

柏の葉地区を走行する自動運転バスを対象とした データ収集と分析の試み

霜野慧亮*¹ 中野公彦*¹ 鈴木彰一*¹ 岩崎克康*¹ 須田義大*¹
東京大学生産技術研究所*¹

論文概要 (300 字程度)

自動運転の社会実装には、実際の交通環境下で自動運転車両がどのように走行しているのかを、社会に対して適切に伝えることが望ましい。実交通環境下での自動運転車両の走行データ収集は、そのようなコミュニケーションの際に有用な情報をもたらすだけでなく、より高度な自動運転車両の機能開発や運用上の工夫等の観点からも、有益な情報をもたらすと期待される。柏市柏の葉地区では、2019 年 11 月から長期間実証実験として自動運転バスが営業走行している。この取り組みは、長期間にわたり自動運転車両が走行していることから、将来的に自動運転車両が実装された際の状況に比較的近い状態にあると考えられる。この自動運転バスにドライビングレコーダを搭載し、運転手による手動介入時の映像データ取得を行い、介入時の周辺交通や道路環境の要因について分析を行う取り組みを開始している。本稿では、この取り組みの概要を紹介する。

Long-term data collection of the automated driving bus at Kashiwa-no-ha

Keisuke Shimono *¹, Kimihiko Nakakano *¹, Shoichi Suzuki *¹, Katsuyasu Iwasaki *¹, Yoshihiro Suda *¹
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo *¹

Abstract (100 words)

Communication with citizens about actual situation of automated driving taking an important role for implementation of automated driving technology. Data collection campaign in FoT bring basic and valuable data for those communications also functional development of automated driving system. In Kashiwa-no-ha area in Kashiwa city, the long-term filed operational testing by automated driving bus with driver is carrying out from November 2019. This FoT seems to be relatively similar situation of that with automated driving system implemented compared with other FoT. In this research the data collection campaign is started to study about factor when safety driver taking over control from automated driving systems. In this paper, the overview of this campaign is introduced.

Keyword: Automated driving bus, FoT, Data collection campaign

1. 序 論

自動運転車両による移動サービスの実現に向けて、社会実装に向けた実験が全国各地で行われて

おり[1], レベル 4 自動運転の実現に向けて, 多様な車両のタイプと交通環境下における技術的な課題の抽出が継続して行われている. 技術的な観点での取り組みが多い実証実験の中でも, 実際に事業として運行を行い, 事業性や社会実装に向けた先導的な取り組みの側面も併せ持っている実験も見られる. グリーンスローモビリティを利用した, レベル 3 自動運転車両を用いた永平寺町での取り組みや, 沖縄県北谷町での取り組みは, その代表的なものといえる [2].

このような取り組みに見られるように, 自動運転の社会実装は着実に進んでいるが, 自動運転車両を移動手段として利用者が住民, さらには既存の交通参加者が受容できるのかどうかは, 今後引き続き議論すべき点の一つと目されている. 自動運転の様に, 新しい技術の導入に当たっては, 技術的観点のみならず, 倫理や社会など, 非技術的観点からの検討を行う, **Ethical, Legal and Social Issues** (略称として **ELSI**) の観点からの議論が必要である. 自動運転を受容するかどうかについて, その態度を調査した研究では, 混在環境下を走行することの交通リスク, 個人データの不正使用やネットワーク不正侵入のデータリスクと故障が, 認知されているリスクとして挙げられている[3].

混在環境における安全でスムーズな走行は, 自動運転における重要な技術課題であり, その実現に大きく寄与すると思われる技術はセンサ, 特にカメラや **LiDAR** による物体検知および認識の技術である. 安全な走行をどの程度実現できているのか, これに必要なセンサから得られたデータはどのように活用されているのかを, 可視化することは, 技術面での検討に資するだけでなく, 社会実装の際に求められる, 社会とのコミュニケーションにも資すると考えられる.

柏市柏の葉地区では, スマートシティに向けた取り組みの一つとして, レベル 2 自動運転バスを 2019 年より 2 年程度にわたり営業運転している. この事例も長期にわたり自動運転を実際に運行している事例の一つであると言える[4].図 1 に柏の葉地区で運行されている自動運転バスを示す. 加減速および操舵における大部分の操作が自動化された, レベル 4 を目指した機能を持つ車両が用いられており, 通常は同乗するバス運転手による操作を必要としない. ただし, レベル 2 自動運転としての運用を行っており, バス運転手が必要と判

断した際には介入し, 運転操作を行うこととしている.

本研究では, 柏の葉における自動運転バスを事例として, 自動運転走行中のバスにおける運転手による手動操作介入のデータを収集することで, 自動運転が実際に走行している状態を社会に対して可視化することを試みた. 本稿ではこの取り組みについて述べる.

2. 自動運転活用におけるデータ利用の試みと課題

自動運転車両は走行する際にセンサで周辺環境を認識しているため, 常にデータを蓄積しながら走行している. そのデータを活用することで, 自動走行機能や性能の向上だけでなく, 実際の交通環境において, 自動運転車両がどのように行動しているかを明らかにすることができる.

混在環境における自動運転車両の安全性については, 国内外で安全性の評価プロセスの構築に向けた研究が進んでいる. 乗用車における代表的な事例としては, ドイツの **PEGASUS** プロジェクト[5]や, 日本の **SAKURA** プロジェクト[6]が挙げられる. これらの事例では, 実際の交通環境を観察したデータから, 評価に供すべき交通シナリオの抽出や, これを用いた評価試験における判定ラインの設定が試みられている. 自動運転バスについても, 映像データを活用した分析が行われている. 例えば, 自動運転シャトルに搭載した映像から, 自動で走行する車両と周辺交通参加者とのインタラクションを明らかにしようとする研究が報告されている[7].



図 1 柏の葉地区での実証実験の様子. 実証実験に用いられている, 自動走行機能を備えた中型自動運転バス.

自動運転システムの機能や性能を検討する際に、ある程度の水準を持った、仮想的な運転性能を設定して、システムの性能と比較する方法がある。設定の方法としては、現在のドライバと比較する方法や、理想的な性能を仮定する必要がある。しかし、自動運転システムの開発者の立場では、性能を明らかにすることは、開発上の秘密を含む場合もあることから、慎重にならざるを得ない。また、ドライバとの比較を行う際には、ドライバ属性をどのように設定するか の考慮が必要となる。運転技能が優れている、例えば、職業ドライバを参照とする方法も考えられるが、運転技量が可視化されることによって個人にもたらされる影響を十分に説明し合意を得なければならない。これらのことを踏まえると、自動運転車両のデータ活用においては、公開、非公開、特定の処理をしたうえで の公開等のトレードオフを伴う線引きが、今後の課題であると考えられる。

3. 柏 ITS 推進協議会による自動運転実証実験

東京大学柏キャンパスが位置する柏市柏の葉地区では、2019年11月より、柏ITS推進協議会のもと、前述した自動運転バスによる営業運行を行っている。この実証実験の背景や体制については別途文献を参照されたい[8]。自動運転バスは、つくばエクスプレス柏の葉キャンパス駅と東京大学柏Iキャンパスの間を、平日と特定の日に限り、1日あたり4往復走行している。図2は実証実験の走行ルートを地理院地図[9]に加筆したものである。走行ルートには5カ所の交差点が含まれている。このうち、1カ所は十字路であり、残りは丁字路である。自動運転バスは、発着点である大学構内の前後および、駅前ロータリー内とその前後は手動運転で走行する。

2021年1月からは中型の自動運転バス車両が走行している。また、2021年11月現在、開始時よりも実証実験に参加する企業が増加しており、信号設備などのインフラ機器を手掛けるメーカーも参加している。

本実証実験は、一般の道路交通に混在して走行する自動運転車両による営業運行を、2年近く継続して実施していることが特徴である。ここでの取り組みは、将来、混在環境下において自動運転車両が走行する状況を考えた時、導入後一定の期間が経過した状況に近い状況にあるとみなせる。

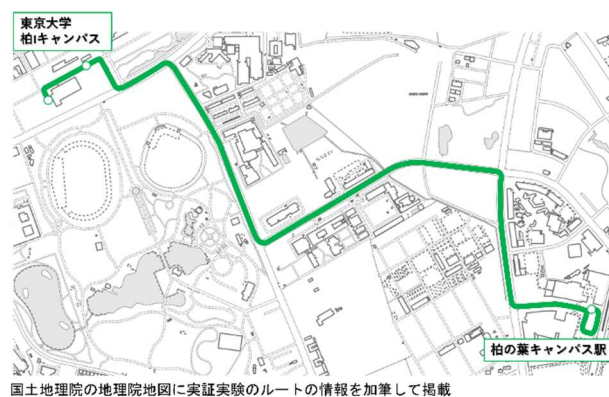


図2 自動運転バス走行ルート（緑色の線）と実証実験でのバス停車場所（緑色の丸）

4. 手動介入時データの取得

本研究では、自動走行中の自動運転バスを対象として、運行記録装置によって記録される映像や数値データを用いて調査することとした。なお、個々の運転手による手動介入データを扱うことから、研究実施に際しては東京大学ライフサイエンス研究倫理審査委員会の審査を受けるとともに、データ収集開始前に、自動運転バスを運転する可能性がある、運行事業者に所属する運転手7名に対して、データ収集の概要を説明し、インフォームドコンセントを行い、データ収集に関する同意を得た。

データを取得するための運行記録装置としては、市販されているデジタルタコグラフを利用した。この装置に、自動走行中に運転手からの手動介入があった際のトリガ信号を入力・記録した。トリガ信号は次の3種類である。

- ・ ブレーキ操作による介入
(ブレーキオーバーライド)
- ・ アクセル操作による介入
(アクセルオーバーライド)
- ・ 操舵操作による介入
(ステアオーバーライド)

デジタルタコグラフには、エンジン起動時から停止までの間、手動介入の発生場所や時間、累計件数など、数値的なデータを常に記録している。これに加えて、デジタルタコグラフにドライビングレコーダ（ドラレコ）も接続し、上記3つの操作介入のいずれか（OR判定）を検知した際には、

ドラレコのトリガが作動し、映像が記録されるようにした。映像データは、トリガ信号が入力された時刻の10秒前から5秒後までの15秒間を記録するイベント記録とした。図3にドラレコのカメラ配置を示す。6つのカメラで、車両周囲の映像を記録することができる。

5. 介入状況の可視化

手動介入の事例を統計的に可視化することで、その傾向を把握する。本稿では2021年9月1日から30日までの期間における20運行日に取得されたデータを対象とし、統計的に処理したデータと、目視により確認した一部の映像データから推察される点について、紹介する。

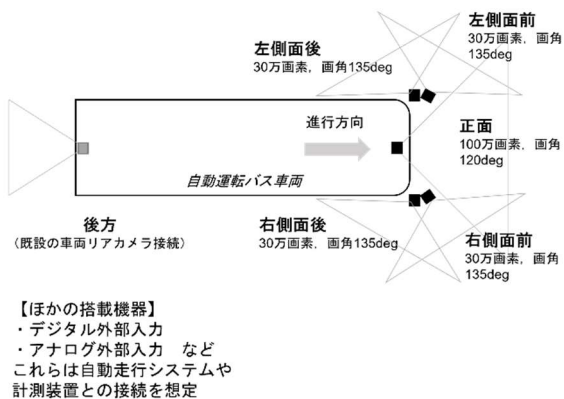


図3 ドラレコのカメラ配置。黒い四角は本研究でのデータ取得のために取り付けられたカメラである。灰色線の三角形はおおよその画角を表す。

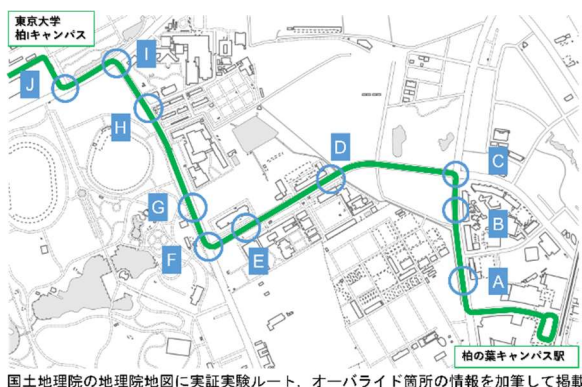


図4 手動介入発生場所の可視化例。緑線は実証実験ルートを表し、青い丸は手動介入の発生が見られた地点の大まかな範囲である。

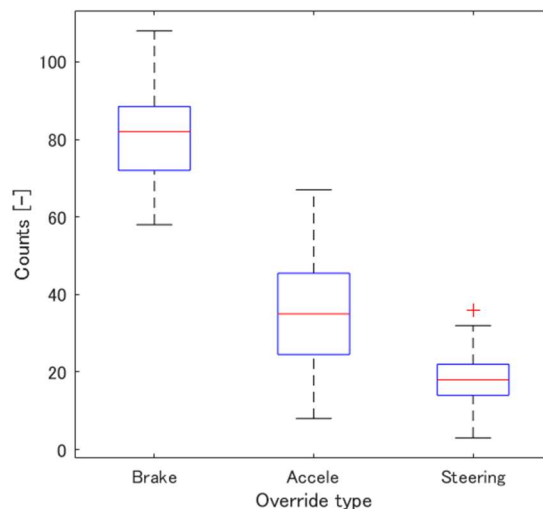


図5 日毎の手動介入件数を可視化したボックスプロット。朱色の線は中央値を表し、+は外れ値を表す。

手動介入の発生場所を図4に示す。これは、デジタルタコグラフの管理ソフトを用いて、前半(9月1日~16日)と後半(9月17日~30日)の間、いずれかの種類のオーバーライドが、10件以上あった場所を作図し、これらのデータから、オーバーライドが多く見られた場所を、地図[9]の上に円で示したものである。

図4中の地点A、I、Jは自動走行を行っている区間の起点および終点に当たる。このため、自動走行から手動での運転に切り替えるために操作介入が多くなっていると推察される。地点Aは、東大柏キャンパスへ向かう際に、自動走行システム切り替えのために停車している状況から、走行車線へ合流する地点である。地点Jは東大柏キャンパスの正門に当たり、多くの運行では、ここで自動運転を終了する地点である。

地点C、Fとその周辺にあたるB、E、Gは、交差点に当たる地点である。他の交通参加者とのインタラクションが多いことから、運転手の判断がより注意深くなり、操作介入の件数が相対的に多くなっていると推察される。

地点Dは、近くに住宅と公園、および、無信号交差点、バス停がある地点であることから、同様に運転手の判断がより注意深くなっていると推察される。

地点Hは単路部であるが、交差点となる(地点I)に近く、周辺施設の出入り口および、バス

停、無信号横断歩道にも近い地点である。また、地点 I の交差点に向かい左折車線と右折車線が分岐する部分の入り口にあたる地点であることから、同様に運転手の判断がより注意深くなっていると推察される。

図 5 は、分析対象期間中に生じた手動介入件数を種類別にボックスプロットとして可視化したものである。これは、運行日 1 日ごとに集計したデータである。手動介入の中では、ブレーキオーバライドの件数が多く、アクセルオーバライド、ステアオーバライドの順となっている。

ブレーキオーバライドの中央値は 82 件である。傾向としては、60 件程度を超える日が多く見られ、日によっては 100 件を超えている。

アクセルオーバライドの中央値は 35 件である。アクセルオーバライドは、速度回復など、周辺交通に影響を与えそうな際に発生していると推察される。

ステアオーバライドの中央値は 18 件である。ステアオーバライドは、主に駐停車車両の回避操作や、その側面を通過する際に側方距離を保つ際に発生していると推察される。

ブレーキ、アクセル、ステアの各オーバライドの間に見られる相関性を確認した結果を図 6 に示す。図 6 は、横軸にブレーキオーバライド件数、縦軸にアクセルオーバライド件数、円の半径をステアオーバライド件数として、各日のオーバライドをプロットしたバブルチャートである。ブレーキオーバライドは最小値が 58 件であることから、オフセットがあるように見える。また、アクセルオーバライドと、ブレーキオーバライドはそれぞれの件数に正の相関があると考えられる。すなわち、大まかな傾向としては、ブレーキオーバライドが多ければ、アクセルオーバライドも多い傾向にある。これは、駐停車車両回避のために減速したのちに、速度を回復する場合の様に、ブレーキ操作とアクセル操作が連続する状況の存在が推察される。一方、ステアオーバライドは、アクセルやブレーキのオーバライド件数とは単純な相関関係はみられないことがわかる。

可視化を行うことにより、ここで紹介したようなオーバライド状況に対する推察および仮説の設定が可能となる。さらに、より詳細な分析を行うためには、個々のオーバライド時に記録されたドライブレコーダ映像の分析が必要であると考えられる。

6. オーバライド発生時の状況の例および考察

ドラレコ映像の詳細な分析は今後の課題であるが、今回取得しているオーバライド時の映像を一部確認した際に散見された事例から、オーバライドが生じやすいと推察される状況について述べる。

道路環境により多くの手動介入が発生していると推察される状況としては、無信号交差点や、無信号横断歩道があげられる。いずれも、他の交通参加者とのインタラクションが必要な状況である。交差する方向に他車が存在する可能性がある無信号交差点や、横断歩行者の十分手前で減速する必要がある横断歩道などは、運転手の判断によって減速を行う場合が生じていると推察される。

その他の、交通参加者が関連するものとしては、以下のインタラクションが多い状況があげられる。一つ目は進行方向と交差するように動く他の交通参加者が関わる状況であり、具体的には交差点右折の際の対向車、交差点右折時および左折時における自転車・横断歩行者とのインタラクションが必要な状況である。特に、周辺交通参加者との間で譲り合いとされるインタラクションが生じる場合、運転手が相手の意図を予測し、操作介入を行う場合があると推察される。

二つ目は、同一方向に動く交通参加者が関わる状況であり、具体的には車線変更、追い越しの状況である。車線変更は、駐停車車両や工事規制に対応が必要な状況が詳細な例として挙げられる。また、追い越しについては、駐車車両に加え、自転車・二輪車へ対応が必要な状況があげられる。

いずれも、自車と他の交通参加者との間でのインタラクションが求められる状況で、自車の行動に対して他車が何らかの反応を返す状況ではないかと推察される。以上に述べた、オーバライドが見られると推察される状況は、他の実証実験における手動介入原因の調査結果でも既に指摘されているものと同様である[10][11]。柏の葉地区での取り組みにおいても、今後、ドライブレコーダ記録映像を用いて詳細な調査を進めていく中で、同様の事例が確認されるのではないかと考えている。

他の交通参加者とのインタラクションが求められる状況において自動運転システムへの手動介入が多いという推察に基づけば、自動運転車両の走行状況に関する適切な理解が社会の中で醸成されれば、他の交通参加者に自動運転車両が期待する反応を促すことも可能ではないかと考えられる。

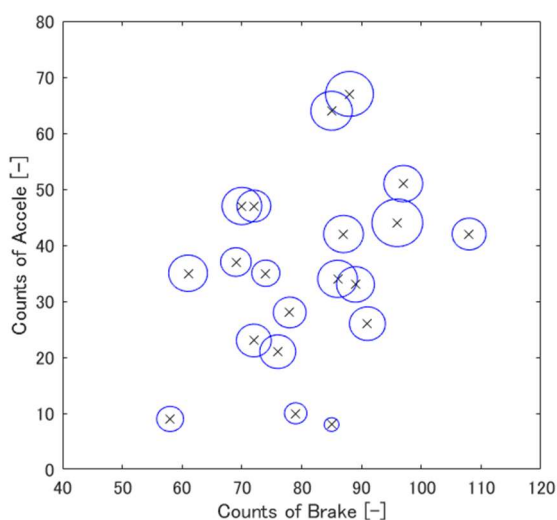


図 6 手動介入件数のバブルチャート，横軸はブレーキオーバライド件数，縦軸はアクセルオーバライド件数，円の半径はステアオーバライド件数を表す。

7. 結 論

柏の葉地区を走行する自動運転バスを対象に，自動走行中に生じた運転手による手動介入状況のデータ収集について紹介した．また，得られたデータの可視化がもたらす技術的な価値や，活用の際に考えられる課題について述べるとともに，実際に取得しているデータを可視化した事例について紹介した．自動運転車両が実際にどのように走行しているかが他の交通参加者に適切に理解されることは，社会実装において重要意義を有すると考えられる．今後，計測されたデータの活用について，開発者，事業者，利用者の観点を含めながら，さらに検討を進めていく予定である．

謝 辞

本研究で実施している柏の葉自動運転バスでのデータ計測は，東武バスセントラル株式会社，先進モビリティ株式会社をはじめとする，柏 ITS 推進協議会会員のご理解とご協力を頂きながら実施しています．また，本研究は JST-RISTEX 「ELSI を踏まえた自動運転技術の現場に即した社会実装手法の構築」の一部として実施しています．関係各位に謝意を表します．

参考文献

- [1] 経済産業省，自動走行ビジネス検討会「自動走行の実現及び普及に向けた取り組み報告と方針Version5.0～レベル4自動運転サービスの社会実装を目指して～」，https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/pdf/20210430_03.pdf (2021年10月31日閲覧)
- [2] 加藤晋，住宅地等での低速モビリティとの共存，国際交通安全学会，Vol.45，No.3 (2021)，pp.222-231
- [3] 唐沢かおり，自動運転に対する受容的態度，学術の動向，Vol.25，No.5 (2020)，pp.5_52-5_56，
- [4] 柏 ITS 推進協議会，企画部会，<http://www.kashiwa-its.jp/committee0/> (2021年10月31日閲覧)
- [5] PEGASUS Research Project，<https://www.pegasusprojekt.de/en/home> (2021年10月31日閲覧)
- [6] SAKURA Project，<https://www.sakura-prj.go.jp/> (2021年10月31日閲覧)
- [7] Ruth Madigan, Sina Nordhoff, Charles Fox, Rojya Ezzati Amini, Tyron Louw, Marc Wilbrink, Annna Schieben, Natasha Merat, Understanding interactions between Automated Road Transport Systems and other road users: A video analysis, Transportation Research Part F, Vol.66 (2019), pp.196-213,
- [8] 霜野慧亮, 岩崎克康, 鹿野島秀行, 須田義大, 柏の葉地区での自動運転バス長期営業運行実証実験の紹介 (特集 自動運転の新しい流れ), 自動車技術, Vol.74, No.10 (2020), pp.62-67
- [9] 国土地理院 地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp/> (2021年11月3日閲覧)
- [10] 中田諒, 藤村亮太, 中川敏正, 関谷浩考, 井坪慎二, 岩里泰幸, 一般道路における自動運転サービスの社会実装に向けた研究～手動介入発生要因の特定及び社会受容性の把握～, 国土技術総合政策研究所資料 No.1161 (2021), pp.27-54
- [11] 中野公彦, 沖縄本島・石垣島での自動運転バス実証実験, 国際交通安全学会誌, Vol.43 (2018), No.2, pp.114-118