

千歳市自動運転における路側センサの設置位置・効果検証に関する検討内容及び課題について

札幌開発建設部 都市圏道路計画課 ○杉森 笑海
札幌開発建設部 都市圏道路計画課 佐藤 徹
一般社団法人 北海道開発技術センター 大井 元揮

千歳市では近年のバス運転手不足への対策として、レベル4無人自動運転での路線バス定期運行を目指して実証実験を行っている。今年度の実証実験では、車載センサでの道路状況の検知が困難な交差点箇所路側に路側センサを設置し、自動運転バスへの情報提供支援を実施した。本論文では、路側センサの設置位置や効果検証に関する検討内容及び今後の課題について報告する。

キーワード：自動運転

1. はじめに

近年、少子高齢化や人口減少が進む日本において、地方部のみならず札幌市等の大都市でも公共交通の維持が困難な状況が顕在化している。特にバス路線においては、利用者の減少に伴う収益性の悪化や、運転手の人手不足が深刻な課題となっており、一部の地域では路線の廃止が相次いでいる。これらの問題に対し、公共交通の新たな形態として注目されているのが「自動運転バス」である。

政府では「デジタル田園都市国家構想総合戦略」(2023年改訂版)¹⁾にて「地域限定型の無人自動運転移動サービスについて、25年度目途50ヵ所程度、27年度までに100ヵ所以上で実現し、全国に展開・実装する」ことを政府目標として掲げており、自動運転移動サービスの本格的な普及に向けて、環境整備、技術開発、社会受容性向上の総合的な取組をもとに、事業化につなげていくことが重要としている。

自動運転バスの実現においては、単に車両単独での自律走行を追求するだけでなく、路車協調システムによる支援も考えられる。路車協調システムとは、車両と道路インフラ、さらにはクラウドを連携させることで、リアルタイムの情報共有や交通状況の把握を行い、交通の効率化や安全性の向上を目指す仕組みである。この技術は、車両間の通信(Vehicle-to-Vehicle, V2V)や車両とインフラ間の通信(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)を通じて成り立つもので、従来の自動運転技術を補完し、さらに高いパフォーマンスを実現するものとされている。

このような背景から国土交通省では、道路附属施設による情報提供の方法として路側センサなどの機器を設置した実証実験を全国的に実施しており、令和6年度には札幌開発建設部管内では千歳市と当別町が実証エリアと

し採択されたところである。

以上を踏まえ、本稿では千歳市における自動運転バスの実証運行に合わせて実施した路側センサの設置位置や効果検証に関する検討内容及び今後の課題について報告する。

2. 千歳市における自動運転バス実証運行の概要

(1) 実証運行概要

北海道千歳市においても、運転手の高齢化による運転手不足の深刻化が想定されることから、バス運転を自動化することにより、運転に係る人数を削減し、持続可能な地域公共交通を確保するため、令和6年度から自動運転バスの社会実装に向けた検証等を実施している。

令和6年度については、表-1に示す実証運行概要²⁾の通り、自動運転バスの実証運行を実施した。

表-1 実証運行概要

運行期間	2024年10月30日～11月27日 うち一般試乗期間 11月18日～11月27日 ※土日祝日除く
運行時間帯	10:00～16:00
運行本数	4往復/日
運行区間	千歳駅⇄千歳相互観光バスターミナル
運行距離	約17km(往復)
車両名	いすゞエルガ
自動運転レベル	レベル2(運転士あり)
料金	無償(白ナンバー)
実証企業	A-Drive(株)

(2) 自動運転バス車両

自動運転バス車両の車両スペック及び走行可能環境を表-2に示す。北海道内においては、上士幌町、当別町、苫小牧市、岩見沢市、東川町、利尻富士町等で自動運転

バスの実証経緯があるが、大型の路線バスタイプ（写真－1）による自動運転バスの運行は道内初となっている。

表-2 実証実験車両のスペック及び走行可能環境

車両 スペ ック	乗車定員	20人（スタッフ除く）
	大きさ	全長：10,430mm 車幅：2,485mm 高さ：3,045mm
	最高速度	自動運転時50km/h
	センシングデバイ ス	LiDAR（8基） カメラ（19基）
	その他設備	GNSS（2基）/IMU/GMPs
走行 可能 環境	天候	晴れ、曇り、雨15mm以下
	照度	1～10,000lux
その他特 徴等	- 自己位置推定には高精度3次元地図を活用 - 交差点右左折（信号有）：可能（矢印信号対応済み） - 交差点右左折（信号無）：可能 - 車線変更：可能 - 障害物/駐車車両の回避：検証中 - 突発的な急停車：可能（飛び出し検知有り）	



写真-1 自動運転バス車両

(3) 運行ルート

自動運転バスの運行ルートを図-1に示す。

千歳駅東口ロータリーを出発し、バス停を3箇所経由し、終点である千歳相互観光バスターミナルへ向かうルートである。



図-1 自動運転バスの運行ルート

3. 路車協調システムの実証実験計画

(1) 実験箇所の選定

千歳市で検討していた路車協調システムの実証箇所は、図-2に示す3カ所であった。

まず、想定箇所1については、選定する場合は路側センサを信号柱に共架させる必要があるが、万が一柱が倒れるなどの事故が発生した場合における責任の所在が不明確であるなどの理由から、構造的には問題ないとされていたものの、共架の許可を得ることができなかった。

また、信号柱以外の柱の利用についても検討したが、付近に存在する照明柱や電力柱は、車道との距離が大きく離れているため、所定の検証を行うことが現実的ではないと判断された。このため、信号柱以外の代替案を採用することも難しい状況であった。

さらに、新設柱（自営柱）の設置についても検討したが、既存の柱との距離を確保した上で、対向車が信号機を視認する際に支障とならない設置位置に調整する必要があることなどから、検討には相当な時間を要する見込みであった。そのため、実験期間内に新設柱の設置を完了させることが困難であると判断された。

また、想定箇所2については、検知対象車両（北から交差点に進入する車両）が他の箇所と比較し極端に少なく、限られた実証期間に有効な検証が行えないことが現地調査により想定された。

想定箇所1,2の選定が困難である一方で、想定箇所3については建柱の必要性はあるものの協議対象が少なく、路線バス会社の本社営業所前であることから、想定箇所3の選定に至った。



図-2 路車協調システムの想定箇所

(2) 路車協調システムの必要性

箇所3においては、図-3に示すように、自動運転車に搭載された車載センサのみでは交差点に接近するまで主道路の車両の有無を判断できず、右折時にはオペレータによる手動介入が必要となる。

この課題に対し、図-4に示すように路車協調システムを導入することで、右折時における主道路の車両挙動に起因する手動介入の回数を減少させるとともに、交差点手前で一時停止することなく、スムーズな右折が可能となる。さらに、このシステムにより主道路を通行する車両を事前に検知することで、交差点における右折時の安全性が向上する。

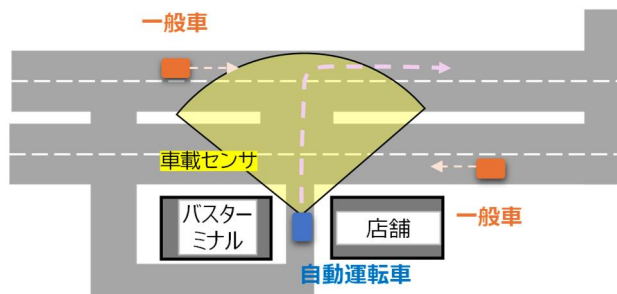


図-3 路車協調システムの必要性（路側センサ無）

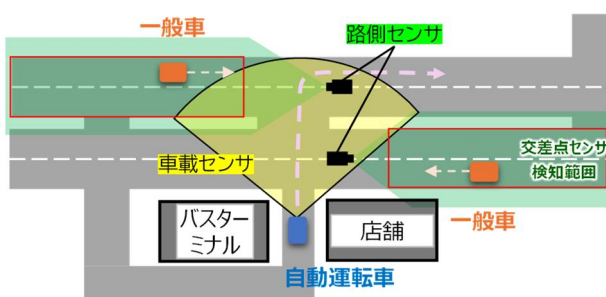


図-4 路車協調システムの必要性（路側センサ有）

(3) 路車協調システムの構築

a) 検知範囲の設定

検知範囲の設定については、北側（図-5）と南側（図-6）に分けて、検討を行った。

北側に関しては、自動運転バスが右折待機位置から発車し、その後中央分離帯付近で到達速度10km/hまで加速するシナリオを想定した。この場合、バスが通過するまでにかかる時間 T_0 は6秒として設定した。この6秒という時間は、バスが通過するのに必要な時間を指し、対向車が60km/hで走行していると仮定した場合、対向車はこの6秒間で約100mの距離を進むことになる。この計算に基づき、対向車と自動運転バスの接触リスクを避けるためには、十分な距離の確保が求められる。さらに、通信の遅延やその他のバッファとして25mを加え、最終的に検知範囲を約125m程度に設定した。この距離は、車両間の安全な間隔を確保するために必要な範囲として算出された。このような設定により、バスと対向車両の衝突を未然に防ぐことができると考えられる。

同様に、南側については自動運転バスが右折待機位置を発車後、中央分離帯付近で到達速度10km/hまで加速すると想定し、第一車線に入るまでの時間 T_0 を8秒と設定する。ここで、対向車の速度が60km/hの場合、8秒間で約133m進むことになる。さらに、通信の遅延等のバッファとして25mを加え、検知範囲を160m程度と設定した。

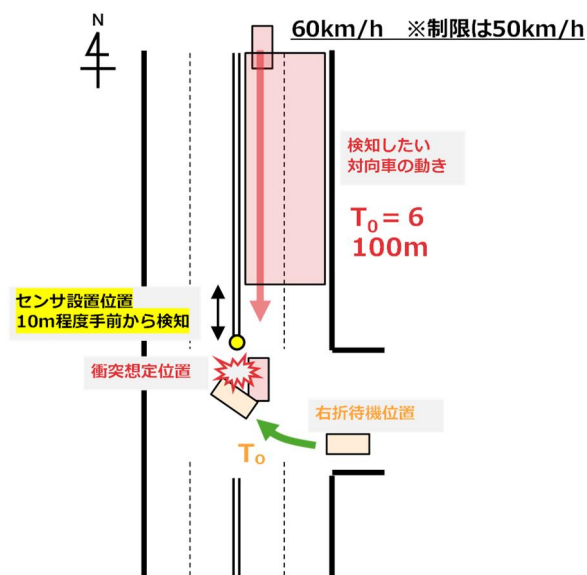


図-5 北側の検知範囲の検討

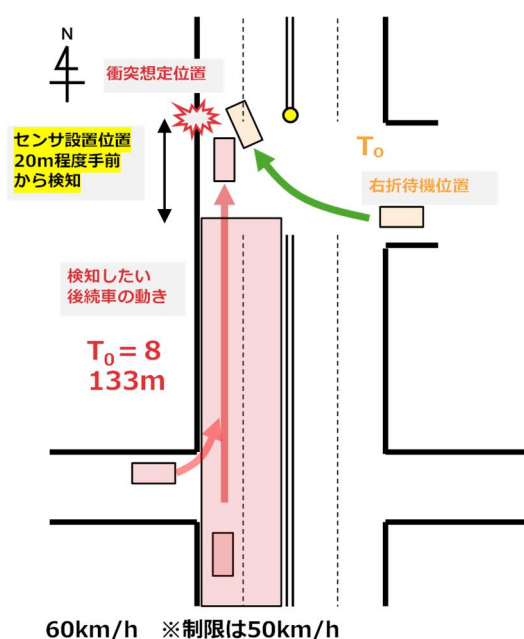


図-6 南側の検知範囲の検討

b) 路側センサの選定

表-3に路側センサの比較検証結果を示す。

ここでは、路側センサの内、活用可能な製品を対象に比較検証を実施した。

検知距離を考慮するとFIRカメラも選択肢となり得るが、実験期間は降雪の可能性が低いことや機器調達費用等を考慮し、LiDARの採用が望ましいと判定した。

表-3 路側センサの比較検証結果

名称	説明	特性	検知距離	適用性
ミリ波センサ	電波を発射し、反射波から物体までの距離等を検出する	・速度計測精度が高い・長距離の検出が可能 ・逆光や悪天候に強い ・距離分解能は高いが、角度分解能は低い ・物標数把握や属性把握が不得意	150m程度	△
可視光カメラ+AI	カメラ映像をコンピュータで解析し、車両・人間などを検出する	・大量の情報を取得・処理可能 ・車と人を区別して検知可能 ・逆光や悪天候に弱い ・夜間や暗所では光源が必要	150m程度	△
FIRカメラ+AI		・大量の情報を取得・処理可能 ・車と人を区別して検知可能 ・逆光や悪天候(雪)、夜間に比較的強い	200m程度	○
LiDAR+AI	レーザー光を発射し、反射光から物体までの距離等を検出する	・測距精度が高い ・距離分解能および角度分解能が高い ・カメラと比較して外乱光に強いが、色の区別は不可能	200m程度	◎
赤外線センサ(反射型)	光を発射し、反射光の有無を検知する	・仕組みがシンプル ・人を含め検知する	50m程度	△
赤外線センサ(透過型)	光を発射し、道路の反対側に置いた光センサで受光できるかを検知する	・仕組みがシンプル ・人を含め検知する	数十m程度	△
超音波	超音波を発射し、反射波から物体までの距離等を検出する	・仕組みがシンプル ・人を含め検知する	10m程度	×

表-4 通信機器の比較検証結果

名称	概要	通信速度	遅延	通信距離	実績	適用性
ITSスポット	ITS(高度道路交通システム)を用いてとITSスポット対応カーナビと通信を行う ITSスポットが設置された道路でのみ通信可能	1or4Mbps	なし	30m程度	×	△ 通信距離が不足
ITSConnect	車と車、あるいは道路と車で通信を行う技術	数Mbps	なし	100-数百m程度	○	○ 通信速度、距離、安定性ともに問題無し ・無線局申請に時間を要す
Bluetooth	近距離データ通信に使用する通信技術	数Mbps	不明	約50m	×	△ 通信距離が不足
BLE [Bluetooth Low Energy]	Bluetooth通信を低消費電力にした規格	125K～2Mbps程度	不明	400m	×	△ 通信速度が遅い
LPWA [プライベートLoRa]	低消費電力で広域、長距離通信を行う通信技術	数十Mbps	不明	20km	×	△ (実現性要調査)
Wi-Fi	無線でLANに接続する技術	1.2～9.6Gbps	不明	50～100m	×	△ 通信距離が不足
モバイル通信 [LTE, 4G, 5G]	携帯電話会社が提供する電話回線を使用し通信を行う	100Mbps～10Gbps	状況により遅延が大きい	数百～数キロm	○	◎ 通信安定性はITSコネクトに劣る
自営回線 [プライベートLTEローカル5G]	企業や自治体などが自前で専用回線を用意し利用する	下り約14～110Mbps	数mm～数十mm秒	数百m	○	△ 費用が高額

c) 通信機器の選定

表-4に通信機器の比較検証結果を示す。ここでは、路側センサと同様に、現在技術が確立されている通信機器技術について比較検証を実施した。

比較検証の結果、通信速度、通信距離、安定性等を踏まえ、路車間通信は「ITSConnect」または「モバイル通信」が候補となるが、無線局申請等の工程が不要であることや過去の実績から、モバイル通信を選定した。

d) 情報提供システムの構築

情報提供システム構成図を図-7に示す。

LiDARで取得したデータを情報処理する制御部を介し、路側から車両側へ情報を伝送する情報発信部を通して、自動運転車両が情報を受信するまでの仕組みを構築する。

また、路側から情報提供を行う際にも、自動運転バスにはセーフティードライバーが同乗し、レベル2相当の運用を実施する。さらに、車内には表示用のWindowsタブレットを設置し、路側センサ情報を乗客が確認できる仕組みを整備する。



図-10 物標データプロット状況（左：北側・右：南側）

e) 車載タブレットの設置

車載タブレットについては、写真-4に示すとおり運転士が認識しやすい位置に設置した。タブレットの表示については、路側センサから取得した物標情報を基に判定を行う。自動運転バスが当該交差点に進入・通過するまでの想定時間と、物標情報に基づいて算出した検知車両が交差点に到達するまでの時間を比較し、表示を切り替える仕組みである。検知車両の到達時間が自動運転バスの想定時間より短い場合は「赤」、長い場合は「青」と表示する。また、検知車両が存在しない場合も「青」と表示する。

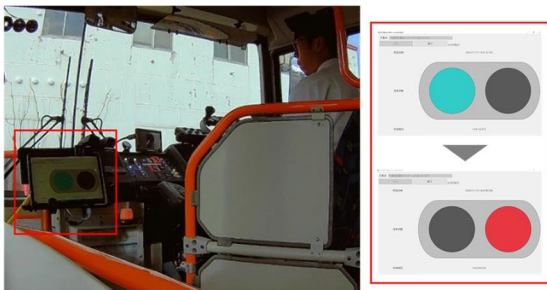


写真-4 車載タブレットの設置と表示内容

4. 路車協調システムの実証実験結果（速報）

路車協調システムの実証実験については、2024年11月15日（金）～11月27日（水）の平日（計：9日間）に実施した。なお、路車協調システムの有効性を確認するための効果検証として、路車協調を実装しないwithout状態を各運行日の1便目とし、一方、路車協調を実装するwith状態を各運行日の2～4便目と設定した。

本章では、路車協調システムの実証実験結果の速報値として、自動運転と手動運転の比較結果を表-5に、また、運行毎に実施したドライバーへのヒアリング調査結果を図-11及び図-12に示す。

路車協調を実施していない「without」状態では手動運転の割合が30%であったのに対し、路車協調を実施した「with」状態では手動運転の割合が23%まで減少していることが分かる。また、情報表示のタイミングとして目視との比較については、「目視と同じくらい」という認識が55%であった。さらに、路車協調の効果について78%から「役に立った」という評価を得た。

また、路車協調システムについての有効性を検証するため、ドライバーへのヒアリングの他に、路側センサによる物標の識別性能の確実性やシステム全体での処理時間についても検証を予定している。

表-5 自動運転と手動運転の割合（with-without比較）

	自動運転	手動運転
with (n=26)	77%	23%
without (n=10)	70%	30%

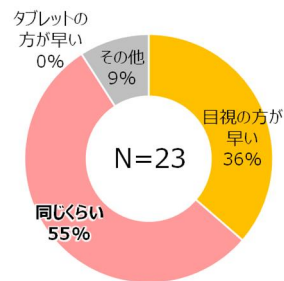


図-11 情報表示のタイミング

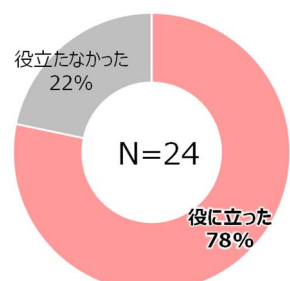


図-12 路車協調の効果

5. まとめ

本稿では、北海道千歳市で行われた自動運転バスの実証実験において、路車協調システムの設計とその効果について検討した結果を報告した。路側センサの設置に関しては、現場条件を詳細に分析し、交通流観測の効率性と安全性を最大限に確保できる設置位置を選定した。また、路車協調システムの導入によって、自動運転バスの運行における安全性と効率性が向上し、特に交差点での右折支援やリアルタイム交通情報の提供が、手動介入の減少に寄与することが示唆された。

本実証実験から得られた知見は、ドライバー不足が顕著である地域における持続可能な公共交通システムの構築に向けた重要な基礎資料となる。本研究で得られた成果をもとに、さらなるデータの蓄積と分析を進めることで、システム全体の最適化や他地域への展開可能性を検討することが期待される。

6. 参考文献

- 1)国土交通省・経済産業省・警察庁：自動運転移動サービス社会実装・事業化の手引き,2024.6
- 2)千歳市ホームページ： <https://www.city.chitose.lg.jp/docs/35581.html>