

講演 1. シャンダイナモメーター試験で運転するドライバの標準化検討

—人間の運転動作を再現したドライバモデルによる運転ロボット操作—

環境研究部
自動車安全研究部

※奥井 伸宜
河合 英直

1. はじめに

自動車（乗用車）の販売カタログ等に記載されている燃料消費率（燃費）及び二酸化炭素等の排出ガス量は、シャンダイナモメーター上に実車両を設置し、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）で定められた WLTP（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）等で規定された WLTC（Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle）等の走行パターンを走行し計測している。最近、この値（カタログ値）と実路走行時の燃費や排出ガス量の乖離が問題となっており、一要因に運転動作が考えられる。試験においては、図 1 に示す目標車速に対する許容幅が設定されているが、例えば、許容幅内で緩やかな加減速運転を行えば、目標車速に厳密に沿わせ走行する場合に比べ、良い燃費が得られる状況にある。WLTP では、モード走行をより精確に評価する対策の一つとして、SAE J2951 で採用された「ドライビングインデックス」を基に、モード走行後に走行状態の可否を判定する手法が導入された¹⁾。一方で、このような厳密化により再試験が多発した場合、認証試験工数が増大する恐れがある。

本研究では、決められた目標車速を正確に追従させ、車両性能が公平かつ効率的に評価できるよう、ドライバの標準化を検討した。ここでは、アクセルペダルやブレーキペダルをロボットで操作させる手法を

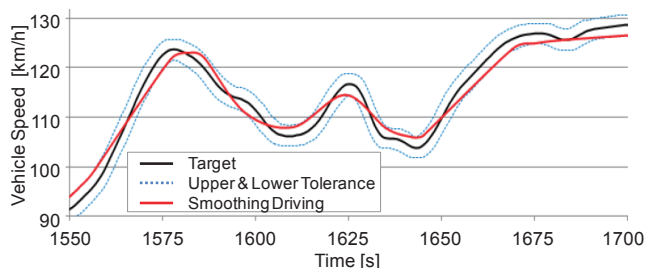


図 1 滑らかな運転操作の一例¹⁾
(シャンダイナモメーター試験)

用いた。ロボットによる運転にはドライバモデルが必要であり、このモデルに関する研究は数多く行われている。これらの多くは、モデル内にエンジン等の動力特性マップを必要とし、数多くあるパラメータの調整に数週間を要する。また、これらパラメータ調整には作業者の技量によって差が生じることから、メーカー間で調整が異なる可能性があり、公平に評価することが難しい等の課題が挙げられ、市販のロボットを搭載した実車両で認証試験を行うことは困難と考える。

そこで、動力特性マップを用いず、人間の運転動作を最小限のパラメータで実現したドライバモデルを構築し、実車両のアクセルやブレーキペダルをロボットに操作させ、シャンダイナモメーター上でモード走行を行う方法を検討した。その際の運転動作をドライビングインデックスで評価し、人間による運転動作と比較した。さらに、モード繰返し時の相関性も調査した。それら結果を受け、構築したドライバモデルを搭載したロボットによる運転の有効性を確かめた。

2. ドライバモデル

トラックやバス等のハイブリッド重量車の燃費、排出ガス評価には、HILS（Hardware In the Loop Simulator）試験法が適用される。これは、ハイブリッド制御とエンジン制御以外のパワートレインの要素機器をモデルで構築し、机上で評価を行う手法である。さらに、ドライバもモデルで構築され、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た運転を行う。具体的には、動力源に対する「システムの回転速度—トルク—アクセル開度マップ」や「PID 制御項」から構成されている。図 2 に従来ドライバモデルによるハイブリッド重量車（試験時車両重量：4,370kg）の運転挙動を示すが、低車速域と高車速域を両立させる PID 制御項の調整に課題があった。

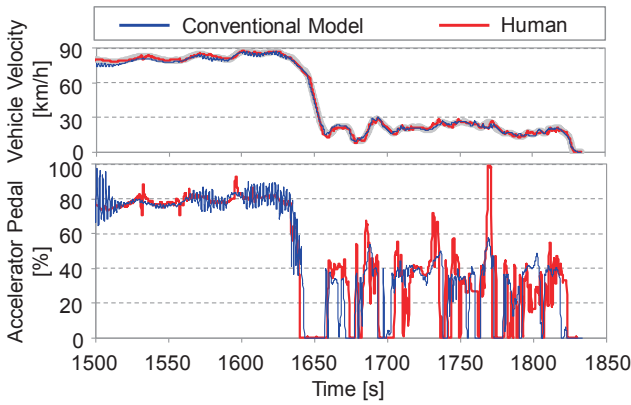


図 2 従来ドライバモデルによるペダル操作

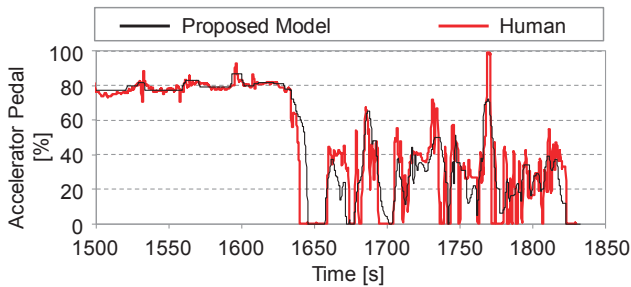


図 3 提案ドライバモデルによるペダル操作

そこで、従来ドライバモデルで採用されていた「アクセル開度マップ」や「PID 制御項」を廃止し、人間の運転動作を実現するため、「ペダル操作の 3 要素」を採用した²⁾。「ペダル操作の 3 要素」とは、①ペダルを素早く踏み込む/ゆっくり踏み込む、②ペダルを頻繁に踏む/戻す、③ペダルを一定開度保持する時間が短い/長い、である。式 (1) にアクセルペダル開度の式を簡素化して示す。

$$acc = \left[\frac{F + V_{fb}(1 - k_1 k_2)}{K_2(K_1 - V_{ref})} + (V_{ref} - V_{fb}) \times a \right] \times K_3 \quad \dots (1)$$

ただし、

- acc: アクセルペダル開度 [%]、
- F: 車両への力 [N]、 V_{ref} : 基準車速 [km/h]、
- V_{fb} : フィードバック車速 [km/h]、
- k_1 : V_{fb} と V_{ref} から成る関数、
- k_2 : V_{ref} から成る関数、 k_3 : V_{fb} から成る関数、
- a: 調整係数 (パラメータ)

図 3 に、提案ドライバモデルによるハイブリッド重量車運転時のアクセルペダル挙動を示す。人間と同様のアクセルペダル操作が全速度域で再現できている。

3. 実験装置 および 実験条件

3.1 実験装置

実車両の各ペダルを操作させるため、市販のドライ

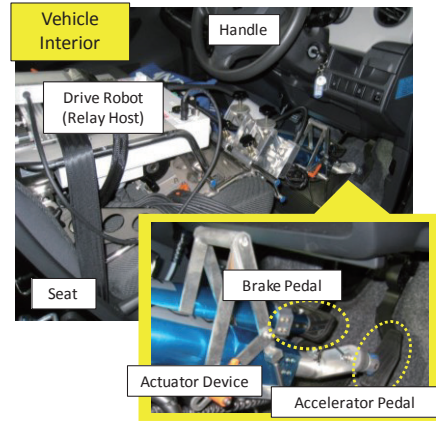


図 4 運転ロボットの運転席への設置状況

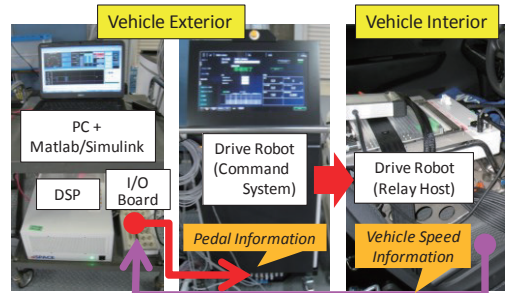


図 5 運転ロボットのシステム構成

ブロボット (RBT200ST: 明電舎製) を用いた。運転席への設置状況を図 4 に示す。アクセルペダル用とブレーキペダル用の 1 自由度の直動アクチュエーターから構成され、それぞれが独立して動作し、伸縮量や速度を調整することで车速制御を可能としている。

本実験は、供試ロボットに付属するドライバモデルは使用せず、提案ドライバモデルによる制御を行った。図 5 にシステム構成を示す。供試ロボットに加え、Matlab/Simulink で作成した提案ドライバモデルを搭載した PC と高速演算装置 (DSP: dSPACE 製) から成る。DSP で演算した各ペダル開度情報を供試ロボット (制御指令部) の外部端子に入力し、各アクチュエーターを制御した。また、フィードバック車速情報はシャシダイナモメーターから取得し、DSP に入力し、リアルタイムに操作量を演算させている。





3.2 実験条件

(1) 走行モードと車両諸元

WLTC を使用し、コールドスタートを行った。

供試車両の諸元を表 1 に示す。市場の販売割合で多くを占める 2 ペダル (アクセル、ブレーキペダル) 採用車両を対象とし、軽中量車クラスから、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、ガソリンエンジン車およびディーゼルエンジン車を各 1 台

表 1 車両諸元

	【Vehicle A】	【Vehicle B】	【Vehicle C】	【Vehicle D】
				
Vehicle Weight (Unloaded)[kg]	1,100	1,410	1,080	1,800
Body Size (L/W/H) [m]	3.39/1.47/1.61	4.48/1.74/1.49	4.19/1.68/1.55	4.93/1.85/1.45
Power Unit	【EV】 Motor	【PHEV】Motor + Gasoline(1.8L/N.A.)	【Gasoline】 Gasoline(1.5L/N.A.)	【Diesel】 Diesel(2.0L/Turbo)
Transmission	—	CVT	CVT	8AT
Drive Line	FR	FF	FF	FR
Tire Size	175/55R15	195/65R15	185/55R15	225/55R17

選定した。ただし、PHEV は、Charge Sustaining 状態で走行させた。

人間の運転者は、シャシダイナモメーターによる車両運転に慣れている者（メーカーのプロドライバーではない）を選定し、目標車速に沿った運転を行った。

(2) ドライビングインデックス（運転指標）

基準車速と実際の車速との乖離を指標にした「ドライビングインデックス」が、米国自動車技術会の標準試験法（SAE J2951）に規定されている¹⁾。以下に指標の内訳を記述する。

Energy Rating (ER)

：目標走行と実走行の仕事量比率

Distance Rating (DR)

：目標走行距離と実走行距離との距離の比率

Energy Economy Rating (EER)

：「DR/ER」による単位仕事あたりの走行距離の比率

Absolute Speed Change Rating (ASCR)

：目標走行中の加速度と実走行中の加速度の累積比率

Inertial Work Rating (IWR)

：目標に関わる仕事量の変化率

Root Mean Squared Speed Error (RMSSE)

：絶対速度差の二乗平均平方根

WP29 の専門家会議において、IWR の許容値は「-4.0~+4.0」、RMSSE の許容値は「~+0.8（日本提案） or ~+1.3（欧州提案）」とする方向で検討されている（2017年9月時点）。

4. 実験結果

4.1 ドライビングインデックスの比較

図 6 に WLTC を走行した際の供試車両 4 台のドライビングインデックスを示す。ロボットの調整係数 a は、人間のペダル操作に近付け、その開度がハンチング（周期的変動）しない状態を満たす値を設定した。

WP29 で規定された IWR、RMSSE は、ロボット運転時、すべてのケースで許容を満たした。さらに、各車両の人間及びロボットの運転動作を比較すると、車両 A および B の一部は電動モーターで駆動することから、基準車速に追従した運転が行い易く、ほぼ同様の傾向を示した。エンジンのみを搭載する車両 D は、エンジントルクが大きく変速時間の短い多段 AT であり、目標車速に追従させやすかった。しかし、車両 C は変速装置が CVT であり、アクセルペダル開度の増加とエンジン回転数の上昇が同期せず、人間もロボットも運転の際にアクセルペダル開度がハンチングないように注意深く操作（設定）する必要があった。

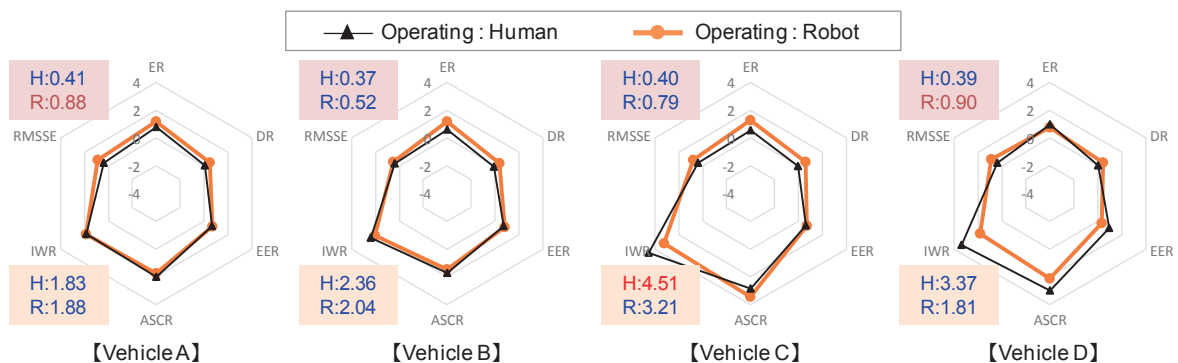


図 6 ドライビングインデックス評価（車両 A~D）

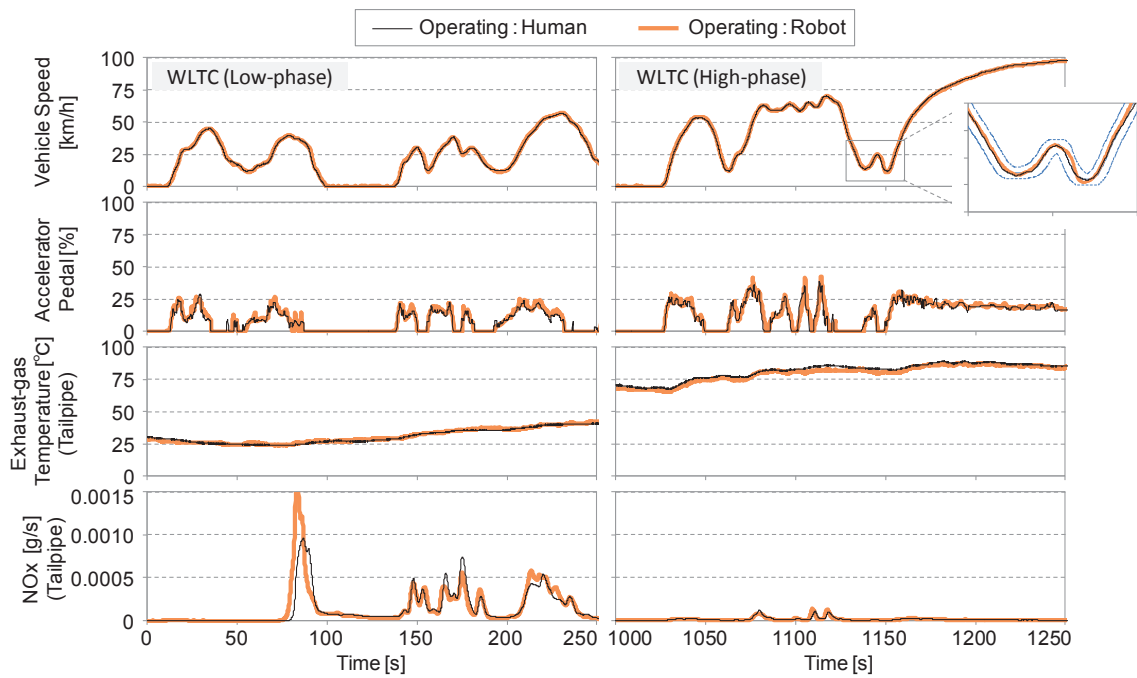


図7 車両走行性能の比較 (人間運転 vs. ロボット運転) <車両D>

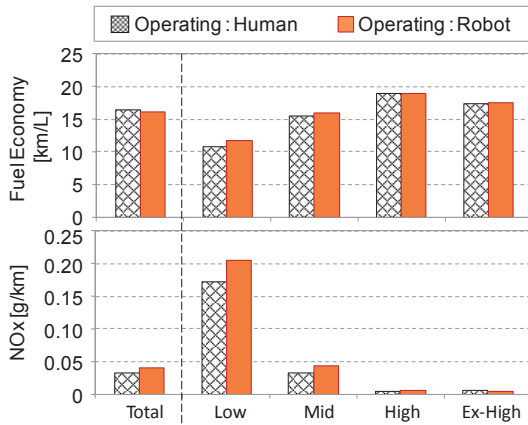


図8 燃費、排出ガスの比較 <車両D>

4.2 車両走行性能の詳細比較

図7に車両Dの車速、アクセルペダル開度、テールパイプにおける排出ガス温度及びNOx排出量を、ロボット及び人間の運転で比較し、時系列で示す。図左にWLTCのLowフェーズ、図右にHighフェーズを示す。ロボット運転時の各種傾向は人間運転時と同様であった。提案ドライバモデルは、コールドスタート時に特別な調整は必要とせずに運転が可能である。

図8に示すモード走行時の燃費及びNOx排出率は、ほぼ同等の結果であった。一部、走行直後のLow区間で値が多少異なるが、図7のアクセル開度挙動はほぼ同等であることから、モード走行前の車両状態(プレコンディション)に起因したものと考えられる。

4.3 モード繰り返し走行時の性能バラつき調査

EVの航続距離はモード走行を繰り返して評価する

ため、運転バラつきを排除する必要がある。そこで、車両Aで繰り返し走行した時の車速の再現性を調査した。1、2サイクル目の相関は、 $R^2=0.9999$ が得られ、サイクル毎の再現性が高いことが確認できた。

5. まとめ

- (1) 提案ドライバモデルは、従来モデルで不可欠であった事前の動力特性マップの取得やパラメータの調整作業を排除し、車両諸元や車速といった既知の情報を用いるロジックとした。このモデルで運転ロボットを制御すれば、座席設置後短時間で、シヤシダイナモメーター上で車両走行が行えることを確認した。
- (2) 提案ドライバモデルによるロボット運転で、人間と同様の運転動作や走行性能が得られた。また、サイクル毎の性能のバラつきが少ないことを確認した。
- (3) 提案ドライバモデルを標準化し運用すれば、認証試験時における公平性、効率性が確保でき、リアルワールド走行時の車両性能に近づくものと考えられる。

参考文献

- 1) 小林一樹：乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP)における自動車認証審査部の取り組み、交通安全環境研究所フォーラム2016講演概要集、p.97-98(2016)
- 2) 奥井伸宜：HILSドライバモデルの運転操作の違いがハイブリッド重量車の燃費性能・排出ガス特性に及ぼす影響、自動車技術会論文集、Vol.47、No.5、p.1191-1196(2016)