

⑧ ひとの運転特性を反映させた HILS ドライバモデルの検討

環境研究領域

※奥井 伸宜

川野 大輔

鈴木 央一

1. はじめに

ハイブリッド重量車等の燃費は、実路走行値とカタログ値で乖離しているとユーザより指摘されている。

ハイブリッドトラックやバスなどのハイブリッド重量車の燃費・排出ガス試験法には、HILS 法¹⁾ (HILS : Hardware-In-the-Loop-Simulator) が用いられている。図1に示す操作 PC 上で実行される HILS プログラムは、モデル化したハイブリッド車両 (ハイブリッドシステム)、運転者 (ドライバモデル) および道路状況等から構成され、実車両の実機 ECU (エンジン ECU、ハイブリッド ECU) と制御信号を送受信することで、机上で仮想車両が走行でき、各種評価が可能となる。ここで、このドライバモデルは、目標車速追従を第一優先として、決められた計算ロジックに従って操作を行うことから、一般的なひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われることがある。このことも、燃費が乖離する一要因になるものと考えられる。

そこで本研究は、ひとの運転特性を反映させ、より実用的な走行に近づけるドライバモデルを検討した。実際に新たなモデルを運用させ、燃費を評価した。

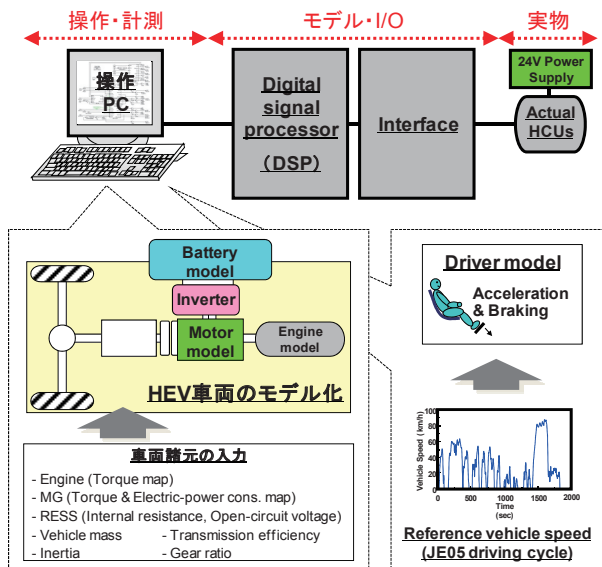


図1 HILS 装置の概念

2. ドライバモデル

2. 1. 従来ドライバモデル

従来 HILS で運用されているドライバモデルの概念を図2に示す。基準車速、計算車速、走行抵抗、加速抵抗、タイヤ半径、減速比等から要求トルクを算出する。要求トルクとシステムの回転速度-トルク-アクセル開度マップから、駆動時のアクセル開度を予測する。そのアクセル開度を、基準車速と計算車速との差から PID (Proportional-Integral-Derivative) 制御にて調整する。制動時は、車速差の PI 値と要求減速度からブレーキ操作量を決定する。これら PID 制御のゲインは任意に変更可能である。

実際の運用時には、決められたモードにおける基準車速への車速追従性を向上させるため、PID 制御の各定数を考慮する必要がある、このような微調整には多大な時間を要しているのが現状である。

2. 2. 改良ドライバモデル

ひとの曖昧な運転操作を再現するため、従来ドライバモデルで採用されているシステムの回転速度-トルク-アクセル開度マップを廃止する一方、以下のペダル操作の3要素²⁾を採用した。一般にペダル操作は、①アクセルを素早く踏み込む/ゆっくり踏み込む、②アクセルを頻りに踏んだり/戻したり、③アクセルを一定開度保持する時間が短い/長いである。さらに、

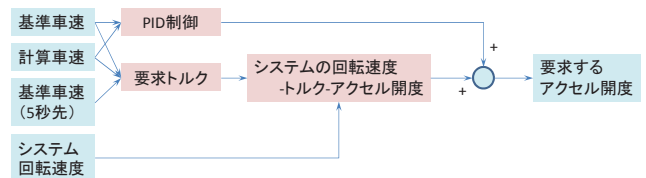


図2 従来ドライバモデルの概念

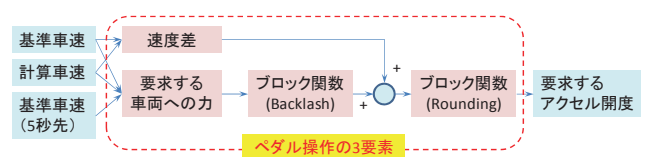


図3 改良ドライバモデルの概念

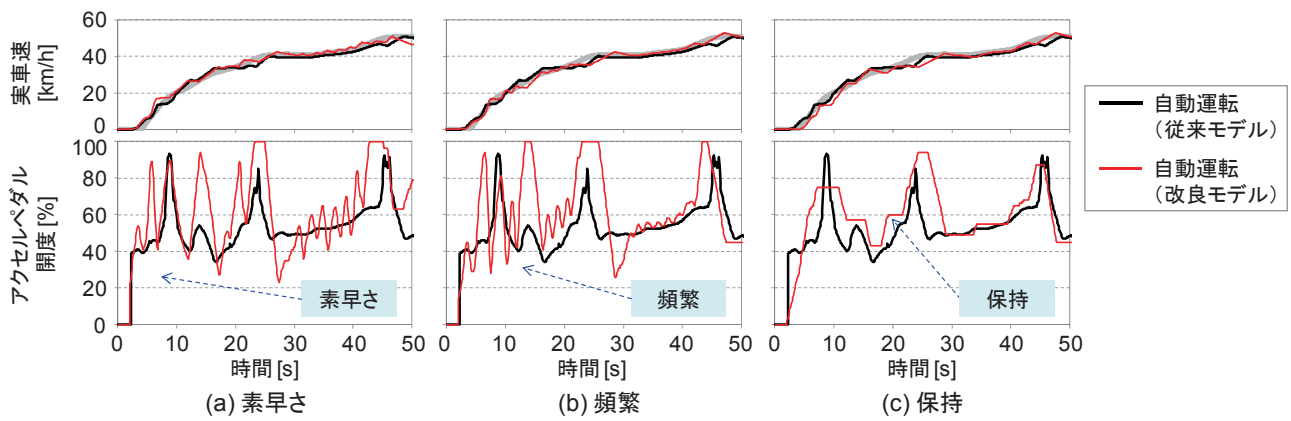


図4 ペダル操作の3要素を適用したドライバモデルによる運転特性

HILS 運用を効率化するため PID 制御の各定数を廃止し、Kano らの式³⁾を参考とし、ペダル操作の3要素を組み合わせた式(1)のアクセルモデル、式(2)のブレーキモデルを新たに定義し、HILS プログラム (MATLAB /simulink) に構築した。

$$acc = \left[\frac{F + k_2 V_{fb} + k_3}{k_1} + (V_{ref} - V_{fb}) k_4 + \text{Function}_{(Backlash, Rounding)} \right] \dots(1)$$

$$brk = -1 \cdot \left[\frac{F + k_6 V_{fb} + k_7}{k_5} + (V_{ref} - V_{fb}) k_8 + \text{Function}_{(Backlash, Rounding)} \right] \dots(2)$$

ただし、 acc : アクセルペダル開度 [%]、 brk : ブレーキペダル開度 [%]、 F : 車両への力 [N]、 V_{fb} : 実車両速度 [m/s]、 V_{ref} : 目標車両速度 [m/s]、 k_1, \dots, k_8 : ひとの運転特性に関するパラメータ、Function (Backlash, Rounding) : simulink 内ブロック

式(1)および式(2)を反映させた改良ドライバモデルの概念を図3に示す。ここで、Function (Backlash) にてペダル操作に対する“遊び”の空間を持たせることで「保持」を再現し、Function (Rounding) で要求す

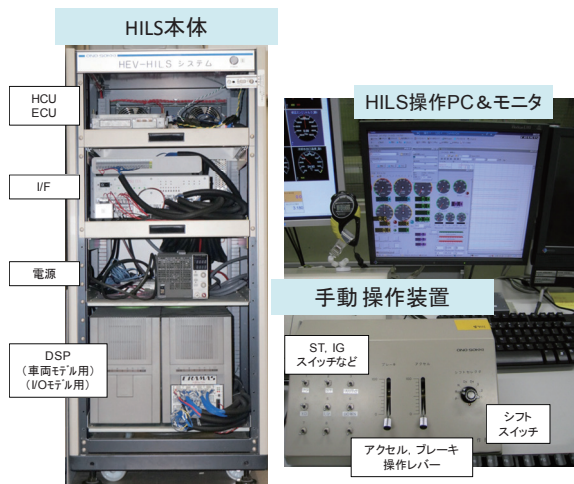


図5 本試験に用いた HILS 装置

るペダル開度を整数に丸めることで、微小入力信号に対する反応を排除した。実際に、ペダル操作の素早さ (式中の第一項)、頻繁 (式中の第二項)、保持 (式中の第三項) の各項を調整することで、図4に示す運転特性を任意に再現させることが可能となった。

3. ドライバモデルの違いによる運転特性

HILS で小型ハイブリッドトラックのモデルを構築し、重量車の燃費・排出ガス試験に用いられる JE05 モードを走行させた。その際、従来ドライバモデルおよび改良ドライバモデルによる自動運転に加え、図5に示す HILS 装置に取り付けた手動操作装置 (アクセルレバー、ブレーキレバーなど) を用いた手動運転 (著者による運転) を行った。ここで、小型ハイブリッドトラックは平行方式で、4.0L ディーゼルエンジン (最大出力 110kW、最大トルク 392Nm)、電動モータ (最大出力 55kW、最大トルク 130Nm)、バッテリー (キャパシタ容量 33.5F) を搭載する。変速機は6段の AMT (Automated Manual Transmission) であり、車両製造メーカーの制御ロジックによる自動変速が行われる。試験時の車両重量は 4370kg (半積載) に設定した。

図6に、JE05 モード後半部の市街地走行から高速走行におけるドライバモデルの違いによる運転特性を示す。図6の左側で従来ドライバモデルの違いによる自動運転 (青線) と手動運転 (赤線) とを比較し、同図の右側で改良ドライバモデルによる自動運転 (黒線) と手動運転 (赤線) とを比較する。さらに、両図の図上段より、車速度、アクセルペダル開度およびブレーキペダル開度を示す。ここで、各車速度の目標値 (基準車速) と実測値 (手動運転と二つの自動運転) の相関係数 (R^2) は 0.99 以上と良好であった。

はじめに、図左側のアクセルペダル開度に着目す

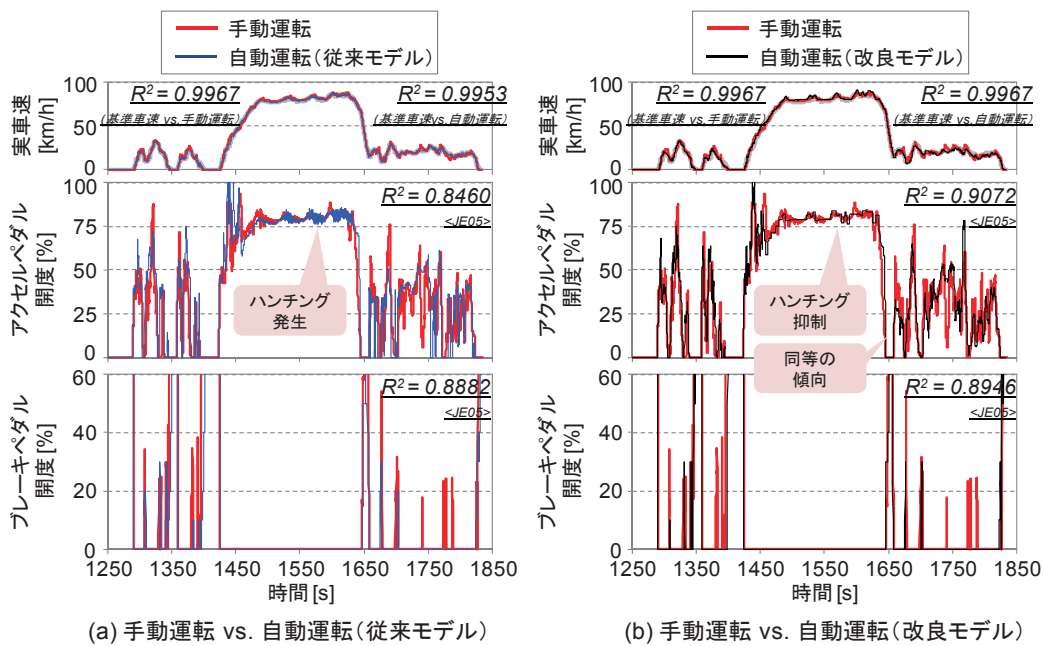


図6 操作方法およびドライバモデルの違いによる運転特性

る。青線で示す従来ドライバモデルによる自動運転においては、PID制御の各定数の調整を時間をかけて行ったが、市街地と高速を両立できる定数設定が困難であり、本結果は高速走行時にアクセルペダルを頻りに踏んだり/戻したりを繰り返すハンチングが発生した。そのことも一因となりモード全体を通して、手動運転のアクセルペダル開度と比較した際の相関係数 (R^2) は0.8460と低かった。また、ブレーキペダル開度については、手動運転と同等のタイミングで操作されており、手動運転のブレーキペダル開度と比較した場合、モード全体で相関係数 (R^2) は0.8882であった。

次に、図右側のアクセルペダル開度に着目する。黒線で示す改良ドライバモデルによる自動運転については、従来ドライバモデルとは異なりハンチングが抑制できた。また、1650秒以降の低速走行時においても、

赤線で示す手動運転と同等の傾向を示すことを確認した。モード全体を通して、手動運転のアクセルペダル開度と比較した際の相関係数 (R^2) は0.9072であり、従来ドライバモデルよりも良好であった。さらに、ブレーキペダル開度については、手動運転のブレーキペダル開度と比較した際、モード全体での相関係数 (R^2) が0.8946であり、従来ドライバモデルよりも優れる傾向を示した。

以上の通り、従来ドライバモデルは目標車速追従を第一優先とするため、頻繁なアクセルペダル操作等ひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われることを確認した。一方、PID制御項やエンジンマップ等を廃止し、ひとの運転操作を再現させた改良ドライバモデルがHILSで簡便かつ高精度に運用できることが確認できた。

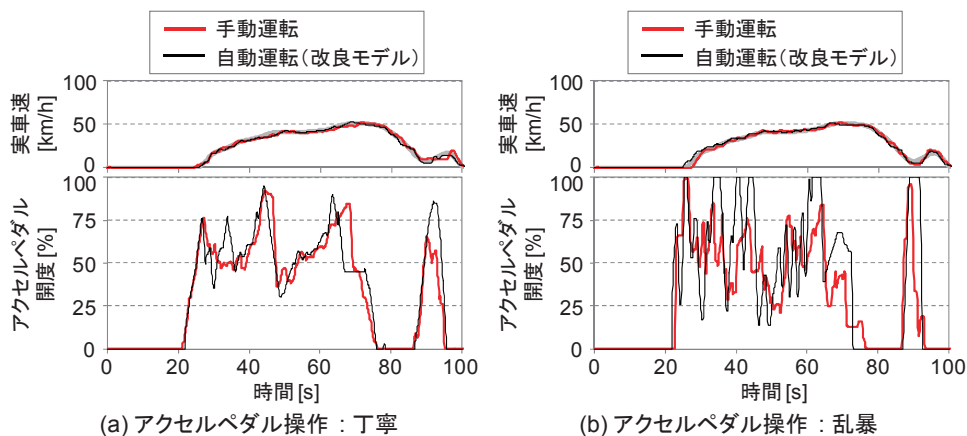


図7 ひとの曖昧な運転操作を反映させた際の運転特性

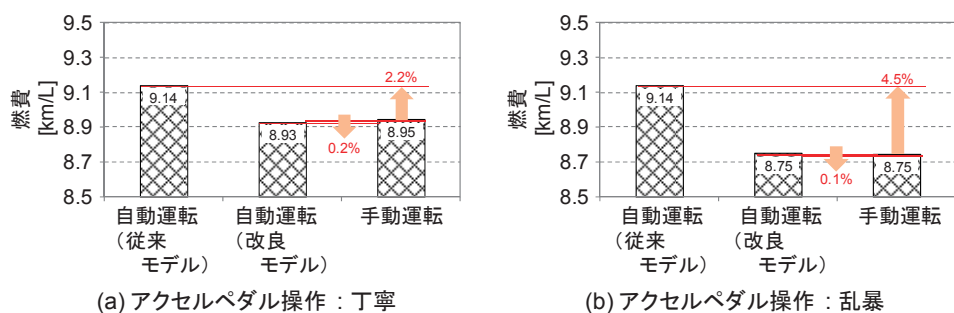


図8 ひとの曖昧な運転操作による JE05 モード走行燃費比較

4. ひとの曖昧な運転操作の再現

上述した通り、改良ドライバモデルは、ペダル操作の素早さ、頻繁、保持の項を調整することで、ひとの運転特性を再現させることが可能である。そこで、基準車速に追従する範囲内で、著者の運転により、アクセルペダルを丁寧に操作した場合と乱暴に操作した場合による運転特性を、JE05 モード一目目 (0→50→10→20→0km/h の加減速パターン) を用い比較した。図7に両操作の運転挙動を示す。図左側には、丁寧にアクセルペダル操作を行う設定を反映させた改良ドライバモデルによる自動運転 (黒線) および手動運転 (赤線) を、図右側に乱暴にアクセルペダル操作を行う設定を反映させた改良ドライバモデルによる自動運転 (黒線) および手動運転 (赤線) をそれぞれ比較する。両図の図上段より、車速度、アクセルペダル開度を示す。改良ドライバモデル内のパラメータを調整することで、手動運転によるひとの曖昧な運転操作を、自動運転で再現できることが分かった。

次に、この両運転状態における JE05 モード走行燃費を算出し図8に示す。図に示す燃費は、バッテリーエネルギー収支が走行開始と終了でゼロの状態である。図左側には、丁寧にアクセルペダル操作を行う場合の自動運転および手動運転に加え、従来ドライバモデルの運転による燃費をそれぞれ示す。手動運転と改良ドライバモデルの燃費は、ほぼ同値であった。また、手動運転に比べ従来ドライバモデルの燃費は約 2.2%の差を生じ、手動運転で悪化した。さらに、図右側に、乱暴にアクセルペダル操作を行う場合の燃費を図左側と同様に示すが、手動運転と改良ドライバモデルの燃費はほぼ同値であり、手動運転に比べ従来ドライバモデルから得られた燃費は約 4.5%悪化した。

以上の通り、本実験条件下で改良ドライバモデルによる燃費は従来ドライバモデルより悪化し、ドライバの運転特性が燃費に影響を及ぼしたと考えられる。

5. まとめ

ひとの運転特性を反映させ、より実用的な走行に近づけるドライバモデルを検討した。実際に新たなモデルを運用させ、燃費を調査した。以下に結果を記す。

- (1) 従来ドライバモデルは基準車速追従を第一優先とするため、一般的なひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われる場面があることが分かった。
- (2) ペダル操作の3要素 (素早さ、頻繁、保持) の導入により、ひとの曖昧な運転操作を再現できるドライバモデルを構築した。また、HILSで簡易かつ高精度に運用できることを確認した。
- (3) ひとの曖昧な運転操作を再現させたドライバモデルによる燃費は、従来ドライバモデルの燃費より悪化する結果が得られており、ドライバの運転特性が燃費に影響を及ぼしたと考えられる。

6. 今後の予定

- ・試験車両や走行モード条件、被験者を増やした試験を行い、改良ドライバモデル内のひとの運転特性に関するパラメータを検討する。
- ・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が簡易かつ高精度に実現可能とする評価装置「拡張 HILS」⁴⁾のドライバモデルに、改良ドライバモデルを適用し、実機エンジン駆動時の運転特性を確認する。
- ・HILS 試験法に、改良ドライバモデルを提案する。

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, pp.131-136 (2008)
- (2) 岡本雅之ほか, “Just-In-Time モデリングによるドライバ挙動を包含した自動車変速制御”, 計測自動制御学会産業論文集, Vol.10, No.3, pp.17-26 (2011)
- (3) 加納誠ほか, “ドライバ挙動モデルの開発”, 第4回 ITS シンポジウム 2005 講演集, pp.251-256 (2005)
- (4) 小林雅行ほか, “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”, 交通安全環境研究所フォーラム 2014