

講演 5. 車両燃費評価におけるシミュレーションの活用と国際動向

自動車研究部

※水嶋 教文

1. はじめに

昨今、膨大な人的・経済的被害をもたらす局所的集中豪雨などの異常気象が世界中で発生しており、これらを引き起こすと考えられる地球温暖化を防止する観点からも、自動車の燃費向上は重要な課題である。また、自動車の燃費向上に対する市場からの要求も年々高まっており、自動車メーカ各社は電動化などの新たなパワートレイン技術に加え、多くの技術改良を積み上げることで燃費向上を図っている。

交通安全環境研究所では、上記の燃費向上に資する新たな技術の評価手法を検討することに加え、国における将来の燃費基準値の策定を支援するため、乗用車を対象として最新型車両の燃費評価を実施している。しかしながら、個別技術の燃費影響度をシャシダイナモ試験により評価する場合、燃費への影響が小さい技術に対しては、試験ばらつきなどの影響により詳細な評価が困難である。そこで、車両燃費シミュレーションを活用することで個別技術による燃費影響度を評価する手法を考案したので紹介する。また、交通安全環境研究所と定期的に情報交換をしている米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency) (以下、「EPA」という) National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory (以下、「NVFEL」という) における当該分野の動向について紹介する。

2. 交通安全環境研究所における取組

2. 1. 乗用車燃費シミュレーションの構築

当研究所においては、既にシミュレーションの精度が検証されており、認証試験において使用されている重量車燃料消費率計算用プログラム¹⁾、²⁾をベースに、乗用車燃費シミュレーションを構築した。重量車燃料消費率計算用プログラムはソースコードが開示されており任意にダウンロードできるが、走行モード、車両諸元、トランスミッション、変速アルゴリズム、タイヤころがり抵抗、車体空気抵抗は重量車用のもの

となっている²⁾。このため、これらの箇所に対しては乗用車用に新たにモデルを構築した。プログラムの改変箇所を図1に青字で示す。次節以降でその代表的なものについて解説する。

2. 2. 供試車両及びサブシステムのモデル化

当研究所は千葉大学大学院次世代モビリティパワーソース研究センターと共同で、排気量 1.6 L の過給ガソリンエンジンを搭載した乗用車を供試車両とし、エンジン燃費マップ、タイヤころがり抵抗係数 (以下、「RRC」という) [N/kN] 及び車体の空気抵抗係数 [N/(km/h)²] を取得するとともにトランスミッションといったサブシステムのモデルを構築し、シミュレーションに適用した。なお、供試車両はトランスミッションに無段変速機 (CVT) を搭載している。

エンジン燃費マップは、供試車両に搭載されているエンジンと同一型式のエンジンによる台上試験装置を用いて取得した。図2に取得したエンジン燃費マップを示す。また、RRC はタイヤ単体試験装置を用いて測定し、車体の空気抵抗係数は供試車両の惰行試験により得られた走行抵抗のうち、速度の2乗に比例する項の係数から算出した。

トランスミッションのモデルは、シャシダイナモ試

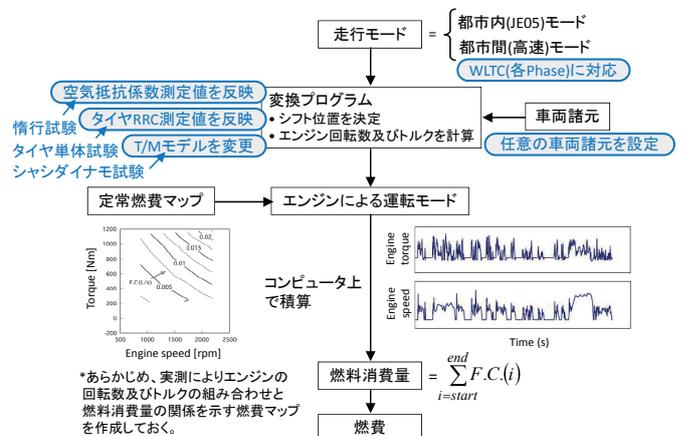


図1 重量車燃料消費率計算用プログラムの改変箇所

験装置を用いて加速試験により計測・取得したトランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップと、一定速度試験により計測・算出した式(1)に示す伝達効率の実験モデルとした。図3にトランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップを、図4に伝達効率の計測結果を示す。

$$\eta_{T/M} = aN_{T/M,out}^2 + bN_{T/M,out} + cr_{T/M}^2 + dr_{T/M} + e \quad (1)$$

ここで、 $\eta_{T/M}$ は伝達効率、 $N_{T/M,out}$ はトランスミッション出力軸回転数[rpm]、 $r_{T/M}$ はトランスミッションの変速比、 $a \sim e$ は係数である。

2. 3. 乗用車燃費シミュレーションモデルの検証

以上で構築した乗用車燃費シミュレーションから計算したWLTC (Worldwide Light-duty Test Cycle) 走行時の燃費をシャシダイナモ試験結果と比較した。図5にWLTCの各フェーズで燃費を比較した結果を示す。この結果、計算と実測の相違は最大でも5%程度であり、構築した乗用車燃費シミュレーションモデル

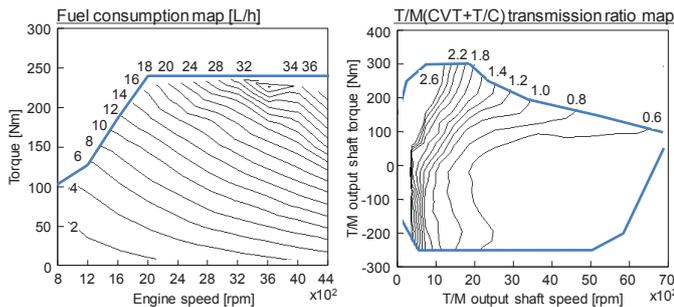


図2 エンジン燃費マップ

図3 トランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップ

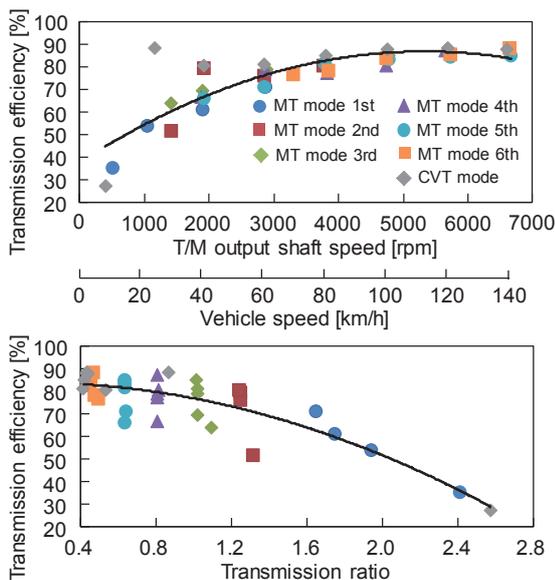


図4 トランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の伝達効率の計測結果

は十分に高い計算精度を有していることが確認できた。図6にWLTCにおけるエンジン回転数、図示平均有効圧 (以下、「IMEP」という)、駆動力、燃料消費量の計算結果と計測結果の比較を示す。エンジン回転数の比較結果からはトランスミッションの変速比が、IMEPの比較結果からはトランスミッションの伝達効率が適切にモデル化できたといえる。

2. 4. 乗用車燃費シミュレーションの活用事例

図7に、タイヤRRC等級及び空気圧の違いがWLTC走行燃費に及ぼす影響をシミュレーションにより評価した結果を示す。この結果、タイヤRRC等級の変化に対しては、最大で7%程度燃費が変化した。また、各RRC等級のタイヤにおいて指定空気圧の-10%から+10%の範囲で空気圧を変化させた場合、燃費への影響は1%程度と小さいことがわかる。

図8に一次元エンジンシミュレーションツールGT-POWERにより予測したCooled EGR、可変圧縮比(VCR)、可変動弁機構(VVT+VVA)といったエンジン要素技術による熱効率向上や6速マニュアルトランスミッション(MT)化によるWLTC走行燃費の改善効果を、シミュレーションにより評価した結果を示す。この結果、これらの要素技術を全て適用することで、最大で20%程度燃費が改善した。

このように、実車での計測データをベースとして構築した乗用車燃費シミュレーションを活用することで、個別技術の改良による燃費改善効果を定量的に評価できることが示された。

3. EPA-NVFELの動向

3. 1. EPA-NVFELにおける取組の概要

EPA-NVFELにおいては、Light-Duty Vehicle (LDV)の将来の温室効果ガス(Greenhouse Gas) (以下、「GHG」という) 排出規制を策定するためのデータ収

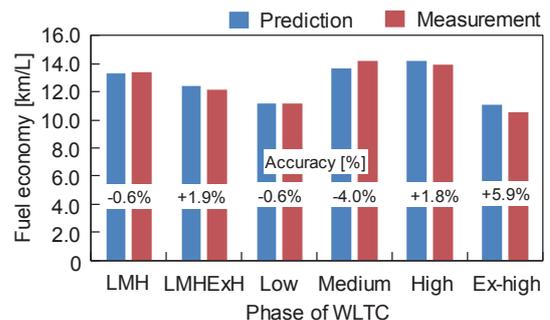


図5 WLTC走行燃費のシミュレーション結果と実測結果の比較

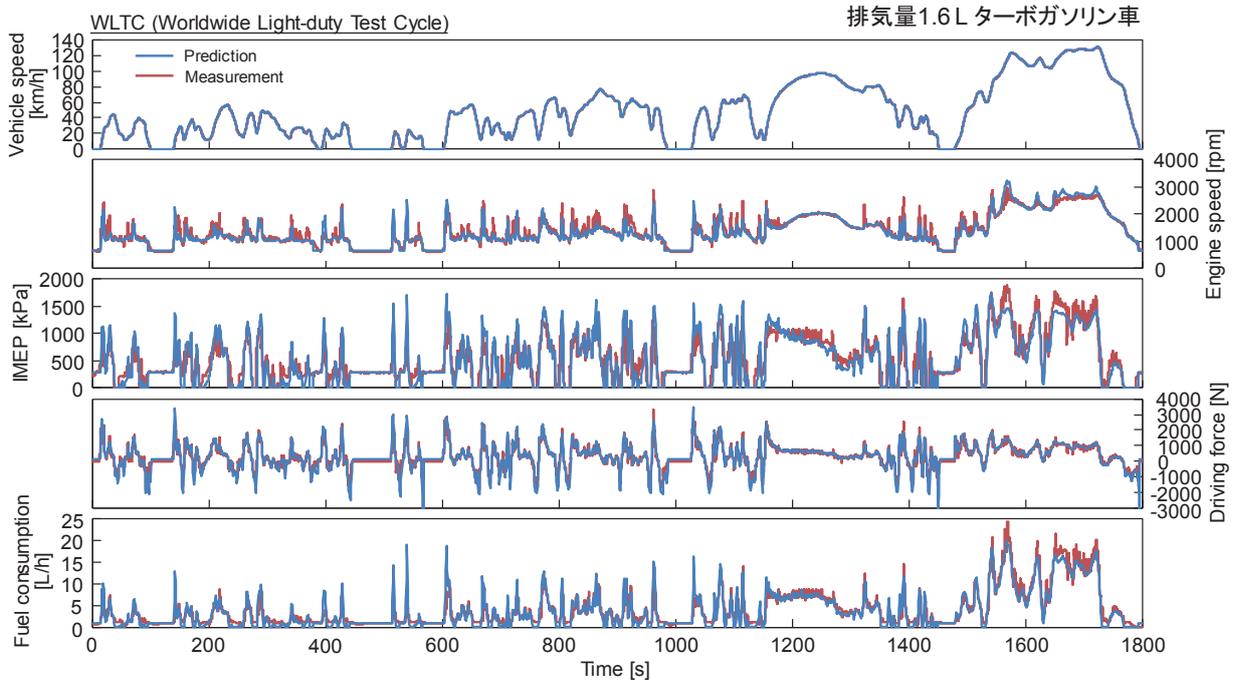


図6 WLTC 走行時のエンジン回転数、図示平均有効圧、駆動力、燃料消費量の計算結果と計測結果の比較

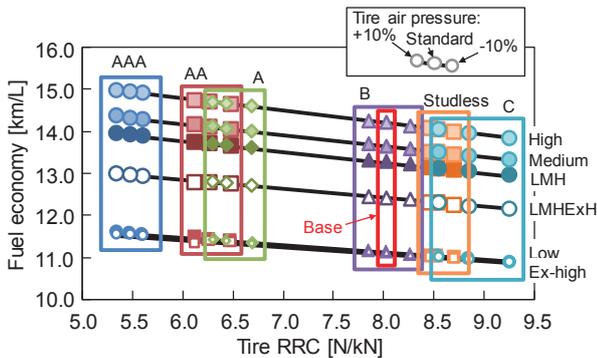


図7 タイヤ RRC 等級及び空気圧の違いが WLTC 走行燃費に及ぼす影響

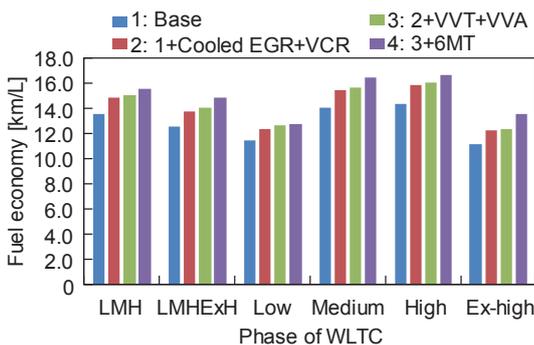


図8 エンジン要素技術、トランスミッション変更による WLTC 走行燃費の改善効果

集を目的として、最新型車両における燃費性能のベンチマーキングを実施するとともに、Advanced Light-duty Powertrain and Hybrid Analysis (以下、「ALPHA」という)と呼ばれる独自に開発した車両燃費シミュレーションツールを用い、将来普及が見込まれる技術を搭載した車両の燃費予測を行っている。

3. 2. 車両燃費シミュレーションツール ALPHA の概要

ALPHA は物理原則に基づいた車両燃費シミュレーションツールである。シミュレーションの基本的な考え方は国土交通省の重量車燃料消費率計算用プログラムと同じであり、モード走行時における車両燃費をエンジンの燃費マップから計算するモデルとなっている。ALPHA のプログラムは MATLAB/Simulink で構築されており、EPA が WEB で無償配布しているオープンソースコードである。初期のバージョンである ALPHA v1.0 は、シャシダイナモを用いた認証試験では燃費改善効果を評価することが困難なオフサイクル技術の評価を目的で用いられていた³⁾。近年では、将来技術による燃費改善効果を予測し、2022~2025 年(モデル年) GHG 排出規制値の妥当性を評価する目的で ALPHA v2.0 が運用されている。なお、v2.0 は v1.0 に対して、より現実的な車両挙動の表現に加え、エネルギーフローの解析を可能としている。

3. 3. 最新型車両の燃費性能ベンチマーキング

ALPHA に入力するエンジンの燃費マップやトランスミッションの伝達効率、エンジン台上試験装置を用いて EPA-NVFEL が独自に計測・取得し、ベンチマーキングしている。現在は EPA の WEB サイトで、

- ・トヨタ Camry 搭載排気量 2.4 L ガソリンエンジン
- ・シボレー Malibu 搭載排気量 2.5 L ガソリンエンジン

- ・マツダ Mazda 3 (日本名: アクセラ) 搭載排気量 2.0 L ガソリンエンジン (スカイアクティブエンジン)
- ・フォード F150 搭載排気量 2.7L ターボガソリンエンジン
- ・ホンダ Civic 搭載排気量 1.5L ターボガソリンエンジンの燃費マップ、及び次元エンジンシミュレーションツール GT-POWER や文献値から予測した将来エンジンの燃費マップが公開されており、ALPHA の入力データとして使用できるようになっている⁴⁾。

エンジンのベンチマーキングに際しては、エンジンを車両搭載状態と同一の制御状態で運転する必要がある。そこで EPA-NVFEL では、図 9 に示すようにエンジン台上試験で使用する ECU (Engine Control Unit)



図 9 EPA-NVFEL におけるエンジン試験方法⁵⁾

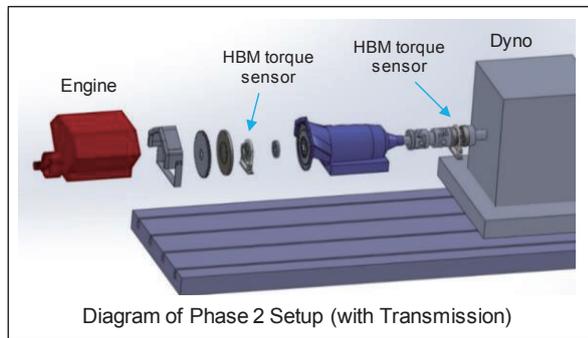


図 10 トランスミッションの伝達効率計測方法⁵⁾

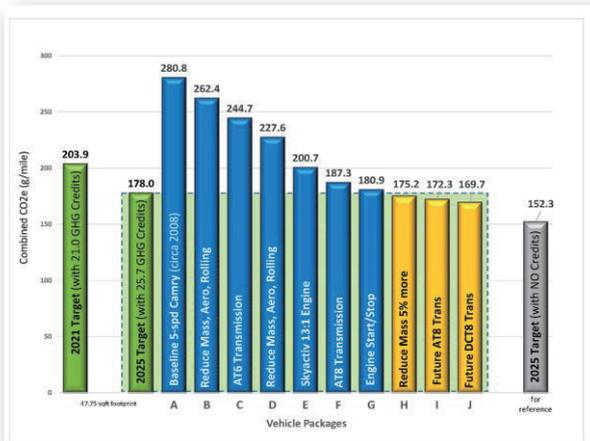


図 11 将来技術導入時における米国燃費試験サイクルの GHG 排出量削減効果⁶⁾

と試験室に横付けした車両の制御ユニットを接続することで、エンジン警告灯 (MIL: Malfunction Indication Lamp) を点灯させずにエンジンを運転する方法を構築している⁵⁾。

トランスミッションのベンチマーキングに際しては、図 10 に示すようにエンジン出力軸 (トランスミッションの入力軸) とトランスミッション出力軸にフランジ型軸トルク計を取り付け、エンジン台上試験装置により伝達効率を計測する手法を適用している⁵⁾。

3. 4. 将来技術導入時の GHG 排出量削減予測の例

EPA-NVFEL において、トヨタ Camry (2008 年式) をベースに車体軽量化、空気抵抗及びころがり抵抗の低減を考慮した上で、ベンチマーキングした最新のエンジンやトランスミッションのデータを ALPHA に適用し、GHG 排出量削減効果を予測した例を図 11 に示す⁶⁾。この結果、各種オフサイクルクレジットを適用すれば 2025 年の GHG 排出規制値と同等の性能を得られることが示されており、EPA-NVFEL ではこのようにして GHG 排出規制値の妥当性を評価している。

4. おわりに

今後は電動化車両に対しても燃費シミュレーションを活用し、燃費向上技術の評価・将来予測を実施するため、モデル構築手法を検討する予定である。また、EPA-NVFEL との意見交換を通して、引き続き米国の GHG 排出規制に関わる研究動向を調査する。

参考文献

- 1) “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)
- 2) 国土交通省: 重量車燃料消費率計算用プログラム、http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000006.html
- 3) Byungho Lee, et al., “Development of Advanced Light-Duty Powertrain and Hybrid Analysis Tool”, SAE 2013-01-0808, (2013)
- 4) EPA ALPHA ツール WEB サイト、<https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/advanced-light-duty-powertrain-and-hybrid-analysis-alpha#engine-mapping>
- 5) NVFEL 提供資料、NTSEL-NVFEL Technical Exchange Meeting、(2017)
- 6) John Kargul, et al., “Estimating GHG Reduction from Combinations of Current Best-Available and Future Powertrain and Vehicle Technologies for a Midsized Car Using EPA’s ALPHA Model”, SAE 2016-01-0910, (2016)