

講演 2. 自動運転ロボットを活用した RDE 試験運用の可能性追求

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 (CHDY : Chassis Dynamometer) 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 10 月より開始された。

日本では、型式認証前の車両を一般道路で走行させることは法律上難しい。一方で、路上走行検査のための国際的な統一試験法 (UNR-RDE) や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) 31-J119-012 では、「試験は道路又は試験路 (テストコース) において行う」と記載され、試験路における RDE 試験が実施可能な状態である。

試験路の走行試験は、従来の CHDY 試験と同様、RDE 試験用に作成された目標車速パターンを追従することとなる。しかし、試験室内に固定された車両のアクセル及びブレーキ等のペダルを操作する CHDY 試験とは異なり、RDE 試験は車両が試験路を走行するため、上記操作に加えハンドル操作も必要となる。このため、試験路を用いた RDE 試験は、目標車速を正確に追従することがより難しくなる。

そこで本研究では、自動運転ロボットを活用した RDE 試験の運用を検討している。実際、車載可能な運転ロボットを製作し、CHDY 走行用に構築したドライバモデルを組み合わせて操作した。今回、乗用車を用いて試験路を走行し、RDE 試験への運転ロボットの適用性と有用性を評価した。

2. RDE 試験法

RDE 試験は道路又は試験路 (テストコース) において行い、試験時間は 90 分~120 分とする (路上走行時のディーゼル軽・中量車排出ガスに関する技術基準 (TRIAS 31-J119-01))。

試験路を用いた試験の運転状況を図 1 に示す。ドライバー一人で運転する図 1 (a) の場合、目標車速の表示画面を注視し各ペダルを操作するだけでなく、車両前方の道路状況を確認しハンドル操作を行う必要があり、試験路走行試験は困難である。そこで一般には、図 1 (b) のように、二人体制で試験が行われる。運転席に座ったドライバがアクセル及びブレーキを操作し、助手席側のコ・ドライバがハンドルを操作する。

2. 1. RDE 走行試験の規程条件

試験路を用いた試験の場合、「トレランス (表 1 右参照) の逸脱は避けるものとする」、「長時間の逸脱継続で無効とする」とされ、具体的な逸脱時間や回数の指定はない。

実際に、当研究所職員による二人体制で、試験路を用いた RDE 試験を行ったところ、約 5,500 秒の走行試験に対しトレランスの逸脱時間 (積算) は、試験 1 回目に 90 秒、2 回目に 55 秒となり、目標車速の正確な追従は困難であった。

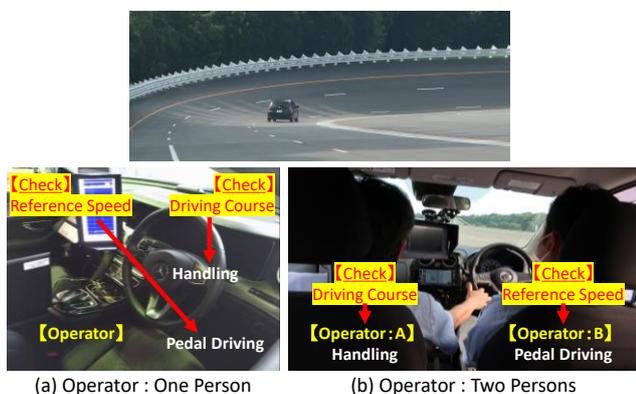


図 1 RDE 試験風景 (テストコース走行)

表 1 シャシダイ試験における試験許容値

Test Mode	Admission Criterion (Deviation from Limit Line)	
JC08	Permissible Time per 1 Deviation	within 1 sec
	Permissible Total Time	within 2 sec
WLTP	Permissible Time per 1 Deviation	within 1 sec
	Permissible Number	within 10 times

The diagram shows a reference point between two limit lines. The upper limit line is labeled 'Upper limit line' and the lower limit line is labeled 'Lower limit line'. A 'Reference point' is marked between them. The deviation from the reference point is indicated as ±2.0km/h and ±1.0 second.

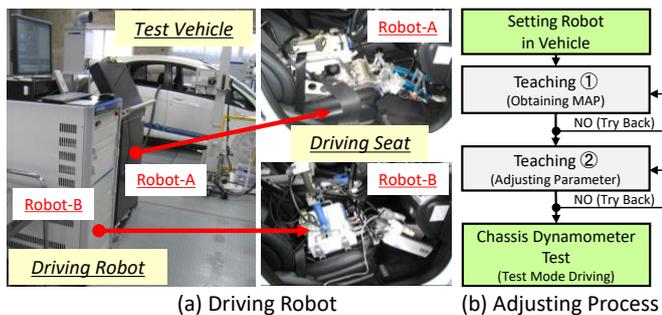


図2 市販運転ロボットの適用時の試験風景及びドライバモデルの調整方法

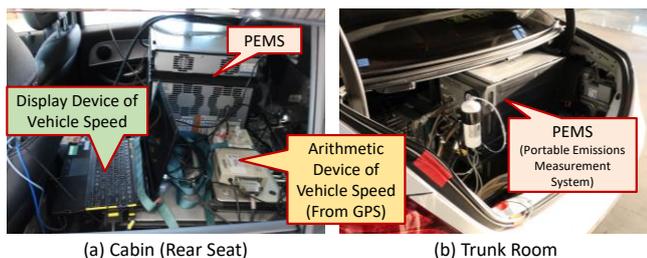


図3 RDE試験に必要な機器の車両搭載状況

一方で、表1左に示すCHDY試験における規程条件においては、どの試験モードにおいても、逸脱一回当たりの許容時間は1秒以内とされ、許容の積算時間は2秒以内であったり、積算回数は10回以内であったりと具体的に条件が決められている。

したがって、RDE試験の規定条件はCHDY試験に比べ緩い。

3. 自動運転ロボット

目標車速を追従するためには、人間（自動車メーカーのプロドライバー等）に頼らず、運転ロボットに行わせる方法があり、図2(a)に示すような運転ロボットが市販されている。

3. 1. RDE試験における市販運転ロボットの適用課題

市販の運転ロボットをRDE試験に適用するには、下記のような課題がある。

①ハードウェアの課題

RDE試験を行う場合、試験車両の車内には、目標車速の表示装置及び実車速をGPS等で取得する装置に加え、車載型排出ガス分析装置（PEMS：Portable Emissions Measurement System）を搭載する必要がある。これら装置の搭載状況の一例を図3に示す。後部座席及びトランクルームは、これら装置で埋め尽くされており、本体サイズの大きい市販の運転ロボット

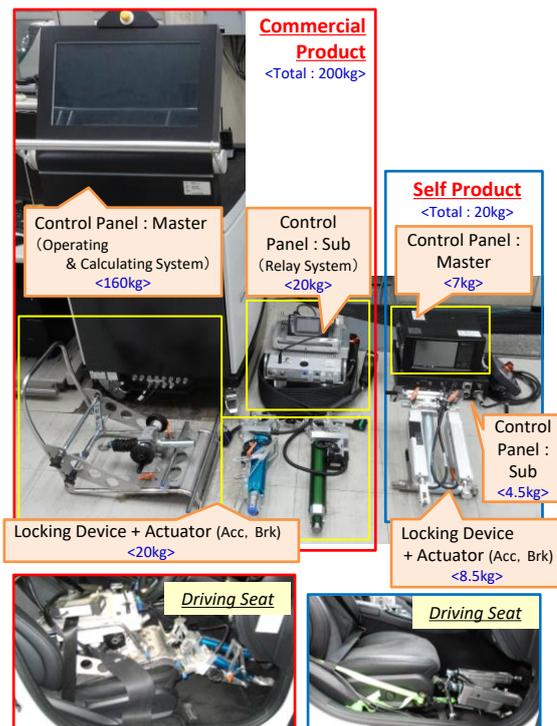


図4 市販ロボット及び構築ロボットの比較

(図2(a)及び図4左参照)を新たに搭載することは不可能である。さらに、運転席もペダルを操作するロボットで占有されることから、ドライバーが運転席に座りハンドルを操作することは困難である。

②ソフトウェアの課題

公平性の観点から、認証試験では一般的に試験車両に関する特性情報を最小限しか入手しない。一方で、市販ロボットを用いて試験する際には、車両特性に関する様々な情報を基に、図2(b)に示すような事前調整が必要となる。一例として、図5(a)に示すアクセル及びブレーキペダルの各開度と車両の要求駆動力から成る「動力特性マップ」を取得（学習）するため、ペダル開度を一定に保った走行が必要となる。仮に運転ロボットが搭載できたとしても、試験路上でペダルを全開などに保持した操作による学習運転を行うこととなる。別途、PID制御項の決定のため、ロボットの微調整にも多大な時間を要する。一般にこの調整はCHDYにおいて二週間程度が必要になるとロボットメーカーが報告しており、認証試験として運用上困難と考えられる。

3. 2. RDE試験に向けた運転ロボットの構築

RDE試験に運転ロボットを適用させるため、ハードウェアの小型化及び動力特性マップやPID制御項

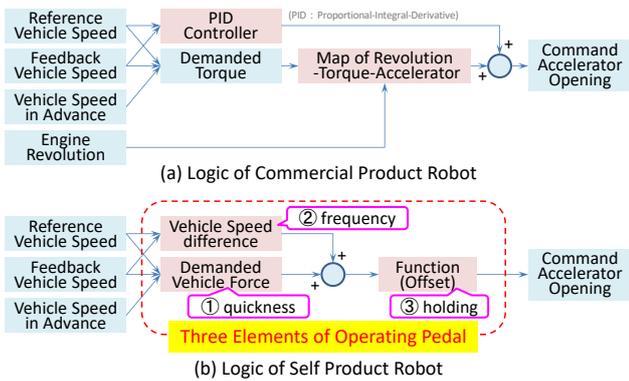


図5 ドライブモデルの制御

を用いないロボット制御といった課題に対応した新たなシステムを構築した。

①ハードウェアの構築

図4右(青枠)に製作したロボットを示す。車載可能とするため、ロボット制御盤は運転席と後部座席の間の足元空間に収めるサイズとした。また、運転席でドライバがハンドル操作を行うために、ペダル操作部は座面に置かず運転席のフロアに設置する構造とし、その固定方法も簡便化した。ロボットを操作するドライブモデルの演算装置も小型化した。装置一式の重量は約20kgと軽量化できており、試験現場への運搬と設置を一人で行うことを可能とした。さらに、装置電源を100Vとすることで、市販の小型ポータブルバッテリーを活用した電源供給が可能となり、長時間の走行試験にも対応できる。

②ソフトウェアの構築

アクセル及びブレーキペダルの操作には、過去に構築したドライブモデルを使用した。具体的には、市販ロボットに使われる「動力特性マップ」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」のロジックを導入した(図5(b)参照)。運転ロボットの事前調整を必要としないこのモデルの汎用性は高く、試験車両のパワートレイン特性に関係なく、運転ロボットを車載した後すぐに走行試験が開始できる(CHDY試験にて確認済)。

4. 構築した運転ロボットを用いた試験路走行

4. 1. 実験条件及び実験装置

供試車両として、ディーゼルエンジン(排気量2L)を搭載する乗用車(2017年製)を用意した。

走行試験に必要な装置の車載状況を図6に示す。GPS等から取得した実車速は、後部座面に設置した

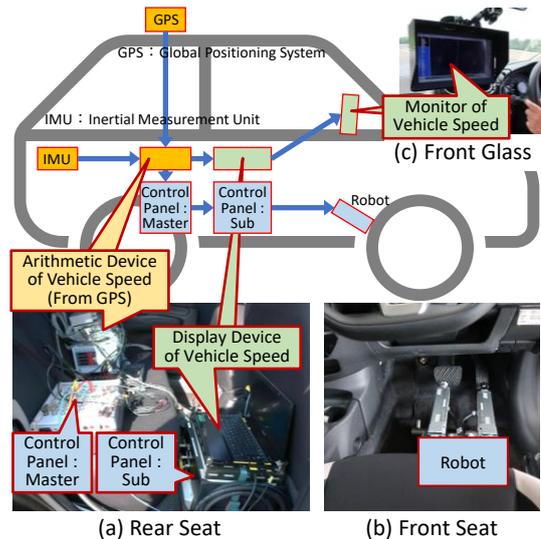


図6 実車両への運転ロボット搭載状況

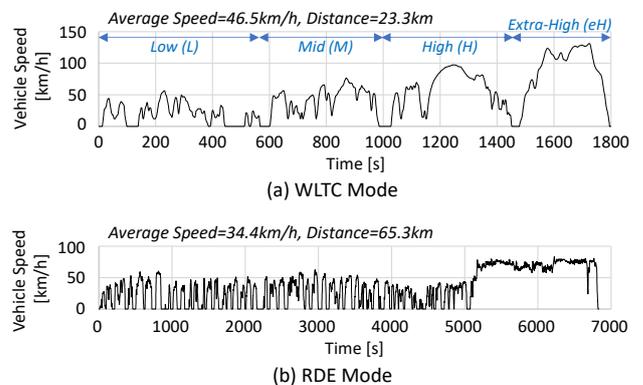


図7 試験モード

目標車速の表示装置(表示部はダッシュボードに設置)及びロボットを操作するドライブモデルの演算装置に送られる。演算したペダル開度指令が、運転席後ろのフロアに納まるロボット制御装置を介してロボットに送られ、ペダルを操作する。

4. 2. WLTCモード走行評価

図7(a)に示すWLTC(Worldwide-harmonized Light vehicles Test Cycle)で、加減速頻度が高いLow(L)、Middle(M)フェーズを使用した(ホットスタート)。運転者は、ロボット及び二名の人間である。

WLTCを走行した際の、エンジンスロットル開度及びテールパイプにおけるNOxの推移を図8に示す。Mフェーズの一部となる。人間が運転する際、不自然なアクセルペダルの加減速操作が発生している状況が確認でき、このアクセル操作に対応するように瞬時のNOx排出量も高まっている。

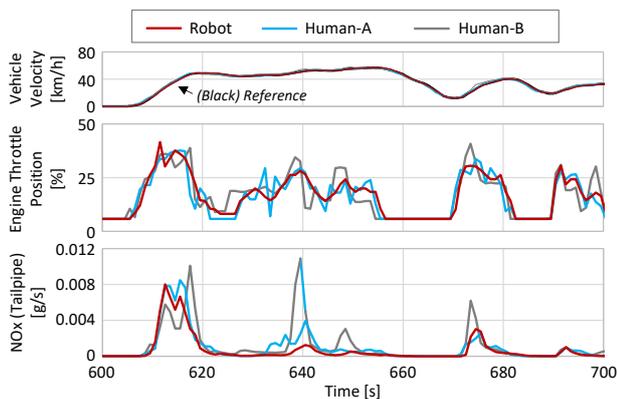


図8 運転操作違いによる車両性能比較
<WLTC: LM_Hot Start>

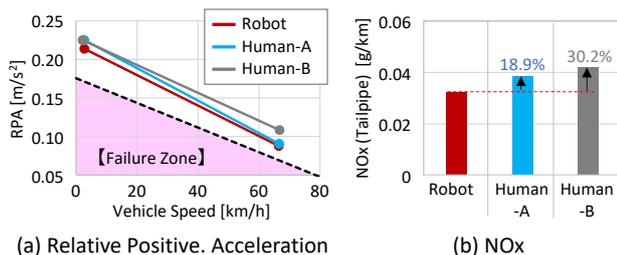


図9 テストコース走行時の走行指標 (RPA) 及び排出ガス性能 (NOx) <WLTC: LM>

ここで、欧州 RDE 試験法で要件として定められる「RPA (Relative Positive Acceleration: 相対的正加速度)」を用いて、加速が過度に緩やかとなっていないかを評価した。結果を図 9(a)に示す。人間 B の加速はどの車速域においても高く積極的で、人間 A は低車速側における加速が積極的に、高車速側で運転ロボットとほぼ同様に緩やかな加速となることが確認された。ロボットによる運転は人間 A、B に比べ極端な加速が少ないものの、試験不成立となるほどの消極的な加速を行っていないことが確認できた。

さらに、図 9(b)で走行全体の NOx を確認すると、ロボット運転に比べ、人間 B の排出量が約 30%と増加しており、積極的なアクセル操作が不必要に行われたことと関係している。

以上のとおり、運転ロボットを適用した試験路走行試験に対し、有用性が高いことを確認した。

4. 3. RDE モード走行評価

図 7(b)に示す RDE モード (6,830s、コールドスタート)にて、ロボット操作による走行試験を行った。計測装置の車載状況を図 10 右に示す。車室内の隙間に運転ロボットが搭載できた。図 10 左には、運転時の車速追従性を評価する「ドライビングインデックス」の結果を示す。このドライビングインデックス(表

表2 ドライビングインデックス

ER (Energy Rating)	目標走行と実走行との仕事量比率
DR (Distance Rating)	目標走行距離と実走行距離との距離の比率
EER (Energy Economy Rating)	「DR/ER」による単位仕事あたりの走行距離の比率
ASCR (Absolute Speed Change Rating)	目標走行中の加速度と実走行中の加速度の累乗比率
IWR (Initial Work Rating)	目標にかかわる仕事量の変化率
RMSSE (Root Mean Squared Speed Error)	絶対速度差の二乗平均平方根

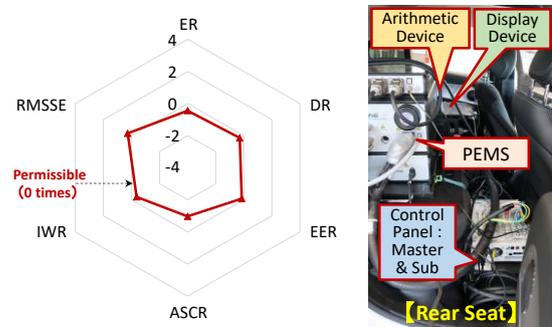


図10 RDE 試験結果 (ドライビングインデックス) <RDE Mode_Cold Start>

2 参照) は「SAE J2951」で規定されたものであり、乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法 (WLTP: Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure) の評価参考値として活用される。指標がすべて 0 であれば、目標車速と実車速に乖離がない運転ができていることを意味しており、今回、ロボットを用いた走行追従性は良好であることが確認できた。

以上より、ロボットの活用で、ドライバは運転席でハンドル操作のみに集中でき、長時間にわたる RDE 試験も正確に安全に運用できることを確認した。

5. おわりに

路上走行 (RDE) 試験が、欧州に続き日本において 2022 年より開始される。試験路における走行試験も可能とされ、従来のシャシダイナモ試験と同様、RDE 用に作成された目標車速パターンを追従することとなる。車両のアクセル及びブレーキ等のペダル操作に加え、車両が移動するためにハンドル操作も必要となり、試験の正確性や試験時の安全性が懸念される。そこで本研究は、自動運転ロボットを活用した RDE 試験の運用を検討した。

実際に車載可能な運転ロボットを製作した。試験路にて試験車両を運転ロボットで操作し、目標車速を正確に追従できることを可能とした。

RDE 試験への運転ロボットの適用性と有用性が高いことから、現在、RDE 試験へ運転ロボットを導入することに対し、関係当局と協議を進めている。