

① コールドスタートに対応した ハイブリッド重量車燃費評価法に関する検討

環境研究領域

※小林 雅行 奥井 伸宜

1. はじめに

車両の動力源にエンジンとモータなどを組み合わせたハイブリッド技術が燃料消費率（以下、燃費）の向上手法として注目を集めている。2015年度の重量車燃費基準の達成のためにもトラックやバスなどの重量車においてもハイブリッド技術の適用が期待される。燃費向上が求められているのと同様に排出ガス規制も強化されており、重量車の排出ガス評価については、エンジン冷機時から計測を開始するコールドスタート時の評価も予定されている。

一方、ハイブリッド重量車における燃費評価手法にはHILS法¹⁾（HILS：Hardware-In-the-Loop Simulator）が用いられているが、本手法ではエンジン暖機時の燃費マップを用いるなどの理由でコールドスタートの計測に対応していない。このため、将来的にコールドスタートを適用する場合の燃費評価が課題となる。

本研究では、従来のHILS法に用いられているHILSを最大限活用し、ハイブリッド重量車向けのコールドスタートを考慮した燃費評価を簡易かつ高精度に実現可能な評価装置を検討した。

2. 評価手法と課題

現在のHILS法や、燃費、排出ガス計測に利用されるシステムベンチ法およびシャシダイナモ試験手法を用いる場合の対応方法および課題を整理した。

2. 1. HILS法

現在のHILS法によるハイブリッド重量車の燃費算出手順は、始めにエンジンベンチにて定常運転（エンジンや後処理装置などが暖機状態）により各種運転ポイントの燃費を計測する。次に、この燃費値を燃費マップとしてHILSモデルに書き込む。最後に、HILSモデル上の仮想車両を走行させ、この時にエンジン単体の運転ポイントと燃費マップから燃費を算出する。

このように、現在のHILS法では暖機条件の燃費マップを利用しているため、コールド状態の燃費を正しく反映できない。なお、温度毎の燃費マップを作成することは技術面、工数面で現実的ではないと考える。

2. 2. システムベンチ法

システムベンチ法²⁾とは、概略するとエンジン単体のベンチに実機のハイブリッドシステムを組み合わせた計測手法である。実機エンジンを用いるため、コールドスタートに対応することが可能であるが、多種多様な車種毎のハイブリッドシステムをすべて実機で構築する必要があるなど評価手法としては対応が困難であると考えられる。

2. 3. シャシダイナモ試験

乗用車の燃費、排出ガス評価に用いられている手法である。実車両を用いてシャシダイナモメータ上を走行するため、コールドスタートも含め最も実路走行に近い形で試験が可能である。しかしながら、重量車については、車種が多くこれらすべての車両を製作して評価することとなり現実的ではない。

3. 対応手法の検討

上述のシステムベンチ法やシャシダイナモ試験でハイブリッド重量車のコールドスタートの燃費評価を行うには対応が困難である。そこで、本研究では従来のHILS法に用いられているHILSを活用する。

HILSでは、エンジンモデル部分はトルクマップや燃費マップを用いて再現される。このエンジンモデル部分を実機に置き換えることで、課題としているコールドスタートの燃費評価が行えると考えた。

また、この手法ではトルクマップや燃費マップを取得するための事前の試験が不要となるほか、実機エンジンの運転に従来のエンジンベンチを利用できるため新たな設備も不要である。さらに、エンジンベンチ

表1 ハイブリッド重量車燃費評価手法の比較

対応方法	コールドスタート試験	試験精度	試験工数	設備
従来HILS	✕ 対応策なし (モデル改良で対応する策もあるが難航中)	✕ コールドスタート試験は極めて困難	－ コールドスタート試験は極めて困難	✕ ・HILSモデルの大幅な改良が必要 ・個々の車両に対応させたモデルが必要
拡張HILS	○ 実機エンジンの温度情報をHILSに取り込むため、実車制御則を反映したコールドスタート試験が可能	○ ・実機エンジンを使用するため、実車制御則を反映した試験が可能で、試験精度も良い	◎ ・HILSを実行しながらエンジンテストを同時に行うため、複数台におよぶ車両の評価が可能 ・エンジン冷却水を強制的に循環させれば、一日に複数回、コールド試験が可能	◎ 現行HILSと保有エンジンベンチを使用するため、新たな大型設備投資は不要 (インターフェースの信号調整が必要)
システムベンチ法	○ ベンチ内に個々の実車のハイブリッドシステムを構築するため、実車相当のコールドスタート試験が可能	○ ベンチ内に個々の実車のハイブリッドシステムを構築するため、実車相当の試験精度が確保可能	△ 個々の実車のハイブリッドシステムによる試験に限られるため、重量車の車種に応じたシステム構築が必要	△ 保有エンジンベンチを使用するが、個々の実車のハイブリッドシステムをベンチ内に構築する必要がある
シャシダイナモ試験	○ 実車を用いた試験を行うため、最も実走行に近い形の試験が可能	◎ 実車を用いた試験を行うため、最も実走行に近い試験精度が確保可能	✕ ・個々の実車の試験に限られる ・実車設備の確保が必要	✕ 高額な設備投資が必要 (大型シャシダイナモータ)

では後処理装置も設置されることから、排出ガスの評価も同時に行え、評価工数が削減できる。

ここで、2章および本章で検討したそれぞれの手法とコールドスタートへの対応および各種要件に対する適用度を表1に示す。このように、HILSと実機エンジンを組み合わせる手法は、その他の手法に対して比較的簡易に製作が行え、コールドスタート評価への対応のみならず試験精度も高まると考えられる。

4. 拡張HILSの構築

この、HILS と実機エンジンを組み合わせた手法を、従来の HILS に対してエンジン部分を拡張させることから、拡張 HILS とした。以下に、システム構築内容を述べる。

4. 1. システム構成

拡張 HILS のシステム構成を図 1 に示す。本手法では、従来 HILS のハイブリッド車両モデル内にあるエンジンモデル部と実機エンジンとの情報を相互に入出力することで従来 HILS と同等の構成にすることが可能と考えシステムを構築した。HILS とエンジンダイナモメータ制御盤との間において CAN 通信を用いて各種信号を送受信させる。この他、フライホイールリングギアから取得される回転信号をパルス用のボードへ入力し、エンジン回転として認識させた。

本手法で用いた HILS とエンジンベンチの仕様を表 2 に示す。本 HILS は、HILS 法で使用されている装置である。エンジンベンチは、トラックメーカーで用いられている一般的な仕様である。実機エンジンは日野自動車製 N04C を用いた。これらに係る改造箇所は、制御盤側は CAN 通信用ボードの増設と次項で説明す

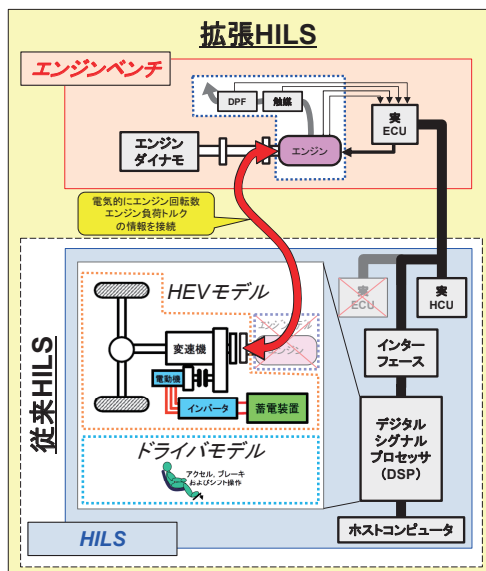


図 1 拡張HILSのシステム構成

表 2 拡張 HILS の各種仕様

名称		仕様	
DSP 1 (I/Oモデル)	CPU	GHz	2
	ADIOボード	枚	2
	COREボード(ハル用)	枚	2
	CANボード(2ch)	枚	1
	シェアードメモリボード	枚	1
DSP 2 (車両モデル)	CPU	GHz	2
	シェアードメモリボード	枚	1
OS	Linux PRO		
ソフトウェア	GRAMAS、Simulink		
擬似負荷ボード	小野測器製		
通信仕様 (①HILS⇒制御盤、 ②制御盤⇒HILS)	CAN 2.0A/B, J1939, 10msec周期		
	① エンジン負荷トルク、① アクセル開度、 ② エンジン回転数、② エンジントルク		
制御盤	FAMS-8000		
車両モデル	JARIモデルのT/M仕様と ENG仕様を変更(Hino Dutro相当)		
実機エンジン	Hino N04C-TM 4.0L ディーゼルエンジン		

る HILS から入力されるエンジン負荷トルクを目標トルクとしてエンジンダイナモメータ（以下、ダイナモ）を制御する簡易なプログラム修正、HILS 側はパルス入力用配線の接続やモデルの簡易変更である。

4. 2. モデル構成

HILS モデルの構成概要を図 2 に示す。図では、エンジンをコントロールするドライバモデルからのアクセル信号と、エンジン回転が車速へ変換される信号の流れを示している。なお、本 HILS では、ドライバモデルに JE05 モードの目標車速が与えられ、この車速に追従するようにアクセル操作が行われて仮想車両が走行する仕様となっている。

仮想車両の走行に必要なエンジン回転は、従来 HILS ではエンジンモデル（トルクマップ）から得られるエンジントルクと、車両側からエンジンに掛るエンジン負荷トルクを用いて算出される。拡張 HILS に

おけるエンジン回転は、図中の破線で囲まれたエンジン回転を算出するモデル部を実機で再現する。具体的には、ダイナモにおいて実エンジントルクとダイナモに発生させたエンジン負荷トルクを用い、これらのトルク差で生じる変位がエンジン回転となる。演算に使用する実際のエンジントルクの制御は、モデル内のアクセル開度情報をエンジンコントロールユニット (ECU) に入力して行い、エンジン負荷トルクの制御は、モデル内で算出された値を制御盤へ入力してダイナモを制御する。

5. 拡張 HILS の検証

拡張 HILS を実際に作動させて、モデル内算出データの推移および実機エンジンの挙動を評価した。

5. 1. エンジン回転信号評価

本装置は HILS モデルへ入力するエンジン回転信号に、CAN 信号とパルス信号の両方が使用できる。本装置に最も有効な信号を選定するため、エンジン回転信号の応答速度や周期が HILS モデルの演算に対してどのように影響を及ぼすかを検討した結果、最終的にパルス信号方式が有効であると判断し、本装置に用いる方式として選定した。以下に検討結果を示す。

運転条件には、図 3 に示す JE05 モード開始直後の加速部分を用いた。CAN 信号を用いた場合、ダイナモを制御するエンジン負荷トルクの値がハンチングを起こし、この影響でエンジン回転も不安定となり運転の継続ができなかった。これに対しパルス入力の場合、エンジン負荷トルクおよびエンジン回転挙動を共に従来 HILS とほぼ同等に再現することができた。

CAN 信号を用いた場合にエンジン負荷トルクがハンチングした理由は、CAN を用いた場合のエンジン回転信号の遅れが 10msec 前後あり、データ更新周期については 10msec 間隔のため、エンジン負荷トルク演算に用いる同回転とトランスミッション (T/M) 回転に時間的ずれが生じ、さらに、図 4 の解説図のように比較参照値の差が実際の挙動に対して拡大や正負が反転することが影響していたためであると考えられる。

パルス信号による今回の結果は、暫定的にエンジン負荷トルク演算部に含まれるねじり剛性係数 (図 3 の「係数」) を減少させることを組み合わせることで実現

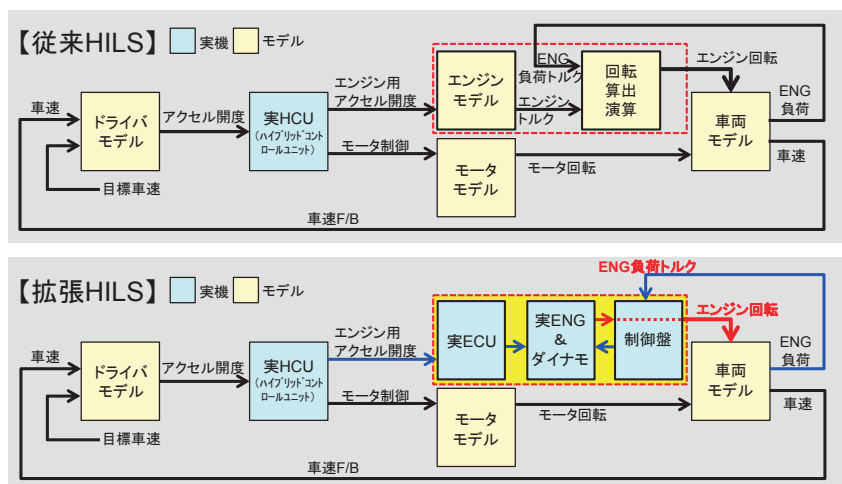


図 2 HILS モデルの構成概要

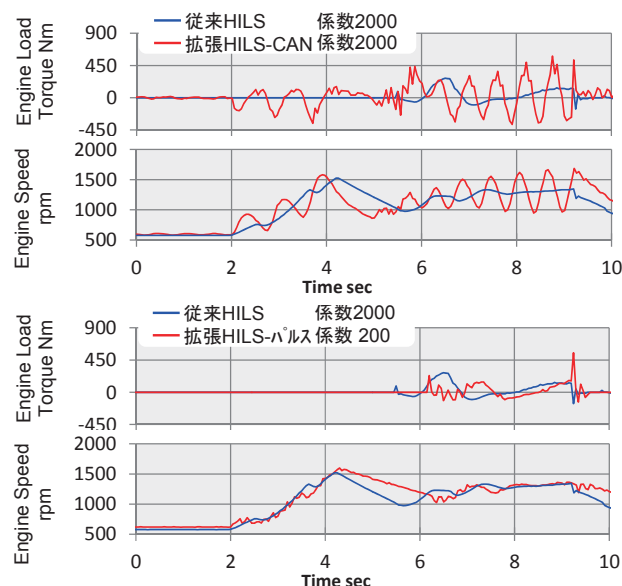


図 3 エンジン回転信号形式の影響

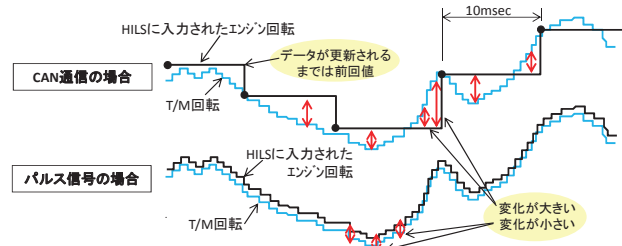


図 4 CAN 信号とパルス信号による演算違い

させている。この係数は車両モデルのクラッチ部に影響する定数で、本設定は負荷変動が増大した瞬間に若干のクラッチ滑りが発生する。この現象を利用してハンチング挙動を緩衝させる役割を持たせた。ただし、従来 HILS と異なる車両設定となるため改善が必要である。一方、CAN 通信の場合は、ねじり剛性係数を変更させてもハンチング挙動を抑えられなかった。

5. 2. JE05 モード評価

前項の検証で得られた設定を用いて、JE05 モード走行の検証を行った。比較条件として、従来 HILS (全

てモデル) に対して、拡張 HILS コールドスタート、拡張 HILS 暖機の条件を用いた。図 5 に示す比較データは、市街地走行部と呼ばれる 0 から 650 秒のうち 385 秒までを抜粋した。以下に運転条件を記す。エンジン最大出力 110kW、エンジン最大トルク 392Nm、モータ最大出力 55kw、モータ最大トルク 130Nm、バッテリー (キャパシタ) 容量 33.5F、車両重量 4370kg (半積)、Start SOC (State of charge) 60%である。

全体的に見ると、拡張 HILS のコールドスタート、暖機条件ともに従来 HILS とほぼ同等の挙動を示している。エンジン回転やエンジントルクについてもモードを通して大きなハンチングもなく動作している。局所的な部分は、エンジントルクの挙動が従来 HILS と実機エンジンとで異なっているが、これはモデルと実機の応答の違いと考える。

コールドスタート条件に注目すると、暖機されるまでエンジン回転が不安定である。エンジン回転の立ち上がり位置が異なる箇所がある。SOC の推移が他の条件と異なっているのが確認できる。これらは、冷機時のエンジン挙動が HILS に反映されたほか、それに応じてハイブリッド制御が適切に作動したものと考えられ、コールドスタートに対する挙動を捉えることが出来ていると考える。

このように、拡張 HILS は、従来 HILS と同等の挙動を再現することが可能であり、冷機時の挙動も適切

に捉えていることから、コールドスタートの燃費評価として高い精度を持った装置と考えられる。

6. まとめ

コールドスタートを考慮したハイブリッド重量車の燃費評価を、簡易かつ高精度に実現可能な評価装置を検討し以下の知見を得た。

- (1) 従来 HILS を活用した拡張 HILS は、簡易に構築でき、コールドスタート評価が可能であると考ええる。
- (2) 異なるエンジン運転条件において、エンジン挙動やハイブリッド制御に違いが表れており、精度の高い評価装置として利用が可能であると考ええる。
- (3) ねじり剛性係数の変更で対応したエンジン負荷トルク演算のハンチングの対策や定数マッチングをすることで今後、より精度の高い演算や運転が可能であると考ええる。

参 考 文 献

- (1) 森田賢治ほか, HILS を用いた重量 HEV 燃費・排ガス試験法 (第 3 報) -HEV モデル標準化と試験手順確立-, 自動車技術会論文集 Vol.39, No.4, p.131-136 (2008)
- (2) 森田賢治ほか, 重量 HEV 排出ガス試験法に関する検討 -システムベンチ法-, 自動車技術会論文集 Vol.36, No.4, p.87-92 (2005)

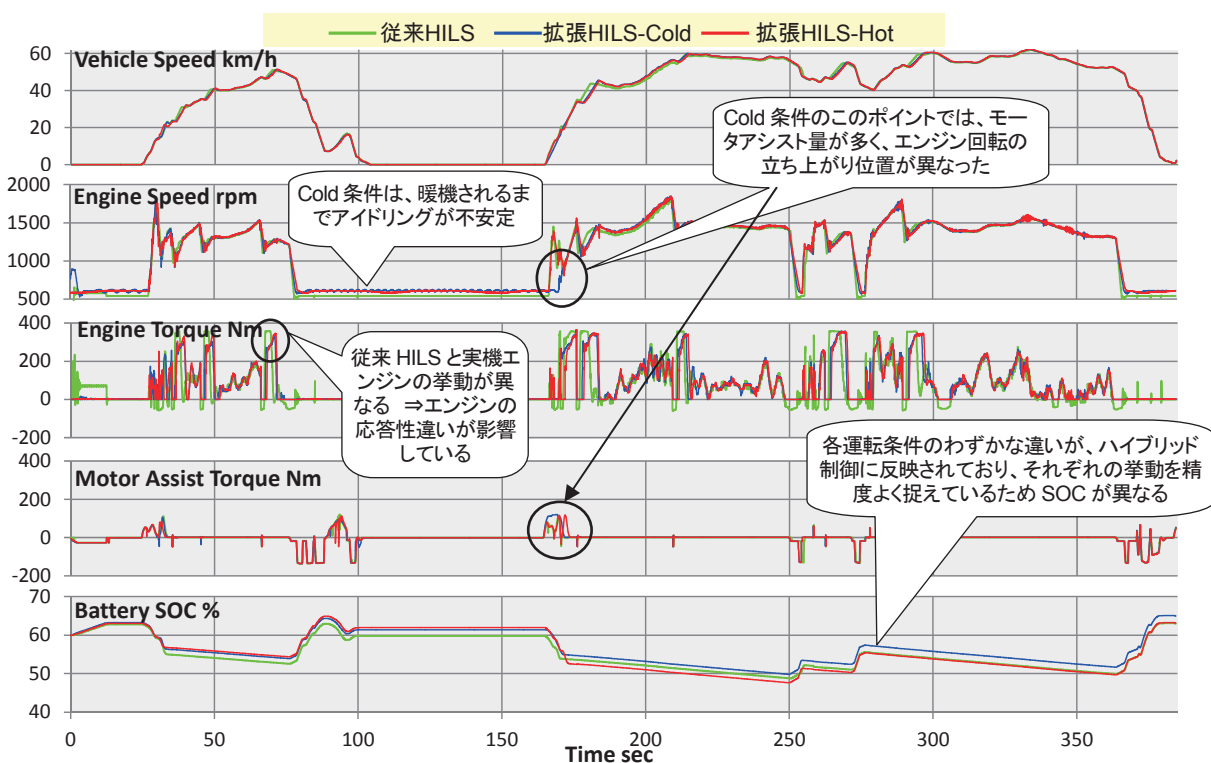


図 5 JE05 モードを用いた各種運転条件の比較 (モード中の 0 秒から 385 秒の区間を抜粋)