

沖縄本島・石垣島での自動運転バス実証実験

中野公彦*

都市モノレールを除いて、鉄道輸送のない沖縄県においては、バスが公共交通の主体である。しかし、乗用車の利用も多く、バス事業者の経営は楽ではない。自動運転によるバス運行は、運営コストを下げるのが可能であり、さらに安全性向上、高頻度化等によるバス輸送サービスの質の向上が期待できる。そのような背景から、2017年に沖縄本島および石垣島で自動運転バスの実証実験が行われた。本稿は、その中の沖縄本島で行われた実験2件(南城市および宜野湾市・北中城村)と石垣島で行われた1件を紹介する。

Pilot Test of Automated Driving Bus at Main Land of Okinawa and Ishigaki Island

Kimihiko NAKANO*

In Okinawa prefecture, bus services play a major role in public transportation, since there is no railway services except for urban monorail. However, management of the bus transportation service is not easy since many private cars are used for transportation. Automated driving of the buses could reduce cost of the operation and rise the quality of the bus services with improved safety and high-frequency operation. With this background, pilot tests of the automated driving bus were carried out in the main land of Okinawa and Ishigaki island in 2017. The article introduces two pilot tests done in the main land, at Nanjo-shi and in the area extending from Ginowan-shi to Kitanakagusuku-son, and one test done in Ishigaki island.

1. はじめに

沖縄県は沖縄都市モノレールを除いて、鉄道と呼べる公共交通はなく、島内の交通は自動車に頼っている。バスによる公共交通サービスもあるが、旅客輸送の約9割が自家用車によるもので、公共交通の分担率は3.2%と全国平均を大きく下回る¹⁾。自動車保有台数は、1987年から2015年の30年間で50万台から111万台まで2倍以上に増えており²⁾、それに伴って深刻な交通渋滞が発生している。また、高齢化率(65歳以上の割合)は日本の中で最も低い

県であるが、2015年の時点で19.6%であり、2040年には30.3%に達すると予測されている³⁾。このまま輸送を自家用車に頼れば、高齢者による事故の増加、もしくは、多くの移動弱者が生じる可能性が高い。沖縄は日本有数の観光地でもあり、国内の運転に慣れない外国人観光客によるレンタカーの事故が増加しているという報道もある⁴⁾。

交通渋滞の解消、高齢者等の移動弱者および観光客の移動手段の確保の観点から、公共交通の充実が最も求められている地域の一つといってよい。ただし、自家用車による移動が主体となった社会においては、普段の利用者は少ないため、支出の多くを占めているバス運転手の人件費の確保が難しく、交通事業者の経営は苦しい。さらには運転手不足も深刻化しており、公共交通の維持すら難しい状況となっている。

* 東京大学大学院情報学環
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo
原稿受付日 2018年5月28日
掲載決定日 2018年7月3日

そのような背景から、沖縄はバスの自動運転が最も必要とされている地域であるといえ、2017年においては、複数のバスの自動運転プロジェクトが実施された。その中で、内閣府戦略イノベーション創造プログラムの下で行われた南城市および宜野湾市・北中城村での実証実験と、内閣府沖縄振興局の助成によって行われた石垣島での実証実験を紹介する。なお、これらの実証実験は、SBドライブ株式会社と先進モビリティ株式会社が実施した。SBドライブは主にバスの運行システムの開発を、先進モビリティは主に自動運転車両の開発を行っている。

2. 自動運転の方法

2-1 自動運転の概要

自動運転バス実証実験では、SAEの自動車用運転自動化システムのレベルにおいて⁵⁾⁶⁾、レベル4を目指している。レベル4とは、領域が限定されるものの、すべての動的運転タスクをシステムが行うものである。領域に制限なく動的運転タスクをシステムが行うレベル5と比べれば、機能は限定されるが、路線バスのように限られたルートに限られた時間に走行する場合には適したレベルである。

ただし、実証実験は、警察庁の定める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に基づいて行われ、レベル4相当の機能を有している。運転席のドライバーが常に監視を行い、必要な時に運転に介入できるようにしている。

2-2 車両概要

実証実験で用いられたバスは、日野自動車製のリエッセ（南城市・石垣島）およびポンチョ（宜野湾市・北中城村）に、各種センサ、アンテナ、自動操舵装置、自動アクセルおよび自動ブレーキを取り付ける等の改造を行ったものである。なお、南城市および石垣島の実証実験においては、自動ブレーキの改造が終了していなかったため、ブレーキの操作はドライバーが行った（Fig.1、Fig.2）。

2-3 自己位置推定

バスはRTK（Real Time Kinematic）-GPSにより、自己位置推定を行っている。RTK-GPSは、GPS衛星からの信号以外に、地上基地局の信号を受信することにより、自動運転を行うのに十分と考えられるcmレベルの精度の自己位置推定を可能にする。

2-4 障害物検知

障害物検知用にライダ（レーザーキャナ）を6つ、

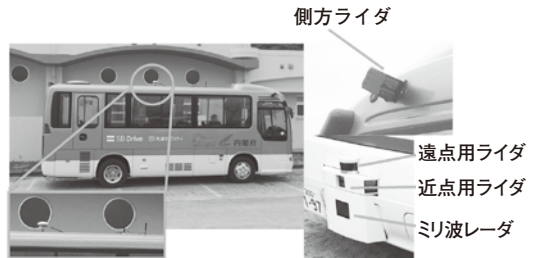


Fig.1 南城市・石垣島の実証実験で用いられた自動運転バス



Fig.2 宜野湾市・北中城村の実証実験で用いられた自動運転バス

ミリ波レーダを1つ、カメラを1つ取り付けられている。ライダは前方に遠点用（50mまで）が1つ、近点用が3つ、両側に1つずつ設置されている（Fig.3）。ミリ波レーダとカメラは前方に設置されている。カメラの画像からNVIDIAのプロセッサと人工知能を用いて、障害物の認識を行う。実証実験中は運転席にいる運転士が監視を行い、危険な状況はオーバーライド（人間による運転の介入）して回避することになっていたが、これらのライダ、レーダ、カメラによる障害物検知は、実証実験中は動作させるようにしており、信頼性の確認が行われた（Fig.4）。



RTK-GPS アンテナ

Fig.3 取り付けられたセンサ類



Fig.4 ライダ(上)とカメラ(下)による障害物検知の結果

2-5 信号協調

信号交差点を通過する際には、地上交通信号機の灯火を認識する必要がある。カメラと画像処理技術を用いて認識する方法もあるが、認識率はまだ100%とは言い難く、特に100m前後の距離からの認識となると信頼性は高いとはいえない。誤認識は事故に直結する危険性もあることから、今回は画像認識による方法は採用せず、あらかじめ、地上信号機灯火のサイクルを自動車に保存し、GPS信号から得られる時刻を参照しながら、信号灯火を判断することにした。この方法は、押しボタン式や管制に接続された信号機のように、あらかじめ決められたサイクルが変わる信号機には適用できないが、遠距離から信号灯火の判断が可能であることと、交差点到着時の信号灯火を予測することができることが利点である。路線バスは走行するルートが決まっているため、信号サイクルの情報を集めやすい一方、車内事故防止の観点から、急減速を避けなければならない。信号灯火を予測できる本手法は、本プロジェクトに適したものであった。なお、信号サイクルは、沖縄県警から提供いただいた。

3. 実証実験概要

3-1 南城市での実証実験

南城市での実証実験は、2017年3月20日から4月2日の期間に、あざまサンサンビーチ周辺の往復2kmほどの公道で行われた (Fig.5)。最初の公道実証実験ということもあり、交通量が少ない公道で技術的な検証を目的にした。操舵とアクセルが自動化され、ブレーキは運転席に座っている運転手が操作した。路上駐車車両を避ける自動操舵、およびバス停縁石から4cm (誤差2cm以内) の位置に停止できるように自動操舵する正着制御のデモンストレーションが行われた。延べ約160名が試乗を行い、約300kmの走行に成功した。

3-2 石垣島での実証実験

石垣島での実証実験は、2017年6月25日から7月8日の期間に、新石垣空港から石垣市離島ターミナル間往復32kmの公道で行われた (Fig.6)。1日当



Fig.5 南城市での実証実験ルート



Fig.6 石垣島での実証実験ルート

たり1万台程度の交通量がある実際のバスの運行路線において、定時運行による試験走行が行われた。地元住民、観光客から試乗を募っており、技術面だけでなく、社会受容性の検証も目的としている。ルート中にある4カ所の交通信号交差点において、信号協調制御の試験が行われた。機械式ブレーキは自動化していないため、自動での減速はエンジンブレーキによるものだけであった。信号現示と予測信号を運転士に提示する形 (Fig.7) で、機械式ブレーキの操舵を促し、停止する方式を採った。また、ルートの一部で、レーザーレーダによって緑石を認識して走行する手法の試験も行われ、RTK-GPS信号が捕捉できなくても自動走行できる可能性を示した。横方向制御の誤差は、直線部では標準偏差0.1mである一方、交差点右左折時は操舵角の指示値が大きくなるため、誤差は最大値0.3mに達し、正規分布に従わなくなる。今後の改良が望まれる点である。目標速度への追従については、オーバーシュート (OS) およびアンダーシュート (US) の平均値が1.8km/h、平均収束時間は9秒であった。今後はOSとUSを減らしながら、収束時間を短くすることが求められる。また、対向車がいる状況での路上駐車車両回避、GPS受信感度低下時等においては、運転士によるオーバーライドが発生しており、このような状況に対応する機能が必要である。改良が必要な点も出てきたが、事故もなく、約370名が試乗し、通算1,650km程度の走行を行うことができ、実証実験自体は成功した。

3-3 宜野湾市・北中城村での実証実験

イオンモール沖縄ライカムと宜野湾マリナー間往復20kmの公道で、2017年12月4日から13日の期間に行われた (Fig.8)。1日当たり約5万8千台の交通量がある幹線道路を、最高速度40km/hで走行し

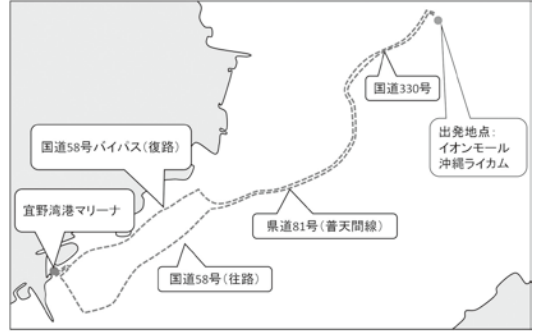


Fig.8 宜野湾市・北中城村での実証実験ルート

た。大きな需要のある実際のバス路線を意識した設定であり、前2回の実証実験よりも、一段階進んだ技術検証を行うことを目的としている。実験期間中の総走行距離は約440kmであり、約140名が試乗した。機械式ブレーキも自動化されたバス (Fig.2) が用いられ、停止まで自動で行うことができるようになった。RTK-GPS信号を受信できなかった時に備え、磁気マーカーを用いた自動操舵技術の試験が行われた。道路に磁気マーカー (永久磁石) を埋め込み、その磁気を車両に搭載した磁気センサが読み取り、自己位置を推定するものである。RTK-GPSにおける地上局の役割を磁気マーカーが担う。磁気マーカーは50cm間隔で道路に設置され (Fig.9)、正着制御を行うデモンストレーションに用いられた (Fig.10)。また、準天頂衛星みちびきからの信号を受信する試験も行われた。これにより、自己位置推定の精度が向上することが期待される。

4. おわりに

2017年に沖縄本島および石垣島で行われた3回の実証実験の様子を紹介した。その間に事故もなく、



Fig.7 信号協調制御



Fig.9 道路に設置された磁気マーカー:
黒いテープによって道路に固定されている



Fig.10 磁気マーカーによる正着制御

実証実験を計画通り行うことができたことは、関連官庁関係者、SBドライブ株式会社および先進モビリティ株式会社の方々の努力の賜物と感じている。ただし、安全が最優先される公共交通において、技術的信頼性を高めるためには、実環境での試験はまだまだ必要と思われる。特に、スイスのシオン市でPostBus社が行っているような⁷⁾メンテナンスなども含めた実運用を意識した長期の実証実験が必要である。今回の実証実験の成果が自動運転バスサービス実現の礎となり、移動弱者の多い地域における安全で快適なモビリティの実現につながることを祈念している。なお、本稿をまとめるにあたり、SBドライブ株式会社の宮田証氏と先進モビリティ株式会社の安藤孝幸氏のご協力を得た。感謝する。

参考文献

- 1) 沖縄の道路渋滞対策と新たな交通環境を考える 有識者懇談会「沖縄の新たな交通環境の創造に向けて(中間とりまとめ)」内閣府
- 2) 自動車検査登録情報協会「都道府県別・車種別保有台数表」
- 3) 内閣府「平成29年版高齢社会白書(全体版)第1節2地域別にみた高齢化」
▶http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/html/zenbun/sl_1_2.html
- 4) 琉球新報、2017年8月21日
▶<https://ryukyushimpo.jp/news/entry-558965.html>
- 5) SAE J3016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2016.
- 6) JASO TP 18004「自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義」2018年
- 7) PostBus社, SmartShuttleプロジェクトページ
▶<https://www.postauto.ch/en/project-smartshuttle-0>