

# 重量車の実走行燃費に対する各種影響要因のシミュレーション解析

環境エネルギー部 野田 明、佐藤 由雄、佐藤 辰二、塚本雄次郎

## 1. まえがき

近年、各国のエネルギー消費の増加に伴い二酸化炭素の排出量が増大し、地球温暖化への懸念が国際的に高まっている。こうした地球環境問題に対処するには、具体的かつ効果的な省エネルギー施策の積重ねが重要であり、特に我が国の運輸部門のエネルギー消費の約9割を占める自動車の燃料消費の抑制が必要である。その対策としては、総重量2.5トン以下の車に対する燃費基準強化(ガソリン車)や新たな燃費基準の設定(ディーゼル車)等の諸施策が展開されている。

しかし基準化された燃費値は、あくまでも自動車単体での性能指標であり、実使用条件下での燃料消費には他にも多くの要因が複雑に影響している。自動車部門の省エネルギー化には、低燃費車の普及や車両の運用法の改善、物流対策、交通施策等の総合的な対策が必要であり、各対策の効果を個別に評価してより効果の高いものを示すことも重要である。すなわち、実使用時の燃料消費の関連要素とその影響度を定量的に把

握し、各種施策を実施した場合の効果を裏付ける資料を求める必要がある。

こうした観点から本研究では、ユーザーの燃費節約意識がとりわけ高い重量貨物車に関して、実用運転時における各種燃費影響要因をシミュレーション解析し、各々の影響度を定量化することを試みた。

## 2. 燃費シミュレーションの方法

上記研究目的に対応するため、前年度に開発した燃費シミュレーションソフト<sup>(1)</sup>を改良して、任意の過渡モードパターンの走行燃費が算出できるようにした。図1に本プログラムの構成を示す。燃費シミュレーションでは、最初にエンジン単体の燃費試験(定常試験)を行い、燃費マップデータを求める。次に本ソフトを立上げて、評価用走行モードの车速データ並びに対象車の構造情報、搭載エンジンの燃費マップ情報、運転パラメータ等を入力する。シミュレーションでは、指定した運転ロジックに基づいて評価モードを仮想走

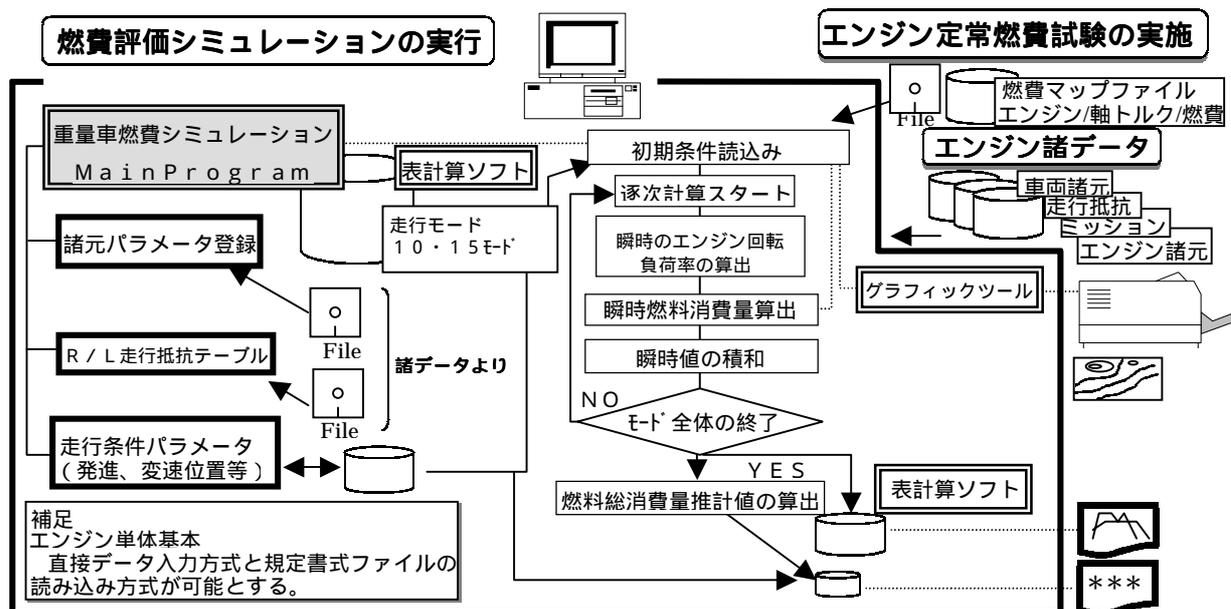


図1 燃費シミュレーションソフトの全体構成

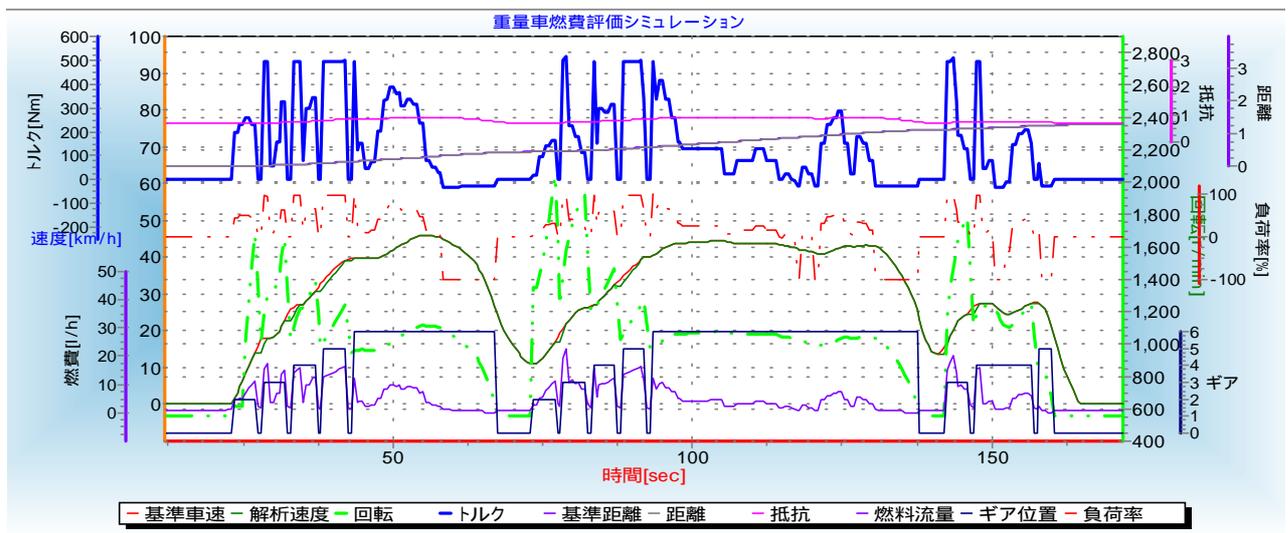


図2 シミュレーションによる過渡モード走行時のエンジン挙動と燃料消費量の計算結果

行させ、各瞬間のギア位置と所要駆動力等からエンジン回転数とトルク（負荷率）を計算し、燃費マップから補間法で瞬時燃料消費量を求める。この逐次処理をモード全体に渡って実行し、瞬時値を積算することにより総消費量を算出する。エンジン使用域と燃費マップから求めたモード走行燃費の推計値は、瞬時値および総消費量に関して、シャシダイナモ上での実測値と良く一致することが確認されている。<sup>(2)(3)</sup> 図2は燃費シミュレーションで求めた過渡モード走行時のエンジン挙動と燃料消費量変化の例である。

本報では、このプログラムの入力条件として、重量車の実走行型車速パターンや、表1に示す3タイプの貨物車の車両構造情報、貨物の積載率、運転操作条件などを個別に変化させて、各条件での燃料消費量を計算した。走行モードとしては、平均速度が各々5 km/h ~ 40 km/hとなるように編集した都市型の走行モードや、平均車速70 km/h程度の首都高速モード、その他の過渡モードを使用した。各実走行型モードは、各種道路の実走行試験で採取した車速データをショートトリップごとに分解し、組み合わせを変えて再合成したものである。例として、図3に都市内走行のN15モード、N30モード（平均区間速度は、各々約15 km/hと30 km/h）及び首都高速走行でのHW1モード（同70 km/h）の車速変化を示す。

### 3. 実走行燃費に対する関連要因の定量化

#### 3.1 走行モードと燃費の関連

図4に、表1の3種の貨物車に関して各モードの平均区間速度（アイドリング時間を含む平均速度）と燃費（km/l）の関係を示す。平均速度の上昇とともに燃費が向上することから、交通流の円滑化対策は燃費節減に極めて有効なことがわかる。図中の2

表1 計算に使用した重量貨物車の仕様

		2トン積み貨物車	4トン積み貨物車	8トン積み貨物車
内径×行程	mm	110×120	114×130	133×160
総排気量	cc	4561	7960	13337
最大出力	ps / rpm	140 / 3200	200 / 2900	235 / 2900
最大トルク	Nm / rpm	333 / 1600	529 / 1700	833 / 1300
車両重量	Kg	2400	3550	6985
最大積載量	Kg	2000	4000	8000
前面投影面積	m <sup>2</sup>	3.3	4.5	5.8
変速比				
1速		5.38	7.817	7.833
2速		3.027	4.957	4.811
3速		1.7	2.992	3.087
4速		1	1.866	1.989
5速		0.722	1.312	1.353
6速			1	1
最終		4.875	3.636	3.777
タイヤ有効半径	m	0.337	0.398	0.506

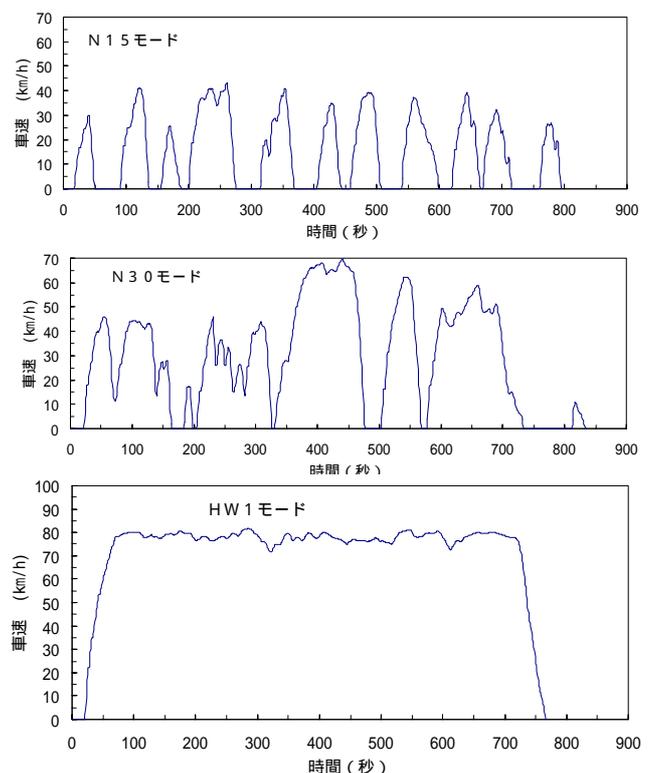


図3 計算に使用した重量車走行モードの例

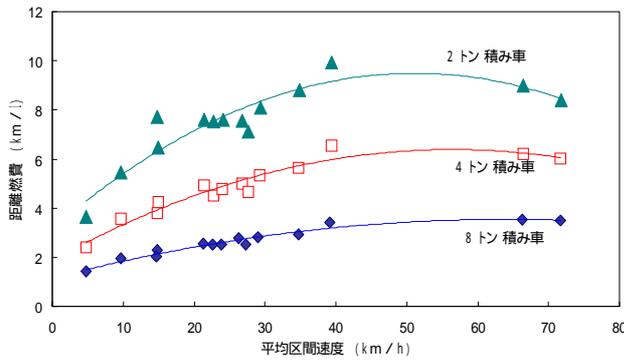


図4 各モードの平均区間速度と距離燃費の関係

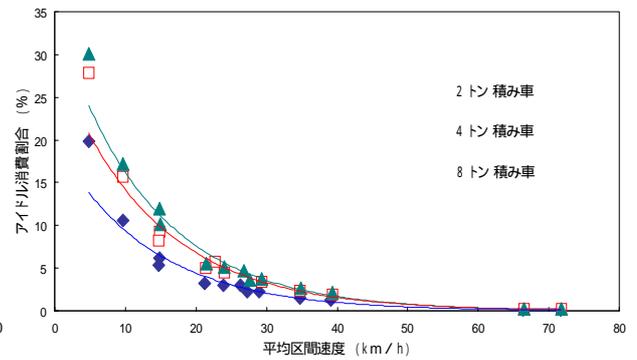


図5 平均区間速度とアイドル消費割合の関係

次の近似曲線が示す通り、燃費値は平均速度が50～60 km/hで頂点を持つ2次式で表される傾向にあった。

ただし、平均区間速度はアイドリング時間によっても影響されるので、この値だけではモードの走行特性を代表し得ない欠点がある。特にアイドリング中の燃料消費との関連が把握しにくいので、走行条件別にアイドリングの燃費影響度をシミュレーションで調べた。結果を図5に示す。渋滞走行であるN5モードでは、全体の20～30%の燃料がアイドリングで消費され、また平均車速15 km/hの条件では5～10%がアイドルでの消費による。すなわちアイドリング燃料消費の影響は平均車速の低いモードほど、また総重量の小さい車ほど大きい。

次にモード走行時のエンジンへの要求仕事率 $W$  (KWh/km)とアイドリング時を除いた燃料の消費率 $Q_f$  (l/km)の関係性を求めた。結果を図6に示す。どの車の結果も $W$ と $Q_f$ が直線関係にあることから、燃料消費と相関が高いのはエンジンの総仕事量であることがわかる。すなわち走行条件から燃料消費の傾向を推計するには、モード平均車速よりも要求仕事量を使うのが良いといえる。

### 3.2 貨物の積載条件、輸送条件と燃費の関係

シミュレーションプログラムに入力する貨物の積載率を変えることにより、積載条件が燃費に及ぼす影響

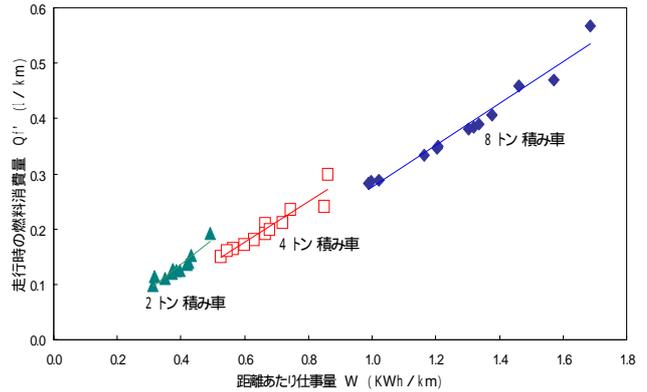


図6 距離あたり要求仕事量と実走行消費量の関係

を調べた。図7に3種の走行条件に対する距離あたり燃料消費量の計算結果を示す。平均車速が低く加減速運転の割合が多いN15モード走行が積載率の影響が最も受け、一方、首都高速走行のHW1モードではその影響が相対的に少ない。また車種別では、最大積載量が最も大きい8トン車の燃費が、最も積載率に影響されている。

トラック、バスのような車種は、一定量の重量物を2地点間で移送する手段である。その際のエネルギー利用効率を表す燃費指標が必要であるとすれば、重量車の表示単位として、積載物の重量トンを用いて、「km・トン/リッター」を使う方法が考えられる。シミュレーションによる各モードの燃費計算結果を同単位で表した結果を図8に示す。この表示単位では、8

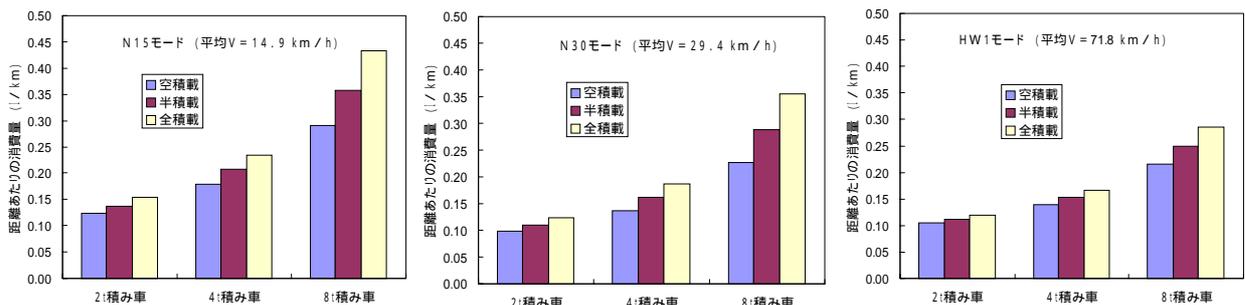


図7 貨物の積載率が燃料消費に及ぼす影響

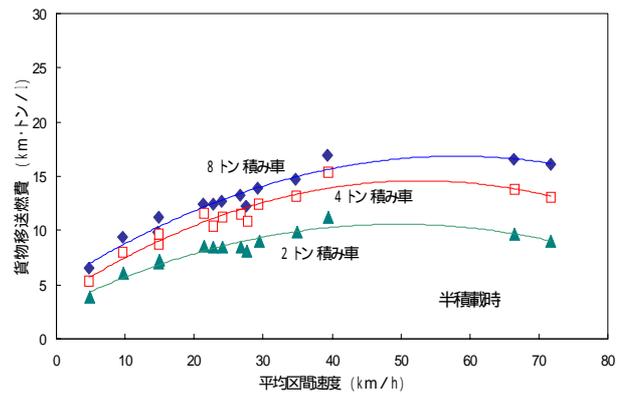
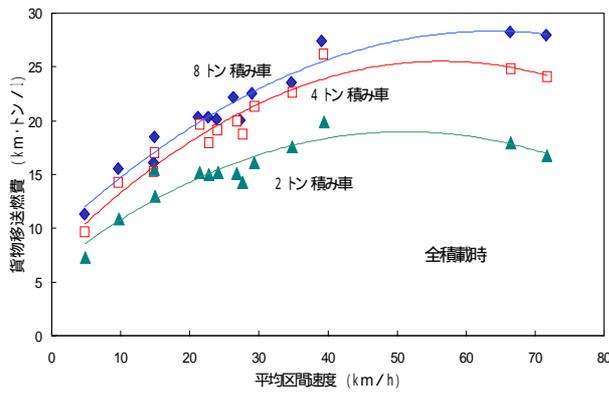


図8 平均区間速度に対する貨物移送燃費 (km・トン/リットル) の関係

トン車が最も貨物輸送でのエネルギー利用効率が高く、また半積載時よりも全積載の方が効率が高いといえる。さらに平均車速の上昇とともにその効率がアップする。

次に貨物輸送の集約化の効果を調べた。合計8トンの貨物を輸送する条件で、2トン積み車4台に分けて行う場合、4トン積み車2台の場合、及び8トン車1台の3通りの輸送方法について、各モードの総燃料消費量を比較した。結果を図9に示す。2トン車4台の輸送が最も燃料消費が多く、8トン車1台の場合が最少となる。すなわち貨物の集約輸送は燃費節減に役立つことが明らかである。4トン車2台の場合はその中間となるが、総消費量はむしろ8トン車1台に近いことから、4トン車は燃費と機能性とのバランスの良い車両クラスであるといえる。

### 3.3 運転操作が燃費に与える影響

同一モードを運転しても、変速操作などの運転条件が燃費に影響することが知られている。例えば加速時の変速タイミングが変わればエンジンの使用域が変わることから、結果として燃料消費にも差が生じる。変速操作の定量的な影響度を調べるため、4トン積み車の仮想走行で、シフトアップのタイミングを最大出力時回転数の80%、70%、60%、50%となるように変速条件を変えて、モード走行燃費を計算した。結果を図10に示す。変速時の回転数が高いほど燃料消費が多く、またその影響は加減速の頻度が多いN15モードの方が大きい。したがって変速操作では、加速追従運転が可能な範囲でシフトアップを早めに行い、できるだけ低い回転数域を使用の方が燃費節減に有利なことがわかる。

燃費対策や排出ガス対策としてアイドルストップが推奨されている。そこで燃料節約への具体的効果をシミュレーションで調べた。計算では、各走行モードでアイドル停車と同時にエンジンを止め、発進の2秒前にエンジンを再始動するとした。エンジン始動時の燃料流量は実測値を与えて計算した。4トン積み車によ

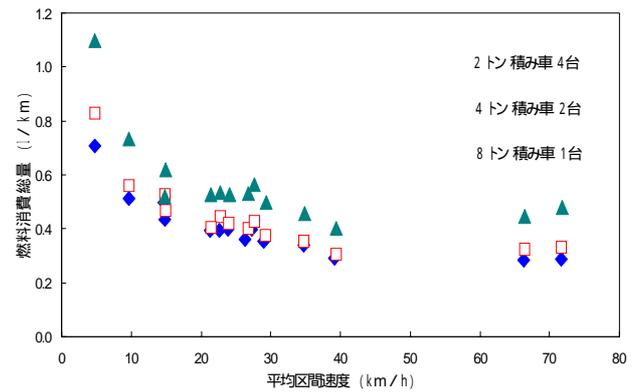


図9 貨物輸送集約化と燃費の関係 (8トン貨物移送時)

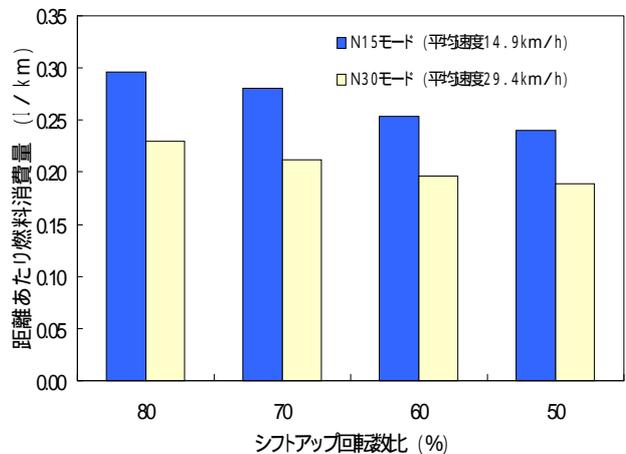


図10 シフトアップ時回転数が燃費に与える影響

る各モード走行で、アイドル停止の有無による燃費の違いを図11に示す。アイドル停止の効果は、平均車速の低いモードほど大きく、平均速度5km/hの渋滞路のモードでは、約30%燃料消費が減少する。一方、平均車速が20km/h以上では、アイドル停止の効果は5%以下となる。

### 3.4 車両側の構造条件が燃費に及ぼす影響

車両側の燃費要因の影響度をシミュレーションにより分析し、燃費対策における車両改善の効果を調べた。この計算は4トン積み車を対象に行った。

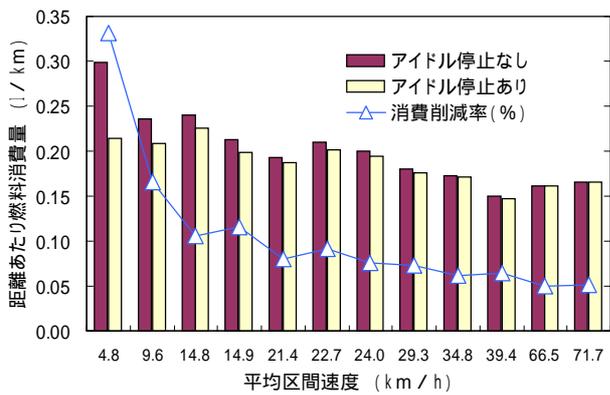


図 1.1 各モードにおけるアイドル停止の燃費効果

### (1) 車体重量の影響

転がり抵抗および加速時の慣性抵抗は車両総重量に比例するので、車の軽量化は燃費向上に有効となるが、車体強度にも影響するので設計上難しい要素である。そこで構造変更等により車両重量が変化した場合の燃費への影響度を計算した。図 1.2 は車体重量を対象車の本来の値 (3,550 kg) から ±5%、10% の範囲で増減した時の N15, N30 及び HW1 モード走行時の燃費値の変化割合を計算した結果である。なお貨物の重量は、どの条件も全積載の 4 トンとした。この結果から、加減速走行の多い N15, N30 のモードでは、車体の 10% 軽量化により燃料消費が 2~3% 減少するが、高速走行である HW1 モードではその節減効果は約半分にとどまることがわかった。

### (2) 走行抵抗の影響

走行抵抗は、車両重量に比例する転がり抵抗および車体前面投影面積と車速の 2 乗の積に比例する空気抵抗から成る。各々の抵抗値の比例定数が、転がり抵抗係数と空気抵抗係数であり、車両側の改善でそれらの数値を低減できれば、走行条件に応じた燃費向上が期待できる。

3 種類の走行モードについて、転がり抵抗係数を变化させた場合の燃費の計算結果を図 1.3 に、空気抵抗係数を变化させた時の結果を図 1.4 に示す。図 1.3 から、転がり抵抗係数の低減は、どのモードにも一様な燃費削減効果を与えることがわかる。一方、空気抵抗係数の低減は、走行速度の高い HW1 モードで顕著であるが、平均速度が約 15 km/h の N15 モードでの効果はわずかである。

走行抵抗値は、燃費や排出ガスに影響する車両側の重要な特性値である。軽量車の台上燃費試験における負荷設定では、テストコースの惰行試験による測定値 (届け出値) が使われることが多いが、今後、車種バリエーションの多い重量車の燃費評価制度を策定する場合には、個々の車両の走行抵抗値が適正であるかを

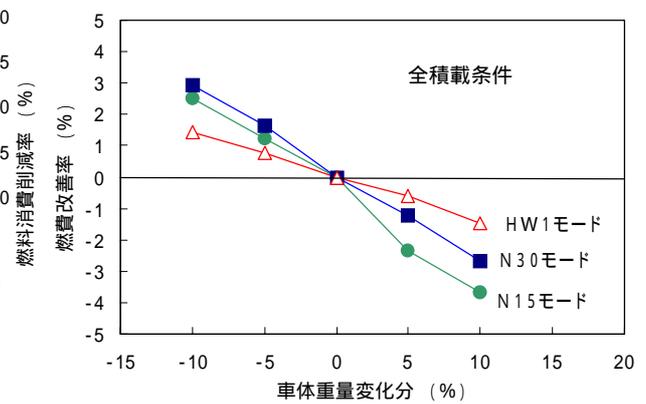


図 1.2 車体重量の変化が燃費に及ぼす影響

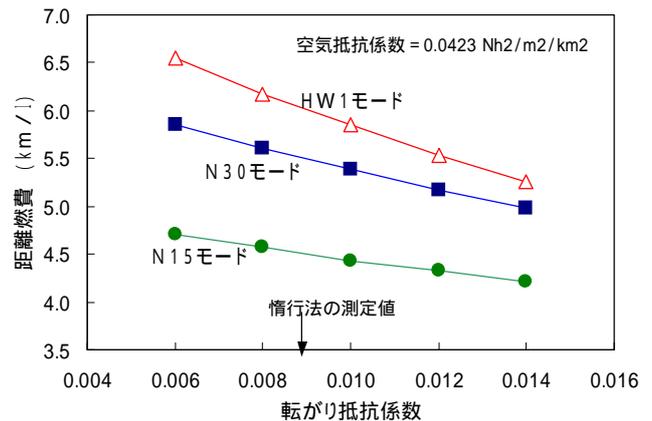


図 1.3 転がり抵抗係数が燃費に及ぼす影響

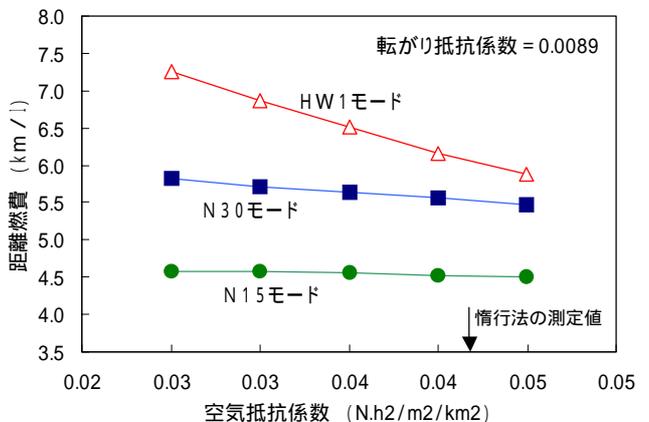


図 1.4 空気抵抗係数が燃費に及ぼす影響

チェックする仕組みが必要であろう。

### (3) 動力伝達損失の影響

エンジンの発生トルクが駆動輪に伝達されるまでには伝達損失が発生し、熱エネルギーに変化して散逸するため、燃費の悪化要因となる。車両パワートレイン系の改良で伝達損失が低減すれば燃費向上が期待できるが、逆に車両の整備不良等による損失増大の可能性もある。そこで動力伝達損失の変化がモード走行燃費に及ぼす影響を計算した。伝達効率の基準値としては、直結段で 98%、非直結段で 95%、最終段で 95% の値を与えた。図 1.5 に計算結果を示す。トータルの機械伝達ロスを 30% 低減させた場合には、燃費が 1 .

5 ~ 2.5%改善し、逆に伝達ロスが30%増加した場合は燃費が約3%悪化することがこの計算で判明した。

#### (4) エンジン側の燃費対策の効果

貨物の輸送で要求される走行仕事は、車体側の条件や走行モードにより変化するが、一方エンジンの熱効率が向上すれば、同一要求仕事に対する所要燃料が減少し燃費が向上する。すなわちエンジンの熱効率に係る技術対策も燃費改善の上で重要なので、その効果を燃費シミュレーションで検証してみた。計算を単純化するため、エンジンの高負荷運転域(60%負荷率以上)および低中負荷運転域(60%負荷率以下)の効率をそれぞれ独立に5%、10%改善する対策が施されたと仮定した場合のモード燃費改善効果を調べた。この条件で燃費マップを修正した計算結果を図16に示す。N15モードとN30モードに関しては、高負荷域の対策と低中負荷域への対策はほぼ同様な燃費向上効果が認められたが、高速走行のHW1モードでは低中負荷域の熱効率向上の方が燃費改善効果が大いことがわかる。

#### 4. まとめ

自動車の省エネルギー対策を総合的に進めるには、燃費関連要因の影響度を定量的に把握することが重要と考え、本報では燃費シミュレーション推計法を用いて、重量車の走行形態や積載条件、車両条件などが実走行モード燃費に与える影響度を解析した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 平均速度の高い走行条件ほど区間燃費( $\text{km}/\text{l}$ )も向上し、各燃費値の傾向は概ね平均速度の2次式で近似された。また走行時の燃料消費量( $\text{l}/\text{km}$ )は、モード走行のエンジン要求仕事率( $\text{KWh}/\text{km}$ )と高い相関性のあることがわかった。したがって走行条件から燃料消費の傾向を推計するには、モード平均車速よりも要求仕事量を使うのが適している。
- (2) 貨物の積載条件は、平均速度の低いモードほどまた最大積載量の大きい車ほど燃費への影響が大きい。一方、貨物輸送時のエネルギー利用率を示す燃費表示単位である $\text{km}/\text{トン}/\text{l}$ を用いた場合は、積載量の大きい車で高積載率の時ほどこの数値が良く傾向にある。また同一量の貨物輸送に関しては、貨物を集約して車の台数を減らすのが総燃料消費の抑制に有効である。
- (3) 運転操作では、追従運転可能な範囲でできるだけ低

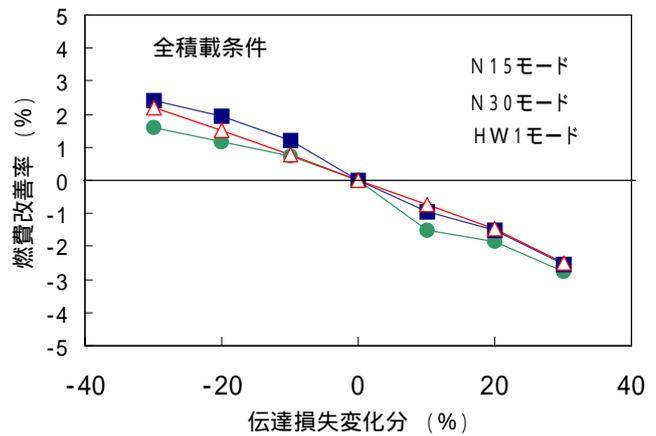


図15 動力伝達損失の変化が燃費に及ぼす影響

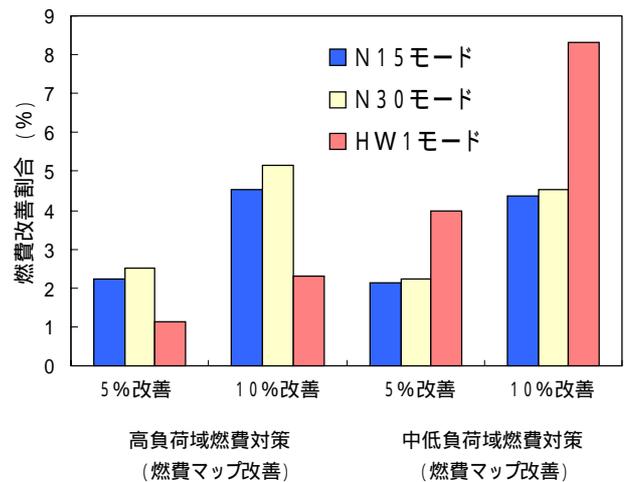


図16 エンジン効率の改善が燃費に及ぼす影響

い回転数域を使う変速操作が燃費削減に有効である。またアイドルストップの燃費効果は、平均車速の低い走行モードほど大きく、平均速度 $5\text{ km/h}$ の渋滞モードでは約30%の消費削減効果があった。

- (4) 車両側の燃費影響要因として、車体重量の増減、転がり抵抗係数、空気抵抗係数、動力伝達損失、及びエンジン使用域別の熱効率改善に関して、それぞれのモード走行燃費に対する影響度を定量的に示した。

#### 5. 参考文献

- (1) 野田他；平成12年度交通研究発表会前刷30
- (2) 野田他；1998年自動車技術会春季学術講演会前刷り集127
- (3) 野田他；平成11年度交通研究発表会前刷28