

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。大規模な施設整備を伴う港湾整備は、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を実行に移すためには、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前提となる。しかも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。さらに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、輸送時の温暖化ガス発生量を正確に把握することが不可欠である。コンテナ輸送には、コンテナ船による海上輸送から、コンテナヤード内でのヤードトレーラー等による輸送、コンテナトレーラーによる陸上輸送までが含まれる。本研究では、コンテナトレーラーによる陸上輸送を研究の対象とする(図-1)。

来の研究としては、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研究報告がある。例えば、(独)交通安全環境研究所においては、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。また、筆者らは過去に、総重量が10トンを超えるコンテナトレーラーを対象として走行実験を行い、走行抵抗を算出して、燃料消費量推計式を作成した(図-2)。

一般道路(0<=V<=60)

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

高速道路

混雑時(20<=V<=90)

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

非混雑時(80<=V<=100)

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

図-2 燃料消費量推計式

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

ライフサイクル全体を対象とした推計が必要

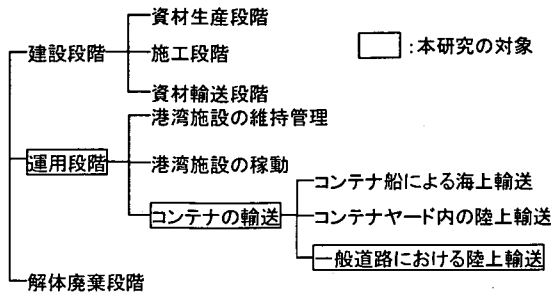


図-1 本研究の対象

国土交通省では、車両総重量 2.5 トンを超えるディーゼル車について燃費基準を作成する際には、負荷率、すなわち最大軸トルクに対する試験時の軸トルクの割合(%)と、エンジン回転数比、すなわち最高出力時のエンジン回転数に対する試験時のエンジン回転数の割合(%)を、一定の順序及び割合で組み合わせてモード化し、それに基づいて燃料消費量を測定して行っている。

一方、大型車両の燃料消費量特性について分析した従

これらの研究成果により、速度から燃料消費量を推計することは可能となった。しかし、ドライバー固有の運転特性が燃料消費量に与える影響について解析するためには、走行パターンについてミクロに解析することが必要である。現実のコンテナトレーラーの走行パターンには、多種多様な形態が考えられる。従って、厳密に考えるならば、すべてのコンテナヤード、すべてのドライバー、すべての車両を対象として走行実験を行い、その燃料消費量を調査することが求められる。しかし、そのようなことは現実的に不可能であるため、走行パターンを少ない変数で表現し、様々なケースに適用可能なモデルを構築することが求められる。

そこで本研究では、港湾エリア、高速道路を走行するトレーラーを対象として、一定の規則に基づいた走行パターンを想定し、パターンに基づいて走行抵抗を算出することによって燃料消費量を推計するモデルを構築する。そこで本研究では、走行パターンをモデル化することによって、走行実験を行わなくてもトレーラーの燃料消費量の推計を可能とするとともに、ドライバーの運転特性

が燃料消費量に与える影響を把握することを目的とする。
(図-3)

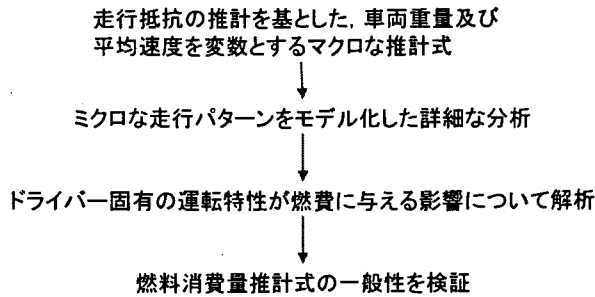


図-3 本研究の意義

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が最も経済的である。

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

出典：自動車工学概論

(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。これを空気抵抗 (air resistance) という。自動車の働く空気抵抗は、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、空気抵抗はボディー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_d [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 は、

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

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

出典：自動車工学概論

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-4 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。

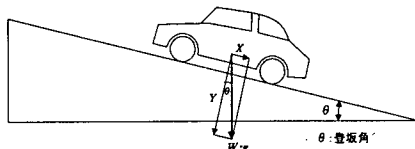


図-4 勾配抵抗

(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。

3. 港湾エリアおよび高速道路における走行実験の概要

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-5に、諸元を表-3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。

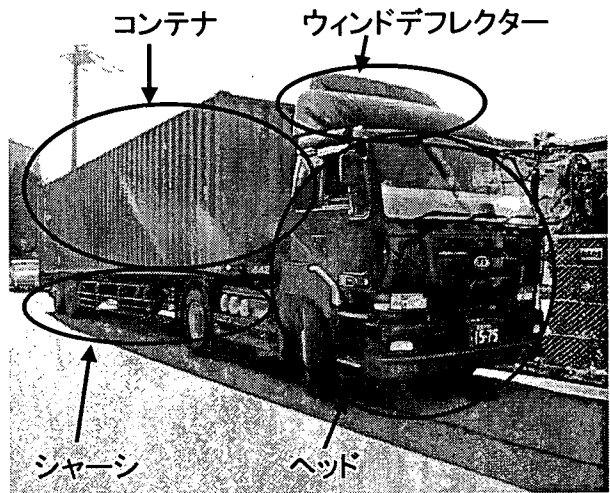


図-5 実験に用いたコンテナトレーラー

表-3 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	

3.2 走行実験の概要

実験は平成14年10月及び平成15年1月の二度、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)

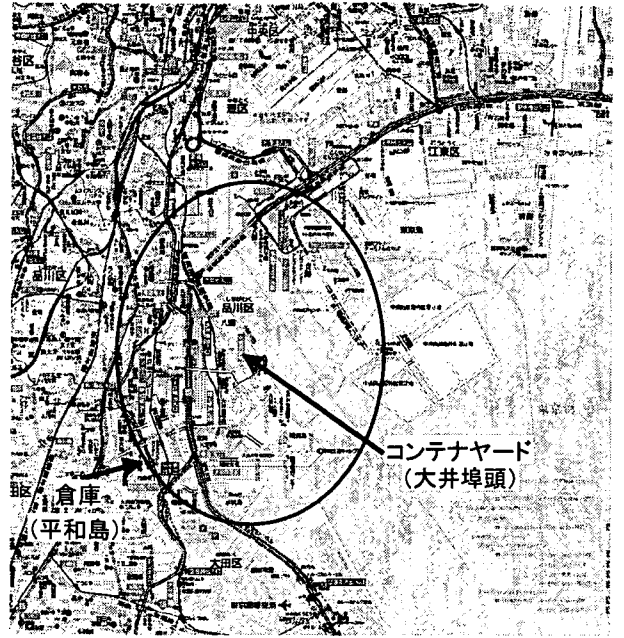


図-7 走行エリア (港湾エリア)

実験の概要を表-4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。

表-4 走行実験の概要

開始時刻	終了時刻	総重量 (ton)			エリア	
		ヘッド	シャーシ	コンテナ		
2002/10/22 7:00	2002/10/22 7:40	6.6	3.7	3.7	14.0	高速道路
2003/1/20 13:15	2003/1/20 13:33	6.6	0	0	6.6	港湾エリア
2003/1/21 6:42	2003/1/21 7:27	6.6	3.8	2.4	12.8	港湾エリア
2003/1/21 8:30	2003/1/21 9:18	6.6	3.8	2.2	12.6	高速道路
2003/1/21 9:47	2003/1/21 10:49	6.6	3.7	0	10.3	港湾エリア
2003/1/21 13:11	2003/1/21 14:14	6.6	3.5	2.3	12.4	高速道路
2003/1/21 14:57	2003/1/21 15:30	6.6	3.5	12.7	22.8	港湾エリア
2003/1/21 15:30	2003/1/21 16:03	6.6	3.5	12.7	22.8	高速道路

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1秒ごとに0.05cc単位で計測し、その差を取って燃料消費量を算出した。速度の計測においては、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ることによって、1秒ごとのデータに変換した。

走行実験によって得られた速度推移の例を図-8、9に示す。走行場所・総重量別のすべての速度推移のグラフは付録図A-1~8に示す。

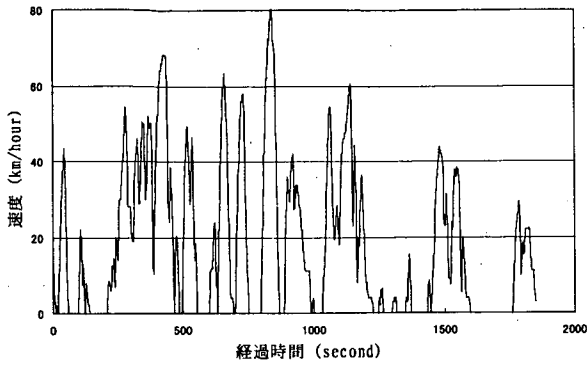


図-8 速度推移の例 (港湾エリア)

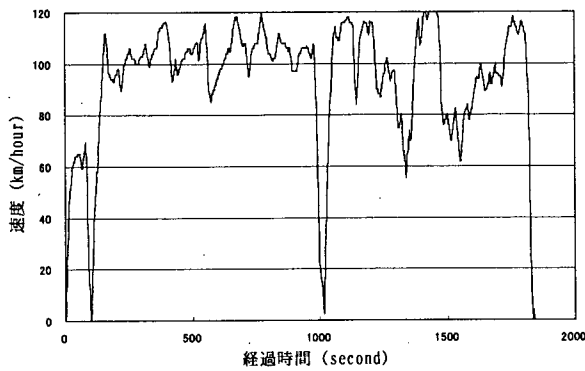


図-9 速度推移の例 (高速道路)

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。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。算出に用いた抵抗係数を表-5に示す。

表-5 算出に用いた抵抗係数

	記号	単位	設定値
転がり抵抗係数	μ_r	-	0.01
重量	W	tonn	
空気抵抗係数	Cd	-	0.75
空気密度	ρ	$N \cdot S^2 / m^4 = kg / m^3$	1.225
前面面積	A	m^2	7.12
重力加速度	g	m / s^2	9.8
回転部分相当質量係数	σ	-	0.15
軽油の発熱量		10GJ/kL	3.82
エネルギー効率			0.47

次に、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、式(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]、ディーゼルエンジンの熱効率は、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とした。

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

算出した走行抵抗に対する仕事量の値と、消費エネルギー量の実測値を比較した結果を図-10, 11に示す。相関係数はそれぞれ0.86, 0.97となり、高い相関が認められた。このことにより、走行抵抗を算出することによって、燃料消費量を推定することが可能であることが明らかとなった。

なお、走行抵抗に占める各抵抗の割合は、港湾エリアでは加速抵抗が全体の約71%となり、加速の影響を分析することが重要であることが分かった。一方で空気抵抗は、平均速度が約25km/hourと低速であったことから、走行抵抗全体の7%程度にとどまった。高速道路では、加速抵抗が全体の約39%となり、空気抵抗が全体の約33%程度になり、加速抵抗のシェアが低くなった。

4. 燃料消費量推計モデルの構築

4.1 消費エネルギー量と走行抵抗に対する仕事量の比較

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]の間走行する際に発生する仕事量 W_T [J]は、式(8)で求められる。

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

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(9)で求められる。

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

式(8), (9)より、 W_L を求める。2章で述べたように、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

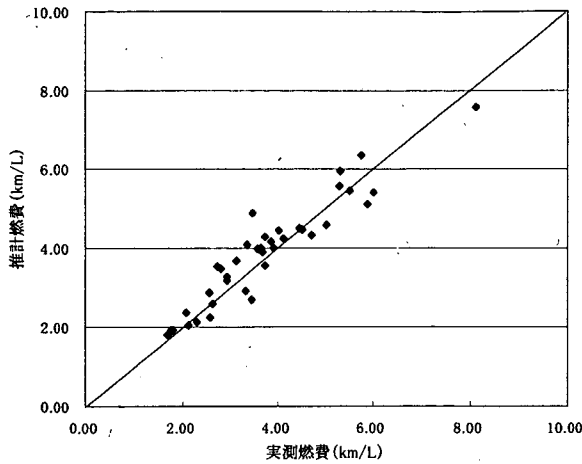


図-10 消費エネルギーの実測値と速度の実測値に基づいて算出した走行抵抗の比較 (港湾エリア)

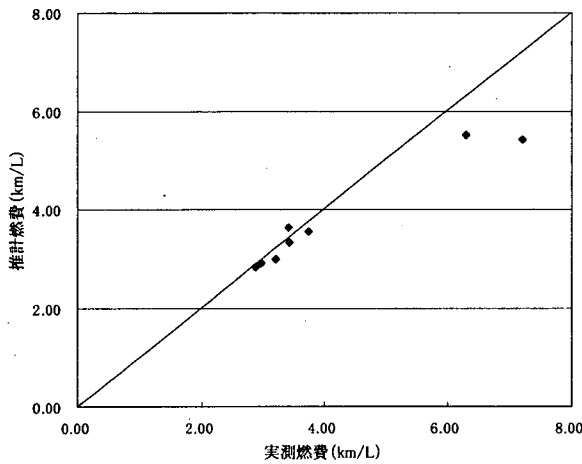


図-11 消費エネルギーの実測値と速度の実測値に基づいて算出した走行抵抗の比較 (高速道路)

4.2 速度推移データの区間分割

燃料消費量を推計するモデルを構築するためには、走行パターンをモデル化することが必要となる。そのため、全体を加速区間、加減速区間、減速区間に分割し、各区間の特性を分析する。区間分割及び速度の近似は、以下の原則に基づいて行った。まず、発車から最初にピークに達するまでを加速区間とし、直線で近似する。さらに、最後のピークから停車するまでを減速区間とし、直線で近似した。最後に、ピークとピークとの間を加減速区間とした。最高速度が時速 80km に満たない渋滞時のデータについては、大きな加速・減速を繰り返すため、すべてを渋滞区間として独立して分析した。結果の例を図-12、13、14 に示す。

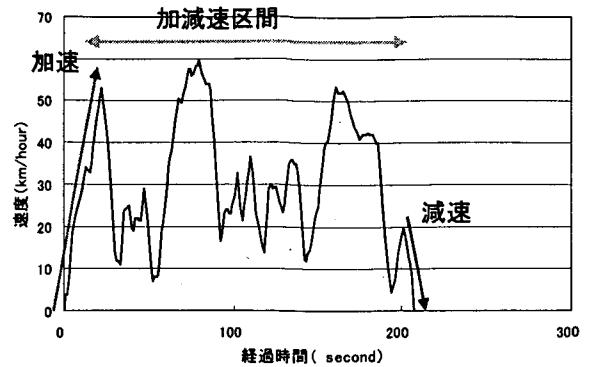


図-12 速度の推移データ上の区間分割 (港湾エリア)

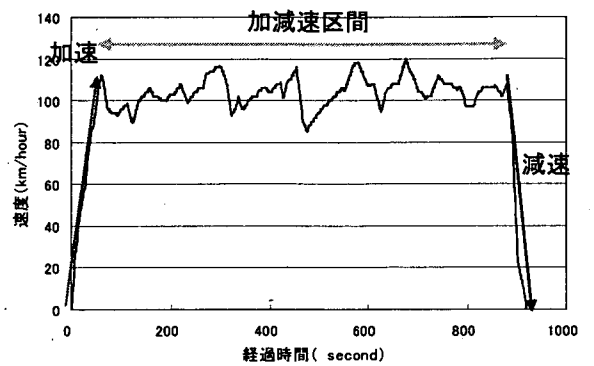


図-13 速度の推移データ上の区間分割 (高速道路)

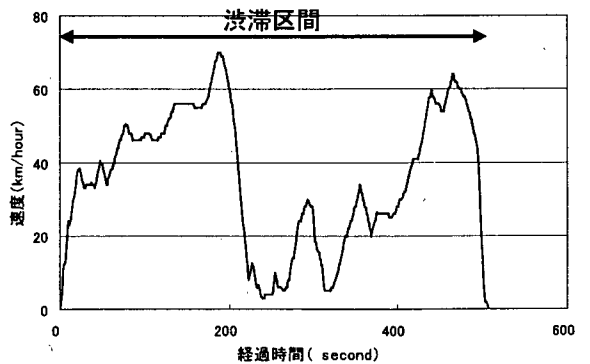


図-14 速度の推移データ上の区間分割 (高速道路渋滞時)

4.3 走行エリアごとの運転特性

走行パターンのモデル化の際に使用する変数を決定するため、各区間の特性について分析を行った。その結果を表-6 に示す。この結果から、高速道路走行時には高速運転かつ加減速が少ないこと、渋滞区間では速度の変化が激しいこと、港湾エリア走行時には、平均速度が遅く、加減速の強度が強いことなどが明らかとなった。

表-6 走行エリアごとの特性

		高速道路	渋滞時	港湾エリア
平均速度	km/hour	109	39	31
速度の標準偏差	km/hour	9.1	20.1	17.5
平均加速度	m/sec ²	0.25	0.28	0.57
平均減速度	m/sec ²	-0.31	-0.36	-0.66
等速時間割合	-	0.57	0.34	0.17

4.4 推計モデルの精度の検証

前節までの分析を基に、燃料消費量推計モデルを構築する。まず加速区間を、平均速度を最高速、平均加速度を傾きとして設定する。次に減速区間を、平均速度を最高速、平均減速度を傾きとして設定する、さらに、加減速区間について、速度の標準偏差分だけ加減速を繰り返すとして設定する。総走行距離を等しくなるよう、加減速区間における加減速反復回数を調整する。実測した速度の推移と、モデルによって求められた速度の推移を比較した例を図-15に示す。

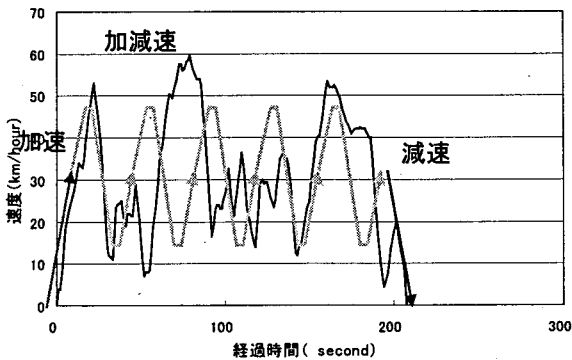


図-15 モデルを用いた運転パターンの決定

決定された走行パターンを基に、転がり抵抗、空気抵抗、加速抵抗を算出し走行抵抗を求める。次に、求められた走行抵抗の値から、単位距離を走行するために必要となる仕事を算出する。最後に、式(10)に基づいて仕事量から燃費を算出する。

燃費の実測値と、構築したモデルを用いて推計した燃費の値を比較したところ、港湾エリアにおいては相関係数は0.66、高速道路においては0.96となり、港湾エリアにおいてはやや低いとなったが、概ねモデルの有効性を示すことができた(図-16, 17)。

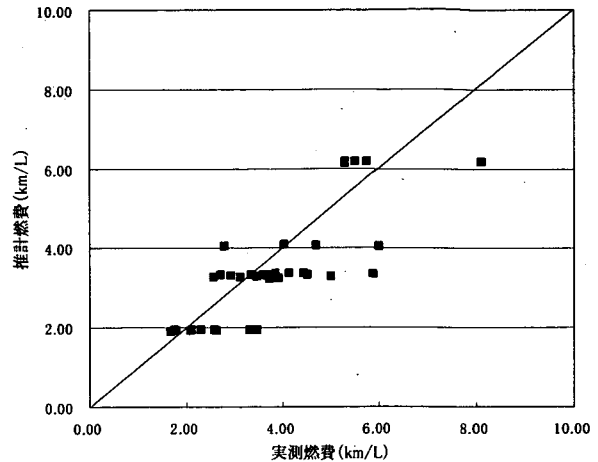


図-16 燃費の実測値と構築したモデルに基づく推計値の比較(港湾エリア)

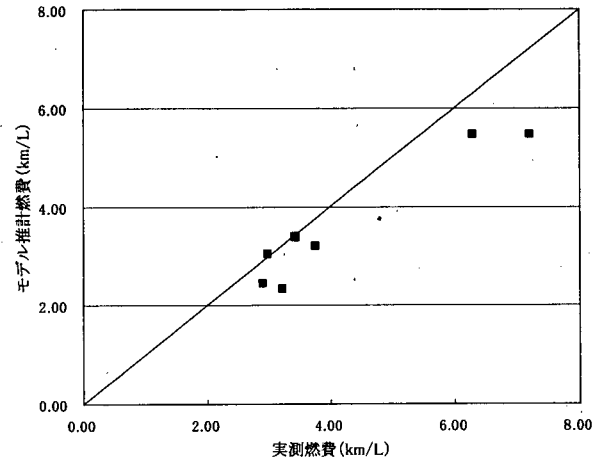


図-17 燃費の実測値と構築したモデルに基づく推計値の比較(高速道路)

最後に、本研究で構築した燃料消費量推計モデルを用いて、平均加速度、平均減速度をそれぞれ20%変化させた場合の燃料消費量の変化を分析した(図-18, 19)。20%という値は、運送会社において行われた燃費改善講習の実験データに基づいている。その結果、加減速の荒い運転の場合、加減速の緩やかな運転と比較して、30%程度の差が生じることが分かった。燃料消費量推計式を用いる際には、ドライバーごとに生じる相違に留意する必要がある。

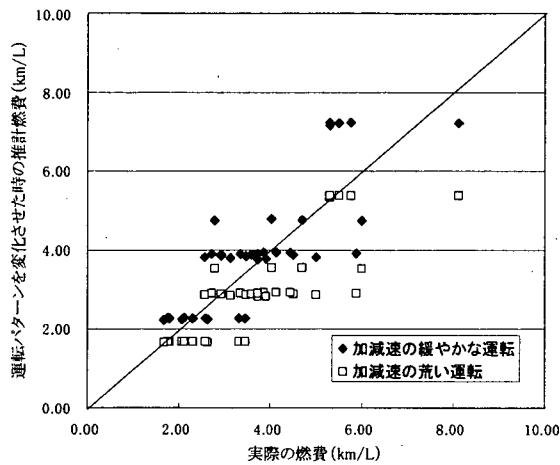


図-18 運転特性の変化が燃料消費量に与える影響 (港湾エリア)

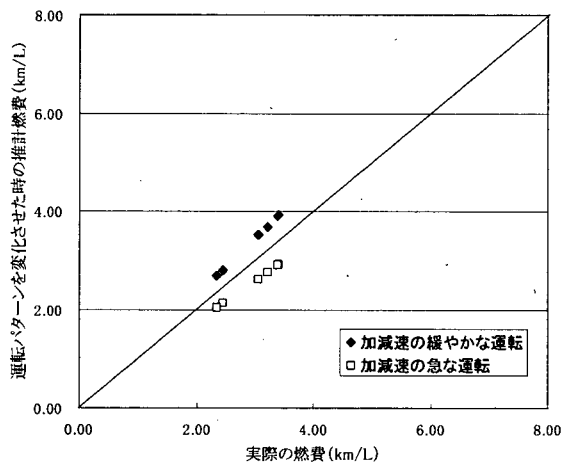


図-19 運転特性の変化が燃料消費量に与える影響 (高速道路)

5. まとめ

本研究では、港湾エリア及び高速道路を走行するトレーラーを対象として、燃料消費量を把握することが可能なモデルを構築することにより、走行実験を行わなくてもトレーラーの燃料消費量の推計を可能とするとともに、ドライバーの運転特性が燃料消費量に与える影響を把握した。

港湾エリア、高速道路を対象として行った走行実験の結果を基に、速度・加速度のデータから、走行抵抗を算出し、抵抗に対する仕事量と燃料消費に伴う熱量と比較した。次に、速度の推移を基に、運転パターンを数値化し、燃料消費量の推計モデルを構築した。最後に、数値化した運転パターンを用いて推定した燃料消費量の推定値と、実測された燃料消費量の比較を行い、モデルの推計精度を検証するとともに、運転パターンが燃料消費

量に与える影響について分析を行った。

その結果、走行抵抗に対する仕事量と、燃料消費に伴う熱量の間には高い相関が認められ、走行抵抗を算出することにより燃料消費量を推計することが出来ることが明らかとなった。そして、走行エリアごとに燃料消費量を推計するモデルを構築した結果、推計結果と実測値との間にはよい相関が認められ、推計モデルの有効性を示すことが出来た。ここで得られた知見は、環境に配慮した港湾整備計画の作成の一助となるものである。

主な結論は以下の通りである。

- 速度・加速度の実測データより、転がり抵抗・空気抵抗・加速抵抗の各走行抵抗を算出したところ、港湾エリアでは加速抵抗が全体の約71%となり、加速の影響を分析することが重要であることが分かった。高速道路では、加速抵抗が全体の約39%となり、空気抵抗が全体の約33%程度になり、加速抵抗のシェアが低くなった。
- 走行抵抗に対する仕事量と、燃料消費に伴う熱量の間には高い相関が認められ、走行抵抗を算出することにより燃料消費量を推計することが出来ることが明らかとなった。
- 走行エリアごとに走行パターンを数値化したところ、速度の平均値・標準偏差、平均加速度などによって走行パターンが決定されることを示すことができた。
- 燃料消費量推計式による推計結果には、ドライバーによって30%程度の誤差が生じる可能性があることが明らかとなった。

6. おわりに

本研究では、燃料消費量推計式の一般性を検証するため、港湾エリアおよび高速道路を対象として走行パターンを数値化することで、燃料消費量を推計するモデルを構築した。本研究で構築したモデルを応用することにより、一般道路を走行する場合のコンテナトレーラーの燃料消費量を推計することが可能となる。

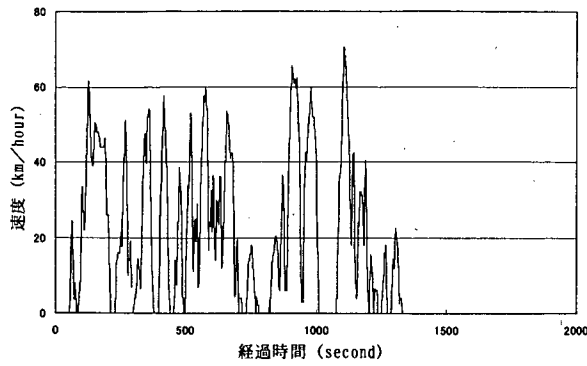
今後は、構築したモデルを用いて、港湾エリアにおける施設配置を変更することが、どの程度燃料消費量を削減し得るか分析し、環境に配慮した港湾施設整備計画の作成に資することが課題となる。

(2004年8月31日受付)

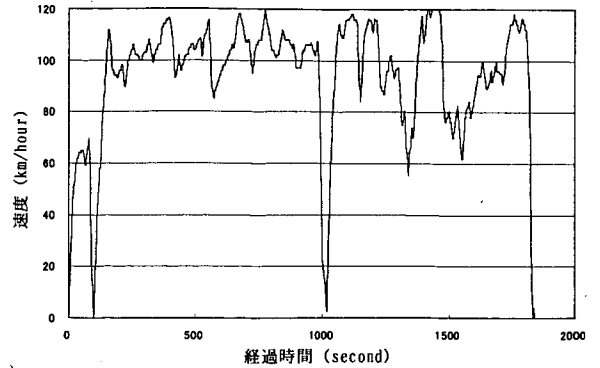
参考文献

- 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会（2000）：温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果－運輸分科会報告書－
- 東京都環境保全局（1996）：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，pp36-46
- 竹花有也（1995）：自動車工学概論，理工学社，pp176-190
- 近藤美則，小林伸治，森口祐一（2003）：車載型機器を用いた自動車排ガスと走行動態の計測，環境研究2003，No.129，pp92-99
- 野田明，佐藤辰二，山本敏朗，塚本雄次郎（2004）：自動車燃料消費への影響要因分析に基づく消費抑制対策の効果予測法に関する研究，（独）交通安全環境研究所報告，No5，pp9-23
- 村野昭人，鈴木武（2003）：コンテナトレーラーの燃料消費特性の把握，国土技術政策総合研究所資料No.109
- 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，pp135-141
- 今泉哲夫，田中雅文，細井賢三（1998）：重量ディーゼル車の燃費推定法の検討－空気抵抗係数の推定－，自動車研究第20巻11号，pp493-496
- 藤川達夫，加賀美公彦，浅野幸子（1998）：重量ディーゼル車の燃費推定法の検討－ころがり抵抗係数の推定－，自動車研究第20巻11号，pp497-500
- 赤井泉明，平井洋，細井賢三（1998）：重量ディーゼル車の燃費推定法の検討－走行抵抗推定値とエンジン燃費マップによる車両燃費の推定－，自動車研究第20巻11号，pp501-504
- 資源エネルギー庁長官官房企画調査課（2001）：平成12年度総合エネルギー統計，通商産業研究会

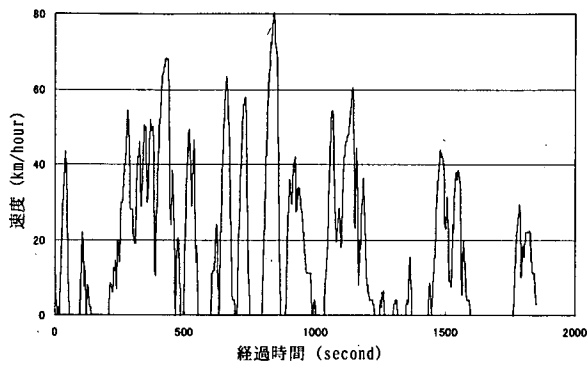
付録 A 走行場所及び総重量別の速度推移



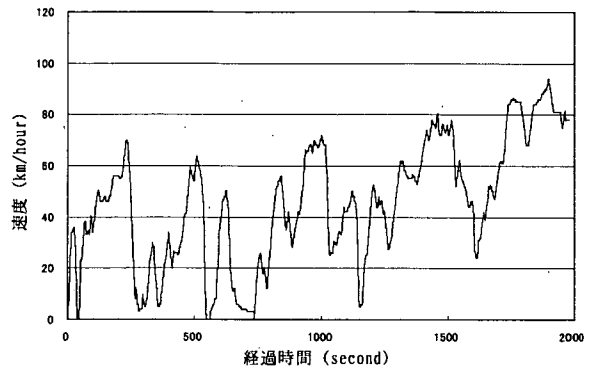
付録図 A-1 速度推移 (港湾エリア 6.6t)



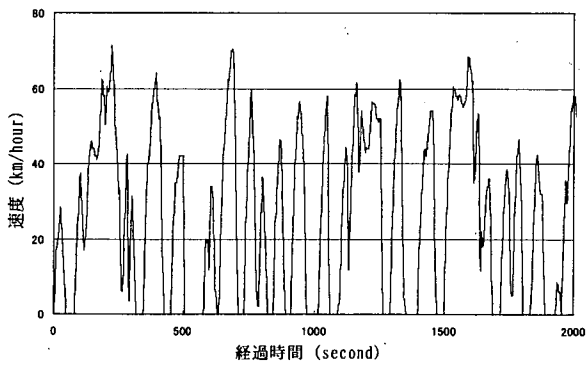
付録図 A-5 速度推移 (高速道路 12.4t)



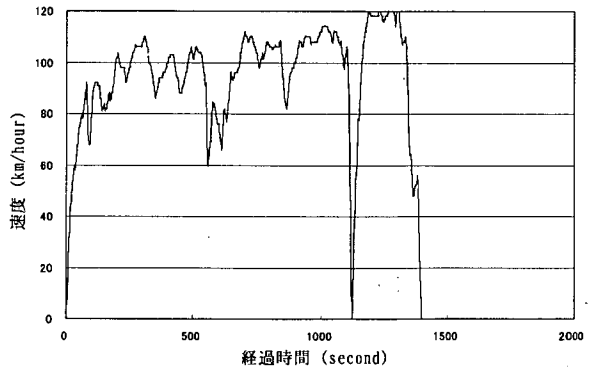
付録図 A-2 速度推移 (港湾エリア 10.3t)



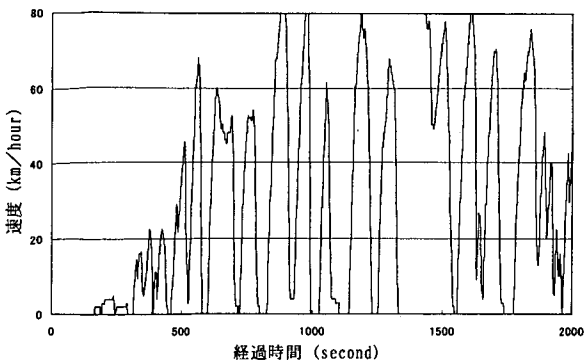
付録図 A-6 速度推移 (高速道路 12.6t)



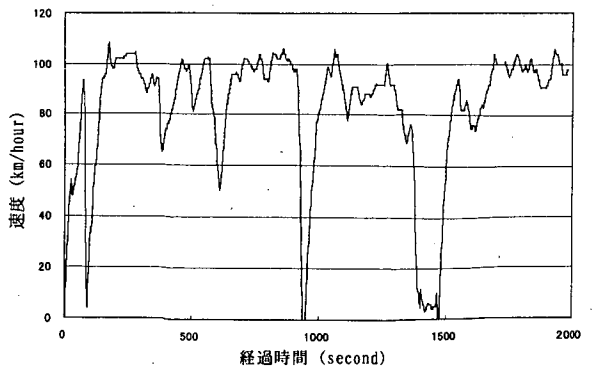
付録図 A-3 速度推移 (港湾エリア 12.8t)



付録図 A-7 速度推移 (高速道路 14.0t)



付録図 A-4 速度推移 (港湾エリア 22.8t)



付録図 A-8 速度推移 (高速道路 22.8t)