

令和2年度
自動運転ランプバス 進捗報告

国土交通省航空局

令和3年3月17日

羽田空港における自動運転バス 試験運用実施報告



2021年3月
BOLDLY株式会社
先進モビリティ株式会社
全日本空輸株式会社

1. 車両情報



※前後横のデジタル方向幕に「自動運転中」と表示

使用車両	BYD社製・K9RA（電動バス）
乗車定員	57名（着席26名、立席31名）
全長／全幅／全高（m）	12.0／2.65／3.40
車両重量	13,820kg
ハンドル有無	有

〔参考：2019年実証時の車両規格〕

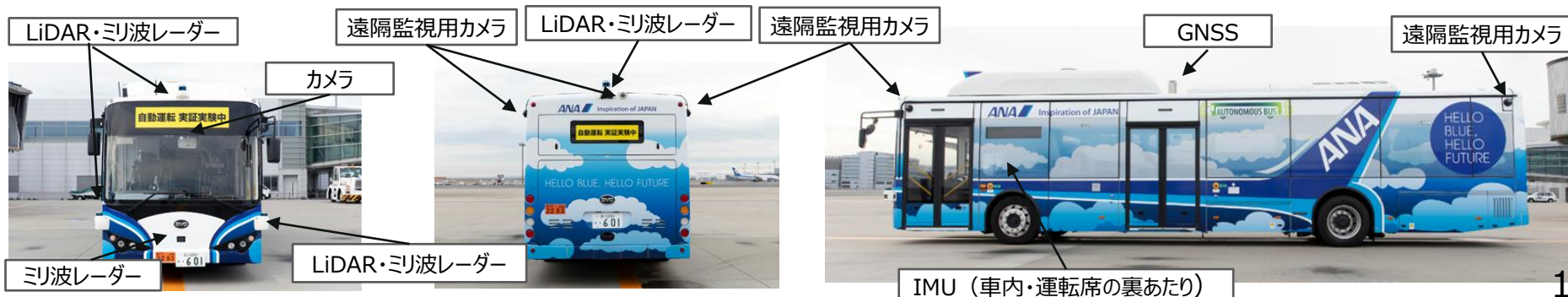
使用車両	日野自動車社製・ポンチョ
乗車定員	28名（着席10名、立席18名）
全長／全幅／全高（m）	7.14／2.25／3.10
車両重量（kg）	5,900
ハンドル有無	有

走行制御技術の概要

- 車両自律型
- GNSS、SLAM、慣性航法（ジャイロセンサ・車速）から自己位置を推定
- LiDAR、ミリ波レーダー、カメラにより車両周辺の障害物・車両・人を検知
- 遠隔による発車および緊急停止機能搭載


センサ等の概要

- LiDAR 計4基
- ミリ波レーダー 計5基
- IMU 計1基
- GNSS 計1基
- カメラ 計1基
- 遠隔監視用カメラ 計14基(車外5基・車内9基)



2. 検証走行結果

- 2020年1月の実証実験時における課題への対応状況、および航空局作成の高精度3Dマップによる自己位置推定精度の確認を目的に、2020年11月～12月に検証走行を実施。
- 昨年度の実証実験時と比較し、自己位置推定の安定性は格段に上がっており、課題としてあげられていた直進時のズレや車線逸脱などは一度も発生していない。

2020年1月実証実験における予定していない手動操作の内訳				主な要因
車両技術に 起因した事象	速度誤検知	1.6% (01回)	60.3% (61回)	自己位置推定精度の低下  SLAM点群MAP ※ 元のSLAM点群MAPと、現在の点群MAPを重ね合わせたもの
	車線逸脱	45.9% (28回)		
	ACC誤検知(対向車)	13.1% (08回)		
	直線時のズレ	39.3% (24回)		
車両技術以外に起因した事象		39.6% (40回)		安全担保のために、運転手判断で操作

検証走行結果

◎	自己位置推定精度	高精度3Dマップの効果や先進モビリティの技術力向上等により、車両技術に起因した車線逸脱や直進時のズレ等はなく、格段に安定した自動走行が可能となった。
◎	ACC (先行車追従)	先行車の停止を正しく検知し、設定した車間距離を保って安全に停止する検証を実施。当初、カーブ時に先行車が停止している場合の停止率が低い状況だったが、カーブ時の距離計算方法を変更し、直進時・カーブ時とも100%のACC作動を確認。

3. 試験運用結果①

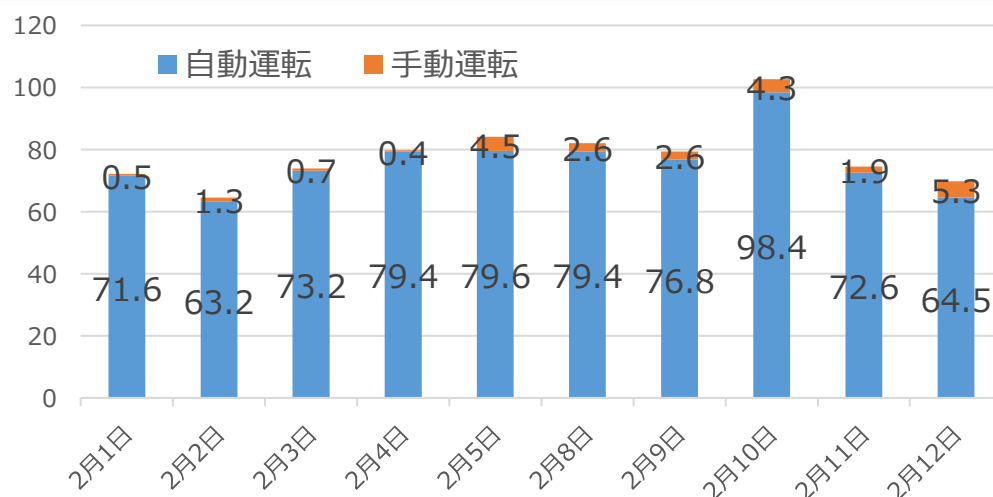
(1) 試験運用概要

実施目的	ANAグループ従業員向けに導入を検討している空港制限区域内の移動手段の一部として、自動運転バスを試験導入し、オペレーション上の課題等を抽出する。
実施日時	2021年2月1日～5日、8日～12日の合計10日間 9:00～17:00の間
実施場所	羽田空港第2ターミナル車両通行帯
走行ルート	ランプサービス部前～52番～62番～72番～66番～ランプサービス部前



(2) 走行実績

合計距離	782.7km
自動運転	758.5km(96.9%)
手動運転	24.1km(3.1%)
平均スピード	13km/h(自動運転)
合計乗車人数	562名

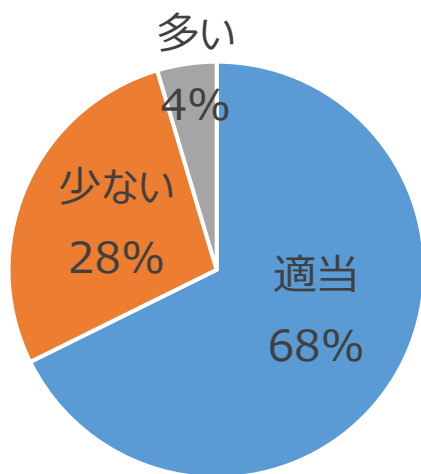


3. 試験運用結果②

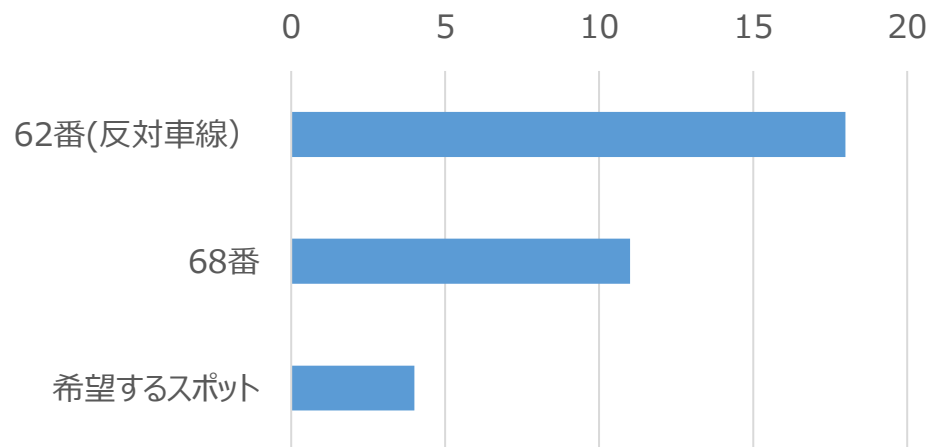
(3)オペレーション検証①

検証項目	結果
自動走行全般	<ul style="list-style-type: none">航空局作成の高精度3Dマップの効果もあり、試験運用期間中は安定した自動走行が確認できた。従業員アンケートからも自動走行、発車、加減速、乗り心地は高評価を得ている。一方、停止については、「もう少しソフトに停まらないのか」や「今後、お客様が乗るのであればブレーキングは課題」等の意見があがっており、原因を究明し改善対策を実施する。
運行ダイヤ	<ul style="list-style-type: none">5分間隔での運行については、「適当である」が7割弱、「少ない」が3割弱というアンケート結果となり、従業員向けの検討にあたっては、5分間隔未滿での運行が必要。(グラフ1)1周15分で運行ダイヤを終日組んでいたため、運転手交代時等は1~2分の遅延が発生し、手動運転にて遅延回復を実施したため、ダイヤ設定や速度設定の見直しが必要。
乗降場	<ul style="list-style-type: none">今回の試験運用では5つの乗降場を設置したが、アンケート結果から必要/不要な乗降場の意見が多くあがったため、実用化に向けた検討の参考にしたい。特に北行きは66番乗降場の次はランプサービス部前まで停車しないため、この間に乗降場が欲しいという声が多かった。(グラフ2)

(グラフ1) 5分間隔の運行は？



(グラフ2) 必要な乗降場は？



3. 試験運用結果③

(3)オペレーション検証②

検証項目	結果
運転手	<ul style="list-style-type: none">自動運転バス運転のため、ANAASランプサービス部送迎サービス課従業員21名に自動運転訓練を実施（図1、写真1）し、知識及び実技の定着度は問題ないことが確認できた。自動運転バスのアサイン時間は1回2時間とし、1日4交代制とした。運転手からも2時間は適当であるとの回答が多く、今後レベル3相当で実用化する場合は、1回2時間程度のアサインとしたい。
遠隔監視者	<ul style="list-style-type: none">今後のレベル4相当における運転席無人化を見据え、事務所から遠隔監視にて乗降場からの発車、ドア開閉を実施し、問題なく安全に遠隔監視にて指示できることが確認できた。今回の試験運用はレベル3相当で運転手がいたため、常に遠隔監視者と運転手が通話できる状態とし、発車・ドア開閉に加え、運行管理業務・遅延回復の指示等を実施することができた。今回のルート5つの乗降場で発車、ドア開閉を遠隔で実施する場合、遠隔監視者1名がレベル3相当の自動運転バス2台以上を管理することは、安全上現実的ではない。今後、複数台の運行を管理する場合は、スケジュール走行や周囲・後方の安全を自動で確認し発車する技術が必要。

(図1 自動運転訓練内容)

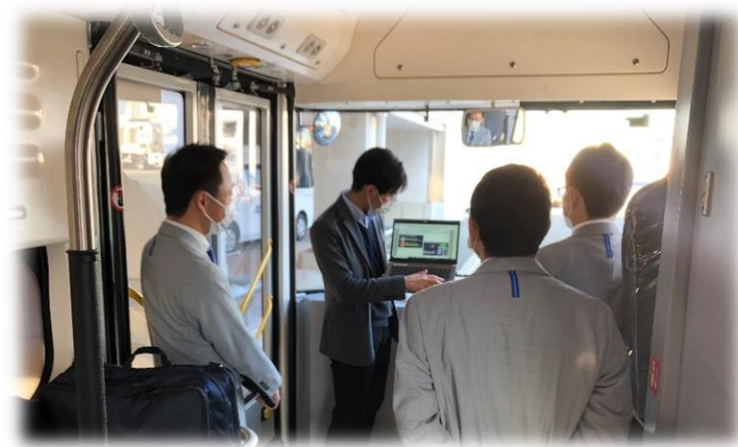
(写真1 訓練風景)

座学(1時間)

- 車両概要
- 自動走行技術概要
- 環境条件

実技(1時間)

- 手動運転
- 自動運転
- 緊急操作

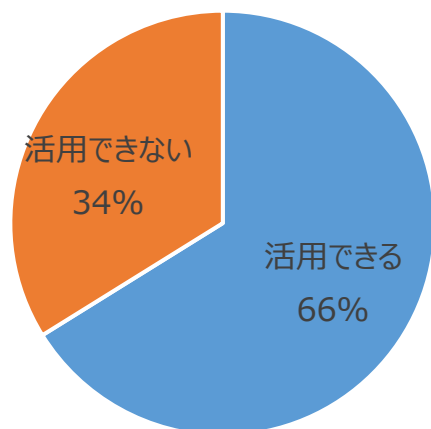


3. 試験運用結果④

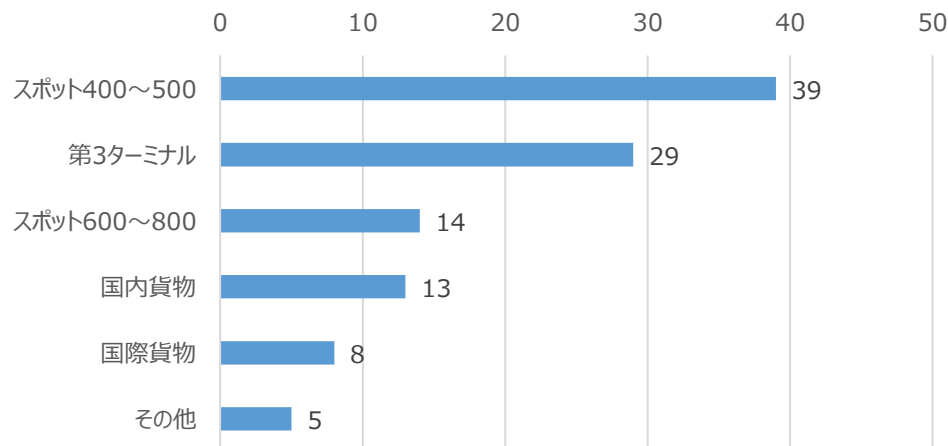
(3)オペレーション検証③

検証項目	結果
移動手段	<ul style="list-style-type: none">アンケートで「業務上の移動手段として活用できるか」について質問したところ6割以上の従業員から「活用できる」との回答を得た。(グラフ3)一方、3割の従業員からは「活用できない」との回答を得ており、その理由については、運行頻度やイレギュラー時の対応(柔軟性)、乗降場が限られている、悪天候時の避難場所など、実オペレーション上の課題があげられたため、今後の実用化に向けた検討にいかしていきたい。
走行ルート エリア	<ul style="list-style-type: none">アンケートで「今後、どのエリアまで自動運転バスが走行すると利用しやすいか」について質問したところ、「オープンスポット」や「第3ターミナル」を求める声が多かった。(グラフ4)また、決められた乗降場しか停車しないのではなく、希望のスポットで乗降できるようにして欲しいなどの意見も多くあった。従業員移動用循環バスを実用化するには、オペレーションに従事する従業員の利便性や航空機の定時性等を損なわないようにするため、「乗降場を定めずオンデマンドで希望の場所で乗降できる」ような運行が理想的であると感じた。

(グラフ3 業務上の移動手段として活用できるか?)



(グラフ4 どのエリアまで走行したら利用しやすいか?)



3. 試験運用結果⑤

(3)オペレーション検証④

検証項目	結果
手動介入	<ul style="list-style-type: none">試験運用期間中、自動運転技術に起因する手動介入は一度も発生しなかったが、自動運転バスの走行ルート上に駐停車している車両を回避するための手動介入が一定程度発生した。特に53番スポット～52番スポット付近で、走行ルート上に停車中の車両を回避するために、手動介入が多く発生した。(写真2)62番スポットの乗降場では、協力依頼を行っていたものの、移動車が乗降近辺に停車しているケースがあり、期間途中より乗降場にコーンを設置して、コーンの内側に移動車を停車しないように協力依頼を追加で実施した。(写真3)(前述) 1周15分で運行ダイヤを終日組んでいたため、運転手交代時等は1～2分の遅延が発生し、手動運転にて遅延回復を実施したため、ダイヤ設定や速度設定の見直しが必要。今後、自動運転車両の運用ルールを決めていくなかで、駐停車のルールや交差点での優先ルール、自動運転車両が走行する車線などを検討していく必要がある。
その他	<ul style="list-style-type: none">現時点では他事業者から、自動運転バスに対するご意見は受領していない。乗車定員上限人数を乗車させての検証が実施できなかったため、2021年以降に実施したい。バッテリーは2日に1回、夜間充電を実施。今後、電動車両が増えた際の充電場所の確保が課題。

(写真2 52番スポット付近)



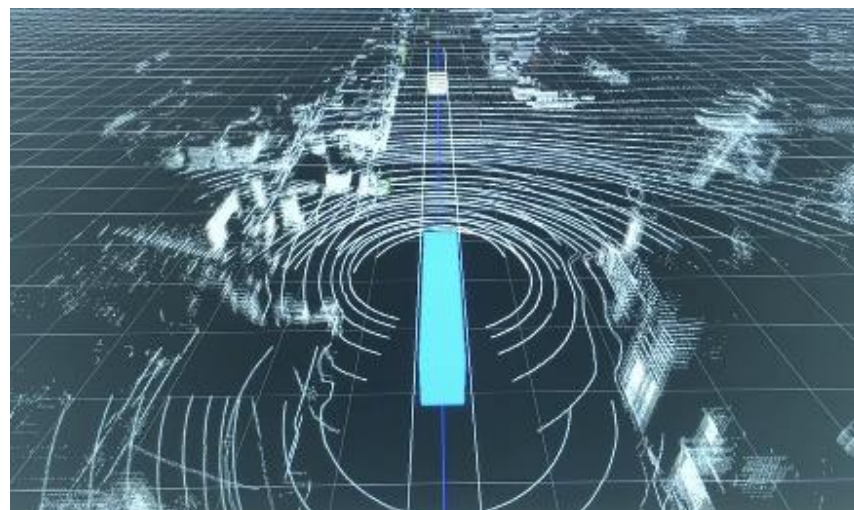
(写真3 62番スポット付近)



3. 試験運用結果⑥

(4)技術検証①

検証項目	結果
自動運転技術	<ul style="list-style-type: none">• 航空局作成の高精度3Dマップの効果もあり、SLAM・GNSS・慣性航法を組み合わせによる安定した自動走行を実現できた。（結果として、自己位置推定手法はSLAMが主体となった。）• 安全な自動運転実現のために複数の自己位置推定手法による冗長化が欠かせず、今後は磁気マーカー活用も組み合わせていく必要がある。• センサーフュージョンに改良を施して過検知軽減を図ることで一定の改善効果を確認できた。一方、過検知が生じやすいシーンが存在することも確認済みであり、今後も改良を図る必要がある。• （直角気味な）右左折直後の障害物に対して確実に制動させるために障害物の検出範囲を広く設定したが、車間距離が過度に生じる場合もあり、今後も認識判断処理の改良を図る必要がある。• 減速時は概ねスムーズであるが、完全停止する直前のブレーキでショックが発生する場合もあり、乗り心地の観点からも改良を図る必要がある。



3. 試験運用結果⑦

(4)技術検証②

検証項目	結果
遠隔監視業務	<ul style="list-style-type: none">完全無人化運転を見据え、BOLDLYの遠隔監視システムDispatcherの機能（発車指示、ドア開閉、ホーン等）や操作性の検証を実施。（写真4）車両に対する発車指示やドア開閉に関する要素技術の検証を行い、大きな問題はないことを確認した。ドライバーと遠隔監視が同時に存在する過渡期特有の課題として以下の課題が明らかになった。最終的な安全をドライバーが確認するため遠隔からの車両発車指示は、ドライバーの安全確認を阻害することのないよう遅延なく行われなければならない。時間になったら発車する機能（スケジュール走行）を使用する際は、秒単位で発車時刻を定義する必要がある。ネットワークの遅延や遠隔での視認性（特に夜間等）を踏まえると、遠隔監視者が運転責任を担うことは現実的ではないことが改めて認識された。

(写真4 遠隔監視システムDispatcherの画面)



4. 今後に向けて

今回の従業員向けの試験運用において、以下の成果と課題を抽出することができたため、引き続き、国土交通省航空局様、東京空港事務所様のご協力を頂きながら、レベル4相当での自動運転バスの実用化に向けて、課題を一つひとつクリアしていきたい。

	今回の成果	今後の課題
オペレーション 検証	<ul style="list-style-type: none">安全で安定した自動運転で750km以上を走行、562名を輸送現場のニーズは5分間隔未満での運行が求められている多くの従業員の参画、関わりに感謝	<ul style="list-style-type: none">車両のサイズ、運行ダイヤ乗降場の数、場所、運行エリア、ルート充電場所の確保、充電時間自動車両が増えた際のルール決め
自動運転技術 検証	<ul style="list-style-type: none">高精度3Dマップにより、SLAMで安定した自動走行2020年1月実証実験時の自己位置推定精度の課題は再発せず遠隔からの発車指示等を実施	<ul style="list-style-type: none">よりソフトな止まり方、検知レベルレベル4相当を見据えた、スケジュール走行の検証や、前方の走行ルート上だけでなく、左右後方の安全を自車で判断し、発車、停車する技術

(参考) 今後のスケジュール

時期	実施内容 (予定)
2021年4月～5月	磁気マーカーを使用した検証走行 (HND第2ターミナル)
2021年7月～9月	乗り継ぎのお客様向けの試験運用 (HND第2ターミナル)
2021年下期	オープンスポット・第3ターミナル等の検証走行