

論文・解説

07

悪路耐久試験への自動運転装置の適用

Application of Autonomous Driving Device to Rough Road Durability Test

田邊 政治^{*1} 宮本 幹大^{*2} 山上 登^{*3}
Seiji Tanabe Mikihiro Miyamoto Noboru Yamagami
山広 昭文^{*4} 森本 誠司^{*5} 上村 晴美^{*6}
Akifumi Yamahiro Seiji Morimoto Harumi Kamimura

要約

マツダの車両開発における信頼性評価では、車体やシャシーに代表されるコンポーネントを使ったリグ試験（熱・振動など過酷な条件を模擬した耐久試験）に加え、実車（フルビークル）耐久信頼性試験が重要な役割を担っている。

この耐久信頼性試験は、従来テストドライバーが、耐久車に乗車する形で行われてきた。この業務は、昼夜交代制の勤務でありドライバーの判断ミス防止や労務環境の改善、試験期間の短縮という課題があった。これらの課題に対し有効な打開策となる自動運転装置による悪路耐久試験方法を考案し実用化することができた。本稿では、自動運転装置を適用した事例と今後の展望を紹介する。

Summary

For the vehicle reliability evaluation, Mazda has two test methods. The first one is the rig test using vehicle body or chassis part. The second one is the driving test using the actual vehicle. Both tests take important roles to evaluate vehicle durability and reliability.

The driving test has been conducted by test-drivers who drive the test vehicle by day and night shifts, and there are some problems to be solved, which include prevention of judgement errors by the driver, improvement of labor environment, and shortening of evaluation period. We developed a rough-road durability test method using the autonomous driving device which can be the effective solution for these problems and verified it. This paper shows some application cases and the future prospects of the autonomous driving device.

Key words : Common Infrastructure, Durability Test, Test/Evaluation

1. はじめに

自動車はシャシー、車体、内外装など多くのコンポーネントから構成されている。商品としての自動車の信頼性確保を確認するには、個々の部品の信頼性試験のみでは十分でなくそれらが組みあがった実車（フルビークル）での信頼性確認が必要となる。この試験の実施には、多大なる期間・工数を要している。試験期間を短縮するためこれまでは、路面入力の大きい区間を増やして走行距離を減らす加速化を図ってきた。しかし、路面から受ける入力が増大は、車両を運転しているドライバーに対し大きな身体的な負荷となる。そこで自動運転装置の悪路耐久試験への適用に取り組み、運用面も工夫して既存の

コースで適用が可能な実験技術・手法を確立した。この技術で路面からの入力負荷に対する不具合の再現性を維持するとともに労務環境改善と開発効率の向上を実現している。

2. 自動車の信頼性試験

自動車は多数のシステムや部品点数で構成されるため信頼性を確保するために、部品単品やシステム単位のリグ試験実車を使った走行試験を実施している。

Fig. 1 のように部品単体のリグ試験では、部品固有の信頼性を評価する。次にシステム単位のリグ試験では、部品単体で評価できない部品間の締結や摺動に関わる部分を評価する。更に実車を使った走行試験では、実際に

*1～6 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

走行することで発生する水・泥・埃などを含めた複合的な入力に対する信頼性を評価している。

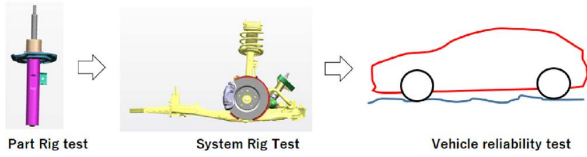


Fig. 1 Reliability Test of Vehicle



Fig. 2 Autonomous Driving Device

3. 自動運転装置の概要

3.1 自動運転装置の選定

ドライバーの労務環境の改善やテスト精度と効率の向上を目的とした悪路耐久試験への自動運転技術の活用事例は 1990 年代より報告されている。それは、コース両脇に埋設された誘導ケーブルからの磁界を走行車の誘導コイルアンテナで検出して走行コース中心からのずれ距離を小さく制御するもので路車協調型^{(1) (2)}と呼ばれて専用コースを使用している。一方、マツダが選定した方式は、Global Navigation Satellite System (GNSS) から得られる車両位置と速度情報を活用する自律型⁽¹⁾の高精度 GPS 方式である。この方式のメリットを路車協調型と比較すると、既存のコースを活用して自動運転範囲を段階的に変更することが可能であることである。自律型の 3 社について機能を比較した結果を Table 1 に示す。試験結果に影響する周回精度と安全システムの作動状態は、デモ機で確認した。悪路耐久試験に耐え得る取り付け方法や装置トラブル発生時に対応するサポート体制などが決め手となってマツダは、イタリア HI-TEC 社（技術サポート：東陽テクニカ）の自動運転装置を導入した（Fig. 2）。本稿では、STEP1 である 1 周 1km のコース内にある二種類の固定悪路を使用した耐久試験方法の活用事例を紹介する。新たな取り組みであり段階を踏んで着実にステップアップする計画としている。

3.2 自動運転装置の構成

自動運転装置の移動局のシステム構成は、Fig. 3 となり橙色部分が、イタリア HI-TEC 社製の実車走行試験用のロボット「Navicontrol」⁽³⁾ である。Real Time Kinematic GPS (RTK-GPS) 測位と慣性計測装置：Inertial Measurement Unit (IMU) の情報を車載するコントロールユニットが演算してアクセル、ステアリング、ブレーキ、それぞれのロボットを制御して自動運転する。RTK-GPS 測位は、移動局の座標と速度を高精度に保つために、基地局の GPS 測位情報を受信して移動局の GPS 測位情報をリアルタイムに解析する情報補正によって成立する。自動運転の範囲となるテストコースの全域で基地局と移動局の通信をカバーできる LTE 回線を選定している。なお自動運転リスクの中で予測が困難な車両前方の小動物の飛び出しなど障害物に対しては、レーザーセンサーを追加しておりシステムが異常を検知し緊急停止によって衝突を回避する。またリモートコントローラーを使用することで自動運転コース内の軌道までの移動とロボットシステムの簡易的な作動確認をドライバーが乗車して実施することもできる。

3.3 フェイルセーフ

耐久車の安全走行は、これまでは車両を運転するテストドライバーの技能に委ねられていた。自動運転装置は、システムが車両の走行状態を監視しており、規定した車

Table 1 Autonomous Driving Device Comparison

Category	Item	Required Performance	Company A	Company B	HI-TEC (TOYO)
Driving	Durability	Using to the Rough Road	△	Unknown	○
	Network Communication	Stability of Network Communication	△	Unknown	○
	Extensibility	Running Simultaneously of Other Vehicles	×	Unknown	△
	Applicable Road	4m Road Width, Sloping Road, 1km/Lap	×	Unknown	△
	Applicable Weather	Bad Weather (Rain, Fog, Snow)	△	×	○
Safety	Fail Safe	Double or More Systems	△	Unknown	○
Support	Technical Support	Ease of Maintenance and Care	△	Unknown	○
Comprehensive Evaluation			2	3	1

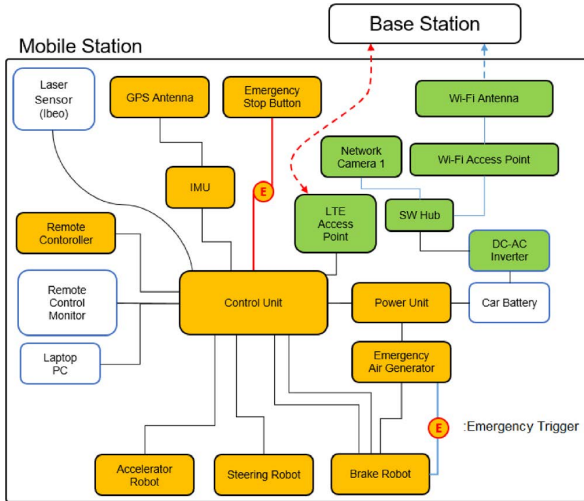


Fig. 3 System of Mobile Station

速と位置を逸脱すると車両を緊急停止させるパスエラー制御が基本となる。システムの状態も監視しており、通信状態の悪化によるフィードバック不良、あるいは、耐久劣化による断線で電源の喪失があっても自動運転が継続できなくなる前に複数のトリガー機能が作動して車両は緊急停止する。ブレーキロボットの作動システムは、モーターとエアシリンダーで二系統の構成になっているためシステムの電源喪失時には、電磁バルブを介したエアシリンダーが作動し車両のブレーキペダルをストロークして緊急停止する (Fig. 4)。この時、同時にアクセルロボットのアクチュエータの電源が遮断されるためアクセルペダルは機械的バネで戻されてアクセルオフの状態になる。

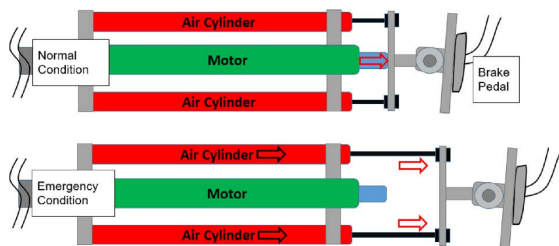


Fig. 4 Brake System of Autonomous Driving Device

3.4 遠隔操作・監視システム

基地局は、Fig. 5 のシステム構成で移動局と同様に橙色部分が自動運転装置の RTK-GPS 測位と遠隔操作に必要な部分になる。リモートコントローラーと専用 PC により走行パターンの変更、自動運転の開始と停止を LTE の通信回線によってコントロールルームから遠隔操作することが可能である。自動運転中の GPS による走行車速や逸脱量は数値やバーグラフで画面上に表示され、移動局システムとの通信状態は、各ステータスランプによって同じ PC の画面上で確認できる。自動運転中の車両の制御とシステムに関する状態監視の他には、パナソニック

システムソリューションズジャパンの現地調査によって専用 Wi-Fi ネットワークシステムを追加して構成し専用の別 PC で運用している。これは、ドライバーが行っている情報収集を装置に置き換えるねらいがあり、自動運転走行中の車両の映像と音、更には、二か所の定点監視カメラからの映像をコントロールルームに集約させている (Fig. 6)。

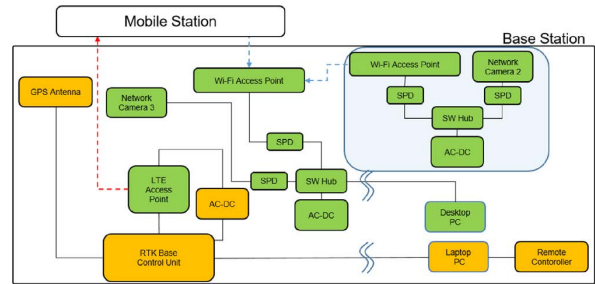


Fig. 5 System of Base Station

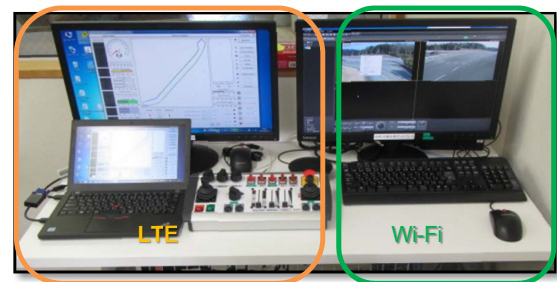


Fig. 6 Monitoring System of Autonomous Driving

追加した監視システムは、現在の技術レベルと重要度から判断して視覚と聴覚に相当する情報を取得する構成とした。車室内にセットするネットワークカメラで車両メーターとワーニングランプの点灯、ステアリングホイールの動きから車両の状態や走行路面を同時に視認 (Fig. 7) & 記録できるようにした。そして、ネットワークカメラに付属するマイクで走行中の車内音 (装置と車両異音) を監視する。更にコースの両端に設置した定点のネットワークカメラで、走行コースの路面変化と自動運転車の走行状態を鳥瞰的に常時監視 & 記録している。これらの情報は、画像・音とも常時通信させているため、その通信量は多いが、自動運転装置の LTE 通信回線と分けているため個々の通信電波が干渉することなく安定して運用できている。

4. 悪路耐久試験への適用

車両が悪路から受ける入力負荷は、①路面の凹凸の大きさ②走行車速③試験車両への積載条件で決まる。①の路面の凹凸の大きさは、市場の代表的な数種類の悪路を模擬し走行コースとして設定してあるため各コースで既に決まっていて路面形状から受ける入力となる (Fig. 8)。よって、入力負荷は②と③によってコントロールする。

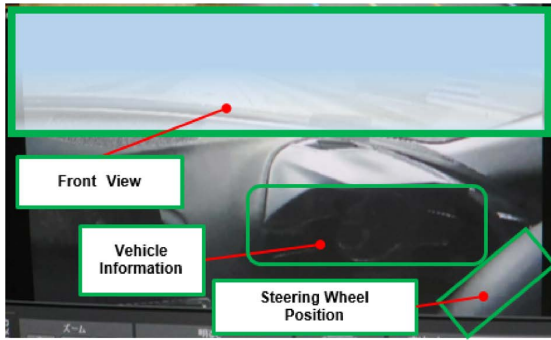


Fig. 7 Monitoring of Autonomous Driving Condition

試験期間を短縮するために市場での一般的な使われ方よりシビアな車速や条件を組み合わせ自動運転装置による耐久試験方法ならではの工夫を入れて構成した。

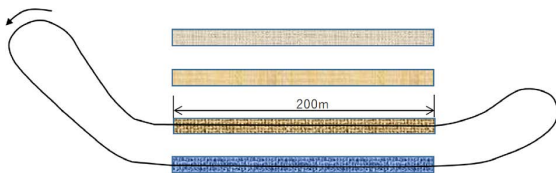


Fig. 8 Rough Road Test Course

4.1 走行車速制御

耐久試験中の走行車速は、一発大荷重的な入力 Avoiding a sudden heavy input to the market's general driving speed, but larger and without the need to structure. However, the market's driving speed is, from low speed to high speed, various. On rough roads, the small input at low speed is, absorbed by shock absorbers and easily to the vehicle's input is small. Conversely, increasing the speed and the input is absorbed to the vehicle's input is large. This phenomenon is observed in Fig. 9, showing the driving pattern of a general customer's driving state from simulation, the driving pattern of a certain speed driving pattern combined with chassis and vehicle's input load balance for the setting and operation.

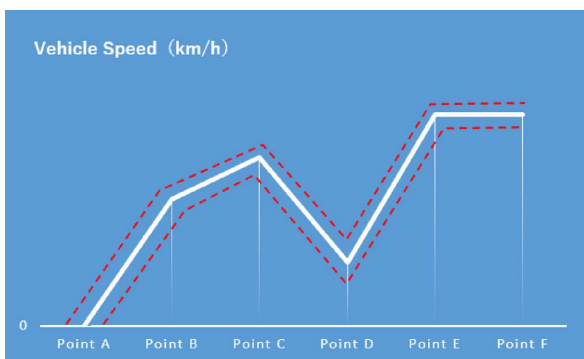


Fig. 9 Example of Vehicle Speed Pattern

設定した走行車速は、耐久試験の負荷をコントロールする上で重要な要因になる。しかし、ドライバーの運転では、長時間の走行になるほど基準の車速±2km/hを

維持することが困難になるため走行車速のばらつきを少なくするように車速の変化が少ない単調な走行方法を設定していた。そのためにドライバーが運転する限りは、居眠り運転や判断ミスの危険性がゼロにはならずに残っていた。自動運転装置による走行はGPS測位による位置と速度の情報をベースにコントロールユニットが1秒間に50回のトラッキング制御を行う。ユニットメーカーの公表値によると車速誤差は±0.5km/hである。制御パラメーターをコースでチューニングすることで悪路の連続走行でも目標車速に対する誤差は1km/h以内で周回することが可能になった (Fig. 10)。

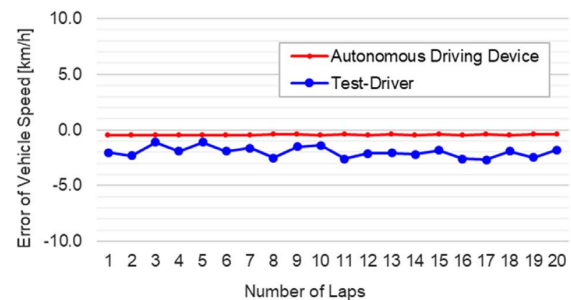


Fig. 10 Speed Accuracy of Autonomous Driving Device

車両を加速させたい区間は、現在車速と目標車速の差に対するアクセルストロークの上下限を設定、更に車両の速度維持に必要なストロークと調整幅を5段階まで規定する。このチューニングによって緩加速と急加速をコントロールする。また悪路走行中のブレーキ操作の加減でアクスルと周辺部品には前後方向の入力負荷が変化する。そして、エンジンマウントラバーの取り付け部分にも前後方向の入力負荷に変動がある。これらの入力負荷条件の設定もドライバーの運転では、経験やスキルの差によって操作のタイミングとポイントが一定にならない。自動運転装置は、反復の運転操作に対する精度が高いため加減速による入力負荷を凹凸路面200m区間の中で制御する走行方法が可能になった。

4.2 走行ライン制御

耐久試験は、使用するコースを周回数で管理して定期的に車両点検やデータ計測、積載条件の変更を行い運用する。走行車速と積載条件の変更による入力負荷の変動は、走行ラインの違いによっても悪路からの入力と車体ロールによるねじりの入力に変化することになる。更に走行車速に応じてコーナー進入から出口までの走行ラインのトレース性は、耐久試験結果の安定性に影響を及ぼすことになる。この調整は、自動運転させたいコース上の位置情報と速度を設定して制御する。ドライバーが運転時に行う「認知・判断・操作」をシステムに制御させるようにトライ&エラーの走行をデータロガーで収集して変化代の確認と調整を繰り返しノウハウとして習得し

た。この点が自動運転装置を適用する上で最も苦労した所である。

Fig. 11 のように直線から旋回へ移行する自動運転の軌跡をスムーズに走行させるためには、ステアリングロボットとアクセルロボット、及びブレーキロボットの設定をチューニングする必要がある。設定変更の数値による変化代から旋回に必要なステアリング操作の開始する位置を車速に応じてシステムが先読みして制御するように旋回判定区間までの距離と時間のパラメータを変える。減速開始が遅れるとオーバースピードでコーナーに進入して走行ラインが規定した逸脱量を超えて緊急停止してしまう。

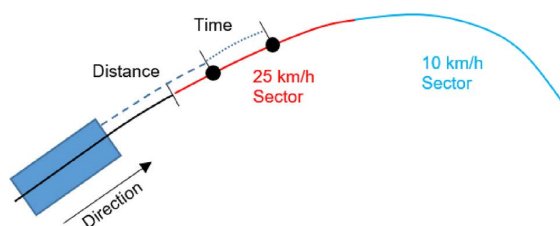


Fig. 11 Turning Control for Autonomous Driving

逸脱量を最小化するため制御パラメータを変更するが、車種によるステアリングギヤ比の違いで実際のステアリング操作量は変化する。更に試験中に遭遇する雨天など環境変化による路面状態の変化や車両側の性能の変化も加味する必要がある。例えば、車のブレーキ性能をコントロールする摩擦材は、冷間と温間で制動距離に差がある。また、燃料が減ってきて車両が軽くなるため減速完了が早くなる。試験開始前には、燃料を満タンにする試験条件とし影響を最小化した。合わせて、減速度制御+自己学習モードによる対策ソフトウェアの追加製作をユニットメーカーへ依頼し安定する方向に改善した。事前準備に必要な作業は、ステアリング切れ角と回転半径の対応テーブルを作成することでシステムは、走行ラインに追従するための回転半径をリアルタイムで計算して回転半径に対応したステアリング切れ角で制御する。最終的には、ドライバーの運転よりも早めに減速開始する安全第一の設定で対応するが、各車ごとの細かいトライ&エラーによる設定が不要となった。基本パラメータの設定は、ファイルでシステムに保存できるため車種に応じてファイルを読み込む手順により悪路耐久試験として十分な走行精度と応答性を得ている。

最終的な位置の逸脱量は、適用させた悪路耐久試験コースを 10 周して規定した位置に対する逸脱量の精度を検証した。結果は、悪路の 200m 直線部で逸脱量は 5cm 以下である。逸脱量が大きくなるのは、ステアリングの操舵角で 180°以上を必要とする旋回走行の後半部分で 50cm 以下の実力を有している (Fig. 12)。なお、逸脱量が増える範囲においても繰り返し精度は、直線部と同

等の 5cm 以内になる。このレベルは、適用した耐久試験の精度として極めて良好であり、熟練ドライバーの運転でも長時間の再現は困難と言える高いレベルにある。

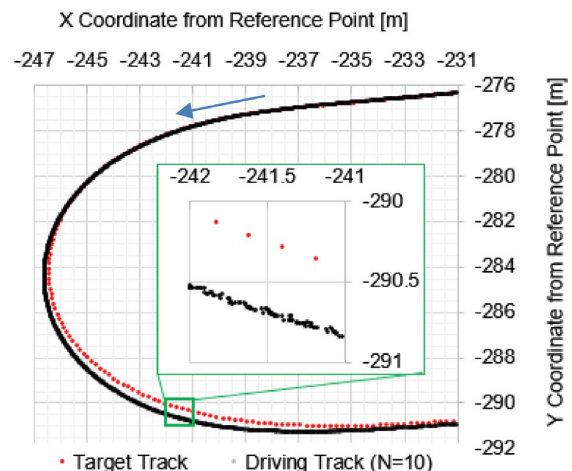


Fig. 12 Track Accuracy of Autonomous Driving Device

悪路耐久試験は、一般的なお客様の使用過程から想定した目標となるダメージを規定している。車両の信頼性を早期に確認する試験方法であり不具合の発見が遅れると商品開発に混乱をきたしてしまう。自動運転制御による繰り返し精度を向上させたことで主要なコンポーネントを歪ゲージと加速度センサーで計測した結果から算出した 1km あたりのダメージは、従来の試験方法に対し 2 倍近くに設定できており耐久走行期間が半減できた。ピーク荷重も既存のテスト方法と大差がないことを確認している。過去の耐久試験実績とも比較して想定外の問題は発生せず同等といえる劣化現象が、ねらいの距離で再現することから適用可能な最終判断ができています (Fig. 13a-b-c)。

4.3 運用方法と改善

この自動運転装置を導入し耐久試験に適用させるには、運用方法・手順など、さまざまな事項の整備が必要であった。耐久試験は、一定期間の走行が必要でその運用には、日々装置を脱着する作業が発生する。精度と安全に関わる部分であり影響度を理解して作業手順、作業者の認定基準、設備の改良が必要になった。例えば、アクチュエータを車両に固定することも作業者の力加減の違いを考慮して改善する必要がある。ペダルロボットの固定は、脱着を容易にするために運転席シートのクッション上にプレート置いてシートクッションにラチェットバンドで締め付けている。この場合は、シートクッションが変形するため締め付けの力加減が難しい問題が発生した。ベースプレートにガイドを追加して解消した。他にも自転車の位置情報を補正する IMU のセット位置は、悪路走行の振動で角度がある閾値を超えると、ねらいの走行ラインにならない。車の評価への影響を最小

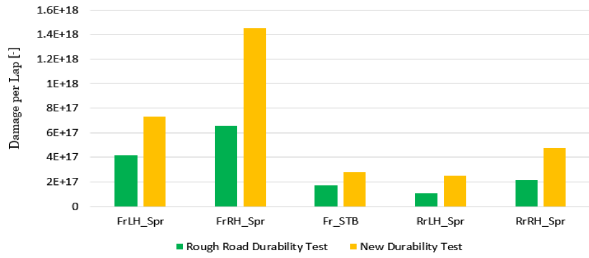


Fig. 13a Parts Damage Comparison

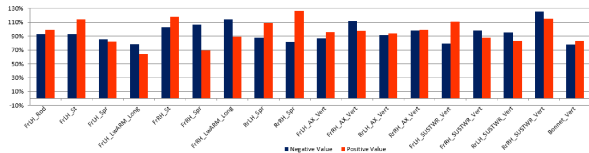


Fig. 13b Max Strain Inputted by New Test

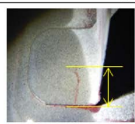

Phenomenon	Results of Durability Test Using the Rough Road	
	By Autonomous Driving Device	Test Driver
Body Panel Crack	 <p>Size : 10 mm</p>	 <p>Size : 10 mm</p>

Fig. 13c Body Damage Comparison

化した固定方法を考案して検証テストで効果を確認した。このように、耐久試験で使ってみるとさまざまな問題が認められた。中には、自動運転中に異常な状態に見えないのに緊急ブレーキが作動する症状が出たこともあった。再現性が乏しく時間はかかったが、原因究明から設計変更につなげ改善した。

5. 更なる進化と適用拡大

導入した自動運転装置は、GPS 位置情報を基に走行精度を確保していることはこれまでに述べているとおりだが、自動運転の肝といえる通信の安定性に関しては、新しい通信規格「5G」などが台頭してきており市場の動向を引き続き注視し適用を検討していきたい。今後の展望として1周5kmの耐久周回コース、耐久試験以外にも自動運転装置の反復精度が活用できるテストへ展開を考えている。コース脇の樹木や立体交差などの人工遮蔽物によりGPS衛星捕捉数が規定数に達しない場合には、極端に自動運転の精度が低下することが分かっている。衛星捕捉環境の整備とシステムの弱点を理解して機能追加を狙った技術開発によって解決する必要がある。既に社内外の関係部門と、これまでの経験と失敗事例も含めて絶対に事故を起こさないリスクアセスメントと必要なトラリアルテスト方法について検討を開始している。

6. おわりに

本稿で紹介したシステムは、イタリアのHI-TEC s.r.l. 社、

(株)東陽テクニカ、及びパナソニックシステムソリューションズジャパン(株)の尽力により実用化できたもので、また説明用の資料も提供いただいた。ここに感謝の意を表す。そして長年の労務環境に関する課題を解決して変革することができた。今後も技術の進化に応じて最も効率が良い、新しい働き方に挑戦していきたい。

参考文献

- (1) 津川定行：自動運転技術の発展，国際交通安全学会誌，特集，自動運転／論説，Vol.40，No.2，(2015)
- (2) 山北俊英：無人走行技術の耐久信頼性開発への適用と展望，日本信頼性学会，解説，Vol.22，No.2，(2000)
- (3) (株)東陽テクニカ：実車走行試験用ロボットシステム GPS 制御実車走行試験ロボット「Navicontrol」，https://www.toyo.co.jp/files/user/img/download/mecha/pdf/navicontrol_catalog.pdf

■ 著 者 ■



田邊 政治



宮本 幹大



山上 登



山広 昭文



森本 誠司



上村 晴美