

講演2.HILS 試験法の拡張による重量車 RDE 代替評価の検討

環境研究部

※奥井 伸宜

1. はじめに

自動車の実路走行における排出ガスとシャシダイナモを使ったサイクルをベースとする排出ガスの試験結果には、乖離があるとの指摘がある。このため、欧州ではディーゼル及びガソリン乗用車の路上走行 (RDE : Real Driving Emission) 試験が 2018 年より開始されている。日本においては、ディーゼル乗用車の RDE 試験が 2022 年より開始されることが決まり、独立行政法人自動車技術総合機構審査事務規程 (TRIAS : Test Requirements and Instructions for Automobile Standard) の整備等が進められている。一方、トラックやバス等の重量車に対する RDE 試験の適用は、現時点で未定である。

これらの背景から、実際の道路状況下で重量車の燃費や排出ガスを乗用車と同様に評価することが望ましい。しかし、重量車は同じパワートレインを数多くの車種に展開しており、RDE 試験で重量車全ての車両仕様を評価することは困難である。ここで、重量車のカタログに記載されている燃費や排出ガスは、計算による「シミュレーション法¹⁾」や「HILS (Hardware in the Loop Simulation) 法²⁾」が用いられ、すべての仕様を効率よく評価できる手法となっている。

本研究では、HILS 手法を用いながら実機のエンジンや各種装置の特性を考慮できるように拡張することで、重量車 RDE の代替評価の可能性を検討した。

2. HILS 試験法の拡張 : 現在の構築状況

図 1 中央に示す HILS は、車両のみならず、エンジン、電動モータ及びバッテリー等のパワートレイン部分を机上の計算機にモデルで再現したものである。

エンジンについては、エンジン等の状態が安定した

表 1 電動重量車に対する試験法の整備状況 (日本)

	Hybrid (HEV)	Plug-in Hybrid (PHEV)	All Electric (EV)
乗用車	TRIAS_5-9-2009	TRIAS_5-9-2009	TRIAS_99-011-01
重量車	TRIAS_99-007~9-01 TRIAS_31-J041(1~3)-01 →HILS手法が採用 →エンジンHILS手法が望ましい!	→エンジンHILS手法を提案 <国交省、自工会と 勉強会を実施済み> (→エンジン+バッテリーHILS)	→バッテリーHILS手法を提案

「ホットスタート」が前提であり、モデルで再現することは比較的容易である。しかし、電動化技術搭載車両の実運用時は、コールドスタートとなる場面が多く、エンジン等は熱変化を伴うため、エンジンのモデル化は困難である。そこで、プラグインを含むハイブリッド重量車のコールドスタートの燃費や排出ガスを高精度に評価することを目的として、エンジン部分をモデルから実機に置き換えた「エンジン HILS」手法を構築した。

一方、バッテリー搭載容量が多い電気重量車は、車両走行時にバッテリーが発熱する、長期の使用過程下で劣化するなど、バッテリーの各種特性が時々刻々変化する。そのため、バッテリーをモデルで扱うことは容易ではない。そこで、電気重量車の電費を高精度に評価することを目的に、従来 HILS に実機バッテリーを組み合わせた「バッテリー HILS」手法を構築した。

電動重量車に対する試験法の整備状況を表 1 に、エンジン HILS 及びバッテリー HILS の概略図を図 1 に示す。HILS の拡張により得られる利点を以下に記す。

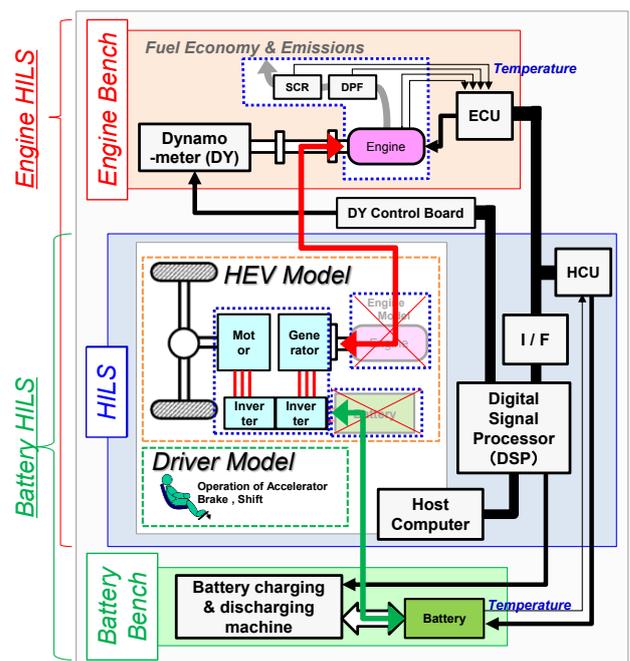


図 1 HILS の拡張化 (概略図)

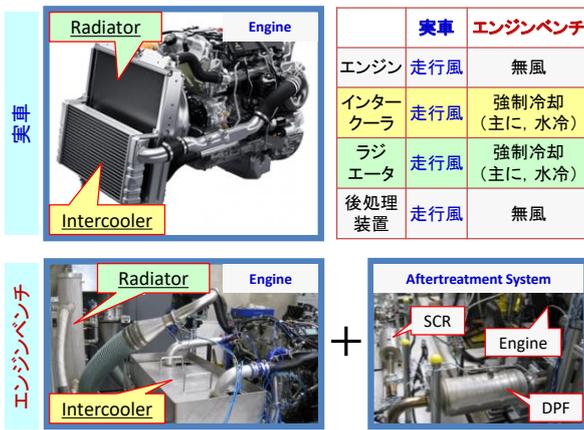


図2 HILSの拡張化(概略図)

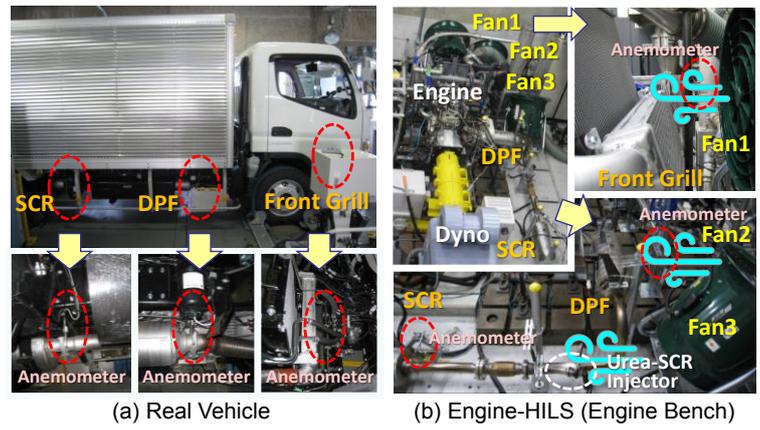


図3 走行風の再現準備(ファン, 風速計の設置)

①電動技術搭載重量車の燃費、排出ガスを高精度に評価することが可能となる (HEV、PHEVを含む)

- ・エンジンや排出ガス後処理装置の温度変化を加味した評価ができる
- ・バッテリーの温度変化や劣化状態を加味した評価ができる

②試験工数の削減が可能となる

- ・HILSプログラムを実行しながら実機エンジン、実機バッテリーを稼働
- ・実機エンジン、実機バッテリーの使用により、事前評価が不要 (燃費マップ、バッテリー特性マップ等の取得が不要)

③新たな大型設備投資が不要となる

- ・従来 HILS と保有エンジンベンチを使用
- ・バッテリーのセル単体と小型な充放電装置を使用

3. HILSの拡張によるRDE代替評価に向けて

3.1 エンジンベンチ試験手法

現在、重量車に適用されているシミュレーション法及びHILS法は、エンジンの計算モデルの構築が必要となることから、エンジンベンチ試験が適用されている。重量車RDEの評価をエンジンベンチ試験手法で実施する際、冷却方法が課題になると考えられる。

エンジンベンチ試験は、エンジンの運転指令値に、「時間 vs. エンジントルク」及び「時間 vs. エンジン回転数」が与えられる。その指令値には車速の概念がなく、実車両が実路を走行する際に発生する走行風をエンジン等の冷却に用いることができない。そのため、エンジンや排出ガス後処理装置は、空調機を用いて調整された室内温度環境下(25℃など)に設置され、この環境下の無風で試験が行われている。さらに、従来試験手法は、エンジン給気冷却用のインタークーラ、エンジン冷却用のラジエータなどは、図2に示す

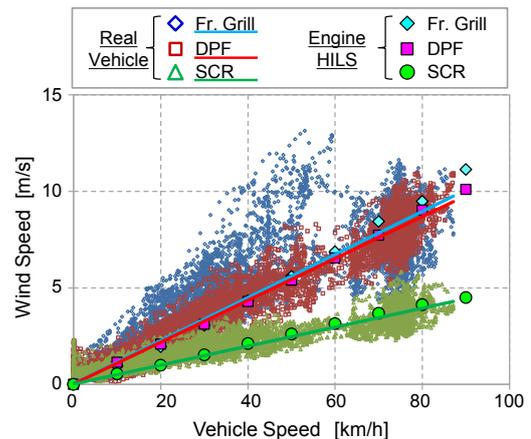


図4 走行風の取得及び再現

車両純正品とは異なる水冷方式の熱交換器に置き換えられている。

3.2 エンジンHILS試験手法

エンジンHILSは、目標車速を仮想車両が追従走行しながら、エンジン駆動に必要な情報をエンジン制御装置 (ECU: Engine Control Unit) に直接入力する。このため、エンジン運転中に車速情報が活用できる。

3.3 エンジンHILSを用いた走行風の再現

(1) 実走行時の走行風の実態把握

市販のディーゼルトラック(キャンター:三菱ふそうトラック・バス)を供試車両として、「市街地~高速~郊外」から成る実路ルートを走行し、走行風と車速の関係を調査した。この際、図3(a)に示すとおり、車両のフロントグリル後、排出ガス後処理装置DPF(Diesel Particulate Filter)前、SCR(Selective Catalytic Reduction)前に風速計(SYSTEM 6244:KANOMAX)を設置した。

結果を図4に示す。フロントグリル後とDPF前の風速はほぼ同等で、SCR前の風速はそれらの半分程度であることが分かった。

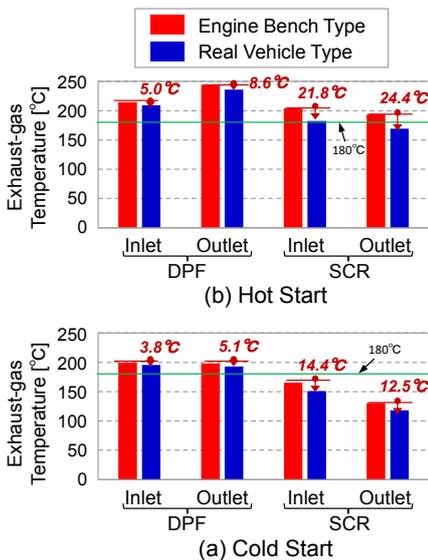


図5 排出ガス後処理装置へ及ぼす冷却の影響 (DPF, SCR 温度)

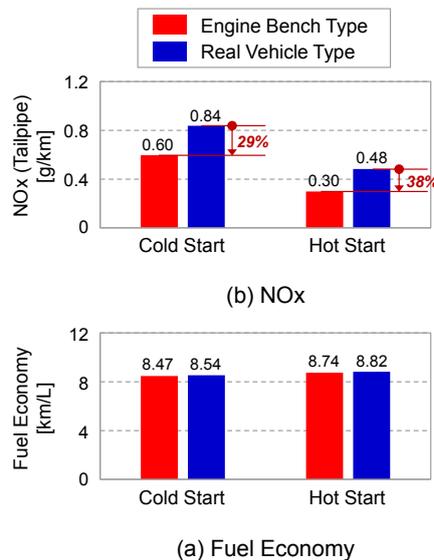
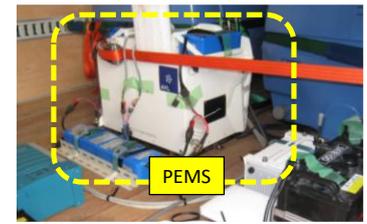
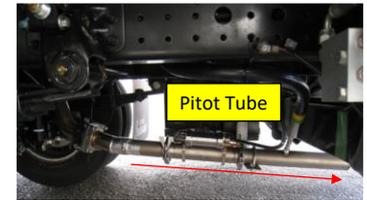


図6 排出ガス後処理装置へ及ぼす冷却の影響 (燃費, NOx)



(b) Luggage Compartment



(a) Tailpipe

図7 実車走行試験 (PEMS 搭載)

(2) エンジンベンチにおける走行風の再現

供試車両が搭載する同型、同制御の実エンジン、DPF及びSCRをエンジンベンチに設置し、HILSと組み合わせ「エンジンHILS」を構築した。この際、エンジンベンチに設置した車速比例ファンで、エンジン、DPF及びSCRに当てる風速を調整した。風速計は、実車と同様の位置に設置した(図3(b))。実路走行時の風速は、横風や吹き戻しなどの要因でバラつきを生じたことから、一次近似した線で代表させた。エンジンベンチ内でこの近似線上の風速が得られるよう、各車速比例ファンの設置位置や向きを調整した。

調整後の結果を図4に示す。エンジンベンチ内で実車相当の走行風(代表線)を再現することができた。

3.4 走行風が与える影響の把握

実車が走行する際、排出ガス後処理装置は走行風を受ける(図4)。そこで、排出ガス後処理装置への冷却の有無が、エンジン性能に与える影響を評価した。従来エンジンベンチ相当条件として、インタークーラは空冷方式、ラジエータは水冷方式、排出ガス後処理装置は無風の室温環境下とした。一方、実車相当条件として、インタークーラ、ラジエータ及び排出ガス後処理装置は車速比例ファンによる空冷方式とした。

JE05(コールド及びホットスタート)モード全体における各後処理装置前後の排出ガス温度の平均値を、図5に示す。車速比例ファンを使う実車相当(図中のReal Vehicle Type)の方が、各計測部における排出ガス温度が低く、SCRでNOx浄化に必要な排出ガス温度(180°C以上)は、ホットスタートでも下回る結果

となった。一方、車速比例ファンを使わない従来エンジンベンチ相当(図中のEngine Bench Type)は、その温度(180°C)を上回ることが確認された。

次に、モード全体における燃費及びNOx排出量を図6に示す。燃費は、冷却条件の違いによらず、同等となった。NOx排出量は、車速比例ファンを用いた実車相当の条件において、コールドスタートで29%、ホットスタートで38%悪化した。上述したとおり、走行風により排出ガス温度が低下し、SCRのNOx浄化機能が低下したことが要因として考えられる。

以上より、排出ガス後処理装置への冷却の有無が、排出ガス特性に影響を与えることを確認した。従来エンジンベンチ試験の課題になると考える。

4. HILSの拡張によるRDE代替評価の検証

重量車RDEの代替評価を試みた。供試車両が実路を走行した際のエンジン性能と、この時に取得した車速パターンを用いて「エンジンHILS+車速比例ファン」で運転させた際のエンジン性能を比較した。

4.1 実験条件

ルート1は「市街地~高速~郊外」から成り、勾配が比較的なだらかなルート(熊谷ルート:走行距離=79km、区間平均車速=46km/h)、ルート2も「市街地~高速~郊外」から成るが、起伏の多いルート(箱根ルート:走行距離=81km、区間平均車速=46km/h)である。どちらもコールドスタートである。ルート3は高低差の多い都市高速の周回ルート(首都高C1ルート:走行距離=39km、区間平均車速=52km/h)であり、ホットスタートである。

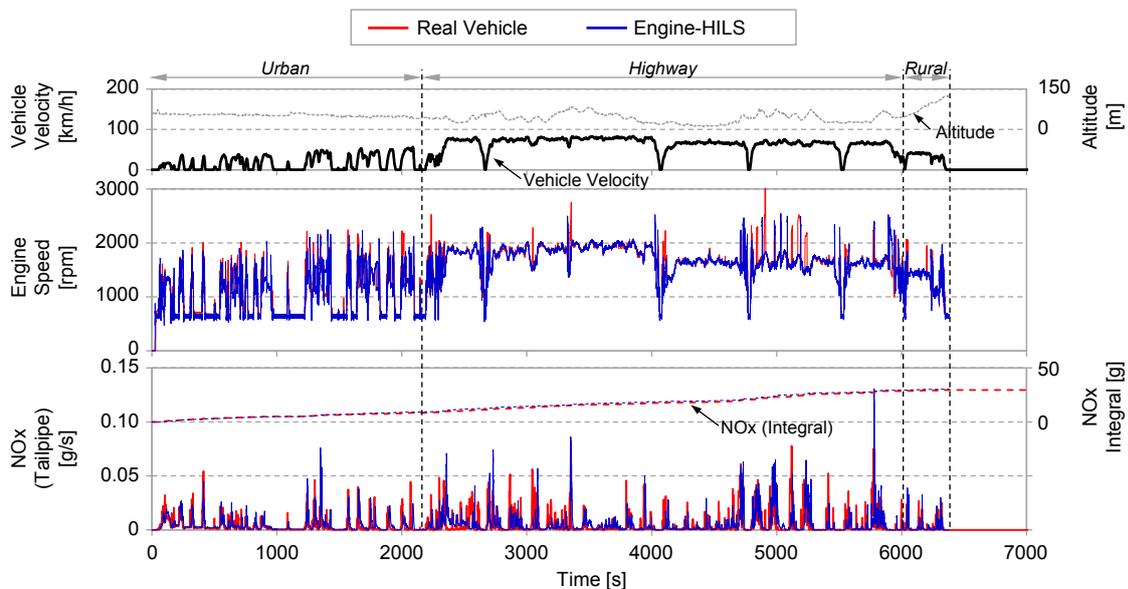


図8 RDE試験時のエンジン回転数及びNOx排出量の時間履歴：ルート2（実車及びエンジンHILS）

実車の排出ガス計測は、図7に示す車載式排出ガス計測装置（PEMS：Portable Emission Measurement System）（AVL M.O.V.E Gas PEMS iS：AVL）を用いた。道路勾配は、準天頂衛星に対応する高精度測位端末（AQLOC-Light：三菱電機）を用いた。走行時の外気温度は約26～30℃、天気は晴れ、路面はdry状態で、車両重量は半積載重量（5,010kg）とした。

エンジンHILSの走行条件は、実路走行時に取得した車速パターンと勾配を目標とした。この際、本エンジンHILSは従来の重量車試験法の考えを踏襲しており、直線路として仮想車両を追従走行させた。冷却システムは、実車相当の状態に近づけるため、インタークーラ、ラジエータ及び排出ガス後処理装置は、車速比例ファンによる空冷方式とした。

4.2 実験結果

ルート2の起伏の多い箱根ルートの走行結果を図8に示す。図上段より車速及び高度、エンジン回転数、排気管出口のNOx排出量（瞬時、積算）を示す。

エンジン回転数に着目する。実車及びエンジンHILSで再現した仮想車両の回転数は、モード全域においてほぼ同等であった。つまり、実車両の走行状態をエンジンHILSで良好に再現できている。次に、排気管出口のNOx排出量を確認する。コールドスタートとなる発進時、エンジンHILSのNOx排出傾向は十分に再現できている。エンジンがホット状態になった後も、実車と同等のNOx排出傾向を示した。

さらに、各走行全体におけるNOx及びCO₂排出量を図9に示す。ルート2のNOx及びCO₂排出量は、

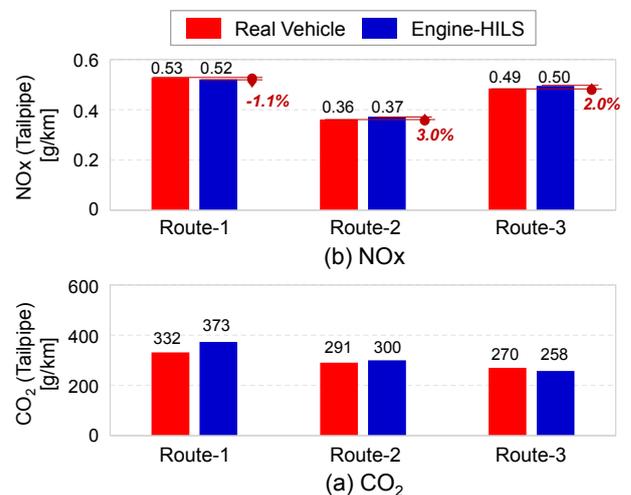


図9 RDE走行時の排出ガス結果

両条件でほぼ同程度の値を示した。ルート1及び3に関しても、エンジンHILSで実車走行性能がほぼ再現できることを確認した。

5. まとめ

HILS法を拡張したエンジンHILS手法に、エンジンや各種装置の冷却に必要な走行風をエンジンベンチ内で再現し組み合わせることで、重量車RDEの代替評価の可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 自動車技術総合機構：燃料消費率試験（重量車（2025年度燃費基準対応）），TRIAS 08-003(1)-01
- 2) 国土交通省：技術指針「ハードウェアインザループシミュレータシステムを用いた電気ハイブリッド重量車の燃料消費率及び排出ガスの試験法について」，国自環第281号（2010）