

自動運転社会に向けたインフラ整備 ～現状の課題と検討の方向性～

Developing Infrastructure toward the Society of Autonomous Vehicles
- Current Issues and Directions of Examination

若井亮太¹ 剣持 健² 松本浩和³ 林健太郎⁴ 加藤桃子⁴ 磯野昂士⁴ 鈴木多恵子⁵ 馬場 剛⁶
牧村和彦⁷

By Ryohta WAKAI, Takeshi KENMOCHI, Hirokazu Matsumoto, Kentaro HAYASHI, Momoko KATO, Koshi ISONO, Taeko SUZUKI, Tsuyoshi BABA and Kazuhiko MAKIMURA

1 はじめに

近年、交通事故、人口減少、労働者不足、高齢化、公共交通不便地域などの地域課題の解消のためのツールとして、様々な場面で自動運転技術の活用に対する期待が高まっている。それに伴い、郊外住宅団地、過疎地域、中心市街地、高速道路など様々な場所で、乗用車、バス、タクシー、貨物車など様々な車両を対象とした取り組みが行われている。

そのような中で、高齢者やその他の交通制約者にも利用しやすい次世代都市交通システム「ART (Advanced Rapid Transit)」の実現に向けた検討が進められている。中でもバス停への正着制御は高齢者等の利便性向上のみならず、乗降時間短縮に伴う定時・速達性の改善の観点からも重要な取組として研究開発が進められている。

本稿では、ARTの正着制御技術の中でも比較的社会的実装しやすい誘導線方式の導入に必要となるインフラ要件や正着制御に対する利用者ニーズについて、テストコースや公道等で行った実証実験結果に基づき整理する。また、検証結果を踏まえて、正着制御技術の社会的実装時の課題を整理するとともに、自動運転社会に向けた今後の課題について考察する。

2 正着制御技術の概略と検討課題

(1) 正着制御技術の概略

正着制御技術は、ARTで考えられている技術要素のうちの一つであり、バス停にバスを隙間なく停車させることで、公共交通を誰もが利用しやすくなることを目指している。

本稿で対象とする誘導線方式の正着制御は、車両に設置したカメラが路面に設置した誘導線を読み取り、誘導線の中心とバスの中心線が一致するように自動的

にステアリング操舵が行われるものである。正着制御の手法のうち、精度が高く、近い将来社会実装可能な技術として期待されている。なお、今回、使用した誘

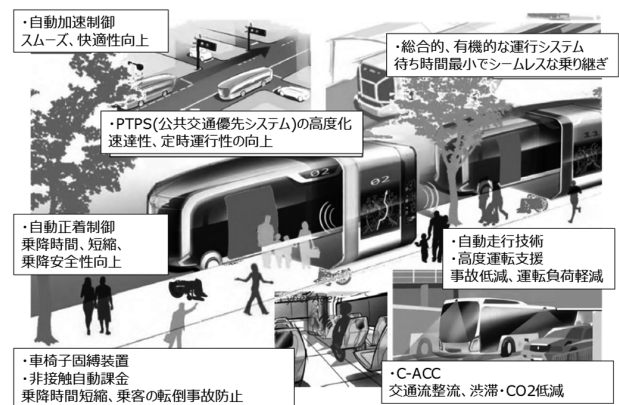


図-1 ARTの要素技術

(出典：自動運転走行システム次世代都市交通WG資料(内閣府))



写真-1 正着制御システムの概略



写真-2 正着制御の状況

¹都市地域・環境部門 グループマネジャー ²交通・社会経済部門 グループマネジャー 博士(社会経済)
³都市地域・環境部門 グループマネジャー 博士(工学) ⁴都市地域・環境部門 研究員 ⁵都市地域・環境部門 主任情報員
⁶研究本部次長 ⁷業務執行理事、研究本部企画戦略部長 博士(工学)

導線方式による正着技術は、日野自動車株式会社といすゞ自動車株式会社が開発したものである。

(2) 正着制御技術の課題

正着制御技術を社会実装するための当面の課題は以下のとおりである。

- ①日本の多くの路線バスでは、利用者が歩道からバスに乗降するため、バスの乗降に際し15～30cm程度の段差が生じている。そのため、正着制御技術を社会実装する際には、段差を解消するため、併せてバスの床と同じ高さとなるプラットフォーム設置などが必要となる。
- ②正着時には、バス車両とプラットフォームとの隙間が小さくなるため、走行時に車体がブレた場合等にプラットフォームに接触することが懸念される。そのため、接触時の安全性を確保可能なプラットフォームが必要となる。
- ③誘導線方式では、誘導線と路面の色のコントラストによりカメラが誘導線を認識するため、夜間環境では一定の明るさを確保する必要がある。
- ④歩道へのプラットフォームの設置、一般車両が走行する車道への誘導線の整備が必要となるため、道路利用者を始め、広く社会に認知してもらう必要がある。

(3) 正着制御に用いるインフラ設備

①誘導線の概略

誘導線の形状は二重ドット線、色は一般のドライバーが法定線（白、黄などの色）と誤認しないよう薄い緑色とした。また、今回の検討で、主に使用した誘導線の全長は50m程度である。

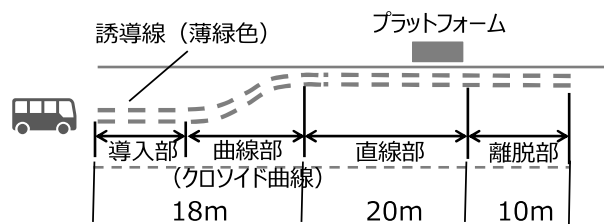


図-2 誘導線の概略図

②プラットフォームの概略

正着制御に使用するプラットフォームの断面は、図-3のような形状とした。具体的には、バス車両とプラットフォームの隙間と段差を解消するために、高さはバスの床と同程度の30cmとした。また、正着制御時に車体がブレてタイヤのボルトがプラットフォームに接触しても安全が確保できるように、上部をセットバックさせるとともに緩衝材を設置した。今回の実証実験では、プラットフォームの長さとは幅は、実証実験の目的や設置する場所の状況に応じてサイズを調整し、整備した。社会実装に際しては、プラットフォームの長さはバスの車両長に合わせた長さとし、幅は車いすでもすれ違えることが可能な2～3m程度の長さとするのが想定される。

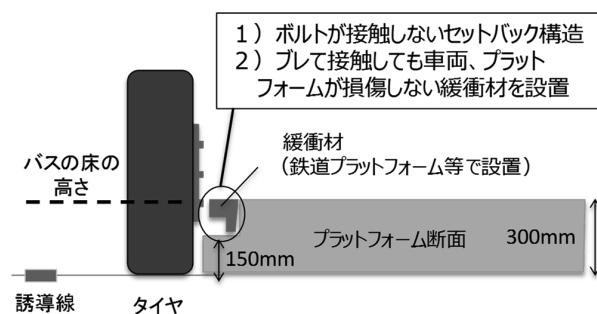


図-3 正着用プラットフォームの断面

3 正着制御のための技術的検証

テストコースにおいて、正着制御に関する技術的検証を行った。

(1) 検証項目

検証項目は、下記のとおりである。

- a) 方法の違いによる正着距離や安全性への影響
- b) 駐車車両の影響
- c) 正着用カメラの夜間誘導線認識性能の確認
- d) 誘導線の形状に関する改良効果の確認

(2) 検証結果

以下、検証結果を整理する。

- a) 方法の違いによる正着距離や安全性等への影響

①検証の概略

誘導線を用いた正着状況とバリアレス縁石を用いた正着状況を比較し、各手法の特徴を整理した。具体的

には2種類のプラットフォーム(図-3、図-4)をテストコースに設置し、正着距離、プラットフォームに接触したときの安全性、その他特徴を比較した。

ここで、バリアレス縁石とは、タイヤを縁石に当てて停車させることで、縁石側面がバスのガイドとなり、正着制御を実現するものである。バリアレス縁石の側面は、接触してもタイヤが損傷しない傾斜構造となっている。また、高さはバスがニーリング機能(エアサスペンションの空気を調整することで車体を傾けて、地面との段差を小さくすることで乗降しやすくする機能のこと。)を使用したときのバスの床の高さと同程度の22cmとした。

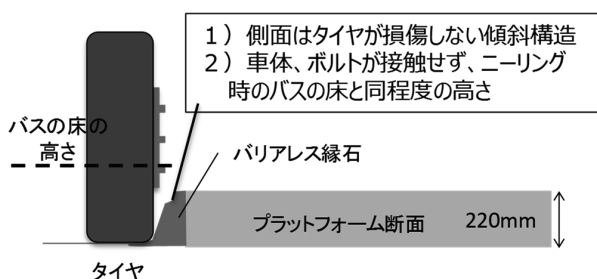


図-4 バリアレス縁石のプラットフォーム断面

②正着距離の比較

誘導線方式による正着距離(11回計測)は、前扉が平均40mm、後扉が平均75mm程度であり、バラつきは小さい。一方、バリアレス縁石を用いた正着距離(3回計測)は、前扉が90mm、後扉が119mm程度である。なお、バリアレス縁石は形状が異なるタイプのものを使用した場合は、正着距離の精度が向上するものと考えられる。

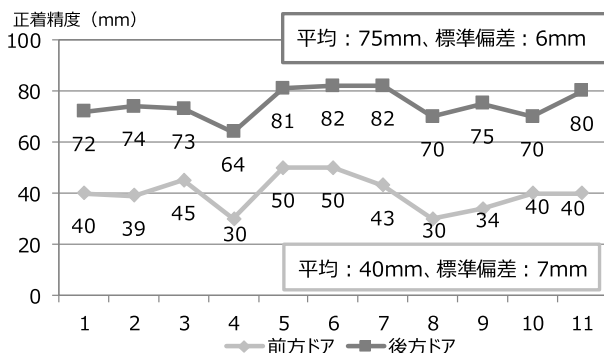


図-5 誘導線方式の正着制御の精度

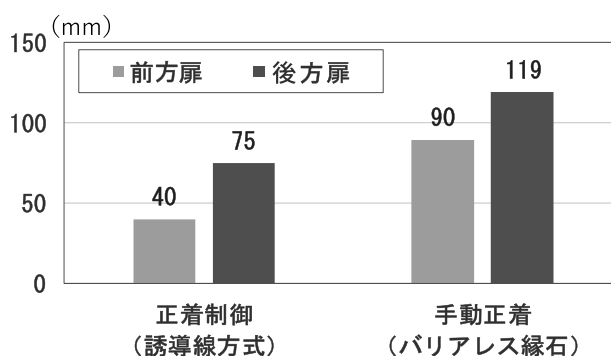


図-6 正着距離の比較

③安全性の比較

2種類のプラットフォームについて、車両が接触したときの安全性を確認した。誘導線方式では、正着制御時のバス停停車直前に手動でハンドル操作を行い、車体とプラットフォームを接触させることで正着制御の失敗を再現し、その際の車両やプラットフォームの安全性を確認した。バリアレス縁石では、バス停に正着した際の安全性を確認した。ここで、安全性は接触後の車両やプラットフォームの損傷状況、接触時の衝撃、その他により確認する。

安全性を検証した結果、何れも車両、プラットフォームの損傷はなく、車内での大きな衝撃も感じられなかった。ただし、今回使用したバリアレス縁石では、車両のプラットフォームへの乗り上げが発生する可能性があるなどの課題も確認できた。

④その他の比較

誘導線方式のプラットフォームでは、緩衝材とタイヤのボルトが接触しても直ちに緩衝材の強度が失われることはなかったが、繰り返し接触した場合、緩衝材の強度が劣化することも考えられる。一方、バリアレス縁石は、毎回タイヤを縁石に接触させて車両を停車させるため、タイヤの劣化が早まる可能性がある。

b) 駐車車両の影響

①検証の概略

プラットフォーム手前に一般の車両が駐車している場合は、車両を避けてバスを手動で停車させる必要があるが、熟練の運転手でも毎回精度高く正着させることは難しいと考えられる。また、プラットフォーム前方で、比較的近い位置に車両が駐車している場合は、バスが発車するには正着状態からハンドルを大きく操

舵する必要があるが、その際、車両の左後方部とプラットフォームが接触して、出発できない可能性がある。そのため、プラットフォーム前後は、どの程度の範囲で車両の駐停車を禁止する必要があるかを検証した。なお、検証ではバス車両の長さは約10.5m程度と大型路線バスと同程度のサイズの車両を用いた。

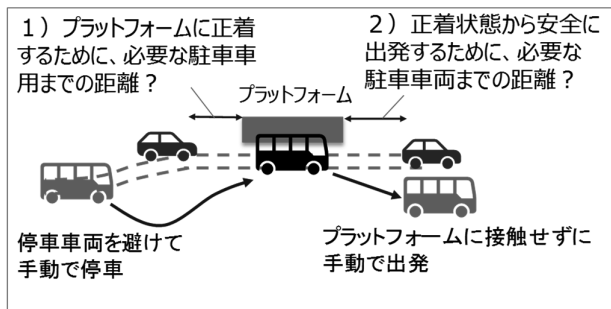


図-7 駐停車車両の検証イメージ

②検証結果

プラットフォーム手前に駐車車両がある場合は、プラットフォームと駐車車両が24m離れていても、正着距離は400mm程度と正着させることはできなかった(図-8)。そのため、正着させるためには、少なくとも誘導線が設置されているプラットフォーム手前30m程度は駐停車車両が発生しない措置が必要である。

プラットフォーム前方に駐車車両がある場合は、正着した状態からハンドルの操舵角240度以上で出発させると、バス車両のオーバーハングがプラットフォームを越えてしまう(図-9)。プラットフォームに柵が設置している場合など、プラットフォームとバス車体が接触しまい、出発できない可能性があることを示している。一方、ハンドルの操舵角が120度の場合は、このような状態は発生しない。操舵角120度でバスを出発させた場合、乗用車から幅2.0m離れるためには、プラットフォーム側面から10m程度走行する必要がある。そのため、前方10m程度は駐停車禁止とする必要がある。ただし、想定する駐車車両や使用するバスにより条件は異なるため、周辺環境を踏まえて駐停車区域を設定する必要がある。

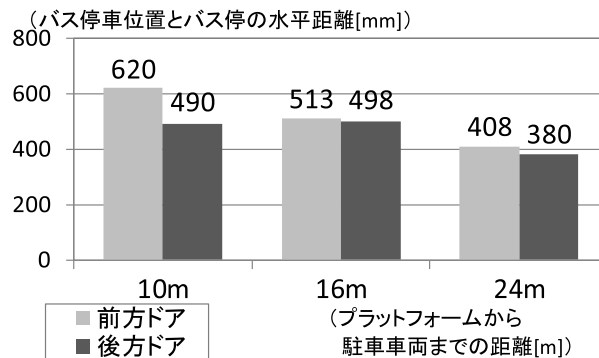


図-8 プラットフォーム手前の駐車車両の影響

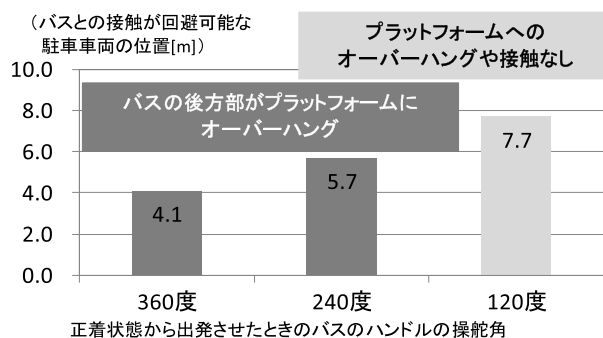


図-9 プラットフォーム前方の駐車車両の影響

c) 正着用カメラの夜間誘導線認識性能の確認

①検証の概要

誘導線方式では、カメラが誘導線と路面の色のコントラストの違いにより誘導線を認識するため、夜間は一定程度の街灯の明かりが必要となる。テストコースにおいて街灯を設置し、市街地における夜間のバス停周辺の明るさ(照度)を再現し、公道において夜間環境で正着制御を行うために必要な照度を確認した。



写真-3 夜間の実証実験の様子

②検証結果

検証の結果、通常の街路の明るさでは、街路灯と街路灯の間の区間に誘導線を認識できない区間が存在す

ることがわかった。また、認識できない区間から手動で誘導線上を走行させると、照度が30Lxを超えた地点でカメラが再び誘導線を認識した。実際の公道では時間が経過すると誘導線がかすれるなど環境も厳しくなるため、より安全性を担保するためには、街路灯で30Lxを確保する必要があると考えられる。

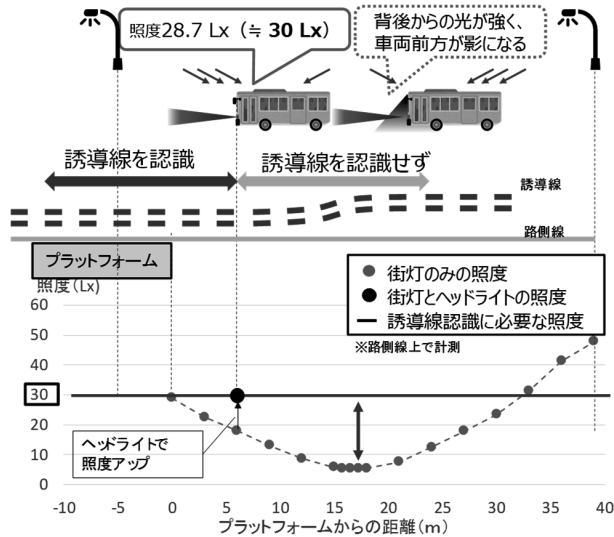


図-10 夜間の認識性能評価の結果

d) 誘導線の形状に関する改良効果の確認

① 検証の概要

検証の最初の段階では、図-11に示す改良前の誘導線の形状を用いていたが、図-6に示すとおり、前方扉と比較して後方扉はプラットフォームへ十分寄せ切れていないことが確認された。そのため、誘導線の直線部を一度外側に寄せてから直線とする形状に改良し、正着距離の改善状況を検証した。

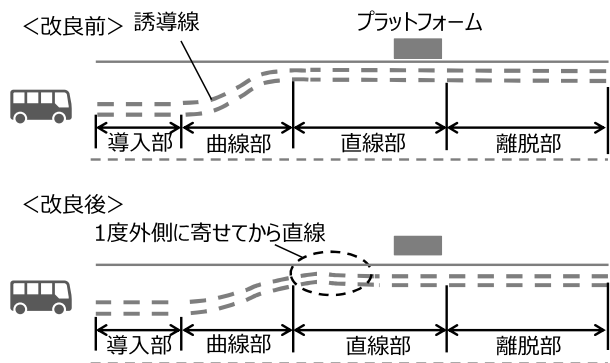


図-11 誘導線の構成 (上段改良前、下段改良後)

② 検証結果

検証した結果、改善後の誘導線では、前扉と後扉の正着距離の差が小さくなり、正着距離が改善することを確認した。

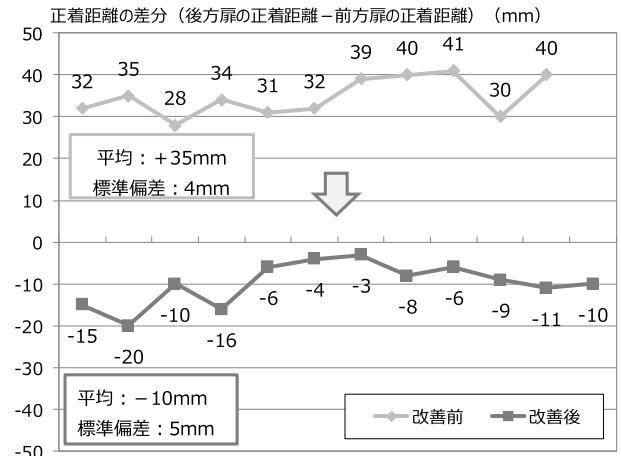


図-12 前後扉正着距離の差の改善前後比較

4 正着機能に対する利用者意識の把握

モニターを募集し、テストコースにおいて正着制御の試乗会を開催し、試乗会後に、アンケート形式による正着機能に対する意識調査を行った。

(1) 検証項目

モニターが感じる正着機能の効果や正着機能に対するニーズ等を確認した。

(2) 検証結果

a) 正着機能に対する導入効果とニーズの検証

① 検証の概要

東京臨海部の大規模駐車場内に、正着制御を体験できる仮設のコースを設置し、試乗会を行った。試乗会では、募集したモニターに正着機能を体験していただいた上で、正着機能や誘導線に関する意識についてアンケート調査を行った。本調査のモニターは、調査会社の登録モニターの中から性・年齢階層等の属性が偏らないように、全体で92名を選定した。

アンケート調査では、正着制御時のバス車両とバス停の間の隙間や段差、正着制御時の揺れや減速スピードについて、従来のバスとの比較により評価していただいた。

②検証の結果

正着時の揺れや減速スピードが「やや悪い」と回答した方が一部いたが、全体的には、「良い」「やや良い」と回答した割合が高かった。また、社会的意義に対する意識は、積極的に推進すべきとの意見が90%との回答が得られた。このように正着機能については、前向きに効果や意義を実感する方が多いことがわかった。

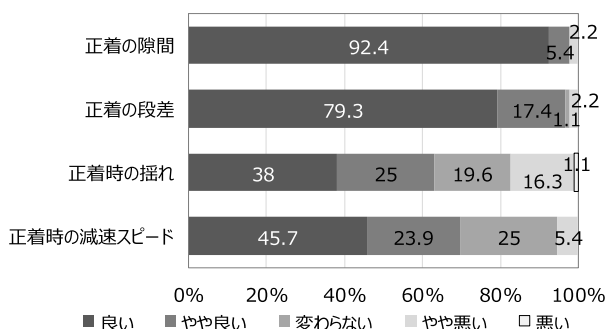


図-13 従来のバスと比較した正着制御の評価

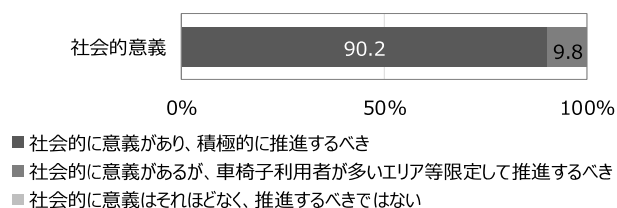


図-14 社会的意義に対する意識

b) その他意見

その他、自由回答で得られた意見について主要なものを整理した。モニターからは、「事前に想像していたよりも精度が高い」「ベビーカーで非常に乗降しやすい」「このようなサービスが身近にあれば、外出しやすくなる」などの前向きな意見が多かった。一方で、一部の方からは、「誘導線区間に入るときにバスの横揺れが気になった」「駐停車、落下物などの対策が心配であり、バス専用道が必要ではないか」などの意見もいただいた。

表-1 アンケート調査におけるその他意見

No	意見
1	このようなバスがあるならもっと乗りたい。安心、安全面でも期待値が上がった。
2	想像していたよりも精度が高い。
3	ベビーカーでも非常に乗り降りしやすい。車両とプラットフォームの隙間が電車と同じくらいで、重いベビーカーでもバスを利用しやすくなる。
4	車イスを利用していた頃、上り下りが不安で外出したくないと思った経験もあったが、このようなバスが身近にあれば外出しやすくなると思った。
5	誘導線の区間に入る際、横揺れが気になった。
6	違法駐車やゴミ、落下物などの対策をどうするか検討すべき。バス専用道も必要ではないか。

5 社会実装に向けた整理

誘導線方式の正着制御バスの社会実装に際しての課題、適地を整理し、無人自動運転交通サービスの今後の検討を考察した。

(1) 導入に際しての課題の整理

a) 誘導線等の維持管理

路線バスは、民間事業者が運営していることが多く、導入した地域では、路面に設置する誘導線の維持管理（落葉・汚れ対策、降雪時の対応、線の更新等）をどのように分担するかを明確にする必要がある。また、バス停周辺に街路樹があると、街路樹の枝と車体が接触し、正着することができないため、街路樹を定期的に剪定することが必要である。

b) 駐停車両対策

一般車も走行する道路で運用する場合は、誘導線設置区間に駐停車が発生すると、正着制御が難しくなる。そのため、導入に際しては、効果の高い駐停車両対策を合わせて実施する必要がある。

c) 道路空間へのインフラ整備

誘導線やプラットフォームは、法定線等の路面表記や歩道の街路樹の存在、歩道幅員の制約など既存の道路の状況によっては、整備することが難しいことも想定される。特にプラットフォームを歩道に設置する場合、歩行者の通行の妨げになる可能性もある。そのため、インフラ形状の工夫、道路空間の再配分など場所に応じた整備を行う必要がある。

d) 社会的な認知度の向上

プラットフォームは歩行者の通行に影響する可能性がある。また、普及させていくためには、正着機能の効果や意義を実感してもらう必要がある。そのため、効果や意義を体験できる場（部分的導入、試乗会等）を設け、PR活動を行っていく必要がある。

e) その他

誘導線の導入部では、誘導線とバス車両の中心が一致するようにハンドル操舵が行われる。バス車両中心と誘導線が離れた位置で誘導線区間に入ると、ハンドル操作による横揺れが発生する。そのため、乗客の安全性・快適性の確保に向けた運転手の訓練も必要となる。

(2) 社会実装の適地の考察

正着制御に必要なインフラ要件は、以下のように整理される。

表-2 正着に必要なインフラ要件

項目	内容
プラットフォーム	<ul style="list-style-type: none"> ・バスの床の高さに合わせた 15~30cm の高さ ・車いす、ベビーカーがすれ違い可能な幅と乗降するためのスロープ ・バスが接触した場合に安全性が確保可能な構造と緩衝材
誘導線	<ul style="list-style-type: none"> ・薄緑色 ・二重ドット線（カメラが線を認識するための仕様） ・運行速度や道路幅員等に応じた線の長さ
街灯	<ul style="list-style-type: none"> ・夜間正着するために、誘導線付近で 30Lx 確保できる街路灯

プラットフォームの設置を前提とすると、幅員が比較的広い道路が必要となる。また、ARTは、定時性・速達性の確保が前提となるため、右左折車両の影響が小さい多車線道路か、専用レーンで運用を行うことが望ましい。

そのため、比較的広幅員の道路が整備されている大都市部や地方都市の中心市街地の幹線道路に導入することが考えられる。

(3) 今後の検討課題

a) 自動運転技術の導入を支援する道路運用

内閣官房の自動運転のロードマップによると、路線

バス等の無人自動運転移動サービスの開始後も、一般道は、当面、手動運転の自家用車と混在した状況が続くことが想定される。

誘導線方式の正着制御技術は、初期の技術であり、将来的には、無人自動運転移動サービスへと移行できるように導入を進めていくことが望ましい。

正着制御技術の導入に際しては、一般車両が走行する路線では、短い周期での誘導線管理が要求されること、駐車車両対策を実施する必要が生じること等から専用レーン等による運用が望ましいと考えられる。しかし、我が国の都市部では一定程度の道路整備が進んでおり、新たに全面的な専用レーンを有する路線の整備は困難な場合も多く、既存の道路空間の有効活用が重要となる。

海外の都市の中には、既存市街地に専用空間を伴うBHLS(バスハイレベルサービス)等を導入する際に、既存インフラを柔軟に運用することで、安全安心な交通サービスを実現している。例えば、同じ誘導線方式の正着制御技術を導入しているフランスのルーアンは、狭隘な道路が多い中心市街地であり、誘導線を設置するバス停前後の区間では車線を従来よりも狭くし、その分を歩道や停留所の空間に充当、確保する工夫がされている。自動運転の技術を活用することで、公共交通の専用の空間が創出されている点も、今後の我が国のまちづくりに参考となる。

都市部における自動運転技術の導入に際し、まずは、沿道や地域との合意形成を進めながら既存インフラの柔軟な活用を行い、自動運転の初期の技術として正着制御技術を導入し、段階的にレベル4の無人自動運転移動サービスに移行することがプロセスとして考えられ、このような既存インフラの柔軟な活用方法や導入へのプロセスを検討していくことが課題である。

b) 自動運転技術から自動運転社会へ

将来の無人自動運転移動サービスへ移行する際には、従来の車両とは特徴が異なるため、サービスに応じたインフラの活用を検討することが重要である。

米国のNACTO (National Association of City Transportation Officials) は、「BLUEPRINT FOR AUTONOMOUS URBANISM」で、人や公共交通利用中心のまちづくりを推進し、新たなモビリティシステムが都市に実装されたときにあるべき街路空間の姿

をビジョンとして提案している。この中で、大通り、トランジットストリート、ダウンタウンストリート、居住地近隣のメインストリートなど、道路の機能ごとに、道路空間の姿と、各通りのコンセプトを提案している。

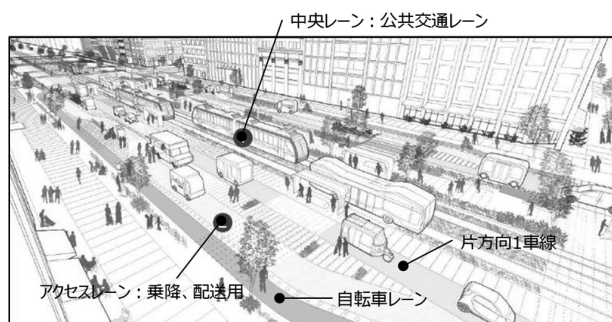


図-15 NACTOが描く街路の将来像(大通り)

(出典: BLUEPRINT FOR AUTONOMOUS URBANISM (NACTO))

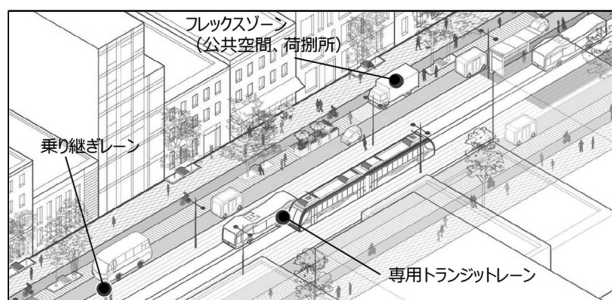


図-16 NACTOが描く街路の将来像
(主要なトランジットストリート)

(出典: BLUEPRINT FOR AUTONOMOUS URBANISM (NACTO))

自動運転技術について、市民の理解を深め、より実効性のある施策に昇華させていくためには、このような、自動運転技術の特徴を踏まえ、街や普段利用する道路がどのように生まれ変わるのか、どのような生活が実現されるかといった、まちづくりのビジョンを提示していくことが重要である。

日本では、道路幅員が狭い道路が多い、車線数が少ない道路が多い、鉄道を中心としてまちづくりされている都市が多いなど、アメリカとの違いも多いため、NACTOで整理した将来像をそのまま適用することはできないと考えられる。そのため、日本の道路状況や地域特性、将来の自動運転車両の特徴などを踏まえて、将来自動運転が実装された街路空間の姿をビジョンとして取りまとめていくことが大切である。

過渡期には、非自動運転車両と自動運転車両が混在

する状況が想定されるため、将来ビジョンに導くタクティカルな交通戦略も重要となる。道路空間のリデザイン、駐車空間のあり方、路肩のあり方、交差点のデザインや交差点の運用等、自動運転社会実現のためにハードとソフトが一体となった施策も課題である。

6 まとめ

ARTの要素技術の一つである正着制御の社会実装に向け、プラットフォームや誘導線に関する技術的検証と道路利用者等が感じる正着機能の効果や意義を整理した。その上で、今後、社会実装に際して検討すべき課題や実装の適地、今後の検討課題を考察した。今後、他国の動向や我が国の特徴の検討を踏まえて、将来想定されるモビリティ像を整理し、自動運転社会のまちづくりについて検討を進めていきたい。

最後に、本稿は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)より当研究所が受託した「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)/自動走行システム/大規模実証実験/次世代都市交通のうち次世代都市交通システムの正着制御に係るインフラ要件に関する研究開発」で検討した結果に、研究開発報告として著者らの考察を加えて書き起こしたものである。研究開発にあたって、内閣府SIP自動走行システム担当、NEDOロボット・AI部、日野自動車株式会社、トヨタ自動車株式会社の関係者のみなさまには、委託業務において実証実験等に関する多大なるご協力をいただき、打合せ等での議論等を通じて多くの示唆を頂きました。末筆ながら謝意を表します。

参考文献

- 1) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 自動走行システム推進委員会 次世代都市交通WG 資料, 内閣府
- 2) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議 第5回会議資料, 内閣官房
- 3) National Association of City Transportation Officials(2017), BLUEPRINT FOR AUTONOMOUS URBANISM