

令和 6 年度
交通安全環境研究所フォーラム2024
講 演 概 要

2024. 11. 6, 7
一橋大学一橋講堂

独立行政法人自動車技術総合機構



交通安全環境研究所
National Traffic Safety and Environment Laboratory

はじめに

自動車や鉄道は、世界各国において経済活動や国民生活を支える重要な役割を担っています。国際的な課題であるカーボンニュートラルや自動運転については、国際的な動向も踏まえた対応が必要であることに加え、日本国内において少子高齢化やインフラの老朽化が進行する中、持続可能な社会の構築に向け、運用や保守などの業務の省力化・効率化にも取り組んでいく必要があります。

また、日本企業は、自動車や鉄道に関する製品を輸出や海外生産しているため、国際市場において競争力を発揮できるよう、自動車及び鉄道に関する基準・規格の国際化も重要となっています。

交通安全環境研究所は、これらの対応として、自動車及び鉄道の安全・環境に関する基準・規格の策定のための研究、さらに、自動車の型式指定に関する審査・リコールに関する技術的検証、鉄道製品に関する国際規格の認証業務などを実施しています。

本年の交通安全環境研究所フォーラムは、二日間の日程で当研究所が行っている様々な取組をご紹介します。また、外部の専門家をお招きしてご講演を頂くことにしております。ポスターセッションにおいては、最新の研究成果などについて幅広くご紹介いたします。

本年のフォーラムも、対面形式とオンライン形式を組み合わせたハイブリッドの形式で開催させていただきましたが、双方の形式を問わずご参加いただく皆様からの忌憚のないご意見を踏まえ、交通安全環境研究所の活動をさらに充実・発展させ、社会的な期待と信頼に応えていく所存でございます。

今後とも、皆様のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

令和6年11月
独立行政法人 自動車技術総合機構

講演タイムテーブル		2024年11月6(水) [開場]9:30		講演会場：一橋大学 一橋講堂	
10:00-10:05	事務局 連絡				
10:05-10:10	開会の挨拶	交通安全環境研究所長 松田 敦			
10:10-10:25	環境研究部における研究の概要と方向性		環境研究部長 新国 哲也		
10:25-11:10	招待講演1	自動車の脱炭素化に関する国土交通省の取組	国土交通省物流・自動車局 高瀬 竜児 氏 車両基準・国際課 国際企画室長		
11:10-11:35	講演1	自動車における次世代燃料の可能性と交通安全環境研究所の取組	主任研究員 川原田 光典		
自動車のカーボンニュートラル化に寄与する次世代燃料として、水素やアンモニア、合成燃料やバイオ燃料などがある。水素やアンモニアを利用する場合には既存燃料とは異なることから、新たなエンジン設計が必要である。一方の合成燃料やバイオ燃料は既存燃料の性状に近いものが製造できるものの、車両部品の交換などの対策が必要となる場合が多い。本講演では、それぞれに関する交通安全環境研究所としての取り組みを紹介する。					
11:35-12:00	講演2	重量車EVにおける航続距離測定条件の検討	研究員 吉川 真司		
重量車EVの航続距離は、ユーザにとって重要な諸元の一つであると考え。航続距離の測定手法については審査事務規定(TRANS)で規定されており、任意の車速による定速走行で計測可能となっている。一方で車速に応じて定速走行時の電力消費率は異なるため、航続距離に差が生じる。そこで、市販EVを用いて種々の車速条件で航続距離を測定し、その結果を基に公平に比較可能な車速条件を検討した結果を報告する。					
12:00-12:25	講演3	人工知能を活用した自動車検査業務における不正改造車の自動検知手法の提案	研究員 尾崎 信利		
自動車検査業務は検査官の技量に依存する作業が多く、さらに近年の検査業務における保安基準の複雑化により検査官への負担が大きくなっている。そのため本研究は検査業務のDX化に資する研究に取り組んでいる。本報では人工知能を活用し、検査官が目視で行っていた車両形状の異常検査を自動化する手法を提案する。また、自動車検査場を想定した測定環境で、提案手法により車両形状の異常を検知できるか検証実験を行った結果を報告する。					
12:25-13:30	昼休み／ポスターセッション				
13:30-13:45	交通システム研究部における研究の概要と方向性		交通システム研究部長 長谷川 智紀		
13:45-14:30	招待講演2	京都丹後鉄道における安全対策について	北近畿タンゴ鉄道株式会社 宮田 英樹 氏 代表取締役社長		
14:30-14:55	講演4	地方鉄道を対象とした車上センサを用いた軌道の水準変位計測手法の検討	研究員 小野 寛典		
地方鉄道において軌道管理の省力化を実現するため、これまでに、営業列車の上下振動計測に基づく軌道管理手法や横圧载荷治具を用いた軌間拡大量の推定手法などを提案してきた。走行安全性を確保するためには、このほかに平面性変位を監視することも重要である。平面性変位は一定間隔を隔てた2点の水準変位の差に相当するため、今回は水準変位に着目し、LiDARセンサ等を活用し営業列車において計測する手法を検討したので報告する。					
14:55-15:20	講演5	LiDARセンサを活用した物体の配置認識による位置検知手法の検討	研究員 望月 駿登		
鉄道は軌道回路等の地上装置を用いて列車の位置検知を行うが、この装置の保守作業を行う場合は現地に作業員を派遣する必要がある。鉄道事業者の大きな負担となっている。そこで、LiDARセンサを用いて車上で位置検知を行うことにより、地上装置の簡略化を可能にする手法を検討した。今回、実車を用いた試験の結果、本手法の実現可能性を確認したので報告する。					
15:20-15:45	講演6	鉄道の自動運転における安全性評価手法の検討	主席研究員 工藤 希		
人口減少社会を迎え、鉄道分野においても運転士や保守作業員等の鉄道係員の確保、養成が困難になってきていることから、踏切道がある等の一般的な路線における自動運転の検討が進められている。そこで、列車運行シミュレータを用いた運転士による運転試験をもとに、鉄道の自動運転における安全性評価の方法について検討したので報告する。					
15:45-16:15	ポスターセッション				
16:15-16:30	鉄道認証業務の今後の展望		鉄道認証室長 深田 遵		
16:30-16:55	講演7	AIとシステムセーフティとの関係 ～規格適合性において何が課題か～	主席鉄道認証研究員 森 崇		
鉄道においても、安全にかかわるシステムに、AIを活用しようという動きがある。このような開発を進めるにあたり、システム安全を担保するためには一般的にはどのような要件が必要かをNISTが今回発行した AI Risk Management Framework Playbookや鉄道の安全関連規格などを通し論じ、現在ではどのレベルでAIの活用が許容できるかを検討結果を報告する。					
16:55-17:00	事務局 連絡				

事務局 連絡

自動車安全研究部における研究の概要と方向性

自動運転研究統括監 自動車安全研究部長 河合 英直

招待講演3 自動運転の
社会受容に向けた現状と課題

株式会社第一生命経済研究所 常務取締役 宮木 由貴子 氏
ライフデザイン研究部長 首席研究員

講演8 市街地走行中に危険場面に遭遇した場合の人間ドライバの回避行動に関する実験的考察

上席研究員 児島 亨

自動運転車に要求される安全の水準は人間ドライバと比較してどのような関係にあるべきかを検討する上で、人間ドライバの運転行動分析が必要である。本研究では、2025～2030年に実用化が予想される一般道を走行する自動運転車を想定し、自動運転車にとって事故を回避することが困難であると考えられる危険場面における人間ドライバの運転行動について分析するため、ドライビングシミュレータ実験を実施した結果を報告する。

昼休み／ポスターセッション

講演9 交通事故統計データによるペダル踏み間違い事故の分析

主任研究員 加藤 洋子

近年、高齢ドライバーによるペダル踏み間違い事故への社会的関心が高まっている。これらの事故を減らし、傷害の程度を軽減させるためには、事故が多く発生する場所や衝突相手などを詳細に把握する必要がある。本講演では、交通事故の統計データ分析によって明らかとなった、ペダル踏み間違い事故の特徴について報告する。

講演10 対向車前照灯がグレア感に及ぼす諸要因の解析とその対策

上席研究員 青木 義郎

自動車事故は夜間に多く発生し、対向車の前照灯によって生じる蒸発現象が原因の対歩行者事故も報告されている。すれ違いビームは対向車にグレアを与えないよう配光が基準化されているが、高齢者に対するグレアや路面起伏による光軸変化の影響は十分に検討されていない。本研究は、高齢者の運転視界の解析や、路面起伏による光軸の変化が対向車ドライバに与えるグレア解析を実施し、改善方法の検討を行った結果を報告する。

ポスターセッション

講演II リコール技術検証部における業務の概要について

リコール技術検証部長 真下 一則

リコール技術検証部では、リコール制度が適切に運用されるよう、国土交通省と連携して、設計・製造に起因した保安基準不適合等やそのおそれがないか、リコールが既に行われていればそれが適切かについて技術的な検証を行っている。具体的には、不具合情報の分析、事故・火災車両の調査、メーカーヒアリング、実験及び排出ガスサーベイランス等を行っている。これらの現状について紹介する。

自動車認証審査部における審査の概要について

自動車認証審査部長 鈴木 延昌

講演12 サイバーセキュリティ、ソフトウェア
アップデート法規におけるプロセス審査の取組

情報セキュリティ審査センター長 小林 一樹

サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート法規では、これまで行ってきた車両に対する法規適合性ではなく、自動車製作者に対するマネジメントシステムの審査が要求されている。

マネジメントシステム審査では、自動車製作者の業務プロセスを中心に審査することから、その手法をプロセス審査とも呼んでいる。

本講演では、プロセス審査の実態と課題、将来の可能性について報告する。

閉会の挨拶

交通安全環境研究所理事 坂本 一朗

MEMO

ポスタータイトル		2024年11月6日(水) 12:25～13:30、15:45～16:15 2024年11月7日(木) 12:00～13:15、14:05～14:45	ポスターセッション会場: 中会議室 2、3、4
ポスターNo.	講演題目	所 属	発表者
①	ディーゼル貨物車のNOx浄化装置である 尿素SCR触媒の使用過程における性能把握に関する研究	環境研究部	※山本 敏朗
②	脱炭素に向けた産学官連携による次世代 大型車両開発促進事業について-第一報:新規事業の概要-	環境研究部	※鈴木 央一、川原田 光典、田中 信壽、 西山 幸輝、新国 哲也
③	シャシダイナモメータ走行時の車風速の違いが 電動車の環境性能に与える影響調査	環境研究部	※奥井 伸宜、高橋 利道(明電舎)
④	電動キックボードの特徴に関する調査	環境研究部	※田中 信壽、真鍋 裕輝、関根 道昭、加藤 洋子
⑤	軌道維持管理の効率化を目指すための分岐器の 動的特性把握の取組	交通システム研究部	※佐藤 安弘、一柳 洋輔、緒方 正剛、 陸康思(客員研究員)、永原 正己(鉄道機器)
⑥	車輪/レール接触関係にもとづく軌間拡大箇所の検出方法	交通システム研究部	※一柳 洋輔、篠田 憲幸(客員研究員)
⑦	衛星測位による列車位置検知の健全性を検証する 試験環境の検討	交通システム研究部	※山口 大助、工藤 希、望月 駿登
⑧	第4種踏切の支援装置に関する取組	交通システム研究部	※三好 正太、山口 大助、長谷川 智紀、 八木 誠(客員研究員)
⑨	鉄道と物流双方の持続可能性検討のための 旅客鉄道をういた物流の動向分析	交通システム研究部	※三好 正太
⑩	地域交通計画検討のための移動需要推計の取組	交通システム研究部	※小林 貴、大野 寛之
⑪	ロープウェイ搬器における風と動揺の モニタリングに関する取組	交通システム研究部	※森 裕貴、一柳 洋輔、小野 寛典、 八木 誠(客員研究員)
⑫	PC-Crashによるダミー衝突挙動解析のための マルチボディモデル開発	自動車安全研究部	※薄井 雅俊、松井 靖浩、細川 成之、田中 良知
⑬	前面衝突実験における後席ダミーの性差による応答の比較	自動車安全研究部	※田中 良知、細川 成之、松井 靖浩、薄井 雅俊
⑭	前面衝突実験における後席ダミーの着座姿勢が 傷害値に及ぼす影響	自動車安全研究部	※細川 成之、田中 良知、松井 靖浩、薄井 雅俊
⑮	交差点左折時のドライバの運転特性	自動車安全研究部	※松井 靖浩、成田 雅、細川 成之、 及川 昌子(東京都立大学)
⑯	高速道路で自動運転車が合流する際に周辺車両に与える 影響に関する研究	自動車安全研究部	※真鍋 裕輝、児島 亨、北田 幸一
⑰	自動運転マーカーランプの見え方評価実験(1) -ルーフ前端にライン型で設置した場合-	自動車安全研究部	※阿部 晃大、加藤 洋子、関根 道昭、青木 義郎
⑱	自動運転マーカーランプの見え方評価実験(2) -既存灯火器の近傍に設置した場合-	自動車安全研究部	※関根 道昭、加藤 洋子、阿部 晃大、青木 義郎
11/6 講演1	自動車における次世代燃料の可能性と 交通安全環境研究所の取組	環境研究部	川原田 光典
11/6 講演2	重量車EVにおける航続距離測定条件の検討	環境研究部	※吉川 真司、奥井 伸宜
11/6 講演3	人工知能を活用した自動車検査業務における 不正改造車の自動検知手法の提案	環境研究部	※尾崎 信利、新国 哲也
11/6 講演4	地方鉄道を対象とした車上センサを用いた 軌道の水準変位計測手法の検討	交通システム研究部	※小野 寛典、一柳 洋輔、篠田 憲幸(客員研究員)
11/6 講演5	LiDARセンサを活用した物体の配置認識による 位置検知手法の検討	交通システム研究部	※望月 駿登、工藤 希、山口 大助
11/6 講演6	鉄道の自動運転における安全性評価手法の検討	交通システム研究部	※工藤 希、望月 駿登、押立 貴志(客員研究員)
11/6 講演7	AIとシステムセーフティとの関係 ～規格適合性において何が課題か～	鉄道認証室	森 崇
11/7 講演8	市街地走行中に危険場面に遭遇した場合の 人間ドライバの回避行動に関する実験的考察	自動車安全研究部	※児島 亨、真鍋 裕輝、北田 幸一
11/7 講演9	交通事故統計データによるペダル踏み間違い事故の分析	自動車安全研究部	※加藤 洋子、松井 靖浩、阿部 晃大、関根 道昭
11/7 講演10	対向車前照灯がグレア感に及ぼす諸要因の解析とその対策	自動車安全研究部	※青木 義郎、加藤 洋子、関根 道昭

※マークは、筆頭発表者です。

目次

11月6日(水)の講演(一橋講堂)

講演題目		講演者		頁
■環境研究部の取組				
概 要	環境研究部における研究の概要と方向性	環境研究部長	新国 哲也	1
講演 1	自動車における次世代燃料の可能性と交通安全環境研究所の取組	主任研究員	川原田 光典	3
講演 2	重量車EVにおける航続距離測定条件の検討	研究員	吉川 真司	7
講演 3	人工知能を活用した自動車検査業務における不正改造車の自動検知手法の提案	研究員	尾崎 信利	11
■交通システム研究部の取組				
概 要	交通システム研究部における研究の概要と方向性	交通システム研究部長	長谷川 智紀	15
講演 4	地方鉄道を対象とした車上センサを用いた軌道の水準変位計測手法の検討	研究員	小野 寛典	17
講演 5	LiDAR センサを活用した物体の配置認識による位置検知手法の検討	研究員	望月 駿登	21
講演 6	鉄道の自動運転における安全性評価手法の検討	主席研究員	工藤 希	25
■鉄道認証室の取組				
概 要	鉄道認証業務の今後の展望	鉄道認証室長	深田 遵	29
講演 7	AIとシステムセーフティとの関係～規格適合性において何が課題か～	主席鉄道認証研究員	森 崇	33

11月7日(木)の講演(一橋講堂)

講演題目		講演者		頁
■自動車安全研究部の取組				
概 要	自動車安全研究部における研究の概要と方向性	自動運転研究統括監 自動車安全研究部長	河合 英直	37
講演 8	市街地走行中に危険場面に遭遇した場合の人間ドライバの回避行動に関する実験的考察	上席研究員	児島 亨	39
講演 9	交通事故統計データによるペダル踏み間違い事故の分析	主任研究員	加藤 洋子	45
講演10	対向車前照灯がグレア感に及ぼす諸要因の解析とその対策	上席研究員	青木 義郎	49
講演11	リコール技術検証部における業務の概要について	リコール技術検証部長	真下 一則	53
■自動車認証審査部の取組				
概 要	自動車認証審査部における審査の概要について	自動車認証審査部長	鈴木 延昌	57
講演12	サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート法規におけるプロセス審査の取組	情報セキュリティ審査センター長	小林 一樹	59

ポスターセッション

(中会議室 2、3、4)

	講演題目	所属	発表者※主発表者	頁
①	ディーゼル貨物車のNOx浄化装置である尿素SCR触媒の使用過程における性能把握に関する研究	環境研究部	※山本 敏朗	61
②	脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業について ー第一報:新規事業の概要ー	環境研究部	※鈴木 央一 川原田 光典 田中 信壽 西山 幸輝 新国 哲也	63
③	シャシダイナモメータ走行時の車風速の違いが電動車の環境性能に与える影響調査	環境研究部 明電舎	※奥井 伸宜 高橋 利道 氏	65
④	電動キックボードの特徴に関する調査	環境研究部	※田中 信壽 真鍋 裕輝 関根 道昭 加藤 洋子	67
⑤	軌道維持管理の効率化を目指すための分岐器の動的特性把握の取組	交通システム研究部 客員研究員 鉄道機器	※佐藤 安弘 一柳 洋輔 緒方 正剛 陸 康思 永原 正己 氏	69
⑥	車輪／レール接触関係にもとづく軌間拡大箇所の検出方法	交通システム研究部 客員研究員	※一柳 洋輔 篠田 憲幸	71
⑦	衛星測位による列車位置検知の健全性を検証する試験環境の検討	交通システム研究部	※山口 大助 工藤 希 望月 駿登	73
⑧	第4種踏切の支援装置に関する取組	交通システム研究部 客員研究員	※三好 正太 山口 大助 長谷川 智紀 八木 誠	75
⑨	鉄道と物流双方の持続可能性検討のための旅客鉄道を用いた物流の動向分析	交通システム研究部	※三好 正太	77
⑩	地域交通計画検討のための移動需要推計の取組	交通システム研究部	※小林 貴 大野 寛之	79
⑪	ロープウェイ搬器における風と動揺のモニタリングに関する取組	交通システム研究部 客員研究員	※森 裕貴 一柳 洋輔 小野 寛典 八木 誠	81
⑫	PC-Crashによるダミー衝突挙動解析のためのマルチボディモデル開発	自動車安全研究部	※薄井 雅俊 松井 靖浩 細川 成之 田中 良知	85

ポスターセッション

(中会議室 2、3、4)

	講演題目	所属	発表者※主発表者	頁
⑬	前面衝突実験における後席ダミーの性差による応答の比較	自動車安全研究部	※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩 薄井 雅俊	87
⑭	前面衝突実験における後席ダミーの着座姿勢が傷害値に及ぼす影響	自動車安全研究部	※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩 薄井 雅俊	89
⑮	交差点左折時のドライバの運転特性	自動車安全研究部 東京都立大学	※松井 靖浩 成田 雅 細川 成之 及川 昌子 氏	91
⑯	高速道路で自動運転車が合流する際に周辺車両に与える影響に関する研究	自動車安全研究部	※真鍋 裕輝 児島 亨 北田 幸一	93
⑰	自動運転マーカーランプの見え方評価実験(1) ールーフ前端にライン型で設置した場合ー	自動車安全研究部	※阿部 晃大 加藤 洋子 関根 道昭 青木 義郎	95
⑱	自動運転マーカーランプの見え方評価実験(2) ー既存灯火器の近傍に設置した場合ー	自動車安全研究部	※関根 道昭 加藤 洋子 阿部 晃大 青木 義郎	97

口 頭 発 表 11.6

環境研究部における研究の概要と方向性

環境研究部

新国哲也

1. はじめに

令和4年度の日本のCO₂排出量は10億3,700万トンであり、その中で陸上、海上交通等を含む運輸部門からの排出量は18.5%を占めている。運輸部門のうち自動車占める割合は85.7%であり、他の運輸手段と比べ非常に大きい¹⁾。2001年以降、運輸部門のCO₂排出量は減少傾向が続いていたが、ここ数年間では微増に転じている。減少基調への転換さらにはカーボンニュートラル（以下、CN）化に向け、自動車での対策を進めることが重要である。

一方、大気汚染の状況に関して、令和4年度の二酸化窒素（NO₂）の環境基準達成状況は自排局、一般局ともに、昨年度に引き続き100%達成であった²⁾。微小粒子状物質（PM_{2.5}）の環境基準達成率も自排局、一般局ともに100%となっており、この状況を継続していく必要がある。

騒音に目を向けると、令和4年度の自動車交通騒音状況においては、昼夜間とも環境基準を超過していた観測点は全国で2.5%あった³⁾。基準超過戸数は10年来頭打ちの状況であり、このような地点での騒音状況が固定化し改善されていない。

上記のような背景のもと、交通安全環境研究所環境研究部はCN化並びに大気汚染防止等の環境保全を図るため、国が実施する関連行政施策の立案や技術基準の策定等に資する研究を行うことをミッションとして、以下の課題について重点的に取り組んでいる。

- ・自動車のCN化に向けた評価手法の検討
- ・大型車両の高効率化に関する取組み
- ・走行実態に即した騒音の評価

本稿では、これらの研究課題についての状況と関連する国際基準調和活動の概要について述べる。

2. 研究の概要

2. 1. 自動車のCN化に向けた評価手法の検討

ここでは2つのテーマを取り上げる。第1に自動車のライフサイクルアセスメント（LCA）については、従来燃費や電費として自動車の使用段階にフォーカスした評価が行われてきたのに対し、製造や廃棄を含

めた自動車のライフサイクル全体で評価する手法の策定に取り組んでいる。この手法では、製造や廃棄については各工程でのエネルギー消費量からCO₂排出量を算出し、燃費や電費等をベースとする使用段階でのCO₂排出量と合計して全体の等価的CO₂排出量とする。国交省、自工会をはじめとする各団体と協力し、国際調和されたガイドラインの作成を目指し、後述する国連での議論に参画している。第2に、大型の電気自動車について、バッテリーの性能劣化を評価するための技術的手法に関する研究を行っている。環境研究部では大型充放電装置を使用した手法やシャシーダイナモを使用した手法について検討を行っている。またこれらをベースとして、国連の議論に参画し、貢献している。加えて大型の電気自動車の一充電走行距離を適切に評価するため、実車を用いた走行実験を行い、その技術要件に関する検討にも取り組んでいる。

2. 2. 大型車両の高効率化に関する取組み

国土交通省は、次世代大型車の開発・実用化促進事業として、大型車の更なるCO₂排出量の削減を目指した取組を継続的に行っている。初期段階では大気汚染対策を主たる目標として、スーパークリーンディーゼル車の技術開発等を行ってきた。近年ではCNに向けた取組として、電動化技術の開発などにも取り組んでいる。交通研は本事業の中核的研究機関として参画している。

令和6年度からは「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」が開始された。本事業における技術調査は、「大型車の電動化」と「CN燃料の実用化」の2本柱で構成されている。「大型車の電動化」では、「大型車に適用する走行中ワイヤレス給電システムの検討」として、大型車で必要な量の電力供給を走行中に車外から行うシステムの構築に取り組む。また、車両側の効率改善として「車両電力消費率向上に資する重量電動車の高効率回生協調ブレーキ技術の開発」に取り組む。積載状態により車両重量が大幅に変化しても、それに合わせて適切にエネルギー回生を可能とするシステムの開発を目指してい

る。更に「重量水素燃料電池自動車の燃料消費率試験法の精緻化に向けた調査」として、今後普及が見込まれる大型水素燃料電池自動車の性能を適切に把握する手法も検討する。

また「CN 燃料の実用化」では、「CN 燃料実用化に向けた実車両への影響調査」として、いわゆる e-fuel 含む自動車の CN 化に資する液体燃料の大型車用ディーゼルエンジンへの適用を想定し、部品の浸食等の影響や排出ガスへの影響等について調査する。合わせて早期導入に必要な影響評価プロセスやこのような燃料使用に関するガイドライン案等を検討する。

以上に加え第3の柱として、車両そのものの効率化技術の検討も視野に入れている。具体的には、走行抵抗の低減や、車両重量の軽量化などが想定される。

CN 化の一方で、大型車の大気汚染への影響についても引き続き対応していく必要がある。交通研では、実路走行時における排出ガスを計測するため、NO_x センサ等の排気管直挿センサを用いたオンボード計測システムを開発し、貨物輸送で実際に運用されている車両に取り付けて、その排出ガスの実態を継続的に観察している。過去6年間を通した研究活動により、排出ガス浄化装置の劣化の影響とみられる NO_x 排出量の増加傾向が見られている。

2. 3. 走行実態に即した騒音の評価

道路交通騒音の低減には、改造のない標準的な車両に対する対策と、改造を行った車両に対する対策の両方が必要である。改造のない車両に対しては、試験法の見直しや規制値の検討により騒音低減を図ることができ、交通研は後述する国連の議論に参画し、貢献している。一方、改造を行い突発した音を発する車両については、街頭における取締り等も不可欠である。交通研では街頭検査時の騒音試験法である近接排気騒音試験法の規制値を超過する車両を判別すべく、走行騒音の周波数特性に着目した AI モデルの作成を行った。また街頭検査の効率化を図るため警察庁等と連携し、取り締まりの高精度化・高効率化に資するシステムの研究を行っている。

3. 国際基準調和活動

環境研究部では、国連の WP.29 傘下の環境に関する専門家会合及びインフォーマル会議等において、基準策定に必要なデータの提供等を積極的に行っている。

3. 1. 排出ガス・エネルギー専門家会合 (GRPE)

自動車の LCA に関するインフォーマル会議 (Automotive-LCA) では環境研究部の職員が共同議長を務め、自動車のライフサイクル全体での等価的 CO₂ 排出量の計算手法を作成している。また EVE (Electric Vehicles and the Environment) インフォーマル会議では環境研究部の職員が副議長を担当し、大型電気自動車のバッテリーの性能劣化を評価するための方法が検討されている。本基準策定については、2025 年 3 月に開催される GRPE での採択を目指し、日本からも積極的に議論に対応し、活動を進めている。

3. 2. 騒音・タイヤ専門家会合 (GRBP)

GRBP では、二輪車及び四輪車の加速走行騒音の国連規則 R41 及び R51 に規定されている追加騒音規定に関する RD-ASEP (Real-Driving Additional Sound Emission Provision) インフォーマル会議において、環境研究部の職員が共同議長を務めている。現在小型四輪車のデータ収集及び二輪車の追加騒音試験法の新たな規制ライン策定を行っており、議論をリードしている。

4. まとめ

環境研究部としての取組の一端を紹介した。自動車の LCA や電気自動車の環境性能評価法の検討、更に自動車騒音等については国連の WP.29 の活動に参画し国際基準調和活動等を通じて研究の成果を発信している。

参考文献

- 1) 国土交通省, "運輸部門における二酸化炭素排出量", https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html
- 2) 環境省, 「令和4年度 大気汚染物質 (有害大気汚染物質等を除く) に係る常時監視測定結果」
<https://www.env.go.jp/content/000230544.pdf>
- 3) 環境省, 「令和4年度自動車交通騒音の状況」
<https://www.env.go.jp/content/000207445.pdf>

講演 1. 自動車における次世代燃料の可能性と 交通安全環境研究所の取組

環境研究部 ※川原田 光典

1. はじめに

日本の最終エネルギー消費の約 20%を占める運輸部門の内、自動車のエネルギー消費はガソリンや軽油といった液体燃料利用により 9 割近くを占めている。ゆえにカーボンニュートラル社会の実現には、自動車の省エネルギー化や燃料・エネルギーの脱炭素化が不可欠である。その 1 つとして自動車の電動化が進められており、新車販売台数に占める電動車の割合や販売台数自体について目標が設定されている。この中には電気自動車や燃料電池自動車だけでなく、内燃機関を搭載するハイブリッド車も含まれており、将来の自動車用パワートレインの選択肢の 1 つとして位置づけられている。

また既存の内燃機関搭載車においてもカーボンニュートラルに寄与することは可能である。その 1 つは大気中の CO₂ および再生可能エネルギーで生産された水素を原料として合成する液体燃料である e-fuel を利用することである。しかし e-fuel はまだ研究開発段階にあり大量生産には時間がかかる。そのほかには、植物油や廃食油などを利用するバイオ燃料が考えられる。バイオ燃料中の炭素は植物等原料の成長時に吸収した炭素であることから、燃焼時に大気放出される CO₂ は実質的にゼロである。これらの燃料について、いずれも単独で需要量を満たすことができないた

め、導入初期には従来の化石燃料やアルコール類などと混合して使用することが考えられる。

また、液体燃料ではないものの水素やアンモニアといった分子中に炭素を含まないカーボンフリー燃料の活用についても注目されている。これらはエネルギー供給構造高度化法において非化石エネルギー源として位置づけられている。今後非化石エネルギーへの転換が図られる中で利用が拡大するものと考えられ、自動車燃料として普及する可能性もある。

本稿ではこれら次世代燃料について、世界各国で行われているプロジェクトの動向調査、燃料使用時の車両影響、環境負荷の評価などに関する交通安全環境研究所の取組みの一部を紹介する。

2. 検討対象の整理

ここでは、検討対象について整理する。自動車に求められる化石エネルギー消費削減、燃料・エネルギーの脱炭素化について、燃料利用の観点から既販車および新型車に分けて検討を進めている。また、同時にそれらの車両への影響や環境負荷低減効果を評価し定量化する必要がある。そのため表 1 に示すように、検討事項について整理した。次章では、次世代燃料に関する動向をまず述べたうえで、各検討事項について述べる。

表 1. 検討対象

	既販車	新型車
化石エネルギー消費の削減	・水素、アンモニア等の部分的活用による液体燃料利用削減（レトロフィット）	・次世代燃料と新エンジンの協調最適化による効率改善
燃料の脱炭素化	・現在のガソリンや軽油に似た性状の合成燃料、バイオ燃料の利用	・合成燃料、バイオ燃料、水素・アンモニアの利用
評価手法の具体化	・燃料変化影響の評価 ・環境負荷低減効果の定量化	・環境負荷低減効果の定量化

FT合成

Nordic Electrofuel (ノルウェー)

- 初号機として、eSAFの生産を主軸としたプラント建設を計画。2027年に1万KL/年のe-fuel製造を開始予定。
- 2号機 (20万KL/年) のプロジェクトも計画されている。
- 当社は、EUIノベーションファンドから、4千万ユーロの補助金を得ている。

(出典) Nordic Electrofuel HP

FT合成

Arccadia eFuels (デンマーク)

- 世界的な化学・エネルギー企業であるSasol及び炭素排出削減技術を持つTopsoeと協同して、eSAF製造を計画
- 初号機として、2026年に10万KL/年規模のプラントの立ち上げを計画中。
- デンマークや英国等の欧州エアラインに供給される見込み。

(出典) Arccadia eFuels HP

メタノール合成

ABEL Energy (豪)

Bell Bay Powerfueels, Tasmania

- 240MWの水電解プラントからのグリーン水素とバイオマスガス化炉から回収されたCO₂等からeメタノールを生産する。
- 2027年の生産開始を目指し、生産規模は30万トン/年。船舶への供給を見込む。

(出典) Bell Bay Powerfueels (LinkedIn)

自社の独自のFT合成技術を用いた低炭素燃料の生産プロジェクトを展開中。

- 三菱重工業 (米国法人) は、同社に出資。
- 初号機は、eディーゼルやeナフサを生産。EC事業を手がけるアムゾンがeディーゼルのオプティク、2023年末に操業開始。
- 新たに2号機案件として、eSAFを中心とした燃料を生産するプロジェクトを計画。これに關し、BCEP出資発表。また、アメリカ航空は、eSAFに関するオプティク契約を締結。

(出典) Infinitum HP

メタノール合成

HIF USA (米)

- Haru Oni で得た知見・経験に基づき、米国テキサス州マクダにおいて、2027年までに140万KL/年のeメタノールを生産するP2計画。
- 船舶燃料として供給される見込み。

メタノール合成

HIF Chile (チリ)

Haru Oni PJ (チリ)

- “Haru Oni” は、原住民の言葉で「強風」を意味する。
- 風力発電由来の再生水素とDACによるCO₂から生産されたeメタノールをMTGプロセスによりeガソリンに転換するデモプラントを建設し、2022年12月に東証開始。
- 生産されたeガソリンは、自動車メーカーのメルセデスやアウディ、2023年11月、ポルシェが使用する約2.5万リットルのeガソリンをアメリカに初めて商業出荷すると発表。

(出典) Siemens Energy社, Haru Oni

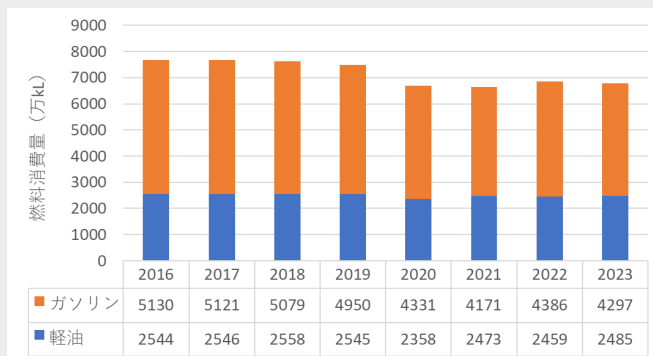


図 2. 国内燃料消費量

本国内におけるガソリンおよび軽油の消費量を示す。縦軸は年間の燃料消費量を万 kL で示したものであり、横軸はカラーバーの直下に各年度を示し、その下に各年度のガソリン（橙）および軽油（青）の消費量を示す。前述の合成燃料やバイオ燃料の生産規模と比較して桁違いに消費量が多いことから、これらを単独で利用することはなく、従来の化石燃料への段階的な混合や複数の次世代燃料を組み合わせる利用が考えられる。

3. 2. 既販車における検討

既販車については、ガソリンや軽油利用を前提として設計されており、極端に性状の異なる燃料の利用は難しい。そのため、FT 合成や MtG、HVO として生産される燃料のうち既販車にて使用可能なものは、合成粗油から製品化される工程において、ガソリンや軽油の規格に準拠するように調整されたものである。現在のところ市場調達可能な次世代燃料は、このように既存の燃料規格にあわせたものが大半である。

3. 2. 1. 既販車へのレトロフィットによる液体燃料利用量の削減

既販車において液体燃料利用量を削減するためには、燃料利用の点からは、水素やアンモニアといったカーボンフリー燃料の活用がある。一方で、特にアンモニアは自動車用燃料としては活用事例が少ないことから、ポート噴射式のガソリンエンジンを搭載した車両をベースとして吸入空気側に水素やアンモニアを供給できるように改造を行い、これらの自動車用燃料としての課題を調査した。図 3 に実際に改造を行った車両のエンジンと燃料供給系を示す。インテークマニホールドに水素アンモニア用のインジェクタを設置した。自然吸気式のエンジンであるため、燃料の噴射圧は高くない。また水素アンモニアのエンジンへの供給量については、噴射弁の開弁時間によって制御し

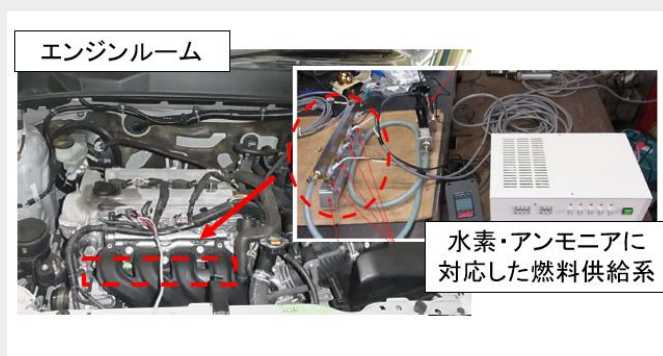


図 3. 改造状況

ている。

試験車両の改造を完了し、アイドリング状態で水素混焼の試運転を行った。水素供給量を増加させつつ、サブ ECU にてガソリンインジェクタへの噴射パルス印加期間を徐々に短縮させた。その結果 40%短縮した条件まで A/F、スロットル開度、排気温度が安定した運転ができることが確認できた。それ以上短縮した場合、インジェクタの針弁が開かず燃料が噴射されなかった。噴射パルス期間を基準とすると 40%の液体燃料の削減であるが、実噴射量では 40%以上削減されている可能性がある。今後、回転数と負荷に応じて水素供給量とガソリンの噴射量を変更する ECU マップを作成し、WLTC のモード走行により排出ガス挙動や液体燃料削減効果を評価する予定である。

3. 2. 2. 既販車への次世代燃料利用時の影響評価

既販車において次世代燃料を用いる場合、基本的に燃料性状は強制規格に収まるものの、従来のガソリンや軽油といった燃料とは細かな組成が異なる。そのため、国土交通省次世代大型車開発促進事業の一環として交通安全環境研究所にて実施しているテーマ「カーボンニュートラル燃料の実用化に向けた実車両への影響調査」では、軽油代替となる次世代燃料を調達し、影響の調査を行っている。具体的には、調達した燃料の成分分析、部品試験、車両試験を一貫して行い、それによって燃料中に含まれるどの成分が車両部品や排出ガスに影響を及ぼす可能性があるか調査する。また、従来燃料などとの混合比率を変更した試験により、その成分の含有率の上限を検討し、これらをガイドラインのベースとしてまとめていく予定である。

部品影響試験の 1 つとして、燃料ポンプやインジェクタなど燃料によって潤滑している箇所への影響を調査するため、燃料噴射系を用いた噴射試験を行った。上段が HVO、下段が軽油であり、左列が噴射圧

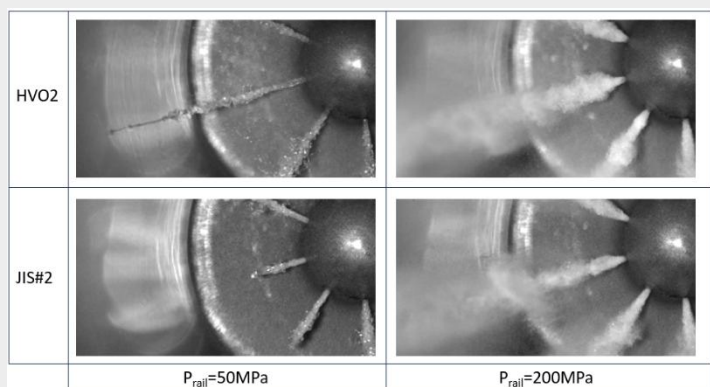


図4. 噴射試験

50MPa、右列が噴射圧 200MPa のいずれも噴射初期に撮影した画像を示す。噴射圧の低い条件では噴射開始に差が出たものの、時間になると $3\mu\text{s}$ 程度の違いであった。噴射圧が高い条件では噴孔近くの拡がり角にわずかに違いが見られるものの、全体としてはほぼ同等であった。燃料ポンプ等についても、噴射が不安定になるなどの不具合はなく、従来燃料と同様の使い方ができるものと判断される。

次世代燃料を燃焼させた場合の後処理装置ならびに排出ガス挙動への影響については、今年度から実車を用いた試験を開始予定である。

3. 3. 新型車における検討

新型車については、これまでの軽油やガソリンにとらわれず、エンジンの高効率化に資する燃料という観点から調査を行っている。この調査も「カーボンニュートラル燃料の実用化に向けた実車両への影響調査」の一環であり、高熱効率を狙った超高圧縮比エンジンにおいて、高級アルコール類や、メタノールから合成されるオキシメチレンエーテル (OME) を対象とする試験を実施予定である。

また、同じく国土交通省次世代大型車開発促進事業の対象として水素内燃機関があり、今年度から検討が開始された。水素内燃機関は、層流燃焼速度が早く、消炎距離が短いといった水素の燃焼特性により、 NO_x の生成や壁面からの冷却損失が大きい。そこで NO_x 低減に資する EGR および SCR に関する 2 テーマ、冷却損失低減に資する熱流束計測に関する 1 テーマを実施し、水素内燃機関の可能性や技術的課題を検討する予定である。

3. 4. 環境負荷評価手法の具体化

e-fuel やバイオ燃料を燃焼させた場合に発生する CO_2 は、大気中から直接回収した CO_2 や植物などの

成長に伴って大気中から取り込まれたものであるため、大気中の CO_2 は増加せずカーボンニュートラルである。しかし、製造時や輸送時のエネルギー分についても考慮するとカーボンニュートラルとならない可能性がある。また、カーボンフリー燃料であるアンモニアを混焼させた場合、炭化水素系燃料の使用量が減少するため CO_2 の排出低減につながるものの、アンモニアの燃焼に伴い N_2O の排出が増加することが知られている。 N_2O の温暖化係数 GWP100 は CO_2 が 1 のところ 265 であり、GHG で考えた場合には排出増となる可能性がある。

これらのことから、燃料変更時の環境負荷低減効果の評価手法として、燃料の製造から使用までのライフサイクルでの GHG 排出評価を検討している。なお交通安全環境研究所は UNECE/WP29、GRPE 傘下の自動車ライフサイクルアセスメント (A-LCA) 専門家会議に共同議長として参画しており、会議内の燃料エネルギーサイクル担当のサブグループでは GHG 排出評価に関する議論をけん引している。この手法の具体化にむけて国内外での議論をふまえ、引き続き検討していく予定である。

4. まとめ

交通安全環境研究所では、自動車用の次世代燃料として、合成燃料、バイオ燃料、水素アンモニア等のカーボンフリー燃料に着目しており、それらの可能性と所としての取り組みの一部について紹介した。

まず既販車へのカーボンフリー燃料の活用については、混焼による液体燃料使用量の削減が可能であることを述べた。また、市場調達可能な次世代燃料の同等品を用いた部品影響試験では、従来燃料との間に大きな違いは見られなかった。今後車両試験により排出ガスや後処理装置への影響を確認する。新型車への取り組みとして、高級アルコールや OME を利用した高効率エンジン、水素内燃機関について取り上げた。最後にライフサイクルでの環境負荷評価について交通安全環境研究所の取り組みを述べた。

これらを通じて次世代燃料の早期社会実装の一助となるよう引き続き取り組む所存である。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁, “バイオ燃料・合成燃料のサプライチェーン構築に向けて”, pp. 1-14 (2024)

講演 2. 重量車 EV における航続距離測定条件の検討

環境研究部

※吉川 真司

奥井 伸宜

1. はじめに

運輸部門における環境負荷低減の観点から、各種自動車においてパワートレインの電動化が推進されている。そのなかで電気自動車(EV)においては、1回の充電で走行できる航続距離が短い点はその普及に向けた課題のひとつである。また、ユーザが車種を選定するうえで、航続距離は重要な諸元であると考ええる。

EVの航続距離に関し、車両総重量 3,500kg 以下の軽・中量車 EV では国連規則第 154 号(WLTP)において測定手法が規定されている¹⁾。一方で同 3,500kg を超える重量車 EV については、同様の国連規則は制定されていないが、国内基準として自動車技術総合機構審査事務規定 別添 1 試験規定(TRIAS 99-012-01)においてその測定手法が規定されている²⁾。当該規定では、車両を定速走行させた場合の航続距離を測定することとしているが、任意の速度条件を設定することができるため、航続距離の測定結果には差異が生じると考えられる。

そこで、市販の重量車 EV を用いて種々の速度条件における航続距離を測定し、現行の手法による測定結果の差を確認した。次に、その結果をもとに重量車 EV を公平に比較可能な車速条件について検討を行った。

2. 現状の航続距離測定法と事例

2. 1. 重量車 EV の航続距離測定法

現状の TRIAS 99-012-01 に規定されている航続距離測定方法の概略は以下のとおりである。車速条件については明示的な規定がなく、任意の車速で測定可能となっている。

測定方法 : 試験路において車両を走行
走行パターン : 定速走行
車速条件 : 車両の目的に応じて設定
走行の終了判定 : 電池残量不足による警告表示
又は目標車速の 90%を逸脱
距離の測定 : 終了判定までの走行距離を測定

2. 2. 航続距離測定値の実例の紹介

表 1 は市販の重量車 EV のカタログやホームページに記載されている諸元の例である。航続距離測定時の車速条件は 30~80km/h と様々であることが分かる。

例えばバス A、B、C の諸元を比較すると、車速条件は各々で異なり、これらの航続距離は電池容量の大小と対応しない。他方でトラック A と B では、車速条件はどちらも 60km/h であり、それぞれの電池容量に概ね対応した航続距離となっている。

表 1 重量車 EV 航続距離のカタログ表記の例

	バス A	バス B	バス C	トラック A	トラック B
全長(m)	10.5	12.0	12.0	6.5	6.8
車両総重量(kg)	16,200	17,000	16,500	7,500	7,500
電池容量(kWh)	245	350	280	100	85
航続距離(km)	360	350	250	250	215
(車速条件)	(30km/h)	(40km/h)	(70-80km/h)	(60km/h)	(60km/h)

3. 航続距離の測定実験

上述の車速条件による航続距離の差異について確認するため、市販の重量車 EV を用いた実験を行った。

3. 1. 供試車両

本実験では、国内において市販されている重量車 EV のトラックを供試した。その主な諸元を表 2 に、外観を図 1 に示す。

表 2 航続距離測定の供試車両

供試車両 #1	
カテゴリ	トラック
寸法 (m)	L6.180 W2.040 H2.270
架装	平ボディ
車両総重量 (kg)	5,900
試験重量 (kg)	4,670 (45%積載)
電池種類	リチウムイオン電池
電池容量 (kWh)	83
航続距離 (km)	236* (車速 60km/h)
モータ出力 (kW)	110
駆動方式	後輪駆動 (2-4D)

(* 航続距離はキャブ仕様等が異なるモデルの参考値。)



図1 供試車両#1の外観

3. 2. 実験方法

供試車両のバッテリーを満充電にしたうえで、以下に示す種々の車速条件で走行させた場合の航続距離の測定を行った。

<測定条件>

測定方法	: シャシダイナモメータ計測
走行パターン	: 定速走行
車速条件	: 40, 50, 60, 80km/h
ドライブモード	: Dレンジ (通常の走行モード)
走行の終了判定	: 電池残量不足により 車速条件の90%を逸脱
距離の測定	: 終了判定までの走行距離を測定

測定条件は2.1節に示した TRIAS 99-012-01 の規定を基に、測定方法、車速条件および終了判定を変更した。屋外の試験路における測定では外気温や日射の状況によりバッテリー温調システムや各コンポの冷却システムでの消費電力が変動する可能性がある。このような外乱を避けるため、建屋内のシャシダイナモメータによる測定とした。終了判定については、車種や試行ごとに電池残量低下による警告の表示と車速逸脱の順序・タイミングにバラツキが生じる懸念があるため、測定条件を統一する観点から今回は後者の判定のみを用いて測定した。

車両の運転については、長時間かつ繰り返しの走行を行う必要があることから、運転ロボットを用いてアクセルペダルおよびブレーキペダルの操作を行った。また、ドライブモードの選択は、シフトレバーを通常の走行位置である D レンジとし、回生ブレーキのレベルは車両始動時の初期設定を維持した。

3. 3. 実験結果

各車速における航続距離の測定結果を図2に示す。高速道路の走行時に想定される車速 80km/h における航続距離が 181km となったのに対して、一般道で想定される車速 40km/h では航続距離 316km となり、1.7 倍を超える差異が生じた。

定速での走行時に、バッテリーから供給される電力は、転がり抵抗、空気抵抗、パワートレイン各所の電氣的・機械的損失、および電装品の稼働などによって消費される。とりわけ空気抵抗は、車速の上昇により増大することから、高速走行時に航続距離が短くなる主要因であると考えられる。

表1で示した市販 EV バス 3 車種の諸元値において、航続距離は電池容量の大小とは対応していない。今回の測定結果と同様に、車速条件の違いがこれに寄与していると考えられる。



図2 各車速における航続距離測定結果 (車両#1)

4. 航続距離測定の車速条件の検討

前章の実験のとおり航続距離の測定結果は車速条件に応じて変化することを確認した。本章では、航続距離測定の車速条件を統一することを目的として、その設定方法について検討した。

4. 1. 車速条件の設定方法

ここでは定速走行した場合と、JE05 モードを繰返し走行した場合の航続距離を測定・比較した。定速走行では、加減速の多い都市内走行時とは負荷や電力消費が大きく異なると考えられる。これに対して JE05 モードは、重量車の排出ガスや燃料消費率の評価に用いられる走行パターンであり、渋滞路などを含む都市内における重量車の走行実態が反映されている。よって、この JE05 モードと同程度の航続距離が得られる車速を求めることで、加減速のある都市内走行時の負荷および電力消費との乖離がより少ない車速条件の設定を試みた。

4. 2. 定速走行と JE05 モードの比較実験による 車速条件の設定

4. 2. 1. 供試車両

車速条件を設定するための実験に用いた供試車両 #1 および #2 の諸元を表 3 に示す。車両 #1 は 3 章の実験と同一の車両である。車両 #2 では、車両 #1 を用いてシャシダイナモメータの負荷設定を変更しており、道路運送車両の保安基準 細目告示別添 41 の JH25 モード法において規定される標準車両諸元の区分 T3 に相当する負荷とした。

表 3 車速条件設定の供試車両

	供試車両 #1	供試車両 #2
カテゴリ	トラック	
車両全長 (m)	6.180	
キャブ寸法 (m)	W2.040 H2.270	W1.989 H2.153
架装	平ボディ	
車両総重量 (kg)	5,910	5,750
試験重量 (kg)	4,670	4,155
電池種類	リチウムイオン電池	
電池容量 (kWh)	83	
航続距離 (km)	236 (参考値)	—
モータ出力 (kW)	110	
駆動方式	後輪駆動 (2-4D)	

4. 2. 2. 実験方法

前項の供試車両につき、3 章の実験と同様にシャシダイナモメータを用いて、以下の各条件における航続距離の測定を行った。

<条件 1 : 定速走行>

走行パターン : 定速走行

車速条件 : 40~80km/h

走行の終了判定 : 電池残量不足により
車速条件の 90%を逸脱

<条件 2 : JE05 モード>

走行パターン : JE05 モード繰返し

走行の終了判定 : 電池残量不足により
規定の車速範囲を 4 秒間逸脱

JE05 モードの走行パターンでは加減速や停止が含まれる。そのため条件 2 において、走行の終了判定は JE05 モードの規定速度を 4 秒間連続して逸脱した時点とした。これは WLTP において規定される軽・中量車 EV の航続距離測定と同様の終了判定である。

4. 2. 3. 測定結果および車速条件の設定

図 3 は航続距離の測定結果であり、各車速で定速走行させた際の航続距離をプロットしている。車速と航続距離との関係は線形近似によりグラフ中の実線で示しており、各プロットは概ね直線上に位置することが確認できた。他方の JE05 モードを繰返し走行した場合の航続距離は水平な破線で示しており、これらの交点(グラフ中の×印)を求めた。

供試車両 #1 および #2 では、交点となる車速はそれぞれ 65km/h と 67km/h であった。これらの結果より、今回の供試車両に対しては 66km/h が車速条件として望ましいと考える。

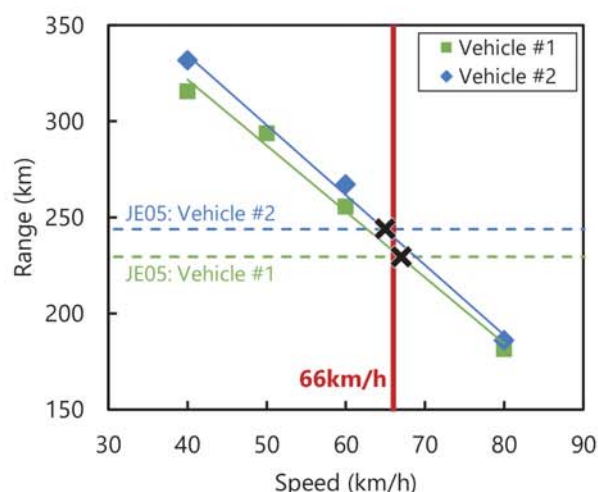


図 3 航続距離の測定結果と車速条件の設定
(車両 #1, #2)

4. 3. 車速条件の検証実験

前節で設定した車速条件に対して、設定時とは異なる供試車両を用いて同様の測定を行い、その妥当性の検証を行った。

4. 3. 1. 供試車両

検証実験に用いた供試車両 #3 の主な諸元を表 4 に、外観を図 4 に示す。

表 4 検証実験の供試車両

	供試車両 #3
カテゴリ	乗用車
寸法 (m)	L3.395 W1.475 H1.655
車両総重量(kg)	1,300
試験重量 (kg)	1,230
電池種類	リチウムイオン電池
電池容量 (kWh)	18
航続距離 (km)	180 (WLTC)
モータ出力 (kW)	20
駆動方式	前輪駆動

市場には多様な諸元の車両が存在する。そのため、検証実験では車速条件設定時とは車格が大幅に異なる車種を選定した。今回は車両の入手性の観点から、国内で市販されている乗用 EV を供試車両#3 とした。重量車 EV である車両#1、#2 と比較すると、同車の重量は 4 分の 1 程度であり、他の諸元値も大幅に小さい数値となっている。



図 4 供試車両#3 の外観

4. 3. 2. 実験結果

検証実験の結果を図 5 に示す。定速走行における航続距離測定結果は、前節と同様に線形近似により内挿し実線で示した。JE05 モードにおける航続距離は 203km であり、定速走行の場合との交点となる車速は 70km/h となった。

上述のように車両#3 は車両#1、#2 とは大幅に車格が異なるが、交点となる車速の差は約 4km/h であり、今回の車速条件の設定方法は有効であると考ええる。

今回供試した 3 車種では交点となる車速は 65～70km/h の範囲に分布したが、今後さらに車種を増やして測定することで、より都市内の走行状態に近い車速条件が得られると考える。

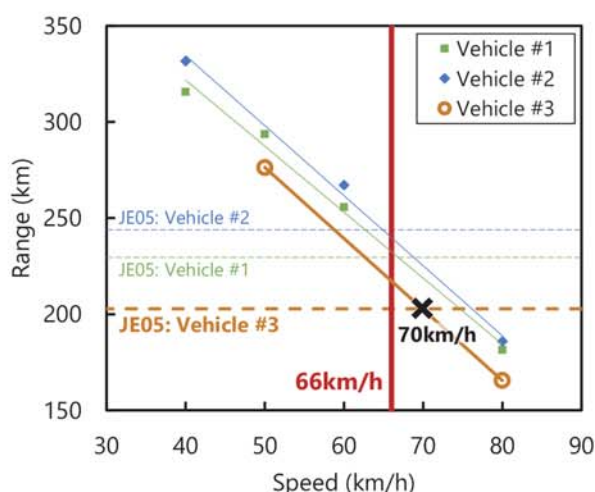


図 5 車速条件の検証結果 (車両#3)

4. 4. 測定に要する時間の比較

図 6 は車両#1 において各走行パターンで航続距離を測定した際の所要時間である。前節までの検討により定速走行の車速条件は 65～70km/h 程度が望ましく、その所要時間は車両#1 では約 3.3 時間と概算される。これに対し JE05 モードでは、その平均車速は 27.3km/h であり、測定には 8.5 時間を要した。

測定の所要時間については今回検討の主眼ではないが、今後に重量車 EV の航続距離が更に拡大された場合、測定が困難になると予想される。そのため所要時間の短縮は大きなメリットであるといえる。

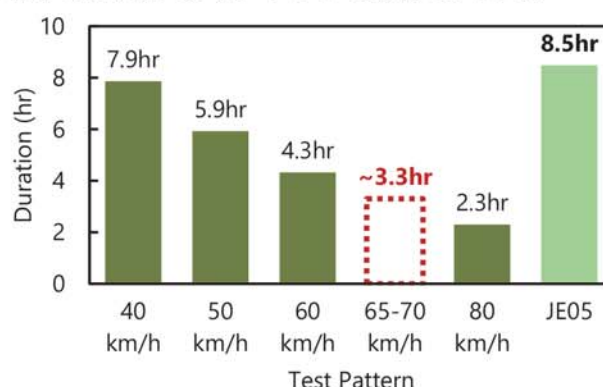


図 6 航続距離測定の所要時間 (車両#1)

5. まとめ

市販の重量車 EV を用いて現行 TRIAS で規定される定速走行時の航続距離を測定し、車速条件により生じる測定結果の差異を確認した。つぎに、定速走行時と JE05 モード繰返し走行時との航続距離を測定・比較し、その結果を基に重量車 EV の航続距離を公平に比較可能な車速条件の設定方法について検討し、さらにその有効性を確認した。

参考文献

- 1) UN Regulation No.154, "Uniform provisions concerning the approval of light duty passenger and commercial vehicles with regards to criteria emissions, emissions of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range (WLTP)", E/ECE/TRANS/505/Rev.3/Add.153/Rev.2/Amend.1
- 2) 審査事務規定 TRIAS 99-012-01, "一充電走行距離及び交流電力量消費率試験 (定速走行)", 独立行政法人自動車技術総合機構

講演 3. 人工知能を活用した自動車検査業務における不正改造車の自動検知手法の提案

環境研究部

尾崎 信利

新国 哲也

1. はじめに

自動車検査業務は、依然として検査官の技量に依存している部分が多く、今後の労働人口の減少に対応するためにも、さらなる効率化が求められている。こうした背景から、交通安全環境研究所では検査業務のDX (Digital Transformation) 化に資する研究に取り組んでいる。その一環として本研究は、従来、検査官が目視で行っていた不正改造による車両形状の異常検知を、人工知能によって自動化することを目的とする。この異常検知には、車両の3次元形状データを用いるが、一般に自動車のような大型の物体の3次元形状を精度よく計測するには、長時間の計測¹⁾や大規模な計測装置等が必要である。また、既存の3次元形状の異常検知手法の多くは高精度で計測されたデータを前提としている²⁾。一方、自動車検査では効率求められるため、長時間の計測ができず、計測ノイズのない3次元形状の計測は困難である。そこで本報では、ノイズを含む3次元形状データから車両の形状異常を検知する手法を提案する。また、自動車検査場での車両の異常検知を模した計測実験によって、提案手法の有効性を検証した結果を報告する。

2. 車両の3次元形状の計測実験

2. 1. 実験車両と計測データ

計測実験に使用した車両を図1に示す。図1(a)のように何も改造を施していない車両を正常状態とし、図1(b)–(f)のように不正改造を模して車両の各部位にアクリル板を貼り付けた車両を異常状態とした。各状態の車両を次節の方法でそれぞれ図1に示す回数だけ繰り返し計測した。これにより、車両形状の計測データを正常状態で合計50件、異常状態で合計40件取得した。この正常状態の車両の計測データ50件から無作為抽出した数件(具体的な件数は後述)を学習データとし、残りの計測データを検証データとして、提案手法で異常を検知できるか検証した。



(a)正常状態 (50回計測)



(b)異常状態Ⅰ (5回計測) (c)異常状態Ⅱ (5回計測)



(d)異常状態Ⅲ (10回計測) (e)異常状態Ⅳ (10回計測)



(f)異常状態Ⅴ (10回計測)

図1 計測実験に用いた車両

2. 2. 車両形状の計測方法

計測実験の概要を図2に示す。検査場での計測を想定し、通路を10 km/h程度で自走する車両を、通路の両脇に2台ずつ設置した深度カメラによって連続撮影した。深度カメラにはIntel RealSense Depth Camera D435f (Intel Corporation 製)を使用した。これにより4つの深度カメラから走行車両のカラー画像と深度マップ(カメラからの撮影物までの距離データ)が動画形式で得られる。この動画形式の計測データを基に図3に示す方法によって車両の3次元形状を再構成した。なお、再構成に必要な深度カメラの

内部パラメータ及び路面に対する深度カメラの各位置は事前の校正実験で求め、車両の移動軌跡はカラー画像の特徴点追跡によって求めた²⁾。図3の下部に示す3次元点群は、1つの計測データに含まれる全ての深度マップを用いて、実際に再構成した結果の一例である。図3から車両の概形は確認できる一方で、結果に計測ノイズが多分に含まれており、車両の形状異常と計測ノイズを区別して判断することが難しいことがわかる。

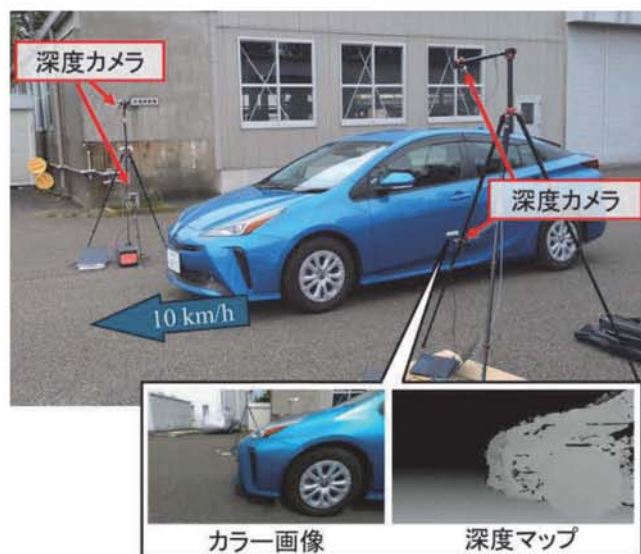


図2 計測実験の様子

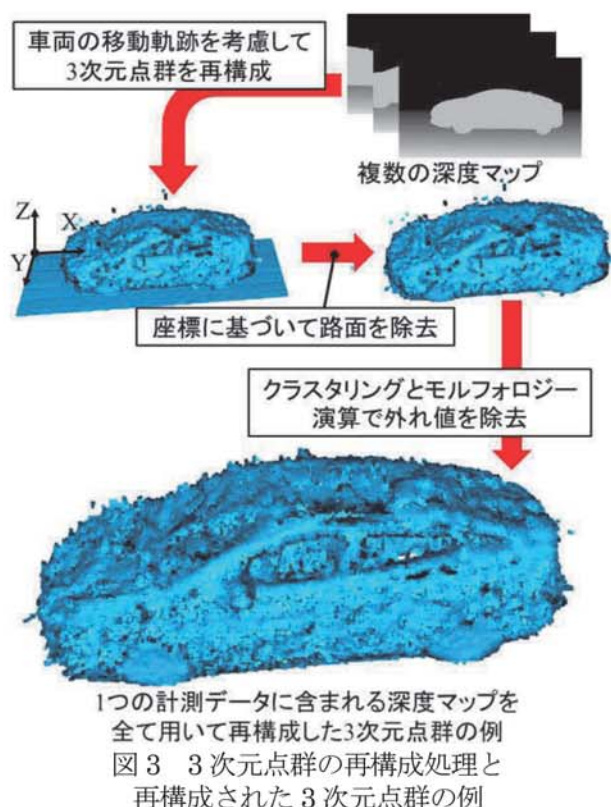


図3 3次元点群の再構成処理と再構成された3次元点群の例

3. 計測ノイズに対応した3次元形状の異常検知

前述のように検査場で計測ノイズの少ない車両の3次元形状を計測することは困難である。そこで本報では計測ノイズを考慮し、マハラノビス距離³⁾を用いた車両形状の異常検知手法を提案する。提案手法の概要を図4、5に示す。まず、検証データに含まれる(動画形式の)計測データの1つから、無作為抽出した L_f 枚の深度マップを基に、図3の方法によって車両形状の3次元点群データを取得する。本報では4つの深度カメラからそれぞれ $L_f = 30$ 枚ずつ、深度マップを無作為抽出した。さらに得られた3次元点群をサンプリングし、 L_p 点の点群データを得る。本報では、 $L_p = 32768$ とし、サンプリング手法にはPoisson disk Sampling⁴⁾を用いた。この点群データの生成を繰り返すことで、図4のように1つの計測データから車両の3次元点群データ $T_1, T_2, \dots, T_m$ を複数得る。また同様の処理を学習データに含まれるすべての計測データに対して行ない、複数の点群データ $N_1, N_2, \dots, N_n$ を得る。これらの点群データ $T_1, T_2, \dots, T_m$ と $N_1, N_2, \dots, N_n$ の形

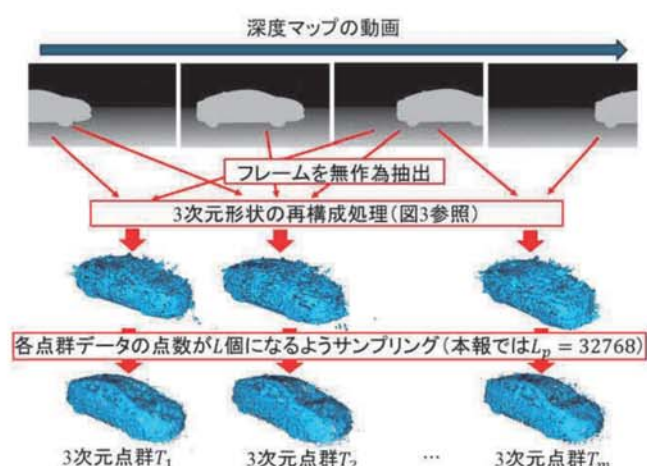


図4 1つの計測データから複数の3次元点群データを再構成する方法

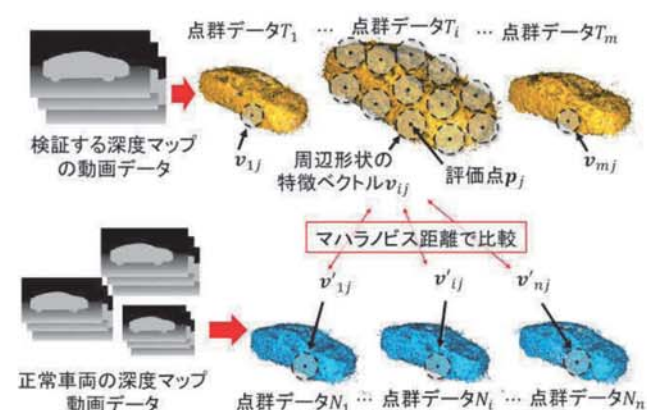


図5 計測ノイズを考慮した車両形状の異常検知手法

状を Point-MAE (Masked Autoencoders) 特徴量^{1), 5)}によって比較する。Point-MAE 特徴量は図 6 のように 3 次元点群に L_e 個の評価点 $\mathbf{p}_j$ を配置し、各評価点 $\mathbf{p}_j$ の周辺の局所的な形状をそれぞれ特徴ベクトルに変換する手法である。本報では評価点 $\mathbf{p}_j$ は点群密度が十分高い領域から Farthest Point Sampling⁶⁾によって選出し、また $L_e = 1024$ とした。Point-MAE 特徴量により、検証データの点群 $T_1, T_2, \dots, T_m$ からそれぞれ得られた特徴ベクトルを $\mathbf{v}_{1j}, \mathbf{v}_{2j}, \dots, \mathbf{v}_{nj}$ とし、学習データの点群 $N_1, N_2, \dots, N_n$ から得られた特徴ベクトルを $\mathbf{v}'_{1j}, \mathbf{v}'_{2j}, \dots, \mathbf{v}'_{nj}$ とする。検証データのある点群 T_i における、ある特徴ベクトル $\mathbf{v}_{ij}$ が特徴ベクトル $\mathbf{v}'_{1j}, \mathbf{v}'_{2j}, \dots, \mathbf{v}'_{nj}$ といずれも近い値であれば評価点 $\mathbf{p}_j$ 周辺の形状が似ていることを意味する。ただし、特徴ベクトルには計測ノイズが含まれている可能性がある。このため次式で計算される、特徴ベクトル $\mathbf{v}'_{1j}, \mathbf{v}'_{2j}, \dots, \mathbf{v}'_{nj}$ の多変量正規分布における $\mathbf{v}_{ij}$ のマハラノビス距離を、特徴ベクトルどうしの異常度として評価する。

$$s_{ij} = \sqrt{(\mathbf{v}_{ij} - \boldsymbol{\mu}'_j)^T \boldsymbol{\Sigma}'_j^{-1} (\mathbf{v}_{ij} - \boldsymbol{\mu}'_j)} \quad (1)$$

ただし、 $\boldsymbol{\mu}'_j, \boldsymbol{\Sigma}'_j$ は $\mathbf{v}'_{1j}, \mathbf{v}'_{2j}, \dots, \mathbf{v}'_{nj}$ の平均ベクトル、共分散行列である。式(1)で計算される s_{ij} が大きいほど点群データ T_i の評価点 $\mathbf{p}_j$ 付近の点群形状が正常状態の車両の形状に似ていない、すなわち形状が異常であることを意味する。以上の処理を各評価点 $\mathbf{p}_j$ 及び点群データ $T_1, T_2, \dots, T_m$ で繰り返し、次式で平均をとった値を評価点 $\mathbf{p}_j$ における検証データの車両形状の異常度 $\bar{s}_j$ として評価する。

$$\bar{s}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_{ij} \quad (2)$$

また各検証データに異常箇所が存在するかは、次式で計算される最大異常度 $s_{\max}$ によって評価する。

$$s_{\max} = \max_{1 \leq j \leq L_e} (\bar{s}_j) \quad (3)$$

4. 提案した異常検知手法の検証結果

まず提案手法が車両形状の異常の有無を正しく判別できるかについて検証した。実験で得た正常状態の車両の計測データから 10 件を無作為抽出して学習データとし、提案手法で残りの計測データをそれぞれ解析して得た最大異常度 $s_{\max}$ のヒストグラムを図 6 に示す。なお、1 つあたりの計測データから生成する点

群データの数は $m = 30$ とした。また学習データとしては $n = m \times 10$ 個の点群データを生成した。図 6 より、異常度の分布が正常状態と異常状態 I ~ V ではっきりと分かれており、図 6 において異常度の閾値を 35 とすると 100% の精度で車両の形状異常の有無を判定できることがわかる。ここで、異常検知の結果を評価する指標として、ROC-AUC を導入する。ROC-AUC は異常度のヒストグラムが正常データ（正常状態の車両）と異常データ（異常状態 I ~ V の車両）でどれだけ分離しているかを示す指標であり、完全に分離していない場合は 0.5、図 6 のように完全に分離している場合は 1.0 を示す。この ROC-AUC を用いて、学習データの件数を 3、5、10 件としたとき、提案手法の形状異常の判別精度がどのように変化するかを検証した。各件数において、学習データの無作為抽出と、それに基づく異常検知を 10 回繰り返し、得られた ROC-AUC を図 7 に示す。図 7 より学習データが多くなるほど、ROC-AUC の結果が高い方に収束す

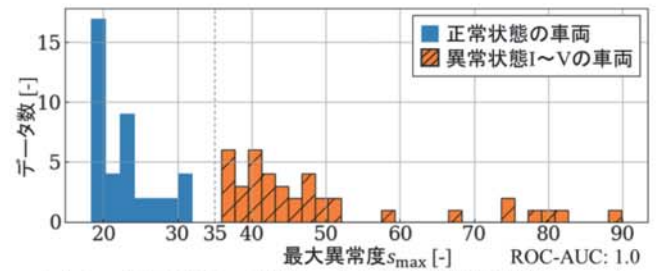


図 6 車両形状の異常の有無を最大異常度 $s_{\max}$ で判別した結果 (学習データ: 10 件)

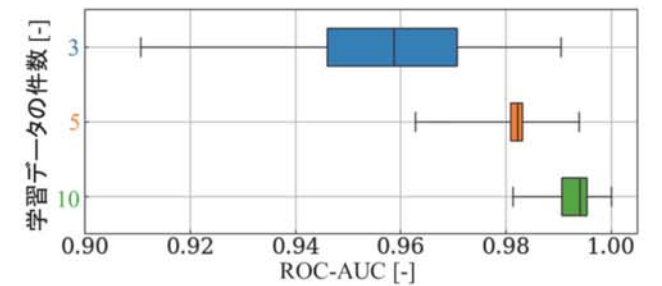


図 7 学習データの件数と提案手法の異常の判別精度

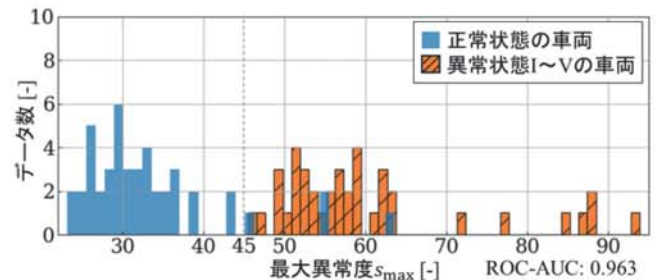


図 8 ROC-AUC が 0.963 を示すときの最大異常度 $s_{\max}$ のヒストグラム (学習データ: 5 件)

ることが確かめられ、学習データを5件としたときのROC-AUCは最低でも0.96を越えていることがわかる。ROC-AUCの目安として、学習データを5件とし、その解析結果のROC-AUCが0.963であったときのヒストグラムを図8に示す。図8において閾値を45とすれば異常状態Ⅰ～Ⅴの車両の検出率は100%、正常状態の車両を異常と判定する誤検出率は8.9%となる。以上から、提案手法は学習データが5件あれば実用的な精度で車両形状の異常の有無を判定できると考える。

次に、解析で得られた各評価点 p_j の異常度 s_j を図9に例として示す。図9(a)では異常状態の場合はアクリル板を貼り付けた箇所だけが高くなっており、異常箇所を特定できていることがわかる。一方で図9(b)では異常度 s_j が異常箇所でも高くなっているものの、本来、異常でない車両上部でも高くなっていることがわかる。図9(c)には、図9(b)の計測データから図4の方法で再構成した3次元点群の例を示している。図9(c)から車両上面の点群密度が低くなっていることがわかる。このことから、車両上部では点群の分布を詳細に求められなかったことが、図9(b)で誤検出が生じた原因であると考えられる。なお、車両上面の点群密度が低くなった主な理由としては、日中に屋外で計測したため太陽光の影響を受けたことが考えられる。今後は屋内で形状計測を実施する、車両の真上から形状計測ができるよう深度カメラを追加するなどの計測方法の改良により、異常検知精度のさらなる向上を目指す。

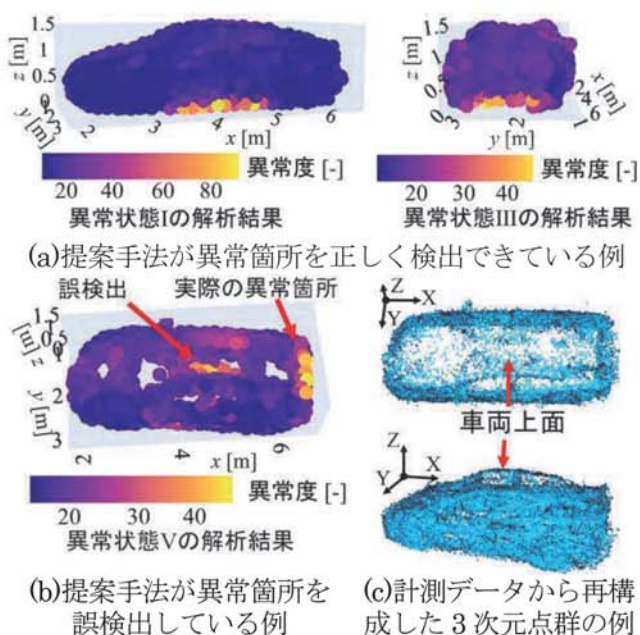


図9 車両形状の異常箇所検出結果

5. おわりに

本報では計測ノイズに対応した車両の3次元形状の異常検知手法を提案し、その有効性を実験によって検証した。実験では、通路を自走する車両を、通路の両脇にそれぞれ2台設置した深度カメラで3次元計測し、その計測データを基に提案手法が車両形状の異常を検知できるかを評価した。検証結果として、車両の計測データが数件あれば、車両形状の異常の有無を実用的な精度で判別できることが確認された。一方で、形状の異常箇所の検出については、点群密度が低い場所において形状異常を誤検出する場合もあることがわかった。今後は車両形状の計測方法を改良することにより、異常検知の精度向上を目指す。また実用化に向けて、形状の異常箇所のより詳細な精度検証や様々な車両における提案手法の検証を実施する。

参考文献

- 1) J., Liu, G., Xie, R., Chen, X., Li, J., Wang, Y., Liu, C., Wang and F., Zheng, "Real3d-ad: A dataset of point cloud anomaly detection", Proceedings of the 37th International Conference on Neural Information Processing Systems, pp. 30402–30415, 2023.
- 2) D. Nister, "An efficient solution to the five-point relative pose problem", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, no. 6, pp. 756–770, 2004.
- 3) T., Defard, A., Setkov, A., Loesch and R., Audigier, "Padim: a patch distribution modeling framework for anomaly detection and localization", International Conference on Pattern Recognition, pp. 475–489, 2021.
- 4) R. L. Cook, "Stochastic sampling in computer graphics", ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 5, pp. 51–72, 1986.
- 5) Y., Pang, W., Wang, F., E.H., Tay, W., Liu, Y., Tian, L., Yuan, "Masked autoencoders for point cloud self-supervised learning", European Conference on Computer Vision, pp.604–621, 2022.
- 6) T. F. Gonzalez, "Clustering to minimize the maximum intercluster distance", Theoretical Computer Science, Vol. 38, pp. 293–306, 1985.

交通システム研究部における研究の概要と方向性

交通システム研究部

長谷川 智紀

1. まえがき

交通安全環境研究所は、日々の生活や経済活動に欠かせない自動車及び鉄道等の陸上交通について、国の施策に直結した試験研究業務を通じて、安全・安心の確保及び環境の保全に貢献するための取組を進めている。

その中で、交通システム研究部は、鉄道、LRT（Light Rail Transit：次世代型路面電車システム）、索道等の交通システムに係る安全及び安定輸送の確保に貢献するため、省コストで安全性の向上を図ることができる事故防止対策の検討、国内外の動向を踏まえた新たな交通システム・設備・車両の技術評価等を実施している。また、地域交通の維持・活性化、高齢者や交通弱者の移動の安全・安心の確保、自動車と鉄道等の技術連携など、陸上交通の総合的な安全・環境に関わる様々な課題について、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の特長を生かした分野横断的な研究にも取り組んでいる。

本稿では、当研究部が実施している最近の取組の概要について紹介する。

2. 交通システム研究部の研究

2. 1. 研究重点分野

自動車技術総合機構の令和3年度から令和7年度までの中期計画において、行政ニーズやこれまでの研究成果等を踏まえ、当研究部では以下の3つの柱を研究重点分野として取り組んでいる。

- (1) 新技術を用いた交通システムに対応する安全性評価
- (2) 列車の安全運行や施設の維持管理の省力化に資する技術の評価
- (3) 新技術を含む公共交通の地域に応じた導入促進評価

この各重点分野において、1つ又は複数の研究テーマを立てて、研究に取り組んでいる。以下、重点分野ごとに現在の取組を紹介する。

2. 2. 新技術を用いた交通システムに対応する安全性評価

本重点分野では、新たな技術を用いた交通システムの安全性に関し、信頼性も考慮した的確な評価を行うため、国内外の動向を踏まえた評価手法の研究を行い、交通システムの海外展開を含む導入促進に貢献することを目指している。

具体的には、当研究所は海外プロジェクト向け列車制御システムの安全性評価等を受託研究として実施してきており、我が国の鉄道における安全確保の考え方に立脚しつつ、国際規格との調和や信頼性にも着目した評価手法の標準化・体系化に継続的に取り組んできた。最近では、踏切道がある等の一般的な鉄道路線で新たな装置や技術を活用した自動運転の導入が我が国で検討されており、列車運行シミュレータを用いた試験をもとに、鉄道の自動運転における安全性評価の方法について検討するとともに、鉄道の自動運転への活用が予想される自動車の技術や汎用技術を、鉄道の安全の考え方に沿って導入できるようにするための評価方法の検討を進めている。

このほか、電磁放射に対する安全性の確保のため、これまで検討を行ってきた鉄道車両のみならず、検討対象を電気自動車等の陸上公共交通全般に広め、発生する磁界の測定・評価手法及び磁界の人体暴露の低減方策について継続的に調査を行うこととしている。

2. 3. 列車の安全運行や施設の維持管理の省力化に資する技術の評価

本重点分野では、各種センサ技術や状態監視技術に着目し、列車の安全運行や施設の維持管理の省力化等に資する技術の評価を行い、低コストでの輸送

の安全確保を前提として地方鉄道・索道等の維持に貢献することを目指している。

脱線事故の防止等走行安全性の確保には、鉄道車両や施設の適切な維持管理が極めて重要であり、近年では低コスト化、高性能化が進んでいる各種センサ技術や状態監視技術に着目して、施設の維持管理の省力化等に資する技術の評価に取り組んでいる。特に、小型情報端末を活用した営業列車上での動揺計測に基づく軌道状態の要注意箇所を把握・監視する手法について、これまでの上下動揺に加え、左右動揺等と軌道検測データとの関係性の把握により検討を進めている。また、車輪／レール接触関係に基づき走行安全性に直結する軌間拡大箇所を把握する方法について検討を進めているほか、分岐器の動的特性把握に取り組むことにより、車上側からの測定による分岐器検査への対応を検討している。

また、ロープウェイやリフト等の索道については、観光立国の実現に向けたスノーリゾートの形成に関する取組や都市部への導入など近年の社会情勢を踏まえ、索道施設の維持管理の省力化等に資する技術の評価に取り組んでいる。具体的には、風等による走行中の搬器の動揺を常時モニタリングする技術を実路線に適用し、動揺の変化から異常を検知して、運転の停止や点検整備に活用するための課題を整理するとともに、索道の動力・制御システムの状態を常時記録し、蓄積したデータをもとに予防保全に活用するための測定システムについて検討を進めている。

一方、安全確保を継続しつつも、将来に向けては運行や保守に係る負担軽減や省コスト化をより一層図っていく必要がある。これを受けて、運行に係る業務や列車制御に関するシステムを対象に車上列車位置検知技術などの省力化可能な技術調査を行うとともに、省力化可能なモデルシステムの構築と技術検証について検討を進めている。

また、列車の接近を知らせる装置が無い第4種踏切での昨今の痛ましい事故を踏まえ、第4種踏切の廃止や第1種踏切化に至るまでの安全確保のため、低コストな方法による安全性向上策として第4種踏切支援装置の検討を進めるとともに、故障のリスクが存在する支援装置を導入しやすい雰囲気を作成するため、効果評価を通じて支援装置の仕様等に関する留意事項の検討を進めている。

2. 4. 新技術を含む公共交通の地域に応じた導入促進評価

本重点分野では、超高齢化・人口減少等の社会情勢の変化に対応し、共生社会での新たなモビリティサービスを指向した技術及び既存の交通との連携や利便性等の観点を踏まえた公共交通導入評価手法に関する研究を行い、地域の特性に適した公共交通の整備に貢献することを目指している。

近年では、電動で、時速20km未満で公道を走る4人乗り以上のモビリティである「グリーンスローモビリティ」（以下、GSMと言う。）の活用が推進されている。そこで、既存の交通では日常の移動が困難な地域を主な対象として、人口分布や住民の移動先となる施設の位置情報などをもとに、潜在的な移動需要を推計する手法や、GSM等の新たなモビリティの導入が有効となる地域の抽出、評価手法等について検討を進めている。さらに、新たなモビリティと既存の交通との連携や、人・物・サービスといった移動主体の連携を考慮した評価を視野に入れた検討を開始している。

3. 今後の展開

交通システム研究部では、新技術を用いた交通システムに対応する安全性評価、列車の安全運行や施設の維持管理の省力化に資する技術の評価、新技術を含む公共交通の地域に応じた導入促進評価の3つを重点分野として研究に取り組んでおり、これらの研究を通じて、国の施策の支援や、安全で持続可能な交通社会の実現に貢献している。

今後も、新たに開発されたシステム等の安全性評価を継続的に実施していくほか、自動運転に活用される技術、列車制御システム、及び車上列車位置検知技術をはじめとする新たな技術を用いた交通システムの円滑な導入に貢献していく。また、列車の安全運行や施設の維持管理の省力化に資する技術の評価を通じての地方鉄道・索道等の維持のほか、地域の特性に適した公共交通の整備に貢献できるよう、当研究所が有する研究資産と、これまで培ってきた技術力を活用しつつ、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の特長を生かした研究に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

講演 4. 地方鉄道を対象とした車上センサを用いた 軌道の水準変位計測手法の検討

交通システム研究部 ※小野 寛典 一柳 洋輔 篠田 憲幸（客員研究員）

1. はじめに

鉄道は軌道により車両を支持・案内していることから、軌道の状態が走行安全性に大きく影響を与える。軌道は列車が繰り返し走行することで徐々に変形するため、鉄道事業者では軌道の本来あるべき形状からのずれ量である軌道変位を定期的に計測し、その結果を基に整備を行い、軌道の状態を管理している。軌道は列車の荷重が加わることで、一時的に変形を生じることから、本来、荷重が負荷された状態で軌道変位を計測する動的軌道検測を実施することが望ましい。しかし動的軌道検測を実施するには、軌道検測車に代表される高価な装置が必要となる。そのため地方の鉄道事業者では、費用等の関係から動的軌道検測ではなく、荷重がレールに作用しない状態で人手で変位を計測する静的軌道検測により軌道の状態を管理している場合が多い。

そこで当研究所ではこれまで、地方鉄道の軌道管理の省力化を実現するため、営業列車の上下振動計測に基づく軌道管理手法¹⁾や横圧载荷治具を用いた軌間拡大量の推定手法²⁾などを提案してきた。鉄道の走行安全性を確保するためには、このほかに平面性変位を監視することも重要である。平面性変位は一定間隔を隔てた2箇所の水準変位の差に相当するため、水準変位を計測することで平面性変位を算出できる。そこで今回は水準変位に着目し、LiDAR センサ等を活用し営業列車において動的水準変位を計測する手法を検討したので報告する。

2. 軌道変位について

前述したとおり、軌道変位とは軌道の本来あるべき形状からのずれ量であり、5種類の変位量で管理される。図1に軌道変位の種類を示す。このうち今回は水準変位と平面性変位について注目する。水準変位は左右のレールの高さの差を示している。平面性変位と

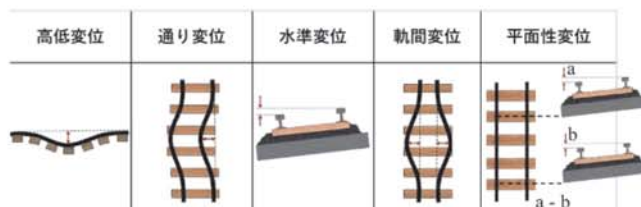


図1 軌道変位の種類

はレールのねじれを示す指標であり、線路方向に一定間隔を隔てた2箇所の水準変位の差である。よって、水準変位を計測することにより平面性変位も算出できる。

一方、曲線部においては遠心力に対応するため、曲線外側のレールが曲線内側のレールよりも高く設置され、この左右レールの高さの差をカントと呼ぶ。このカントが設定されている曲線部とカントのない直線部の間には左右レールの高さの差が連続的に変化するように緩和曲線が挿入される。よって、緩和曲線では構造的に軌道のねじれが生じている。図2に示すように、軌道のねじれがあると台車の4つの車輪は3点支持に近い状態となり、輪重が小さくなる車輪が生じる。これを輪重抜けと言う。さらにこの部分で著大な平面性変位が生じると、構造的に設定されている軌道のねじれと平面性変位が重畳することで、より輪重が小さくなり、脱線の危険性が高まることから、大きな問題となる。これらのことから、軌道の平面性変位の管理は列車の走行安全性の観点において重要であるため、動的に監視することが望ましい。

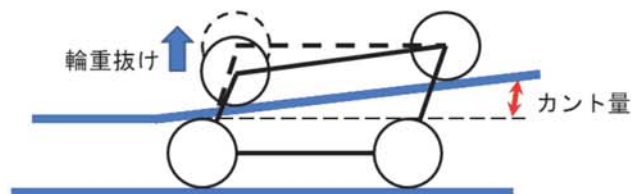


図2 軌道のねじれによる輪重抜け

3. 計測手法の検討

3. 1. 従来の検測方法

前述したとおり、軌道変位の検測には静的検測と動的検測がある。図3に静的水準変位検測の様子、図4に動的水準変位の検測概略図を示す。静的検測では、水準器が付いた棒状の計測器を左右のレールに渡し、その傾きから左右レールの高さの差を算出している。一方動的水準変位検測の場合では、一般的に車輪と車体間の変位量を車両の左右それぞれで計測し（図中のa,b）、ジャイロセンサにより車体の傾きを把握し（図中の θ ）、その傾き分を補正することで計測している。

また、近年では保守用のモーター車に取り付け可能な水準および平面性変位を計測できる装置も開発されている³⁾。



図3 静的水準変位検測の様子

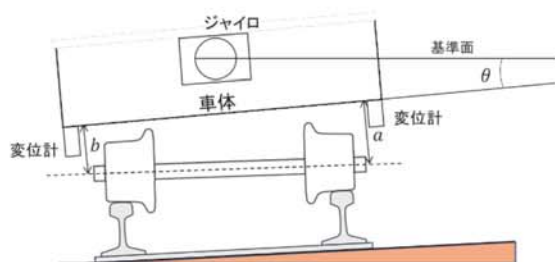


図4 動的水準変位検測方法の概略図

3. 2. 簡易動的水準変位計測システムの構成

本システムのコンセプトは容易かつ安価に動的軌道変位の著大箇所を把握することである。近年では各種センサの小型化・汎用化が進んでいる。そこで、小型の汎用センサを営業車両床下に設置することで、従来の手法よりも容易かつ安価に動的水準変位を計測できると考えた。具体的な計測手法は、非接触の変位センサ又は形状を測定可能なセンサと車体の傾斜角度を計測するジャイロセンサを車両床下に設置する。変位センサなどにより車体とレールの変位量を計測し、ジャイロセンサにより車体の傾斜角度を補正することで、水準変位を算出する。

次にセンサの選定について述べる。センサは車体の傾きを計測できるセンサと車体とレールの変位量を

計測できるセンサの2種類必要である。前者については、航空機やドローンの制御用に小型のジャイロセンサが多数製品化されており、それを用いることとした。一方、車体とレールの変位量を計測可能なセンサとしては様々なものが存在するため、選定にはコストだけでなく、営業車両の床下という環境を踏まえて以下の点を考慮しなければならない。

①センサの種類

自然光が入りにくいため、暗所でも計測可能なセンサとする必要がある。

②サンプリングレート

営業列車の走行速度に対応可能なサンプリングレートを有する必要がある。一般的に軌道変位は0.25m周期で計測している。また地方の多くの鉄道路線では最高速度80km/h以下である。よって、少なくとも80km/hで走行した場合に0.25m周期でデータを取得するするには、90Hz以上のサンプリングレートを有する必要がある。

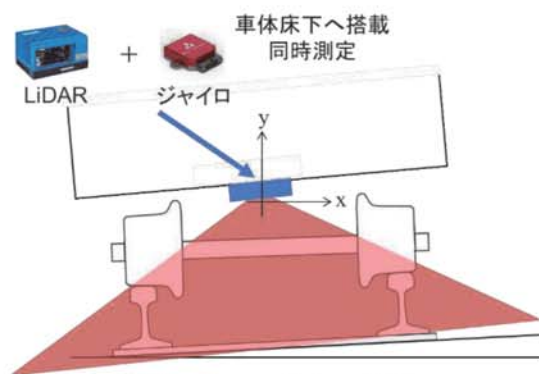
③検知範囲

センサを車体床下に設置した場合に、左右のレールが検知可能である必要がある。地方の鉄道路線の多くは軌間1067mmを採用しており、また多くの鉄道車両では、レール頭頂面から車体床下までの距離が約1mである。これらの条件からセンサ1つで左右のレール両方を計測するためには、センサからの距離が1m以下の物体を検知可能かつセンサの検知範囲は70°以上有する必要がある。センサを2つにし、右レールと左レールをそれぞれ計測する方法も考えられるが、システム構成を簡素化するため今回は採用しない。

以上の条件を満たす非接触センサとしてSICK社製の2次元LiDAR(Light Detection And Ranging)センサを選定した。LiDARセンサとは、レーザ光を照射し、物体からの反射光を受光することで物体までの距離や方向を測定するセンサである。選定した2次元LiDARセンサの諸元を表1に示す。また、図5に本システムの構成を示す。

表1 2次元LiDARセンサの諸元

角度分解能	0.0833° (1m離れた物体を測定する場合は約1.5mm)
照射角度	70°
検出可能範囲	0.7~3m
サンプリング周期	600Hz
質量	2.4kg



4. 水準變位算出手法

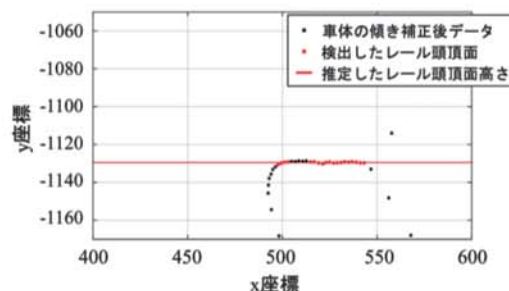
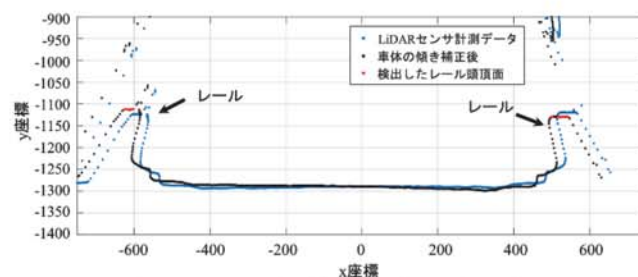
車体床下に設置した LiDAR センサからレールを計測したサンプルデータを図 6 に示す。LiDAR センサが原点となる座標を取り、計測したデータは点群データとして出力され、軌道を輪切りにしたような断面図のように見ることができる。図 6 の左右端に見られる凸形状の部分はレールを表す（図中の矢印部分）。

計測データの処理方法として、まずジャイロセンサで計測した車体の傾斜角度を用いて車体の傾き補正を実施する。図 6 の青点は LiDAR センサの生データ、黒点は車体の傾きを補正したものである。次にレールの高さを検出する方法について述べる。レール高さを推定する方法としてレール頭頂面を検出することとした。車両位置を基準とするレールの座標は車両動揺等で移動するものの、ある一定範囲に限られることから、レールが検出可能な範囲を事前に定め、これをレール検出範囲と呼ぶこととする。今回は x 軸 400~600mm と -600~-400mm、y 軸 -1170~-1050mm をレール検出範囲とした。図 7 は右レールのレール検出範囲である。レール検出範囲内において、車体側 (y 座標 0 側) から y 座標の 1mm 毎にデータ点数を数え、最初に 5 点以上となった y 座標をレール頭頂面の高さとし、これを推定した。図 7 の赤線がデータ処理により推定したレール頭頂面である。推定した左右のレール高さの差を算出することで、水準変位を求める。

5. 実車による計測

5. 1. 計測条件

検討したシステムが実際に水準変位を計測可能かを検証するため、実路線において営業車両を貸し切り、計測試験を実施した。計測は2024年3月に実施した。計測区間は約12kmである。図8に本システム



を台車直上の車体床下に取り付けた状態を示す。図9に計測風景を示す。赤い線がレールを計測している位置であり、車輪近傍であることから、動的な水準変位を計測できることが見て取れる。また、走行速度を把握するため、GNSS(Global Navigation Satellite System)を用いて同時に計測した。



5. 2. 計測結果

今回はキロ程 19500～21000m の 1500m 区間に注目することとし、図 10 に水準変位の計測結果を示す。縦軸に水準変位、横軸にキロ程を取り、黒線が従来の静的軌道検測装置で計測した水準変位、赤線が本システムで計測した水準変位である。なお、キロ程は GNSS 速度の積算により算出した。20000m 付近の大きな台形のような部分は半径 800m の曲線であり、カントが水準変位として計測されている。また 19700m 付近のひげのような波形があるが、この地点には橋梁が存在することがわかっており、これは橋梁の橋桁等を誤検知したものであると考えられる。図 10 より本システムで計測した水準変位と従来の方法により計測した水準変位を比較すると、概ね一致していることが読み取れる。しかし、曲線直後の 20100m 付近のように、計測値が小さくなる箇所も見られる。これは、車体の傾斜角度を計測するジャイロセンサの誤差によるものと考えられる。

次に 20400～21000m 区間において本システムで計測した水準変位と従来の方法により計測した水準変位の関係性を示した散布図を図 11 に示す。区間を限定した理由は、大きなカントが設けられている曲線部を除くためである。縦軸に従来の静的軌道検測装置で計測した水準変位、横軸に本システムで計測した水準変位をとり、線路延長 10m ごとに水準変位の最大値をそれぞれプロットした。図 11 より計測値にばらつきが生じているが、本システムで計測した値が、水準変位の傾向をよく捉えていることが読み取れる。データがばらつく原因については、LiDAR センサが受ける外乱によるレール高さの誤検知等が考えられるが、今回は静的軌道検測装置との比較しか実施できなかったため、静的と動的の差異による影響である可能性も考えられる。

6. まとめ

今回、LiDAR センサ等を活用し営業列車において動的水準変位を計測する手法を検討し、実際の路線で計測を実施した。その結果、従来の軌道検測装置で計測した結果と概ね一致する値を計測できることが確認された。

今後は、動的軌道検測装置（軌道検測車等）との比較や計測値のばらつきを抑えるためのフィルタの検討、ジャイロセンサの検証などを実施する必要がある

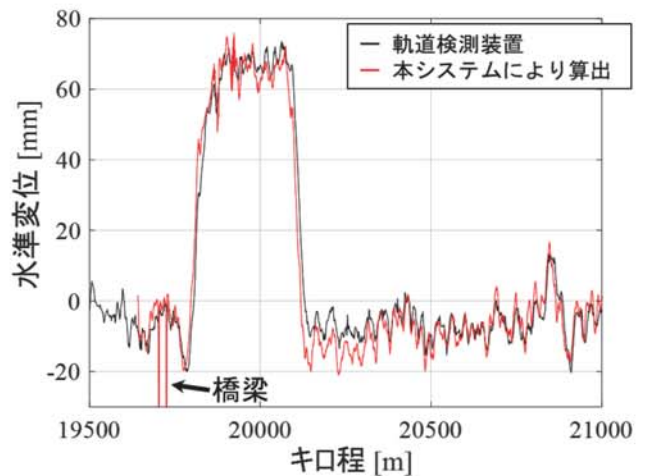


図 10 水準変位計測結果

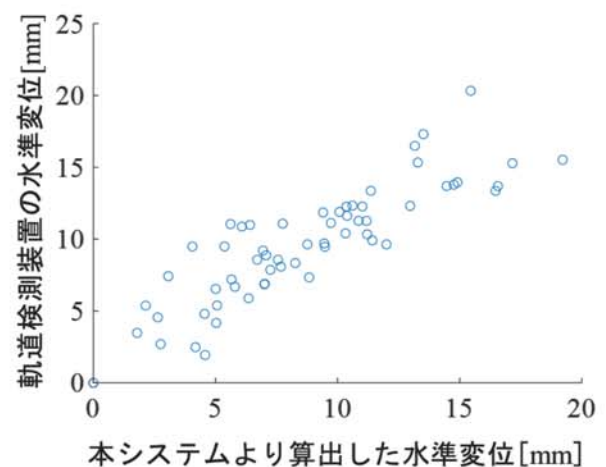


図 11 従来の軌道検測装置と本システムの水準変位計測結果の関係性

と考える。また、水準変位にとどまらず、平面性変位の検討にも着手する予定である。

最後に、計測試験の実施に協力いただいた鉄道事業者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 緒方正剛，一柳洋輔，佐藤安弘，篠田憲幸，“地方鉄道を対象とした列車動揺データに基づく軌道監視手法の検討”，交通安全環境研究所フォーラム 2022，pp.55-56（2022）
- 2) 一柳洋輔，緒方正剛，佐藤安弘，篠田憲幸“地方鉄道における軌間拡大リスクの評価の効率化に関する検討”，交通安全環境研究所フォーラム 2022，pp.25-28（2022）
- 3) https://www.rtri.or.jp/press/rkfto0000000056q-att/20220217_001.pdf

講演 5. LiDAR センサを活用した物体の配置認識による 位置検知手法の検討

交通システム研究部

※望月 駿登

工藤 希

山口 大助

1. はじめに

鉄道における列車制御システムは、軌道回路等の地上装置を用いることにより列車の位置検知を行っている。一方、地上装置の保守や点検を行う際には、現地に作業員を派遣する必要があるため、地上装置の維持と更新は鉄道事業者の大きな負担となっている。加えて、少子高齢化に伴い作業員の確保が困難となることが予想される。よって、鉄道事業社への負担を軽減するためには、地上装置を簡略化することにより、装置の保守や点検にかかる時間を削減することが有効と考えられる。そこで、筆者らは地上装置を簡略化する方法として、地上で行っている列車の位置検知を車上で行う方法を考案した。具体的には、太陽光等の外乱に強いアクティブセンサである LiDAR(Light Detection And Ranging)センサを用いて、地上に設置した物体の配置を車上で認識することにより、列車の位置を把握する手法と、この手法の実現に向けた列車の走行による影響を抑制する手法を提案した¹⁾。しかし、物体の配置を認識する手法については未検討であった。

本研究では、LiDAR センサの出力を用いて物体の配置を認識する手法について検討し、実車による実験結果をもとに配置の認識手法の実現可能性を確認したので本稿にて報告する。

2. LiDAR センサを用いた列車の位置検知手法

2. 1 LiDAR センサ

LiDAR センサは、本体からレーザを照射し、物体からの反射光を受光し、照射から受光までの時間で距離を計測する。本研究で使用したセンサは、レーザを照射した時間、物体からの反射光の強さ、及び LiDAR センサを原点とする物体までの 3 次元の位置を一つのデータのまとまりとして連続的に出力することができるものである²⁾。

2. 2 位置検知手法の概要

図 1 に列車の位置検知手法³⁾の概要を示す。まず、緯度・経度等の位置情報と紐付けられた配置(以下、「配置パターン」という)に基づき、軌道内に物

体を設置する。ここで、設置する物体は、光が入射した際に光源に向かって反射する機能を有するもの(以下、「ターゲットマーカ」という)とする。次に、車に取り付けた LiDAR センサが検知したターゲットマーカの位置の座標(以下、「LiDAR 検知座標」という)により、配置パターンを認識する。そして、その認識した配置を車上のデータベースと照合して得た位置情報と、LiDAR センサからターゲットマーカまでの距離から列車の位置を検知する。

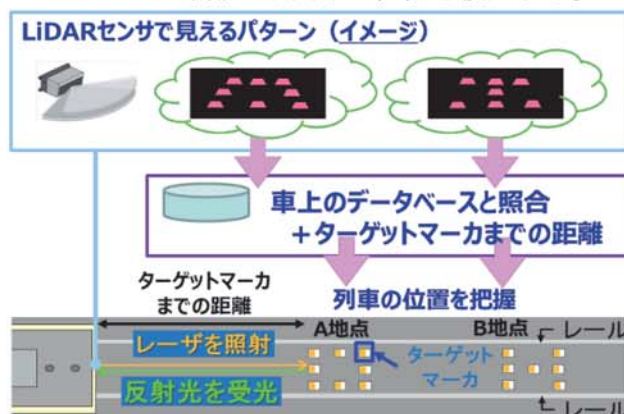


図 1 位置検知手法の概要

3. 配置パターンの認識手法

3. 1 配置パターンの認識の方針

本研究で使用する LiDAR センサが全ての検知範囲にレーザを走査するまでには数秒の時間を必要とする。そのため、検知範囲の LiDAR 検知座標を用いて配置パターンの認識を行う場合、数秒前からの LiDAR 検知座標を保持する必要がある。この時間を残存時間とする。ここで、残存時間内に列車が走行することにより、ターゲットマーカが相対的に移動することによる LiDAR 検知座標への影響については、列車の走行距離を用いて補正することとした¹⁾。

残存時間内において、LiDAR センサは複数のターゲットマーカを検知することに加え、一つのターゲットマーカを複数回検知する。よって、図 2(a)に示すようにターゲットマーカを配置した場合、LiDAR センサが検知した結果は図 2(b)のようにな

る。したがって、配置パターンを認識するためには、残存時間内の LiDAR 検知座標をターゲットマーカごとに分類し、その後に分類した LiDAR 検知座標をもとに配置パターンを認識するという手順で実施する。

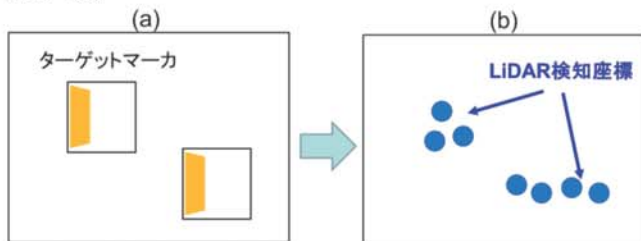


図2 ターゲットマーカと LiDAR 検知座標の関係
(a) ターゲットマーカの配置
(b) LiDAR 検知座標の取得例

3. 2 LiDAR 検知座標の分類

図3に示すように、LiDAR 検知座標をターゲットマーカごとに分類するために、以下を行う。

- 1) 個々のターゲットマーカごとに LiDAR 検知座標(図3の青色の点群)を分類する距離(以下、分類距離という)を設定する。
- 2) 残存時間内の LiDAR 検知座標から一つの座標を任意に選出する。
- 3) 選出した座標から分類距離(図3の緑円の半径)以内の全ての LiDAR 検知座標を同一のターゲットマーカから取得した LiDAR 検知座標として分類する。
- 4) 分類した全ての LiDAR 検知座標に対して3)を行う。
- 5) 全ての LiDAR 検知座標が分類されるまで、分類されていない LiDAR 検知座標から一つの座標を選出して3)と4)を繰り返す。
- 6) 分類した LiDAR 検知座標のまとまり(図3の紫色と水色)ごとに LiDAR 検知座標を平均化し、その平均化した座標をターゲットマーカの座標として推定する(図3の赤色)。
- 7) 分類した LiDAR 検知座標のまとまりごとに6)を繰り返す。

なお、LiDAR センサの検知誤差やターゲットマーカの間隔等によっては、ターゲットマーカの座標を誤推定する場合がある。具体的には、①複数のターゲットマーカから取得した LiDAR 検知座標を一つのターゲットマーカから取得した LiDAR 検知座

標として分類する場合(図4)と、②一つのターゲットマーカから取得した LiDAR 検知座標を複数のターゲットマーカから取得した LiDAR 検知座標として分類する場合(図5)である。①に関しては、LiDAR センサの検知誤差を考慮した分類距離を定めるとともに、複数のターゲットマーカを一つのターゲットマーカとして分類しない間隔でターゲットマーカを配置して誤推定を抑制した。また、②に関しては、①に加えて3.4節で述べるターゲットマーカが存在するかを判定する範囲を設定した後に、配置パターンを認識することで誤認識を抑制した。

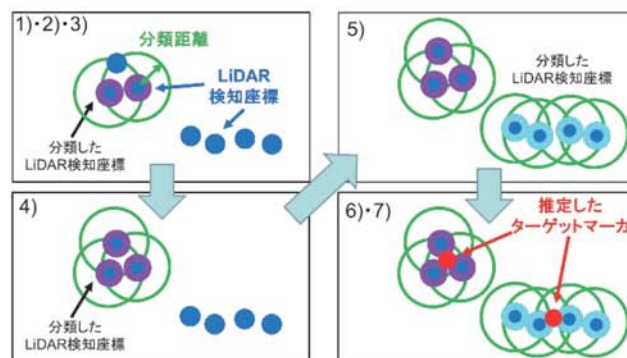


図3 LiDAR 検知座標の分類

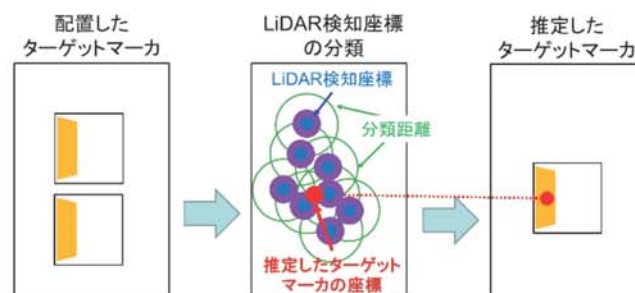


図4 ターゲットマーカ誤推定①

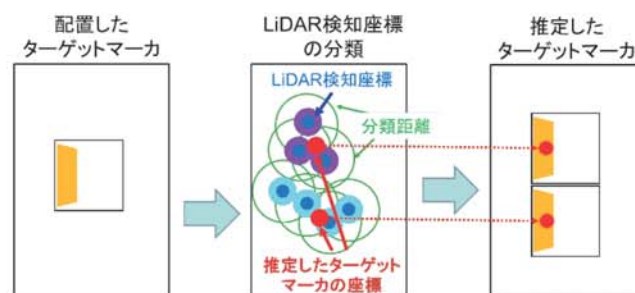


図5 ターゲットマーカ誤推定②

3. 3 分類距離の設定

図6に示すように、使用した LiDAR センサはまぐらぎ方向にレーザを走査することで物体を検知している。よって、LiDAR センサがターゲットマ

一カを検知した後の次の検知では、ターゲットマーカの大きさによっては同一のターゲットマーカを検知する。本研究では、残存時間内の LiDAR 検知座標を同一のターゲットマーカごとに分類するために、LiDAR センサが検知する間隔に着目して 3.2 節で用いている分類距離を設定した。具体的には、式(1)に示すように、分類距離($d[m]$)は隣接した二つの検知位置の距離と LiDAR センサの検知誤差($e[m]$)との和以上に設定するとした。ここで、まくらぎ方向における LiDAR センサの角度分解能を $\alpha[\text{rad}]$ 、LiDAR センサからターゲットマーカまでの距離を $L[m]$ とする。

$$d \geq 2L \tan \frac{\alpha}{2} + e \dots (1)$$



図6 分類距離

3.4 配置パターンの認識

本研究での配置パターンは、長方形の形状、かつその形状の四隅にターゲットマーカを配置することを前提とする(図7(a))。配置パターンを認識するためには、まず、配置パターンが軌道内のどの範囲にあるかを検知する必要がある。そのために、推定したターゲットマーカの座標間の距離が配置パターンの対角線に相当する組を選定し、選定に使用した四つのターゲットマーカの座標から配置パターンの四隅を決定する(図7(b))。次に、配置パターン内で配置可能なターゲットマーカの進行方向とまくらぎ方向の数からターゲットマーカの有無を判定する範囲を設定する(図7(c))。この範囲を用いることで、3.2 節②で示した一つのターゲットマーカから複数のターゲットマーカを推定したときの配置パターンの誤認識を抑制する。そして、推定したターゲットマーカの座標とこの範囲とを照合し、各範囲内に推定した座標が存在する場合はその範囲にターゲットマーカが存在するとして、配置パターンを認識する(図7(d))。

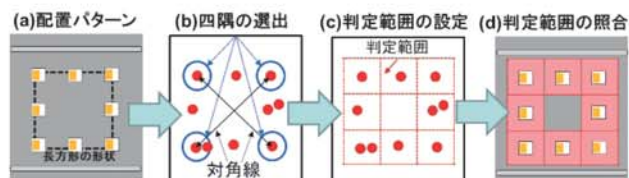


図7 配置パターンの認識

4. 実車による実験

配置パターンの認識手法の実現可能性を確認するため、路面電車において実験を行った。

4.1 LiDAR センサの仮設と配置パターン

本研究では、LiDAR センサは軌道面から 12.5 度下向き、かつ高さ 1.87m の車内に仮設した。また、図8に示すように、配置パターン内に設置可能なターゲットマーカの数、進行方向とまくらぎ方向で各4個とし、ターゲットマーカの間隔は、進行方向に 0.4m、まくらぎ方向に 0.3m とした。

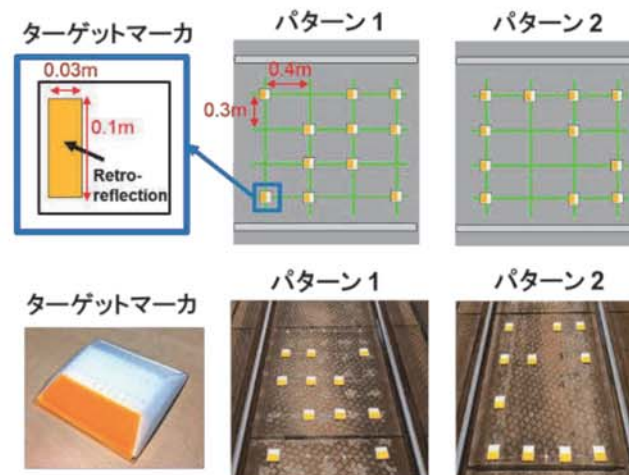


図8 配置パターン

4.2 配置パターンと認識範囲

図9に示すように、レーザの照射距離が長くなるとレーザの照射範囲が広がる。加えて、本研究で使用した LiDAR センサは通常の LiDAR センサに比べレーザの拡がり大きいいため、LiDAR センサとターゲットマーカとの距離が長い場合は、一つのレーザが複数のターゲットマーカに同時に照射する。これにより、出力する LiDAR 検知座標は複数のターゲットマーカを同時に検知した座標となる。よって、配置パターンを認識する際には、複数のターゲットマーカにレーザが照射しない範囲で検知した LiDAR 検知座標を用いる必要がある。本研究では、4.1 節で示した条件とレーザの拡がりを考慮

し、残存時間内の LiDAR 検知座標を平均化した座標が、進行方向に 4.6~6.0m の範囲にある場合に配置パターンの認識を行うこととした。

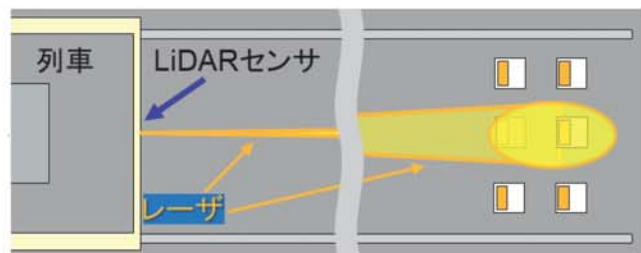


図9 レーザの拡がりによる同時検知例

4. 3 パラメータ設定

表1に示すように、図8の二つの配置パターンに対して、車両の速度が速い場合(40km/h程度)と遅い場合(10km/h程度)で計四つの条件で実験を行った。また、0.02秒の周期で配置パターンを認識することとした。

表1 配置パターンの通過速度

配置パターン		通過速度
パターン1	(a)	10.1km/h
	(b)	38.3km/h
パターン2	(c)	12.0km/h
	(d)	39.5km/h

5. 実験結果

配置パターンの認識手法の実現可能性を確認するために、実験の際に取得した残存時間内のLiDAR検知座標(図10)に対して配置パターンの認識手法を適用した結果を図11に示す。本図の推定したターゲットマーカの座標(同図の赤丸)と図8の配置パターンより、3.2節①の誤推定が生じていないことを確認した。(b)(d)においては、3.2節②の誤推定が生じているが、ターゲットマーカが存在する範囲(同図の赤枠)を設定することにより、配置パターンの誤認識を抑制できることを確認した。さらに、配置パターンを認識する範囲(4.6~6.0m)では、どの周期においても図8に示す配置パターンを認識できることを確認した。

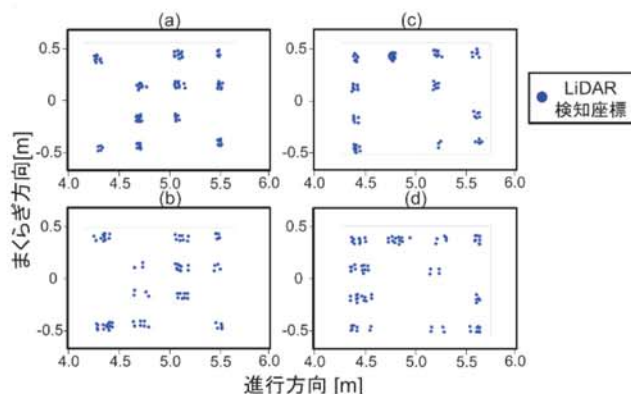


図10 LiDAR 検知座標

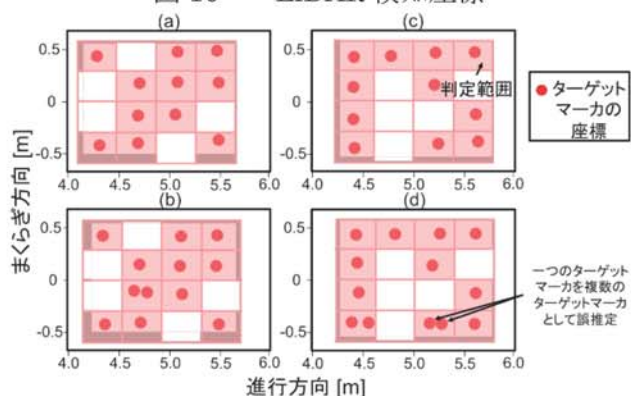


図11 配置パターンの認識結果

6. まとめ

地上装置を簡略化するための車上での位置検知手法として、LiDAR センサを用いて車上で配置パターンを認識する方法を提案した。また、提案手法の実現可能性を確認した結果、40km/h程度までの速度においては、配置パターンを認識できることを確認した。今後は、より高速度での走行における配置パターンの認識の精度について確認したい。

謝辞

本稿は広島電鉄株式会社との共同研究の成果の一部をまとめたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 望月駿登ほか、「LiDAR センサを利用した列車の位置検知手法の検討」、交通研フォーラム 2023 講演概要集、pp.25-28
- 2) 代理店メーカーサイト
http://www.kobeseiko.co.jp/Livox_Horizon.html
- 3) 山口大助ほか、「LiDAR センサを利用した衛星測位の補完手法に関する検討」、交通研フォーラム 2022 講演概要集、pp.17-20

講演 6．鉄道の自動運転における安全性評価手法の検討

交通システム研究部 ※工藤 希 望月 駿登 押立 貴志(客員研究員)

1. はじめに

人口減少社会を迎え、鉄道分野においても運転士や保守作業員等の鉄道係員の確保、養成が困難になってきていることから、踏切道がある等の一般的な路線（以下、「一般的な路線」という。）における自動運転の検討が進められている。特に近年の地方鉄道では、運転士を含めた鉄道係員不足による減便や、経営状況の悪化からの路線廃止が相次いでいる。地域の足を少しでも残す観点から、運転コストの削減が可能となる自動運転を、最小限の設備投資で実現することが待たれている。また、近年開発が進むカメラ・センサ類は、見通しがよい等の条件において車上における走行路上の障害物検知に活用できる可能性がある。

一方、当研究所ではこれまでも新たな設備の導入や更新する設備に対して安全性評価を実施してきた¹⁾。自動運転を導入する場合においても、既存の装置との機能の差を考慮した安全性評価を実施することが想定される。

これらの状況を踏まえ、当研究所では、自動運転に対応した安全性評価手法の確立を目的とした研究を実施している。本稿では、一般的な路線における自動運転を現行の手動運転と同等の安全性で実現することに資する安全性評価手法について、カメラ・センサ類を対象に検討したので報告する。

2. 鉄道における自動運転の現状と課題

2. 1. 鉄道における自動化レベル

鉄道における自動運転に関する検討は、平成 30 年より「鉄道における自動運転技術検討会」において実施され、その内容を取りまとめた結果が、「鉄道における自動運転とりまとめ」²⁾（以下、「とりまとめ」という。）として発行されている。とりまとめにおいて鉄道における自動運転の自動化レベルは、IEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）62267（Automated urban guided

transport (AUGT)-Safety requirement：自動運転都市内軌道旅客輸送システム（AUGT システム）－安全要求事項。以下、「AUGT 規格」という。）を基に GOA（Grade Of Automation）として定義している（表 1）。表 1 のうち、GOA2.5 は AUGT 規格には定義されていないが、鉄道の技術上の基準を定める省令の解釈基準においては、「AUGT 規格における半自動運転であって、動力車を操縦する係員以外の係員が列車の前方の線路を目視し、列車運行上の障害となる事象が発生したことを認めた場合に緊急停止操作を行うために列車の最前部の車両の前頭に乗務する形態」と定義されている。

表 1 自動化レベル

GOA	乗務形態	国内の例
GOA0	目視運転	路面電車
GOA1	非自動運転	踏切道がある等の一般的な路線
GOA2	半自動運転	東京地下鉄丸ノ内線
GOA2.5	緊急停止操作等を行う係員付き自動運転	JR 九州香椎線
GOA3	添乗員付き自動運転	舞浜リゾートライン
GOA4	自動運転(無人運転)	神戸新交通ポートアイランド線

（参考文献 1 に加筆して作成）

2. 2. GOA3 及び 4 の実現に向けた課題

GOA3 及び 4 は新交通システムやモノレールにおいて既に実現しているが、一般的な鉄道においても実現が期待されている。GOA3 及び 4 においては、GOA2.5 までと異なり、前方を視認できる係員が不在となるため、走行路上の安全確保が重要になる。すでに実現している新交通システムやモノレールにおいては、走行路上の安全確保を高架構造やホーム柵により実現している。しかし、一般的な路線においては人や自動車などが容易に線路内に立ち入ることができる。全線にわたって立ち入り防止柵や地上側の支障物検知装置を設置する方法も考えられるが、コスト面から現実的ではない。

この点について、とりまとめでは、「鉄道は、各種装置や管理体制等のほか、鉄道利用者、踏切道行者、鉄道沿線住民等の遵法行動や自制的行動により運行の安全を確保するものであり、一般的な路線での自動運転を導入する場合においても、この方針は大きく変える必要はない」としたうえで、「各路線の実情を十分に評価し、従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能が確保できるように、安全に関する総合的な対策の視点により線路上の支障物への対応を行うことが適切である」と考えられている。なお、現在 GOA3 は東武鉄道³⁾で検討されている。

3. 安全性評価手法の検討

3. 1. 安全性評価と評価基準の考え方

安全性評価は、新しいシステムなどに対して技術的な観点から安全上の問題がないかについて評価を行うものである。これまでに当研究所が実施した安全性評価では、既存装置の置き換えを想定する場合、既存装置との機能差分、機能差分が他装置へ与える影響、及びインターフェースの差分等を評価項目として挙げ、リスク分析に基づいた定量的評価やシステムの安全管理に関わる定性的な評価などを実施してきた。

このような差分評価にあたっては、従来の装置と同等かそれ以上の安全性を有することを評価基準としてきた。とりまとめによれば「従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能」を求めていることから、自動運転における安全性評価の場合も、評価基準はこれまでの考え方と同様に「従来と同等かそれ以上の安全性を有すること」が適切であると考えられる。

3. 2. 装置が担う機能に変更がある場合の検討

安全性評価において既存装置との差分を検討する際に、新しい装置と既存装置が担う役割が変わる場合がある。既存の一般的な鉄道を自動運転にする場合、例えば、列車の力行や制動を行う主体は運転士から ATO (Automatic Train Operation : 自動列車運転装置) に変更となる。このように、安全性評価を行う際には、既存の路線と比較して運転士の作業する項目を誰が(どの装置が)実現するかを予め決定しておく必要がある。これまでの研究では、GOA2.5 を対象に、従来の運転士の業務と GOA2.5 においてその業務を担う装置(又は係員)を挙げ、評価にあたって注意が

必要な項目を整理した⁴⁾。装置が担う機能に変更がある場合には、整理した結果を踏まえて装置の機能を明確にすることが重要であると考えられる。

3. 3. 前方支障物検知に対する検討

前述した通り、GOA3 及び 4 においては、走行路上の安全確保が課題となる。現在の鉄道法規に運転士の前方監視についての規定はなく、とりまとめにおいても、「運転士が運転中、線路内支障物を発見する法的義務は、鉄道法規には規定されていないものの、事故防止の観点から、万が一、運転士が確認できる範囲で線路内支障物を発見した場合は、乗客及び公衆の安全確保や運転士の自己防衛等の観点から、気笛吹鳴や列車を停止させるブレーキ操作を行うことにより、事故防止や被害軽減に最善を尽くしている実態がある。」と記載されている。一方で、一般的な路線における GOA3 及び 4 の検討にあたっては、「各路線の線形、列車速度、周辺環境等により、必要な対応は異なると考えられることから、鉄道事業者においては、各路線の実情を十分に評価し、従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能が確保できるように、安全に関する総合的な対策の視点により線路上の支障物への対応を行うことが適切である。」とされている。

近年開発が進むカメラ・センサ類は、見通しがよい等の条件において車上における走行路上の障害物検知に活用できる可能性があるものの、鉄道の自動運転において必須ではない。一方で、将来の地方鉄道における自動運転の実現を想定すると、コストを考慮して従来の地上側装置による支障物検知ではなく、中低速域において車両側装置で支障物検知を行い、可能な範囲で衝突回避することも考えられる。そのため、カメラ・センサ類の安全性評価の方法を検討する。

とりまとめにおいて車上カメラ・センサ類に対する明確な基準はなく、「装置の性能や路線の状況を踏まえ、線路内支障物を検知することが可能な場合の事故回避や被害軽減のための装置等と位置づけを明確にした上で、その他の対策を含めて、総合的にとらえて対応することが適切である。」とされているため、このカメラ・センサ類を導入する際の評価手法を検討することとした。

まず、装置の位置づけについては、これまでの研究においてカメラ・センサ類を前方監視に使用する際には安全性への位置づけとその安全水準を明確にしておく必要があることを示した⁵⁾。

次に、「従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能が確保できるように、安全に関する総合的な対策」の評価基準を検討する。運転士に前方監視義務がないことから、単純に運転士の能力と比較して従来と同等の性能を有しているかの評価を行うことは適切でない。そのため、別の視点からカメラ・センサ類の性能を評価できないか検討した。

道路交通法第 33 条第 3 項では、自動車の「運転者は、故障その他の理由により踏切において当該車両等を運転することができなくなったときは、直ちに非常信号を行う等踏切に故障その他の理由により停止している車両等があることを鉄道若しくは軌道の係員又は警察官に知らせるための措置」及び、「当該車両等を踏切以外の場所に移動するため必要な措置」を義務付けている。この非常信号のために、道路運送車両の保安基準第 43 条の 2 では、「自動車には、非常時に灯光を発することにより他の交通に警告することができ、かつ、安全な運行を妨げないものとして、灯光の色、明るさ、備付け場所等に関し告示で定める基準に適合する非常信号用具を備えなければならない」とされ、この非常信号用具の灯火は道路運送車両の保安基準の細則を定める告示第 64 条に「夜間 200m の距離から確認できる赤色の灯火」と定められている。

列車運転士は、この非常信号用具による赤色灯火を認めたときは、現実には発生している非常事態を回避するために非常停止の措置を行う必要がある。これらのことを考え合わせると、車上のカメラ・センサ類に求める性能の基準として、見通しや天候等の条件が良い場合において、少なくとも 200m の距離から確認できる能力を有することが、従来と同等の性能を有している判断の基準になり得ると考えた。

4. 運転シミュレータによる試験

3.3 節に示した距離において実際に視認できるかを確認するため、シミュレータを用いた試験を行った。

4. 1. 列車運行システム安全性評価シミュレータ

当研究所が所有する列車運行システム安全性評価シミュレータ（以下、「シミュレータ」という）の概要を示す。運転席前方のスクリーンに投影した映像により鉄道の運転操作が可能な設備である。任意の路線と車両性能をインプットして走行を再現する機能を有する（図 1）。

シミュレータを用いることにより、天候、時間帯（明

るさ）、営業運行の条件（前方列車との間隔等）、及び被験者の線路の知悉度合いといった条件をそろえることができるほか、線路上に物体を配置するという営業路線では実施できない条件をつくることができる。



図 1 列車運行システム安全性評価シミュレータ

4. 2. 運転操作の把握試験

本試験では、動力車操縦者免許保有者がシミュレータを低速（35km/h）と高速（70km/h）で障害物のある路線を運転した走行記録及び運転中の視線計測から、運転士の運転操作の実態把握を行った。障害物は、線路中央に白色の四角形を配置した。試験には、9 名の被験者が参加した。9 名は 20 代から 50 代の男性で、それぞれ別の事業者における運転経験を持つ。

試験結果を図 2～図 5 に示す。図 2 及び図 3 は低速及び高速で走行中に障害物を発見した際の、障害物から警笛及びブレーキの開始点までの距離である。低速では 200m 程度、高速では 140m 程度であった。試験中、警笛を鳴らさない被験者が見られたが、障害物が警笛に反応する動物等ではないと認識できた場合には警笛をあえて鳴らさないとのことであった。図 4 及び図 5 は、図 2 及び図 3 のブレーキ操作をしたときのブレーキ開始時点からのブレーキの強さを表す。高速の場合はすぐに強いブレーキをかけているが、低速の場合は障害物の様子を見ながら直前で停止できるようにブレーキ操作をしていることがわかる。表 2 に、視線計測によって求めた障害物を視認してからブレーキ操作を行うまでの時間差を示す。低速、高速によらず平均時間は 2 秒程度であった。この時間と走行速度を考慮すると、本試験で被験者は障害物の 200m 程度手前で検知していることがわかる。

以上より、運転士には前方監視義務はないものの、道路運送車両の保安基準の細則を定める告示第 64 条を参考にした「200m の距離から確認できる能力をもって従来と同等の性能を有していると評価すること」

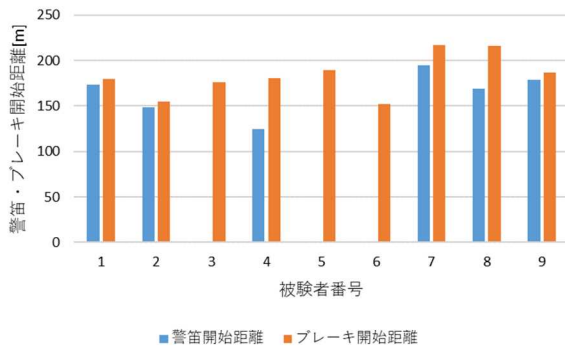


図2 警笛・ブレーキ開始距離（35km/h で走行）

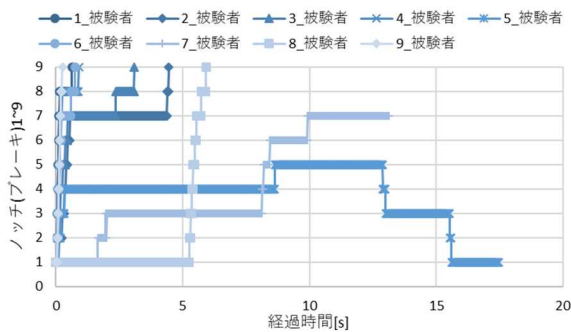


図4 ブレーキの強さ（35km/h で走行）

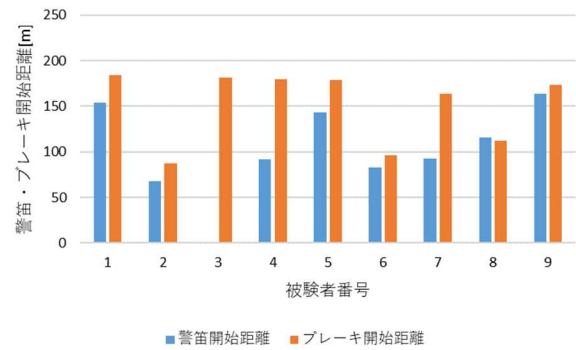


図3 警笛・ブレーキ開始距離（70km/h で走行）

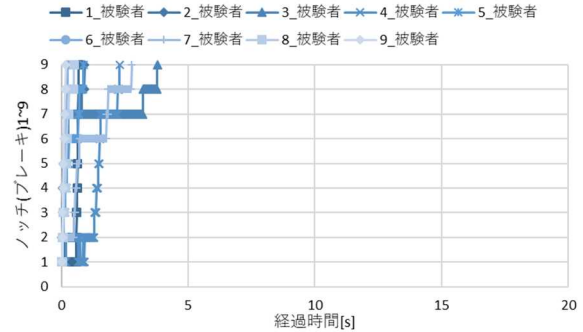


図5 ブレーキの強さ（70km/h で走行）

の有効性が確認できた。但し、本試験は見通しや天候等の条件が良い場合のみであること、シミュレーションであるため現実の見え方と異なる場合があることを考えると、本結果のみで従来と同等の性能を有していると判断するには注意を要する。実際に評価するには、とりまとめにあるように、カメラ・センサ類の性能を線路の環境等を踏まえ総合的に検討する必要がある。

表2 視認とブレーキ操作の時間差

	70km/h の場合	35km/h の場合
最小時間 (秒)	1.2	0.8
最大時間 (秒)	4.8	3.9
平均 (秒)	2.8	2.1

5. まとめ

既存の一般的な鉄道に自動運転を導入する際の安全性評価手法の検討として、装置が担う機能に変更がある場合の評価の考え方を整理した。また、今後導入が期待されるカメラ・センサ類の評価基準として、従来と同等の性能を有していることを、踏切における道路運送車両の非常信号用具の灯火の基準を参考に示し、シミュレータでの試験によりその数値の妥当性を示した。但し、見通しや天候等の条件によっては検知

できない可能性もあるため、実現にあたっては、他の方策を組み合わせる必要がある。

今後は、鉄道における自動運転の評価手法について引き続き検討を行いたい。

参考文献

- 1) 工藤ら, “新しい列車制御システムを対象とした安全解析について”, 交通安全環境研究所フォーラム 2021, pp87-88
- 2) 鉄道における自動運転技術検討会, “鉄道における自動運転技術検討会 とりまとめ”, (2022) <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001512132.pdf>
- 3) 東武鉄道プレスリリース, “自動運転に必要な障害物検知システムを営業列車に仮設搭載し検証試験開始”, (2022) <https://www.tobu.co.jp/cms-pdf/releases/20221031100820y5Sr1uRpVkiyGlekyo53A.pdf>
- 4) 工藤ら, “鉄道における自動運転の安全性評価に向けた運転業務の見える化に関する取組”, 交通安全環境研究所フォーラム 2022, pp.59-60
- 5) 工藤ら, “鉄道の自動運転 GOA3,GOA4 に使用する車上カメラ・センサ類の安全水準に関する考察”, 交通安全環境研究所フォーラム 2023, pp.69-70

鉄道認証業務の今後の展望

鉄道認証室 深田 遵

1. はじめに

交通安全環境研究所鉄道認証室は、平成 23 年 4 月に設立され、鉄道製品が IEC62278 (RAMS) 等の国際規格に適合していることを証明する認証機関として、認証業務を行っている。本稿では、鉄道業界を取り巻く現況を概観するとともに鉄道認証業務の今後を展望する。

2. 我が国鉄道業界の特徴と課題

2. 1. 国内市場が主体の産業界（特徴）

鉄道は人々の生活にとって欠くことのできない公共交通機関であり、特に日本においては旅客輸送で見た場合、その輸送機関別分担率は実に 8 割¹⁾を超える。このような旺盛な国内需要を背景に、鉄道産業は他の輸送関連産業と比べても輸出依存度が低く、国内市場に支えられている産業である。

日本機械工業連合会の 2020 年度機械工業生産額見通し調査²⁾によると、鉄道車両においては、生産額の約 1 割が輸出額となっており、残りの 9 割が国内需要ということになるが、この傾向は、鉄道信号においても同様である。一方で、自動車、船舶、航空機等を含む輸送機器全体で見ると輸出割合はおおよそ 6 割であり、船舶に関して言えばおおよそ 8 割が輸出向けとなっている。

このように国内需要が支配的な状況にあるのが我が国鉄道産業の特徴の 1 つである。

2. 2 国内需要の将来的な減少（課題）

次にその支配的な国内需要が今後どうなるのかを考えてみたい。

新型コロナウイルス感染症によるパンデミックやウクライナ、パレスチナにおける紛争、あるいは経済安全保障の問題等、我が国を取り巻く国内外の情勢はビジネスにおける不確実性を高めているが、我が国の

特徴として旧来より指摘されている急速な人口減少について改めてここで指摘をしておきたい。

図 1 は、国立社会保障・人口問題研究所の日本の将来推計人口（令和 5 年推計）である。

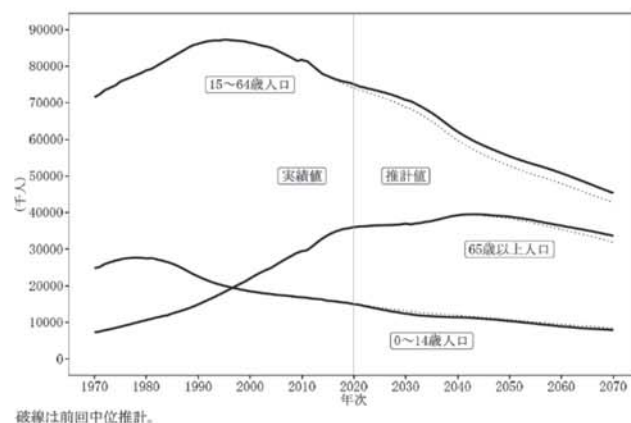


図 1 年齢 3 区分別人口の推移（出生中位（死亡中位）推計）

図 1 のとおり生産年齢人口（15～64 歳）は、1995 年の約 8,700 万人をピークに減少しており、2070 年には約 4,500 万人まで減少する見込みとなっている。

これは 2020 年と比較して、今後 50 年でおおよそ 4 割、また今から 20 年後の 2044 年時点でもおおよそ 2 割、生産年齢人口が減少することを示している。もちろん、今後の少子化対策等によって変わりうる未来ではあるが、これまでの出生率を踏まえた確度の高い未来と受け止めるべきである。

生産年齢人口の減少は、通勤・通学のみならず、レジャー等を含めた余暇に係る需要の減少にもつながり、長期的な国内の鉄道旅客需要の減少は避けられない未来である。

鉄道事業は利益率の高いビジネスであるが、その利益率は旅客需要と直結しており、パンデミック時には旅客需要の急激な減少に伴い、利益率が大きく下がった。結果として、鉄道事業者各社は設備投資を控えざるを得ない状況となったが、中長期的に旅客需要が減

少することは、鉄道事業者のみならず、鉄道産業にとっても大きな試練となる。

3. 我が国鉄道産業として考えるべきこと

このように日本の鉄道産業は、国内需要に大きく依存しながら、中長期的にはその国内需要の減少が確度の高い未来として見えている状況である。

そこで、日本の鉄道産業として、今後考えるべき点として以下の2点をあげたい。

- (1) さらなる海外展開の推進
- (2) 鉄道業界内のエコシステムの構築

3. 1. さらなる海外展開の推進

日本の鉄道システムの海外展開が叫ばれるようになって久しく、実際、世界各国で日本の鉄道システムが活躍をしている。しかし、2. 1で指摘したようにその輸出割合は、まだ1割程度である。国内需要を主体としながら、その国内需要が縮小していく中では、海外需要のさらなる取り込みが重要である。

図2は、欧州鉄道産業連盟（UNIFE）が示す世界の鉄道市場予測³⁾であるが、2025～2027年の年平均で世界全体の鉄道市場は、約2,106億ユーロ（1ユーロ＝160円で約34兆円）、車両と信号だけでも約894億ユーロ（約14兆円）と予測されている。

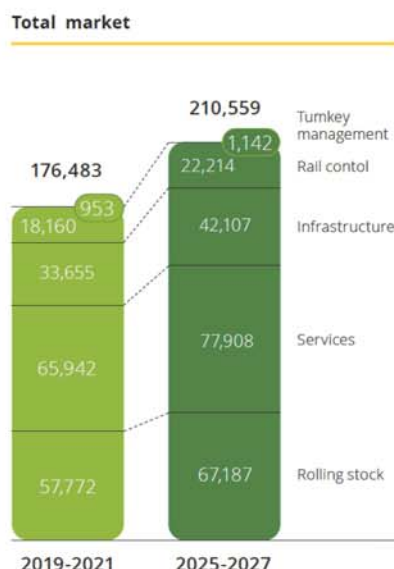


図2 世界の鉄道市場予測（UNIFE）

その市場のプレーヤーである世界の鉄道関連メーカーの売り上げ規模⁴⁾をみると世界最大の鉄道車両メーカーである中国の中国中車の2022年度の売上高

は約2.86兆円、また2021年にボンバルディア社を合併したフランスのアルストム社の2022年度の売上高は約2.62兆円、ドイツのシーメンス社の2022年度の売上高は約1.54兆円となっている。なお、日本のメーカーとしては、タレス（仏）社の鉄道関連事業を買収した日立製作所が最も大きく、同社の鉄道関連の売上高は約1.02兆円となっている。

現在1割程度の日本の鉄道産業の輸出割合が、例えば国内の他の輸送関連産業並に拡大すれば、売上高として海外の鉄道メーカーに近づいていくことも可能であり、図2が示すように世界にはそれだけの可能性のある市場が開かれている。

3. 2. 鉄道業界内のエコシステムの構築

鉄道は、図3に示すとおり、車両や信号、あるいは土木構造物などのインフラを含め、様々なサブシステムを鉄道事業者がインテグレーターとして統合し、運用する巨大な技術の集合体である。



図3 日本の鉄道産業の構造

その鉄道事業者は、地域や線区の特徴等に応じて、垂直統合型の独自の鉄道システムを構築しており、技術的には鉄道事業者間で互換性の低い、いわばガラパゴス状態にあるが、これは、国土交通省が定める鉄道に関する技術基準が2001年に従来の仕様規定から性能規定に変更されたこともその背景要員の1つとして考えられる。

性能規定化によって、各社独自の技術やサービスの向上が図られており、そのメリットは非常に大きい

が、一方で2. 2で指摘したとおり、国内需要が減少していく中で様々な鉄道システムが存在し、それぞれが独自に投資をしていく環境は必ずしも効率的とは言えない。

例えば、首都圏で多く行われている相互直通運転を行う線区では、この垂直統合型のシステムの結果、乗り入れる線区の数に応じて別々の信号システムを各列車が搭載する必要があるが、これはユーザーである乗客から見れば何ら差別化になっておらず、非常に非効率的である。(もちろん、各社が持つレガシーシステムとの整合面等から難しい面があることは十分に理解できる。)

では、今後、上記のような非効率を減らしていくにはどうすれば良いか。それには図4のように水平方向で共働し、共存・共栄を図っていく鉄道業界内のエコシステムを構築していくことが必要ではないだろうか。ここで言うエコシステムとは、鉄道事業者同士、メーカー同士、あるいは鉄道事業者とメーカーが相互に協力し、お互いの製品や業務、サービス等を補い合う関係性を意図しており、これによって国内における鉄道ビジネスを持続可能性の高いものに発展させていくものである。これは半導体不足で顕在化したサプライチェーン強化の観点からも重要と考える。



図4 鉄道業界内のエコシステムのイメージ

例えば、鉄道事業者B社とC社が車体を共同設計し、車両メーカーa社に共同発注する。あるいは、信

号メーカーb社とc社が製品ラインアップのうち、ある製品や部品を共同で設計・調達することなどをイメージしており、その水平方向をつなぐ概念として「標準化」が、そして、その先には、今後の展望で示すようにツールとしての認証の活用も考えられる。

本年7月にJR 東日本とJR 西日本が車両の装置・部品共通化の検討⁹⁾の取組を発表したが、このような取組を鉄道業界全体に拡大していくようなイメージである。

4. 鉄道認証業務の今後の展望

3. で論じたとおり、今後の我が国鉄道産業としては、(1)さらなる海外展開の推進によって、外で稼ぐ力を拡大し、一方で(2)国内における鉄道業界内のエコシステムの構築で国内のビジネスを持続可能性の高いものに発展させていく必要があるが、この2つに鉄道認証業務が貢献できる余地はあると考えている。

ご案内のとおり、海外の鉄道ビジネスにおいては、第三者認証を求められる場面が多く、日本の鉄道の品質には自信を持ちながらも、それを定量的に順序立てて説明することを求められた場合、その対応に苦慮した経験をお持ちの方も多いのではないだろうか。

鉄道認証室においては、現在、以下の規格について認証を出すことが可能であり、また規格適合性に関する評価という形であれば、当室のリソースでカバーできる範囲内である限り、以下の規格に限らず柔軟に対応を検討することが可能である。

表1 認証対象規格及び認定規格

規格名称	規格番号	認定規格
信頼性、アベイラビリティ、保全性、安全性 (RAMS) の仕様と実証	IEC 62278:2002	○
通信、信号及び処理システム	信号用の安全関連電子システム	IEC 62425:2007
	鉄道の制御、保護システム用ソフトウェア	IEC 62279:2002
		IEC 62279:2015
	クローズドトランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-1:2002
	オープントランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-2:2002
	トランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280:2014
電磁両立性	通則、鉄道システム全体の外部等へのエミッション等	IEC 62236-1~5:2018

もちろん認証の取得や要求仕様に規格を活用することは、膨大なドキュメンテーションが必要になったり、追加的なコストを要する場合も多い。しかし、これらの作業を通じて、技術的な考えが整理され、ある

いは自らの強みの再認識や補強につながることもあるのではないだろうか。それは生産年齢人口の減少によって顕在化している働き手の減少、それに伴う技術の維持・継承という課題に対して、1つの解決ツールを与えることにもなると筆者は考えている。認証というと海外ビジネスのためだけのツールと考えられがちだが、海外ビジネス、国内ビジネスでミシン目を入れるのではなく、海外でのビジネスが国内におけるビジネスにも裨益するスパイラルアップの関係を構築することが重要である。

なお、このような観点から、国土交通省鉄道局では昨年度「鉄道用機器等の製品要求仕様書作成のガイドライン」⁶⁾を作成し、広く鉄道業界に展開している。同ガイドラインは、「海外展開や国内の鉄道技術の維持・継承・発展に貢献し、日本の優れた安全性や信頼性の実績を明文化して幅広く活用することで標準化活動を支える力を高めることに資する」ことを目的としており、今後、国内における鉄道機器等の発注の場面において、同ガイドラインが広く活用されることを期待したい。

また、水平方向で共働し、共存・共栄を図っていく鉄道業界内のエコシステムを構築していくにあたっては、異なる個社間で考え方をすり合わせ、標準化／共通化する必要がある。その際、結果として二社間で標準化／共通化された考え方を水平方向にさらに拡大しデファクト化を図っていくことも可能であるし、場合によっては、規格へと昇華させ、海外展開における武器として活用する、いわゆるデジュール戦略をとることも可能である。その場合には同じく認証がツールとして貢献できる場面も出てくる可能性がある。

5. まとめ

これまで日本の鉄道産業及びそれを取り巻く環境の変化を概観し、課題を抽出するとともに我が国鉄道産業として考えるべき点として2点を提示した。

そこでは4.で示したように鉄道認証業務として日本の鉄道産業に貢献できる場面があると考えており、当室の活動を通じて、日本の鉄道システムの海外展開や鉄道技術の維持・継承、そして発展に貢献できるよう微力ながら努めて参りたい。

参考文献

- 1) 数字で見る鉄道 (2023) 旅客の輸送機関別輸送分担率の推移
- 2) 日本機械工業連合会 2020 年度機械工業生産額見通し調査
- 3) UNIFE Annual Report 2022 European Rail Supply Industry
- 4) 鉄道車両工業 (2024 年 1 月号) 「世界の鉄道車両・部品メーカーの売上比較」
- 5) JR 東日本と JR 西日本が車両の装置・部品共通化の検討を開始 (プレスリリース)
(https://www.jreast.co.jp/press/2024/20240705_ho02.pdf)
- 6) 鉄道用機器等の製品要求仕様書作成のガイドライン
(<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001744750.pdf>)

講演 7. AI とシステムセーフティとの関係

—規格適合性において何が課題か—

鉄道認証室

※森 崇

1. はじめに

鉄道分野においても、技術開発において、AI による検知をもとにした安全関連装置の開発が進められつつある。例えば、踏切における滞留者検知装置や、ホームからの転落を検知する装置など、実用化事例から現在試験中のものまで、各種装置が提案されている。

本稿においては、国際規格上安全についてどのようなことが要求され、その要求と AI 側からのリスクマネジメントのガイドラインを対比し、どのように AI を活用できるか、その可能性についてまとめることを目的とする。

2. 国際規格から見た AI

まずこの章では、機能安全国際規格及び鉄道関係の国際規格が、AI についてどのように要求を行っているか概説する。

2. 1. 機能安全規格における安全の考え方

機能安全規格においては、規格ごとに段階の細分化は少し異なっているが、図 1 のようなアプローチが一般的である。

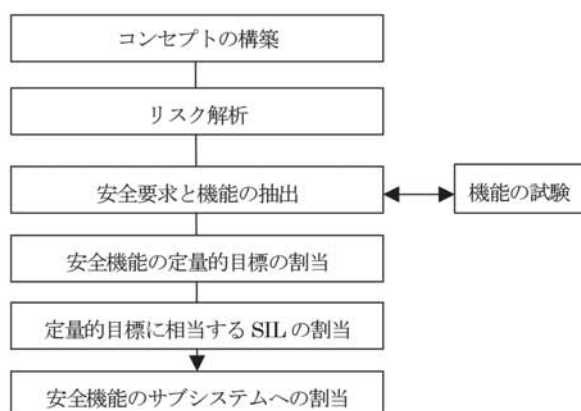


図 1 一般的な機能安全における設計の進め方

ここで重視されるのは、上位の段階の事項が下位にもれなく引き継がれるか(フォワードトレース)、また下位の段階で決定した内容が、上位の段階から入力されたものであるか(バックトレース)どうかである。フォワードトレースは、要求が実装にもれなく展開されることを担保し、バックトレースは、上位仕様の漏れを検出する。安全機能において非常に重要な事項とされており、仕様については、明確に動作定義が要求されており、決定論的な状態遷移が前提となっている。学習によって状態遷移確率が変化し、改善性が高く状態遷移が決定するような考え方には立っていない。

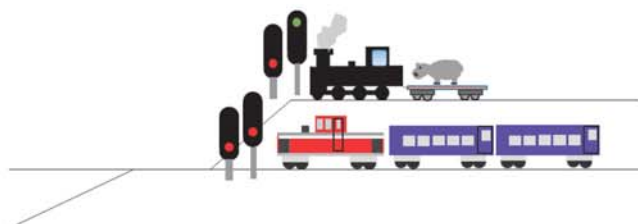


図 2 駅構内の進路設定

例えば、駅構内の信号設備設計を行うことを考える。信号装置は、列車の競合を防止し、衝突及び追突を防ぐという機能がある。競合するか、競合しないかは、列車の建築限界、線路の配置、列車の停止位置、列車進路により決定できる。これを網羅的に決定論的に定義したものが、「連動図表」といわれるもので、この定義表により、駅構内の信号装置の動作定義を行う。

また、列車の建築限界、線路の配置、列車の停止位置、列車進路を仮想的に構築し、数多くの列車走行試行を行うことで、競合するか否かを学習し、システムを構築することもできる。但しこの方法は、試行が網羅的であるかどうかを担保できればこの方法も採用できるが、そもそも試行が網羅的であるとの判断がで

きる場合は、設計上最初から網羅的に定義すればよいはずなので、鉄道信号における試行と学習による保安装置構築は一般的ではなかった現状がある。

但し、画像処理による安全確保など、網羅的な試験を計画できないような分野には、学習におけるアルゴリズム構築のニーズがあることは確かである。

2. 2. 機能安全規格である IEC 61508

IEC 61508 (Functional safety of electrical/electronic / programmable electronic safety-related systems)においては、Part 3-Software requirements 及び Part 7-Overview of techniques and measures に AI に関する記述が存在する。当該規格において、Artificial intelligence fault correction の是非について述べられており、安全性インテグリティ(SIL)1 以外の安全性を要求される場合は、Not Recommended (NR)となっている。NR とされた技術を使用する場合、規格に付属している付録資料を参照して、仕様の根拠を詳細に説明する必要がある。また、ソフトウェアアーキテクチャ設計の段階において、ソフトウェア安全仕様についての正確性、単純でわかりやすい構築、動作に対する想定の一やすさ、設計に対する試験と確認については、実現が困難ではないかという表明が IEC 61508-3 Table C.2 でなされている。

2. 3. 鉄道保安装置ソフトウェア規格 IEC 62279

IEC 62279 においては、IEC 61508 と同様に、Artificial intelligence fault correction の是非について述べられており、ソフトウェア安全性インテグリティ(SSIL)0 以外の安全性を要求される場合は、Not Recommended (NR)となっている。Annex D.1 に解説があるが、故障予測、故障修正、保守とその行為支援について例示されている。安全にかかわる機能について NR である点からして、この規格において、稼働率の向上及び保守支援についての活用は許容されているが、他の目的においては、適切な正当化が必要であると考えられる。

3. AI 推進側から見た安全

次に AI を活用、推進することを研究している側からどのような見解が示されているかを述べる。今回はその研究成果のうち、現在最新であると思われる、Trustworthy & Responsible AI Resource Center,

The National Institute of Standards and Technology (NIST)の AI Risk Management Framework (AI RMF)及びその解説である RMF Playbook をもとにまとめていく。

3. 1. AI 技術者側から見た既存ソフトウェアとの違い

AI RMF の Appendix B において、伝統的なソフトウェアと AI のリスクの差異が述べられている。この項目で、鉄道をはじめとする安全関連系に適用した場合、関係の深いと思われるものを挙げておく。

表 1 AI RMF に挙げられているリスク差異の概要

リスク概要	具体的な鉄道への影響
用意したデータの品質の問題による安全性の影響	学習させるデータの品質の見極めと安全性が直結する
学習の複雑さの増加と再現性の問題	不具合が起こった場合、再現試験が求められるが、再現されるとは限らない
状況の変化による学習の正当性の欠如	線路切り替え、車種の変更など学習をどの程度生かせるか不明
決定ポイントの複雑性による説明の難しさ	Validation についてどのような方法で行うか決定する必要あり
事前学習をされている場合の影響の不確実性	Pre-existing software のルールを準用できにくい
試験方法の標準化不足	規格上試験のカバレッジと要求とのトレースが求められる
計算リソースが多くなることによる環境影響	CO2 排出の増大

この表で問題とされていることは、大きく区分すると 5 つあると考えられる。学習データの問題、説明の難しさ、Pre-existing data の活用、試験方法の確立、改修方法の確立である。換言すれば、Verification と Validation およびトレーサビリティの確保をどのように行えばよいか、また Generic Application software における役割と、Application data における役割の明確な分離が規格上では求められるのであるが、その観点を AI としてどのように作りこむか、Generic Application に相当する部分をどのように Pre-existing として設定し、学習させるかどうかの観点を問われているように私は考えている。

3. 2. AI 技術者側から見たリスクマネジメントの切り口

AI RMF において、AI RMF Core として4つの機能が定義されている。Govern、Map、MeasureそしてManageである。

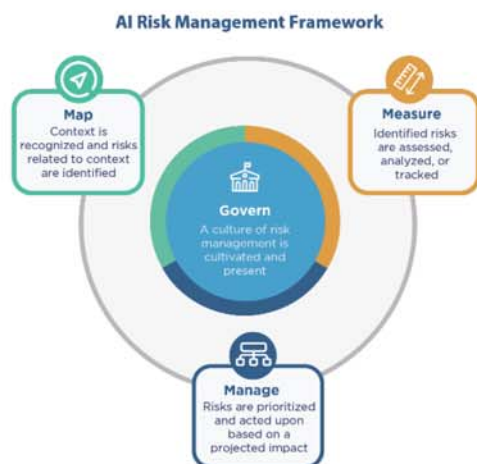


図3 NIST RMF Core の概念図

4つを非常に簡単に要約すれば、Governは、組織やルールにおける機能を定め、Mapは対象システムの目指すものや背景について、Measureはリスク評価方法、Test, Evaluation, Validation and Verification(TEVV)の手法、リスクの同定などがあげられ、Manageはリスク対策と文書化、第三者によるモニタリングがあげられている。

それほど安全におけるリスクマネジメントと考え方に大きな差異はないと思われるが、しかしながらある程度スタイルが定まっている機能安全のリスクアセスメントやマネジメントとは異なり、現状においてどのような方法でtestやV&Vを実施するかについては、今後規格においても記述されることが期待される。

3. 3. 3. 安全にかかわるRMF Playbookの対応

AI RMF において定義された4つの要求は、カテゴリーに分けられ、さらにサブカテゴリー化されている。

その解説として、AI RMF Playbookが発行されており、AI RMF Playbookにおいて、System safetyについてはどのような観点で記述が行われているのかを調査する。

サブカテゴリーの中で、Safetyという言葉が記載されている項目は全体で72項目あるうちの9項目であり、TEVVについての記載されている項目は16項目である。

この中で、鉄道保安システムで、関係が深そうな事象が、どのようにAI RMF Playbookにおいて紹介されているかを概説する。また、出来る限り鉄道での国際規格ではどのような方針であるかを比較する。

1) 他の組織や会社で作成したデータやシステムについて

AIのようなシステムの場合、鉄道保安システムを製作している会社が、一からすべてソフトウェアを構築することは現実的ではないと考える。

AI RMF Playbook Govern 6 及び Manage 3.1 には、他社のソフトウェアを使用するポリシーの構築、評価のポリシーの確立、学習データやアルゴリズム、インターフェース及び制限事項の透明化が求められており、完全なマニュアルの整備、また安全にかかわるものにおける故障時の冗長構成の考慮などがあげられている。

これは、鉄道制御・保安システムソフトウェア規格 IEC 62279 においても、Pre-existing softwareを活用する際に、ほぼ同じ事項が7.3.4.7項に定められている。満たすべき要求、制約条件およびインターフェースの明確化、試験方法の確立、SIL3,4の機能を含む場合の故障時の状態の明確化と対応方針など、大きな差異はない。しかしながら、現実的にAIを活用した場合の、インターフェースの明確化、評価ポリシーの具体化などは課題がある。

2) 運用中に安全度は変化するかもしれない

機能安全のシステムは、仕様から実装、試験に至るまでのトレースを取ることで、動作定義とその実現の担保を行う強い原則がある。このため、仕様を変えない限りは、実装が変わることはないということで、安全を担保している。

しかしAIにおいては運用中の学習において、状態遷移が変化するという今までのシステムにはない特徴を備えている。人間に当てはめると、トライアンドエラーで成長し、その時々経験により適切な選択肢を選択するということになる

が、そのあいまいさを防御する安全関連システムが、柔軟であってもよいかという根源的な疑問はある。但し、今後の少子高齢化を見越した時には、限定された条件での決定論的制御だけではなく、数多くの状態を入力し、出来るだけ適切な制御を行うということが避けられないかもしれない。

AI RMF Playbook Manage 2.2 には、入力されるデータの管理及びルール化、出力の制限（おかしい出力は抑止するなど）、ライフサイクル全体の TEVV の実施など、変化に対応するようなルールを構築する必要性が生じる。鉄道関係規格において、安全性については、メンテナンスが規定通り行われ、改修がない場合は変化しないという立場で、RAMS ライフサイクルにおいてもそのような考え方であり、まったく考え方が異なる。

3) データと試験について

鉄道の安全関連系のシステムにおいては、網羅的な試験を行うため、ソフトウェアコンポーネントの段階での試験カバレッジを重視し、次にソフトウェアを実機で動作させた際には、アプリケーションデータとの組み合わせ、外部インターフェースとの試験、パフォーマンス試験などを行うことが通例であり、IEC 62279 の 7 章において考え方が述べられている。

AI の場合において、このような考え方で試験を遂行するには、大きな障壁がある。動作定義は学習で行われていき、従来のコンポーネントテストからの積み上げ方式とは全く異なる TEVV が必要である。AI RMF Playbook Map 2.3 においてその観点での記述があるが、注意すべき項目として、TEVV の方法をサブコンポーネント、設置時、運用時各々決定することや、テストモジュールの特定、独立した評価者の検証などがあげられている。これは今までの V&V の方法とかなり異なっており、AI 技術者と鉄道技術者が協力して実施する必要があると考える。

4) 説明責任等について

鉄道事業者は、アクシデントがあった際、その内容について説明を求められる。これは単に「説明責任」とされているが、AI RMF Playbook Measure 2.9 において、通常説明責任と言われている

事項は Transparency(透明性), explainability(説明可能性), Interpretability(解釈可能性)の 3 つの要素があるとされている。

透明性は、何が起こったかの観点であり、説明可能性は、どのように決定がなされたのか、解釈可能性は決定が行われた理由とその意味付けについて返答できることとされている。

このような観点は非常に大事であるが、これは制御装置だけではなく、監査ログの重要性も非常に問われているように考える。

5) 運輸業界について

AI RMF Playbook Measure 2.6 に重篤性の高いものとしての筆頭に運輸があげられている。網羅的な試験は行えない場合も数多くあることから、シナリオの工夫による十分な試験、余裕を持ったシステムパフォーマンス、改善の継続と運用中における試験などが求められている。この分野でも研究が各種あるようであるので、注目していきたい。

4. おわりに

今回国際規格での要求と AI の活用の指針との比較を行うことで、どのような点にギャップがあり、注力しなければならない点を紹介した。鉄道認証室においても、新しい技術に果敢にチャレンジしていきたい。

参考文献

- 1) NIST, Artificial Intelligence Risk Management, Framework (AI RMF 1.0) (2024)
- 2) NIST, AI RMF Playbook (2023)
- 3) IEC, IEC 62279, Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems (2015)
- 4) IEC, IEC 61508-3, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems –Part 3: Software requirements

口 頭 発 表 11.7

自動車安全研究部における研究の概要と方向性

自動車安全研究部 河合 英直

1. はじめに

政府は第11次交通安全基本計画において2025年までに交通事故による24時間死者数を2,000人以下(30日以内死者数2,400人以下)、重傷者数を22,000人以下とする目標を掲げている。2023年中の交通事故による死者数は2,678人、前年(2022年)との比較で+68人(+2.6%)と8年ぶりに増加している。交通事故の状況別死者数の状況を見ると全年齢で自動車乗車中の死者数は減少、二輪車乗車中と自転車乗車中及び歩行中は増加しており、状況別死者数は全年齢、65歳以上ともに歩行中が最多となっている。傾向として2008年以降、自動車乗車中の死者数よりも歩行中の死者数の方が多いという状況は変わっておらず、政府目標の達成には、いわゆる交通弱者と呼ばれる子供・高齢者・歩行者・自転車乗員等の死者数を減少させる必要がある。これら交通弱者の安全確保を進める為にも先端技術の活用等が求められている。自動運転車に関して、2022年4月には自動運転レベル4に相当する運転者がいない状態での自動運転(特定自動運行)を許可できるよう道路交通法の改正が行われ、これまで実験段階にあった自動運転車は一般社会への導入、普及を目的として更なる準備が進められている。政府は新たに、限定地域における無人自動運転サービスを、2025年を目処に50箇所程度、2027年を目処に100箇所以上で実現することを目標として掲げており、より高度な自動運転機能にかかる研究開発、基準検討、実証実験が進められている。また、次世代モビリティに求められる駆動用エネルギーの多様化に伴い、EV、PHEV、HEV、FCVにおける電気エネルギーの活用には欠かすことのできない要素の一つである車載バッテリーの使用及び充電中の安全性確保も、その重要性がより認識されてきている。このような背景において、自動車安全研究部では従前からの衝突安全と予防安全に加えて、新たな技術、特に自動運転技術及び次世代モビリティにおける安全の確保に重点をおいた研究を進めている。部内に

衝突安全・点検、予防安全、電気・電子技術のグループを構成し、自動車の安全に係る技術に対して柔軟かつ総合的に対応しながら、交通社会の更なる安全の実現に向けた研究に取り組んでいる。

2. 研究概要

2.1 衝突安全・点検グループ

衝突安全・点検グループでは、特に高齢者、年少者、自転車乗員等の交通弱者を対象とし、交通事故の多様な実態を踏まえながら、衝突安全技術に関する基準化に必要なデータを提供することを主眼に車両の衝突安全に関して広く検討している。昨今の計算機シミュレーション技術の発達に伴い車両衝突時の事象を詳細に再現、解析することが可能となってきており、実車等を用いた大規模衝突実験とシミュレーションによる検討、解析の双方を自ら行う事ができることを交通研における衝突研究の強みの一つとするべく、今年度より、計算機シミュレーションによる新たな研究を立ち上げた。これに研究がより効率的に進められると同時にコストや時間的問題から制約の多い衝突実験のみでは対応が難しかった多様な衝突条件での検討や詳細にわたる解析が可能となる。この新たな取り組みは、予防安全装置作動時の乗車姿勢の乱れが乗員傷害に及ぼす影響の調査や、種々の乗車姿勢時の安全確保に関する研究に活用している。

さらに、衝突事故の高次脳機能障害への影響を評価することを目的として、脳の回転衝撃によるびまん性軸索脳損傷(神経細胞の軸索損傷)を対象とした新たな評価基準を提案するための研究も進めている。また、未だ明らかにはなっていない交差点右左折時の事故発生メカニズム解明を目的としたドライバの注視特性を含む運転行動把握のための研究も行っている。

2.2 予防安全グループ

自動運転や運転支援技術に関連する研究課題は多く、主として、自車及び周辺車両の振る舞いに関する研

究を行う車両挙動グループと、人間の認知・判断・操作及び灯火に関する研究を進めるヒューマンファクタ、灯火グループの二つを予防安全グループ内に設け、効率的に研究を進めている。車両挙動グループでは、次の目標であるレベル4の自動運転システムの市場化の達成に向けて、より高度な自動運転技術の評価法に関する検討を中心に取り組んでいる。将来の基準化に向けて、自動運転車が危険事象に遭遇した場合に求められる危険回避能力として、どの程度の性能を求めることが妥当なのかを見極め、またその能力を具体化していくことが求められるが、そのための基礎とするために、一般的な人間ドライバの回避行動について調査を行い、その行動を定量的に把握することから研究を始めている。ヒューマンファクタ、灯火グループでは、社会的な関心が高い高齢者によるアクセルペダルとブレーキペダルの踏み間違い事故について、発生状況を交通事故統計により分析し、ペダル踏み間違い時加速抑制装置など予防安全装置の作動範囲拡大の必要性を検討している。また、自動運転システムが作動状態であることを示す「自動運転マーカーランプ」に関し、一般ドライバに対する社会受容性の国際調査及び見え方評価実験等を実施し、マーカーランプを装備する場合の適切な点灯方法を明確にするための研究を行っている。また、新型前照灯やオートレベリングなどにより、夜間の視界を確保しつつ、対向車や歩行者への眩しさを抑制する方法について研究を進めている。さらに、車体からの灯光により路面上に視覚情報を投影する信号灯路面描画について、周囲の交通参加者に対する注意喚起効果や受容性を検証する研究を進めている。

2.3 電気・電子技術グループ

燃料電池自動車、電気自動車等に必須の車載バッテリーの安全性について、国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)において、車載バッテリーの安全性を確保するための基準及び試験法が議論されている。昨今、海外において、電気自動車走行中だけに限らず、充電中又は車両保管時の駆動用バッテリーからの火災や爆発の事故も複数報告されており、使用中のバッテリーの劣化と安全性の関係について関心が高まっている。本グループでは、大学及びバッテリー製作者や外部研究機関と共同でバッテリー劣化にともなう安全性の低下に関して詳細なメカニズムの解明を含む研究を進めており、その成果を国際議論の場に提供、活用することで電気駆動車のバッテリー安全に関する基準策定に貢献している。電子制御装置に係る安全性・信頼性を確実に確保するため、電磁両立性

に関する評価方法等に関する研究を進めてきた。現在は、自動車部品における電磁耐性試験方法間の比較評価等も行っている。自動運転車は高度な電子制御技術によって成り立っていると言っても過言ではなく、その電磁両立性の重要性については、WP29 においても高く注目されている。

2.4 その他

国の施策を技術的に支援するために、各グループ横断的に調査研究を行っている。種々の課題に対して、実態把握調査や実験を行い、技術データ、調査結果を検討会に提供するなど、自動車安全研究部の持つ知見とリソースを活用し、国の技術施策に貢献している。

3. 外部連携

自動車安全研究部では、交通事故総合分析センター(ITARDA)に研究員を派遣、双方の知見を生かして EDR データの車両安全対策への活用に貢献している。さらに種々の研究課題について、東京農工大学、東京工業大学、東京都立大学、芝浦工業大学、神奈川工科大学、中央大学、杏林大学医学部等との共同研究や、BASt(独)、KATRI(韓国)、NHTSA(米)、JRC(欧)、VRTC(米)、IIHS(米)等の研究機関等との連携、情報交換を進めると同時に、部品メーカーや計測器メーカー等とも連携し、最新技術の評価研究に取り組んでいる。

4. まとめ

昨今、自動運転技術が筆頭に最新の技術が広く社会に導入、普及してきている。これら新しい技術は素晴らしいポテンシャルを持つ物も少なくないが、それらを人間社会の幸福の為に活用するためには、それらの技術の正しい理解と導入が必要で、特に技術への過度の期待と依存は思わぬ危険へとつながる。最新の技術を搭載した車両の性能を公正、適切に評価し、それらを広く理解して貰えるようすることがより安全な自動車の導入・普及につながると考える。自動車安全研究部では、より安全な交通社会実現の為に、新たな技術の正しい理解に基づいて導入、普及し、更なる安全技術開発の一助となるような調査、研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000338.html

講演 8. 市街地走行中に危険場面に遭遇した場合の人間ドライバの回避行動に関する実験的考察

自動車安全研究部 ※児島 亨 真鍋 裕輝 北田 幸一

1. まえがき

国土交通省が主宰する ASV（先進安全自動車）推進計画では、1991 年から 30 年以上にわたり、産学官の連携によって交通事故削減のため、さまざまな取組が行われてきた。第 7 期 ASV 推進計画（2021 年度～2025 年度）（以下、ASV7）では「自動運転の高度化に向けた更なる推進」を基本テーマとした検討が行われている¹⁾。具体的な検討項目の 1 つに、「自動運転車が備えるべき安全の範囲・水準の探索のための考察」がある。

ASV7 で「自動運転車が備えるべき安全の範囲・水準の探索のための考察」の具体的な検討を行うワーキンググループ（国内自動車メーカー、関係省庁、法律専門家、研究機関等の代表者で構成。以下、WG）において、2025～2030 年に実用化が予想され、他の道路利用者との混合交通の形で一般道を走行する自動運転車を想定し、自動運転車が事故を回避することが困難であると考えられる場面を整理した。

自動運転車が事故を回避することが困難であると考えられる場面に人間ドライバ（以下、ドライバ）が遭遇した場合の回避行動について分析することにより、上記の検討の足掛かりとするため、整理した場面の中からいくつかの場面を選定し、ドライビングシミュレータ（以下、DS）実験を行うこととした。以下、実験内容について報告する。

2. 実験方法

2. 1. 実験場面

本研究では、2025～2030 年に実用化が予想される一般道を走行する自動運転車を想定し、自動運転車にとっては危険事象の発生を予見し事故を回避することが困難であると考えられるが、危険予知能力が比較的優れたドライバの場合には、直前の周辺情報から危険事象の発生を予見し事故を回避することが可能であると予想される危険場面を実験の対象とした。本来であれば実交通環境において該当する危険場面を幅広く抽出し、網羅的に実験を行うことが望ましいが、

実験の効率等も考慮し、本研究では以下の 3 つの場面（場面 1～場面 3）を優先して実験を行うこととした。

2. 1. 1. 場面 1

図 1 に場面 1 の概要を示す。本場面では、実験参加者が運転する車両（以下、自車）が片側 1 車線の単路を走行中、対向車線のバス停にバスが停車する。自車の左前方の歩道上には自車と同方向に 1 名の歩行者が歩行している。同歩行者はバスに乗車すべく小走りを開始した後、方向転換して自車の直前を横断する。ドライバは衝突回避のための操作を行う。

本場面では、自動運転車の場合、歩行者が小走りする様子から、直後にバスに向かって横断することを予測することは困難であると考えられる。一方、ドライバの場合には、バスの停車と歩行者が小走りする様子から、急な横断を予測して速度を落とす等のリスク回避行動を行う可能性も考えられる。

本場面における実験パラメータは図 1 の表中に示す通りである。道路の制限速度は 40km/h、歩行者が歩いている時の速度（図中 V_{P1} ）は 5km/h、小走りしている時の速度（図中 V_{P2} ）は 10km/h、歩行者が小走りを開始するタイミングは自車と歩行者の相対距離（図中 X_1 ）が 33m となった時点、歩行者が横断を開始するタイミングは自車と歩行者の相対距離（図中 X_2 ）が 11m となった時点とした。自車の速度が 40km/h の場合、歩行者が小走りするタイミングを衝

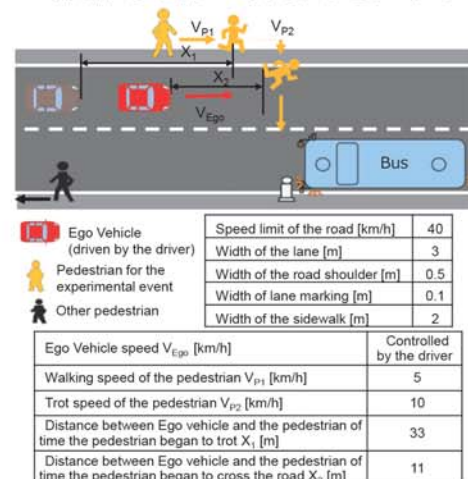


Fig.1 Abstract of experimental scene 1

突予測時間 (Time To Collision、以下、TTC) で表すと $TTC=3$ 秒、横断を開始するタイミングは $TTC=1$ 秒に相当する。また、小走りしている時間は約 2.6 秒となる。本場面では、歩行者が横断を開始するまでの間に自車の速度を低下させる等のリスク回避行動を行わなかった場合には、衝突の回避が困難な設定とした。

2. 1. 2. 場面 2

図 2 に場面 2 の概要を示す。本場面では、自車は片側 1 車線の優先道路を走行中、信号の無い交差点に接近する。同交差点は自車から見て左側が生垣となっており、見通しが悪くなっている。生垣の陰から 1 台の自転車が接近し、一旦停止することなく自車の直前を横断する。ドライバは衝突回避のための操作を行う。接近する間の自転車は生垣に隠れているが、乗員の頭部は視認可能である。図 3 に生垣の上から自転車乗員の頭部が見えている時 (図中左) 及び自転車の前輪が見え始めた時点 (図中右) のスクリーン画像の例を示す。

本場面では、自動運転車の場合、自転車乗員の頭部が移動する様子を認識し、自転車が横断することを予測することは困難であると考えられる。一方、ドライバの場合には、自転車乗員の頭部が移動の様子から、自転車の横断を予測して、速度を落とす等のリスク回避行動を行う可能性も考えられる。

本場面における実験パラメータは図 2 の表中に示す通りである。道路の制限速度は 40km/h とした。自転車の速度は 15km/h を基本とするが、自車が進行する道路の車道との境界線に進入するまでの間は自車速度 (表中 V_{Ego}) に係数 (表中 α 、 $\alpha=15/40$) を乗じた値とし、自車の速度が変動した場合でも、自転車が

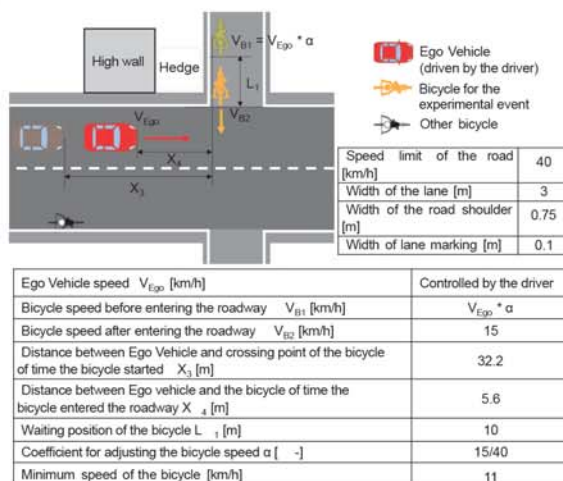


Fig.2 Abstract of experimental scene 2



Fig.3 Example of the screen image when the head of the bicycle rider was seen from a hedge

車道との境界線に到達した時点の自車との相対距離 (図中 X_4) がほぼ同じ値となるようにした。但し、自転車の速度には下限値を設定し、自車の速度が約 30km/h 以下となった場合には、自転車は 11km/h で走行し、 X_4 がより大きくなる設定とした。また、自転車は車道との境界線から 10m 下がった位置に待機しており (待機している間はドライバから視認不可)、自車が自転車の横断ラインから所定距離 (図中 X_3) に到達した時点で発進し、自転車が 15km/h で走行した場合には、2.4 秒後に車道との境界線に到達する設定とした。上記 X_4 は 5.6m (自車の速度が 40km/h の場合、 $TTC=0.5$ 秒相当) とし、自転車が車道との境界線に到達するまでの間に自車の速度を低下させる等のリスク回避行動を行わなかった場合には、衝突の回避が困難な設定とした。

2. 1. 3. 場面 3

図 4 に場面 3 の概要を示す。本場面では、自車は片側 1 車線の単路を走行中、前方の駐車車両を避けるため、対向車線へ進入する。自車の前方を走行中の自転車も駐車車両を避けるため、速度を落とすことなく対向車線側へ横移動する。ドライバは衝突回避のための操作を行う。

本場面では、自動運転車の場合、駐車車両を避けるために対向車線へ進入しようとしている間に、前方の自転車が横移動して自車の直前に進入することを予測することは困難であると考えられる。一方、ドライバの場合には、自転車が駐車車両を避けるため横移動することを予測して、自転車の後方を追従する等のリスク回避行動を行う可能性も考えられる。

本場面における実験パラメータは図 4 の表中に示す通りである。道路の制限速度は 40km/h とした。自転車の速度は 15km/h を基本とするが、自転車が横移動を開始するまでの間は自車速度 (表中 V_{Ego}) に係数 (表中 β 、 $\beta=15/40$) を乗じた値とし、自車の速度が変動した場合でも、自転車が横移動を開始した時点の自車との相対距離 (図中 X_5) がほぼ同じ値となるようにした。但し、自転車の速度には下限値を設定し、自車

の速度が約 30km/h 以下となった場合には、自転車は 11km/h で走行し、 X_5 がより大きくなる設定とした。また、自転車は駐車車両後端から 126.5m の位置に待機しており、自車との相対距離が所定値（図中 L_3 ）に到達した時点で発進し、駐車車両後端から 12.5m に到達した時点（15km/h で走行した場合、TTC=3 秒相当）で横移動を開始する設定とした。横移動により、自転車は対向車線に 0.4m 進入する設定とした。上記 X_5 は 10.4m（自車が 40km/h、自転車が 15km/h で走行した場合、TTC=1.5 秒相当）とし、自転車が横移動を開始するまでの間に自車の速度を低下させる等のリスク回避行動を行わなかった場合には、衝突の回避が困難な設定とした。

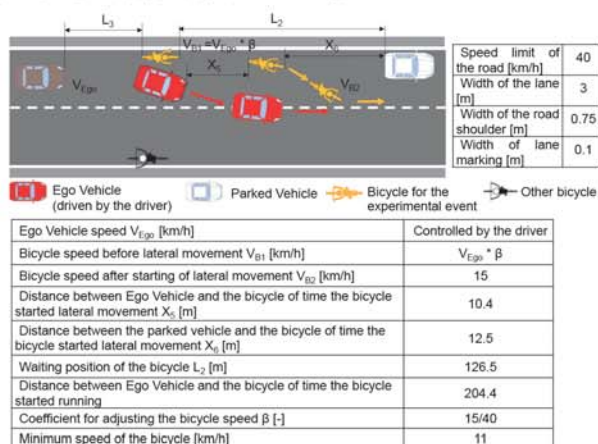


Fig.4 Abstract of experimental scene 3

2. 2. その他の実験条件

実験に使用した道路マップは、2.5km 四方のエリアを囲む外周道路の内側に、縦横 500m 間隔で格子状に道路を配備したものである。道路の両側には建物等を配置し、市街地を模擬している。場面 1～場面 3 の危険事象が発生する地点は別の場所とし、走行ルートも変えた。各場面において、走行を開始してから危険事象発生地点までの走行距離は 2～3km とした。

実験参加者は場面 1～場面 3 の全てに参加した（実験参加者内計画）。試行回数は各場面 1 回とし、実験の順序に偏りが生じないように配慮した。また、危険事象が発生しないダミー実験走行を各実験参加者に対し 15 回行い、危険事象が発生する実験走行が連続しないように配慮した。

2. 3. 実験に使用した DS

図 5 に実験に使用した DS の外観の写真を示す。本 DS は小型乗用車の車体を使用し、運転席及び操作系に関しては実車と同様である。6 軸アクチュエータと前後並進装置を組合せた動揺装置により、ドライバは

車両の運動（加速度等）を体感可能である。また、映像描画用スクリーンに 55 インチの EL パネル 17 枚を全周に配置することにより、水平方向の視野角は 360 度確保され、より解像度の高い画像を描画することが可能である。



Fig.5 Driving simulator used for the experimental test

2. 4. 実験参加者の構成及び手続き

実験参加者は運転歴 5 年以上で日常的に運転を行う 30 代～50 代の一般ドライバ 20 名（男性 10 名、女性 10 名）とした。実験参加者に対し、書面と口頭で実験内容、注意事項等について説明した後に、実験参加者の意思により同意書へ署名してもらった。また、本実験は独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づき事前承認を得た後に実施した。

実験前の説明では、走行する道路が一般道であること、交差点の右左折に関する音声案内が行われた場合は指示に従って右左折を行うこと、道路上に制限速度の標識があること、一定の速度で走行することが可能な状況では、概ね制限速度程度で走行すること、走行中に危険であると判断した場合には、操舵・加速・減速のいかなる手段を用いて回避しても問題無いこと等を教示した。説明の後、DS に乗車して練習走行を行った。練習走行は原則 2 回とし、1 回目は直線道路で加速、減速及び操舵を繰り返し、実験参加者に DS の操作や車両の挙動を習熟してもらった。2 回目は交差点の右左折や一時停止を行い、実験走行と類似したルートを走行してもらった。

練習走行によって DS の運転が問題無く行われていることを実験担当者が確認するとともに、実験参加者にも問題無い旨を確認した時点で練習走行を終了し、実験を開始した。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 場面 1

図 6 は場面 1 において、実験参加者の回避行動の割合を示したものである。凡例中の括弧内に衝突回避または衝突した件数を示している。本場面では実験参加

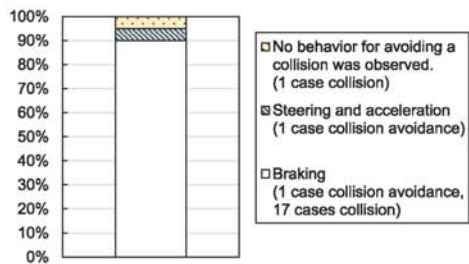


Fig.6 Rate of driving behavior for avoiding a collision (Scene 1)

者の90% (18例) がブレーキ操作による回避行動を行い、そのうちの17例は衝突した。ブレーキ操作以外の2例のうち、1例は回避操作なし (衝突)、他の1例は右方向へ操舵しながら加速 (衝突回避) であった。本場面では全体の90%が衝突した。

図7はブレーキ操作によって衝突回避を試みた18名を対象に、横軸に歩行者が横断を開始した時点からブレーキ操作を開始するまでの時間 (以下、ブレーキ反応時間) を、縦軸に最大減速度をプロットした結果を示す。最大減速度のプロットには、衝突後に最大値に至った場合も含まれる。また、図中、横軸と縦軸に引かれた破線はブレーキ反応時間と最大減速度の中央値を表している。ブレーキ反応時間は約0.6秒～約1.2秒の間に分布 (中央値は0.92秒) している。衝突回避した1名は0.92秒であり、中央値と同値であった。

ドライバの反応時間に関して言及した文献の例として、警察庁の『自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準』²⁾では、ドライバが危険を感じてからブレーキを踏み、ブレーキが効き始めるまでの時間 (空走時間) を0.75秒と想定している。本場面のブレーキ反応時間の中央値は、これらの値よりもやや長い値となっていることから、多くの実験参加者にとって、歩行者の急な横断を認識するまでにやや時間を要したものと考えられる。

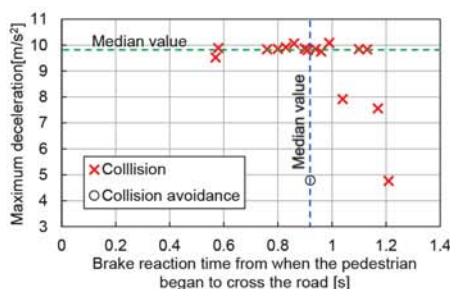


Fig.7 Relation between brake reaction time and maximum deceleration (Scene 1)

一方、最大減速度に関しては約 5m/s^2 ～約 10m/s^2 の間に分布 (中央値は 9.8m/s^2) している。衝突回避した1名は 4.8m/s^2 であり、中央値の半分程度であった。衝突したケースの多くは約 8m/s^2 ～約 10m/s^2 であり、多くの実験参加者は非常に強いブレーキ操作を行っていたことが分かった。

図8は歩行者が横断を開始した時点の自車の速度 (全実験参加者) を箱ひげ図で表したものである。

歩行者が横断を開始した時点の自車の速度は、約 32km/h (25%ile 値) ～約 39km/h (75%ile 値) に分布 (中央値は約 37km/h) しており、制限速度よりも若干低かった。ブレーキ操作で衝突を回避した1例 (図中赤丸) については約 15km/h であり、衝突したケースよりも明らかに低い値であることから、ドライバは危険事象を予測して意図的に速度を低下させたものと考えられる。なお、本実験参加者の速度の時系列データを確認したところ、歩行者が小走りを開始する20秒程度前から緩やかに減速していたことから、小走り開始が速度低下の直接的な要因ではなかった。一方、上記以外の結果については、図7のブレーキ反応時間の結果と合わせて考えると、歩行者が小走りする様子から急な横断を予測し、速度を低下させた人はほとんど存在しなかったと考えられる。制限速度よりも若干速度が低かった理由は、バスの後方からの歩行者横断に備える等、別の理由であった可能性が考えられる。

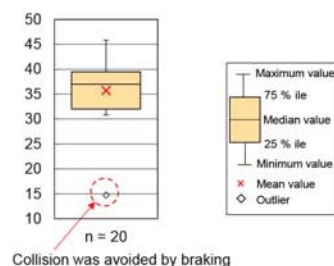


Fig.8 Ego vehicle speed of time the pedestrian began to cross the road (Scene 1)

3. 2. 場面 2

図9は場面2において、実験参加者の回避行動の割合を示したものである。凡例中の括弧内に回避行動別に衝突回避または衝突した件数を示している。本場面では全ての実験参加者がブレーキ操作による回避を試み、そのうちの45% (9例) は右方向への操舵も行った (9例とも衝突)。また、ブレーキ操作のみによる回避を試みた11例のうち、7例 (全体の35%) は衝突を回避した。本場面では全体の65%が衝突した。

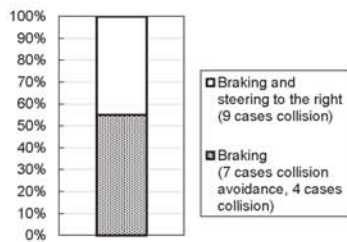


Fig.9 Rate of driving behavior for avoiding a collision (Scene 2)

図 10 は自転車の前輪が視認可能となった時点からブレーキ反応時間の分布を、衝突した 13 名と衝突を回避した 7 名に分けて箱ひげ図で表したものである。有意水準 5% のクラスカル=ウォリスのノンパラメトリック検定で有意な差が見られた。衝突した 13 名の多くは自転車の前輪が視認可能となつてからブレーキ操作を開始したのに対し、衝突を回避した人の多くは自転車の前輪が視認可能となる前にブレーキ操作を開始していることから、生垣の上から見えていた自転車乗員の頭部が移動する様子を視認し、横断を予測して早めにブレーキ操作を行ったものと考えられる。

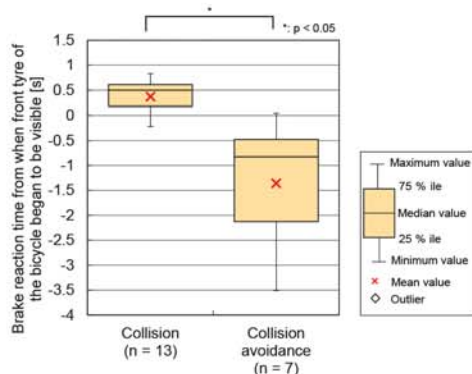


Fig.10 Distribution of brake reaction time (Scene 2)

図 11 は自転車が発進した時点の自車の速度を、衝突した 13 名と衝突を回避した 7 名に分けて箱ひげ図で表したものである。有意水準 5% のクラスカル=ウォリスのノンパラメトリック検定で有意な差は見られ

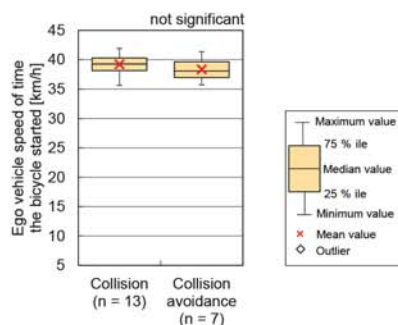


Fig.11 Distribution of Ego-vehicle speed (Scene 2)

なかった。自転車が発進した時点の自車の速度は、衝突した 13 名及び衝突を回避した 7 名ともに、37km/h ~ 40km/h に多くのデータが分布していることから、いずれも交差点の手前で速度を大きく低下させることは行っていない。この理由は自車が優先道路を走行していたためであると考えられる。

3. 3. 場面 3

図 12 は場面 3 において、実験参加者の回避行動の割合を示したものである。凡例中の括弧内に回避行動別に衝突回避または衝突した件数を示している。本場面で最も多かったのは、自転車が駐車車両を避けるために対向車線に向かって横移動を開始した直後にブレーキ操作を行うケース (11 例、全体の 55%) で、次に多かったのは、あらかじめ自車の速度を低下させて自転車の後方を追従するケース (3 例、全体の 15%) であった。その他、右方向への操舵 (2 例)、右方向へ操舵しながら加速 (1 例)、速度超過して自転車が横移動を開始する前に自転車を追越す (1 例)、回避行動なし (2 例) であった。

本場面では、前方の自転車を視認可能で、自転車が駐車車両を避けるために横移動することをある程度予測しやすかったことから、回避行動にさまざまなバリエーションが表れたものと考えられる。また、衝突した事例は 3 例 (全体の 15%) であり、3 つの場面で最も少なかった。3 例はいずれも自車の左側面への衝突であり、自車の前面に衝突した例はなかった。

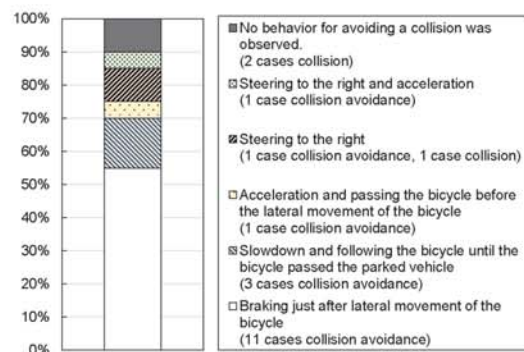


Fig.12 Rate of driving behavior for avoiding a collision (Scene 3)

図 13 は自転車が横移動を開始した時点における自車の速度を全実験参加者 (図中(a)) とブレーキ操作によって回避した 11 名 (図中(b)) に分け、箱ひげ図で表したものである。図中(a)より、あらかじめ速度を落として自転車の後方を追従した 3 名については、自転車の速度と同程度以下であった。また、加速して自転

車が横移動を開始する前に自転車を追い越した 1 名については約 61km/h であり、自転車の横移動を予測して意図的に速度を上昇させた結果であると考えられる。残りの 16 名については、約 29km/h (25%ile 値) ～約 38km/h (75%ile 値) であり、やや広範囲に分布している。一方、図中(b)より、ブレーキ操作によって回避した 11 名については、約 30km/h (25%ile 値) ～約 32km/h (75%ile 値) であり、より狭い範囲に分布していることから、ブレーキ操作で回避した実験参加者についても、多くの人は自転車の横移動を予測し、やや速度を低下させたものと考えられる。

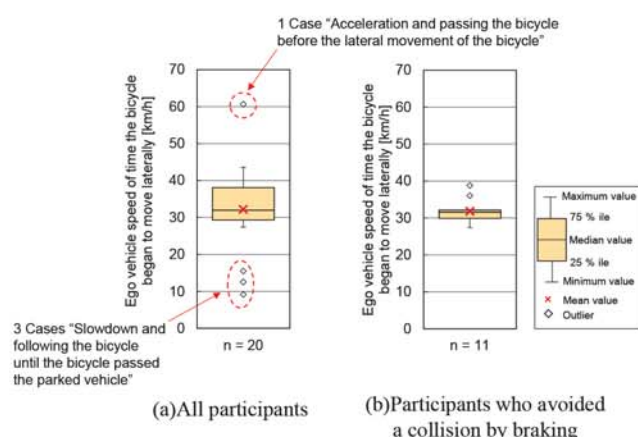


Fig.13 Ego vehicle speed of time the bicycle began to move laterally (Scene 3)

4. まとめ

本研究では、2025～2030 年に実用化が予想される自動運転車を想定し、自動運転車が事故を回避することが困難であると考えられる場面のうち、3 つの場面を選定し、ドライバの回避行動を分析するための DS 実験を実施した。

自車の前方の歩道上を、自車と同方向に歩行する歩行者が対向車線に停車したバスに乗車するため、小走りしながら急に横断する場面（場面 1）では、90%の実験参加者が衝突した。多くのドライバにとって、歩道上の歩行者が通常の歩行から小走りに変化する様子から、急に横断することを予測することは困難であることが分かった。但し、横断前の歩行者の挙動に後方を振り返る等の動作が含まれていた場合には、横断を予見し速度を低下させるドライバが存在した可能性も考えられる。

自車が優先道路を走行中に、見通しの悪い交差点で左から自転車が横断する場面（場面 2）では、35%の実験参加者がブレーキ操作によって衝突を回避した。

回避した人のブレーキ操作開始タイミングの結果から、生垣の上から自転車乗員の頭部が移動する様子を捉え、対象物の全体像が現れる前に回避行動を行ったものと考えられる。危険予知能力が優れたドライバは、危険対象物のごく一部しか視認できない状況であっても、対象物の接近を見逃さずに回避行動を行うことが確認された。

自車の前方を走行する自転車が駐車車両を避けるために横移動する場面（場面 3）では、85%の実験参加者が衝突を回避した。対象物を連続して視認可能かつ対象物の行動をある程度予測しやすい場面では、さまざまな回避行動が見られ、衝突を回避する確率がより高くなることが分かった。

本研究の実験結果をもとに、自動運転車が実験場面と同様の危険場面に遭遇した際に、衝突を回避可能であることが「自動運転車が備えるべき安全の範囲と水準」の範囲内であるとして自動運転車に求めた場合、現在の技術では、場所を選ばず、危険事象の発生に備え、一律に走行速度を低下させることも選択肢の一つになると考えられる。この場合、円滑な交通への影響が懸念される。このため、実験結果の活用方法（取扱い）については慎重な議論が必要である。

また、場面 1 と場面 2 については、相手（歩行者または自転車）側が道路交通法を守らなかったことが危険事象発生の原因である。本研究では検討対象としていないが、相手側の法令違反に対し、自動運転車としてどこまで対応する必要があるのかという点について、過失責任等の法的な観点からも今後検討することが必要である。

WG では、自動運転車の社会実装等について議論を行っている他の会議体との情報共有も行いながら、引き続き検討を進めていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 高橋奈々ほか：自動運転の高度化に向けた ASV (advanced safety vehicles) の更なる推進、自動車技術会学術講演会予稿集（春）（2022）、20225191
- 2) 自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準、別添、警察庁（2023）

講演 9. 交通事故統計データによるペダル踏み間違い事故の分析

自動車安全研究部

※加藤 洋子

松井 靖浩

阿部 晃大

関根 道昭

1. はじめに

近年、四輪車のアクセルペダルをブレーキペダルと誤って踏み込むことにより生じる事故（以下、ペダル踏み間違い事故）の社会的関心が高まっており、喫緊の課題として注目されている。ペダル踏み間違い事故は、車両を減速させようとしているにもかかわらず足元の操作ミスにより加速し、深刻な結果を引き起こす可能性がある。実際、高齢ドライバーによるペダル踏み間違いを原因とする死亡重傷事故が多く発生していることが報告されている¹⁾。ペダル踏み間違い事故の削減や傷害軽減のための対策を行うには、これらの事故が多く発生する場所や衝突相手といった特徴を把握する必要がある。本研究では、高齢ドライバーのペダル踏み間違い事故の発生状況を明らかに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。

2. 調査方法

2. 1. 対象データ

本研究は、交通事故総合分析センター（ITARDA）が保有する交通事故マクロ統計データベースを用いて、ペダル踏み間違い事故の発生状況を調査した。乗用車及び軽乗用車のドライバーが起こした事故について、事故要因が「ブレーキとアクセルの踏み違い」に該当する事故を集計した。ここでは、2018～2020年の3年間のデータを対象とした。

2. 2. 集計項目

ペダル踏み間違い事故の特徴を確認するため「事故を起こしたドライバーの年齢層」を集計した。さらに、交通事故統計用語解説集²⁾を参考に、初めに衝突した相手の種別に関する「事故類型」、発生場所に関する「道路形状」、事故を起こしたドライバー自身や衝突した相手の「傷害程度」、進行方向や発進・走行中に関する「行動類型」を集計した。

2. 3. 集計区分及び用語の定義

本調査では、事故を起こしたドライバーの年齢層を「24

歳以下」、「25-34歳」、「35-44歳」、「45-54歳」、「55-64歳」、「65-74歳」、「75歳以上」に区分して集計した。

事故類型は、基本的に最初に衝突した相手の種別によって分類され、「(a)対車両（車両相互）事故」、「(b)対歩行者（人対車両）事故」、「(c)車両単独事故」として集計した。「(c)車両単独事故」は、衝突した物の種別や路外逸脱の有無によってさらに詳細に分類した。

道路形状は、「(i)単路」、「(ii)交差点付近」、「(iii)交差点」、「(iv)一般交通の場所」の区分によって集計した。この「一般交通の場所」は、一般の交通の用に供するその他の道路に該当する場所等と定義され²⁾、不特定多数の出入りが可能な駐車場等が該当する。そのため、本報では「一般交通の場所」を「駐車場」と呼称する。

傷害程度は、「死亡」、「重傷」、「軽傷」、「損傷なし」の区分によって集計した。「死亡」は事故発生後24時間以内の死亡、「重傷」は30日以上の治療を要する傷害、「軽傷」は30日未満の治療を要する傷害、「損傷なし」は人身に損傷がない場合と定義される²⁾。本報では、「損傷なし」を「傷害なし」と呼称する。

行動類型は、「発進」、「直進」、「後退」、「その他（右左折等）」の区分によって集計した。「直進」は、加速、等速、減速で、路線に沿って概ね真っすぐ走行した状態である²⁾。

3. 集計結果

3. 1. 道路形状による集計

ペダル踏み間違い事故の件数が多い年齢層及び場所を確認するため、ドライバーの年齢層と道路形状による集計を行った（図1）。その結果、年齢層では「75歳以上」、「65-74歳」、「24歳以下」の順で件数が多かった。筆者らの先行研究³⁾では、交通暴露下でのドライバーの年齢層の分布を把握するため、全交通事故の中で特に件数の多い「追突事故」に着目し、追突された側の年齢層の分布を調査した。2018～2020年の乗用車及び軽乗用車における追突事故で、追突された車両のドライバーの

年齢層の分布（図2）では、「35-44歳」と「45-54歳」が多く、「24歳以下」、「65-74歳」、「75歳以上」は件数が少ない。そのため、「24歳以下」、「65-74歳」、「75歳以上」は、交通暴露量が比較的少ない年齢層にも関わらずペダル踏み間違い事故の件数が多く、ペダル踏み間違い事故を起こしやすいと言える。また、図1の道路形状の内訳では、若年者は(i)単路の割合が高く、高齢になるほど(iv)駐車場の割合が増加することを確認した。

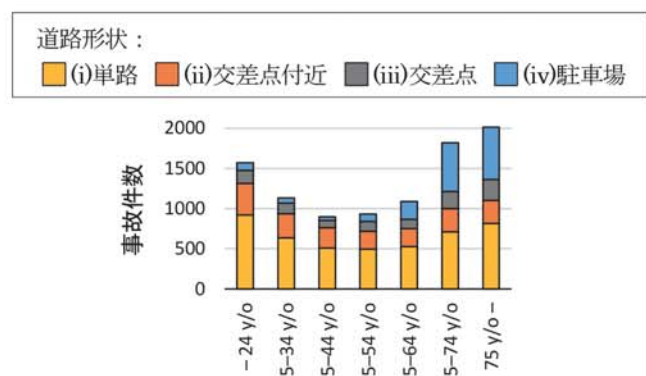


図1 ペダル踏み間違い事故 道路形状による集計結果

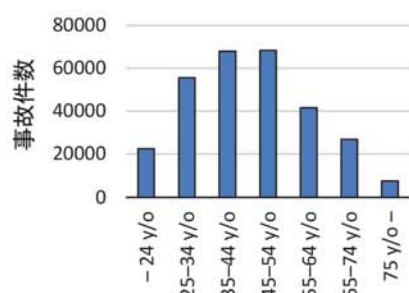


図2 追突事故で追突された車両ドライバの年齢層の分布

3. 2. 道路形状・行動類型による集計

前節では、年齢層によってペダル踏み間違い事故が発生した道路形状の割合が異なることを確認した。道路形状によって事故時の行動類型の分布が異なることが予想されるため、本節ではドライバの年齢層、道

路形状、行動類型による集計を行い、道路形状と行動類型の関係を調査した（図3）。いずれの年齢層、道路形状においても概ね「直進」が最も多く、次いで「発進」が多かった。駐車場（図3(iv)）は、他の道路形状よりも「後退」の割合が高く、これは駐車場が他の道路形状に比べ後退する頻度が高いためと考えられる。駐車場での事故は高齢ドライバに多く（図1、図3(iv)）、「後退」時の事故の多くが高齢ドライバによって発生していることを確認した。

3. 3. 事故を起こしたドライバの傷害程度の分布

衝突相手の種別や道路形状によって、傷害程度の分布が異なることが予想される。本節では、事故類型毎、道路形状毎に、事故を起こしたドライバの傷害程度の特徴を確認するため、(a)対車両、(b)対歩行者、(c)車両単独として、道路形状、ドライバの年齢層、ドライバの傷害程度による集計を行った（図4）。(a)対車両の事故は、道路形状において、事故件数が多い区分から順に(i)単路、(ii)交差点付近、(iii)交差点、(iv)駐車場となり、若年者でも件数が多いことが特徴である。一方で、(b)対歩行者と(c)車両単独の事故は、件数が多い区分から順に(iv)駐車場、(i)単路、(iii)交差点、(ii)交差点付近となった。(c)車両単独の件数は(b)対歩行者の2倍程度であるが、道路形状による分布や「55-64歳」から高齢になるほど件数が急増する点で傾向が一致している。そのため、(b)対歩行者と(c)車両単独は、衝突相手が歩行者か物かの違いがあるものの、事故発生のメカニズムは近似している可能性がある。

ドライバの傷害程度については、(a)対車両と(b)対歩行者では、いずれの道路形状においても、ほとんどが「傷害なし」となった。しかし、(c)車両単独の事故では、特に(iv)駐車場や(i)単路において、高齢になるほど事故件数が増加し、それに伴い「死亡」、「重傷」、「軽傷」の事故が多く発生していることが明らかとなった。

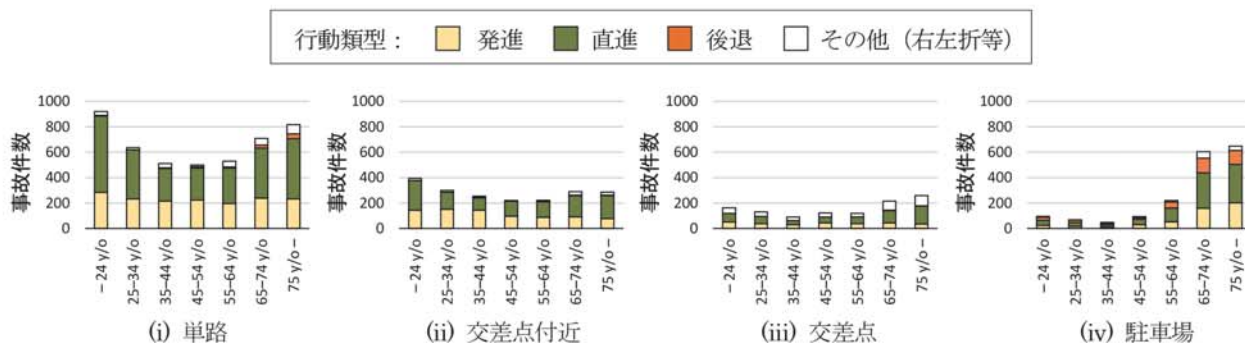


図3 ペダル踏み間違い事故 道路形状・行動類型による集計結果

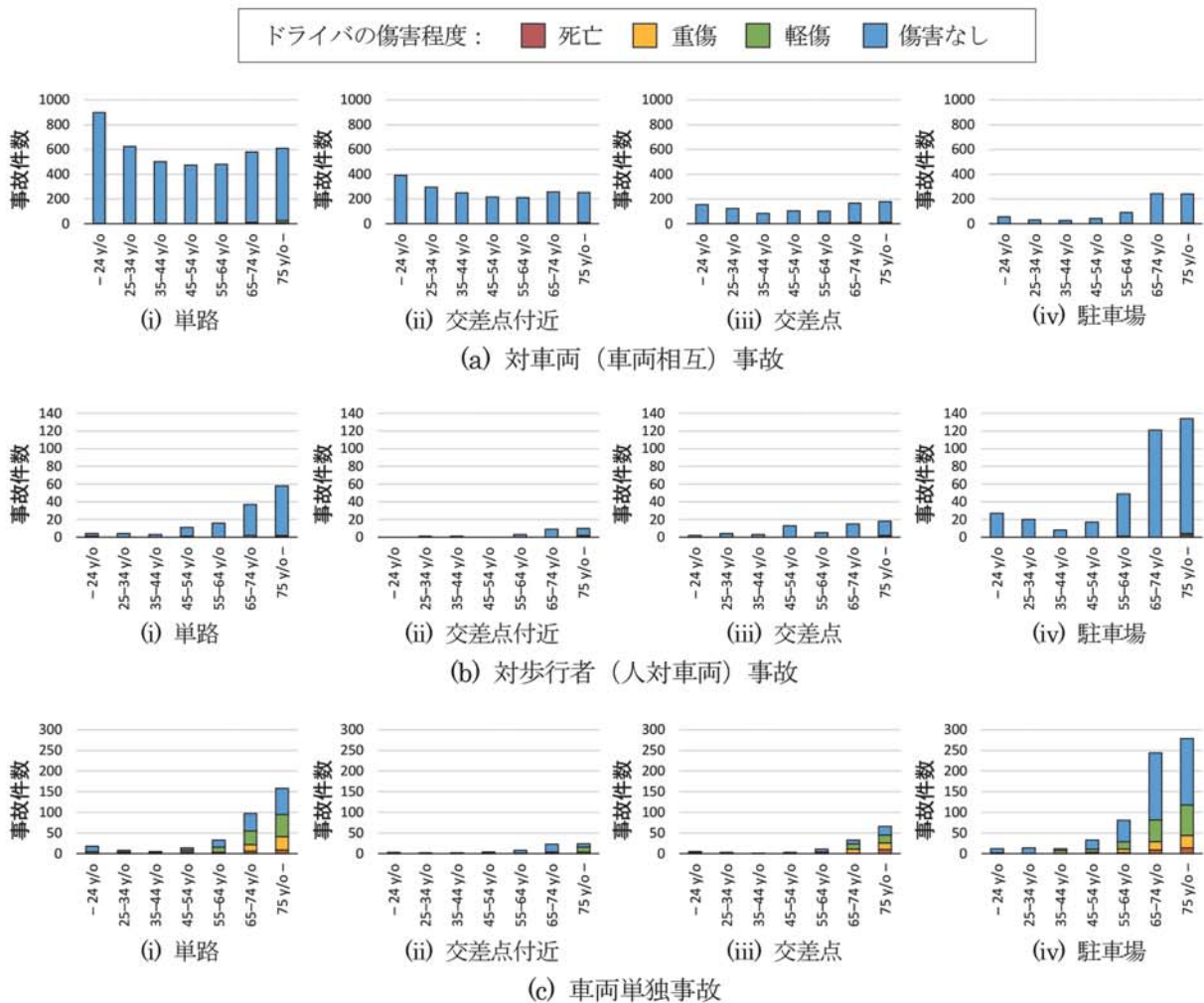


図4 ペダル踏み間違い事故 ドライバの傷害程度の分布

3. 4. 車両単独事故の詳細区分による

事故を起こしたドライバの傷害程度の分布

事故を起こしたドライバの傷害が深刻となるペダル踏み間違いによる車両単独事故の特徴を明らかにするため、車両単独事故の詳細区分（衝突相手の種別や路外逸脱の有無など）とドライバの傷害程度の集計を行った（図5）。事故件数が特に多い区分は、「家屋・塀」、「工作物その他」、「駐車車両」、「防護柵等」であった。ペダル踏み間違い事故に限らない車両単独事故全体では、「防護柵等」への衝突件数が最も多いとされているが^{4,5)}、ペダル踏み間違いを対象とした本調査では「防護柵等」よりも「家屋・塀」や「駐車車両」が多かった。この結果は、ペダル踏み間違いによる車両単独事故が駐車場で多く発生し（図4(c)）、駐車場に隣接する「家屋・塀」や駐車場内の「駐車車両」への衝突事故が多くなったことが要因と推察される。また、図5のドライバの傷害程度の分布から、「駐車車両」は死亡・重傷の割合が低く、「電柱（ポール等）」と「転落」は死亡・重傷の割合が高いことが明らかとなった。

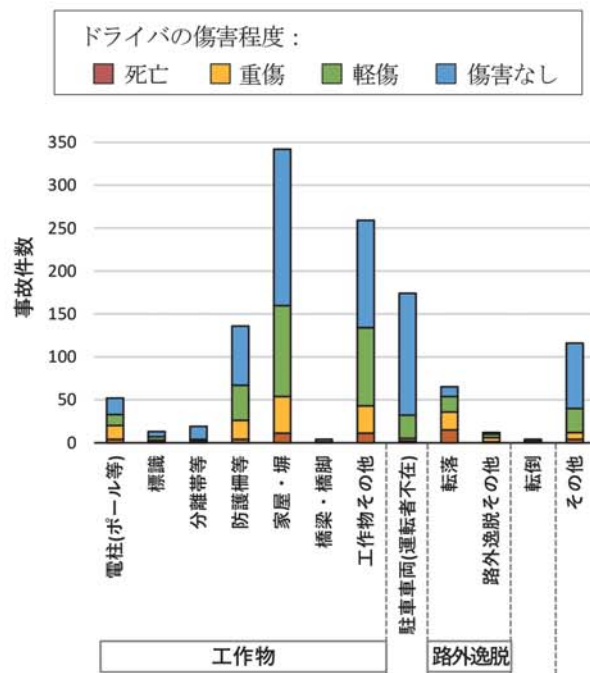


図5 ペダル踏み間違いによる車両単独事故
詳細区分によるドライバの傷害程度の分布

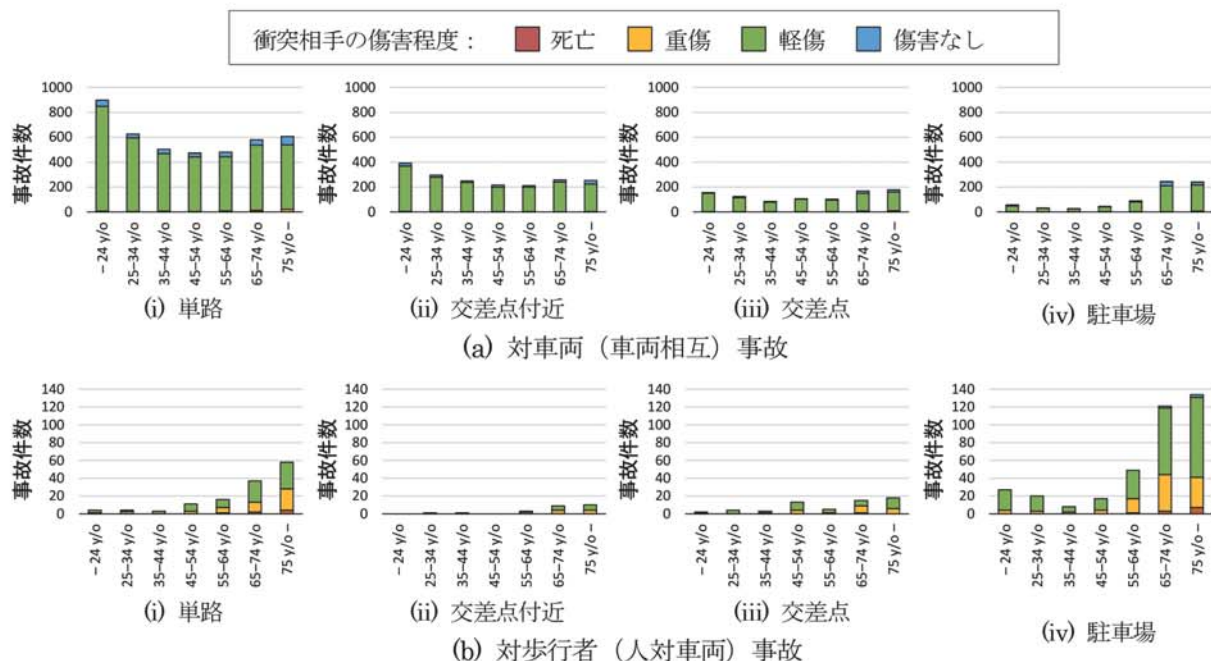


図6 ペダル踏み間違い事故 衝突相手の傷害程度の分布

3. 5. 衝突相手の傷害程度の分布

本節では、衝突相手の傷害程度の特徴を確認するため、(a)対車両、(b)対歩行者の事故類型について、道路形状、事故を起こしたドライバの年齢層、衝突相手の傷害程度による集計を行った（図6）。

図6(a)の対車両事故は件数が多いものの、衝突相手が軽傷以下となる割合が高い。一方、図6(b)の対歩行者事故では、特に高齢者による(iv)駐車場や(i)単路での事故が多く、衝突相手が死亡・重傷に至る件数が多い。

高齢ドライバのペダル踏み間違いによる事故件数が多かった車両単独事故においてドライバ自身の傷害が深刻になること（図4(c)）、対歩行者事故において相手歩行者の傷害が深刻になること（図6(b)）が、高齢ドライバのペダル踏み間違いによる死亡重傷事故が多いこと¹⁾の要因であると推定される。

4. まとめ

本研究は、高齢ドライバのペダル踏み間違い事故の発生状況を把握するため、交通事故の統計データを分析し、以下の知見を得た。

- ・ 高齢ドライバは運転時間が少ないにも関わらずペダル踏み間違い事故の件数が多く、駐車場での事故が多い
- ・ ペダル踏み間違いによる車両単独事故は、対車両事故や対歩行者事故の場合に比べ、事故を起こしたドライバ自身の傷害が深刻となる
- ・ ペダル踏み間違いによる車両単独事故では、家屋・

塀、防護柵、駐車車両への衝突事故の件数が多く、ポール等への衝突事故や転落事故では死亡・重傷の割合が高まる

- ・ ペダル踏み間違いによる対歩行者事故は、衝突した相手歩行者の傷害が深刻となる

以上のことから、ペダル踏み間違い事故の削減や傷害軽減のためには、本結果を踏まえ、予防安全装置（例えば、ペダル踏み間違い時加速抑制装置⁶⁾）の作動範囲を拡大し、普及させること等が望まれる。

参考文献

- 1) 交通事故総合分析センター，“ペダル踏み間違いによる事故～事故統計分析から多重衝突の実相に迫る～”，ITARDA Information, No. 139（2022）
- 2) 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>
- 3) 加藤洋子ら，“ペダル踏み間違い事故の発生状況に関するマクロデータ分析”，自動車技術会論文集，第54巻，第5号，pp. 901-907（2023）
- 4) 交通事故総合分析センター，“死亡事故率の高い自動車単独事故～危険なハンドルの無意識操作とは～”，ITARDA Information, No. 80（2009）
- 5) 交通事故総合分析センター，“自動車の工作物への衝突事故”，ITARDA Information, No. 82（2010）
- 6) 自動車事故対策機構，“ペダル踏み間違い時加速抑制装置”，https://www.nasva.go.jp/mamoru/active_safety_search/pedal_stepping_wrong.html

講演 10. 対向車前照灯がグレア感に及ぼす諸要因の解析とその対策

自動車安全研究部

※青木 義郎

加藤 洋子

関根 道昭

1. はじめに

令和3年交通政策審議会から報告された「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」¹⁾にて、対向車や後続車の前照灯に眩惑され、歩行者等の発見が遅れることに起因する交通事故対策の必要性が挙げられている。これまでの国際議論では、GRE傘下のVGL(Visibility, Glare and Leveling) IWGにて、眩しさ(グレア)に関する研究が複数報告されているが、加齢、光軸変化等がグレアに与える影響については十分に議論されていない。

日本は高齢化が顕著であり、高齢化社会を見据えた灯火に係る基準策定をリードしていく立場にある。本研究は、加齢等による運転視界の変化や、路面起伏による光軸変化が対向車照灯のグレア感に及ぼす影響を解析し、改善方法の検討を行った。

2. グレアの感じ方に与える要因の調査解析

2.1. 加齢がグレアの感じ方に与える影響

高齢ドライバーによる事故増加の要因の一つとして、視覚特性の変化が挙げられる。加齢に伴う水晶体の混濁度の増加などにより視覚機能は低下し、視覚情報が十分に認知されない可能性がある。

水晶体の混濁度により、高齢者は非高齢者に比べ眼球内光散乱によるグレア光幕輝度は2~3倍上昇し、グレアを感じやすいことが当研究所が過去に行った解析²⁾で示されている(図1)。

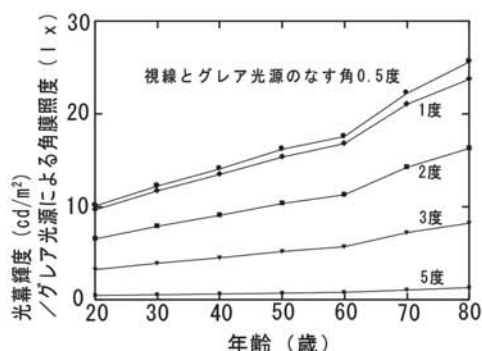


図1 加齢によるグレア光幕の変化

図1のグレア光幕のデータに基づき、歩行者横断中に対向車がその後方に停止している場合の運転視界を数値解析した結果をCGで表現した(図2)。なお歩行者は、高さ1.5m、直径0.3mの円筒形の形状、反射率80%として模擬している。

高齢ドライバーの場合、道路横断中の歩行者は対向車前照灯のグレア光幕に覆われ(蒸発現象)、そのコントラスト識別が困難になることが示されている。図3に歩行者とその周辺部とのグレア光幕を考慮した見かけ上の平均輝度を求め、そのコントラストを算出した結果を示す。若年層よりも高齢層の方が、コントラストが低下し、歩行者被視認性は悪化する。



(a) 非高齢ドライバー (b) 高齢ドライバー

図2 グレア光幕による歩行者の蒸発現象

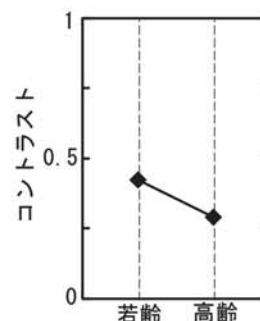


図3 蒸発現象によるコントラスト低下

2.2. 前照灯の配光によるグレア感の変化

走行ビームの利用は暗い夜道において歩行者の視認性を改善するが、その反面、対向車には不快グレアあるいは減能グレアを与える可能性がある。すれ違い走行時(図4)に前照灯の種類により、グレア感がどのように変化するかを(1)式³⁾のH.-J.Schmidt-ClausenとJ.Th.H.Bidelsのモデル式より解析した。視線方向は進行方向とする。なお、この不快グレア評価値Wは小さ

いほどグレア感は強まり、ドライバが耐えられる限界値は4という報告がなされている⁴⁾。

解析結果を図5に示す。走行ビームにおいて車間距離が約600m以下の場合、許容限界を超えるグレアが発生する。対向車の位置情報に基づき走行／すれ違いビーム自動切り替えやADBの利用により、運転視界への改善につながるものと考えられる。

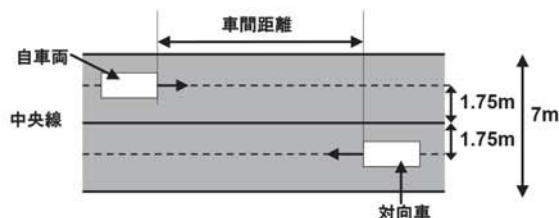


図4 道路設定条件

$$W = 5.0 - 2 \log \Sigma (E / ((1 + (L_h / C_{pl})^{0.5}) \theta^{0.46} C_{poo})) \quad (1)$$

E : ドライバの眼前照度(lx)

L_h : ドライバの順応輝度(cd/m²)

θ : ドライバの視線とランプ方向のなす角度(min)

C_{pl} : 4.0×10^{-2} C_{poo} : 3.0×10^{-3}

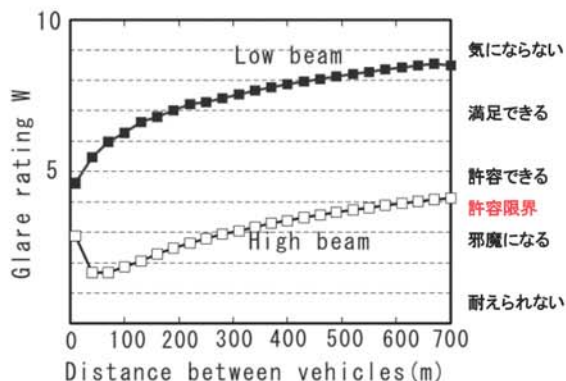


図5 車間距離によるグレア感の変化

2. 3. 前照灯の汚れによるグレア感の変化

自動車のすれ違いビームは、対向車ドライバに不快グレアを与えないようにカットオフライン（明瞭境界線）が水平以下になるよう規定されているが、前照灯のカバー面に雪や泥等が付着すると、光散乱によりカットオフラインがぼやけグレアを増加させる可能性がある。図6は降雪時2台追従走行時の後続車両前照灯の表面、図7は実車走行により雪等が付着したときのB50R（対向車ドライバアイポイント）の測定距離25mにおける照度測定値である。B50Rの上限値は0.57lxに規定されているが、その値を大



図6 降雪実路走行後の前照灯

きく上回り、対向車ドライバへのグレアが発生する可能性が示されている。

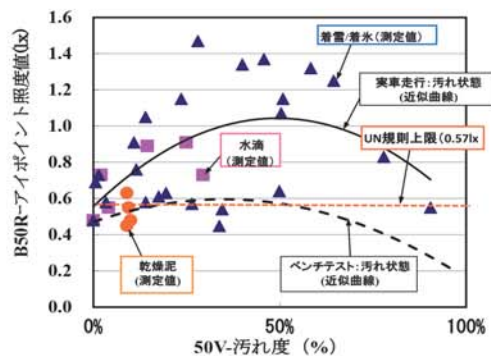


図7 前照灯の汚れ度とB50R（アイポイント）照度値

2. 4. レベリング変化によって発生するグレア調査

2. 4. 1. 目的

すれ違いビームのカットオフラインは水平以下に規定されているが、荷重により上向いた場合にグレアを与える可能性がある（図8）。グレアを防ぐため荷重により発生する光軸変動を補正するオートレベリングはGRE（国連灯火器分科会）にて国際基準化された。また最近、走行中の車両挙動に合わせてレベリング調整を行うダイナミックレベリングについての議論も始まり、技術的知見が必要とされている。

前照灯が対向車ドライバに与えるグレアの程度は道路起伏によっても変化し、坂の頂上付近などではすれ違いビームの場合でもグレアを与える可能性がある（図9）。本研究では、市街地を実車で走行し、走行中のピッチ角変動の測定結果から、グレアがどの程度発生するか解析することとした。

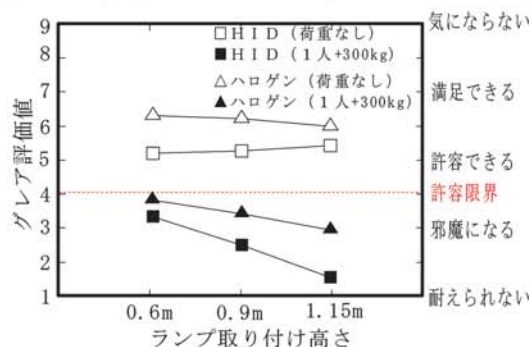


図8 荷重とランプ取り付け高さによるグレア感の変化



(a) 平坦路

(b) 起伏の多い道路

図9 道路起伏によるグレア発生例

2. 4. 2. 実験方法

試験車両（図 10：乗用車）の車両重心付近に傾斜センサーを設置し、ピッチ角、速度を計測しながら市街地を走行した（図 11）。対象とする道路は、首都圏の交通量の多い片側一車線の市街地道路とし、平坦路：高低差が少ない道路（勾配 1%未満）4 カ所、起伏の多い道路：大きな高低差を含む道路（勾配 1%以上）11 カ所において試験走行を実施した。

なお、対向車ドライバに与えるグレアは、道路起伏によるピッチ角の変動に加え、車両挙動による一時的なピッチ角の変動が影響すると考えられることから、本研究は両者を合わせたピッチ角を計測した。



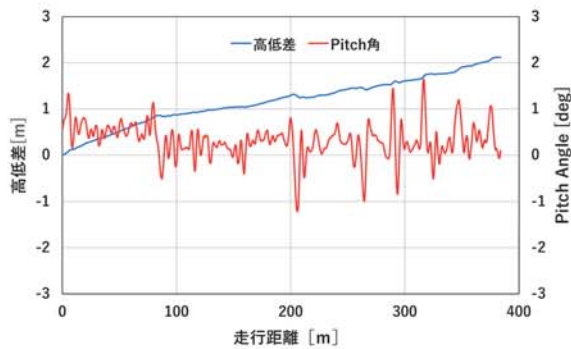
図 10 実験車両



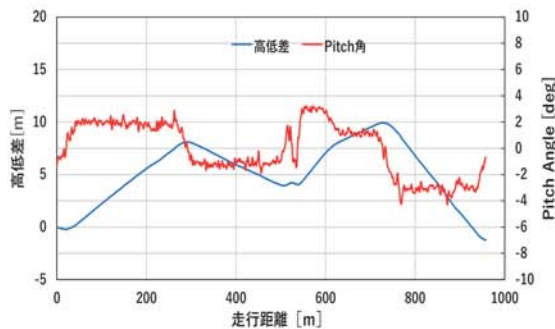
図 11 市街地走行試験状況

2. 4. 3. 計測結果

計測データの走行距離とピッチ角から道路の高低差を求めた。平坦路および起伏の多い道路の高低差とピッチ角（+は上向き、-は下向き）の一例を図 12 に示す。平坦路でも車両挙動などにより、ピッチ角が一時的に±1 度程度に変動することを確認した。



(a) 平坦路



(b) 起伏の多い道路

図 12 走行路の高低差及びピッチ角

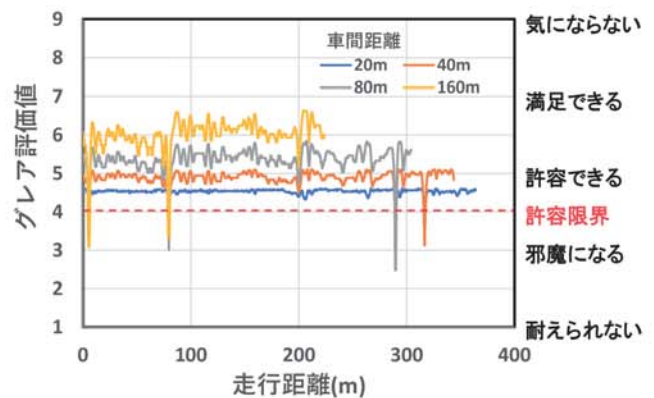
2. 4. 4. グレア解析

(1) 解析手法

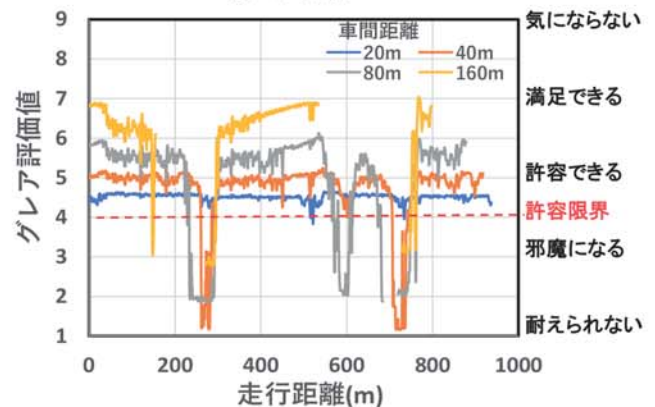
自車両すれ違いビームの配光から対向車ドライバの眼前照度を算出する際、図 12 に例示した道路の高低差とピッチ角を考慮し、走行位置ごとのグレア評価値を(1)式により算出した。ここでは、すれ違いビームの高さを 0.6m、アイポイントの高さを 1.2m、車間距離を 20、40、80m、160m としている（図 4）。なお、本解析は曲線路であっても直線路と仮定し起伏のみを考慮した。

(2) 解析結果

以上の方法により算出されたグレア評価値を図 13 に示す。平坦路においても、一時的な車両挙動によりピッチ角が変動した際に、一部の車間距離条件で、許容限界を超えるグレア（グレア評価値 4 以下）が一時的に発生することが示された。起伏の多い道路では、図 12(b)の登り坂から下り坂に変わる区間において、多くの車間距離条件で許容限界を超えるグレアが発生することが示された。これらの傾向は、他の平坦路 3 カ所、起伏の多い道路 10 カ所でも確認できた。



(a) 平坦路



(b) 起伏の多い道路

図 13 すれ違い走行時における
対向車ドライバのグレア評価値

(3) ダイナミックオートレベリング効果評価

ダイナミックオートレベリングの使用を仮定した場合のグレア評価値を図14に示す。ここで言うダイナミックオートレベリングとは、加重だけでなく路面凹凸や車両挙動に合わせて常に光軸の水平維持を行う機能を想定する。

平坦路ではダイナミックオートレベリングによりグレア評価値の走行位置（走行距離）による変動が小さくなる（図14(a)）。

起伏の多い道路では、下り坂が続く場合（走行距離750m以降など）、ダイナミックオートレベリングにより対向車へのグレアが起りやすくなることが示された（図14(b)）。

起伏の多い道路11カ所の全経路での許容限界を超えるグレア評価値（4以下）の発生比率を表1に示す。起伏の多い道路で下り坂が続くケースでは、ダイナミックオートレベリングありの場合にグレアが起りやすく、許容限界を超えるグレア発生比率が増えることが示された。グレア発生を抑えるためには、水平維持だけではなく、進行方向の道路の傾斜状況に合わせた適切な仰角調整が必要になるものと考えられる。

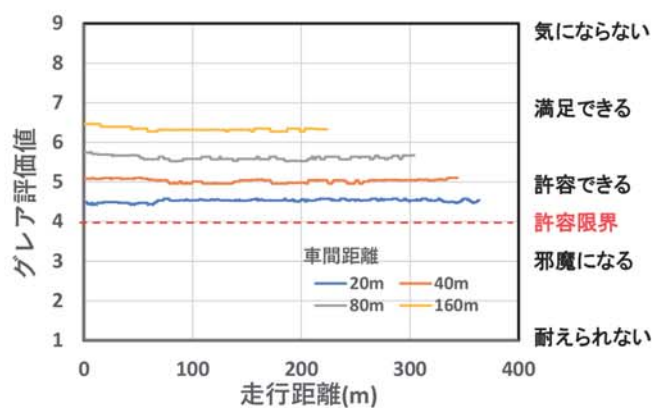
3. おわりに

この研究では加齢等によって対向車前照灯のグレアがどのように変化し、歩行者の被視認性にどのように影響するか説明した。また道路起伏に伴うピッチ角の変化がすれ違いビームのグレアにどのように影響するのかを調査するため、実車走行による計測結果に基づくグレア発生のシミュレーション解析を実施した。その結果、平坦路であっても許容限界を超えるグレア（グレア評価値4以下）が一時的に発生する場合があり、起伏の多い道路では、登り坂から下り坂に変わる区間において、多くの車間距離条件で許容限界を超えるグレアが発生することが示された。

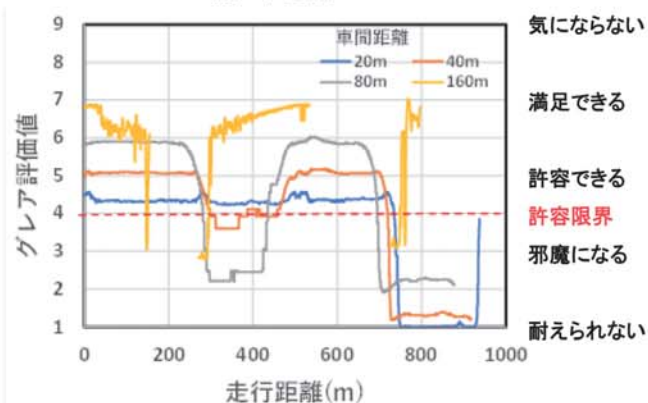
今後、不快グレアが運転に与える影響やグレア改善方法についても検討を行う。なお本稿は、2023年度のJASIC（自動車基準認証国際化研究センター）の委託試験研究の一部を報告したものである。

参考文献

- 1) 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”，p.45 (2021)



(a) 平坦路



(b) 起伏の多い道路

図14 ダイナミックオートレベリング使用時のグレア評価値

表1 許容限界を超えるグレア評価値（4以下）の発生比率（起伏のある路面）

	車間距離			
	20m	40m	80m	160m
レベリングなし	2.01%	11.25%	13.76%	8.26%
レベリングあり	27.84%	33.23%	35.32%	31.45%

- 2) 科学技術庁研究開発局，“高齢社会における製品・生活環境等のユニバーサル化に関する研究成果報告書”，pp.202-215 (2002)
- 3) H. -J. Schmidt-Clausen, J. Th. H. Bindels, “Assessment of Discomfort Glare in Motor Vehicle Lighting”, Lighting Research and Technology, Vol.6, No.2, pp.79-88 (1974)
- 4) 益子仁一ら，“可変配光前照灯（AFS）が対向車ドライバに与える幻惑状況の解析”，交通研究発表会講演概要，pp79-84 (2003)

講演 11. リコール技術検証部における業務の概要について

リコール技術検証部

真下 一則

1. まえがき

交通安全環境研究所では、国土交通省と連携して、自動車に関する安全性の確保、環境の保全のための取り組みについて、自動車の設計から使用段階までを総合的に対応するなど、国の施策に対して一体となった貢献を行っている。

リコール技術検証部では、使用段階の自動車に関して、国土交通省物流・自動車局審査・リコール課と連携して、道路運送車両法において定められているリコール制度に基づき、自動車メーカー等による自動車の設計又は製造に起因する不具合へのリコール等の対応が適切に行われるよう、業務を行っている。

リコールとは、自動車又はタイヤ、チャイルドシートについて、道路運送車両の保安基準に適合していない、又は、適合しなくなるおそれがある状態で、その原因が設計又は製作過程にあると認められるときに、自動車メーカー等が、保安基準に適合させるために必要な改善措置を行うことをいう。

本稿では、これらのリコール技術検証部における業務の概要について紹介する。

2. リコール技術検証部の業務の概要

リコール技術検証部では、国土交通省物流・自動車局審査・リコール課と連携して、ユーザーからの自動車に関する不具合情報等を分析するとともに、これらの不具合が、自動車の設計又は製造に起因して法令上の基準（道路運送車両の保安基準）に不適合となるおそれがあるものであるかどうか、また、そうである場合に、どのような対応を行うことが妥当であるかなどについて、技術的な検証（以下「技術検証」という。）を行うことを主な業務としている。

以下、これらの業務の各段階における対応について概要を説明する。

2. 1. 不具合情報分析

2. 1. 1. ユーザーからの不具合情報等の分析

リコール技術検証部では、国土交通省において収集した、ユーザー等からの自動車に関する不具合情報、メーカーから報告された事故・火災情報及び不

具合情報、警察や消防等の関係機関からの不具合情報について、国土交通省からの委託を受けて個別事案及び傾向の分析などを行っており、その件数は表1のようになっている。

表1 不具合情報分析件数推移

情報の種類	R1	R2	R3	R4	R5
ユーザーからの不具合情報	3,458	3,811	3,509	3,231	3,162
メーカーからの事故・火災情報及び不具合情報	4,787	4,504	5,894	5,665	5,427
その他（警察、消防、消費者庁等）	702	552	402	429	366
計	8,947	8,867	9,805	9,325	8,955

2. 1. 2. 事故・火災車両の調査

自動車の不具合原因が設計・製造に起因するかどうかの判断材料を迅速に収集するため、実際に事故や火災が起きた車両について確認する車両調査を国土交通省等の行政機関と連携して実施しており、その調査件数は表2のようになっている。

また令和5年度より、当研究所環境研究部の研究者の協力を得てEVバッテリー火災車両の調査のポイントの作成に取り組んでいる。

表2 事故・火災車両の調査件数の推移

年度	R1	R2	R3	R4	R5
事故	15	10	22	23	17
火災	48	43	47	42	40
合計	63	53	69	65	57

2. 1. 3. 排出ガスに係る不具合・不正の調査

排出ガス低減装置に関する不具合や、不正ソフトの使用の有無を確認するため、図1の車載式排出ガス測定システム（PEMS）を用いて、市場からの抜き取り調査（サーベイランス）を実施している。

しかしながら、従来のPEMSは比較的大きく確実に固定する必要があるため、かつ、排気管に流量計やセン

サを備えたアタッチメントを接続するため溶接加工を施さなければならない。

今年度、軽量コンパクトで排気管の加工も不要な図2の小型車載式排出ガス測定システム（ミニ PEMS）を購入し有用性を検証しているところであり、これまでよりも多くの車両を測定することが可能になると期待している。

ミニ PEMS での計測で疑義が生じた車両については、従来の PEMS を搭載しての路上走行やシャシーダイナモメータによる排出ガス測定を行い、双方の排出ガス値に乖離がないかを確認していく。



図1 車載式排出ガス測定システム（PEMS）



図2 小型車載式排出ガス測定システム（ミニ PEMS）

2. 1. 4. 検査時の不具合情報の活用

自動車の検査時における不具合情報については、自動車技術総合機構の検査部門と連携し、検査部門で発見した不具合情報を共有している。

また、検査時の車両部位別の不適合率が高い自動車を抽出し、把握することにより、ユーザー等からの不具合情報との関係を確認できるようにしている。

2. 2. 技術検証

国土交通省では、ユーザー等から提供された自動車に関する不具合情報について、リコール技術検証部での分析結果を踏まえつつ、メーカーでの調査結果の報告を求め（道路運送車両法（以下「車両法」という。）63 条の 4）、その報告等の分析により不具合が設計・製造に起因するおそれがあると判断した場合、リコール技術検証部へ技術検証の依頼が行われる（車両法 63 条の 2）。

リコール技術検証部では、国土交通省からの依頼により、メーカーから国土交通省に報告された上記の不具合情報に関する調査結果等について、技術検証を行い、その結果を国土交通省へ通知する。技術検証のためにメーカーへの確認が必要な場合は、国土交通省を通じて再度メーカーからの調査報告を求めることになる。

このようにして不具合発生事案に関して可能と考えられる確認が一通り行われたと認められる場合、技術検証を終了し、国土交通省にその結果を通知する。

メーカーからリコール届出が出された不具合事案に対しても、再発等が疑われる場合やリコールの対象範囲の妥当性が疑われる場合には、不具合に関して実施する場合と同様に、国土交通省からの依頼を受けてリコールの妥当性に関する技術検証を行う（車両法 63 条の 3）。

過去 5 カ年の間に行った技術検証の件数は表 3 のようになっている。

メーカーによるリコール等の市場措置に関して、リコール技術検証部における技術検証が貢献してきている。

表 3 技術検証の実績

年度	R1	R2	R3	R4	R5
技術検証件数	430	307	241	275	220
リコールに繋がった技術検証件数	17	21	16	9	17
（参考）メーカーから国土交通省へのリコール届出件数全体	415	384	369	383	349

2. 3. 技術検証のための実験の実施

リコール技術検証部では、技術検証の過程において必要となった場合は技術検証のための実験を行って

いる。また、技術検証に必要な知見の蓄積を目的とした実験にも取り組んでいる。これらの実験（以下「技術検証実験」という。）のテーマ数の推移は表4のとおりであり、毎年テーマ数は10件程度となっている。

その中で、重点的に知見を蓄積しようとして取り組んでいるものとしては、先進安全自動車※に関する実験と事故・火災車両の調査に関する実験が挙げられる。

表4 技術検証実験のテーマ数の推移

年度		R1	R2	R3	R4	R5
実験テーマ総数		10	10	11	10	11
内訳	個別事案の検証	3	2	1	2	4
	知見の蓄積	7	8	10	8	7

※「先進安全自動車(ASV : Advanced Safety Vehicle)」とは、先進技術を利用してドライバーの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車のことをいう。

2. 3. 1. ASVに関する実験

ASV については、運転支援技術が高度化した自動運転レベル2の運転支援システム(システムが前後及び左右の車両制御を実施。)を搭載した自動車が近年急速に普及している。

これらの運転支援システムは、ドライバーによる運転の支援を行うものではあるものの、その挙動によっては交通事故につながるおそれがある。このため、各自動車メーカーの車両に搭載される運転支援システムについて各種実験を行い、その特性を把握していくこととしている(図3、図4)。



図3 自動運転レベル2運転支援システムの調査
(工事現場を模したカラーコーンに対する検知と反応を調査)



図4 自動運転レベル2運転支援システムの調査
(前走者や右折車両に対する検知と反応を調査)

2. 3. 2. 事故・火災車両の調査に関する実験

事故・火災車両の調査では原因の特定に至らなかった事案が少なからずある状況である。このような状況を踏まえ、事故・火災の原因究明のための知見を蓄積すべく、実証実験を実施してきている。

令和5年度からは、電子制御ブレーキシステム(EBS)搭載車両であってブレーキ多用によるフェード現象や加熱が原因と推定される事故・火災が複数あったことから、EBS搭載車両を用いて操作感、制動力及び各部温度などの変化や警報のタイミングを定量的に把握するための実験を行っている。

2. 4. 自動車の適切な使用の啓発ビデオの製作

ユーザーから提供される不具合情報において、ユーザーが自動車の使用に関して適切に認識できていないことによる事故等の事案が発生する懸念があることがうかがえることから、自動車の機能・性能に関する確認のための実験を行うとともに、その結果を踏まえてユーザーに対して懸念点と自動車の適切な使用方法を理解してもらえようとするための伝え方の検討を行い、「ユーザーへの啓発ビデオ」としてまとめている。令和5年度は、電気自動車の走行用バッテリーの特性や取扱いに関する啓発ビデオをまとめた(図5)。

これらの啓発ビデオは国土交通省のホームページで公開されている。



図5：令和5年度にまとめたビデオの1シーン

2. 5. 海外の不具合対応機関との連携

自動車に関する不具合情報分析、技術検証等のリコールに係る業務を効果的かつ効率的に進めるため、海外におけるリコール関係機関との意見交換等を行うこととしている。

国土交通省と連携しつつ、日本と同様に自動車メーカーが多い国の当局との情報共有、意見交換等を行っていく。

3. 終わりに

近年、自動車には、社会的なニーズから新技術が次々と導入され、またそれらの普及率が急速に高まっている。例えば衝突被害軽減ブレーキの乗用車（新車）については、装着割合が既に令和元年には 93.7%に達し、令和 3 年 11 月には国産車への義務付けが開始されている。リコール技術検証部としては、これまでに以上に先進技術に対応した検証を行えるようにしていくこととしている。

このような新たな技術に関する不具合情報の収集・分析をより適切に行えるようにすることで、安全性の確保、環境の保全に向けて尽力していきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 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」（令和 3 年 6 月 28 日）

自動車認証審査部における審査の概要について

自動車認証審査部

鈴木 延昌

1. はじめに

自動車を購入し使用する際は、その自動車が安全面や環境面での基準に合致していることを運輸支局等で行われる検査により一台一台確認することになっているが、この検査を効率的に行うため、自動車、共通構造部及び自動車装置（以下「自動車等」という。）が安全・環境基準に合致しているか否かを販売前の段階で確認する「型式指定制度」が設けられている。

自動車認証審査部（以下「審査部」という。）は、型式指定制度の一環として、自動車等の安全・環境基準への適合性の確認を行う機関であり、近年は、まだ基準が定められていない先進技術の性能評価も行っている。

自動車等の審査は、基準に適合しない自動車が市場に出回ることを防止することを目的としており、厳正に行うことは当然であるが、併せて、自動車は技術革新の進展が著しく、また、国際的な流通を念頭に置いた商品であることに鑑み、合理的に行うことも必要である。

ここでは、昨今の審査部の取組を概説する。

2. 自動車認証審査部の業務実績

2. 1. 審査型式数等の実績

2023 年度の審査部における審査型式数は、自動車にあつては 1,724 型式（前年比 396 型式減）、自動車装置にあつては 921 型式（前年比 146 型式増）となっている（図 1）。

このうち、国連の「車両等の型式認定相互承認協定（1958 年協定）」に基づく、日本政府による装置型式指定認可証（E43）発行については、概ね国内で使用される突入防止装置及び大型後部反射器を除くと、2023 年度は 506 件（前年度比 167 件増）であった。

また、メーカーの設計・開発をより円滑に進めるため、審査業務に先立ち試験等を行う先行受託試験

については、2023 年度は 310 件（前年比 57 件増）の受託があつた。

2020 年度は燃費・排出ガス規制の JC08 モードから WLTC モードへの切替に対応するための申請が多かつたこと、また、2021 年度からはトラック・バス等が共通構造部型式指定制度に移行したことから、2021 年度以降については、それまでと比較して審査型式数が減少したと考えられる。

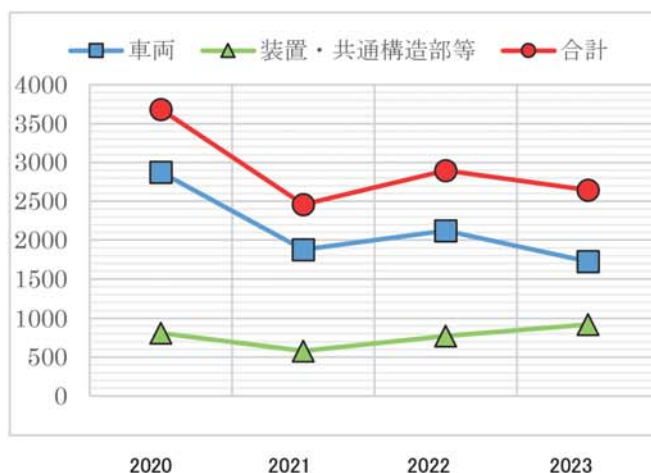


図 1 審査型式数の推移

2. 2. 新規導入基準の審査

新たに導入されることとなった以下の基準に関して、規制適用日に先立って審査を開始した。

- ・直前直左確認装置（協定規則第 166 号）
- ・大型車の直接視界（協定規則第 167 号）

2. 3. 先進安全技術の性能評価試験実績

政府が推進している「安全運転サポート車」の普及啓発のため、2018 年度に創設された先進安全技術に係る国の性能認定制度に基づき、性能評価試験を審査部にて実施している。当初導入された乗用車の衝突被害軽減ブレーキ（対車両要件）に加え、2020 年度より、対歩行者要件、ペダル踏み間違い急発進抑制装置の性能認定要件が新たに追加された。これ

らの試験について、2023 年度の実績は申請自動車メーカー数は4社 評価型式数39型式であった。



図2 衝突被害軽減ブレーキ性能評価試験の様子

2. 4. 特定改造等に係る審査の実績

2020 年 11 月に特定改造等許可制度が施行され、申請者が特定改造等を適確に実施するに足りるかどうかを審査する能力審査、プログラム等の改変により改造された自動車の保安基準適合性審査を開始した。

2023 年度は特定改造等能力審査を4件、特定改造等に係る保安基準適合性審査を57型式実施した。（※特定改造とは自動運行装置等のプログラムの改変・改造により自動車が保安基準に適合しなくなるおそれのあるもの）

3. 審査体制の構築に係る取組

審査部では、中立・公正な審査を実施するため、基準の制定及び改正等の機に、審査手法の確立、職員の研修、さらに必要に応じて施設の整備を行い、審査体制を構築している。

3. 1. 粒子数(PN) 規制導入への対応

自動車排出ガス専門委員会及び微小粒子状物質等専門委員会において、自動車におけるPM2.5低減対策について、PM粒子数(PN)規制を導入することが適当であるとの方針が共有された。その後、環境省中央環境審議会に対してなされた第14次答申（令和2年8月）において、PN規制の導入が提言され、適用開始時期（軽油を燃料とする自動車は令和5年末まで等）が定められ、道路運送車両の保安基準改正により、令和5年10月以降に新たに指定を受けた自動車より順次適用されることとなった。

本PN規制基準対応のため、既存の排出ガス試験

装置にPN測定のための試験装置を追加で導入することで、自動車の走行時に排出されるPN数を測定できるよう整備を行った。さらに、同試験に係る職員研修を通じて審査を適切に実施できるよう準備を進めた。これらの取り組みにより、審査体制の強化に加え、申請者の利便性向上のための取り組みを行った。



図3 PN試験装置に係る研修の様子

3. 2. 審査制度の国際支援の取り組み

我が国は、WP29に参画し国際基準調和に積極的に取り組んでおり、審査部も認証試験の知見を活かして当該活動に参加している。

さらに、アジア諸国の国際基準調和への参加促進を行う国土交通省を支援するため、東南アジア地域において認証試験方法手順及び審査方法等に関する講義を行うとともにアジア地域官民共同フォーラムへの参加により、これらの国々における認証制度の理解促進に努める活動を行った。

4. まとめ

自動運転技術等の複雑で高度な新技術の導入・普及やサイバーセキュリティをはじめとする新たな視点からの基準の導入に伴い、審査に必要となる知識・技術レベルが高まっている。また、基準の国際調和やIWVTAに基づく相互承認など、審査業務の国際化の必要性も増しているところである。

このような中、審査部は、適切な審査体制の保持・整備を通じて業務を確実に実施し、認証審査制度の信頼性の向上及び自動車の安全確保、環境保全等を図っていくとともに、自動車産業の成長にも十分貢献できるよう努めていく所存である。

講演 12. サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート法規におけるプロセス審査の取組

自動車認証審査部 情報セキュリティ審査センター ※小林 一樹 榎本 恵

1. はじめに

近年、自動車制御のソフトウェア化、無線通信の高速化に伴いコネクティッドカーの普及が進んでいる。車両外との通信によるセキュリティリスクが車両の安全性を脅かす恐れがあるため、国連の自動車基準調和世界フォーラムにおいて、自動車のサイバーセキュリティ基準が検討された¹⁾。その結果 2020 年 6 月に UN No.155 (以降、R155) サイバーセキュリティ (以降、CS) およびサイバーセキュリティマネジメントシステム (以降、CSMS)²⁾、UN No.156 (以降、R156) ソフトウェアアップデート (以降、SU) およびソフトウェアアップデートマネジメントシステム (以降、SUMS)³⁾が採択された。

国内では令和 2 年 (2020 年) 8 月に自動車の特定改造等の許可に関する省令が施行され、2021 年 1 月に R155 および R156 の要件が引用された。これらの迅速な施行により、我が国は他の 1958 年協定加盟国 (以降、58 協定国) に比べ、マネジメントシステム (以降、MS) の法規適用時期が先行した。

これを受け、交通安全環境研究所は 2020 年 7 月に MS 審査を担う情報セキュリティ審査センター (以降、CST センター) を設立した。

2. 基準概要

R155、R156 は MS に関する要件と車両型式に関する要件で構成されている。

CSMS に関する要件では、管理体制、リスクアセスメント・対策、セキュリティテスト、サプライヤ管理、インシデント管理といったプロセスが自動車メーカーに対して要求されている。一方、車両に対し、CSMS に基づいたリスクアセスメント、セキュリティテスト、サプライヤ管理の実施などが要求されている。

SUMS では、SU 対象のソフトウェアバージョン管理、SU 対象車両の特定、SU による相互依存性・互換性などの確認、運転中の SU の安全性確認といったプ

ロセスが要求される。また、車両要件には SUMS に基づいて管理されたソフトウェアだけが更新され、無線通信による SU が正しく、安全に実施される仕組みであることなどが定められている。

CSMS、SUMS とともに認可後の有効期限は 3 年であり、自動車メーカーは、要求されるプロセスが維持されていることを 3 年おきに審査される。

R155、R156 の要件は、明確なクライテリアが存在しない。サイバー攻撃手法、ソフトウェア更新のための通信技術などは進化し続けることから、対策の正解を定めることができないためである。よって、要件適合性の評価は、各認可当局が判断することとなる。そのため、各認可当局の判断に差が出る可能性がある。そこで、インフォーマルグループで要件および要件のエビデンスの明確化を目的とした解釈文書^{4,5)}が作成された。さらに、R155 においては、認可当局は CSMS の判定基準を国連のデータベースへアップロードすることが要求されており、58 協定国間で情報共有が可能な制度となっている。

3. 国内の取組

国内では、2019 年 6 月から自動車基準認証国際化研究センターにおいて、CS/OTA 国内採用ワーキングが開催され、官民において R155、R156 の要件の共通理解を図り、結果を審査マニュアルとしてまとめた。CSMS、SUMS の審査マニュアルには、要求されるプロセスに含むべき手順、アウトプットの概要、提出書面などが記載されている。

また、R156 の SUMS が要求する一連のプロセスの実行結果である市場の車両への SU は、国内において特定改造と定義し、事前許可制度を定めている。

4. CST センターの取組

4. 1. プロセス審査への準備

CSMS、SUMS の認証審査では、自動車メーカーの組織において、R155、R156 が要求するプロセスが体系

的に構築され、運用されていることを確認する。一般的にプロセスとは、インプットから意図した結果を生み出す、相互に関連する一連の活動と定義され⁶⁾、その活動とは、インプット、作業の手順とその条件、手順通り実施するための教育、アウトプットの確認、必要に応じた処置である。プロセスを適切に管理することにより、製品がニーズを満たすことをプロセス保証といい、これを有効にするためにはプロセスを分解し、プロセス保証の連鎖を実現する必要があるとしている。

これらのことから、CST センターでは、CSMS、SUMS プロセスの分解能は、自動車メーカーの組織構成に依存することが想定されるため、一つの部門が実施または管理する範囲と考えた。さらに R155、R156 の解釈文書にはプロセスに含むべき事項が挙げられているため、これらを分析し、網羅されるよう要件ごとにチェック項目を定め、これを用いて申請者の提出書面から、プロセスの構築状況を確認した。

また、プロセスの実在と運用は申請者へのインタビューで確認することとした。分解されたプロセスの実際の活動と、プロセス間の関連性を質疑応答した。R155 の解釈文書には、認証機関への要件のひとつに、ISO/IEC 27001 への準拠が挙げられている。そのため、CST センターでは、2019 年にこの認証を受け、その際の経験が MS 審査の参考となった。

4. 2. MS 審査を終えて

書面審査においては、申請者の書面にチェック項目が明文化されている場合は問題がないが、前後のプロセスやシステムにより手順やプロセスが暗黙知となっている場合や自動化されている場合の要件確認に時間を要した。CST センター内でのレビューを重ね、不明点を申請者に問い合わせ、理解を深めることで解決した。

審査対象となった自動車メーカーの多くは、CSMS は ISO/IEC 21434、SUMS は ISO/IEC 24089 に準じ、各社の特徴をふまえたプロセスを構築していた。

4. 3. これからの取組

CSMS、SUMS の初回審査では、プロセスを構築した後、そのプロセスに基づく車両開発を予定している自動車メーカーも少なくなかった。よって、継続審査では、プロセスの継続的な実施の確認に重点を置く。また、MS の PDCA サイクルが回っていることを確認

するため、プロセスの変化点をチェック項目に追加する予定である。

5. 今後の課題

CSMS、SUMS の基準はプロセス保証の考え方をふまえ、プロセス要件を定義している。これは、車両型式に対する要件のみを定めた従前の UN 規則と大きく異なる点である。プロセスを要件としている理由として、サイバーセキュリティ、無線通信の技術は日進月歩であり、車両に搭載すべき軽減策および、SU システムが定められないからである。

同様に、車両に搭載する機能が特定できないケース、例えば、機械学習により振る舞いを決定するシステムについても、プロセスを要件とすることが妥当である。

このほか、振る舞いは有限であるものの、機能が作動する条件が多岐に渡り、全てのケースを型式認証時に確認することが非効率である場合もプロセス審査の有効性が認められる。

自動車の技術が多様化する中で UN 規則にプロセス要件が増え、車両そのものに対する認証試験だけでなく、車両が開発されるプロセスに対する審査が増えていくことが想定される。そこで、自動車認証審査部では、CSMS、SUMS におけるプロセス審査のノウハウを他分野の認証試験に生かしていけるよう教育、情報共有を進めていく。

参考文献

- 1) 新国 哲也, “国連自動車基準調和世界フォーラム (WP29)における自動車のサイバーセキュリティ基準の解説”, 自動車技術会論文集, Vol.52, No.1, pp. 208-212 (2021)
- 2) ECE/TRANS/WP.29/2020/79, UNECE WP.29 181st (2020)
- 3) ECE/TRANS/WP.29/2020/80, UNECE WP.29 181st (2020)
- 4) WP.29-182-05, UNECE WP.29 182nd (2020)
- 5) WP.29-182-06, UNECE WP.29 182nd (2020)
- 6) JSQC Std 21-001:2015, “プロセス保証の指針”, 日本規格協会 (2015)

ポスターセッション

①ディーゼル貨物車の NOx 浄化装置である尿素 SCR 触媒の使用過程における性能把握に関する研究

環境研究部

※山本 敏朗

1. まえがき

地球温暖化対策として、自動車の電動化が注目されている。しかしながら、大型重量貨物車の電動化においては、現状レベルの積載重量及び輸送距離を維持することが難しいことから、短期間での電動車等への転換は困難であると考えられる。このことから、高効率ディーゼルエンジンの開発は継続され、その際には排出ガス中の窒素酸化物 (NOx) 低減対策が必須となる。現在 NOx 低減技術の主流は尿素水を還元剤とした NOx 選択還元触媒システム (尿素 SCR システム) である。尿素 SCR システムとは、排気管に噴射した尿素水の熱分解及び加水分解により生じるアンモニア (NH₃) を還元剤として、排出ガス中の NOx を還元して窒素 (N₂) と水 (H₂O) に分解する選択式還元触媒 (SCR 触媒) 等により構成される触媒システムである。尿素 SCR 触媒は、数種類存在するが、エンジン始動時の低温活性が高い銅 (Cu) 系ゼオライト触媒が現在の主流である。触媒は、積算走行距離の増加に伴い性能劣化することが避けられないため、長距離走行後の排出ガス浄化性能確保の重要性が増している。現在、重量車の積算走行距離は 100 万 km 超となる場合もあるものの、尿素 SCR 触媒の使用過程での性能変化等に関する知見が少ない。このことから、本研究では、尿素 SCR 触媒の使用過程での NOx 浄化性能の把握を目的として、運送事業用の平成 28 年排出ガス規制適合のディーゼル貨物車に、NOx センサ、NH₃ センサ等の排気管直挿型センサで構成される車載型排出ガス分析装置 (SEMS: Sensor-based Emissions Measurement System)¹⁾等を装着し、同車両搭載の尿素 SCR 触媒 (Cu 系ゼオライト触媒) の NOx 浄化性能の変化を、シャシダイナモメータ試験及び実路走行試験により、6 年間に渡って継続的に調査を行っている。調査に当たっては、シャシダイナモメータ試験により NOx 浄化性能に影響を及ぼす要因について分析し、実路走行試験ではその要因に着目することにより、使用過程において SCR 触媒の NOx 浄化性

能の変化を把握することが可能かどうかを探った。本報では、積算走行距離の増加を伴う使用過程において触媒浄化性能に影響を及ぼす要因について報告する。

2. 実験方法

尿素 SCR 触媒における NOx 浄化性能の調査には、運送事業者所有の中型貨物車 (平成 28 年規制適合、車両総重量 7.8t、EGR 及び尿素 SCR システム搭載、積算走行距離 126,000km~369,000km) を用いた。同車両に、NOx センサ (限界電流型 ZrO₂ センサ)、NH₃ センサ (混成電位型 ZrO₂ センサ)、排気温度センサ等で構成される SEMS を装着し、通常運送業務の中で、NOx 濃度、NH₃ 濃度、排出ガス温度、走行条件等のデータを収集した。尿素 SCR 触媒の NOx 浄化性能の評価には、「NOx 浄化率」、「空間速度」等を用いた。NOx 浄化率は、SCR 触媒の前後の NOx 濃度値あるいは NOx 質量値から、触媒で低減された NOx の割合として求めた。空間速度は SCR 触媒に流入する排出ガス流量を触媒容積で除算し、触媒での反応時間を規定する指標として用いた。なお、SCR 触媒前の NOx 濃度データは、触媒の上流側の排気管に取り付けられた尿素水噴射制御用 NOx センサの信号から取得した。

3. 実験結果及び考察

試験車を用いてシャシダイナモメータ試験を行い WHVC モード及び JE05 モード走行時の排出ガスデータ等を収集し、尿素 SCR 触媒の NOx 浄化性能を解析した。同触媒の NOx 浄化性能を把握するために、濃度ベースと質量ベースの NOx 浄化率を定義して用いた。前者は SCR 触媒に流入する排出ガス中の NOx 濃度 (ppm) と SCR 触媒から流出する排出ガス中の NOx 濃度 (ppm) の差分を SCR 触媒に流入する排出ガス中の NOx 濃度で除算して SCR 触媒で低減する NOx 濃度の比率として算出し、後者は走行時のある指定した区間における SCR 触媒前後での NOx 量 (g) の差分を SCR 触媒に流入す

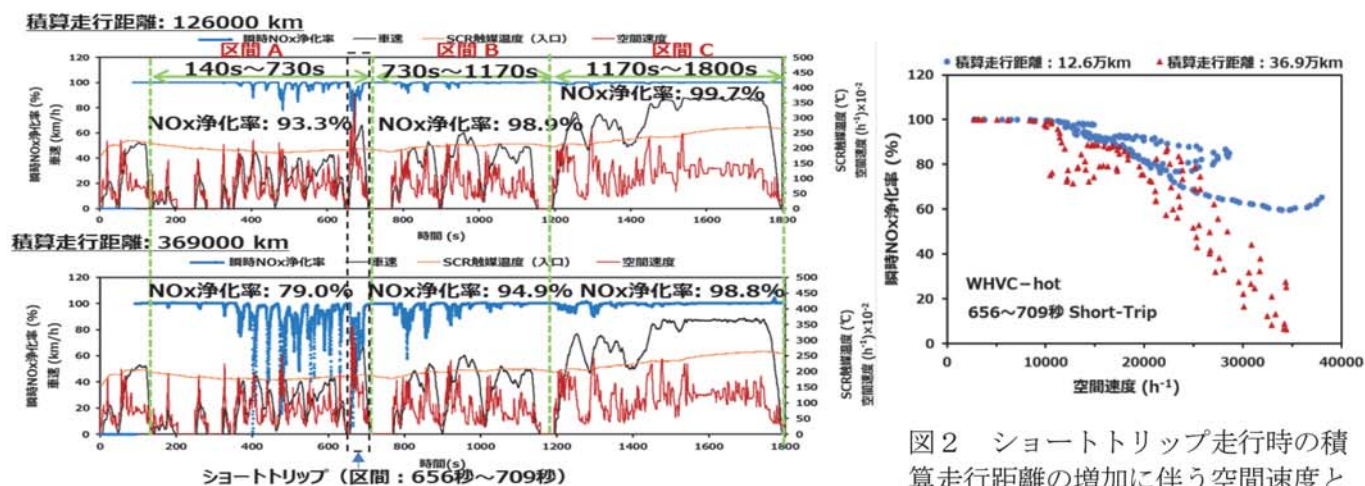


図1 WHVCモードホットスタート時の積算走行距離の増加に伴うNOx浄化率の変化

る排出ガス中のNOx量で除算してNOx低減質量比として算出した。触媒前後のNOx濃度からNOx浄化率を算出する場合、瞬時に排出ガス流量が変化するため、触媒前NOx濃度測定ポイント（尿素水噴射制御用NOxセンサ取付け位置）と触媒後NOx濃度測定ポイント（排出ガス分析計のガスサンプリングポイント）の間のNOx濃度信号の遅れ時間は常に変動している。一般にNOx濃度ベースの浄化率は、濃度がそのまま質量に比例する定常状態のガス流に限定される。しかしながら触媒の劣化等による性能変化は、加速域のような過渡運転条件下で現れる可能性が高いため、本研究では瞬時のNOx浄化性能を把握することが有用であると考えた。そこで、触媒前後での濃度変動の山及び谷を一致させるように補正した上で浄化率を求めることにより、濃度ベースのNOx浄化率を触媒性能解析の指標の1つとして用いることとした。以下、この濃度ベースのNOx浄化率を「瞬時NOx浄化率」と記す。

図1に、試験車が積算走行距離12.6万km及び36.9万km時に、WHVCモードのホットスタート試験で走行したときのNOx浄化率の変化及び空間速度の変化を並べて示す。図中には、SCR触媒前後のNOx濃度から算出した瞬時NOx浄化率と尿素SCR触媒の空間速度をプロットし、さらに、走行モードの指定した区間でのNOx低減質量比として算出した質量ベースのNOx浄化率の値を記している。ここで、走行モードの指定した区間として、区間A：140秒～730秒、区間B：730秒～1170秒、区間C：1170秒～1800秒の3区間を選択した。それぞれの区間の特徴は、区間Aは急加速を含む加減速走行、区間Bは比較的緩やかな加減速走行、区間Cは加減速の少ない高速走行である。同図より、

区間A及び区間Bにおいて、積算走行距離の増加に伴いNOx浄化率が低下していることがわかる。また、区間AでNOx浄化率の低下が著しく、一方、区間CではNOx浄化率の低下が緩やかであることがわかる。さらに、両区間の瞬時NOx浄化率及び空間速度の変化を比較すると、瞬時NOx浄化率の低下は空間速度が急激に増加する加速域で生じていることがわかる。そして、瞬時NOx浄化率は積算走行距離の増加に伴ってより低下し、NOx浄化性能の低下が進行していることが推察される。このことを確認するために、図1の区間Aに在る急加速を含むショートトリップ（区間：656秒～709秒）における瞬時NOx浄化率と空間速度の関係を調べた。その結果を図2に示す。プロットの分布の変化から、空間速度の増加により瞬時NOx浄化率は低下し、そして積算走行距離の増加に伴いその低下傾向はより進行していることがわかる。

4. まとめ

調査試験の結果から、積算走行距離の増加に伴う尿素SCR触媒のNOx浄化性能の変化は、濃度ベース及び質量ベースのNOx浄化率、空間速度等の指標を用いて評価できる可能性があり、その性能変化は、空間速度の高い加速域ほど現れやすいことがわかった。

参考文献

- 1) 山本敏朗，堤 玲子，水嶋教文，渡辺敬太郎，“NOxセンサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車のNOx排出量評価”，自動車技術会論文集，Vol.46，No.5，pp.975-980（2015）

②脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業について

—第一報：新規事業の概要—

環境研究部 ※鈴木 央一 川原田 光典 田中 信壽 西山 幸輝 新国 哲也

1. はじめに

大型トラックなど貨物自動車から排出される CO_2 は自動車全体の4割以上を占め、台数あたりでは乗用車と比較して非常に多く、その削減が望まれる。国土交通省では大型車の環境性能改善やそれに関する新技術についての基準策定に資する事業として、次世代大型車の開発・実用化促進プロジェクト（以下「本事業」という）を実施している。本事業は大気汚染問題が深刻であった平成14年度に始まり、令和1～5年度かけては第5期「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」として実施した。その中では、ディーゼル機関を中心とする内燃機関に加えて、電動化等の車両技術や排気浄化に大きな効果を有する排気後処理技術など幅広い調査研究を、多くの大学等にも参画いただきながら実施した。その成果については自動車技術会夏季フォーラム¹⁾等で発表している。

近年カーボンニュートラルに向けた取り組みが重要性を増している中、本事業の第6期として令和6年度より「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」を実施することとしている。本報告では、その概要について紹介する。

2. 第6期の基本的枠組み

2. 1. 実施予定期間

本事業第6期の実施予定期間は、令和6年度より開始し、令和10年度までの5ヶ年計画としている。

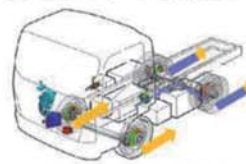
2. 2. 技術開発の方向性

近年急速に進展するカーボンニュートラルに向けた動きに対応することが求められるところ、一つの鍵となるのは電動化である。重量と航続力の関係から、大型トラック等一部のカテゴリーでは当面内燃機関が主流になることが想定されるものの、中・小型トラック等では電動化が推進されていくこともまた確実

視され、それを促進する技術開発及び基準整備は重要といえる。もう一つの鍵は、当面不可欠とした内燃機関においてカーボンニュートラル化を推進していくものとして、カーボンニュートラルなプロセスで生成された燃料の活用が挙げられる。

こうしたことを背景に、国土交通省は本事業の新たな形として「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」を立ち上げている。そこでは図1に示す「重量車の電動化へ向けた対応」及び「カーボンニュートラル燃料の実用化に向けた対応」の2点をポイントとして挙げている²⁾。これに基づいて設定された個別調査研究テーマについては3章で取り上げる。

① 重量車の電動化へ向けた対応



ブレーキ回生技術



水素燃料電池車の燃費測定法

② カーボンニュートラル燃料の実用化へ向けた対応



水素燃焼の高効率化



合成燃料使用への対応

図1 「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」のポイント²⁾

2. 3. 検討体制

事業の計画や進捗、成果について審議、承認いただく検討体制として、図2に示すとおり、慶応義塾大学名誉教授の飯田先生を座長とする検討会と、その下に

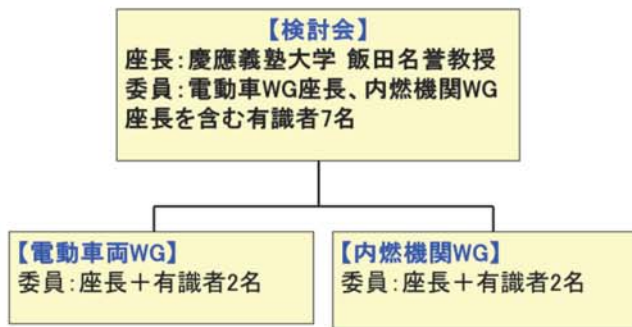


図2 検討体制

ワーキンググループ（WG）を設置している。

このうち検討会は事業全体の運営等に関する審議をいただく場としており、令和6年度の第1回検討会は7月4日に開催し、第6期の事業全体計画や実施体制等について審議の上、承認いただいた。

WGでは、個別調査研究について計画を含め進捗管理を精査いただいております、実施内容について技術的に深く踏み込んだ審議が行われるのが特徴である。既述で2つのポイントとした、電動化に関するテーマを扱う電動車両WGとカーボンニュートラル燃料に関するテーマを扱う内燃機関WGの2つを設置している。電動車両WGについては9月19日、内燃機関WGについては10月22日に第1回を開催した。

3. 第6期の実施内容

3. 1. 実施する調査研究テーマについて

第6期にて実施していく個別テーマの一覧を表1に示す。複数の民間会社と大学が実施者となることに加え、交通安全環境研究所自身で実施していくテーマもあり、産学官連携の流れは第5期を受け継ぐものとなっている。全7テーマ中3テーマは令和4年度に追加されたテーマで、継続して実施していく。新規テーマのうち回生協調ブレーキに関するテーマでは、パワートレインの効率の高い電動車においては、回生効率が重要になることから、積載量などの変化の大きい商用車に適したブレーキシステムの検討を行うとともに後半では車両を用いた技術調査を行う計画である。

3. 2. 水素内燃機関に関するテーマ選定

カーボンニュートラルに向けた一つの有力解として水素内燃機関が挙げられるが、大型車への適用に向けた検討は進んでいるとはいえない。そこで新規テーマを検討するにあたっては「水素内燃機関勉強会（座長：小酒英範東京工業大学教授）」を開催して検討を

表1 本事業第6期に実施する調査研究テーマ一覧

分野	テーマ名	実施者
電動車両WG	① 大型車に適用する走行中ワイヤレス給電システムの検討【継続】	東京理科大
	② 重量水素燃料電池自動車の燃料消費率試験法の精緻化に向けた調査【継続】	交通研自動車工業会
	③ 電力消費率効率向上に資する重量電動車の高効率回生協調ブレーキ技術の開発【新規】	いすゞ自動車
内燃機関WG	④ カーボンニュートラル燃料実用化に向けた実車両への影響調査【継続】	交通研新ACE
	⑤ 希薄・希釈燃焼を組み合わせた重量車用理論空燃比水素燃焼エンジンの調査【新規】	千葉大
	⑥ 水素エンジンの性能向上に向けた熱流動と潤滑性等に関する技術調査【新規】	東京都市大
	⑦ 水素エンジン用SCR触媒に関する調査検討【新規】	早稲田大

行った。事前に23大学、1研究所にアンケートを実施したところ、7大学8研究室より実施の提案をいただいた。2回にわたる勉強会を経て表1に記載した3テーマが選定された。その選考過程では、研究内容や期待される成果に加えて、水素を安全に扱うことができる実験室等における環境面や、企業との連携等による研究実施体制なども考慮された。

4. ま と め

第6期を迎えた本事業は、大型車のカーボンニュートラルに向けた重要な取り組みとして、社会、行政、業界に資するものと考えており、鋭意取り組んでいく。また、その成果については、適宜フォーラム等の場でアピールしていくこととしたい。

参考文献

- 自動車技術会夏季フォーラム2024年度「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業（第5期）」の成果発表【24-S5】、2024年7月、https://www.jsae.or.jp/assoc/event/gakkai/forum/2024ver/prog_24-S5/
- 国土交通省令和6年度物流・自動車関係予算概算要求概要、www.mlit.go.jp/page/content/001626149.pdf
- 鈴木ほか、「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の現況について」、交通安全環境研究所フォーラム2022、2022年11月

③シャシダイナモメータ走行時の車風速の違いが 電動車の環境性能に与える影響調査

環境研究部
(株) 明電舎

※奥井 伸宜
高橋 利道

1. はじめに

電動技術を搭載したハイブリッド車に加え、今後プラグインハイブリッド車、電気自動車及び燃料電池自動車の普及が見込まれる。最新の電気自動車は、航続距離延伸を目的に、走行時に未利用であった熱エネルギーを活用するため、車両のシステム全体で熱を最適に管理する「総合熱管理システム」が搭載されている。

燃費等を含めた車両性能評価には、シャシダイナモメータ（CHDY：Chassis Dynamometer）が用いられ、国連で定められた「乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP：Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures）」に準拠して試験される。CHDY 試験では、車両前方に設置した車両冷却ファンが用いられ、車速に応じた走行風がファンの吐出口から排出される。同試験法の要件では、ファンの吐出口で様な風速分布が求められ、主にエンジン車のラジエータやインタークーラの位置に当てられている。しかし、ファンの吐出口が車両の前面投影面積に比べ小さく、実路走行と同様に車両前面すべてに走行風を当てることは困難である。つまり、総合熱管理システム搭載車を CHDY で評価するには、電動車両の熱マネジメントを考慮して車両前面すべてに走行風が当たるよう、従来試験法の条件を見直す必要がある。

本研究は、エンジン車に加え電動車を対象とし、WLTP における走行風の要件に対する改善策を検討するため、実路走行時に車両全面が受ける風速を CHDY で再現させることを目的とした。車両冷却ファンの吐出口の改良版を試作し、その効果を CHDY 試験にて検証した。この内容について報告する。

2. 車両冷却ファンに関する WLTP 要件

WLTP では、CHDY 試験における車両冷却ファンの仕様¹⁾は、以下の通りである。

- ・可変速の空気流を車両に対し送風するものとする。
- ・ファンの出口における空気の線速度（風速）のセットポイントは、5 km/h を超えるローラ速度について、その対応するローラ速度に等しいものとする。
- ・ファンの出口における空気の線速度（風速）は、± 5 km/h または対応するローラ速度の±10%のいずれか大きい値の範囲内であるものとする。
- ・ファンの出口は以下の特徴を有するものとする：
 - (a) 少なくとも 0.3 m² の面積、および
 - (b) 少なくとも 0.8 m の幅、あるいは直径。
- ・ファンの位置は次の通りとする：
 - (a) 床面から下端までの高さ：約 20 cm、
 - (b) 車両前部からの距離：約 30 cm、
 - (c) おおよそ車両の縦方向中心線上。

3. 実験装置および条件

3. 1. 供試車両

エンジン車（以下、ICE）及びプラグインハイブリッド車（試験時はハイブリッド走行（以下、HEV））を用いた。

3. 2. 走行風の計測箇所

走行中に車両の各部位が受ける風速を把握するため、車両各部位に風速計を設置した。HEV への設置状況を図 1 に示す。車両全前部におけるフロントグリル（フロント/センター）、バンパー下部（フロント/アンダー）、車両右端（フロント/サイド）及び車両後輪付近の中央下部（リア/アンダー）に設置した。

3. 3. 走行試験

CHDY 試験は、試験室内温度 23℃とし、WLTC（Worldwide Harmonized Light-duty Test Cycle）を走行した。アクセル及びブレーキペダル操作は、当研究所で構築した運転ロボット²⁾を用い、燃費結果に対する運転操作特性の影響を排除した。

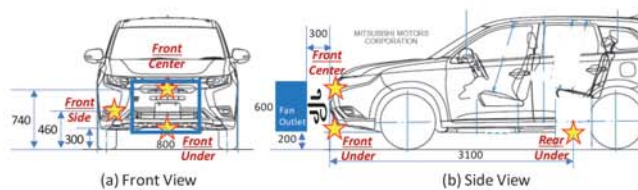


図 1 風速計の設置 (HEV)

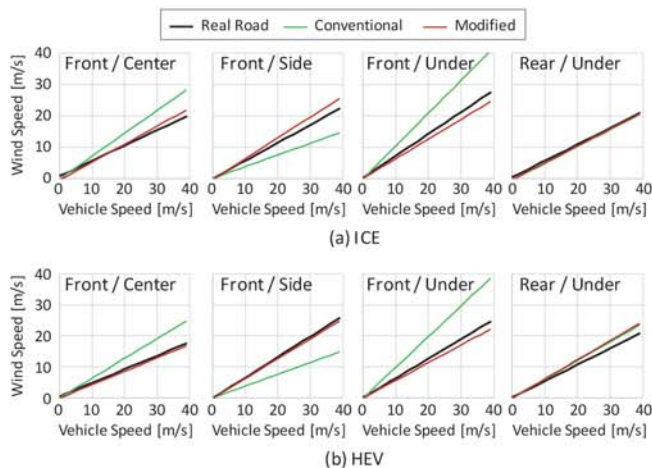


図 2 走行風の把握

4. 実験結果

4. 1. 走行風の把握

供試車両を実路及び CHDY で走行させた際の各測定点における風速分布を図 2 に示す。実路に対する CHDY (従来のファン吐出口) の走行風の強弱は、車両前面部で異なった。ここで、2 章で述べた通り、WLTP の規定では、車両のフロントグリル付近に限定されるため、そこでの風速は強くなった。車両右端の風速は、実路走行時の風速よりも弱くなった。

4. 2. 冷却ファン吐出口の改造検討及び試作

実路走行時の走行風を再現するため、ファン吐出口の改造を試みた。改造のポイントは、「フロントグリルとバンパー下部の風速はより弱く、車両両端の風速はより強く」とし、CFD を使用して吐出口の構造を検討した。図 3(b) には、上記の改造ポイントを満たす構造と風速分布の一例を示す。得られた知見を基に実際に吐出口を試作し、CHDY 走行にて供試車両の風速を評価した。図 2 の赤線で示す改造版の吐出口は、実路走行と同様の風速が、各測定点で再現できた。

4. 3. 改造版の吐出口による車両性能評価

WLTC 走行時は、従来の吐出口と比較して、改造版の吐出口を使用することで HEV の燃費性能への影響度が増した (図 4)。走行中にエンジンが運転と停止を繰り返す本 HEV は、吐出口の違いでエンジン冷却水等の温度に差を生じることを確認しており、風速

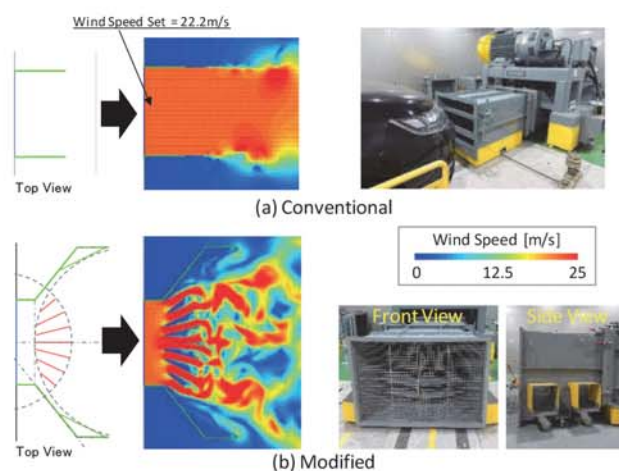


図 3 ファン吐出口の改造検討 (CFD) 及び試作

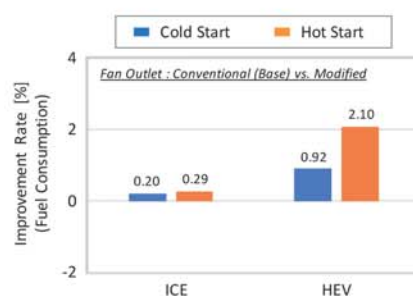


図 4 走行風の再現による燃費性能結果

の強弱による影響を受け易いと考えられる。一方、ICE も実路走行の風速分布を改造版の吐出口で再現したが、エンジンは走行中に運転し続けることから、風速の強弱の影響を受けにくいと考えられる。

5. まとめ

実路走行時の走行風を CHDY で再現するため、ファンの吐出口を改造し、CHDY 走行にて検証した。その結果、ICE よりも HEV の方が、従来の吐出口に比べて燃費性能への影響度が増した。

今後、電動車両の CHDY 評価においては、熱マネジメントを考慮する必要があるため、走行風の適切な扱いが重要になると考える。

参考文献

- 1) UN Regulation No. 154 (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP)), ECE/TRANS/505/Rev.3/ Add.153/Rev.1 (2021)
- 2) Okui, N., "Development of Driving Robot and Driver Model Applied Regenerative Brake Control of Electrified Vehicles", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36, No.4 (2024)

④電動キックボードの特徴に関する調査

環境研究部

※田中 信壽

自動車安全研究部

真鍋 裕輝 関根 道昭 加藤 洋子

1. はじめに

道路交通法の一部を改正する法律（令和4年法律第32号）の施行に伴い、電動キックボード等に対応する新たな車両区分として「特定小型原動機付自転車（以下「特定原付」という。）」が定義されることを踏まえ、特定原付に関する保安基準が令和4年12月に整備された。また、その基準適合性を確認する制度を創設するため、道路運送車両の保安基準（昭和26年運輸省令第67号）、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示（平成14年国土交通省告示第619号）等の改正（図1）及び特定原付の性能等確認制度に関する告示の制定も合わせて行われた¹⁾。

当研究所では、これに先立ち国土交通省より委託調査を受け、既に市販されている電動キックボードの特徴の基礎データを得ること目的とした調査を行った。本報告では、この調査の概要について示す。



図1 特定原付に関する保安基準の整備概要

2. 調査概要

本調査では、ECサイトで購入可能な二輪の電動キックボードを29台調達し、その特徴を調査した。本報告では実施した調査のうち、諸元、最高速度、停止距離及び前照灯の性能の4項目の調査結果について報告する。

2. 1. 諸元

調達した電動キックボードに対して表1の諸元について調査を行った。表2に結果の一部を抜粋して示す。この結果より、様々な諸元を有するものが既に市場に出回っていることが明らかとなった。

表1 調査を行った諸元項目

項目	内容
全体寸法	全長(車両最前端から車両最後端までの距離) ハンドル幅(ハンドルの左右最外側間の距離) 最大全高(ハンドルの最上端の地上高)
重量	前軸重量、後軸重量及び合計重量
タイヤ径	タイヤの最大径
タイヤ幅	タイヤの最大幅
足場寸法	全長(運転者が足を置く部分(以下、足場)の最前端から最後端までの距離) 前軸幅(足場の前側の幅) 後軸幅(足場の後側の幅) 最大幅(足場の最大の幅) 前地上高(足場の前側の地上高) 後地上高(足場の後側の地上高)
速度計	高さ(速度計の画面中心部の地上高) 横位置(車体中心線を通る平面で地面に対して鉛直な平面(以下、車体中心面)から速度計の画面中心までの距離) 前軸からの距離(正対する前軸の車軸中心線を通る平面で地面に対して鉛直な平面(以下、前軸鉛直面)から速度計の画面中心までの距離)
後写鏡	後写鏡数(鏡の枚数) 高さ(鏡の方向調整部の地上高) 前軸からの距離(前軸鉛直面から鏡の方向調整部の支点までの距離) 設置幅(左右の鏡の方向調整部の支点間の距離) 最大幅(左右の鏡の最外側間の距離(但し、片方しかない場合は鏡の最外側とハンドル中心までの距離))
前照灯	高さ(角度が調整可能な場合その調整部中心、それ以外は照明部の中心(以下、照明部等中心)の地上高) 横位置(車体中心面から照明部等中心までの距離) 前軸からの距離(前軸鉛直面から照明部等中心までの距離)
後部反射器	高さ(反射器中心の地上高) 横位置(車体中心面から反射器中心までの距離) 後軸からの距離(後軸の車軸中心線を通る平面で地面に対して鉛直な平面(以下、後軸鉛直面)から反射器中心までの距離)
番号灯	高さ(照明部等中心の地上高) 横位置(車体中心面から照明部等中心までの距離) 後軸からの距離(後軸鉛直面から照明部等中心までの距離)
尾灯	高さ(照明部等中心の地上高) 横位置(車体中心面から照明部等中心までの距離) 後軸からの距離(後軸鉛直面から照明部等中心までの距離) 色(灯光の色(赤か否か))
制動灯	高さ(照明部等中心の地上高) 横位置(車体中心面から照明部等中心までの距離) 後軸からの距離(後軸鉛直面から照明部等中心までの距離) 色(灯光の色(赤か否か))
方向指示器	高さ(照明部等中心の地上高) 横位置(車体中心面から照明部等中心までの距離) 前軸(前部)又は後軸(後部)からの距離(後軸鉛直面から照明部等中心までの距離) 色(灯光の色(橙か否か))
フットブレーキ	有無
回生ブレーキ	有無
ハンドブレーキ	有無
警音器	有無
発進方法	発進時の蹴り出しの要否等
駆動輪	駆動力を発揮する車輪
ホイールベース	前後輪の車軸間距離
出力	出力の公称値(説明書、仕様書、HP等に書かれている値)

表2 諸元の調査結果（一部抜粋）

No.	全体寸法			前輪寸法		後輪寸法		重量	ホイールベース
	全長 [mm]	ハンドル幅 [mm]	最大全高 [mm]	タイヤ径 [mm]	タイヤ幅 [mm]	タイヤ径 [mm]	タイヤ幅 [mm]		
平均	1057.4	494.7	1141.1	205.7	53.6	203.6	53.9	16.0	842.1
最大	1295.0	675.0	1505.0	270.0	102.0	270.0	102.0	37.1	1030.0
最小	791.0	375.0	928.0	134.0	30.0	100.0	32.0	5.5	672.0
標準偏差	103.5	91.6	97.8	39.4	16.8	42.4	16.3	8.3	65.4

2. 2. 最高速度

調達した電動キックボードに対して最高速度の計測を行った。図2に最高速度の測定系を示す。測定方法は、以下の通りである。

- 1) 電動キックボードを助走区間で全力加速させる。
- 2) ドライバがハンドル部に設置されたGPS速度計で速度変化がなくなったことを確認する。

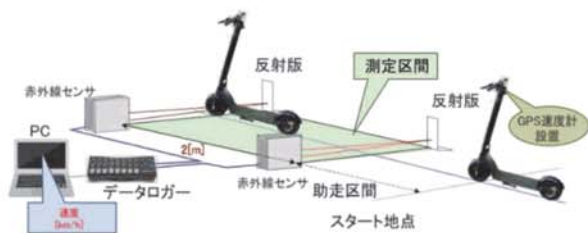


図2 最高速度の測定系

表3 最高速度

	平均	最大	最小	標準偏差
最高速度 [km/h]	24.9	52.8	10.4	10.5

- 3) 2) の状態のまま、速度測定区間（2 m）に進入させ、赤外線センサを用いて通過時間を計測。
- 4) 3) の結果から最高速度を算出。
- 5) 1) ～4) を3回実施。
- 6) 走行方向を逆向きに変更（180度向きを変更）して1) ～5) を実施。
- 7) 1) ～6) の平均値を算出し、最高速度とする。

表3に結果を示す。最高速度が 10 km/h 程度のものである一方で、50 km/h 以上の速度が出せるものが存在することが確認された。

2. 3. 停止距離

調達した電動キックボードに対して、走行アシスト機能のみで一定速度での走行が難しいもの1台を除き、停止距離の計測を行った。図3に停止距離の測定系を示す。測定方法は、以下の通りである。

- 1) ドライバが、GPS 速度計で速度を確認しながら 20 km/h（誤差±0.5 km/h 以下、最高速度が 20km/h 以下の場合は、最高速度）で定速走行を行う。
- 2) 1) の状態で速度測定区間に進入させる。
- 3) ドライバは、前輪が制動開始ラインを踏んだことを視認したらブレーキ操作を行い、制動を開始。
- 4) ドライバにブレーキ操作を十分習熟させた後、1) ～3) を5回実施し、その際の停止距離を計測。
- 5) 測定された停止距離のうち最小値と最大値を省いた3回のデータを停止距離の計測値とする。
- 6) ドライバを変更して1) ～5) を再度実施。
- 7) 1) ～6) の平均値を算出し、停止距離とする。

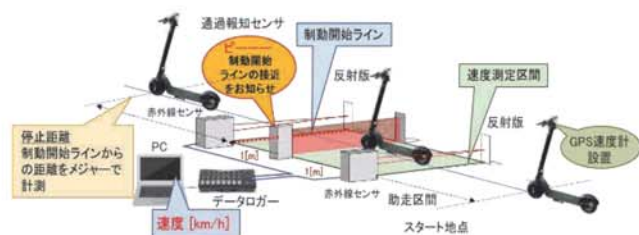


図3 停止距離の測定系

表4 停止距離

	平均	最大	最小	標準偏差
停止距離 [m]	5.0	7.8	2.7	1.2

表4に結果を示す。平均から 2.5m 以上の長い停止距離を要するものが存在することが確認された。

2. 4. 前照灯の性能

前照灯が装備されている電動キックボード（25台）に対して、前照灯の取付高及び光度の計測を行った。図4に測定系を示す。

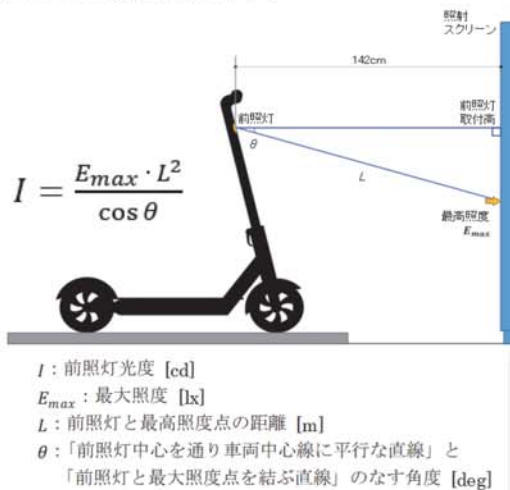


図4 光度の測定系

表5に結果を示す。前照灯の光度は、ばらつきが大きく、夜間に物体視認するための十分な照度が得られない可能性があるものが存在することが確認された。

表5 前照灯の取付高及び光度

	平均	最高	最低	標準偏差
取付高 [mm]	771.6	1142	180.0	343.3
光度 [cd]	1784.7	11718	8.7	2888.0

3. まとめ

本調査では、電動キックボードの特徴を示すデータとして、諸元、最高速度、停止距離及び前照灯の性能の計測を行った（本調査では、この他に夜間も含めた車体の被視認性の評価なども実施）。本結果から、市販品では調査項目のデータに大きなばらつきが存在し、多様な電動キックボードが容易に入手可能であることが明らかとなり、安全性の面から保安基準の整備が重要であるとの結論を得た。その後、本調査結果を基礎データの一部とした議論が行われ、特定原付の保安基準が整備された。

参考文献

- 1) 自動車局 車両基準・国際課, “道路運送車両の保安基準の一部を改正する省令及び道路運送車両の保安基準の細目を定める告示等の一部を改正する告示について”, 【別紙1】, 令和4年12月23日

⑤軌道維持管理の効率化を目指すための分岐器の動的特性把握の取組

交通システム研究部 ※佐藤 安弘 一柳 洋輔 緒方 正剛 陸 康思（客員研究員）
鉄道機器 永原 正己

1. はじめに

分岐器の検査においては、一般に、列車がない状態で人手による静的な寸法測定等が実施される。特に地方鉄道等において軌道維持管理の効率化を目指すため、検査方法として車上側からの測定法などの活用が期待されるものの、新たな測定法に対応する基準値が必ずしも明確ではない。このため、分岐器を含む実験用の軌道を工場内に敷設し、荷重による動的な影響について載荷実験により検討したので報告する。

2. 背景及び目的

鉄道施設の定期検査については、検査の周期と方法を定めて行うことが国土交通省令で定められており、鉄道事業者が軌道の維持管理を実施する際の標準的な考え方が「鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)」に定められている。その中で、軌道変位の管理にあたって、評価指標と基準値を定めておくものとされている。さらに軌道変位の基準値として、車両の荷重がレールに作用しない状態で人手で変位を測定する場合の静的値のほか、軌道検測車により荷重がレールに作用した状態で変位を測定する場合の動的値の2通りを定めておくことが望ましいとされている。

一方、分岐器の検査においては、軌道検測車による十分な測定ができないこと等から、現在も人手による測定が主体であり、一般に静的値によって管理されている。このような状況で、検査の効率化を可能とする車上測定システムなどが開発されつつある¹⁾。したが

って、荷重が作用した場合の分岐器の変位等を測定することにより、動的値を定めるための基礎資料を収集することとした。

3. 実験用の軌道

実験用の軌道として、50kgN レール用 8 番片開き分岐器とその両端の台車留置線等から構成される狭軌全長約 40m を敷設した²⁾。分岐器付近の平面図を図 1 に示す。レールは木まくらぎ上にタイププレートを紹介して敷設し、木まくらぎは、まくらぎ支持パッド(バラスト道床の道床ばねを模擬)を挟んでアンカーボルトにて工場敷地内のコンクリート路盤に固定した。分岐器の種類としては、地方鉄道等で一般的な関節ポイント及び組立クロッシングを採用した。

4. 実験内容及び結果

一般軌道と異なり、分岐器においてはポイント、リード、クロッシングといった構造の違いに応じて動的特性が異なることが考えられる。このため、分岐器における軌道変位検査の測定位置を踏まえ、ポイント部やクロッシング部の前後端、リード部などにおいて、基準線及び分岐線の数箇所を載荷箇所とし、各箇所での一定の横圧又は輪重を載荷する実験を実施した。

4. 1. 横圧載荷実験

横圧については、台車によって一定の荷重を載荷することが困難であるため、台車がない状態で図 2 の横圧載荷治具³⁾によって 5 kN まで段階的に載荷した。

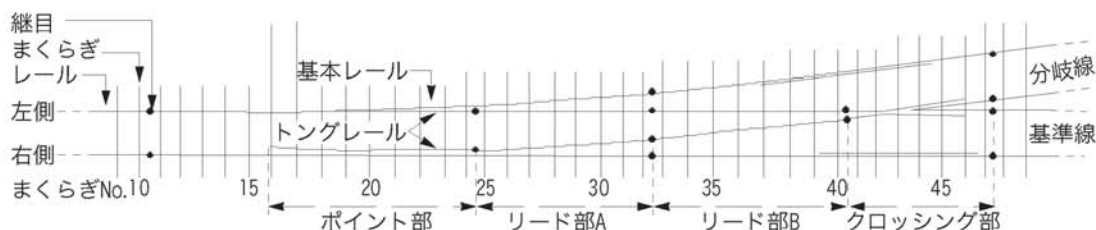


図1 実験用の軌道

各载荷箇所(まくらぎ No.については図1 参照)における横圧 5 kN 载荷時の軌間拡大量の比較を図3に示す。軌間拡大量は分岐線ではポイント後端部(No.24)、基準線ではポイント中央部(No.20)で相対的に大きくなることを確認した。当該分岐器のポイントは関節構造であり、関節部となるポイント後端部でトングレーをタイトに締結できないこと、ポイント中央部は転換の際にトングレーが床板の上を滑動する構造であること、及びトングレーの断面が普通レールに比べ小さいことから、これらの箇所ではレールの変位が大きくなるものと考えられる。

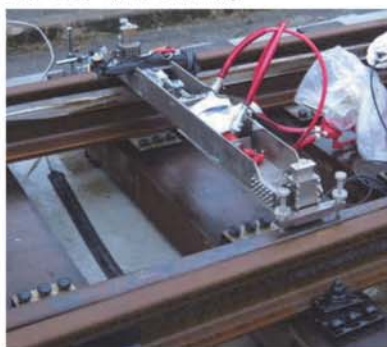


図2 台車がない状態での横圧载荷実験状況

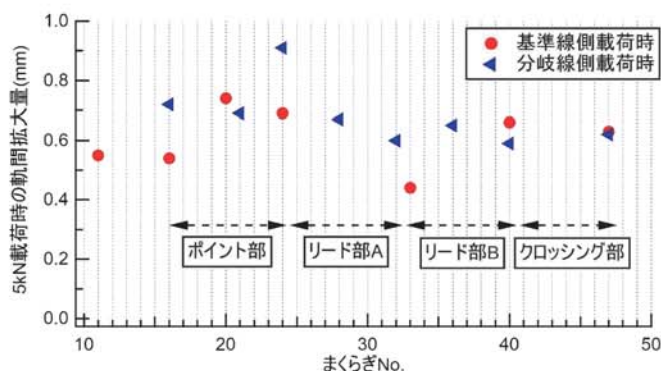


図3 各载荷箇所における横圧 5 kN 载荷時の軌間拡大量の比較

4. 2. 実台車による载荷実験

载荷実験用台車として、レールや鉄板等を積載して満車条件を模擬した台車、及び非積載として空車条件を模擬した台車を用意した。レールにひずみゲージを設置して輪重を測定した(図4 参照)ほか、分岐器対向方向に向かい台車の前軸が载荷箇所に来るまで台車を手押しで移動後に停止した状態で、レール上下変位をレーザー変位計を用いて測定した。

輪重の測定結果を表1に、レール上下変位の測定結果を図5にそれぞれ示す。満車条件の方が空車条件よりも変位が大きい傾向であることから、軌道変位の測定においては荷重による動的な影響を受けることが

確認された。特にポイント前端部、リード部 A/B 間及びリード部 B とクロッシング部との継目付近で大きくなる傾向が見られ、载荷箇所によって動的特性が異なることが確認された。



表1 輪重の測定結果

積載条件	左側車輪	右側車輪
満車	40.9 kN	36.4 kN
空車	14.1 kN	11.1 kN

図4 輪重の測定状況

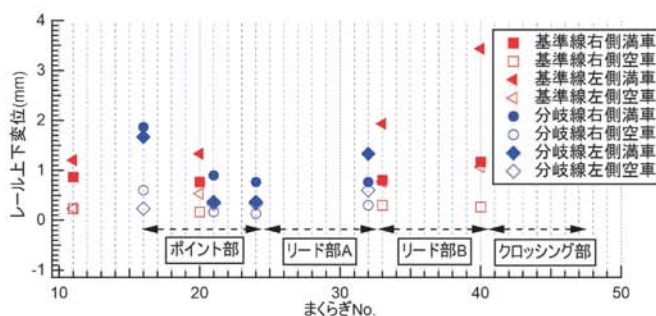


図5 実台車による载荷実験結果例

5. まとめ

横圧に対する軌間拡大量は载荷箇所によって異なること、また、輪重に対するレール上下変位についても、载荷箇所によって異なることを確認した。従って、車上測定システムの適用に当たっては、分岐器における軌道変位の動的値を定め評価する必要がある。但し、今回は新たに敷設された分岐器に対する結果であり、今後は、レール締結力や支持力が弱い箇所がある場合を模擬した実験等を通じ、引き続き分岐器の動的特性について確認していく予定である。

参考文献

- 1) 安達季並, 青木宣頼, 笹原大希, 道辻洋平, “ノーズ可動クロッシングの摩耗進展に関する一考察”, 土木学会鉄道工学シンポジウム講演論文集, Vol.28, No.42, pp.42-45 (2024)
- 2) 一柳洋輔, 佐藤安弘, 緒方正剛, 陸康思, 柳川秀明, 岩野克也, 永原正己, 神谷祐次, “分岐器実験軌道の敷設と動的特性把握のための载荷実験”, J-RAIL2022, pp.244-247 (2022)
- 3) 緒方正剛, 佐藤安弘, “レール横圧载荷治具を用いた軌間拡大のリスク評価の検討”, J-RAIL2018, U00121 (2018)

⑥車輪／レール接触関係にもとづく軌間拡大箇所の検出方法

交通システム研究部 ※一柳 洋輔 篠田 憲幸（客員研究員）

1. はじめに

鉄道の曲線部においては列車の走行に伴い比較的大きな横圧（左右方向の力）がレールに作用する一方で、木まくらぎの劣化等によって犬くぎによるレール締結力が低下すると、軌間拡大（左右のレール間隔が広がる状態）が発生し、脱線事故のリスクが高まる。軌間拡大による脱線事故の防止のため、まくらぎの劣化等の目視確認や軌間の測定により異常を判断し軌道整備を適切に行うことが必要である。列車通過に伴う荷重がレールに作用する条件での動的な軌間変位（軌間の基本寸法に対する変位量）は軌道検測車により測定されるが、軌道検測車を導入できず静的値で管理する地方鉄道事業者もある。

当研究所はこれまでに、横圧をレールに載荷でき、荷重と軌間の変化を測定できる治具を製作した¹⁾。同治具で求めた荷重と軌間変化の関係にもとづき車両通過時の軌間拡大量を推定し、締結状態を含むまくらぎの不良を判断できることを示した。さらに、小型情報端末を用いた営業車両の動揺測定をもとに、同治具で評価すべき箇所を絞り込む方法を検討してきた²⁾。

軌間拡大の可能性を営業列車で高頻度に安価に確認する方法が望まれるため、本研究では小型カメラで撮影した走行中の車両床下の映像から、車輪／レール接触関係をより直接的に捉え、動的な軌間拡大に対する要視箇所を効率的に検出する方法を検討したので報告する。

2. 車輪掛かりと軌間拡大の関係

2. 1. 軌間変位と車輪掛かり量の関係

図1に示すように、急曲線走行時には外軌側（曲線外側）の車輪フランジ部がレールと強く接触する。軌間が拡大すると内軌側（曲線内側）の車輪がレール上に掛かる幅（以後、車輪掛かり量）が減少し、車輪掛かり量がゼロとなれば内軌側車輪は軌間内に脱落し脱線に至る。なお、軌間変位の限度値は、レールと輪軸の寸法関係から一般に40 mm程度とされる³⁾。

2. 2. 車輪掛かり状況の検出

車両が曲線部を走行する間、図1に示す内軌側車輪の外側面とレール頭部外側面との間隔を常時把握すれば、車輪掛かり量の余裕が小さい箇所を検出できる。そこで、小型カメラで車輪とレールの接触位置の近傍を撮影し、その映像を処理し上記間隔の変化を把握する方法を検討した。本検出方法では軌間の値を精密に求めずとも、注視箇所の効率的な把握を目的とし、小型カメラを主とした簡素で安価な測定装置構成とした。また、本検出方法ではレールに動的荷重が作用した状態での軌間拡大現象を把握できる。

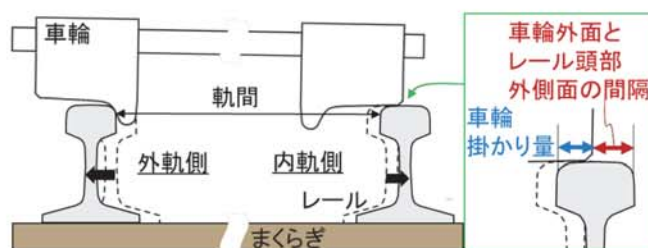


図1 軌間拡大による車輪掛かり量の減少

3. 実車による実験

3. 1. 実験方法

地方鉄道事業者の協力の下、気動車の床下に小型カメラを設置し本線を走行した。列車が走行する曲線の方により内軌側となる車輪は変わるため、小型カメラは左右の車輪が写るように2台設置する。なお、床下スペースの関係から、進行方向第3軸目の車輪が写るように小型カメラを設置する（図2）。画質はフルハイビジョン、フレームレートは120 fps、手振れ補正は有効とした。

3. 2. 画像処理方法

小型カメラの映像及びその画像処理過程の一例を図3に示す。まずは図3中に破線で示すように、車輪側は反フランジ側リム部のエッジを、レール側は軌間外側の頭部端のエッジをそれぞれ抽出する。次に、車輪／レール接触位置付近の高さにおける車輪側エッ

ジとレール側エッジの水平距離をピクセル数で表した値（以下、指標値）を求める。

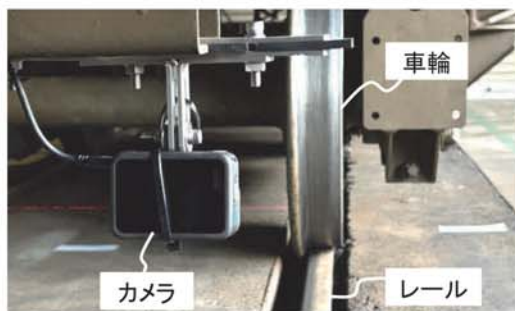


図2 車体床下への小型カメラ取付状況（片側）

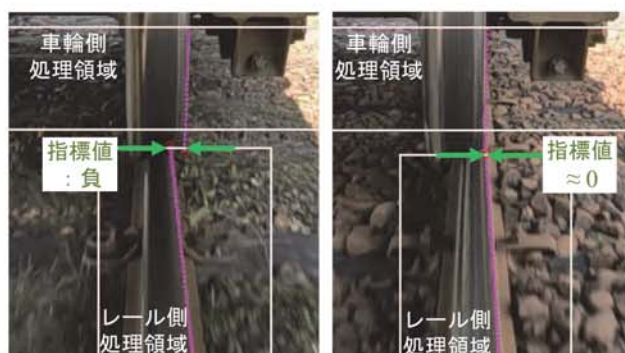


図3 映像の車輪付近拡大図と画像処理過程の例（左：中立位置の例、右：曲線内軌側の例）

3. 3. 実験結果

曲線半径 400m の曲線を含む区間において、内軌側の映像をもとに計算した指標値を図4に示す。ここでは、映像の各フレームについて上記指標値を計算して求めた時系列波形に対し、フィルタ処理を施し誤検出による異常値の影響を除去した結果を示す。指標値の正方向への増大は車輪掛かり量の減少を意味する。また、小型カメラによる撮影の他に、GNSS（Global Navigation Satellite System）速度情報を記録し、走行速度の積算によって車両の走行位置を推定した結果をグラフ横軸に示す。さらに、実験実施日の約2か月後に同区間において牽引式軌道検測装置により測定した軌間変位の値を図5に示す。

図4に示す結果から、指標値は直線区間において負の値を示すが、当該曲線部においては正となる箇所が存在する。このとき内軌側車輪の外側はレール頭部外側面よりも軌間内方にある。なお今回の試験条件によれば、レールが設計形状であれば、軌間変位が 14 mm のときに指標値がゼロとなる。図5より当該曲線における軌間変位の最大値が 14 mm よりも大きいため、

正の指標値が確認されることは妥当といえる。指標値と軌間変位それぞれのピークが進行方向に対し一致しないことから、車両走行位置と映像との同期方法については更なる検討が必要である。しかし、多数存在する曲線部で指標値の最大値を比較すれば、軌間拡大のリスクについて注視すべき曲線部の絞り込みは可能と考えられる。指標値の大きい箇所については、図3のように実際の映像をもとに現象を確認すれば、対策の必要性を理解しやすいと考えられる。

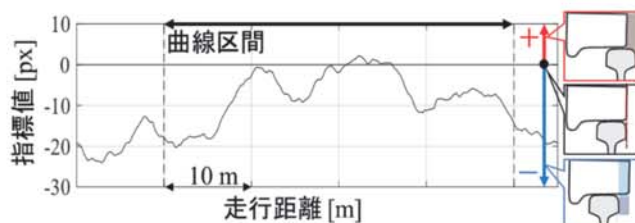


図4 指標値の計算結果

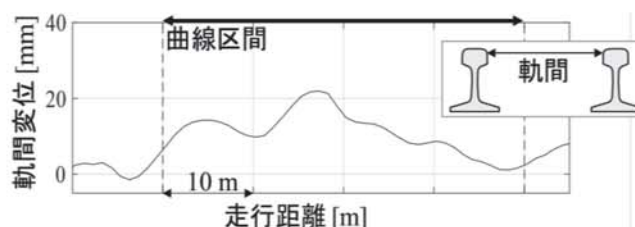


図5 実験実施日直近の軌間変位測定値

4. まとめ

本検出方法によって、レールに対する車輪掛かり量が減少する箇所を抽出可能であることを示した。これにより、動的な軌間拡大に対し注意が必要な箇所を効率的に把握し、軌道補修計画の策定に活用すれば、軌道維持管理の省力化につながることを期待される。

今後は複数の路線における事例収集を進めながら、小型カメラの取付方法及び画像処理方法について更なる検討を重ね、精度の向上に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 緒方 正剛, 佐藤 安弘, “レール横圧荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2019, pp.3-6 (2019)
- 2) 一柳 洋輔他, “地方鉄道における軌間拡大リスクの評価の効率化に関する検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2022, pp.25-28 (2022)
- 3) 国土交通省鉄道局監修, “解説 鉄道に関する技術基準（土木編）改訂版（第三版）” (2014)

⑦衛星測位による列車位置検知の健全性を検証する試験環境の検討

交通システム研究部

※山口 大助

工藤 希

望月 駿登

1. はじめに

保守管理の省力化等の観点から、地上設備である軌道回路によらない列車位置検知技術が期待されており、その一つに衛星測位システムがある¹⁾。複数の衛星から発信される電波を受信して現在位置を算出する衛星測位には、トンネル等で電波を受信できず測位が困難となる懸念や、高層ビルの密集等によって測位精度が低下する懸念がある。一方、測位不可や測位精度低下の懸念がほとんどない路線では衛星測位単独による列車位置検知の可能性はある。ただし、列車の走行位置が衛星測位のみによって確定するため、衛星測位で検知した列車位置が健全なものであるかを判定する必要がある。この健全性に対して、衛星の故障やトラブル、周辺からの電波妨害によって本来の位置とは大きく異なった現在位置の算出結果になるなどの懸念がある。これらの懸念に対応しつつ衛星測位単独での列車位置検知の実現に向けて、筆者らは地上側で衛星測位の健全性を判定する手法を提案した²⁾。しかしながら、提案手法の有用性の検証が課題となっていた。本稿では、提案手法の有用性を検証するための試験環境について検討した結果を報告する。

2. 有用性検証の試験環境の概要

筆者らが提案した衛星測位健全性判定手法は、3個のアンテナを地上に設置し、3個のアンテナで形成される三角形（基準三角形）を基準として、常時測位によって逐次形成される三角形（逐次三角形）と比較することで、衛星測位の健全性を判定するものである²⁾。例えば、衛星に故障が発生して両者に差が生じた場合には不健全な状態にあると判定し、列車の運行を停止させる。

衛星の故障の模擬は困難であるが、衛星のトラブルによって本来放送される電波とは異なった電波をアンテナが受信するような試験環境を用意できれば、提案手法の有用性を検証可能と考えられる。そこで、屋外のアンテナで受信した衛星測位の信号を再送信するリピータ（再放射器）³⁾を用いる。リ

ピータによる試験環境のイメージを図1に示す。健全性判定のための常時測位に使用する健全性判定用アンテナ（図1中の黒色）に対し、衛星から本来放送される電波に加えて、このアンテナから離れた地点に設置した試験環境用アンテナ（同青色）で受信した衛星測位信号をリピータを介して再放射する。これによって、健全性判定用アンテナは本来放送される電波（同橙色）に加え、不要な電波（同桃色、黄緑色、紫色）を受信することになる。

なお、試験環境は屋外を想定しているが、再放射した電波の強度によっては電波法に抵触する恐れがあり、電波強度の設定には注意を要する。

3. 有用性検証の試験環境に関する実験

前章で述べた試験環境の実現可能性を検討するための実験を行った。衛星測位健全性判定手法は地上側で判定を行うものであるが、試験環境の車上への拡張を見据えて、実験では実車を使用し、車上に健全性判定用アンテナ、試験環境用アンテナ、リピータを設置した。実験ではリピータを1個使用したが、1組の試験環境用アンテナ、リピータによって試験環境の実現可能性を確認できれば、3個の健全性判定用アンテナと同数の試験環境用アンテナによる構成を実現可能と考えられる。実車実験における機材構成を図2に示す。車内に減衰器を設置し、電波法に抵触しないよう再放射の電波強度を調整する。

試験環境の実現可能性の検討には、筆者らが提案した車上測位精度評価手法¹⁾を用いる。図2中の測

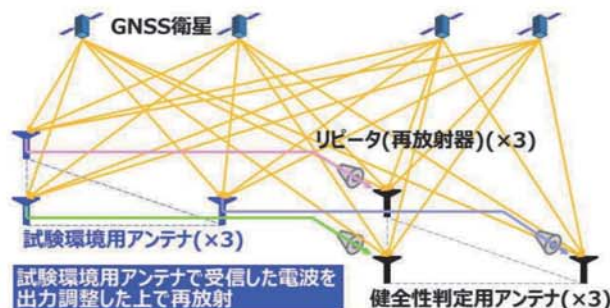


図1 リピータを使用した試験環境



図2 実車実験における機材構成

位精度評価基準用アンテナ（以下、基準用アンテナ）は本手法での測位精度の評価基準となるもので、地上に固定の基準局を設置する RTK (Real-Time Kinematic) 測位を用いる。健全性判定用アンテナでの測位も同様に RTK 測位を用いる。また、日本の準天頂衛星独自のサービスである CLAS (Centimeter Level Augmentation Service) に対応のアンテナを設置する。このアンテナではリピータによる再放射の影響がないことを確認する。

車上測位精度評価手法によれば、衛星から本来放送される電波のみを受信して測位すると、測位環境が良好な場合は、評価対象である健全性判定用アンテナ及び CLAS 対応アンテナでの測位結果は誤差が概ねゼロとなり、健全性判定用アンテナと基準用アンテナの離隔及び CLAS 対応アンテナと基準用アンテナの離隔を差し引くと基準用アンテナの測位結果に一致することになる。しかしながら、健全性評価用アンテナは再放射の電波も受信するため、本来の位置とは大きく異なった測位結果を出力し、測位誤差が生じることが予想される。測位精度の評価結果からこのことが示されれば、試験環境の実現可能性を確認できるものと考えられる。

4. 実験結果に基づく実現可能性の検証

車上測位精度評価手法による測位誤差の算出結果を図3に示す。図3中の二つのグラフの横軸は測定時間、縦軸は測位誤差でゼロに近いほど精度が高い¹⁾。図中の色分けは測位品質で、RTK 測位や CLAS を利用した測位では高精度に測位を行えた

場合に FIX 解（図中の水色）を得られる。図3(a)より CLAS 対応アンテナでの測位は FIX 解を得られたときの測位誤差が小さいことが分かる。図3(b)より健全性判定用アンテナでの測位は FIX 解を得られているものの、測位誤差が 1m 程度定常的に発生していることが分かる。これらのことから、CLAS 対応アンテナは試験環境用アンテナで受信した電波の再放射の影響を受けていないことと、測位誤差が小さい区間を走行中は測位環境が良好であることを確認した。また、健全性判定用アンテナにおいては電波の再放射の影響を受けて定常的な測位誤差が発生したことを確認した。

以上より、試験環境用アンテナとリピータの組み合わせによる試験環境は実現可能と考えられる。

5. おわりに

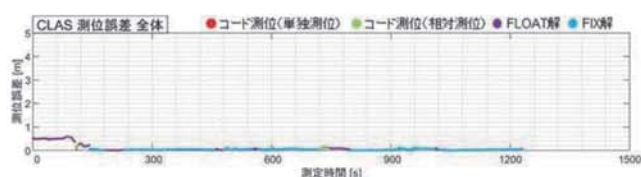
衛星測位健全性判定手法の有用性を検証するための試験環境として、試験環境用アンテナとリピータを組み合わせたイメージを示し、実車による実験と車上測位精度評価手法によって検討を行ったところ、試験環境の実現可能性を確認した。

謝 辞

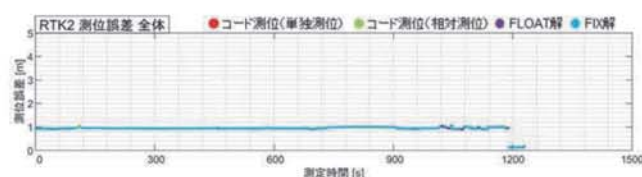
技術協力いただきましたイネーブラー株式会社と実車実験にご協力いただきました山形鉄道株式会社に謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口大助, 工藤 希, “鉄道分野における衛星測位システム利活用のための測位精度評価”, 日本信頼性学会誌, Vol.45, No.4, pp.164-171, (2023)
- 2) 山口大助, 工藤 希, 望月駿登, “鉄道等陸上交通における衛星測位の健全性判定手法の検討”, 交通研フォーラム 2023 講演概要, pp.65-66, (2023)
- 3) 坂井丈泰, “GPS のセキュリティ”, 日本信頼性学会誌, Vol.39, No.4, pp.158-164, (2017)



(a) CLAS 対応アンテナ



(b) 健全性判定用アンテナ

図3 測位精度評価結果

⑧第4種踏切の支援装置に関する取組

交通システム研究部 ※三好正太 山口大助 長谷川智紀
八木誠（客員研究員）

1. はじめに

鉄軌道輸送において、安全の確保は最大の使命である。近年、事故件数は減少傾向にあるものの、令和4年度には踏切事故が195件（第1種踏切174件、第3種踏切5件、第4種踏切16件）発生している¹⁾。

踏切における安全対策として、第4種踏切の廃止と第1種化が長年かけて進められているが、残る踏切の廃止は地域との調整が困難なことから、第1種化には設置や維持のコストと労力が必要なことから、特に経営の厳しい地方鉄道において第4種踏切が残存する状況である。このため、地方鉄道においては、低コストかつ効果が高い踏切の安全性向上策が求められる。

当研究所では、踏切事故の実態把握を行い、特に対策の求められる第4種踏切における直前横断事故に対し、第4種踏切の第1種化までの間の暫定対策として、汎用技術を利用した低コストな支援装置による安全性向上策を検討している²⁾。昨年度には通信機能の動作確認を行い、地上装置の適切な配置により十分な車上装置・支援装置間通信距離を得られることを示した³⁾が、引き続き支援効果の実証を目標に、装置の電源と通行者や運転士への報知機能の仕様について検討を行ったので報告する。

2. 第4種踏切の支援装置の仕様検討状況

第4種踏切の支援装置の設計仕様として、GNSS (Global Navigation Satellite System) や IoT (Internet of Things) デバイス、WiFi (Wireless Fidelity) 等の汎用装置による構成とすることを検討している。支援装置の試作機を図1に、動作イメージを図2に示す。車上装置は、列車の現在位置及び速度の情報をGNSSにより取得し、WiFi経由で地上装置に送信する。地上装置は、車上装置から受け取った情報を、図2のように近隣に設置された地上装置に再送する。これにより、WiFi通信における通信距離や障害物による見通しの制約を超えることとした。

支援装置の動作の概要を紹介する。支援装置は、図



図1 第4種踏切支援装置
(左：地上装置、右：車上装置)

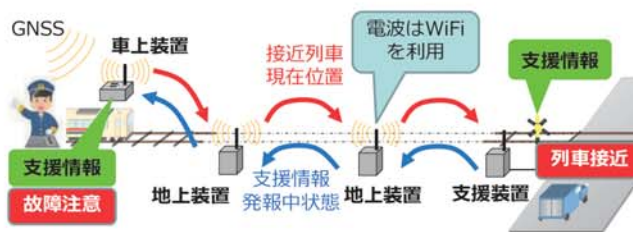


図2 第4種踏切支援装置の動作イメージ

2の赤矢印のように、車上装置から直接、または地上装置から再送された接近列車の現在位置および速度の情報を受け取ると、自身の設置位置から列車の接近を判断し、通行者に列車接近注意喚起を示す支援情報を表示するとともに、図2の青矢印のように、車上装置へ支援情報発報中状態を送信する。車上装置は、直近の踏切に接近しているにもかかわらず当該支援装置からの支援情報発報中状態を受け取れない場合には、支援装置の故障注意喚起を運転士に報知する。

電源設計については、第4種踏切が設置されている場所では外部電源が確保できないことが想定されるため、ソーラーパネルと蓄電池を用いて、昼間に充電した電力で支援装置を24時間稼働させることを前提としている。ソーラーパネルと蓄電池の必要容量は、支援装置の動作回数や報知方式による消費電力量、そして晴天日数によって変動する。製作した試作機については、図3に示す報知装置の消費電力が30W、列車が踏切を通過する回数が1日144回と仮定したときに、曇天下でも24時間連続稼働できることを設計条件として、これを満たす電源として、図4に示す100Wのソーラーパネルと12Ahのリン酸鉄リチウ



図3 報知器



図4 ソーラーパネル

ム電池を用いて電源を構築した。所内においてこの電源による1週間の連続動作実験を行った。

3. 支援装置の設置に関する社会的課題の整理

支援装置は汎用技術を利用して低コストとするため、支援装置の設置や仕様検討において、誤作動や不作動の可能性があることを前提として、設置に際する社会的課題を検討⁴⁾したので、紹介する。

第4種踏切には、対策のない状態においても踏切事故が発生するリスクが元々存在する。支援装置を設置したときには、支援装置が正常動作するほとんどの状況では踏切事故発生リスクが低減されると期待される一方、支援装置の誤作動や不作動により事故が新たに発生するリスクも存在する。このため、鉄道事業者は、支援装置を設置する場合、しない場合に存在する鉄道事業者自身にとってのリスクを比較し、支援装置を踏切に設置するか否かを判断する必要がある。

この判断の材料として、第4種踏切に踏切支援装置を設置する、または設置しない際に存在する、鉄道事業者にとってのリスクを評価するために、踏切事故が発生した際の民事裁判例を分析した結果を紹介する。踏切事故の民事裁判において、責任主体は運転士、踏切道設備の管理者、通行者の3者であり、この内前2者は鉄道事業者に関連する。これらの主体について、以下に示す過失の有無や程度を比較することにより、過失相殺が行われ、責任の大きさが判断される。

- (1) 運転士は、通行者の踏切への侵入を発見し、ブレーキ操作をしたか問われるが、技術基準⁵⁾において、通行者の踏切を含む線路内への侵入を発見する義務はないと解釈されているため、ほとんどの場合過失として認定されない。
- (2) 踏切道設備の管理者は、第4種踏切からの列車の見通しや聞こえが悪い場合、警報機も遮断機もないことが踏切道設備の欠陥であるとして過失が問われる事例がある。一方、踏切保安装置がある場合の誤作動、不作動の際の事故では、維持管理の過失が認定される事例がある。

- (3) 通行者は、安全を確認して踏切を通行する義務に対し、過失責任が問われる。

なお、これらの過失の認定に際しては、法令に限らず、鉄道事業者の内規も参照される。

以上を総合すると、第4種踏切に元々存在するリスクとして、踏切からの見通しや聞こえが悪い場合に、踏切道設備の欠陥が認められるリスクがあり、踏切支援装置を設置するとき、誤作動、不作動の際に事故が新たに発生するリスクがある。踏切支援装置の設置のためには、踏切事故発生リスクの低減は勿論であるが、鉄道事業者が(2)の責任を負うリスクが支援装置により増加せず減少することも求められる。このために、設置することによるリスクが発生しにくい装置仕様や運用方法を設計する必要がある。報知方法やその解釈の検討では、支援装置の設置対象となる地域との合意を形成するような対話も求められると考える。

4. おわりに

第4種踏切の支援装置の技術的仕様に関する検討状況と、特に報知装置の設計に関わる社会的課題の整理結果について紹介した。

第4種踏切対策は早期の社会実装が求められている研究課題であり、支援装置の仕様検討については鉄道事業者とも連携して進めている。本稿で紹介した電源や報知装置の検討が完了次第、鉄道事業者の協力の下、フィールドにおける報知効果の実証試験を行うことを計画しており、今後も社会実装に向けて着実に検討を進めていく。

参考文献

- 1) 鉄軌道輸送の安全に関わる情報（令和4年度）、令和5年11月、国土交通省鉄道局
- 2) 長谷川ら，“第4種踏切に対する安全性向上に関する検討について”，交通研フォーラム2022，pp.63-64（2022）
- 3) 長谷川ら，“第4種踏切に対する安全性向上支援装置に関する検討状況について”，交通研フォーラム2023，pp.71-72（2023）
- 4) 三好，“第4種踏切に対する支援装置の技術的検証と社会的課題への取組”，交通研講演会2024，pp.57-69（2024）
- 5) 平成十三年国土交通省令第百五十一号“鉄道に関する技術上の基準を定める省令”

⑨鉄道と物流双方の持続可能性検討のための 旅客鉄道を用いた物流の動向分析

交通システム研究部 ※三好 正太

1. はじめに

物流においては、地球温暖化対策に対応した環境にやさしい物流手段と、働き手1人あたりの輸送力が大きいことによる物流業界の担い手不足問題解決への寄与の2観点から、物流の鉄道へのモダルシフトが課題となっている。鉄道の物流分担率を今後10年程度で現在の2倍にすることが、2030年度に向けた政府の中長期計画¹⁾に示されている。

旅客鉄道においては、地方の鉄道において、利用者数の減少に伴い、列車運行の維持や継続が課題となっている。都市鉄道や幹線鉄道においても、新型コロナウイルス感染症の経験後、利用者数は従前の水準まで回復しておらず²⁾、列車運行の維持は課題である。

このような状況において、貨客混載に代表される旅客鉄道を用いた物流の取組は、物流と旅客鉄道の双方の課題を解決する可能性があり、実証実験に留まらず事業化についても広がりつつある。本稿では、鉄道と物流双方の持続可能性に寄与する可能性のある旅客鉄道を用いた物流について検討を行うために、現在の実施事例の調査を行った結果を報告する。

2. 調査の概要

鉄道事業者及び物流事業者のプレスリリース及び関連するニュース記事をweb上で調査した。

本調査において、旅客鉄道における物流とみなす対象は、荷物専用の列車または貨客混載輸送を輸送手段として用いて、鉄道事業者自らが荷物輸送サービスを提供する取組、または鉄道事業者と他の事業者が連携して荷物輸送を実施する取組とした。旅行者の荷物を預かり旅客列車で輸送する荷物輸送サービスは調査の対象外とした。ただし、旅行者のための大型手荷物の輸送と、農家等が自らの商品を出荷するために大型手荷物として荷物を運ぶ輸送は、実施方法が同じであるため、厳密な区別が困難である。一部の鉄道事業者で数十年以上行われている新聞輸送についても、実施状況の把握が困難であったため、対象外とした。

3. 調査結果の分析

旅客鉄道を用いた物流の調査結果を表1に示し、この内、事業化され継続的に輸送が実施されているものについて、その路線の位置を地図上に示したものを図1に示す。図1の青色の線により示す新幹線については各事業が接続しており、連携も行われているが、赤色の線により示す在来線については実施個所が分散しており、それぞれの取組は独立に行われている。

表1のサービスの実施形態に示すように、旅客鉄道を用いた物流の実施の形態は、以下の3種類に分類されることが確かめられた。

- (1) 鉄道事業者による一般の個人または法人が利用可能な自社サービスの提供
- (2) 物流事業者との連携による物流の実施
- (3) 物流事業者以外の特定の事業者との連携による物流の実施

また、表1においては、同一の鉄道事業者において複数種のサービス実施形態が行われている事例があるため、サービスの実施形態の総和と物流を実施している鉄道事業者数は一致しない。

物流を実施している鉄道事業者の数については、表1(b), (c)に示すように、地方民鉄と第三セクターからなる地域鉄道事業者³⁾の方が、その他の鉄道事業者よりも事業化に至る割合が高いが、実証試験も含めた実施数は少ない。地域鉄道事業者においては、事業化の確実性を事前の計画段階からより高く求めることで、事業化に至る事例が多くなっていると考えられる。一方、実証試験において採算の問題があると判断され、事業化に至らなかったことが報告された事例もある。

荷物輸送の実施形態については、荷物専用列車による輸送の実施は4事業者と少なく、ほとんどが貨客混載であった。都市鉄道や幹線鉄道では荷物専用の列車を増発するダイヤの余裕が少ないこと、地域鉄道においては列車を増発する運用の余力が少ないことから、貨客混載が輸送形態として選ばれると考えられる。

サービスの実施形態については、表1(a)に示すよう

表 1 旅客鉄道事業者による物流の実施状況

(a) 全鉄軌道事業者

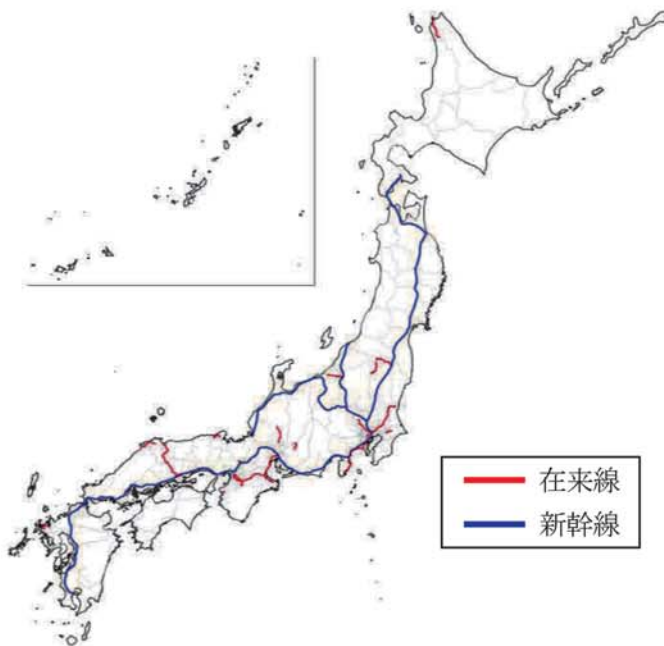
	物流を実施している 鉄道事業者	荷物輸送の実施形態		サービスの実施形態		
		貨客混載	荷物専用列車	自社サービス	物流事業者 と連携	物流事業者以外 と連携
事業化	19	18	3	6	11	7
実証試験のみ	12	11	1	0	3	9
合計	31	29	4	6	14	16

(b) 地域鉄道事業者以外（JR、大手民鉄、公営、貨物専門鉄道）

	物流を実施している 鉄道事業者	荷物輸送の実施形態		サービスの実施形態		
		貨客混載	荷物専用列車	自社サービス	物流事業者 と連携	物流事業者以外 と連携
事業化	9	9	2	4	5	4
実証試験のみ	9	9	0	0	3	6
合計	18	18	2	4	8	10

(c) 地域鉄道事業者

	物流を実施している 鉄道事業者	荷物輸送の実施形態		サービスの実施形態		
		貨客混載	荷物専用列車	自社サービス	物流事業者 と連携	物流事業者以外 と連携
事業化	10	9	1	2	6	3
実証試験のみ	3	2	1	0	0	3
合計	13	11	2	2	6	6

図 1 旅客鉄道を用いた物流が事業化されている路線
地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を基
に著者作成

に、他の事業者との連携による物流の実施が多くを占める。自社サービスの構築は、JR の新幹線を用いた物流と、一部の地域鉄道事業者に見られる。旅行者の荷物を預かり輸送するサービスを農家等の出荷に用いる事例を、貨客混載として捉える事例も見られる。物流事業者との連携と、物流事業者以外との連携については、実証試験も含めた取組の総数は同程度であったが、事業化に至った割合は前者が高いことが表 1(b)

と(c)の比較より分かる。物流事業者との連携には往復輸送の事例もあるが、多くは片道輸送である。輸送の実施方法については、特別な資材を必要としない荷物の箱を直接取り扱う方法や、荷物が数十個入った手押しの台車を用いる方法等があり、輸送量は多くとも 2～4 トントラック 1 台分と同程度と考えられる。また、輸送頻度については 1 日 1 回の場合が多い。

4. おわりに

旅客鉄道を用いた物流の実施状況に関する基礎的な調査を行い、都市鉄道、幹線鉄道、地域鉄道を問わず取組が行われていること、多くの取組が他の事業者との連携によるものであること、輸送量としては小規模であることを明らかにした。

今後は、この調査結果を受けて、地方鉄道と地方における物流の持続可能性に寄与する提案を目指すとともに、旅客鉄道を用いた物流と既存の貨物鉄道の連携による鉄道を用いた物流の利用拡大に寄与することを目指し、検討を行っていく。

参考文献

- 1) 我が国の物流の革新に関する関係閣僚会議，“2030 年度に向けた政府の中長期計画” (2022)
- 2) 国土交通省：鉄道輸送統計調査報告書
- 3) 国土交通省：地域鉄道対策 https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000002.html

⑩地域交通計画検討のための移動需要推計の取組

交通システム研究部

※小林 貴 大野寛之

1. はじめに

近年、中山間地や過疎地等における日常の自由な移動が難しい地域での公共交通のあり方が問題となっている。こういった公共交通での移動が困難な地域では概して人口が少なく、移動需要が少ない場合が多い。さらに高齢化や働き方改革等により運転手の確保が難しい。これらの要因から移動手段を供給する際に、移動需要のある場所や時間を適切に把握し、効率よく移動手段を供給することが求められる。そのためには、移動需要を適切に把握する必要がある。移動需要は年齢や性別等の個人属性や、日時等によって異なる行動から多種多様である。しかし、多種多様であっても個人属性や行動を限定すれば、把握できる可能性はある。

本稿では、多様な移動需要を捉えるフレームを提示し、地域交通計画を検討する際の既存の把握手法の課題と、必要な移動需要を推計することの可能性について整理する。

2. 移動需要を捉えるフレーム

移動需要を捉えるフレームを図1に示す。

移動は人が日常生活で行う行動から派生すると一般に考えられている。この行動には、異なる場所にあるモノやサービスを得るために移動が必要な行動と、自宅で読書等の移動が不要な行動がある。

移動が必要な行動の中には、日常的に行う通勤・通学移動や業務移動、買い物や通院等の私用の移動

がある。私用の移動目的はモノやサービスを得ることであるため、人がモノやサービスに向けて移動することの代替手段として、宅配や訪問医療等のモノやサービスが人に移動してくる場合もここに分類される。

そして、観光移動等の非日常的な移動が存在する。観光移動の中には、日帰り移動や宿泊を伴う移動があり、後者には邦人か外国人かという分類ができる。

3. 既存の把握手法と推計手法の可能性

前章で示した移動需要を捉えるフレームの個々の移動需要について、表1に移動需要の特徴、既存の調査、地域交通計画の検討に必要な要件、既存の調査の課題、推計の可能性について示す。

各移動需要の特徴について、中長距離（通勤、通学、観光）と短距離（私用）の移動需要、朝夕（通勤、通学）と日中（業務、私用）の移動需要、顕在化率の高い移動需要（通勤、通学）と低い移動需要（私用、観光）、自力で移動手段を確保できる年齢層が多い移動（通勤、業務）と自力で移動手段を確保できない年齢層を含む移動（私用、通学）といったように、距離や発生しやすい時間帯、顕在化のしやすさ、移動の自由度による違いがある。

既存の調査は主に PT 調査（パーソントリップ調査）によるものと、PP データ（プローブパーソンデータ）を活用するものがある。

PT 調査は個人の移動行動を把握するためにアンケート形式で実施される調査である。30 万人以上の都市圏を対象として数年おきに各都市圏の必要性に応じて非定期で実施されている。そのため、非調査対象地域では移動需要が把握できないことや、非調査時点の補間の点で課題がある。また、調査単位であるゾーンの大きさの点から、通勤や通学移動、観光移動といった中長距離の移動を把握することに向いており、短距離の私用移動が把握されにくい点に課題がある。

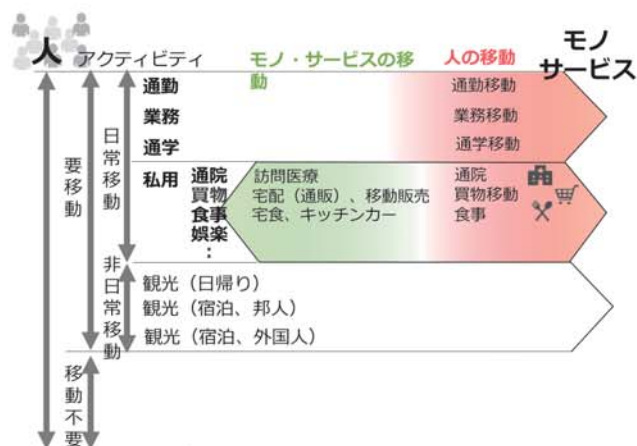


図1 移動需要のフレーム

表 1 移動需要の種類別と把握手法の整理

	移動需要の特徴	既存の調査	地域交通計画の検討に必要な要件	既存の調査の課題	推計の可能性
通勤	・朝夕の時間帯のみ ・中距離の移動(数 km~数十 km) ・移動が顕在化し易い ・自力で移動手段を確保できる年齢層が多い	・PT 調査 ・PP データ	・車通勤を公共交通に転換するための詳細な通勤移動及び派生移動の把握	・PT 調査は時空間的解像度が低い ・PP データは高額で地域によるデータ取得の難しさがある	・顕在化率が高いため、PP データを用いて詳細な時空間的解像度で把握可能
通学	・朝夕の時間帯のみ ・中距離の移動(数 km~数十 km) ・公共交通や自転車での移が基本	・PT 調査 ・PP データ	・効率的なスクールバス等の運行のための移動の出発地と目的地の把握	・PT 調査は解像度が低い	・自治体内の情報連携ができれば、詳細に把握可能
業務	・主に日中の時間帯 ・多種多様な産業連関に基づく多様な移動の種類がある ・人と物の移動が含まれる	・PT 調査 ・PP データ ・全国貨物純流動調査	・物流と人流を効率化するための時空間的に詳細な移動需要の把握	・PT 調査の解像度が低い ・企業秘密により詳細な出発地と目的地の把握が難しい	・産業連関に基づく推計ができる可能性がある
私用	宅配	・宅配営業所から居住地まで ・宅配時間帯はある程度調整可能	・宅配便取扱個数	・貨客混載等、混載可能な移動需要把握	・企業秘密により詳細な出発地と目的地の把握が難しい
		・一日にわたって発生 ・短距離の移動(自宅周辺数 km 程度) ・多様な移動の種類がある ・公共交通の整備水準により移動の顕在化率に地域差がある	・PT 調査 ・PP データ	・多様な移動目的毎に時間帯別の出発地と目的地の把握	・ゾーン内の移動が調査されないことが多い ・調査されても出発地と目的地の特定ができない
観光	・長距離の移動 ・リピート率が低い	・旅行観光消費動向調査 ・PT 調査 ・PP データ	・観光客の到達圏の把握 ・観光地の周遊行動の把握	・観光移動の詳細把握が難しい	・移動需要と移動手段、観光資源のマクロなモデリングによる推計の可能性

PP データは、個々の人の移動履歴を収集するためのデータであり、スマートフォンや専用デバイスの GPS 情報を取得しているデータである。PP データは時空間的解像度の点は解決できるが、データの購入費用が高額であることが多く、移動困難地域を抱える中小の自治体には予算の確保が厳しい場合が多い。個人情報保護の観点から移動需要の少ない地域では、データ取得ができない課題がある。さらに、PT 調査及び PP データは発生し、顕在化した移動を把握する調査手法である。移動困難な地域の多くは移動の顕在化率が低い場合が多く、データに現れていない潜在移動需要を把握する必要がある。

これらを踏まえて、移動困難地域における地域交通計画の検討をする際には、潜在移動需要、宅配移動需要、観光移動需要の推計手法の開発を優先的に進める必要があると考えられる。

当研究所では、これらの移動需要の推計に取り組んでいる。私用の潜在移動需要については、人口分布、アクティビティの集計値、施設分布といった入手が容易なオープンデータを用いて推計する手法を構築している¹⁾。宅配移動需要については、宅配営業所(出発地)から日常の移動が困難な居住地エ

リア(到着地)の位置関係と私用の潜在移動需要との比較から貨客混載が有効な可能性のある地域を可視化する手法を構築している²⁾。観光移動需要に関しては、遠方からの来街者数とその地域の観光資源の数や周辺の人口、公共交通の整備水準等の関係を統計的に分析し、モデリングに取り組んでいる。

4. まとめ

本稿では、移動需要を捉えるフレームを提示し、地域交通計画を検討する際の既存の調査手法の課題を整理した。

今後は、地域交通計画を検討する際に優先的に把握する必要があると考えられる、潜在移動需要、宅配移動需要、観光移動需要の推計手法の開発及び改善に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 小林貴ら, “地域交通計画の検討支援のための取り組み”, 令和 6 年度交通安全環境研究所講演会講演概要 2024, PP.3-8
- 2) 小林 貴, 花房比佐友(2023)“宅配距離を削減可能なラストワンマイルの貨客混載移動手段導入候補エリアの選定手法の開発”, 自動車技術会論文集 55 巻 1 号 p. 101-106

⑪ロープウェイ搬器における風と動揺のモニタリングに関する取組

交通システム研究部 ※森 裕貴 一柳 洋輔 小野 寛典
八木 誠（客員研究員）

1. はじめに

ワイヤロープに懸垂され走行するロープウェイ搬器（客車）で発生する動揺としては、支柱通過時や加減速に伴うピッチング、搬器を懸垂する支索等の振動や搬器に作用する風の影響によるローリング、支柱通過時の上下振動などがある。索道（ロープウェイ等）は風に影響されやすいため、線路中で風の影響が大きい地点に風速計を設置して運行可否を判断している⁽¹⁾。また、搬器の動揺を考慮し、線路中の近接する支柱等の建造物や地表面などと接触することの無いよう、搬器とこれら建造物等とは一定の間隔を設けている⁽¹⁾。走行中の搬器でひとたび発生した動揺を減衰させる要素として、空気抵抗等のほか、急停止時や支柱通過時に発生しやすいピッチングへの対策として、運転速度次第ではオイルダンパなどの動揺減衰装置が設置されている⁽¹⁾。搬器のローリングに対しては、ジャイロモーメントによる方法⁽²⁾や動吸振器⁽³⁾による制振が検討され一部で実用化している。

そのような中でも、風が影響したと思われる索道事故が発生している。索道の事故種類は鉄道事故等報告規則において、索条切断事故、搬器落下事故、搬器衝突事故、搬器火災事故及び索道人身傷害事故の5項目と定められている。図1に過去10年間に発生した索道運転事故件数の推移⁽⁴⁾を示す。5項目の内、風が影響する事故は搬器落下事故及び搬器衝突事故が考えられ、その件数は下げ止まりの傾向はあるものの、年3～4件程度で推移している。幸いにして、索道においては近年死亡者を出すような大きな事故は発生していないものの、乗客が乗車した状態で搬器の落下または衝突が起これば、大きな被害が生じることは想像に難くない。

同様に索道のインシデントについて、図2に過去10年間に発生した索道インシデント発生件数の推移⁽⁴⁾を示す。8項目の内、風が影響するインシデントは主に脱索（ワイヤロープが案内輪から外れること）が考

えられ、こちらも年3～4件程度で推移している。一度脱索が発生すると、乗客は自力で避難することはできず、救助を待つほか無い。索道における救助は地形等にもよるが、数時間以上かかることは珍しくなく、乗客への負担は大きい。

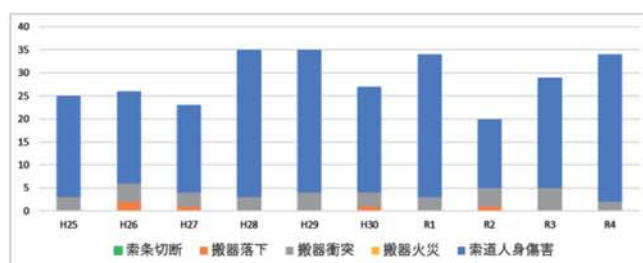


図1 10年間の索道事故発生件数の推移

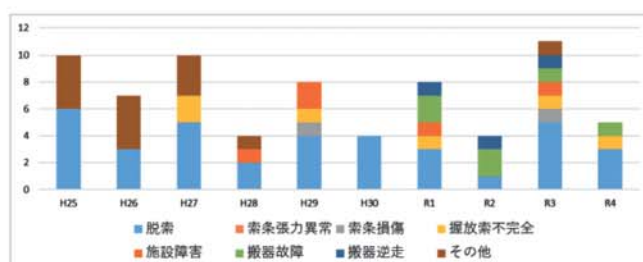


図2 10年間の索道インシデント発生件数の推移

多くの索道では慣例的に支柱や停留場に設置した風速計の情報を基に運行の可否を判断し、運転規制等を行っている。一方、風速計が設置されている支柱や停留場から離れると風の状況を把握できないため、風の状況のみでは運行の可否の判断が難しく、熟練した運転係員による搬器揺れの観察等に頼っているのが現状である。本研究では、予防保全の考えを採り入れることで、さらなる安全性向上が可能であると考え、ワイヤロープに吊り下がる搬器に着目し、その動揺と搬器に作用する風を常時モニタリングする装置の構築を行った。また、索道事業者協力の下、搬器風速の試験測定を実施したので、その結果について報告する。

2. モニタリング装置の構築

今回構築したモニタリング装置は、風の状況の常時把握と、搬器動揺の常時把握の両方を取り入れた仕組みとした。風の状況と搬器動揺の状況を両方から常時把握し、平常時から何らかの異変を検知することが目的となる。風が搬器に当たることによって搬器が揺れるという関係性から、「いつ」、「どこで」、「どの程度の風向・風速の風」が搬器に当たって、「搬器がどう揺れたか」を同時に記録することで、これらの多く蓄積されたデータから運行の可否の判断をスムーズに行える可能性がある。更には、万が一、搬器が構造物などに衝突するような特異な事象が発生した場合にはその原因の究明が容易になることが期待される。

2. 1. モニタリング装置の仕様

索道を対象とした搬器状態モニタリングの仕様について検討し、以下の仕様を定めた。1) 停留場間を走行する搬器の位置と速度、搬器動揺(搬器に作用する加速度等)、搬器走行位置における風向及び風速を搬器内で連続的に自動収録する。2) 搬器動揺、風向及び風速の測定値を搬器走行位置の情報とともに搬器から運転室やクラウドサーバ等にリアルタイムで無線伝送する。3) 運転室や搬器内で各測定値を随時確認できるようにする。4) 測定値が事前に設定した許容値を超過した際は運転係員に通知する。5) 日々の測定結果をクラウドサーバ等に一定期間蓄積する。6) 搭載する機器の動作に必要な電源を確保する必要がある。以上の仕様を満たす概略を図3に示す。

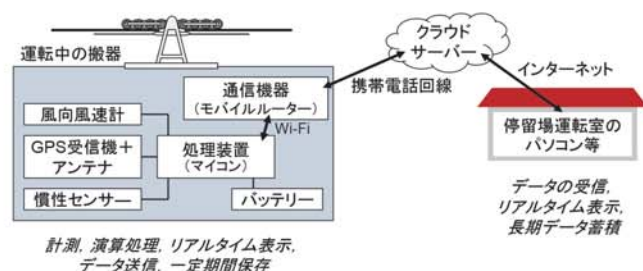


図3 モニタリング装置の概略

運転中の搬器に搭載する機器には、風向風速計は搬器上に風向や風速を測定可能な機器、GPS(Global Positioning System)受信機とアンテナは搬器の走行位置を測定するための機器、慣性センサは搬器の動揺を測定可能な機器、処理装置(マイコン)は風向風速計等からの測定データを集約するための処理装置、通

信機器(モバイルルーター)は測定データを運転室へ送信するための通信機器がある。なお、バッテリーは機器の駆動に必要な電源である。

2. 2. モニタリング装置の構成

図4に現在のモニタリング装置の構成を示す。風向と風速の測定について、搬器の動揺を発生させる風の風向や風速を把握するために、風向の早い変化に対応可能な超音波風向風速計を選定した。搬器の外に風向風速計を設置し、「いつ」、「どの程度の風向・風速の風」が搬器に当たったかを記録する。これによって線路中のどの地点で著大な風が生じたかや地形等によって搬器が受ける風を把握することが可能になる。

次に、搬器の動揺を前後方向、左右方向、上下方向の加速度と、ロール、ピッチ、ヨーの各回転の速度(角速度という)を測定する機器として慣性センサを選定する。搬器は同じ方向に傾き続けるような状態だけでなく、瞬間的な風や脈動する風を受けて動揺する状態もあり、揺れの方向が細かく変化するため、現在いくつかの索道事業者で採用されている傾度計では、この細かな変化に追従できず、測定には不十分といえる。採用した慣性センサでは加速度や角速度から搬器がどの程度揺れているかを把握することが可能である。筆者らのこれまでの取り組みから、搬器が支柱付近を走行する場合と支柱から離れた地点を走行する場合では、例えば前者では搬器の揺れが速く、後者ではその揺れが遅くなるような違いがあることが分かっている。従って、「搬器がどう揺れたか」を記録しておくことで線路中のどの地点で搬器に異常な動揺が生じたかを把握することが可能となる。

搬器の走行距離や運行速度は滑車の回転速度から検出し、運転室等の表示盤に表示する方法が主流である。しかし、今回のモニタリング装置においては、既存の装置から独立して稼働させるために不採用とした。モニタリング装置では、「どこで」、すなわち搬器の走行位置を測定するために、スマートフォンの地図アプリで自分の現在位置を示す、いわゆるGPSを採用した。GPSは複数の衛星から発信される電波を利用するため、電波を受信するアンテナと電波の情報を利用して現在位置を計算する受信機が必要になる。このGPSでは、複数の電波を利用することで速度の測定も可能である。

風向風速計、慣性センサ、GPS受信機がそれぞれ測定したデータを同期、集約するために処理装置(マイ

コン)を用意する。この処理装置に組み込まれた Wi-Fi 通信モジュールからモバイルルータを経由してクラウドサーバへデータを送信する。また、集約した測定データは処理装置内のSDカード等の記憶媒体にも一定期間保持される。処理装置は外部から電源供給のない搬器内に設置することから、小型かつ低消費電力であることが必須となる。近年、小型で低価格なコンピュータが多く流通しており、その中から Raspberry Pi 4 というマイコンを処理装置に選定した。

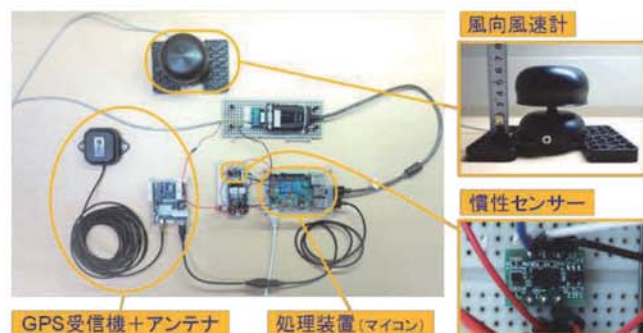


図4 モニタリング装置の搬器側構成

3. 搬器風速の試験測定

索道事業者協力の下、搬器風速をモニタリング装置で測定したので、その結果について報告する。測定は、比較的小型の搬器(8人乗り)が一定速度で循環する、自動循環式普通索道のA路線と、2つの大型搬器(166人乗り)で山麓駅と山頂駅を交互に往復する、複線交走式普通索道のB路線の2箇所で行った。モニタリング装置は、風向風速計は治具を用いて搬器上に設置し、その他の機器は箱に収めて搬器内に設置した。図5に風向風速計の取り付け状況を示す。なお、索道搬器の様な移動する物体は、まったくの無風状態であっても移動による空気抵抗が搬器及び風向風速計に作用し、見かけ上風速が作用しているように観測されてしまう。これは、搬器の移動速度(GPS速度)によって数学的に補正可能であり、本研究では補正後の風向を真の風向、補正後の風速を真の風速と呼ぶ。



図5 A路線の取り付け状況(左)、
B路線の取り付け状況(右)

3. 1. A路線の風の測定結果

図6にA路線の駅舎と支柱の位置関係を示す。測定は山頂駅から山麓駅までの往復を11時30分頃から16時30分頃まで実施した。本路線では第2号支柱に風速計、第3号支柱に風向風速計が設置されている。図7は第3号支柱に設置された風向風速計のデータである。当日は第3号支柱では南風が継続して観測されており、10m/s前後の風速が確認できる。

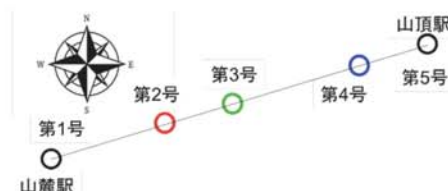


図6 A路線の支柱と駅舎の位置関係

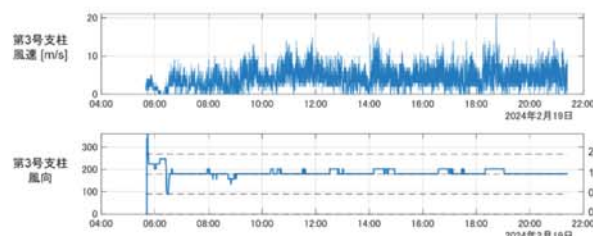


図7 A路線の第3号支柱の風向風速

図8にモニタリング装置での測定結果の一例を示す。風速については線路中で途切れずに記録できており、モニタリング装置の当初の仕様を満たしていることが分かる。また、2号支柱から3号支柱の間で比較強い風が吹いており、既存の風速計設置位置とは若干離れ、最も強い風が支柱間で吹いていることが分かる。

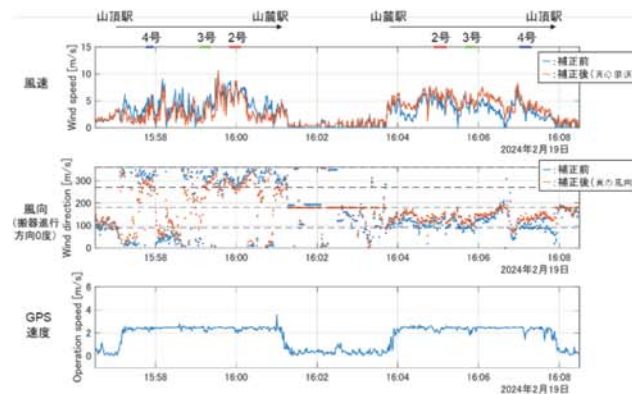


図8 A路線の測定結果

風向については、山頂から山麓へ向かう際は搬器の進行方向に対して右回りに約 300 度が南方向、山麓から山頂へ向かう際は約 120 度が南方向であり、線路中は概ね当日の第 3 号支柱のデータと一致している。第 4 号支柱の前後で風向が乱れているが、これは第 4 号支柱の南側に搬器位置よりも高層のビルが建っており、ビル風の影響と考えられる。GPS 速度については、実際の運行速度である 2.5m/s を良く追従しており、GPS 受信環境が良いことを示している。

3. 2. B路線の風の測定結果

図 9 に B 路線の駅舎と支柱の位置関係を示す。当日は比較的風が強く、試運転を 1 往復した後に運休が決まったので、1 往復のみ測定を実施した。本路線では、山頂駅と第 1 号支柱及び第 2 号支柱に風向風速計が設置されている。本風向風速計はログを残さないタイプのため記録はないが、表示器を撮影した動画(図 10)にて第 1 号支柱では北西の強い風が吹いていることが、第 2 号支柱では風が弱く風向が安定していないことが確認された。

図 11 にモニタリング装置での測定結果の一例を示す。風速については支柱ではなく、山麓と第 1 号支柱の間でもっとも強く風が吹いていることがわかる。風向については、山麓から山頂へ向かう際は搬器の進行方向に対して右回りに約 70 度が北西方向であり、第 1 号支柱の風向風速計の表示状況と一致している。第 2 号支柱の周辺で風速が低く風向が乱れているが、これは第 2 号支柱周辺が防風林に挟まれる形で線路が通っており、風の影響が減衰されているためと考えられる。GPS 速度については、風が強かったためブレーキを繰り返しながらの運行であったことを良く観測できており、GPS 受信環境が良いことを示している。

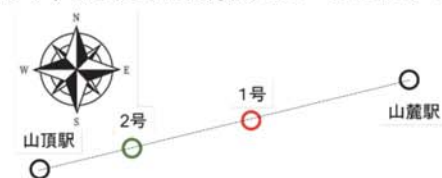


図 9 B路線の支柱と駅舎の位置関係



図 10 B路線の第 1 号支柱の風向風速

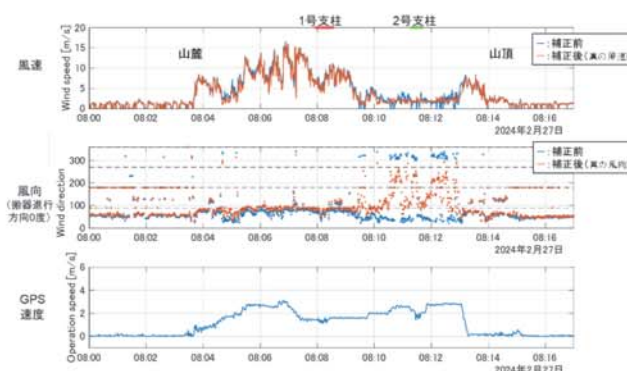


図 11 B路線の測定結果

4. おわりに

本研究では、ワイヤロープに吊り下がる搬器に着目し、動揺と搬器に作用する風を常時モニタリングする装置の構築を行った。また、索道事業者協力の下、搬器風速の測定を行うことで、構築したモニタリング装置の風の測定に関する仕様を確認した。その結果、風向風速計と GPS においては当初の仕様通り、良好な測定データを得ることができた。

風の測定結果については、事業者が設置した風向風速計の位置においては概ね一致していることが確認された。また、最大風速は支柱以外で測定されるなど、これまでに無い知見を得ることができた。一方で、慣性センサについては、推定アルゴリズムに課題が生じた。

今回の測定は一日の試験測定に留まっているため、今回の結果が定常的なものかどうかは、常時監視を実現する必要がある。そのために、モニタリング装置の更なる改良に着手したい。また、動揺の測定についても検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本鋼索交通協会、“索道施設設計標準・管理標準及び同解説 2018 年改訂版”(2018)
- 2) 西原修、松久寛、佐藤進、“ジャイロモーメントを用いる制振機構”、日本機械学会論文集 (C 編)、57 巻、534 号、pp. 497-503 (1991)
- 3) 松久寛、顧栄栄、王永生、西原修、佐藤進、“索道搬器の動吸振器による制振”、日本機械学会論文集 (C 編)、59 巻、562 号、pp. 115-120 (1993)
- 4) 国土交通省鉄道局、日本鋼索交通協会、“令和 5 年度索道技術管理者研修会テキスト”(2023)

⑫PC-Crash によるダミー衝突挙動解析のための マルチボディモデル開発

自動車安全研究部

※薄井雅俊、松井靖浩、細川成之、田中良知

1. はじめに

交通事故における車両乗員、自転車乗員や歩行者の被害状況を解析するために、実際の対象物や模擬対象物を用いた実験が行われるが、コストや時間の問題から実験条件への制約が多い。シミュレーション技術を用いることで実験だけでは対応できない多様な衝突条件の解析が可能となるが、一般的なマルチボディ解析、有限要素法解析などのシミュレーションは数時間から数日の計算時間を要する。

実験や有限要素法解析は、多様な衝突条件の中でもより危険性の高い条件を再現することが望ましい。実験や有限要素法解析によって傷害値評価を行う前段階として多様な条件での衝突挙動を網羅的に調査するために、より短時間で簡易的に衝突挙動をシミュレーション可能な PC-Crash¹⁾に着目した。PC-Crash は剛体の衝突挙動を解析し交通事故の車両挙動を推定するソフトウェアであり、その計算時間はわずか数分である。簡易的なマルチボディを用いて乗員や歩行者の衝突挙動の計算も可能であるが、PC-Crash データベースの標準人型マルチボディモデルは人体や衝突ダミーを詳細に再現しておらず、衝突挙動の再現精度に課題がある。

本研究は、PC-Crash を用いてダミー衝突挙動を再現可能なマルチボディモデルの開発を目的とした。

2. 実測ダミーモデルの開発

ダミー衝突挙動を再現するために、Hybrid III AM50 ダミーを実測して全身を計 27 の楕円体で構成するマルチボディモデルを作製した。図 1 に PC-Crash 標準の歩行者モデル、実際のダミーと開発したダミーモデルを示す。頭、首、胸、腰、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足に相当する楕円体は実測と仕様から形状と重量を決定した。関節は首(ボールジョイント(BJ)2ヶ所)、肩(2軸)、肘(2軸)、手首(BJ)、腰(BJ)、股関節(BJ)、膝(2軸)、足首(1軸)とし、各関節は実際のダミーの可

動域と可動抵抗を再現した。同様に Hybrid III AF05 ダミーモデルも作製した。

3. 実車衝突実験結果との比較

3. 1. フルラップ前面衝突実験

開発したダミーモデルを使用して、UN Regulation No.137 に準じたフルラップ前面衝突実験を再現したシミュレーションを実施した。実験では小型乗用車を使用し、右後席に AF05 ダミー、左後席に AM50 ダミーを搭載した。本シミュレーションの目的は開発したダミーモデルによる衝突挙動の再現精度確認であるため、エアバッグの影響の少ない後席乗員を対象とし、右後席に開発した AF05 モデル、左後席に開発した AM50 モデルを搭載してシミュレーションを実施した。また、比較のため PC-Crash 標準の乗員モデルを搭載したシミュレーションも実施した。

図 2 に衝突の瞬間を 0 ms とした車両挙動を示す。実験では 150 ms で後輪が浮き上がるようにピッチングした。その後、壁から離れながら後輪が着地した。シミュレーションでは、実験結果と同様の車両挙動を再現した。図 3 に実験とシミュレーションの後席乗員

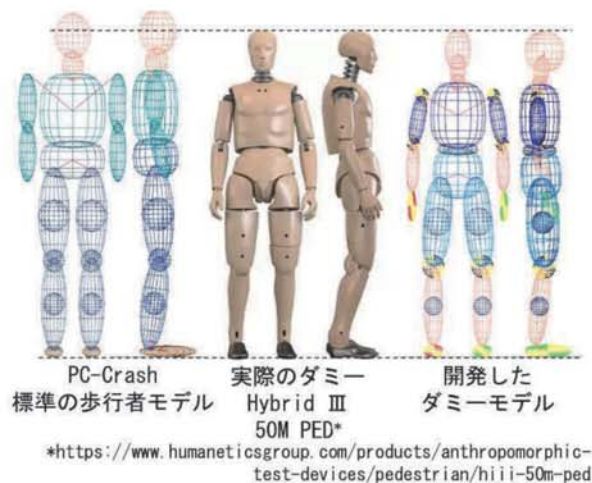


図 1 PC-Crash 標準歩行者モデルと
本研究で開発したダミーモデル(AM50)

挙動を示す。実験ではAM50 ダミー、AF05 ダミーとともに、衝突後 110 ms で最も前方に移動したが頭部と前席は衝突しなかった(図中赤丸)。250 ms では、両ダミーともに車両のピッチングによって座面から浮き上がり、頭部が天井やサイドエアバッグに接触した(図中青丸)。開発モデルは、250 ms の腕の挙動に若干の差異があったものの、頭部衝突の有無や座面からの浮き上がりなど実験結果と同様の挙動を示した。一方、標準モデルは 110 ms で腰部が大きく曲がり頭部が前席に衝突し、250 ms では上体、腕や頭部が振り回され、実験結果と異なる挙動を示した。

3. 2. 自転車衝突実験

開発したダミーモデルを使用して、四輪車と自転車との出会い頭衝突実験を再現したシミュレーションを実施した。図 4 に示すように、実験では AM50 歩行者ダミーを搭載した自転車の左側面に軽乗用車を 40 km/h で衝突させた。

図 5 に路面衝突までの自転車乗員挙動を示す。120 ms で頭部が車両に衝突するまでは開発モデル、標準モデルともに実験結果と同様の挙動を示した。その後、実験結果と開発モデルは同様の挙動を示し、体が正面を向いたまま全身が時計回りに回転し、左側頭部から路面に衝突した(図中赤丸)。標準モデルは、410 ms でルーフ側に滑るように全身が浮いて仰向けになり、背面から路面に衝突した。



図 2 フルラップ前面衝突の車両挙動

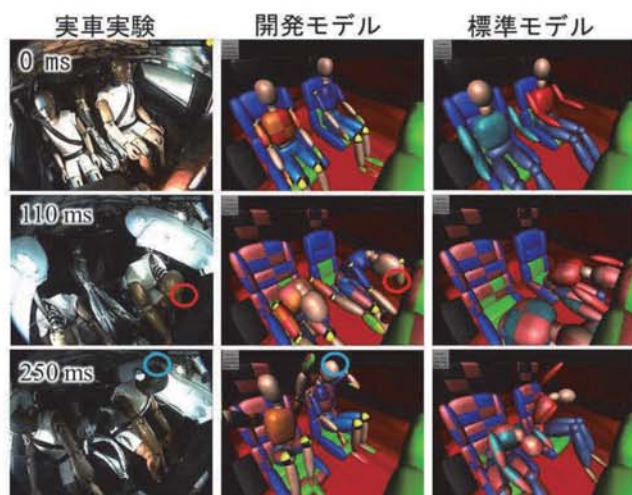


図 3 フルラップ前面衝突の後席乗員挙動

4. まとめ

本研究では、形状、重量、関節を調整したダミーモデルを開発した。実験結果との比較により開発したダミーモデルは、標準の人型モデルより高精度にダミー衝突挙動を再現可能だった。従って、開発したダミーモデルは実験や有限要素法解析の予備解析として短時間で衝突挙動を予測するために有用である。

今後は、ダミー検定試験を再現したシミュレーションやパラメータ調整によって、衝突加速度や傷害値評価の精度向上が可能か調査する。

参考文献

- 1) Wach W, "Simulation of Vehicle Accidents using PC-Crash.", Institute of Forensic Research Publishers, Krakow, Poland, (2011)



図 4 自転車衝突実験の配置

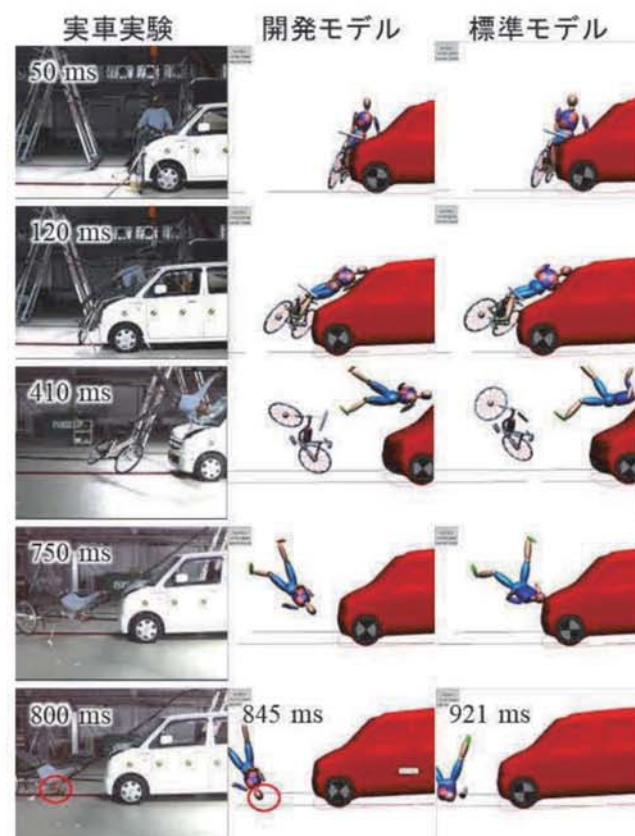


図 5 自転車乗員の挙動
(頭部と路面の衝突以外は同時刻での比較)

⑬前面衝突実験における後席ダミーの性差による応答の比較

自動車安全研究部

※田中 良知

細川 成之

松井 靖浩

薄井 雅俊

1. はじめに

現在の日本の前面衝突試験の基準において、後席乗員の安全性能評価試験は行っていない。一方、自動車アセスメントでは前面衝突時の後席の安全性能評価試験として、日本では小柄成人の女性ダミー、欧州では子供ダミーを搭載して実施しているが、成人の男性ダミーを後席に搭載した試験は行われていない。

車両の衝突安全の国際基準を議論している WP29/GRSP において、性別の違いによる交通事故の受傷状況の違いが注目されており、乗員の性別や体格等によらず同等の安全性の確保を目的として Equitable Occupants Protection Informal Working Group が 2023 年に設置された。

本研究では、小型乗用車と軽乗用車の後席に男性と女性のダミーを搭載して、フルラップ前面衝突実験とオフセット前面衝突実験を実施し、後席乗員の性別の違いによる傷害値を調査した。

席に男性ダミーを、助手席と右後席に女性ダミーを搭載した。前席ダミーの搭載方法は R137 に定められた試験方法で行なった。後席への女性ダミーの搭載方法は、日本のアセスメントに定められた試験方法で行った。男性ダミーを後席に搭載する試験は行われていないため、男性ダミーの後席への搭載方法は R94 の助手席ダミーの試験方法で行った。本研究では後席ダミーに着目し、挙動及び傷害値を解析対象とした。

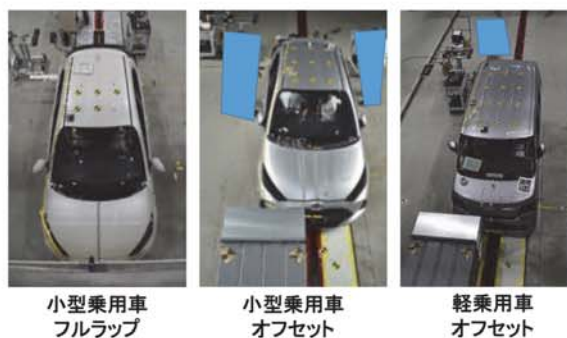


図1 実験車両と衝突形態

2. 前面衝突実験

2. 1. 実験方法

実験は、後席へのダミーの搭載位置以外は国連協定規則である UN Regulation No.137 (以下 R137 という) で定めるフルラップ前面衝突試験方法及び UN Regulation No.94 (以下 R94 という) で定めるオフセット前面衝突試験方法に従って実施した。実験には日本での販売台数が比較的多い小型乗用車と軽乗用車を用いた。小型乗用車はフルラップ前面衝突とオフセット前面衝突を、軽乗用車はオフセット前面衝突のみを実施した。小型乗用車の後席シートベルトにはプリテンショナ及びフォースリミッタが装備されていたが、軽乗用車の後席シートベルトには装備されていなかった。図1に実験車両と衝突形態を示す。

実験には平均男性を模擬した Hybrid III AM50 ダミー (以下男性ダミーと言う) と小柄女性を模擬した Hybrid III AF05 ダミー (以下女性ダミーと言う) を用いた。図2にダミーの搭載状況を示す。運転席と左後



図2 ダミー搭載状況

2. 2. 実験結果

図3に後席ダミーの頭部が最も前方に移動した時の両ダミーの状態を示す。今回の全ての実験において後席ダミーの頭部と前席背面との衝突は発生しなかった。衝突事故発生時に、乗員の頭部が車室内部品と衝突した場合に死亡重傷事故につながりやすいが、今回の実験条件では、男女のダミーの違いによらず頭部の衝突は発生しなかった。

図4にフルラップ及びオフセット前面衝突で後席に搭載した男性及び女性ダミーの各傷害値について、基準の規制値を1としたときの比で示す。前面衝突試

験の基準において、男性ダミーと女性ダミーでは頸部傷害値、胸部変位、大腿骨荷重で閾値が異なっている。そのため本調査では、男性ダミーと女性ダミーの傷害値の比較を比で行った。なお今回の実験では、図3で示したように頭部の衝突は発生しなかったため HIC は算出しなかった。小型乗用車フルラップ前面衝突実験と軽乗用車オフセット前面衝突実験における男性ダミーの頸部曲げモーメントは基準の閾値を超えており、軽乗用車オフセット前面衝突実験における男性ダミーの胸部変位は基準の閾値と同じであったが、それら以外は基準の閾値以下であった。

同一車両の同じ衝突形態において、男性ダミーと女性ダミーの傷害値の比を比較すると、胸部変位および頸部曲げモーメントでは男性ダミーが高かった。



図3 後席ダミー状態

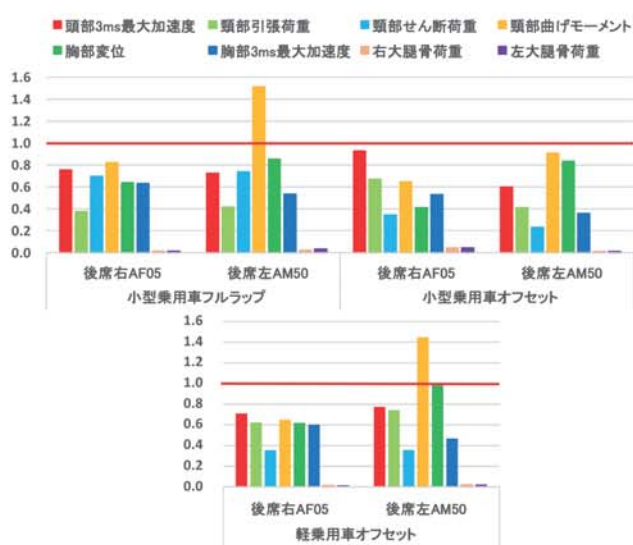


図4 後席ダミー傷害値比較

3. 考察

同一車両の同じ前面衝突実験時の後席に搭載した男女ダミーの傷害値と基準の閾値との比を比較すると、男性ダミーの頸部曲げモーメントと胸部変位量においては比が0.8以上と高く、特に小型乗用車のフルラップと軽乗用車のオフセットの頸部曲げモーメントは1.4を超えており、軽乗用車のオフセットの胸部変位は1.0であった。男性ダミーの頸部曲げモーメントが高くなった理由として、男性ダミーの身長は女性ダミーよりも高く、前面衝突時に腰部を中心とする回転運動の半径が大きいため、頸部曲げモーメントが高くなったと考えられる。なお、前席ではエアバッグにより頭部が拘束されて頸部への負荷が小さくなるため、頸部傷害値の男女差は生じにくいと考える。男性ダミーの胸部変位が高くなった理由として、男性ダミーの質量が女性ダミーよりも大きく、前方に大きく移動する分、変位量が増加したためと考える。

また、軽乗用車の方が小型乗用車より胸部変位の比が高く、その理由として小型乗用車では後席のシートベルトにフォースリミッタが装備されていたが、軽乗用車には装備がなかったためと考える。後席シートベルトへのフォースリミッタの装備は、後席乗員の胸部の受傷防止に有効であり、安全性向上に大きく寄与すると考える。

4. まとめと課題

同一実験の前面衝突時の後席に搭載した男性ダミーと女性ダミーの傷害値を基準の閾値を1.0としたときの比で比較すると、頸部曲げモーメントと胸部変位量について男性ダミーが高く、その値は基準の閾値を超えているか閾値に近い値であった。このダミーの計測値から、後席において男性乗員の方が女性乗員より受傷しやすい可能性があると考ええる。

但し本報告では2車種3実験を対象とした結果であることから、今後更なる調査が必要と考える。また、オフセット前面衝突では車両が回転運動をするため、左右の座席で減速度が異なる。今回の調査では、後席左右の乗車位置の違いの影響を確認できなかったが、今後左右で男女のダミーを入れ替えての調査も必要と考える。

⑭前面衝突実験における後席ダミーの着座姿勢が傷害値に及ぼす影響

自動車安全研究部

※細川成之、田中良知、松井靖浩、薄井 雅俊

1. はじめに

自動車乗員の着座姿勢は、移動目的や乗車位置（運転席、助手席、後席など）、シート形状、シートポジション、乗車時間などにより様々であり、さらに今後は、自動運転車などの普及を想定すると、これら多様な要素を考慮した乗員傷害の研究が重要になると考えられる。

そこで、本研究では前面衝突事故における後席乗員の着座姿勢が乗員傷害に及ぼす影響について、スレッド試験を実施し調査した。

2. 実験概要

小型乗用車のホワイトボディを用い、50 km/h でのフルラップ前面衝突を模擬したスレッド試験を行った。図1にダミーの搭載姿勢を示す。後席に小柄女性ダミー（AF05）を搭載し、着座姿勢のみを2条件で変化させた。条件①ではJNCAPのオフセット衝突試験と同じ着座姿勢、条件②ではリラックスした着座姿勢としてヒップポイント（H.P.）を条件①よりも前方に100 mm 移動した姿勢で試験を行い、各条件におけるダミー挙動と傷害値を比較した。



図1 ダミーの搭載姿勢（H.P:腰の位置）

3. 実験結果

実験時におけるダミーの挙動を図2に示す。(a) 初期状態では条件①②ともにシートベルト経路は同様であった。その後、0.015 s でプリテンショナー（シートベルトを瞬間的に引き込み弛みをとる機構）が作動を開始し、(b) 衝突後（ $T = 0.025$ s）では、ショル

ルダールベルトが首側に移動した。(c) 衝突後（ $T = 0.100$ s）では、条件①はショルダールベルトは衝突開始直後の位置で上部部の拘束を維持し、ラップベルトは骨盤付近で腰部の拘束を維持していた。一方、条件②ではラップベルトが骨盤から外れて腹部を圧迫し、ショルダールベルトが上方に移動したため、ベルト下部が脇腹の上部まで達しベルト上部が頸部を圧迫した。

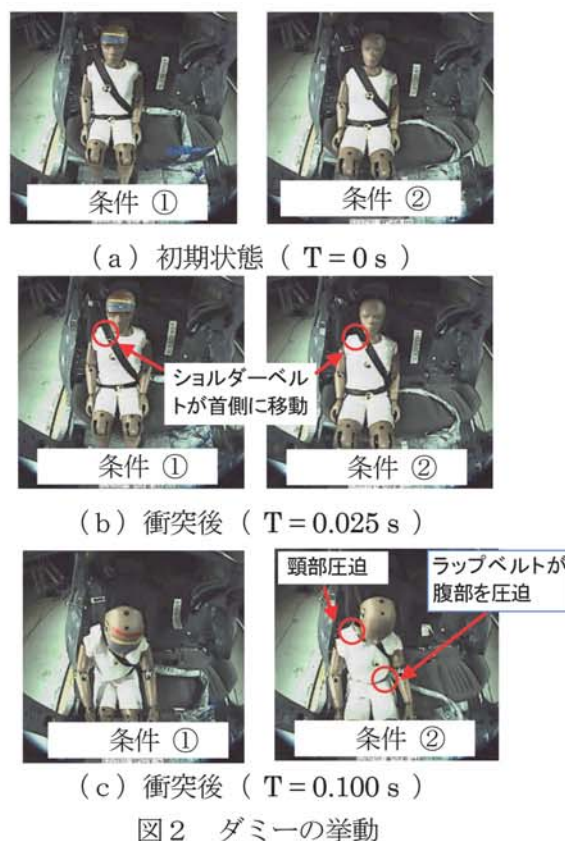


図2 ダミーの挙動

次に、ダミーの傷害値を表1に示す。ダミー傷害値はUN-R137における閾値との比で表示した。なお、ダミーの頭部は車室内との衝突がないためHIC（頭部傷害基準）の評価はしていない。

条件①②ともに全ての項目で閾値より低い値であった。特に、胸部変位は条件①に比べて条件②では低い値を示した。

表1 ダミーの傷害値（閾値に対する比）

	条件①	条件②
頭部 3ms 最大加速度	76%	65%
頸部引張荷重	66%	72%
頸部剪断荷重	37%	22%
頸部曲げモーメント	72%	50%
胸部変位	57%	31%

次に、頭部合成加速度の時間履歴を図3に示す。頭部合成加速度は条件①に比べて条件②では若干早く最大値に到達した、最大値はほぼ同じだった。

胸部変位の時間履歴を図4に示す。条件①の胸部変位はショルダールベルトによる上部部の拘束とともにほぼ一様に数値が上昇するが、条件②では低い値で推移した。これは条件①では胸部の中央付近をショルダールベルトで押さえるのに対して、条件②ではショルダールベルトが首から脇の下にかかるため胸部中央付近を圧迫しなかったためと考えられる。

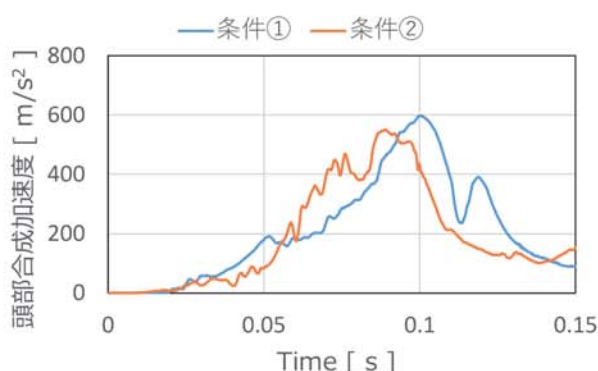


図3 頭部合成加速度の時間履歴

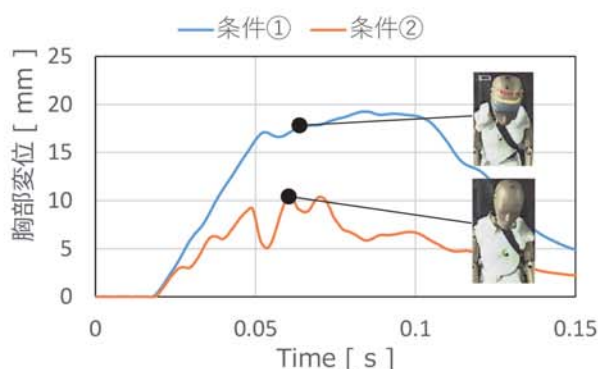


図4 胸部変位の時間履歴

次に、ラップベルト張力を図5に示す。ラップベルトの張力は、条件①では拘束を開始してから最大値に達するまでほぼ減少することなく増加するが、条件②では上昇した後にいったん減少に転じてさらに増加した。これは、シートベルトが骨盤から脱落した後に

腹部に移動したことを示すものと考えられる。

ショルダールベルト張力の時間履歴を図6に示す。ショルダールベルトの張力は、条件①と条件②とではほぼ同じ傾向を示した。0.05s から 0.10s 付近まで一定の張力を示しているのはフォースリミッタ（胸部傷害を低減するためにシートベルト張力に上限値を設定する機構）によるものと考えられる。

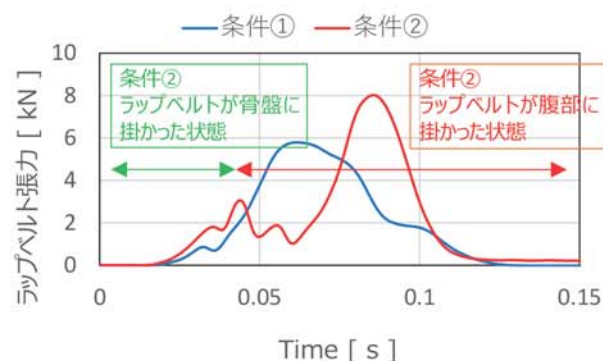


図5 ラップベルト張力の時間履歴

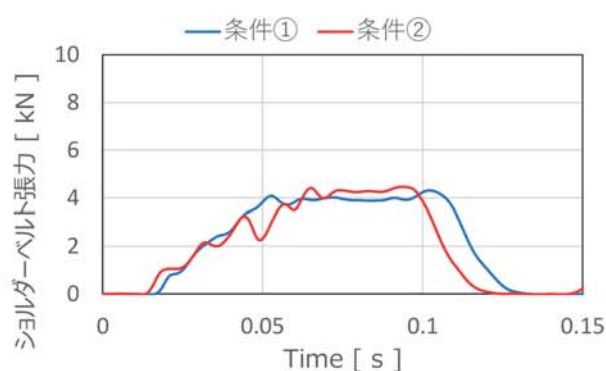


図6 ショルダールベルト張力の時間履歴

3. まとめ

本研究で調査した乗車姿勢条件では、リラックス姿勢でも衝突試験基準の閾値を越えることはなかったが、シートベルトによる拘束が不十分となり、頸部や現行衝突試験法で評価されていない腹部傷害が発生する可能性のあることが明らかとなった。

多様なシートポジションや乗車姿勢を考慮した乗員傷害については、ダミー実験だけでは不十分であり、コンピュータシミュレーション解析との連携が必要である。

⑮交差点左折時のドライバの運転特性

自動車安全研究部 ※松井 靖浩 細川 成之
自動車認証審査部 成田 雅
東京都立大学 及川 昌子

1. はじめに

我が国のセダン及び車両総重量(GVW)7.5t 未満貨物車と歩行者との低速度衝突事故では、左折時に歩行者へ衝突する事例が存在する。これは、交差点に存在する歩行者の見落としが事故要因として考えられるが、左折時の交通事故発生メカニズムは明らかにされておらず、その解明にはドライバの注視特性を含む行動を把握する必要がある。そこで、本研究では、信号機のある交差点でセダン及びGVW7.5t 未満の貨物車が左折する際に、歩行者の存在がドライバの運転行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ここでは、実験参加者を対象とし、ドライバの視線注視位置及び注視時間、車両の走行速度を計測した。

2. 調査方法

実験参加者に供試車両の運転操作を依頼し、信号機付き交差点において左折を行うよう指示した。普通自動車運転免許を所有し、GVW7.5t 未満の貨物車の運転経験のある男性 13 名、女性 2 名の計 15 名を対象とし、15 名全員がセダンと小型トラックの両方を運転した。供試車両を運転する順番は実験参加者毎にランダムにした。実験は独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所の人間を対象とする実験に関する倫理審査において承認され実施した。左折の運転操作を行う際のドライバの視線注視位置及び注視時間、車両の走行速度を計測した。本実験では、実験参加者に「普段どおりの運転で直進し、交差点を左へ曲がってください」と教示し、交差点手前 400 m 地点より走行を開始した。

ここで使用した供試車両は、セダン (GVW1.5t) 及び小型トラック (GVW4.7t) 各 1 台とした。実験では、図 1 に示すように信号機付き交差点を左折する際、条件 1：歩行者なし、条件 2：手前歩行者、条件 3：対面歩行者、条件 4：手前・対面歩行者の計 4 条件を設定した。「歩 1」は手前歩行者、「歩 2」は対面

歩行者をそれぞれ指す。静止した歩行者モデルは、横断歩道幅の中央に位置するよう、車両の転回方向側に配置した。また、他車両が注視特性に及ぼす影響を把握するため、転回方向とは逆方向側に、停止車両 (1 台) を配置した。本実験では、車信号機を青、歩行者信号機を赤に設定した。

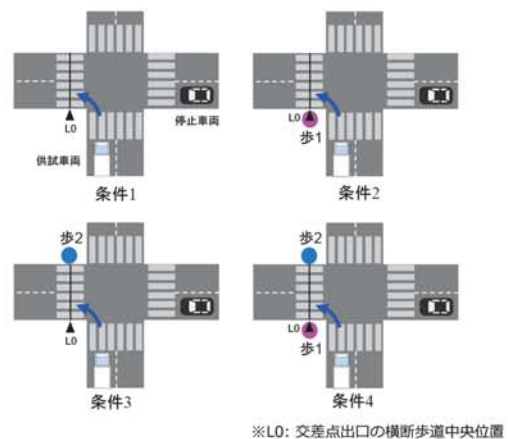


図 1 実験条件

眼球の動きから視線を推定可能とする視線計測用眼鏡を実験参加者に装着し、運転操作を行う際の注視状況を調査した。交差点左折時におけるドライバの注視対象として、①手前歩行者、②対面歩行者、③車信号機、④歩行者信号機、⑤停止車両、⑥後写鏡、⑦左サイドミラー、⑧右サイドミラーの計 8 カ所を指定した。それら注視対象を特定 8 注視対象と呼称し、対象を注視した場合の注視時間を調査した。

Global Positioning System (GPS)受信器による位置情報から交差点出口の横断歩道中央位置 (図 1:L0) における車両走行速度を計測した。

3. 実験結果

3. 1. ドライバの合計注視時間

交差点を左折する際、ドライバは特定 8 注視対象を複数回注視している。分析では、それぞれの注視時間

の合計を合計注視時間と呼称する。15名の実験参加者による左折時の特定 8 注視対象の合計注視時間の平均値を図 2 に示す。左折における特定 8 注視対象の合計注視時間の平均値は、条件 1「歩行者なし」では左サイドミラーを注視した時間が最も長かった（セダン 0.1 秒、小型トラック 0.3 秒）（以下、() 内はセダンの値、小型トラックの値で表示）。条件 2「手前歩行者」では手前歩行者（0.6 秒、0.9 秒）、条件 3「対面歩行者」では対面歩行者（1.0 秒、1.4 秒）を注視した時間が最も長く、条件 4「手前・対面歩行者」では、対面歩行者（0.9 秒、0.9 秒）に次いで手前歩行者（0.6 秒、0.7 秒）を注視した時間が長かった。このように、左折において条件 2、3 では、歩行者モデルを注視した合計注視時間の平均値はセダンが小型トラックより短く、条件 4 ではセダンと小型トラックとで近似していた。

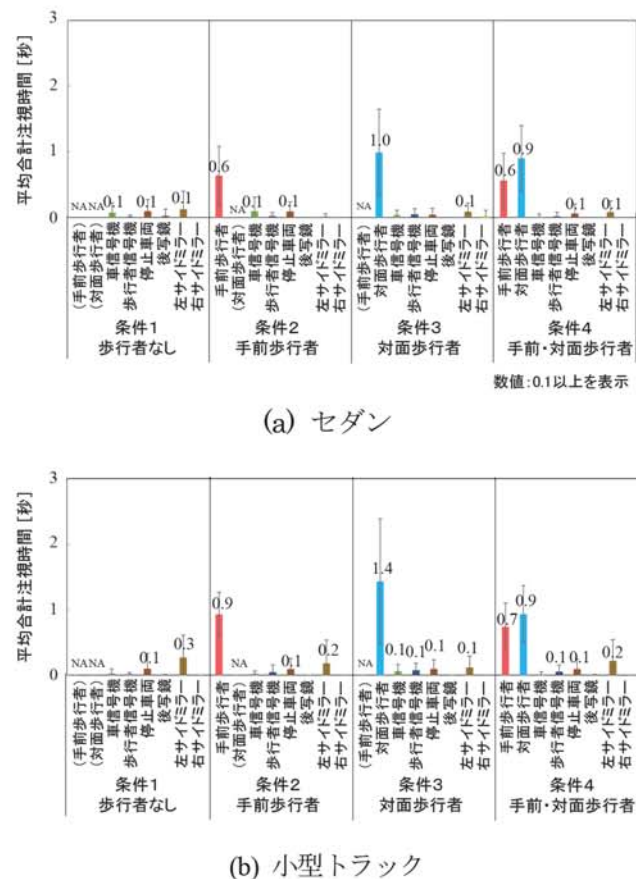
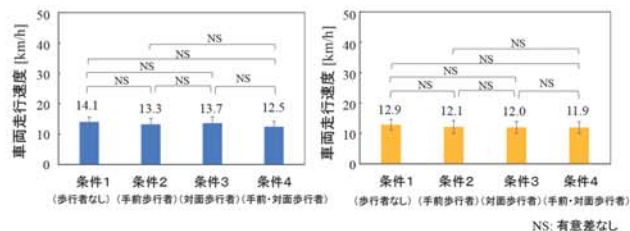


図 2 特定 8 注視対象の合計注視時間の平均値

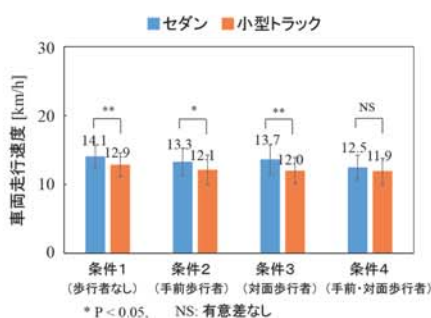
3. 2. 車両走行速度

車両が左折時、交差点出口における車両走行速度の平均値を図 3 に示す。図 3(1)に示すようにセダンの運転時において提示条件間の車両走行速度の平均値を多重比較した結果、有意差はなく、車両走行速度は歩

行者の提示条件に依存しないことが判明した。小型トラックの運転時も同様の結果を得た。図 3(2)に示すようにセダン及び小型トラックを比較すると、セダンは小型トラックと比べ平均車両走行速度は高く、特に条件 1、2、3 では有意に高かった。



(1) 歩行者モデルの配置条件別の比較



(2) セダンと小型トラックとの比較

図 3 交差点出口の横断歩道中央位置 (L0)における車両走行速度の平均値

4. おわりに

供試車両としてセダン及び小型トラックを使用し、交差点進入時のドライバの運転特性を調査した。対象物の注視時間については、左折において歩行者モデルを注視した合計注視時間の平均値は、歩行者モデルが 1 人の場合にはセダンが小型トラックより短く、2 人の場合にはセダンと小型トラックとで近似していることが分かった。交差点出口の横断歩道中央位置における車両走行速度については、歩行者モデルの配置条件に依存しないことが判明した。セダンは小型トラックと比べ平均車両走行速度は高いことが分かった。また、小型トラックを運転する際、左ミラーを注視した合計注視時間の平均値は、セダンを運転する場合よりも長くなる特徴のあることが分かった。

尚、実際の交差点における交通環境下では、対向車を始めとする他車両も走行していることから、ドライバの視線も走行車両を注視することが想定される。今後、ドライビングシミュレータを使用し、走行車両や歩行者に対する注視状況も把握していく必要がある。

⑯高速道路で自動運転車が合流する際に 周辺車両に与える影響に関する研究

自動車安全研究部 ※真鍋 裕輝 児島 亨 北田 幸一

1. はじめに

今後の市場導入が予想されるより高度な自動運転車では、SA/PA 等の安全な場所で装置を作動開始及び作動終了させる等の運用形態も考えられ、本線への合流を行う機能を備えることが想定される。より高度な自動運転車の導入にあたって、自動運転車によって行われる合流が周囲の交通車両にとって危険な挙動とならないことが求められる。

一方、現状の自動運転車の国際規則においては合流に関する規定は存在せず、高速道路等で使用する乗用車の自動車線維持システムに関わる国連協定規則 (UNR157¹⁾) において、システム主導の車線変更が規定されているのみである。

本調査では、ドライビングシミュレータ (以下、DS) を活用し、高速道路を走行中のドライバが運転する車両が合流地点を通過する際に、他車両 (自動運転車) が合流する場面を再現し実験した。結果より、自動運転車による合流が本線を走行する車両にとって危険な挙動とならないようにするための指針等を、UNR157 で規定される車線変更と比較し検討した。

2. 実験方法

2.1. ドライビングシミュレータと参加者

本実験ではドライビングシミュレータ (以下、DS) を用い、本線を走行中の実験参加者が合流地点で危険事象に遭遇する場面を再現した。実験に用いた DS の概観を図 1、仕様を表 1 に示す。17 枚の有機 EL パネルで水平方向 360°覆われたポッドを 8 m 並進台と 6 軸電動装置によって駆動し、車両の動きを模擬した。参加者は日常的に高速道路を運転する運転歴 5 年以上の一般ドライバ 20 名とした。

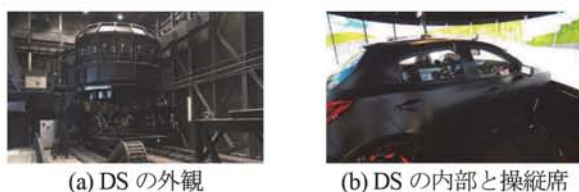


図 1 DS の概観

表 1 DS の仕様

画面	サイズ	55 in
	解像度	1920 x 1080 ppi
	フレームレート	60 fps
	画面数	17
	水平視野	360°
並進装置	可動範囲	8 m
	最大加速度	±4 m/s ²
6 軸ユニット	可動範囲	±0.3 m
	最大加速度	±0.5 m/s ²

2.2. 実験場面

実験場面の概略を図 2 に示す。ドライバが運転する車両を自車 (図表中 Ego)、合流する車両を自動運転車 (図表中 AD)、追い越し車線を走行する車両を交通車両とする。自動運転車の合流する際の速度は 50 km/h 固定とし、自車は定速走行装置を用いて 100 km/h で走行することとした。自動運転車が合流車線から本線に進入する地点を絶対位置 AP (Absolute Position) とする。AP は合流車線と本線を仕切るフェンスの終端から 50m、100m、150m 離れた 3 条件を設けた。自車と AP との相対距離 RD (Relative Distance) が 14m、28m、70m となるように合流タイミングを制御した。ただし、自動運転車が本線に進入する前に自車が減速した場合には、RD の値は変化することとなる。AP および RD の値を表 2 に示す。



図 2 実験場面の概略図

表 2 実験条件

No.	合流条件								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
AP [m]	50	50	50	100	100	100	150	150	150
RD [m]	14	28	70	14	28	70	14	28	70

ここで、各実験条件を Merge 1~9 (以下、M1~M9) と番号付けした。なお、UN-R157 の車線変更方法に適合する実験条件 (RD=70 m, M3, 6, 9) よりも RD が短

い条件 (RD = 14, 28m, M1, 2, 4, 5, 7, 8) も設定した。ただし、ドライバが自発的にあらかじめ減速した場合には、14 m や 28 m よりも RD は長くなる。

3. 実験結果

本場面において、合流車両がフェンスに隠れて視認可能になる前に減速した参加者はいなかった。安全性の指標として、自転車と自動運転車までの衝突予測時間 (Time To Collision、以下 TTC) のうち、2 車両の横位置がオーバーラップしている間の前後方向の TTC の最小値を検討する (横位置がオーバーラップしない衝突する危険性のない状態は考慮しない)。また、実験結果の差の検定として、Kruskal-Wallis の検定および Steel-Dwass の多重比較 (有意水準 0.05) を適用した。

図 3 は各 RD 条件における最小 TTC を示している。RD は自転車と自動運転車の接近状況を表し、運転行動に大きく影響すると考えられるため、RD 条件ごとの最小 TTC を比較した。また、第 2 車線に車線変更することで衝突を回避し、横方向にオーバーラップしなかった 2 例は除外し、減速開始が早く最小 TTC が 154 秒となった例を図中で省略した。多重比較の結果、全ての条件間で有意差は検出されなかった。

図 3 において、M1 で 4 件、M7 で 2 件の衝突が発生した。M1 および M7 はいずれも RD = 14 m の条件であり、AP に到達した時点から減速を開始した場合には、約 7 m/s^2 の大きな平均減速度が必要となる。自動運転車が本線に合流する際には、本線の車両に過度の減速は期待できないことが明らかとなった。一方で、衝突が発生した条件を除く全ての合流条件において最小 TTC は 1.5 秒以上確保されており、直ちに衝突の危険が高い状況には至らなかった。このため、合流車両に対する本線を走行する車両の減速開始のタイミングは通常の車線変更車両に対する場合と異なることが明らかとなった。

次に、自転車の平均減速度を絶対位置 AP ごとに比較した結果を図 4 に示す。図 4 において、操舵によって第 2 車線に回避した例 (合計 13 例) は除外した。多重比較の結果、AP = 50 m と 100 m、50 m と 150 m の間に有意差が見られた。

UN-R157 においては、車線変更をする際に、後続の車両に 3 m/s^2 以上の減速度を発生させてはならないという規定がある。ただし、具体的に何割のドライバが当該減速度を発生させてはならないのかという規定

は存在しない。このため、75 % の本線のドライバが 3 m/s^2 未満の減速度でなければならないと解釈した場合には、全ての条件において UNR157 の規定を満たしておらず、自動運転車は速度差が大きい状況ではシステム判断で本線へ合流することができない可能性が考えられる。

以上より、実験で得られた結果と現状の UNR157 を比較すると、本線の車両に期待できる減速開始のタイミングや本線の車両が発生させる減速度には乖離があることがわかった。

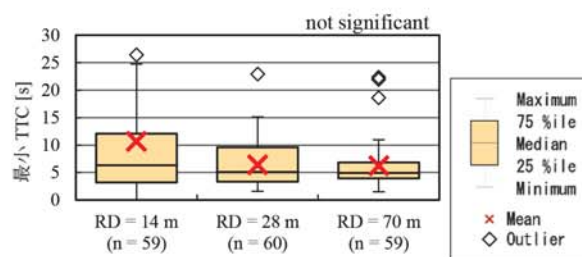


図 3 最小 TTC

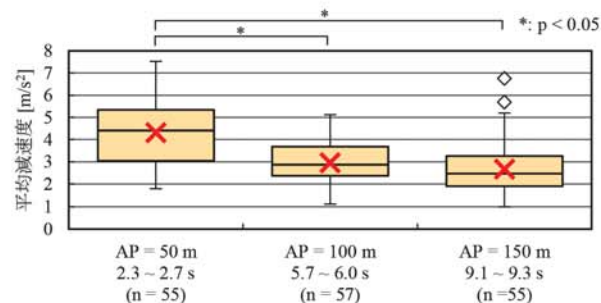


図 4 平均減速度

4. まとめ

高速道路を走行中の一般車両の前方に自動運転車が合流する場面において、両車両の速度差が大きい場合の一般車両の挙動を DS 実験により調査した。特に重要と考えられる結果を以下にまとめる。

- ・ 本線のドライバは合流車線の車両を認識した場合、あらかじめ減速するが、必ずしも衝突を回避することはできず、合流する自動運転車は本線車両の減速を過度に期待することはできない
- ・ UN-R157 が規定する車線変更の方法において、自動運転車は本線車両との速度差が大きい場合にシステムの判断で合流できない可能性がある

参考文献

- 1) UN ECE: ECE/TRANS/WP.29/2022/59/Rev.1 (2022)

⑰自動運転マーカーランプの見え方評価実験（１）

ールーフ前端にライン型で設置した場合ー

自動車安全研究部

※阿部 晃大

加藤 洋子

関根 道昭

青木 義郎

1. はじめに

自動運転システムが作動状態であることを示す「自動運転マーカーランプ（以下、マーカーランプ）」は、周囲の交通参加者の安全・安心の確保¹⁾や警察の取り締まり等に必要と考えられる。現在、GRE（国連灯火器分科会）では、マーカーランプの要件等に関する議論が進められている。

マーカーランプの規格を定めた SAE J3134²⁾では、最大光度を昼間 300 cd、夜間 125 cd、灯光の色をブルグリーンとしている。一方、現行の道路運送車両の保安基準では、上記の光度及び灯光の色を満たす灯火を「その他の灯火」として車両に装備することが可能である。両者の区別のためには、その他の灯火の灯光の色からブルグリーンを除外するか、その他の灯火で認められていない点灯方法を用いる必要がある。

現在、その他の灯火では点滅や点灯中の光度の変化が認められていないため、マーカーランプの光度を周期的に変化させて区別する方法が考えられる。その場合、様々な周期で光度が変化するマーカーランプの見やすさ、眩しさなどを確認する必要がある。また、マーカーランプと方向指示器がどちらも点滅する場合、方向指示器のわかりやすさに影響を及ぼす可能性があるため、この点についても確認する必要がある。以上について明らかにするための評価実験を実施した。

2. 評価実験

実験は当研究所敷地内にある外光が入らない暗室にて、天井照明を消灯し、夜間を想定した環境（床面照度 0 lx 程度）で実施した。

供試車両（小型乗用車）の前照灯ユニットを供試車両と同じ高さ、間隔にて治具で固定し、ライン型マーカーランプ（発光部の幅 15mm、長さ 800mm）を前照灯ユニットの背後、ルーフ前端に相当する位置に配置した（図 1）。前照灯ユニットは前照灯、車幅灯、方向指示器から構成され、実験中は常にすれ違い前照灯（ロービーム）と車幅灯を点灯させ、方向指示器を点灯させる場合は 90 回/分で点滅させた。

実験条件を表 1 に示す。マーカーランプの光度として低（10 cd）、中（49 cd）、高（87 cd）を設けた。点灯パターンは変化なし（光度一定）、矩形変化（光度が矩形的に変化）、連続変化（光度がサイン波を基にした連続的に変化）とした。矩形変化と連続変化では、光度変化の際に消灯する場合（例：高・消灯）と、消灯しない場合（高・低）を設けた。光度が変化する場合の周期は、20 回/分、45 回/分、90 回/分、180 回/分の 4 条件を設け、このうち 90 回/分と 180 回/分は矩形変化の一部のみ実施した。

被験者は普通自動車運転免許を保有する一般型色覚の 20 名で、実験は 4 名ずつ実施した。暗室内の椅子に横一列に座り、約 20m 前方にあるマーカーランプを観察し、マーカーランプの「見やすさ」「眩しさ」、方向指示器の「わかりやすさ」をそれぞれ 5 段階で評価した。

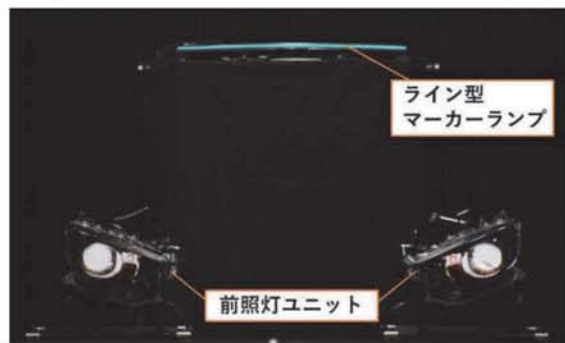


図 1 前照灯ユニットとマーカーランプ

表 1 実験条件

ランプの光度	・ 低 (10 cd) ・ 中 (49 cd) ・ 高 (87 cd)	
点灯パターン	・ 変化なし (3 条件)	▶ 低 ▶ 中 ▶ 高
	・ 矩形変化 (4 条件)	▶ 低・消灯 ▶ 中・消灯 ▶ 高・消灯 ▶ 高・低
	・ 連続変化 (2 条件)	▶ 高・消灯 ▶ 高・低
光度変化の周期	・ 20 回/分	・ 45 回/分
	・ 90 回/分	・ 180 回/分

3. 実験結果

3. 1. マーカーランプのみの評価（方向指示器なし）

図2は変化なしと矩形変化におけるマーカーランプの見やすさについて、評価結果の内訳を光度別に示している。いずれの光度条件においても変化なしの見やすさは矩形変化より高かった。各評価結果を光度条件間で比較すると、光度中と光度高の見やすさは同等で、光度低は見やすさが低かった。また、矩形変化において、周期45回/分、90回/分の見やすさは、20回/分、180回/分よりも高かった。

図3は変化なしと矩形変化におけるマーカーランプの眩しさの評価結果である。光度中と光度高は、光度低よりも全体的に眩しく評価され、点滅周期が短くなるほど眩しさが増加した。特に光度中、光度高の周期180回/分は眩しさが高かった。

3. 2. マーカーランプの点灯・点滅と共に方向指示器が点滅する場合の評価

図4(a)はマーカーランプの点灯・点滅と共に方向指示器を点滅させた場合の、変化なしと矩形変化における方向指示器のわかりやすさの評価結果である。マーカーランプの点滅周期が短くなるほど、方向指示器がわかりにくいと評価された。図4(b)は矩形変化と連続変化の結果であり、光度高から消灯までを繰り返す場合、矩形変化と連続変化のわかりやすさは同等であった。一方、ランプを消灯させずに光度高から光度低までを繰り返す場合、連続変化は矩形変化よりもわかりにくい（評価値1、2）の割合が低く、7割以上がわかりやすい（評価値4、5）と評価した。

4. おわりに

今回の実験におけるマーカーランプの最大光度は87cdであり、SAEの定める夜間最大光度125cdよりも低かった。しかし、定常的な点灯であっても、眩しいと評価する被験者が一定数存在した。さらに、短い周期で点滅させた場合（90回/分、180回/分）はこれらの割合が高かった。そのため、一定以上に高い光度や短い点滅周期は、眩しく感じられるため適切でないことが示唆された。今回はライン型ランプについて検討したが、小型のマーカーランプを灯火器ユニットに埋め込む方式や方向指示器と兼用する方式も提案されている³⁾。今後はこのようなタイプのマーカーランプについても調査する必要がある。

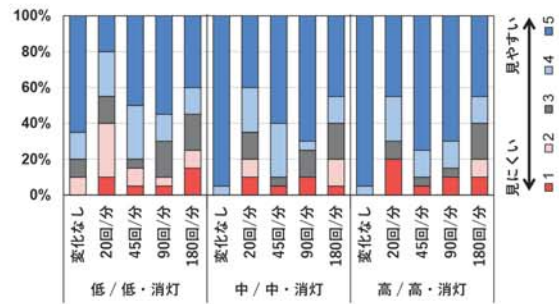


図2 マーカーランプの見やすさ

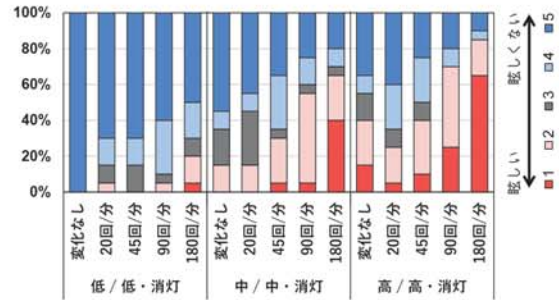
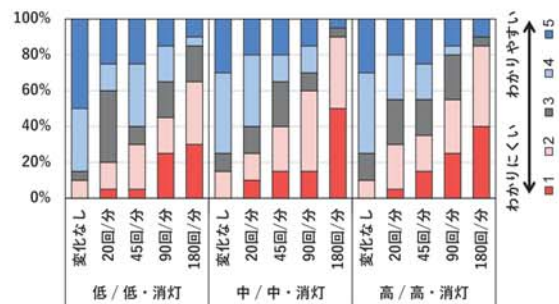
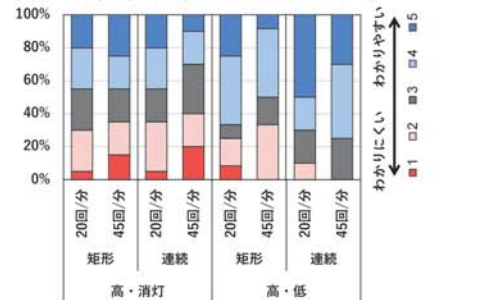


図3 マーカーランプの眩しさ



(a) 光度変化なしと矩形変化



(b) 矩形変化と連続変化

図4 方向指示器のわかりやすさ

参考文献

- 1) 交通政策審議会，“交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会 自動運転等先進技術にかかわる制度整備小委員会 報告書，
- 2) SAE，“Automated Driving System (ADS) Marker Lamp”，J3134_201905 (2019)
- 3) GRE-89-25, UNECE GRE 89th session (2023) <https://unece.org/sites/default/files/2023-10/GRE-89-25e.pdf>

⑱自動運転マーカーランプの見え方評価実験（２）

－既存灯火器の近傍に設置した場合－

自動車安全研究部

※関根 道昭

加藤 洋子

阿部 晃大

青木 義郎

1. はじめに

2023 年 4 月に施行された改正道路交通法は、特定自動運行用自動車に対し、自動運行中であることを示す外部表示を義務付けている。国際的にも自動運転中であることを外部に向けて示す自動運転マーカーランプの技術基準が検討されている。米国の SAE 規格¹⁾はブルーグリーン色のマーカーランプの使用を規定しており、2023 年 10 月の GRE（国連灯火器分科会）においてこの規格に準じたデモ車両が紹介された²⁾。

このデモ車両のように、マーカーランプの取付位置の一案として、図 1 に示すような既存灯火器の近傍が考えられるが、この場合、前照灯などの点灯によりマーカーランプの見え方が変化する可能性がある。また、ブルーグリーン色の灯光はこれまで自動車灯火に使用されていないため、その受容性についても確認する必要がある。本研究は、既存灯火器近傍に設置するマーカーランプの光度や大きさが見え方に与える影響を調査し、技術基準における配慮事項を考察した。



図 1 自動運転マーカーランプの取付例

2. 自動運転マーカーランプの見え方評価

実験は当研究所の外光が入らない暗室（W: 6.0 m × D: 28.6 m × H: 3.0m）において行った。観察環境の明るさとして、暗室の天井照明を点灯する明条件（床面照度 1000 lx 程度）と消灯する暗条件（同 0 lx 程度）を設けた。暗室内に乗用車の灯火器ユニットを実車両と同じレイアウトで設置し、車両前方の灯火器（前照灯、車幅灯、方向指示器）を観察する前方条件（図 2）と車両後方の灯火器（尾灯、制動灯、方向指示器）を観察する後方条件（図 3）を設けた。今回の評価用マーカーランプとして、2 種類のサイズの Philips Hue

シリーズのランプを、SAE 規格¹⁾が定めるブルーグリーンの色度範囲（図 4）に設定して用いた。ランプの直径は 39mm（サイズ小）と 67mm（サイズ大）だった。サイズ小の光度として低（1.3 cd）、中（5.0 cd）、高（9.0 cd）の 3 条件を設けた（サイズ大は 14.5cd のみ）。前方条件では、マーカーランプを①前照灯の近傍、あるいは②車幅灯・方向指示器の近傍に設置し、後方条件では、尾灯・制動灯・方向指示器の近傍に設置した。暗条件では、夜間に点灯する灯火器（前方条件では前照灯（すれ違いビーム）と車幅灯、後方条件では尾灯）を点灯させた。明条件・暗条件ともに、方向指示器が毎分 90 回で点滅する条件と制動灯が点灯する条件を設けた（制動灯は尾灯と兼用）。被験者 4 名が横一列に着座して約 20m 離れたマーカーランプを観察し、各条件におけるマーカーランプの見やすさ、煩わしさを 5 段階で評価した。本実験は当研究所の倫



図 2 前方条件・サイズ小（車幅灯・方向指示器近傍）



図 3 後方条件・サイズ大

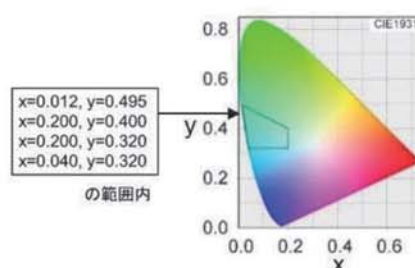


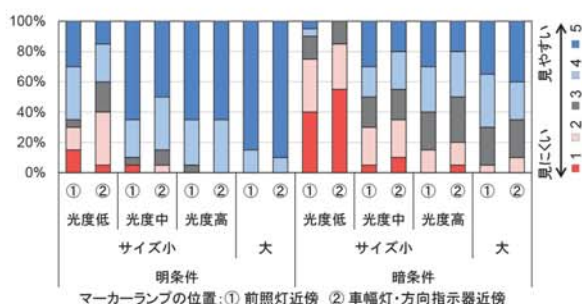
図 4 ブルーグリーンの色度範囲^①

理審査委員会の承認を得て実施し、普通自動車運転免許を保有する一般型色覚の被験者 20 名が参加した。

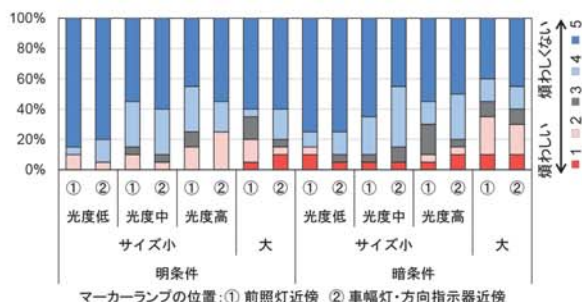
3. 結果

前方条件のマーカーランプの見やすさを 5 段階評価した 20 名の回答の分布を図 5(a) に示す。光度低は光度中、光度高よりも見にくいと評価する割合が高く、前照灯と車幅灯が同時に点灯する暗条件は明条件よりも見やすさが低下した。今回の設置位置①②は見やすさにほとんど影響を与えなかった。

マーカーランプの煩わしさの評価の分布を図 5(b) に示す。サイズ小において、明条件、暗条件の煩わしさに明確な違いは見られなかった。また、サイズ大とサイズ小の光度中は輝度が同程度（約 5500cd/m²）であったが、サイズ大の方が煩わしいと評価する割合が高く、発光面積が煩わしさに影響を与える可能性が示唆された。



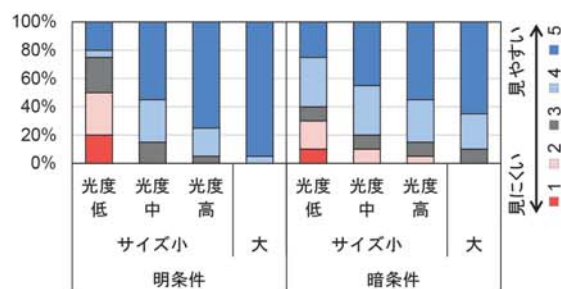
(a) マーカーランプの見やすさ



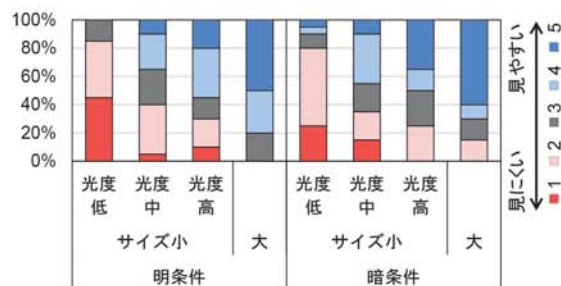
(b) マーカーランプの煩わしさ

図 5 マーカーランプの見え方（前方条件）

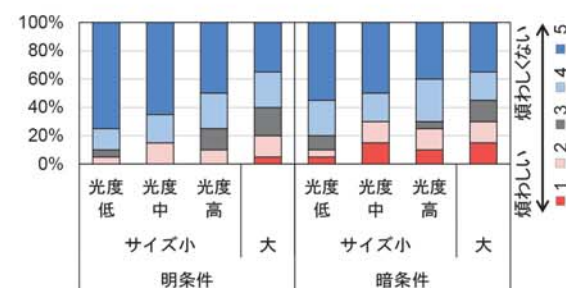
後方条件における光度低のマーカーランプは光度中・光度高よりも見にくいと評価する割合が高かった（図 6(a)）。制動灯が点灯した場合、明条件、暗条件ともに見にくいと評価する割合が増加した（図 6(b)）。方向指示器点滅時のマーカーランプの煩わしさにおいて、サイズ小は光度が高くなるほど煩わしくないと評価する割合が減少し、サイズ大はサイズ小のいずれの条件よりも煩わしいと評価された（図 6(c)）。



(a) マーカーランプの見やすさ



(b) マーカーランプの見やすさ（制動灯点灯時）



(c) マーカーランプの煩わしさ（方向指示器点滅時）

図 6 マーカーランプの見え方（後方条件）

4. まとめ

自動運転マーカーランプを既存灯火器の近傍に設置する場合、前照灯や制動灯の点灯により見やすさが低下することが明らかとなった。また、マーカーランプの光度や発光面積は煩わしさを与える要因になることが示唆された。今後、誰がどのような目的でマーカーランプを確認する必要があるか、どの程度の距離や方位から確認できる必要があるか等を考慮しながら、適切なマーカーランプの点灯条件を検討していく必要がある。また、今回は屋内の基礎的な実験であるため、屋外での評価も行う予定である。

本稿は 2023 年度国土交通省からの委託調査の一部を紹介したものである。関係者に謝意を表する。

参考文献

- 1) SAE J3134 (2019-05), “Automated Driving System (ADS) Marker Lamp”
- 2) TF AVSR, “Vehicle demonstration”, GRE-89-25e

受託・施設利用等について

■受託・共同研究について

皆様のご要望に応じて、当所の研究業務に関連した受託研究、試験及び共同研究を行っています。
詳細については、企画部技術コーディネーター(kikaku@ntsel.go.jp)へお問い合わせください。

●実績(受託元)

関係省庁(国土交通省、環境省 等)、関係団体、民間企業 等
年間 50 件以上

■施設利用について

ご希望の方には施設を有償でお貸ししています。希望される方は総務課(交通安全環境研究所)
(soumu@ntsel.go.jp)までご連絡ください。なお、貸与は、研究所の業務に支障のない範囲で一定の
基準の下となりますので、予めご了承ください。

令和 6 年度 交通安全環境研究所フォーラム 2024 講演概要

令和 6 年 11 月 6 日発行

編集兼発行人 独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

発 行 所 独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 7-42-27

URL <http://www.ntsel.go.jp/>

本書についてのお問い合わせは、企画部技術コーディネーター(交通安全環境研究所)
までお願いいたします。

電話 (0422)41-3207

FAX (0422)41-3233

○本冊子はグリーン購入法(国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律)に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示:紙へリサイクル可

本冊子はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した 材料[A ランク]のみを用いて作製しています。

