

[自動運転元年]

6 自動運転バスの実証実験



改發 壯 BOLDLY (株)



自動運転バスが求められる理由

地域の生活と産業を支え、豊かで個性や活力のある暮らしをするため「移動」は必要不可欠なものである。しかし、先般からの新型コロナウイルス感染拡大の影響によって「移動」は全世界で大きく制限された。年齢・性別・国籍・人種問わず移動の不自由が精神的や経済的にも大きな問題を引き起こすことが明らかとなった。

日本社会では共働き世帯の増加や平均世帯人員の減少などを背景に、子どもや運転免許返納後の高齢者の移動にとって公共交通の役割は重みを増している。なかでも、路線バスは地点間を行き来し、また安価でもあるため、路線の維持・拡充は必要不可欠である。しかしながら現在、バス路線の廃線・縮小が全国的な社会問題となっている。複数の要因が重なった結果ではあるものの、1番大きな要因は運転

士の不足と高齢化と言われている。現在8割のバス会社で運転士不足と言われており、またバス運転士の平均年齢は50歳を越え、今後さらに運転手不足が悪化すると考えられる。

そこで運転士が不足している多くの地域でもバス路線の継続や拡充ができるように自動運転のバスが求められており、いくつもの自治体や交通事業者、企業が実証実験を実施している(図-1)。実証実験が行われている場所は全国津々浦々であり、鳥取県八頭町・長崎県対馬市・愛知県日間賀島などの地方部もあれば、東京都イタリア街・芝公園・丸の内などの都市部もある。またバスが走る環境もさまざまであり、公道もあれば私有地内・空港内もあり、役割も旅客だけでなく貨物の移動にも行われている。実験回数は2019年度と2020年度続けて35回以上、およそ月に3回程度は実施されてきている。



■図-1 求められる自動運転バス

自動運転バスのシステム実証

自動運転バスを運行するにあたって主に3つのシステムが開発されている。1つ目が車両に搭載されている「走行制御システム」であり、GNSS(Global Navigation Satellite System)やLiDAR(Light Detection And Ranging) センサなどを活用して自己位置推定や障害物検知をしつつ、バスの走る・曲がる・止まるを実行している。2つ目が車外のデバイスに搭載されている「インフラ協調システム」で

特集

Special Feature

あり、信号機の灯色情報やセンサが検知しづらい場所の映像など、走行を補助する情報を走行制御システムへ伝達している。3つ目が「運行管理システム」であり、遠隔地からバスに何時何分どこからどこへ向かうのかといった走行の指示出しや、バスの位置情報や車内外の映像の確認、乗客とのコミュニケーションなど、交通事業を直接管理する者が使用するユーザインタフェースである(図-2)。運行管理システムにはほかにも運賃決済や乗客数の計測、走行記録の分析など多種多様なシステムも含んでいる。

実証実験が実施され始めた2017年ごろは、走らせたい道路環境を自動運転バスが安全に走行することの確認が最優先であり、主だった検証項目は走行制御システムであった。その後、2019年ごろからインフラ協調システムを検証する実証実験が増えてきた。信号機やインフラ側センサとの連携だけでなく、自動運転バスが近づいてくると対向車にその旨を伝えて注意喚起をする電光掲示板、地震発生時に自動運転バスの所在地にどの程度の揺れが何秒後に到達するかを予測し伝達して揺れがくる前の停車や減速につなげるなど、その種類はさまざまである。

運行管理システムの検証においては、2018年ごろから一部の企業が注力しはじめ、実施件数は増加してきたものの今現在でもまだまだ限定的である。交通事業における運行管理の業務は、安全に執行されるよう道路運送法などの法規によって定義されている部分もあり、それは自動運転での運行でも同様になると考えられる。実際に、国土交通省は自動運

転の運行管理に関する「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」を交通事業者に向けて公表している。運行管理システムにおいて、ガイドラインに記された要件を満たす運行管理業務ができることが初歩段階の検証項目といえる。中でも車内安全についての項目は重要といえる。バス事業者では、手動運転の運行においても乗客の転倒といった車内事故が課題となっており、運転士はすべての乗客が着座など安定した体勢であることを確認した上でアクセルを踏み始めるなど繊細な対策を実施している。運転士がいない自動運転車両でも同様の対策は必要であり、AIを使って乗客の体勢をリアルタイムに解析し、その結果に応じて走行開始を保留するなど、走行制御に影響を与えるシステムもすでに開発されている(図-3)。

実運用を通じた実証

2021年における最新の自動運転バスの実証実験は、もはや実験の域を越えて、社会実装された実運用の中で実施されている。法律の関係上、車両には運転責任を持つ運転士が同乗しているものの緊急時以外は操縦をせず、期間を定めることなく自動運転の路線バスが日本国内を走っている。

羽田空港(東京国際空港)に隣接した大規模複合施設「HANEDA INNOVATION CITY」(以下、HICity)の開発を進める羽田みらい開発(株)は、



■図-2 運行管理システムの事例



■図-3 AIによる映像解析の様子

特集
Special Feature

2020年9月18日からHICityの敷地内において、ハンドルやブレーキペダルなどを具備する運転席が存在しない自動運転バス NAYVA ARMA（以下、ARMA）1台が原則毎日走行する定常運行を開始している（図-4）。乗車人数は1年間で2万人を超えており、単に移動手段としてだけでなく、ほかの施設や先進的な空間デザインと相まってイノベーションの息吹を感じるアトラクションとしても活用されている。運行管理は、交通事業を長く営んでいる日本交通（株）が、遠隔地（赤坂営業所）から実施している。運行管理システムは BOLDLY（株）（ボードリー 以下、BOLDLY）が開発した Dispatcher（ディスパッチャー）が採用されており、同社が定める遠隔監視資格を取得した上でシステムは利用されている。

また茨城県境町は、2020年11月26日から町内の公道において、HICityと同型のARMA（3台）の定常運行を開始している（図-5）。運行管理は1人で同時に3台に対して実施されている上、2021年

夏には、路線運行と並行してオンデマンド運行や貨客混載オペレーションが導入予定であり、複雑かつ多用途な運行管理システムおよびその運用の検証が予定されている。

HICityや境町では、数日から数週間の実証実験と違い、期限の定めをしない定常運行を行っている。よって、継続的に走行する環境下において、走行制御システムやインフラ協調システムは、ロバスト性はもとより、機器メンテナンスやシステムアップデートといった保守面での検証もできるようになっている。また運行管理システムは、システムの検証はもとより、そもそも従来存在していなかった自動運転車両を管理するという新しい業務・職業が成立するのかの検証に至っている。車両にいる運転士をいないものとするすることで、車両側に手動のオペレーションがない状態で遅延や運休時、故障による代車運行ど正常運行時以外の状況に対して、システムを活用しながらどこまで円滑に対応できるかが検証できるようになっている。



■図-4 HICity 定常運行の様子



■図-5 境町定常運行の様子

運行する以上いつかは発生する、そういった細かな状況におけるシステム検証ができることは、実用化された定常運行における実証実験の大きな特徴である。

境町での定常運行

定常運行までの経緯

茨城県境町は、千葉県との県境となる利根川の流域にある人口約2万4千人の自治体であり、古くから利根川を使った水運の要として発展してきた。一方で町内には鉄道駅がなく、主な公共交通は路線バスである。バスは町の中心街と東武動物公園駅や古河駅とを繋ぐよう運行されており、町内の全域にまでは広がっていない。よって大多数の町民の移動手段は自家用車となっているが、高齢化に伴って免許返納を希望する声も増えている。

町は広域における交通網の拡充による観光客の誘引にも力をいれており、町内に圏央道境古河インターチェンジが開通したことにより、自動車による東京都心へのアクセスが約1時間へと改善したことに加え、2021年7月からは町と東京駅とを直通で結ぶ高速バスの運行が開始している。

また境町では「自然と近未来が体験できるまち」をスローガンのもと、先進技術にふれ合える環境も整えている。利根川堤防に自然の地形を利用して作ったオフロードコースをセグウェイでツーリングする体験ツアーや、ロボットプログラミングの教育プログラムなどを実施してきている。

境町の橋本町長は、境町出身であり、大学卒業後に境町役場に入庁、境町議会議員、町議長を経て、2014年から町長を務めている。町長就任以降、ふるさと納税を活用した財政再建に注力し、2019年度のふるさと納税受入額のランキングでは全国17位、関東3年連続1位、茨城県内5年連続1位を誇り、2019年度の実受額は30.6億円を記録した。その寄附金を用いて、町内の施設整備や移住促進政策に取

り組んでおり、国立競技場の設計を行った隈研吾氏が設計した建築物計6カ所や、オリンピック仕様の全天候型テニスコートなどが存在している。そしてこれらの施設では、民間事業者に管理を委託し賃料を回収することで自治体による初期投資を回収し財政負担を軽減させるという「境町モデル」を構築している。

これら背景があって、路線バスの維持と拡充、観光資源へのアクセス向上を目的に、5年間総額5.2億円の予算のもと全国の自治体で初めて運転席のない自動運転バスの定常運行が開始されている。具体的には2019年12月27日、橋本町長とBOLDLYの代表取締役社長兼CEO佐治友基が面会し、その場で自動運転バス3台の導入に合意し、翌年1月9日には、町議会で5.2億円の予算が成立している。また1月15日、すぐに住民試乗会が実施されている。当初は2020年春の運行開始を目指していたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で半年間ほど延期したのち、2020年11月26日より運行を開始している。

定常運行している車両

境町で定常運行されているARMAはすでに商用化に成功した車両であり、フランスのベンチャー企業であるNAYVA社が開発および製造をしたものである。NAYVA社は自動運転技術の会社としてすでに10年以上の経験を持ち、世界の自動運転業界をリードする会社である。これまでに世界で累計200台以上を販売しており、これは2021年8月現在、自動運転バスとして世界でNo.1の販売実績である（BOLDLY調べ）。

ARMAの最高速度は20km/h程度であり、また乗車人員は着席11名となっている。ARMAは電気自動車のため、自動運転の処理以外に、車両の駆動も電気のみで動作する。車両走行用および機器動作用の2つのバッテリーを持ち、1回の満充電でおおよそ約200km前後の航続距離を実現している。

特集 Special Feature

走行制御システムは、主に動作（アクション）、検知（パーセプション）、判断（デジジョン）の3つの機能群を具備している。またそれらを機能させるために、複数のLiDARセンサやGNSSアンテナおよびRTK（Real Time Kinematic）におけるGNSS位置の補正情報受信、さらにIMU（Inertial Measurement Unit）、オドメータなどさまざまなセンサ、仕組みを車両に装備している。走行時はそれらの情報をリアルタイムで処理し、自己位置を認識し、障害物を検知しながら走行する。走行ルートは、あらかじめ速度および走行経路、障害物の検知幅、優先エリア、停止ポイントなどの設定を行い、車両はその設定通りに自動走行を行う。

車両は前後両方向にて運行できるように設計されているため、車輪は四輪操舵で駆動し、前後どちらの走行であっても同じ経路を辿ることができるため、敷地内等でスイッチバック走行による自動走行を行うこともできる。

ARMAは運転士を必要せずに走行することを想定して設計されているため、ハンドルがついておらず、代わりに一時的に必要となる手動運転用のコントローラが付属している。このような特徴を持つ車のため、日本で求められる道路運送車両の保安基準は満たすことができず、公道を走行することはできなかった。しかしBOLDLYが公道走行のために必

要な改造を実施し、2019年6月にハンドルやブレーキペダルなどを具備する運転席がない自動運転バスとしては日本で初めて、国土交通省関東運輸局長から道路運送車両の保安基準第55条による基準緩和認定を受け、車両の新規登録（ナンバーの取得）を行っている（図-6）。境町の車両3台は、これら改造を実施し、時速19km以下での走行など基準緩和認定時に定められた条件の下において、公道にて定常運行がなされている。

活用されている関連技術

運行開始当初の走行経路の検討においては、BOLDLYの親会社であるソフトバンク（株）の協力を得て、携帯電話基地局の仕組みを利用した人流解析を実施している。その結果、地域の中核病院や郵便局、スーパーマーケットといった主要な生活拠点を通る道路である県道126号線については平均移動速度が時速20km以下であることが分かった。そして移動ニーズと円滑な交通流確保の観点から、この道路を開始当初の走行経路としている。その後、2021年8月からは往復6kmと8kmの2路線に拡張されている。より多くの病院、買い物施設や子育て施設へアクセスできるようになったとともに、東京駅に行き来する高速バスのターミナルとも連結をしており観光客の移動手段としても使われるようになっていく。加えてオンデマンド運行も開始される予定であり、隈研吾氏が設計した建築物計6カ所すべてを回れるようになっている。オンデマンドの予約方法はコミュニケーションアプリ「LINE」を利用する。目的地や出発地、乗車時間を入力して予約をとれば、その時間通りにバスが来るようにシステム開発がなされている。バスの貨客混載に関しても同じシステムを活用することが検討されている。

今後導入予定の関連技術

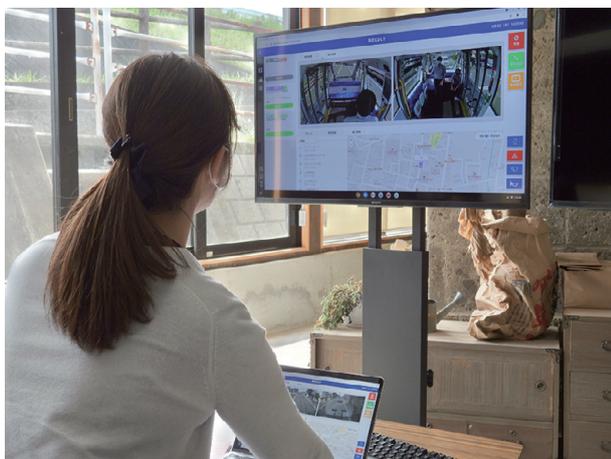
境町での運行においては、信号機のある交差点において停止線で必ず止まるように設定されており、



■図-6 ナンバーを取得した ARMA の内装

赤信号が青信号になった際には運転士が再出発ボタンを押下している。交差点に差しかかろうとする際に青信号である場合は、運転士が手動運転に切り替えて停止せずに走行し、横断後に自動運転に戻している。他方、ARMA という車種は信号機から灯色情報を得て走行制御システムと連動させた実績がすでにある。しかも灯色情報だけでなく次に灯色が変化する時刻をリアルタイムに取得し、自身が交差点に到着する予測時刻と照らし合わせて停車の必要／不要を交差点に差しかかる前に確定させることで、急なブレーキを防ぐ走行制御を成功させている。一方で、本技術の実装にあたっては、社会インフラである信号機の改造および維持管理に関する費用負担を整理する必要があり国での議論が待たれている。

また、ゲリラ豪雨や洪水などで冠水した道路は車両が走行できないため、車両が冠水情報を取得して自動で迂回ルートを走行することが考えられている。このようなインフラ協調システムは、経済産業省の自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクトにおいても、「混在空間でレベル4を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組」としてテーマにあげられており、自動運転全体の議論としても活発になっている。



■図-7 境町遠隔監視の様子

ビジネスモデルの構築に向けて

自動運転のシステム以外において避けては通れない論点が持続可能なビジネスモデルである。運転士のいない運行が実現すれば、乗合バス事業のコストの約6割を占める人件費の削減が可能になると考えられる。しかし一方で、遠隔地からバスの管理をする遠隔監視者を新たに雇用することになる(図-7)。そこで重要な指標となるのが「ひとりの遠隔監視者が何台のバスを管理することができるのか」である。遠隔監視者が管理できるバスの台数が増えれば増えるだけ持続可能なビジネスモデルが構築しやすくなる。基本的に遠隔監視者は緊急時にのみ対応をすると想定され、その緊急の頻度や緊急に対する一次対応時間によって管理できる台数が変移すると考えられる。よって「走行制御システム」の精度向上によるエラー率の低減であったり「インフラ協調システム」の充実による円滑運行であったり、また「運行管理システム」のAI化による乗客安全や利便の自動化といった各システムの向上が求められている。

現状のシステムでも実運用は可能であるが、より効率的かつ効果的に自動運転バスを運用し、より早く全国的にサービスを広げていくためにも、関連する技術革新は今後も求められ続けるだろう。

(2021年9月30日受付)

■改發 社 so.kaihatsu@g.softbank.co.jp

自動車部品、自動車メーカーにて人間中心のデザインを実践し、2018年ソフトバンクに入社。子会社のBOLDLYに出向し、クリエイティブディレクター兼企画部長として、自動運転の社会実装から「移動の自由」の確立を目指す。