

積雪寒冷地における自動運転サービスに対する 路車連携支援方策の実証実験

帯広開発建設部 道路計画課 ○齊藤 航斗
嶋崎 健太
パシフィックコンサルタンツ株式会社 洲上 翔志

一般道でのレベル4無人自動運転サービスの実現には、車載センサが届かない交差点等の死角箇所等での交通状況情報を、道路側から自動運転車両へ提供支援する必要がある。しかし、路側センサは技術基準が未策定である上、積雪寒冷地特有の課題、要求機能、仕様等について明らかにされていない。本論文では、積雪寒冷地を考慮した路側センサによる道路情報提供方策を検討し、自動運行支援に関する効果を実証実験により検証する。

キーワード：自動運転、積雪寒冷地、路車協調

1. はじめに

我が国では加速度的に少子高齢化・人口減少が進んでおり、人口減少に伴う公共交通利用者の減少や運転手不足により、公共交通の廃止等、移動サービスの維持・確保が難しくなっている。また、物流サービスにおいても輸送の安全性や効率化、ドライバー不足などの課題を抱えている。これらの課題を解決する手段として、AI、IoT、ロボット、センサなどの技術を総合的に活用した自動運転技術の発展・社会実装が期待されている。

自動運転技術とは、乗物の操縦を人の手によらず、機械が自立的に行うシステムのことである。国土交通白書¹⁾では図-1に示すように、技術段階に応じてレベル分けされており、大別するとシステムが人間の運転を補助するもの(レベル1~2)と、システムが運転操作するもの(レベル3~5)に分けられる。

システムが周辺監視	レベル5	いつでも、どこでも、無人運転	
	レベル4	一定の条件下で、自動運転 (条件外でも、車両が安全確保)	実現できること ・ 無人運転 など
	レベル3	一定の条件下で、自動運転 (条件外では、ドライバーが安全確保)	実現できること ・ 画面の注視、 ・ 携帯電話の使用 など
運転者が周辺監視	レベル2	縦・横方向に運転支援	実現できること ・ (運転者の監視の下) 自動で車線変更 など
	レベル1	縦または横の一方だけ運転支援	実現できること ・ 自動ブレーキ ・ 自動で車間距離を維持 など

※ 一定の条件とは、「時速50キロ以下」、「晴天」、「高速道路」など

図-1 自動運転のレベル¹⁾

現在、我が国で「自家用車」として実用化されているのは、車両に搭載されたセンサ類によって周辺の交通状況を把握し、アクセルやブレーキ、ハンドル等、一部操

作のみが自動化された運転支援車(レベル2)が主であり、システムによる自動運転が行われるレベル3は、高速道路等の限定された領域のみでの実用化に留まっている。

喫緊の課題となっている「移動サービス」・「物流サービス」等の維持・確保を図るためには、高速道路のみならず、一般車や歩行者が混在する一般道において、遠隔監視のみのレベル4無人自動運転サービスの早期社会実現が必要である。しかし、車載センサのみでの周辺検知では、検知範囲に届かない死角(見通しの悪い交差点やカーブ等)の交通状況の把握が困難なため、これら範囲の交通状況を道路側から自動運転車両への情報提供(以下、「路車協調」と示す)による支援が必要である(図-2)。

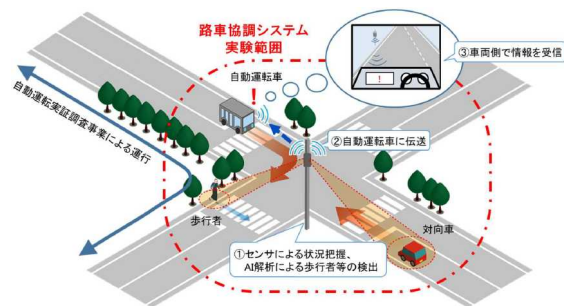


図-2 路車協調システム実験範囲²⁾

このような背景から国土交通省では、道路付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行っている。帯広開発建設部では、積雪寒冷地を考慮した路側センサによる道路情報提供の方策検討ならびに自動運行支援効果を検証し、積雪寒冷地特有の課題を道内で初めて整理することとした。

本稿では、令和5年度冬期に予定している実証実験に向けた、検討過程及び取り組み状況を報告するとともに、今後予定している実証実験の概要について紹介する。

2. 路車協調実証実験の実施方針

(1) 実験フィールドの選定

積雪寒冷地特有の条件を考慮した路車協調システムを実証するフィールドとして、北海道で唯一自動運転バスを定期運行している北海道河東郡上士幌町を選定した。

高齢化が進む上士幌町では、高齢者の足となる公共交通維持への懸念や将来的な交通事業の担い手不足等の課題を抱えており、この課題解決に向け、ソフトバンク株式会社の子会社であるBOLDLY株式会社と連携し、2017年から自動運転バスの実証実験を続けており、2021年に公道での雪道走行の実験、2022年に自動運転バスの定常運行（レベル2）が実施されている（写真-1、表-1）。



写真-1 上士幌町自動運転バス実験実施状況³⁾

表-1 上士幌町自動運転バスの沿革³⁾

年次	実験内容
2017年 10月	北海道初の公道での自動運転バス実証実験
2018年 10月	自動運転バス実証実験と住民試乗
2019年 10月	日本初の貨客混載での公道自動運転バス実証実験
2021年 10月	冬季間の公道における自動運転バス実証実験
2022年 11月	信号がある交差点を除いた区間において、「無介入」での自動走行を達成
2022年 12月	自動運転バスの定常運行開始（レベル2）
2023年 6月	自動運転バス定常運行ルート追加

2021年度に実施した自動運転バス実証実験では、町の中心部となる道の駅や交通ターミナルなど計6カ所を結ぶ往復6.4kmのルートを走行し、定時運行率98%、自動運転割合90%以上と、積雪のない他県での自動運転バスの実験よりも良い結果を得ている。しかし、降雪時は車載センサ情報のみでは安全性を確保できず、運行を停止した事象も発生しており、積雪寒冷地特有の環境下では安全な運行を補助する路側センサ側からの情報提供が急務とされている。

(2) 実験箇所の選定

上士幌町の自動運転バス運行ルート内で、内閣府が協調型自動運転通信方式検討のため策定したユースケース⁴⁾に該当するものは、図-3に示すように「信号がない交差点における、非優先道路から優先道路への進入」・「交差点での衝突」・「交差点での右折」である。

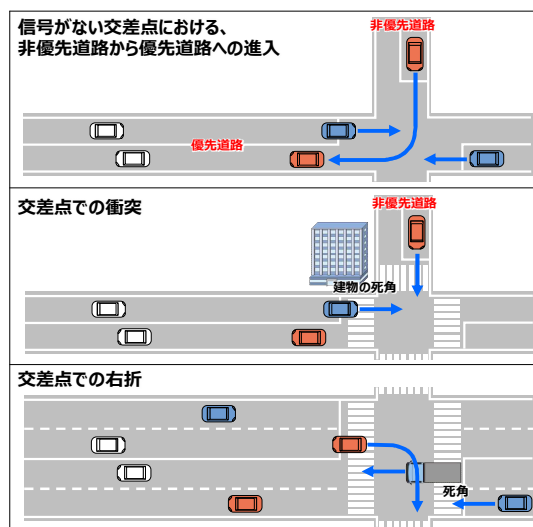


図-3 上士幌町での路車間通信が必要なユースケース⁴⁾

また、交通量が多い区間においては、様々な車両挙動による危険事象が多く、自動走行の障害となる機会が多いことから、本実証実験は国道を対象路線とした。

上記ユースケースを踏まえ、上士幌町の自動運転バス定常運行ルート上から図-4に示す①～③の3箇所を候補箇所として抽出した。



図-4 上士幌町自動運転バス走行ルートの実験候補箇所³⁾

候補箇所3箇所について、自動運転バスの運行事業者と合同現地確認・意見交換を実施した結果、無信号交差点での国道への進入かつ、2方向の接近交通があり、交通量が多く手動介入が最も多い箇所①を実験箇所として選定した（表-2）。

表-2 実験候補3箇所の比較検証結果

箇所	①	②	③
: 接近交通動線 : 自動運転車動線			
車両挙動	右折（町道⇒国道）	右折（国道⇒町道）	左折（道の駅⇒国道）
信号の有無	歩行者信号のみ	信号無し	信号無し
接近交通の方向	2方向	1方向	1方向
手動介入の有無 (運行事業者ヒアリング)	市街地部で、国道の交通量が多く、手動介入が非常に多い	国道走行で視認性が高いため手動介入は少ない	道の駅からの退出時、手動介入が多い

(3) 路車協調システムの構築

a) 検知範囲の設定

実験箇所の交差点において、国道走行車両の接近情報を検知し、路車協調による支援を行う上で、まず情報提供すべき範囲を図-5の視点から検討した。

視点①として、警視庁通達「信号機設置の指針の制定について」⁹⁾の臨界流入ギャップの考えを採用した。臨界流入ギャップとは、「従道路から流入する車両と交錯する交通流の時間的に連続する2台が、その交錯点を通過する時間差（ギャップ）のうち、従道路流入部の車両が通過できる確率とできない確率が等しくなる値（臨界値）」であり、通達において、主道路及び従道路が往復2車線道路である交差点信号機が設置されていない一時停止制御の交差点においては、9.2秒と定められている。

視点②として、上士幌町自動運転バスの交差点通過所要時間を採用した。自動運転バスのドラレコ映像から当該交差点の実通過所要時間が約8秒であることを把握した。

上記2つの視点を踏まえると、進入先の国道（制限速度：40km/h）において、9.2秒以下で実験箇所交差点に到達する車両を検知する必要がある。そのため、交差点から約100m範囲（ $\div 9.2\text{秒} \times 40\text{km/h}$ ）での対向車の接近情報を自動運転バスに伝えることができれば、自動運転バスは交差点進入時に安全に制動可能であるため、道路側に設置する路側センサの検知範囲は100mと設定した。

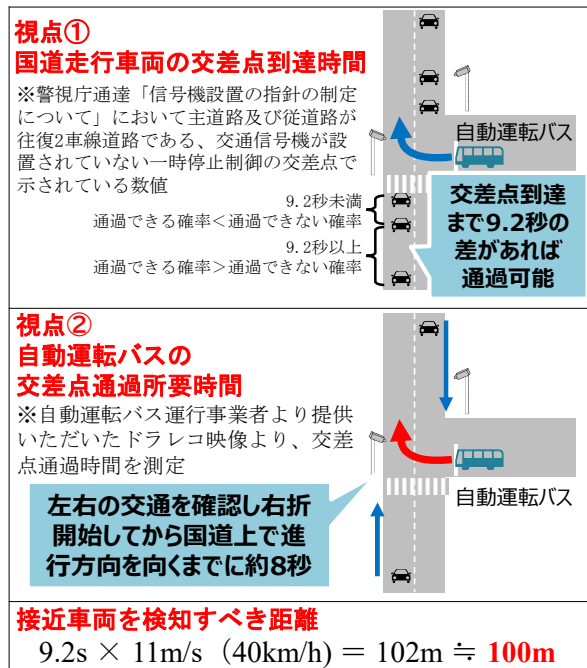


図-5 検知範囲設定の視点

b) 路側センサの選定

現在、技術が確立されている車両検知センサの内、活用可能な製品（開発中を含む）を対象に比較検証し、本実験の実験環境下において、十分な検知性能を発揮すると想定される機器を選定した。

機器の選定においては、降雪等の天候の影響を受けにくく、障害物の検知性能が約100mを有する機器が求められる。比較検証結果を表-3に示す。

障害物を検知する主なセンサは、ミリ波レーダ・可視光カメラ・遠赤外線カメラ・3D-Lidar・赤外線センサ・超音波が挙げられるが、悪天候に強く、検知距離が100m以上、かつ路車間通信に採用されているセンサであることを加味した結果、本実験の車両検知センサとして遠赤外線カメラを選定することとした。

ただし、現状のセンサ類に関し、積雪寒冷地での降雪・積雪での路車協調の性能検証を実施している知見はこれまで無いことから、本実験では、肉眼に近いアウトプットとなる可視光カメラを併設することで、同様の実験環境下で遠赤外線カメラの優位性についても評価する。

表-3 車両検知センサの比較検証結果

検知方式	説明	特性	路車間通信導入実績	検知距離	適用性
76GHz帯ミリ波	電波を放射、反射波から物体までの距離等を検出	・逆光や悪天候に強い ・物標数把握や属性把握が不得意	×	100m	×
24GHz帯ミリ波	電波を放射、反射波から物体までの距離等を検出	・逆光や悪天候に強い ・物標数把握や属性把握が不得意	○	30m	×
可視光カメラ	カメラ映像をコンピュータで解析、物体を検出	・車と人を区別して検知可能 ・逆光や悪天候に弱い	○	150m	△
遠赤外線カメラ	カメラ映像をコンピュータで解析、物体を検出	・車と人を区別して検知可能 ・逆光や悪天候に比較的強い	○	150m	○
LIDAR	レーザー光を放射、反射光から物体までの距離等を検出	・カメラと比較して外乱に強い ・悪天候に比較的弱い	○	100m	△
赤外線センサ(反射型)	光を放射、反射光の有無を検知	・仕組みがシンプル ・人を含め検知する ・逆光や暗さに強い	○	50m	△
赤外線センサ(透過型)	光を放射、反対側に置いた光センサで受光	・仕組みがシンプル ・人を含め検知	×	50m	△
超音波	超音波を放射、反射波から物体までの距離を検出	・仕組みがシンプル ・人を含め検知	×	10m	×

c) 通信機器の選定

通信機器についても、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を比較検証し、本実験の実験環境下において、優位な機器を選定した。

自動運転バス事業者との協議により、自動運転車両が安全に運行するために、路側センサからの情報を交差点手前約100mから通信することとした。（図-6）



図-6 情報提供範囲

また、車両に鮮度の高い情報を伝えるためにデータ遅延が発生しないことが重要である。比較検証結果を表-4に示す。

比較検証の結果、本実験の要求水準を満足し、過年度の他地域での路車協調システム実証実験での導入実績のある4G回線及びITSコネクトを通信機器として選定した。ITSコネクトとは、ITS専用周波数帯を活用して路車間・車車間通信にて安全運転を支援するものであり、全国で既に実用化されている路車間通信システムである。ただし、上士幌町の自動運転車両の制御システムは、ITSコネクトと連携しておらず、レベル4を見据えた車両制御への介入ができないが、上士幌町で導入されている事業者以外の自動運転車両の制御は可能なことも考えられることから、本実験では、4G回線及びITSコネクトの両方を検証することとした。

表-4 通信機器の比較検証結果

機器名称	概要	遅延	通信速度	通信距離	採用実績	路車協調の実績	上士幌町自動運転バス制御システムとの連携可否	適用性
ITSスポット	ITSを用いてITSスポットに対応カーナビと通信ITSスポットが設置された道路でのみ通信可能	なし	1 or 4Mbps	約30m	800万台普及	×	×	△通信距離が不足
ITSコネクト	車と車、あるいは道路と車で通信を行う技術	100ms	数Mbps	数百m	トヨタ車両(DSSS)	○(流町等)	×	○路車協調実証実績有
Bluetooth	近距離データ通信に使用する通信技術	不明	数Mbps	約50m	実績なし	×	○	△通信距離が不足
BLE	Bluetooth通信を低消費電力にした規格	不明	125K~2Mbps程度	400m	実績なし	×	○	△通信速度が遅い
LPWA [「フライングLoRa」]	低消費電力で広域、長距離通信を行う通信技術	不明	数十Mbps	20km	実績少ない	×	○	△既往実績少
Wi-Fi	無線LAN接続	不明	1.2~9.6Gbps	約50m	実績多数	×	○	△通信距離が不足
モバイル通信 [LTE, 4G, 5G]	携帯電話会社提供の電話回線	4G・LTE<10ms 5G<1ms	100Mbps~10Gbps	数キロ	実績多数	○(前橋等)	○	◎通信安定性が周辺接続数に依存
自営回線 [「フライングLTE」+「5G」]	自前で専用回線を用意	数ms	約14~110Mbps	数百m	実績なし	○(前橋等)	○	△費用が高額

d) 情報提供システムの構築

路側センサにより取得した物標情報を車内オペレータへ提供する流れを図-6・図-7に示す。

通常の運行	ITSコネクト	4G回線
 周囲の交通や信号を目視で確認	 支障交通の有無を車内スマホに表示	 支障交通の有無を車内タブレットに参考として表示
+	+	+
 周囲の交通や信号を目視で確認	 周囲の交通や信号を目視で確認	 周囲の交通や信号を目視で確認
↓	↓	↓
 発進可能であればオペレータが操作※必要に応じて、手動介入	 発進可能であればオペレータが操作※必要に応じて、手動介入	 発進可能であれば自動で発進※必要に応じて、手動介入

図-6 自動運転車両の発進制御方法

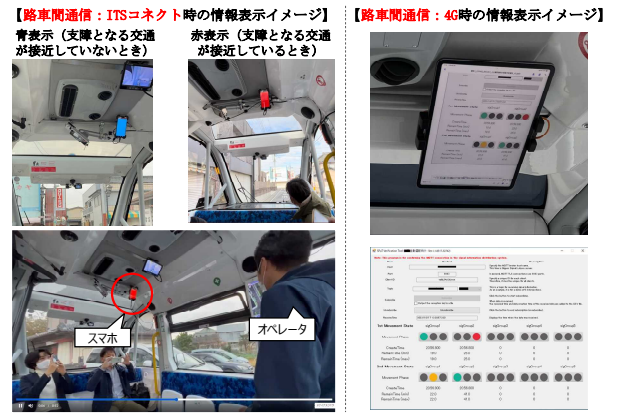


図-7 オペレータへの情報提供イメージ

ITSコネクト使用時は、前述の通り、自動運転車両の制御システムと連携しておらず、車両制御への介入ができないため、オペレータがスマホに表示された簡易な青赤信号を踏まえ判断し、車両を制御するものとした。

4G回線使用時は、路側センサにより取得した物標情報を直接車両制御に援用するが、実験の安全性を確保するため、タブレット表示により、オペレータが情報を目視確認できる状態として、必要であれば停止制御可能な環境とした。

e) 機器の設置

路側センサ及び周辺機器は、当該交差点近傍のコンクリート柱に取り付けるものとした。なお、実験交差点については、上下方向それぞれに路側センサを取り付ける必要があるが、建築限界等を考慮し、2つのコンクリート柱に分けて機器を取り付けることとした。（図-8）



図-8 機器類の設置状況

3. 路車協調実証実験の実施方法

(1) 実験実施時期

上土幌町では、平年値で12月～3月にかけて降雪が観測される。最深積雪では2月がピークとなっていることから、積雪寒冷地を考慮した検討を行うにあたり、実験実施時期は2月とし、降雪の有無による性能差を把握するために、8日間の調査を予定している。（図-9）

また、降雪下での実証実験を円滑に進めるために、12月中に機器を設置、4日間に渡り事前検証を行うことで、2月の実証実験の円滑な実験環境を整えることとした。なお、通信機器については、ITSコネクと4G回線の2つを選定しているが、通信性能については、降雪等の天候による影響は受けけないことから、事前検証の4日間で通信機器の評価を行い、2月の実証実験の際には、ITSコネクと4G回線のどちらか一つの機器を採用することとする。

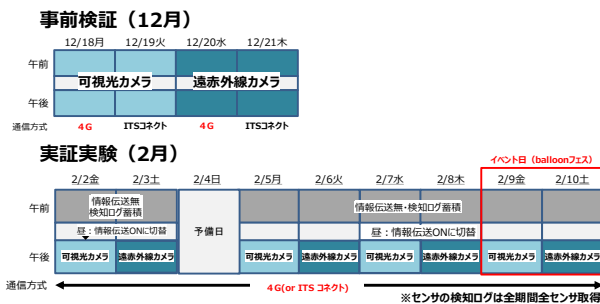
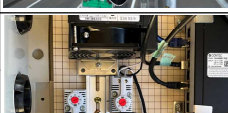
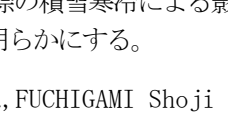


図-9 実証実験スケジュール案

(2) 降雪・氷点下環境への対応

本検証では、積雪寒冷地を考慮した検証を行うものではあるが、センサ類・通信機器の各種メーカーの技術者と事前に協議を進めた中での、降雪・氷点下環境による懸念点及びその対応策を表-5に示す。

表-5 降雪・氷点下環境の懸念点及び対応策

【懸念点①】レンズに雪が付着し、検知性能の低下が危惧	
【対応①-1】雪の付着を軽減するカバーがついている機器を選定	
【対応①-2】センサ自体が稼働時に発する熱でレンズ付近の雪が解けると想定されるため、実験時間や実験日以外も、恒常的にセンサを稼働	
【懸念点②】氷点下により、電源が落ちる可能性有	
【対応②】センサ類の電源を一つのボックスに集約し、ボックス内の温度が5℃以下になると、ヒーターが稼働する機構を導入	
【懸念点③】各センサや取付部に積雪し、視界が遮られる	
【対応③】人力により雪を落とす	

なお、上記対策を講じるが、実際の積雪寒冷による影響については、実証実験をもって明らかにする。

(3) 実験の評価項目

路側からの情報支援による自動運転車両の安全性向上効果は、精度・鮮度・信頼性の3つの観点から評価する。

加えて、精度・鮮度・信頼性に及ぼす各種条件や、遠赤外線カメラ・可視光カメラといった路側センサの差異についても分析を行う。（表-6）

表-6 実験の評価項目と評価内容

評価項目	評価内容
可視光カメラ・遠赤外線カメラによる検知の技術的な成立の確認（①精度）の把握	・検知精度・検知時間・間隔 ⇒対向車等を正しく検知できたか ・対象物毎の位置・速度・加速度の生成精度 ⇒検知した対象物の位置等を正しく把握できたか
検知～伝送までの通信の課題把握（②鮮度）の把握	・情報生成時間 ⇒検知してから生成に要する時間 ・情報伝送時間 ⇒生成してから伝送に要する時間
情報提供による自動走行の安全性・円滑性向上に関する有効性（③信頼性）の把握	・手動介入の変化・急挙動の変化・停止回数の変化・オペレータによる主観評価（オペレータへのヒアリング）
情報伝送が有効となる条件の把握	・天候等の環境変化や交通状況が①～③の効果にどのように影響を与えるかを把握
可視光カメラ・遠赤外線カメラの特性の把握	・路側センサによる効果の発現の差異を評価、双方の役割分担（設置が適する箇所・場面）を検討

4. 実験結果（速報）

12月18日～21日の4日間の事前検証を行った。

遠赤外線カメラ及び可視光カメラともに、積雪環境下においても正常に稼働し、事前に設定した通り、約100mの距離の接近車両を検知し、自動運転車両への情報伝達も大きな遅延なく行われた。（図-10）

なお、オペレータへのヒアリング調査から、法定速度よりも速い車両への対応も考慮して、100m以上の段階で障害物を検知しても良いのではないかと声を得た。

また、ITSコネクはほぼ遅延なく通信が行われた。4G回線については、ITSコネクと比較して車両への情報伝達が若干遅いケースも見受けられたが、車両制御に問題はなく、オペレータからも問題ないとの声を得た。

2月の本番検証に向けて、事前検証で得られたログやオペレータへのヒアリング調査の分析を引き続き進め、本番検証の実験内容及び検証項目をより明確にしていく。

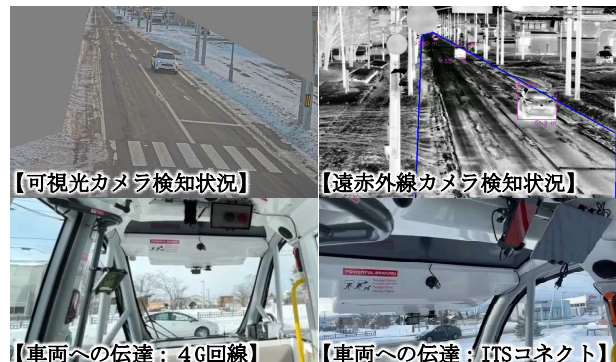


図-10 事前検証の状況（速報）

5. おわりに

国土交通省では、道路付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行っているが、冬期の積雪環境下での影響検証を実施できるフィールドは数が少ない。

特別条件下において、安全にレベル4無人自動運転サービスを実現するためにも、本検証は非常に意義のあるものである。

積雪環境下における路車協調システムの構築に向けて、実証実験の実施並びに効果検証を進めていく所存である。

なお、今後、2月に実施する実証実験の結果を踏まえて、積雪環境下での路側センサの性能検証や通信技術の性能検証、安全なレベル4無人自動運転サービスの実現に資する伝達情報の検証や積雪環境下での運用方法等の効果検証を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省 令和5年版国土交通白書
<https://www.mlit.go.jp/statistics/file000004/pdf/kokudo.pdf>
- 2) 国土交通省道路局 自動運転実証調査事業と連携した路車協調システム実証実験公募要領
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001611538.pdf>
- 3) 上士幌町役場ホームページ
https://www.kamishihoro.jp/sp/self_driving_bus
- 4) 内閣府 SIP 自動運転（システムとサービスの拡張）システム実用化 WG 協調型自動運転通信方式検討 TF SIP 協調型自動運転ユースケース-2019年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-
<https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf>
- 5) 警視庁
「信号機設置の指針」の制定について（通達）
<https://www.npa.go.jp/laws/notification/koutuu/kisei/kisei20210324.pdf>