

JARI Research Journal

2022年度
特 集 号
(2)

特集：「安全・安心なクルマ社会への取組み」



JARI Research Journal 2022 年度 特集号 (2) 目次

特集：「安全・安心なクルマ社会への取り組み」

目次	1
JARI Research Journal 掲載区分	3
【巻頭言】 特集「安全・安心なクルマ社会への取り組み」にあたって	4
山崎 邦夫	[原稿へ]
【研究速報】 幼児期および児童期の交通安全知識の年齢差 ー 歩行中の事故原因や道路の横断方法に関する子どもの知識を対象にした予備的検討 ー	5
大谷 亮 他	[原稿へ]
【研究速報】 7 歳児の交通安全知識に関する保護者の認識*	12
大谷 亮 他	[原稿へ]
* 初掲載 2022 年 5 月	
【研究活動紹介】 子どもの交通安全ソング「ててて!とまって!」と JARI の取り組み	21
大谷 亮	[原稿へ]
【研究速報】 居眠り運転に関する交通事故統計データの分析	28
栗山 あずさ 他	[原稿へ]
【研究速報】 死角からの歩行者飛び出し場面におけるドライバ行動の安全性について	38
山口 伊織 他	[原稿へ]
【研究速報】 ハッチバックセダン型ハイブリッド車の後部エネルギー吸収特性	46
三上 耕司 他	[原稿へ]
【研究速報】 飲酒による運転行動影響についての基礎的検討	54
岩城 亮 他	[原稿へ]
【研究速報】 眼疾患（緑内障）における運転への補償行動に関する予備的検討*	64
佐藤 健治 他	[原稿へ]
* 初掲載 2022 年 7 月	
【技術資料】 歩行者事故の制動遅れが衝突速度の推定精度に与える影響	71
福山 慶介 他	[原稿へ]
【調査資料】 JNCAP におけるペダル踏み間違い時加速抑制装置の 対歩行者試験追加に向けたマクロ事故データ分析*	76
本間 亮平 他	[原稿へ]
* 初掲載 2022 年 6 月	

【研究速報】	自動運転中の車線変更介入方策に対するドライバの反応と受容性に影響を与えるドライバの特徴 Effects of Demographic Characteristics on Driver Reaction and Acceptance of Lane Change Interventions During Conditionally Automated Driving *	83
	ムスリム フサム 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 2 月	
【研究速報】	高速道路渋滞場面における自動運転車に対する受容性 —外部表示およびドライバの知識が不安感に及ぼす影響— *	92
	大谷 亮 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 7 月	
【研究速報】	自動運転車の安全性評価シナリオにおける Unpreventable 領域の評価方法に関する検討 *	102
	加藤 良祐 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 5 月	
【研究活動紹介】	自動運転の安全性評価を狙いとしたシナリオ分析用交通外乱データ収集技術（定点観測） —第 2 報：一般道交差点を想定した様々な形態の定点観測基礎検討— *	114
	中村 英夫 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 11 月	
【解説】	自動運転安全性評価の国際協調に向けたドイツと日本の交通実態比較 *	130
	長谷川 諒 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 6 月	
【研究活動紹介】	バス車内事故を想定した機能安全におけるリスク評価の事例 —バス車内の乗客に関するシビリティ・コントローラビリティ評価の検討— *	136
	金子 貴信 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 11 月	
【研究活動紹介】	自動車機能安全オンライントレーニングの取り組み *	142
	深澤 竜三 他 [原稿へ]	
	* 初掲載 2022 年 11 月	

JARI Research Journal 掲載区分

掲 載 区 分	記 載 概 要
研究速報 Research Report	独創性のある研究，または卓越した成果のみられた研究について，その内容を早期に報告するもので，中間報告的なものも含め，研究の動機，手段，経過，および結果についての考察・評価を含めて，記述したもの。
技術資料 Technical Report	研究・試験・検査の業務の過程において，他に類例を見ない新規，かつ価値ある内容の手法，基準データなどが得られた時に，その使用価値と使用範囲を示したもの。 〔自己が利用するものに限らず，広く業界内に使用されているものを紹介し，その一部として自己の試験・研究結果から得られた手法などを付け加えたもの〕
調査資料 Survey Report	特定の事項に関する試験結果，性能解析，ユーザ調査などの調査結果をまとめたもの．単なる数値の紹介に留まらず，さらに数値を解析し，集約したうえ，論評を加えたもの． 〔主として，他機関において行った資料などを基に整理してまとめたもの〕
研究活動紹介 Research Activity	JARI の研究活動に関し，プロジェクトの進捗状況の報告，試験施設，設備，装置などの紹介記事，海外出張報告，JARI 主催・共催のイベント開催結果報告，年報など．
解 説 Review	自動車技術の専門分野，関連分野，または特定の主題について，最近の進歩，将来予測，現状の技術動向および研究・開発状況，報告レポートの要約・説明などをまとめたもの．

特集 「安全・安心なクルマ社会への取り組み」 にあたって

自動走行研究部 部長 山崎 邦夫



つい 10 年ほど前までは「安全」の対策と言えば事故で衝突した際の被害軽減を対象とする「衝突安全」の分野が大きな柱でしたが、国の施策やメーカーの技術開発によって広い分野で対策が講じられるようになりました。事故を未然に回避する、あるいは、衝突の程度を軽減する「予防安全」の分野や、事故後の速やかな対応により救命率を向上する「衝突後安全」の分野などが代表的です。「予防安全」については、国土交通省および独立行政法人自動車事故対策機構が市販車の安全性を評価する自動車アセスメントにおいて、2014 年度から予防アセスメント試験が導入され、様々な試験の追加により、これまでに対車両、対歩行者（昼間・夜間）、および対自転車の衝突被害軽減制動制御装置、車線逸脱抑制装置等、車両後方視界情報提供装置、ペダル踏み間違い時加速抑制装置の試験が実施され、今後も対象とする事故の拡大や試験方法のアップデートが計画されています。「衝突後安全」については、事故発生から医師による治療までの時間短縮を図り救命率を向上させるため、事故と同時に車両から事故発生を通報する事故自動通報装置が運用されるようになりましたが、現状のシステムでは自動車乗員のみが対象となるため、歩行者や自転車乗員のような交通弱者との事故についての検知技術の向上が望まれています。従来の「衝突安全」についても、事故におけるさらなる被害軽減のため、対象とする事故形態の拡大、車両の重量や剛性の変化への対応、衝突ダミー人形の人体忠実性の向上などが図られ、傷害メカニズムの検討や試験条件の妥当性の検証のために人体シミュレーションモデルが使われています。また、これらの「安全」の研究において共通的に利用され欠かせないものとして事故データがありますが、一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、従来から事故データの精度向上やその活用に関する取り組みも行っており、安全対策の提案等につなげています。

人や物の移動サービスの向上、渋滞解消による CO₂ 削減などの面で期待されている「自動運転」についても、その安全性の確保が大きな話題となっています。自動走行システムの仕様上の安全性リスクを最小化するための枠組みとなる ISO 21448（SOTIF：Safety of the Intended Functionality）が発行され、その安全性評価手法の一つとして、経済産業省が実施している SAKURA プロジェクトの活動成果が活用された「シナリオに基づく安全性評価フレームワーク（ISO 34502）」が 2022 年 11 月に発行されました。ただし、自動車専用道のみが対象のため、一般道まで評価の対象を拡大するためには、交通流データやドライバの運転行動特性にもとづいた、事故の予見や防止が可能な領域についてのさらなる研究が必要です。また、自動運転では多くの機能・部品が搭載されていることから、それらが故障した際にシステムとしてリスクを最小化するために機能安全規格（ISO26262）を順守した設計が必要となります。機能安全に関して、JARI では「自動車機能安全オンライントレーニング」や応用によるリスク評価手法の研究を実施しています。自動運転については、この他に、乗員や周囲の交通参加者の不安感を取り除くための受容性研究や、主にレベル 3（条件付運転自動化）におけるシステム失陥時のドライバへの円滑な権限委譲の研究が話題となっており、JARI は、その検討に資する研究も実施しています。

本報は、「安全」の特集号として、それぞれの分野における JARI の最近の活動をまとめたものになります。本稿では、その導入として研究の背景や動向などについて紹介させて頂きました。JARI では、この他に、公益的な活動として交通安全教育に関する研究や実践の指導を行っており、自治体や学校をはじめとする関係の方々からご好評を頂いております。

幼児期および児童期の交通安全知識の年齢差

― 歩行中の事故原因や道路の横断方法に関する子どもの知識を対象にした予備的検討 ―

Differences in Ages among Younger Children on Knowledge of Road Safety

― Preliminary Survey on Children's Understanding of Pedestrian Accidents Caused

by Them and Behavioral Script in Crossing a Road ―

大谷 亮^{*1}

Akira OHTANI

橋本 博^{*2}

Hiroshi HASHIMOTO

Abstract

It is a key factor to consider children's knowledge of road safety when road safety education for them is planned. This article addresses differences in ages among younger children from 4 to 12 years old on their understanding of pedestrian accidents caused by them, and on a behavioral script for crossing a road. Ninety children in different age stages participated in a questionnaire survey and were asked to answer the questions about children's causes of pedestrian accidents and a behavioral script for crossing a road. The result of this survey showed that there was a small effect size in ages among the participating children on understanding of children's causing of pedestrian accidents and their understanding was lower than that of adults. The result also revealed that children under 10 years old could not understand a behavioral script for crossing a road as much as adults can. Road safety education for children is discussed based on the results of this survey.

1. はじめに

2021 年度より開始された第 11 次交通安全基本計画の対策の視点の一つとして、「歩行者及び自転車の安全確保と遵法意識の向上」がある¹⁾。歩行中の交通事故状況を概観すると、人口 10 万人当たりの死傷者数が最も多い年齢は 7 歳であり²⁾、歩行中の交通事故低減のために、子どもを対象にした安全対策が重要となっている。

子どもの交通事故低減のためには、道路を歩く際に保護者などの大人が子どもを適切に監視することや、子ども自身が交通安全にかかわる知識や技能、態度を養うことが求められる³⁾。子ども自身が交通安全にかかわる知識や技能などを養うため、子どもを対象にした教育が各国において実施されている^{例えば 4)}。

子どもを対象にした交通安全教育についてその内容や方法を決定するには、対象となる子どもの発達段階に配慮する必要がある。すなわち、①対象となる子どもが現時点で保有している知識や技能、さらには②教育により習得可能な知識や技能を把握した上で、学習内容や方法を決定することが効果的かつ効率的な教育の実践のために重要となる。交通安全に関する子どもの現時点の知識や技能については、道路標識などの付属物や交通安全用語の理解、さらには適切な横断方法に関する知識などを調査した例が散見される⁵⁾⁶⁾⁷⁾。例えば、道路交通場面を玩具により模擬する Table-top モデルを用いて、道路横断方法などに関する子どもの知識を調べた研究がある⁶⁾⁷⁾。これらの調査から交通安全に関する子どもの知識についての有益な結果が得られており、発達段階に基づく教育内容や方法を検討する際の重要な資料となっている。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（心理学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

* 2023年1月16日受理

ここで、道路標識などの付属物や交通安全用語、さらには適切な道路の横断方法を子どもが学習する際には、子どもが原因となる交通事故（以下、「交通事故原因」と記す）を子ども自身が理解しておくことが求められる。すなわち、交通事故原因についての知識を有することが基本となって、道路標識などの付属物の重要性や、横断の際の行動要素（例えば、停止することや周囲を確認することなど）の必要性を子どもが理解できると考えられる。また、道路を横断する際の行動要素を一つ一つ学習する際には、これらの要素の遂行順序（以下、「行動スクリプト」と記す）を子どもが理解することが重要となる。道路横断方法における行動スクリプトについて子どもが正しい知識を有していれば、各要素が安全上どのような意味を持っているのか（例えば、飛び出しの危険性を低減するために、横断する前に停止する）を理解することが可能になる。先行研究では、道路標識などの付属物や交通安全用語の理解度、さらには適切な横断方法に関する認識などについて検討されているのは先述の通りであるが、交通事故原因や道路横断方法における行動スクリプトに関する子どもの知識や理解について検討した例は今のところみられない。また、交通事故の原因や道路横断方法における行動スクリプトといった交通安全に関する知識は経験などに伴い習得される可能性があり、子どもの年齢が関係すると予想される。

本研究では、子どもの交通事故原因や道路横断方法における行動スクリプトに焦点をあて、これらの認識に年齢差がみられるか否かをアンケート調査により予備的に検討した。さらに、得られた結果などを参考にして、子どもの交通安全教育の内容について考察した。

2. 方法

本研究では幼児も調査対象としたことから、アンケートへの回答に際して保護者の同意や補助が必要であったために、親子（以下、「協力者」と記す）が一緒にアンケートに参加する調査（以下、「本調査」と記す）を実施した。

2.1 対象児

子どもの交通事故原因や、道路横断方法における行動スクリプトの認識に年齢差がみられるか否かを検討するため、年齢の異なる5つの集団、すなわち、①満4歳（保育園・年少児相当）、②満6歳（保育園・幼稚園年長児相当）、③満7歳（小学1年生）、④満10歳（小学4年生）、⑤満12歳（小学6年生）の子ども（以下、「対象児」と記す）の協力を得て調査を実施した。各年齢集団の参加人数は18名であり、合計90名の子どもが本調査に参加した（Table 1）。

なお、本調査の実施に際して日本全国から協力者を募集したが、関東に在住する対象児が最も多かった（Table 2）。

Table 1 Groups of children who participated in the survey

		4 years old	6 years old	7 years old	10 years old	12 years old
Children's sex	Boys	11	11	10	6	5
	Girls	7	7	8	12	13
	Total	18	18	18	18	18

Table 2 Residential areas of children in the survey

Residential areas	Hokkaido	Tohoku	Kanto	Hokuriku	Chubu
Number (%)	2(2.2)	3(3.3)	55(61.1)	3(3.3)	10(11.1)
Residential areas	Kansai	Chugoku	Shikoku	Kyushu/Okinawa	
Number (%)	10(11.1)	1(1.1)	0(0.0)	6(6.7)	

2.2 アンケートの設問と回答方法

子どもの交通事故原因に関する対象児の認識を把握するため、順位法を用いた質問を設定した。質問文は、「小さい子どもが交通事故に遭う理由を、多い順番に3つ選んでね」とし、①赤信号で道路を渡ること（信号無視）、②横断歩道以外で道路を渡ること（横断歩道外横断）、③周りを見ないで急に道路に出ること（飛び出し）、④走っている車の前や後ろを渡ること（車の前後横断）、⑤道路で遊ぶこと（路上遊戯）の選択肢の中から、上位3位を回答するように対象児に教示した。

次に、道路横断方法における行動スクリプトに関する対象児の認識を調査するため、横断する際に実施する行動を順番に回答する質問を設けた。質問文は、「みんなが道路を渡るときを考えてね。道路を渡るとき、やることを順番に並べてね」とし、①周りを見る、②止まる、③信号や横断歩道を探す、④手を上げる、⑤渡るの選択肢について、遂行する順番を回答するように対象児に求めた。

両質問とも、質問文と選択肢は幼児期の子どもが可読できるように、全てひらがな表記とした。また、補足的に保護者にも同様の質問への回答をお願いした。

なお、実施したアンケート調査は、本研究の目的以外の調査も同時に含まれていた関係上、対象児への質問32項目とその保護者への質問44項目を含む合計76項目の設問から構成された。

2.3 手続き

先述の76項目からなる本調査の実施前に、協力者を選定するためのスクリーニング調査を実施した。スクリーニング調査はインターネットを介して協力者候補に展開され、web上で回答できるようにした。スクリーニングに用いた質問項目は、対象児やその保護者の年齢、性別、さらには居住地などであり、12通りの質問から構成された。

スクリーニングによる協力者の選定後、本調査を実施した。本調査はweb会議ツールを用い、対象児の年齢集団毎に7名から11名の協力者ペアが集団で参加できるようにして、複数の対象児が同時に対面でアンケートに回答できるようにした（Fig. 1）。調査の実施は対象児の年齢段階毎に2回とし、合計10回（年齢5集団×2回=10回）とした。

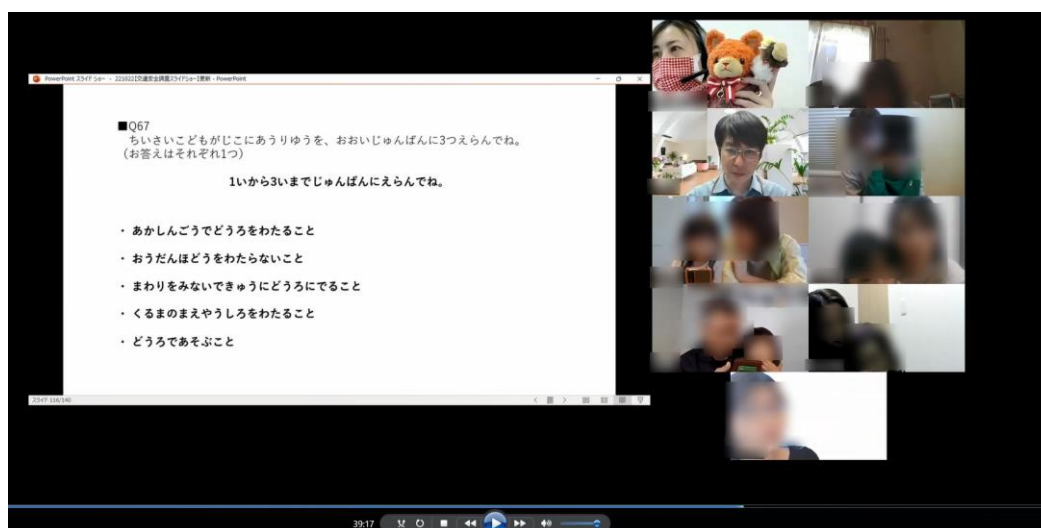


Fig. 1 Scene of survey implementation

本調査の回答に際しては、設問文と選択肢を共有画面上に提示した上でアンケートの進行役がこれらを読み上げ、回答が終了したら協力者に手を上げるように求めた。全ての協力者が手を上げたことを確認した後に次の設問に移るようにして、各質問項目について全協力者が同時に同じ質問に回答するようにした。協力者の回答を同時に行ったのは、調査の進行を同一にして混乱なくかつ確実に調査を遂行するためであった。また、回答に際する不正を防ぐため、web 会議ツールの画面上に親子双方が映るように協力者に求め、映像を通して対面で調査を実施するようにした。さらに、調査中は回答に関する親子の会話が他の協力者に聞こえないようにするため、web 会議ツールをミュートにした状態で参加するよう協力者に教示した。設問への回答の入力は、各協力者が所有するスマートフォンまたはタブレットなどを用い、これらの操作に不慣れな対象児がいた場合には保護者が代わりに回答を入力するように求めた。設問への回答に際しては必ず率直に回答するように協力者に求め、保護者に対しては、対象児からの回答に関する質問があった場合には正答に結びつく会話は控えるように教示した。

調査者は進行役と不正防止のための監視役の 2 名であり、機器のトラブルや設問に対する不明な点などがあれば、手を上げて調査者に知らせるよう協力者に求めた。

スクリーニング調査と本調査は本研究の目的や方法などに関する説明を行い、調査参加についての同意が得られた協力者を対象に実施した。調査は 2022 年 10 月から 11 月にかけて実施され、休憩を含めた約 90 分で 1 回の調査が終了した。また、調査参加に対しては、協力者に謝礼が支払われた。

なお、本調査は、一般財団法人日本自動車研究所の倫理委員会の承認を得た上で（承認番号：22-014）、協力者の人権尊重と福祉に配慮して実施した。

3. 結果

3.1 子どもの交通事故原因に関する認識の年齢差

子どもの交通事故原因の 1 位から 3 位までの項目に正答した割合を順位別に求め、対象とした年齢毎に集計し、 χ^2 検定（一部、Fisher による正確率検定も実施）による有意差判定と効果量 V を求めた。なお、子どもの交通事故の原因の項目の 1 位は飛び出し、2 位は車の前後横断、3 位は横断歩道外横断とし⁸⁾、これらの正答割合を求めた（Table 3）。

調査の結果、子どもの交通事故原因の第 1 位（飛び出し）の認識について年齢間に有意差がみられ（ $\chi^2(16)=29.40, p<.05$ ）、年齢の増加とともに正答率が高まる傾向がみられた。残差分析の結果、満 10 歳と満 12 歳は期待値よりも有意に正答率が高かった。ただし、年齢の効果量は小さいと判定された（ $V=0.29$ ）。また、満 12 歳の対象児でも交通事故原因の第 1 位の正答率が 66.7%程度であった。

次に、子どもの交通事故の原因の第 2 位（車の前後横断）と第 3 位（横断歩道外横断）の認識に関する正答率については年齢間に有意差はみられず（第 2 位： $\chi^2(16)=24.56, n.s$ 、第 3 位： $\chi^2(16)=11.47, n.s$ ）、効果量も小さいと判定された（第 2 位： $V=0.26$ 、第 3 位： $V=0.18$ ）。

なお、補足的に調査した保護者（大人）の結果をみると、第 1 位の正答率は 91.1%、第 2 位 36.7%、第 3 位 40.0%であり、いずれも対象児より正答率が高い傾向がみられた。

3.2 道路横断方法における行動スクリプトに関する認識の年齢差

道路横断方法における行動スクリプトについて、対象とした年齢毎に各行動要素の順番の正答率を集計し、 χ^2 検定（一部、Fisher による正確率検定を実施）による有意差判定と効果量を求めた（Table 4）。ここで、道路横断方法に関する指針⁹⁾などを参考にして、各行動要素の遂行順序の正答は、信号機や横断歩道を探す、止まる、周囲を見る、手を上げる、渡るの順とした。

調査の結果、道路を横断する際に最初に行う行動要素（信号機や横断歩道を探す）の認識について年齢間に有意差がみられ（ $\chi^2(16)=31.93, p<.01$ ）、年齢が増加するほど正答率が高かった。残差分析の結果、満 10 歳と満 12 歳は期待値よりも有意に正答率が高く、逆に満 4 歳の正答率は低かった。また、年齢の効果量

も中程度と判定された ($V=0.30$)。さらに、道路を横断する際に 3 番目に行う行動要素 (周囲を見る) の認識についても年齢間に有意差がみられ ($\chi^2(16)=32.07, p<.01$)、年齢の効果量も中程度と判定された ($V=0.30$)。残差分析の結果、満 10 歳と満 12 歳は期待値よりも有意に正答率が高かった。

Table 3 Differences of children's ages in correct answers on road accidents caused by younger children

Correct answer rates(%)	4 years old	6 years old	7 years old	10 years old	12 years old	χ^2 test	Fisher's test	Effect size V
Ranking 1st (Rushing out)	22.2	16.7	16.7	55.6	66.7	$\chi^2(16) = 29.40, p<.05$	$p=0.02$	0.29, small
Ranking 2nd (Crossing just before or after a vehicle passes)	22.2	16.7	0.0	22.2	0.0	$\chi^2(16) = 24.56, n.s.$	-	0.26, small
Ranking 3rd (Crossing outside the crosswalk)	16.7	22.2	11.1	22.2	5.6	$\chi^2(16) = 11.47, n.s.$	$p=0.78$	0.18, small

Table 4 Differences of children's ages in correct answers on each behavioral element when crossing the a road

	Correct answer rates(%)	4 years old	6 years old	7 years old	10 years old	12 years old	χ^2 test	Fisher's test	Effect size V
Order of behavioral elements	Looking for traffic light or crosswalk	27.8	38.9	38.9	72.2	88.9	$\chi^2(16)=31.93, p<.01$	p=0.00	0.30, 中
	Stop	27.8	50.0	50.0	66.7	83.3	$\chi^2(16)=25.71, n.s.$	p=0.03	0.27, 小
	Look around	33.3	33.3	38.9	77.8	83.3	$\chi^2(16)=32.07, p<.01$	p=0.00	0.30, 中
	Raising a hand	38.9	77.8	66.7	88.9	88.9	$\chi^2(16)=20.22, n.s.$	p=0.12	0.24, 小
	Cross	66.7	83.3	94.4	100.0	88.9	$\chi^2(12)=20.07, n.s.$	p=0.07	0.27, 小

一方、道路を横断する際に 2 番目, 4 番目, および 5 番目に行う行動要素の認識については年齢間に有意差はみられず (2 番目 : $\chi^2(16)=25.71, n.s.$, 4 番目 : $\chi^2(16)=20.22, n.s.$, 5 番目 : $\chi^2(16)=20.07, n.s.$)、効果量も小さいと判定された (2 番目 : $V=0.27$, 4 番目 : $V=0.24$, 5 番目 : $V=0.27$)。なお、補足的に調査した保護者の結果をみると、最初の行動要素の正答率は 85.6%, 2 番目の行動要素 75.6%, 3 番目の行動要素 71.1%, 4 番目の行動要素 88.9%, 最後の行動要素 97.8%であり、いずれも 7 歳以下の対象児は保護者の正答率よりも低い傾向がみられた。

次に、道路横断方法における行動スクリプトの全てに正答した割合を各年齢別に集計した (Fig. 2)。道路横断方法における行動スクリプトの全てに正答した割合について、年齢間に有意差がみられ ($\chi^2(4)=22.76, p<.01$)、年齢が増加するほど正答率が高かった。残差分析の結果、満 10 歳と満 12 歳は期待値よりも有意に正答率が高く、逆に満 4 歳は値が小さかった。また、年齢の効果量も大きいと判定された ($V=0.53$)。なお、道路横断方法における行動スクリプトの全てに正答した保護者 (大人) の割合は 65.6%であり、満 10 歳や満 12 歳の対象児は大人とほぼ同程度またはそれ以上の正答率であった。

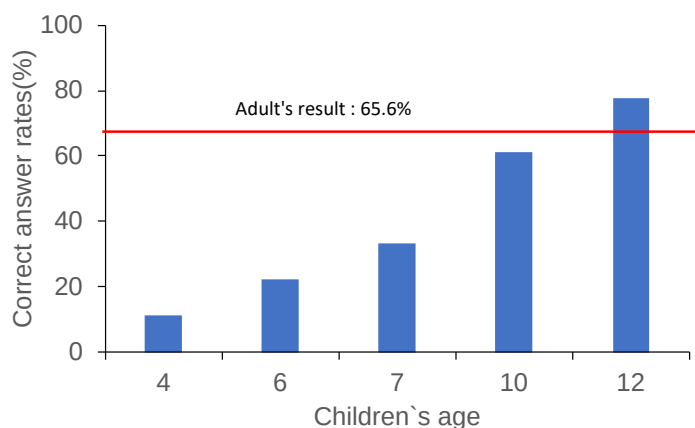


Fig. 2 Differences in children's ages on correct answer rates on a behavioral script when crossing the road

4. 考察

本研究では、交通安全に関する子どもの知識について、子どもが原因となる事故（交通事故原因）や、道路横断方法の行動要素（例えば、停止することや周囲を確認することなど）の遂行順序（行動スクリプト）に焦点をあて、親子対象の対面アンケート調査により、これらの認識に関する子どもの年齢差を調べた。

調査の結果、交通事故原因に関する子どもの認識に一部年齢による有意差がみられたものの効果量は全て小さいと判定され、満 12 歳の子どもでも交通事故原因の第 1 位（飛び出し）の正答率が 66.7%程度に止まり、大人の正答率（91.1%）に比べると低かった。飛び出しは子どもの交通事故原因の中で多くの割合を占めているにもかかわらず、子どもはそれを理解していないようであった。

次に、道路横断方法の行動スクリプトについては、満 10 歳や 12 歳の子どもは大人とほぼ同程度もしくはそれ以上の正答率を示したが、7 歳以下の子どもの正答率は低かった。

以上の結果から、子どもの交通安全確保のために、交通事故の原因や道路横断方法における行動スクリプトに関する知識を子どもが習得できるような安全教育の実施が望まれる。ここで、年少者に対しては知識の獲得よりも技能の獲得を主とし、9 歳から 10 歳以上の児童に対して知識による技能の向上が期待できるという報告¹⁰⁾があり、子どもの発達段階への配慮が、効果的かつ効率的な教育の実施のために重要になると考えられる。本研究の結果および過去の報告から発達段階に応じた教育を考えてみると、幼少期の子どもに対しては、道路横断方法に関する行動を具体的に習得する際に、必要となる行動要素の順番(スクリプト)を合わせて教育することで学習の促進が図られると推察される。さらに、年齢が上昇するとともに、子どもの歩行中の交通事故原因に関する知識を習得した上で、学習しようとしている行動と交通事故の原因の因果関係などを理解することで、子ども自身が主体的に考える教育の実践が可能になると考えられる。

しかしながら、子ども一人一人の発達の進展度や特性によっては、上記の学習内容を習得することが困難な局面が生じる可能性がある。したがって、適切な横断方法などに関する知識を有さず独力で安全を確保することができない子どものために、保護者などが子どもを適宜監視することが重要となる。これに加えて、幼児の教育や保育の目的の一つが小学校入学後の義務教育やその後の教育の基礎となることと捉えるのであれば¹¹⁾、幼少期の子どもが交通安全に関する正しい知識を習得することが困難であっても、教育の実施によって交通安全に“触れる”ことで、今後の学習の構えを構築することや安全態度を醸成する機会を設けることにも繋がると推察される。

本研究では、子どもの交通事故の原因や道路横断方法における行動のスクリプトに関する子どもの知識に焦点をあてて予備的検討を行ったが、交通安全に関係する知識や技能は本研究で対象とした以外にも様々あるため、今後も引き続き子どもの知識や技能の習得状況に関する調査を行うことが求められる。特に、情報化社会における現在の子どもの知識や認識を理解しておくことは、今に生きる子どもを対象にした交通安全教育¹²⁾を実践する上で重要となる。さらに、自らが有している知識や技能を子ども自身が過大評価すると、教育に対する動機づけや実際の交通行動に問題が発生する可能性があるため、自身の知識や能力に関する子どもの自己評価¹³⁾を合わせて検討することが、交通安全教育の内容や方法を考える際に必要になると推察される。

謝辞

本研究は、一般社団法人日本損害保険協会 2022 年度自賠責運用益拠出事業の一部をまとめたものであり、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中央交通安全対策会議: 交通安全基本計画・交通事故のない社会を目指して・(2021)
- 2) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 特集 小学一年生が登下校中に遭った死傷事故, イタルダ インフォメーション, No.121 (2017)
<https://www.itarda.or.jp/contents/146/info121.pdf> (参照 2023.2.10)
- 3) 大谷亮・栗山あずさ: 保護者の愛着や養育傾向が歩行中の子どもの監視に及ぼす影響, 交通心理学研究, Vol.37, No.1, p.1-15 (2021), [doi.org:10.34362/jatp.37.1](https://doi.org/10.34362/jatp.37.1)
- 4) Zare, H., Niknami, S., Heidarnia, A., Fakkah, M. H: Traffic safety education for child pedestrians : A randomized controlled trial with active learning approach to develop street-crossing behaviors, Transportation Research PartF, Vol.60, p.734-742 (2019), [doi.org:10.1016/j.trf.2018.10.021](https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.021)
- 5) Sandels, S: Children in traffic. In J. Hartley (ed), Paul Elek, London (1975)
- 6) 斉藤良子: 道路模型による幼児の交通規制の理解, 科学警察研究所報告交通編, Vol.28, p.37-49 (1987)
- 7) 大谷亮・栗山あずさ: Tabletop Modelに見られる空間的視点取得の学年差, 日本発達心理学会第31回大会発表論文集, PS2-44 (2020)
- 8) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 子どもの交通事故, イタルダ・インフォメーション, No.54 (2005)
<https://www.itarda.or.jp/contents/484/info54.pdf> (参照 2023.2.10)
- 9) Road Wise: Green Cross Code.
<https://www.roadwise.co.uk/schools/using-the-road/green-cross-code/> (参照 2022.2.10)
- 10) Michon, J. A: Traffic education for young pedestrians - An introduction-, Accident analysis and prevention, Vol.13 (3), p.163-167 (1981), [doi.org:10.1016/0001-4575\(81\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0001-4575(81)90002-6) (参照 2022.2.10)
- 11) 無藤隆: 幼児教育の原則, ミネルヴァ書房 (2009), ISBN: 978-4623055388
- 12) 大谷亮: 今ここに生きる子どもを対象にした交通心理学・期待される交通教育と今後の研究課題・, シンポジウム「交通心理学の今後の発展と事故防止への取り組み」, 日本交通心理学会第79回大会発表論文集, p.16-19 (2015)
- 13) 大谷亮・栗山あずさ・橋本博・伊藤輔・岡田和未: 学習状況下における低学年児童の横断行動と自己評価の関係, 日本交通心理学会第83回大会発表論文集, p.52-55 (2018)

7 歳児の交通安全理解に対する保護者の認識

Parents' Perception of their 7-year-olds' Understanding of Traffic Safety

大谷 亮^{*1}

Akira OHTANI

栗山 あずさ^{*2}

Azusa KURIYAMA

Abstract

Japanese statistics reveal that the age with highest number of pedestrian casualties per 100,000 population is 7-year-old children who are of an age of just before/after entering primary school. This study investigated parents' perceptions of their 7-year-olds' understanding of road safety. Eight hundred and sixty five parents with children between the ages of 3 to 10 completed an online questionnaire about their children's knowledge, attitudes and behaviors of road safety. For parents with children aged 5 years and over, the results showed no difference in the perceptions of their children's understanding of pedestrian signals and crosswalks. On the other hand, while parents tended to gradually perceive that their children understood priority, the law, and road crossing behavior, this perception declined among parents with 7-year-old children. The findings of this study will be valuable for promoting road safety education and supervision for 7-year-old children to prevent them from having road accidents.

1. はじめに

近年の道路交通事故（以下、「交通事故」という）の状況を概観すると、自動車乗車中よりも歩行中の状態別死者数が多く¹⁾、なお一層の交通事故低減に向けて、歩行者を対象にした交通安全諸策の充実が重要となっている。歩行中の交通事故についてみると、登下校中の子どもが交通事故に遭う事例が社会問題となり、日本の各所において、通学路の合同点検が実施されている²⁾。また、人口 10 万人あたりの死傷者数が最も多い年齢は 7 歳児であり³⁾、この点から、2021 年より開始された第 11 次交通安全基本計画⁴⁾の対策の視点にも掲げられているように「高齢者及び子供の安全確保」が急務となっている。

7 歳児の交通事故については、小学校の入学に伴い一人もしくは友人同士で歩行する機会が増加すること、および複雑な交通環境に幼少期の子どもが適応することが困難なこと⁵⁾などが起因して、死傷者数が増えていると考えられる。また、小学校入学前から小学 2 年生までの月別の統計をみると、新一年生となった 5 月以降に歩行中の死傷者数が増加しており、入学直後の 4 月まで行われていた集団登下校の機会が減少することや、学校生活などへの児童の慣れが、5 月以降の事故の増加に関係していると推察される³⁾。さらに、小学校入学当初までは、保護者と一緒に登下校することや、日常生活の中でも保護者とともに歩行する機会が多かったのに対し、子どもの年齢が増すとともに、親子関係から仲間関係へと生活環境が徐々に移行し、保護者が自身の子どもの監視する機会が減少すること、未熟な 7 歳児の歩行中の死傷者数が増加する原因と考えられる。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（心理学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

* 原稿受理 2022 年 4 月 10 日 / 初掲載 2022 年 5 月

諸外国では、交通安全や防犯などの観点から、子どもに対する保護者の監視（Parental Supervision：以下、「PS」という）を対象にした検討が進められており、PSに影響を及ぼす要因などが広く研究されている⁶⁾。PSの影響要因については、子どもの能力や技能の発達に対する保護者の認識が関係すると推察され、自身の子どもが独力で安全を確保できると考える保護者はPSの遂行が低く、逆に独力で安全を確保できないと認識する保護者はPSを実行すると予想される。子どもの能力や技能に対する保護者の認識を検討した調査から、子どもが独力で歩道を歩行することができると保護者が考える最低年齢が約8歳であったことや、7歳から10歳の子どもに比べて、5歳から6歳の子どもの保護者は、自身の子どもの道路横断の能力や技能を過大評価すること⁸⁾が報告されている。しかしながら、PSに影響を及ぼす子どもの能力や技能に対する保護者の認識を調べた研究は必ずしも多くはなく、特に、日本の場合、適切なPSの普及促進を目的として、交通安全に関する子どもの理解に対する保護者の認識を調査した研究は散見される程度である。

本研究では、インターネットを用いたアンケート調査（以下、「web調査」という）により、3歳以上10歳以下の子どもをもつ保護者を対象にして、交通安全に関する自身の子どもの理解に対する認識を調査し、死傷者数の多い7歳児の保護者の特徴を調べることを目的とした。また、歩行中に自身の子どもの見守りを行う人員の有無についても保護者に回答を求め、日本における見守りの現状を予備的に検討し、効果的かつ効率的な保護者の監視に資する今後の調査の参考資料を得ることにした。

2. 方法

2.1 調査協力者

3歳以上10歳以下の子どもをもち、週に1日以上頻度でその子ども（以下、「対象児」という）と歩行する保護者865名が本調査に参加した（以下、「協力者」という）。協力者の内、男性は343名（39.7%）、女性は522名（60.3%）であり、平均年齢は38.9歳（標準偏差4.4歳：21歳から45歳に分布）であった。また、協力者の職業は、会社員（正社員・教員）が最も多く（46.4%）、居住地は全国にわたったが関東在住が多くを占めていた（37.6%）。

対象児は、3歳以上10歳未満の子どもの中で最も幼少の子どもとした。対象児の内、男児は431名（49.8%）、女児は434名（50.2%）であり、平均年齢は6.5歳（標準偏差2.3歳：3歳から10歳に分布）であった。

2.2 アンケートの設問と回答方法

アンケートはPSに関連する71項目から構成されたが、本研究では、交通安全に関する自身の子どもの理解に対する保護者の認識などを調べることを目的としており、関連する設問のみを以下に記載する。

2.2.1 フェイスシート項目

協力者の性別、年齢、居住地区分（都市部、地方部、過疎部）、さらには対象児の性別や年齢などの基本情報を調べるため、合計12項目の質問を設けた。回答方法は、自由記述もしくは選択形式とした。

なお、居住地は、介護報酬の地区区分や総務省⁹⁾の資料を参考にして、各市町村を都市部、地方部、および過疎部に分類し、その分類を協力者に示し、3種類の区分から選択するように教示した。

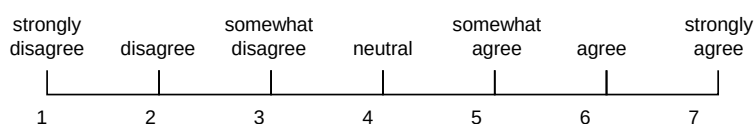
2.2.2 保護者認識項目

交通安全に関する子どもの理解に対する保護者の認識を調べるため、合計15項目の質問を設けた。15項目の内訳は、交通安全に関する対象児の知識5項目、態度5項目、および行動5項目に対する保護者の認識についての設問とした（Table 1：以下、「保護者認識項目」という）。

以上の15項目の設問に対して、協力者は7件法のリッカートスケール（Fig. 1）を用いて、どの程度あてはまるかを回答するよう求められた。

Table 1 Questions for parents on their children's understanding of traffic safety

No.	Contents	Items
Knowledge1	Knowledge of pedestrian signals	Do you think that your child understands the implications of pedestrian signals ? 対象児は、歩行者信号の意味を知っていると思いますか。
Knowledge2	Knowledge of crosswalks	Do you think that your child understands the implications of crosswalks ? 対象児は、横断歩道の意味を知っていると思いますか。
Knowledge3	Knowledge of no-crossing signs	Do you think that your child understands the implications of no-crossing signs ? 対象児は、横断禁止の標識の意味を知っていると思いますか。
Knowledge4	Knowledge of both directions	Do you think that your child understands which is right or left ? 対象児は、右と左を理解していると思いますか。
Knowledge5	Knowledge of vehicle turning indicators	Do you think that your child understands the implications of vehicle turning indicators ? 対象児は、自動車のウィンカーの意味を知っていると思いますか。
Attitude1	Compliance with traffic law	Do you think that your child understands the importance of compliance with traffic laws ? 対象児は、交通法規を守ることの大切さを理解していると思いますか。
Attitude2	Consideration for others	Do you think that your child understands the importance of giving a way to others ? 対象児は、ドライバーや歩行者などに道を譲ることの大切さを理解していると思いますか。
Attitude3	Safety attitude	Do you think that your child understands the importance of safety while walking ? 対象児は、道路を歩くときは安全が第一であることを理解していると思いますか。
Attitude4	Priority consideration	Do you think that your child understands the importance of right of priority ? 対象児は、優先権の大切さを理解していると思いますか。
Attitude5	Risk perception	Do you think that your child understands the risk of playing while walking ? 対象児は、遊びながら歩くことの危険性を理解していると思いますか。
Behavior1	Stop behavior	Do you think that your child stops before crossing the road ? 対象児は、道路を横断する際に停止していますか。
Behavior2	Use of crosswalk	Do you think that your child uses a crosswalk while crossing the road ? 対象児は、横断歩道を横断していますか。
Behavior3	Looking behavior	Do you think that your child looks around before crossing the road ? 対象児は、道路を横断する際に周囲を確認していますか。
Behavior4	Raising a hand	Do you think that your child raises a hand when crossing the road ? 対象児は、手をあげて横断していますか。
Behavior5	Rushing out	Do you think that your child does not rush out impulsively ? 対象児は、道路に飛び出していないですか。



2. 2. 3 見守り人員項目

自身の子どもの歩行中の見守りを遂行する人員について補足的に調べるため、合計 3 項目の設問（以下、「見守り人員項目」という）に対して、協力者に回答を求めた。3 項目の設問の内容は、「対象児が道路を歩いている際の様子について知っている人が、自分以外にいますか（以下、「見守り情報項目」という）」「対象児が道路を歩いている際の様子を自分に伝えてくれる人がいると思いますか（以下、「見守り伝達項目」という）」「対象児が道路を歩いている際に、事故に遭わないように見守りを行っている人は誰ですか（以下、「見守り人員項目」という）」であった。

見守り情報項目と見守り伝達項目については、7 件法のリッカートスケール（Fig. 1）を用いて、どの程度あてはまるかを回答するように協力者に教示し、見守り人員項目は、配偶者、祖父母、対象児の兄姉、保育士・幼稚園教諭・学校教員、同じ園・学校の年長児、地域のボランティア、警察、その他、および見守る人なしの中から選択するように求めた。また、見守り人員項目の回答は複数選択可とした。

2.3 手続き

アンケートは、本調査の目的や方法などに関する説明と調査協力についての同意書、フェイスシート項目やPSなどに関する71項目から構成された。実施手順として、対象とする年齢（3歳以上10歳以下）の子どもをもつか否かや、対象児と週に1日以上歩行するか否かといった点から協力者の選定を行った。

その後、設問数が多かったため、フェイスシート項目を1回目の調査として実施し、協力者の選定を行った後、保護者認識項目や見守り人員項目を2回目の調査として協力者に回答を求めた。1回目と2回目の調査は異なる日時に回答を求めたため、両調査の取得データ間で結果の分析ができるように、協力者の整合をとった。回答に際しては、コロナ影響が発生する前の状況を想起して回答するように協力者に求めた。

以上のアンケートはインターネットを介して協力者に展開され、web上で回答できるようにした。調査時期は2021年7月から8月であり、協力者には調査参加に対する謝礼が支払われた。

なお、本調査は、一般財団法人日本自動車研究所の倫理委員会の承認を得た上で（承認番号：21-006）、協力者の人権尊重と福祉に配慮して実施した。

3. 結果

3.1 保護者認識項目の因子分析

本研究では標準化された質問紙を用いておらず、対象児の知識、態度、および行動に関する15通りの保護者認識項目を任意に設けた。そこで、7歳児の保護者の認識の特徴を調べる前段階として、探索的因子分析を行い、今回用いた設問の潜在因子を抽出した上で、保護者の認識の特徴を調べることにした。

因子分析の因子数は、スクリー基準とカイザー・ガットマン基準（固有値が1以上か否か）を用い、3因子を抽出した。また、繰り返しの因子分析の結果、因子間に相関が認められたこと、および最も単純な構造が示されたことから、promax回転の結果を採用して、解釈を行うことにした（Table 2）。

Table 2 Questions for parents on their children's understanding of traffic safety

	Factor 1 name:priority and laws	Factor 2 name:road crossing	Factor 3 name:signal and crosswalk	Communality
Do you think that your child understands the importance of right of priority?	.93	.08	-.26	.30
Do you think that your child understands the importance of giving a way to others?	.81	.06	.02	.25
Do you think that your child understands the implications of no crossing signs?	.74	-.18	.16	.46
Do you think that your child understands the implications of vehicle turning indicators?	.68	-.13	.21	.45
Do you think that your child understands the risk of walking while playing?	.53	.45	-.13	.33
Do you think that your child understands the importance of compliance with traffic laws?	.40	.20	.37	.26
Do you think that your child has stopped before crossing the road?	.00	.86	.03	.22
Do you think that your child looks around before crossing the road?	.01	.82	.07	.24
Do you think that your child does not rush out impulsively?	.01	.68	-.04	.56
Do you think that your child uses a crosswalk while crossing the road?	-.20	.66	.36	.35
Do you think that your child understands the importance of safety while walking?	.38	.45	.10	.29
Do you think that your child raises a hand when crossing the road?	.15	.44	-.11	.77
Do you think that your child understands the implications of crosswalks?	-.03	.04	.90	.18
Do you think that your child understands the implications of pedestrian signals?	-.07	.05	.85	.29
Do you think that your child understands which is right or left?	.20	.14	.52	.41
contribution ratio	.22	.20	.15	
cumulative contribution ratio	.22	.42	.57	
α coefficients	.89	.87	.86	
correlations among factors	Factor 1	-	-	
	Factor 2	.66	-	
	Factor 3	.69	.69	-

因子分析の結果、第一因子は、「対象児は、優先権の大切さを理解していると思いますか」などの項目が含まれたため、「優先権と法規」に関する子どもの理解に対する保護者の認識と命名した（以下、「優先権と法規」という）。また、第二因子は、「対象児は、道路を横断する際に停止していますか」などの項目が含まれたため、「道路横断」に関する子どもの理解に対する保護者の認識とした（同、「道路横断」）。さらに、第三因子は、「対象児は、横断歩道の意味を知っていると思いますか」などの項目が含まれたため、「信号と横断歩道」に関する子どもの理解に対する保護者の認識と命名した（同、「信号と横断歩道」）。

なお、第一因子の寄与率は 21.60%，第二因子の寄与率は 20.30%，さらに第三因子の寄与率は 15.00% であり、累積寄与率は 56.90% であった。また、各因子の内的整合性について、 α 係数はそれぞれ 0.89, 0.87, および 0.86 であった。

3.2 子どもの年齢および地域別の保護者認識項目

因子分析により抽出した 3 因子について、3 歳以上 10 歳以下の対象児をもつ保護者別に認識の傾向を比較した。また、子どもが育つ地域の差により保護者の認識が変化することも予想されたため、都市部、地方部、および過疎部別に保護者の回答を集計し分析を行った。

各 3 因子別に、対象児の年齢および居住地を 2 要因とする対応のない分散分析を行った。分散分析の結果、「優先権と法規」の因子では、対象児の年齢にのみ主効果がみられ、効果量は大と判定された（Fig. 2 (a) と Table 3 (a)）。優先権と法規については、3 歳と 4 歳の対象児をもつ協力者は、他の年齢の対象児をもつ協力者よりも、自身の子どもは優先権と法規を理解していないと回答した。また、5 歳の対象児をもつ協力者は、8 歳以上 10 歳以下の子どもをもつ協力者に比べると、自身の子どもは優先権と法規を理解していないと答えた。さらに、7 歳の対象児をもつ協力者は、9 歳や 10 歳の対象児をもつ協力者よりも、自身の子どもは優先権と法規を理解していないと回答した。なお、7 歳児とは異なり、6 歳の対象児をもつ協力者は、9 歳や 10 歳の対象児をもつ協力者と大きな差はみられなかった。

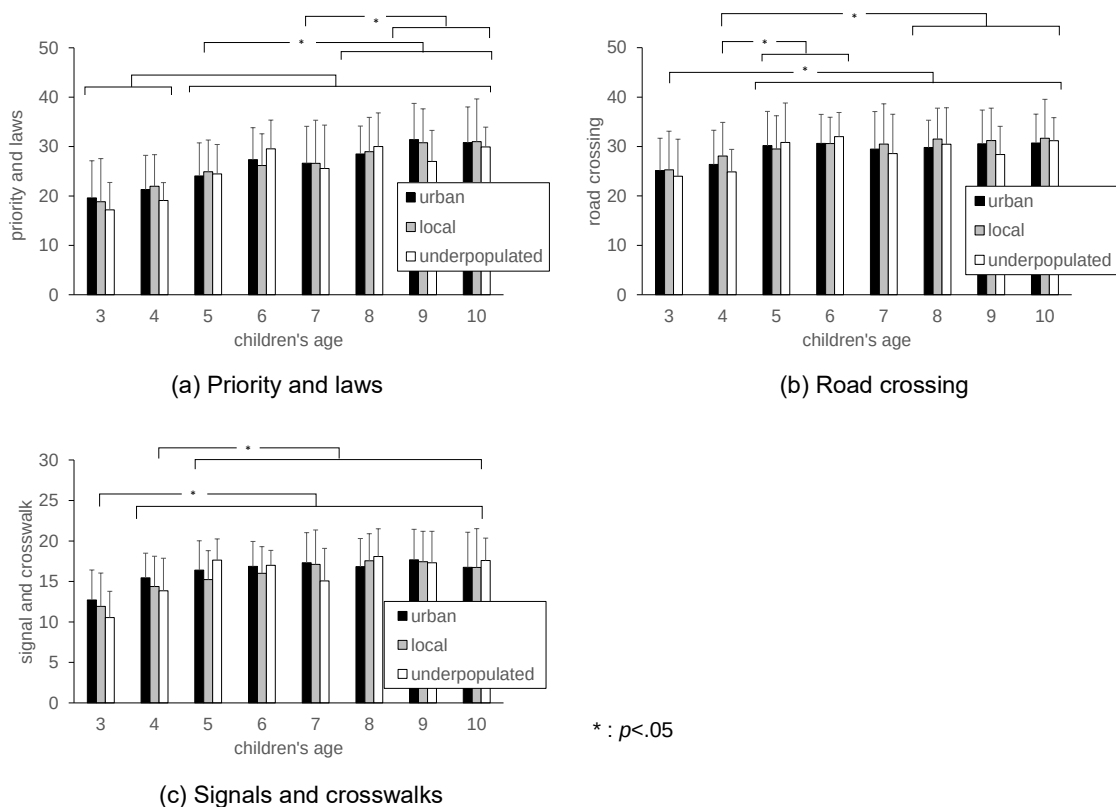


Fig. 2 Effects of children's age and residential area on their parents' perception in each factor

Table 3 Two-way ANOVA table of parents' perception in each factor

(a) Priority and laws						
Factors	SS	Df	MS	F	significance	η^2
residential	133.46	2	66.73	1.46	ns	0.00
children's age	2983.40	7	426.20	9.32	***	0.07
interaction	286.75	14	20.48	0.45	ns	0.01
error	38465.28	841	45.74			
total	41868.89	864	559.15			
(b) Road crossing						
Factors	SS	Df	MS	F	significance	η^2
residential	63.80	2	31.90	0.63	ns	0.00
children's age	10491.99	7	1498.86	29.72	***	0.20
interaction	480.37	14	34.31	0.68	ns	0.01
error	42420.18	841	50.44			
total	53456.33	864	1615.51			
(c) Signals and crosswalks						
Factors	SS	Df	MS	F	significance	η^2
residential	38.75	2.00	19.37	1.40	ns	0.00
children's age	2153.30	7.00	307.61	22.20	***	0.15
interaction	221.79	14.00	15.84	1.14	ns	0.02
error	11653.88	841.00	13.86			
total	14067.72	864	356.69			

*** : $p < .001$

次に、「道路横断」の因子も、対象児の年齢にのみ主効果がみられ、効果量は中程度と判定された (Fig. 2 (b) と Table 3 (b))。3 歳の対象児をもつ協力者は、5 歳以上 10 歳以下の対象児をもつ保護者よりも、適切な道路の横断を遂行していないと回答した。また、4 歳の対象児をもつ保護者は、5 歳と 6 歳、および 8 歳以上 10 歳以下の対象児をもつ保護者よりも、適切な道路の横断を遂行していないと回答した。一方、4 歳と 7 歳の対象児をもつ保護者の回答に有意な差はみられなかった。

さらに、「信号と横断歩道」の因子も、対象児の年齢にのみ主効果がみられ、効果量は大と判定された (Fig. 2 (c) と Table 3 (c))。3 歳の対象児をもつ協力者は他の年齢の対象児をもつ協力者よりも、信号と横断歩道および左右を理解していないと回答した。また、4 歳の対象児をもつ協力者は、5 歳以上 10 歳以下の対象児をもつ協力者よりも、信号と横断歩道および左右を理解していないと回答した。

3.3 子どもの年齢および地域別の見守り人員項目

協力者以外の見守り人員について、見守り情報項目と見守り伝達項目の積率相関係数を求めたところ、強い相関がみられたため ($r = .74$, $n = 865$, $p < .001$)、両者の合計値を算出して、対象児の年齢および居住地が地域の見守りに関する保護者の認識に及ぼす影響を調査した。対象児の年齢および居住地を 2 要因とする対応のない分散分析を行った。分散分析の結果、見守り人員項目について、対象児の年齢や居住地の差はみられず、効果量もなしと判定された (Fig. 3 と Table 4)。なお、有意差はみられないものの、過疎地域の 6 歳の対象児の場合、自分以外に道路を歩いている際の対象児の様子を知っている人やその様子を伝えてくれる人がいると回答する協力者が多かった。

次に、見守り人員項目について、対象児の年齢 ($\chi^2 (42) = 37.03$, n.s. $V = .08$) や居住地 ($\chi^2 (12) = 6.18$, n.s. $V = .06$) による大きな差はみられなかった (Fig. 4)。ただし、対象児の年齢に有意差はみられないものの、自分以外に配偶者や祖父母が見守りを行っているという回答は 6 歳以下で多かったが、対象児の兄姉が見守りを行っているといった回答は 3 歳から 6 歳にかけて減少するものの、7 歳の対象児の場合に再度増加して再び減少する傾向がみられた。

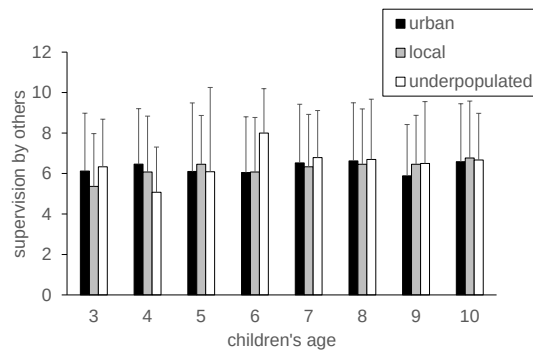
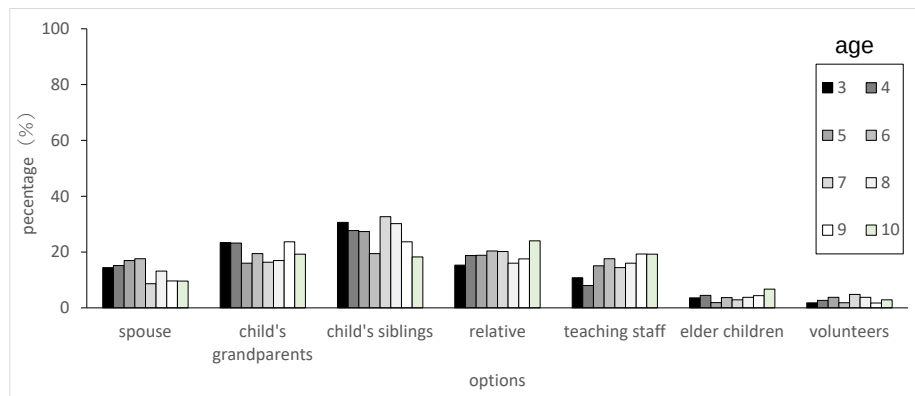


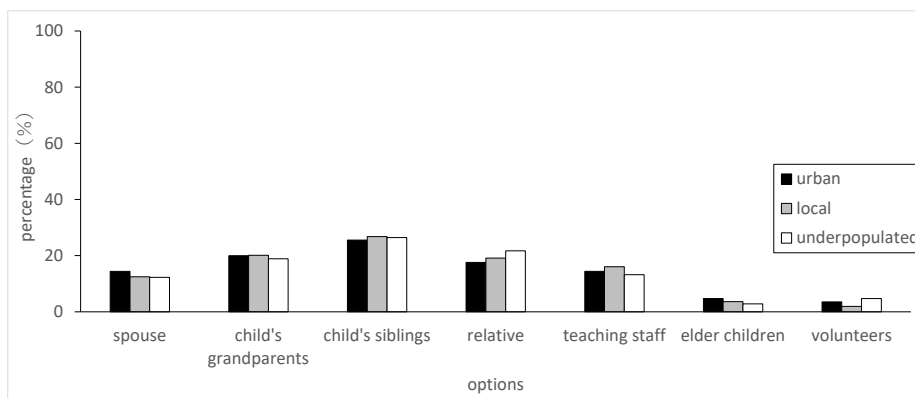
Fig. 3 Effects of children's age and residential area on supervision by others

Table 4 Two-way ANOVA table of supervision by others

Factors	SS	Df	MS	F	significance	η^2
residential	6.09	2	3.05	0.40	ns	0.00
children's age	57.08	7	8.15	1.08	ns	0.01
interaction	87.78	14	6.27	0.83	ns	0.01
error	6356.43	841	7.56			
total	6507.38	864	25.03			



(a) Results by children's age



(b) Results by residential area

Fig. 4 Supervising persons by children's age and residential areas

4. 考察

本研究では、3 歳以上 10 歳以下の子どもをもつ保護者を対象にして、交通安全に関する子どもの理解に対する保護者の認識について調査し、人口 10 万人あたりの歩行中の死傷者数が最も多い 7 歳児の保護者の特徴について検討した。

web 調査の結果、居住地によらず、3 歳から 5 歳へと成長すると、保護者は自身の子どもが信号や横断歩道などを理解していると回答するようになり、5 歳以降では保護者の認識に差がみられないことが示された。道路標識や標示などの子どもの理解については、抽象的なデザインで書かれた標識や標示に対する理解が困難であるとの結果が報告されているが⁹⁾、日本の子どもの場合、信号や横断歩道は日常生活の中で接する機会が多く、5 歳までの間にその意味を理解していると保護者は認識していると推察される。

また、居住地によらず、優先権や法規、さらには道路横断について、自身の子どもが成長するとともに、これらの内容を子どもが理解していると認識する保護者が増加する傾向がみられたが、7 歳児の保護者において一旦これらの認識が低下するようであった。具体的には、優先権と法規については、6 歳と 9 歳以上の保護者に大きな差はみられなかったものの、7 歳児の保護者は 9 歳以上の保護者に比べて、自身の子どもは優先権や法規を理解していないと認識した。また、道路横断については、4 歳児の保護者と、5 歳と 6 歳および 8 歳以上の保護者との間に差がみられ、子どもが成長すると、道路横断を理解していると回答する保護者が増加したが、7 歳児の保護者と 4 歳児の保護者との間には差がみられなかった。

7 歳児の保護者に特徴的な結果について、子どもが小学校に入学することによる生活環境の変化が影響している可能性がある。つまり、小学校に入学して、子どもが保護者の手から離れ、独力で広範囲を歩行する機会が増加するに際して、7 歳児の子どもが独力で歩行する様子を意識的に確認すること、さらには、安全に歩行するための訓練を実施し、子どもの能力や技能に接する中で、自身の子どもが優先権や法規、および道路横断について理解していないと認識するようになったと推察される。または、小学校入学に際して、自身の子どもが独力で歩かなければならない状況において、保護者が子どもの能力や技能を不安視するため、優先権や法規、さらには道路横断に関する子どもの理解に対する保護者の認識が低下したと考えられる。

先述の通り、保護者が自身の子どもが独力で安全を確保できると認識すると PS の遂行は低下すると考えられるが、子どもの能力や技能が未熟な場合、適切な PS が遂行されないことになる。先行研究では、5 歳から 6 歳の子どもの保護者は、7 歳児の子どもよりも自身の子どもの道路横断技能を過大評価しているとの報告があるが、これは保護者の認識が変化した結果ではなく、子どもの発達にともない能力や技能が向上したために、保護者の認識との齟齬が小さくなったと考えられている⁸⁾。本研究では、優先権や交通法規、さらには道路横断に関する子どもの実際の能力や技能を測定していないため、7 歳児の保護者が自身の子どもの能力や技能を過大もしくは過小評価しているかは定かではない。したがって、先行研究と同様に、子どもの能力や技能を測定した上で、保護者の認識の傾向を評価する必要がある。

一方で、子どもの実際の能力や技能にかかわらず、交通安全に関する自身の子どもの理解に関する認識から、7 歳児の保護者は、独力で歩行する状況に対して不安を感じており、新型コロナウイルス感染症などの理由により、安全な歩行の学習が困難であった状況下では特に不安が大きくなると推察される¹⁰⁾。この点から、本研究で示された 7 歳児の子どもに対する保護者の認識の傾向に配慮して、保護者が期待する交通安全に関する能力や技能を子どもが習得するための交通安全教育を実施することで、保護者の不安を解消できると考えられる。この教育について、例えば、保護者が子どもの交通安全教育に参加し¹¹⁾、交通安全に関する自身の子どもの能力や技能を正しく評価し、その評価に応じた訓練が日常生活において実践されれば、保護者の期待と子どもの実際の能力や技能の齟齬が小さくなり、保護者の不安を解消できると推察される。

また、7 歳児の保護者の不安を解消するために、子どもへの安全教育だけではなく、周囲の見守り活動の充実が望まれる。本研究では子どもの見守り活動の状況について補足的に検討し、有意差はみられなかったものの、子どもの兄姉が見守りを行っている割合が 3 歳から 6 歳にかけて減少する一方、7 歳児で再度増加する傾向が観察された。これは、小学校入学により、保護者の手から離れて 7 歳児が登下校するといった生

活環境の変化に伴い、同じ学校に通う兄弟が歩行時の見守りを遂行する機会が増加することを示した結果と推察される。このため、兄弟が自身の弟妹（7歳児）を正しく見守るための訓練が有用となるかもしれないが¹²⁾、子どものみにこの役割を課すことは困難なため、保護者や地域のボランティアによる見守りが幅広く実施されることが期待される。なお、この点については、第11次交通安全基本計画⁴⁾に記されている「交通安全ボランティア等への幅広い年代の参画」にも関係する課題であり、今後、大人の人員が見守り活動に参加するための要件などを明らかにすることが重要である。この際、過疎地域において保護者以外の人員が6歳児を見守ることが多くなっているという本研究の結果を詳細に分析することで、見守りに関する要件が明らかになる可能性があり、今後、引き続き分析することが求められる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、人口10万人あたりの歩行中の交通事故死傷者数が最も多い7歳児の保護者に焦点をあて、交通安全に関する子どもの理解に対する保護者の認識について調査した。インターネットを用いたアンケート調査の結果、交通安全に関する子どもの理解に対する7歳児の保護者の認識の特徴が示された。また、歩行中の子どもの見守り活動についても補足的に資料を収集した。

今後、7歳児の保護者の認識の妥当性について、交通安全に関する子どもの実際の能力や技能を把握した上で検討を行い、効果的かつ効率的な子どもおよび保護者への安全教育、さらには見守り活動に資する資料を引き続き取得する必要がある。

謝辞

本研究は、一般社団法人日本損害保険協会2021年度自賠責運用益抛出事業の一部をまとめたものであり、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 警察庁交通局: 令和3年における交通事故の発生状況等について,
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/jiko/R03bunseki.pdf> (参照 2022.3.15)
- 2) 文部科学省総合教育政策局: 通学路における合同点検の実施について (依頼),
https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/anzen/1417907_00001.htm (参照 2022.3.15)
- 3) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 特集 小学一年生が登下校中に遭った死傷事故, イタルダイインフォメーション, No.121 (2017)
- 4) 中央交通安全対策会議: 交通安全基本計画・交通事故のない社会を目指して・(2021)
- 5) Sandels S: Children in traffic. In J. Hartley(ed), Paul Elek, London (1975)
- 6) 大谷 亮: 歩行中の子どもによる手つなぎ拒否と保護者の愛着・養育態度との関係, 応用心理学研究, Vol.47, No.2, p.94-105 (2021)
- 7) MacGregor C. et al: Identifying gaps in child pedestrian safety - Comparing what children do with what parents teach -, Transportation Research Record, 1674, p.32-40 (1999)
- 8) Dunne, R. G. et al: Behavior and parental expectation of child pedestrians, Pediatrics, Vol.89, p.486-490 (1992)
- 9) 総務省自治行政局過疎対策室: 過疎関係市町村都道府県別分布図 (2016)
- 10) 三井ダイレクト損保: 6月は新1年生の事故に要注意! 学校再開の前に緊急調査,
<https://news.mitsui-direct.co.jp/topics/20200601/index.html?id=40499> (参照 2022.3.15)
- 11) 大谷 亮: 焦点化訓練が低学年児童の道路横断行動に及ぼす影響, 応用心理学研究, Vol.42, No.2, p.101-111 (2016)
- 12) 大谷 亮ほか: 集団登下校時の事故を想定した高学年児童向けの交通安全教育-小学校における交通安全リーダー育成の試み-, 日本安全教育学会第13回大阪大会, プログラム・予稿, p.37-38 (2012)

子どもの事故低減のための交通安全ソング

－「ててて！とまって！」の作成に協力して－

Road Safety Song for Children Produced to Decrease the Number of Child Traffic Accidents

－ Experience of Participating as a Researcher in Producing of the Song Named by 「Te Te Te ! Tommatte ! 」 －

大谷 亮^{*1}

Akira OHTANI

Abstract

The author participated as a researcher in the production of a road safety song for children, "Te Te Te ! Tommatte ! ", offered by the Japan Broadcasting Corporation (NHK). The song was made up so that children can master skills to adequately cross a road and to foster social skills to create a safer and easier traffic society. This article introduces concepts of the song and explains the intended meaning of some of the song phrases. NHK and the author hope that the song can contribute to a reduction in the number of children's traffic accidents and to prompt children's development for an easier traffic society.

1. はじめに

日本では昭和 30 年代以降に道路交通事故が急増し、死者数が 1 万人を超える第一次交通戦争と称される時代に至った。この時期の交通事故の特徴としては、歩行者の事故が多く、特に幼い子どもが犠牲となる事例が続出した¹⁾。この状況を解決するため、道路交通法などの制定といった強制・規制対策 (Enforcement)、ガードレールや信号機の設置などの環境対策 (Environment)、および子どもやドライバーを対象にした教育対策 (Education) の 3E 対策が実施された。これらの対策が功を奏し、また、少子化の状況も加わり、現在では子どもの交通事故は減少傾向にある。

しかしながら、歩行中の交通事故死傷者数が最も多い年齢は 7 歳児すなわち小学一年生であり²⁾、2021 年度より開始された第 11 次交通安全基本計画³⁾に明記されている対策の視点の一つである「高齢者及び子供の安全確保」の実現のために、この年齢層の子どもを対象にした対策が必要となっている。子どもの交通事故低減に向けた人的対策には、幼少期の子どもが事故に遭わないように保護者などが監視すること⁴⁾や、子ども自身が適切な歩行行動を習得するための安全教育があり、発達段階に応じて監視と教育を遂行していくことが求められる⁴⁾。

子どもを対象にした交通安全教育についてみると、楽しみながら道路の横断方法などを学習できるように、各種のグッズや交通安全ソングが欧州や日本などにおいて作成されている^{例えば 5) 6)}。NHK (日本放送協会) は、例年起こる子どもの交通事故を減らしたいという思いから、交通安全ソング「ててて！とまって！」を 2022 年にリリースし、「みんなのうた」などで放映をおこなった⁷⁾。「ててて！とまって！」の作成に際しては、筆者も子どもの交通行動や安全を専門とする研究者として取材に協力した。

本稿では、「ててて！とまって！」の主旨や作成に際しての留意点を、背景となっている研究成果を基に概説し、歌詞の内容について紹介する。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士 (心理学)

* 2023年1月30日受理

2. 作成の主旨

「ててて！とまって！」は、7歳児すなわち小学一年生から二年生の歩行中の交通事故が多いという統計資料に基づいて、小学校入学前や小学校低学年の子どもを主な対象としている。「ててて！とまって！」の作成の主旨として、以下の点が挙げられる。

(1) 目標とする子ども像

先述の通り、「ててて！とまって！」は、歩行中の交通事故死傷者数の多い7歳児をはじめとして、例年起こる子どもの交通事故を低減したいという想いから始まっている。この点から、適切な歩行行動を習得し、独力で安全を確保できる子どもの育成を目標としている。

また、子どもは未来のドライバー候補のため、将来にわたって適切な安全態度を有し⁸⁾、子ども一人一人が快適な交通社会を作り上げていく交通形成者^{1, 9)}へと成長する素地を養うことを企図としている。

【 目標とする子ども像 】

- ・適切な歩行行動を習得し独力で交通安全を確保できる子
- ・将来にわたって安全態度を有する子
- ・交通形成者として快適な交通社会を目指す子

(2) 子どもが習得を目指す内容

適切な歩行行動を習得し独力で交通安全を確保できる子どもの育成を目指して、「ててて！とまって！」では道路の横断方法を対象にした教育実践を想定している。道路の横断方法を対象にしたのは、7歳児に相当する小学一年生が事故に遭う事例として道路横断中が多い²⁾ためである。また、横断する道路の一例として想定した場面は、横断の判断やタイミングを子ども自身が行う必要のある直線単路の信号のない横断歩道とした。

さらに、安全で快適な交通社会を作り上げていく交通形成者の一員として子どもが成長するように、道を譲ったドライバーに対して感謝を示す内容も挿入した。

【 子どもが習得を目指す内容 】

- ・直線単路の信号のない横断歩道の渡り方
- ・快適な交通社会の実現の担い手として、道を譲ったドライバーに感謝の意を表明する感性

(3) 園や小学校、家庭での活用

適切な歩行行動の習得や交通形成者の育成を目指して、保育園や幼稚園、小学校、および家庭などで広く自由に活用できるように、「ててて！とまって！」はYouTubeなどを通して広く動画配信されている。

【 「ててて！とまって！」の動画配信 】

<https://www.youtube.com/watch?v=wJG7Byz-YCI> (参照 2023.2.10)

¹ 交通形成者とは、交通に参加するだけでなく、一人一人あるいは総体として、立場や手段の違いこそあれ、この交通社会を創り上げている存在として用いられる概念であり、ドイツにおいて使用されている用語である⁹⁾。

(4) 大人への啓発

子どもが交通事故の被害に遭う事例には、子ども側に違反がない場合も多いため²⁾、「ててて！とまって！」では、横断歩道でも車が止まらない場面を想定し、子どもへの注意喚起を行うとともに、一緒に歌を聴く保護者などの大人への啓発も目指している。

3. 作成に際して留意した点

「ててて！とまって！」は、小学校入学前や小学校低学年の子どもを主な対象としているため、幼少期の子どもが理解できるように、発達段階に応じて学習内容や方法を決定することが必要となる。

子どもの発達段階に配慮し、「ててて！とまって！」の作成に際して留意した点は、下記の通りである。

(1) 具体的な内容の伝達

子どもの交通安全に関する先行研究をみると、年少者に対しては知識の獲得よりも技能の獲得を主とし、9歳から10歳以上の児童に対して知識による技能の向上が期待できるとの報告がある¹⁰⁾。

この報告を参考にして、小学校入学前や小学校低学年の子どもを主な対象としている「ててて！とまって！」では、道路標識などの意味を覚えるといった知識の習得よりも、直線単路の信号機のない横断歩道における道路の渡り方を、具体的な行動に基づいて学習できるように配慮している。道路の横断方法を学習内容としたのは、先述の通り、小学一年生では道路横断中の事故が多いためである。

直線単路の信号機のない横断歩道における道路の渡り方について、交通の方法に関する教則¹¹⁾などを参考にして、「ててて！とまって！」は、以下の内容を学習できるように構成された。

【対象とした道路の横断方法（学習内容）】

- ・信号機や横断歩道のある道路や、横断の際に道路がよく見渡せる場所を探す
- ・横断前に停止する
- ・周囲を確認する、車の接近音を聴く
- ・車が近づいてきているときは、通り過ぎるまで待つ
- ・再度周囲を見て、車が近づいていないかを確認する
- ・手を上げるなどして横断の意思をドライバーに明確に伝える
- ・走らず道路をまっすぐ歩き、横断中も車が接近しないか注意をする

(2) 焦点を絞った内容

以前筆者らが行った調査では、上記の学習内容に含まれる行動要素（停止する、確認する、さらには手を上げるなど）を小学一年生に一度に教育すると、横断時の周囲の確認回数は増えるものの確認時間に変化がみられず、車の接近などを確実に確認するといった行動を習得することが困難であることがわかった¹²⁾。この課題を解決するために、習得困難であった確実な確認に焦点を当てて道路の横断方法を教育したところ、一年生の確認時間が長くなるといった結果が示された¹³⁾。

以上の研究結果に基づいて、「ててて！とまって！」では教育内容の要点を絞り、道路横断方法として、「接近する車の確認」と「ドライバーへの横断の意思の合図」を主な内容として、幼少期の子どもが学習できるように配慮した。また、目標とする子ども像を目指して、道を譲ったドライバーにお礼を言うことも内容の一部に含めた。これは、横断歩道直前の一時停止率が日本で最も高い長野県において、道を譲ってもらった歩行者がお礼を言うことでドライバーの停止率が向上しているのではないかと考えた²⁾に基づくものである¹⁴⁾。

²⁾ 横断歩道における歩行者のお礼とドライバーの停止率との関係については、今後、詳細な検討とデータの蓄積が必要である。

ここで、交通事故はいくつかの要因が複数関係して発生するため、事故のリスクを低減するには何重もの対策が必要となる。上記の通り「ててて！とまって！」は、幼少期の子どもが学習しやすいように焦点を絞った内容となっているが、交通事故のリスクを低減するため、子どもが習得すべき行動要素は他にもいくつかある。例えば、歩行中の交通事故の中で幼少期の子どもの法令違反として最も多いのは「飛び出し」であり¹⁵⁾、道路に飛び出さないように教育することが重要となる。「ててて！とまって！」は、上記の通り「接近する車の確認」、「ドライバーへの横断の意思の合図」、さらには「道を譲ってもらった際のお礼」を主な学習内容としているが、朝の登校時を対象にして、友達のところに早くいきたい気持ちを抑えて飛び出し事故を防ぐための内容も含まれている。

(3) 適切な利用の促進

「ててて！とまって！」などの交通安全ソングは、子どもが適切な道路の横断方法などを学習するためのツールであり、作成の主旨やポイントなどを利用者である教育担当者が誤解すると、作成したツールの有効性が損なわれる懸念がある。

そこで、NHKは、「ててて！とまって！」を作ったわけ 交通事故から7歳を守る¹⁴⁾や「子どもを守る交通安全ソング「ててて！とまって！」」⁷⁾をホームページ上に公開し、7歳児の交通事故の状況や特徴、各所の取り組み、さらには教育担当者として期待される保護者など向けに、歌の活用方法やポイントを解説し、適切な利用の促進を図っている。

【「ててて！とまって！」を作ったわけ 交通事故から7歳を守る¹⁴⁾】

<https://www.nhk.or.jp/shutoken/article/002/73/> (参照 2023.2.10)

【子どもを守る交通安全ソング「ててて！とまって！」⁷⁾】

<https://www.nhk.or.jp/shutoken/tetete/> (参照 2023.2.10)

上記のホームページにおいて公開されている歌の活用方法（お子さんへの教え方）の概要は、以下の通りである⁷⁾。

【歌の活用方法（概要）】

- ① まずは歌ってみて、基本動作を学習する
- ② 子どもが普段よく通る道路や通学路などで実践してみる

①と②については、子どもの学習の進展状況には個人差が生じる可能性があるため、焦らず繰り返し実践することの大切さを解説している。繰り返しの実践は、子どもが習得すべき道路横断方法の行動要素は数多くあるため、一つ一つ確実に学習することを企図したものであり、プログラム学習³⁾のスモールステップの原理を参考にしてしている。

また、②では、教育担当者（保護者など）が安全を確保した上で実際の道路で実践することを前提に、プログラム学習のフェーディングの原理を参考にして、初めのうちは教育担当者が子どもに問いかけを行いながら学習を進め、徐々に教育担当者の介在を少なくして、子どもが主体的に学習できるようにすることを提案している。

³⁾ プログラム学習とは、行動心理学者スキナーによって開発されたものであり、学習心理学の理論に基づいて、行動変容を促進する考え方として6種類の原理が提案されている。

4. 歌詞の内容

先述の通り、「ててて！とまって！」の主な学習内容は、「接近する車の確認」と「ドライバーへの横断の意思の合図」であるが、歌詞を通して具体的にみると、以下の通りである（以下、○が歌詞）。

(1) 接近する車の確認

○「まずは くるまを たしかめよう くくく くくる！ くるま！」

道路を横断する際に重要なことの一つは、急いでもいいが必ず止まって、車が接近していないかを“確認”することである。この確認行動の大切さを子どもが学べるように、「ててて！とまって！」には、上記の歌詞が含まれている。

○「あっちから くるまが やってきた」

また、確認の本当の意味、すなわち、顔や目を周囲に向けるだけではなく、車が接近しているか否かを認識することの重要性を子どもが学習できるように、「あっちから くるまが やってきた」のフレーズが用いられている。このフレーズにより、先述の確実な確認に焦点を当てた訓練¹³⁾の中で行ったように、接近する車の存在を頭で考えるといった確認の過程を、幼少期の子どもが理解できるようになっている。

(2) ドライバーへの横断の意思の合図

○「ぼくに きづいてくれるかな うんてんしゅさんに てをあげて とまって！のあいずを とどけよう！
ててて ててて！とまって！」

次に、子どもが習得する横断方法のポイントとして、ドライバーに自分の存在を知らせること、さらには、道路を渡りたいといった意思を伝えることの大切さが歌詞に含まれている（図 1）。



図 1 「ててて！とまって！」のドライバーへの合図

この自分の存在と横断の意思の伝達については、京都府の「合図横断」や三重県の「ハンドサイン」を参考にした。京都府警察では、道路を横断する際の手あげ横断として、ドライバーの方に手のひらに向けてアイコンタクトを行い横断の意思を伝えることを推奨している¹⁶⁾。

「ててて！とまって！」も、接近するドライバーに自分の手のひらを向けて、横断の意思の伝達と、ドライバーに止まってほしいという意味を伝えることの重要性を学べるように、上記の歌詞が含まれている。

先述の通り、道路の横断方法には様々な行動要素があり、幼少期の子どもが一度に多くのことを学習することは困難と推察される。この点を踏まえて、確認と手を上げるといった 2 つの行動要素を一つの動作にして、子どもが学習しやすいようにするとともに、手をドライバーの方向に向けることで自ずと視線もドライバーに向くことを企図している¹⁶⁾。

(3) その他

○「いきたい きもちは わかるけど」

先述の通り、子どもが原因となる交通事故の中で多い事例が「飛び出し」である。「ててて！とまって！」では、急ぎの状況でも横断する際には必ず止まることを子どもが学習するために、朝の通学時に友達を見つける場面を想定して、早く会って話をしたい心理を抑える上記の描写が歌詞に挿入されている。

また、ホームページに公開されている歌の活用方法 7)の中で、子どもの興味は一人一人異なるため、保護者に対して、自分の子どもにとって何が飛び出しの原因になるのかを把握し、子どもと共有することの重要性についても指摘している。

さらに、「ててて！とまって！」を使って家庭や学校などで道路の横断方法を子どもが学習する際には、横断歩道を渡ることの重要性についても教えることが重要である。そこで、歌詞にはないが、道路を横断する際には比較的安全な場所を渡ることを学ぶために、横断歩道を利用する映像が挿入されている。

○「はんたいがわも たしかめて！」

ドライバーが道を譲っても慌てて横断せず、反対側も確認することを忘れないように、上記のフレーズが設けられている。

○「ててて ててて！とまらない ぼくにきづかず いっちゃった わたっていたら ひかれてた」

先述の通り、子どもが被害に遭う交通事故には子ども側に原因がない場合も多い。横断歩道でも車が止まらない場合があることを周知するため、また、子どもと一緒に「ててて！とまって！」を聴いている大人（保護者など）に対して横断歩道手前での一時停止を促すため、上記の歌詞が設定されている。

なお、ホームページに公開されている歌の活用方法（お子さんへの教え方）7)では、最も交通事故に注意しなければならないのはドライバーとした上で、子どもも適切な道路の横断方法を習得することを推奨している。

以上が交通安全ソングの内容となるが、家庭での実践に加えて、学校現場でも「ててて！とまって！」を活用できるように、NHK for School において授業案が公開されている。

【「ててて！とまって！」 先生向けの授業教材（NHK for School のサイト）】

https://www2.nhk.or.jp/school/movie/bangumi.cgi?das_id=D0005270363_00000（参照 2023.2.10）

5. おわりに

子どもの交通行動や安全を専門とする研究者の願いは、科学の枠組みの中で取得した研究データを用いて子どもの交通事故低減やより良い交通社会人を育成することを通して社会に資することにある。

しかしながら、「自然過程と社会過程へのアプローチは本質的に異なっており、後者は議論し行動する市民の意識を媒介とする必要がある」という指摘 17)が示すように、教育的アプローチを推進する際には、研究によって得られた結果を、人間の意識の集合体としての社会にどのように還元していくのかといった大きな壁がある。

今回、NHK からのお願いにより、これまで取得してきた研究成果を参考にして、子どもの交通安全確保などの取り組みに参加できたことは、社会還元へのアプローチを実現するための良い機会だったと考えて

いる。また、今回の取り組みを通して、研究成果を社会に容易に説明することの難しさや大変さを痛感することができ、貴重な体験となった。

今後、「ててて！とまって！」が広く普及し、子どもの交通事故低減や、快適な交通社会を作り上げていく交通形成者の育成に貢献できれば幸いである。

謝辞

「ててて！とまって！」の作成に際してご依頼をいただき、様々なご情報をご提供いただいた NHK 首都圏局の皆様へ深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 警察庁: 平成17年版警察白書 警察庁 (編) ぎょうせい (2005)
<https://www.npa.go.jp/hakusyo/h17/hakusho/h17/index.html> (参照 2023.02.10)
- 2) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 特集 小学一年生が登下校中に遭った死傷事故. イタルダイnfォメーション, No.121 (2017), <https://www.itarda.or.jp/contents/146/info121.pdf> (参照 2023.02.10)
- 3) 内閣府 中央交通安全対策会議: 交通安全基本計画-交通事故のない社会を目指して (2021)
- 4) 大谷亮: 歩行中の子どもによる手つなぎ拒否と保護者の愛着・養育態度との関係. 応用心理学研究, Vol.47, No.2, p.94-105 (2021), doi.org/10.24651/oushinken.47.2_94 (参照 2023.02.10)
- 5) Department for Transport: THINK! Education resources. Safer journeys anthem.
<https://www.think.gov.uk/resource/safer-journeys-anthem/> (参照 2023.02.10.)
- 6) 京都府警察本部交通安全教育センター: 交通安全サンバ〜とどけ! 手のひらあいず〜.
<https://www.youtube.com/watch?v=oBKQdA0mMCw>, (参照 2023.02.10)
- 7) NHK: 子どもを守る交通安全ソング「ててて！とまって！」
<https://www.nhk.or.jp/shutoken/tetete/> (参照 2023.02.10)
- 8) 大谷亮: 子どもを対象にした交通安全教育, 自動車技術, Vol.70, No.3, p.42-47 (2016)
- 9) 蓮花一己: 西ドイツの交通安全教育-子どもへの交通教育-, 人と車, Vol.19, No.3, p.9-12 (1983)
- 10) Michon, J. A: Traffic education for young pedestrians - An introduction-. Accident analysis and prevention, Vol.13, No.3, p.163-167 (1981), [doi.org/10.1016/0001-4575\(81\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0001-4575(81)90002-6) (参照 2023.02.10)
- 11) 国家公安委員会: 交通の方法に関する教則,
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/kyousoku/index.htm> (参照 2023.02.10)
- 12) 大谷亮・橋本博・岡田和未・小林隆・岡野玲子: 低学年児童を対象にした道路横断訓練の有効性, 交通心理学研究, Vol.30, No.1, p.26-40 (2014), doi.org/10.34362/jatp.30.26, (参照 2023.02.10)
- 13) 大谷亮: 焦点化訓練が低学年児童の道路横断行動に及ぼす影響, 応用心理学研究, Vol.42, No.2, p.101-111 (2016)
https://j-aap.jp/JJAP/JJAP_422_101-111.pdf (参照 2023.02.10)
- 14) NHK: 「ててて！とまって！」を作ったわけ 交通事故から7歳を守る
<https://www.nhk.or.jp/shutoken/article/002/73/> (参照 2023.02.10)
- 15) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 子どもの交通事故. イタルダイnfォメーション, No.54 (2005)
<https://www.itarda.or.jp/contents/484/info54.pdf> (参照 2023.02.10)
- 16) 京都府警察安全横断検討会議: 信号機のない横断歩道における歩行者保護を徹底するための取組に関する提言, (2021)
https://www.pref.kyoto.jp/fukei/kotu/koki_k_t/signal/documents/teigen0309.pdf (参照 2023.02.10)
- 17) ユルゲン・ハーバーマス: 理論と実践, 細谷貞雄訳 未来社 (1999)

居眠り運転に関する交通事故統計データの分析

Analysis of Drowsy Driving Accidents by Traffic Accident Statistics Data

栗山 あずさ^{*1}

Azusa KURIYAMA

大谷 亮^{*2}

Akira OHTANI

Abstract

Drowsiness is a factor in traffic accidents. Countermeasures were studied, but most were implemented for professional drivers and on expressways. However, drowsiness while driving can happen to anyone. In this study, we investigated the actual number of accidents involving drowsy driving by all drivers using traffic accident statistics data. The number of fatal and serious injury accidents caused by drowsy driving was higher for non-professional drivers than for professional drivers, and for private driving than for business driving. Location of the accidents was more often on ordinary roads than on expressways. The percentage of fatal and serious injury accidents involving drowsy drivers during each time period was the highest between 4:00 and 5:00 a.m. (approximately 5%), followed by approximately 2% between 12:00 and 16:00 p.m. This suggests that it is important to expand the scope of countermeasures to non-professional drivers and for ordinary roads.

1. はじめに

1.1 睡眠覚醒リズムと交通事故の発生時間帯

日常生活において、人は「眠気」を感じることがしばしばあるが、眠気（覚醒度の低下）は交通事故の要因となることでも知られている。ヒトの睡眠覚醒リズムは、約1日を周期とする概日リズムをもつことが報告されている¹⁾。また、概日リズムに加え、約0.5日を周期とする概半日リズムと呼ばれる生体リズムも存在し、14時頃にも覚醒度が低下する^{2),3)}。

実際に、居眠りによる交通事故の発生時刻は、深夜から早朝に次いで、14時頃にもピークが存在することが報告されている^{4)~6)}。日本国内においても、各時間帯における人身事故のうち、居眠り運転が原因の事故が占める割合は、4~6時が最も高く、次いで15時頃も高いことが報告されている⁷⁾。以上を踏まえると、夜間に比べて運転頻度が高い日中にも、眠気による交通事故のリスクが大きい時間帯が存在すると言える。

1.2 睡眠不足と交通事故

前述の通り、覚醒度は周期的に変動するが、それ以外に、睡眠不足も覚醒度を低下させる要因の一つである。日本における2015年の国民健康・栄養調査⁸⁾によると、1日の平均睡眠時間が6時間未満とする回答割合は年々増加しており、その割合は全体の約40%を占めた。年代別に見ると、1日の平均睡眠時間が6時間未満の割合は、20代から50代のすべてで40%を超えており、特に50代では50%近くを占めた。また、総就床時間（就床から起床までの時間）の長さとのビジランス課題（当該先行研究では、視覚的な表示に対するボタン押し）の反応時間に関する研究⁹⁾では、総就床時間を実験条件とし、3時間、5時間、7時間、9時間の各条件における、反応時間を連日計測した。その結果、9時間条件以外では、日ごとに反応時間が長くなることが示された。睡眠不足による影響は、自動車の運転のような複雑な課題に比べ、ビジランス課題

* 2023年2月6日 受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（心理学）

のような単純な課題の方が現れやすい¹⁰⁾ものの、総就床時間が7時間以下の場合には、パフォーマンスが低下することを示唆する結果であった。また、交通事故を起こしたドライバと、事故に巻き込まれたドライバの前日の睡眠時間を聴取した研究¹¹⁾では、睡眠時間が7時間の場合に比べ、6時間では1.3倍、5時間では1.9倍、4時間では4.3倍事故が多いことが示された。これらの研究から、徹夜明けや極端な睡眠不足でなくとも、睡眠時間が短いことは交通事故の要因となると考えられる。以上を踏まえると、国際的にも平均睡眠時間が短い日本においては、多くのドライバが運転中の覚醒度低下のリスクにさらされていると考えられる。また、居眠り状態で事故に至る場合、ドライバによる減速や操舵などの衝突回避操作が行われないケースがあると予想され、重大な事故になり易いことが懸念される。そのような重大事故を防止するためにも、居眠り運転による事故実態を把握することは重要であると考えられる。

1.3 居眠り運転による交通事故の対策と現状

国土交通省は2018年6月、旅客自動車運送事業運輸規則¹²⁾および、貨物自動車運送事業輸送安全規則¹³⁾を改正し、バス、タクシー、トラック事業者に対し、ドライバの睡眠不足の有無を乗務前に確認し、睡眠不足によって安全な運転ができない可能性がある場合には乗務をさせないように管理することを義務付けた。また、これらの法整備だけではなく、居眠り運転に関する調査や対策の検討も数多くなされてきた^{14)~17)}。しかしながら、これらの対策や検討は、職業運転者や高速道路を対象に実施される傾向がある。その理由として、バスやトラックによる事故は1件あたりの死傷者数が多くなり易いこと、長時間運転および深夜の走行など、覚醒度の低下が発生しやすい環境での運転が比較的多いことが考えられる。また、調査や対策を行うにあたって、事業者に対して道路運送法¹⁸⁾および貨物自動車運送事業法¹⁹⁾により、安全管理規程の届け出や運行管理者の選出など、管理体制を構築することが義務付けられているため、職業運転者の場合には、一般のドライバと比べて介入がなされやすいものと推察される。

しかしながら、覚醒度の低下は誰にでも生じることを踏まえると、運転中の眠気や居眠りはすべてのドライバに発生し得ることであると言える。したがって、職業運転者以外のドライバや高速道路以外の道路も含めた実態調査を行うことにより、どのようなドライバや場所を対象とした対策が必要であるかを適切に把握することができると考える。

1.4 目的

そこで本研究では、居眠り運転による交通事故の実態を把握することを目的とし、交通事故統計データの分析を行った。具体的には職業区分、通行目的、路線、時間帯に着目し、それぞれのカテゴリにおける居眠り運転による交通事故の発生件数を調査した。

2. 方法

本研究では、公益財団法人交通事故総合分析センターの交通事故統計データを分析し、国内における居眠り運転を要因とする交通事故（以下、「居眠り運転事故」とする）の実態を調査した。

具体的には、国内におけるすべての交通事故（人身事故）のうち、事故要因区分（事故の発生に影響を与えたものを指し、人的要因／車両的要因／環境的要因に分けられる）が「人的要因」である事故を対象に、下記の「データ集計項目」に示す項目ごとに事故件数を集計した。なお、人的要因とは、前方不注意、安全不確認、予測不適、操作不適などの項目から成り、居眠り運転はそのうちの前方不注意に含まれる。集計項目内の「事故内容」、「職業区分」、「通行目的」、「路線」の定義については、各項目の結果の節にて詳述する。

【 データ集計項目 】

- ・ 事故要因区分：「人的要因」による交通事故を下記の 2 つに細分化
 - 居眠り運転
 - 居眠り運転以外
 - ・ 「居眠り運転」を対象に、以下の①～⑤の項目についてそれぞれ細分化し事故件数を集計
 - ✓ ②～⑤については、各分類における死亡事故および重傷事故件数をそれぞれ集計
 - ✓ ⑤発生時間帯については、「居眠り運転以外」の件数も集計
- ① 事故内容 (3 分類；死亡／重傷／軽傷)
- ② 職業区分 (2 分類；職業運転者／職業運転者以外)
- ③ 通行目的 (4 分類；業務：職業運転／業務：業務目的／通勤・通学／私用)
- ④ 路線 (3 分類；一般道／高速・自専道／その他)
- ⑤ 発生時間帯 (24 分類；0 時台～23 時台 (1 時間刻み))
- ・ 集計対象年 : 2019 年
 - ・ 事故の第一当事者 : 四輪車

3. 結果および考察

3.1 居眠り運転事故の発生状況

(1) 事故内容別の居眠り運転事故の発生件数および構成率

まず、居眠り運転事故を概観するため、死亡、重傷、軽傷事故別に、居眠り運転と居眠り運転以外の構成率を Fig. 1 に記した。ここで、「死亡」とは交通事故によって発生から 24 時間以内に亡くなった場合、「重傷」とは交通事故によって 30 日以上の治療を要する場合、「軽傷」とは交通事故によって 30 日未満の治療を要する場合を指す。

死亡事故は全体で 2,434 件であり、そのうち 96 件 (3.9%) が居眠り運転によるものであった。同様に、重傷事故 24,651 件のうち 283 件 (1.1%)、軽傷事故 316,557 件のうち 1,013 件 (0.3%) が居眠り運転によるものであった。全体で見ると、人的要因による交通事故 343,642 件のうち 1,392 件 (0.4%) が居眠り運転によるものであった。

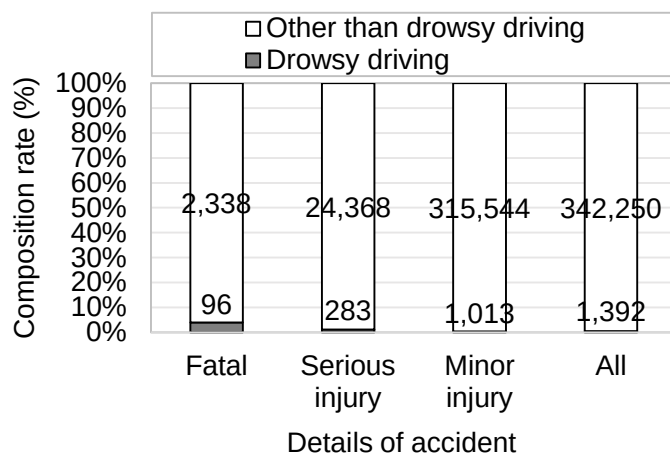


Fig. 1 Composition rate of accidents with and without drowsy driving

(2) 居眠り運転有無別の事故内容構成率

居眠り運転有無別の、事故内容の構成率を Fig.2 に記した。居眠り運転事故における事故内容の構成率は、死亡事故が 6.9%、重傷事故が 20.3%、軽傷事故が 72.8%であった。同様に、居眠り運転以外では、死亡事故が 0.7%、重傷事故が 7.1%、軽傷事故 92.2%であった。

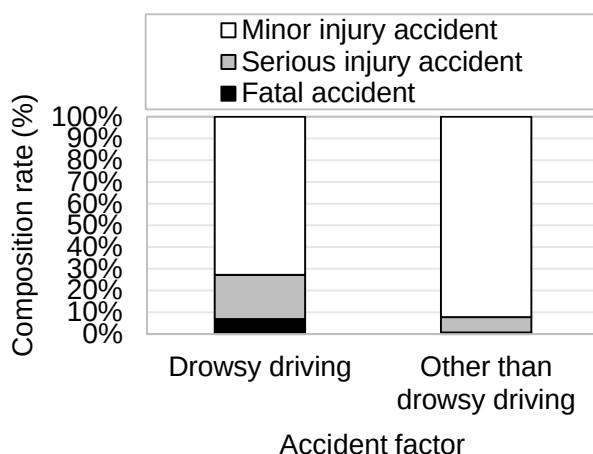


Fig.2 Composition rate of accident details with and without drowsy driving

以上の結果から、2019 年に発生した人的要因によるすべての交通事故に対し、居眠り運転事故が占める割合は 1%にも満たず、発生割合は低いことが明らかとなった。ただし、本研究に用いた交通事故統計データは、当事者への聴取により作成されるため、第一当事者が居眠り運転であったことを報告した事故しか居眠り運転に計上されない。過去の調査¹⁷⁾では、居眠り運転が、前方不注意（わき見運転）に計上されている可能性があることも指摘されており、居眠り運転事故の件数は、本研究の結果に比べて多い可能性もあると考えられる。

一方、居眠り運転有無別に事故内容を分析した結果から、居眠り運転事故は居眠り運転以外に比べて、死亡および重傷率が高く、重大事故となる可能性が高いことが明らかとなった。これについては、居眠り運転による交通事故の場合、ドライバによるブレーキなどの衝突回避操作が行われることなく事故に至ることが、理由の一つと推察される。

以上を踏まえると、居眠り運転による交通事故の件数は比較的少ないものの、事故に至った場合の死亡および重傷率は高く、第 11 次交通安全基本計画²⁰⁾における、「24 時間死者数 2,000 人以下、重傷者数 22,000 人以下」の目標を達成するためにも、居眠り運転事故の対策は重要であると考えられる。そこで、次節では、居眠り運転による死亡および重傷事故が、「どのようなドライバによって、いつ、どこで」発生したかを分析し、対策の必要性について考察する。

3.2 居眠り運転事故の発生状況の詳細分析

(1) 各職業区分における居眠り運転事故の発生件数

居眠り運転事故が、どのようなドライバに多いかの知見を得るため、職業区分別（2 分類；職業運転者／職業運転者以外）に居眠り運転による死亡および重傷事故の件数を集計した（Fig. 3）。ここで、職業運転者とは、バス・タクシー・トラック・バイクなどの事業用自動車の職業運転者および会社、官公庁等において職業的に自家用自動車の運転業務に従事している者を指す。

居眠り運転による死亡事故件数は、職業運転者で 14 件（14.6%）、職業運転者以外で 82 件（85.4%）であった。同様に、重傷事故件数は、職業運転者で 15 件（5.3%）、職業運転者以外で 268 件（94.7%）

であった。以上の結果から、居眠り運転事故のうち、約 9 割が職業運転者以外であり、これらのドライバを対象とした対策が必要であると考えられる。

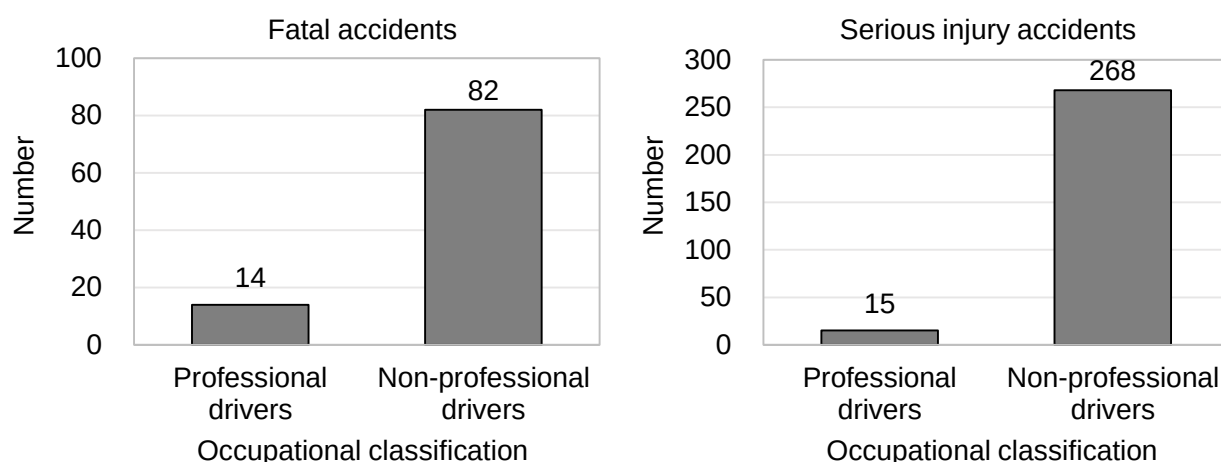


Fig. 3 Number of drowsy driving accidents by occupational classification

(2) 各通行目的における居眠り運転事故の発生件数

前述の職業区分による分類では、第一当事者の職業が職業運転者であるか否かはわかるものの、事故発生時に業務中であったか否かはわからない。また、職業運転者以外による居眠り運転事故が多く、業務以外の目的による通行中が多いものと考えられる。そこで、通行目的別（4 分類；業務：職業運転／業務：業務目的／通勤・通学／私用）に居眠り運転による死亡および重傷事故の件数を集計した（Fig. 4）。ここで、「業務：職業運転」とは、前述の職業運転者がその業務のため運転業務に従事している場合、「業務：業務目的（Fig. 4 では業務：職業運転以外に当たる）」とは、当事者がその業務を遂行する目的で通行する場合、「通勤・通学」は、勤務先への出勤または退勤、登下校の目的で通行する場合、「私用」はそれ以外の目的（例えば、観光・娯楽、ドライブ、買い物、送迎、帰省など）で通行する場合を指す。

居眠り運転による死亡事故件数は、業務：職業運転で 10 件（10.4%）、業務：業務目的で 16 件（16.7%）、通勤・通学で 19 件（19.8%）、私用で 51 件（53.1%）であった。同様に、居眠り運転による重傷事故件数は、業務：職業運転で 11 件（3.9%）、業務：業務目的で 35 件（12.4%）、通勤・通学で 51 件（18.0%）、私用で 186 件（65.7%）であった。以上の結果から、居眠り運転による死亡および重傷事故は、私用による運転中が最も多く、6 割程度を占めることが分かった。このことから、職業運転者や事業者を対象とした対策だけではなく、観光・娯楽や買い物、送迎など、一般のドライバによる日常的な運転を対象とした対策を講じることも必要であると考えられる。

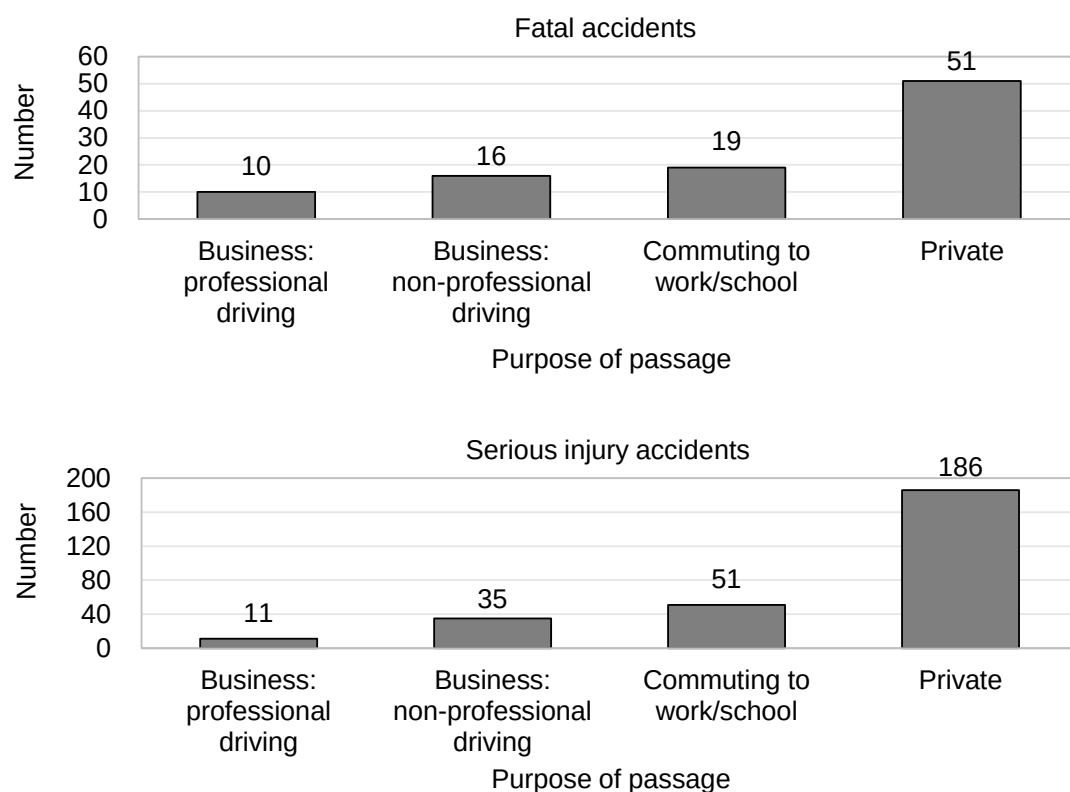


Fig. 4 Number of drowsy driving accidents by purpose of passage

(3) 各路線における居眠り運転事故の発生件数

居眠り運転事故が、どのような路線に多いかの知見を得るため、路線別（3 分類；一般道／高速・自専道／その他）に居眠り運転による死亡および重傷事故の件数を集計した（Fig. 5）。ここで、「一般道」とは、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、一般市町村道、「高速・自専道」とは、高速自動車国道および自動車専用道、「その他」とは、農道、林道、港湾道などを含むその他の道路を指す。

居眠り運転による死亡事故件数は、一般道で 87 件（90.6%）、高速・自専道で 9 件（9.4%）、その他で 0 件（0%）であった。同様に、居眠り運転による重傷事故件数は、一般道で 272 件（96.1%）、高速・自専道で 9 件（3.2%）、その他で 2 件（0.7%）であった。以上の結果から、居眠り運転による死亡および重傷事故の 9 割以上が一般道において発生していることが分かった。したがって、高速道路や自専道だけでなく、一般道における居眠り運転対策が必要であると考えられる。

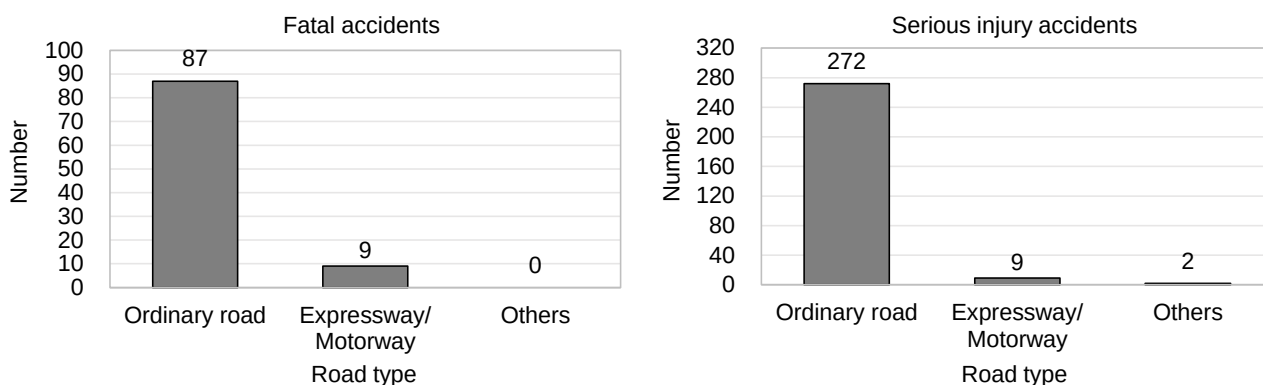


Fig. 5 Number of drowsy driving accidents by road type

(4) 各時間帯における居眠り運転事故の発生件数

居眠り運転事故がどのような時間帯に多いかの知見を得るため、1 時間ごとに事故件数を集計した (Fig. 6) . さらに、生体リズムと居眠り運転との関連を調べるため、居眠り運転以外の事故件数を集計するとともに (Fig. 7) , すべての人的要因による死亡および重傷事故に占める居眠り運転の割合を折れ線グラフで記した (Fig. 8) .

居眠り運転による死亡および重傷事故は、12 時から 18 時頃に多く、次いで 4 時から 8 時頃にも多かった (Fig. 6) . 一方、居眠り運転以外による死亡および重傷事故は、総じて 7 時から 20 時にかけて多く、居眠り運転事故のピークである 12 時から 16 時頃のピークは見られなかった (Fig. 7) . 各時間帯におけるすべての人的要因による死亡および重傷事故に占める居眠り運転事故の割合は、23 時～24 時から増え始め、4 時～5 時にピークを迎えた. その後、9 時から 12 時頃には低い水準で推移するものの、12 時から 17 時頃にも再び増加した (Fig. 8) .

以上の結果から、居眠り運転事故の発生時間帯について、事故件数自体は 12 時から 18 時に多いものの、発生率は覚醒度が低下しやすい時間帯に高いことが分かった. このことから、本来、睡眠をとるはずの夜間から早朝に加え、日中の覚醒度の低下が生じる時間帯においても、居眠り運転による交通事故のリスクが高いことが、本研究の調査からも明らかとなった. したがって、居眠り運転事故の件数が多い時間帯を対象とした対策を講じるとともに、深夜から早朝および 14 時前後の時間帯にも注意が必要であると考えられる.

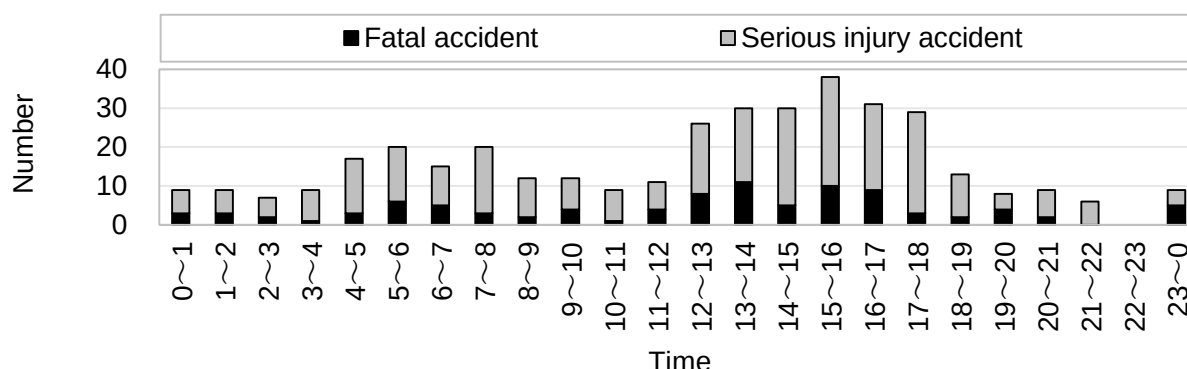


Fig. 6 Number of fatal and serious injury accidents caused by drowsy driving in each time period

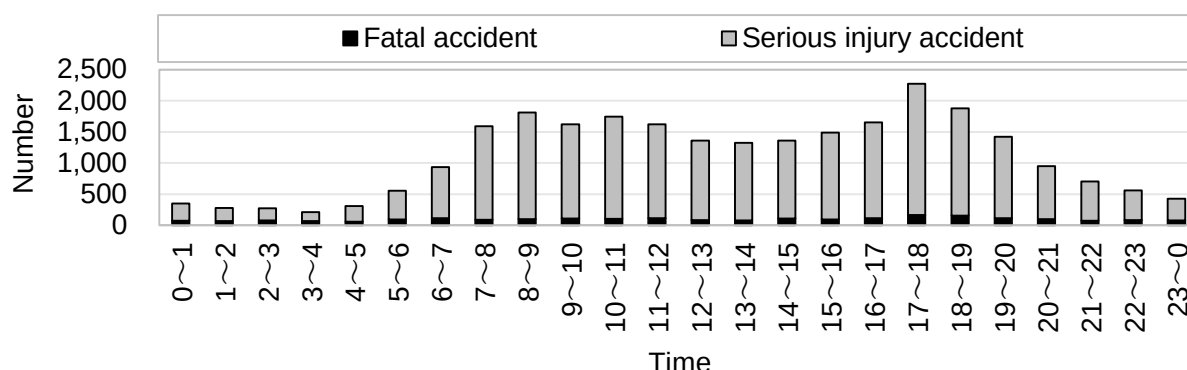


Fig. 7 Number of fatal and serious injury accidents caused by non-drowsy driving in each time period

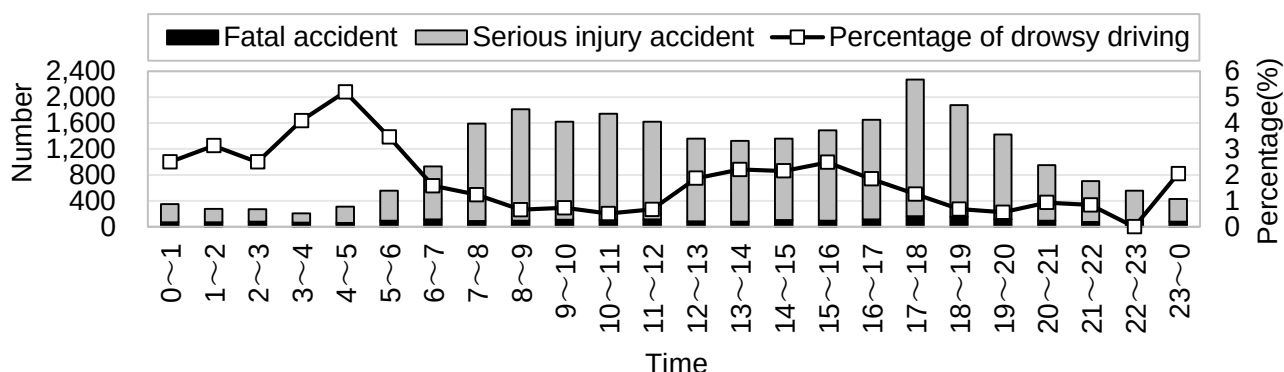


Fig. 8 Total number of fatal and serious injury accidents caused by human factors and ratio of drowsy driving accidents in each time period

本節の結果をまとめると、職業区分、通行目的、路線、時間帯を対象とした詳細分析により、居眠り運転による死亡および重傷事故は、職業運転者以外、私用による通行中、一般道、12時から18時頃および4時から8時頃に多いことが明らかとなった。さらに、時間帯別の居眠り運転事故の発生率は、覚醒度が低下する時間帯に高いことが分かった。

前述の通り、これまで、居眠り運転事故の対策は、職業運転者や高速道路を対象に多く行われてきた^{14)~17)}。しかしながら、居眠り運転による死亡および重傷事故のうち、業務中が占める割合は2割程度であり、居眠り運転事故の約6割は私用目的での通行中に発生していることが示された。また、発生路線についても、居眠り運転事故の9割以上は一般道で発生したことが示された。これについては、高速道路や自動車専用道では、一般道と比べて走行速度が高く死亡事故となり易いため、当事者死亡により居眠り運転と特定できなかったケースが計上されていない可能性を考慮する必要があるが、それらのケースを含んだ場合であっても、一般道での居眠り運転による事故件数の方が、高速道路および自専道に比して多いと予想される。以上を踏まえると、職業運転者や高速道路を対象とした対策を継続するとともに、一般のドライバや一般道にも対策範囲を広げることが重要であると考えられる。

居眠り運転防止に関する広報については、職業運転者を対象に、効果的な広報手段や必要な内容、表現方法が調査され¹⁷⁾、休憩施設での動画放映により、居眠り運転の防止対策や居眠り運転事故の危険性について、インパクトのある画像で危険性を意識してもらうことが良いとの報告があるが、職業運転者以外を対象とした方法についても、同様に検討を行う必要があると考えられる。一方、そのような対策だけではなく、眠気を感じた状態で運転すること自体を減らすための意識の醸成も重要であると考えられる。先行研究²¹⁾では、飲酒運転における「飲んだら乗るな、乗るなら飲むな」のメッセージが広く周知されていることを例に、「寝てないなら、乗るな、乗せるな、まず眠れ」のメッセージが、今後、社会に広く周知される必要があることを提言している。先に述べた通り、日本では平均睡眠時間が6時間未満の割合が4割に及ぶことを踏まえると、睡眠不足状態のドライバが一定数存在するものと推察される。したがって、ドライバ個人が居眠り運転事故の危険性を認識するとともに、周囲の人も睡眠不足の人に運転をさせないような意識を育むことが重要であると考えられる。一方、睡眠不足に限らず、周期的に覚醒度の低下が発生することを踏まえると、眠気を感じた際の正しい対処法についても、教育、啓発する必要があると考えられる。

4. 本研究のまとめおよび課題

本研究では、居眠り運転事故件数を調査するとともに、職業区分、通行目的、路線、時間帯別に居眠り運転の事故実態を調査した。その結果、これまでの職業運転者や高速道路を対象とした対策に加え、一般のドライバや観光・娯楽、ドライブ、買い物、送迎、帰省など、日常生活やレジャーでの運転にも対策範囲を広げる必要があることが示唆された。したがって、今後は職業運転者や事業者以外を対象に、効果的な対策を講じることや、居眠り運転に繋がる運転を行わない／行わせない意識の醸成などに取り組む必要があると考えられる。

また、本研究の結果から、居眠り運転事故のほとんどが一般道で発生していたことが分かった。ただし、本研究で対象とした一般道は、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、一般市町村道に渡ることから、これらのカテゴリごとに事故件数を把握することで、対策の必要性が高い状況を明らかにできる可能性があると考ええる。同様に、通行目的についても、「私用」の細分化を行うことで、買い物や送迎といった日常的な運転と観光・娯楽やドライブ、帰省といった非日常的な運転のどちらを対象とすべきかが明確になると期待される。また、本研究の詳細分析においては、死亡および重傷事故を対象としたが、居眠り運転事故全体の特徴を把握するためには、軽傷事故についても同様の詳細分析を行う必要があると考えられる。さらに、居眠り運転については、睡眠不足だけでなく、睡眠障害による影響についても指摘されており^{22)・23)}、睡眠障害を対象とした実態調査や対策の検討も重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本睡眠学会：睡眠学第2版，朝倉書店，p.163, (2020), ISBN：978-4-254-30120-5
- 2) Lavie, P: Ultrashort sleep-waking schedule. III. 'Gates' and 'forbidden zones' for sleep, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 63, p. 414-425 (1986), [doi:10.1016/0013-4694\(86\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(86)90123-9)
- 3) Richardson, G. S. et al: Circadian variation of sleep tendency in elderly and young adult subjects, *Sleep*, Vol. 5, p. 82-94 (1982), [doi:10.1093/sleep/5.s2.s82](https://doi.org/10.1093/sleep/5.s2.s82)
- 4) Pack, A. I. et al: Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 27, No. 6, p.769-775 (1995), [doi:10.1016/0001-4575\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00034-8)
- 5) Horne, J. A., & Reyner, L. A: Sleep related vehicle accidents, *British Medical Journal*, Vol. 310, p. 565-567 (1995), [doi:10.1136/bmj.310.6979.565](https://doi.org/10.1136/bmj.310.6979.565)
- 6) Garbarino, S. et al: The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents, *Sleep*, Vol. 24, No. 1, p. 203-206 (2001), [doi:10.1093/sleep/24.2.1a](https://doi.org/10.1093/sleep/24.2.1a)
- 7) 高橋 清久：睡眠学 眠りの科学・医歯薬学・社会学，じほう，p.138, (2003), ISBN: 978-4840731331
- 8) 厚生労働省：平成27年国民健康・栄養調査，
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h27-houkoku-06.pdf> (参照 2023.2.10) ,
- 9) Belenky et al: Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery : A sleep dose - response study, *Journal of sleep research*, Vol. 12, No. 1, p. 1-12 (2003), [doi:10.1046/j.1365-2869.2003.00337.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2003.00337.x)
- 10) Dinges et al: Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night, *Sleep*, Vol. 20, p. 267-277 (1997), <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9231952/> (参照 2023.2.10)
- 11) Tefft, B. C.: Acute sleep deprivation and risk of motor vehicle crash involvement, AAA Foundation for Traffic Safety, (2016), <https://aaaafoundation.org/wp-content/uploads/2017/12/AcuteSleepDeprivationCrashRisk.pdf> (参照 2023.2.10)
- 12) 国土交通省：道路運送法 旅客自動車運送事業運輸規則, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=331M50000800044> (参照 2023.2.10)
- 13) 国土交通省：貨物自動車運送事業法 貨物自動車運送事業輸送安全規則, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=402M50000800022> (参照 2023.2.10)
- 14) 国土交通省：自動車運送事業に係る交通事故要因分析検討会報告書（平成25年度）, https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03analysis/resourse/data/h25_2.pdf (参照 2023.2.10)
- 15) インディア・グルバガヴァトゥーラ：職業ドライバーにおける睡眠時無呼吸症，*IATSS Review*, Vol. 35, p. 46-51 (2010) <https://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/35-1-07.pdf> (参照 2023.2.10)
- 16) 鈴木 一弥：職業ドライバーの睡眠・疲労の実態と過労運転の防止に向けた課題，*IATSS Review*, Vol. 38, p. 23-32 (2013), <https://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/35-1-07.pdf> (参照 2023.2.10)
- 17) 公益財団法人 高速道路調査会：高速道路での居眠り運転防止に向けた効果的な対策に関する調査研究報告書，https://www.express-highway.or.jp/info/document/rpt_t_006.pdf (参照 2023.2.10)
- 18) 国土交通省：道路運送法, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=326AC0000000183> (参照 2023.2.10)
- 19) 国土交通省：貨物自動車運送事業法, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=401AC0000000083> (参照 2023.2.10)
- 20) 内閣府：交通安全基本計画, https://www8.cao.go.jp/koutu/kihon/keikaku11/pdf/kihon_keikaku.pdf (参照 2023.2.10)
- 21) 高橋 正也：寝てないなら，乗るな，乗せるな，まず眠れ，*IATSS Review*, Vol. 39, No. 2, p. 165 (2014), <https://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/39-2-36.pdf> (参照 2023.2.10)
- 22) 塩見 利明, 有田 亜紀：睡眠時無呼吸症候群における居眠り運転事故調査，*IATSS Review*, Vol. 35, No.1, p. 22-25 (2010), <https://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/35-1-03.pdf> (参照 2023.2.10)
- 23) 駒田 陽子ら：運転免許保有者の居眠り運転に関する要因についての検討，*日本公衆衛生雑誌*, Vol. 57, No.12, p. 1066-1074 (2010) , https://doi.org/10.11236/jph.57.12_1066 (参照 2023.2.10)

死角からの歩行者飛び出し場面における ドライバ行動の安全性について

Safety of Driver Behavior in Pedestrian Rush-out Scenarios from Blind Spot Areas

[山口 伊織](#)^{*1}

Iori YAMAGUCHI

[安部 原也](#)^{*2}

Genya ABE

Abstract

In recent years, although the number of traffic accident fatalities in Japan has been decreasing, the ratio of accidents while walking is higher than that of riding in a car. Looking at the number of pedestrian fatalities by law violation, there are many fatalities that occur when pedestrians rush-out from the front or rear of a vehicle, especially accidents where the pedestrian uses the vehicle as a shield. Therefore, in this study, we first summarized the literature on the safety evaluation of pedestrian rush-out scenarios from blind-spot areas. In previous literature, the safety evaluation of general drivers using the evaluation index for driving speed is not necessarily sufficient. Therefore, we conducted a driving experiment in a blind spot scene for general drivers using the “JARI-ARV”, and clarified the current safety of driver behavior based on the safety evaluation at driving speed.

1. はじめに

近年、国内における交通事故死者数は減少しているものの、その構成割合は自動車乗車中よりも致死率の高い「歩行中」が多い（Fig. 1）¹⁾。また、歩行中の法令違反別死者数では、「横断歩道以外の横断」と「車両の直前・直後の横断」が多い状況である（Fig. 2）¹⁾。「車両の直前・直後の横断」は死角からの横断の一つであり、ドライバは死角からの急な横断を予測して速度を落とす必要がある。しかし、このような急な横断が予測される死角のある場面では一般ドライバの走行速度が交通指導員のそれよりも高く²⁾幾何学的に計算した「安全な速度」（衝突せずに減速停止可能な速度）よりも高い³⁾ことが確認されている。このような状況において仮に飛び出しが生じたとしたら、ドライバが対処できずに事故に至ってしまう可能性がある。現在の衝突被害軽減ブレーキは停止車両を遮蔽物とした死角からの飛び出し場面も想定されており、比較的速度が低い場合は車両を減速停止できる可能性があるが、速度が高いほど減速での衝突回避が難しくなる。日本の第11次交通安全基本計画⁴⁾の目標である交通事故死者（24時間死者数）2000人以下を達成するには、現在の死者数のうちその割合が最も高い歩行者事故を大幅に削減する必要があり、衝突被害軽減ブレーキでは対応が難しい比較的高い速度における死角からの飛び出しについて言及・改善する必要がある。現時点では、歩行者横断中の事故の要因として車両速度を取り上げて走行データを示した論文は少なく、ドライバの「わき見」や「漫然運転」などといった証言を基にした要因が取り上げられている⁵⁾。実際の事故現場では、当事者の証言やドライブレコーダが要因調査の主な手掛かりとなるが、飛び出しが起こりうる場面での走行速度が上記の「安全な速度」を超えていたとしても速度違反とはならず、その場面における走行速度が事故の主要因として取り上げられていない。つまり、上記の「安全な速度」よりも速度が高いため、減速停止できずに事故に至った可能性がありながら、それが事故の主要因として見逃されてしまうことにつながりかねない。そこで本研究では、飛び出しの起こりうる死角のある場面について、先行研究調査

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 Ph. D

* 2023年2月10日受理

における事故の状況と走行実験データを基にした事故要因をまとめた。具体的には、事故となり得る状況と要因について、「歩行者側」と「ドライバ側」に分け、先行研究による歩行者の横断場面・横断の仕方やドライバの運転行動について調査した。さらに、一般ドライバによる走行実験を行い、死角のある場面における速度データを用いて、「安全な速度」の観点からドライバの運転行動の安全性評価を行った。

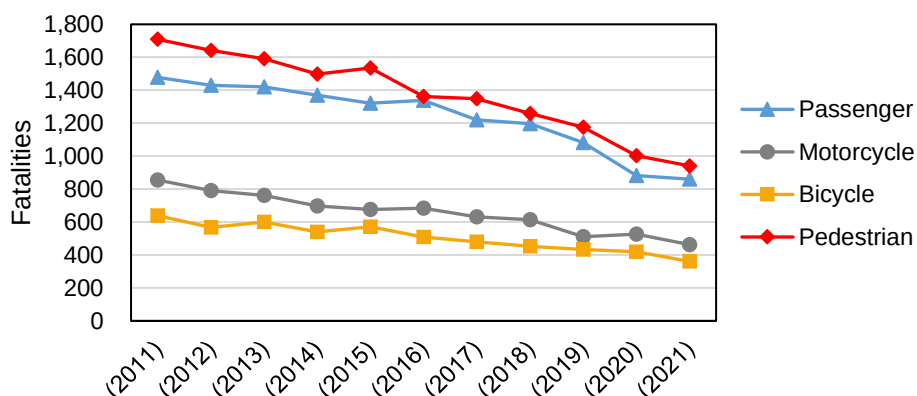


Fig.1 Fatalities in traffic accidents¹⁾

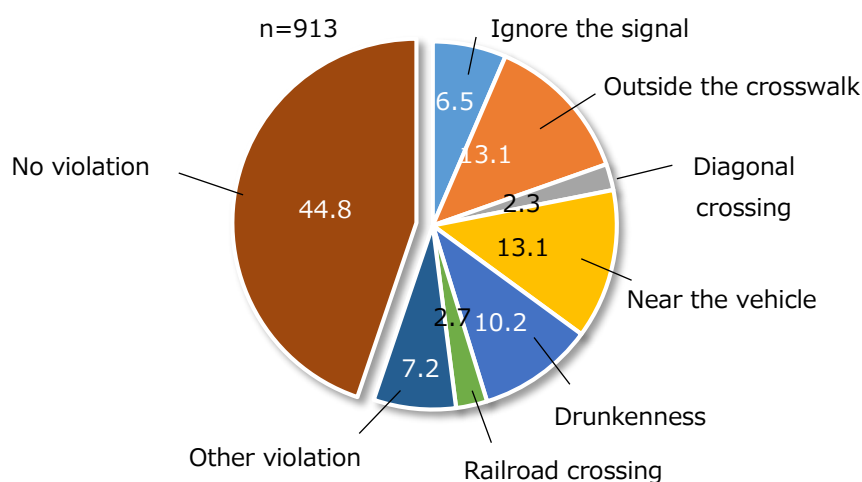


Fig.2 Pedestrian violation [%]¹⁾

2. 歩行者の飛び出し状況

2.1 歩行者の飛び出し場面

Fig. 2 の歩行者死亡事故における歩行者違反種別では、無違反が最も多く（44.8%）、違反の中では横断歩道外の横断（13.1%）と車両の直前・直後の横断（13.1%）の割合が高い。車両の直前・直後の横断は駐車車両や走行車両だけでなく、信号待ちや右折渋滞中などの車両を死角としたときの横断が含まれる。加えて、車両の直前・直後の横断以外の項目には壁や建物といった死角からの横断が含まれるため、「死角のある場面」における横断は車両の直前・直後の横断よりも実際には多いと考えられる。また、公益財団法人交通事故総合分析センター（ITARDA）の調査によると、歩行者横断中の死亡事故場面として、単路 59%、交差点 40%の割合となっており単路が多い⁵⁾。また、道路幅は 5.5 m 以上 9 m 未満の直線道路が最も多く、

車両の進行方向は直進が最も多い⁵⁾。これらの結果から、歩行者横断中の死亡事故場面の多くは「対向2車線の道路を車両が直進している状況」で生じていると考えられる。

2.2 歩行者の飛び出し方

歩行者の横断の仕方について千葉ら⁶⁾の研究では、定点観測により横断歩道外における横断状況を計測しており、横断速度の中央値は4.8 km/h、斜め横断をする人は横断速度が速い傾向にあること、接近車両との到達予測時間が短いほど斜め横断が少なくなる傾向にあることを示している。横断速度については他に、平均4~5 km/hとの結果を示している例もある⁷⁾⁸⁾。また、衝突被害軽減ブレーキの評価検討を行っている自動車アセスメント評価検討会の資料⁹⁾によると、横断中の歩行者死亡事故件数における65歳以上の高齢者が占める割合は7割を超え、高齢者が最も多い。高齢者の特徴を踏まえると、横断速度が比較的遅く、致死率が高いことが高齢者の死亡事故の多さに影響していると考えられる。

2.3 飛び出し抑制における先行研究

歩行者の飛び出し抑制の研究例では、車両のシステムと歩行者のスマートフォンの連携システムの試みが行われている。自車・周辺車両と歩行者の位置情報をサーバへ集約し、停止車両などの死角のある場面での飛び出しを抑制するための警報が歩行者側へ通知されるとともに、車両側へ注意喚起する仕組みが研究されている¹⁰⁾。実用化して広く普及されれば歩行者の飛び出しを抑制する効果が期待される。

3. ドライバの運転状況

3.1 ドライバ要因についての先行研究

先行研究において歩行者横断中の死亡事故におけるドライバー側の主な要因として挙げられている、「わき見」「安全不確認」「漫然運転」⁵⁾（ただし、死角のあり・なしにかかわらず「歩行中の死亡事故」のすべての場面が含まれる）は、ドライバーが「飛び出しの危険性の予測」を適切に完遂することができずに事故に至った、あるいは、ドライバーが「飛び出しの危険性の予測」の遅れにより十分な速度調整をできずに事故に至ったと考えられる。このような状況の対策として、ドライバーへの注意喚起により危険予測を促すことによって、ドライバーが「安全な速度」まで減速調整することができれば、仮に飛び出してきた場合でもドライバーの回避操作や衝突被害軽減ブレーキで対応できると考えられる。

3.2 走行速度の安全性評価実験

先行研究²⁾³⁾において、ドライバーが死角のある場面を通過するときの速度は比較的高いことが明らかとなっているが、その速度が有している衝突の危険性の度合いは明確になっていない。そこで、車両の速度が有している衝突の危険性の度合いを明確にするため、飛び出しの起こりうる死角のある場面において、自車が仮想的な飛び出し歩行者に対して衝突せず減速停止できる最大の速度を「安全限界速度」として評価指標を定義し、一般ドライバーを対象とした走行実験における走行速度とその評価指標を比較することで安全性評価を行った。

(1) 実験方法

実験では、日本自動車研究所のテストコースにてドライバーに実験車を運転してもらい、車両データを計測した。Fig. 3に、実験で用いた実験車の外観とシステム構成図を示す。実験車はフロントガラスの前方に大型画面が配置されており、この画面に前方カメラ映像と車両や建物などのCGを合成した映像を映すことで「死角のある場面」を再現した。なお、この実験は日本自動車研究所の実験倫理委員会の承認（承認番号：18-029）を得て実施している。

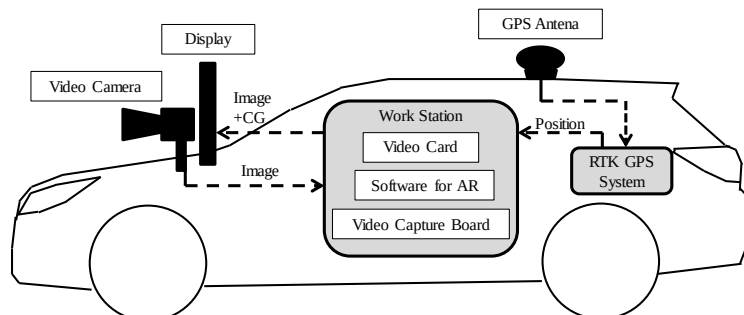


Fig.3 Experimental vehicle (JARI-ARV)

(2) 走行場面

走行場面は、対向 2 車線道路の側方に隙間のない建物を配置し、また自車の走行車線の両脇に停止車両を配置することで、「死角のある場面」を設定した (Fig.4) . この配置により、自車が両脇の停止車両横を通過する際に、左右どちらか一方の側方距離を大きく空けるような走行ができないようになる。したがって、当該場面におけるドライバの運転行動への影響を検討する際に、主として、ドライバの速度に着目した分析が可能になると考えられる。



Fig.4 Image of "Blind-spot area" in the experiment

(3) 評価方法

評価方法は、仮想的な歩行者横断における衝突地点から逆算して自車が減速停止できる地点（安全限界速度が 15 km/h の場面は仮想衝突地点から 3.1 m, 20 km/h は 4.8 m, 25 km/h は 6.8 m 手前）の自車速度を安全限界速度と比較した。安全限界速度 v_s は、その場面において自車が仮想的な歩行者横断に対して衝突せずに減速停止できる最大速度である。安全限界速度のパラメータは、自車の減速度 D 、自車と停止車両との側方距離 l 、飛び出し速度 v_p 、ドライバが減速を開始するまでの反応時間 t_f の 4 つである (Table 1) . 側方距離は、「安全限界速度」を 15 km/h・20 km/h・25 km/h に設定するために、1.3 m・1.55 m・1.8 m の 3 つの条件を設定した。自車の減速度と反応時間は衝突被害軽減ブレーキと同等の回避操作を前提とし、あくまでも最大限のパフォーマンスで減速停止できる状況を想定している。式 1 は自車の減速停止時間 TTS (Time to Stop) を用いて安全限界速度を表し、式 2 は歩行者が飛び出してから衝突の直前までの時間 TTV (Time to Vehicle) を表す。衝突は前突のみを考慮し、前突の中で最も厳しく（安全限界速度が低くなる）ように衝突地点を自車の前端の角とした。Fig. 5 のように左からの飛び出しの場合は自車の左前端が衝突地点となり、右からの飛び出しの場合は自車の右前端が衝突地点となる。式 1 および式 2 から式 3 の安全限界速度を導出する。

$$v_s = D(TTS - t_f) \quad \dots \quad (1)$$

$$TTS = TTV = \frac{l}{v_p} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$v_s = D \left(\frac{l}{v_p} - t_f \right) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

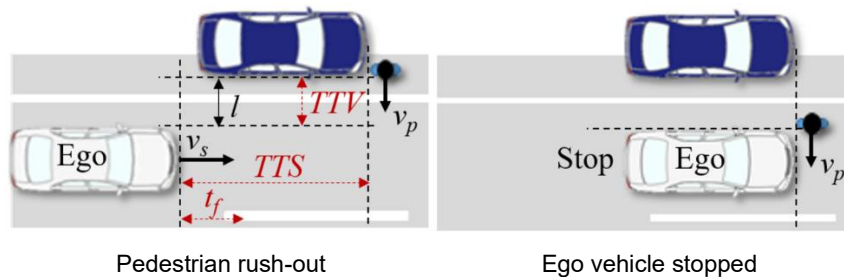


Fig.5 “Blind-spot rush-out” scenario

Table 1 Parameters for calculation of safety limit velocity

Parameter	Value	Unit
D : Deceleration	0.8	G
l : Length of margin	1.3 / 1.55 / 1.8	m
v_p : Velocity of pedestrian	4.6	km/h
t_f : Free running time	0.5	sec
v_s : Velocity of safety limit	15 / 20 / 25	km/h

(4) 実験手順

実験は一般ドライバ 10 名に対して行った。ドライバへの教示は、走行経路と道路の制限速度設定 (40 km/h) を教示し、「実験を意識せずに普段の運転感覚で運転する」旨を教示した。なお、実験参加にあたっては、実験に関する説明をし、インフォームドコンセントを得た上で実施した。Fig. 6 に実験コースの概要を示す。実験車の運転に慣れるための練習走行として、コースを 2 周 (ドライバの慣れの程度によって一部 3 周) した。分析対象の速度データ計測は練習走行後の 3 周分とし、1 周 3 か所の停止車両を配置した「死角のある場面」における速度データを計測した。

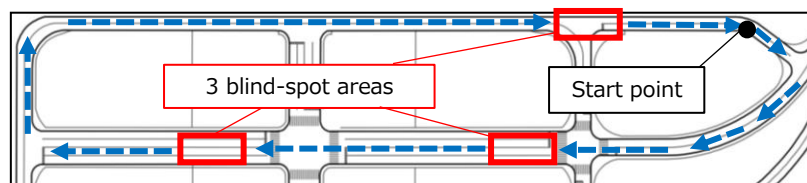


Fig.6 Experimental course

(5) 結果と考察

取得した速度データは、ドライバ 10 名、3 周分、1 周 3 箇所 (側方距離 3 条件 1.3 m / 1.55 m / 1.8 m) である。ただし、うち 3 名は 2 周分のデータであるため、合計 87 データであった。Fig. 7 に、側方距離別の走行速度データを示す。車線の中心を走行した場合、両脇の停止車両との側方距離が側方距離条件と一致するが、ドライバ各々の運転の仕方により自車の位置が左右にばらつくため、図の横軸の側方距離が短くなり、側方距離データにばらつきが生じている。一方、縦軸は仮想衝突地点から逆算され

た減速停止可能な地点における自車の速度を示す。赤線の安全限界速度は、側方距離が大きいほど高くなり右上がりとなる。赤線の安全限界速度と速度データを比較すると、すべての速度データが安全限界速度よりも高い結果となっている。これは仮に減速操作を行っても、設定した仮想的な飛び出しに対して減速停止が出来ずに衝突することを意味する。また、図を全体的に見ると側方距離によらず速度があまり変わらない。つまり、側方距離が小さくなる（図の左へ行く）ほど、安全限界速度からの超過が大きくなる傾向がみられる。側方距離が 0 m 付近では、一般的に速度は極低速になる点と、側方距離が 1 m 未満で徐行すべき¹¹⁾点を考慮すると、本実験の結果を見ると、側方距離が概ね 1~1.5 m 辺りで安全限界速度からの超過が最も大きくなると推察される。

また、走行実験での結果、「死角のある場面」を通過する際の一般ドライバの走行速度が減速停止可能な安全限界速度を超えていることから、このような状況では衝突被害軽減ブレーキのみで衝突を回避できないことが示唆された。そのため、より事前のドライバへの注意喚起や目標速度表示支援、車両側のブレーキ制御などの速度抑制システムにより、速度を落とす必要があると考える。

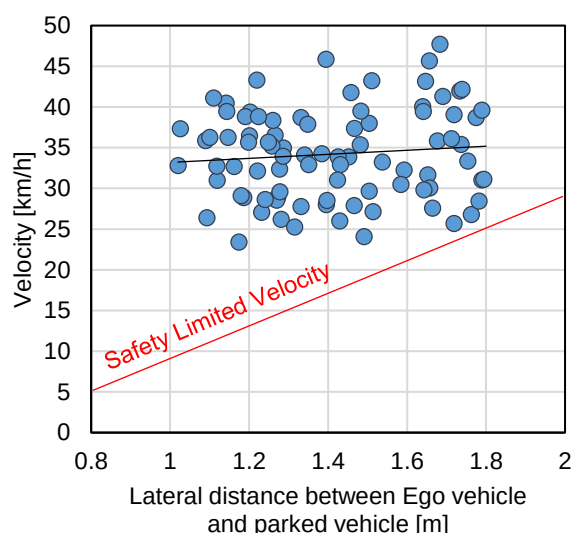


Fig.7 Velocity by lateral distance condition

3.3 車両側の速度抑制手法における先行研究

車両側の速度抑制手法について、ドライバへの目標速度提示と車両の強制的なブレーキ支援による先行研究を調査した。山本ら¹²⁾は、一般ドライバを対象に停止車両の側方を通る際の目標速度提示を行った実験を実施している。この実験結果から、ドライバの受容性の違いによって、速度抑制が可能なドライバとそうでないドライバがいることを指摘している。林ら¹³⁾は、一般ドライバに歩行者の側方を通る際の目標速度提示を行っており、概ね目標速度まで減速した結果を得ている。この実験では、歩行者とのすれ違い時の側方距離が 0.5 m~1 m に設定されており、側方距離が小さい場合に有効であると考えられる。斎藤ら¹⁴⁾は、停止車両の側方を通る際の速度抑制支援として、アクセル反力とブレーキ制御を行っており、速度低減の有効性が確認されたことを報告している。この研究の場面設定は、左側の停止車両を右から追い越す状況で、自車は右方向へよけられるため、ドライバの意思で側方距離を大きくとることが可能な状況である。このような場面では安全限界速度が比較的高くなり、ドライバの走行速度からの落差が比較的小さく、緩やかな減速で済む場面となる。そのため、車両側の減速制御に対するドライバの受容性が高いと考えられる。一方で、安全限界速度に対する速度超過が大きく比較的危险と考えられる側方距離 1 m~1.5 m の条件では、

支援によるドライバの受容性や減速効果を十分に確認できていない。このような条件では大きな減速を必要とすることからドライバの受容性が低くなることが考えられる。

また、3.2 で示した安全限界速度をドライバに受け入れてもらうことは容易ではない。筆者も、一般ドライバを対象とした走行実験において、遮蔽物の側方を通過する際の安全限界速度を提示することで速度低減を促すことの有効性評価を行っている³⁾が、安全限界速度を提示しても速度低減効果を得にくいドライバがいることを確認している。側方距離が 0.5 m 程度であれば、ドライバは側方の物体との衝突リスクを低減するためにおのずと徐行すると思われるが、本稿 3.2 節の実験で設定された側方距離 1.3 m の条件における安全限界速度は 15 km/h と比較的速度が低いことから、ドライバは安全限界速度まで速度を抑制することに対して容易に納得しづらい状況にあると予想される。そこで、支援の受容性と減速効果を改良する視点に加え、支援の減速目標となる速度（提示速度など）は変えずに、例えば、衝突被害軽減ブレーキの反応時間を技術的に早めることにより安全限界速度を上げる視点を取り入れることや、歩行者保護エアバッグにより衝突被害を軽減することで、総合的に安全性を高めることが重要であると考えられる。

4. まとめ

歩行者横断中の事故の中で特にドライバの危険予測が求められる「死角のある場面」について、歩行者側とドライバ側に分けて先行研究を調査し、さらに、走行実験における安全性評価を行った結果から得られた要点を下記にまとめる。

- 歩行者の横断状況では「車両の直前・直後の横断」が多く、高齢者の飛び出しによる死亡事故が多い
- 歩行者側の要因は、歩行者の飛び出し抑制システムの普及などによる改善が期待される
- ドライバ側の要因として挙げられている「わき見」「安全不確認」「漫然運転」は、衝突被害軽減ブレーキによる改善が期待される
- 走行実験の結果から、ドライバ側の要因として、走行速度が減速停止できないほど高く、急な横断に対応できない状況が一因であると考えられる
- 遮蔽物との側方距離が1 m～1.5 m辺りの場面では安全限界速度からの超過速度が高く、最も危険な側方距離条件であると考えられる
- ブレーキ制御支援による車両側の強制的な速度抑制手法の研究が行われており、速度抑制効果の有効性が確認されているが、側方距離条件の場面設定が限定的である
- 目標速度提示によるドライバの能動的な速度抑制手法の研究が行われており、速度抑制効果の有効性が確認されているが、ドライバによっては受容性が低く速度抑制効果が十分でない課題がある

ドライバの危険予測が求められる「死角のある場面」における歩行者横断中の死亡事故の大幅な削減のためには、歩行者側の横断抑制システムや車両側の速度抑制支援システム、衝突被害軽減ブレーキ、歩行者保護エアバッグなどを併用した総合的な対策が有効であると考えられ、それらの研究・開発・普及が必要である。現時点では、車両側の速度抑制には受容性の課題があり、ドライバからより受け入れられやすく効果のある速度抑制手法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 警察庁: 令和3年中における交通死亡事故の発生状況および道路交通法違反取締り状況等について, e-Stat (2022), <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027458&cycle=7&year=20210&month=0> (参照 2023.2.10)
- 2) 竹本雅憲ほか: 駐車車両側方通過時における不安全運転行動の特徴分析, 成蹊大学, 人間工学, Vol.48, No.1, p.7-16 (2012), [doi:10.5100/jje.48.7](https://doi.org/10.5100/jje.48.7)
- 3) 山口伊織ほか: 潜在的な事故場面通過時の走行速度適正化に向けた視覚情報提供の効果評価, 自動車技術会論文集, Vol.52, No.3, p.608-614 (2021), [doi:10.11351/jsaeronbun.52.608](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.52.608)
- 4) 内閣府: 令和3年交通安全白書 第11次交通安全基本計画の目標 (2022), https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r03kou_haku/zenbun/genkyo/feature/feature_03_1.html (参照 2023.2.10)
- 5) 交通事故総合分析センター: イタルダ・インフォメーション, No.83 (2010) <https://www.itarda.or.jp/contents/455/info83.pdf> (参照 2023.2.10)
- 6) 千葉和大ほか: 歩行者の横断歩道外道路横断行動の分析, 東京理科大学大学院, 日本機械学会第25回交通・物流部門大会講演論文集, No.16-36 (2016) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmetld/2016.25/0/2016.25_3203/pdf/-char/ja (参照 2023.2.10)
- 7) 林隆三ほか: 実データに基づく狭路における歩行者の急横断行動の分析とモデル化, 自動車技術会論文集, Vol.44, No2, p.579-585 (2013), [doi:10.11351/jsaeronbun.44.579](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.44.579)
- 8) 林隆三ほか: 交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発ー歩行者エージェントモデルの構築ー, JARI Research Journal, 20180202 (2018), https://img.jari.or.jp/v=1641526898/files/user/pdf/JRJ20180202_q.pdf (参照 2023.02.10)
- 9) 国土交通省: 第1回自動車アセスメント評価検討会 参考資料6 (2015), https://www.mlit.go.jp/jidosha/anken/02assessment/data/h27_sankou_6.pdf (参照 2023.02.10)
- 10) 本田技研工業: <https://www.honda.co.jp/stories/020/> (参照 2023.2.10)
- 11) 警察庁: 運転免許技能試験に係る採点基準の運用の標準について (通達) (2022) https://www.npa.go.jp/laws/notification/koutuu/menkyo/menkyo20220304_51.pdf (参照 2023.02.10)
- 12) 山本智春ほか: 安全運転行動への誘導技術開発, 富士通テン技報, Vol.34, No.1, p.18-25 (2017) https://www.denso-ten.com/jp/technicalreview/jp_pdf/62/62-3.pdf (参照 2023.02.10)
- 13) 林隆三ほか: 狭路における歩行者の急横断に備えた危険予測メカニズム, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.6 (2013), [doi:10.11351/jsaeronbun.44.1439](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.44.1439)
- 14) 齋藤裕一ほか: 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援システムの設計と有効性評価, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.6, p.1417-1423 (2016), doi.org/10.11351/jsaeronbun.47.1417

ハッチバックセダン型ハイブリッド車の 後部エネルギー吸収特性

Rear Crash Energy Absorption Characteristics of Hatchback Sedan Type Hybrid Vehicles

三上 耕司^{*1}

Koji MIKAMI

鮎川 佳弘^{*2}

Yoshihiro SUKEGAWA

福山 慶介^{*3}

Keisuke FUKUYAMA

Abstract

Traffic accident investigations involving hybrid vehicles are increasing. In this study, rear crash energy absorption characteristics of hatchback sedan type hybrid vehicles were investigated through a full-wrap rigid barrier collision experiment. As a result, the characteristics became quadratically stiffer in the range of small deformation (0 to 0.25 m), which is softer than a conventional engine vehicle. In addition, the range of large deformation (0.25 to 0.7 m), hardens sharply and rises linearly. Using these characteristics, an energy absorption diagram for hybrid vehicles was proposed. This diagram can be used to analyze rear-end accidents of hybrid vehicles more accurately, and is expected to be useful for accident reconstruction.

1. 背景・目的

交通事故の調査や捜査において、事故を再現することは実際に発生した事故の詳細を明らかにするために重要である。また、事故の再現には、車両の構造や剛性を反映したエネルギー吸収分布図を活用し、車両が変形する際に発生するエネルギーを算出して衝突速度を推定することが重要となっている。

上記状況を踏まえ、Fig. 1 および Fig. 2 に示す日本の自動車保有台数の統計結果¹⁾²⁾を見ると、ハイブリッド車の保有台数割合は年々増加しており、2022年では全保有台数の13.2%を占めていることが確認できる。また、ハイブリッド車全体の保有台数の内、軽自動車を含む乗用車の保有割合が最も多く、市場を走行するほとんどのハイブリッド車が乗用車であることがわかる。さらに、乗用車に限定したハイブリッド車の保有割合は17.5%であり、事故再現においてハイブリッド車が対象となる割合は低いと言える。

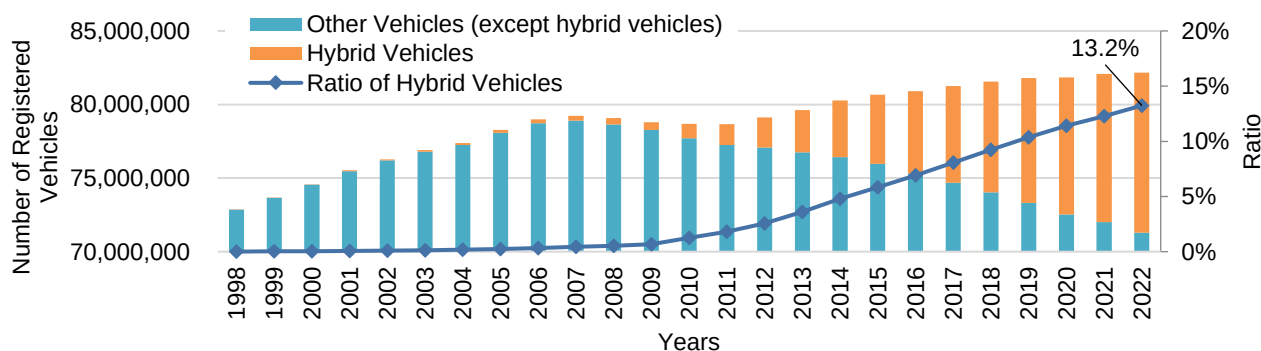


Fig. 1 Number of Registered Vehicles in Japan

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*3 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 博士（工学）

* 2023年2月10日受理

さらに、Fig. 3 に示す日本における交通事故の発生状況³⁾をみると、車両相互の追突（Rear-end）が全事故類型の中で占める割合が大きいことがわかる。また、2021 年では追突事故が 36.2%を占めており、事故再現を実施する確率が高いと考えられる。

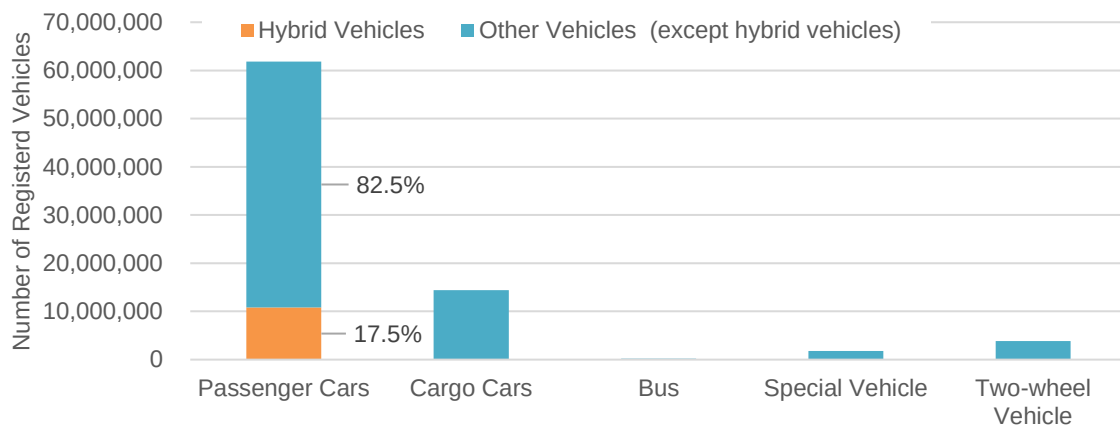


Fig. 2 Number of Registered Vehicles in Japan by Type (2022)

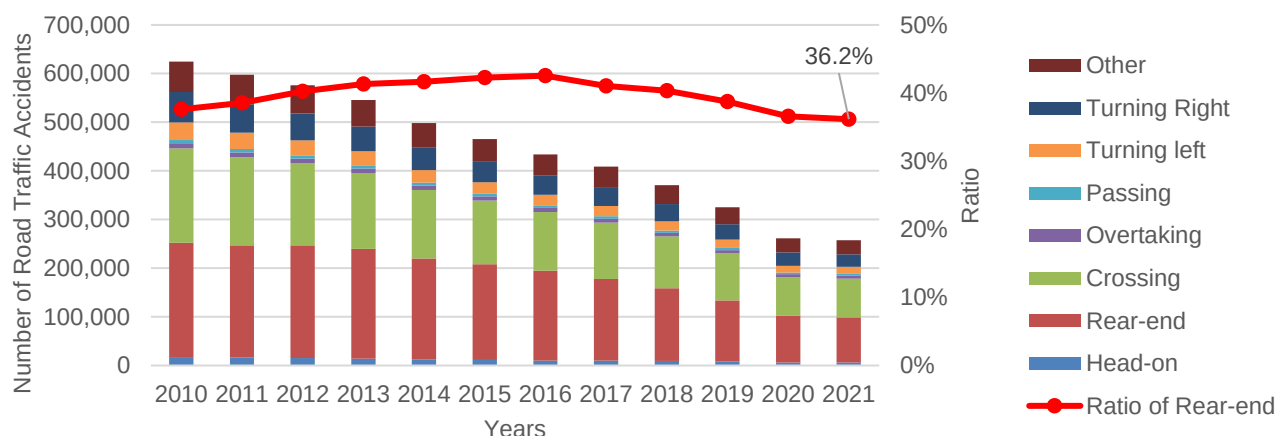


Fig. 3 Number of Road Traffic Accidents by Type of Accident

上記のような現状にあるが、事故調査や捜査で用いられている車両後部のエネルギー吸収特性は、久保田らの作成したエンジン車後部のエネルギー吸収分布図⁴⁾のみであることから、ハイブリッド車後部のエネルギー吸収分布図が必要になると考える。

以上の状況を踏まえ、本研究では近年普及してきているハイブリッド車が被追突車両となったことを想定して、車両後部のエネルギー吸収特性を把握することを目的に後面衝突試験を実施し、ハイブリッド車後部のエネルギー吸収分布図を提案することによって、より正確な事故調査や捜査への活用を目指す。

2. 実施方法

ハイブリッド車後部のエネルギー吸収特性を調査するため、後面衝突試験によって車両後部に発生する荷重を計測した。本試験は、Fig. 4 に示すようにコンクリート製の壁面に向けて試験車両を後退で走行させて、車両後部全面を衝突させる試験形態（以下、「フルラップ後面衝突試験」という）であり、剛体壁の衝

突面には荷重計を取り付けて計測を行った。なお、荷重計の表面には厚さ 1.8 cm の合板を張って荷重計を保護するとともに、金属同士の衝突により発生する急激な加速度波形を緩和した。

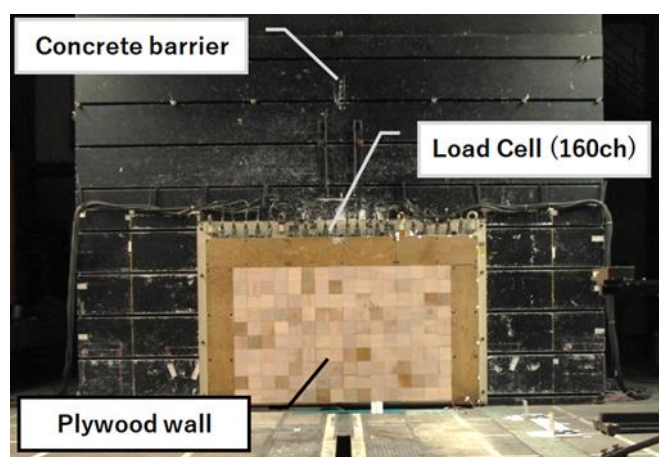


Fig. 4 Experimental facility

本試験に使用したハイブリッド車は、試験時直近 10 年間に販売されたハイブリッド車の販売台数を参考に、ハッチバックセダン型の車両 2 車種とした。試験に使用した車両の諸元を Table 1 に示す。

Table 1 Specifications of Experimental Vehicles

	Vehicle A	Vehicle B
Length	4.390 m	4.445 m
Width	1.695 m	1.725 m
Height	1.425 m	1.490 m
Wheel Base	2.550 m	2.700 m
Rear Over Hang	0.820 m	0.755 m
Tire Tred (Front/Rear)	1.490 m / 1.475 m	1.505 m / 1.480 m
Tire Size	175/65R15	185/65R15
Vehicle Weight (Front/Rear)	1200 kg (714 kg / 486 kg)	1226 kg (749 kg / 477 kg)

今回対象とした A 車と B 車は、車両寸法や実験時質量などの車両諸元はほぼ同等であった。また、駆動用バッテリーセルは、いずれの車両も後部座席の後ろ側のリアフロア上に搭載されており、後輪車軸上に同様に設置されていた。

計測にあたり、A 車および B 車の試験車両には、車両の重心位置近傍にあるエアバッグ ECU 上に加速度計を取り付け、衝突時における車両の加速度を取得した。また、車両の側面と上面には、衝突中の車両の移動軌跡と後部変位を高速度カメラ映像解析により計測するため、ターゲットマークを貼り付けた。

フルラップ後面衝突試験における衝突速度は 50 km/h に設定した。本設定のフルラップ後面衝突試験において、同一の剛性を持つ車両同士の衝突に置き換えた場合、相対速度が 100 km/h 相当の衝突における吸収エネルギーを調べることとなる。

3. 実験・分析結果

3.1. 実験結果

A 車および B 車の実験後の変形状況を Fig. 5 に示す。実験の結果、A 車および B 車はいずれも車両後部が前方に向けてほぼ均一に変形していることがわかる。また、いずれの車両もクォーターパネルとハッチバック部分が「くの字」に変形しており、リアバンパー部で計測した車両の最大変形量は A 車が 0.685 m、B 車は 0.659 m であった。

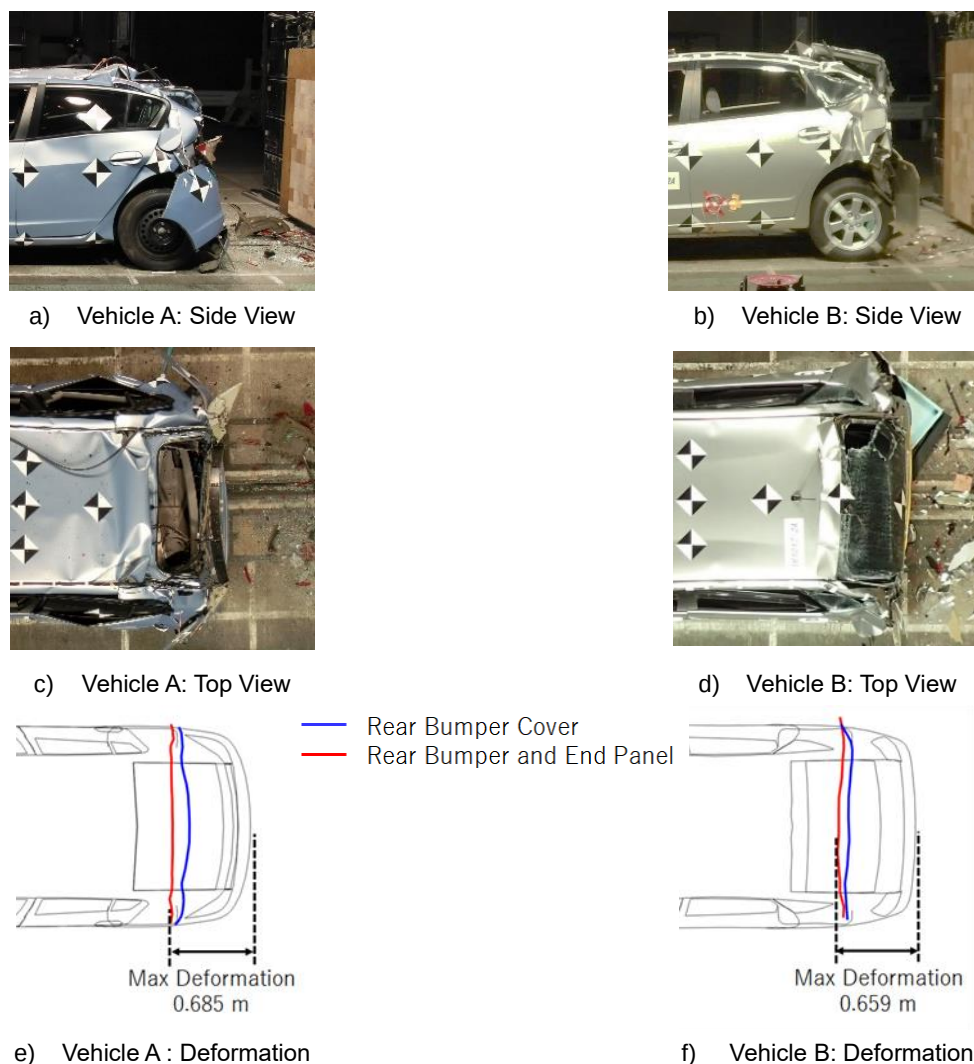


Fig. 5 Experimental Vehicles' Condition after Crash

Table 2 には、A 車と B 車の衝突速度 V と実験時車両質量 m から式(1)によって算出できる運動エネルギー E_k と、衝突によって生じた各車両の最大永久変形量、車両全長およびリアオーバーハングに対する最大永久変形量の比率、左右後輪の前方移動量を示す。A 車と B 車の衝突速度と試験時車両質量がほぼ同じであることから、運動エネルギーも同程度の値となった。また、最大永久変形量や後輪の前方移動量（ホイールベース縮小量）もほぼ同程度の値であった。

Table 2 Experimental Result

	A	B
Crash Speed	50.3 km/h 13.97 m/s	50.19 km/h 13.94 m/s
Vehicle Weight	1200 kg	1226 kg
Kinematic Enagy	117133.8 J	119148.9 J
Maximum Permanent Displacement Ratio to (Length / Rear Over Hang)	0.685 m 15.6 % / 83.5 %	0.659 m 14.8 % / 87.3 %
Wheel Base Displacement (Left / Right)	0.18 m / 0.29 m	0.20 m / 0.80 m

$$E_k = \frac{1}{2}mV^2 \dots (1)$$

E_k : Kinematic Enagy

m : Vehicle Weight

V : Crash Speed

3.2. 分析結果

フルラップ後面衝突試験によって得られた剛体壁面上の荷重および車両の加速度については、それぞれ CFC60 によるフィルタ処理を行った。また、衝突中における車両の移動量については、車両に貼り付けたターゲットマークの内、比較的変形が少ないサイドシル上にある 1 点を抽出し、高速度カメラ映像から車両前後方向（後退）方向の移動量を解析した。Fig. 6 に、フルラップ後面衝突試験によって得られた荷重と加速度，ならびに変位の時系列データを示す。

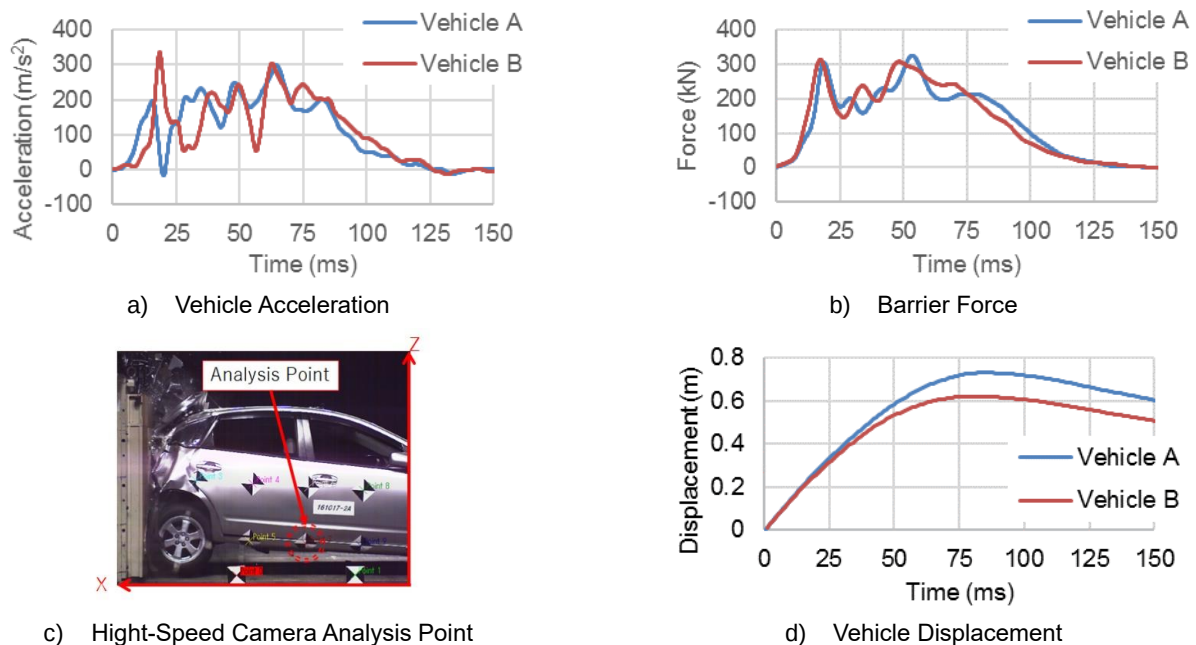


Fig. 6 Analysis Result of Measurement Items

さらに、衝突時間を合わせることで計測した荷重と移動量の関係（荷重－変位曲線）を求め、これを積分することによって後部のエネルギー吸収特性（エネルギー－変位曲線）を求めた。Fig. 7 に荷重－変位曲線とエネルギー－変位曲線を示す。

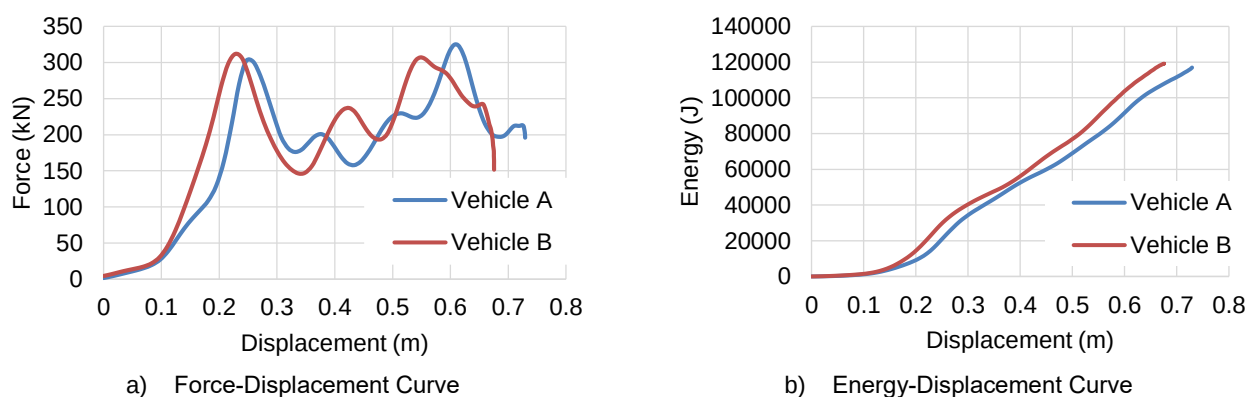


Fig. 7 Analysis Result of Force and Energy on Displacement

得られた荷重－変位曲線から、A 車と B 車の特性が類似していることがわかる。また、エネルギー変位曲線においても、吸収エネルギーが類似していることがわかる。ここで、この結果における変位は高速度カメラ映像解析から算出した動的な変位量となるが、実際の事故調査では車両の永久変形量を計測することとなるため、計測対象とする変位量に違いが生じる。そこで、動的な変位の最大から永久変形に至るまでのスプリングバックが各車両で一定であると仮定し、各車両で計測した永久変形量を最大変位量で除した比率（A 車： $0.685 \text{ m} / 0.729 \text{ m} \div 0.940$ ，B 車： $0.659 \text{ m} / 0.676 \text{ m} \div 0.975$ ）をスプリングバック率とし、動的な変位量に乗じて永久変形量への補正を行った。補正した結果を Fig. 8 に示す。

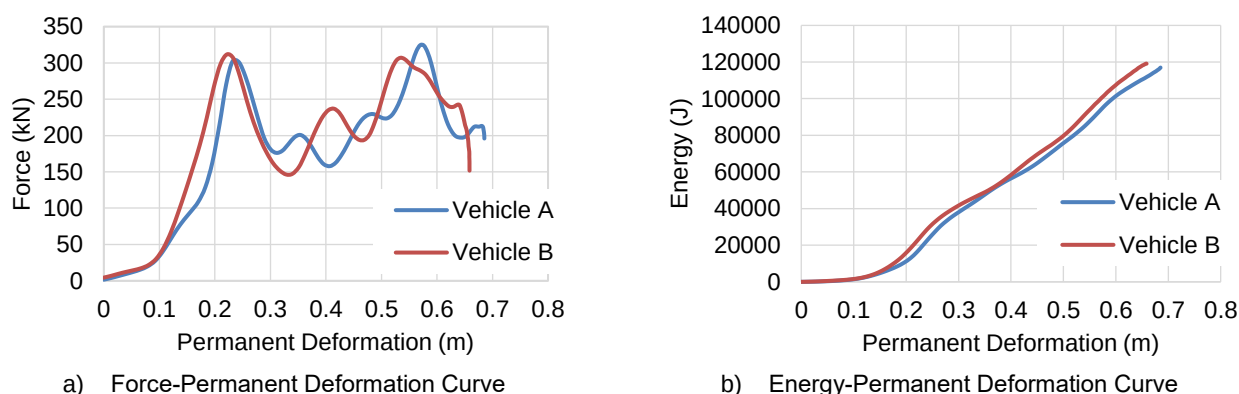


Fig. 8 Analysis Result of Force and Energy on Permanent Deformation

補正した結果、荷重－永久変形曲線およびエネルギー永久変形曲線のいずれにおいても、A 車と B 車の変形特性がより一致する傾向となった。さらに、算出した吸収エネルギーは各車両の質量が考慮されたエネルギー値であることから、他の車両への適用のため、各車両の質量で除することで単位質量あたりのエネルギーを算出した。

次に、従来のエンジン車の後部特性と比較するため、久保田らの文献にて示された特性との比較を Fig. 9 に示す。なお、久保田らは、車両形状（セダン、スモール・軽自動車、セミキャブ、ハッチバック、オフロード）ごとにエネルギーを算出していることから、車両形状ごとの結果を示す。

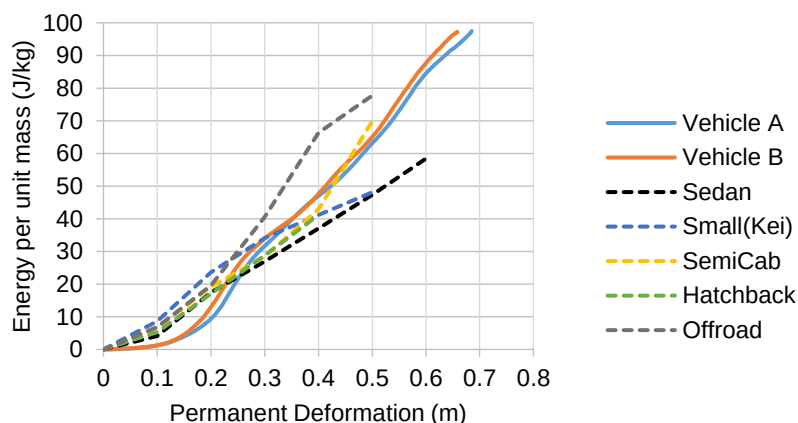


Fig. 9 Comparison of Energy per Unit Mass

これらを比較した結果、永久変形量が 0 m から 0.25 m 程度の比較的小さな範囲では、今回試験した 2 台のハイブリッド車は単位質量あたりのエネルギーが 2 次曲線的に上昇する傾向にあり、久保田らの文献にあるエンジン車より吸収エネルギーが低いとみられる。また、永久変形量が 0.25 m 以降は、久保田らの文献におけるセダンおよびハッチバックと比較すると、吸収エネルギーが高くなっていることがわかった。

以上の結果をもとに、今回実施したハッチバックセダン型ハイブリッド車の後部エネルギー吸収分布図を作成した。作成にあたり、Fig. 10 に示すように、A 車と B 車の永久変形量を 0.1 m ごとに線形化して平均化した。

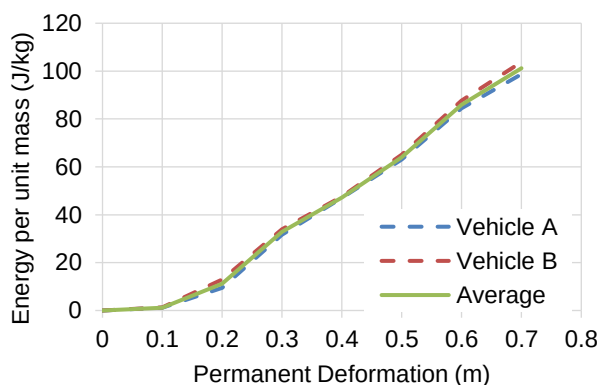


Fig. 10 Analysis Method (Linearization and Averaging of Energy)

従来からあるエネルギー吸収分布図と同様の使用方法が採用できるように、平均化した単位質量あたりのエネルギーを車幅方向に 8 分割し、Fig. 11 に作成したエネルギー吸収分布図を示す。作成したエネルギー吸収分布図は、実際の車両から作成した変形図を使用し、以下①～④の使用方法に従うことで、対象となる車両の変形エネルギーを算出することができる。

- ① 作図した車両の幅をエネルギー吸収分布図の幅と一致させる。
- ② 車体全長（後部の一部分）をエネルギー吸収分布図の縮尺と一致させる。
- ③ 変形した部分にあたる、エネルギー吸収分布図のマスの数値（単位質量あたりのエネルギー）を足し合わせる。
- ④ 足し合わせた結果に、実際の車両質量（kg）を積算して変形エネルギー（J）を算出する。



Fig. 11 Rear Crash Energy Absorption Characteristics of Hatchback Sedan Type Hybrid Vehicles

4. まとめ

ハイブリッド車の普及と交通事故調査の観点を背景に、ハッチバックセダン型ハイブリッド車後部のエネルギー吸収特性をフルラップ後面衝突実験によって把握するとともに、久保田らが行った従来のエンジン車の吸収エネルギーに関する参考文献との比較を行った。

その結果、ハッチバックセダン型ハイブリッド車後部のエネルギー吸収特性は、永久変形量が小さい領域（0～0.25 m）においては2次曲線的に吸収エネルギーが高くなる特性が見られ、従来のエンジン車よりもその吸収エネルギー量は低いことがわかった。また、永久変形量が大きい領域（0.25～0.7 m）では線形的に上昇することがわかった。従来のエンジン車と比較すると、セダン、スモール・軽自動車、セミキャブ、ハッチバック、オフロードの各車両形状で分けた吸収エネルギー特性の中間程度に位置し、セダンおよびハッチバックと比較して吸収エネルギーが高くなっていることがわかった。

本研究の実施によって、取得した後部エネルギー吸収特性を利用してハッチバックセダン型ハイブリッド車のエネルギー吸収分布図を作成することができた。このエネルギー吸収分布図を用いることで、ハッチバックセダン型ハイブリッド車の追突事故（後面衝突事故）の、より正確な吸収エネルギーの算出が可能になると考えられ、今後の事故の調査や捜査への活用が期待される。

今後の課題としては、今回実験した車両と異なるバッテリー搭載位置やハッチバックセダン型以外の車両形状など、他の車両のエネルギー吸収特性についても把握し、対象となる車両の範囲を検討することが必要と考える。

参考文献

- 1) 一般財団法人自動車検査登録情報協会：自動車保有台数推移表
https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv0000010qjk-att/01_hoyuudaisuusui04.pdf (参照 2023.02.10)
- 2) 一般財団法人自動車検査登録情報協会：ハイブリッド車・電気自動車の保有台数推移表
https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv0000010qsk-att/04_HV_EV.pdf (参照 2023.02.10)
- 3) 警察庁：令和3年中の交通事故の発生状況
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032169263&fileKind=2> (参照 2023.02.10)
- 4) 久保田正美ほか：後面形状別の車体エネルギー吸収特性，自動車研究，Vol. 29, No. 3, p.95-98 (2006)

飲酒による運転行動影響についての基礎的検討

Basic Research on the Effects of Alcohol Consumption on Driving Behavior

岩城 亮^{*1}

Ryo IWAKI

藤田 裕一^{*2}

Yuichi FUJITA

吉田 智幸^{*2}

Tomoyuki YOSHIDA

Abstract

In this study, we examined the influence of drinking alcohol on driving behavior to detect drunk driving from the a driver's driving behavior. We conducted an experiment on driving under the influence of alcohol using a driving simulator, compared the distribution trend of driving behavior with and without drinking alcohol, and analyzed how the influence of alcohol affects driving behavior. The results indicated that the influence of drinking alcohol on driving operation and vehicle behavior appeared in lateral indicators such as steering wheel angle, not longitudinal indicators such as accelerator operation and speed. Moreover, a significant regression equation was derived by focusing on these indicators and using multiple regression analysis with breath alcohol concentration (BrAC) as the dependent variable. When the presence or absence of alcohol consumption was determined from the estimated BrAC, with the true positive detection rate set to about approximately 70%, the false positive rate was about approximately 20%.

1. はじめに

飲酒運転に関する道路交通法は、2002 年以降、改定される度に厳罰化されてきた。主な法改定としては、酒気帯びの基準値の引き下げ、飲酒運転の罰則強化、飲酒運転幫助（ほうじょ）者への罰則導入、自動車運転過失致死傷・危険運転致死傷罪の新設などが挙げられる。罰則の対象となる呼気アルコール濃度（以下、「BrAC」とする）の基準値は、2002 年の道路交通法の改定により、0.25 mg/L から 0.15 mg/L に引き下げられた。しかしながら、現状では飲酒運転の根絶には未だ至っておらず、飲酒運転に起因する交通事故も多数発生している現状にある。

飲酒運転に対する自動車の技術面からの対策として、国土交通省は、海外の飲酒運転防止に関する取り組みを参考とし、飲酒運転防止装置の実用化・普及の促進を目的に、呼気吹込み式アルコール・インターロック装置の技術指針を 2012 年 4 月に策定した¹⁾。また事業所に対しての取り組みとしては、2011 年 5 月 1 日より、従来から行われていた業務の開始前、終了後等の点呼時の健康状態確認に加え、呼気アルコール検査および記録を義務付けた²⁾。しかしながら、事業用車両の飲酒運転事故はなくなり、2021 年 3 月 29 日に内閣府の中央交通安全対策会議専門委員会議で定められた第 11 次交通安全基本計画³⁾では、事業用自動車の飲酒運転根絶が目標に挙げられている。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*2 一般社団法人日本自動車工業会

* 2023年2月10日受理

以上のような背景を踏まえ、本研究では交通社会における飲酒運転事故の根絶に向け、その第一段階として事業用車両での飲酒による運転影響を調査することを目的とする。事業用車両では、2022年4月より施行された安全運転管理者選任事業所における、安全運転管理者による運転者へのアルコールチェック義務化⁴⁾に先んじて、2011年5月より、貨物自動車運送事業者において点呼時にアルコール検知器を使用したアルコールチェックが既に義務化されている。しかしながら、長距離運転での途中休憩時など、現状では飲酒に対しての運行管理が行き届かないケースについて、ドライバのモラルに頼らざるを得ない実情がある。このような実情のもと、事業用車両を対象とした飲酒運転を根絶していくためには、運転中のドライバの運転操作や車両挙動から飲酒を含む危険な運転状態を検知して、運転者への注意喚起や運行管理者が遠隔で監視することができるツールの開発・導入が対策の一つとして考えられる。

本研究は、このような対策に向けた基礎検討として、事業用車両を対象とし、飲酒による運転操作や車両挙動への影響の把握と飲酒判別手法の検討を目的とした。具体的には、ドライバの運転操作や車両挙動を指標化し、飲酒有無の運転操作および車両挙動指標の比較により、その影響を分析した。なお、検討は一般財団法人日本自動車研究所の保有する全方位視野ドライビングシミュレータ（以下、「DS」と記す）で実施した。

2. 実験方法

2.1 実験対象車両および走行条件

DS上に再現した事業用車両は、バスタイプと比較してトラックタイプの飲酒運転事故件数が多いという事故実態を鑑み⁵⁾、また販売台数が多い仕様として、「トラック（12 m カーゴ車 6×2）」とした。車両モデルのパラメータは、大型トラックに関する既存の研究例⁶⁾を参考に、車両重量 11,545 kg、ヨー慣性モーメント 9,700 kg/m²、車両の全幅 2.5 m に設定した。

走行環境は、一般的な高速道路に相当する車線幅 3.5 m の 2 車線を有する幅員のカーブおよび直線道路とした。さらに道路の横断勾配を模擬するため、車両重心位置への外力（道路構造令を基に 2.0% の横断勾配に相当する値）を設定した。これにより、ハンドルを中立状態にしても、走行中の車両は少しずつ左側の路側帯に向かうこととなるため、実験参加者には車線内を維持するための修正操舵が求められる。実験参加者には、80 km/h の速度を維持しつつ車線から逸脱しないように走行するよう教示した。

2.2 計測項目および実験参加者

DS の計測項目として、運転操作と車両挙動に関する物理量を 120 Hz のサンプリング周期で計測した（Table 1）。また、ドライバの顔、ペダル操作、前方映像を同期して録画した（Fig. 1）。ドライバの呼気アルコール濃度（BrAC）の計測は、燃料電池式のセンサにより分解能 0.001 mg/L まで測定可能な東海電子株式会社製の ALC-pico を用いた。

実験参加者は、事前に実験内容の説明と参加の承諾（インフォームドコンセント）を得た 30 代から 50 代の飲酒可能で健康な成人男女 11 名（年齢平均値：44.5 歳、標準偏差：12.2 歳）とした。実験実施前に、実験内容及び安全性について、日本自動車研究所・実験倫理委員会にて審議し、承認（承認番号：21-010）が得られた後に実施した。

Table 1 Measurement data		
Driving operations (120Hz)	Vehicle behaviors (120Hz)	Videos (60Hz)
Steering wheel angle (deg)	Velocity (km/h)	Pedal operation (foot)
Gas pedal stroke (%)	Longitudinal/Lateral acceleration (m/s ²)	Forward image of the driving simulator
Brake pedal force (N)	Yaw angle (deg)	Face of the experiment participants
	Vehicle lateral position (m)	



Fig. 1 Example of video recording

2.3 実験手順

Fig. 2 に実験の手順を示す。参加者には、実験を開始する前に、実施内容・方法の説明および既往歴や体調の確認を行い、予め実験への参加同意を得た。実験では、各参加者とも飲酒の条件を変化させて、3回DSでの運転を行った。走行は飲酒前に1セッション（走行セッション1）、飲酒後に2セッション（走行セッション2および3）を設定し、各セッションの間に参加者に飲酒させた。

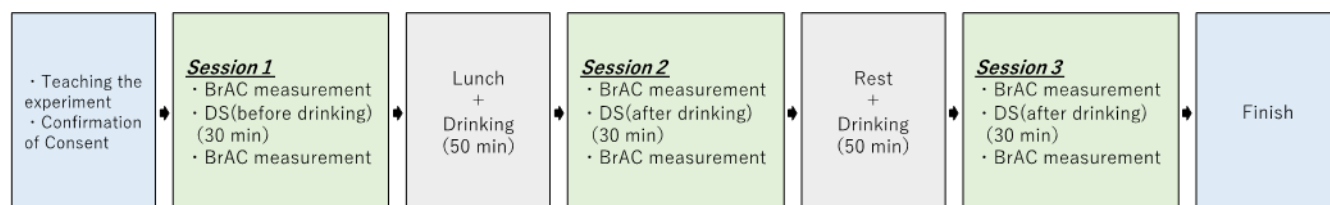


Fig. 2 Experimental procedure

各セッションでは、1回あたり5分程度の走行を6回実施した。各走行の前後にはBrACの計測を行い、走行セッション2および走行セッション3については、BrAC計測の10分前までに飲食や喫煙を終えることとした。なお、各参加者とも、口腔内に残るアルコールの影響を除去するため、BrACの計測前に十分に水でうがいをを行った。

セッション間の飲食においては、アルコール飲料の種類は限定せず、セッション1とセッション2の間の飲食にて、概ね0.15~0.25 mg/LのBrAC（ビール1,000 ml程度）となるよう飲酒を制限し、セッション2とセッション3の間の飲食では飲酒量を限定しなかった。ただし、過剰飲酒とはならないよう、アルコールの種類および量から、血中アルコール濃度の推定値を随時計算して状況を把握し、実験者および参加者の判断で摂取量を制限した。なお食事は、アルコールの吸収・代謝を妨げないよう脂肪分の少ないもの（握り寿司、枝豆、サラダ、きんぴらごぼう）を選定し、全ての実験参加者に同一の食べ物を提供した。

3. 実験結果

3.1 BrACの計測結果

参加者ごとのBrACの結果をFig. 3に示す。図中、Drink 1はセッション2、Drink 2はセッション3でのBrACの平均値を示している。セッション2では概ね0.15から0.25 mg/L程度の飲酒状況となっているが、参加者No. 2および11は若干BrAC 0.25 mg/Lを上回り、また参加者No. 7はアルコールの飲量が少なく、BrACを計測できなかった。さらにセッション3では、参加者No. 7を除きBrAC 0.25 mg/Lを超える飲酒状況となっており、全参加者でセッション2（Drink 1）よりもセッション3（Drink 2）の方が高いBrACとなった。

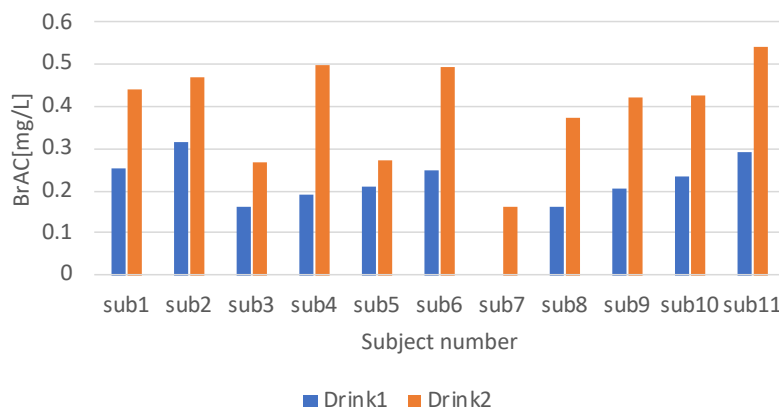


Fig.3 BrAC measurement results

3.2 運転操作と車両挙動に及ぼす飲酒の影響の分析

BrACを計測できなかった参加者No. 7のセッション2を除いたデータを用いて、飲酒による運転操作や車両挙動の影響を分析した。また本稿では、運転への飲酒影響分析の第一段階として、直線走行区間のみを対象とした。

3.2.1 評価指標

飲酒による影響として、ハンドルのふらつきや急な運転行動が運転操作や車両挙動として観測されることが想定される。そこで、運転操作量として、ハンドル角度、ハンドル角速度、アクセル操作量、車両挙動量として、速度、車線中心からの車両の重心位置までの横変位（以下、「車両横変位」とする）を分析に用

いた。これらの計測項目を用いて、飲酒の有無で比較をするにあたり、考える指標を用いて探索的に検討した。

まず飲酒の有無を比較した一例として、ハンドル角度の時系列データを Fig. 4 に示す。図において、図中の青線（セッション 1）に比較し、赤線（セッション 3）の振幅が大きくなっている。このような飲酒による影響をとらえるため、一定時間間隔（時間窓長）ごとの変動（以下、「区間内変動指標」と記す）を求めて、統計的に整理することで指標化を試みた。なお、区間内変動指標としては、それぞれの時間窓内の“最大値と最小値の差”と“二乗平均平方根（以下、「RMS 値」とする）”を算出した。以上の指標化をすべての計測項目にて算出し、計測項目ごとの時間窓長については、周波数分析結果を用いて決定した。運転操作（ハンドル角度、角速度、アクセル操作量）の時間窓長は、周波数特性が 0.6Hz～0.9Hz に分布していたことから 10 秒間とし、車両挙動（速度、車両横変位）の時間窓長は、周波数特性が 0.3Hz 程度であったことから 30 秒間とした。

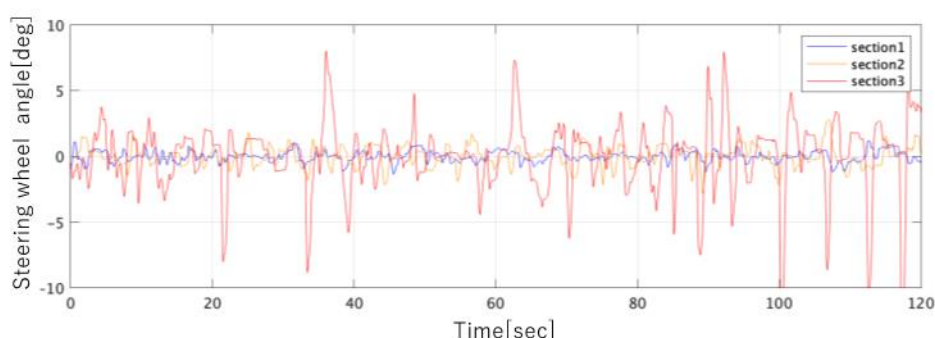


Fig. 4 Example of steering wheel angle data

次に飲酒の影響はハンドル操作への影響が大きいことが先行研究からも明らかになっている^{7) 8)}ため、ハンドル操作に関連する指標として、“ステアリングエントロピー⁹⁾”およびハンドル角度の周波数についても指標化した。ハンドル角度の周波数については、FFT による周波数分析結果から、パワースペクトルのピーク周波数およびパワースペクトルの累積和が 50%を超えた周波数（以下、「重心周波数」とする）を用いた。ステアリングエントロピーは、ハンドル操作の滑らかさの変化に着目した指標であり、飲酒の影響により、滑らかなハンドル操作ができなくなることが予想される。一方、重心周波数やピーク周波数は、飲酒の影響により修正操舵や逸脱の回避操作などの頻度が多くなることで高周波となることが予想される。

以上の評価指標を Table 表 2 にまとめる。なお、個人間差を排除した飲酒による影響を明らかにするため、参加者ごとに全データをセッション 1（飲酒前）のデータの平均値で除して個人内での相対値に変換した。

Table 2 Evaluation indicator

Target		Content
Driving operation	Steering wheel angle	Variable indicator (max-min)
		Variable indicator (RMS)
		Steering entropy
		Centroid frequency
		Peak frequency
	Steering wheel angular velocity	Variable indicator (max-min)
		Variable indicator (RMS)
	Gas pedal stroke	Variable indicator (max-min)
		Variable indicator (RMS)
Vehicle behaviors	Velocity	Variable indicator (max-min)
		Variable indicator (RMS)
	Vehicle lateral position	Variable indicator (max-min)
		Variable indicator (RMS)

3.2.2 飲酒の有無に対する評価指標別の差の有無

飲酒の有無別に各評価指標の平均値，標準偏差，中央値を算出し，飲酒なしと飲酒あり間の統計的有意差の有無を F 検定および中央値検定により調べた結果を Table 3 に示す．表中，有意水準 5% で統計的有意差が認められた場合を赤字で示している．

Table 3 Test results for each indicator

Indicator	No drinking			Drinking			F-test (p value)	Median test (p value)
	mean	std	median	mean	std	median		
Steering wheel angle (Variable indicator(max-min))	1.00	0.27	1.01	2.71	3.60	1.41	p<0.01	p<0.01
Steering wheel angle (Variable indicator(RMS))	1.00	0.25	0.98	2.47	3.19	1.41	p<0.01	p<0.01
Steering entropy	1.00	0.06	1.00	0.95	0.09	0.95	p<0.01	p<0.01
Steering wheel angular velocity (Variable indicator(max-min))	1.00	0.23	0.99	2.85	4.18	1.26	p<0.01	p<0.01
Steering wheel angular velocity (Variable indicator(RMS))	1.00	0.29	0.96	2.52	3.42	1.27	p<0.01	p<0.01
Gas pedal stroke (Variable indicator(max-min))	1.00	0.72	0.76	4.23	10.06	0.88	p<0.01	0.22
Gas pedal stroke (Variable indicator(RMS))	1.00	0.74	0.77	4.42	11.07	0.87	p<0.01	0.31
Velocity (Variable indicator(max-min))	1.00	0.76	0.86	2.12	3.15	1.08	p<0.01	0.14
Velocity (Variable indicator(RMS))	1.00	0.76	0.83	2.12	3.19	0.99	p<0.01	0.15
Vehicle lateral position (Variable indicator(max-min))	1.00	0.26	0.99	1.76	1.72	1.36	p<0.01	p<0.01
Vehicle lateral position (Variable indicator(RMS))	1.00	0.28	0.97	1.67	1.40	1.38	p<0.01	p<0.01
Centroid frequency (Steering wheel angle)	1.00	0.24	1.00	0.94	0.32	0.88	p<0.01	0.02
Peak frequency (Steering wheel angle)	1.00	0.43	0.88	1.16	0.73	0.96	p<0.01	0.34

F 検定の結果では、いずれの指標値ともに変化幅（標準偏差）は飲酒なし走行と比較して飲酒あり走行が大きかった。中央値検定では、飲酒なしと飲酒ありとの間で、以下の指標で有意な差が認められた。

- ・ ハンドル角度（区間内変動指標_最大-最小）
- ・ ハンドル角度（区間内変動指標_RMS）
- ・ ステアリングエントロピー
- ・ ハンドル角速度（区間内変動指標_最大-最小）
- ・ ハンドル角速度（区間内変動指標_RMS）
- ・ 車両横変位（区間内変動指標_最大-最小）
- ・ 車両横変位（区間内変動指標_RMS）
- ・ 重心周波数（ハンドル角度）

飲酒の影響による評価指標の中央値は、飲酒なしと比較して飲酒ありにおいて、ハンドル角度、ハンドル角速度、車両横変位の区間内変動指標で大きくなり、ステアリングエントロピー、重心周波数（ハンドル角度）では小さくなった。区間内変動指標では、飲酒によって運転操作が不正確となり、丁寧な操作が困難となったことにより、変動が大きくなっていると考えられる。重心周波数では、飲酒の影響でゆっくりとしたハンドル操作になったために低くなり、さらにステアリングエントロピーも減少したものと推察される。走行後の内省報告では、「飲酒状態では、車線の接近に対して修正操舵をする回数が減った」との報告もあり、飲酒による感覚機能の低下や集中力の低下の影響が推察された。

3. 2. 3 複数の指標による飲酒有無の判別の試み

運転操作や車両挙動指標を用いた飲酒状態の判別手法として、より実交通環境に近い場面に応用していくためには、単独の指標ではなく複数の指標で飲酒の有無を判別することが必要と考えられる。そこで本項では複数の指標による飲酒有無の判別について検討した。

複数の指標による飲酒有無の判別には重回帰分析を用いた。BrAC を目的変数、Table 2 に示した評価指標値を説明変数とした。重回帰式を用いて、飲酒なし走行のデータを用いた BrAC の推定値と、飲酒あり走行のデータを用いた BrAC の推定値を算出し、飲酒有無の判別性について確認した。

(1) 重回帰分析に向けた説明変数の選定

まず重回帰分析の説明変数に用いる評価指標の選定を実施した。説明変数同士の相関係数が高い場合、重回帰式の係数の分散が大きくなり、重回帰式に信頼性が無くなってしまうため（多重共線性）、以下の手順を用いて評価指標を選定した。選定にあたり、各指標（説明変数）と BrAC（目的変数）との相関が高く、かつ指標間の相関が低い指標を選定することを目指した。

1. BrAC と各指標との相関係数の絶対値を調査（Fig. 5 参照）
2. BrAC との相関係数が 0.15 以上の指標にて、指標間の相関係数が 0.7 を超える指標を抽出し、BrAC との相関係数が最も高い指標を代表として選定する。さらに選定した指標との相関が 0.7 を超える指標を除外する。（相関係数 0.15 は 100 組のデータでの相関係数を有意と判定する危険率が 10% 未満の値、相関係数 0.7 は一般的に強い相関関係とされる水準）
3. 2 にて選定または除外された指標を除き、残された指標にて 2 の選定プロセスを実施する。

以上のプロセスを、BrAC との相関係数が 0.15 以上の指標が無くなるまで繰り返し実施する。前項の中央値検定にて飲酒有無による有意差が認められた指標が選定されていない場合、その指標については飲酒有無による判別性が期待されるため、説明変数として選定する。

さらに相関係数による指標選定後、多重共線性の検出を確認する指標である、指標間の VIF (Variance Inflation Factor) を調査し、10 を超えた変数は除外する。

以上の方法にて変数選択を実施したところ、以下の 4 つの指標が選定された。なお 4 つの指標間で VIF を調べたところ、 $VIF > 10$ となる指標はなく、説明変数間の多重共線性の検出はないと考えられる。

- ・ ハンドル角度（区間内変動指標_最大-最小）
- ・ ステアリングエントロピー
- ・ 速度（区間内変動指標 RMS）
- ・ 重心周波数（ハンドル角度）

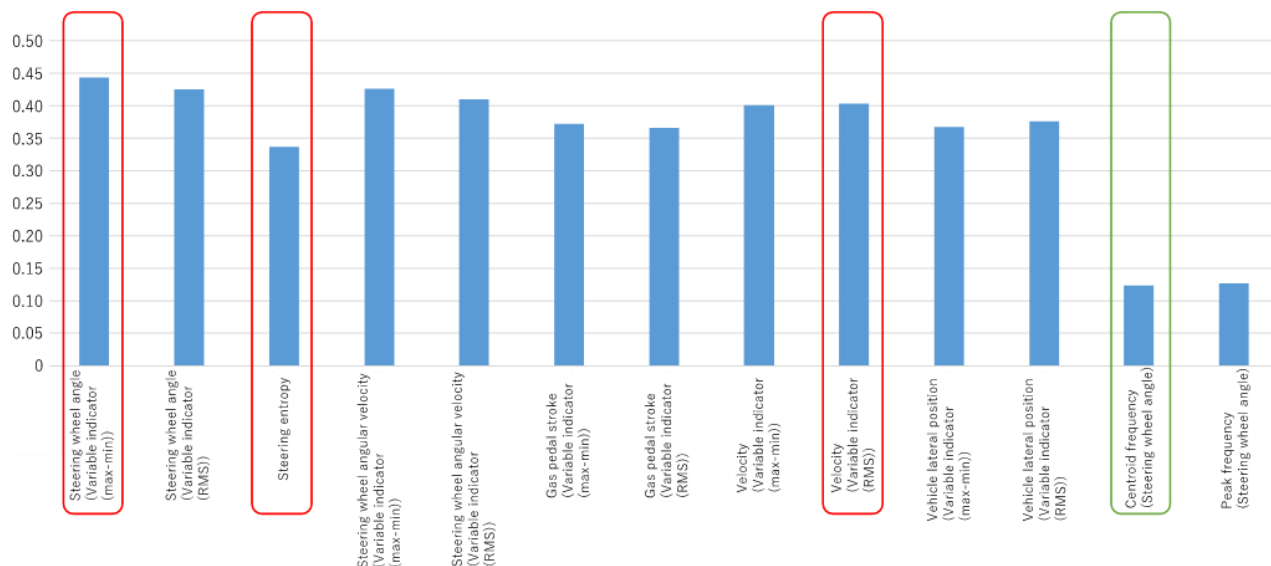


Fig. 5 Correlation coefficient between BrAC and indicators

(2) 重回帰分析の結果

選定した評価指標を説明変数、BrAC を目的変数とした重回帰分析を実施した。重回帰分析で得られた偏回帰係数、説明変数および目的変数を標準化した重回帰分析で得られた標準偏回帰係数、および VIF 値を左表に、BrAC の観測値（実験で計測した BrAC）と推定値の散布図を右図に示した図を、Fig. 6 に示す。図中に貼付されている重回帰分析の決定係数（ R^2 値）は 0.38 であった。また、得られた重回帰式の有意性を分散分析により調べた結果、 $p < 0.01$ となり、有意な回帰式と認められた。さらに、BrAC に対して統計的に有意（ $p < 0.05$ ）な影響を受ける指標は、ハンドル角度と速度の変動指標およびステアリングエントロピーであった。

Indicator	Partial regression coefficient	Standard partial regression coefficient	F-value	p-value	VIF
Steering wheel angle (Variable indicator(max-min))	0.018	0.294	17.238	0.000	1.278
Steering entropy	-0.757	-0.357	31.815	0.000	1.022
Velocity (Variable indicator(RMS))	0.020	0.298	17.386	0.000	1.305
Centroid frequency (Steering wheel angle)	-0.026	-0.041	0.424	0.516	1.022
Constant	0.892		45.058	0.000	

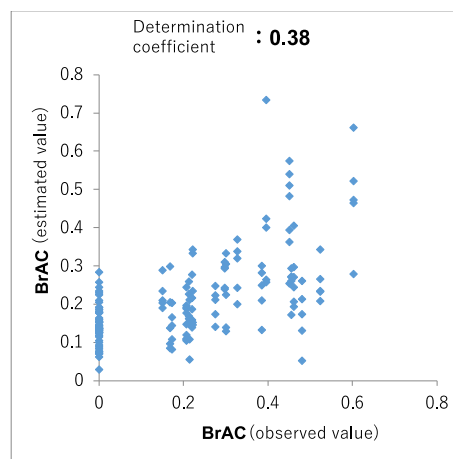


Fig. 6 Result of multiple regression analysis

得られた重回帰式を用いて、飲酒なし走行のデータを用いた BrAC の推定値と、飲酒あり走行のデータを用いた BrAC の推定値を算出し、作成したヒストグラムを Fig. 7 に示す。飲酒なし走行の分布が BrAC 0.00～0.25 mg/L 付近に分布しているのに対し、飲酒あり走行の分布が BrAC 0.10～0.50 mg/L に分布しており、飲酒なし走行のデータでの推定範囲と飲酒あり走行のデータでの推定範囲が重複した。この重複は、実際には飲酒していないにもかかわらず飲酒ありと判別されてしまうこととなり、本結果を用いて車両挙動や運転動作から飲酒判別を行う場合に誤検知を含むことを示している。

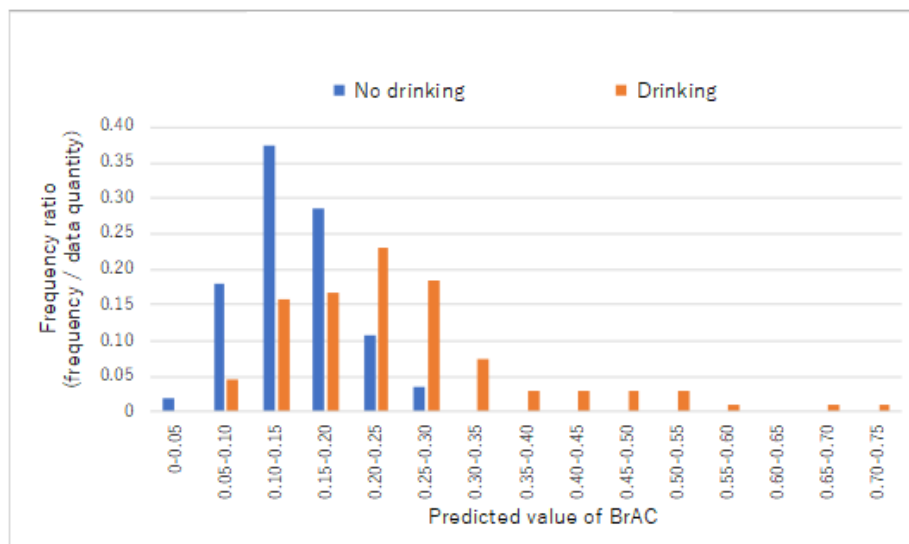


Fig. 7 BrAC Distribution by multiple regression equation

重回帰式を用いた BrAC 推定の結果、作成したヒストグラムの分布範囲が重複していることから、明確に飲酒の有無を判別できないため、ROC 曲線を用いて分布の重なり度合いによる正検知率と誤検知率のバランスを把握した。ROC 曲線を用いて分析した結果、AUC 0.8 となった (Fig. 8)。また正検知率と誤検知率のバランスの例として、約 7 割の正検出率の場合の誤検知率は 2 割程度であった。

以上より、BrAC を目的変数とした複数の指標値による重回帰式で飲酒判別を実施した結果、有意な回帰式を得られたが、推定した BrAC から飲酒有無を判別すると、分布範囲が重複し、ある一定程度の誤検知率を伴うということがわかった。

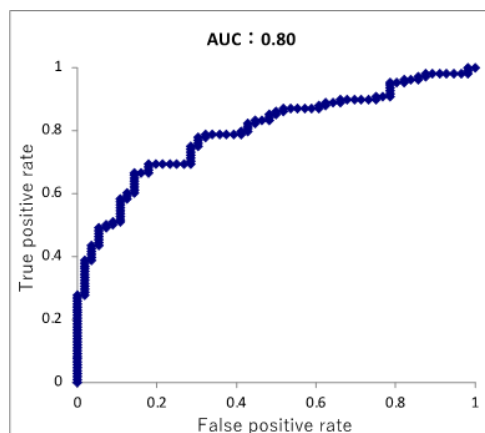


Fig. 8 ROC curves

4. まとめ

本稿では、飲酒なし走行での各指標の分布と飲酒あり走行の分布を比較し、指標値の変化幅の大小を飲酒の有無で比較するために F 検定、さらに飲酒の有無により指標値分布の中央値の大小に差があるかどうかを比較するために中央値検定（ウィルコクソン順位和検定）により調べた。得られた結果を以下に示す。

- 横方向の運転操作・車両挙動の変動性
 - ✧ 飲酒により増大、変化幅も増大
- 前後方向（アクセル操作・速度など）の変動性
 - ✧ 飲酒による差なし、ただし変化幅は増大
- ステアリングエントロピー、ハンドル角度の周波数
 - ✧ 飲酒により減少、変化幅は増大

本研究の目的とした飲酒が運転操作や車両挙動に及ぼす影響は、ハンドル角度などの横方向の指標により現れることが確認された。また、それらの指標に着目し、BrAC を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、有意な回帰式を得られた。推定した BrAC から飲酒有無を判別すると、7 割程度の正検知率を設定した時に、2 割程度の誤検知率を伴う結果となった。

より判別精度を向上させていくためには、飲酒の影響がドライバにより異なることが予想されることから、個人ごとに飲酒判別方法を検討し適合していくことが必要と考えられる。さらに実交通環境を想定すると、たとえば道路線形に対する操舵が必要となる場合や制限速度の変更などの速度変更を伴う状況など、本検討で対象とした以外の様々な状況が考えられる。今後、より実交通環境に近い状況下においても飲酒有無の判別を検討していくことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：呼気吹込み式アルコール・インターロック装置の技術指針（2012）
<https://www.mlit.go.jp/common/000207320.pdf> (参照 2023.02.10)
- 2) 国土交通省：旅客自動車運送事業運輸規則及び貨物自動車運送事業輸送安全規則の一部を改正する省令並びに関係通達の改正について、国土交通省プレスリリース（2010）
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha02_hh_000038.html (参照 2023.02.10)
- 3) 国土交通省：第11次交通安全基本計画（2021）
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001401189.pdf> (参照 2023.02.10)
- 4) 警察庁：道路交通法施行規則の一部を改正する内閣府令等の施行に伴う安全運転管理者業務の拡充について、警察庁通達（2021）
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/enzenuntenkanrisya/pdf/20211110tuutatu_1.pdf (参照 2023.02.10)
- 5) 公益財団法人交通事故総合分析センター：事業用自動車の交通事故統計（2020）
https://www.itarda.or.jp/materials/business_car/publications (参照 2023.02.10)
- 6) 吉田 順 ほか：トラックのPath Following制御に基づく自動運転，日本機械学会論文集，77巻，783号，p.2011-11（2011），
[doi:10.1299/kikaic.77.4125](https://doi.org/10.1299/kikaic.77.4125)
- 7) Takashi Tagawa et.al., Feasibility Study on Detecting Drunk Driving by Driving Maneuver and Vehicle Behavior: Discriminating between Drunk Driving and Drowsy Driving Using Data from Vehicle-based Sensors, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Detroit, USA (2017)
- 8) 樋口 進：アルコールの運転におよぼす影響，日本アルコール・薬物医学会雑誌，第46巻，1号，p.127-139（2011），
<https://www.j-arukanren.com/file/12.pdf> (参照 2023.02.10)
- 9) 伊藤 敏行 ほか：車載情報機器に関する自工会安全性ガイドラインの策定とステアリングエントロピー法による運転者負荷評価，IATSS Review, Vol.26, No.4（2000），
<https://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/26-4-06.pdf> (参照 2023.02.10)

眼疾患（緑内障）における運転への 補償行動に関する予備的検討

Preliminary study on compensatory behavior for driving with eye disease (glaucoma)

佐藤 健治^{*1}

Kenji SATO

安部 原也^{*2}

Genya ABE

植田 俊彦^{*3}

Toshihiko UEDA

鈴木 弘隆^{*4}

Hiroataka SUZUMURA

Abstract

Japanese statistics show that one in twenty people over the age of 40 (estimated about 3.6 million) have glaucoma in Japan. Previous studies suggested that glaucoma patients compensate for visual field impairment by eye movements. However, there are only a few studies on such compensatory behavior. In this study, a driving simulator experiment was conducted to understand the compensatory behavior of glaucoma drivers, especially their eye-gaze behavior. Eight healthy elderly drivers and five glaucoma patients participated in the experiment. Gaze behavior while driving was measured under various traffic conditions. The results showed that glaucoma patients had a higher rate of gazing to the left side in addition to the front, in several driving situations compared to normal elderly drivers. Compensatory behaviors of glaucoma patients are discussed in terms of their eye-gaze behavior.

1. はじめに

自動車の運転では認知、判断、操作という一連の過程が一般的に仮定されている¹⁾。認知はある対象を知覚し、その対象の特徴などを理解する重要な過程であり、運転における認知は視覚情報によるところが多いとされている²⁾。視覚的な知覚とは、眼が捉えた光刺激を脳へ伝送し情報処理されることである。したがって、眼疾患によって視覚に何らかの障害が生じると、認知へ悪影響を及ぼすばかりではなく、判断、操作へも影響を及ぼし、交通事故に至る危険性が懸念される。

視野障害が生じる疾患の一つに緑内障があるが、多治見疫学調査によると、40歳以上の20人に1人（推定約360万人）が緑内障に罹患し、加齢とともに罹患率が上昇していることが報告されており³⁾、高齢化が進む国内においてさらに患者の増加が想定される。緑内障の症状には、視神経の異変により視野が狭くなる視野狭窄や、部分的に見えない範囲（暗点）が生じるなどの視野障害がある。緑内障の特徴として、症状の進行が緩徐であること、固視点周囲の視野が比較的後期まで保たれるために視力低下が初期では現れにくいこと、左右眼で視野障害の進行に差があるために両眼視で視野障害を補えることによって日常生活において視野障害を自覚しにくいことなどがあげられる。

緑内障に起因する視野障害と自動車の運転に関する先行研究では、緑内障が重症であるほど交通事故率が高いことが報告されている^{4),5)}。シミュレータ実験において、視野全体の障害がより進行している後期緑内障と正常高齢者の事故件数を調べた研究では、視野障害度が高いほど事故リスクが高かった⁶⁾。一方、緑内障に罹患しているドライバは、罹患していない高齢ドライバに比べて、交通事故への遭遇率が低いことも報告されている⁷⁾。これについては、人間は加齢などに伴う機能低下に応じて、適応的に行動する「補償行動」を行い、結果的に問題（交通事故）が生じないように行動していることが報告されており^{8),9),10)}、緑内

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 Ph.D

*3 二本松眼科病院 博士（医学）

*4 すずむら眼科 博士（医学）

* 原稿受理 2022年6月10日 / 初掲載 2023年7月

障に罹患しているドライバにおいても、夜間、霧、雨、通勤時間帯、高速道路などの状況に応じて運転機会を避ける補償行動を行うことで、交通事故への遭遇率が低かったと考えられた⁷⁾。

ここで、補償行動について、Michon¹¹⁾ は、悪天候時に運転を避けるといった運転習慣に関する補償を「戦略的補償」、負荷が高い運転状況において、運転速度の調整を行うといった運転行動に関する補償を「戦術的補償」とした。前述の、夜間、霧、雨、通勤時間帯、高速道路などの状況に応じて運転機会を避けるといった補償は戦略的補償と言える。一方、戦術的補償の一つとして、運転速度の調整の他に、視線移動があると考えられる。緑内障では、視線移動を行わず一点を見続けた場合には、その間、見えにくい範囲が留まり続ける。そのため、視線移動を行い、見えにくい範囲が留まり続けないようにすることで、運転時における見落としなどを低減できる可能性があると考えられる。このような視線行動による補償行動について、緑内障患者は、健常者よりも運転映像視認中のサッケードが多いことが報告されている¹²⁾。サッケードとは、ある固視点から次の固視点への眼球運動のことであり、この眼球運動すなわち視線移動により、視野障害を補償していることが示唆された¹²⁾。このように、緑内障に罹患したドライバの運転における補償行動についての研究結果が報告され始めているものの、運転における認知の大部分を占める視覚、すなわち視線行動に関して十分に明らかになっていない。

自動車の運転は、時々刻々に道路の交通状況が変化し、歩行者の飛び出しや先行車の急停止等を予測し、交通状況の変化に備えることが重要と考えられる。このような交通状況の変化に対し、緑内障に罹患しているドライバがどのように戦術的補償をしているかを明らかにすることで、緑内障と診断された患者に対し、運転へのアドバイスや高度運転支援システムの設計に貢献できると考えられる。そこで本研究では、戦術的補償の一つである視線行動に関する予備的に検討するため、緑内障に罹患したドライバと健常高齢ドライバとの自動車運転時の視線行動を比較した。

2. 実験方法

2.1 実験参加者

実験参加者は、日常的に車を運転しているドライバとし、緑内障に関する治療を行っていない健常高齢者8名と緑内障に罹患している患者5名が実験に参加した (Table 1)。健常高齢者の正常視野を確認するために、松本¹³⁾ が開発したスクリーニング検査を実施した。健常高齢者8名のうち1名において、視野障害の疑いが確認されたため、分析から除外した。緑内障患者の視野障害度を調べるために、Humphrey 静的視野検査計 (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA) の 30-2 プログラムを用い、左右片眼ずつ中心 30° の範囲の光に対する感度を測定した。測定結果より算出される MD (Mean deviation) は、視野全体の平均的な感度低下の程度を示したものであり、MD が負の値になるほど視野全体の障害が進行していることを表した。MD を用いた緑内障の症状の簡易評価として、Anderson 分類がある。この分類では、MD が両眼ともに -6 dB 以上を初期、MD が両眼ともに -12 dB 以下を後期、どちらも満たさない場合を中期と判定される。この分類を用いて緑内障患者の症状を初期・中期・後期に簡易評価すると、本実験に参加した緑内障患者は全て中期緑内障であった。

なお、本稿で扱う実験内容及び安全性については、事前に一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) の定める実験倫理委員会にて審議し、承認を得た (承認番号: 19-024)。実験参加者に対し、実験実施前に、インフォームドコンセントを得た上で実施した。

Table 1 Information of experimental participants

	N	Age (year)	Driving record (year)	MD (dB)	
				Better	Worse
Healthy elderly person	8	68.9±4.2	48.8±5.7	—	—
Glaucoma patient	5	61.6±11.9	42.0±11.0	-4.65±3.12	-13.13±7.46

2.2 実験装置

走行環境の模擬および運転行動の計測には、JARI 所有の実験装置、全方位視野ドライビングシミュレータ (DS) を用いた。当該装置は、360° のスクリーンに 6 軸動揺装置機構と実車ボディを搭載していた (Fig.1)。ドライバへの視覚情報が全方位から提供されるため、実験環境への没入感が得られる装置であった。

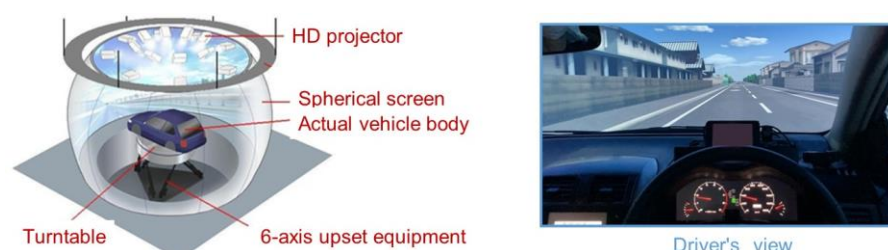
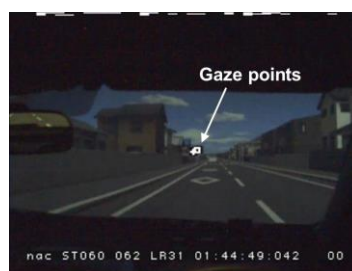


Fig.1 Configuration diagram of DS

ドライバの視線行動の計測には、アイマークレコーダ (Fig.2(a) : NAC 製 EMR-9) を用いた。当該装置により、ドライバ前方の外界映像 (画角 62°) に注視点を重ねた画像 (Fig.2(b)) を取得し、後述するドライバの注視割合の評価を行った。



(a) EMR mounting on the driver



(b) Image with overlapping gaze points

Fig.2 Gaze measurement

2.3 実験条件

実験条件は異なる 9 パターンの走行環境とし、1 名の参加者がすべての走行環境を体験する参加者内計画にて実験を実施した。実験条件となる走行環境の設定にあたっては、一般ドライバの交通事故実態を参考に、事故が発生し易い状況を対象とした。具体的には、交通死亡事故件数の中で、人対車両事故の割合が比較的高いことから¹⁴⁾、市街地を対象とした。人対車両の交通死亡事故については、これまでの研究から、四輪車直進時に多い¹⁵⁾ため、直線部を対象とした。また、ヒヤリハットは、駐車車両や対向車、建物、樹木等の影から歩行者の飛び出しが多く¹⁶⁾、都市部における歩行者の横断歩道外の道路横断の特徴は、横断防止柵の開口部で多い¹⁷⁾。これらの知見から、実験で再現する交通場面は、片側 1 車線の直線路とし、道路形状 (単路、交差点) および道路の附属施設 (横断歩道、信号機、ガードレール、植樹帯) の有無を組み合わせた 9 場面とした (Table 2)。9 場面を一人あたり 2 回走行し、実施順序は実験参加者ごとにランダムにした。

9 条件すべてにおいて、前方に先行車を配置し、参加者には 40 km/h で走行するように要請した。自車が 40 km/h で走行した場合の自車と先行車との車間時間は 6.0 秒であった。参加者間で走行速度が大きく異なると、分析区間内の走行時間が統制できないため、自車の速度が 40 km/h を超える場合には、エンジン出力を制限し、速度が高くないようにした。ただし、参加者には「普段通り事故を起こさないように安全運転をする」ように要請したため、自車の速度が 40 km/h に満たないケースについては、参加者が安全運転のために必要と判断したものとみなし、速度の調整 (強制的な速度増加) は行わなかった。

Table 2 Experimental conditions

Experiment condition			Image of driving environment
No.	Road shape	Road facilities	
1	Non-intersection	—	
2		Pedestrian crossing	
3		Pedestrian crossing + Traffic signal	
4		Guard rail	
5		Tree-lined zone	
6	Crossroads	Pedestrian crossing	
7		Pedestrian crossing + Traffic signal	
8	T-junction (R) ※Connection with a road to the right	Pedestrian crossing	
9	T-junction (L) ※Connection with a road to the left	Pedestrian crossing	

2.4 実験手順

実験当日は、実験に関する説明およびインフォームドコンセント取得の後に、練習走行と本番走行を実施した。実験参加者1名あたりの練習走行時間は約10分、本番走行時間は9条件合わせて約35分であった。

運転課題として、片側1車線の市街地道路を、先行する車両に追従して直進するように教示した。ドライバーには現実には起こり得る交通場面での運転行動を調べるため、普段通り安全運転を行うように教示した。走行中に気分や体調の変化が見られた場合や実験参加者からの申し出があった場合には、その時点で実験を終了した。

2.5 評価方法

ドライバーの視線行動を調査するため、便宜的に設定した Fig.3 に示す4つのエリアおよびルームミラー、その他のエリアを対象に、注視点の累積停留時間を計測して注視割合を求めた。なお、瞬きや計測ノイズは分析から除外した。分析区間は、各実験条件の交差点や道路の附属施設に到達する111 m前(40 km/hで走行した場合、約10秒前)から、交差点や道路の附属施設に到達するまでの間とした。ただし、単路の道路の附属施設がない条件1と、連続的に道路の附属施設が設置されている条件4、5では、交差点や道路の附属施設をもとに分析区間を特定することができないため、条件1、4、5以外の条件の分析区間に相当する位置を街並みから抽出し、その区間のデータを分析に用いた。すなわち、実験要因である交差点の有無や道路の附属施設以外の走行環境(道路や街並みなど)は、すべての条件で同一の環境であった。

算出した注視割合から、参加者ごとに注視割合の最も高いエリアを抽出した。なお、注視割合の最も高いエリアとの差が10%以内のエリアがある場合には、それらのエリアも注視割合の高いエリアとして分析に用いた。

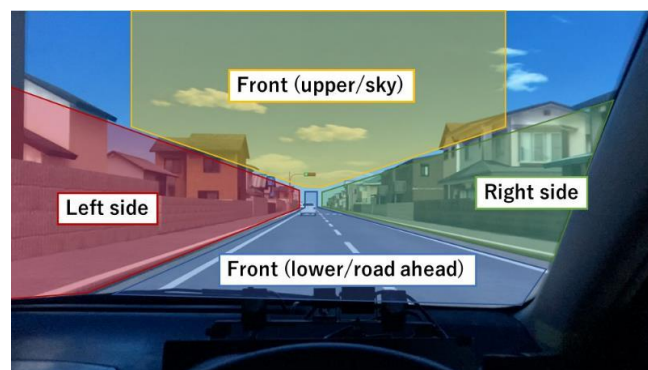


Fig.3 Area in front of the driver

3. 結果と考察

3.1 緑内障患者と健常高齢者の注視割合の分析結果

各実験条件における、エリアごとの注視割合の平均値と注視割合の高いエリアを緑内障患者および健常高齢者別に Table 3 にまとめた。

緑内障患者の注視割合の高いエリアについて、単路条件(Table 2 中の No.1), 単路－横断歩道条件(No.2), 単路－横断歩道＋信号機条件(No.3)では、正面と左側の注視割合が高かった。一方、単路－ガードレール条件(No.4)と単路－植樹帯条件(No.5)では、正面の注視割合が高かった。また、十字路－横断歩道条件(No.6)と十字路－横断歩道＋信号機条件(No.7)では、正面と左側の注視割合が高かった。丁字路(右)－横断歩道条件(No.8)では、正面の注視割合が高く、丁字路(左)－横断歩道条件(No.9)では、左側の注視割合が高かった。

健常高齢者においては、丁字路(左)－横断歩道条件(No.9)を除く全ての実験条件で正面の注視割合が高かった。丁字路(左)－横断歩道条件(No.9)では、左側と正面の注視割合が高かった。

Table 3 Average percentage of gazing per area and areas with the highest percentage of gazing

(a) Glaucoma patient (N=5)

Experiment conditions			Gaze ratio [%]						⇒Areas with a high gaze rate
No.	Road shape	Road facilities	Left side	Front side	Right side	Upside	Rearview mirror	Other	
1	Non-intersection	—	36.5 ± 26.4	42.8 ± 28.1	10.9 ± 8.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.3	9.7 ± 4.6	Left side, Front (lower/road ahead)
2		Pedestrian crossing	34.5 ± 10.6	39.7 ± 9.3	19.9 ± 4.5	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	5.9 ± 5.4	
3		Pedestrian crossing ・ Traffic signal	26.9 ± 15.8	32.9 ± 15.7	17.6 ± 10.5	12.7 ± 17.2	0.4 ± 1.0	9.4 ± 6.6	
4		Guard rail	26.9 ± 25.4	55.9 ± 29.8	7.9 ± 7.4	0.0 ± 0.0	2.2 ± 2.6	7.1 ± 1.8	Front (lower/road ahead)
5		Tree-lined zone	28.1 ± 21.3	44.0 ± 19.3	15.5 ± 9.1	0.0 ± 0.0	3.5 ± 4.2	8.9 ± 1.9	
6	Crossroads	Pedestrian crossing	37.7 ± 14.7	36.7 ± 15.9	21.0 ± 8.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	4.7 ± 4.7	Left side, Front (lower/road ahead)
7		Pedestrian crossing ・ Traffic signal	31.0 ± 19.1	30.7 ± 14.8	16.9 ± 8.3	17.7 ± 12.0	0.6 ± 1.4	3.1 ± 3.6	
8	T-junction (R) ※Connection with a road to the right	Pedestrian crossing	26.0 ± 15.2	41.3 ± 19.7	27.1 ± 8.3	0.0 ± 0.0	0.6 ± 1.2	5.1 ± 3.8	Front (lower/road ahead)
9	T-junction (L) ※Connection with a road to the right	Pedestrian crossing	46.7 ± 10.7	33.3 ± 13.7	14.9 ± 3.6	0.0 ± 0.0	0.8 ± 1.7	4.3 ± 2.2	Left side

(b) Healthy elderly person (N=7)

Experiment conditions			Gaze ratio [%]						⇒Areas with a high gaze rate
No.	Road shape	Road facilities	Left side	Front side	Right side	Upside	Rearview mirror	Other	
1	Non-intersection	—	12.4 ± 4.7	69.8 ± 10.2	10.5 ± 7.0	0.2 ± 0.5	0.4 ± 1.0	6.8 ± 5.4	Front (lower/road ahead)
2		Pedestrian crossing	28.8 ± 13.0	46.9 ± 16.8	22.1 ± 5.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.3 ± 2.3	
3		Pedestrian crossing ・ Traffic signal	17.0 ± 14.6	49.7 ± 19.2	13.5 ± 12.6	17.6 ± 13.5	0.0 ± 0.0	2.4 ± 3.7	
4		Guard rail	21.9 ± 16.1	56.3 ± 17.9	14.3 ± 8.9	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	7.5 ± 7.0	
5		Tree-lined zone	24.7 ± 15.1	56.9 ± 20.6	14.1 ± 7.5	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	4.3 ± 4.9	
6	Crossroads	Pedestrian crossing	33.3 ± 11.0	46.4 ± 14.0	17.6 ± 7.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.8 ± 1.9	
7		Pedestrian crossing ・ Traffic signal	16.5 ± 7.1	47.2 ± 16.5	13.4 ± 8.7	21.4 ± 12.0	0.0 ± 0.0	1.7 ± 2.4	
8	T-junction (R) ※Connection with a road to the right	Pedestrian crossing	31.6 ± 12.8	41.7 ± 21.1	24.9 ± 10.2	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.9 ± 1.6	Left side, Front (lower/road ahead)
9	T-junction (L) ※Connection with a road to the right	Pedestrian crossing	35.8 ± 12.9	42.3 ± 17.5	19.4 ± 7.1	0.0 ± 0.0	0.6 ± 1.6	2.0 ± 1.7	

以上の結果をまとめると、ガードレールや植樹帯によって歩道と車道が分離されている場合には、緑内障患者および健常高齢者ともに、正面への注視割合が高かった。一方、これらの道路付属施設がない場合には、緑内障患者は健常高齢者に比べて、正面に加えて左側の注視割合も高い特徴が見られた。このことから、緑内障患者と健常高齢者の運転時における視線行動の特徴には、違いがある可能性が示唆された。このような視線行動の特徴の違いが生じた理由の一つに、緑内障患者は補償行動として正面以外にも視線移動を行った可能性があると考えられる。特に左方向は飛び出しなどが発生した際に、右側に比して自車との物理的な距離が近く、衝突までの余裕時間が短いため、左方向への視線移動が多かった可能性があると考えられる。他方、左側の視野欠損を補うための視線行動であった可能性も考えられるため、視野障害部位と視線行動について、詳細な検証が必要であると考えられる。

以上のように、緑内障患者と健常高齢者の視線行動の特徴に違いが見られたものの、本研究の参加者の平均年齢は、緑内障患者の方が健常高齢者よりも約 7 歳高く、年齢の違いが視線行動に影響した可能性もあると考えられる。さらに、各参加者のリスク感受性、すなわちどの程度危険に対して敏感であるかについても統制ができていないため、緑内障患者のリスク感受性が高く、視線移動を活発に行った可能性も考えられる。したがって、本研究で見られた視線行動の特徴が、緑内障患者特有の視線行動であるかや、補償行動であるか否かについては、さらなる調査が必要であると考えられる。

4. 今後の課題

本研究では、緑内障患者と健常高齢者との視線行動の特徴に違いが見られる可能性が示された。しかしながら、年齢やリスク感受性の統制が取れておらず、データ数も少ないため、今後はさらなる知見の拡充に向けて実験データ数を増やすとともに年齢やリスク感受性の影響を統制した検討を行う必要があると考えられる。また、実験の走行場面は、先行車を除いて他の交通参加者が存在しない状況であったことから、他の交通場面（歩道上の歩行者や駐車車両など）での視線行動も調べる必要があると考えられる。さらに、積極的に視線を移動させることで、飛び出し歩行者の発見遅れを低減できる可能性がある¹⁸⁾ことから、緑内障患者の視線行動の特徴を調査するとともに、事故リスクについても更なる知見を深めることで、医師による具体的なアドバイスや、運転支援などの発展に寄与することが出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 柳瀬徹夫: 自動車の人間工学技術, 朝倉書店, p.137-145 (1998)
- 2) Hartman E: Driver vision requirements, Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series, 700392, p.629-630 (1970)
- 3) 日本緑内障学会: 日本緑内障学会多治見疫学調査報告書 (2012)
- 4) C. Owsley, et al.: Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults, Journal of the American Medical Association, Vol.279, No.14, p.1083-1088 (1998)
- 5) 青木由紀ほか: 緑内障患者における自動車運転実態調査, あたらしい眼科, Vol.29, No.7, p.1013-1017 (2012)
- 6) 国松志保: 視野狭窄が運転へ与える影響, 自動車技術, Vol.70, No.3, p.25-29 (2016)
- 7) McGwin G, et al.: Is Glaucoma Associated with Motor Vehicle Collision Involvement and Driving Avoidance?, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol.45, No.11, p.3934-3939 (2004)
- 8) 佐藤稔久ほか: 認知的・身体的機能の変化に適応した高齢ドライバーの対処行動の分析, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.4, p.209-214 (2007)
- 9) Marottoli R A, Richardson E D: Confidence in, and self-rating of, driving ability among older drivers, Accident Analysis and Prevention, Vol.30, p.331-336 (1998)
- 10) Zur A, Shinar D: Older people's driving habits, visual abilities, and subjective assessment of daily visual functioning, Work, Vol.11, No.3, p.339-348 (1998)
- 11) Michon J A: Modellen van bestuurdersgedrag. In Van Knippenberg CWF, Rothengatter JA, Michon JA eds. Handbook Sociale Verkeerskunde. Assen/Maastricht: Van Gorcum, p.207-231 (1989)
- 12) David P C: Exploring Eye Movements in Patients with Glaucoma When Viewing a Driving Scene, PLOS ONE, Vol.5, No.3, p.1-9 (2010)
- 13) Chota Matsumoto, et al.: CLOCK CHART®: a novel multi-stimulus self-check visual field screener, Japanese Journal of Ophthalmology, Vol.59, p.187-193 (2015)
- 14) 警察庁: 令和3年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について (2022)
- 15) (公財) 交通事故総合分析センター: イタルダ・インフォメーション, No.94 (2012)
- 16) 国土交通省: 平成28年度第3回車両安全対策検討会, 安全-資料8 (2016)
- 17) 竹平誠治: 都市部における横断歩行者行動特性を考慮した街路交通機能の設計に関する研究, 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻博士論文 (2014)
- 18) 佐藤健治ほか: 眼疾患(緑内障)による視野障害と視線行動に関する研究 自動車技術会学術講演会前刷集, No.129-17, p.491-496, (2017)

歩行者事故の制動遅れが衝突速度の推定精度に与える影響

Effect of Braking Delay in Pedestrian Accidents on Collision Velocity Estimation Accuracy

福山 慶介^{*1}

Keisuke FUKUYAMA

鮎川 佳弘^{*2}

Yoshihiro SUKEGAWA

三上 耕司^{*3}

Koji MIKAMI

1. はじめに

2021 年の日本の交通事故による死者数は 2,636 人で、これを状態別に見ると歩行中の死者数は 941 人 (35.7%) である¹⁾。近年では衝突被害軽減ブレーキなどの普及により歩行中の死者数は減少傾向にあるものの、状態別の死者数の中では最も多い。歩行者事故の交通捜査では、事故要因の究明過程において車両の衝突速度が争点となることが多く、高精度な衝突速度の推定方法が求められている。従来より、歩行者事故における衝突速度の推定には、衝突速度と歩行者の飛翔滑走距離（衝突地点から歩行者の最終停止地点までの距離）の関係性から衝突速度を算出する方法が用いられている²⁾。しかし、この推定方法は車両の制動タイミングが衝突瞬間よりも遅れた場合には、衝突速度の推定精度が低下すると考えられている³⁾。

本報告では、制動タイミングの遅れが衝突速度の推定精度に与える影響を実験的に検証するとともに、制動タイミングが遅れた場合に推定精度を向上させる方法を検討した。

2. 従来の衝突速度の推定方法

従来より、歩行者事故における車両の衝突速度の推定には、衝突速度と歩行者の飛翔滑走距離との関係性を示す下記の実験式(1)から衝突速度を算出する方法が用いられている。

$$V = \sqrt{10X} \times 3.6 \quad \dots (1) \quad (V: \text{車両の衝突速度 [km/h]}, X: \text{歩行者の飛翔滑走距離 [m]})$$

この実験式(1)は、図 1 に示すように、衝突時に車両と同一の速度に加速された歩行者が、衝突直後に車両の制動により車両前面から離れ、車両進行方向に投げ出されて飛翔を開始する条件を前提としており、これまでに事故データや歩行者ダミーを用いた実験で妥当性が検証されている。

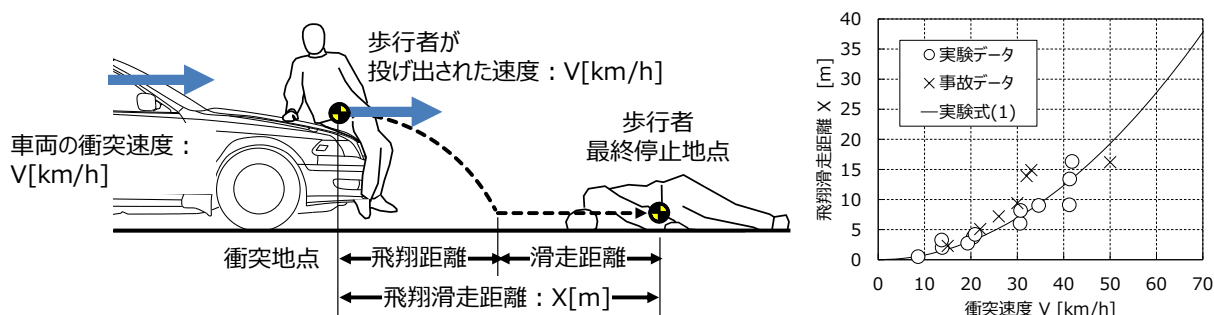


図1 従来の衝突速度の推定方法が前提とする条件²⁾

しかし、実験式(1)は、車両の制動が遅れた場合には前述の前提条件が成立せず、衝突速度の推定精度が低下すると考えられている。図 2 に、過去に著者らがコンピューターシミュレーション解析手法を用いて、

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 博士 (工学)

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*3 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 修士 (工学)

* 2023年2月13日受理

車両の制動タイミングが衝突速度と飛翔滑走距離の関係性に及ぼす影響を検討した結果を示す³⁾。同図から、衝突速度と飛翔滑走距離の関係性は、制動タイミングが衝突と同時の場合には概ね実験式(1)に近い一方、制動タイミングが衝突瞬間よりも遅れた場合、低速域では飛翔滑走距離が長く、高速域では飛翔滑走距離が短くなることにより衝突速度と飛翔滑走距離の関係性が崩れ、衝突速度の推定精度が低下する可能性があることが明らかとなった。なお、低速域で飛翔滑走距離が実験式(1)よりも長くなる場合は、歩行者が車両のボンネット上で運ばれた後に車両進行方向への飛翔を開始する挙動となり、また、高速域で飛翔滑走距離が実験式(1)よりも短くなる場合は、制動タイミングを待たずに歩行者が上方に飛ばされる挙動となるなど、従来の推定方法が前提としていなかった挙動を示すことが分かり、これらの挙動が衝突速度と飛翔滑走距離の関係性を崩す要因と考えられた。

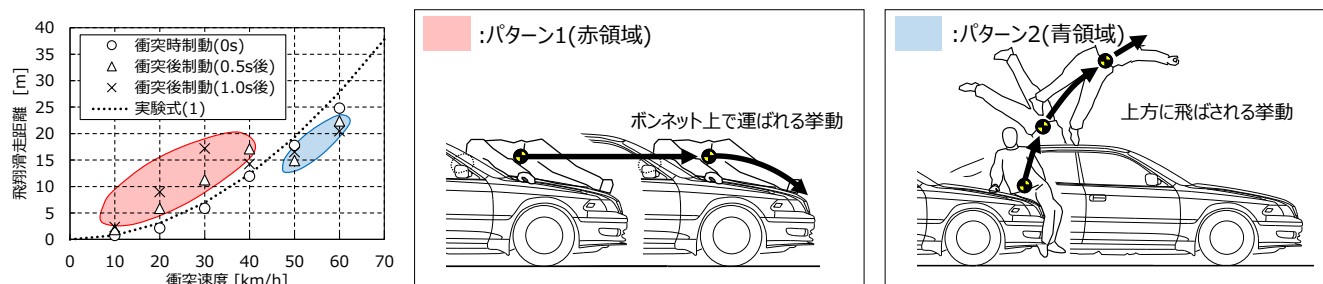


図2 シミュレーション解析結果と歩行者の挙動³⁾

3. 実験条件と新たな衝突速度の推定方法

本研究では、これまでのシミュレーション解析結果を踏まえ、制動タイミングの遅れが衝突速度の推定精度に与える影響を実験的に検証するとともに、制動タイミングが遅れた場合に推定精度を向上させる方法を検討した。

表1に実験条件を示す。衝突速度は30 km/h 台から60 km/h 台に広くばらつかせ、制動タイミングは衝突前制動、衝突時制動、衝突後制動(衝突1 s 後)の3条件とした。実験車両はボンネット型の車両とし、セダンタイプ3車種(S1~S3)、ボンネットが短いコンパクトタイプ3車種(C1~C3)の、計2タイプ6車種を使用した。歩行者ダミーは成人男性相当のHybridIII-AM50%ileを全てのケースで用いた。なお、実験名は前半部で制動タイミングを、後半部で実験車両を示す。

図3に衝突速度の推定に用いる歩行者の飛翔滑走距離を示す。衝突前制動、衝突時制動の条件では、従来と同様、歩行者の飛翔滑走距離として、「衝突地点から歩行者の最終停止地点までの距離」を適用する方法(以下、「方法A」)を用いた。一方、衝突後制動(衝突1 s 後)の条件では、特に、歩行者が車両のボンネット上で運ばれた後に車両進行方向への飛翔を開始する挙動となる場合について、歩行者が車両のボンネットから離れて飛翔を開始する地点が衝突地点ではなく車両の制動開始地点となると考えられる。そのため、衝突後制動の条件では、新たに、歩行者の飛翔滑走距離として、「車両の制動開始地点から歩行者の最終停止地点までの距離」を適用する方法(以下、「方法B」)についても実施し、衝突速度の推定精度を方法Aと比較した。

表 1 実験条件

制動タイミング	衝突前制動			衝突時制動		衝突後制動（衝突1s後）		
実験名	衝突前-S1	衝突前-C1	衝突前-S2	衝突時-S3	衝突時-C2	衝突後-S1	衝突後-C3	衝突後-S2
実験車両	S1	C1	S2	S3	C2	S1	C3	S2
概観								
走行速度[km/h]	60	60	66	61	40	31	60	66
衝突速度[km/h]	45	47	53	61	40	31	60	66

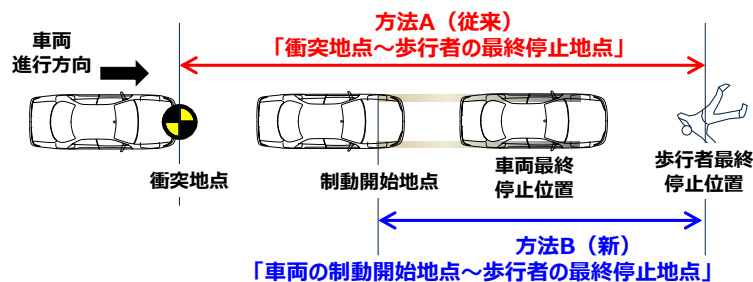


図3 衝突速度の推定に用いる歩行者の飛翔滑走距離（上：方法A，下：方法B）

4. 実験結果

4.1 衝突前制動および衝突時制動

図 4 に、衝突前制動および衝突時制動の条件における実験の結果を上面からの概念図で示す。これらの条件ではすべて、歩行者が衝突直後に車両進行方向に飛翔した。また、表 2 に、方法 A を用いて推定した衝突速度を実際の衝突速度との比較で示す。衝突前制動および衝突時制動では、実際の衝突速度に対する推定の衝突速度の誤差（絶対値）は 10%以下であり、大きな差は無いことが確認できる。

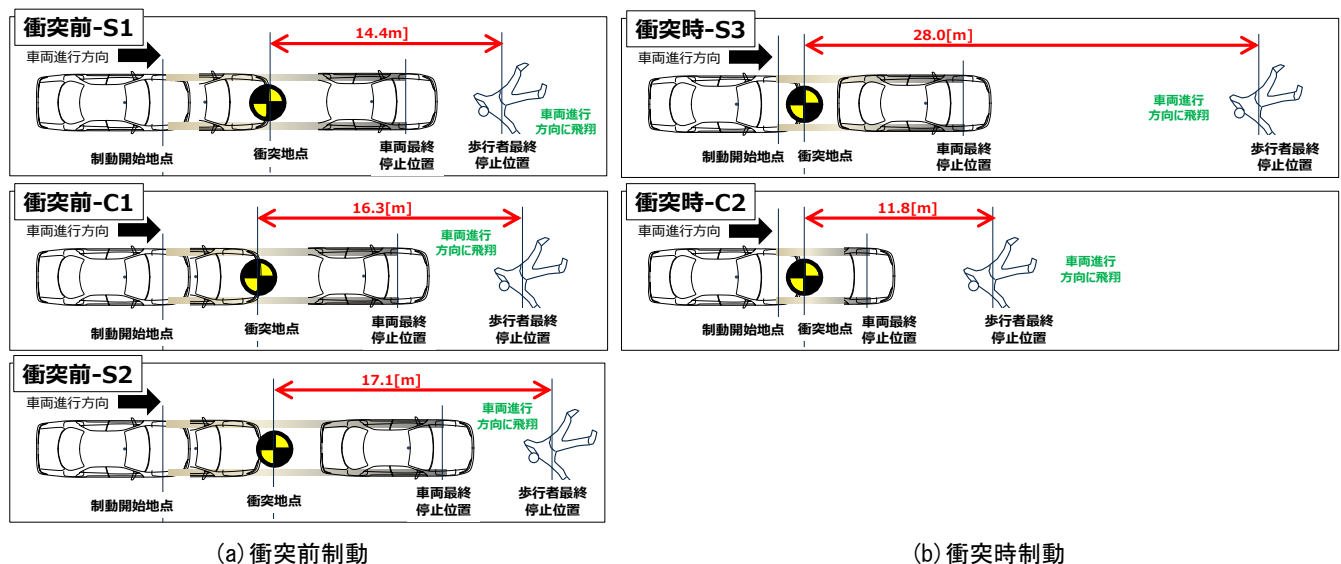


図4 衝突前制動および衝突時制動における実験結果（上面からの概念図）

表2 衝突前制動および衝突時制動における歩行者の飛翔滑走挙動と衝突速度の推定結果

制動条件	実験車両	試験名	実際の 衝突速度 [km/h]	歩行者 の飛翔挙動	方法A		
					飛翔滑走 距離 [m]	推定の 衝突速度 [km/h]	速度の 推定誤差 [%]
衝突前 制動	S1	衝突前-S1	45	車両進行 方向に飛翔	14.4	43	-4
	C1	衝突前-C1	47		16.3	46	-2
	S2	衝突前-S2	52		17.1	47	-9
衝突時 制動	S3	衝突時-S3	61		28.0	60	-1
	C2	衝突時-C2	40		11.8	39	-2

4.2 衝突後制動

図5に衝突後制動（衝突1 s 後）の条件における実験の結果を上面からの概念図で示す。「衝突後-S1」と「衝突後-C3」の条件では歩行者がボンネット上で運ばれた後、車両進行方向に飛翔した。一方、「衝突後-S2」の条件では歩行者が上方に飛ばされて車両を乗り越えた。表4に、方法Aおよび方法Bを用いて推定した衝突速度を実際の衝突速度との比較で示す。「衝突後-S1」と「衝突後-C3」の条件では、実際の衝突速度に対する衝突速度の誤差（絶対値）は、方法Aで55%および10%と大きい一方、方法Bでは0%および8%と大幅に小さくなり、方法Bの適用が有効であると考えられた。

一方、「衝突後-S2」の条件では、方法Aの7%に対し方法Bでは46%と大きくなり、方法Bの適用は有効ではないと考えられた。

「衝突後-S1」と「衝突後-C3」の条件では、車両の制動が遅れたことで歩行者がボンネット上で運ばれ、歩行者が飛翔を開始する地点が衝突地点ではなく車両の制動開始地点となったが、それ以降は実験式(1)の前提条件通りに車両進行方向への飛翔となったため、飛翔滑走距離として車両の制動開始地点からの距離を用いた方法Bで速度の推定精度が向上したと考えられる。

一方、「衝突後-S2」の条件では、衝突速度が高く且つ制動が遅れたことで、制動タイミングを待たずに歩行者が飛翔を開始したため飛翔開始位置が制動開始地点とならず、また歩行者の飛翔方向が実験式(1)の前提条件と異なる上方への飛翔となって飛翔滑走距離が短くなったことから、前述の方法Bを用いての衝突速度の推定が困難だったと考えられる。

なお、「衝突後-C3」と「衝突後-S1」の条件で、衝突速度の差は僅か6 km/h（それぞれ、60 km/h と66 km/h）であるにもかかわらず、歩行者の挙動に「車両に運ばれる」か「上方に飛ばされる」かの違いが出たのは、歩行者の挙動に対する衝突速度の閾値が60 km/h 付近にあるためと考えられる。ただし、この閾値は他の要因（車両の形状や制動の強さなど）によっても変化する可能性が考えられるため、更に実験を行い詳細に検証する必要がある。

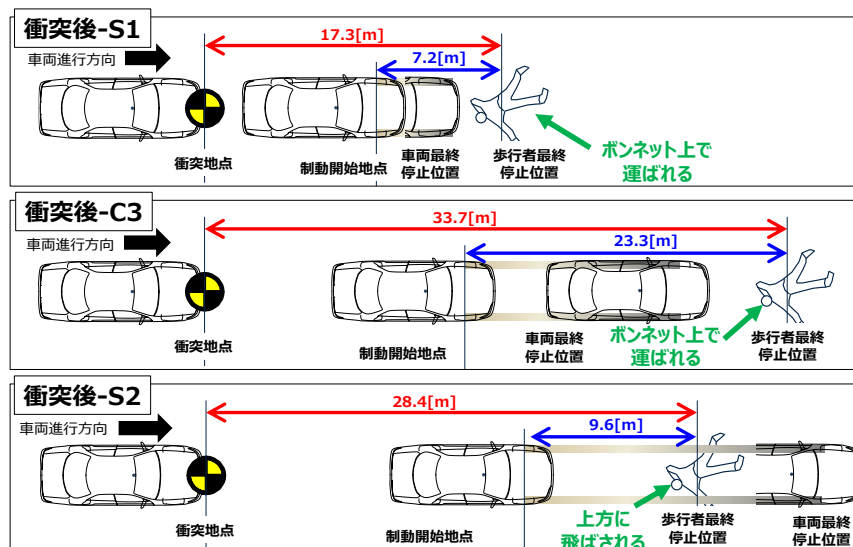


図5 衝突後制動における実験結果（上面からの概念図）

表3 衝突後制動における歩行者の飛翔滑走挙動と衝突速度の推定結果

制動条件	実験車両	試験名	実際の 衝突速度 [km/h]	歩行者 の飛翔挙動	方法A			方法B		
					飛翔滑走 距離 [m]	推定の 衝突速度 [km/h]	速度の 推定誤差 [%]	飛翔滑走 距離 [m]	推定の 衝突速度 [km/h]	速度の 推定誤差 [%]
衝突後 制動	S1	衝突後-S1	31	ボンネット上 で運ばれる	17.3	47	+55	7.2	31	0
	C3	衝突後-C3	60		33.7	66	+10	23.3	55	-8
	S2	衝突後-S2	66	上方に 飛ばされる	28.4	61	-7	9.6	35	-46

5. まとめ

本研究では、歩行者事故における車両の制動タイミングの遅れが衝突速度の推定精度に与える影響を実験的に検証した。衝突前制動および衝突時制動においては、従来の「衝突地点から歩行者最終停止位置までの距離」から実験式を用いて衝突速度を推定する方法が使用可能であることが確認できた。一方で、衝突後制動の場合には、歩行者がボンネット上で運ばれたり、上方へ飛ばされる挙動となるため、従来の推定方法では衝突速度の推定精度が低下することが明らかとなった。なお、歩行者がボンネット上で運ばれる挙動となる場合に限っては、新たな「車両の制動開始地点から歩行者の最終停止地点までの距離」を実験式に適用することで推定精度が向上し、衝突前制動や衝突時制動の場合と同程度の精度で衝突速度を推定できることが確認できた。ただし、高速域で歩行者が上方に飛ばされる挙動となる場合は、実験式を適用できず、このような場合の衝突速度の推定方法は今後の研究課題である。

参考文献

- 1) 警察庁：「令和3年の交通事故の発生状況等について」、
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bunseki/nenkan/040303R03nenkan.pdf>, (参照 2023.02.10)
- 2) 対歩行者安全対策研究委員会：自動車安全性向上に関する研究補助事業報告書（その2）対歩行者安全車の研究, 日本自動車研究所, p.60-71 (1972),
<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I000001143616-00>, (参照 2023.02.10)
- 3) 福山 慶介 ほか：シミュレーションによる歩行者事故の解析 制動条件が歩行者の飛翔距離に及ぼす影響, 日本交通科学協議会誌, Vol.12, No.1, p.39-45 (2012), [doi:10.24597/jcts.12.1_39](https://doi.org/10.24597/jcts.12.1_39)

JNCAP におけるペダル踏み間違い時加速抑制装置の 対歩行者試験追加に向けたマクロ事故データ分析

Traffic Accident Data Analysis for a Revision of the Method for Checking Equipment Designed
to Curb Acceleration in the Event of Pedal Misapplication in JNCAP

本間 亮平^{*1}

Ryohei HOMMA

若杉 貴志^{*2}

Takashi WAKASUGI

菊地 一範^{*2}

Kazunori KIKUCHI

Abstract

The Japan New Car Assessment Program (JNCAP) plans to add an evaluation for collisions with pedestrians in the equipment designed to curb acceleration in the event of pedal misapplication, from April 2023. In this survey, in order to determine the test conditions of the assessment, the actual situation of accidents with pedestrians was investigated using Japanese traffic accident statistics. As a result of the investigation, it became clear that a typical accident is when the center of the front end of the vehicle collides with a stationary adult pedestrian. On the other hand, since the actual situation of accidents regarding the orientation of pedestrians has not been clarified, a method of the vehicle approaching from the back side, which is difficult for the pedestrian to notice, can be considered.

1. はじめに

2021 年 3 月の交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会で決定された目標「2030 年までに、車両安全対策により、2020 年比で、30 日以内交通事故死者数を 1,200 人削減および重傷者数を 11,000 人削減する」¹⁾ に対して、事故を起きにくくするための予防安全技術は重要な位置づけとなっている。当該技術の普及を図るため、日本では国土交通省と独立行政法人自動車事故対策機構が一体となって実施している自動車アセスメント事業（JNCAP : Japan New Car Assessment Program）において、2014 年度から予防安全性評価が導入され、多くの先進運転支援システム（ADAS : Advanced Driver-Assistance Systems）に関する評価が行われている。「ペダル踏み間違い時加速抑制装置」については、2018 年度から発進シナリオ（停止状態からの前進）および後退シナリオ（停止状態からの後退）における、車両および工作物との衝突を回避または軽減する機能の評価が JNCAP に導入されている²⁾。その後、2019 年頃からアクセルとブレーキの踏み間違いに起因した高齢者による事故が社会に広く周知されたことなどをを受けて、当該評価のさらなる拡充が求められていた。こうした背景の中、2021 年度の第 1 回自動車アセスメント評価検討会において、2023 年度からは発進シナリオおよび後退シナリオにおける歩行者との衝突を回避または軽減する機能を評価対象に追加し、直進シナリオ（走行中）における踏み間違いの事故の評価に関しては、導入時期を含めて今後継続検討する方針が示された³⁾。上記方針の、歩行者との事故に対応する装置の評価追加に際しては、試験における歩行者を模擬するターゲット（以下、「歩行者ターゲット」という）の条件（種類、動き、向き、位置など）が課題となっている。そこで、本調査では上記課題を検討するために、公益財団法人交通事故総合分析センターの交通事故統計データ（以下、「マクロ事故データ」という）の集計結果を分析し、日本における当該事故の実態を調査した。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（人間科学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

* 原稿受理 2022年5月10日 / 初掲載 2022年6月

2. 調査方法

ペダル踏み間違い時加速抑制装置の対歩行者試験においてどのように歩行者を模擬するのか、その条件を検討するために、ペダル踏み間違いに起因した事故の第2当事者である歩行者（以下「歩行者（2当）」という）の年齢および進行方向、また事故の第1当事者（以下、「1当」という）が運転する車両の衝突部位を調べた。なお、「1当」とは、最初に交通事故に関与した車両等の運転者または歩行者のうち、当該事故における過失が重い者をいい、過失が同程度の場合には人身損傷程度が軽い者をいう。マクロ事故データの集計条件を、表1に示す。また、図1に、当事者の進行方向に関する分析項目のイメージ図⁴⁾を示す。

表1 集計条件表

集計項目名	集計項目内容
事故類型	・人対車両（小区分の限定なし） ・人対車両の小区分：横断中、対面通行中、背面通行中、路上作業中、路上停止中、路上遊戯中、その他
事故要因区分	アクセルとブレーキの踏み違い（操作上の誤りの中の操作不適の細項目）
行動類型（1当）	発進、直進（小区分の限定なし）、後退
進行方向（1当）	路上（①-②、①-③、①-④）、路外から（②-①、②-③、②-④）
進行方向（2当）	・1当路上： 右から（⑧-⑤、⑦-⑥）、左から（⑤-⑧、⑥-⑦）、奥から（⑥-⑤、⑦-⑧）、手前から（⑤-⑥、⑧-⑦） ・1当路外から： 右から（⑤-⑥、⑧-⑦）、左から（⑥-⑤、⑦-⑧）、奥から（⑧-⑤、⑦-⑥）、手前から（⑤-⑧、⑥-⑦） ・1当路上、1当路外から共通： 斜め方向（⑤-⑦、⑥-⑧、⑦-⑤、⑧-⑥）、停止中（⑤-⑤、⑥-⑥、⑦-⑦、⑧-⑧）
当事者種別（1当）	乗用（普通車と軽自動車）および貨物（車両総重量2.8t未満と軽自動車）
歩行者（2当）の年齢	未就学児、小学生、高齢者、非高齢者（「限定なし」から左記項目を減じて算出）
車両の衝突部位	⑧（前方左角）、①（前方中央）、⑤（前方右角）、⑦（後方左角）、③（後方中央）、⑥（後方右角）
死傷者数	死者数、重傷者数、軽傷者数

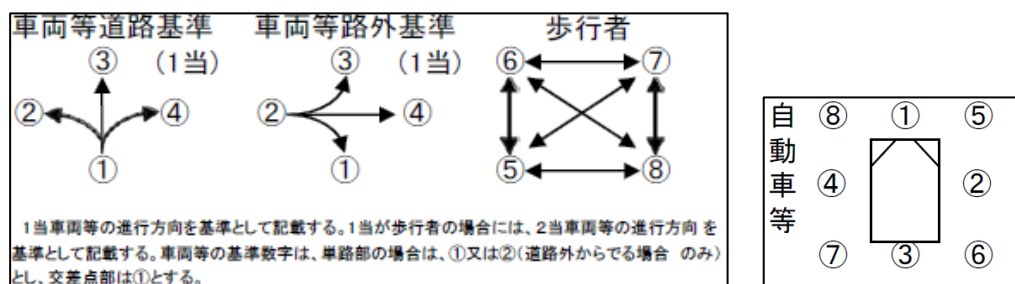


図1 当事者の進行方向（左）および車両の衝突部位（右）のイメージ⁴⁾

本調査は、JNCAPへの導入を見据えた検討であることから、JNCAP得点（2020年度から適用された新算定基準）によって、事故実態を調べることにした。JNCAP得点の計算は、まず対象装置の支援機能によって救える被害人数（死者数と重傷者数）の期待値を集計する。次に、内閣府の調査結果⁵⁾に基づき「被害者1名当たりの社会損失額（死亡：244.52百万円、重傷：18.25百万円）」を乗じて、装置の支援効果を社会損失額に換算する。予防安全装置の場合は、歩行者（2当）の年齢区分などによらず、すべて1点＝4,807百万円として、装置の評価得点を算出する。予防安全装置の評価基準年は平成21年（2009年）であるが、ペダル踏み間違い事故はデータ数が少なく、単年のデータでは精度が低くなることが懸念されたため、2009年の前後それぞれ10年間の平均の被害人数から評価得点を算出し、基準年の前後の傾向を含めて調べた。なお、参考値として2009年単年での算出結果も併記した。

3. 結果

3.1 ペダル踏み間違いにおける人対車両事故の実態

ペダル踏み間違い（事故要因区分の小区分「アクセルとブレーキの踏み間違い」）に起因した人対車両の事故の実態を把握するために、当該事故によるシナリオごとの死者数、重傷者数、軽傷者数およびJNCAP得点を集計した結果を表2に示す。また、表3には2009年の全事故の状況および、全事故において当該事故が占める割合を示す。

発進シナリオおよび後退シナリオでは、それぞれ年間の死者数は2人程度、重傷者数が20人程度となっており、死者数および重傷者数から算出されたJNCAP得点では0.2点程度であった。一方、直進シナリオでは、年間の死者数が4人程度、重傷者数が30人程度で、JNCAP得点が0.3点程度であった。さらに、年間の軽傷者数についても、各シナリオで50人から100人程度であった。自動車に関連する交通事故の総数(JNCAP得点)に対して、ペダル踏み間違いに起因した人対車両事故が占める割合は0.14%程度であり、概して多い事故形態ではないことが伺える。

表2 ペダル踏み間違いに起因した人対車両事故の死傷者数およびJNCAP得点

シナリオ	集計対象年	死者数（人）	重傷者数（人）	軽傷者数（人）	JNCAP得点
発進シナリオ	2009年	2	17	75	0.17
	1999年～2008年の平均（単年換算）	1.8	24.3	109.6	0.18
	2009年～2018年の平均（単年換算）	1.9	19.2	76.1	0.17
後退シナリオ	2009年	1	24	64	0.14
	1999年～2008年の平均（単年換算）	2.0	17.1	72.4	0.17
	2009年～2018年の平均（単年換算）	3.2	17.0	54.8	0.23
直進シナリオ	2009年	4	28	124	0.31
	1999年～2008年の平均（単年換算）	3.7	29.4	103.3	0.30
	2009年～2018年の平均（単年換算）	3.8	33.5	105.7	0.32

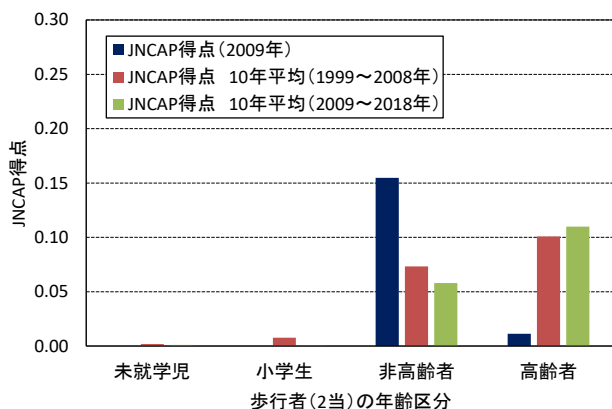
表3 2009年の全事故に対するペダル踏み間違いに起因した人対車両事故の占める割合

事故	死者数（人）	重傷者数（人）	軽傷者数（人）	JNCAP得点
踏み間違い事故 （発進＋後退＋直進シナリオ）	7 (0.14%)	69 (0.13%)	263 (0.03%)	0.62 (0.14%)
全事故	4968	53710	857505	456.53

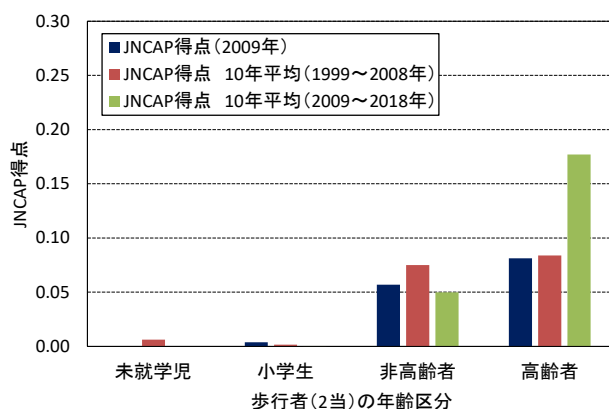
3.2 歩行者（2当）の年齢

各種 ADAS 試験に用いる歩行者ターゲットには、ISO 19206-2 に規定される「大人」タイプや「子供」タイプなど複数の種類がある。JNCAP のペダル踏み間違い時加速抑制装置の試験における、対歩行者試験に用いる歩行者ターゲットの種類を検討するために、マクロ事故データから歩行者（2当）の年齢の内訳を調べた。図 2 に、(a) 発進シナリオ、(b) 後退シナリオおよび (c) 直進シナリオにおける、歩行者（2当）の年齢層の内訳を示す。年齢区分としては、未就学児は 0 歳から 6 歳まで、小学生は 7 歳から 12 歳まで、非高齢者は 13 歳から 64 歳まで、高齢者は 65 歳以上の 4 区分とした。

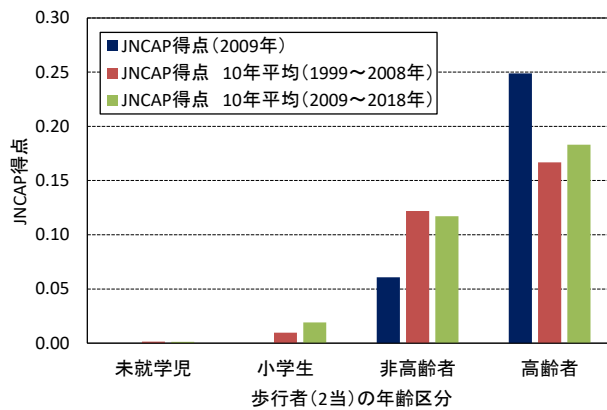
すべてのシナリオにおいて、事故要因区分がペダル踏み間違いの事故では、歩行者の年齢は非高齢者と高齢者がほとんどを占めており、未就学児や小学生はほとんどいないことが示された。



(a) 発進シナリオ



(b) 後退シナリオ



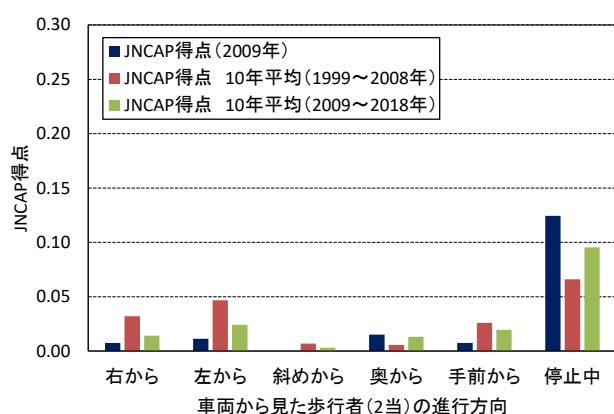
(c) 直進シナリオ

図2 各シナリオにおける歩行者（2当）の年齢の内訳

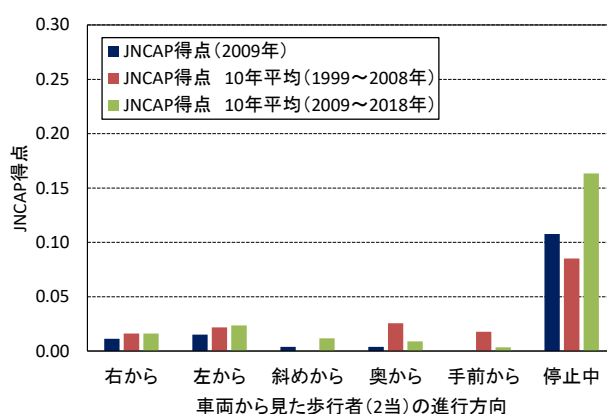
3.3 歩行者（2当）の進行方向

対歩行者試験時の歩行者ターゲットの設置向きを検討するために、マクロ事故データから歩行者（2当）の進行方向の内訳を調べた。図3に、（a）発進シナリオ、（b）後退シナリオおよび（c）直進シナリオにおける、歩行者（2当）の進行方向の内訳を示す。車両から見た歩行者（2当）の進行方向として、右から、左から、斜めから、奥から（対面）、手前から（背面）および停止中に分類した。

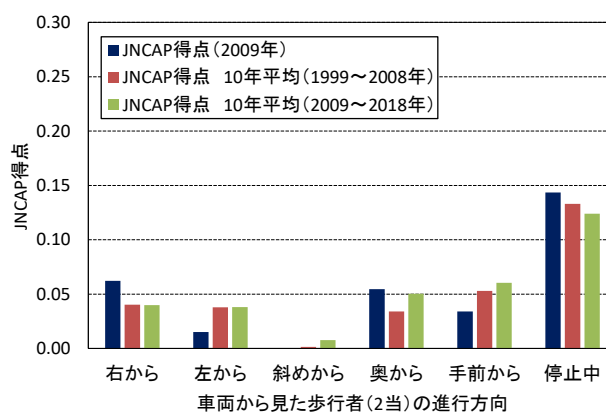
すべてのシナリオにおいて、事故要因区分がペダル踏み間違いの事故では、歩行者の進行方向は「停止中」が最も多くを占めていた。また、発進シナリオの1999年から2008年では、横方向（「右から」および「左から」）の方が、前後方向（「奥から」および「手前から」）と比べてやや多いものの、その他では横方向と前後方向でほとんど同程度であることが示された。



(a) 発進シナリオ



(b) 後退シナリオ



(c) 直進シナリオ

図3 各シナリオにおける歩行者（2当）の進行方向の内訳

3.4 車両の衝突部位

対歩行者試験に用いる歩行者ターゲットのオフセット，すなわち試験車両に対する歩行者ターゲットの横方向の設置位置を検討するために，マクロ事故データから車両の衝突部位の内訳を調べた．図4に，(a) 発進シナリオ，(b) 後退シナリオおよび(c) 直進シナリオにおける，車両の衝突部位の内訳を示す．

すべてのシナリオで，事故要因区分がペダル踏み間違いの事故では，車両の先端中央（「前方中央」あるいは「後方中央」）が最も多くを占めていた．なお，2009年の参考値では，後退シナリオにおいて「後方左角」が，また直進シナリオにおいて「前方左角」が多いものの，図中の吹き出しに示すように，データ数が少ないことの精度の影響であると推察される．

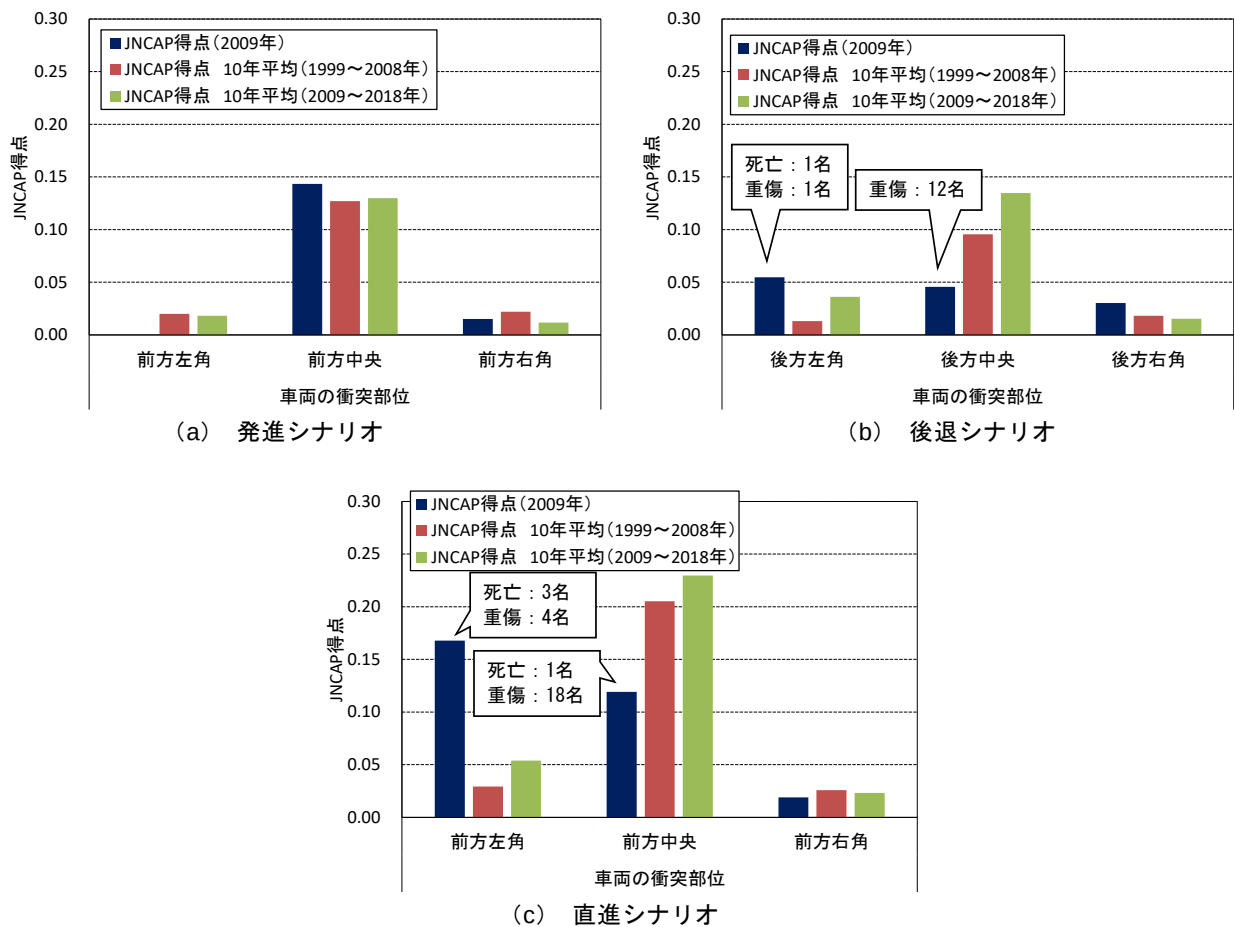


図4 各シナリオにおける車両の衝突部位の内訳

4. まとめ

ペダル踏み間違い時加速抑制装置の対歩行者事故への機能の評価追加に向けて、試験における歩行者の設置条件を検討するために、国内における事故実態を調べた。さらに、試験における歩行者ターゲットの条件の検討を行った。マクロ事故データ分析で得られた結果は、以下の通りである。

- ・ 自動車に関連する交通事故の総数に対して、ペダル踏み間違いに起因した人対車両事故が占める割合は0.14%程度であり、概して多い事故形態ではないことが伺える。
- ・ 歩行者（2当）の年齢は、未就学児および小学生がほとんど存在せず、大人が大半を占めることが示された。
- ・ 歩行者（2当）の進行方向は、「停止中」が多くを占めており、方向には明確な傾向がみられないことが示された。
- ・ 車両の衝突部位は、前方（後方）中央が多くを占めていることが示された。

以上の調査結果に基づく事故実態から、ペダル踏み間違い時加速抑制装置の対歩行者試験における歩行者ターゲットの条件を検討すると、「大人」ターゲットを用いて、試験車両に対して中央に静止状態で設置して試験を実施する方法が考えられる。なお、歩行者ターゲットの向きに関しては、事故実態に明確な傾向がみられなかったことから、歩行者が気づきにくいと予想される、車両から見て背面方向に設置するのが一案として挙げられる。すなわち、背面方向では歩行者が車両の接近に気づきにくく、歩行者側での回避行動が困難と推測されることから、車両側での安全対策の重要性が高いと考えられるためである。

今後は、継続検討となっている直進シナリオ（走行中）における試験・評価法に関する検討も行っていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会：交通事故のない社会を目指した今後の車両安全のあり方について
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001411236.pdf> (参照 2022.6.7)
- 2) 独立行政法人自動車事故対策機構：ペダル踏み間違い時加速抑制装置性能試験方法
<https://www.nasva.go.jp/mamoru/download/R3-13.pdf> (参照 2022.6.7)
- 3) 国土交通省：ペダル踏み間違い時加速抑制装置試験方法の見直しについて、令和3年度第1回自動車アセスメント評価検討会・資料4
https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/02assessment/data/r3_1_4.pdf (参照 2022.6.7)
- 4) 公益財団法人交通事故総合分析センター：交通事故統計用語解説集
<https://www.itarda.or.jp/service/term> (参照 2022.5.10)
- 5) 内閣府政策統括官（共生社会政策担当）：交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査報告書
<https://www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/h23/houkoku.html> (参照 2022.6.7)

自動運転中の車線変更介入方策に対するドライバの 反応と受容性に影響を与えるドライバの特徴

Effects of Demographic Characteristics on Driver Reaction and Acceptance of
Lane Change Interventions During Conditionally Automated Driving

ムスリム フサム^{*1}
Husam MUSLIM

アントナ-マコシ ハコボ^{*1}
Jacobo ANTONA-MAKOSHI

内田 信行^{*1}
Nobuyuki UCHIDA

伊藤 誠^{*2}
Makoto ITOH

Abstract

This study conducted a driving simulation experiment to compare four automated driving systems (ADS) during lane change demanding situations on highways while accounting for the drivers' gender, age, and experience. While an ADS is activated, the vehicle approaches traffic congestion on the left-hand lane. ADS-1 can reduce the speed to synchronize with the congestion. ADS-2 reduces the speed and issues an optional request to intervene, advising the driver to change lanes manually. ADS-3 offers to overtake the congestion autonomously if the driver approves it. ADS-4 overtakes the congestion autonomously without the driver's approval. Results of drivers' reaction and acceptance indicated that differences between ADS designs increase when considering the combined effect of driver's gender, age, and experience more than when the effect of each factor is considered separately. While preliminary, these findings may help us understand how ADS users' behavior can differ based on several demographic human factors.

1. Introduction

The last two decades have witnessed a rapid development of automated driving systems (ADS). The goal is to realize an ancient human vision of self-driving vehicles. The Society of Automotive Engineers categorized this vision into six levels (L) of driving automation, escalating gradually from no driving automation L0 to full driving automation L5 [1](#). Partial driving automation L2, which combines the feature of lane-keeping assistance and adaptive cruise control systems, represents a border between conventional human-controlled vehicles and automated vehicles. L2 system offers a shared responsibility of the dynamic driving task (DDT), which is also divided into sustained lateral and longitudinal vehicle motion control (LVMC) that is performed by the system and objects and events detection and response (OEDR) that the driver must carry out. Ultimately, when the L2 system is engaged, the driver is driving and has to monitor both the system and the roadway, respond appropriately, and retake the vehicle control where needed [2](#). Concerns have been expressed on the potential effects of monotonous and predictable driving on drivers' attention while supervising the automated system operation [3,4](#). Further investigations have also been conducted on how drivers will accept, trust, and interact with L2 systems during dangerous conditions [5,6](#).

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士(工学)
Japan Automobile Research Institute Autonomous Driving Research Division Dr.Eng

*2 筑波大学 システム情報工学研究科 博士(工学)
University of Tsukuba Faculty of Engineering, Information and Systems Dr.Eng

* 原稿受理 2022年1月10日 / 初掲載 2023年2月

With conditional driving automation systems (L3) mastering the LVMC and OEDR subtasks, the driver is no longer required to monitor the driving environment. However, from the safety perspective, the driver should be able to take the control back from the system when necessary or when, occasionally, requested by the system [7](#). This limitation has motivated a large amount of research to understand the effects of drivers' engagement on their take-over performance [8](#).

Several studies have described the adverse effects of drivers being out of the control and monitoring loop on their ability to perform cognitive processing and retrieve manual control after automated driving [9](#). Other studies show that differences in driver's take-over performance when monitoring the roadway or engaged in non-driving related tasks exist but are not significant [10](#). Some other studies stated that unless the driving task is fully automated, there would be an explicit role for the human driver [11](#). When encountering a situation that requires driver intervention, is driver's engagement during automated driving all that matters?

In the aviation domain, automation is complex, and the pilots, usually a pilot and a copilot, must monitor a high number of parameters [12](#). Maintaining safety in such a complex system is an organizational effort, and pilots are highly competent and trained to cope with the dynamically changing workload and situations [12](#). The human-machine interface (HMI) in automotive automation could be less complex, but the driving environment is faster-paced, and drivers are less qualified compared to aviation [13](#). In both aviation and automotive domains, the performance of operation tasks, tactical tasks, and strategic decisions is highly dependent on humans' ability to learn from heuristics and experience. Such human skills and abilities dependent task performance suggests a possible role of age and experience when operating airplanes and vehicles and deserves attention on the influence of these factors when regaining control from highly automated systems [14](#), [15](#).

Age has been found to affect humans' hazard perception, reaction time, cognitive processing speed and quality, and task switching ability [16](#). With manual driving, the driving performance of elderly and experienced drivers when exposed to secondary tasks is less affected than that of younger drivers who better performed secondary tasks with less attention to the driving task [17](#). With automated driving, the take-over time by younger drivers was generally shorter than that of older drivers, but this difference was not statistically significant [18](#). However, some studies have further investigated the association between drivers' age and gender and found a significant difference between younger male drivers and older female drivers in terms of reaction time and task performance during different conditions of manual driving [19](#). Although the influence of driver-related factors (age, experience, and gender) on driver-system interaction and acceptability has been investigated, how such factors is by different system designs and capabilities, and combine to impact driver's engagement, take-over decision, and control remains unclear. In this study, the focus is to evaluate users' interaction with different ADS designs during non-critical automated driving, while accounting for driver gender, age, and experience.

The present study investigates the impact of demographic human factors (gender, age, and experience) on driver decision-making and control when exposed to different ADS designs and traffic conditions. The proposed system represents an idealized automated driving system that can perfectly master the LVMC subtask at low speeds of up to 60 km/h and carry out OEDR subtask to a limited extent. The investigated scenarios simulate an automated vehicle (with the ADS installed) approaching a traffic congestion (20 km/h) while the adjacent lane was available with light traffic circulating at 60 km/h. All test scenarios were not safety critical (no imminent crash), so the focus could be on understanding the accuracy and the promptness of the cognitive processing required to maintain safe driving performance. It was hypothesized that the more the system requires driver's decisions and

control, the less the drivers accept the system. It was also hypothesized that the drivers would instead use the automated driving functions of the system when available than interrupt the automated process of the system.

2. Method

2.1 Participants and Apparatus

Forty participants (Female = 20, Male = 20; Mean_{age} = 44.5 $\pm$ 15.4) holding a valid driver's license were recruited to participate in a driving experiment at the University of Tsukuba, Japan. The experiment was implemented in a medium-fidelity driving simulator built by Honda (Fig. 1). The simulator consists of a dynamic car mockup mounted on four movable legs, in which an actual car seat and dashboard are placed with 120 degrees projection screen and three small LCDs to simulate the front, rear, and side driving views, respectively.

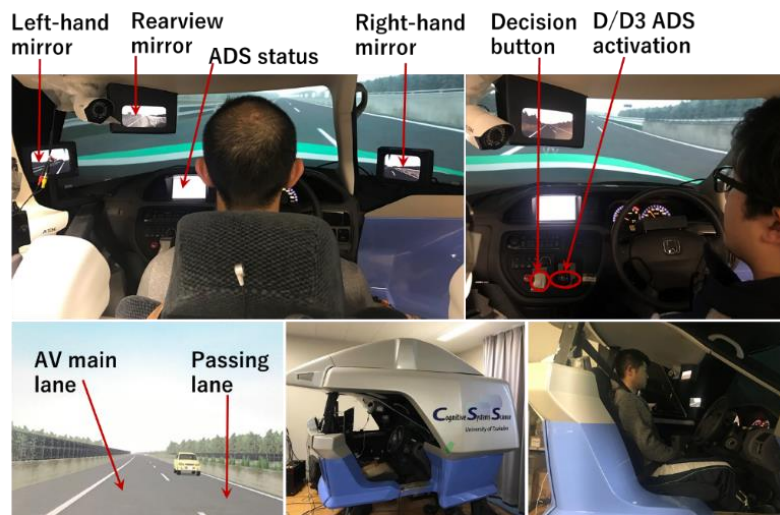


Fig. 1 A driving simulator cockpit with a single driver seat, an automatic transmission system (D: manual driving/D3: automated driving), and the approve/disapprove button.

2.2 ADS and HMI designs

An ADS was available at a speed ranging between zero and 60 km/h based on traffic conditions. The drivers could activate and deactivate the system by shifting the gear stick between D for manual driving and D3 for the automated driving mode. The status of ADS was displayed in a separated LCD located in the middle of the dashboard (Fig. 1, top-left). The system had four different states, as described in Table 1. The toggling of the system status has been associated with an acoustic alert to arouse the driver's attention. When the system is activated, LVMC and OEDR subtasks can entirely be delegated to the system, and the driver's control and monitoring are no longer required.

Four test scenarios (10 min each) were conducted on a two-lane highway during the daytime. In the first five minutes of each scenario, the traffic was smooth and light such that the ADS could control the vehicle at full speed (60 km/h) constantly. In the sixth minute, the system encountered traffic congestion on the left-hand lane. However, the traffic on the right-hand lane was still smooth, with few cars passing at 60 km/h. The ADS changed its state from HMI-2 to HMI-3 (Table 1) and reduced the speed to 20 km/h in accordance with the slow traffic ahead. The congestion could be avoided by changing lanes towards

the passing lane. Four ADS designs were proposed to perform such avoidance maneuvers.

1) ADS-1 (baseline): the system could only keep the lane and continue automated driving at a slow speed (20 km/h). The drivers had to decide the next course of action by themselves (e.g., keep automated driving at slow speed or take over and change lanes).

2) ADS-2: the system displays HMI-4 requesting the driver to take over and change lane manually. However, the driver could ignore the request and let the system continue driving at 20 km/h.

Table 1 HMI display of the automated driving system states.

System status	HMI Display	Description
Deactivated		HMI-1: the human driver performs LVMC and OEDR subtasks.
Activated at full speed 60 km/h		HMI-2: the ADS performs LVMC and OEDR subtasks. System and environment monitoring is optional.
Activated during traffic congestion (<20 km/h)		HMI-3: the ADS reduces the speed in response to slow traffic ahead.
Activated with driver's Action Required		HMI-4: an ADS requests the driver's intervention to improve the performance. However, driver's intervention is not essential or urgent.

3) ADS-3: the system displays HMI-4 requesting the driver's permission to execute an automatic lane change. The driver could approve the automatic lane change by pushing a button (Fig. 1, top-right) or ignore the request and let the system continue automated driving at 20 km/h.

4) ADS-4: the system displays HMI-4 informing the driver that an automatic lane change will start in 6 s. The drivers could disapprove of the lane change execution by pushing a button (Fig. 1, top-right) within the 6 s period.

2.3 Experimental Design and Procedures

This experiment was designed so that each driver experienced the four ADS designs. For each participant, the driving experiment started with two training drives, followed by four testing drives such that each system was tested once during the testing phase. The participants encountered the four ADS designs in a randomized order to reduce the effect of experience.

Participants were divided into two groups based on their age and driving experience (years of holding a valid driver's license), respectively. The younger group consisted of drivers younger than 45 year-old with driving experience between 1 and 24 years. The older group consisted of drivers older than 45 year-old with driving experience of more than 25 years. Both groups were further subdivided into two subgroups based on their previous experience of using ADS during the past three years. For driver

gender, the participants were divided into males and females, with age and experience factors balanced between groups.

3. Results and Discussions

Table 2 presents descriptive statistics of the groups and subgroups sizes and distributions based on the type of the first drivers' response to the change in traffic condition and system status. Subjects were divided into groups and subgroups in terms of gender, age, and experience. The purpose of the table is to understand the combined effects of the driver's demographic human factors (gender, age, and experience) and the ergonomic implications of the different ADS designs on the type of driver's control input.

It is apparent from the table that the vast majority of the participants decided to change lanes manually or automatically to avoid traffic congestion. Very few participants decided to keep the lane and continue with automated driving at a slow speed (20 km/h). For ADS-1, although there was no change in the system's HMI when encountering traffic congestion, approximately 85% of the participants took over the vehicle control and changed lanes manually. For ADS-2, 92% of the participants responded to the system's request to resume the manual control and overtake the traffic congestion. 90% of the participants pushed the decision button to permit ADS-3 automatic lane-change maneuver. Finally, about 40% of the participants pushed the button to interrupt ADS-4 automatic lane-change maneuver.

Table 2 Statistical data of the first control input by the drivers when encountering the traffic congestion for each system in consideration of drivers' gender, age, and experience.

Group Classification			Type of the first driver reaction										Lane change maneuvers	
Gender (20 drivers/ group)	Age (10 drivers/ group)	Experi- ence (5 drivers/ group)	Hands on the steering wheel				Decision Button		None					
			ADS -1	ADS -2	ADS -3	ADS -4	ADS -3	ADS -4	ADS -1	ADS -2	ADS -3	ADS -4	Manual	Automatic
Male	<45	ex*	5	5	0	0	5	2	0	0	0	3	11/20	8/20
		nex*	3	4	0	1	4	3	2	1	1	1	11/20	5/20
	>45	ex	5	4	0	1	5	0	0	1	0	4	10/20	9/20
		nex	4	5	1	2	4	0	1	0	0	3	12/20	7/20
Female	<45	ex	4	5	0	1	5	0	1	0	0	4	10/20	9/20
		nex	5	4	0	0	5	2	0	1	0	3	11/20	8/20
	>45	ex	4	5	1	1	3	2	1	0	1	2	11/20	5/20
		nex	4	5	0	0	5	0	1	0	0	5	9/20	10/20
Total (/40 drivers)			34	37	2	6	36	9	6	3	2	25		

* ex: experienced; nex: non-experienced

In all of the investigated scenarios, drivers' response was optional when the automated vehicle approached the traffic congestions, but their decision-making was time-dependent on the system design. Under ADS-1 and ADS-2, the drivers were able to perceive the traffic on the adjacent lane and make a lane-change decision accordingly, with no time limitation. However, with ADS-3 and ADS-4, the drivers had limited time (6 s) to decide whether it would be safe to automatically let the system perform the lane-change maneuver. Therefore, it is vital to compare drivers' reaction time under each system to further understand the drivers' ability to perform a safe lane change within the available space and their behavior towards the system.

The driver reaction time was calculated as the time elapsed from the system triggered HMI-3 to the driver's first reaction (hands on the wheel, foot on the pedal, or push the decision button) in response to

the change in the vehicle speed. Fig. 2 compares drivers' reaction time among groups and subgroups under each system. Statistically significant effects were identified for ADS design ($F(3, 156) = 4.32, p < 0.01$), gender ($F(1, 38) = 32.46, p < 0.01$), age ($F(1, 38) = 27.03, p < 0.01$), and experience groups ($F(1, 38) = 36.10, p < 0.01$). The analysis also indicated that significant interactions occurred between ADS design and gender groups ($F(3, 144) = 7.33, p < 0.05$), ADS design and age groups ($F(3, 144) = 9.18, p < 0.01$), and ADS design and drivers experience ($F(3, 144) = 11.12, p < 0.01$).

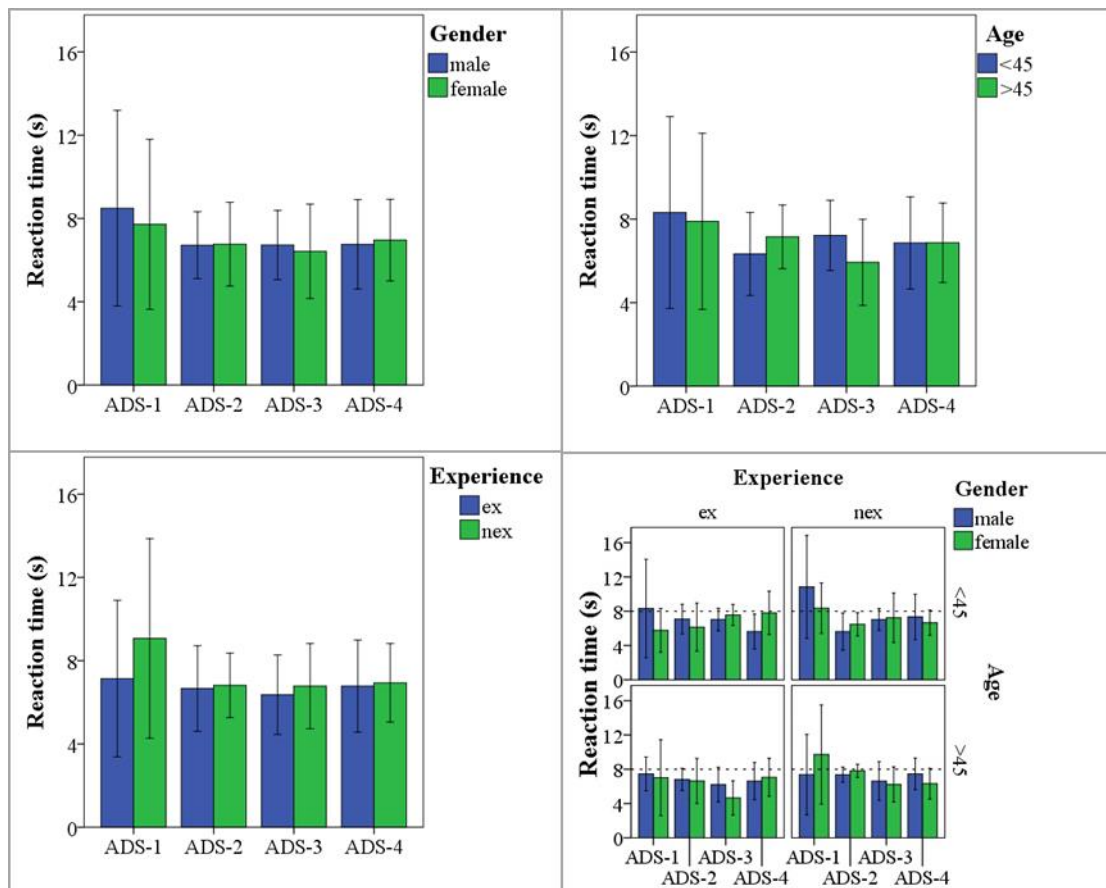


Fig. 2 Drivers reaction time in response to the HMI and traffic changes (error bars represent the standard deviation). Top-left: participants are divided into 20 male and 20 female drivers. Top-right: participants are divided into 20 older and 20 younger drivers. Bottom-left: participants are divided into 20 experienced and 20 non-experienced drivers based on their previous experience with automated driving. Bottom-right: participants are divided into eight subgroups (5 drivers each) based on gender, age, and previous experience of ADS

Multiple comparisons with Tukey HSD indicated that drivers' reaction time was comparable between male and female, younger and older, and experienced and non-experienced groups. Overall, the highest mean level was recorded under ADS-1 ($M = 10.83$) in the non-experienced younger male group, while the smallest mean level was recorded under ADS-3 ($M = 4.66$) in the experienced older female group. For ADS-1, the experienced younger female drivers reacted faster than non-experienced younger male drivers ($p < 0.05$). For ADS-2, the non-experienced younger male drivers reacted faster than the non-experienced older female drivers ($p < 0.05$). For ADS-3, there was a significant difference between experienced younger female drivers and experienced older female drivers ($p < 0.05$). For ADS-4, there was a significant difference between males and females in the experienced younger subgroup ($p < 0.01$).

These results indicate that while the effect of demographic human factors may not be significant when considered separately, the combined effects of drivers' gender, age, and experience can be recognizable.

Drivers' acceptance of each ADS was evaluated based on their willingness to use the system in the real world. The question was administrated to the participants after completing all driving tests. Fig. 3 compares drivers' rating of their acceptance of each ADS design between groups and subgroups. In general, ADS-1 and ADS-2 were more accepted than ADS-3 and ADS-4. Each demographic factor resulted in differences between groups for each ADS design. These differences become significant when all factors, i.e., gender, age, experience, are considered collectively. The experienced older male drivers recorded the highest acceptance rate under ADS-1, and the non-experienced older male drivers recorded the lowest acceptance rate under ADS-4.

Wilcoxon Rank Sum test was applied to examine the differences between groups and subgroups within and between systems. The experienced older male drivers significantly more accepted ADS-1 than the non-experienced older female drivers ($Z = -2.03$, $p < 0.05$). However, comparisons of the acceptance of ADS-2 and ADS-3 did not reveal any significant difference between groups and subgroups. ADS-4 was significantly less accepted by the experienced younger male drivers and non-experienced older male drivers compared to the experienced younger female drivers ($Z = -3.57$, $p < 0.01$) and experienced older female drivers ($Z = -2.89$, $p < 0.05$), respectively.

4. Conclusions

This driving simulator study investigated the effect of drivers' gender, age, and experience on their decision-making and control during low-speed conditional automated driving on a highway. The interaction between these three demographic factors and different ADS designs and capabilities resulted in significant differences in drivers' decision-making, reaction time, and system acceptance. When the drivers encountered traffic congestions during automated driving, they preferred to change lanes instead of continuing automated driving behind the congestion. Depending on ADS capabilities, the drivers resumed the vehicle control and changed lanes manually or let the system change lanes automatically.

Results of the type of the first control input by the drivers showed that the younger drivers were less likely to interrupt the automated driving than the older drivers. There was no significant difference associated with gender in terms of driver's reaction time, but drivers who practiced the AD before reacted faster to the HMI and traffic changes than the first-time-practicing drivers. The results showed that the standard deviation of the drivers' reaction time under ADS-1 is larger than ADS-2, and the latter is larger than ADS-3 and ADS-4. With ADS-1, the drivers had to perceive the traffic change and decide without system support. With ADS-2 supports driver's decision-making reduced the time spent by the drivers to reach a decision and act. Further reduction in the standard deviation of drivers' reaction time was achieved when the system supported drivers control with a time limitation to decide.

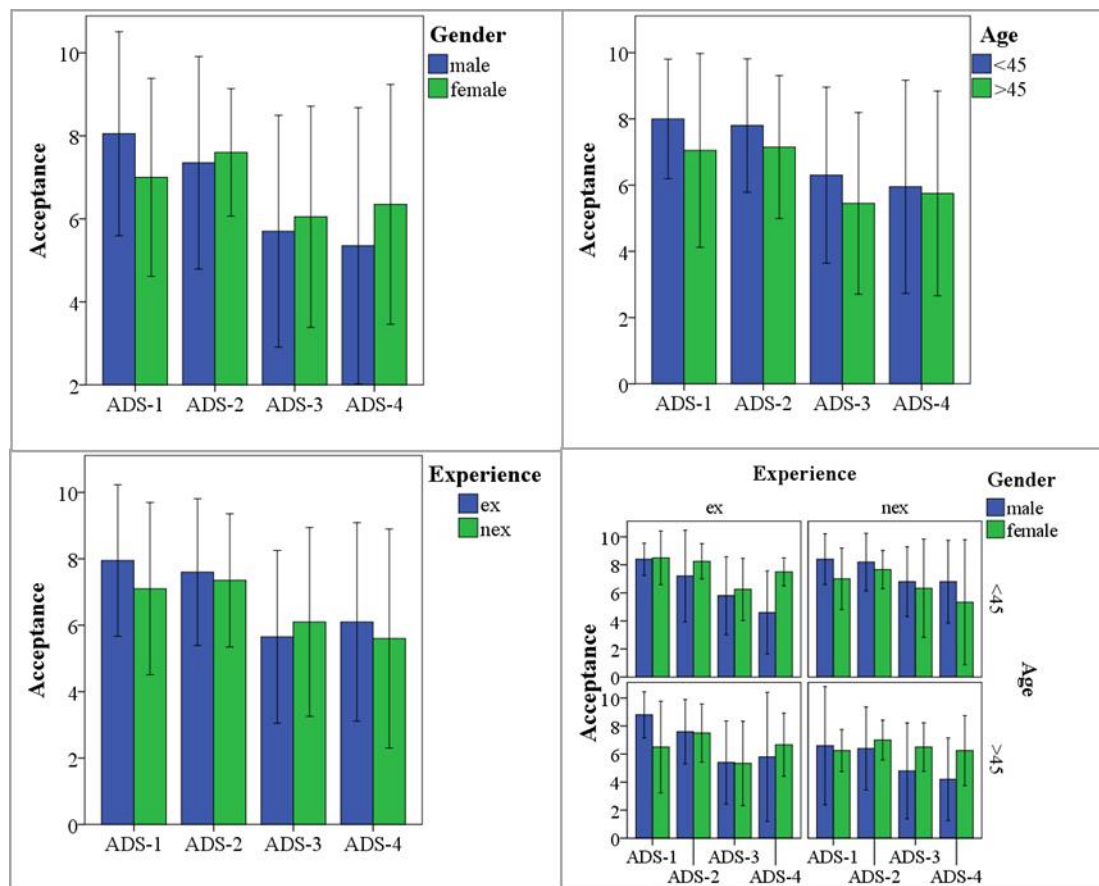


Fig. 3 Subjective assessment of drivers' acceptance of ADS designs (error bars represent the standard deviation). Top-left: participants are divided into 20 male and 20 female drivers. Top-right: participants are divided into 20 older and 20 younger drivers. Bottom-left: participants are divided into 20 experienced and 20 non-experienced drivers based on their previous experience with automated driving. Bottom-right: participants are divided into eight subgroups (5 drivers each) based on gender, age, and previous experience of ADS

The overall drivers' subjective assessment of their acceptance of the systems was good. While the demographic human factors revealed significant differences under ADS-1 and ADS-4, they did not reveal significant differences under ADS-2 and ADS-3. The likely reason for such differences can be related to the extent to which the design of each system is compatible with the concept of human-centered automation (see [8](#) for more details). ADS-1 and ADS-4 did not support human decision-making when the automated process changed in response to an external change in the surrounding environment. The drivers may not understand the automated process, which may lead to unexpected system behavior and reduce human trust and acceptance. Although ADS-2 and ADS-3 differed in systems capabilities, both systems are designed to support human decision-making and drivers' understanding of the automated process and the surrounding environment.

This study has gone some way toward enhancing our understanding of how driver gender, age, experience, and practice will influence the potential effects of automated vehicles on traffic flow and safety. The investigation of the interaction between demographic factors and system design in such time-critical conditions has shown that the drivers tend to accept and trust systems with less intervention than those requiring driver intervention. It also shows that cooperative ADS designs (e.g., ADS-2 and ADS-3) would compromise the influence of demographic factors. Though limited in terms of the small

sample size and the investigated scenarios, these findings can be used to develop ADS interventions, particularly during the penetration of automated vehicles in real traffic and the potential conflict with the manually (human) controlled vehicles. They also warrant future research on the influence of individual characteristics on user-ADS interaction and the HMI design for automated vehicles.

References

- [1\)](#) SAE International: Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (J3016), Society for Automotive Engineers (2018)
- [2\)](#) Zhou, H., Itoh, M., Kitazaki, S.: Effect of instructing system limitations on the intervening behavior of drivers in partial driving automation, *Cognition, Technology & Work*, Vol.22, No.2, p.321-334 (2020)
- [3\)](#) Banks, V. A., Eriksson, A., O'Donoghue, J., Stanton, N. A.: Is partially automated driving a bad idea? Observations from an on-road study, *Applied ergonomics*, Vol.68, p. 38-145 (2018)
- [4\)](#) Cabrall, C. D., Eriksson, A., Dreger, F., Happee, R., de Winter, J.: How to keep drivers engaged while supervising driving automation? A literature survey and categorisation of six solution areas, *Theoretical issues in ergonomics science*, Vol.20, No.3, p.332-365 (2019)
- [5\)](#) Kraft, A.-K., Naujoks, F., Wörle, J., Neukum, A., The impact of an in-vehicle display on glance distribution in partially automated driving in an on-road experiment, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol.52, p.40-50 (2018)
- [6\)](#) Louw, T., Kountouriotis, G., Carsten, O., Merat, N.: In Driver inattention during vehicle automation: How does driver engagement affect resumption of control?, 4th International Conference on Driver Distraction and Inattention (DDI2015), Sydney: proceedings, ARRB Group (2015)
- [7\)](#) Wu, Y., Kihara, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., Kitazaki, S.: Effects of scheduled manual driving on drowsiness and response to take over request: A simulator study towards understanding drivers in automated driving, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.124, p.202-209 (2019)
- [8\)](#) Inagaki, T., Sheridan, T. B.: A critique of the SAE conditional driving automation definition, and analyses of options for improvement, *Cognition, technology & work*, Vol.21, No.4, p.569-578 (2019)
- [9\)](#) Zeeb, K., Buchner, A., Schrauf, M.: Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.92, p.230-239, (2016)
- [10\)](#) Rauffet, P., Botzer, A., Chauvin, C., Saïd, F., Tordet, C.: The relationship between level of engagement in a non-driving task and driver response time when taking control of an automated vehicle, *Cognition, Technology & Work*, Vol.22, No.4, p.721-731 (2020)
- [11\)](#) Kyriakidis, M., de Winter, J. C., Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K., Martens, M. H., Bengler, K., Andersson, J., Merat, N.: A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Vol.20, No.3, p.223-249 (2019)
- [12\)](#) Chialastri, A.: Automation in aviation, INTECH Open Access Publisher (2012)
- [13\)](#) Cohen, J., Nuckolls, L., Mourant, R. R.: Endoscopy simulators: lessons from the aviation and automobile industries. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics*, Vol.16, No.3, p.407-423 (2006)
- [14\)](#) Cummings, M. L., Guerlain, S.: Developing operator capacity estimates for supervisory control of autonomous vehicles. *Human factors*, Vol.49 No.1, p.1-15 (2007)
- [15\)](#) Barnhart, R. K., Marshall, D. M., Shappee, E.: Introduction to unmanned aircraft systems, Crc Press (2020)
- [16\)](#) Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M., Teasdale, N.: Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.41, No.4, p.763-771 (2009)
- [17\)](#) Getzmann, S., Arnau, S., Karthaus, M., Reiser, J. E., Wascher, E.: Age-related differences in pro-active driving behavior revealed by EEG measures, *Frontiers in human neuroscience*, Vol.12, No.321, (2018)
- [18\)](#) Körber, M., Gold, C., Lechner, D., Bengler, K.: The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol.39, p.9-32 (2016)
- [19\)](#) Skrypchuk, L., Mouzakitis, A., Langdon, P., Clarkson, P.: In The Effect of Age and Gender on Task Performance in the Automobile, Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology, Springer, p.7-27 (2018)

高速道路渋滞場面における自動運転車に対する受容性

－外部表示およびドライバの知識が不安感に及ぼす影響－

Acceptance of an Automated Vehicle by the Following Drivers in Traffic Congestion on Motorways

－Effects of External Displays and Knowledge of Following Drivers on Anxiety about Automated Vehicles－

大谷 亮^{*1}

Akira OHTANI

江上 嘉典^{*2}

Yoshinori EGAMI

栗山 あずさ^{*2}

Azusa KURIYAMA

佐藤 健治^{*2}

Kenji SATO

石井 啓介^{*3}

Keisuke ISHII

Abstract

In recent years, automated vehicles have gradually become more common on motorways in Japan. It is important that surrounding drivers accept the automated vehicles in order to promote such vehicles more in the future. This research investigated the effects of an external display and drivers' knowledge and acceptance of automated driving. A driving simulator experiment was conducted to investigate this aim. Drivers were asked to follow an automated vehicle equipped with the external display at low speeds in traffic congestion, and after completing the drive, they were asked to answer their concerns about the vehicle. The results showed that drivers with no knowledge of automated driving tended to feel anxious when the external display noted the state of automated driving, but on average, the degree of anxiety was acceptable. More investigation is necessary to determine the validity of the results obtained in this study.

1. はじめに

ドライバが従来行っていた運転操作の一部または全てをシステムが担う自動運転の実用化に向けた検討が進められており、交通事故の低減、ドライバの負担の軽減、および交通渋滞の緩和などの諸問題の解決が期待されている。

日本では、SAE（Society of Automobile Engineers International）で定めた J3016 で定義されるレベル 3 の自動運転システム¹⁾を搭載する自動車の走行環境の整備を図るため、道路運送車両法や道路交通法の一部が 2019 年に改正され、2020 年度の施行に至った。また、諸外国においても、国連基準 UN-R157 における ALKS（Automated Lane-Keeping Systems）や、市街地を低速で走行するレベル 4 の自動運転移動サービスなどのプロジェクト²⁾などが推進されている。

自動運転システムの普及促進に向けた検討の中では、システム利用者だけではなく、周辺のドライバ、歩行者、さらには自転車乗用者などの交通参加者（以下、「周辺交通主体」という）の自動運転車に対する受容性が議論されている。自動運転に対する周辺交通主体の受容性は、自動運転車に対する概念的な安心感（人以外のシステムが運転を担うことへの安心感）と、自動運転車に実際に遭遇した際に感じる一時的な安心感（自動運転車と遭遇した際に評価される安心感）^{例えば 3)}が関係すると考えられる。一時的な安心感の内、一般道市街地において、歩行者が自動運転車と遭遇する際の安心感（不安感）や反応については広く検討されており、周辺交通主体に対する外部表示を対象にした研究がみられる^{例えば 4)}。一方、自家用車への自動運転システム導入が先行している日本の高速道路を想定して、走行する自動運転車に対して抱く周辺のドライバ（以下、「周辺ドライバ」という）の不安感や反応については、ほとんど検討されていない。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（心理学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*3 一般社団法人日本自動車工業会

* 原稿受理 2022年6月10日 / 初掲載 2023年7月

本研究では、運転シミュレータ（以下、「DS（Driving Simulator）」という）実験により、高速道路において渋滞が生じる場面を対象にして、外部表示や周辺ドライバの知識が、自動運転車に追従する際の不安感に及ぼす影響を調査した。

2. 方法

自動運転車に対する周辺ドライバ、すなわち高速道路で自動運転車に追従するドライバ（以下、「参加者」という）の不安感を調査するため、一般財団法人日本自動車研究所（以下、「JARI」という）が所有する全方位視野 DS を用いて、以下の実験を行った。

2.1 参加者

日常的に自動車を運転するドライバ 18 名（男性 15 名、女性 3 名）が本実験に参加した。参加者の平均年齢は 38.6 歳（標準偏差（SD）11.3 歳，19 歳から 62 歳に分布），免許取得後平均経過年数は 20.1 歳（SD 11.5 歳）であった。また、一週間の平均運転日数は 6.6 日（SD 0.9 日），平均年間走行距離は 11,600 km（SD 7,000 km）であった。

ここで、周辺ドライバの知識が自動運転車に対する不安感に影響を及ぼすか否かを検討するため、18 名の参加者を 2 群に分けた（2.3.2 項参照）。

なお、新型コロナウイルス感染症流行下での実験となったため、参加者は全て JARI 職員となった。

2.2 模擬した交通状況と自動運転車

SAE のレベル 3 相当の自動運転システムを搭載した先行車（以下、「先行自動運転車」という），10 台の側方車、および後続車が存在する片側 2 車線の高速道路を DS に模擬した。DS に設定した高速道路は 1 車線分の道路幅が 3.5 m であり、制限速度は 80 km/h であった。模擬した交通状況の詳細は、以下の通りである（Fig. 1：同図は、4 つの走行を左から右への時間遷移として示している）。

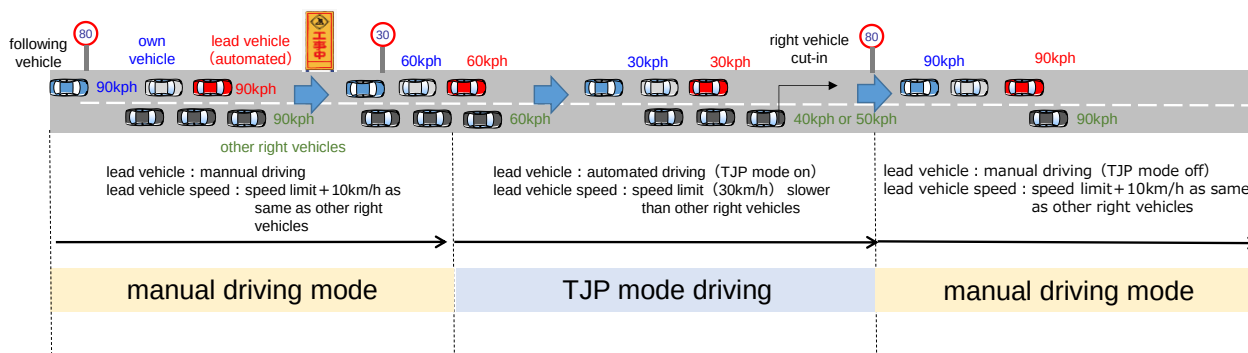


Fig. 1 Simulated scene in this study

- ・片側 2 車線の高速道路において、参加者が先行自動運転車に追従する状況を模擬した。
- ・先行自動運転車、側方車、および後続車は、DS システムの起動時には高速道路上に停車しており、先行自動運転車は参加者の運転する車両（以下、「自車」という）の 150 m 前方、後続車は 15 m 後方に位置した。また、側方車は片側 2 車線道路の追い越し車線上に配置し、側方車間の距離は全て 20 m とした。
- ・ドライバの操作により自車が走行して、先行自動運転車との車間距離が 75 m になった時点で、当該先行車、および 10 台の側方車が 90 km/h まで加速するようにした。また、交通状況によらず、後続車は自車の走行に合わせて 15 m の車間距離を維持するようにした。なお、側方車間の距離 20 m や後続車との距

離を 15 m にしたのは、参加者が側方や後方に移動して交通状況が変化しないようにする実験統制のためであった。

- ・先行自動運転車および側方車の速度が 90 km/h に到達後の約 40 秒の間、これらの車両は 90 km/h で定常走行するようにした。
- ・約 40 秒間の定常走行後に、高速道路の工事場面を設定した。また、工事により道路の制限速度が 30 km/h となる交通規制があり、渋滞が発生する場面を模擬した（以下、「渋滞イベント」という）。この際、第一走行車線の左側の路肩に、「工事中」および「30 km/h の速度制限」を示す看板を配置した。
- ・渋滞イベントが発生した後、先行自動運転車は、速度規制を遵守するために徐々に減速し、走行速度が 60 km/h となった時点で渋滞時の自動走行を行うモード（Traffic Jam Pilot モード：以下、「TJP モード」という）になるようにした。
- ・TJP モードに入り、先行自動運転車の速度が 30 km/h に到達した後、約 1.5 分の間、当該先行車が定常走行するようにした。
- ・先行自動運転車が 30 km/h に到達した 5 秒後に、並走する側方車は、40 km/h もしくは 50 km/h の速度で走行し、左ウインカーを提示しながら、先行自動運転車の前へ車線変更するようにした。なお、側方車は 10 台設置したが、先行自動運転車を追い越した後、ドライバの視界から消失した段階で、側方車群の最後尾に移動させ、繰り返し追い越しが生じる状況を設定した。
- ・先行自動運転車が約 1.5 分の間 30 km/h で定常走行した後、渋滞が緩和されるようにした。渋滞の緩和に伴い、先行自動運転車は加速を開始し、60 km/h に到達した時点で、TJP モードが解除され、再び 90 km/h で定常走行するようにした。また、側方車も渋滞の緩和により 90 km/h の速度で定常走行した。
- ・先行自動運転車および側方車の速度が 90 km/h になった時点で、750 m 先に目的地を設けた。目的地を自車が通過した後、参加者に停止を求め、1 走行を終了した。

DS 実験で模擬した先行自動運転車は SAE のレベル 3 相当のシステムを搭載しており、自動運転中（TJP モード中）は、ドライバがアクセル、ブレーキ、およびハンドル操作を行わなくても、一定の速度で自車線上を直進走行し、自動運転が解除されている場合には、先行車ドライバが手動で運転する想定とした。また、自動運転中は制限速度を遵守する設定とした。

2.3 検討した要因

片側 2 車線の高速道路直線部において、自動運転車に遭遇した際の参加者の不安感に影響を及ぼす要因を調査するため、以下の条件を設定した。

2.3.1 外部表示の種類

外部表示の種類が、追従時の参加者の不安感に及ぼす影響を調査するため、以下の 3 条件を設定した（Fig. 2：以下、「外部表示条件」という）。

(1)自動運転車/マーカーあり

先行自動運転車が自動運転システムを搭載しており、「自動運転中」を示すマーカー（Fig.2(a)）を参加者から見える箇所に表示している条件。参加者には、マーカーの意味として「自動運転車であり、現在、自動運転している」という説明を行った。

(2)自動運転車/ステッカーあり

先行自動運転車が自動運転システムを搭載しており、「自動運転車」を示すステッカー（Fig.2(b)：国土交通省令和 2 年 3 月 31 日報道発表資料⁵⁾）を参加者から見える箇所に貼付している条件。参加者

には、ステッカーの意味として「自動運転車をあらわすが、必ずしも自動運転中とは限らない」という説明を行った。



Fig. 2 External displays in this study

(3)自動運転車/無表示

自動運転車が自動運転システムを搭載しており、マーカーやステッカーが表示もしくは貼付されていない条件（以下、「無表示」と記す）。

外部表示について、マーカーは渋滞イベントが発生し、先行自動運転車が TJP モードにセットされ、速度が 60 km/h 以下になったら点灯するようにした。また、渋滞が解消し、先行自動運転車の速度が 60 km/h よりも高くなったら消灯した。マーカーの設置位置は、先行自動運転車のリアウィンド内であり、大きさは縦約 300 mm × 横約 1,000 mm 以内に「自動運転中」の文字が収まるようにした (Fig.3(a))。

また、ステッカーはナンバープレートの右横に設定した。なお、ステッカーの大きさは、最低サイズ縦 95 mm × 横 100 mm とされているが、本研究の調査では DS を用いたため、映像の解像度による可読性の問題などから、縦および横とも 3 倍の大きさにして実験を行った (Fig.3(b))。

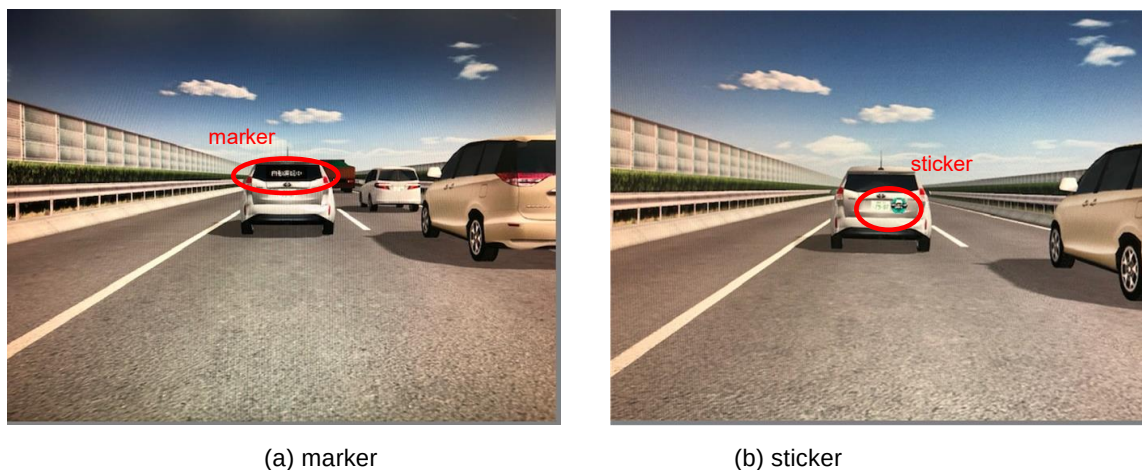


Fig. 3 Positions of external displays

2.3.2 事前知識

自動運転システムに関する事前の知識（以下、「教示の有無」という）が、先行自動運転車追従時の参加者の不安感に及ぼす影響を調べるため、以下の 2 通りの群を設けた。

(1) 教示あり

参加者 18 名の内半数の 9 名に対して、DS での走行を求める前に、「自動運転車は、必ず周囲の車両を認識し、法令を遵守して走行・停止します」を紙面と口頭で教示された群（以下、「教示あり群」という）。教示あり群の属性は、下記の通りであった。

- ・性別：男性 7 名，女性 2 名。
- ・年齢：平均 38.8 歳（26－62 歳に分布），SD 10.2 歳。
- ・免許取得後経過年数：平均 18.7 年，SD 0.7 年。
- ・一週間の運転頻度：平均 6.2 日，SD 1.3 日。
- ・年間走行距離：平均 13,000 km，SD 8,500 km。

(2) 教示なし群

参加者 18 名の内半数の 9 名に対して、DS での走行を求める前に、教示あり群に提示した教示を与えなかった群（以下、「教示なし群」という）。教示なし群の属性は、下記の通りであった。

- ・性別：男性 8 名，女性 1 名。
- ・年齢：平均 38.3 歳（19－57 歳に分布），SD 13.4 歳。
- ・免許取得後経過年数：平均 18.2 年，SD 0.7 年。
- ・一週間の運転頻度：平均 6.9 日，SD 0.3 日。
- ・年間走行距離：平均 10,000 km，SD 5,200 km。

2.3.3 交通状況（側方車の速度）

交通状況が追従時の参加者の不安感に及ぼす影響を調査するため、渋滞イベント発生時の側方車の速度について、以下の 2 条件を設定した（以下、「側方車速度条件」という）。

(1) 側方車速度 40 km/h

渋滞イベント発生により、先行自動運転車が 30 km/h で定常走行している際に、側方車が 40 km/h で走行し先行自動運転車の前へ車線変更する状況を模擬した。

(2) 側方車速度 50 km/h

渋滞イベント発生により、先行自動運転車が 30 km/h で定常走行している際に、側方車が 50 km/h で走行し先行自動運転車の前へ車線変更する状況を模擬した。

以上の 3 通りの検討要因（外部表示の種類、事前知識、交通状況）の内、外部表示の種類 3 条件と交通状況の 2 条件を被験者内計画、教示の有無の 2 条件を被験者間計画とした。したがって、一人の参加者が体験する条件数は、外部表示の 3 条件と交通状況の 2 条件との組み合わせによる計 6 条件であり、1 走行中に 1 条件を実施した（以下、「走行セッション」という）。

2.4 測定指標

先行自動運転車に追従する後続車ドライバの不安感や対応行動などを調べるため、参加者の主観評価と内省報告、渋滞イベント発生によって先行自動運転車が TJP モードとなり 30 km/h で定常走行している際の運転行動や車両挙動の指標（以下、まとめて「運転行動指標」という）を測定した。

測定した指標は以下の通りである。

(1) 主観評価指標

各走行セッション終了後に、不安感に関する主観評価を参加者から聴取した。すなわち、30 km/h で走行する先行自動運転車に追従している際に、どの程度当該車両に対して不安を感じていたかを、0%から100%で評価するよう参加者に求めた (Fig.4)。なお、許容できる限界の不安感を、50%として回答するよう参加者に教示した。

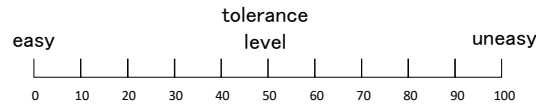


Fig. 4 Subjective scale of feeling of anxiety

(2) 運転行動指標

渋滞イベント発生によって先行自動運転車が TJP モードとなり、約 1.5 分の間 30 km/h で走行している際の運転行動として、参加者の前後方向 (例、ブレーキ操作回数や先行自動運転車との平均車間時間) および横方向 (例、ステアリング最大操作角度や車両の横変位量) の操作や挙動を 120 Hz サンプリング周期で測定した。

また、参加者の視認行動として、側方車を確認した回数を調べた。側方車を確認した回数は、道路右側、車室内および右サイドミラーの視認回数から求めた (以下、「視認回数」という)。視認回数は運転中の参加者の顔面を撮影し、30 Hz サンプリング周期で DV レコーダに記録した。

2.5 実験手順

本研究は、以下の実験手順で検討を行った。

- ・参加者に実験の主旨、プライバシー保護、DS の特徴 (例えば、DS 酔い) などについて説明し、インフォームド・コンセントを得た上で実験を実施した。
- ・本研究の目的を参加者に明示した後に、片側 2 車線の高速道路直線部を模擬した DS について説明した。また、日常と同様の走行を心がけて、車線逸脱や他の車両と衝突しないようにステアリングやブレーキペダルを操作するよう参加者に求め、事故の回避はドライバ責任であることを明示した。
- ・先行自動運転車について、本研究で想定している自動運転システムの特徴について説明した。この際、外部表示として、マーカーやステッカーの意味についても参加者に教示した。
- ・上記の説明の終了後、各走行セッションについて、目的地に時間通りに到着するように教示した。また、目的地までに時間通りに走行できているか否かについて、時間通り走行している際には、参加者が運転する自車のメータークラスター内部に青丸印、遅延している場合には赤丸印が提示されることも参加者に説明した。この目的地に時間通りに到達する課題を参加者に課したのは、先行自動運転車に 30 km/h で追従している際に焦燥感を与えるためであった。なお、遅延を知らせる赤丸印は、先行の自動運転車両が 30 km/h で定常走行した 5 秒後に点灯するようにした。
- ・本実験の目的、内容、先行自動運転車のシステムの特徴、ならび外部表示について、参加者が了解したことを確認した後、DS の操作に慣れるための練習走行を行った。
- ・練習走行において、参加者が DS の運転に慣れたことを確認した後、順序効果を相殺するため、本研究で設定した走行セッションをランダム順に実施した。なお、各走行セッションで提示される外部表示については、運転開始前に参加者へ明示した。
- ・走行セッション終了ごとに、主観評価への回答と内省報告を参加者に求めた。
- ・全ての走行セッションが終了した後、外部表示の好み (複数回答可) の順位などについて聴取し、実験を終了した。

実験の所要時間は休憩を含め各参加者とも合計 1.5 時間程度 (DS 搭乗時間は約 1 時間 10 分) であった。なお、本実験は、JARI の倫理委員会の承認を得た上で実施した (承認番号: 20-007)。

3. 結果

本研究で設定した検討要因の影響を把握するため、2.3 節の検討要因別に主観評価や運転行動の各指標の平均値と SD、もしくは百分率を求めた。平均値の差の検定には、対応のある t 検定、もしくは混合型の二元配置の分散分析を用い、効果量 (d' もしくは η^2) を併せて算出した。

なお、参加者 18 名中 2 名は、先行自動運転車を追い越すために車線変更を行ったことより、運転行動指標と視認回数のデータについては、この 2 名を除外して集計した。また、分析の結果、交通状況 (側方車の速度) の要因は主観評価や運転行動に大きな影響を及ぼさないことがわかったため、これ以降の結果は、交通状況の条件を合算したものを分析している。

3.1 外部表示と教示の有無の影響

(1) 主観評価指標の結果

混合型の二元配置分散分析の結果、不安感について、外部表示、教示の有無、および交互作用に有意差はみられなかった。なお、有意差はみられなかったものの、教示なし群では、マーカールの不安感が最も高く、次にステッカー、無表示の順に不安感が高かったが、教示あり群ではその逆の結果が示された。ただし、いずれも平均値が許容限界 (50%) を下回っていた (Fig. 5(a), Table 1(a))。

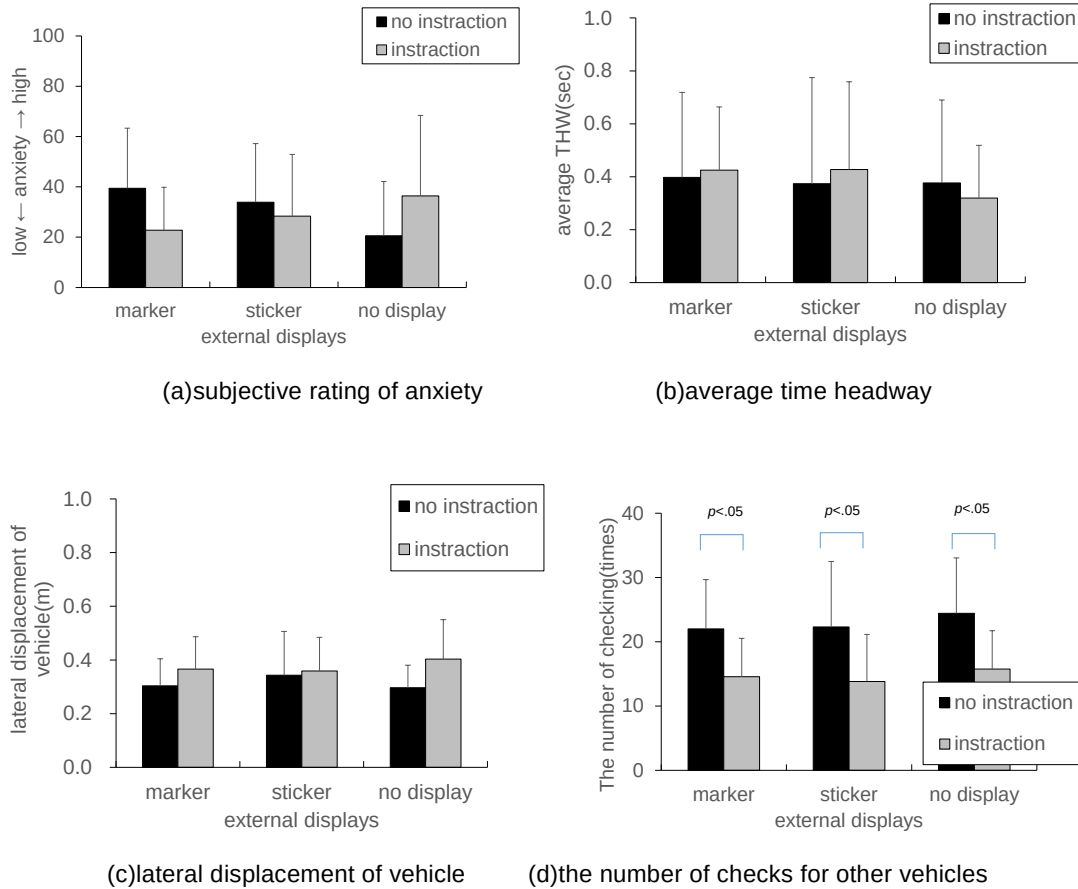


Fig. 5 Impacts of external displays and instruction to the surrounding drivers on their subjective ratings and driving behaviours

Table 1 Two-way ANOVA table of external HMI and instruction

(a) subjective rating of anxiety

(b) average time headway

Factors	SS	df	MS	F	significant	η^2	Factors	SS	df	MS	F	significant	η^2
instruction	122.45	1	122.45	0.06	ns	0.00	instruction	0.00	1	0.00	0.00	ns	0.00
s×instruction	32046.76	16	2002.92				s×instruction	7.38	14	0.53			
external displays	167.13	2	83.56	0.10	ns	0.00	external displays	0.07	1.94	0.04	0.89	ns	0.01
interaction	4911.57	2	2455.79	2.87		0.08	interaction	0.05	1.94	0.03	0.64	ns	0.01
s×instruction×external displays	27371.30	32	855.35				s×instruction×external displays	1.15	27.16	0.04			
Total	64619.21	53	5520.08				Total	8.66	46	0.64			

Factors	SS	df	MS	F	significant	η^2	Factors	SS	df	MS	F	significant	η^2
instruction	0.09	1	0.09	1.38	ns	0.06	instruction	1617.04	1	1617.04	5.95	*	0.23
s×instruction	0.93	14	0.07				s×instruction	3804.92	14	271.78			
external displays	0.01	1.83	0.00	0.14	ns	0.00	external displays	79.56	2	39.78	0.69	ns	0.01
interaction	0.03	1.83	0.02	0.92	ns	0.02	interaction	7.27	2	3.64	0.06	ns	0.00
s×instruction×external displays	0.51	25.61	0.02				s×instruction×external displays	1625.83	28	58.07			
Total	1.56	44	0.20				Total	7134.63	47	1990.30			

(2) 運転行動指標の結果

混合型の二元配置分散分析の結果、本研究で測定した前後方向（例、平均車間時間（Time headway: THW）: Fig. 5(b), Table 1(b)）および横方向（例、車両横変位量: Fig. 5(c), Table 1(c)）の全ての指標において、外部表示、教示の有無、および交互作用に有意差はみられなかった。

次に、側方車を確認した回数（Fig. 5(d), Table 1(d)）については、教示の有無に主効果がみられ、教示なしに比べて、教示ありの視認回数が小さく、効果量も大きいと判定された（ $\eta^2=0.23$ ）。

3.2 内省報告の結果

マーカーやステッカー、および無表示が好まれる理由として、教示あり群（2名は無回答）では、「作動状況がわかる」という理由でマーカー（9名中3名）、「自動運転車が低速の理由がわかる」という理由でステッカー（9名中2名）、さらに、「手動運転と同じ」という理由で無表示が好まれる傾向が高かった（9名中2名）。また、教示なし群では、「作動状況がわかる」という理由でマーカーが好まれ（9名中4名）、「手動運転と同じ」や「自動運転車とわかる」という理由でステッカーが好まれる傾向が高かった（9名中3名）。さらに、「手動運転と同じ」という理由で無表示が好まれる傾向がみられた（9名中5名）。

次に、マーカーやステッカー、および無表示が好まれない理由として、教示あり群では、「作動状況がわからない」といった理由で、無表示が好まれない傾向がみられた（9名中3名）。また、教示なし群では、「先行車が自動運転中とわかると緊張する」といった理由からマーカーは好まれない場合があった（9名中3名）。

4. 考察

本章では、SAEのレベル3相当の自動運転システムを対象にして、DSに片側2車線の高速道路直線部に渋滞が生じる場面を模擬し、先行する自動運転車に手動運転で追従する状況を想定して、外部表示やドライバの知識などが、走行中の周辺ドライバの安心感などに及ぼす影響を調査した。

DS実験の結果、本研究で設定した範囲内では、外部表示の違いによる不安感や運転行動への影響は平均値的に見ると大きくはなく、マーカーもステッカーも不安感の許容限界値を下回ることが示された。この点から、高速道路の渋滞状況下で自動運転車に追従する場合には、マーカーの有用性はステッカーと同程度と考えられる。

また、内省報告の結果から、ステッカーについて、自動運転車に関する事前知識がないと、自動運転車とわかり好ましいといった意見が見られ、さらに、事前知識があると、自動運転車が低速した理由もわかるようになり、好ましいという意見が聴かれた。この結果から、周辺交通主体（ドライバ）に自動運転車に対するより深い知識をもって運転してもらうには、ステッカーの場合、自動運転に関する知識が重要になると考えられる。

さらに、マーカーについては、自動運転に関する知識の有無にかかわらず、作動状況がわかるという点で好まれており、作動状況を伝える必要のある状況下では、マーカーの利用が有用と推察される。一方で、本研究の結果の範囲では、事前知識がないと、自動運転中とわかると緊張するため、マーカーが好ましくないといった意見も聴かれており、この結果は、自動運転システムに対する周辺ドライバの適切な理解が浸透していない過渡期以前に、自動運転システムと周辺交通主体とのインタラクションをはじめて行う際の結果と解釈できる。この点から、自動運転中表示する際には、システム全体として安全が確保されていることを周辺交通主体が知っておくことが安心感の向上にとって重要と考えられる。

なお、外部表示の種類にかかわらず、自動運転に関する知識がないと、右側方車を確認する回数が増えており、この結果は、自動運転車と遭遇した際の周辺交通主体の対応が知識により異なる可能性を示唆していると推察される。

以上の考察は、18 名の実験参加者からなる DS 実験の結果から導き出されたものであり、今後、実験参加者の属性を考慮した上でデータ数を増やして、結果の妥当性や信頼性を検証する必要がある。また、本研究では、高速道路を先行車に追従し渋滞が発生する状況を対象に検討を行ったが、今後、異なる交通状況や場面を対象にして、本研究の結果の解釈を行うことが重要である。

謝辞

本研究は一般社団法人日本自動車工業会自動運転ヒューマンファクタ分科会からの委託研究として、一般財団法人日本自動車研究所が 2020 年度に実施した内容の一部をまとめたものであり、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) SAE International: SAE J3016 (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Surface vehicle recommended practice (2016)
- 2) Merat, M. et al: What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space ? Accident Analysis and Prevention, Vol. 118, p.244-252 (2018)
- 3) Deb S. et al: Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles. Transportation Research Part C, Vol. 84, p.178-195 (2017)
- 4) De Clercq, K. et al.: External human-machine interfaces on automated vehicles: Effects on pedestrian crossing decisions. Human Factors, 61, p.1353-1370 (2019)
- 5) 国土交通省：報道・広報 自動運転車に関する安全基準を策定しました！～自動運転車のステッカーのデザインも決定～。
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000338.html (参照 2022.06.01)

自動運転車の安全性評価シナリオにおける Unpreventable 領域の評価方法に関する検討

Study on Evaluation Methods for Unpreventable Areas in Safety Assurance for Automated Vehicles

加藤 良祐^{*1}
Ryousuke KATO

高山 晋一^{*2}
Shinichi TAKAYAMA

今長 久^{*2}
Hisashi IMANAGA

Abstract

In the ALKS regulations (UNR157), a Preventable boundary is proposed and "mitigation is the only option" in the Reasonably Foreseeable and Unpreventable areas. However, no specific methods or criteria for such mitigation have been proposed to date. In this study, the CARLA Auto Pilot system was used as an evaluation vehicle for automated vehicles, and the Preventable boundary was reproduced. In order to examine the mitigation of occupant injuries in the event of an accident, a crash simulation using LS-DYNA was conducted, and specific indicators of mitigation were examined.

1. 背景・目的

国土交通省の自動運転車の安全技術ガイドライン¹⁾では自動運転車が満たすべき車両安全の定義を「自動運転車の運行設計領域において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」としている。

また、日本自動車工業会の自動運転の安全性評価フレームワーク²⁾では、この合理的に予見される事故を Reasonably Foreseeable、合理的に予見できない事故を Unforeseeable、防止可能な事故を Preventable、防止不可能な事故を Unpreventable と定義し、その組み合わせを 4 象限マトリクスで表現している (Fig. 1)。

国連法規 R157 の Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems³⁾ (以下、「ALKS 法規」という)では Reasonably Foreseeable において、Preventable / Unpreventable の境界 (以下、「Preventable 境界」という)が提案されており、文献 2) ではその Reasonably Foreseeable かつ Unpreventable である領域 (以下、「Unpreventable 領域」という)において「緩和 (結果として生じる損傷を低減すること) が唯一の選択肢」とされている。しかしながら、この緩和については具体的な方法や指標は現在のところ、提案されていない。この合理的に予見される防止不可能な事故で緩和を検討するためには、ALKS 法規で示されているようなカットインシナリオにおいて、自車の速度、および他車の速度、車間距離、カットイン時の横速度などのパラメータが多岐にわたり、数千点の組み合わせになる。

そこで本研究では、ALKS 法規で提案されている数千点におよぶシナリオを効率良く実施するために車両挙動シミュレーションをおこなった。そのシミュレーションはオープンソースの自動運転シミュレーターである CARLA⁴⁾を用い、Auto Pilot システムを仮の自動運転車の評価車両とし、防止不可能な事故を再現した。さらに、事故時の乗員傷害の緩和を検討するために、LS-DYNA による衝突シミュレーションを実施し、その緩和の具体的な指標を検討した。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士 (工学)

* 原稿受理 2022年4月10日 / 初掲載 2023年5月

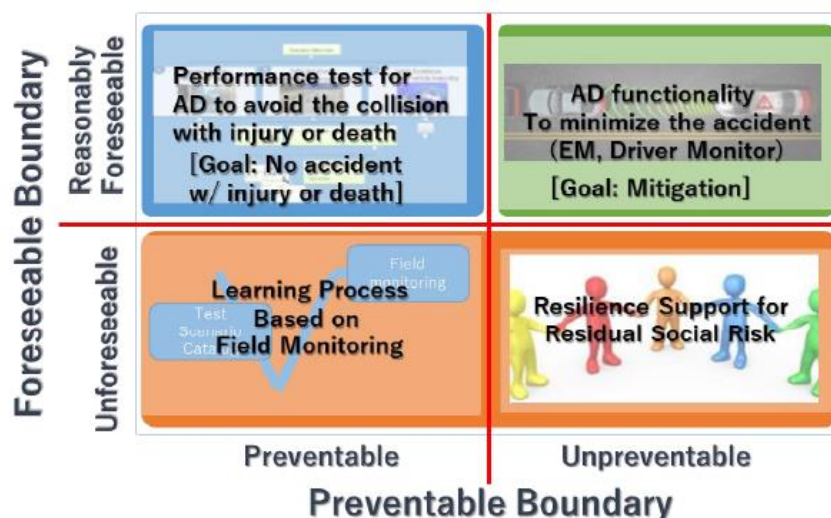


Fig. 1 Reasonably Foreseeable and Preventable boundaries

2. ALKS法規でのPreventable / Unpreventable領域の決定方法

ALKS 法規では Fig. 2 のように Automated Lane Keeping Systems を搭載した車両（以下、「自車」という）の前方に隣のレーンから周辺車両（以下、「他車」という）が車線変更するシナリオをカットインシナリオとしている。このカットインシナリオは主に自車速度 V_{e0} 、他車速度 V_{o0} 、他車の車線変更開始時の車間距離（以下、「初期車間距離」） dx_0 、他車の横速度 V_y の 4 つのパラメータで自車、および他車の挙動を表現している。

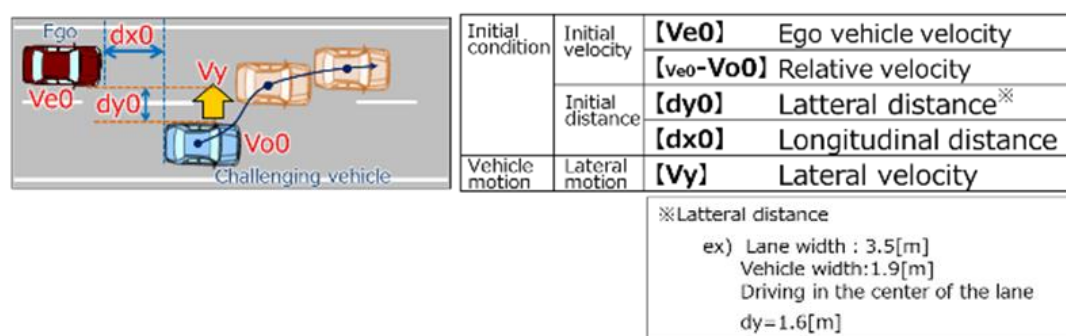
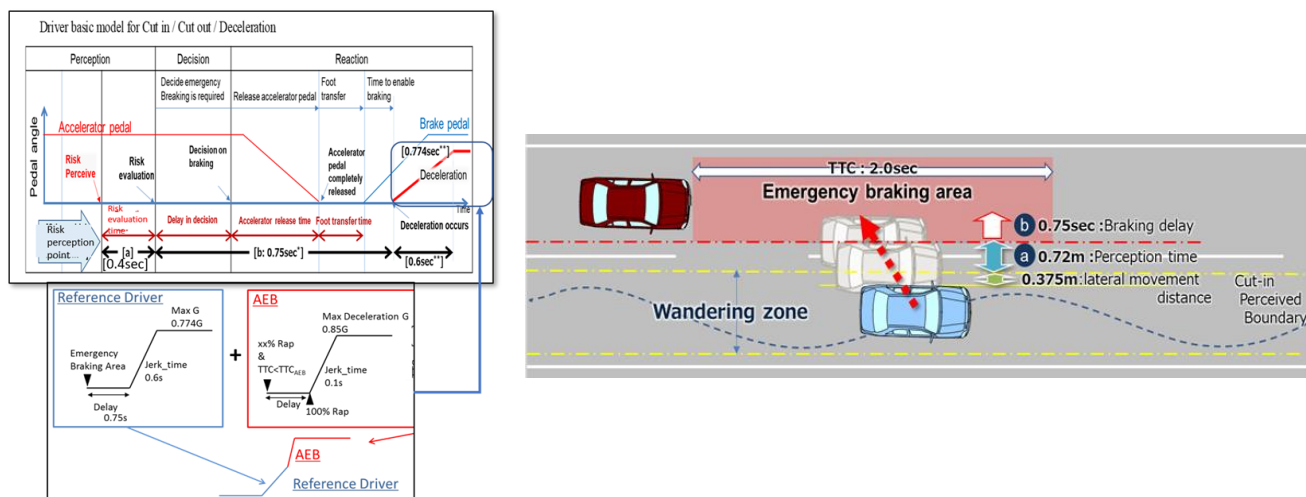


Fig. 2 Cut-in scenario ³⁾

また、ドライバモデルについては Fig. 3 に示す、有能で注意深いドライバの挙動や反応を意味する、Competent and careful human driver（以下、「C&C ドライバ」という）を定義し、このドライバが衝突を回避できるか否かにより Preventable 境界を定めている。具体的には仮に自車速度 V_{e0} を 60 km/h、相対速度 $V_{e0}-V_{o0}$ を 40 km/h (V_{o0} を 20 km/h) とすると Fig. 4 に示すグラフが出来上がる ³⁾。この Fig. 4 は横軸を初期車間距離 dx_0 、縦軸を他車横速度 V_y としており、緑色のプロットは回避、赤色は前突、または後突、橙色は側突、黄色は他車が自車の後ろにカットインし、衝突しない場合を表している。

まず、シミュレーションによって、C&C ドライバ、および自動運転システムの Preventable 境界を求め、合理的に予見される防止可能な事故を決定する。



a) Examples of a Skilled Human Performance model

b) Emergency braking area

Fig. 3 Competent and careful human driver³⁾

4 Ego vehicle velocity $[V_{e0}]$: 60[kph]
Relative velocity $[V_{e0}-V_{o0}]$: 40[kph]

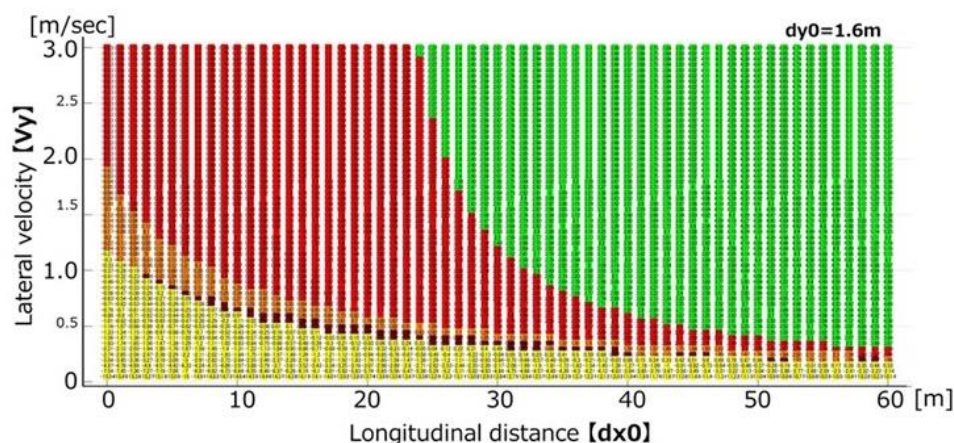


Fig. 4 Preventable area³⁾

3. シミュレーションによる検討の流れ

まず、緩和とは事故時の乗員傷害を自動運転車がどの程度緩和できるかとした。傷害を評価するためには衝突速度が必要になるが、衝突速度だけでは傷害との因果関係が示せないため、事故自動通報で用いられている重症度判定、頭部傷害程度を評価する指標である HIC (Head Injury Criterion) で検討することとした。本研究での緩和の具体的な指標の検討方法は次の順で実施する。

- ① ALKS法規と同様のC&CドライバによるPreventable境界作成
- ② CALRA Auto PilotシステムによるPreventable境界作成
- ③ 上記で作成した、それぞれのUnpreventable領域での衝突直前の状況抽出
- ④ それぞれの衝突直前の状況から緩和の評価を相対速度、重症度判定、HICの3つの指標で比較

①については、ALKS 法規内の C&C ドライバモデルを用いて、ALKS 法規と同等の Preventable 境界の作成をおこなう。

②に関しては、評価対象の自動運転車として、その自動運転アルゴリズムが必要となるため、オープンソースである、自動運転シミュレータ CARLA の Auto Pilot システムを用いて Preventable 境界を作成する。

③については①、および②で Preventable 境界を作成した際に自車、および他車の時刻歴の車両挙動データを得ることができるので、そのデータから衝突直前の状況を抽出する。

最後に④では③で抽出した衝突直前の状況から、緩和の評価を 3 つの指標で計算し、その評価指標が乗員傷害をどの程度精度良く再現できるか、また計算コストの観点から比較する。

4. 緩和の評価指標の提案と評価方法

4.1 緩和の考え方

文献 2)では合理的に予見できる防止可能な事故を Reasonably Foreseeable and Preventable としており、その領域では評価する自動運転車の Preventable 境界が C&C ドライバによる Preventable 境界よりも安全な方へ存在することで、その安全性を論証している。そこで Unpreventable 領域に関しても Reasonably Foreseeable and Preventable 領域と同様に C&C ドライバとの比較により、自動運転車の安全性を論証することを考えた。具体的には Preventable 境界を計算した際の Unpreventable 領域での衝突直前の状況を用いて緩和の評価指標を計算する。

4.2 Preventable境界作成

4.2.1 C&CドライバによるPreventable境界

2章で示した、ALKS 法規内の C&C ドライバに倣い、オイラー法⁵⁾によるシミュレーション（タイムステップ：0.01 s）を実施し、Fig. 5 を作成した。この Fig. 5 を Fig. 4 と比較すると数点異なる箇所は存在するがおおむね同様の結果である。

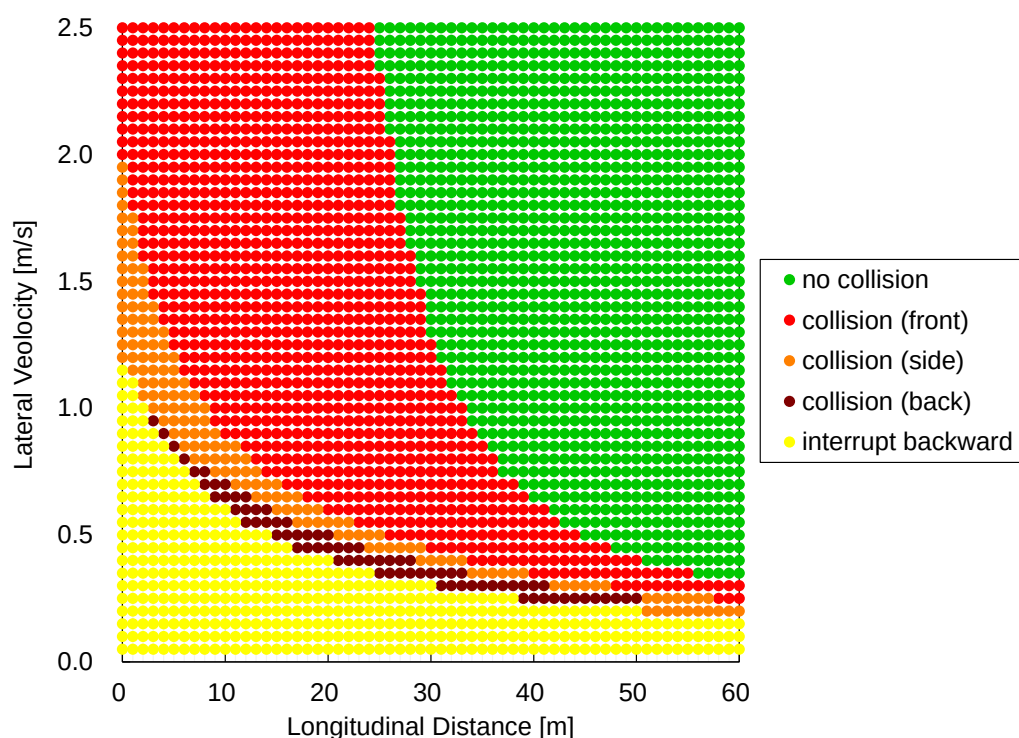


Fig. 5 Calculation of the Preventable area

4.2.2 CARLA Auto Pilot による Preventable 境界

先述の通り、評価対象の自動運転車として、自動運転シミュレータCARLAを用いることとする。なお、CARLAのバージョンは0.9.11⁶⁾を使用し、OpenSCENARIO⁷⁾の入力によりシナリオを実行するためにScenario Runner⁸⁾も導入する。入力となるOpenSCENARIOファイルはScenario Runnerのサンプルファイル⁹⁾をベースにALKS法規に沿うよう修正し、自動運転アルゴリズムはCARLA内のAuto Pilotを使用する。Fig. 6はそのAuto Pilotでのカットインシナリオの衝突有無を表したグラフである。

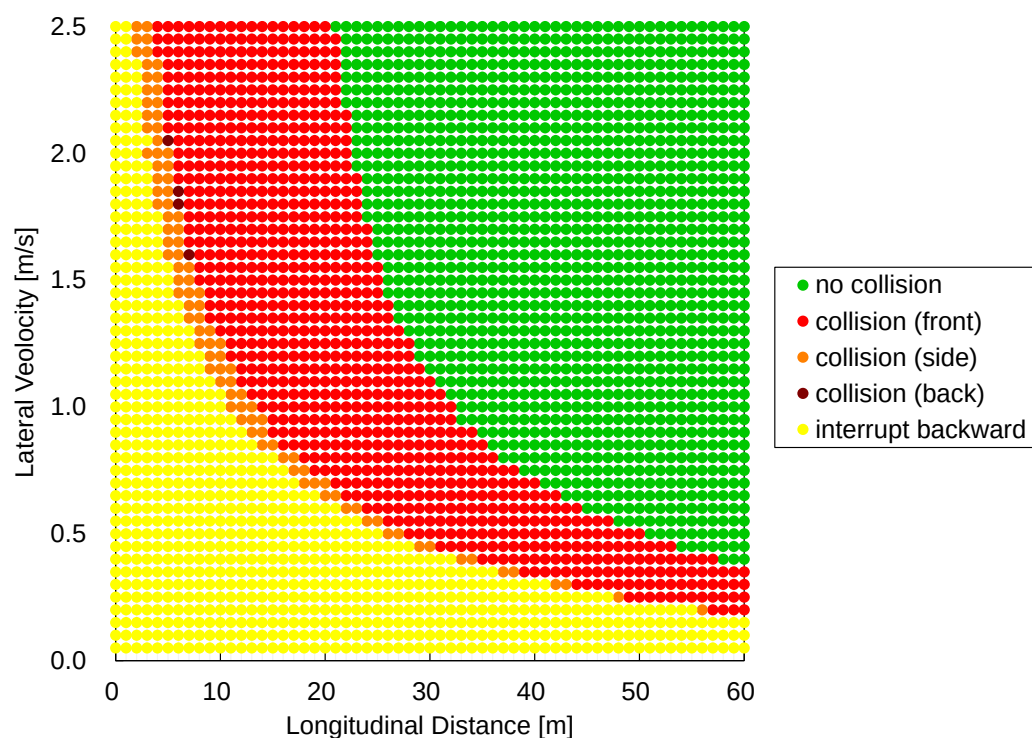


Fig. 6 Preventable area in the CARLA simulator

4.3 緩和の評価指標と導出のためのシミュレーション環境

緩和の評価指標に関して、次の3つを考える。

- (1) 衝突直前の相対速度
- (2) 事故自動通報に用いられている重症度判定
- (3) 頭部傷害指標HIC等の人身傷害程度を表す指標

1つ目の衝突直前の相対速度については Preventable 境界を作成する過程で得られる結果として一番容易に得られる評価指標である。2つ目、および3つ目は国土交通省のガイドライン¹⁾において「自動運転システムが引き起こす人身事故」という文言があるため、人体の傷害を表す指標として考えた。

4.3.1 Unpreventable領域での衝突直前の相対速度

衝突直前の相対速度については、4.2.1項で計算したC&CドライバによるUnpreventable領域での両車の衝突直前の相対速度、および前節でシミュレーションした自動運転車のUnpreventable領域における、衝突直前の相対速度を用いることとする。

4.3.2 D-Call Netでの死亡重症確率推定アルゴリズムを用いた死亡重症確率

先進事故自動通報システムである D-Call Net では、死亡重症確率推定アルゴリズム¹⁰⁾を用いて死亡重症確率を算出し、救命救急医療に活用している。本検討でもそのアルゴリズムを用いた重症度判定を評価指標として検討する。この死亡重症確率推定アルゴリズムでは Table 1 に示すパラメータを用いて、死亡重症確率を算出する。ただし、先述の C&C ドライバによるシミュレーション、および CALRA による自動運動シミュレーションでは衝突前後の速度差を表す、 ΔV を計算することはできない。そこで、衝突現象をシミュレーションするために、所内で開発した自動車事故解析用剛体シミュレーションである CARS3D¹¹⁾を用いて ΔV を計算する。具体的には、C&C ドライバによるシミュレーション、および CARLA によるシミュレーションから衝突直前の状態である、自車および他車の位置、速度、ヨー角を算出し、その値を入力条件として CARS3D によるシミュレーションを実施する。この CARS3D シミュレーションでの自車速度の時刻歴データに対して、最大値、および最小値を算出し、その差分を ΔV とした。

ちなみに重症度判定アルゴリズムを導出する際は、交通事故総合分析センターの交通事故マクロデータを用いているため、疑似 ΔV となっているが、D-Call Net の実運用では疑似 ΔV ではなく自動通報を発報した車両から計測される ΔV が用いられている。

Table 1 Accident factors for vehicle occupants¹⁰⁾

事故要因の項目	
疑似 ΔV	30 km/h 以下
	31～40 km/h
	41～50 km/h
	51～60 km/h
	61 km/h 以上
衝突方向	前面衝突
	側面衝突 (Near-side)
	側面衝突 (Far-side)
	後面衝突
シートベルト	着用
	非着用
多重衝突	あり
	なし
乗員年齢	54歳以下
	55歳～64歳
	65歳以上

4.3.3 衝突FEシミュレーションによる人身傷害程度

人身傷害程度については、汎用非線形構造解析ソフトである LS-DYNA で利用可能な衝突 FE モデル (NHTSA より公開)¹²⁾を用いて衝突 FE シミュレーションを実施し推定を行う。具体的には前項の CARS3D シミュレーションを実施する際に使用した、C&C ドライバ、および CARLA によるシミュレーションでの衝突直前の状況 (各車両の位置、速度等) から衝突 FE モデル内の車両の境界条件を設定しシミュレーションを実行する。この車両モデルには運転席、助手席共に衝突実験用ダミー「THOR (Test device for Human Occupant Restraint)」の FE モデルが搭載されており、詳細な人身傷害程度の予測が可能となる。

5. シミュレーションによる緩和の評価結果

5.1 衝突直前の相対速度

4.2.1 項で計算した、自車速度 60 km/h、相対速度 40 km/h（他車速度 20 km/h）、初期車間距離を横軸の値、他車横速度を縦軸の値でカットインシナリオを開始した場合の C&C ドライバによる Unpreventable 領域での両車の衝突直前の相対速度、および前節で同様の初期状態でシミュレーションした自動運転車の Unpreventable 領域における、衝突直前の相対速度を Fig. 7 に示す。この Fig. 7 では濃い赤色になるほど衝突直前の相対速度が大きいことを示し、両者とも横軸の車間距離が小さくなると衝突直前の相対速度が大きくなることからわかる。この 2 つのグラフの差分、つまり、C&C ドライバでの衝突直前の相対速度から自動運転車で衝突直前の相対速度を引いた場合のグラフを Fig. 8 に示す。この図において、赤領域は C&C ドライバの方が衝突直前の相対速度が小さく、青領域は自動運転車の方が衝突直前の相対速度が小さい領域を表している。この図より、多くの領域が赤領域なので C&C ドライバの方が衝突直前の相対速度が小さい場合が多いと考えられる。この衝突直前の相対速度が小さいということをリスクが小さいと考える、つまり、衝突直前の相対速度を Unpreventable 領域での緩和の評価指標とした場合、自動運転車は多くの領域で緩和できていない結果となる。

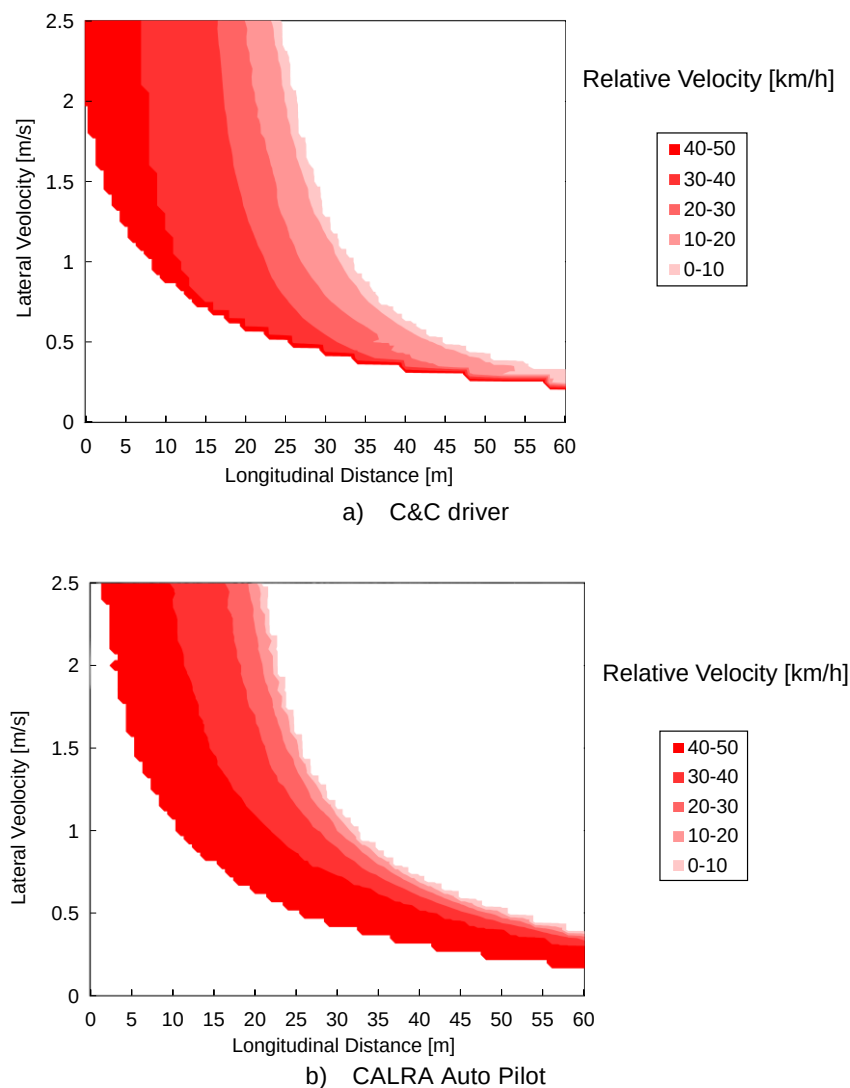


Fig. 7 Relative velocity

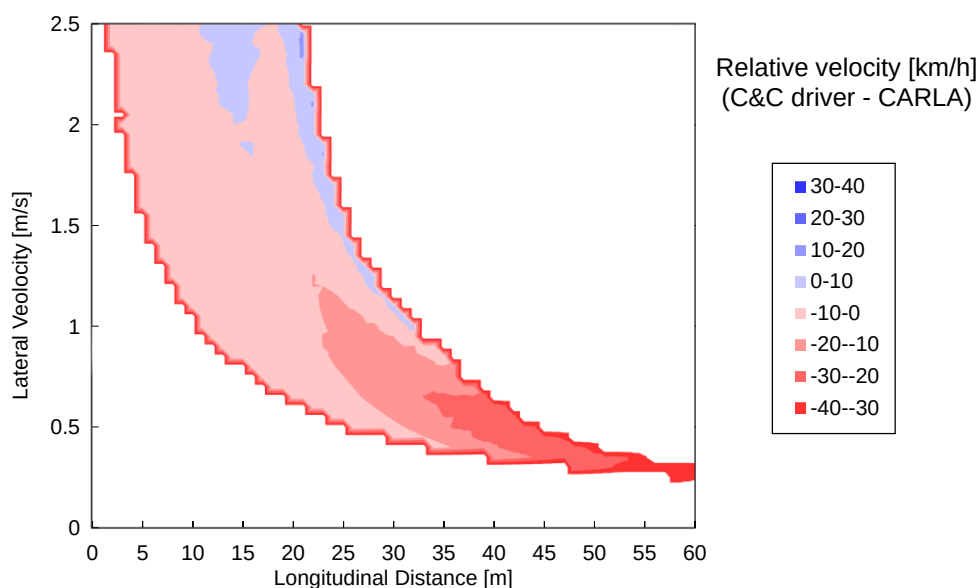
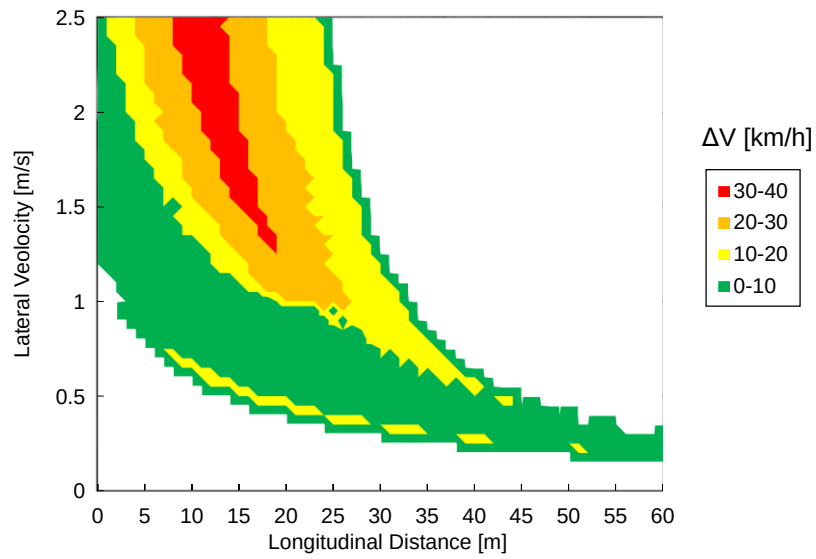


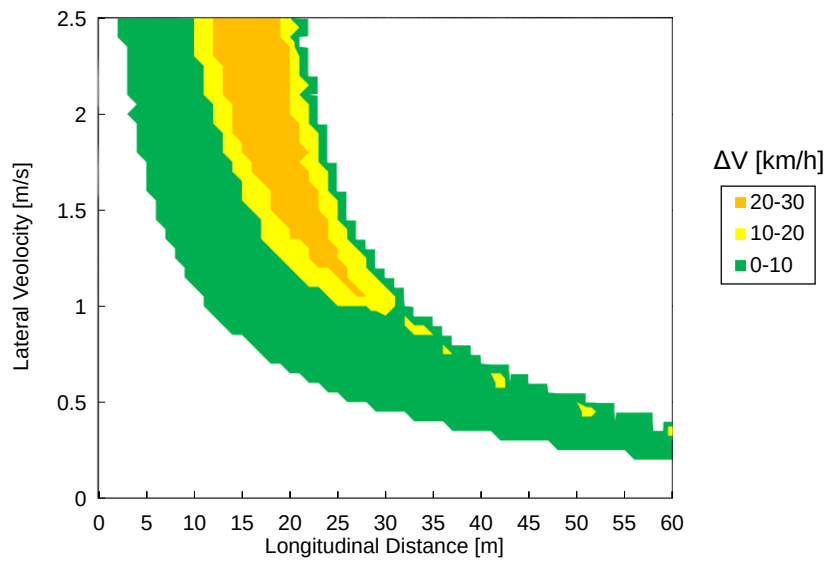
Fig. 8 C&C driver v.s. CARLA Auto Pilot

5.2 D-Call Netでの死亡重症確率推定アルゴリズムを用いた死亡重症確率

CARS3D シミュレーションで推定した C&C ドライバ、および CARLA Auto Pilot の衝突前後の速度差を表す、 ΔV を Fig.9 に示す。この ΔV から自車の運転席乗員の死亡重症確率を推定する。この時、シートベルトは着用、多重衝突なし、乗員年齢 54 歳以下とし、C&C ドライバ、および CARLA でのシミュレーションにおいて側面衝突の場合は Near-side として計算する。計算した結果を Fig.10 に示す。Fig.7 では横軸の初期車間距離が小さくなるにつれて、衝突直前の相対速度が高くなる傾向であったが、この Fig.10 の特に C&C ドライバの方に関しては初期車間距離が 7~16 m、他車の横速度が 1.7~3.0 m/s の領域で死亡重症確率が高くなる傾向になり、両者の分布が異なる傾向になることがわかる。Auto Pilot による自動運転によって、C&C ドライバで見られた重症度判定が 3.0%~4.0%の領域が見られなくなり、自動運転によって、緩和されていることになる。ちなみに、重症度判定 5%以上は事故現場に救命医の派遣を依頼するレベルである。

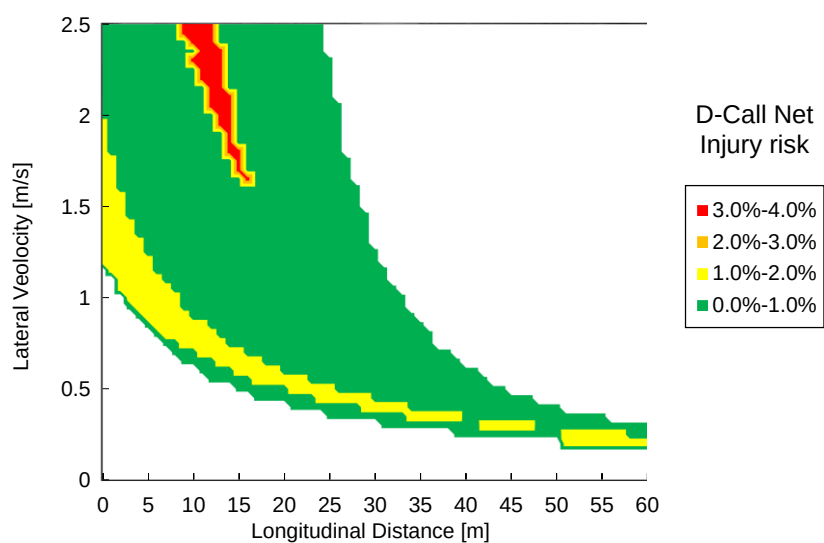


a) C&C driver

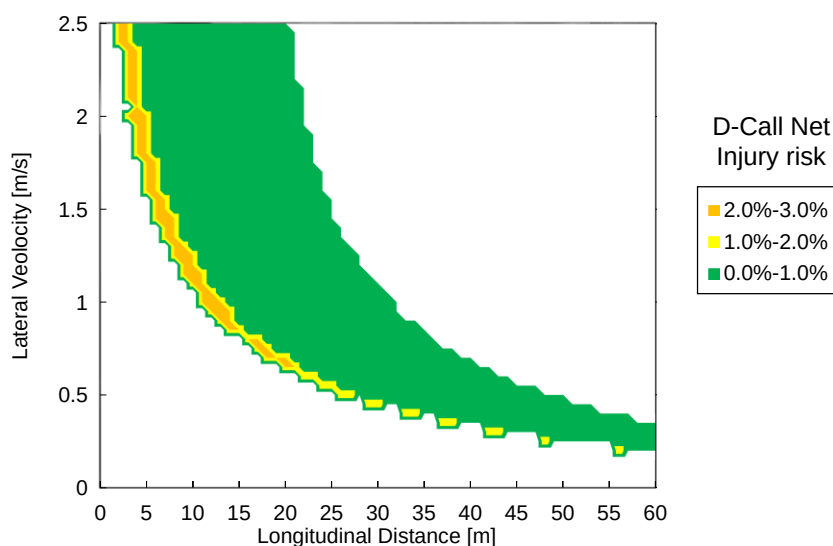


b) CARLA Auto Pilot

Fig. 9 ΔV (Velocity difference pre-post crash in ego vehicle)



a) C&C driver



b) CARLA Auto Pilot

Fig. 10 D-Call Net injury risk in ego vehicle driver

5.3 衝突FEシミュレーションによる人身傷害程度

LS-DYNA による衝突 FE シミュレーションは計算時間が長く、Unpreventable 領域のすべての点での計算はできないため、今回は前節で死亡重症確率が高い結果となった、自車速度 60 km/h、相対速度 40 km/h (他車速度 20 km/h)、初期車間距離 14 m、カットインする他車の横速度 2.5 m/s の条件で C&C ドライバ、および CARLA、各々のシミュレーションを実施した場合の衝突直前の状況を使用する。Fig. 11 は C&C ドライバ、および CARLA でのシミュレーションでの衝突直前の状況より作成した両車の境界条件である。

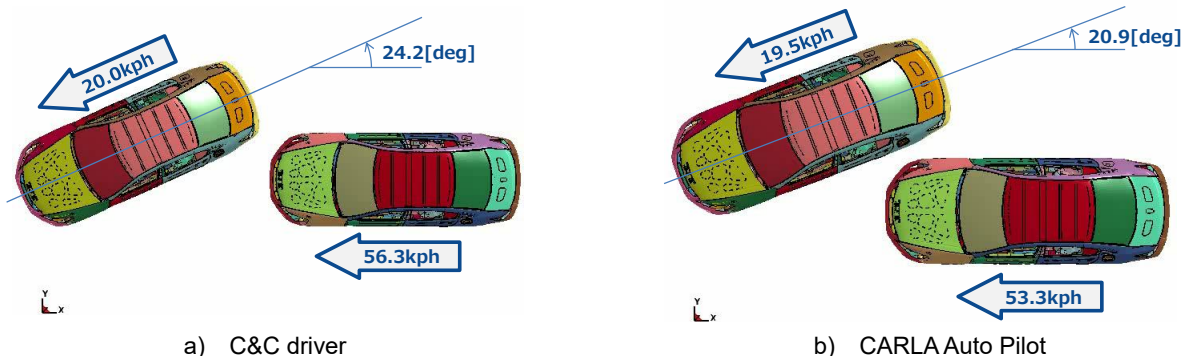


Fig. 11 FE simulation

衝突 FE シミュレーションで推定された、自車の運転席に搭載された THOR FE モデルの頭部傷害値 HIC を Fig. 12 に示す。C&C ドライバ、および Auto Pilot、それぞれの自車運転席乗員の HIC は 13、および 10 となった。HIC が 1000 を超えると頭部に重大な傷害を受ける確率が 20% を超える¹³⁾ため、本シミュレーションにおいて、頭部に大きな傷害が発生するような衝突ではないことがわかる。これは 5.2 節で示した、重症度判定アルゴリズムでの結果と同様の傾向である。つまり、今回のカットインシナリオにおける Unpreventable 領域では自車側の運転席乗員の頭部に大きな傷害が発生する確率は低いと考えられる。しかしながら、Auto Pilot によって、HIC が低減しているため、自動運転によって、緩和されていることを示すことはできると考えられる。ただし、本検討は高速道路上を対象とした 1 次衝突のみでの検討であるため、実際には 2 次、3 次の衝突が発生する可能性がある。そのため一概には人身傷害が発生しないとは言えない。また、自車の助手席乗員や他車側の乗員については、まだ傷害値を算出できていないため、今後検証する必要がある。さらに乗員モデルも THOR を用いており、頭部以外にも頸部や胸部の評価も可能であるため、この点についても詳細に検証する必要がある。

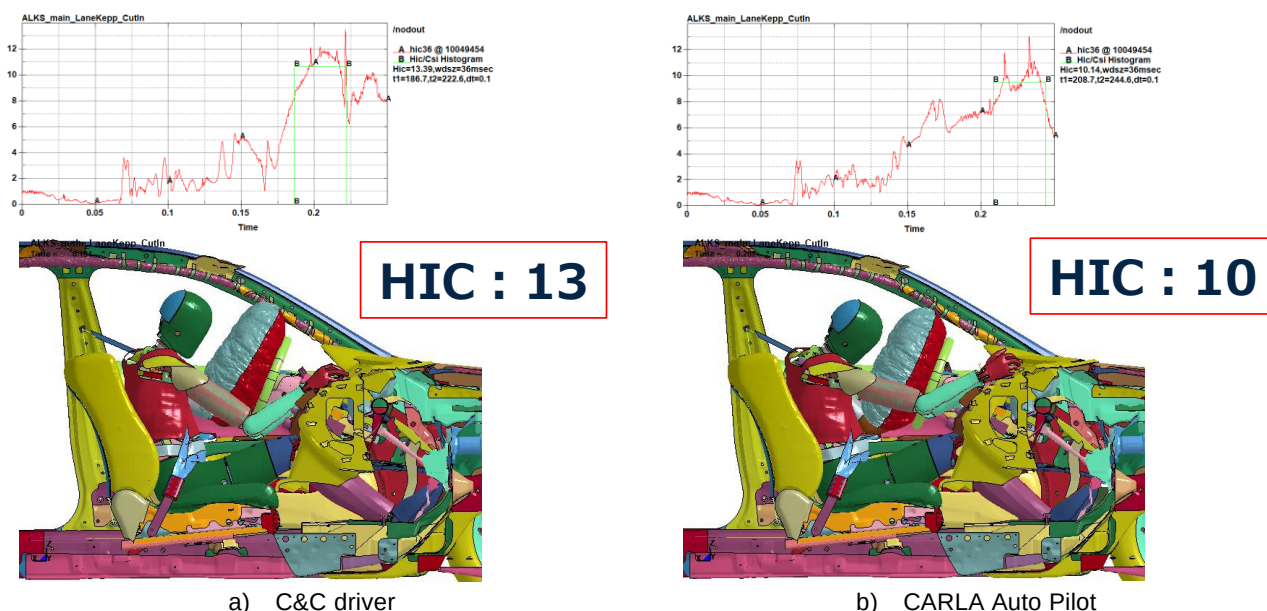


Fig. 12 HIC

5.4 3つの評価指標の比較

前節までに衝突直前の相対速度、重症度判定、人身傷害程度の 3 つの評価指標を計算したが、この 3 つの評価指標はこの順でより後のものほど詳細に人体の傷害を予測できると考えられる (Table 2)。しかし、

実際にはこの順で計算コストが増大するので、瞬時に評価結果が必要な場合は重症度判定を用い、詳細に人体傷害メカニズムを調べる必要がある場合は衝突 FE シミュレーションまで実施する必要があると考えられる。

Table 2 Comparison of criteria

	Relative velocity just before collision	D-Call Net Injury risk	Human Injury Level (HIC)
Personal injury measurement accuracy	Low		High
Calculation cost	Low		High

6. まとめ

本研究では、自動運転の安全性論証に関するカットインシナリオにおいて、これまで具体的な指標が検討されていない **Unpreventable** 領域について、緩和の評価指標として3つを想定し、それぞれに合わせた計算方法で指標を推定し比較を行った。今後、自動運転車の評価シナリオとして、他の高速道路でのシナリオや一般道でのシナリオが提案された場合でも、本検討と同様に **Unpreventable** 領域での人身傷害程度を予測するツールとして使用できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省: 自動運転車の安全技術ガイドライン (2018)
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf> (参照 2022.4.6)
- 2) 日本自動車工業会: 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver2.0 (2021)
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_2_0.pdf (参照 2022.4.11)
- 3) Informal document GRVA-06-02-Rev.4
<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2020/wp29grva/GRVA-06-02r4e.docx> (参照 2022.4.6)
- 4) CARLA simulator
<https://carla.org/> (参照 2022.4.6)
- 5) 微分方程式の数値解法
http://www.den.t.u-tokyo.ac.jp/ad_prog/ode/ (参照 2022.5.10)
- 6) CARLA 0.9.11 Release
<https://carla.org/2020/12/22/release-0.9.11/> (参照 2022.4.6)
- 7) ASAM OpenSCENARIO®
<https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/> (参照 2022.4.6)
- 8) calra-simulator/scenario_runner
https://github.com/carla-simulator/scenario_runner (参照 2022.4.6)
- 9) calra-simulator/scenario_runner/srunner/examples/LaneChangeSimple.xosc
https://github.com/carla-simulator/scenario_runner/blob/master/srunner/examples/LaneChangeSimple.xosc
(参照 2022.4.6)
- 10) JIS D 0889:2020, 先進事故自動通報—救急自動通報システム (D-Call Net) —傷害リスク曲線の作成方法及び評価方法
- 11) 山崎邦夫: 自動車事故解析用剛体シミュレーションプログラムの作成, 自動車研究, Vol.24, No.11, p.483-486 (2002)
- 12) NHTSA: Crash Simulation Vehicle Models, Vehicle Interior and Restraint Modeling, Oblique THOR Accord Model
<https://www.nhtsa.gov/node/98956> (参照 2022.4.6)
- 13) 独立行政法人自動車事故対策機構, 歩行者頭部保護性能試験の概要
https://www.nasva.go.jp/mamoru/assessment_car/head_protection_test.html#02 (参照 2022.4.27)

自動運転の安全性評価を狙いとしたシナリオ分析用 交通外乱データ収集技術（定点観測）

－第2報：一般道交差点を想定した様々な形態の定点観測基礎検討－

Traffic Disturbance Data Collection Technology
for Scenario Analysis for the Purpose of Safety Evaluation of Automated Driving
(Fixed Point Observation)

－2nd Report: Basic study of various forms of fixed-point observation assuming general road intersections－

中村 英夫 ^{*1} Hideo NAKAMURA	古田 暁広 ^{*2} Akihiro FURUTA	横山 洋児 ^{*2} Youji YOKOYAMA
石川 光 ^{*3} Hikaru ISHIKAWA	佐々木 秀邦 ^{*3} Hidekuni SASAKI	

1. はじめに

ドライバに代わって自動運転システムが周辺監視を担う走行領域がある高度な自動運転車（レベル 3 以上¹⁾）を早期に社会実装するためには、安全性を確実に担保できる安全性評価のプロセスや手法が必要である。欧州では PEGASUS プロジェクト²⁾、Horizon2020³⁾、PEGASUS プロジェクトの後継である VVM（Verification and Validation Methods）プロジェクト⁴⁾に代表される産官学が協調して自動運転システムの評価プロセスの標準化を進める動きが活発化している。このような国際動向を踏まえて国内では、経済産業省からの委託事業である「自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト（2018～2020 年度）」^{5), 6), 7)}と、その成果を活用して、一般社団法人日本自動車工業会と連携して国際標準化活動などへ活動範囲を広げた SAKURA プロジェクト⁸⁾が、まずは社会実装が比較的早いと想定される高速道路や自動車専用道における自動運転車（レベル 3 以上）を対象として、シナリオベースアプローチ⁹⁾による安全性評価のプロセスと手法を開発し、その妥当性を検証した。特に、自動運転車と周辺交通参加者の衝突リスクを伴うクリティカルな交通外乱シナリオ（自車に対する周辺車のカットイン、カットアウト、減速など）を対象に開発と検証を行った（Fig.1 参照）。国連 WP29（自動車基準調和世界フォーラム）の「セーフティビジョン」や国土交通省の「自動運転車の安全技術ガイドライン」¹⁰⁾では「自動運転車は、設定された運行設計領域（ODD）の範囲内において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。そこで、本事業では、交通外乱シナリオおよびそれに紐づく各種パラメータの妥当性を裏付けるために、計測車や定点観測による実交通流データ（カメラ映像や LiDAR 点群データなどの計測生データ）の収集、交通外乱データ（計測生データから導出される交通参加者の軌跡データ）の抽出、交通外乱シナリオの抽出、交通外乱シナリオに紐づく各種パラメータの統計分析を行うことにより「合理的に予見される範囲」を明確にすることを試みた。

本連載では、本事業の基盤課題として「定点観測による交通外乱データ収集技術」について紹介する。第 1 報¹¹⁾では、高速道路や自動車専用道において先行実施した、定点観測による交通外乱データ（車両やバイクの軌跡データ）の収集方法とデータ精度検証について紹介した。本事業では、道路構造や交通参加者の種類や挙動が大幅に複雑となる一般道においても、定点観測による交通外乱データの収集が可能か見極め

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 パナソニックコネクタ株式会社 技術研究開発本部 先進技術研究所 マルチセンシング研究部（本稿：カメラ関連）

*3 株式会社IHI 技術開発本部 技術基盤センター システムエンジニアリンググループ（本稿：LiDAR関連）

* 原稿受理 2022年10月11日 / 初掲載 2023年11月

るために、一般道交差点を想定して、様々なセンサ設置形態（隣接ビル屋上、ドローン、信号機や電柱など道路インフラ）とセンサ種類（カメラ、LiDAR^{12), 13)} の定点観測による交通外乱データ（車両・バイク・自転車・歩行者の軌跡データ）の収集を試験的に行い軌跡精度の予測や検証を行った。第二報（本稿）では、その検討結果の概要を紹介する。

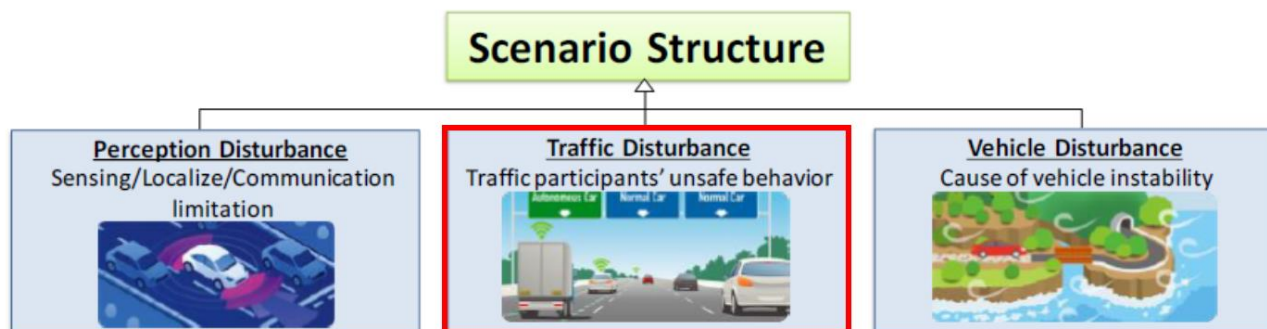


Fig. 1 シナリオベースアプローチにおけるシナリオ体系
 （出典：一般社団法人日本自動車工業会 [自動運転の安全性評価フレームワークVer2.0](#)）

2. 定点観測による交通外乱データの収集方法

本稿では、一般道交差点での交通外乱データ定点観測手法として、3種類の異なる手法①～③を取上げる。

2.1 手法①：隣接ビル屋上に設置したカメラによる定点観測

本事業において高速道路・自動車専用道で実施してきた定点観測の基本方法を踏襲しつつ、新たな観測対象である一般道交差点に隣接するビル屋上に設置した屋上カメラの映像より、交差点近傍を移動する交通参加者（車両、バイク、自転車、歩行者）の軌跡データを収集した。Fig. 2 は、全体プロセス（撮影前の仮想環境／撮影仕様検討、撮影と測の実施、撮影後の画像処理）に加えて、画像処理による交通参加者の軌跡データ抽出処理（詳細プロセス）を赤枠内に示す。高速道路・自動車専用道と異なり一般道交差点では、車両の右左折があるので、車両検出（AI 深層学習による画像認識）において、Bounding Box（検出された対象物体の周囲を囲った矩形の境界線）の向きが固定されたアルゴリズムから、車両の向きに応じて回転するアルゴリズムへ変更した。オルソ変換（カメラ座標から地表固定座標への変換）に使う参照点の座標は、高速道路・自動車専用道での定点観測と同じく、モービルマッピングシステム測量車（以下、「MMS 測量車」という）による道路測量結果を利用した。

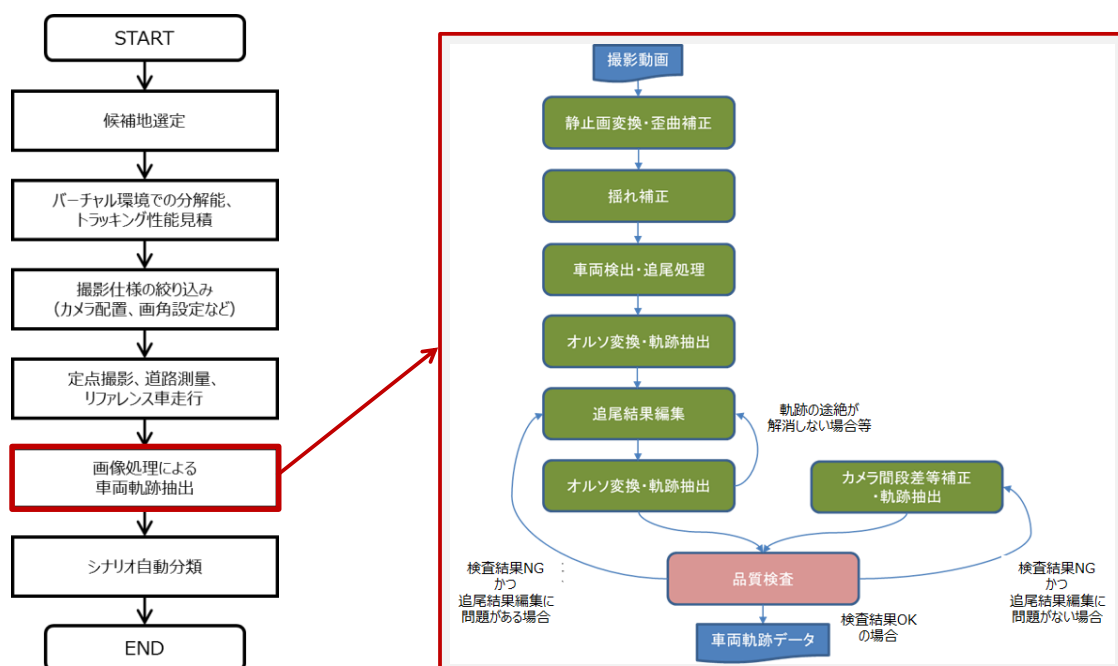


Fig. 2 交通外乱データ収集の流れ（カメラ映像を利用した場合）

Fig. 3 は、実際に定点観測を実施した都内交差点の衛星写真である。交差点北東角の 9 階建てビル屋上を撮影用に借用して、4K 画質のカメラを三脚設置した。屋上カメラの路面高は約 35 m であった。

Fig.4 は、仮想環境 CG シミュレーションを使って決めた屋上カメラ（5 台）の画角分担を示す。屋上カメラのうち 4 台（IC01, 02, 04, 05）は、車道上の車両やバイクの検出を、1 台（IC03）は、交差点横断歩道と交差点 4 隅の歩道を移動する歩行者や自転車の検出を分担した。観測対象の分担を大きさや速度が大きく異なる二種に分けたことで、各観測対象の検出に適した画像処理とすることが出来た。また、シナリオ分析には信号機による交通規制も重要な因子であり、歩道に三脚配置した地上カメラ（2 台）で信号機を撮影し、画像処理で信号状態遷移情報も抽出した。なお、全カメラ 7 台は 60 fps で同期撮影した。



Fig. 3 定点観測を実施した一般道交差点の観測エリア（実走行環境@東京都千代田区専大前交差点）
衛星写真：Google Earth利用

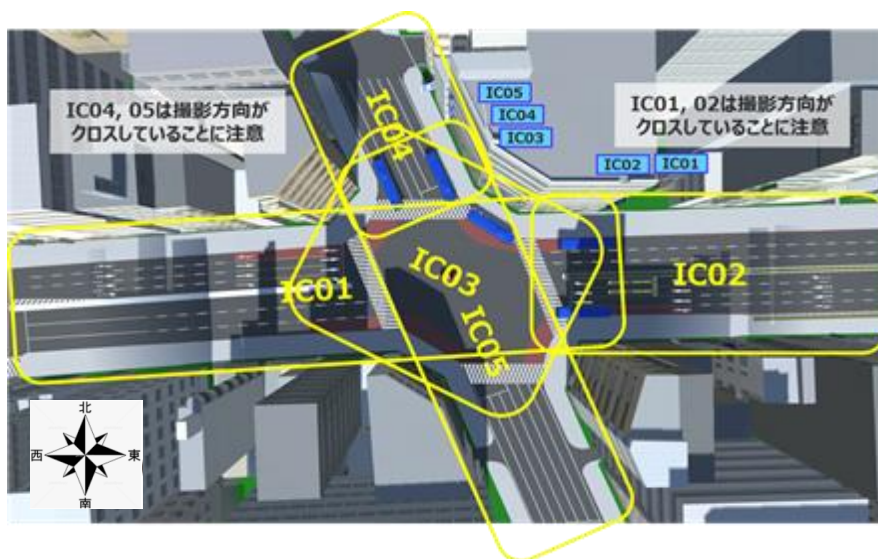


Fig. 4 屋上設置カメラ5台の撮影範囲検討結果（仮想環境CG@東京都千代田区専大前交差点）
（シミュレーション環境：Unity, 地図：ゼンリン製「3D都市モデルデータ」）

2.2 手法②：ドローン搭載カメラによる定点観測

ドローンを定点観測エリアの真上にホバリング飛行させて、搭載カメラを真下に向けて撮影することでオクルージョン（手前にある物体が後にある物体を隠すこと）が生じ難い理想的な鳥瞰映像の取得が期待できる。しかし、当初は上空を吹く突風の影響によるホバリング中の機体揺れが映像揺れとして残り、交通外乱データ（交通参加者の軌跡データ）の品質（精度含）を劣化させるのではという懸念があった。そこで、一般財団法人日本自動車研究所のテストコース Jtown（自動運転車評価拠点）内の V2X 市街地（模擬交差点）で基礎実験（軌跡データの精度検証）を実施した。結論は、市販のドローンに元々搭載された「3 軸ジ

ンバル（特定対象物をカメラで自動追尾する機構）」「空撮映像の揺れ補正処理」，および空撮後の画像処理で新たに実施した「揺れ補正（ヨー方向の映像ドリフト補正）」の総合効果により上述の懸念は解消された．空撮後の画像処理の方法は，Fig. 2（右側）に示したプロセスと同じである．ただし，空撮後の揺れ補正は，ドローン専用のドリフト対処アルゴリズム（揺れのあるフレームを幾何変形して基準フレームにマッチ処理）とした．また，オルソ変換に使う参照点（Fig. 6 に示す#1～#8）の座標は，テストコースでの使用に適した地表固定の測量機材（GNSS スタティック計測，絶対精度：約 1 cm）を利用して取得した．Fig. 5 は，今回の基礎実験で使ったドローンであり，独 fka（アーヘン工科大自動車研究所）が参加する独プロジェクト（HighD）¹⁴⁾でも利用されている量産品である．Fig. 6 は，模擬交差点上のドローン空撮映像から得た静止画であり，ドローンのホバリング高度は約 100 m である．横方向（概ね南北方向）に約 150 m，縦方向（概ね東西方向）に約 70 m のエリアが画角に収まった．



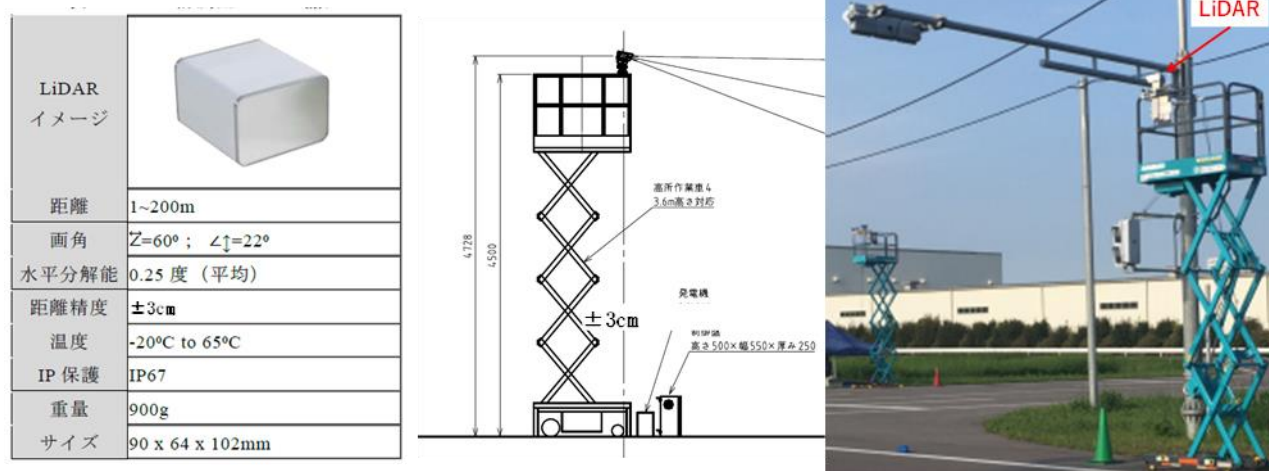
Fig. 5 基礎実験に使用した一般的なドローン
機種：Phantom4 Pro Plus（カメラ：4K，50fps，3軸ジンバル付き）
写真：DJI 公式サイトより



Fig. 6 ドローン空撮による定点観測基礎実験を実施したJtown_V2X市街地
（ドローン高度：約100 m， #1～#8はオルソ変換用参照点）

2.3 手法③：道路インフラに設置したLiDARによる定点観測

一般道交差点にあるインフラ（信号機・電柱・照明柱など）にLiDARを設置することで、どのような品質（精度含む）の移動体軌跡データを取得できるのか検証するために、テストコースJtown（自動運転車評価拠点）内のV2X市街地（模擬交差点）で基礎実験（軌跡データの精度検証）を実施した。Fig. 7 左に、基礎実験で利用したLiDAR（株式会社IHI開発品）のスペック表、Fig. 7 右に、LiDAR設置方法を示す。



模擬交差点で設定した定点観測エリアを Fig. 8 左に示す。また、定点観測エリア内を移動する交通参加者の軌跡データを精度良く取得するために必要なインフラ LiDAR の台数・位置・方位を事前に机上検討した結果を Fig. 8 右に示す。交差点中心から約 40 m 以内は、十字路角にある信号機（4 台）のすぐ後方に対称的に 4 台（LiDAR1～4）を配置、さらに一つの単路のみ交差点中心からより遠方までをカバー出来るように 1 台（LiDAR5）を追加配置する仕様とした。

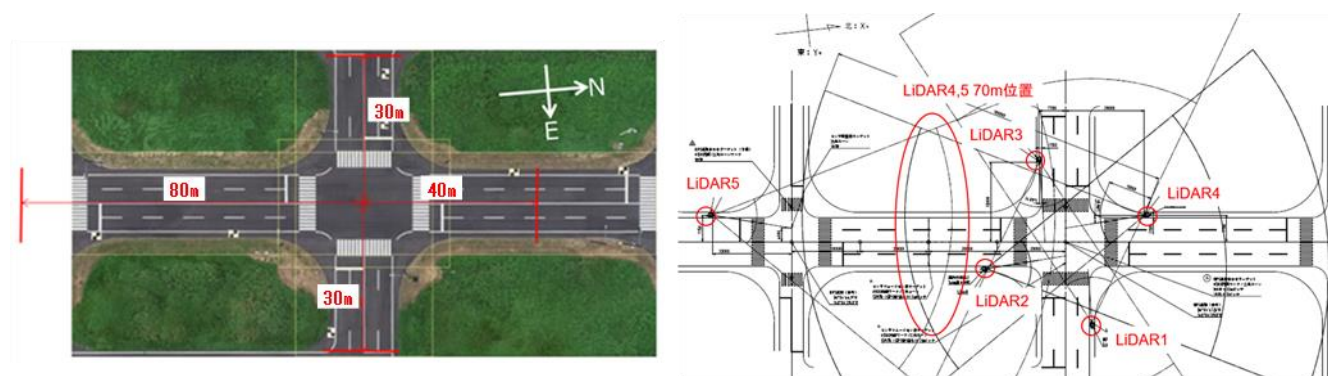


Fig. 9 は、全体プロセス（計測前の事前検討、計測実施、計測後の LiDAR 点群データ処理）に加えて、点群データ処理による交通参加者の軌跡データ抽出処理（詳細プロセス）を赤枠内に示す。

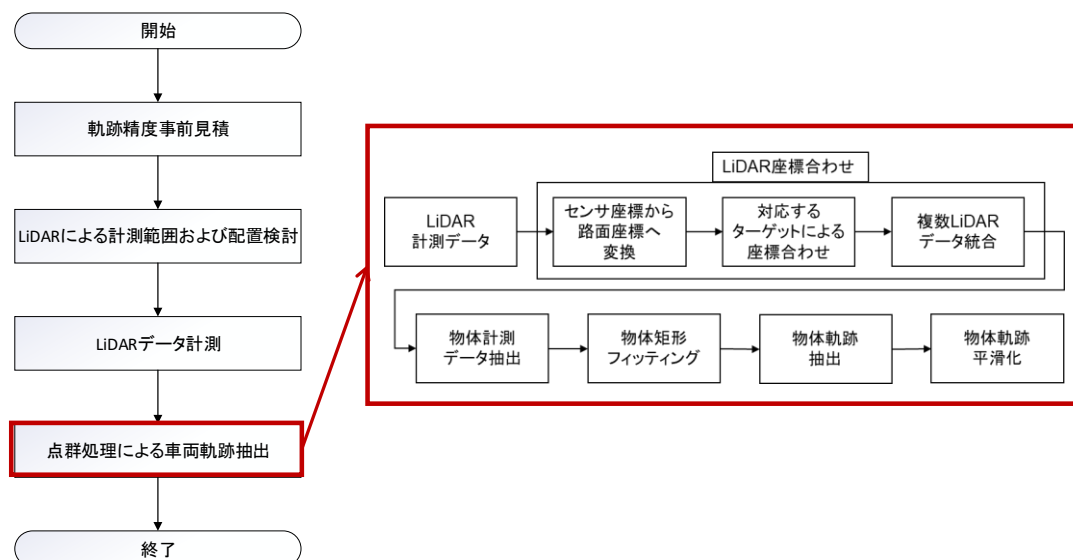


Fig. 9 交通外乱データ収集の流れ（LiDAR点群データを利用する場合）

Jtown 基礎実験で計測した LiDAR 点群データを使用して、計測エリアを移動する各種交通参加者（模擬シナリオを演じる乗用車、トラック、自転車、歩行者）の検出と軌跡抽出を実施した。また、抽出した移動体に対して付随情報（ID 番号、移動体属性、寸法など）を付与した。Fig. 9 赤枠内フローの概略を示す。

(1) LiDAR座標から路面座標への変換

LiDAR の計測点群データは LiDAR 基準の座標系（LiDAR からの距離、角度）のため、そのままでは、計測した物体の位置、サイズ等が分かりづらい。そこで、LiDAR 基準の座標系を、路面基準の座標系（X,Y,Z）へ座標変換する。

(2) 複数LiDARのデータ統合

複数の LiDAR で取得した計測点データを統合する。つまり、LiDAR 間で共通して計測している基準ターゲットを用いて LiDAR 間の座標を合わせる。

(3) LiDARデータからのBounding Box生成

LiDAR で得られた計測点のうち、検出対象物体の計測点データをひとまとめにする。そして、ひとまとめた計測点データに対しフィッティングを行うことで計測点データから **Bounding Box**（検出された対象物体の周囲を囲った矩形の境界線）を算出する。この処理をフレームごとに計測された全ての物体に対して実施する。

(4) 軌跡抽出手法

算出した検出物体（**Bounding Box**）に対して、続フレームにて同一物体かどうかを判定し紐づけを行う。これは、あるフレームにて検出された物体に対して、次フレームでの出現予測位置を計算しておき、次フレームにて出現予測範囲に入った物体について、物体情報から同一物体か判定を行う。同一物体と判定された場合は紐づけを行い軌跡をつなげる処理を行う。

(5) 軌跡平滑化処理

算出した軌跡の平滑化を行う。今回の基礎実験では、平滑化処理手法として、モデルベース型かつオフライン処理である「カルマン smoother（**Kalman Smoother**）^{15), 16)}」を用いた。

3. 定点観測による交通外乱データの精度予測と検証

3.1 手法①：隣接ビル屋上に設置したカメラによる定点観測@公道

第一報で紹介した高速道路・自動車専用道での定点観測と同じく、仮想環境での車両軌跡精度予測と、実走行環境での車両軌跡精度検証を行った。車両軌跡の精度予測フローと精度検証フローを Fig. 10 に示す。仮想環境（シミュレーションモデル）では、軌跡誤差（軌跡精度）の算出に軌跡真値（車両走行シナリオから算出）が使える。しかし、実走行環境では、軌跡誤差の算出に使える軌跡真値は無く、MMS 測量車で取得した軌跡リファレンス値をその代替えとした。

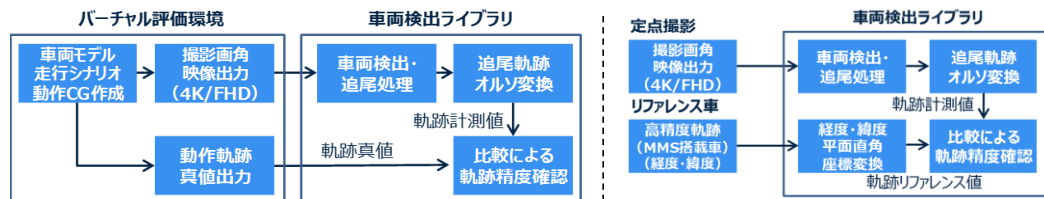


Fig. 10 軌跡精度の予測処理フローと検証処理フロー
（左：仮想環境での精度予測， 右：実走行環境での精度検証）

仮想環境での右折シナリオ（東奥⇒交差点中心⇒北奥）における車両軌跡精度予測結果（進行方向，横方向）を Fig. 11, Fig. 12 に示す。交差点中心から 100 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね ± 0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね ± 0.2 m 以内である。

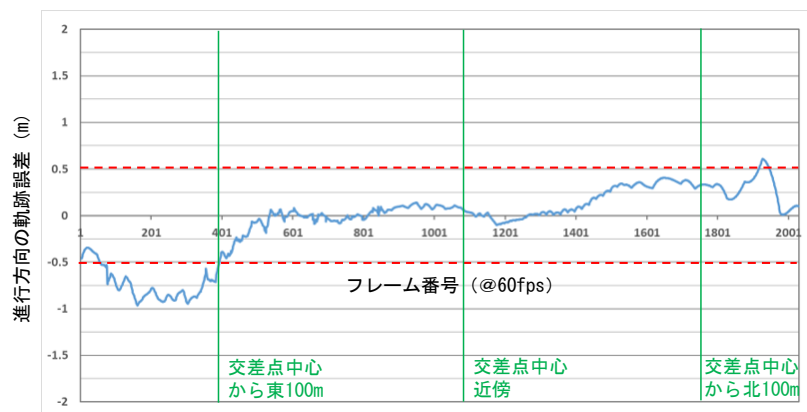


Fig. 11 仮想環境による車両軌跡精度の予測結果（東から北への右折シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（進行方向の軌跡誤差 ± 0.5 m以内））

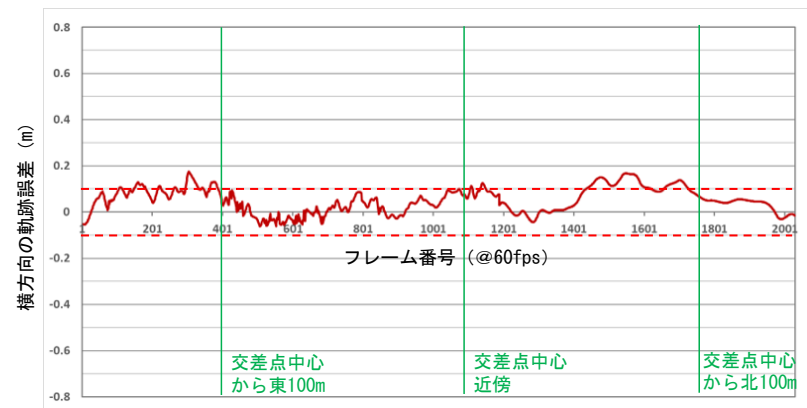


Fig. 12 仮想環境による車両軌跡精度の予測結果（東から北への右折シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（横方向の軌跡誤差 ± 0.1 m以内））

実走行環境での直進シナリオ（東奥⇒交差点中心⇒西奥）における車両軌跡精度検証結果（進行方向，横方向）を Fig. 13, Fig. 14 に示す．交差点中心から東方 100 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね ± 0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね ± 0.2 m 以内である．交差点中心から西方 70 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね ± 0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね ± 0.2 m 以内である．

東西方向で結果が大きく異なるのは，カメラ設置場所が交差点の北東角に隣接するビル屋上であることに起因する．一般的に，観測対象がカメラから遠方である程，また，カメラから観測対象へのベクトルと観測対象の移動ベクトルが成す角度が小さい程，観測対象の移動方向の軌跡精度が悪化する．

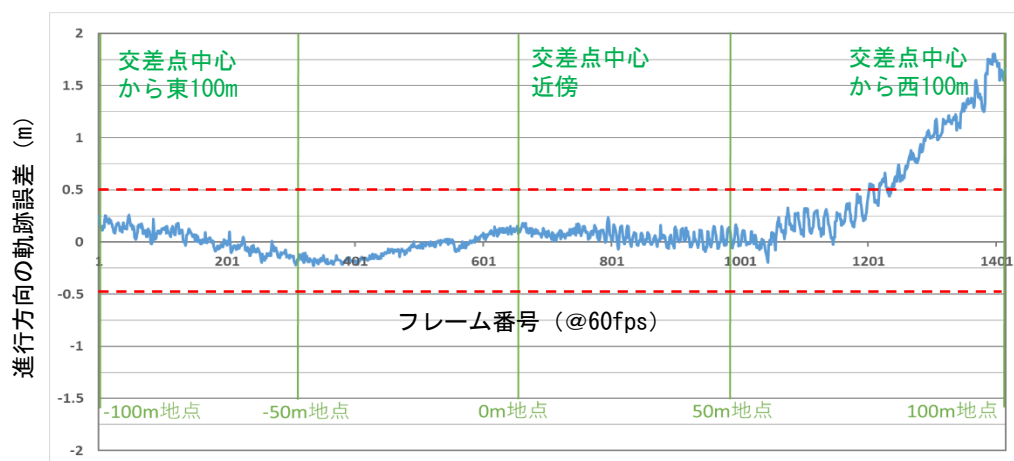


Fig. 13 実走行環境による車両軌跡精度の検証結果（東から西への直進シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（進行方向の軌跡誤差 ± 0.5 m 以内））

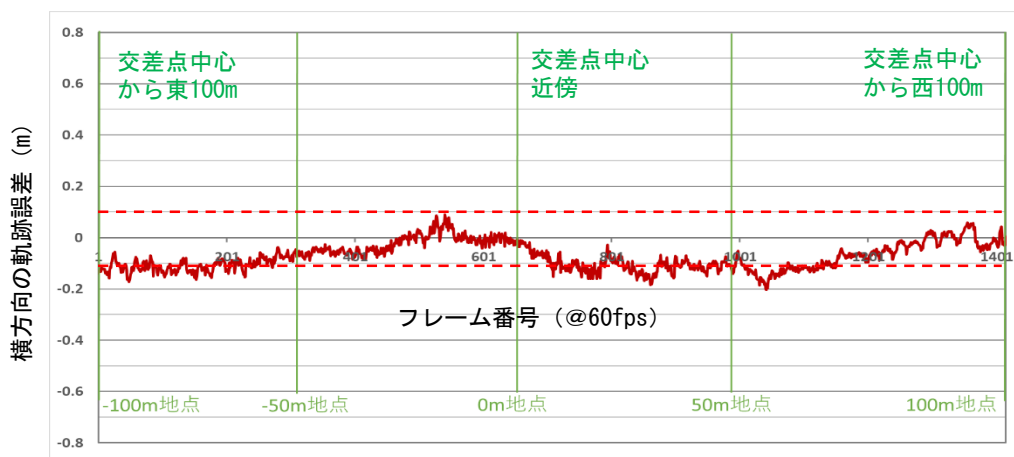


Fig. 14 実走行環境による車両軌跡精度の検証結果（東から西への直進シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（横方向の軌跡誤差 ± 0.1 m 以内））

3.2. 手法②：ドローン搭載カメラによる定点観測@Jtown

交通参加者（模擬シナリオを演じる乗用車，トラック，自転車，歩行者）の正確な位置を計測するために，RTK 補正-GNSS 計測器¹⁷⁾（相対精度：約 2 cm 以内）で計測した軌跡リファレンス値と，ドローン空撮映像に 2.1 節と 2.2 節で示した画像処理などを施して導出した軌跡計測値を比較して軌跡精度を検証した．

右折乗用車と対向直進トラックの模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 15 に示す．桃線は軌跡計測値，黒線や青線や緑線は軌跡リファレンス値を示す．乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約 ± 30

cm 以内，軌跡誤差（横方向）は約±10 cm 以内であり，どちらも交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある．トラックの軌跡誤差（前後方向）は約±60 cm 以内，軌跡誤差（横方向）は約±10 cm 以内であり，どちらも交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある．

左折乗用車と路肩すり抜け自転車の模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 16 に示す．乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約±10 cm 以内，軌跡誤差（横方向）は約±15 cm 以内であり，軌跡誤差（横方向）は，交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある．自転車の軌跡誤差（振幅）は約 40 cm 以内であるが，交差点中心（原点）からの距離など場所の影響はほとんどない．

軌跡誤差のバラツキ（標準偏差 σ ）を Table 1 に示す．総じてバラツキはとても小さく良好である．

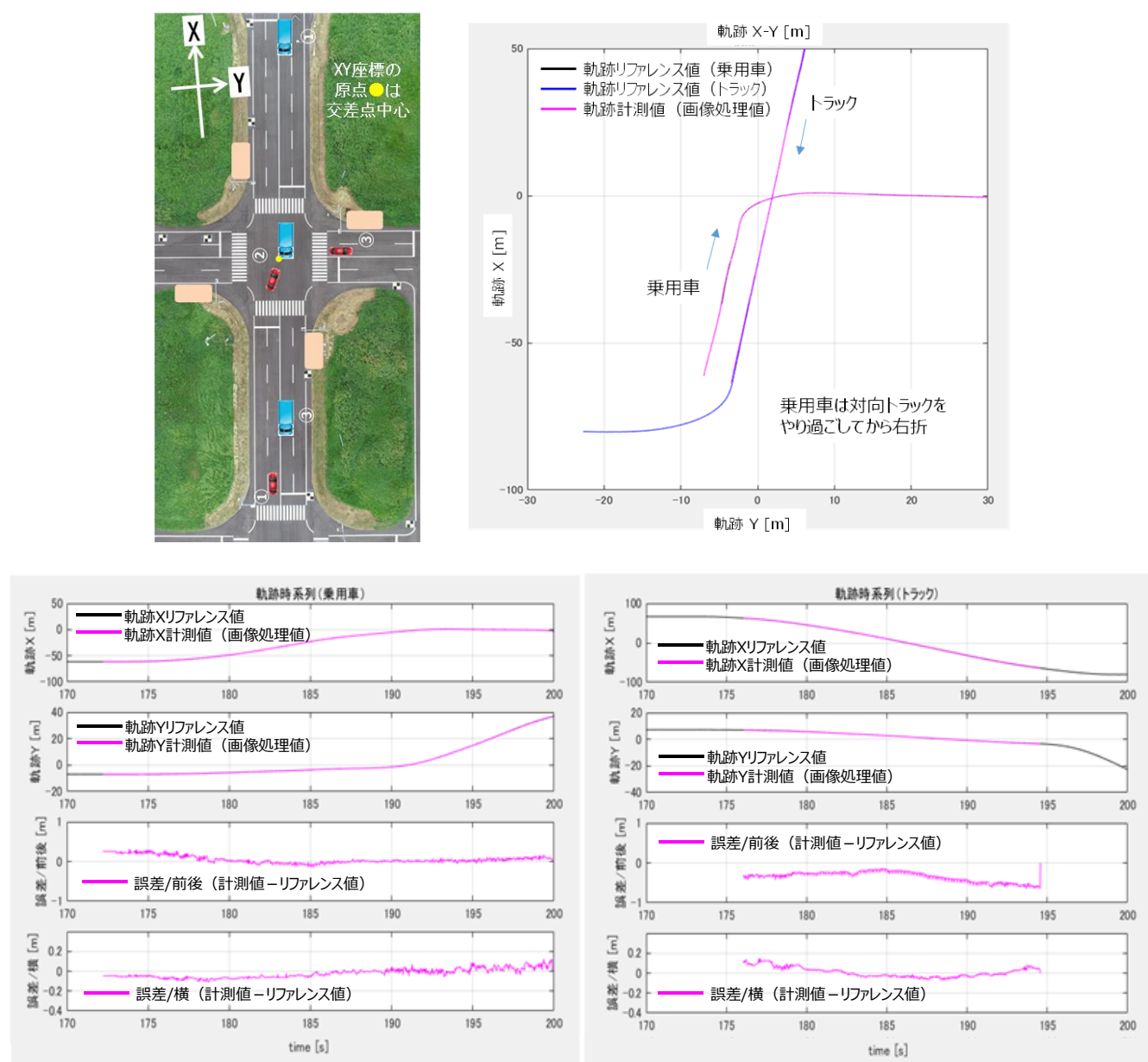


Fig. 15 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例（乗用車右折／トラック対向直進_シナリオ17）
（左上: シナリオイメージ，右上: XY軌跡，左下: 時系列（乗用車），右下: 時系列（トラック））

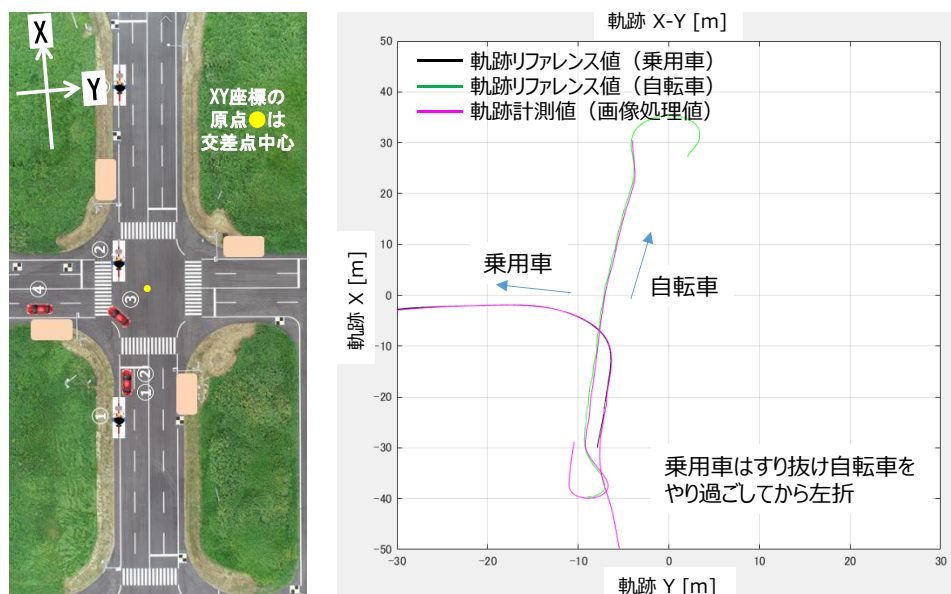


Fig. 16 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例（乗用車左折／自転車すり抜け_シナリオ28）
（左上：シナリオイメージ，右上：XY軌跡，左下：時系列（乗用車），右下：時系列（自転車））

Table 1 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例（軌跡誤差の標準偏差 σ ）

error_σ：軌跡誤差の標準偏差(m)						乗用車		トラック		自転車
シナリオ	乗用車	トラック	自転車	歩行者	N増	車両前後方向	車両横方向	車両前後方向	車両横方向	誤差振幅
						error_σ	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ
17	右折	対向直進			6回	0.066	0.059	0.152	0.038	
28	左折		すり抜け		6回	0.041	0.037			0.064

<車両，誤差@前後方向> 青: $2\sigma \leq 0.5$ m, 緑: 0.5 m $<2\sigma \leq 1$ m, 赤: 1 m $<2\sigma$

<車両，誤差@横方向> 青: $2\sigma \leq 0.1$ m, 緑: 0.1 m $<2\sigma \leq 0.2$ m, 赤: 0.2 m $<2\sigma$

<自転車／歩行者用，誤差@振幅> 青: $2\sigma \leq 0.2$ m, 緑: 0.2 m $<2\sigma \leq 0.4$ m, 赤: 0.4 m $<2\sigma$

3.3 手法③：道路インフラに設置したLiDARによる定点観測@Jtown

RTK 補正-GNSS 計測器（相対精度：約 2 cm 以内）で計測した軌跡リファレンス値と、LiDAR 計測データ（点群データ）に 2.3 節で示した各種処理を施して導出した軌跡計測値を比較して軌跡精度を検証した。なお、本手法における LiDAR 計測は、手法②におけるドローン空撮と同時に実施したので、模擬シナリオや軌跡リファレンス値は共通である。

右折乗用車と対向直進トラックの模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 17 に示す。桃線は軌跡計測値、黒線や青線や緑線は軌跡リファレンス値を示す。乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約±20 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±25 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある。トラックの軌跡誤差（前後方向）は約±30 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±20 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある。

左折乗用車と路肩すり抜け自転車の模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 18 に示す。乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約±35 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±30 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は、左折後に交差点中心（原点）から約 30 m 以上遠くなると急激に大きくなる。自転車の軌跡誤差（振幅）は約 40 cm 以内であるが、交差点中心（原点）からの距離など場所の影響はほとんどない。

軌跡誤差のバラツキ（標準偏差 σ ）を Table 2 に示す。総じてバラツキは小さく良好である。

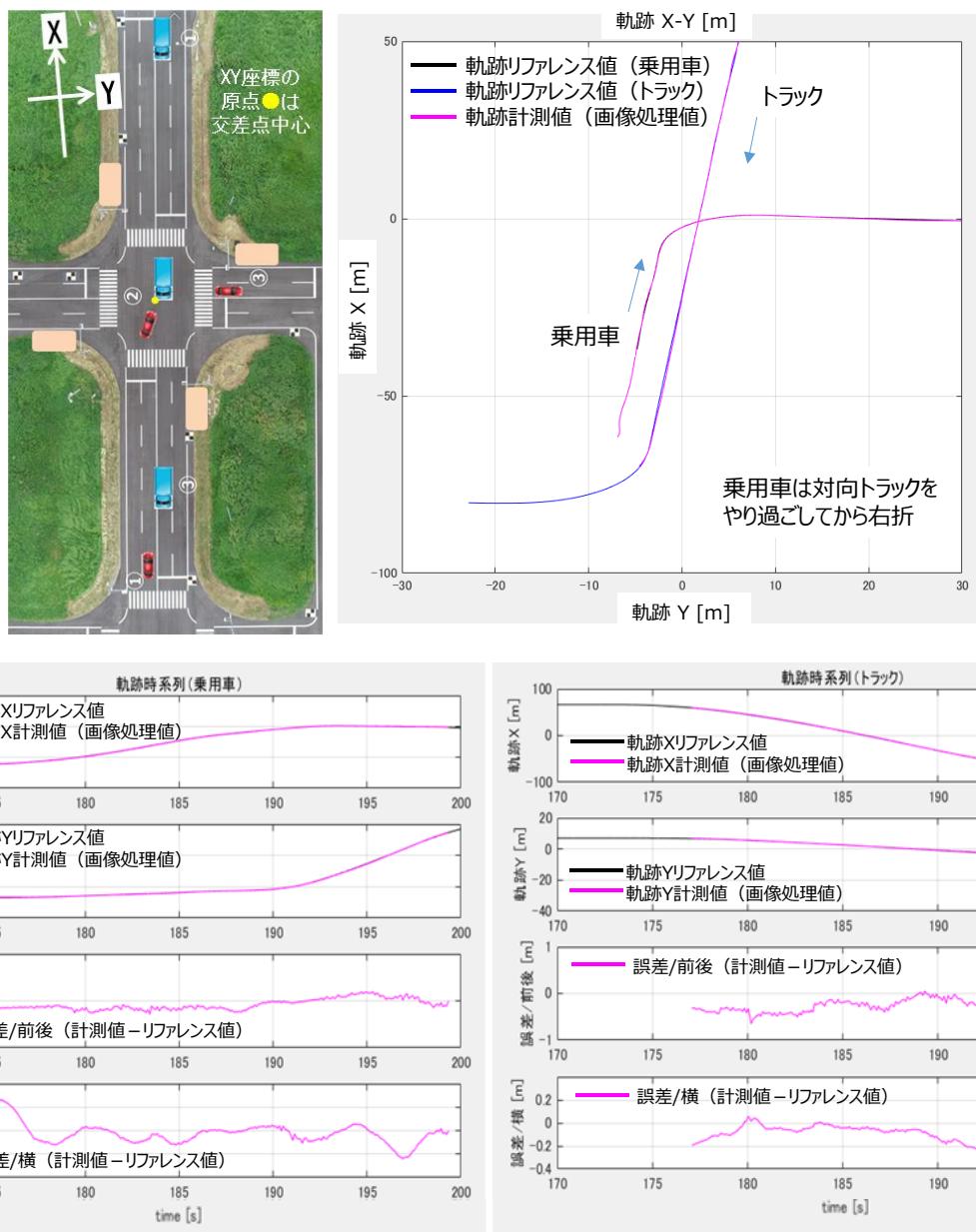


Fig. 17 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例 (乗用車右折/トラック対向直進_シナリオ17)
(左上: シナリオイメージ, 右上: XY軌跡, 左下: 時系列 (乗用車), 右下: 時系列 (トラック))

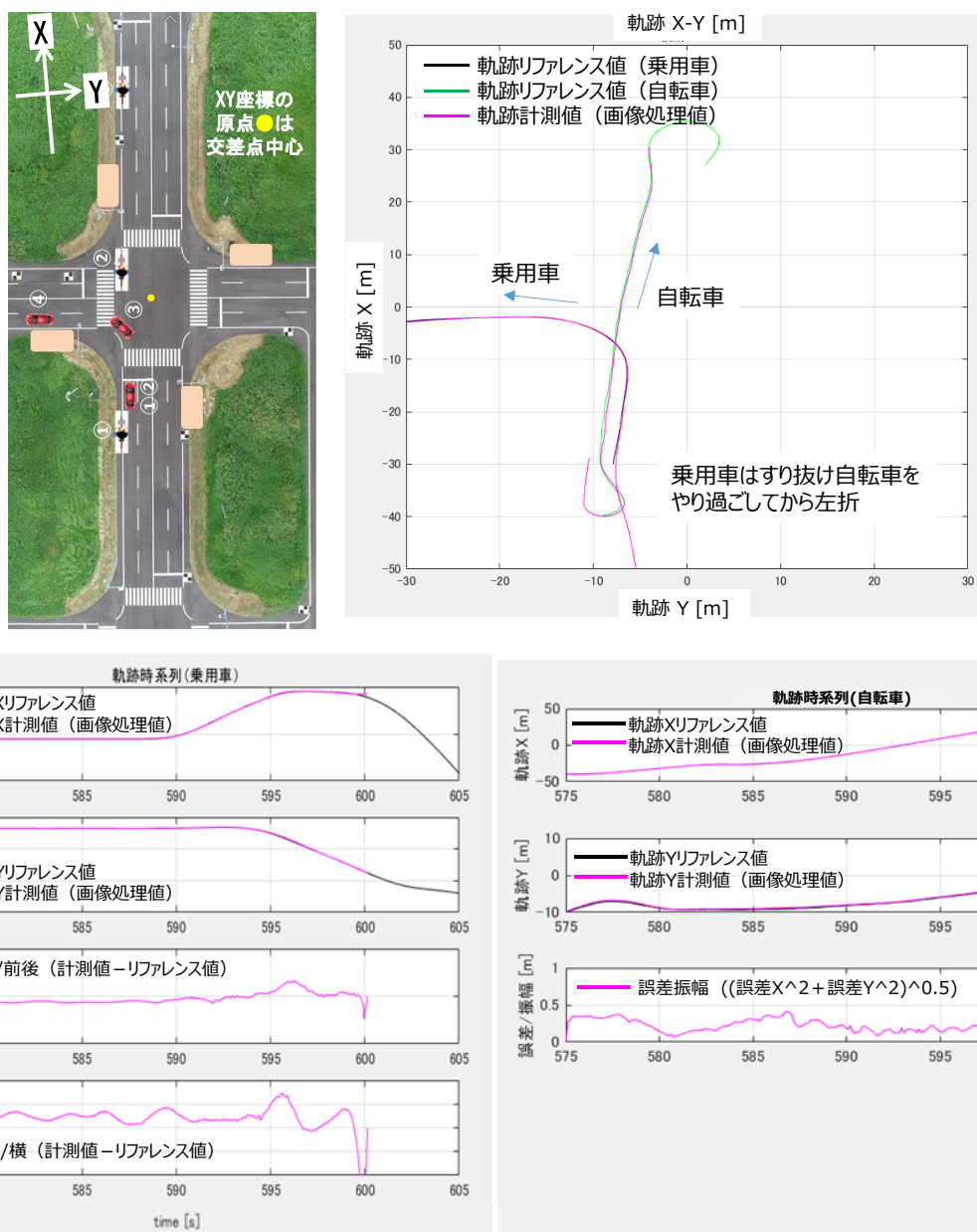


Fig. 18 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例（乗用車左折／自転車すり抜け_シナリオ28）
（左上：シナリオイメージ，右上：XY軌跡，左下：時系列（乗用車），右下：時系列（自転車））

Table 2 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例（軌跡誤差の標準偏差 σ ）

error_σ：軌跡誤差の標準偏差(m)						乗用車		トラック		自転車
シナリオ	乗用車	トラック	自転車	歩行者	N増	車両前後方向	車両横方向	車両前後方向	車両横方向	誤差振幅
						error_σ	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ
17	右折	対向直進			6回	0.129	0.099	0.129	0.072	
28	左折		すり抜け		6回	0.123	0.083			0.064

<車両，誤差@前後方向> 青： $2\sigma \leq 0.5$ m，緑： 0.5 m $< 2\sigma \leq 1$ m，赤： 1 m $< 2\sigma$

<車両，誤差@横方向> 青： $2\sigma \leq 0.1$ m，緑： 0.1 m $< 2\sigma \leq 0.2$ m，赤： 0.2 m $< 2\sigma$

<自転車／歩行者用，誤差@振幅> 青： $2\sigma \leq 0.2$ m，緑： 0.2 m $< 2\sigma \leq 0.4$ m，赤： 0.4 m $< 2\sigma$

4. まとめ

一般道は、高速道路や自動車専用道とは異なり、道路構造、交通参加者、交通規制などが多種多様である。自動運転の安全性評価手法構築のために、交通外乱シナリオの分析に必要な交通流データ（各種交通参加者の軌跡データ）を必要な精度で効率的に大量に収集するには、定点観測によるデータ収集方法（センサ設置場所）においていくつかの選択肢を持つことが望まれる。何故ならば、定点観測の計測センサ設置場所を確保するために所有者に許諾を得ることが難しいためである。

本事業では、一般道を想定して、複数種の定点観測手法のポテンシャルと課題を把握するために、フィジビリティスタディ（軌跡精度の予測や検証）を実施した。各手法の特徴と課題を Table 3 にまとめる。本稿では、手法①②③について手法概要と軌跡精度の検証結果（例）を紹介した。なお、Table 3 における軌跡精度やオクルージョン影響の◎○△は、本稿でその一部を紹介した軌跡精度検証（公道や Jtown で実施）の結果をもとに相対的かつ大括りに総評したものである。

今後、一般道においても自動運転車の安全性を保証するには継続的な実交通流データ収集が必要である。従って、定点観測を必要とする場所の特徴（道路構造や周辺環境など）に適した定点観測手法をその都度選択する必要がある。

Table 3 一般道用交通外乱データ収集方法の比較（定点観測）

定点観測手法 (市街地交差点)	仮想 環境 精度 予測	実走行 環境 精度 検証	想定 センサ 種類	想定 センサ 路面高	軌跡精度 (検証結果)	オクルー ジョン 影響	課題
手法① ビル屋上に設置 したカメラに よる定点観測	実施	公道 実施	4K カメラ	約 35 m	○	○～△ 路面高 次第	ビル屋上に カメラを設置 するための 許諾交渉 が必要
手法② ドローン空撮に よる定点観測	—	Jtown 実施	4K カメラ	約 100 m	◎	◎	ドローン落下 リスクがあり 公道では 現状不可
手法③ 道路インフラに 設置したLiDAR による定点観測	—	Jtown 実施	高精度 LiDAR	約 5 m	○	○～△ 複数LiDAR による点群 データの 補完次第	道路インフラ にセンサを設 置するための 許諾交渉が 必要

謝辞

この成果は、経済産業省からの委託事業である令和 2 年度 高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト）の結果から得られたものです。また、定点観測を行うために、観測対象となる一般道交差点に隣接するビル屋上をお貸しいただいたビルオーナー様には多大なご協力を賜り感謝いたします。

参考文献

- 1) National Highway Traffic Safety Administration, " Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles"
https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf (参照 2022.10.11)
- 2) Research project PEGASUS Effectively Ensuring Automated Driving.
http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/pdf/1st_European_CCAD_Side_Event_Folien.pdf (参照 2022.10.11)
- 3) Horizon 2020
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en> (参照 2022.10.11)
- 4) VVM Project
<https://www.vvm-projekt.de/> (参照 2022.10.11)
- 5) 平成30年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2018）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000351.pdf (参照 2022.10.11)
- 6) 平成31年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2019）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf (参照 2022.10.11)
- 7) 令和2年度 高度な自動走行・MaaS等の社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2020）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf (参照 2022.10.11)
- 8) SAKURA
<https://www.sakura-prj.go.jp/> (参照 2022.10.11)
- 9) H. Weber, et al.: A framework for definition of logical scenarios for safety assurance of automated driving, Traffic injury prevention 20 (sup1), S65-S70
[doi:10.1080/15389588.2019.1630827](https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1630827)
- 10) 自動運転車の安全技術ガイドライン，国土交通省自動車局
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf> (参照 2022.10.11)
- 11) 中村英夫 ほか：自動運転の安全性評価を狙いとしたシナリオ分析用交通外乱データ収集技術（定点カメラ観測），－第1報：基本フレームの構築／軌跡精度の予測と検証－，JARI Research Journal, JRJ20210101（2021）
<https://www.jari.or.jp/research-database/detail/?slug=33287> (参照 2022.10.11)
- 12) 自動運転のキーテクノロジー「LiDAR」の基礎から最新動向，車載技術要件まで，株式会社マクニカ
<https://www.macnica.co.jp/business/maas/columns/135998/> (参照 2022.10.11)
- 13) 自動運転実現で注目を集めるLiDARのしくみと種類，株式会社キーエンス
<https://www.keyence.co.jp/ss/general/automotive-manufacturing/010/> (参照 2022.10.11)
- 14) HighD Project, The Highway Drone Dataset
<https://www.highd-dataset.com/> (参照 2022.10.11)
- 15) 片山 徹：新版応用カルマンフィルタ，第7章 スムージング，p.136-163（朝倉書店）
- 16) Roger R. Labbe: Kalman and Bayesian Filters in Python,
https://inzkyk.xyz/kalman_filter/smoothing/ (参照 2022.10.11)
- 17) VBOX JAPAN
http://www.vboxjapan.co.jp/VBOX/Products/VBOXRTK/VBOX_Products_RTK.html (参照 2022.10.11)

自動運転安全性評価の国際協調に向けた ドイツと日本の交通実態比較

Comparison of Japanese and German data for internationally harmonized
automated driving safety assessment
— Discussion for cut-in situations on expressways —

長谷川 諒^{*1}
Ryo HASEGAWA

Silvia THAL^{*2}

Abstract

Active discussion is being conducted for the harmonization of international safety assessment for automated driving, however, it is predicted that traffic characteristics are different in each country. Thus, it is necessary to clarify which standards, or parts of standards, should be the same all over the world and which need to be considered for each country. In this article, we focus on those for each country. We analyzed and compared German and Japanese cut-in scenarios using traffic data which measurement vehicles collected on German and Japanese expressways to grasp country-specific traffic characteristics. Results revealed that the relative velocity and distance between the measurement vehicles and cut-in vehicles in each country are different. Therefore, in order to harmonize international standards of safety assessment for automated driving, the importance of considering country-specific traffic characteristics is shown.

1. はじめに

自動運転を含めた自動車の安全について国際基準調和を行う国連 WP29 では、自動運転の安全原則として、自動運転車両は受容不可能な危険を生じさせてはならないと記載されている。具体的には自動運転車両の運転領域において、合理的に予見可能かつ防止可能な交通事故を発生させてはならないと記載されている¹⁾。この原則に基づいた自動運転システムの安全性評価手法構築に関しては、国際的に活発な議論が続いている。中でも最も国際的に受け入れられているのが、独 PEGASUS において提唱されたシナリオベース・アプローチである²⁾。シナリオベース・アプローチとは、自動運転車の経路・走行計画の評価を行うために、自車の挙動（車線維持・車線変更）と他車の挙動（加減速・カットイン・カットアウト）、道路線形の組み合わせで表されるシナリオを作成し、そのシナリオを活用して自動運転システムの安全性評価を行う方法を指す³⁾。

一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、2018 年度より経済産業省の自動運転安全性評価手法開発事業である SAKURA Project⁴⁾において、自動運転車の安全性評価に必要な交通外乱シナリオの開発を独 PEGASUS、及びその後継プロジェクトなど国際連携のもとで推進している。当該事業では、自動車専用道路を対象としたシナリオの開発を実施しており、開発で得られた知見から、安全性評価に関する基準・標準の国際的な議論をリードする知見を提供している。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 Institute of Automotive Engineering, Braunschweig University of Technology

* 原稿受理 2022年5月10日 / 初掲載 2023年6月

シナリオの開発にあたっては、計測機器を計装した自動車の走行や、事故データベースなどから得られる実際の交通データを収集、分析することで交通実態を把握し、分析結果をもとに各々のシナリオを開発する手法が主流である。しかし、国際基準調和の議論を行うためには、複数の国の交通実態について調査、比較し、安全性評価の基準を国際的に調和させるべき部分と、国別で検討すべき部分について明確化することが必要であり、このことが合理的な基準作成に貢献すると考えられる。

そこで本稿では、合理的に予見可能なリスクの一例として、自動運転車が本線を車線維持走行中に他車にカットインされる場面に着目する。さらに日本国外の交通実態把握の一環として、著者らが FAST-zero'21 にて報告した、日独の自動車専用道におけるカットインの実態の違い⁵⁾について解説する。なお、ここでのカットインとは、自車（自動運転車）前方で発生した他車の車線変更のうち、隣接車線から自車が走行する車線に車線変更し、かつ走行速度が自車よりも遅いことと定義する。

2. 交通データの収集

交通実態を把握するためのデータ収集にはいくつかの手法がある。1つは、自動車の LiDAR やレーダ、カメラ等を計装して計測車両を開発し、この車両を走行させることで、自車周辺の交通参加者の挙動を取得する手法である^{6),7)}。その他、ドローンによる空中からの計測⁸⁾や、事故データベース⁹⁾からのデータ収集も可能である。ここでは、ドイツおよび日本において計測車の走行によってデータを収集し、周辺車両の挙動を抽出した例を取り上げる。ドイツと日本のデータ比較を行うにあたっては、両国のデータ計測車の仕様に違いがあるため、両国共通で記録しているパラメータとして、Fig. 1 に記載した自車の速度 V_e 、カットイン車両（以下、相手車）の速度 V_o 、自車と相手車の車間距離 d_x 、相手車の横速度 V_y に加え、自車に対する相手車の相対速度 V_{orel} と相手車の横加速度 a_y を用いることとした。なおカットインの方向は、低速車線から高速車線への車線変更、即ちドイツでは右から左、日本では左から右への車線変更とした。

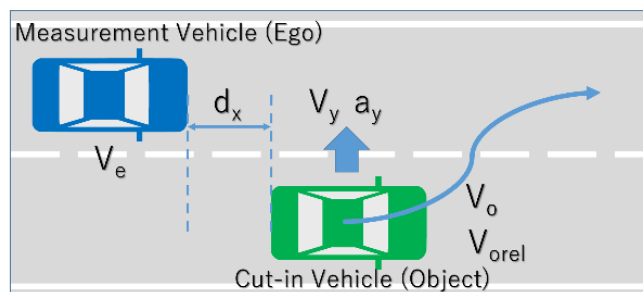


Fig. 1 Parameters in the cut-in scenario in Germany

2.1 ドイツの自動車専用道におけるカットインデータ

計測車には、周辺環境認識用センサとして標準搭載の ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) 用レーダとカメラに加えて、交通状況を記録するための機器を搭載した。ここでは、自動車専用道路を対象として、ドライバが本計測車両を走行させることによって走行データを取集した。その結果、123,225 km の走行データの中から、右側（低速車線）からのカットインシナリオとして 2,878 件を抽出した。

2.2 日本の自動車専用道におけるカットインデータ

運転行動データベース¹⁰⁾、及び SAKURA Project¹¹⁾ で開発した計測車から抽出したデータを利用した。計測車には物体および白線検出用の Mobileye カメラおよびカメラからの情報を記録する機器を搭載した。ここでは、走行データのから、左側（低速車線）からのカットインシナリオとして 790 件を検出した。

3. 日独のカットイン比較・考察

日独のデータを比較するにあたり、ドイツの高速道路には制限速度がないため、相手車の縦方向の速度が 130 km/h までのデータを分析対象とした。

カットインにおける分析対象の各パラメータの平均値 (μ) と、各パラメータについて衝突危険度の高いパーセンタイル値 (crit) の比較を Table 1 に示す。なお crit は、パラメータ毎に衝突危険度の高い値の範囲が異なる。 v_{xrel} の絶対値, ego v_x , obj v_y , obj a_x は値が大きいと衝突危険度は高くなるが, d_x , obj v_x , TTC は値が小さいと衝突危険度は高くなる。そのため, v_{xrel} の絶対値, ego v_x , obj v_y , obj a_x については 95 パーセンタイルを, d_x , obj v_x , TTC については 5 パーセンタイルを採用している。

縦方向の相対速度の絶対値 ($|v_{xrel}|$) を見ると、日本のカットイン時は、ドイツと比較してその値が大きいことが見て取れる。一方、縦方向の車間距離 (d_x) を見ると、ドイツのカットイン時は、日本と比較してその値が短いことが見て取れる。これらの違いは、日独で推奨される自動車専用道走行時の車間距離が異なることに起因すると考えられる。つまり、日本では 100 km/h で走行している際は 100 m の車間距離が推奨されているのに対して、ドイツでは車間時間 2 s、すなわち 100 km/h 走行時の車間距離は約 55 m が推奨されていることから、日本ではドイツよりも先行車に対して比較的長い距離を取っている可能性がある。

しかしながら、相手車が自車線へ入る際の TTC については日独で大きな差はなく、また相手車の縦方向の加速度 (obj a_x) は日独とも値が非常に小さい。

Table 1 Comparison of relevant statistical values

Parameter	Description	GER (μ)	JP (μ)	GER (crit.)	JP (crit.)
v_{xrel} [km/h]	Relative velocity	-6.99	-10.24	-23.55	-28.48
d_x [m]	Distance between Ego and Object	38.41	47.16	11.39	16.56
ego v_x [km/h]	Ego velocity	104.75	99.78	127.98	121.04
obj v_x [km/h]	Object velocity	96.69	89.56	125.07	114.95
obj v_y [m/s]	Object lateral velocity	0.87	0.90	1.44	1.34
obj a_x [m/s ²]	Object acceleration	0.18	0.13	-0.03	-0.20
TTC (TTC < 10s) [s]	Time To Collision when Object into Ego lane	7.32	7.71	4.17	4.87

次に、全分析対象データについて、 d_x を横軸、 v_{xrel} を縦軸とした分布を Fig. 2 に示す。今回は TTC が 5 s 未満の状況を衝突への切迫度が比較的高い危険な状況と定義し、これに着目する。、図中における濃い灰色のプロットと濃い橙色のプロットが、それぞれドイツと日本におけるカットインの内、TTC が 5 s 未満のデータである。ドイツにおいては、TTC が 5 s 未満のカットインは、 $|v_{xrel}|$, d_x が小さい、即ち相手車が自車に近づいてくる速度は比較的遅いものの、自車に近い状況においてで多く発生している。一方、日本では、 $|v_{xrel}|$, d_x が大きい、即ち自車から見て相手車は遠いものの、車間距離が早く縮まる状況において多く発生している。

これらの結果から、自動運転システムの安全性評価のためのカットインシナリオについて、相手車との相対速度や車間距離など、交通外乱テストシナリオが取りうるパラメータの範囲を規定するロジカルシナリオ³⁾を規定するためには、各国におけるパラメータの分布をそれぞれ考慮する必要性が示唆される。

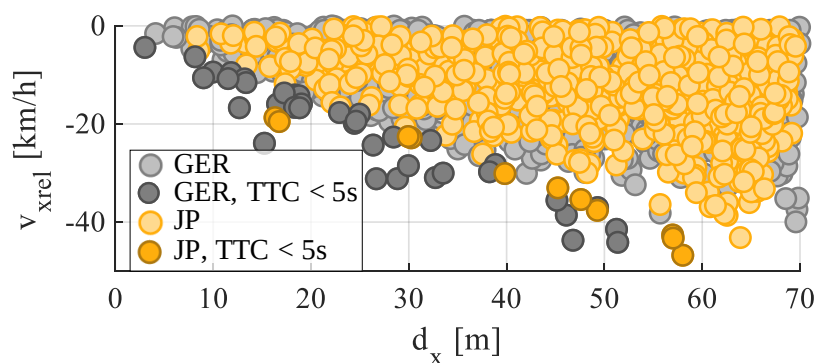


Fig. 2 Cut-in data samples with negative relative velocity of Germany and Japan in the dimensions d_x and v_{xrel}

Table 2 は, Table 1 におけるパラメータ $ego\ v_x$, $obj\ v_y$, $obj\ a_x$, d_x , v_{xrel} について, 先行研究⁷⁾で提案されたカットインシナリオにおける 2 つのパラメータの相関関係を算出する手法に基づき, 2 つのパラメータ間のピアソン相関係数 r を日独別に算出したものである. r の算出手法は以下の通りである.

まず各パラメータを等間隔の「クラス」に分割する. クラスは, あるパラメータの値域をどの程度分割するかを示す. 例えばあるパラメータ x の値域を $0 \leq x \leq 6$ として, これを等間隔の 2 つのクラスに分割するならば $0 \leq x \leq 3$ がクラス 1, $3 \leq x \leq 6$ がクラス 2 となる. そしてこの時, 各クラスのクラス幅は 3 と定義される. 次に, あるパラメータ x の各クラスにおいて, 第二のパラメータ y の $crit$ を計算する. 最後に, x のクラス値と y のクラス毎の $crit$ で r を計算する. なお Table 2 で用いた各パラメータの値域, クラス幅, $crit$ は Table 3 を参照されたい.

さらに r について, 先行研究⁷⁾で提案された相関の有意水準 d を用いて相関の有意性を評価した. 橙色のセルは, $r > 0.95$ と有意水準 $d > 0.1$ という強い相関があることを示す.

結果として, 日独ともに, 衝突への切迫度が比較的高い危険な領域ではパラメータ d_x と v_{xrel} , および $ego\ v_x$ と d_x の間に強い相関があることが分かった. ただし後者は, $ego\ v_x$ の各クラスと d_x の $crit$ のみに強い相関が見られ, d_x の各クラスと $ego\ v_x$ の $crit$ の相関は弱い.

この結果から, ロジカルシナリオの範囲内から各パラメータ値を選び出し, それらを組み合わせることで生成されるコンクリートシナリオ³⁾, すなわち自動運転システムの安全性を評価する際の試験条件において車間距離を設定する際には, 自車速度との相関, 及び相手車との相対速度との相関を考慮する必要性が示唆される.

Table 2 Correlation coefficients for German and Japanese cut-in scenarios

a) German cut-in scenarios

crit	ego v_x	-	0.72	0.59	-0.45	0.19
	obj v_y	-0.83	-	0.87	-0.06	0.13
	obj a_x	-0.18	0.67	-	0.63	0.08
	d_x	0.97	-0.87	-0.29	-	-0.96
	V_{xrel}	-0.80	0.22	-0.92	-0.98	-
	ego v_x	obj v_y	obj a_x	d_x	V_{xrel}	

Classes

b) Japanese cut-in scenarios

crit	ego v_x	-	-0.90	-0.82	-0.92	0.49
	obj v_y	-0.59	-	0.76	0.47	-0.64
	obj a_x	0.43	0.76	-	-0.55	-0.73
	d_x	0.98	0.87	0.54	-	-0.98
	V_{xrel}	-0.95	0.15	-0.79	-0.99	-
	ego v_x	obj v_y	obj a_x	d_x	V_{xrel}	

Classes

Table 3 Used value ranges, classes and percentile values to calculate the correlation coefficients

	ego v_x [km/h]	obj v_y [m/s]	obj a_x [m/s ²]	d_x [m]	V_{xrel} [km/h]
Min	80	0	-2	10	-60
Max	130	3	2	70	0
Class width	10	0.5	0.5	10	5
Crit	95th	95th	5th	5th	5th

4. おわりに

日本とドイツの自動車専用道におけるカットインシナリオを比較した結果、安全性評価シナリオを生成する際には各国におけるパラメータ分布の違いを考慮することの重要性を示した。なお、今回は触れていないが、著者らによる FAST-zero'21 における報告⁵⁾ではドイツにおいて計測車によって収集したデータを対象に、カットインシナリオを高精度で抽出する手法が提案されている。2.1 において 2,878 件のカットインシナリオを抽出した手法については同報告⁵⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) UN/ECE: WP.29-177-19 Proposal for a framework document on automated/autonomous vehicles (2019)
<https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/wp29/WP29-177-19e.pdf> (参照 2022.6.7)
- 2) T. Menzel, G. Bagschik and M. Maurer: Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles, 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), p. 1821-1827 (2018)
- 3) 経済産業省: 平成30年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業: 自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト (2019),
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000351.pdf (参照 2022 .6.7)
- 4) 経済産業省: SAKURA Project, <https://www.sakura-pri.go.jp/> (参照 2022.6.7)
- 5) S. Thal, J. Iatropoulos, A. Sonka, R. Henze, R. Hasegawa, H. Nakamura, J. Antona-Makoshi, S. Taniguchi: Series Sensor Data Processing International Data Comparison in Automated Driving Safety Assessment, FAST-zero'21 (2021)
- 6) S. Thal, H. Znamiec, R. Henze, H. Nakamura, H. Imanaga, J. Antona-Makoshi, N. Uchida, S. Taniguchi: Incorporating safety relevance and realistic parameter combinations in test-case generation for automated driving safety assessment, 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), p. 1-6 (2020)
- 7) T. Liu, Selpi: Comparison of Car-Following Behavior in Terms of Safety Indicators Between China and Sweden, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 21, No.9, p. 3696-3705 (2020)
- 8) R. Krajewski, J. Bock, L. Kloecker, L. Eckstein: The highD Dataset: A Drone Dataset of Naturalistic Vehicle Trajectories on German Highways for Validation of Highly Automated Driving Systems, 2018 21st IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), p. 2118-2125 (2018)
- 9) D. Otte, C. Krettek, H. Brunner, H. Zwipp: Scientific approach and methodology of a new in-depth investigation study in germany called gidas, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) (2003)
- 10) 一般財団法人日本自動車研究所: 平成29年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業: 自動パーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発 成果報告書, (2018)
- 11) 一般財団法人日本自動車研究所: 令和2年度 高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた研究開発・実証事業: 自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト, (2021)
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf (参照 2022.6.7)

バス車内事故を想定した機能安全におけるリスク評価の事例

ーバス車内の乗客に関するシビアリティ・コントローラビリティ評価の検討ー

Examples of risk assessment in functional safety assuming accidents in buses

ーExamination of the severity and controllability evaluation of passengers in busesー

金子 貴信^{*1}

Takanobu KANEKO

鮎川 佳弘^{*2}

Yoshihiro SUKEKAWA

村田 智良^{*1}

Tomoyoshi MURATA

1. はじめに

観光バスや路線バスへの衝突被害軽減ブレーキシステム（以下、AEBS: Advanced Emergency Braking System, UN-R131-01）¹⁾ やドライバ異常時対応システム（以下、EDSS: Emergency Driving Stop System）²⁾ などの電気・電子制御システム（以下、E/E システム）の適用が進んでいる。これら E/E システムは機能安全規格 ISO 26262 ³⁾ の適用対象であり、自動車安全度水準（以下、ASIL: Automotive Safety Integrity Level）を決定するために走行中のブレーキ系 E/E システム故障による減速ハザードで車内事故（未衝突事故）が発生した場合のリスク評価が必要となる。このリスク評価は、ISO 26262 にもとづき、着座および立姿勢乗客に対して、ハザード分析およびリスクアセスメント（3つのパラメータ；エクスポージャ評価、コントローラビリティ評価、シビアリティ評価から成る。以下、HARA: Hazard Analysis and Risk Assessment）を実施する必要があると考えられる。また、エンジン／トランスミッション系 E/E システムの故障による加速ハザードについても同様にリスク評価が必要となる。そこで、バス車内事故を想定した乗客に関するシビアリティ評価（乗客の人命にどのような影響があるのか）やコントローラビリティ評価（ハザード[危険]が発生したときに危害の回避・制御の可能性）の判断材料となる事例について検討を行った。

2. 方法

2.1 対象シナリオと手法

車内事故の HARA 実施シナリオの一例を図 1 に示す。本シナリオは、路線バスが一般道の直線を定速（例 40 km/h）で走行中に E/E システム故障により急減速が発生し、立姿勢の乗客が転倒して傷害を負うケースである。このような HARA シナリオを評価する際に必要となる乗客のシビアリティ評価について、バス車内事故の交通事故統計データ分析から検討した。また、着座乗客、立姿勢乗客のコントローラビリティ評価について、鉄道などの関連文献を調査し検討を行った。

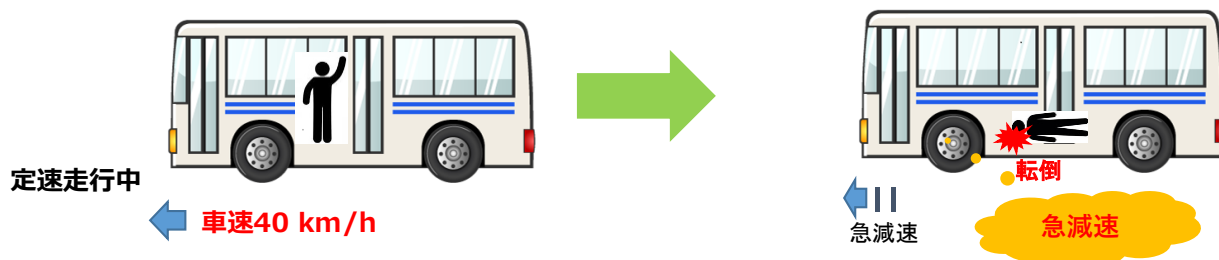


図1 急減速ハザードのシナリオ（一例）

*1 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

* 原稿受理 2022年10月11日 / 初掲載 2022年11月

2.2 シビアリティとコントローラビリティクラス考え方

図2は、HARAにおけるエクスポージャ（E）評価、コントローラビリティ（C）評価、シビアリティ（S）評価の考え方を示したものである。

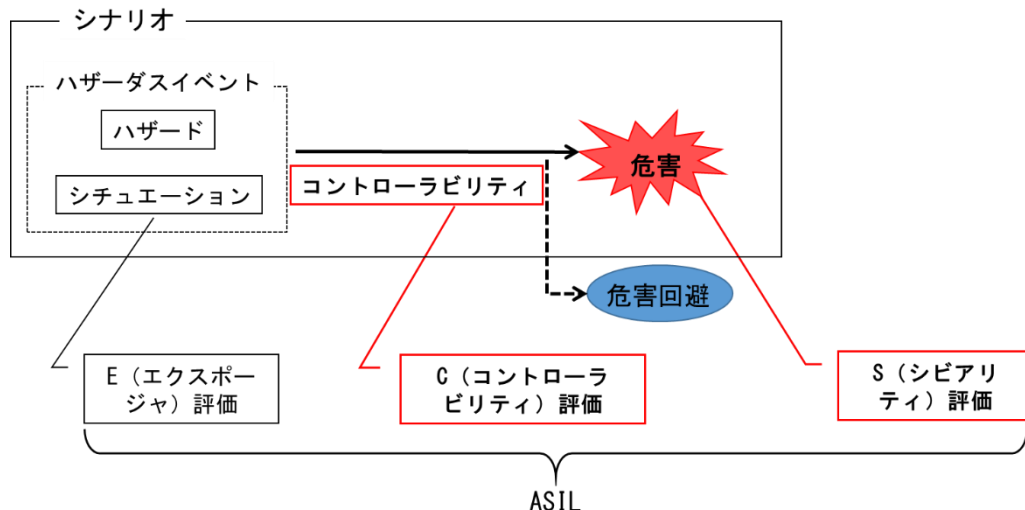


図2 HARAにおけるE評価、C評価、S評価の考え方

2.2.1 シビアリティクラス

図2でハザードスイベント発生時のバス車内の乗客の危害は、他の乗客や物（床、座席、手すりなど）への衝突である。シビアリティ評価については、ISO 26262-3, Annex B, Table B.1のシビアリティのクラスを参照し、バス乗客のシビアリティクラスの判断基準を以下として検討を行った。

- ・S1：重傷の確率が10%未満
- ・S2：重傷の確率が10%以上
- ・S3：死亡の確率が10%以上

2.2.2 コントローラビリティクラス

図2でハザードスイベント発生時のバス車内の乗客のコントローラビリティ評価について、従来はハザードスイベント発生時にドライバのコントローラビリティとして「他の車両などへの衝突による危害回避性」としてコントローラビリティ評価を行ってきた。一方、バス車内事故では、ドライバではなく、乗客のコントローラビリティとなるため、急減速などのハザードスイベント発生時に「車内乗客が他の乗客や物（床、座席、手すりなど）への衝突による危害回避性」と定義し、着座乗客（シートベルト有／無）、立姿勢乗客（手すり把持有／無）について検討を行った。また、ISO 26262-3, Annex B, Table B.4のドライバコントローラビリティのクラスを参照し、ドライバを乗客に置き換えてコントローラビリティクラスの判断基準を以下として検討した。

- ・C1：乗客の99%以上が通常危害を回避できる（簡単にコントロール可能）
- ・C2：乗客の90%以上が通常危害を回避できる（普通にコントロール可能）
- ・C3：乗客の90%未満が通常危害を回避できる（コントロール困難）

なお、エクスポージャ評価については従来と同様に規格のエクスポージャテーブルなどを参照できるが、立姿勢乗客の存在する確率などは新たに検討が必要である。

3. 結果と考察

3.1 シビアリティの調査結果と考察

公益財団法人交通事故総合分析センター（ITARDA: Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis）が集計した 2000～2019 年の路線バス車内事故において分析可能な行動類型（発進、加速、等速、減速、急停止など）データについて分析を行った結果を図 3 に示す。この結果より、「発進・加速」については、重傷の割合が 10%以上であった。また、「減速・急停止」については、重傷の割合が 10%未満であることがわかった。2.2.1 のシビアリティクラスの判断基準に当てはめて路線バス車内事故に関する乗客のシビアリティクラスをまとめた結果を表 1 に示す。この表より、「発進・加速」についてのシビアリティクラスは S2 と導出された。また、「減速・急停止」についてのシビアリティクラスは S1 と導出された。車内事故全体のシビアリティクラスは S2 と導出された。今回の調査範囲では、死亡者数はゼロのため、シビアリティ評価において S3 相当はいないことがわかった。なお、乗客が車内衝突や転倒しても負傷しなかった割合はこの事故データには含まれておらず、負傷しなかった人数（S0 相当）は把握できない。このため、本分析において、重傷率とは次式から計算したものとする。

$$\text{重傷率} = \frac{\text{重傷者数}}{\text{負傷者数}} = \frac{\text{重傷者数}}{\text{軽傷者数} + \text{重傷者数}}$$

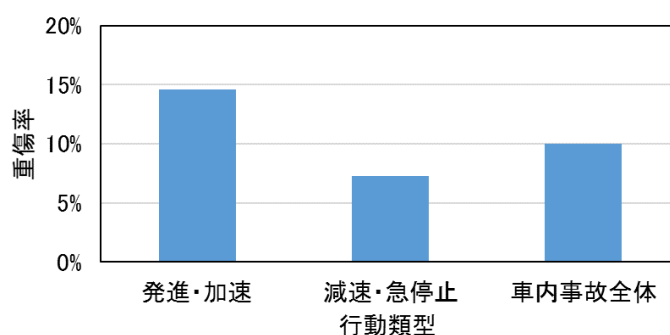


図3 路線バス車内事故における行動類型別の重傷率

表 1 路線バス車内事故に関する乗客のシビアリティクラスまとめ

傷害率 行動類型	シビアリティクラス [傷害率で判断 ^{注)}]
発進・加速	S2
減速・急停止	S1
車内事故全体	S2

注) 死亡率≥10% : S3, 重傷率≥10% : S2, 重傷率<10% : S1

3.2 コントローラビリティの調査結果と考察

路線バス乗客のコントローラビリティ評価について、着座および立姿勢に関する文献調査などを実施し、2.2.2のコントローラビリティクラスの判断基準に当てはめた結果を以下に記載する。

3.2.1 着座姿勢（ベルト拘束あり）

一般財団法人日本自動車研究所(JARI)で実施した観光バス走行中にAEBS相当の減速度(例, 3.8 m/s^2)で制動させた場合における前向き着座(シートベルト拘束あり)での実験参加者(106名)による試験の結果から、実験参加者の99%以上が危害を回避したことからC1以下と推定される。したがって、AEBSより小さいEDSS相当(例, 2.45 m/s^2)、列車相当(例, 1.25 m/s^2)の減速度でもコントローラビリティクラスはC1以下と推定される。

3.2.2 着座姿勢（ベルト拘束なし）

文献4)は、海外で行われたベルト等の拘束がない着座姿勢で走行中の車両に制動をかけた実験結果である。この文献では、前向きの着座乗員に対して、座席に留まることのできる最大減速度を実験的に求めている。図4に示すグラフから、前向き座席における乗客が座席に保持された割合をみると、 0.25 g (2.45 m/s^2)レベル(EDSS相当)では100%保持される(C1)のに対し、 0.4 g (3.92 m/s^2)レベル(AEBS相当)では35%程度と読み取れる。被験者は36人(100人未満)であり、前向きの着座姿勢(拘束なし)の場合、AEBS相当では姿勢を維持するのが難しく、コントローラビリティクラスはC3と推定される。

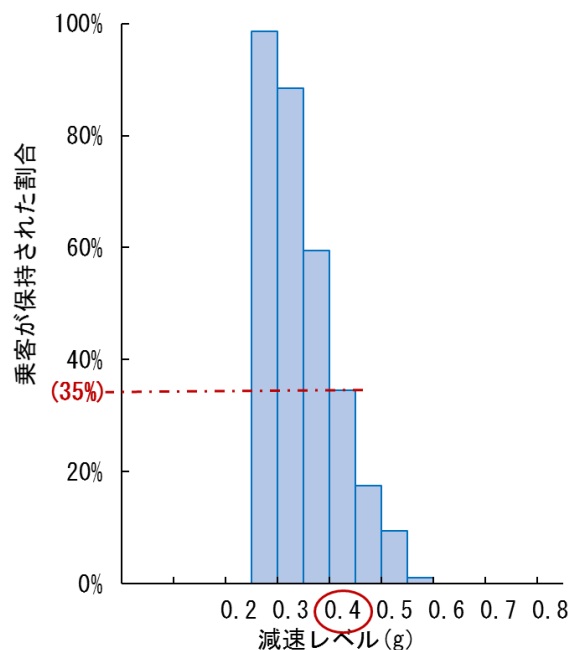


図4 トランジットシートに留まる乗員の割合（前向き）
（出典：文献4)のFig.3を参照して作成）

また、文献5)は、運転手に見立てたダミー人形が座席から転落する床面加速度を衝突実験により調査している。着座姿勢の乗員挙動について加速度 $5 \sim 20 \text{ m/s}^2$ (作用時間 0.2 s) では着座したダミー人形は転落しなかったことから、列車の非常ブレーキ 2.2 m/s^2 (作用時間 10 s 以上) でも座位では転倒／転落の発生は無いと考察している。これらの結果から、着座姿勢(拘束なし)のバス乗客についてもEDSS相当の 2.45

m/s^2 の減速度であれば転落に対しては簡単に姿勢を維持できるためコントローラビリティクラスは C1 以下と推定される。

3.2.3 立姿勢（手すり把持なし）

文献 6), 7) は、加速度に対する立姿勢乗客の転倒特性についてシミュレータによる実験参加者試験を実施している。その結果から、立姿勢の乗客が手すりなどをつかんでいない場合は 1 m/s^2 以下の減速度で転倒する可能性があり、路線バスの乗客も 1 m/s^2 以上（AEBS 相当，EDSS 相当，列車相当）の減速度で手すりをつかんでいない場合は姿勢を維持するのが難しく、コントローラビリティクラスは C3 と推定される。

3.2.4 立姿勢（手すり把持あり）

文献 8) は、列車内の乗客に減速度が与える影響について実験参加者評価を行い、列車減速度の適正なレベルについて検討している。その結果から、乗客の許容できない割合 10%（90%は許容できる）でみると、減速度 1.2 m/s^2 程度が適正レベルと考えられていることから、路線バスの立姿勢乗客も手すりをつかんでいれば減速度 1.2 m/s^2 については転倒を回避でき、普通に姿勢を維持できるため、コントローラビリティクラスは C2 以下と推定される。

また、文献 9) は、通勤列車における立姿勢乗客の安全性評価を行っている。その結果から、吊り手や手すりがあると車両の振動に対する身体バランス維持の負担は飛躍的に軽減されることがわかった。また、図 5 から姿勢維持を困難と感じる割合は、非高齢者で見ると加速度 1.25 m/s^2 付近から上昇し、 2 m/s^2 では 10%以上になることから、EDSS 相当の減速度（ 2.45 m/s^2 ）では姿勢維持を困難と感じる割合が 10%を超えたと考えられ、コントローラビリティクラスは C3 と推定される。

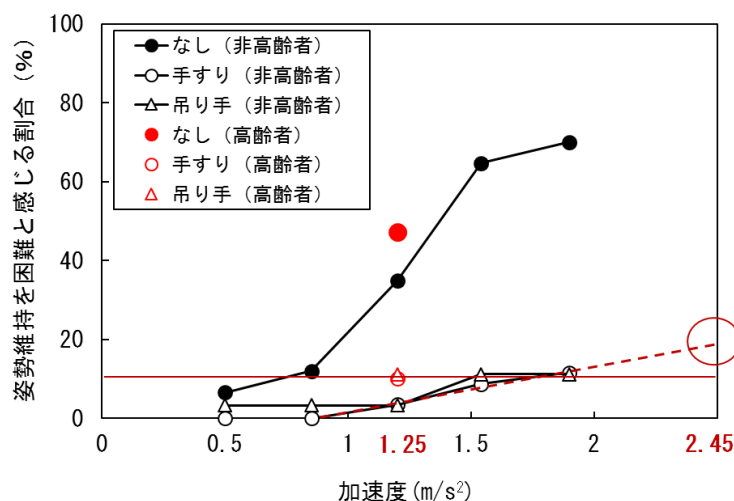


図 5 吊り手・手すりの有無と姿勢維持を困難と感じる割合
(出典：文献 9) の図 9 を参照して作成)

3.2.5 調査結果のまとめ

以上の文献調査から推定したコントローラビリティ評価の結果を表 2 に示す。立姿勢（手すり把持）^{注 2)}については、EDSS 相当の減速度以上の場合、コントローラビリティクラスは C3 と推定される。また、加速側の立姿勢コントローラビリティクラスについても減速側と同様と推定される。

表2 文献結果から推定される路線バス乗客のコントローラビリティクラス^{注1)} まとめ

乗客姿勢 \ 車体減速度	高減速度 (AEBS 相当)	中減速度 (EDSS 相当)	低減速度 (列車相当)
着座姿勢（ベルト拘束）	C1 以下	C1 以下	C1 以下
着座姿勢（拘束なし）	C3	C1 以下	C1 以下
立姿勢（手すり把持）	C3	C3	C2 以下
立姿勢（把持なし）	C3	C3	C3

注1) 判断基準 C3<90%, 99%>C2≥90%, C1≥99%

注2) ISO 26262では、バス運転者や乗客などの交通参加者は規則を守ることが前提で、走行中のバス車内で乗客は着席または吊り手や手すりを把持（しっかり持つこと）した状態とした。

4. まとめ

本研究では、路線バスの E/E システム故障によりハザードスイベントが発生した場合の車内事故を想定した着座および立姿勢乗客に関するシビアリティクラス、コントローラビリティクラス評価の判断材料を得ることができた。今後、これらの結果を用いることにより、ドライバ異常時対応システム（EDSS）などのシステム故障により減速のハザードスイベントが発生した場合の車内乗客を対象とした HARA シナリオ例えば着座姿勢や立姿勢乗客などに関する ASIL 評価が可能となる。

参考文献

- 1) United Nations: Regulation No.131 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking Systems (AEBS) (2014)
- 2) 国土交通省自動車局・先進安全自動車推進検討会: ドライバ異常時自動検知システム基本設計書 (2018)
<https://www.mlit.go.jp/common/001228682.pdf> (参照 2022.10.11)
- 3) ISO 26262-3, Road vehicles Functional safety (2011)
<https://www.iso.org/standard/51358.html> (参照 2022.10.11)
- 4) C. N. ABERNETHY, et al.: Maximum Deceleration and Jerk Levels That Allow Retention of Unrestrained, Seated Transit Passengers, Transportation Research Record 774 (1980)
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1980/774/774-010.pdf> (参照 2022.10.11)
- 5) 小美濃幸司 ほか: 運転座席から転落が生じる床面加速度, 人間工学, Vol.37, No.1 (2001) [doi:10.5100/jje.37.11](https://doi.org/10.5100/jje.37.11)
- 6) 小美濃幸司 ほか: 加速刺激の方向に対する人間の転倒方向についての検討, 人間工学, Vol.34, No.3 (1998)
[doi: 10.5100/jje.34.117](https://doi.org/10.5100/jje.34.117)
- 7) 永田久雄 ほか: 水平加速外力に対する靴ヒール高別の立席姿勢の保持限界に関する研究, 人間工学, Vol.32, No.1 (1996)
<https://mol.medicalonline.jp/archive/search?jo=dp5ergon&ye=1996&vo=32&issue=1> (参照 2022.10.11)
- 8) 白戸宏明 ほか: 列車減速度の適正レベルに関する検討, 鉄道総研報告, Vol. 8, No. 12, p43-46 (1994)
- 9) 大野央人 ほか: 通勤列車における立位客の安全性評価, 鉄道総研月例発表会講演要旨 (2010)

自動車機能安全オンライントレーニングの取組み

Automobile Functional Safety Online Training Initiatives

深澤 竜三^{*1}

Ryuzo FUKASAWA

Abstract

Since 2012, JARI has started a training program for the road vehicle functional safety standard ISO 26262, and a total of about 3000 people have taken the training. In 2020, all training was made online, and we were able to provide students with new services that take advantage of online features. We will continue to create new services and contribute to human resource development in the automotive industry.

JARI では 2012 年度から、自動車機能安全規格 ISO 26262 に対する教育事業を開始し、累計約 3000 名の方々にトレーニングを受講頂いている。2020 年度に全てのトレーニングのオンライン化を実現し、オンラインの特長を活かした新たなサービスを受講者に提供することができた。今後も新しいサービスを創出し、自動車業界の人材育成に貢献していく。

1. はじめに

ISO 26262 は、自動車の電気／電子 (E/E) システムにおける機能安全について規定した国際規格である。自動車の機能安全とは、車載システムに故障が発生しても、フェールセーフなどの安全機構を設けることにより、ドライバや乗員、交通参加者等への危害のリスクを許容可能なレベルまで低減する考え方を言う。一般財団法人日本自動車研究所（以下、JARI という）では、自動車業界各社が ISO 26262 に基づく製品開発を導入する際の支援を目的として、規格知識を修得するための教育事業を 2012 年から展開してきた。2020 年コロナ禍以降、従来の対面型での受講だけではなく、Web 会議システムなどを使用したオンラインでの受講を望む声が強くなってきたため、オンライントレーニングを開始し、受講者のニーズに応えることとした。本報ではその概要について紹介する。

2. オンライントレーニング実施の背景

2.1 社会的背景

2019 年 12 月以降、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により社会構造が大きく変化した。経済活動においてはフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションが制限されたことにより、情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）を活用したテレワークの普及が一気に加速した。図 1 に国土交通省のテレワーク人口実態調査結果¹⁾で報告された日本における雇用型テレワーカー割合の年度別推移を示す。2020 年（令和 2 年）から全国的にテレワーカーの割合が大きく増加し、2021 年（令和 3 年）には感染症拡大前と比べて倍増していることが分かる。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部

* 原稿受理 2022年10月11日 / 初掲載 2022年11月

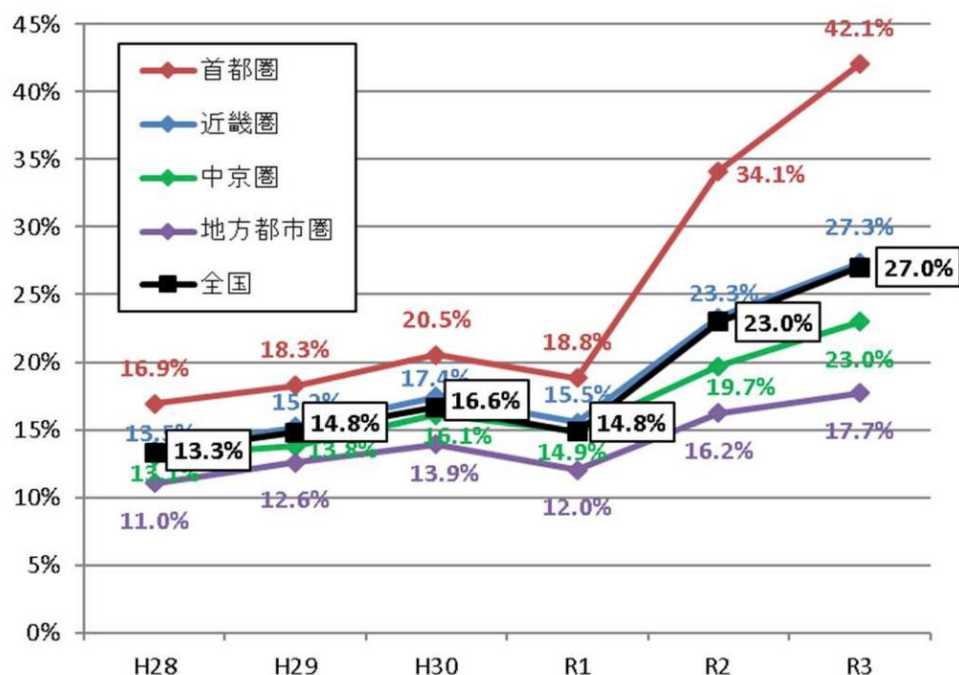


図1 雇用型テレワーカーの割合（2016（H28） - 2021（R3）（国土交通省調査より¹⁾）

2.2 JARI機能安全トレーニングの受講者ニーズの変化

表1にJARIの機能安全トレーニングのコース概要を示す。実施形態はJARI会議室で開催するオープン参加型のオフサイトコースと、特定個社向けに開催するオンサイトコースに大別され、従来は会議室で対面形式での講義を行ってきた。図2に業種別の受講人数比率のグラフを示す。入門コースは自動車メーカーからサプライヤまで幅広く受講され、技術者コースはサプライヤ中心の受講である。アセッサ養成コースは、ある自動車メーカーの社内資格認定コースとして採用されたこともあり、その分自動車メーカーの受講比率が高くなっている。

表1 JARI機能安全トレーニングコース概要

コース名	実施時間
機能安全入門コース（一般技術者向け）	1日
機能安全技術者コース（全モジュール）	5日間
機能安全アセッサ養成コース	3日間

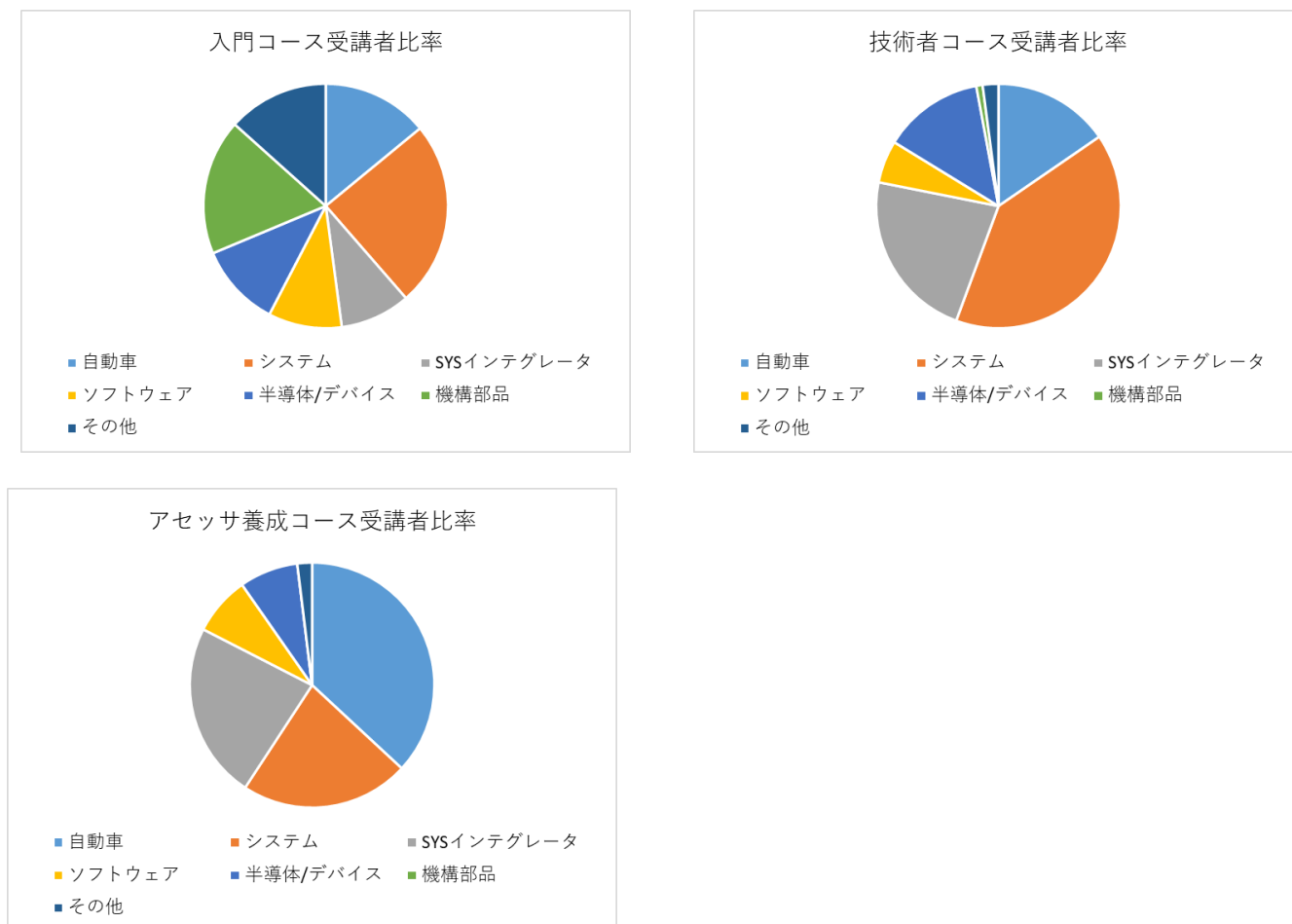


図2 JARI機能安全トレーニング業種別受講人数比率

2012年から2019年までの8年間の累計で3000名以上が受講し、業界の人材育成に貢献してきたが、2020年4月の新型コロナウイルス感染対策緊急事態宣言以後、各企業の出張制限等に伴い対面でのトレーニング参加を控える受講者が増加した。そのため出張および対面を伴わない受講形態のトレーニングを提供して受講者のニーズを満たすべく、全てのコースをオンライン化した。

3. オンライントレーニングの実施内容

3.1 実施方法

オンライントレーニングは、Web会議システムを用いて会議室での講義をライブ配信する方法で実施することとし、オンラインまたは会議室のどちらでも参加可能なハイブリッド形態とした。

Web会議システムは、一般的に広く利用されているシステムの中からセキュリティ上のリスクが少なく動画や音声の通信品質が良いCISCO社のwebexを選定した。また、受講後の理解度確認テストや技術者認定試験をオンラインで行うために、eラーニングシステム（インターネット上で教育コンテンツの配信を行うシステム）を使用する必要があるため、機能面およびユーザビリティで優位性の最も高いシステムを選定した。

トレーニング受付や支払い方法は従来と同じオペレーションとし、申し込み時にオンライン受講または会議室受講を選択できるようにした。教材は著作権上の問題から電子ファイルを提供することができないので、オンライン受講者に対してはテキスト冊子を郵送で事前送付する運用とした。

3.2 実施上の課題と対応

3.2.1 ネットワーク接続およびトラブル対応の課題

オンライントレーニングでは、個々の受講者に発生する様々なトラブルに適切に対処することが最も重要となる。

ネットワーク接続環境が受講者毎に異なるため、環境起因のトラブルが発生するケースが想定される。例えば、リモートワークで仮想専用線（VPN: Virtual Private Network）経由で接続した会社の PC から Web 会議システムにログインすると音声繋がらないことがあった。このような問題が講義当日に発生することは避けなければならないので、全受講者に対して受講 1 週間前に個別の接続テストを行い、問題があれば事前に対処した。

また、事前接続テストで問題が無くても、当日のネットワーク負荷状況等により講義中に特定の受講者の接続が切れるトラブルが想定される。その場合講義は止めず、サポートメンバが電話やチャットを用いて個別に対処した。その場合の代替手段として、Web 会議システムのアーカイブ機能を用いて講義を録画しておき、接続が切れて聴講できなかった部分の講義を後日動画視聴できるように工夫した。

3.2.2 コミュニケーションおよびハイブリッド運営上の課題

オンライン受講であっても会議室で受講したときと同じように、講義内容に対する質問や実際の業務における課題について講師と会話ができる手段を提供する必要がある。

まずは、会場全体を写す web カメラを設置して映像を配信し、オンライン受講者が会議室と一体感を感じ、講師との距離感を縮められるように工夫した。講義中の Q&A については、Web 会議システムのチャット機能を用いて質問を受け、講義の合間にまとめて回答するという運営を基本としたが、オンライン受講者からの口頭での質問も適宜受け付けた。会議室で参加している受講者が口頭で質問する際は、ワイヤレスマイクとスピーカを用いて質問内容がオンライン受講者にも正確に聞き取れるように工夫した。

また、従来の対面型の講義では、講義内容とは直接関係ない受講者個別の業務課題について、講義終了後に直接講師と会話できる時間を設けていた。オンライン受講者に対しても同様の場を提供したいと考え、Web 会議システムが持つ、メインの web 会議から希望するメンバのみ参加できるサブ会議を設ける機能を利用して、講義終了後に個別相談が行えるよう工夫した。

3.2.3 タイムテーブル作成上の課題

オンライン受講者は講義終了直後に次の業務を間を置かずに開始する場合が多いので、必ず予定時刻に講義が終了するように厳密な時間管理を行う必要がある。そのため、講義内容の構成を見直し、余裕を持ったコース運営ができるようなタイムテーブルに変更した。また、一般的にオンライントレーニングは対面形式のトレーニングに比べて受講者の疲労度が高いと言われているので、従来の講義より休憩を増やすよう工夫し、集中力が継続できるように配慮した。

3.2.4 入門コースの課題

入門コースは演習や試験の無い講義のみの 1 日コースで、受講者数が多く多岐に渡る内容が多く、タイムテーブル上時間調整が難しい構成なので、より丁寧なコース運営が課題となった。

また、このコースは個社から新入社員教育やプロジェクトメンバに対する知識修得の目的で依頼されるケースが多い。その際、教育効果を確認するために受講後の理解度テストを要求されることがあるため、従来紙で実施していたテストを e ラーニングシステムによりオンラインで実施できるように工夫した。e ラーニングシステムの機能により、テスト結果の自動採点や個別通知など様々なカスタマイズが可能なので、顧客要望に応じたきめ細かい対応を行うことができた。

3.2.5 アセッサ養成コースの課題

アセッサ養成コースでは、規格要件準拠性を確認するためのチェックリストを受講者が作成し、仮想システムの設計書を評価する演習を行う。チェックリスト作成により要件の理解を深め、仮想設計書の評価により要件準拠性の具体的な評価の観点を理解することを目的としている。この演習をオンラインで実施するに当たり、紙のワークシートで実施していた演習教材の代替方法、および個々の演習結果に対する講師や受講者同士のディスカッション方法が課題となった。

演習教材については、オンラインの利点を活かしワークシートを電子ファイルで配布して個々の PC 上で作成する方法で解決した。ディスカッションは Web 会議と同じ要領で全員のマイクを ON にして実施し、マイク音声のバッティングや議論の停滞が起きないように講師側で議論をリーディングして進めるようにした。また、全員が参加して有効な議論を行うために最適な時間と人数を検討し、適切なタイムテーブルと受講人数でコースを運営するように工夫した。

3.2.6 技術者コースの課題

技術者コースでは最終日に紙で実施している資格認定試験のオンラインでの実施方法が課題だったが、e ラーニングシステムを使用することで問題なく解決できた。

JARI の技術者コースは演習に大きな特徴がある。講義で規格要件を学習した後に演習で仮想設計書を作成し、個々の結果をグループで討議した後にグループの結果をホワイトボードで発表するという内容で、演習を通して具体的な成果物のイメージを知ることが目的としている。この演習のオンラインでの実施方法が大きな課題となった。

演習用教材は紙ではなく電子ファイルを用いることとした。一番問題となったのは、システムのブロック図を受講者が PC アプリケーションの図形描画機能を使って作成する部分だったが、矢印やテキストボックス等のパーツをあらかじめワークシート上に配置しておき、それらをコピーペーストして組み合わせるだけで簡単に描画できるようにすることで解決した。グループ討議および結果まとめについてはオンラインで実施するのは難しいので、個々に作成した設計書を Web 会議システムの画面共有機能を用いて順番に表示し、それに対して講師および受講者がコメントするという運用にして、講師と受講者のコミュニケーションがより取り易くなるよう工夫した。

4. オンライントレーニングの成果

4.1 オンライントレーニング各コースの成果

入門コースは 2020 年度 7 月から、アセッサ養成コースおよび技術者コースは 2020 年度末からオンライントレーニングを開始した。結果として全てのコースでオンライントレーニング開始前の年間受講者数を回復しつつある。

アセッサ養成コースの受講後アンケートでは、「演習問題のワークシートが電子ファイルになったので紙に記入するより楽で良い」「成果物評価演習で個々の演習結果に対して細かく議論できたので理解が深まった」といった声が聞かれ、好評価を得ることができた。

技術者コースでは、演習方法をグループ討議から 1 人 1 人の演習結果を全員でレビューする方式に変更したことで、今まで意見が埋もれがちだった経験の浅い人たちの演習結果も吸い上げられるようになり、全体的な学習効果を向上させる結果となった。また、従来は資格認定試験不合格者に対する再試験を、日付を指定して JARI 会議室で講師立ち合いの下で実施していたが、オンライン試験を可能にしたことで試験者の都合の良い日時に任意の場所で受験できるようになり、負荷を軽減することができた。

4.2 オンデマンドの e ラーニング

オンライントレーニングの別形態に e ラーニングがある。これは、e ラーニングシステムのサーバに格納した動画、PDF、またはテスト等の教育コンテンツを視聴または受験するもので、リアルタイムで行われるライブ配信トレーニングと異なり、任意の場所と時間で講義を受けることができるという特徴を持つ。今回のオンライントレーニングで e ラーニングシステムを導入したことにより、e ラーニング形態のトレーニングも実施できるようになった、すでに入門コースを始めとしたいくつかの動画教材によるトレーニングの運用を開始している。また、導入した e ラーニングシステムは他の JARI 研究部門でも活用され始めており、例えば JARI 認証センターでは 2021 年度から品質マネジメントの内部監査員教育や環境法令教育など 3 コースの e ラーニングセミナーを開設し、多くの受講者を獲得している。

5. 今後の事業展開

JARI ではテレワークによる業務形態の変化に適応するためにオンライントレーニングを整備し、オンラインの特長を活かした様々な付加価値を提供し、受講者のニーズに応えることができた。図 3 に国土交通省のテレワーク人口実態調査結果¹⁾で報告されたテレワーク継続意向のデータを示す。このデータから今後もオンライン指向の傾向は続くと推測されるので、様々な受講者のニーズに応えられるように、e ラーニングコースの拡充などオンライン中心のコース運営を今後も推進していく。

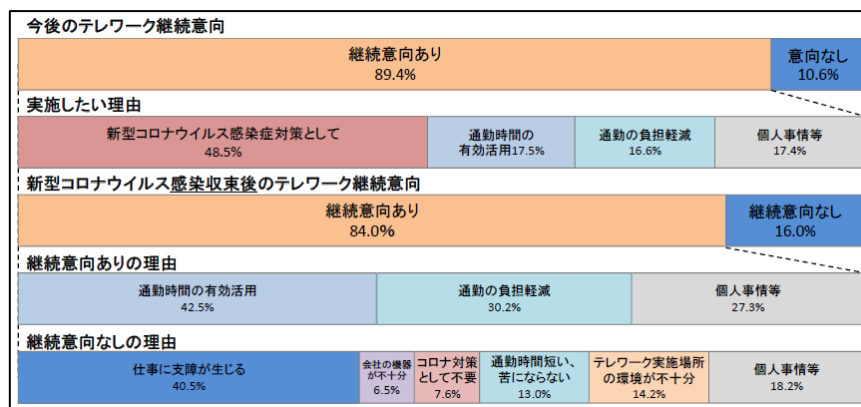


図3 テレワークの継続意向等（国土交通省調査より¹⁾）

また、機能安全と関連性の高い自動車サイバーセキュリティに関しては、2020 年 6 月の国連 WP29（自動車基準調査世界フォーラム）本会議で国連基準が成立し、国際規格 ISO/SAE 21434 が 2021 年 8 月に公開された。国連基準の成立を受け国内では 2022 年 7 月に道路運送車両法が改正されている。このように自動車のサイバーセキュリティに関する基準標準化が自動車業界で注目される中、規格学習に対するニーズも高まっているので、新たなトレーニングコースを開発し、オンラインも考慮した内容とする計画の策定を進めている。

参考文献

1) 令和3年度 テレワーク人口実態調査・国土交通省

<https://www.mlit.go.jp/toshi/daisei/content/001471975.pdf>（参照 2022.10.11）

【編集後記】

早いもので、もう年度末の3月となりました。昨今、自動車業界においては、自動運転をはじめとする革新的な技術が日々進歩しており、近い将来私たちの生活の中における自動車を含めたモビリティの姿は大きく変化することが予想されます。そうした中でも、将来にわたり、安心・安全に自動車に乗るために、また自動車に乗っている人や歩いている人みんなの安全を願って、交通事故による死傷者を削減することを目指した研究が、JARIで行われています。そうした背景を踏まえ、今回は「安全・安心なクルマ社会への取組み」というタイトルのもとに、JARIでの取り組み・研究内容について特集いたしました。

今回の編集に際し、私自身、改めて JARI で様々な取り組みがなされていることを実感いたしました。本特集号が読者の皆様の活動の一助となれば幸いです。

最後に、今回の特集号発刊に際し、ご協力頂いた皆様に深く感謝申し上げます。

(H.J)

JARI Research Journal 2022 年度 特集号 (2)

発行日： 2023 年 3 月 10 日

発行所： 一般財団法人日本自動車研究所

URL: <https://www.jari.or.jp/>

発行人： 川岸 浩

[所報編集委員会]

委員長 赤井 泉明

委員 浅田 崇之 安藤 慧佑 石井 充

一色 孝廣 大谷 亮 面田 雄一

富岡 純一 細谷 純一

[編集事務担当] 企画・管理部 小針 弘之

E-mail : jrj@jari.or.jp

- 本誌の記事内容に関するお問い合わせ、ご意見は、E-mail にて jrj@jari.or.jp までお送りください。
- 本誌に掲載されたすべての記事内容は、一般財団法人日本自動車研究所の許可なく転載・複写することはできません。
- 転載・複写を希望される方は編集事務担当までご連絡ください。

