

② 重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第2報）

— エンジンの過渡状態が燃料消費率に及ぼす影響 —

環境研究領域 ※水嶋 教文 山口 恭平 新国 哲也 鈴木 央一

1. はじめに

我が国では、平成 18 年から世界に先駆けて重量車の燃費基準が導入され、同時に燃料消費率試験法⁽¹⁾⁽²⁾(以下、重量車燃費試験法)も運用が開始された。図 1 に重量車燃費試験法の概要を示す。本試験法では、エンジン台上試験装置を用いて定常状態で計測したエンジン回転数[rpm]およびトルク[N・m]の組み合わせと燃料消費量[L/h]の関係を示すエンジン燃費マップに基づき、燃費計算プログラムによりモード走行時の燃料消費率(以下、燃費)を計算する方法(以下、シミュレーション法)を採用している。燃費計算プログラムは、都市内走行モードおよび都市間走行モードの车速パターンを 1 秒毎のエンジン回転数およびトルクに変換するプロセスと、これにより得られたエンジン回転数およびトルクの条件における瞬時燃料消費量を燃費マップから読み取り、これを積算することでモード全体の燃料消費量および燃費[km/L]を計算するプロセスに分かれている。

本試験法は、図 2 に示すようにシミュレーション法による燃費計算値と、車両ベースで実測した過渡状態における燃費計測値が概ね同等であるという前提の基、運用が開始された⁽²⁾。ただし、図 2 の結果は表 1 に示す諸元の供試車両およびエンジンを用いて評価したものであり、中には現行規制で存在しない自然吸気(NA)エンジンのものも含まれている⁽³⁾。

図 3 に、表 1 に示した供試エンジンと平成 26 年時

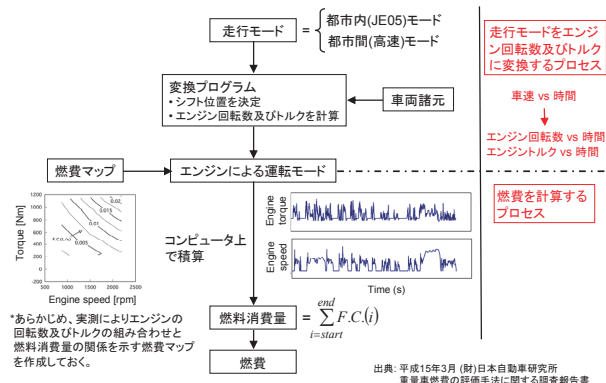


図1 重量車燃費試験法におけるシミュレーション概要

点で市販されているエンジンに対して、総排気量と最大トルクおよび最高出力の関係を整理した。この結果、平成 26 年時点で市販されているエンジンは表 1 に記載の供試エンジンと比較して、同一排気量での最大トルクおよび最高出力が向上し、エンジンによっては最大トルクが 2 倍程度となっているケースも存在する。これは、近年の重量車用ディーゼルエンジンは燃費および排出ガス対策のために高過給化されていることに起因し、重量車燃費試験法の運用が開始された平成 18 年とはエンジンを取り巻く状況が大きく変化していることを意味している。

一般的に、ターボチャージャを搭載した過給エンジンの過渡運転時においてアクセルを踏み込んだ際の運転状態は、過給の応答遅れにより、定常状態におけ

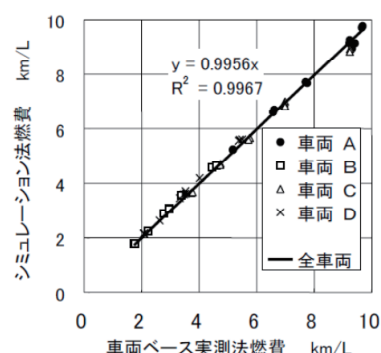


図2 シミュレーション法による燃費計算精度⁽³⁾

表1 図2の評価に使用した供試車両の諸元⁽³⁾

供試車両		A	B	C	D
車体	全長 mm	4690	11990	8490	7890
	全幅 mm	1695	2490	2260	2490
	全高 mm	1990	2950	2500	2800
	車両重量 kg	2140	8590	3770	6640
	定員 人	2	3	2	2
	最大積載量 kg	2000	11250	3750	12000
車両総重量 kg		4250	19950	7630	18750
エンジン	供試エンジン	a	b	c	d
	シリンダ数・配置	直列4気筒	V型8気筒	直列6気筒	直列6気筒
	種類	DI, NA	DI, NA	DI, TI	DI, TI
	圧縮比	18.4	17.3	17.5	16.0
	総排気量 cc	4104	21205	7127	10520
	最高出力 PS / rpm	125 / 3200	400 / 2200	220 / 2700	300 / 2150
変速機	最大トルク kgm / rpm	29.5 / 2000	142 / 1400	66.0 / 1700	110 / 1100
	1速	5.339	6.326	6.120	6.523
	2速	2.792	4.139	3.948	4.159
	3速	1.593	2.326	2.580	2.700
	4速	1.000	1.480	1.540	1.625
	5速	0.788	1.000	1.000	1.000
	6速	-	0.731	0.763	0.692
最終減速比		4.625	5.571	3.900	5.250

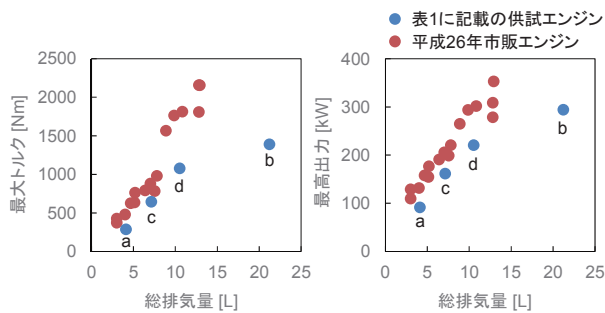


図 3 ディーゼルエンジンの総排気量と最大トルクおよび最高出力の関係

る同一エンジン回転数および同一トルク時の運転状態よりも新気量が不足しやすいなど異なる状態にある。つまり、近年の高過給エンジンの場合は従来のものと比較して、シミュレーション法による燃費計算値(以下、燃費計算値)と過渡状態で実測した燃費計測値(以下、燃費計測値)が乖離しやすい環境にあると考えられる。

そこで本研究では、前報にて国内の試験法と諸外国の試験法を比較することで課題を明らかにするとともに、本報にて最新型のエンジンを用い、燃費計算値と燃費計測値をそれぞれ評価し、エンジンの過渡状態が燃費に及ぼす影響を明らかにした。さらに、シミュレーション法において過渡状態の燃費を適正に評価する方法を検討した。

2. 方 法

2. 1. 評価方法

エンジンの様々な過渡状態を想定し、燃費計算値と燃費計測値を比較した。想定する車両諸元は表 2 に示す 5 仕様であり、全て同一型式のエンジンを搭載することを前提としている。なお、それぞれについて積載量を空積載、半積載、および全積載として計 15 通りの諸元を設定することで、エンジンの様々な過渡状態を想定した。これらの諸元に対して、図 4 に示す重量

表 2 評価に用いた車両諸元

No	全高 [m]	全幅 [m]	車両 重量 [kg]	最大 積載量 [kg]	乗車 定員 [人]	変速機ギア比 1速, 2速, 3速, 4速, 5速, 6速	終減速 機ギア 比	タイヤ 動的負 荷半径 [m]
1	2.106	1.780	2482	2396	3	5.080, 2.816, 1.587, 1.000, 0.741	5.275	0.343
2	2.099	1.751	2356	2000	3	5.315, 2.908, 1.558, 1.000, 0.721	4.555	0.338
3	2.041	1.729	2652	2995	3	5.979, 3.434, 1.752, 1.000, 0.795	5.571	0.364
4	2.363	2.161	2979	3749	3	5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759	5.125	0.366
5	2.454	2.235	3543	4275	3	5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759	5.375	0.376

車燃費試験法で定められた都市内走行モードおよび都市間走行モードの燃費を、シミュレーション法による計算とエンジン台上試験装置での過渡運転による計測の両方で評価し、比較を行った。

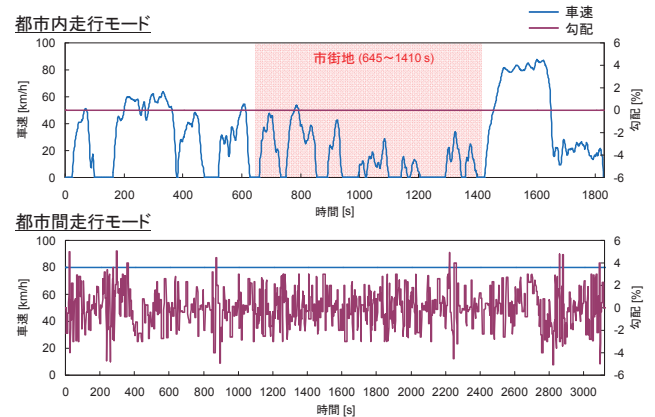


図 4 都市内走行モードおよび都市間走行モード

2. 2. 実験装置および方法

実験は図5に示すエンジン台上試験装置を用いて実施した。供試エンジンの諸元を表 3 に示す。本エンジンは、ポスト新長期排出ガス規制に適合した総排気量 3.0 L の量産型直列 4 気筒ターボディーゼルエンジンである。燃料流量の計測には容積式流量検出器(小野測器製、FP-2140H)を使用した。計測した燃料流量は、燃料流量計の直後に設けた温度センサによる燃料温度に基づき、JIS K2249-1987 付表 II 表 2B「燃料油の温度に対する容量換算係数表」を用いて燃料温度 288 K(15 °C)における体積に換算した後、同温度における燃料密度を乗じ、質量ベースで評価を実施した。

実験では、シミュレーション法での燃費計算に用いるための定常状態における燃費マップの計測に加え、表 2 に示した車両諸元における空積載、半積載、全積

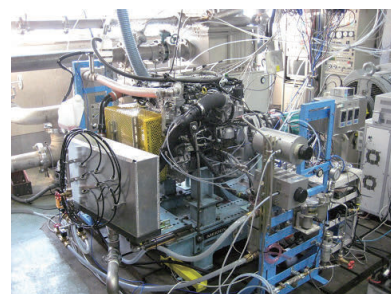


図 5 エンジン台上試験装置

表 3 供試エンジン諸元

エンジンタイプ	直列 4 気筒ディーゼルエンジン
過給システム	ターボインタークーラ
燃料供給システム	コモンレール
総排気量	3.0 L
最高出力/回転数	110 kW/2800 rpm
最大トルク/回転数	375 Nm/1400-2800 rpm
排出ガス規制適合	ポスト新長期排出ガス規制適合

載状態(車両諸元 5 通り×積載率 3 通り=15 通り)での、都市内走行モードおよび都市間走行モードにおける燃費計測を行った。

3. 結果および考察

以上で述べた各種車両諸元で都市内走行モードおよび都市間走行モードの運転を仮定した際の、燃費計算値と燃費計測値を比較した結果を図6に示す。ここでは、都市内走行モードの645～1410秒における市街地走行モードについても同様に評価を実施した。市街地走行モードは、低速での加減速が多く、エンジンの過渡的な変化が全体に及ぼす影響が大きくなる。なお、燃費計算プログラムにおける試験サイクルは、エンジンを過渡運転した際に計測されたエンジン回転数およびトルクを読み込ませたものを用い、エンジン台上試験装置の制御性による影響を排除した。

同図に示すとおり、設定する車両重量が重くなるにつれて、都市内走行モードおよび市街地走行モードにおける燃費計算値と燃費計測値の乖離が大きくなる傾向となった。図7に一例として、同一車両(車両No.5)における積載量の違い(空積載と全積載)が、都市内走行モードにおける試験サイクルに及ぼす影響を示すが、重量が増加することにより特にトルクの変動幅が著しく増加していることがわかる。つまり、本供試エ

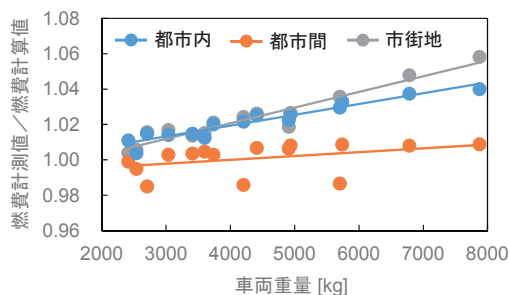


図6 車両重量と燃費計測値／燃費計算値の関係

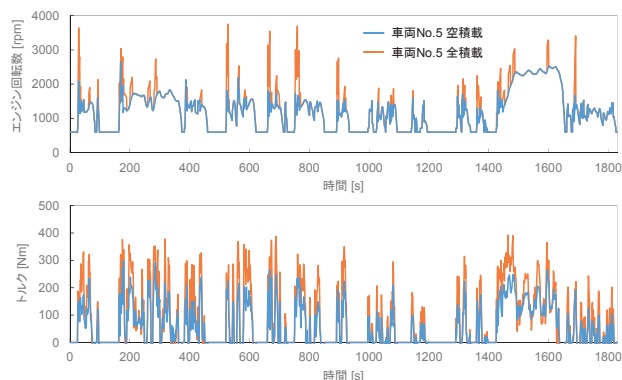


図7 車両重量の違いによる都市内走行モードの試験サイクルに及ぼす影響

ンジンでは、車両重量を重く設定して都市内走行モードや市街地走行モードのように加減速の多い走行モードを運転した場合、エンジンの試験サイクルの過渡的な変化が大きいため、燃費計算値と燃費計測値の乖離が大きくなり、燃費計測値が計算値より最大で6%程度高くなることが明らかとなった。

一方、都市間走行モードにおいては、燃費計算値と燃費計測値は概ね同等の結果となった。これは、都市間走行モードではエンジン回転数が概ね一定であり、トルクのみの変動であるため、全体に占める影響度は小さいためである。

4. エンジン過渡状態における燃費計算方法の検討

燃費計算値と燃費計測値が異なる評価結果となることは概ね予想できることであり、欧州でもその補正方法が検討されている⁽⁴⁾。以下にその手順を過渡補正方法1として示す。

【過渡補正方法1】

- ① WHTC(World Harmonized Transient Cycle)をエンジンで実際に運転した際の燃費計測結果と、シミュレーション法による燃費計算結果を用い、Urban、Rural、Motorway のパート毎に燃費計測結果／燃費計算結果を WHTC correction factor(以下、WCF)として算出する。
- ② Urban、Rural、Motorway のパート毎に平均正出力も同時に算出し、WCF を平均正出力の関数として導出する。
- ③ ②で得られた関数を用いて、都市内、都市間、および市街地走行モードといった燃費試験サイクルの平均正出力に応じた WCF を算出し(図8参照)、燃費計算値に乘じる。

一方、当研究所では、より高精度な過渡補正方法を構築することを目指し、欧州とは異なる方法を検討している。その方法を以下の過渡補正方法2として示す。

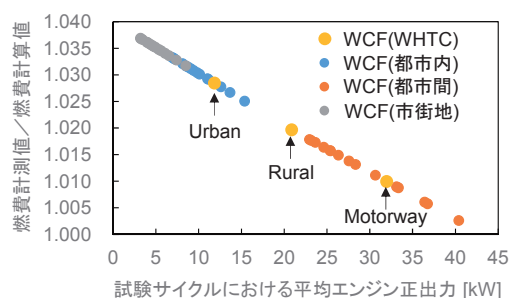


図8 各種車両諸元および走行モードにおける WCF の算出結果

【過渡補正方法2】

- ① WHTC をエンジンで実際に運転した際に ECU(Engine Control Unit)から取得した瞬時燃料消費量の計測結果と、ECU の燃料消費量から作成したエンジン燃費マップを用いてシミュレーション法により計算した瞬時燃料消費量の算出結果の比率から、統計処理により補正係数の関数 $CF = f(N_e, T_e, dN_e/dt, dT_e/dt)$ を導出する。ここで、 N_e はエンジン回転数[rpm]、 T_e はトルク[Nm]、 t は時間[s] である。なお、シミュレーション法で瞬時燃料消費量を算出する際にはエンジンの慣性モーメントによる過渡影響の補正も行う。
- ② シミュレーション法による瞬時燃料消費量に①で得られた関数で求めた CF を乗じ、過渡状態を考慮した瞬時燃料消費量を算出する。
- ③ ②で得られた補正後の瞬時燃料消費量を積算し、燃費を算出する。

図9に過渡補正方法2の①で得られた CF の算出式により算出した過渡補正係数と、瞬時燃料消費量の計測値と計算値の比率を比較した結果を示す。この結果、過渡補正係数の算出結果と瞬時燃料消費量の計測値/計算値とがほぼ 1:1 の関係にあるので、本手法は概ね妥当であることが確認できる。しかしながら、決定係数 R^2 は 0.691 と強い相関があるとはいえない難く、本手法については改善の余地を残している。

図10に、各種車両諸元および走行モードにおいて、上述した2種類の過渡補正方法を適用した際の燃費計測値と燃費計算値の比較を示す。なお、同図において、参考としてエンジン慣性モーメント分のみを補正した場合の燃費計測値と燃費計算値の比較も示した。本結果より、過渡補正方法2の方が各種車両諸元および走行モードで計測値/計算値が概ね1に近い水準で推移しており、過渡補正方法1よりも高精度に補正可能であることが確認できた。ただし、車両重量が比較的

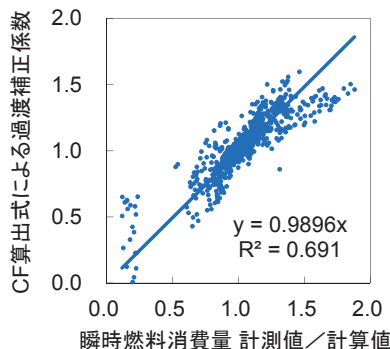


図9 過渡補正方法2における補正係数の予測精度

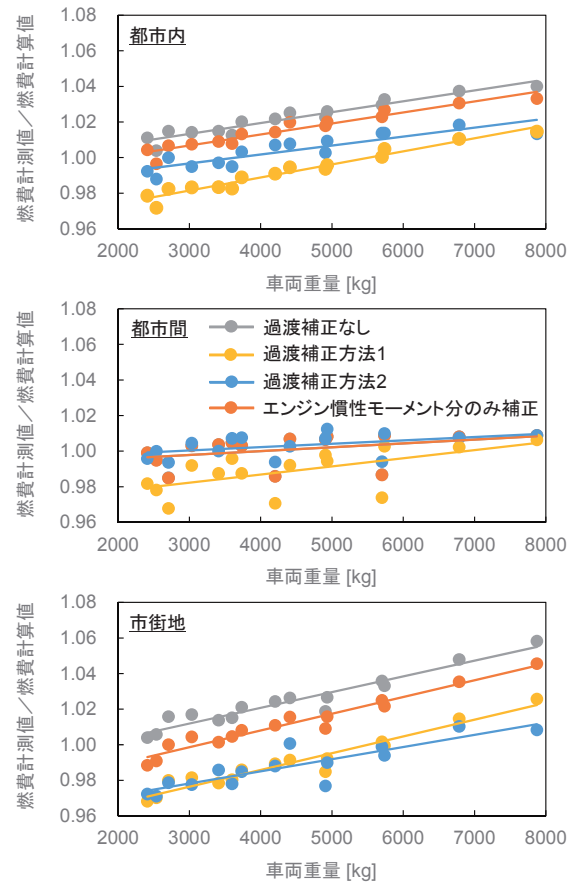


図10 各種車両諸元および走行モードにおける過渡補正方法1および2の適用効果

軽量な条件における市街地走行モードでは、補正をすることで燃料消費量を過小評価する結果となっている。これに関しては今後原因を明らかにし、改善策を検討する予定である。

5. おわりに

重量車燃費試験法に対して、より精度の高い過渡補正方法を検討した。今後は、本手法のさらなる改善および他のエンジン機種に対する本手法の適用性を評価するとともに、試験法として運用する際の課題を明らかにし、課題解決に向けて取り組む予定である。

参考文献

- (1) “燃料消費率試験(重量車)”、TRIAS 99-007-01
- (2) “総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会重量車判断基準小委員会・重量車燃費基準検討会 最終取りまとめ”、(2005)
- (3) “重量車燃費の評価手法に関する調査報告書” 一般財団法人日本自動車研究所、(2003)
- (4) Development and validation of a methodology for monitoring and certification of greenhouse gas emissions from heavy duty vehicles through vehicle simulation, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/final_report_co2_hdv_en.pdf