

# 実使用条件下の車両・エンジン特性を反映させた台上燃費試験手法に関する研究

- 台上試験時の運転パラメータが燃費計測値に及ぼす影響解析 -

環境研究領域 野田 明 山本 敏朗 佐藤 辰二

## 1. まえがき

自動車燃費の公式評価法としては、重量車を除いたガソリン車、ディーゼル車を対象にする10・15モード試験法があるが、これに基づいて測定し公表されている燃費値が、ユーザーの使用実感に合わないという意見も多い。10・15モードは都市内走行を代表するモードとされ、直線で構成された単純な速度パターンである。一方、現実の車の走り方は千差万別で、車両混雑時の渋滞走行や頻繁に発進・停止・加減速を繰り返す都市内走行、交通量や信号機の少ない道路での流れのスムーズな走行、高速道路での走行など、走り方によって燃費が大きく変わることは多くのユーザーが実感している。本研究では、各種の運転パラメータが燃費に及ぼす影響度を実験的、解析的に調べることにより、最終目標として、使用実態をより反映した台上燃費試験法を確立することを目指す。

本報では、複数の試験車による台上試験を行い、燃費に関連した各種運転パラメータの影響度を調べた。さらにシミュレーション解析も併用して、10・15モード燃費値と実用燃費との乖離の原因となりうる実用運転時の各種要因を探った。

## 2. 実験装置と実験方法

表1に示すA車～K車の合計11台のガソリン車をシャシダイナモメータ（CHDY）上で運転し、各走行モードの排出ガス総量をCVSバッグ

法で測定して、カーボンバランス法により燃料消費量を算出した。走行条件と燃費との関連を調べる目的で、10・15モード及び2008年度より導入が予定されるCD34トランジェントモード、並びに実路走行実験データより求めた車両混雑時の渋滞モード、都市内一般道での走行モード、交通量の少ない地方道での走行モード、および高速道路での走行モードをそれぞれCHDY上で運転し、各々のモード燃費を測定した。実験に使用したこれらの走行モードのパターンを図1に示す。

また各モード試験において、発進～停止までの各走行区間、すなわちショートトリップ（ST）ごとの燃料消費量をモダルマス解析で求めた。一方、試験車が各モードを走行する際の総仕事量やST毎の仕事量を、CHDYの駆動力指示値とローラ速度から計算した。さらにCHDYに設定した走行抵抗係数と等価慣性質量、及びローラ速度・加速度から同様に仕事量を計算した。両方の方法で求めた仕事量は極めて良く一致し、CHDYの負荷吸収能力が正確であることを確認した。

## 3. 実験結果と解析

### 3.1. 各試験車の走行モード別距離燃費と燃料消費率

図2は、各試験車のモード別距離燃費及び単位仕事あたりの燃料消費率（g/kwh）である。この結果をみると、距離燃費は一般に軽量車の方が良

表1 供試車両の諸元

燃料	車種	クラス	初年度登録	等価慣性質量	走行抵抗(N) a c	車両重量(kg)	車両総重量(kg)	エンジン総排気量(cc)	定格出力(kw/rpm)	☆排出ガス認定レベル	備考		
ガソリン	軽トラック	0.66L	A車	H15.2	875	121.4	0.0558	780	1,230	658	35/6,400	☆☆	
	軽乗用	0.66L	B車	H14.7	1,000	122.3	0.0398	850	1,070	658	44/6,400	☆	スーパーチャージャ
	乗用	1.3L コンパ外カ	C車	H14.7	1,000	127.8	0.0365	990	1,265	1,339	63/5,700	☆☆	
		1.5L セダン	D車	H14.7	1,250	121.5	0.0360	1,080	1,355	1,497	80/6,000	☆☆☆	
		1.5L ハイブリッド	E車	H14.10	1,250	144.2	0.0439	1,220	1,495	1,496	53/4,500	☆☆☆	ハイブリッド車
		2.0L セダン	F車	H8.2	1,500	163.8	0.0535	1,300	1,575	1,988	99/5,600		
		2.0L ターボ	G車	H7.7	1,500	241.2	0.0410	1,390	1,665	1,994	206/6,500		4WD・ワゴン
		3.0L セダン	H車		1,500	151.6	0.0388	1,470	1,745	2,998	166/6,400		輸出仕様車
		3.0L セダン	I車	H14.3	1,750	211.7	0.0442	1,580	1,855	2,997	162/5,600	☆	直噴、NOx触媒
		2.3L ミニバン	J車	H14.7	1,750	248.3	0.0499	1,720	2,105	2,260	120/6,000		4WD
貨物バン	1.8L	K車	H12.2	1,500	147.9	0.0534	1,300	2,215	1,789	66/5,000			

いが、最も低燃費な車はハイブリッド車のE車で、続いてコンパクトカーのC車である。E車とC車は単位仕事あたり燃料消費率も少なく、どのモードでも最上位の燃費を示す。一方、等価慣性質量が1500kg以上のF～K車は、距離燃費では軽量クラスのA～E車に劣るが、仕事あたりの燃料消費率でみると、等価慣性質量1750kgのI車やJ車でも軽自動車であるA車、B車と同等である。

次に距離燃費を規定する車両側の要因について考察した。距離燃費F(km/l)は(1)式で示される。

$$F(\text{km/l}) = \frac{\text{全走行距離}(\text{km})}{\text{全燃料消費量}(\text{l})} \\ = \frac{\text{単位燃料あたり仕事率} W_F (\text{kwh/l})}{\text{距離あたり仕事率} W_D (\text{kwh/km})} \dots\dots (1)$$

すなわち距離燃費を左右する車両特性値としては、(1)式の分子と分母の2つの項がある。W<sub>F</sub>は燃料エネルギーの利用効率を示す指数で、W<sub>F</sub>が大きいほど燃費が向上する。W<sub>D</sub>は車両重量や走行抵抗、機械損失など主に車体側の燃費負荷を表す指数で、W<sub>D</sub>が小さい方が距離燃費が向上する。そこで、モード毎に各車のW<sub>F</sub>とW<sub>D</sub>を算出した。図3(a)は各車のW<sub>D</sub>を示す結果であり、総じて軽い車はW<sub>D</sub>が小さく、図2の燃費傾向と一致する。図3(b)はW<sub>F</sub>を示すが、燃費の最も良いE車が最高値を示しており、ハイブリッドによる燃費対策技術が距離燃費を向上させたことを示している。

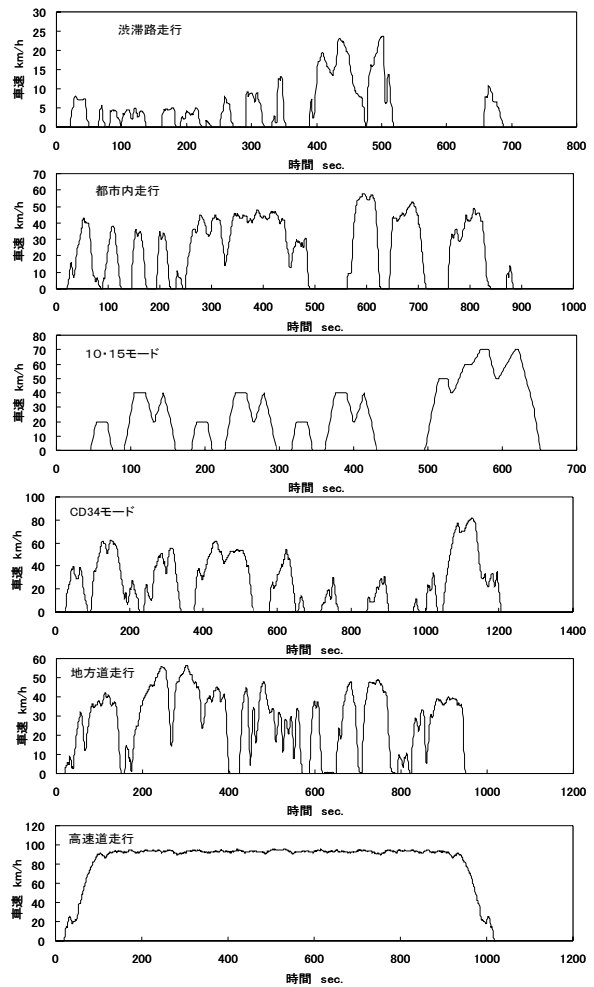


図1 実験に用いた走行モードパターン

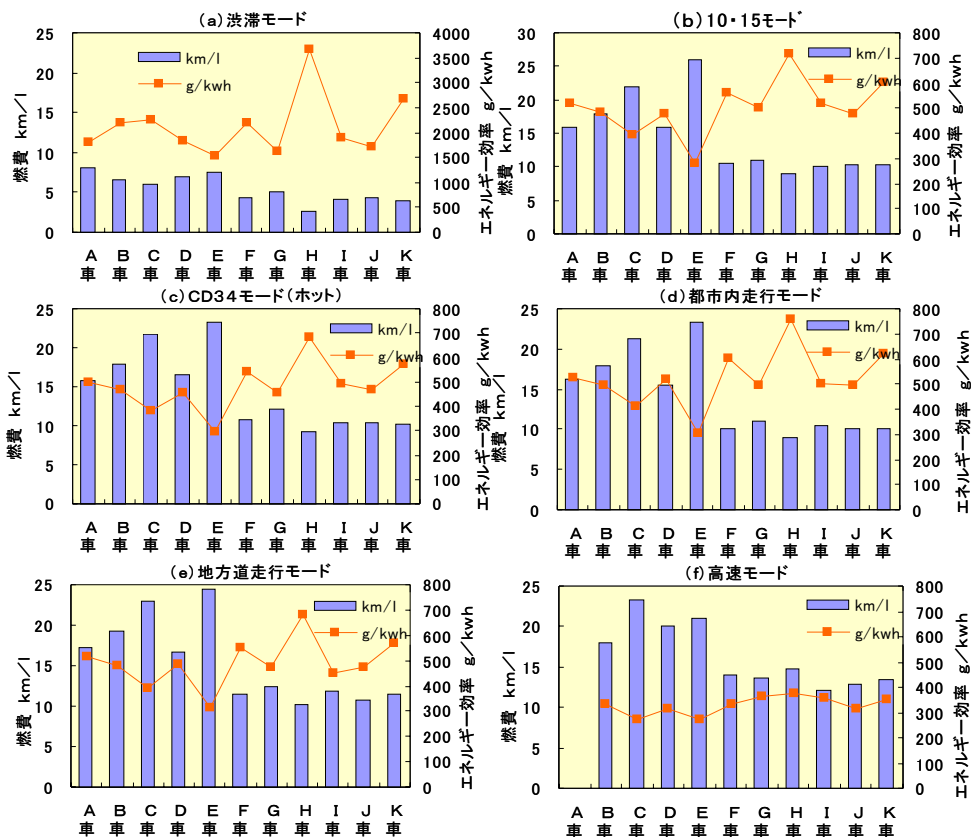


図2 距離燃費及び燃料消費率の測定結果

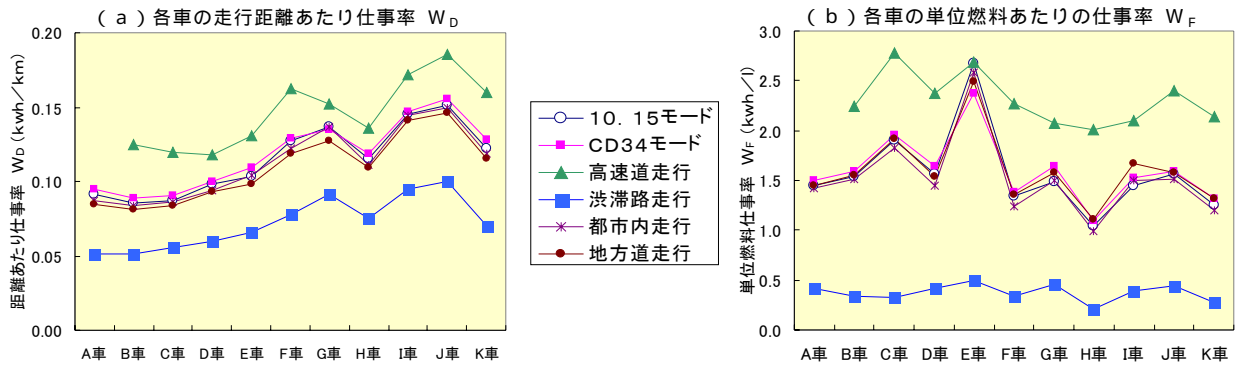


図3 車両別の燃費影響要素の測定結果

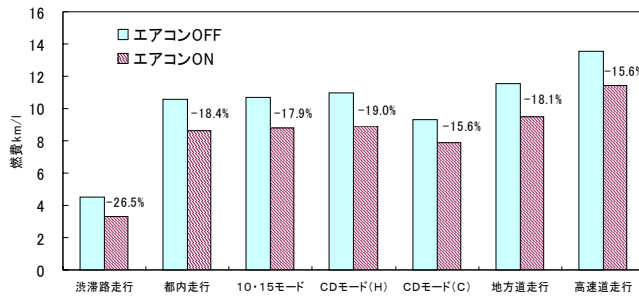


図4 エアコン作動が燃費に及ぼす影響

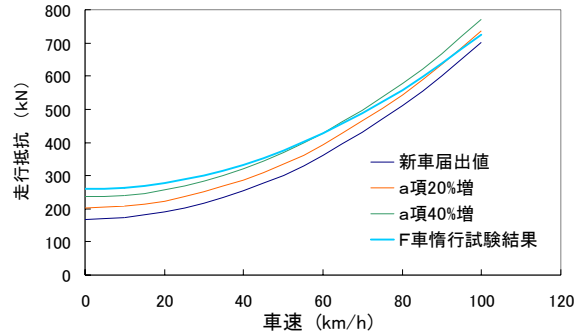


図5 (a) 設定した走行抵抗

$W_F$  と  $W_D$  を走行条件にみると、高速走行時は  $W_D$  が大きく燃費的には不利となるが、高い  $W_F$  が距離燃費を延ばすのに役立っている。

### 3.2. 運転パラメータがモード燃費に及ぼす影響の実験調査

ユーザーの実感として、実用燃費は10・15モード燃費値に達しないという意見が多い。同モード燃費は、規定された負荷設定条件及び運転条件でCHDY上で試験車を走行させた時の値であり、この試験条件が車の使用実態からずれていれば、その燃費値も実態から離れた値になる。燃費値に差が生じる原因究明を行う目的で、台上試験時の運転パラメータを変化させて影響度を調べた。

#### (1) 走行時のカーエアコン作動による燃費影響

多くのユーザーは年間を通して比較的長い期間エアコンを利用している。カーエアコンは、インバータ制御の家庭用エアコンのような緻密なパワー制御が難しいため、コンプレッサー駆動用にエンジン出力の一部が使われ続けて、燃費が悪化するといわれる。そこで、エアコン作動による燃費影響度をCHDY実験で調べた。試験時の環境条件は、実験室を常に25℃近傍に温調した上で、F車をエアコン有り/無しで運転し、各々の燃費を比較した。測定結果を図4に示す。日照のない25℃の室内大気条件下においても、エアコン作動で燃費が15%～20%悪化し、元々燃費の悪い渋滞走行では、25%以上の悪化となった。以

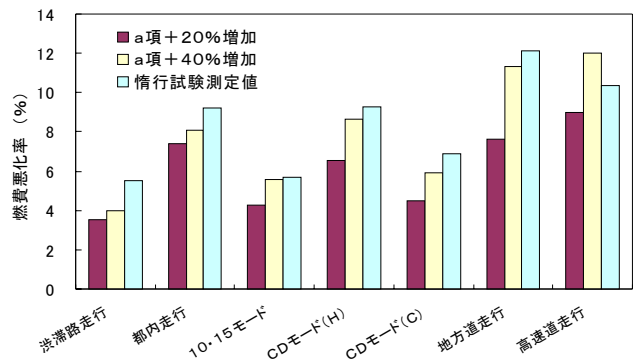


図5 (b) 走行抵抗の設定条件が各モードの燃費に与える影響

上より、実用燃費と10・15モード燃費値の乖離の原因のひとつに、エアコンの影響が考えられる。

#### (2) 走行抵抗が燃費に及ぼす影響

燃費試験では、予め平坦なテストコース上で情行により求めた走行抵抗値を標準状態に換算し、それを  $a + bV^2$  の形でCHDYに負荷設定する。a項は転がり抵抗、 $bV^2$ は空気抵抗である。係数bは主に車体形状で決まるので、使用過程で値が変化することは少ないと見られる。一方、a項はタイヤの表面状態や空気圧、路面の状態、走行時の車両重量、大気及び路面の温度条件等に左右され、これに車両の動力伝達損失も加わる。すなわち新車の情行試験で測定した時の値と使用過程車の実用走行時の値が異なることも考えられる。そこで、転がり抵抗であるa項が新車届出値と異なった場合の各モード燃費への影響度を調べた。

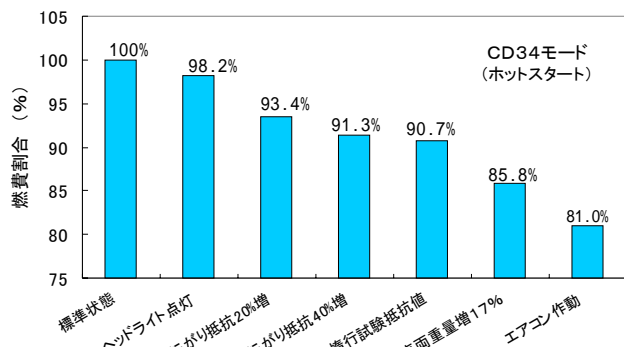


図6 各燃費ファクターの影響度の比較

実験は、CHDYに設定するF車のa項を審査時の値から20%及び40%増加させて、各燃費を測定した。さらに走行距離約50,000kmのF車をテストコースで惰行試験して実測した走行抵抗値もCHDYに設定して試験を行った。図5(a)は設定した走行抵抗の条件であり、図5(b)は、標準負荷(審査設定値)の燃費を基準とした時の各負荷条件での燃費の変化率である。同図が示すように、使用過程のF車の実測走行抵抗値を使って試験した場合は、標準設定値より10・15モードで5.7%、CD34モードで9.3%、地方道走行では12.1%燃費が悪化した。転がり抵抗は実用燃費に直結するため、走行抵抗値を正確に計ることと、使用過程車の抵抗損失の増加を防ぐ車両維持管理が燃費対策では重要である。

(3) 各運転パラメータの燃費影響度の比較

試験時の各運転パラメータの影響度を、実走行型モードであるCD34モードを使って調べた。各パラメータを単独に変化させた時の標準状態に対する燃費割合を図6に示す。実情行試験の走行抵抗値で試験した時は9.3%燃費が低下し、車両重量が17%増加すると14.2%悪化した。しかし19%と最も低下させたのはエアコンであり、実用燃費の悪化をもたらす大きな要因といえる。

#### (4) コールドスタートの影響

エンジン冷始動後の暖機中は通常より燃料供給が多く、また吸気管、シリンダ壁や冷却水、潤滑油の温度が低いため、熱損失、機械損失が増加して燃費が低下する。A~K車のCD34モード走行燃費をコールドとホットの両スタート条件で比較した結果を図7に示す。冷始動時は全車で約15%の燃費低下が見られ、これも実用燃費低下の要因の一つと考えられる。コールドスタートによる燃費への影響度は、走行開始 停車までの時間、距離によって変わる。図8は冷

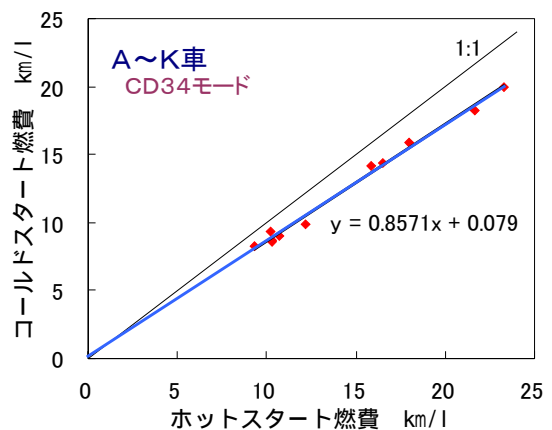


図7 コールドスタート運転での燃費の低下傾向

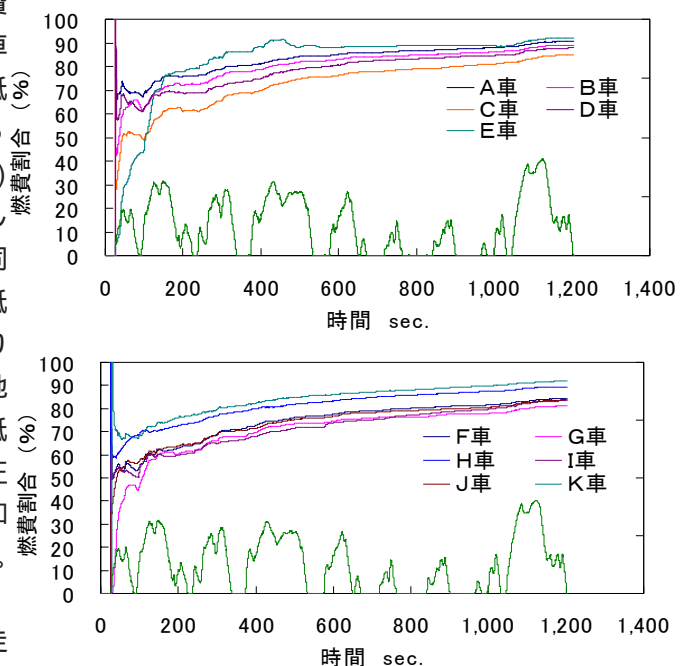


図8 コールドスタート時の累積距離燃費のホットスタート燃費に対する割合

始動発進地点からの累積距離燃費のホットスタート燃費に対する割合を示す。始動発進後、約700秒、5.4km 走行した地点で停車した場合の区間燃費はホットスタート条件に比べて約30%低下する。すなわち短距離走行が多いユーザーにとっては、公表燃費値と実態燃費との差は非常に大きくなる。

### 3.3 シミュレーションを用いた燃費要因の影響度解析

これまでは各運転パラメータの影響を実験で調べたが、多くの車、モード、複雑な条件での燃費影響度を見るため、シミュレーション解析も行った。

#### (1) 燃費予測手法

A~K車の実験結果から、各STの走行仕事量と燃料消費量の関係は、図9のようにほぼ線形になることがわかった。そこで車両ごとにこの関係



式を求め、個々の運転パラメータが変化した時の仕事量変化を計算して、燃費影響度を試算した。

(2) 各種要素の燃費感度係数の予測計算

モード走行時の各運転パラメータの燃費感度係数を、次式で定義することにした。

$$\text{燃費感度係数} = \text{モード燃費の変化率}(\%) / \text{各運転パラメータの変化率}(\%)$$

図10は、C車とI車の各モード燃費における転がり抵抗と走行時車両重量の燃費感度係数を(1)の方法で計算した結果である。転がり抵抗の感度係数は、平均速度の高いモードで大きくなるに対して、車両重量の感度係数は渋滞路、高速走行時に少なく、加減速の多いモードの時に大きい。

次に道路勾配の燃費影響度を試算した。走行条件は移動距離約8.2kmのCD34モードとし、図11(a)のように出発から6kmの区間にアップ・ダウンが交互に1kmずつ入るとした。勾配は2.5、5.0、7.5、及び10%の定勾配とし、速度変化は同図のパターン追従という条件を与えた。最初が上り坂となる走行をパターン1、下り坂となるのをパターン2とした。各通過点の勾配負荷をCD34モード走行時の仕事率の計算に入れて、図9の関係式から燃費を計算した。結果を図11(b)に示す。勾配5%の起伏を3回繰り返す条件では燃費が10~15%悪化し、7.5%勾配では25~30%悪化するという予測値が得られた。本例のように、出発地と到着地の高度が同一でも途中に起伏がある場合は、平坦路走行に比べて燃費がかなり悪化する。

次に自然風の燃費影響を計算した。C車とI車がCD34モードの速度パターンで走行する時に、5m/秒及び10m/秒の向かい風または追い風を車が常に受けるという条件を設定して燃費を計算し、無風時の値と比較した。結果を図12に示す。逆風5mでは10%前後燃費が悪化し、10mの逆風下では20~30%悪化すると予測値が得られた。

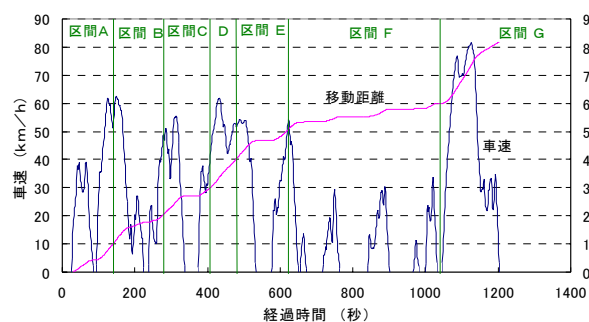


図11(a) 勾配燃費の計算に用いた区間距離と速度パターン

3.4. 10・15モード燃費評価値の位置付け

我が国では、車両の燃費性能を示す値として10・15モード燃費審査値が公表され、さらに車両クラス毎の加重調和平均の燃費目標値がメーカーに課せられるなど、10・15モード燃費値は重要な意味を持つ。すなわち車の燃費性能を代表する数値と位置付けられるが、これが10・15モード以外の走行条件での車両間比較にも使えるか検証した。

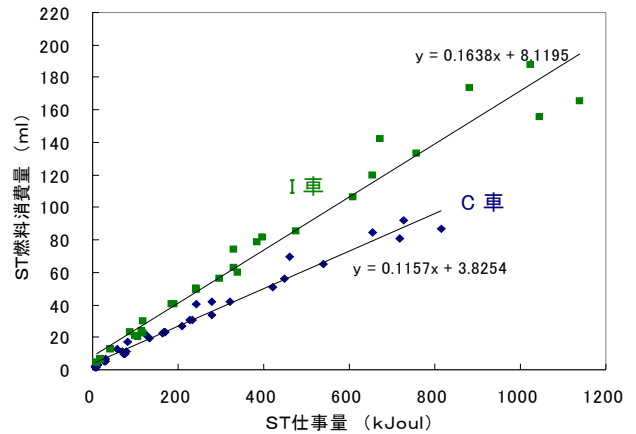


図9 各STにおける仕事量と燃料消費量の関係

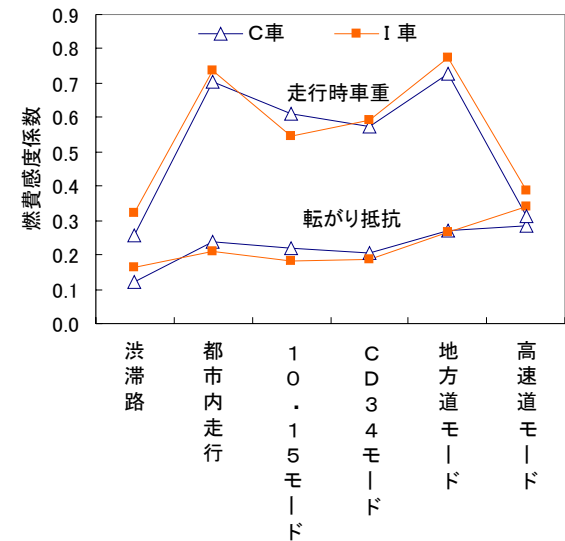


図10 各燃費ファクターの感度計数

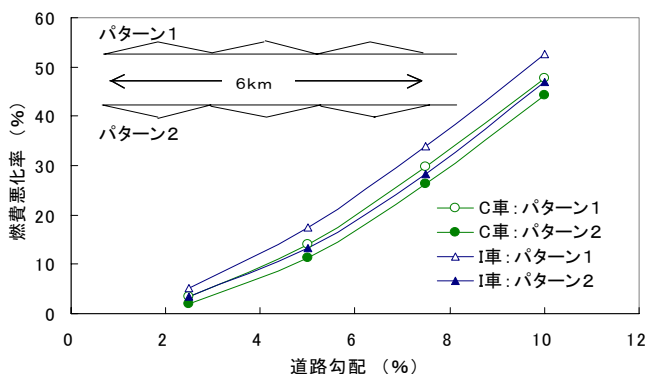


図11(b) 道路勾配が燃費に及ぼす影響試算

図13は、A車～K車の10・15モード燃費値と、渋滞走行、都市内走行、地方道走行及び高速道路走行の各モード燃費との相関性を示す結果である。アイドリング割合の多い渋滞路走行では、10・15モード燃費の良い車でも約6～7km/lで燃費は頭打ちの傾向にある。また高速モードでは、相関度にややばらつきが見られるが、高速走行時はエンジンが高回転・準定常的に使われて10・15モードのエンジン使用域と異なることがその原因と思われる。これに対して、都市内走行と地方道走行での燃費の結果は、10・15モード燃費値と極めて高い相関性を示す。すなわち10・15モード燃費に優れた車は、一般道の通常走行においても相対的に良い燃費が得られることを示しており、同燃費はユーザーの車種選択には有用な情報といえる。

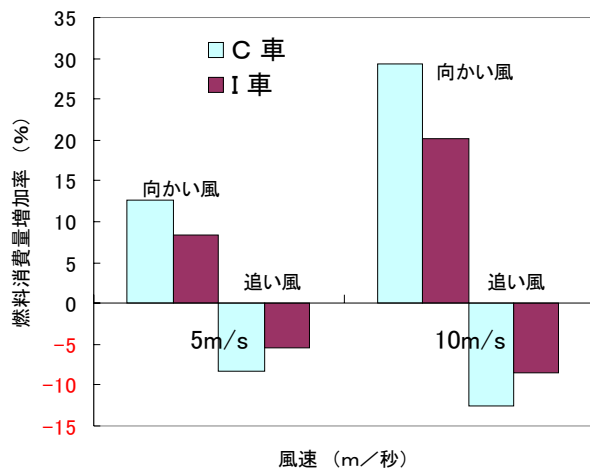


図12 走行時の自然風が燃費に及ぼす影響試算

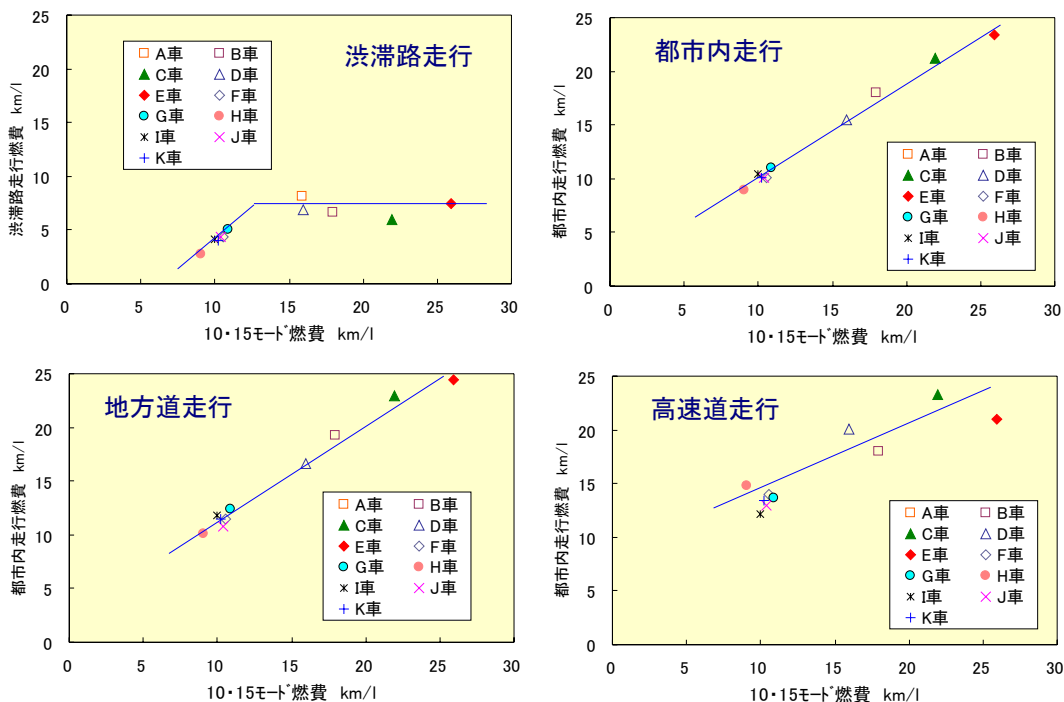


図13 各車の10・15モード燃費値と走行条件別燃費値との相関性

#### 4. まとめ

様々なクラスの合計11台のガソリン車をシャシダイナモメータ上で試験して、走行条件と燃費の関連を把握した。また台上試験並びに実走行条件における各種運転パラメータの燃費影響度を、台上試験およびシミュレーションにより解析した。これらの結果から、実用燃費と10・15モード燃費との間に乖離があるといわれる要因を探った。

本報告の内容をまとめると以下ようになる。

- (1) 走行中にカーエアコンを作動させると、日照が無くても燃費が15～20%悪化したことから、実用燃費低下の大きな要因の一つと考えられる。
- (2) 使用過程車を惰行試験して測定した走行抵抗値を設定して燃費試験を行ったところ、新車での標準負荷設定条件の燃費に比べて10・15モードで5.7%、CD34モードで9.3%、地方道走行で12.1%低下した。このことから、走行抵抗値を適切に測定すること、使用過程での抵抗損失増加を防ぐ車両管理が燃費に対して重要である。
- (3) 11台の車をコールドスタートでCD34モード(約20分)を運転し、その燃費をホット条件と比較したところ、全車で約15%の燃費低下が認められた。したがって実用燃費と10・15モード燃費の乖離の要因の一つに冷始動条件がある。
- (4) 走行仕事量から燃費を推計するシミュレーション法により、起伏のある道路を走行した時や向かい風を受けた時の燃費影響度を計算した。
- (5) 10・15モード燃費値は、車速パターンの異なる他の走行条件(渋滞走行を除く)での車種間の燃費比較を行う上で十分意味のある値である。