

実証実験を通じた中山間地域における自動運転の課題と対応についての分析

井坪 慎二¹・馬渡真吾²・岩里泰幸³・関谷浩孝⁴・澤井 聡志⁵

^{1,4}正会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地) E-mail:itsubo-s257@mlit.go.jp, sekiya-h92tb@mlit.go.jp

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務部 (前 国土交通省道路局 ITS推進室)
(〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2) E-mail: mawatari@jreast.co.jp

³非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地) E-mail:iwasato-y92k9@mlit.go.jp

⁵非会員 星和電機株式会社生産本部 情報システム事業部 技術部 製品開発課
(前国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室)
(〒610-0192 京都府城陽市寺田新池36番地) E-mail:iwasato-y92k9@mlit.go.jp

国土交通省では、自動運転車両を活用することにより、人流・物流を確保し地域活性化に繋げることを目的として、「道の駅」等を拠点とした自動運転サービスの実証実験を計画し、平成29年度は全国13箇所で行った実証実験を実施した。

本研究では、主に平成29年度の結果から、路上駐車などの道路上の障害物による手動介入やセンサ検知、悪天候などによるセンサの機能低下など自動運転の継続が困難となった事象(計1046回)を、ドライバーへのヒアリング、ドライブレコーダー、運行日報から取得し、それらの事象について、沿道環境や道路構造などの関係する要因と発生した理由について特定し、それらに対する対応案を提案した。一例として、自動運転においては、路上駐車や歩行者自転車の回避による手動介入が多く、そのためには路面標示等の自動運転車走行空間確保方策が有効であることを提案した。

Key Words : *automated driving, rural area, field operation tests, mobility*

1. はじめに

国土交通省では、自動運転車両を活用することにより、人流・物流を確保し地域活性化に繋げることを目的として、「道の駅」等を拠点とした自動運転サービス(図-1)の実証実験を計画し、平成 29 年度は全国 13 箇所で行った実証実験を実施した¹⁾。

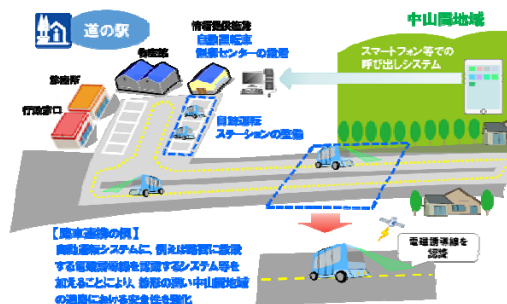


図-1 自動運転サービス実証実験のイメージ

平成 30 年度は、前年度に実施した実験箇所のうち 4 箇所で行った長期実験を行うとともに、新たに 5 箇所で行った短期実験を行っている。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

自動運転については、ここ数年で急速に実験が拡大し様々な実験が行われている。その中で、社会受容性については、いくつかの既往研究が存在する³⁾。

その一方で、実際の自動運転の走行の状況から、どのようなことが課題となり自動運転が継続出来なかったのかといったことを、道路構造や周辺環境と併せて分析した研究は無い。

本研究では、路上駐車などの道路上の障害物による手動介入やセンサ検知、悪天候などによるセンサの機能低下など自動運転の継続が困難となった事象を、ドライバーへのヒアリング、ドライブレコーダー、運行日報から取得し、それらの事象について、沿道環境や道路構造な

どの関係する要因と発生した理由について特定し、それらに対する対応案を提案する。

対応案の採用により手動介入の数を減らすことができれば、スムーズな自動運転走行の早期の実現に寄与することができる。

3. 実験概要

(1) 実験概要

平成29年度の実験では、全国13箇所で行った。概ねどの地域も約1週間の実験を行っている(図-2)。5箇所については、技術的課題を検討するための地域指定型として国交省より指定を行い、残りの8箇所については、ビジネスモデルを検証する地域として公募を行った上で、選定を行っている。

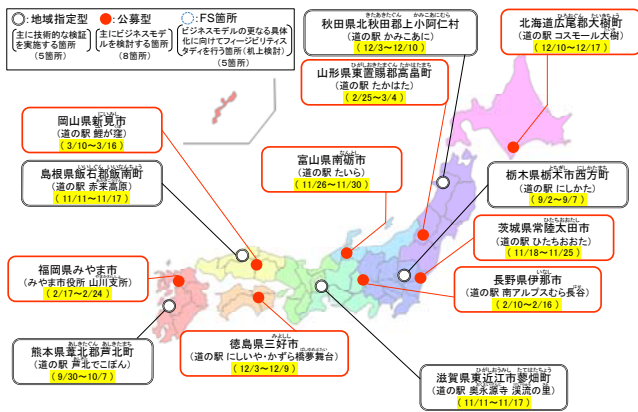


図-2 全国の実験地域

(2) 実験車両

本実証実験において使用した自動運転車両は、図-3の4車両である。平成29年度に、本実験に使用することを前提として公募し、4車両が選定されている。乗車人員、車両サイズ、航続距離、地域環境等を考慮し、各実験地域に適した車両を使用している。

バスタイプ	乗用車タイプ
①株式会社ディー・エヌ・エー 「車両自律型」技術 GPS、IMUIにより自車位置を特定し、規定のルートを走行(点群データを事前取得) 定員: 6人(着席) (立席を含め10名程度) 速度: 10km/h程度 (最大: 40km/h)	③ヤマハ発動機株式会社 「路車連携型」技術 (埋設された電磁誘導線からの磁気を感じて、既定ルートを走行) 定員: 7人 速度: 自動時 12km/h程度 手動時 20 km/h未満
②先進モビリティ株式会社 「路車連携型」技術 GPSと磁気マーカ及びジャイロセンサにより自車位置を特定して、既定のルートを走行 定員: 20人 速度: 35 km/h程度 (最大40 km/h)	④アイサンテクノロジー株式会社 「車両自律型」技術 事前に作製した高精度3次元地図を用い、LiDAR(光を用いたレーザー)で周囲を検知しながら規定ルートを走行 定員: 4人 速度: 40km/h程度 (最大50 km/h)

図-3 実験に用いた車両

4車両では、自動走行のための自己位置特定手法とそのためセンサが異なっており、①(株)ディー・エ

ヌ・エーと②先進モビリティ(磁気マーカ敷設区間以外)は高精度のGPSで自己位置特定を行っており、②先進モビリティ(磁気マーカ敷設区間)と③ヤマハ発動機(株)は舗装面に埋設した磁気マーカや誘導線の磁力を検知して自己位置を特定している。また、④アイサンテクノロジーは、事前に取得した高精度3次元地図とLIDAR(レーザースキャナセンサ)とを照合して自己位置の特定を行う。

(3) 手動介入データ等の取得

図-3に示す4車両は、あらかじめセットされた軌跡通りに走行を行うが、路上駐車など道路上に障害物がある場合には、センサで検知を行い停止する。

道路上の障害物の自動での回避は、その障害物を人工知能等を用いて適切に認識し(人なのか、自転車なのか、落下物なのか等)、対向車線にはみ出す場合には対向車線の安全も確認した上で、適切な余裕を確保しつつ回避する必要があり、極めて高度な技術であることから、現在は世界的に開発途上である。このため、繰り返しになるが、図-3の4車両は走行軌跡を変更しての回避行動は行わない。

今回は公道を使用した実験であるため、安全確保のためドライバーが乗車している。路上駐車など走路障害物の回避や、後述するすれ違いなど自動運転が対応出来ない状況になった場合には、モニターも乗車していることから、運行のスムーズさを確保するためドライバーが介入動作(以下、この動作を「手動介入」という)を行っている。

いずれの車両も、自動運転中に人間が介入を行うと自動運転が解除され、人間の操作が優先される。これをオーバーライド機能といい、公道での自動運転実験に必要な機能として「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン(警察庁)」に定められている。

今回の実験では、手動介入が発生した時間や場所と理由について、運行日報やドライバーへのヒアリング、車載ドライブレコーダーの映像等と照合することで、把握を行った。また、天候等の要因によりセンサ機能の低下し、自動運転の継続が出来なかった事象も併せて取得している。

4. 実験結果

(1) 手動介入等の総数の内訳

13箇所の総走行距離は、2200kmである。ただし、開始式の試乗などのイベントを除いた実験としての走行距離は、1740kmである。それらの走行について、手動介入及びセンサ検知による自動走行が継続出来なくなった事象の内訳を図-4に示す。

総計で、1046回の手動介入等の事象が発生した。こ
「その他」で示す事象については、以下のような道路側
での対応が難しいものを区分している。

その他に区分したもの

- ・運転手の操作ミス
- ・チューニングの改良で解決するもの（動かない構造物をセンサで検知など）
- ・システムの誤動作
- ・交差点等で強引な運転をする車の回避
- ・緊急車両の発生
- ・雪道でのスリップ 等



図-6 道路上の路上駐車

路上駐車は、沿道状況の要因によるところが大きく、人家連坦部での発生が多い。

次に、歩行者や二輪車の回避のための10km走行あたりの手動介入等の発生状況を図-7に示す。その代表的な発生状況を図-8に示す。

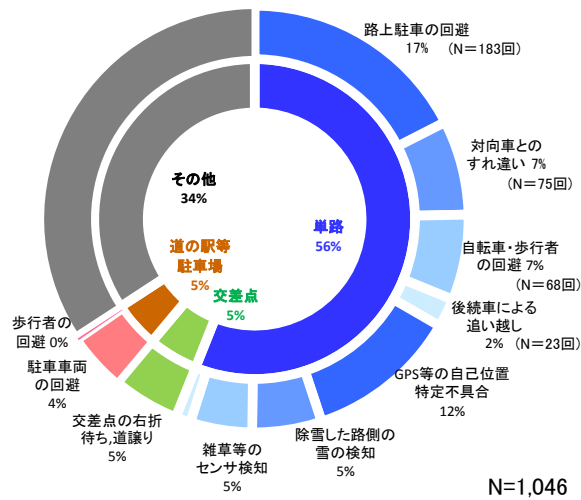


図-4 手動介入とセンサ能力低下事象の発生状況

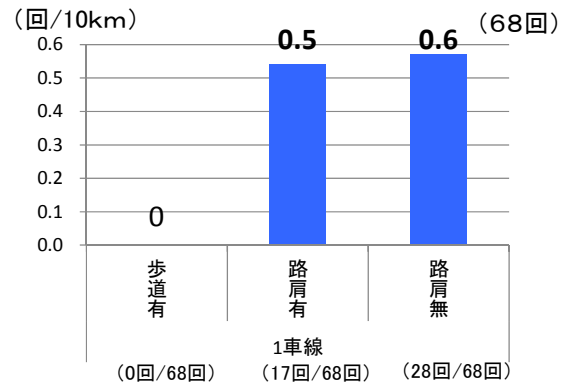


図-7 道路上の歩行者の回避のための手動介入発生状況

(1) 道路構造・沿道環境要因等の要因による手動介入

手動介入で最も多かったのが、路上駐車回避によるものである。沿道状況ごとの10km走行あたりの発生回数を比較したものが図-5である。また、その代表的な発生状況を図-6に示す。

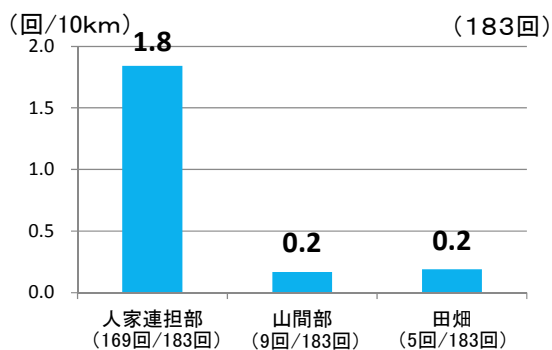


図-5 沿道状況毎の路上駐車の手動介入発生状況



(みやま市役所山川支所)

図-8 道路上の歩行者の回避のための手動介入

図-7を見ると、歩道がきちんと整理されている道路は、歩行者等の回避による手動介入は発生していない。歩行者と自動運転車の走行空間の分離の必要性を示していると考えられる。

(2) 混在交通による手動介入

自動運転車は一般的に走行速度が低い。これは、センサの性能の限界、実験であることを踏まえた安全確保を行っているからである。結果として、一般車両との速度差が発生し、後続車の滞留や、無理な追い越しが発生す

る場合があった。その状況を図-9に示す。



(道の駅芦北でこぼん)

図-9 速度差による後続車の追い越し

狭い道路では、対向車が来てすれ違う際に、「お先にどうぞ」といったコミュニケーションや道を譲るといふ行為が発生し、自動運転での対応が難しい(図-10)。また、同様に狭い交差点でも、行き先の方向の道路の車が先に交差点に出てこない、自らが進めないという状況が発生する(図-11)。



(道の駅芦北でこぼん)

図-10 すれ違いによる手動介入



図-11 狭い交差点による手動介入

また、道の駅の駐車場という人の往来が多い箇所では、自ずとその回避のための手動介入が発生している。その状況を図-12で示す。



図-12 道の駅内駐車場内の歩行者の回避のための手動介入

(3) 道路管理上の課題による 手動介入

沿道の民地等からの走路上への植栽の繁茂や、道路脇への除雪により幅員が狭くなり車両センサーが障害物として検知して、走行停止や手動運転で回避する場合があった。その10km走行あたりの発生状況を図-13に示す。また、植栽の繁茂による手動介入を図-14に、道路脇の雪による手動介入を図-15に示す。

いずれも、2車線の道路より、1車線の方が発生頻度が多くなっている。これは、自動運転のスムーズな運行には、適切な幅員の確保の必要性や、適切な管理レベルの必要性を示していると考えられる。

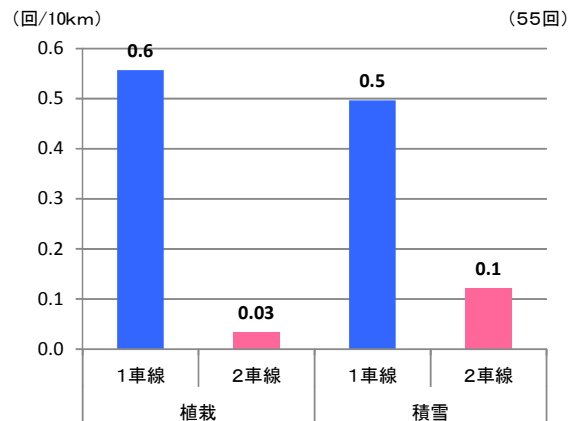


図-13 植栽や積雪による手動介入の発生状況



図-14 植栽の障害物としての検知



図-15 積雪による手動介入 (本来は2車線道路)

(4) センサ機能の低下による手動介入

「3.(2)実験車両」にて、記載しているが、高精度のGPS(RTK-GPS)やLIDARを用いて自己位置特定を行っている車両を使用して実験している。

高精度GPSは、は、GPS信号の衛星補足数の低下や高精度測位の為の補完情報の遅延によって位置測位精度が低下する。この10km走行あたりの発生回数を図-16に示す。山間部では、樹木の葉等がGPS信号を遮蔽し、人家連坦部では建物が斜め情報のGPS信号を遮蔽したと考えられる。

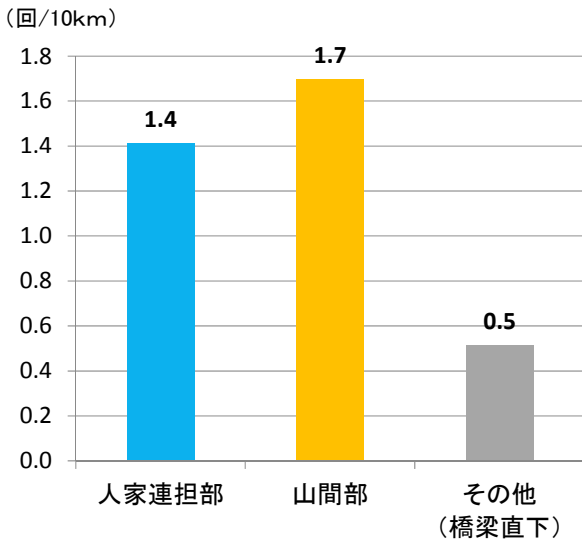


図-16 高精度GPS測位低下の発生状況

LIDARは、雪や霧の場合には性能の低下を起こす。雪の中のレーザースキャナーのセンシングの状況を、図-17に示す。図-17の右側のセンシング画面の白い点は、雪の粒を検知しており、これが増えてくると周辺のセンシングに不具合を起こす。

いずれにせよ、測位精度の低下は自動運転にとっては致命的であり、補完的な位置特定手法が必要であることを示している。



図-17 降雪時のLIDARのセンシング状況

路面上に誘導線や磁気マーカーを埋設し、路面からの磁力を元に自己位置の特定を行う車両は、降雪時や悪天候時にも自己位置の特定ができた。

5. 円滑な走行のための対応策の提案

このような手動介入の状況を踏まえ、円滑な自動運転車の走行には以下の様な対策が必要であると考えられる。

(1) 自動運転の為の走行空間の確保

図-4に示すとおり、路上駐車や歩行者の回避のための手動介入の数は多い。このためには、自動運転の走行空間を明示して、路上駐車や歩行者の発生を抑えるような工夫が必要である。イメージを図-18に示す。

また、すれ違いの発生を防ぐためには、一方通行化などの方策も考えられる。一方通行化を行うことにより、横断構成にも余裕が生まれ、歩行者と自動運転車の走行空間の分離も容易となる。



図-18 走行空間確保の例

(2) 待避所等の設定

一般車と自動運転車との速度差による追い越し等を防ぐには、待避スペースの設置が考えられる。退避スペースを設置することにより、その場所を用いて後続の車に

追い越しをしてもらうことが可能になる。既存の待避所を活用した後続車への道譲りの状況を図-19で示す。



図-19 待避場での後続車追い越し

(3) 自動運転に適した道路管理レベルの確保

図-12～図13に示すような沿道の民地等からの植栽や、道路脇への除雪については、地元とも協力し、自動運転を考慮した道路管理レベルの設定や、除雪や積雪時を考慮した走行位置の設定が必要と考えられる。特に、除雪については、費用もかかることから、沿道の住民との協力が不可欠である。

(4) 自己位置特定のための路車連携設備の必要性

自動運転車の自己位置の特定を手法として、現状では、電磁誘導線を使う、高精度のGPSを使う、高精度3次元地図を用いるというものが用いられている(図-20)。

手法	電磁誘導線等	高精度GPS	高精度3次元地図
車両			
位置特定	<p>電磁誘導線 磁気マーカー 位置の特定</p>	<p>衛星 (X, Y, Z) 絶対位置 電子基準点等からの補正情報 (※1) 位置の特定</p> <p>(※1)慣性計測装置(IMU)を用いて補正する方法もある</p>	<p>基準点 (X, Y, Z) 高精度3次元地図 相対位置 (※2) 地物の合わせ込み カメラセンサーで取得した画像 位置の特定</p> <p>(※2)絶対位置表現も可能</p>
課題	○施設の整備・管理	○GPS測位精度の低下 ・山間部等地理的要因 ・トンネル部等構造的要因	○気象変化によりセンサー性能の低下 ○高精度地図の整備・精度の維持 ・GCP等(※3)の精度の維持 ・地物位置の更新 <small>(※3)GCP: Ground Control Point</small>

図-20 自動運転の事項位置特定の手法

4.(4)で示したとおり、山間部やトンネルなどGPS信号が届きにくい地域やでは、高精度GPSは用いることができない。また、雨や霧等の悪天候の際には、センサ機能が低下するため高精度3次元地図とのマッチングが難しくなる。

このため、特に地方部のGPS等の通信環境が悪い地域や、悪天候で自動運転を行おうとした場合には、本実験で用いた電磁誘導線等の路側からの位置情報提供の支援が必要となる。

6. おわりに

本研究では、平成29年度に実施した実証実験のデータを分析し、手動介入から道路構造や一般車両との速度差、道路管理など、自動運転サービスの社会実装に向けた技術的課題と対応を整理した。

今後は、対策の試行や長期的に実験を行った平成30年度の実証実験のデータを分析し、中山間地域におけるモビリティを確保するため、自動運転車が円滑に走行するための道路空間の確保や地域との連携を含めた道路管理等、自動運転の社会実装に向けた検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 井坪慎二, 玉田和也, 澤井聡志, 吉田秀範, 谷口綾子: 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験における社会受容性分析, 第 57 回土木計画学研究発表会, 2018.
- 2) 国土交通省: 道の駅自動運転 HP , <http://www.mlit.go.jp/road/TTS/j-html/automated-driving-FOT/index.htm>
- 3) 日下部雄基, 西堀泰英, 佐藤仁美, 中村俊之, 森川高行: 試乗前後における自動運転の社会受容性の比較分析, 土木計画学研究発表会・講演集 vol.57, 2018
- 4) 西堀泰英, 木村航太, 谷口綾子, 森川高行: 自動運転システムの普及に対する賛否意識等の社会受容性に関するメタ分析, 土木計画学研究発表会・講演集 vol.57, 2018