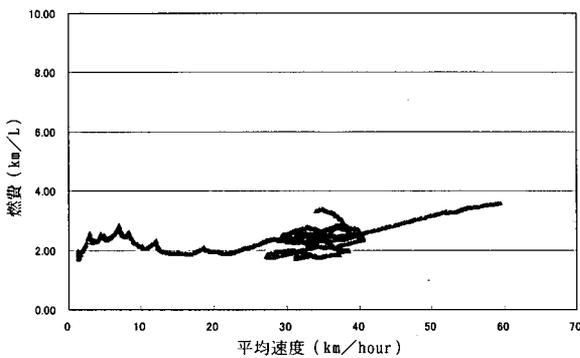


図-20 単位時間ごとの燃費
(一般道路走行時・総重量 22.8 トン)

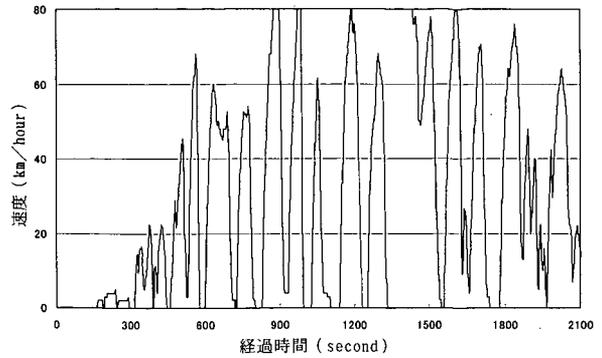


図-21 速度の推移
(一般道路走行時・総重量 22.8 トン)

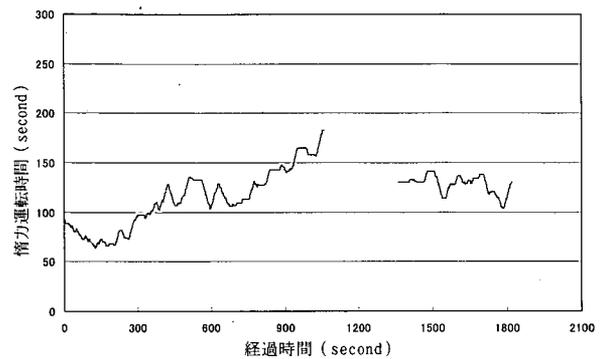


図-22 惰力運転時間の推移
(一般道路走行時・総重量 22.8 トン)

一般道路走行時・総重量 12.8 トンのケースについて図-23に平均速度と燃費の関係、図-24に速度の推移、図-25に惰力運転時間の推移を示す。

約 2.5km/L という低い値が出ているデータと、約 6.0km/L という高い値が出ているデータが存在し、2倍以上の開きとなっている。時速 20km 以下において、最も燃費が良くなっている区間は、2400秒経過時以降のデータであり、徐々に減速して徐行運転を行った区間に

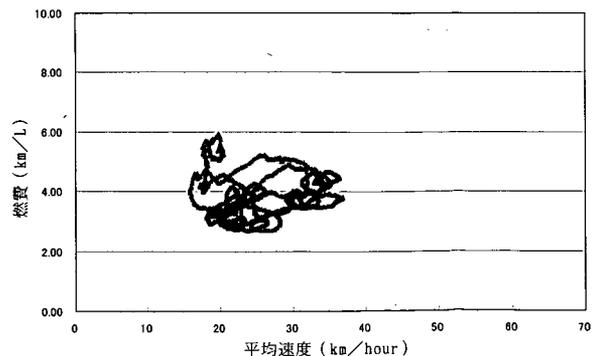


図-23 単位時間ごとの燃費
(一般道路走行時・総重量 12.8 トン)

あたる。すなわち、ほぼ惰力運転状態をキープしたことが燃費の向上につながったものと考えられる。

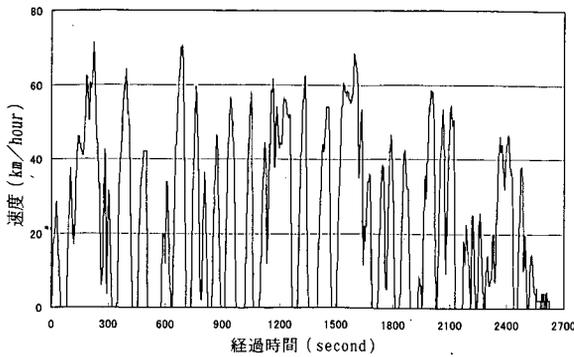


図-24 速度の推移
(一般道路走行時・総重量 12.8 トン)

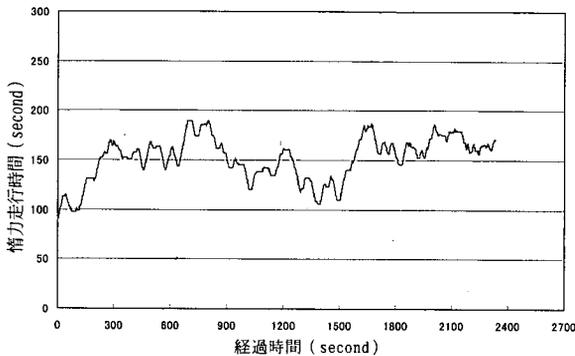


図-25 惰力運転時間の推移
(一般道路走行時・総重量 12.8 トン)

一般道路走行時・総重量 10.3 トンのケースについて図-26 に平均速度と燃費の関係、図-27 に速度の推移、図-28 に惰力運転時間の推移を示す。

約 3.00km/L という低い値が出ているデータと、約 7.00km/L という高い値が出ているデータが存在し、2倍以上の開きとなっている。燃費が 7.00km/L に近いデータを抽出すると、時速 10km 前後の区間は 1150 秒経過時、時速 25km 前後の区間は 850 秒経過時にあたる。図-27 より、ともに減速・徐行運転区間にあっており、図-28 から、惰力運転時間が長い区間であることが分かる。

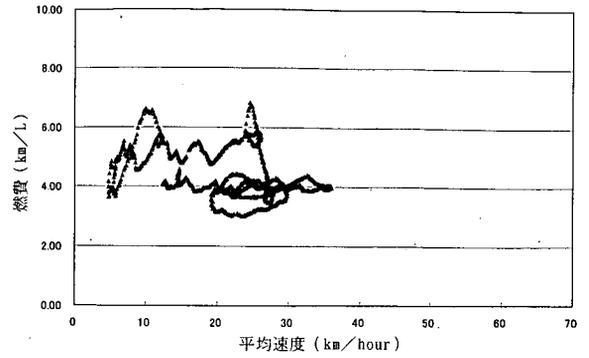


図-26 単位時間ごとの燃費
(一般道路走行時・総重量 10.3 トン)

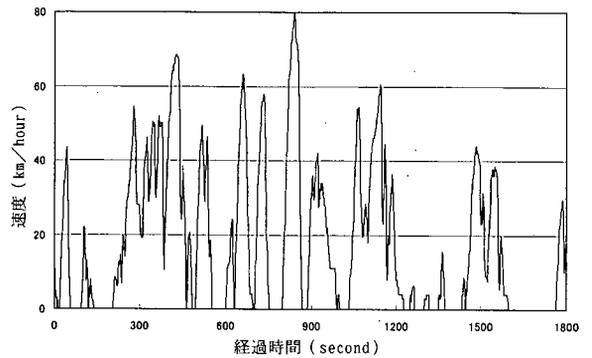


図-27 速度の推移
(一般道路走行時・総重量 10.3 トン)

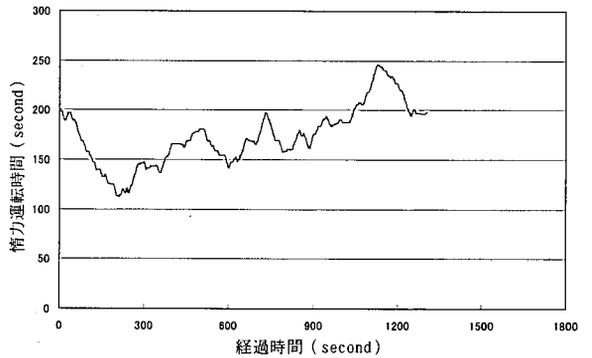


図-28 惰力運転時間の推移
(一般道路走行時・総重量 10.3 トン)

一般道路走行時・総重量 6.6 トンのケースについて図-29 に平均速度と燃費の関係、図-30 に速度の推移、図-31 に惰力運転時間の推移を示す。6.6 トンの走行は、トレーラーのヘッド部分のみによる走行を意味しており、長距離区間を走ることが少なく、倉庫からシャーシ置き場など短い区間を走ることが多い。従って、平均速度の分布は、時速 20km~30km と非常に限られた区間にのみ限られる結果となった。

約 4.50km/L という低い値が出ているデータと、約 7.50km/L という高い値が出ているデータが存在し、約 1.7 倍の開きとなっている。

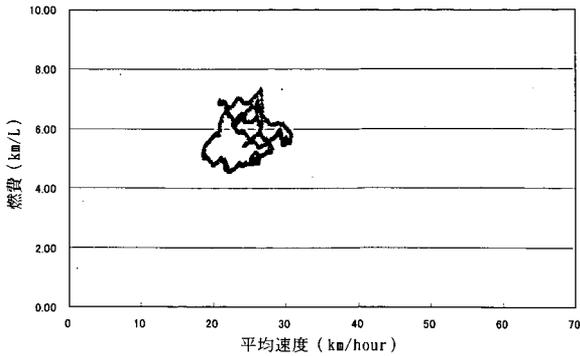


図-29 単位時間ごとの燃費
(一般道路走行時・総重量 6.6 トン)

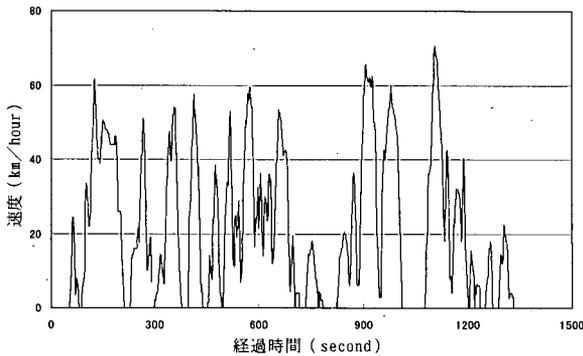


図-30 速度の推移
(一般道路走行時・総重量 6.6 トン)

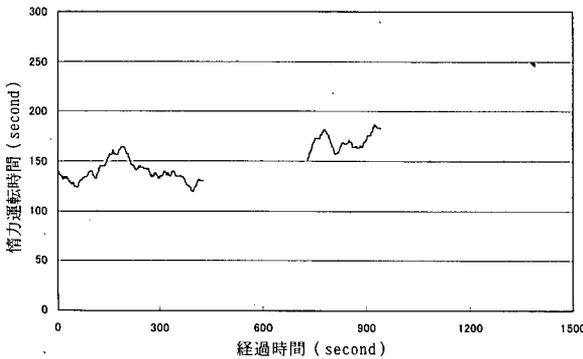


図-31 惰力運転時間の推移
(一般道路走行時・総重量 6.6 トン)

一般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-32), 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-33, 表-8)。図-32 の作成においては、グラフを見やすくするために一部のデータを割愛している。概ね、総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 22.8 トンにおける

燃費は、総重量 6.6 トンの燃費に比べ、約 3 倍の開きとなった。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。これは時速 20km 以下の低速域では、惰力走行を多用していることが原因であると考えられる。

図-33 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。

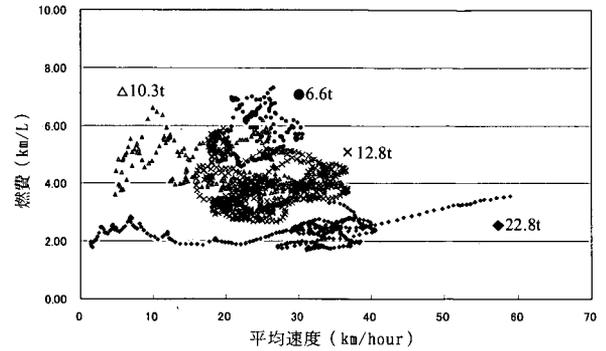


図-32 一般道路走行時の燃費

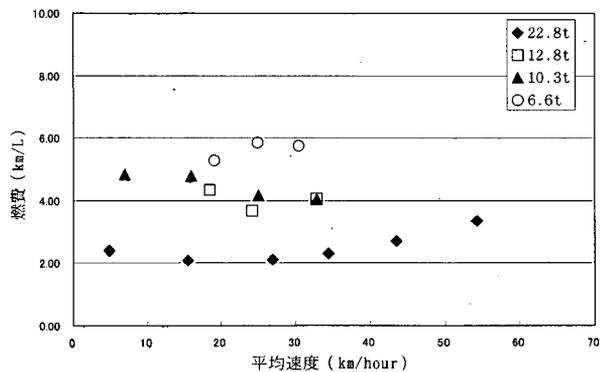


図-33 一般道路走行時の燃費(速度ごとの平均値)

表-8 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	5.86	5.75	-	-
標準偏差	-	0.28	0.75	0.16	-	-

(2) 高速道路走行時の区間平均速度と燃費

高速道路走行時・総重量 22.8 トンのケースについて図-34に平均速度と燃費の関係、図-35に速度の推移、図-36に惰力運転時間の推移を示す。

平均速度が時速 50km~80km の範囲において、約 3.00km/L という低い値が出ているデータと、約 5.00km/L という高い値が出ているデータが存在し、約 1.7 倍の開きとなっている。高い値が出ているのは、1200 秒~1400 秒経過時のデータであり、料金所の手前で減速した区間に該当している。図-36 より、惰力運転時間が長くなっている区間と一致しており、そのことが燃費が高くなった原因であると考えられる。一方で低い値が出ているのは、1500 秒経過時以降の加速時のデータである。

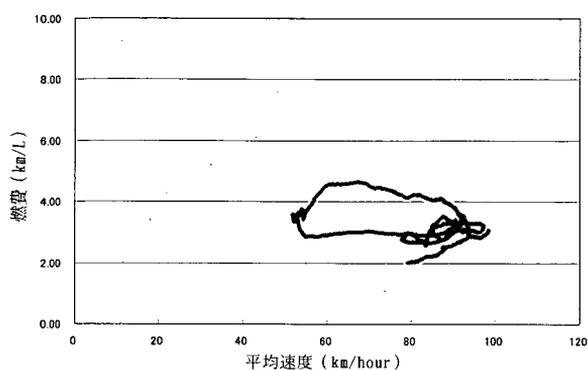


図-34 単位時間ごとの燃費
(高速道路走行時・総重量 22.8 トン)

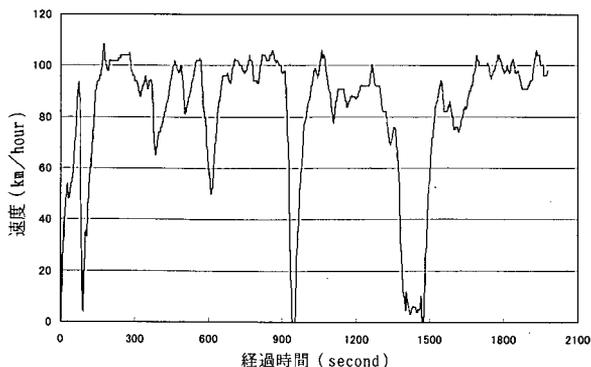


図-35 速度の推移
(高速道路走行時・総重量 22.8 トン)

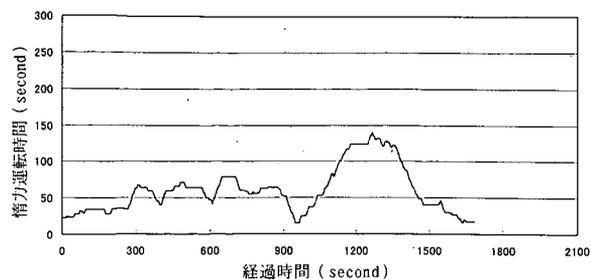


図-36 惰力運転時間の推移
(高速道路走行時・総重量 22.8 トン)

高速道路走行時・総重量 14.0 トンのケースについて図-37に平均速度と燃費の関係、図-38に速度の推移、図-39に惰力運転時間の推移を示す。

時速 60km~100km の広い範囲において、燃費はほぼ一定の値をとっている。時速 100km 付近で、一部燃費が低くなっているデータが存在するが、これは約 900 秒経過時のデータであり、図-38 より、時速 100km からさらに加速したことが原因と考えられる。また図-39 より、その時間帯には惰力運転を行った時間が少ないことが分かる。

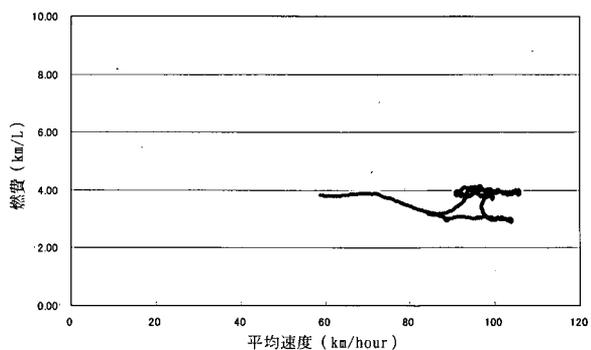


図-37 単位時間ごとの燃費
(高速道路走行時・総重量 14.0 トン)

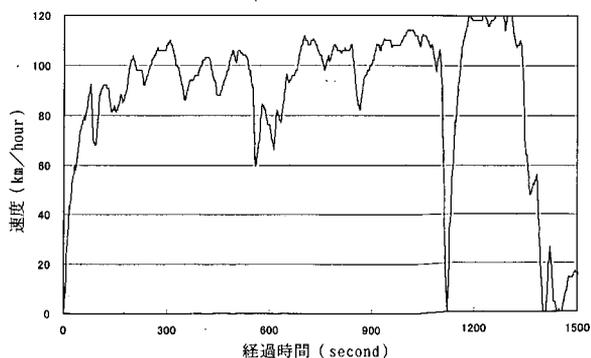


図-38 速度の推移
(高速道路走行時・総重量 14.0 トン)

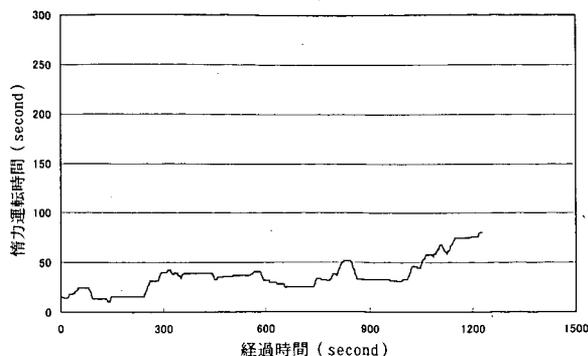


図-39 惰力運転時間の推移
(高速道路走行時・総重量 14.0 トン)

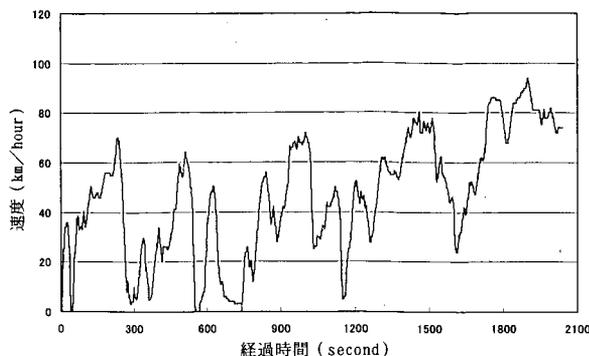


図-41 速度の推移
(高速道路走行時・総重量 12.6 トン)

高速道路走行時・総重量 12.6 トンのケースについて図-40 に平均速度と燃費の関係、図-41 に速度の推移、図-42 に惰力運転時間の推移を示す。

高速道路走行にもかかわらず、平均速度が時速 20km～80km という低速～中速の領域になっている。このデータは首都高速道路を走行時のデータであり、かなりの部分で渋滞していたことを意味する。このことは図-31 からも読み取れる。

時速 20km～60km の範囲において、約 5.00km/L という低い値が出ているデータと、約 9.00km/L という高い値が出ているデータが混在しており、ほぼ 2 倍の開きとなっている。平均速度と燃費との間に大きな相関は見られず、渋滞時には燃費が悪くなるとは限らないことがわかった。図-41 より、0～600 秒経過時に特に渋滞していたことが示されている一方、図-42 から、その時間帯には惰力運転している時間が長いことが示されている。一般に渋滞時は加減速を繰り返すために燃費が悪くなると言われていたが、惰力運転を活用することによって、燃費をむしろ向上させることも可能であることが分かった。

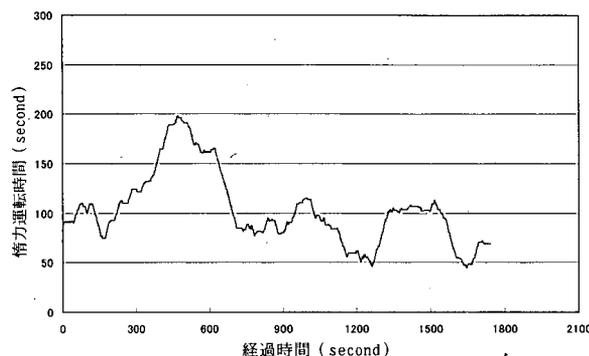


図-42 惰力運転時間の推移
(高速道路走行時・総重量 12.6 トン)

高速道路走行時・総重量 12.4 トンのケースについて図-43 に平均速度と燃費の関係、図-44 に速度の推移、図-45 に惰力運転時間の推移を示す。

時速 90km～110km の範囲において、約 2.50km/L という低い値が出ているデータと、約 4.00km/L という高い値が出ているデータが混在しており、約 1.7 倍の開きとなっている。高い値が出ている区間は 900～1000 秒経過時の減速区間にあたり、低い値が出ている区間は、1000～1100 秒の経過時の加速区間にあたっていた。

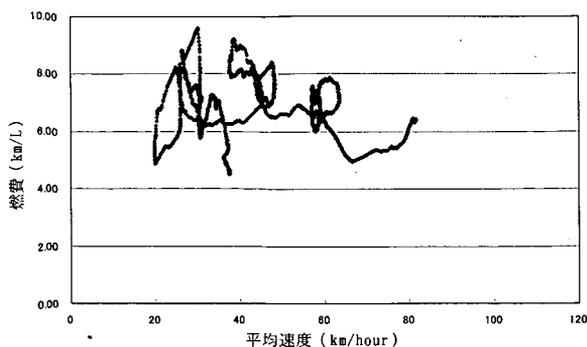


図-40 単位時間ごとの燃費
(高速道路走行時・総重量 12.6 トン)

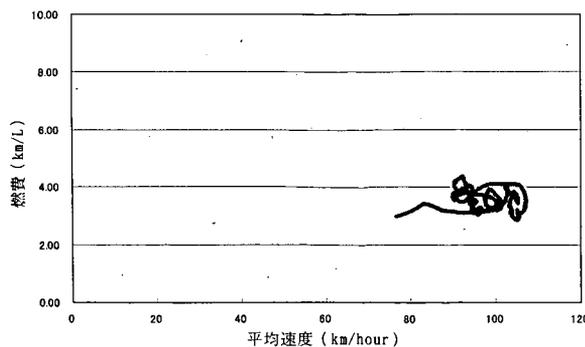


図-43 単位時間ごとの燃費
(高速道路走行時・総重量 12.4 トン)

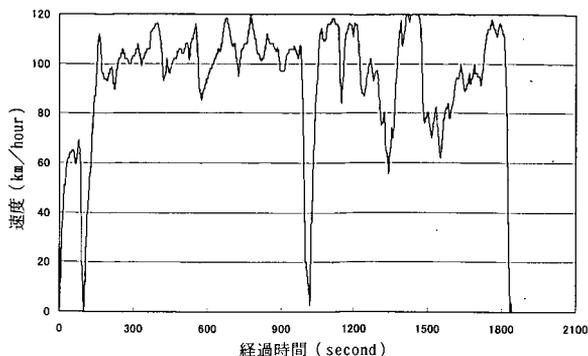


図-44 速度の推移

(高速道路走行時・総重量 12.4 トン)

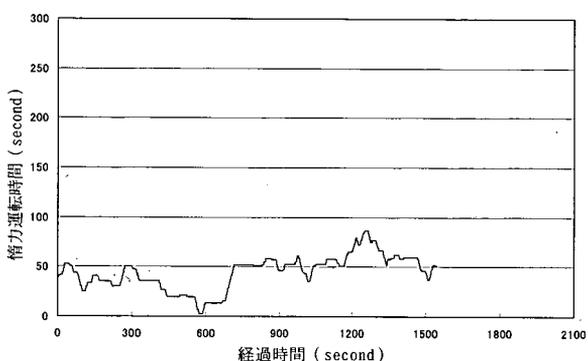


図-45 惰力運転時間の推移

(高速道路走行時・総重量 12.4 トン)

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-46),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-47,表-9). 図-46 の作成においては,グラフを見やすくするために一部のデータを割愛している.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.このことは,図-5 に示した走行抵抗の変化を考えると,妥当な結果であると言える.

図-47 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,図-33,図-47 で示された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.

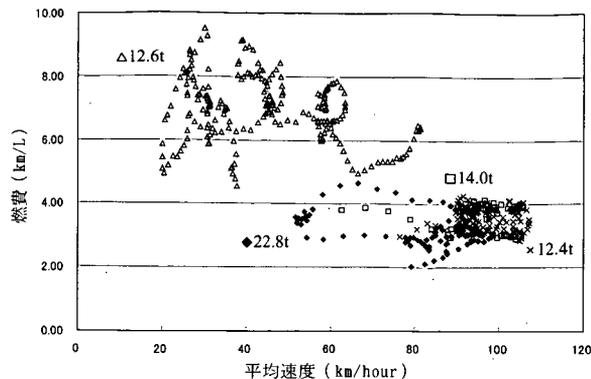


図-46 高速道路走行時の燃費

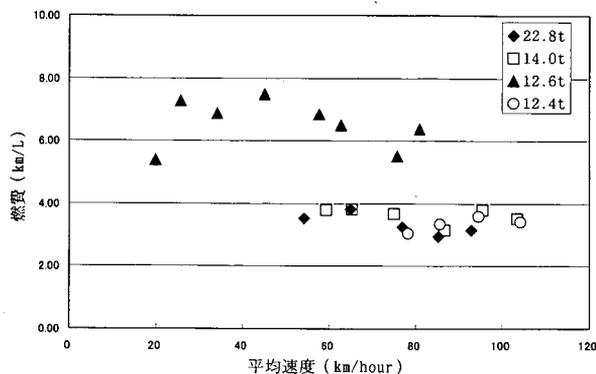


図-47 高速道路走行時の燃費(速度ごとの平均値)

表-9 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	100<-V<110
22.8t										
データ数	0	0	0	0	221	70	142	584	664	0
平均速度	-	-	-	-	54.2	65.0	77.0	85.4	92.9	-
平均燃費	-	-	-	-	3.53	3.83	3.25	2.96	3.15	-
標準偏差	-	-	-	-	0.34	0.81	0.67	0.49	0.22	-
14.0t	0	0	0	0	5	28	29	78	710	377
データ数	-	-	-	-	59.2	65.2	75.1	86.7	85.5	103.3
平均速度	-	-	-	-	3.80	3.83	3.68	3.14	3.79	3.53
平均燃費	-	-	-	-	0.01	0.03	0.14	0.14	0.30	0.48
標準偏差	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.6t	12	338	422	379	279	185	82	44	0	0
データ数	19.9	29.7	34.0	44.9	57.7	62.8	75.7	81.0	-	-
平均速度	5.39	7.27	6.87	7.50	8.88	8.49	5.50	6.37	-	-
平均燃費	0.19	1.14	1.13	0.63	0.48	0.89	0.23	0.08	-	-
標準偏差	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.4t	0	0	0	0	0	0	13	78	804	848
データ数	-	-	-	-	-	-	78.2	85.7	84.6	104.1
平均速度	-	-	-	-	-	-	3.08	3.35	3.61	3.42
平均燃費	-	-	-	-	-	-	0.05	0.17	0.32	0.34
標準偏差	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(3) 加速度が燃費に及ぼす影響

本項では,加速度が燃費に与える影響について分析を行った.総重量別の加速度と燃費の関係について,一般道路走行時の分析結果を図-48,表-10に,高速道路走行時の分析結果を図-49,表-11に示す.ここでは,加速度として 300 秒間の平均加速度を用いた.

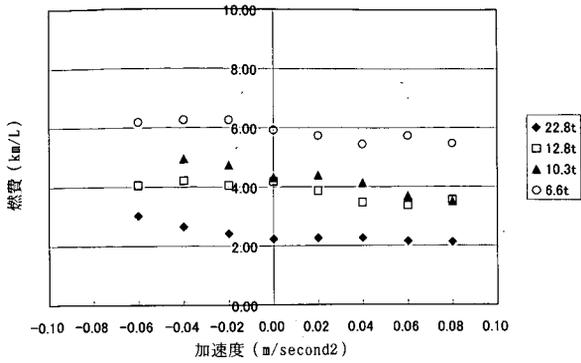


図-48 加速度と燃費の関係（一般道路走行時）

表-10 加速度と燃費の関係（一般道路走行時）

	加速度(m/second ²)									
	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
22.8t										
データ数	0	48	144	217	278	394	204	167	65	0
平均燃費	-	3.03	2.68	2.42	2.24	2.27	2.27	2.16	2.13	-
標準偏差	-	0.31	0.49	0.47	0.37	0.55	0.27	0.23	0.21	-
12.8t										
データ数	0	35	193	304	663	629	339	165	5	0
平均燃費	-	4.06	4.21	4.04	4.19	3.86	3.49	3.38	3.54	-
標準偏差	-	0.64	0.55	0.67	0.79	0.76	0.62	0.34	0.04	-
10.3t										
データ数	0	0	87	240	288	348	280	77	10	0
平均燃費	-	-	4.95	4.73	4.32	4.38	4.14	3.68	3.50	-
標準偏差	-	-	0.92	0.74	0.58	0.80	0.67	0.41	0.31	-
6.6t										
データ数	0	1	45	80	126	225	93	61	9	0
平均燃費	-	6.20	6.26	6.25	5.93	5.74	5.45	5.74	5.48	-
標準偏差	-	-	0.38	0.67	0.64	0.62	0.63	0.62	0.07	-

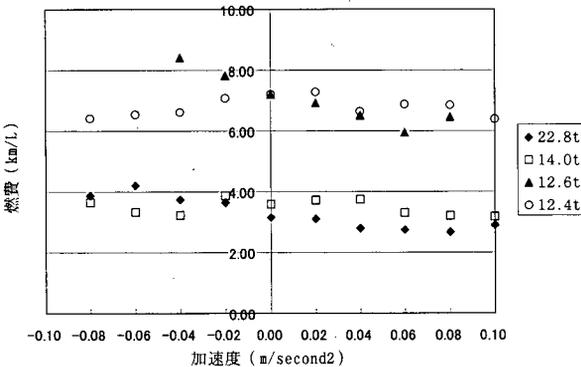


図-49 加速度と燃費の関係（高速道路走行時）

表-11 加速度と燃費の関係（高速道路走行時）

	加速度(m/second ²)									
	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
22.8t										
データ数	18	110	32	114	511	500	193	54	41	110
平均燃費	3.87	4.21	3.74	3.85	3.14	3.09	2.79	2.73	2.66	2.89
標準偏差	0.66	0.44	0.48	0.31	0.34	0.27	0.30	0.33	0.31	0.18
14.0t										
データ数	100	25	64	87	106	708	108	13	7	8
平均燃費	3.64	3.33	3.23	3.88	3.60	3.71	3.75	3.32	3.20	3.17
標準偏差	0.30	0.37	0.35	0.35	0.43	0.37	0.37	0.06	0.01	0.00
12.6t										
データ数	0	0	15	231	494	448	370	147	38	0
平均燃費	-	-	8.40	7.81	7.21	6.91	6.51	5.96	6.45	-
標準偏差	-	-	0.78	0.86	0.98	0.80	0.86	0.68	0.18	-
12.4t										
データ数	18	22	14	135	499	602	137	64	29	23
平均燃費	6.40	6.53	6.61	7.09	7.19	7.28	6.64	6.86	6.84	6.38
標準偏差	0.08	0.17	0.28	0.66	0.92	0.86	0.97	1.33	1.59	1.01

これらの図より、加速度が大きくなるに従い燃費が悪くなる傾向が示された。0.08 (m/second²) における燃費は、-0.04 (m/second²) における燃費と比較して、一般道路においては19%、高速道路においては12%、値が小さくなる結果となった。

5. 走行抵抗値による燃料消費量の推計

5.1 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

前章で得られた区間平均速度及び加速度と燃費の関係について詳細に分析すべく、本節では区間ごとの走行抵抗を推定し、燃料消費量の実測値との比較を行う。

(1) 走行抵抗に対する仕事量の推定

2.2 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。今回行った計測では、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。

各抵抗の算出に必要な係数として、転がり抵抗係数 $\mu_r = 0.01$ 、空気密度 $\rho = 1.225$ [N · s²/m⁴]、空気抵抗係数 $C_d = 0.75$ 、自動車の前面面積 $A = 2.49 \times 2.86 \div 7.1$ [m²]を用いる。回転部分相当質量係数 σ は、代表的な値から0.15とする。走行抵抗の理論値を、総重量20tの車両を対象として算出した(図-50)。この図より、総重量20tの車両が時速80km、かつ加速度0.1m/sec²で走行した場合、転がり抵抗・空気抵抗・加速抵抗が走行抵抗中に占める割合には、大きな違いが無いことが分かる。従って、走行抵抗を推定する際には、三つの要素すべてを推定する必要がある。

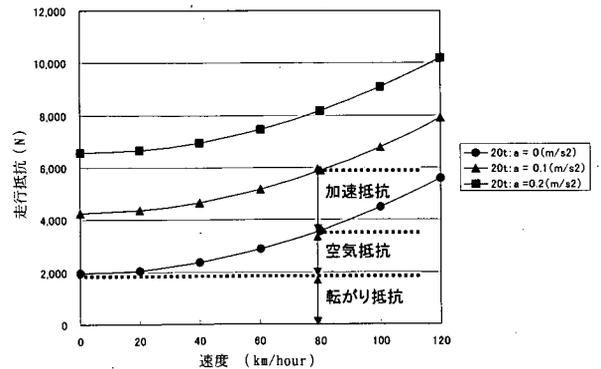


図-50 走行抵抗の理論値（車両総重量20t）

速度 V_i [m/s] (t [s] は経過時間を表す) で走行する自動車は、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、次式で求められる。

$$W_T = \sum_{i=1}^T (R_i \times V_i) \dots (8)$$

$t = 1 \sim T$ [s] の間の平均速度を 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、次式で求められる。

$$W_L = \sum_{i=1}^T (R_i \times V_i) / (V \times T)$$

$$= \sum_{i=1}^T (R_i \times V_i) / \sum_{i=1}^T V_i \dots (9)$$

式(7), (9)より, W_L を求める. 2.2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(4)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(6)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 $a_i \times V_i$ 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. 集計結果を表-12~19に示す.

参考データとして, 速度の二乗及び加速度の平均・標準偏差を付録表B-1~8に示す. 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・等速時の速度の二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.

表-12 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (一般道路走行・22.8t)

データ数	速度 (km/hour)					
	0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
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
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	691	13,662	46,739	85,246	119,228	174,950
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	632	7,130	16,446	24,110	8,354	39,666
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	0.58	3.34	6.06	7.27	7.82	7.00
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	0.40	1.05	0.64	0.96	0.40	0.59

表-13 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (一般道路走行・12.8t)

データ数	速度 (km/hour)					
	0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
平均速度	0	5.4	12.00	5.99	0	0
平均燃費	-	18.5	24.2	32.8	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	-	17.723	32.841	55.834	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	-	5.959	9.018	9.012	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	-	3.62	5.16	5.69	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	-	0.68	0.87	0.67	-	-

表-14 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (一般道路走行・10.3t)

データ数	速度 (km/hour)					
	0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
平均速度	7.0	15.9	25.0	32.9	-	-
平均燃費	4.84	4.77	4.16	4.03	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	4,806	17,538	40,532	52,510	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	2,570	6,372	10,916	2,197	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	1.49	3.75	6.19	7.74	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	0.33	1.09	0.92	0.63	-	-

表-15 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (一般道路走行・6.6t)

データ数	速度 (km/hour)					
	0<=V<10	10<=V<20	20<=V<30	30<=V<40	40<=V<50	50<=V<60
平均速度	-	19.2	24.9	30.4	-	-
平均燃費	-	5.30	5.86	5.73	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	-	15,323	26,728	40,358	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	-	331	6,214	346	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	-	6.1	7.0	8.0	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	-	0.32	1.43	0.28	-	-

表-16 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (高速道路走行・22.8t)

データ数	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	100<=V<110
平均速度	-	-	-	54.2	65.0	77.0	85.4	92.9	-	-
平均燃費	-	-	-	3.53	3.83	3.25	2.96	3.15	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	-	-	-	254,497	372,909	458,767	567,204	667,952	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	-	-	-	34,489	28,827	29,726	58,154	54,427	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	-	-	-	5.06	4.52	6.16	6.94	5.58	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	-	-	-	1.16	2.56	2.22	1.73	0.98	-	-

表-17 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (高速道路走行・14.0t)

データ数	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	100<=V<110
平均速度	-	-	-	59.2	65.2	75.1	86.7	95.5	103.3	-
平均燃費	-	-	-	3.80	3.83	3.68	3.14	3.79	3.53	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	-	-	-	454,316	544,886	684,203	753,896	710,536	956,879	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	-	-	-	8,940	44,688	43,041	87,420	92,112	50,834	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	-	-	-	3.87	3.99	4.44	9.08	7.51	7.87	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	-	-	-	0.13	0.00	0.43	1.65	1.70	2.41	-

表-18 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (高速道路走行・12.6t)

データ数	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	100<=V<110
平均速度	19.9	25.7	34.0	44.9	57.7	62.8	75.7	81.0	-	-
平均燃費	5.39	7.27	6.87	7.50	6.86	6.49	5.50	6.37	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	18,577	30,973	58,282	96,513	174,860	229,744	391,782	440,450	-	-
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	1,888	6,377	12,512	13,798	17,857	51,560	27,621	2,807	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	2.85	3.13	3.55	4.23	4.92	4.95	5.17	4.30	-	-
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	0.05	0.42	0.52	0.48	0.32	0.50	0.23	0.47	-	-

表-19 速度の三乗及び加速度×速度の平均値・標準偏差 (高速道路走行・12.4t)

データ数	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	100<=V<110
平均速度	-	-	-	-	-	0	13	78	804	649
平均燃費	-	-	-	-	-	-	3.06	3.35	3.61	3.42
加速・等速時の ΣV^3 の平均値	-	-	-	-	-	-	504,213	597,429	711,618	890,864
加速・等速時の ΣV^3 の標準偏差	-	-	-	-	-	-	14,382	49,506	92,632	44,769
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の平均値	-	-	-	-	-	-	10.73	10.24	10.37	7.04
加速時の $\Sigma a \cdot V$ の標準偏差	-	-	-	-	-	-	0.14	0.60	1.81	1.42

式 (7) と式 (9) に表-12~19 の値を代入して、総重量別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を算出する。走行抵抗に対する仕事量の内訳をプロットしたのが図-51~58 である。内訳の詳細を表-20~27 に記す。

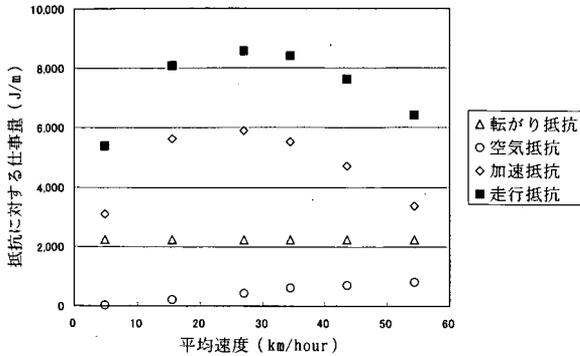


図-51 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・22.8t)

表-20 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・22.8t)

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	36	222	438	625	691	814
空気抵抗の標準偏差 J/m	33	116	154	177	48	184
加速抵抗 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	8,399	7,634	6,427
走行抵抗の標準偏差 J/m	2,157	1,770	642	755	246	338

図-51 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が大きく、空気抵抗に対する仕事量は無視できるほど小さくなっていることが分かる。平均速度が増加するに従い走行抵抗に対する仕事量の値が増加し、時速 30~40km において最大となり、以後は減少傾向にある。

このケースでは制限速度が時速 50~60km で車線数の多い湾岸部の幹線道路を主に走行している。そして、平均速度が時速 30~40km のデータは制限速度まで加速途中の区間にあるものが多かった。このため、この速度帯で加速抵抗の値が最大になったと考えられる。

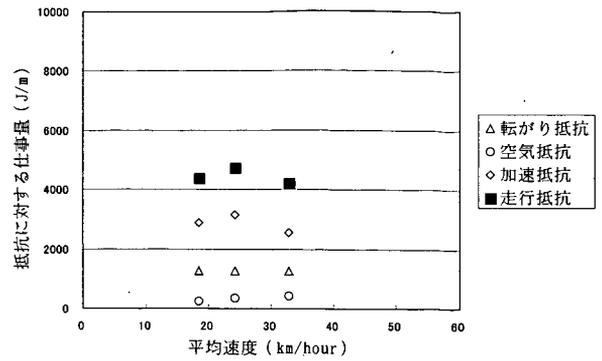


図-52 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・12.8t)

表-21 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・12.8t)

12.8t	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	0	534	1200	599	0	0
平均速度 km/hour	-	18.5	24.2	32.8	-	-
平均燃費 km/L	-	4.34	3.66	4.05	-	-
転がり抵抗 J/m	-	1,254	1,254	1,254	-	-
空気抵抗 J/m	-	242	343	429	-	-
空気抵抗の標準偏差 J/m	-	81	94	69	-	-
加速抵抗 J/m	-	2,887	3,142	2,550	-	-
加速抵抗の標準偏差 J/m	-	540	530	302	-	-
走行抵抗 J/m	-	4,383	4,739	4,233	-	-
走行抵抗の標準偏差 J/m	-	546	538	310	-	-

図-52 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が大きく、空気抵抗に対する仕事量は無視できるほど小さくなっており、さらに平均速度による変化は小さいことが分かる。

このケースでは制限速度が 50km で交通量の多い町中の幹線道路を主に走行したため、走行パターンに変化が乏しかったことが原因と考えられる。

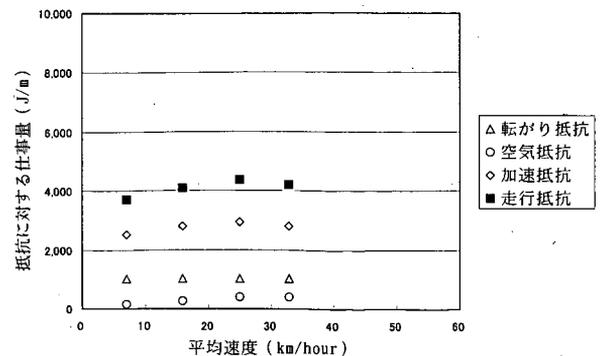


図-53 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・10.3t)

表-22 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・10.3t)

10.3t	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	121	345	695	147	0	0
平均速度 km/hour	7.0	15.9	25.0	32.9	-	-
平均燃費 km/L	4.84	4.77	4.16	4.03	-	-
転がり抵抗 J/m	1,009	1,009	1,009	1,009	-	-
空気抵抗 J/m	173	278	410	403	-	-
空気抵抗の標準偏差 J/m	93	101	110	17	-	-
加速抵抗 J/m	2,518	2,793	2,934	2,791	-	-
加速抵抗の標準偏差 J/m	560	809	438	228	-	-
走行抵抗 J/m	3,701	4,081	4,353	4,203	-	-
走行抵抗の標準偏差 J/m	568	815	451	228	-	-

図-53 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が大きく、空気抵抗に対する仕事量は無視できるほど小さくなっており、さらに平均速度が増加するに従ってその傾向が強くなっていることが分かる。

このケースでは、ヤード内で停車もしくは時速 20km 以下の低速走行している時間と、時速 50km 前後で港湾エリアの道路を走行している時間が混在している。このため、低速域では加速抵抗の値が小さくなったものと考えられる。

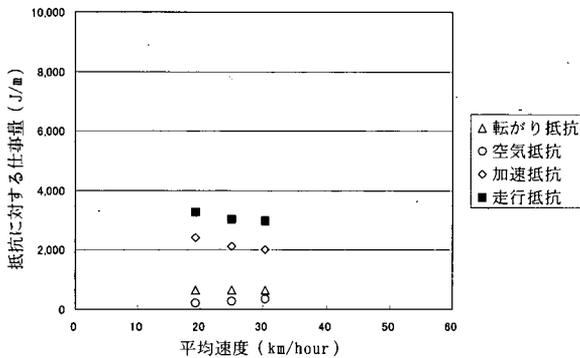


図-54 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・6.6t)

表-23 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(一般道路走行・6.6t)

6.6t	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	0	28	593	19	0	0
平均速度 km/hour	-	19.2	24.9	30.4	-	-
平均燃費 km/L	-	5.30	5.86	5.73	-	-
転がり抵抗 J/m	-	647	647	647	-	-
空気抵抗 J/m	-	202	271	336	-	-
空気抵抗の標準偏差 J/m	-	4	63	3	-	-
加速抵抗 J/m	-	2,419	2,116	2,006	-	-
加速抵抗の標準偏差 J/m	-	125	435	71	-	-
走行抵抗 J/m	-	3,267	3,033	2,988	-	-
走行抵抗の標準偏差 J/m	-	125	439	71	-	-

図-54 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が大きく、空気抵抗に対する仕事量は無視できるほど小さくなっており、さらに平均速度による変化は小さいことが分かる。

総重量 6.6t とは、すなわちヘッド部分のみで走行したケースであり、港湾エリアに存在する倉庫とシャーシの

ヤードの間といった短い距離を何度も往復した。走行場所は制限速度が 40km でカーブの多い道路が中心となり、走行パターンに変化が乏しかったことが原因と考えられる。

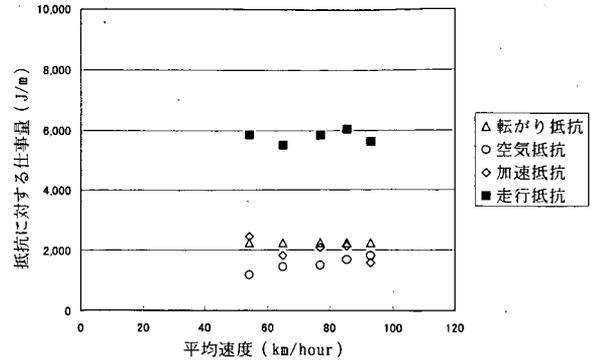


図-55 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・22.8t)

表-24 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・22.8t)

22.8t	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	100<=V<110
データ数	0	0	0	0	221	70	142	584	664	0
平均速度 km/hour	-	-	-	-	54.2	65.0	77.0	85.4	92.9	-
平均燃費 km/L	-	-	-	-	3.53	3.83	3.25	2.96	3.15	-
転がり抵抗 J/m	-	-	-	-	2,234	2,234	2,234	2,234	2,234	-
空気抵抗 J/m	-	-	-	-	1,186	1,449	1,497	1,677	1,816	-
空気抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	161	112	97	166	148	-
加速抵抗 J/m	-	-	-	-	2,448	1,824	2,098	2,131	1,575	-
加速抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	561	1,034	754	531	276	-
走行抵抗 J/m	-	-	-	-	5,870	5,507	5,829	6,043	5,625	-
走行抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	584	1,040	760	556	313	-

図-55 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が最も大きい、空気抵抗に対する仕事量の値も無視できない値となっている。さらに平均速度が増加するに従って、空気抵抗に対する仕事量の占める割合が増加していることが分かる。

このケースでは、湾岸エリアの高速道路をスムーズに走行したため、時速 100km に近づく等速運動に近い状態となり、加速抵抗の値が小さくなったものと考えられる。

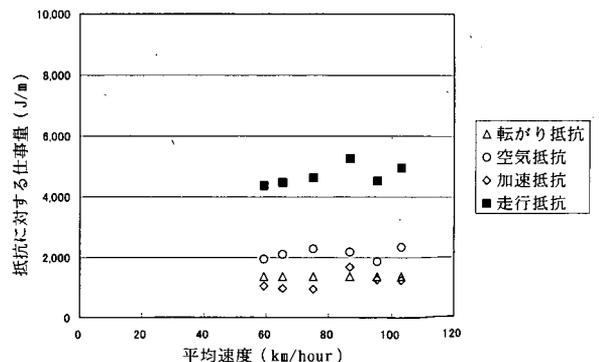


図-56 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・14.0t)

表-25 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・14.0t)

14.0t	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	100<=V<110
子一少数	0	0	0	0	5	28	29	78	710	377
平均速度 km/hour	-	-	-	-	59.2	65.2	75.1	86.7	95.5	103.3
平均燃費 km/L	-	-	-	-	3.80	3.83	3.68	3.14	3.79	3.53
転がり抵抗 J/m	-	-	-	-	1,372	1,372	1,372	1,372	1,372	1,372
空気抵抗 J/m	-	-	-	-	1,937	2,107	2,300	2,194	1,878	2,338
空気抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	38	173	145	254	243	124
加速抵抗 J/m	-	-	-	-	1,054	984	952	1,885	1,266	1,228
加速抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	35	0	93	306	287	375
走行抵抗 J/m	-	-	-	-	4,362	4,463	4,625	5,251	4,516	4,936
走行抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	62	173	172	398	376	395

図-56 より、加速抵抗に対する仕事量と空気抵抗に対する仕事量の値がほぼ同等の値となっており、平均速度による加速抵抗の変化は少ないことが分かる。

このケースでは、都市部の交通量の比較的多い高速道路を走行したが、目的地になるべく早く到着する必要があるため、速度に関わらず加速することが多かった。このことが時速 100km 前後でも加速抵抗の値が小さくなっていない原因となったと考えられる。

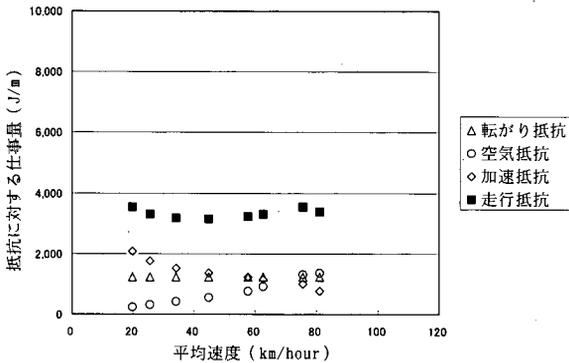


図-57 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・12.6t)

表-26 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・12.6t)

12.6t	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	100<=V<110
子一少数	12	336	422	379	279	185	82	44	0	0
平均速度 km/hour	19.9	25.7	34.0	44.9	57.7	62.8	75.7	81.0	-	-
平均燃費 km/L	5.39	7.27	6.87	7.50	6.86	6.49	5.90	6.37	-	-
転がり抵抗 J/m	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	-	-
空気抵抗 J/m	235	305	418	542	765	924	1,307	1,379	-	-
空気抵抗の標準偏差 J/m	21	63	93	78	77	207	92	9	-	-
加速抵抗 J/m	2,076	1,769	1,512	1,364	1,235	1,143	990	770	-	-
加速抵抗の標準偏差 J/m	36	238	220	148	81	116	44	84	-	-
走行抵抗 J/m	3,546	3,309	3,165	3,141	3,234	3,302	3,531	3,377	-	-
走行抵抗の標準偏差 J/m	42	246	239	167	112	238	102	84	-	-

図-57 より、低速域では加速抵抗に対する仕事量の値が大きく、空気抵抗に対する仕事量の値は無視できるほど小さい。しかし平均速度が増加するにつれて、加速抵抗の値は減少する一方、空気抵抗の値は増加し、高速域になると両者の値がほぼ等しくなっていることが分かる。

このケースでは、都市部の高速道路を走行したが、渋

滞に巻き込まれていた時間が半分近く存在した。そのため、高速道路走行でありながら低速域のデータが多い結果となっている。

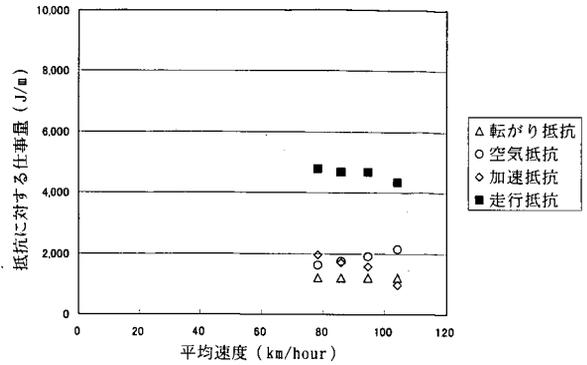


図-58 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・12.4t)

表-27 走行抵抗に対する仕事量の内訳
(高速道路走行・12.4t)

12.4t	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	100<=V<110
データ数	0	0	0	0	0	0	13	78	804	648
平均速度 km/hour	-	-	-	-	-	-	78.2	85.7	94.6	104.1
平均燃費 km/L	-	-	-	-	-	-	3.06	3.35	3.61	3.42
転がり抵抗 J/m	-	-	-	-	-	-	1,215	1,215	1,215	1,215
空気抵抗 J/m	-	-	-	-	-	-	1,627	1,759	1,899	2,159
空気抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	-	-	46	146	247	109
加速抵抗 J/m	-	-	-	-	-	-	1,956	1,704	1,563	965
加速抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	-	-	28	100	273	195
走行抵抗 J/m	-	-	-	-	-	-	4,798	4,678	4,678	4,339
走行抵抗の標準偏差 J/m	-	-	-	-	-	-	53	177	369	223

図-58 より、加速抵抗に対する仕事量の占める割合が最も大きいですが、空気抵抗に対する仕事量の値も無視できない値となっている。さらに平均速度が増加するに従って、加速抵抗の値は減少するとともに、空気抵抗の値は増加しており、平均速度 104km においては空気抵抗のほうが大きくなっている。

このケースでは、湾岸エリアの高速道路をスムーズに走行したため、時速 100km 前後になると等速運動に近い状態となり、加速抵抗の値が小さくなったものと考えられる。

以上をまとめると、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) 走行抵抗に対する仕事量とエネルギー消費量の比較

燃費が F [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 [J]は,

$$E = k \times \frac{1}{F} \dots (10)$$

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に基づいて $3.82[10GJ/kL]$ とした. ディーゼルエンジンの熱効率は, エンジンによって $0.3 \sim 0.47$ とばらつきがある.

式 (9) と式 (10) に表-12~19 の値を代入して, W と E の値を求めプロットしたのが図-59 である. 本実験で用いた車両のエンジンの熱効率データを入手することが出来なかったため, ここでは 0.47 と仮定した. 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, 一般道路で 0.94 , 高速道路で 0.90 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, 式 (7), 式 (9) 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, 燃料消費量をほぼ説明できることが明らかとなった.

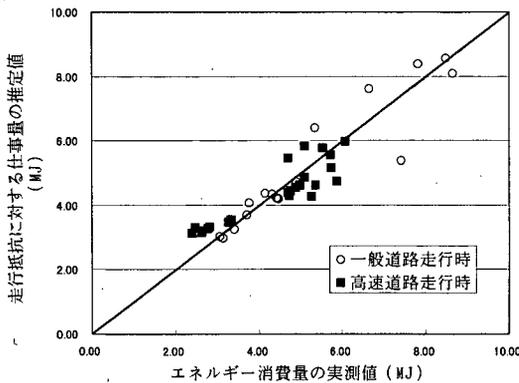


図-59 1km 走行時のエネルギー消費量と仕事量

本節では, 加速度や速度についてマクロな分析を行ったが, 今後の課題として, それらをよりマイクロに分析することで, 走行パターンの細かい違いが与える影響について把握することが求められる.

5.2 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 [J/m] を平均速度別にプロットした (図-60).

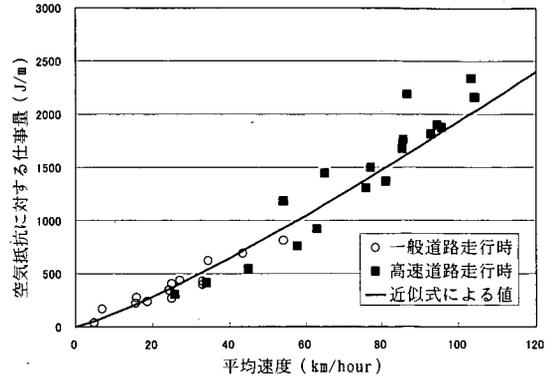


図-60 平均速度と空気抵抗に対する仕事量の関係

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 [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.

$$W_a = 7.9 \times V^{1.2} \dots (11)$$

式 (4) によると, 空気抵抗は速度の二乗に比例するが, 式 (11) ではそのようになっていない. これは, 式 (4) が瞬間的な状態を表しているのに対し, 式 (11) 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.

(2) 加速抵抗に対する仕事量の推計式

式 (6) 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-61). 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-61 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 (12) (車両重量 W [ton], 平均速度 V [km/hour], a, b は定数) をあ

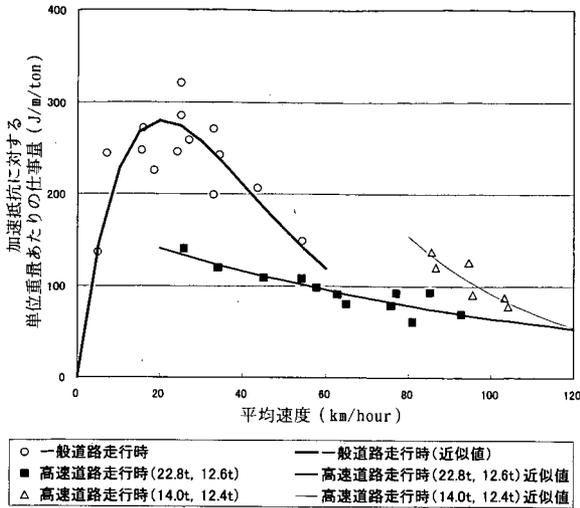


図-61 平均速度と加速抵抗に対する仕事量の関係

ではめたとこ、高速道路走行時に対しては比較的良好な相関が得られたが、一般道路走行時に対しては得られなかった。

$$W_{ac}/W = a \times e^{-bxV} \dots (12)$$

そこで、一般道路走行時に対して式(13)をあてはめたとこ、比較的良好に適合した。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(13)の適合性を判別することが困難であるため、式(12)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-28に記す。

$$W_{ac}/W = aV \times e^{-bxV} \dots (13)$$

表-28 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(混雑時)	171	0.0097	0.87
高速道路(非混雑時)	1246	0.026	0.90

式(13)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、比較的良好で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(2)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(14)で求められる。

$$W_r = 1000 \times g \times \mu_r \cdot W \dots (14)$$

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、5.1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、5.1で用いた値と同じである。

一般道路走行時 (0 ≤ V ≤ 60)

$$F = \frac{18000}{(37 \times V \times e^{-0.049 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \dots (15)$$

高速道路走行時 (混雑時, 20 ≤ V ≤ 90)

$$F = \frac{18000}{(170 \times e^{-0.0097 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \dots (16)$$

高速道路走行時 (非混雑時, 80 ≤ V ≤ 110)

$$F = \frac{18000}{(1200 \times e^{-0.026 \times V} + 98) \times W + 7.9 \times V^{1.2}} \dots (17)$$

図-62, 63に、式(15)～(17)を基に推定した燃費の値を示す。図-33, 47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-64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、さらに詳しい分析を行い、燃費推計式の精度を上げることが課題となる。

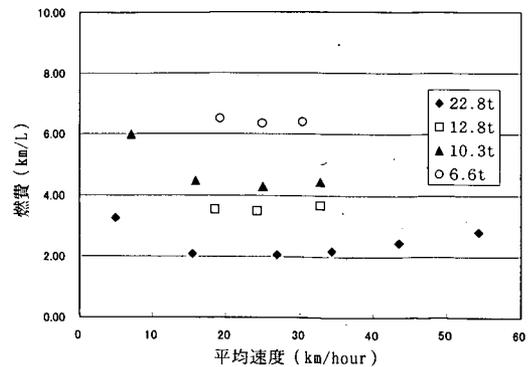


図-62 燃費の推定値 (一般道路走行時)

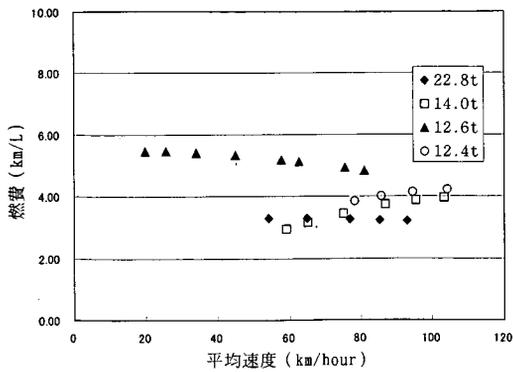


図-63 燃費の推定値（高速道路走行時）

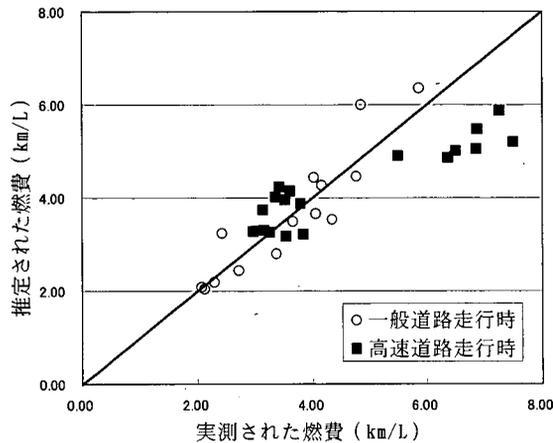


図-64 燃費の推定値と実測値の関係

6. まとめ

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、燃料消費量及び速度について 1 秒単位で計測した。

実測したデータを基に、総重量別に燃費と速度の関係を整理したところ、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走行したことで得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。ヒアリング調査の結果、自動車会社・運送会社が行っている省燃費研修においては、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。

主な結論は以下の通りである。

○ 瞬間速度と燃費の関係から得られた結果

- ・総重量が重いほど燃費は悪くなり、総重量 30.3 トンの場合の燃費は、総重量が 10.3 トンの場合の約 3 分の 1 となった。
- ・一般道路走行時の経済速度は時速 60～70km 前後であり、高速道路走行時の経済速度は時速 80km 前後となった。
- ・一般道路走行時においては、10 トン前後のケースの燃費推計値と、東京都による普通貨物車の燃費推計値との値がよく一致した。
- ・積載率が高いほど、重量・輸送距離あたりの燃料消費量が少なくなった。

○ 区間平均速度と燃費の関係から得られた結果

- ・一般道路・高速道路ともに、平均速度が同じ場合でも、走行パターンによって、燃費に 2 倍近い開きが生じた。
- ・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。
- ・高速道路走行中、渋滞時には一般に燃費が悪くなるといわれているが、惰力運転を多用できた場合には、燃費が悪化しないケースが存在した。

○ 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から得られた結果

- ・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。
- ・一般道路走行時には、車両重量に関わらず、加速抵抗が走行抵抗を支配する要素となる一方で、高速道路走行時には、空気抵抗の値が加速抵抗の値とほぼ等しくなった。

○ コンテナトレーラーの燃費推計式の作成から得られた結果

- ・空気抵抗と平均速度との間には、走行場所に関わらず共通の傾向がみられ、平均速度を変数とした一つの曲線によって近似できた。
- ・加速抵抗と平均速度との間の関係は、高速道路走行時には平均速度を変数とした指数関数によって近似できた。一方で一般道路走行時には、平均速度を変数とした指数関数と平均速度の積の形を取る式によって近似できた。
- ・走行抵抗の推計式を基に燃費の推計式を作成し、実測

された燃費との関係との比較を行ったところ、比較的よい対応が得られた。

7. おわりに

本研究では、速度・加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が、それだけでは説明しきれないケースが存在した。今後は、今回得られた知見を基にして、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、式(1)～(9)に基づいて走行パターンが燃料消費量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。

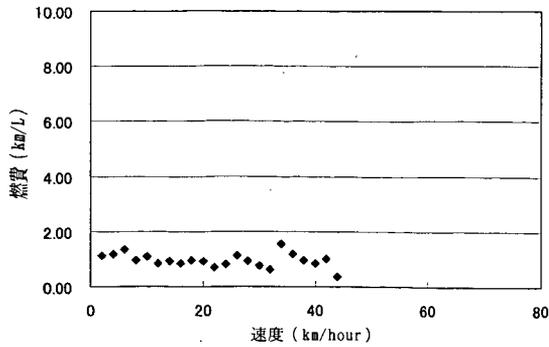
インフラストラクチャーの整備に伴う環境負荷量をライフサイクルで評価した場合、建設段階において発生する負荷よりも、運用段階において発生する負荷の占める割合が一般に大きくなる。従って、コンテナトレーラーからのCO₂排出量を削減するためには、高燃費のコンテナトレーラーの開発・普及や、コンテナトレーラーのドライバーの意識向上を図る教育を行うと同時に、高燃費となる運転を行いやすい交通体系の構築に資する港湾整備計画を作成することも必要となろう。

(2003年6月2日受付)

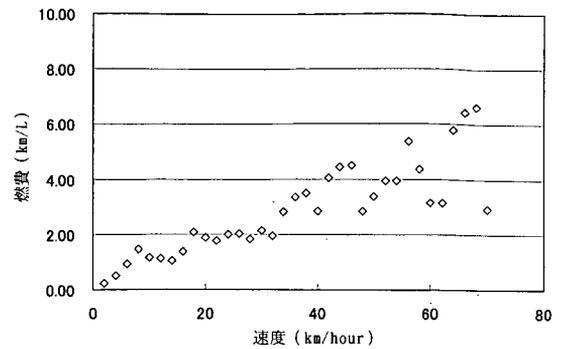
参考文献

- 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会(2000):運輸分科会報告書
- (財)日本自動車研究所(1998):自動車研究第20巻第11号, pp3-14
- 大口敬(1999):道路交通における燃料消費量推定方法に関する考察, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp575-578
- (独)交通安全環境研究所(2003):交通安全環境研究所講演会 講演概要集
- 竹花有也(1995):自動車工学概論, 理工学社
- (株)日産ディーゼル(2002):省エネナビゲーター
- 東京都環境保全局(1996):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
- (社)自動車技術会(1990):自動車技術ハンドブック 1 基礎・理論編
- 加藤博和, 鈴木弘司, 丹羽晴紀(2002):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,

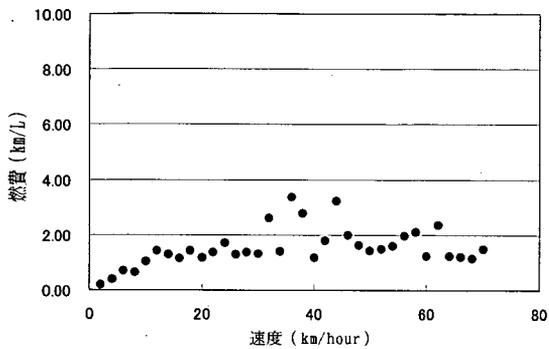
付録 A 走行場所・総重量別の瞬間速度と燃費の関係



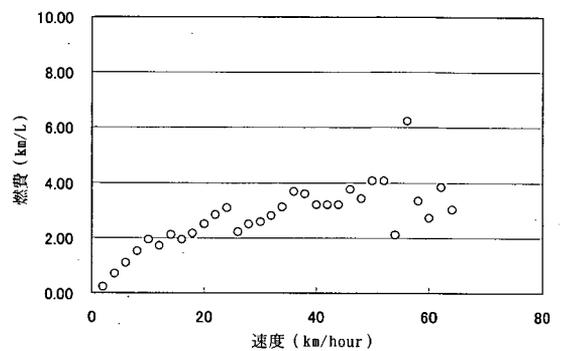
付録図 A-1 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 39.0 トン)



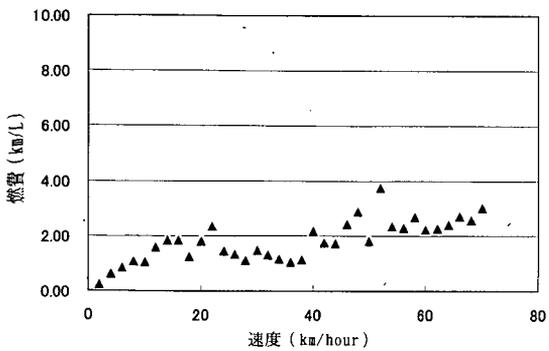
付録図 A-4 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 12.8 トン)



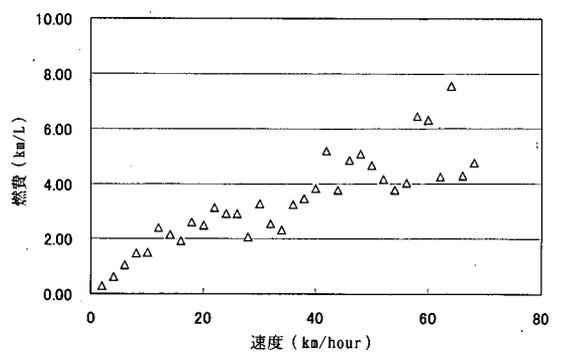
付録図 A-2 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 30.3 トン)



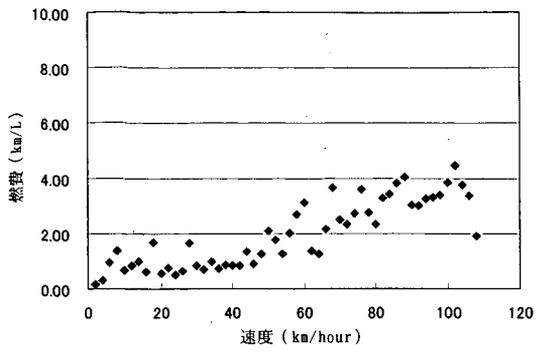
付録図 A-5 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 10.3 トン)



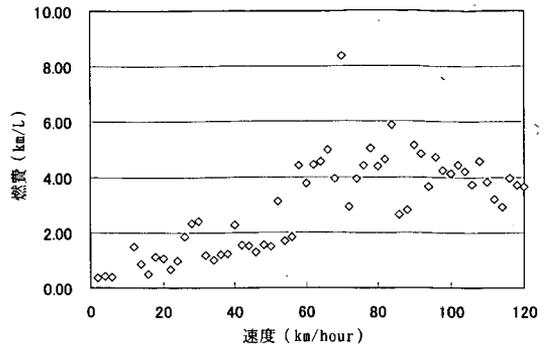
付録図 A-3 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 22.8 トン)



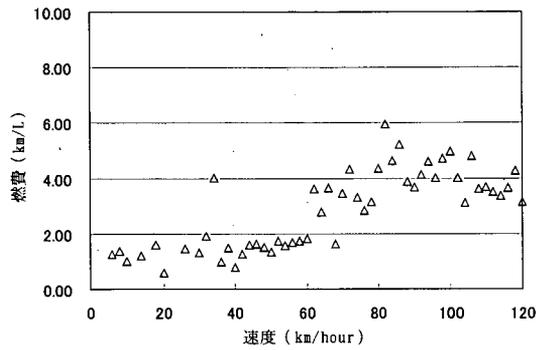
付録図 A-6 速度と燃費の関係
(一般道路走行・総重量 6.6 トン)



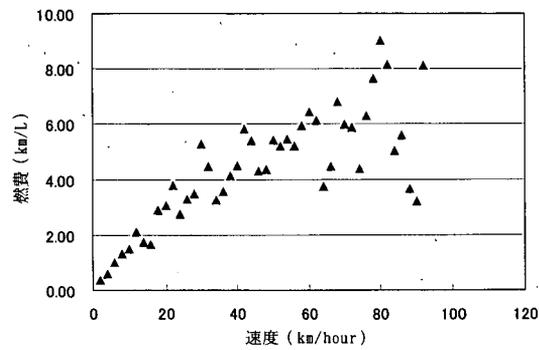
付録図 A-7 速度と燃費の関係
(高速道路走行・総重量 22.8 トン)



付録図 A-10 速度と燃費の関係
(高速道路走行・総重量 12.4 トン)



付録図 A-8 速度と燃費の関係
(高速道路走行・総重量 14.0 トン)



付録図 A-9 速度と燃費の関係
(高速道路走行・総重量 12.6 トン)

付録 B 速度の二乗値・加速度の速度帯別集計結果

付録表 B-1 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(一般道路走行・22.8t)

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^2	km ² /hour ²	42	337	857	1,375	1,831	2,318
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	30	126	179	267	105	321
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	0.06	0.16	0.20	0.20	0.19	0.17
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	0.028	0.028	0.016	0.018	0.014	0.014

付録表 B-5 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(高速道路走行・22.8t)

22.8t		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	100<=V<110
データ数		0	0	0	0	221	70	142	584	664	0
平均速度	km/hour	-	-	-	-	54.2	65.0	77.0	85.4	92.9	-
平均燃費	km/L	-	-	-	-	3.53	3.83	3.25	2.96	3.15	-
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	-	-	-	-	3,082	4,286	5,120	6,072	7,008	-
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	-	-	-	-	346	347	317	474	445	-
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	0.11	0.08	0.10	0.10	0.06	-
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	0.018	0.048	0.041	0.031	0.014	-

付録表 B-2 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(一般道路走行・12.8t)

12.8t		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		0	534	1200	599	0	0
平均速度	km/hour	-	18.5	24.2	32.8	-	-
平均燃費	km/L	-	4.34	3.66	4.05	-	-
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	-	424	679	1,082	-	-
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	-	97	153	148	-	-
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	-	0.16	0.18	0.17	-	-
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	-	0.018	0.024	0.021	-	-

付録表 B-6 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(高速道路走行・14.0t)

14.0t		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	100<=V<110
データ数		0	0	0	0	5	28	29	78	710	377
平均速度	km/hour	-	-	-	-	59.2	65.2	75.1	86.7	95.5	103.3
平均燃費	km/L	-	-	-	-	3.80	3.83	3.68	3.14	3.79	3.53
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	-	-	-	-	3,965	4,728	5,898	6,939	7,092	8,820
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	-	-	-	-	75	377	366	301	664	362
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	0.07	0.08	0.08	0.13	0.09	0.10
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	0.001	0.001	0.002	0.029	0.028	0.043

付録表 B-3 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(一般道路走行・10.3t)

10.3t		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		121	345	695	147	0	0
平均速度	km/hour	7.0	15.9	25.0	32.9	-	-
平均燃費	km/L	4.84	4.77	4.16	4.03	-	-
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	132	405	761	1,037	-	-
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	54	116	146	52	-	-
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	0.09	0.14	0.20	0.23	-	-
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	0.010	0.027	0.028	0.019	-	-

付録表 B-7 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(高速道路走行・12.6t)

12.6t		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	100<=V<110
データ数		12	338	422	379	279	185	82	44	0	0
平均速度	km/hour	19.9	25.7	34.0	44.9	57.7	62.8	75.7	81.0	-	-
平均燃費	km/L	5.39	7.27	6.87	7.50	6.86	6.49	5.50	6.37	-	-
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	451	668	1,111	1,722	2,643	3,264	4,891	5,364	-	-
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	32	116	199	181	175	495	294	25	-	-
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	-	-
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	0.001	0.012	0.011	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	-	-

付録表 B-4 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(一般道路走行・6.6t)

6.6t		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		0	28	593	19	0	0
平均速度	km/hour	-	19.2	24.9	30.4	-	-
平均燃費	km/L	-	5.30	5.86	5.73	-	-
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	-	372	579	778	-	-
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	-	10	94	9	-	-
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	-	0.24	0.24	0.23	-	-
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	-	0.015	0.049	0.010	-	-

付録表 B-8 速度の二乗及び加速度の平均値・標準偏差
(高速道路走行・12.4t)

12.4t		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	100<=V<110
データ数		0	0	0	0	0	0	13	78	804	648
平均速度	km/hour	-	-	-	-	-	-	78.2	85.7	94.6	104.1
平均燃費	km/L	-	-	-	-	-	-	3.06	3.35	3.61	3.42
加速・等速時の ΣV^2	km ² /hour ²	-	-	-	-	-	-	5,478	6,164	6,874	8,454
加速・等速時の ΣV^2 の標準偏差	km ² /hour ²	-	-	-	-	-	-	134	423	703	434
加速度の平均値 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	-	-	0.18	0.15	0.12	0.07
加速度の標準偏差 (加速時のみ)	m/second ²	-	-	-	-	-	-	0.011	0.008	0.026	0.018

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No.109 December 2003

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5018 〕