自動運転車両の走行を考慮した まちなかの道路交通環境に関する研究

井上　航[1]・藤田　裕士[2]・池田　武司[3]・寺口　敏生[4]

[1]非会員　国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室
（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）
E-mail:inoue-w924a@mlit.go.jp

[2]非会員　国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室
（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）
E-mail:fujita-y92ta@mlit.go.jp

[3]正会員　国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室
（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）
E-mail:ikeda-t92gm@mlit.go.jp

[1]非会員　流通科学大学 経済学部 経済情報学科（〒651-2188 兵庫県神戸市西区学園西町 3 丁目 1 番地）
（元 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室）
E-mail:Toshio_Teraguchi@red.umds.ac.jp

これまで，国土交通省では，中山間地域の道の駅を拠点とした自動運転移動サービスの実証実験を進めてきた．一方，中山間地域よりも道路交通環境が複雑なまちなかでの自動運転移動サービスの実現においては，安全・円滑な道路交通の観点から見た，道路交通環境の課題，及び対応策の整理が必要である．

本研究では，一般道のまちなか（市街部）での自動運転車両の走行に際し，手動介入を必要とする道路交通環境の状況について，自動運転車両メーカーや自動運転実証実験の運用主体に対してヒアリングを通じて調査を行った．その結果，自動運転車両の走行速度や周辺状況の検知技術の対応状況によって，手動介入が必要となる道路交通環境の状況に差があることを明らかにした．また，それらを踏まえ，道路交通安全対策の立案手法の考え方を援用して，手動介入の発生を減少させるための道路交通環境側での対応策について整理した．

Key Words: *autonomous vehicle, manual intervention, traffic safety measures, road traffic environment*

1. はじめに

(1) 研究の背景

自動運転の目的は，多岐に及ぶが，特に地方部における移動手段の確保としての期待が高い．これは，我が国における，少子高齢化や人口減少の急速な進展に伴う公共交通サービスの撤退，及び深刻なドライバー不足に加え，高齢者の運転免許の返納などの影響により，日常生活を支える移動の足の確保が求められているためであり，自動運転技術の活用で，持続可能な交通サービスとして提供されることが期待されている．

国土交通省では，平成 28 年より，国土交通大臣を本部長とする「国土交通省自動運転戦略本部」を立ち上げ，自動運転に関わる重要事項に関する方針について検討を行っており，中山間地域の一般道において，自動運転を活用することにより，人流や物流を確保し，地域活性化につなげることを目的とした道の駅を拠点とする自動運転移動サービスの実証実験が展開され，自動運転サービスの知見の蓄積に寄与している．

他方，茨城県境町での自動運転バスの運行に代表されるように、中山間地域よりも周辺の道路や交通の環境（以下，「道路交通環境」という．）が複雑で多数の交通参加者が混在するまちなか（市街部）における自動運転移動サービスが展開されてきている．

これまで実施されてきた，自動運転の実証実験では，自動運転の継続が難しく一時的にドライバーによる運転操作（以下，「手動介入」という．）が必要になる場面も多いことが分かっている[1]．この手動介入の発生においては，自動運転技術やシステムに起因するものだけでなく，自動運転車両が走行する道路交通環境の状況も関

係していると考えられ，手動介入が必要となる道路交通環境の状況やそれに対する道路交通環境側での対応策の検討が必要である．当然，道路交通環境側での対応策を全ての道路で実施する場合，膨大なコストや期間を要することになるが，自動運転移動サービスのように限られた路線での運行の場合，対応策も当該路線上の道路空間のみに留まるため，対応策を実施できる可能性が高まると考えられる．

(2) 研究の目的

本研究では，自動運転車両の走行にあたり，必要に応じた道路交通環境側での対応策を道路管理者等が適切に検討できるよう，手動介入が必要となる道路交通環境の状況やそれに対する対応策の整理を行うことを目的とする．

具体的には，我が国の自動運転移動サービスに関する実証実験等で用いられている自動運転車両について，その車両メーカーや実証実験の運用主体を対象としたヒアリング調査を実施し，各対象者が提供もしくは，使用する自動運転車両について，手動介入が必要となる道路交通環境の状況やその影響要因について調査を行った．さらに，その調査結果等を基に，手動介入の発生を減少させるための道路交通環境側での対応策を整理した．

(3) 既往研究と本研究の位置づけ

自動運転の走行空間や交通状況に関する既往研究として，岡野[2]らは，自動運転車両の乗降環境に着目し，通行空間や路肩などの乗降環境を変化させたシナリオ分析をミクロ交通シミュレータを用いて実施しており，交通量が少ない街路では，路上駐車型の駐車場でも対応できるが，一定以上の交通量のある街路では，バスストップ型の乗降場整備が望ましいことを明らかとしている．

香山[3]らは，自動運転の実証実験時の観測データを活用し，自動運転車両と一般車両の挙動の相違と交通流に与える影響を分析しており，単路部での単独走行時には，一般車両と比べ，高い速度維持性能を保有することや、交差点部での発進反応時間については，自動運転車両の方が，一般車両よりも時間がかかること，また，停止線通過時の車頭時間より算出した飽和交通流率から，自動運転車が混入する場合、交通流率が若干低下することを明らかにしている．

寺口[4]らは，過去に実施された自動運転移動サービスの実証実験において，走行実績がある道路空間の特徴を単路単位で整理し，その特徴を基に，自動運転移動サービスを導入する際の道路空間の適性をコサイン類似度を用いて評価する手法を提案しており，自動運転車両の走行を過去に行ったことがあるルートでは評価値が高くなったほか，実際に走行した経路以外を評価した結果，交差点数が少なく，車道総幅員が約 5m～10m あり追越し可能な道路が導入適正が高いことを明らかにしている．

自動運転車両の手動介入発生特性と道路インフラ対策に関する既往研究として，馬渡[1]らは，国土交通省道路局が実施した中山間地域の道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験における手動介入の発生要因データを用いて，道路インフラの構造や沿道環境等の関係を定量的に分析し，道路インフラ側の対策として道路空間の再配分による専用帯の設置や自己位置特定を支援する設備の基準等の設定といった対策を提示している．

以上のように，自動運転車両の走行空間や交通状況に着目した既往研究では，交通流シミュレーションや過去の実証実験時のデータ等を活用し，一般車両との挙動の違いや他の交通流に与える影響等を明らかにしている研究が多い．また，自動運転車両の手動介入発生特性と道路インフラ対策に関する既往研究もみられるが，中山間地域でこれまでに実施されてきた実証実験データを基にした研究であり，道路交通環境が複雑なまちなか（市街部）での手動介入の発生要因の把握や道路交通環境側での対応策の整理には至っていない．

一方，道路交通環境側での対応策に関する類似の例として，文献[5]では，様々な事故に対して，事故に至るまでの過程やそれを誘発する道路交通環境，当事者のミスを誘発する道路交通環境を改善するための方策や対策工種などを事故危険箇所等における事故要因分析等の事例に基づいて一対一の対応表として網羅的にとりまとめられている．これによれば，交通事故が発生する要因については，安全不確認や，見落としなど当事者であるドライバーのミスによるものもあるが，道路交通環境によってドライバーが他の道路利用者の動きや道路線形などを誤認し誤った判断をすることで結果として操作にミスが生じ，事故が発生する場合もみられることが示されている．

自動運転車両における手動介入も同様に，道路交通環境によって，車両に搭載しているセンサーで他の道路利用者や道路線形などを検知できないといった事象や，道路交通環境が複雑で，どのように動けばよいか自動で判断ができず，結果として回避や一旦停止など人による操作に委ねられている．

上述した交通事故と手動介入の発生に至るメカニズムは，道路交通環境と当事者（ドライバー，自動運転システム）との関係で見る限り，共通している部分が多い．従って，本研究では，既存の事故対策立案に当たっての知見（事故に至るまでの過程やそれを誘発する道路交通環境とそれに対応する対策との関係）を援用することとする．具体的には，文献[5]で網羅的に整理されている対策工種の中から，手動介入を必要とする道路交通環境の状況と自動運転車両メーカー等を対象としたヒアリング

に基づく，道路交通環境による影響（手動介入の要因に相当）に対応するものをピックアップするとともに，ヒアリングの回答各社から聞き取った道路交通環境側に求める対応策も加えて整理するものとする．

2. ヒアリング調査を通じたデータの取得

まちなか（市街部）において，自動運転を継続できず手動介入が必要となる道路交通環境の状況やこれに対する道路交通環境による影響等の整理のために，自動運転車両メーカーや実証実験の運用主体を対象としたヒアリング調査を行い，データを取得した．

(1) ヒアリング調査の対象先

対象先は，これまでの自動運転に係わる実証実験の実績の多い企業を中心に 10 社選定を行った．なお，選定にあたっては，自動運転車両の走行に用いる技術（電磁誘導線等の自動運行補助施設を使用，カメラ等の車載センサと 3 次元地図を使用，上記とは別に路側センサの情報を使用）や車両のタイプ（カート，乗用車，バス）など様々な自動運転車両や走行に係わる技術を含むことを念頭においた．選定した各社の概要を**表-1** に示す．

(2) ヒアリング調査の調査項目

ヒアリング調査では，**表-2** に示す，「手動介入を必要とする道路交通環境の状況」それぞれについて，ヒアリング先の各社が実施した実証実験等の走行ルートを想定し，手動介入の発生状況（問題無く走行可能，手動介入が多く発生するが条件付きで走行可能，必ず手動介入が必要）やこれに対する道路交通環境による影響，道路交通環境側に求める対応策について聞き取った．

なお，**表-2** の「手動介入を必要とする道路交通環境の状況」については，これまでの中山間地域や道の駅を拠点とした実証実験の結果をとりまとめた文献 [6]で，手動介入の要因として挙げられていた「ルート上の歩行者」や「対向車とのすれ違い」，「GPS の信号不良による自車位置特定不具合」，「雪，霧，雨によるセンサ不良」といった要因の中から，GPS の信号不良や天候によるセンサの不良など道路交通環境からの影響が比較的少ないと考えられる要因を除いたものを選定した．さらに，中山間地域よりも交通量が多く，多数の交通参加者が混在するまちなかでの自動運転車両の走行にあたり，中山間地域での走行よりも相対的に困難と想定される道路の左折や右折，合流といった道路交通環境の状況も加え，18 項目を選定した．

表-2 手動介入を必要とする道路交通環境の状況

手動介入を必要とする道路交通環境の状況 (18項目)	車線幅員が狭い道路でのすれ違い
	一般車による追越し
	車線変更
	自転車の追越し
	道路の左折
	道路の右折
	合流
	沿道からの出入り
	狭い路地からの出入りや譲り合い
	無信号横断歩道箇所を通行
	自動運転走行ルート上を歩く歩行者
	見通しの悪い交差点や路地を走行
	左折時の歩行者の巻き込み
	自動運転走行ルート上の路上駐車車両
	自動運転走行ルート上の道路工事
	沿道の植生
	路肩の積雪
	同じ景色が続く道路環境

表-1 ヒアリング調査対象先の概要

調査対象		車両諸元		自動運転の走行に用いる技術の概要	自己位置の特定技術			周辺状況の検知技術						
		タイプ	走行速度の最大値		GNSS ※1	LiDAR ※2	自動運転補助施設 ※3	LiDAR ※2	信号検知	信号との連携	路側設備との連携	自動での障害物回避	自動での車線変更	自動での走行ルート変更
自動運転車両メーカー	A社	カート	20km/h未満	電磁誘導線等の自動運行補助施設を使用	－	－	○	－	○	－	－	○	－	－
	B社	小型バス	20km/h以上		○	○	○	○	○	○	○	－	○	－
	C社	小型バス	20km/h以上	カメラ等の車載センサと3次元地図を使用	○	○	－	○	○	○	○	○	○	○
	D社	乗用車	20km/h以上		○	○	－	○	○	－	－	○	○	○
	E社	小型バス	20km/h未満		－	○	－	○	○	○	－	○	○	○
	F社	小型バス	20km/h以上	路側センサの情報を使用	○	○	－	○	○	○	－	－	－	－
	G社	カート	20km/h未満		－	○	－	○	－	○	○	○	○	○
実証実験運用主体	H社	小型バス	20km/h以上	カメラ等の車載センサと3次元地図を使用	○	○	－	○	○	○	○	－	○	○
	I社	小型バス	20km/h未満		○	○	－	○	－	－	－	－	－	－
	J社	小型バス	20km/h未満		○	○	－	○	－	○	－	－	－	－

※1：衛星を用いた位置情報を得るためのシステム
※2：レーザー光を照射し，その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを検知する技術
※3：電子・磁気的方法等により自動運行装置を備えた自動車などの自動的な運行を補助するための施設

3. 手動介入が必要となる道路交通環境

ヒアリング調査に基づく，道路交通環境の状況毎の手動介入発生状況（問題無く走行可能，手動介入が多く発生するが条件付きで走行可能，必ず手動介入が必要）の回答を用いて，手動介入を必要とする道路交通環境の状況について整理を行った．この際，自動運転車両の特性による違いも考えられたことから，走行速度，及び周辺状況の検知技術による比較も試みた．

(1) 全体的な傾向

道路交通環境の状況毎の手動介入発生状況の整理結果を**図-1** に示す．その結果，「車線変更」，「自転車の追越し」，「合流」，「狭い路地からの出入りや譲り合い」，「自動運転走行ルート上の路上駐車車両」，「自動運転走行ルートでの道路工事」では「問題なく走行可能」との回答がみられず，手動介入が必要となるもしくは，多く発生する道路交通環境であることが確認された．

上記についてどのような道路交通環境の影響で手動介入が発生するかをヒアリングで聞き取っており，車線変更や合流では，自動運転車両の走行速度と後方車両の速度に差がある場合，接触の危険性があることからタイミングを見計らって手動での車線変更や合流を行っているとの声が聞かれた．自転車の追越しについては，急な自転車のよろめきやふらつきを避けるため，自動運転走行ルート上の路上駐車車両，自動運転走行ルート上での道路工事については，路上駐車車両や道路工事等をルート上の障害物として検知するため，対向車線等に膨らんで追い越すまたは回避することになり，その際に対向車の有無や接近状況を目視・判断して回避するという形になるため手動介入が発生しているとの声が聞かれた．狭い路地からの出入りや譲り合いについては，自動運転車両のセンサの死角となることから，一時停止までは自動で行うが，その後の安全確認や発進可能かどうかの判断は人が行わざるを得ず，現状では手動介入が必要との回答であった．

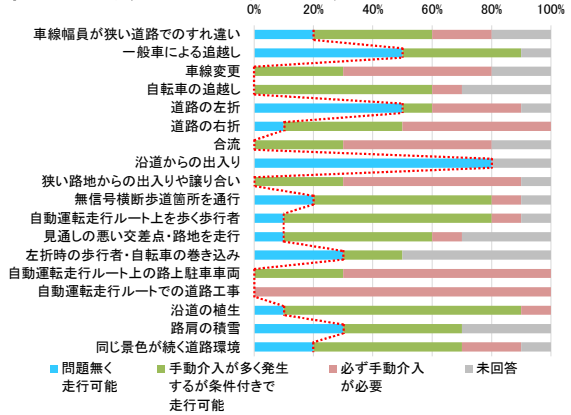


図-1 手動介入が必要となる道路交通環境（全体的な傾向）

(2) 自動運転車両の走行速度による傾向の比較

自動運転車両の走行速度について，20km/h 未満で走行する自動運転車両（全 5 社：A 社，E 社，G 社，I 社，J 社）と 20km/h 以上で走行できる自動運転車両（全 5 社：B 社，C 社，D 社，F 社，H 社）とで手動介入が必要となる道路交通環境の状況を比較した（**図-2**）．

20km/h 未満で走行する自動運転車両では，20km/h 以上で走行できる自動運転車両に比べ，「一般車による追越し」，「道路の左折」，「道路の右折」，「自動運転走行ルート上を歩く歩行者」，「左折時の歩行者の巻き込み」，「沿道の植生」、「路肩の積雪」，「同じ景色が続く道路環境」といった道路交通環境で手動介入が多く発生している傾向が見られた．一般車による追越し，自動運転走行ルート上を歩く歩行者に関しては，一般車に追い越されたりする機会や歩行者を追い越す機会が多いことから結果として手動介入の発生につながっているものと推察される．ただし，道路の左折や左折時の歩行者の巻き込み，沿道の植生，路肩の積雪，同じ景色が続く道路環境は、路側設備との連携，自動での障害物回避や車線変更といった技術に未対応であることから自動での走行は困難であるとの声がヒアリングで聞かれた．一方，20km/h 以上で走行できる自動運転車両では，20km/h 未満で走行する自動運転車両に比べ，「車道幅員が狭い道路でのすれ違い」といった道路交通環境で手動介入が多く発生している傾向が見られるが，これは，今回の調査では 20km/h 以上で走行できる自動運転車両の多くがバスタイプであったことから，幅員が狭い道路でのすれ違いが相対的に困難であることが理由であると推察される．

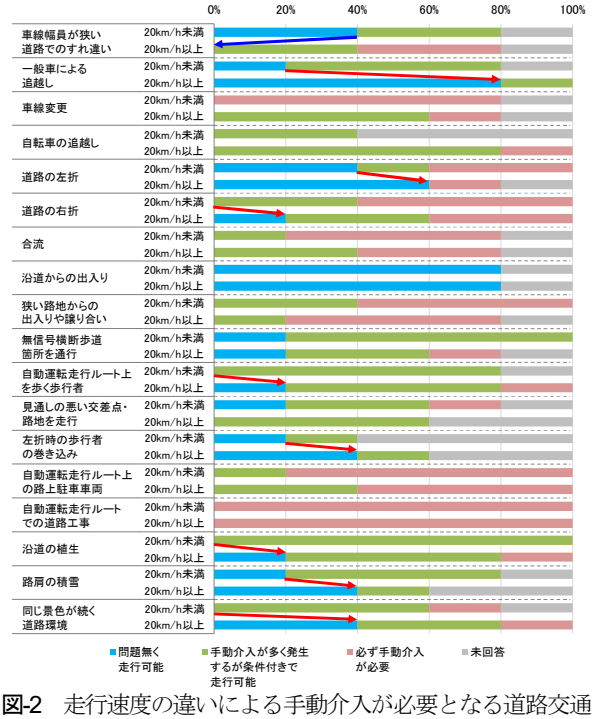


図-2 走行速度の違いによる手動介入が必要となる道路交通環境の差

(3) 周辺状況の検知技術の対応状況による傾向の比較

表-1 で示した周辺状況の検知技術の有無に着目し，自動運転の走行に用いる技術や自動運転車両の走行速度，車両タイプが同一のもので比較できるよう，カメラ等の車載センサと 3 次元地図を使用・20km/h 未満・小型バスで運行している 2 社（E 社：上記の前提条件を踏まえ，対応している周辺状況の検知技術の数が最も多い，I 社：上記の前提条件を踏まえ対応している周辺状況の検知技術の数が最も少ない）間の比較を行った（**表-3**）．

その結果，2 社間での比較結果であることから，ほとんどの道路交通環境では，周辺状況の検知技術の対応状況で差は見受けられなかったものの，「一般車による追越し」，「道路の左折」，「道路の右折」，「自動運転走行ルート上の路上駐車車両」といった前述の（1），（2）の整理で自動運転が困難な道路交通環境として挙げられた項目の一部について，周辺状況の検知技術が無い場合には手動介入が必要になる一方で，同技術がある場合には手動介入を減らすことができる可能性があることが確認された．

表-3 周辺状況の検知技術の対応状況による手動介入が必要となる道路交通環境の差異

		問題無く走行可能	手動介入が多く発生し条件付きで走行	自動運転を継続できず必ず手動介入が必要	未回答
車線幅員が狭い道路でのすれ違い	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
一般車による追越し	対応技術:多	1	0	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
車線変更	対応技術:多	0	0	0	1
	対応技術:少	0	0	1	0
自転車の追越し	対応技術:多	0	0	0	1
	対応技術:少	0	1	0	0
道路の左折	対応技術:多	1	0	0	0
	対応技術:少	0	0	1	0
道路の右折	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	0	1	0
合流	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	0	0	1
沿道からの出入り	対応技術:多	1	0	0	0
	対応技術:少	1	0	0	0
狭い路地からの出入りや譲り合い	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
無信号横断歩道箇所を通行	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
自動運転走行ルート上を歩く歩行者	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
見通しの悪い交差点・路地を走行	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	0	0	1
左折時の歩行者・自転車の巻き込み	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	0	0	1
自動運転走行ルート上の路上駐車車両	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	0	1	0
自動運転走行ルートでの道路工事	対応技術:多	0	0	1	0
	対応技術:少	0	0	1	0
沿道の植生	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0
路肩の積雪	対応技術:多	0	0	0	1
	対応技術:少	0	1	0	0
同じ景色が続く道路環境	対応技術:多	0	1	0	0
	対応技術:少	0	1	0	0

4. 道路交通環境側での対応策

(1) 対応策整理の考え方

ヒアリングで得られた情報と既往の交通事故対策に関する知見（交通事故に至るまでの過程やそれを誘発する道路交通環境とそれに対応する対策との関係）を基に道路交通環境側の対応策を整理した．

具体的には，まず，**表-2** に示した「手動介入を必要とする道路交通環境の状況」（18 項目）について，対応策の検討に際し，事故対策の知見と対応できるよう，手動介入の発生プロセスを事故の発生プロセスと見立てて，手動介入の発生位置（単路，交差点）別，及び事故類型（車両相互，人対車両，車両単独）別に区分した．次に，手動介入を必要とする道路交通環境の状況それぞれについてヒアリングで得られた手動介入の発生の要因となる道路交通環境による影響を対応づけた．その上で，**図-3** に示す文献 [5]の中で網羅的に整理されている事故形態や事故要因に対応する対策工種の一覧表の中から，上述した道路交通環境の状況（18 項目）と道路交通環境による影響（手動介入の要因）に対応するものをピックアップした．さらに，ヒアリングの回答各社が道路交通環境側に求める対応策も加え，**表-4** に示すとおり，「道路交通環境の状況」，「道路交通環境による影響（手動介入要因）」，「道路交通環境側の対応策」の対比ができるよう整理した．

(2) 対応策の整理結果

道路交通環境側での対応策の整理結果の代表例として 3.(1)の全体的な傾向の整理の中で手動介入が必要な道路交通環境として挙げられた「車線変更」，「自転車の追越し」，「合流」，「狭い路地からの出入りや譲り合い」，「自動運転走行ルート上の路上駐車車両」，「自動運転走行ルートでの道路工事」について詳述する．

車線変更については，自動運転車両と後続車両の速度差がある場合，車線変更のタイミングが難しく接触の懸念があり，目視で安全を確認した上で，手動でのハンドル操作が必要となることを踏まえ，一般車両への注意喚起看板の設置や路面標示による注意喚起が対応策として考えられる．

自転車の追い越しについては，自転車の急なよろめきやふらつきなど不安定な挙動により接触の懸念があるため，対向車線の交通の状況等を目視確認し，手動でのハンドル操作が必要になることを踏まえ，自動運転車両と自転車の走行空間を分離する自転車通行空間の整備や自動運転優先・専用レーンの整備が対応策として考えられる．

合流については，自動運転車両のセンサで合流先の車両の動きが検知できない場合が多いほか，合流のタイミングも難しいため，後続車両の速度や挙動を目視で確認し，手動による走行が必要になることを踏まえ，合流部の見通しの確保や合流先の車両を検知するセンサの設置，合流区間長の延伸，自動運転車両が合流してくることを知らせる案内板等の設置が考えられる．

狭い路地からの出入りや譲り合いに関しては他車の動きが検知できず，一旦，停止した後に目視での安全確認，手動での再発進が必要になる．そのため，他車の動き等を検知する路側センサの設置や交差点の改良による見通しの確保といった対応策が考えられる．

自動運転走行ルート上の路上駐車車両については，自動運転車両が路上駐車車両を路上の障害物として検知し，自動での走行ができない場合や自動で回避できる場合でも対向車線の状況や死角からの飛び出しには自動での対応が困難なことから手動介入が多く発生している．そのため，自動運転の走行ルートであることを示すピクトの設置や路上駐車の取り締まり強化，注意喚起看板の設置，周辺住民との合意形成，代替駐車上の整備のほか，路上駐車ができないような運用（法整備）といった対応策が考えられる．

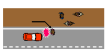
自動運転走行ルートでの道路工事については，上述した自動運転走行ルート上の路上駐車車両の状況と同様に自動運転車両が路上の障害物として検知し，自動での走行が困難であることから手動での走行となっており，工事情報の事前共有などの対応策が考えられる．

(3) 対策案整備方法の妥当性に関する考察

本研究では，交通事故と手動介入の発生に至るメカニズムについて，道路交通環境と当事者（ドライバー，自動運転システム）との関係で見る限り，共通している部分が多いと考えられることから，既往の事故対策の対策工種から手動介入の発生を減少させる道路交通環境側での対応策をピックアップしている．

例えば，全体的な傾向の整理の中で手動介入が必要な道路交通環境である「車線変更」について，自動運転車両においては，後続車との速度差がある場合に後続車両との接触（追突）の懸念があるため，タイミングを見計らって車線変更をせざるを得ないため，手動介入が発生している．対して，追突事故に関する事故要因としては，前方車両の停止や減速，車線変更に気づいても回避が間に合わない速度で走行していることが事故の要因の一例として文献[5]で示されている．そのほか，「狭い路地からの出入りや譲り合い」では，自動運転車両のセンサの死角となることから，一時停止までは自動で行うが，その後の安全確認や発進可能かどうかの判断は人が行うことになるため手動介入が発生している．対して交差点の右左折時の事故要因としては，植栽などの影響で右左折した先の状況を確認しづらいことが接触事故の要因として示されている．上述した通り手動介入の発生要因と事故の発生要因は必ずしも一致はしないものの類似性は高いことが分かる．よって，既存の事故対策の対策工種を活用した手動介入の発生を減少される道路交通環境側での対応策の整理方法は妥当であると考えられる．

ただし，あくまでヒアリングでの定性的な調査に基づく整理結果であり，実際の自動運転車両が走行する環境において，道路交通環境の影響を観測するなどにより，精査を行うことが必要であると考えられる．

検討プロセス		②着目すべき事故形態の設定	③事故発生過程の推定			
事故類型	単交区分	事故形態	事故発生過程の例	イメージ図	当事者	事故発生過程において想定される当事者のミス
人対車両(対背面通行中)事故	単路(2/2)		共通		－	－
		2)【歩道有り区間】右左折車（自動車・二輪車・自転車）が歩行者と歩道で衝突	沿道施設に右左折で進入した右左折車（自動車・二輪車・自転車）が、歩行者と歩道で衝突		右左折車	歩道上の歩行者を十分に確認しないまま歩道に進入する
						本線上での待機により後続車の進行を妨げている状況を早めに回避しようとして無理に右左折する
					左折車	沿道施設出入口に気づくのが遅れて急に左折し、歩行者を十分に確認しないまま歩道に進入する
		3)【歩道有り区間】歩行者が直進車（自動車・二輪車・自転車）と車道で衝突	車道に飛び出した歩行者が、本線を走行する直進車（自動車・二輪車・自転車）と車道で衝突		歩行者	他の歩行者・自転車等により、歩道上の通行を阻害され、車道に飛び出す
					直進車	車道に飛び出した歩行者に気づいても回避が間に合わない速度で走行する
						歩行者の飛び出しを予期しないまま走行する

⑤対策方針の検討	⑥対策工種の立案
対策方針の例	代表的な対策工種
沿道施設出入口を集約または移設する	施設出入口の集約または本線外への移設
	歩道切り下げ部の廃止
注意を喚起する	路面表示（カラー舗装、文字による注意喚起等）
	法定外看板（注意喚起）
立体横断施設を撤去または移設する	立体横断施設（撤去・移設）
注意を喚起する	路面表示（カラー舗装、文字による注意喚起等）
	法定外看板（注意喚起）
植栽を整理または撤去・移設する	植栽の整理または撤去・移設
標識・看板等を整理または撤去・移設する	標識・看板等の整理または撤去・移設
地上機器等を整理または撤去・移設する	地上機器等の整理または撤去・移設
防護柵を改良する	ガードパイプへの改良
道路を明るくする	道路照明（新設、改良、増設、移設等）
駐停車を抑制する	駐停車対策の検討（停車帯、駐停車禁止規制等）
左折車と後続直進車の動線を空間的に分離する	左折車線（新設）
右折車と後続直進車の動線を空間的に分離する	右折車線（新設）
	導流帯（車道中央部のゼブラ表示）
右折を禁止する	中央帯（新設または開口部の閉鎖）
	ゴム製ポール
沿道施設出入口を認識しやすくする	視線誘導標（新設）
	路面表示（カラー舗装）
通行量に応じた歩道幅員を確保する	歩道、自転車歩行者道（拡幅）
自転車通行空間を整備する	自転車道、自転車専用通行帯等
歩行者の車道への飛び出しを防止する	歩行者自転車用防護柵（横断防止用）
下り勾配を緩和または解消する	縦断線形改良
注意を喚起する	舗装改良（段差舗装、グルーピング(横断方向)等）
	路面表示（カラー舗装、文字による注意喚起等）
	法定外看板（注意喚起）
注意を喚起する	舗装改良（段差舗装、グルーピング(横断方向)等）
	路面表示（カラー舗装、文字による注意喚起等）
	法定外看板（注意喚起）
舗装を滑りにくくして、制動停止距離の短縮を図る	舗装改良（滑り止め舗装）
注意を喚起する	路面表示（カラー舗装、文字による注意喚起等）
	法定外看板（注意喚起）

図-3 既往文献で示されている対策工種一覧表の例（一部抜粋）

表-4　道路交通環境が自動運転車両の走行に与える影響と対応策

道路交通環境の状況			道路交通環境による影響（手動介入要因）	道路交通環境側の対応策
分類		道路交通環境		
車両相互	単路	車道幅員が狭い道路でのすれ違い	対向車と離合できず，手動で端に寄って待避	待避所(バスベイ)の整備
				自動運転の通行を示すピクトの設置
				道路の一方通行化
				車道中央線の明示
				道路の拡幅
		一般車による追越し	自動運転車両の前に急に障害物が現れるため急停車	待避所(バスベイ)の整備
				自動運転優先・専用レーンの整備
				道路の拡幅
		車線変更	自動運転車両との速度差による後続車との接触の懸念	注意喚起看板の設置
				路面表示による注意喚起
		自転車の追越し	自転車の不安定な挙動による接触懸念	自転車通行空間の整備
				自動運転優先・専用レーンの整備
	交差点	道路の右折	対向車の検知ができず，進んで良いかの判断が困難	対向車を検知する路側センサの設置
				右折車線の正対化
				信号制御の右直分離
				二段階右折
		道路の左折	左折した先の状況が認識できない	左折した先の状況を検知する路側センサの設置
		合流	合流先の車両の動きが検知できない	合流部の見通し確保
				合流先の車両を検知するセンサの設置
			合流チャンスが短く安全に合流できない	合流区間長の延伸
				合流することを知らせる案内板等の設置
		沿道からの出入り	沿道から急に出てくる車両を検知し，急停車	自動運転車の接近を通知する案内板等の設置
				沿道出入り車を検知するセンサの設置
				沿道出入り車両を見えやすくするための視距の確保
		狭い路地からの出入りや譲り合い	他車の検知ができない	他車を検知する路側センサの設置
				交差部の改良による見通しの確保
人対車両	単路	無信号横断歩道箇所を通行	横断の意思が判断できず停止	自動運転車の接近を知らせる看板等の設置
				歩行者の横断意思を明確にする装置等の整備
			横断歩行者の検知が遅れるもしくは検知できず，急停止	横断歩行者を検知するセンサの設置
		自動運転走行ルート上を歩く歩行者	自動での追越しができず追走する・急な飛び出しの場合，急停車する	歩道の整備
				ガードレール等の設置
				自動運転の通行を示すピクトの設置
				事故における責任所在の明確化のための法整備
	交差点	見通しの悪い交差点や路地を走行	他車や人等の検知ができない	他車を検知する路側センサの設置
				交差点の改良による見通しの確保
		左折時の歩行者の巻き込み	自動運転車両の死角の人を検知できない	信号制御による歩車分離
				歩行者を検知する路側センサの設置
車両単独		自動運転走行ルート上の路上駐車車両	走路上の障害物として検知して，自動走行できない 自動で回避可能であっても，隣接車線や対向車等の状況や路上駐車車両の死角からの急な飛び出しなど対応が困難	自動運転の通行を示すピクトの設置
				路上駐車の取り締まり強化
				路上駐車に対する注意喚起看板の設置
				周辺住民との合意形成
				路面電車軌道のような路上駐車をされないための法整備
				代替駐車場の整備
		自動運転走行ルートの道路工事	走路上の障害物と検知して，自動走行できない	工事情報の事前共有
その他		沿道の植生	障害物として検知してしまい自動走行ができない	植生の管理・伐採
		路肩の積雪		除雪の実施
		同じ景色が続く道路環境	スキャンマッチングや GNSS での事故位置を判断できず，自動走行を継続できない	位置標識の設置
				路面施設の設置
				白線の引き直し・管理

※着色した対応策はヒアリング調査で聞き取った道路交通環境側に求める対応策として追加したものである.

5. おわりに

(1) 結論

本研究では，中山間地域よりも道路交通環境が複雑で多数の交通参加者が混在するまちなか（市街部）での自動運転移動サービスを対象に，自動運転を継続できず手動介入を必要とする道路交通環境の状況や，これに対する道路交通環境側での対応策について整理を行った．

その結果，手動介入を必要とする道路交通環境の状況について，全体的な傾向としては，「車線変更」，「自転車の追越し」，「合流」，「狭い路地からの出入りや譲り合い」，「自動運転走行ルート上の路上駐車車両」，「自動運転走行ルートでの道路工事」といった道路交通環境で手動介入が多く発生している傾向が確認された．さらに，自動運転車両の走行速度の最大値（20km/h 以上，20km/h 未満）や周辺状況の検知技術の対応有無によって手動介入が必要となる道路交通環境の状況の傾向に差異があることが確認された．

道路交通環境側の対応策の整理にあたっては，交通事故と手動介入の発生に至るメカニズムが道路交通環境と当事者との関係でみた場合，共通している部分が多いことを踏まえ，既存の事故対策立案に当たっての知見を援用し，網羅的に整理されている対策工種の中から，手動介入を必要とする道路交通環境の状況と自動運転車両メーカー等を対象としたヒアリングに基づく，道路交通環境による影響（手動介入の要因）に対応するものをピックアップし，自動運転走行ルートにあった対応策を選定できるよう一覧表として整理した．

(2) 今後の課題

本研究で実施した，手動介入が必要となる道路交通環境の整理では，ヒアリングでの定性的な調査結果に基づく傾向の整理に留まっている．そのため，実際の自動運転車両の走行場面において，現地での調査・データの取得を行い，定量的にどのような道路交通環境の状況で手動介入が発生しているのか，また，手動介入の発生頻度はどの程度かなどを詳細に把握する必要があると考えられる．

また，道路交通環境側の対応策の整理においては，個々の対応策について，導入が適している条件（例えば，自動運転専用空間の整備を考えた場合に，既存の車線数を減少させても，一般車両の交通円滑性に与える影響が小さいといえる道路交通環境等の条件）等の整理には至っておらず，今後の検討課題である．さらに，現地での定量的調査に基づく手動介入が発生する道路交通環境の状況やその発生頻度などの調査結果を踏まえた更なる検討も必要であると考えられる．

参考文献

1) 馬渡真吾，井坪慎二，金子雄一郎，佐野拓真，轟朝幸：地方部での自動運転実証実験における手動介入発生特性と道路インフラ対策に関する分析，第 40 回交通工学研究発表会論文集，2020.
2) 岡野舜，高山宇宙，三浦清洋，森本章倫：レベル 4 の自動運転導入における乗降環境を考慮した街路空間に関する研究，交通工学論文集，第 6 巻，第 2 号（特集号 A），pp.A_105-A_112，2020.2.
3) 香山裕紀，鈴木弘司：観測調査に基づいた自動運転車の挙動特性と交差点での交通流に与える影響の分析，交通工学論文集，第 5 巻，第 2 号（特集号 A），pp.A_20-A_26，2019.2.
4) 寺口敏生，新井奨，小林寛：無人自動運転移動サービス導入に向けた道路空間の適正評価手法，第 66 回土木計画学研究発表会・講演集，2022.
5) 国土技術政策総合研究所資料：交通事故の要因分析・対策立案に関する技術資料，国総研資料第 787 号，2014.
6) 国土技術政策総合研究所資料：一般道路における自動運転サービスの社会実装に向けた研究～手動介入発生要因の特定と対策及び社会受容性の把握～，国総研資料第 1161 号，2021.

(2023. 10. 13 受付)

RESEARCH ON ROAD TRAFFIC ENVIRONMENT IN THE CITY CONSIDERING THE DRIVING OF AUTONOMOUS VEHICLES

Wataru INOUE, Yuji FUJITA, Takeshi IKEDA and Toshio TERAGUCHI