

令和7年度
交通安全環境研究所フォーラム 2025
講演概要

2025. 11. 20, 21
東京大学 伊藤国際学術研究センター

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

令和7年度
交通安全環境研究所フォーラム 2025
講演概要

2025. 11. 20, 21
東京大学 伊藤国際学術研究センター

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、我が国の企業は、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、自動車の型式指定等に関する審査、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。

ご参加いただく皆様から忌憚のないご意見をいただくことにより、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7年11月

独立行政法人 自動車技術総合機構
交通安全環境研究所長 松田 敦

13:00 ▶ 13:05	事務局 連絡
13:05 ▶ 13:10	開会の挨拶 交通安全環境研究所長 松田 敦
13:10 ▶ 13:25	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
13:25 ▶ 14:10	招待講演① 自動車の環境政策の最近の動向について 国土交通省物流・自動車局 車両基準・国際課 国際企画室長 衣本 啓介氏
14:10 ▶ 14:35	講演① 脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業について — 第二報：令和6年度までの進捗状況 — 上席研究員 鈴木 央一 国土交通省が、大型車のカーボンニュートラル化やそれに関する基準策定に資する目的で実施している「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業」は令和6年度に開始され、2年目を迎えた。本報では昨年度から開始された水素エンジンに関する3テーマにおいて成果を上げる体制が整ってきたこと、令和4年度から実施している重量FCVの水素消費量測定に係るテーマにおいて、流量計を用いた計測法が技術基準が求める精度要件を満たす水準にあることが示されたことなどを報告する。
14:35 ▶ 15:00	講演② N ₂ Oの計測精度を確保した排出ガス試験方法の検討 研究員 越川 翔生 高い温暖化係数を持ち、オゾン層の破壊にも寄与する亜酸化窒素（N₂O）は排出量の適切な評価が求められる。実環境を考慮したN₂O排出性能の評価は多く、特に環境温度によってN₂O排出量が変化することが報告されている。一方、環境湿度に着目した研究は少ない。本報では、シャシダイナモメータにて乗用車のN₂O排出特性に与える環境湿度の影響について検討した。
15:00 ▶ 15:25	講演③ 事業用自動車のドライバを対象とするAIを用いた マイクロスリープ注意喚起システムの開発のための基礎的調査 主席研究員 田中 信壽 当研究所では、事業用自動車の事故原因としてドライバのマイクロスリープの発生に注目し、これを運行管理の一環としてドライバに注意喚起するシステムの開発を目指している。当該システムは、スマートフォン等の携帯端末にAIを用いたアプリケーションを実装することで実現することを想定している。本講演では、運行管理の現状について総括しつつ、このアプリに求められる機能を検討する上で行った被験者実験などについて報告する。
15:25 ▶ 16:05	ポスターセッション
16:05 ▶ 16:20	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 杉崎 友信
16:20 ▶ 16:50	講演④ サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート マネジメントシステムの更新審査への取組 情報セキュリティ審査センター長 小林 一樹 情報セキュリティ審査センターが担う、サイバーセキュリティ（UN-R155）、ソフトウェア更新（UN-R156）のマネジメントシステムの認証審査は、法規適用から3年が経過し、更新審査を迎えている。当センターにおける更新審査への取り組み、および各プロセスの運用状況の変化について報告する。さらに、UN-R155,156に関する国際調和活動における現在の議題を紹介する。
16:50 ▶ 17:15	講演⑤ 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。
17:15 ▶ 17:20	事務局 連絡

09:30 ▶ 09:35	事務局 連絡	
09:35 ▶ 09:45	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
09:45 ▶ 10:30	招待講演② モビリティイノベーション ～ 自動化を前提とした未来のモビリティ ～	東京工科大学 教授 片柳研究所 未来モビリティ研究センター長 (東京大学名誉教授) 須田 義大氏
10:30 ▶ 10:55	講演⑥ 地方鉄道における営業車両を用いた動的軌道状態把握の取組	研究員 小野 寛典
鉄道事業者は列車を安全に運行するため、軌道状態を定期的に検査し保守を行っている。しかし地方鉄道では、コストなどの理由により、幹線鉄道で活用されている軌道検測車などの動的な軌道検査が導入できない事業者も少なくない。そこで、当研究所では営業車両を用いて動的な軌道状態を効率的に把握する手法の研究に取り組んでいる。軌道状態を検査するための軌道変位の測定項目に対応するそれぞれの手法について紹介する。		
10:55 ▶ 11:20	講演⑦ 索道搬器における風と動揺のモニタリングに関する取組	主任研究員 森 裕貴
索道事業者は各施設に設置された風向風速計において風を監視しており、安全に運行可能な風速を定めている。しかし、必ずしも事故発生リスクが高い場所で風速の測定が行われていないことから、風を主要因とした事故等が発生している。そこで、ワイヤロープに吊り下がる搬器に着目し、搬器の動揺と搬器に作用する風を搬器上でモニタリングする装置を構築した。本研究では、長期フィールド試験に着手したので、その状況について報告する。		
11:20 ▶ 11:45	講演⑧ 第4種踏切安全通行支援システムに関する取組	上席研究員 山口 大助
警報機と遮断機が設置されていない第4種踏切は直前横断事故の発生が多い。第4種踏切は原則廃止または第1種化（警報機と遮断機を設置）が求められているが、これらに至るまでの当面の安全性の確保が課題である。そこで、踏切通行者に対して列車の接近情報を提供する「第4種踏切安全通行支援システム」の研究開発に現在取り組んでおり、その進捗状況を報告する。		
11:45 ▶ 12:45	昼休み／ポスターセッション	
12:45 ▶ 13:00	鉄道認証室における業務の概要について	鉄道認証室長 和田 好庸
13:00 ▶ 13:25	講演⑨ 改定されたRAMS関係規格の注意点について	主席研究員 森 崇
RAMS関係規格がEN規格に合わせて変更された。思想に大きな変化はないが、ユーザーがプログラム可能なICに対する規格対応の明確化、すでに開発済みのサブシステムの利用、RAMS規格による安全技術のガイダンスの充実など、内容の充実が図られた。変更点とその狙いについて解説する。		
13:25 ▶ 13:40	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
13:40 ▶ 14:25	招待講演③ 衝突シミュレーションによる人体傷害予測の現状と将来の方向性	関西大学 社会安全学部 教授 伊藤 大輔氏
14:25 ▶ 15:05	ポスターセッション	
15:05 ▶ 15:30	講演⑩ 電気自動車の安全性に関する国際基準調和に向けた取組	主席研究員 小鹿 健一郎
当研究所では、電気自動車のバッテリーを対象とした安全性評価に関する取り組みとして、自動車基準調和世界フォーラム(WP29)への研究者の派遣、所内での研究活動を行っている。研究者の国際会議への派遣では、電気自動車の安全性作業部会 (EVS-IWG) での議論状況について報告する。また所内の研究活動では、バッテリーの熱安定性低下の原因の一つとされるリチウム析出の非破壊診断による検出に関する検討状況について報告する。		
15:30 ▶ 15:55	講演⑪ 運転席と助手席に乗車した状態での側面衝突における乗員挙動に関する調査	主席研究員 田中 良知
運転席と助手席に乗車した場合の側面衝突事故におけるそれぞれの乗員の挙動について、軽乗用車と小型乗用車を対象として調査した。その結果、軽乗用車では乗員の頭部同士が衝突して頭部傷害値が基準値を超えており、死亡重傷事故に至る可能性のあることが確認できた。今後、更なる側面衝突事故時の乗員の安全性向上のために、乗員同士の衝突防止対策について検討する必要がある。		
15:55 ▶ 16:00	閉会挨拶	交通安全環境研究所 理事 坂本 一郎

ポスターNo.	講演題目	所属	発表者(※は筆頭発表者)
①	自動運転機能使用時における走行環境性能の評価手法に関する検討	環境研究部	奥井 伸宜[※]
②	ディーゼル貨物車のNOx浄化装置である尿素SCRシステムの使用過程における性能低下要因の検討	環境研究部	山本 敏朗[※]
③	商用車のバッテリー劣化に関するフィールド調査に向けた取組(2)	環境研究部	小鹿 健一郎[※]
④	国連におけるAIの議論の動向と交通研の取組	環境研究部	尾崎 信利[※]、新国 哲也
⑤	車検データを活用した使用過程車の分析	環境研究部	榎本 恵[※]、鈴木 央一、新国 哲也
⑥	カーボンニュートラル燃料の内燃機搭載車への利用	環境研究部	川原田 光典[※]
⑦	鉄軌道台車試験施設の更新について	交通システム研究部	佐藤 安弘[※]、大野 寛之、小野 寛典
⑧	GOA2.5自動運転の安全性評価のための係員動作の比較検討	交通システム研究部	工藤 希[※]、望月 駿登、三好 正太
⑨	踏切障害事故の実態分析 -踏切道がある自動運転に向けた基礎的検討-	交通システム研究部	工藤 希[※]、押立 貴志(客員研究員)
⑩	路面電車におけるLiDARセンサを用いた前方車両の検知手法の検討	交通システム研究部	望月 駿登[※]、工藤 希、山口 大助
⑪	全国の地域公共交通計画の類型化と課題抽出に関する研究	交通システム研究部	小林 貴[※]
⑫	後部座席乗員の被害軽減に関する検討	自動車安全研究部	細川 成之[※]、田中 良知、松井 靖浩、薄井 雅俊
⑬	マルチボディモデルの関節構造が歩行者ダミーの衝突挙動に及ぼす影響	自動車安全研究部	薄井 雅俊[※]、松井 靖浩、細川 成之、田中 良知
⑭	人を対象とした車両前方ソナーの検知特性	自動車安全研究部	松井 靖浩[※]、細川 成之、及川 昌子(東京都立大学)
⑮	フィルム貼付が前面ガラスの光透過性に及ぼす影響	自動車安全研究部	加藤 洋子[※]、松井 靖浩、関根 道昭、青木 義郎、伊藤 紳一郎
⑯	ダイヤモンド型パターン照射前照灯が歩行者や車両の気づきやすさに及ぼす影響	自動車安全研究部	青木 義郎[※]、加藤 洋子、関根 道昭
⑰	自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する実車評価実験(1) -ライン型ランプをルーフ前端に取付けた場合-	自動車安全研究部	阿部 晃大[※]、関根 道昭、加藤 洋子、青木義郎、飯塚 達也
⑱	自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する実車評価実験(2) -マーカーランプを前照灯の近傍に取付けた場合-	自動車安全研究部	関根 道昭[※]、阿部 晃大、加藤 洋子、青木 義郎、飯塚 達也
⑲	一般ドライバの注意深い運転行動に関する調査	自動車安全研究部	真鍋 裕輝[※]、児島 亨、北田 幸一、森崎 憲治
⑳	市街地を走行する人間ドライバが周辺車両の危険な行動に遭遇した場合の回避行動及び物理的な余裕を確保するための運転行動	自動車安全研究部	児島 亨[※]、真鍋 裕輝、北田 幸一、森崎 憲治
11/20 講演㉑	脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業について-第二報:令和6年度までの進捗状況-	環境研究部	鈴木 央一[※]、川原田 光典、奥井 伸宜、新国 哲也
11/20 講演㉒	N ₂ Oの計測精度を確保した排出ガス試験方法の検討	環境研究部	越川 翔生[※]、鈴木 央一
11/20 講演㉓	事業用自動車のドライバを対象とするAIを用いたマイクロスリープ注意喚起システムの開発のための基礎的調査	環境研究部	田中 信壽[※]、新国 哲也
11/20 講演㉔	サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート マネジメントシステムの更新審査への取組	情報セキュリティ 審査センター	小林 一樹[※]、榎本 恵
11/21 講演㉕	地方鉄道における営業車両を用いた動的軌道状態把握の取組	交通システム研究部	小野 寛典[※]、佐藤 安弘、篠田 憲幸(客員研究員)、緒方 正剛(客員研究員)
11/21 講演㉖	索道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 裕真[※]、小野 寛典、山口 大助、八木 誠(客員研究員)
11/21 講演㉗	第4種踏切安全通行支援システムに関する取組	交通システム研究部	山口 大助[※]、三好 正太、長谷川 智紀、八木 誠(客員研究員)
11/21 講演㉘	改定されたRAMS関係規格の注意点について	鉄道認証室	森 崇[※]
11/21 講演㉙	電気自動車の安全性に関する国際基準調和に向けた取組	自動車安全研究部	小鹿 健一郎[※]
11/21 講演㉚	運転席と助手席に乗車した状態での側面衝突における乗員挙動に関する調査	自動車安全研究部	田中 良知[※]、細川 成之、松井 靖浩、薄井 雅俊

交通安全環境研究所フォーラム2025

11 月 20 日の講演(伊藤謝恩ホール)

題目	所属	講演者	頁
■環境研究部の取組			
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 脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業について —第二報: 令和6年度までの進捗状況—	上席研究員	鈴木 央一	3
講演2 N ₂ Oの計測精度を確保した排出ガス試験方法の検討	研究員	越川 翔生	7
講演3 事業用自動車のドライバを対象とするAIを用いた マイクロスリープ注意喚起システムの開発のための基礎的調査	主席研究員	田中 信壽	11
■自動車認証審査部の取組			
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	杉崎 友信	15
講演4 サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート マネジメントシステムの更新審査への取組	情報セキュリティ 審査センター長	小林 一樹	17
講演5 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	19

11 月 21 日の講演(伊藤謝恩ホール)

■交通システム研究部の取組			
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	23
講演6 地方鉄道における営業車両を用いた動的軌道状態把握の取組	研究員	小野 寛典	25
講演7 索道搬器における風と動揺のモニタリングに関する取組	主任研究員	森 裕貴	29
講演8 第4種踏切安全通行支援システムに関する取組	上席研究員	山口 大助	35
■鉄道認証室の取組			
鉄道認証室における業務の概要について	鉄道認証室長	和田 好庸	39
講演9 改定されたRAMS関係規格の注意点について	主席研究員	森 崇	41
■自動車安全研究部の取組			
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	45
講演10 電気自動車の安全性に関する国際基準調和に向けた取組	主席研究員	小鹿 健一郎	47
講演11 運転席と助手席に乗車した状態での側面衝突における 乗員挙動に関する調査	主席研究員	田中 良知	51

ポスターセッション

(多目的スペース)

題目	所属	発表者※主発表者	頁
①自動運転機能使用時における走行環境性能の評価手法に関する検討	環境研究部	※ 奥井 伸宜	55
②ディーゼル貨物車のNOx浄化装置である尿素SCRシステムの 使用過程における性能低下要因の検討	環境研究部	※ 山本 敏朗	57
③商用車のバッテリー劣化に関するフィールド調査に向けた取組(2)	環境研究部	※ 小鹿 健一郎	59
④国連におけるAIの議論の動向と交通研の取組	環境研究部	※ 尾崎 信利 新国 哲也	63
⑤車検データを活用した使用過程車の分析	環境研究部	※ 榎本 恵 鈴木 央一 新国 哲也	65
⑥カーボンニュートラル燃料の内燃機関搭載車への利用	環境研究部	※ 川原田 光典	67
⑦鉄軌道台車試験施設の更新について	交通システム研究部	※ 佐藤 安弘 大野 寛之 小野 寛典	69
⑧GOA2.5自動運転の安全性評価のための係員動作の比較検討	交通システム研究部	※ 工藤 希 望月 駿登 三好 正太	71
⑨踏切障害事故の実態分析 ー踏切道がある自動運転に向けた基礎的検討ー	交通システム研究部 客員研究員	※ 工藤 希 押立 貴志 氏	73
⑩路面電車におけるLiDARセンサを用いた前方車両の検知手法の検討	交通システム研究部	※ 望月 駿登 工藤 希 山口 大助	75
⑪全国の地域公共交通計画の類型化と課題抽出に関する研究	交通システム研究部	※ 小林 貴	77
⑫後部座席乗員の被害軽減に関する検討	自動車安全研究部	※ 細川 成之 田中 良知 松井 靖浩 薄井 雅俊	81
⑬マルチボディモデルの関節構造が歩行者ダミーの衝突挙動に及ぼす影響	自動車安全研究部	※ 薄井 雅俊 松井 靖浩 細川 成之 田中 良知	83
⑭人を対象とした車両前方ソナーの検知特性	自動車安全研究部 東京都立大学	※ 松井 靖浩 細川 成之 及川 昌子 氏	85
⑮フィルム貼付が前面ガラスの光透過性に及ぼす影響	自動車安全研究部	※ 加藤 洋子 松井 靖浩 関根 道昭 青木 義郎 伊藤 紳一郎	87
⑯ダイヤモンド型パターン照射前照灯が歩行者や車両の気づきやすさに 及ぼす影響	自動車安全研究部	※ 青木 義郎 加藤 洋子 関根 道昭	89
⑰自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する実車評価実験(1) ーライン型ランプをルーフ前端に取付けた場合ー	自動車安全研究部	※ 阿部 晃大 関根 道昭 加藤 洋子 青木義郎 飯塚 達也	91

⑮自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する実車評価実験(2) ーマーカーランプを前照灯の近傍に取付けた場合ー	自動車安全研究部	※	関根 道昭 阿部 晃大 加藤 洋子 青木 義郎 飯塚 達也	93
⑯一般ドライバの注意深い運転行動に関する調査	自動車安全研究部	※	真鍋 裕輝 児島 亨 北田 幸一 森崎 憲治	95
⑰市街地を走行する人間ドライバが周辺車両の危険な行動に遭遇した場合の回避行動及び物理的な余裕を確保するための運転行動	自動車安全研究部	※	児島 亨 真鍋 裕輝 北田 幸一 森崎 憲治	97

口 頭 発 表 11. 20

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5年度の日本のCO₂排出量は約9億8,900万トンであり、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19.2%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排出量はパンデミックでの変動を除けば全体として減少の傾向である。しかし、温暖化の状況を踏まえると更にカーボンニュートラル（以下、CN）化を進めていく必要がある。

大気汚染の状況に関して、令和5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5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⁾。基準超過戸数は直近の10年程度ほとんど変化がなく、このような地点での騒音状況が固定化し、改善されていない状態が続いている。

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構築
- ・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構築

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、国連における自動車基準調和世界フォーラム（WP.29）において、燃費や電費といった従来からの指

標により使用段階のみにフォーカスした評価だけでなく製造や廃棄も含めたライフサイクル全体で温室効果ガス（Greenhouse Gas : GHG）排出量の評価を行う手法の策定が進められている。この手法はISOなどを含めた既存の手法をベースに作成されているが、以下の特徴がある。まず、レベルコンセプトとして、本手法の利用者のユースケースに応じた手法を書き分けている。将来シナリオなどの未確定な要素を含んだ排出量を計算する場合には、統計データである二次データを中心とした計算手法を示している。この場合は実測の一次データの使用割合は相対的に低下する（手法の中では低レベルと表現した）。一方で、例えば実際の車両を想定した排出量を計算する場合には、実測である一次データの使用割合が相対的に増える（高レベルと表現）ことを前提として計算手法を示している。このようなレベルコンセプトを導入したことで、本手法は幅広いユースケースに適用可能となった。また、自動車の廃棄段階については、自動車製造のために使用された材料を廃棄後に更に再利用可能なリサイクル材料として抽出できるプロセスが取り入れられた場合、これを評価できる仕組みも組み込んだ。この自動車LCAについては、本原稿作成時の2025年7月時点で、2025年10月に開催されるWP.29の排気ガスとエネルギーに関する専門家会合（GRPE）において正式文書として審議される予定案件として登録された状況である。

第2に、大型の電気自動車に関する性能評価手法の策定については、これまでに検討してきた一充電走行距離の評価手法の確立に向け、国内大型車両メーカーによる商用電気自動車の複数車種に対し検証実験を継続している。この結果を国土交通省と共有し、自動車工業会とも協力しつつ国内の試験法整備のための議論を進めている。また得られた知見の一部はWP.29での議論にも反映されている。

2. 2. 大型車両の高効率化に関する取組み

交通安全環境研究所は国土交通省による「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（令和6年より5か年の事業）」に中核的研究機関と

して参画し、大型車の更なる CO₂ 排出量の削減を目指した「電動化」と「CN 燃料の実用化」の研究・開発を進めている。

「電動化」では、走行中ワイヤレス給電システムの検討として、大型車で必要な大電力を受電するため車両側に複数の受電コイルを設置することを想定した模擬装置を構築し、評価を行っている。また、車両側の効率改善として協調回生ブレーキ技術に着目し、後輪駆動でかつ積載状態により軸重変化の大きい大型車特有の事情を踏まえつつ高い回生量を得ることができる制御ロジックの構築と検証を行っている。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」では、重量 FCV の燃費等を評価するため、実車試験が可能なシャシダイナモメータ設備を構築している。

また「CN 燃料の実用化」では、重量車用ディーゼルエンジンに適した CN 燃料について、モデル燃料を入手し車両及びエンジン試験での評価を開始した。水素内燃機関については燃焼と排出ガス浄化の評価に向けた基礎検討を進めている。

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、既存の研究成果に関する文献等による調査を開始した。

CN 化と同時に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。具体的には排出ガスを計測するためのオンボード計測システムを貨物輸送で実際に運用されている車両に設置し継続的に排出ガスを観測してきた。過去 7 年間を通した研究結果から、排出ガス浄化装置の性能低下は、触媒劣化が認められなくても、触媒温度の低下、還元剤の供給不足等の後処理装置の反応制御に関する不具合が原因となることがわかり、反応制御に不具合を及ぼすメカニズムにも着目して研究を継続している。

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おいて、改造のない標準的な車両に対する対策として、交通研では後述する国連での基準強化の議論に参画し、対応してきている。一方で、先に述べたような騒音の顕著な地点の固定化に対しては、不正な改造車両の街頭での取締りが有効と考えられる。交通研では走行騒音の周波数特性に着目して不正改造車を判定する AI モデルの作成を行い、実際の街頭検査に活用できるシステムの基本原理を構

築してきた。今後は、検査部門と連携して本システムの実用化や運用を支援しつつ、運用段階で収集される騒音データを活用した精度向上策を検討していく。

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)

2025 年 10 月に開催された GRPE 会合では、バッテリーの耐久性能に関する条項を軽量車の排出ガスに関する基準に取り込むための提案、自動車による GHG 排出量の LCA に関する Resolution、タイヤ粉塵に関する基準、自動車環境性能に関するオンボードモニタリングシステムに関する基準の提案などが審議された。環境研究部の職員は、A-LCA、EVE (Electric Vehicles and the Environment) 等のインフォーマル会議で、共同議長、副議長を担当しており、日本からも積極的に意見を出し、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。これまでに二輪車については改正案が承認され、現在は小型四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 5 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/000315455.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/000296543.pdf>

講演 1. 脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業について

－第二報：令和6年度までの進捗状況－

環境研究部 ※鈴木 央一 川原田 光典 奥井 伸宜 新国 哲也

1. はじめに

国土交通省ではトラックやバスなどの大型車の環境性能改善や、それに資する新技術についての基準策定に関する事業として、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。令和6年度より本事業の第6期として「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業」と題し、カーボンニュートラルに向けた取り組みの重要性を増している現況に対応した事業を推進している（図1）。その全体的な概要や検討体制について既報¹⁾で紹介している。本事業で実施中の調査研究テーマの一覧を表1に示す。カーボンニュートラルに向けた取り組みとして、電動車両に関する調査研究とカーボンニュートラルな燃料を用いた内燃機関を対象とした調査研究が中心となっている。

本報においては、本事業の令和6年度までの進捗状況として、令和6年度より開始した水素内燃機関に関する調査研究の概要と、令和4年度に開始したテーマのうち重量燃料電池車（FCV）の水素消費量測定に関するテーマについて、これまでに得られた成果を扱うこととする。

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	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	交通研自動車工業会
	③ 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	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	交通研新エシイ
	⑤ 希薄・希釈燃焼による重量車用水素燃焼エンジンの調査	千葉大
	⑥ 水素エンジンの性能向上に向けた熱流束と潤滑性等に関する技術調査	東京都市大
	⑦ 水素エンジン用SCR触媒に関する調査検討	早稲田大

2. 本事業の現況について

2. 1. 水素内燃機関に関する調査研究

本事業第6期より水素内燃機関に関する調査研究を開始したことについて、既報では研究テーマの選定過程について述べた。1年が経ち実行フェーズに入っている一方で、全体計画は3～5年であり具体的な成果が現れるのはこれからであることから、本報では各研究テーマについて、実施体制と狙いや着眼点を中心に概要を紹介する。

2. 1. 1. 希薄・希釈燃焼による重量車用水素燃焼エンジンの調査

本調査は千葉大学森吉教授を中心に、大分大学、日野自動車株式会社、株式会社アネブルなどが共同で実施する。大分大学は急速圧縮膨張装置等を使った燃焼の基礎的解析に強みを持っており、日野自動車は後述するコンセプトのエンジンの試作や調整等を行う。また、水素エンジンで重要なポイントとなる噴射弁（インジェクタ）についてアネブルが供給する。

水素はガソリンなどより希薄な状態で燃焼が可能で、かつ燃焼速度が速いといった特性がある。これらの特性を生かした高性能化の可能性検討として、2009年に米国で提案された Dedicated EGR（一部の気筒の排気すべてを他の気筒に還流する機構²⁾）を応用し

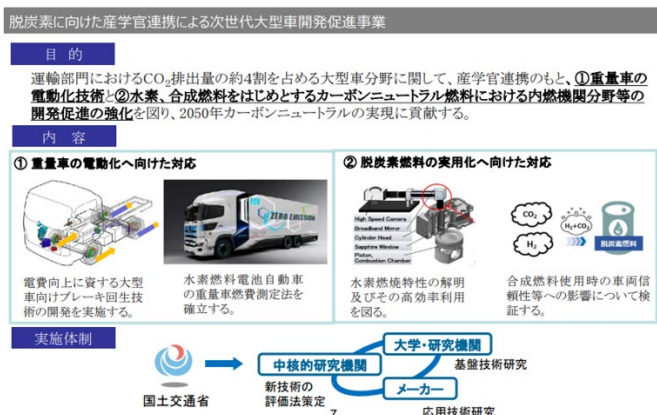


図1 国土交通省「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」

たシステムの提案を行っている(図2)。図の外側2気筒は希薄燃焼を行い、その排気をすべて内側2気筒に導き、残る酸素を使って理論混合比運転を行うコンセプトである。このシステムでは新気量は2気筒分になるところ、2段の過給機により必要な空気量を確保する。今後実機の試作と性能検証を行うとともに、過給やEGR等エンジン性能向上に資する技術を導入した場合を含めた、現象解明と設計に使える検証されたシミュレーションツールの開発もあわせて進めることで、今後進められるであろう水素エンジンの性能向上に寄与していくことを目的としている。

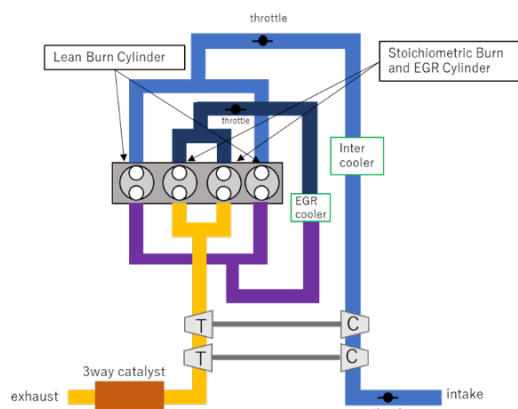


図2 新たに提案されている水素エンジンシステム

2. 1. 2. 水素エンジンの性能向上に向けた熱流束と潤滑性等に関する技術調査

本調査は東京都市大学三原教授を中心に、境界潤滑についての知見を有する九州大学、水素脆性の評価についての知見を有する東京電機大学、冷却損失についてのモデル化などについては自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)が共同で実施している。東京都市大学は水素エンジンに関する研究を長らく実施しており、本事業においても2005~09年度にかけて水素エンジンの研究開発を実施した実績がある³⁾。

水素エンジンでは燃焼でCO₂が生成されない代わりに多量の水が生成される。その水がエンジンの安定的な運転に支障をきたす恐れがある。図3は、エンジンを1000rpmで3時間運転した時の潤滑油中の水分割合について比較したものである。水素エンジンではシリンダ壁面温度が低い状態では運転前の20倍を超える水分がオイルに混入した。このような状態でオイルが必要な潤滑性能を確保できるかは重要な課題となる。

また、合わせて熱流束についての測定法を含めた調査を進める。水素火炎は消炎距離が小さいため燃焼室壁面付近まで火炎が到達するなど従来エンジンとは異なる。このような状況下で燃焼室表面における熱流束を把握することは、冷却損失の低減に加えて上記潤滑性確保の課題にも寄与するものとなる。

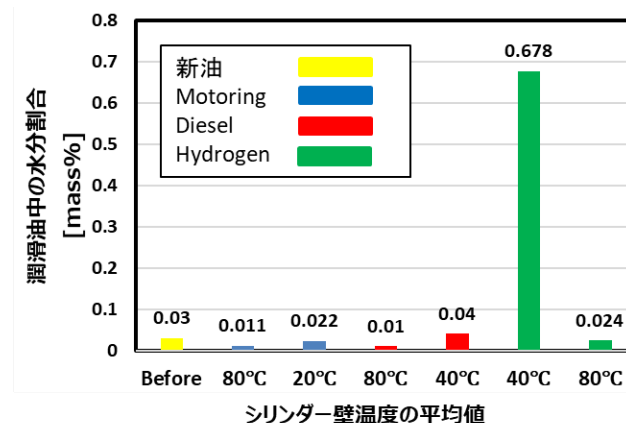


図3 3時間エンジン運転時のシリンダ壁面温度と潤滑油中の水分割合の関係

2. 1. 3. 水素エンジン用SCR触媒に関する調査検討

本調査は早稲田大学草鹿教授を中心に、テストピースを含めた排出ガス浄化の触媒の試作等について東京濾器株式会社が、水素エンジンを用いた評価試験についてはスズキ株式会社が担当する体制で事業を進めている。

SCR触媒は、ディーゼル車などにおけるNO_x浄化システムとして多く採用され、相当程度確立した技術といえる。しかしながら、その技術を水素エンジンに適用しようとする場合、排気温度・組成の違いなどにより事情が大きく異なることが予想される。とくに理論混合比近傍での水素燃焼はガソリンやディーゼル燃焼以上に高温になることから多量のサーマルNOが生成されると見込まれ、またディーゼル燃焼等ではありえない高濃度の水分が含まれる。熱と水は触媒の性能を劣化させる主要な因子であり、水素エンジンにおける触媒は、従来エンジンにはない厳しい環境におかれることになる。

図4は、一般的な銅チャバサイト(Cu-CHA)触媒におけるエージング(Aging: 触媒を高温条件下などに一定時間暴露することで長距離運用後の状態を相対的に短時間で作り出す作業)時の温度と水分濃度を

変化させて、エージング後の NO_x 浄化率を実験的に調査したものである。通常、ディーゼルエンジンにおける排気の相場として、排気温度は粒子フィルタ (DPF) 再生時で 600℃、水蒸気濃度は 12%程度が上限値といえる。それに対して、800℃は通常起こりえない水準で、その温度で 30 時間という条件はライフサイクルに相当するエージング条件になる。水分濃度が 10%程度であれば、800℃のエージング後であっても NO_x 浄化率 60%以上が確保され、劣化は限定的といえるのに対し、水素エンジンにおいては排気中水素濃度が最大約 30%に達するが、その場合には NO_x 浄化率が 40%以下となり顕著な劣化が発生することが予測された。このような水素内燃機関特有の劣化を防止するため、担体上の触媒コート層厚さを増やすなどの対策を検討するとともに、モデル化による性能予測等を試みる。

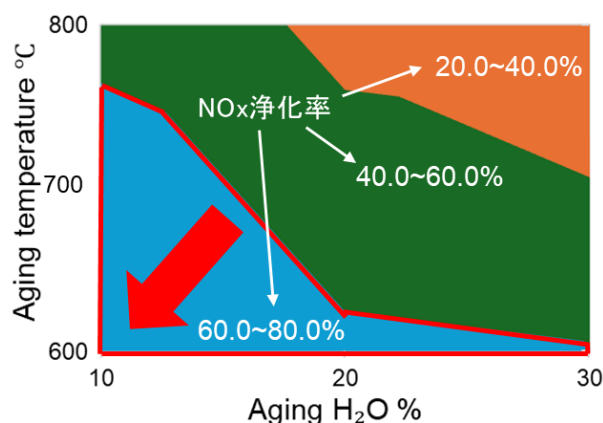


図4 30時間触媒エージング時の水蒸気濃度と温度による NO_x 浄化率の変化 (排気温度 250℃)

5 年計画の前半では尿素 SCR システムを対象に研究を進めるとしたうえで、そもそも水素は NO_x 還元剤として高い適性を有する成分であることから、研究後半では水素を直接還元剤として活用する水素 SCR システムを対象とした研究を進める計画である。

2. 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の現況

FCV の燃費測定について、乗用車等の軽・中量車では、国連規則で定める試験法 (協定規則第 154 号、UNR-154) に規定されており、具体的には燃料となる水素を車両外部のボンベから供給して、試験サイクル走行前後のボンベ重量の差分から水素消費量を評価する重量法が主流となっている。一方、重量 FCV の

燃費測定については国際的な試験法はなく、国内では国土交通省より試験法⁴⁾ が 2022 年 10 月に公布された。そこに記載された水素消費量測定方法としては、重量法に加えて直接リアルタイムの流量を測定する手法 (流量法) についても記載されている。重量 FCV の水素消費量測定においては、消費量が多いことや試験手順的に重量法の適用が困難であるケースが想定され、流量法の適用が望まれる。本項では表 2 に示す 2 台のコリオリ式流量計を用いて、水素消費量測定を行い、重量法との相関を調査した結果を述べる。

表 2 水素流量計の諸元

	流量計A	流量計B
測定原理	コリオリ式	コリオリ式
最大測定流量(kg/h)	8	450
測定誤差(%RS)	±0.5	±0.35
最大圧力(MPa)	2.5	43.09
測定物の温度範囲(℃)	5~50	-50~205
その他特徴	測定部前後に圧力調整機構を有する	汎用性が高い
形状		

評価試験としては、令和 5 年度に乗用車を、令和 6 年度には小型トラックを用いたシャシダイナモ試験を行い、燃費評価に用いられる JE05 モード等の実走行モードに加えて、定常走行など水素消費量の異なる試験条件で走行した。なお、重量法における測定は、WLTP (乗用車の試験法) に準じたものとした。

重量法と流量法による水素消費量測定の結果を図 5、図 6 に示す。図 5 が乗用車、図 6 が小型トラックによる測定結果である。まず、いずれにおいても相関係数 R² はほぼ 1 であり、完全に近い線形性が確保されているといえる。次に近似線の傾きについてみると、流量計 A の傾きは図 5 と図 6 で 1.0189 と 1.0217、流量計 B では同 0.9992 と 1.0059 となっている。乗用車と小型トラックの試験では、流量計は同一のものを使用している以外は、日時、試験施設、測定対象となる流量範囲など多くの要素が異なっている。にもかかわらず、同等の結果が得られたことは流量法による測定が重量法と同等の再現性が確保されていることを示すものといえる。なお、図 5 の WLTC における水素消費量は 100g 程度であり、これが乗用車におけ

る測定量の相場といえるのに対し、図 6 の JE05 モードでは 200～300g レベル、都市間モードにおける水素消費量は約 1200g である。試験車は重量車中では小型のものであり、中・大型トラック等ではさらに多い消費量となる。測定すべき水素量が重量車では乗用車とはけた違いに多いことがわかる。

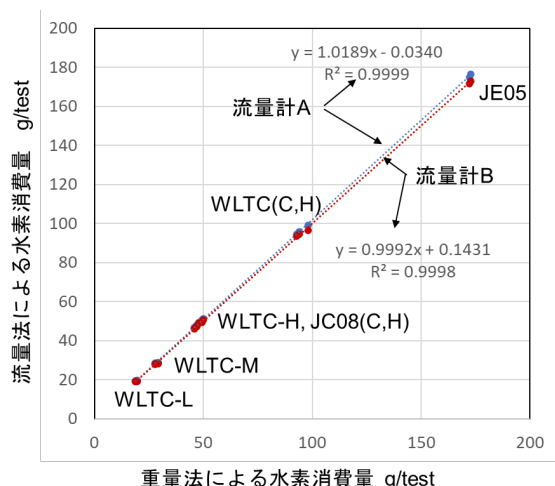


図 5 各試験モードにおける水素消費量（乗用車）

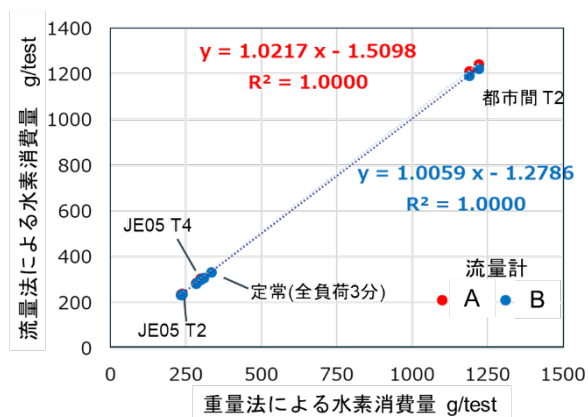


図 6 各試験モードにおける水素消費量（小型トラック）

図 6 における各プロットはいずれも重量車燃費評価に使用される評価モードにおける結果であり、それについて図 7 は、重量法を基準としたときの流量法による測定結果の変化率を示したものである。最も誤差の大きい結果は流量計 A で 2.1%、流量計 B で 0.6% となっている。試験法で定める精度要件としては「読み値の±3%、フルスケールの±1%の小さい方」となっているのに対し、今回の測定ではフルスケールよりは十分に少ない流量を対象としていることから、読み値の±3%が精度要件となる。図 7 の結果はいずれも要件を満たすものとなっており、適切なコリオリ式流

量計を用いれば水素消費量測定に流量法が適用可能であることが示されたものといえる。

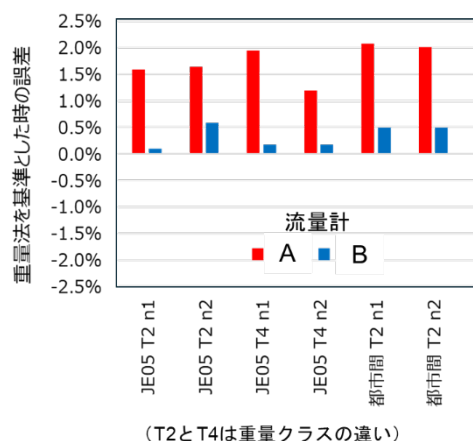


図 7 重量法を基準としたときの流量法の誤差率

3. ま と め

脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業の現況として、以下について紹介した。
○令和 6 年度より開始している水素内燃機関に関する調査研究では、水素を燃料とすることによる性能向上や課題解決に向けた調査研究を進めている。
○重量 FCV の水素消費量測定について試験調査を進めたところ、流量法が燃費試験法で定める性能要件を広い流量範囲で満たすことが示された。

参考文献

- 1) 鈴木央一，川原田光典，田中信壽，西山幸輝，新国哲也，「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－」，交通安全環境研究所フォーラム 2024 講演概要集， pp.63-64（2024）
- 2) Alger, T. and Mangold, B.: Dedicated EGR: A New Concept in High Efficiency Engines, SAE Technical Paper 2009-01-0694 (2009)
- 3) 川村淳浩，佐藤由雄，及川 洋，長沼 要，山根公高，高木靖雄，「トラック用水素エンジンシステムの研究開発～直噴多気筒水素エンジンの開発について～」交通安全環境研究所フォーラム 2009 講演概要集， pp.127-128（2009）
- 4) 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示別添 41VII

講演 2. N₂O の計測精度を確保した排出ガス試験方法の検討

環境研究部

※越川 翔生 鈴木 央一

1. はじめに

排出ガスの規制強化に伴い、電子制御式燃料噴射装置や排出ガス再循環システムといった排出ガス中の有害物質低減技術が進歩を遂げてきた。特に、排出ガス後処理装置は必要不可欠な存在となり、粒子状物質捕集フィルタに加え、ガソリン車では主に三元触媒が、ディーゼル車では主に尿素選択触媒還元（尿素 SCR）システムが広く普及している。三元触媒および尿素 SCR システムはいずれも化学反応によって排出ガスを浄化する仕組みであり、大気汚染の改善に効果がある反面で亜酸化窒素（N₂O）の排出が課題となっている。N₂O は化学的に安定であるため大気中での寿命（一時的な濃度増加の影響が小さくなるまでの時間）は 109 年と長く、地球温暖化ポテンシャルは CO₂ の 273 倍とされている⁽¹⁾。すでに米国では軽量車および重量車の N₂O 排出基準を設けており、欧州の次期排出ガス規制である EURO7 においても重量車での N₂O 排出規制が設けられる。このように、地球温暖化を考える上で自動車由来の N₂O 排出量は無視することができなくなっており、温暖化対策の観点から少量であっても N₂O 排出量の適切な評価が求められる。

排出ガス等の認証試験にはシャシダイナモメータを用いた台上試験が実施されている。台上試験時の環境湿度条件は 5.5～12.2g H₂O/kg dry air（規定温度 23℃での相対湿度換算で約 30～70%）と規定されている。実環境を考慮した N₂O 排出実態の調査は多く、特に環境温度によって実車からの N₂O 排出量が増加することが報告されているが⁽²⁾、湿度に着目した研究は見受けられない。そこで本研究では、台上試験において N₂O の計測を適切に行うための試験条件を定めるため、ガソリン車およびディーゼル車を用いて N₂O 排出特性に与える環境湿度の影響について検討した。本報では主にガソリン車についての結果を述べ、速報値としてディーゼル車の結果も報告する。

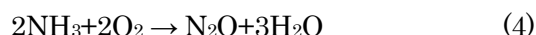
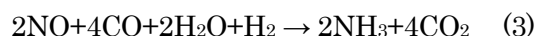
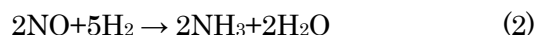
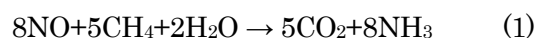
2. N₂O 排出特性の評価に影響を与える要因

自動車の N₂O 生成機構はエンジン燃焼と後処理装置の 2 つに大別できる。エンジン燃焼では燃焼で生成された NO が還元されて N₂O を生成すること⁽³⁾、および燃料中の硫黄分に起因した SO₂ と燃焼ガス中の NO、水分が反応して副次的に N₂O を生成⁽⁴⁾することが挙げられる。しかしながら、燃焼に起因して生成した N₂O はその後還元物質によって還元される。また高温場では N₂O は不安定となり、短期間で他の物質に転換される。そのため、エンジン燃焼では最終的な N₂O 排出量は比較的少ない。加えて、燃料中に含まれる硫黄分は少なく、N₂O 排出に対するエンジン燃焼の影響は小さい。このことから、自動車では主に排出ガス後処理装置にて N₂O が生成される。

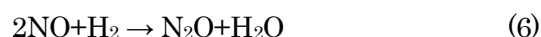
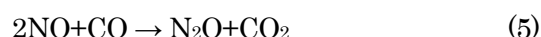
2. 1. ガソリン車での N₂O 生成機構と湿度との関係

ガソリン車においては主に三元触媒にて N₂O が生成される。三元触媒での主な N₂O 生成機構は以下の通りである^{(3), (5)}。

- ① 空燃比制御がリッチに転じた場合に、燃焼により生成した NO が式(1)～(3)のように還元され NH₃ を生成する。その後、リーンに転じた場合に NH₃ が式(4)のように酸化されて N₂O を生成する。



- ② 還元物質共存下で燃焼時の NO が還元され N₂O を生成する。



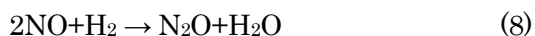
三元触媒が活性温度よりも低温である場合は浄化率の低下によって N₂O の生成量が増加する⁽⁶⁾。ガソリン車においては走行パターンや車両によって異なるが、エンジン始動直後に多量の N₂O を排出する場合

がある。これは触媒温度と①、②の反応が複合的に重なった結果である。さらには、エンジン停止後、排気管や触媒に滞留している NH_3 が触媒層において N_2O に転換され、次のエンジン始動後に排出される可能性もある⁽⁷⁾。仮に環境湿度が高い場合、エンジン停止後、排気管や触媒に残留する凝縮水が増え、水に溶解する NH_3 や硝酸 NH_3 等が増加することで N_2O の生成を抑制することが考えられる。また、環境湿度が高い場合は吸入空気に含まれる水分が増加するため燃焼温度が低下し、 NO_x が減少する。そのため①、②の反応による N_2O の生成が抑制される可能性がある。

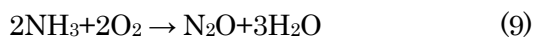
2. 2. ディーゼル車での N_2O 生成機構と湿度との関係

ディーゼル車においては主に尿素 SCR システムにて N_2O が生成される。尿素 SCR システムでの主な N_2O 生成機構は以下が挙げられる⁽⁸⁾。

- (i) 還元物質共存下で燃焼時の NO が還元され N_2O を生成する。



- (ii) 尿素水の熱分解によって生成した NH_3 が NO_x に対して過剰に供給された場合や NO_x と反応できなかった場合に未反応 NH_3 が酸化されることで N_2O を生成する。



- (iii) NO_2 とアンモニアが化合して生じた硝酸アンモニウムが分解して N_2O が生成する。



ディーゼル車においては(i)～(iii)の反応が複合的に重なり N_2O を排出する。(ii)は NH_3 の酸化という点でガソリン車と共通するが、 NH_3 の生成機構が異なる。尿素 SCR システム以外に、 NO_x 吸蔵触媒 (LNT) も(i)～(iii)の反応で N_2O を生成する場合がある。

環境湿度が高い場合はガソリン車同様に吸入空気に含まれる水分が増加するため燃焼温度が低下し、 NO_x が減少する。さらに、 NO_x の減少に比例して尿素水噴射量も減少することが予想される。これらのことから環境湿度が高い場合は(i)～(iii)の反応による N_2O の生成が抑制される可能性がある。

以上より、ガソリン車、ディーゼル車ともに化学反応としては N_2O の生成に環境湿度が影響すると予想されたが、その相関について台上試験にて検証する。

3. 実験方法

3. 1. 実験装置

図1に試験設備の概要を示す。車両前方には車両冷却ファンが設置されており、車速に応じた走行風を吹き出した。温度と湿度が制御可能な空調機の吹き出し口は車両冷却ファンの上方に設置している。排出ガス分析装置には排出ガスを未希釈で計測する2台の分析計 [SESAM i60 FT(以降: FTIR)、MEXA-ONE (以降: 従来型分析計)] を用いて同時に計測を行った。排出ガス濃度に加え、排出ガス流量計 (EFM) により排出ガス流量を計測した。排出ガス温度は EFM に取り付けられた熱電対によって取得した。EFM はテールパイプ直下に接続し、排出ガスのサンプリングポートを FTIR、従来型分析計の順で EFM の下流に設置した。なお、従来型分析計は水分を含まない Dry 計測のため、FTIR で計測した H_2O 濃度を用いて Wet 換算した。表1に供試車両の諸元を示す。アクセルおよびブレーキの操作には、当研究所で構築した運転ロボット⁽⁹⁾を用いて排出ガス特性に与える運転操作の影響を排除した。

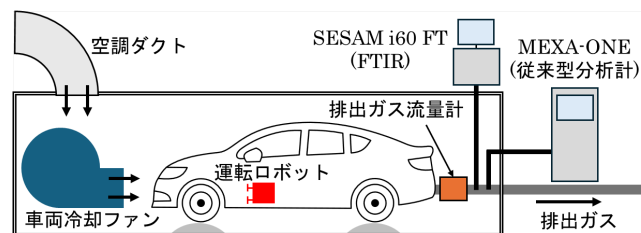


図1 試験設備の概要

表1 供試車両の諸元

	ガソリン車	ディーゼル車
パワートレイン	直列3気筒ターボエンジン	直列4気筒ターボエンジン
排気量	1.2 L	2.0 L
燃料	ハイオクガソリン	軽油
排出ガス後処理装置	TWC, GPF	LNT, Urea-SCR, DPF

3. 2. 実験手順

本実験では環境温度を 23°C で固定し、環境湿度を $30\%RH$ (Relative Humidity)、 $50\%RH$ 、 $70\%RH$ と変化させて台上試験を行った。いずれの条件もソーク後に暖機運転なしで計測を開始する Cold 条件で WLTC (Worldwide light-duty test cycles) モードの4フェーズ (Low+Middle+High+Ex-High) の走行を行った。本実験では各条件において3回の走行を行った。いずれもソーク時間は23時間程度とした。

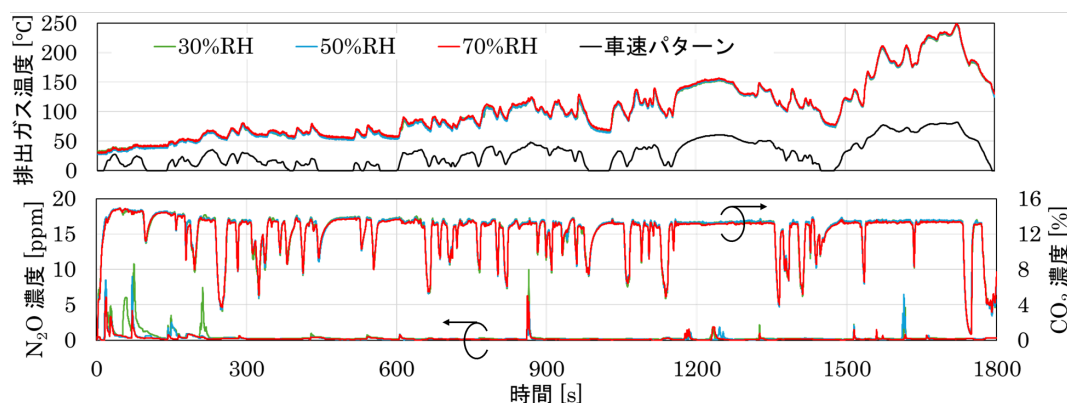


図2 ガソリン車における車速パターンと各環境湿度条件下の排出ガス温度と排出ガス濃度

4. 環境湿度がN₂O 排出特性に与える影響

4. 1. ガソリン車における環境湿度とN₂O の関係

図2にガソリン車における車速パターンと各環境湿度条件の排気温度、N₂O 濃度、CO₂ 濃度を示す。排気温度は300s程度まで上昇を続け、その後は車速パターンに比例して変化する。CO₂ 濃度のピーク値はエンジン始動後に最も高い値を示した後、300s程度まで減少を続ける。エンジン始動後は排出ガス中の水分が凝縮して触媒や排気管に付着するため見かけ上のCO₂ 濃度は高くなるが、昇温後とみられる300s程度からはCO₂ 濃度も13%程度で安定した。

一方、N₂O は触媒が活性温度未満であると生成量が増加することから始動直後に比較的高濃度のN₂O を排出する。また、300s未満では環境湿度によってN₂O 濃度が大きく変化することに対し、300s以降ではピーク値に若干の変動はあるものの排出時期に違いは見られない。排出ガス温度が安定した300s以降ではいずれも加速や減速のタイミングでN₂O が排出されていることから、空燃比の変動が要因であると考えられる。図3にガソリン車におけるフェーズごとのN₂O 排出量の平均値と標準偏差およびWLTCモード全体でのN₂O 排出量と環境湿度との関係を示す。Lowフェーズでは最も多くのN₂O を排出しており、排出量全体の約半数を占める。また、いずれのフェーズにおいても高湿度であるほどN₂O 排出量は減少傾向を示しており、特にLowフェーズでの影響が顕著である。N₂O 排出量と環境湿度の関係を見ると、試行回数ごとにばらつきはあるものの環境湿度とN₂O 排出量は負の相関であることがわかる。70%RHを30%RHと比較すると平均で39.1%減少しており環境湿度が大きな影響を与える。

N₂O 以外の排出ガス量に与える環境湿度の影響を

解析した結果についても述べる。本実験においてCO₂、O₂、NH₃への環境湿度影響は見られなかった。一方、70%RHを30%RHと比較するとCOは7.4%、H₂Oは8.6%増加し、NO_xは25.9%減少した。これは吸入空気に含まれる水分量の増加と燃焼温度の低下によるもので、基本的なエンジン燃焼の特性と一致する。ここで、認証試験にて規定されるNO_xの湿度補正⁽¹⁰⁾をNO_xおよびN₂Oに適用すると、NO_xの差(70%RHと30%RHで比較)は25.9%から7.3%まで減少した。N₂Oの差(70%RHと30%RHで比較)も39.1%から23.8%まで減少したが、環境湿度による排出量の差は依然として大きいままであった。N₂Oへの上記の湿度補正は適用対象外のため参考ではあるが、NO_xに適用される湿度補正はN₂Oの補正には不十分であることから、環境湿度によるNO_x排出特性の変化だけではなく、NH₃の酸化等の要因も影響してN₂O排出特性が変化するものと推察される。

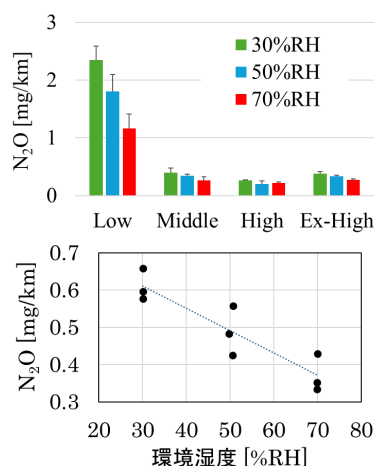


図3 ガソリン車における(上)フェーズごとのN₂O 排出量の平均値と標準偏差および(下)WLTCモード全体におけるN₂O 排出量と環境湿度との関係

4. 2. ディーゼル車における環境湿度と N_2O の関係

図 4 にディーゼル車におけるフェーズごとの N_2O 排出量の平均値と標準偏差および WLTC モード全体での N_2O 排出量と環境湿度との関係を示す。図 3 と比較するとディーゼル車の N_2O 排出量はガソリン車よりも数倍～数十倍多いことが分かる。尿素 SCR システム搭載車では NO_x の還元のために尿素水から NH_3 を生成することから、ガソリン車よりも NH_3 生成量が多く、(ii)および (iii) の反応による N_2O 生成量が増加したと考えられる。また、各フェーズにおいて N_2O 排出量と環境湿度との明確な関係は確認できないが、WLTC モード全体で見ると試行回数ごとにばらつきはあるものの環境湿度と N_2O 排出量は負の相関であることがわかる。70%RH を 30%RH と比較すると N_2O 排出量は平均で 5.2% 減少する結果となり、環境湿度の影響はガソリン車よりも小さくなった。

5. まとめ

台上試験において N_2O の計測を適切に行うための試験条件を定めるため、ガソリン車およびディーゼル車を用いて N_2O 排出特性に与える環境湿度の影響について検討した。WLTC モードで走行した場合、試行回数ごとにばらつきはあるものの環境湿度と N_2O 排出量は負の相関を示した。環境湿度の影響はガソリン車よりもディーゼル車の方が小さいが、 N_2O 排出量は数倍～数十倍多い結果となった。今後は試験台数の増加や計測機器の違い、プレコンディショニングおよびソークの影響についても検討を進める予定である。

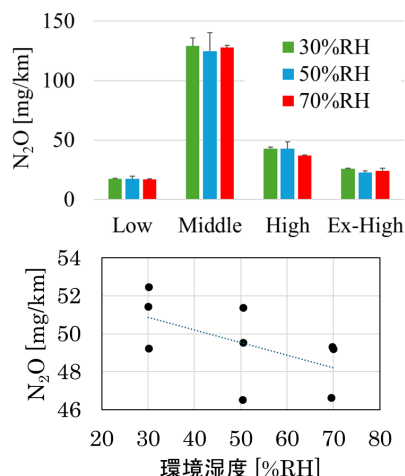


図 4 ディーゼル車における (上) フェーズごとの N_2O 排出量の平均値と標準偏差および (下) WLTC モード全体における N_2O 排出量と環境湿度との関係

参考文献

- 1) IPCC, “Climate Change 2021: The Physical Science Basis,” <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>, (参照 2025.07.18)
- 2) Roberto Gioria, et al., “Regulated and unregulated emissions from Euro VI Diesel and CNG heavy-duty vehicles”, Transportation Research Part D, Vol.134, pp.1-15 (2024)
- 3) 小池章介ほか, “自動車から排出される亜酸化窒素の排出挙動に関する研究-第 3 報 三元触媒車から排出されるアンモニアと亜酸化窒素の FTIR 法による解析-”, 自動車技術会 1998 年秋季学術講演会講演前刷集 9839605
- 4) L.J.Muzio et al., “An artifact in the measurement of N_2O from combustion sources”, Geophysical Research Letters, Vol.15, No.12, pp.1369-1372 (1988)
- 5) Pauliina Nevalainen, et al., “Formation of NH_3 and N_2O in a modern natural gas three-way catalyst designed for heavy-duty vehicles-the effects of simulated exhaust gas composition and ageing-”, Applied Catalysis A: General, Vol.552, pp.30-37 (2018)
- 6) Matsuo Odaka et al., “ N_2O Emissions from Vehicles Equipped with Three-Way Catalysts in a Cold Climate”, SAE Technical Paper 2002-01-1717 (2002)
- 7) 山本敏郎ほか, “始動時にガソリン車から排出される N_2O の FTIR 分析-ソーク条件の影響-”, 自動車技術会絵論文集, Vol.44, No.1, pp.157-163 (2013)
- 8) 堀正雄ほか, “自動車用 SCR 触媒の現状と課題”, ゼオライト, Vol.36, No.2, pp.10-19 (2019)
- 9) Nobunori Okui, “Development of Driving Robot and Driver Model Applied Regenerative Brake Control of Electrified Vehicles”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36, No.4, pp. 879-888 (2024)
- 10) 国土交通省, “道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 第 31 条 別添 42 軽・中量車排出ガスの測定方法,” <https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/B042.pdf>, (参照 2025.07.18)

講演3. 事業用自動車のドライバを対象とする AI を用いたマイクロスリープ注意喚起システムの開発のための基礎的調査

環境研究部

※田中 信壽 新国 哲也

1. はじめに

運転中に発生するマイクロスリープ（3～15秒間の睡眠状態、極短時間の居眠り）は、注意と覚醒が一時的に断絶される状態であり、車線逸脱や追突など深刻な事故に直結する¹⁾。特に事業用自動車では、乗客や物流に対する安全性を確保する上で重大な問題となりうる。こうした事故を抑止するため、旅客・貨物を問わず、事業用自動車を運行する事業者には、運行管理者による点呼が法令で義務付けられている。点呼では、健康状態や疲労・飲酒の有無などを確認し、乗務の可否を判断する。しかし、点呼を行ったドライバが運行中にマイクロスリープを生じ、事故に至る事例は少なくない。点呼は主観的な申告や短時間の観察に依存しており、眠気の兆候が表出していない段階では見逃される可能性がある。

マイクロスリープは睡眠障害（SAS等）を有する者だけでなく、健常者にも発生し得る。昼食後、長時間運転、深夜の業務、単調な道路環境など、覚醒水準が低下する要因は日常的に存在する。現行のドライバモニタリングシステムは視線やまぶたの動きを指標とするが、眠気の関連行動が身体に表出するまで反応せず、発生直前の検知にとどまり、予兆の把握には不向きである。マイクロスリープを事前に完全に予見することは難しいが、それでも兆候の検出と注意喚起によってリスクを軽減できる可能性があると考えている。

本研究は、乗務前の点呼を通過したドライバに対し、運行管理の一環として、適切なタイミング（業務中の再乗車のタイミング等）で覚醒水準の低下を評価し、マイクロスリープの発生を注意喚起する AI を用いた対話型システムの開発を最終的に目指している。

ここでは、これらを実現するために行った基礎的調査（事故事例、運行管理に関する法規、眠気評価実験の結果など）について報告する。

2. 居眠り運転が原因とされる事故事例

国土交通省物流・自動車局では、平成26年6月、「交通事故総合分析センター」を事務局として、同省道路局及び警察庁とも協力し、各分野の専門家から構成される「事業用自動車事故調査委員会」を設置し、事業用自動車の重大事故について事故要因の調査分析を行っている。事業用自動車事故調査委員会では、発生した重大事故の調査を特別重要調査（社会的影響が大きく、事故調査委員会による特別な調査、要因分析及び再発防止策の提言が必要なもの）及び重要調査（特別重要調査対象事故以外の事故であって、事故調査委員会による要因分析及び再発防止策の提言が必要なもの）に分け分析し、報告している。事業用自動車事故調査委員会設置後5年間で、最も多く調査対象とされた事故が、過労運転による居眠り事故であった（11件）²⁾。なお、Kumagaiら³⁾はトラックドライバによる居眠り運転事故のドライブレコーダー映像を分析し、衝突直前の居眠りの実態はマイクロスリープであるとしている。以下に具体的な事例を示す。

特別重要調査の対象とされている平成28年3月に広島県の山陽自動車道下り線八本松トンネルにおいて発生した事故では、中型トラックが片側2車線の第1通行帯を走行中、渋滞で停止中の車列に追突し、合計12台の車両が関係する多重追突事故が発生するとともに、この中型トラックを含む5台の車両に火災が発生した。この事故により、相手車両の運転者2名が亡くなり、他の運転者3名及び同乗者1名の計4名が軽傷を負った。この事故の調査報告では、原因は運転者が事故発生日までの連続する乗務疲れからきた居眠り運転とされている。また、同様に特別重要調査の対象とされている平成29年8月に徳島県で発生した大型トラックの事故では、大型トラックが走行中、路側帯に車両故障のため駐車していたマイクロバス

に衝突し、その衝撃でマイクロバスは道路左側のガードレールを乗り越え、約6 m下の法面に転落した。この事故により、マイクロバスの乗客1名と運転者が亡くなり、乗客2名が重傷を負い、12名が軽傷を負った。この事故の調査報告では、この原因もまた、運転者の疲労蓄積による居眠り運転とされている。

3. 運行管理の関連法規

一般旅客自動車運送事業者には道路運送法第27条、また一般貨物自動車運送事業者には貨物自動車運送事業法第15条により、運行の安全を確保するための措置を講じる義務が課せられている。この措置の一環として、点呼の実施が位置づけられている。点呼には、乗務前及び乗務後点呼、並びに乗務途中に実施する中間点呼の3種類が存在する。これらの点呼は、旅客自動車運送事業運輸規則第24条及び貨物自動車運送事業輸送安全規則第7条により、事業者に実施が義務付けられている。

乗務前点呼では、運転者が乗務を開始する前に、健康状態や酒気帯びの有無などを確認し、安全な運行が可能かをチェックする。次に、業務終了時には乗務後点呼を行い、車両、道路及び運行の状況を把握する。加えて、長距離運行などで乗務前後の点呼が困難な場合は、運行途中に電話などで行う中間点呼が求められる。これらの点呼の義務は、ドライバの健康状態や車両の安全性を確認し、事故を未然に防止することを目的としている。

一般旅客自動車運送事業者及び一般貨物自動車運送事業者が法令違反などを犯した場合には、それぞれ道路運送法第四十条及び貨物自動車運送事業法第三十三条によって、国土交通大臣が事業の停止や許可の取消しなどの行政処分を行うことができることが定められている。行政処分の詳細に関しては、「一般貸切旅客自動車運送事業者に対する行政処分等の基準について」や「貨物自動車運送事業者に対する行政処分等の基準について」等の通達に基づいて行われる。

4. 乗務前点呼の概要

乗務前点呼は、事業用自動車のドライバが乗務を開始する前に、運行管理者が実施しなければならない点呼である(表1)。これは、ドライバの健康状態や安全運転の可否を確認し、必要な指示を与えることを目的としている。この点呼は、原則として運行

管理者が対面で実施しなければならない。ただし、遠隔地での運行ややむを得ない事情がある場合の電話による点呼、対面と同等の効果を有するものとして国土交通大臣が定める遠隔点呼や自動点呼も認められる。点呼の際には、まずアルコール検知器を用いて酒気帯びの有無を確認し、ドライバが飲酒の影響を受けていないことを確実にする必要がある。また、ドライバの疲労や睡眠不足、疾病の有無を確認し、安全運転が可能な状態であるかを判断することが求められる。加えて、運転免許証の有効期限や種類の確認を行い、無資格運転が発生しないよう管理することも重要である。車両の日常点検が適切に実施されたかをドライバに確認し、車両に異常がないことを確認した上で、安全な運行が可能であると判断された場合にのみ、乗務を許可する。さらに、運行経路や目的地、休憩地点、天候や道路状況に応じた運転上の注意点など、具体的な指示をドライバに伝達することも必要とされる。このように、乗務前点呼は、ドライバの健康状態や車両の安全性を確認し、事故の未然防止を図るために極めて重要な業務である。そのため、運行管理者は適切な点呼を確実に実施し、安全運転の確保に努めなければならない。

一方、ここまでの確認を徹底してもなお居眠り運転事故を起こす一定数のドライバが、この“ふるい”をすり抜け、交通参加者となってしまっている現状がある。そこで、著者らは、このようなドライバに対して業務中のマイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの開発を想定した。

表1 乗務前点呼の主な確認項目

確認項目	内容
酒気帯びの有無	アルコール検知器を使用し、飲酒の影響がないことを確認する。
疲労・睡眠不足・疾病の有無	ドライバの体調を確認し、安全運転が可能な状態であるかを判断する。
運転免許証の有効期限・適性	運転免許証を確認し、有効期限切れや適性違反がないことを確認する。
車両の日常点検の実施状況	ドライバが日常点検を実施したかを確認し、車両に異常がないことを確認する。
運行経路・目的地の確認	運行経路、目的地、休憩地点などを明確にし、安全な運行計画を確認する。
天候・道路状況の確認	当日の天候や道路状況に応じた注意喚起を行い、安全運行を指示する。
運行に関する指示の伝達	安全運転の留意点、休憩指示、速度管理などをドライバに指示する。

5. 生成 AI を用いた音声 User Interface (UI)

昨今、AI の急速な技術革新により、AI と人との間で自然言語による会話が可能になりつつある。これにより近年車載された音声 UI は、単なる音声コマンドの実行を超え、生成 AI (特に Multimodal LLM) の活用により、高度で自由な対話を実現している。メルセデス・ベンツの「MBUX」は、ChatGPT を統合することで従来の音声操作機能を拡張し、自然な対話形式による情報検索や車内操作を可能としている。フォルクスワーゲンの「IDA」は、Cerence 社の「Cerence Chat Pro」を基盤に ChatGPT を統合。ナビ設定や空調調整に加え、一般的な知識に関する質問にも自然な対話で応じる。プジョー、オペル及びボックスホールは、「SoundHound Chat AI」を採用し、天気予報やエンターテインメント情報など、幅広いトピックに対応している。このような現状を踏まえ、著者らが開発を目指すシステムでは、AI エージェントが優秀な運行管理者となり、ドライバとの会話の中からドライバの眠気を見抜き、マイクロスリープの発生を予測して注意喚起できるようなものをユースケースとして実現できるのではないかと考えている。

6. 眠気の評価方法

人が人と話す時、その受け答えから相手の眠気に何となく気づくことは多々ある。著者らは、これを AI を用いて具現化し、マイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの実現を目指しているわけだが、そのためには実際、人が会話中のどのような特徴を捉えて、相手の眠気を感じているかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では、眠気による会話中の発話に関する能力 (以下、発話能力) の変化に注目し、これを評価するための実験を行うこととした。

6. 1. 眠気と発話能力との関係

会話能力のうち、特に言語処理能力、流暢性、応答速度、感情表現、ワーキングメモリ (作業記憶) の容量などが、眠気によって顕著な影響を受けるとされる。眠気が増すことで脳の前頭前野の活動が低下し、適切な語彙選択が困難になることで、言い間違いの増加、言語構造の乱れの発生、話の論理性の低下が生じる³⁾。また、言語想起の遅延が顕著であり、適切な単語を思い出すのに時間を要することが確認されている³⁾。さらに、眠気はワーキングメモリの低下を引き起こし、会話中の情報を適切に処理する能力が減退す

ることが指摘されている⁴⁾。眠気が強い状態では応答速度が低下し、相手の発言に対する反応が遅くなる。これは注意資源の減少に起因し、睡眠不足時には認知負荷の高いタスク (例: 即時の適切な返答) が困難になることが示されている⁵⁾。眠気の影響は発話内容のみならず音声的特徴にも及び、睡眠不足の状態では発話速度が減少し、声の抑揚が少なくなることが報告されている⁶⁾。その結果、会話が単調になり、感情表現が乏しくなる傾向がある。

一方、会話には眠気を軽減する効果があることが示唆されている。会話は脳の複数領域を活性化させ、注意を喚起することで覚醒水準を一時的に向上させる可能性がある。特にインタラクティブな会話 (例: 質疑応答を含む会話) においては、前頭前野の活動が促進されることが報告されており⁷⁾、これにより眠気の進行を抑制する可能性がある。

以上のことから、眠気は発話能力低下を引き起こす原因となる一方で、会話は覚醒レベルを上昇させるといった密接な関係が眠気と発話能力との間にはある。

6. 2. 被験者実験

ここでは、本研究の一部として行った眠気に対するワーキングメモリの容量の変化を評価した簡易的な被験者実験について報告する。ワーキングメモリの容量の変化の評価は以下の方法で行った。なお、本実験は、当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づいて事前に審査が行われ、その承認のもとに実施した。被験者には、実験内容を説明し、実験参加への同意 (インフォームド・コンセント) を得た。

【数字記憶テスト】

被験者と試験官との間で互いに 0~9 までの任意の数字を言い合う。但し、数字を言う前には、それまでにお互いが言い合った数字を順番にすべて復唱する。被験者が復唱を間違ったところでテストを終了する (試験官はメモを取りながら実施。被験者は連続して同じ数字を言うことが禁じられている)。

【被験者】

人数: 4 名 (男性: 2 名、女性: 2 名)、年齢: 平均 37.25 歳 標準偏差 7.85、属性: 運転免許保持者

試験は以下の時間帯に実施した。各試験では、まず始めにカロリンスカ眠気尺度を用いた眠気の主観評価を実施する。その後、数字記憶テストを 3 回実施した。各試験の間の時間帯は、トラックの運転ゲームを行わせた。

16:30 試験 1 回目 | 19:30 試験 2 回目 |
 23:00 試験 3 回目 | 01:30 試験 4 回目 |
 03:30 試験 5 回目 | 05:00 試験 6 回目 |
 05:30 仮眠開始 | 07:00 仮眠終了、試験 7 回目
 (休憩時間：20:00～21:00、02:00～02:30 及び運転
 ゲーム実施時間帯の 10 分間以下 (取得は任意))

6. 3. 実験結果

図 1 にカロリンスカ眠気尺度による被験者の眠気の時間変化を示す。No. 1、2、及び 4 の被験者は、時間経過に伴って眠気が高まり、その後、低下する傾向が確認された。一方、No. 3 の被験者は、ほとんど眠気を生じず、仮眠後に最も眠気が高まった。

表 2 に各試験における数字記憶テストの復唱文字数の平均を示す。No. 1、2 及び 4 の被験者は、概ね眠気が高まると復唱文字数が減少する、想定通りの傾向を示した。一方、No. 3 の被験者は、眠気と復唱文字数の間に関連性がみられなかった。但し、この被験者は、明け方 3:30 に復唱文字数が最も低かったことを考えると、眠気の自覚が無い状態でワーキングメモリの容量が低下していた可能性がある。

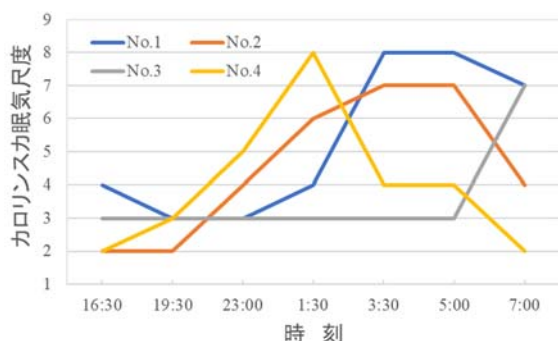


図 1 眠気の時間変化

表 2 復唱文字数の時間変化

試験回	被験者No.							
	1		2		3		4	
	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均
1	4	8.00	2	7.33	3	7.33	2	9.33
2	3	6.67	2	6.67	3	6.67	3	10.67
3	3	7.33	4	7.33	3	7.33	5	10.67
4	4	6.00	6	7.33	3	8.00	8	8.00
5	8	6.00	7	6.67	3	6.00	4	8.67
6	8	6.67	7	6.67	3	6.67	4	10.00
7	7	8.00	4	7.33	7	6.67	2	14.67

赤字：眠気尺度の最高値 青字：復唱文字数の平均の最小値

カロリンスカ眠気尺度：1 (非常にはっきり目覚めている) ～9 (とても眠い、起きているために大変な努力をして眠気と戦っている) までの 9 段階の眠気尺度

7. まとめ

本報告では、事業用自動車の事故実態、ドライバの点呼の現状を関連法規と合わせて総括しつつ、マイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの開発の一部について示した。現状、本システムで眠気を検出する上で評価すべき会話中の発話能力としては、ワーキングメモリの容量変化が有力である可能性が被験者実験の結果から得られた。

8. 今後の課題

眠気を検出する上で評価すべき会話中の発話能力としては、ワーキングメモリの容量変化の他にも、流暢性、反応速度、言語想起の遅延などが考えられる。今後は、眠気が生まれるメカニズムや神経機序も考慮し、マイクロスリープの発生の予見において有効な指標の選定に注力していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) H. Kumagai et al., "Dashcam video footage-based analysis of microsleep-related behaviors in truck collisions attributed to falling asleep at the wheel," Accident Analysis & Prevention, vol. 187, Article 107070, 2023.
- 2) 事業用自動車事故調査委員会, 事業用自動車事故調査委員会 5 年総括, 国土交通省, 令和 2 年 8 月
- 3) Y. Harrison et al., "The impact of sleep deprivation on decision making: A review," Journal of Experimental Psychology: Applied, vol. 6, no. 3, pp. 236–249, 2000.
- 4) W. D. S. Killgore et al., "Sleep deprivation and cognitive performance," in Sleep Deprivation and Disease: Effects on the Body, Brain and Behavior, M. T. Bianchi, Ed., New York, NY: Springer, pp. 209–236, 2014.
- 5) J. S. Durmer et al., "Neurocognitive consequences of sleep deprivation," Seminars in Neurology, vol. 25, no. 1, pp. 117–129, 2005.
- 6) Y. Harrison et al., "Sleep deprivation affects speech," Sleep, vol. 20, no. 10, pp. 871–877, 1997.
- 7) E. Redcay et al., "Live face-to-face interaction during fMRI: A new tool for social cognitive neuroscience," NeuroImage, vol. 50, no. 4, pp. 1639–1647, 2010.

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

杉崎 友信

1. はじめに

自動車を購入し使用する際、その自動車が安全・環境基準に適合しているかどうかを効率的にチェックするため、自動車、共通構造部及び自動車装置（以下「自動車等」という。）の「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とともに、政府が高齢運転者の交通事故対策の一環として推奨する先進技術の性能評価を行っている。

また、近年、自動車メーカー等による型式指定に係る不正行為が相次いで発生し、国土交通省が設置した「自動車の型式指定に係る不正行為の防止に向けた検討会」でのとりまとめ結果を踏まえ、今後審査部においても様々な取り組みを行っていく必要がある。

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. 型式指定の審査実績

2024年度の審査型式数について、自動車は1,724型式（前年同数）、共通構造部及び自動車装置は610型式（前年比311型式減）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、2024年度は304型式（前年度比232型式減）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を行う先行受託試験について、2024年度は309件（前年比1件減）の受託があった。

2024年度は、一部の自動車メーカー等による認証不正の影響により、一時的に装置指定型式数が減少したものと考えられる。

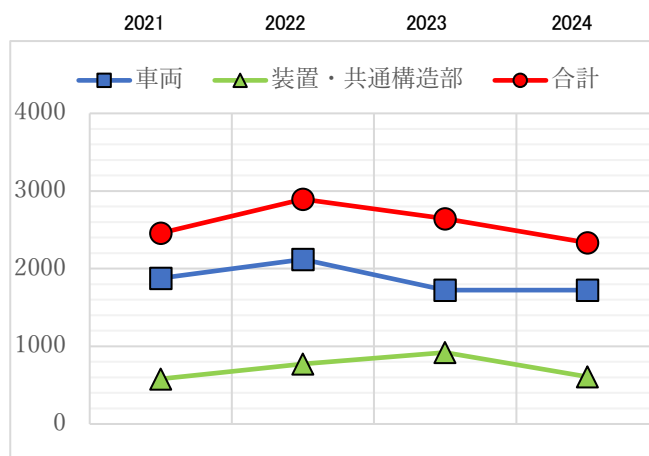


図1 審査型式数の推移

2. 2. 特定改造の審査実績

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。

2024年度は特定改造等能力審査を9件（前年度比5件増）、特定改造等に係る保安基準適合性審査を124型式（前年度比67件増）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）

2. 3. 新基準に対応した審査

2024年度に新たに導入された基準は18件（うち新基準3件、基準改正15件）であった。新基準である「大型車用事故情報 計測・記録装置に係る協定規則（R169）」、「縦・横方向の運行支援機能に関する統一規則（R171）」及び「バスの座席一体型年少者用補助乗車装置に係る協定規則（R170）」をはじめとして、新たに導入された基準について適切かつ円滑に審査できるよう体制を構築し、的確な審査の実施に努めた。

2. 4. 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、2024 年度の実績は申請自動車メーカー数が 6 社、評価型式数が 17 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. 5. 国際基準調和及び相互承認の進展

進展する自動車技術に対応するとともに、我が国技術の国際標準の獲得を目指す国土交通省を支援するため、国連の自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）本会議や傘下の専門家会議に参加し、新基準の導入や基準改正について提案並びに意見交換を行った。2024 年度においては、関連する国際会議へ 133 回（前年比 15 回増）参加し、また、駐車状態時の灯火器の動作に係る専門家会議において共同議長を務めるなど、主体的な役割も担っている。

アジア諸国における国際相互承認制度の進展に貢献するため、2024 年度は 4 か国に対し試験方法に関する講義や実地研修を計 5 回実施した。現在、アジアにおいて 1958 協定に加盟している国は 7 カ国であり、今後も国土交通省とともに国際相互承認制度の進展に向け、技術支援を進めていく。

3. 新たな取り組み

3. 1. 認証不正への対応

自動車メーカー等による型式指定に係る不正行為の防止策として、型式指定後の段階での型式指定車の保安基準適合性等を確認する「量産車適合性監視」が

制度化された。審査部では、同制度により自動車メーカーが行う試験について、適切に実施しているかどうか確認することとなっていることから、令和 8 年 4 月からの制度開始に向け、実施体制の構築を進めていく必要がある。

また、近年、自動車技術の進展等により新たな安全・環境基準が次々と導入されていることから、審査に関する様々な相談を受け付ける窓口を新たに設置し、自動車メーカー等に対して試験方法に係る技術的な助言を行い、開発や認証業務の効率化を促進していく。

3. 2. 検査対象外軽自動車等の装置認定

二輪車の輸出を促進するため、検査対象外軽自動車及び原動機付自転車についても UN 認可証（E43）の取得が可能となるよう、関係省令の改正が進められている。今後、それらの装置型式認定に関する認証審査を実施していくため必要な審査体制の整備を進めていく。

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・技術の範囲が拡大してきている。また、基準の国際調和や相互承認など、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、適切な審査体制を確保し業務を的確に実施することにより、自動車の安全・環境確保を図っていくとともに、自動車産業の成長にも貢献できるよう努めていく所存である。

講演 4. サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート マネジメントシステムの更新審査への取組

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

自動車基準調和世界フォーラムの UN-R.155 サイバーセキュリティ (CS) 及び UN-R.156 ソフトウェアアップデート (SU) は、自動車メーカーに対するマネジメントシステム (MS) の要件、車両に対する要件という構成となっている。当センターは、これらの基準適合性審査を担っており、2020 年から MS 審査を開始し、2024 年度に有効期限 3 年を迎える自動車メーカーに対し更新審査を実施した。

2. 更新審査への準備

MS 要件には、サイバー攻撃へのリスクアセスメントやソフトウェア更新のトレーサビリティといった「プロセス」を持つことが定められている。各解釈文書には、要件となるプロセスに対し目的、文書化の例、プロセスの実施結果の例などが明記されている。

当センターでは、MS 要件への適合性を書面審査、現地審査に分け、内部レビューして確認する。書面審査では、官民で作成した審査マニュアルに則り、プロセスの文書化を確認したのち、解釈文書を細分化して作成したチェック項目を用いて、各プロセスの内容を確認する。現地審査では、各プロセスの実施部門へのインタビューを通じ、プロセスの実在及び未チェック項目を確認する。

更新審査は、その時点での MS 基準適合性を確認するため、初回審査との差分ではなく、全要件が対象となる。当センターでは、更新審査実施に向け、国内メーカー十数社の初回審査の経験から、課題を抽出し、対策を検討した。

2. 1. チェック項目の見直し

2. 1. 1. プロセスの実現方法の変化への対応

プロセスの実現方法は、技術進歩などに応じて変化していく。「プロセスの実行結果の提出」というチェック項目に対し、実際のプロセスでは、「システム化によりデータとして結果を保存」という例である。このため、定期的にチェック項目が実際のプロセスに即

しているかを見直す必要がある。

2. 1. 2. 更新審査特有の項目の追加

受審者は既に MS の運用実績があるため、構築されたプロセスが正しく実行されているか、について現地審査で重点的に確認することとした。

また、CS、SU の車両審査において、攻撃検知やソフトウェア更新の条件決定といった MS のプロセスを確認している。これらのフィードバックを更新審査の書面審査時に個別に確認し、必要に応じてインタビュー項目に加えた。

最後に、CSMS、SUMS では各プロセスに、改善するプロセスを含むこと、が要求されている。当センターがこれまで受けたプロセス変更の相談内容から、実際の改善は、法規要件の粒度より小規模であることが想定されたため、「プロセスの運用課題とその解決」を各プロセスのインタビュー項目に加えた。

2. 2. 審査マニュアルの改訂

2024 年 10 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の傘下に審査マニュアル小 WG を開設し、更新審査に向けた審査マニュアルの改訂を実施した。実際の規定や手順書を文書化の例に反映し、法規解釈や解釈文書の共通理解を明記した。

2. 3. 現地審査の効率化

現地審査は、対象となるプロセスを実行する部門単位でスケジュールリングし、事前に定めた質問を印刷し配布、インタビュー後に回収する方式をとっている。これには、質問の意図を正しく伝え、時間を有効活用する利点がある。一方、あらかじめ回答の準備が可能であり、回数を重ねると形骸的なインタビューとなる可能性がある。

ISO/IEC 17021「マネジメントシステムの監査と認証を提供する機関の要件」では、要求事項適合の説明責任は顧客組織としている。MS 審査では、受審者自らが要求されるプロセスを構築、運用、改善している

ことを実証すべき¹⁾であり、積極的な回答が望まれる。この点を踏まえ、今回は方式は変えず、審査官は受審者の言葉を引き出すことを念頭に質問を行うこととし、回答者は初回審査では部門責任者であったが、プロセスの実業務者とするのを依頼した。

3. 更新審査結果

3. 1. プロセスの運用課題とその解決

更新審査時に各要件に追加した「プロセスの運用課題とその解決」のインタビュー回答を紹介する。

CSMS では、「プロセスの改善要望はなかったが運用の工夫を行っている」「効率化について検討している」「今後の環境変化に追従していくことが課題」といった回答がみられた。プロセスの運用において、次なる課題は効率化であり、複雑性の排除やシステム化が想定される。

SUMS は、「既存の MS 体系に基づき、日常の改善を行っている」「SUMS 以前よりこのプロセスは存在していたが、プロセスとして定義されたことによる意識づけが課題」「管理サーバへの更新登録漏れがあったため見直し部署を新設」「有線更新の場合などの手作業によるミスが課題」といった回答がみられた。多くのメーカにおいて既存のプロセスを SUMS に合わせて一部変更しているため、大きな運用課題はないが、ソフトウェアの管理や配信はシステム化が進み、残された手作業部分や特例対応に課題があることがうかがえた。

3. 2. 現地審査実績

現地審査でのインタビュー先平均部門数は、CSMS では初回審査 8.8 部門、更新審査 8.3 部門と変わらず、SUMS では、順に 7.2 部門、6.1 部門であり、初回に比べ更新では平均 1.0 件少なかった。これは、更新ソフトウェアの妥当性確認プロセスなど、複数の設計部門が対象となるケースにおいて、更新審査では代表 1 部門を抽出したためである。

現地審査平均時間は CSMS 初回 8.8 時間、更新平均 7.4 時間、SUMS は順に 6.3 時間、4.9 時間であった。ともに更新では初回に比べ約 1 時間短縮した。一方で設問数平均は CSMS は初回 84.7 問、更新 81.3 問と差はなく、SUMS では初回 45.5 問に比べ更新 56.7 問であり、増加した。

審査官の相談時間を削減した点、インタビュー項目の明確化、実業務者による回答、といった効率化により、現地審査時間短縮が図られた。

3. 3. 審査官の育成

サイバーセキュリティ技術は進歩するため、車両に搭載すべき軽減策が定められない。同様に型式認証時点の技術や仕様のみならず、使用過程の安全や環境保全を確保するために UN 規則にプロセス要件が増えていくことが想定される。これは、従前の車両審査とは異なる。そのため、今回、当センター以外の審査官に対し、書面審査、現地審査の OJT を実施し、プロセス審査の理解を得た。協力いただいた自動車メーカ各社に感謝の意を記したい。

また、WP.29 GRVA において、MS 審査を行うテクニカルサービスに ISO/IEC 17021 の一部要件への準拠の要求が検討されている²⁾。この要件には自己研鑽や MS の理解といった審査員の守るべき事項、心構えが定められている。今回、チェック項目の見直し、審査マニュアルの改訂の準備を通じ、法規の理解と、各社のプロセスへの理解が深められた。

4. おわりに

MS プロセスは技術の進歩、時代によって改善され、進化する。これに応じ、審査手法の改善が求められる。当センターでは、定期的にチェック項目を吟味し、見直すことを MS 審査プロセスとして組み込み、この手順を通じ審査官の力量向上を図っていく。

R156 では、今後 UN 法規に影響のあるソフトウェア更新を行う場合は RXSWIN での管理が要求される³⁾。RX は UN 法規番号、SWIN が固有番号であり、UN 法規ごとに関連するソフトウェアを管理していく方式である。これに対応し、審査マニュアルの改訂、チェック項目の改訂を行っていく。

参考文献

- 1) 亀山 嘉和, “総論 : マネジメントシステム認証制度の課題と解決法”, 品質, Vol. 41, No.2, pp.150-158 (2017)
- 2) GRVA-2025-47, WP.29 GRVA 23rd session (2025)
https://unece.org/sites/default/files/2025-07/ECE-TRANS-WP.29-GRVA-2025-47e_0.pdf
- 3) GRVA-2025-28, WP.29 GRVA 22rd session (2025)
<https://unece.org/sites/default/files/2025-05/ECE-TRANS-WP.29-GRVA-2025-28e.pdf>

講演 5. 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、使用過程の自動車に関して、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、法令上の基準（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された、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

不具合情報ならびに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の分析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	R2	R3	R4	R5	R6
ユーザーからの不具合情報	3,811	3,509	3,231	3,162	3,176
メーカーからの事故・火災情報及び不具合情報	4,504	5,894	5,665	5,427	5,823
その他（警察、消防、消費者庁等）	552	402	429	366	356
計	8,867	9,805	9,325	8,955	9,355

2. 1. 2. 事故・火災車両の調査

自動車の不具合原因が設計又は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	R2	R3	R4	R5	R6
事故	10	22	23	17	14
火災	43	47	42	40	38
合計	53	69	65	57	52

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にセダンタイプの車両や

小型の車両には搭載することが難しく、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の溶接加工を施さなければならない。

令和 6 年 10 月に、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、問題のある車両のスクリーニングに使用できないかその有用性を検証している。ミニ PEMS によって、より多く、より多様な車両を測定することが可能になるのではないかと期待している。

令和 7 年度は、シャシーダイナモメータ上で据置型とミニ PEMS の同時排出ガス測定を行い、ミニ PEMS の測定結果の有用性を確認していく。



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又は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	R2	R3	R4	R5	R6
技術検証件数	307	241	275	220	144
リコールに繋がった技術検証件数	21	16	9	17	8
(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	384	369	383	349	337

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		R2	R3	R4	R5	R6
実験テーマ総数		10	11	10	11	12
内訳	個別事案の検証	2	1	2	4	3
	知見の蓄積	8	10	8	7	9

※「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、技術検証実験を実施してきている。

特に令和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。(図5)



図5 EBS 搭載車両の基礎実験
(車速 60km/h からの制動を繰り返し、ライニング温度を確認)

2. 4. 自動車の適切な使用の啓発ビデオの製作

ユーザーからの不具合情報を分析すると、自動車の機能を適切に認識していないと見受けられ事故を生じさせる懸念があることから、自動車の機能に関する実験を行い、その結果を踏まえて自動車の適切な使用方法を理解してもらうための動画をまとめている。

令和6年度は、衝突被害軽減ブレーキの不要作動に慌てないための動画をまとめた。

これらの動画は国土交通省のホームページで公開されている。

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っている。

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、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必要がある。

不具合情報分析、事故・火災車両の調査及び排出ガスサーベイランスの結果を踏まえて技術検証を行い、必要ならば技術検証実験を行って、使用過程における自動車の安全の確保と環境の保全に貢献していきたい。

口 頭 発 表 11. 21

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。

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。これらを進めるにあたり、現在緊急停止操作等を行う係員付き自動運転であるGOA2.5において、列車前頭に乗務する係員相当とした車掌経験者と従来の運転士との乗務中における動作の違いについての検討や、踏切道がある自動運転に向けた踏切障害事故の実態についての分析を行っている。

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。現在、幹線鉄道で活用されている軌道検測車などの動的な軌道検査が導入できない事業者も少なくないところ、営業車両を用いて動的な軌道状態を効率的に把握する方法について検討を行っている。これらの検討の基礎となった曲線旋回性能の評価等を、昭和 63 年度に設置した「鉄軌道台車試験設備」を用いて行ってきたところであるが、昨年度老朽化更新に伴い、通り変位及び平面性変位の模擬の機能を追加したところである。

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。現在、ワイヤーロープに懸垂する搬器に着目し、予防保全の考えから搬器に生じる動揺と、搬器に作用する風を常時モニタリングする装置の開発を進めている。

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。現在、路面電車の運転士に対し前方車両対して LiDAR センサを用いて検知するにあたり、路面電車特有の急な曲線等の路線線形のなかで前方車両を特定する方法について検討している。

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ている。現在、コンセプトに基づく

試験装置を作成し、現地による機能試験、通信試験を行うとともに、長期のフィールド試験へ向けて準備を進めているところである。

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から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。

最近では、地域公共交通活性化再生法改正に伴い、自治体においては地域公共交通計画の策定が努力義務化された。そこで、これら策定された地域公共交通計画を自治体の特性事に分類し、関連性を分析するとともに計画立案過程の課題について検討を行っている。

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。

来年度からの新たな中期計画のもと、引き続き、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6. 地方鉄道における営業車両を用いた動的軌道状態把握の取組

交通システム研究部

※小野 寛典 佐藤 安弘

篠田 憲幸（客員研究員） 緒方 正剛（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。列車の荷重が加わることで、軌道は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ことが望ましい。しかし地方鉄道では、コストなどの理由により、幹線鉄道で活用されている軌道検測車などの動的な軌道検査が導入できない事業者も少なくない。そこで、当研究所では営業車両を用いて動的な軌道状態を効率的に把握する手法の研究に取り組んでいる。軌道状態を検査するための軌道変位の測定項目に対応するそれぞれの手法について紹介する。

2. 軌道変位による軌道状態の管理

軌道の状態は、図1に示す5種類の変位量で主に管理される。

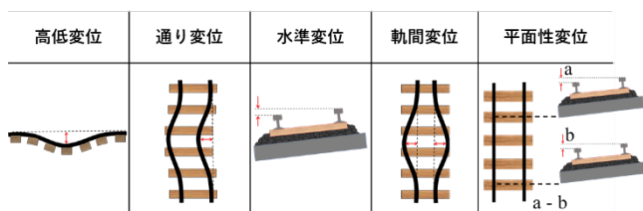


図1 軌道変位の種類

図1において、レールの高さ方向の凹凸は高低変位により、レールの左右方向の凹凸は通り変位により、左右のレールの高さの差は水準変位によりそれぞれ管理される。また、左右レールの間隔は軌間変位により管理される。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、脱線の高リスクが高まる。さらに、線路方向に一定間隔を隔てた2箇所の水準変位の差は平面性変位として管理され、軌道のねじれを示す。軌道のねじれが過度に生じると台車の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とから、脱線の高リスクが高まる。

これらの軌道変位は、軌道検測車、簡易軌道検測装置または手検測により定期的に計測される。軌道検測車では、荷重が負荷された状態で計測する動的軌道検測が可能であるものの、地方鉄道路線に導入するには非常に高価であり、一方で、簡易軌道検測装置または手検測では、車両の荷重がレールに作用しない静的軌道検測となり、1日に計測できる距離が限られる。

3. 営業車両を用いた動的軌道状態把握の取組

そこで当研究所では、加速度センサなどの機材の低価格化・小型軽量化を背景に、軌道変位を精密に計測できなくとも安全上注意すべき箇所を効率的に把握する手法について、検討を行ってきた。比較的安価なセンサを既存の営業車両に設置することで、動的な軌道状態を効率的かつ高頻度に把握することが可能と考えられる。こうした考えに基づき、前述した5種類の軌道変位に対し、高低変位と通り変位の要注意箇所については、車両動揺との関係に基づき把握する手法を提案した。また、軌間拡大の要注意箇所については、小型カメラで撮影した走行中の車輪／レール接触関係に基づき把握する手法を提案した。さらに、水準変位及び平面性変位については、LiDARセンサにより車体から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により把握する手法を提案した。以下にそれぞれの概要を述べる。

3. 1. 高低変位の要注意箇所把握¹⁾

スマートフォンなどの加速度センサ、ジャイロセンサ、GPS 受信機などを内蔵した小型端末(図 2 参照)を、営業車両に搭載し、車両動揺を計測する。



図 2 小型端末による車両動揺の計測

実路線において車両動揺と高低変位を計測し、両者の関係性について調査した結果、車両の上下振動加速度と軌道の高低変位との間には相関関係があることから、軌道変位のデータのない期間でも、車両の上下振動加速度の計測値から、軌道の上下変位の程度を推定することが可能であると考えられる。実際の軌道保守に応用するため、ここでは地方鉄道における軌道整備目標値として、高低変位の 19 mm に相当する上下振動加速度 2.1 m/s^2 を目標値として設定した。なお、高低変位との相関関係は車両や線区の運行速度等によって変化するので、上下振動加速度の目標値は個別に設定する必要がある。

車両動揺に基づき要注意箇所を把握する手法を導入した地方鉄道事業者(以下、当該鉄道事業者)では、従来、年 1 回行われる軌道検測車による動的軌道検測の結果に基づいて軌道の保守作業を実施していた。そのため、軌道検測直後に保守作業が集中してしまうことや、次の軌道検測までの 1 年間、要注意箇所を把握するのが困難という課題があった。

当該鉄道事業者において、高低変位の軌道整備目標値超過箇所を過去 5 年間調査した結果を表 1 に示す。車両動揺に基づく手法を開始した 2020 年では高低変位の目標値超過箇所が左右のレール合計で 333 箇所であったが、その後箇所数は減少傾向となっており、2024 年では 154 箇所となりほぼ半減した。このように、年 1 回の軌道検測に加え、車両動揺に基づき動的軌道状態を高頻度で把握することで、軌道状態をより適切に保つことが可能となった。

表 1 高低変位の目標値超過箇所推移

年	高低変位超過箇所数		
	左レール	右レール	合計
2020	166	167	333
2021	101	102	203
2022	140	143	283
2023	95	85	180
2024	82	72	154

3. 2. 通り変位の要注意箇所把握²⁾

通り変位は、車両動揺の内、車両の上下方向軸に対する回転であるヨー角速度と関係性があると考えられる。

ヨー角速度と曲線半径の関係は、一般に以下の式(1)で表されることが知られている。

$$Y = V/R \quad (1)$$

ここで、 Y はヨー角速度(rad/s)、 V は速度(m/s)、 R は曲線半径(m)である。

一方、一般に通り変位は10m弦の正矢として求められるが、曲線における半径と10m弦の正矢との関係は以下の式(2)で表されることが知られている。

$$D = 12500/R \quad (2)$$

(1)式及び(2)式より、速度を一定とすれば Y と D に比例関係があることが理解できる。従って、列車によって各地点の通過速度があまり変わらない前提で、ヨー角速度にもとづき通り変位の推定を行うこととしても大きな問題は生じないと考えられる。

ヨー角速度と通り変位の関係を調べるため、実路線において各々の 10m 毎の最大値を算出し、この値をもとに散布図を作成した。曲線部の線形成分を除かない場合の散布図を図 3 に示す。決定係数は 0.85 で、強い相関を示していた。この関係から、3. 1. と同様にしてヨー角速度の目標値を設定することにより、ヨー角速度から通り変位の要注意箇所を把握可能と考える。なお、車両のヨー角速度として現れにくい波長の短い通り変位の把握法については今後の課題としている。

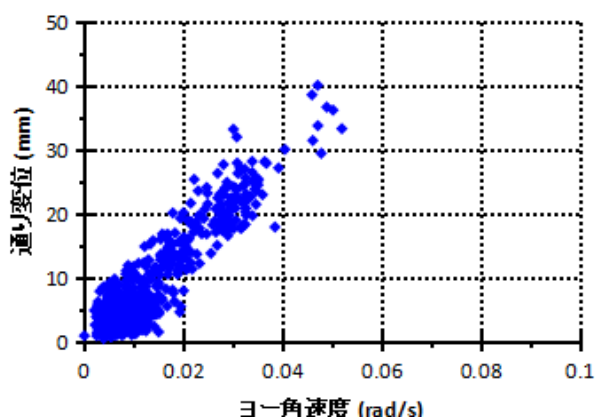


図3 ヨー角速度と通り変位の関係
(線形成分を含む)

3. 3. 軌間拡大の要注意箇所の把握³⁾

急曲線走行時には、図4に示すように外軌側（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（以下、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線脱線に至る。そこで、軌間そのものではなく、内軌側の車輪掛かり量に注目することとし、小型カメラで撮影した内軌側車輪の外面とレール頭部外側面との間隔を、画像処理によって把握する手法を検討した。

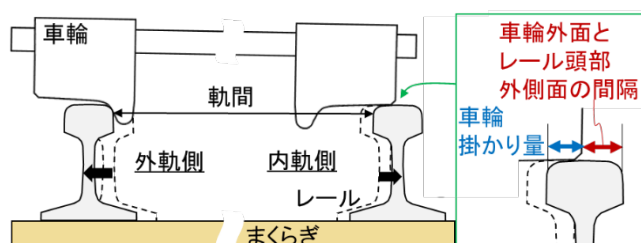


図4 軌間拡大による車輪掛かり量の減少

実路線で撮影した映像及びその画像処理過程の一例を図5に示す。まずは図5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。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。半径400mの曲線を含む区間において、指標値を求めた一例を図6上部に示す。同図から、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面はレール頭部外側面よりも軌間内方にある。このことは、図6下部に示す実験実施日の約2か月後に同区間において簡易軌道検測装置により計測された軌間変位の結果から妥当といえる。

なお、映像を再生して定性的に車輪掛かり量の小さい箇所を見つけることは可能である。また、指標値の大きい箇所については、図5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。

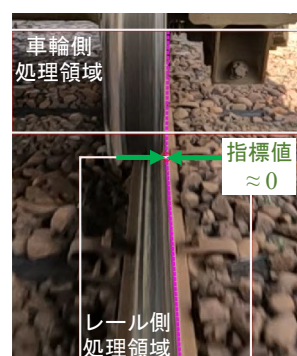


図5 映像の車輪付近拡大図と画像処理過程

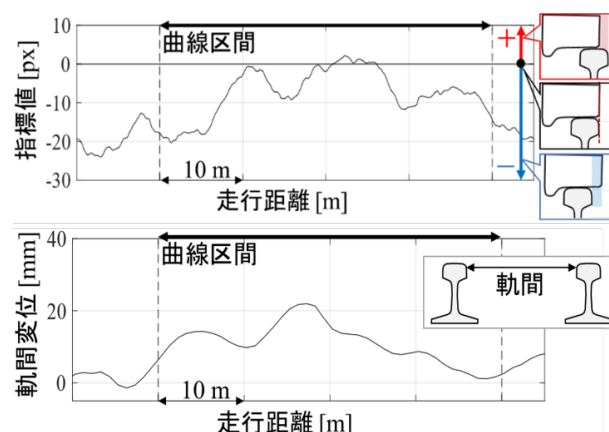


図6 同一区間における指標値の計算結果と軌間変位

3. 4. 水準変位及び平面性変位の要注意箇所の把握

3. 4. 1. センサの構成⁴⁾

営業車両の床下に設置したセンサにより、車体と左右それぞれのレールとの変位量（距離）を計測し、左右のレールの高さの差を求めるとともに、車両動揺等により車体が軌道に対し傾いている可能性があるため、ジャイロセンサにより車体の傾斜角度を補正し、水準変位を算出する。図7に示すように、コストやサンプリングレート、検知範囲などを考慮し、LiDARセンサを用いて距離を計測した。

3. 4. 2. 水準変位の計測結果

実路線の約 600m の区間において本システムで計測した水準変位と、同区間において簡易軌道検測装置により計測された水準変位の関係性を示した散布図を図 8 に示す。同図より、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、簡易軌道検測装置による静的な検測結果と動的な軌道変位との差異による影響である可能性も考えられる。

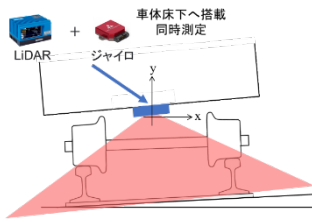


図 7 センサの構成

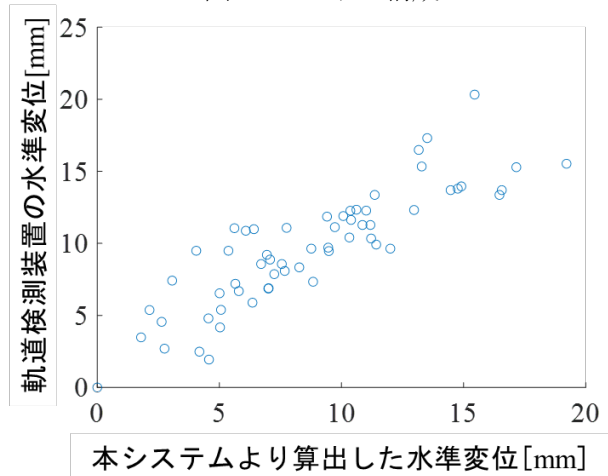


図 8 水準変位計測結果の検証

3. 4. 3. 平面性変位の計測結果

前項で計測、算出した水準変位のデータをもとに、線路方向に一定間隔を隔てた 2 箇所の水準変位の差として平面性変位を算出した。今回は比較対象の軌道検測装置に合わせ、5m の間隔をとった。半径 800m の曲線部における平面性変位の計測結果を図 9 に示す。橙が従来の軌道検測装置の結果、青が本システムで算出しフィルタ処理をした結果である。当該曲線は、70mm のカントが設定されている。よって、曲線部と直線部の間に挿入される緩和曲線において、構造上、軌道のねじれが生じる。この緩和曲線区間（赤矢印の区間）に注目すると、従来の軌道検測装置と遜色なく、

平面性変位が計測できていることが確認できる。一方、キロ程 19840m 付近では、両者に大きな差が確認できる。この原因については、水準変位の計測結果を元としているため、前項と同様に、LiDAR センサが受ける外乱によるレール高さの誤検知等による影響が考えられ、今後の課題である。

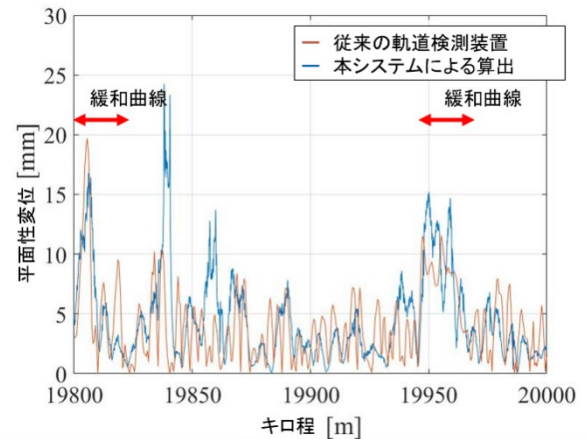


図 9 従来の軌道検測装置と本システムの平面性変位計測結果

4. まとめ

営業車両を用いて動的な軌道状態を把握する手法について紹介した。このうち、高低変位に対応する手法については、一部事業者を導入されつつある一方で、近年取組を開始した通り変位、水準変位及び平面性変位に対応する手法の他、軌間拡大に対応する手法を含め、地方鉄道への導入に向け検討を進める。

最後に、計測実験にご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) 緒方ほか, "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", 交通研フォーラム 2022, pp.55-56 (2022)
- 2) 小野ほか, "車両動揺と軌道の通り変位の関係性の考察", 土木学会鉄道工学シンポジウム論文集, Vol. 29, No. 1, pp.195-202 (2025)
- 3) 一柳ほか, "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", 交通研フォーラム 2024, pp.71-72 (2024)
- 4) 小野ほか, "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", 交通研フォーラム 2024, pp.17-20 (2024)

講演 7. 索道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 小野 寛典 山口 大助
八木 誠（客員研究員）

1. はじめに

架空されたワイヤロープに搬器を懸垂させて輸送を行う、いわゆる索道システム（ロープウェイ等）は、急こう配に強いことや支柱間の線路長を長く設定できることなどの理由により、山間部の観光地やスキー場での旅客の輸送用に多く使用されている。また、近年、その特徴を生かして、臨海部や、丘陵地の大団地と鉄道駅との交通アクセス用等の都市交通機関への利用も見込まれている。

ワイヤロープに懸垂され走行する索道の搬器には動揺が発生しやすい。この動揺には、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。特に、索道は風の影響を受けやすいため、搬器の動揺を考慮して、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、搬器と建造物等とは一定の間隔を設けられている⁽¹⁾ほか、支柱や停留場に設置された風速計による風の状況から運行の可否を判断し、運転規制等を行っている⁽²⁾。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、風速計による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。

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、空気抵抗のほか、動揺減衰装置やジャイロモーメントによる方法⁽²⁾、動吸振器⁽³⁾による制振等が検討され、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は発生している。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にあるものの、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発生すれば、大きな被害が生じることは想像に難くない。

当研究所では、平成27年及び令和2年に起きた搬器衝突事故の原因調査を行っている。いずれも複線交走式索道であり、死亡者は出なかったものの、乗客が搭乗した搬器が周辺構造物と衝突した事例である。鉄道における運転状況記録装置のようなものがないため、事故当時の搬器の揺れや搬器が受けた風の影響が推定できず、原因分析については難航した。

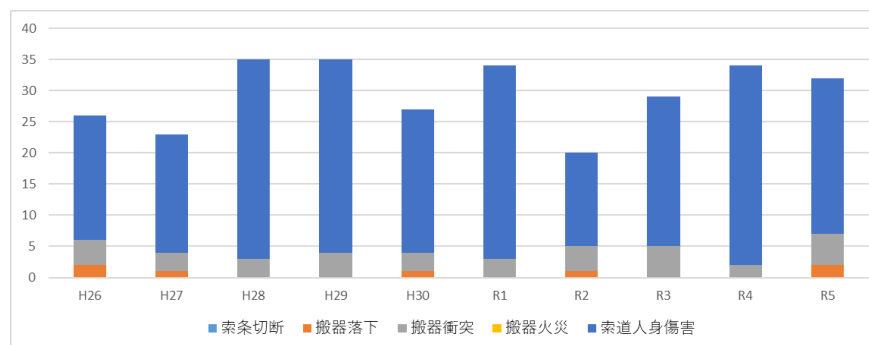


図1 10年間の索道運転事故発生件数の推移



図2 搬器衝突事故後の搬器

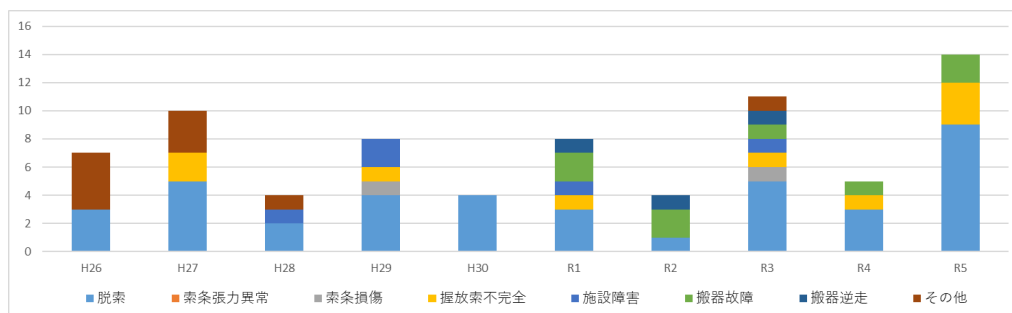


図3 10年間の索道インシデント発生件数の推移

同様に索道のインシデントについて、図3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。索道のインシデントは、脱索、索条張力異常、索条損傷、握放索不完全、施設障害、搬器故障、搬器逆走及びその他の8項目と定められている。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、数時間以上要することは珍しくなく、乗客への負担は大きい。

多くの索道では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、風速計の値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。前述の通り、従来の風速計による風の状況把握や運転係員による観察だけでは搬器の動揺が原因の事故が発生する可能性がある。そこで、筆者らは索道に予防保全の考えを採り入れることで、事故の発生を回避し、更なる安全性向上が可能であると考えた。

本研究ではワイヤロープに懸垂する搬器に着目し、予防保全の考えから搬器に生じる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開発を目的とする。また、索道事業者協力の下、搬器風速の試験測定を実施し、今後実施を予定している長期フィールド試験に向けて、モニタリング装置の改良を行ったので、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。

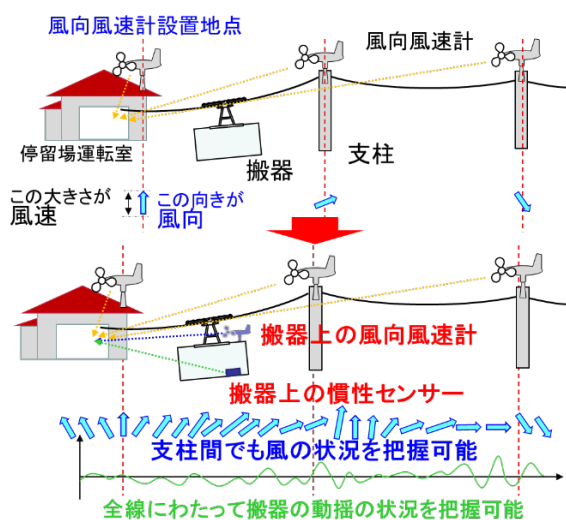


図4 モニタリング装置のコンセプト

図4に構築するモニタリング装置のコンセプトを示す。大きな目的として以下の3項目が挙げられる。

- 安全性の向上: 支柱間を含めて風の影響を検知でき、動揺を把握することで周辺構造物との接近を検知する。
- 利便性の向上: 運行開始は風と目視で揺れを評価していたが、具体的な数値で判断することが可能とする。

- 保守の省力化:搬器上の風向風速計で十分となれば、支柱上の既設風向風速計が不要となり、メンテナンスコストや見回りの人手が削減可能。

以上のコンセプトを達成するため、モニタリング装置の仕様を検討し構築することとした。

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5に示す。

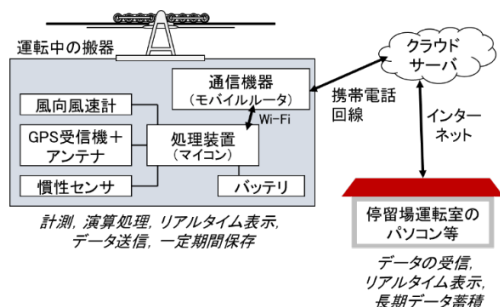


図5 モニタリング装置の概略

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機器、通信機器（モバイルルータ）は測定データを運転室へ送信するための機器がある。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6に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。

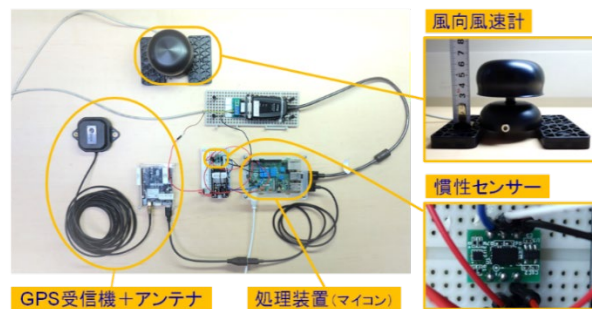


図6 モニタリング装置の搬器側構成

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

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 7 に構築したモニタリング装置の外観を示す。

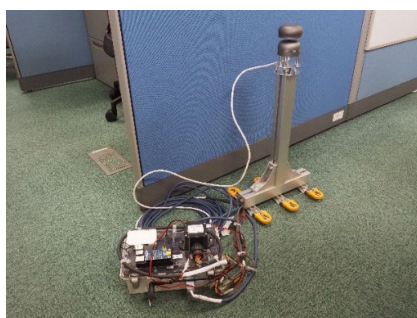


図 7 モニタリング装置の外観

3. 長期試験の事前測定

索道事業者協力の下、構築したモニタリング装置で搬器風速を測定したので、その結果について示す。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 8 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。補正方法の概略を図 9 に示す。

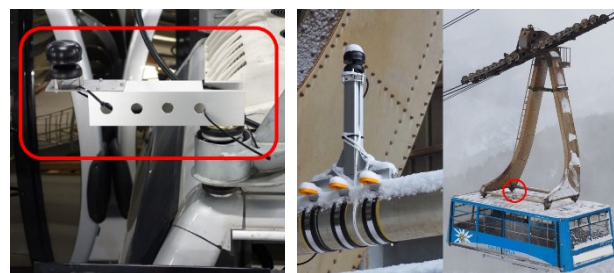


図 8 A 路線の取り付け状況（左）、
B 路線の取り付け状況（右）

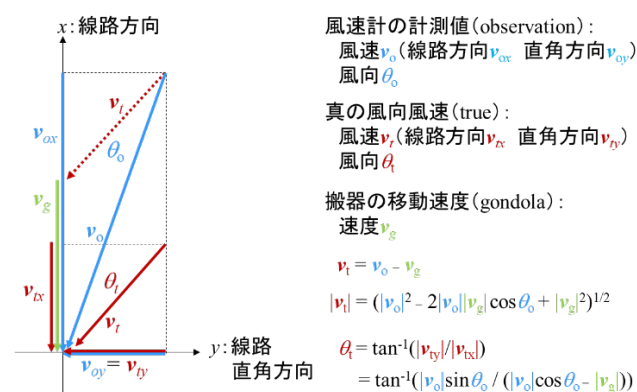


図 9 真の風向・風速の導出方法

3. 1. A 路線の風の測定結果

図 10 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 11 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。

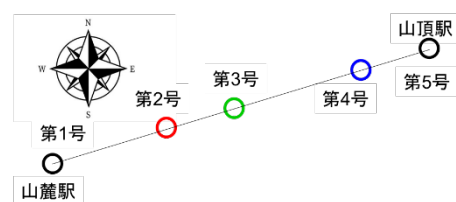


図 10 A 路線の支柱と駅舎の位置関係

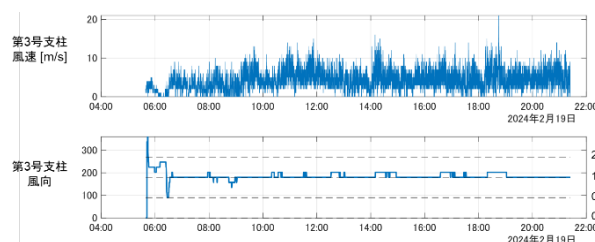


図 11 A 路線の第 3 号支柱の風向風速

図 12 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、2.1 節で示したモニタリング装置の仕様を満たしていることが分かる。また、第 2 号支柱から第 3 号支柱の間で比較的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。

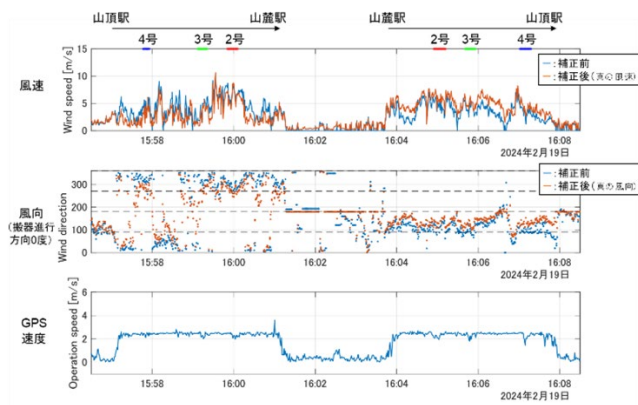


図 12 A 路線の測定結果

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、線路中は図 11 で示した第 3 号支柱のデータと概ね一致している。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 13 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 14) 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それぞれ確認された。

図 15 にモニタリング装置での測定結果の一例 (上り) 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る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 13 B 路線の支柱と駅舎の位置関係



図 14 B 路線の第 1 号支柱の風向風速

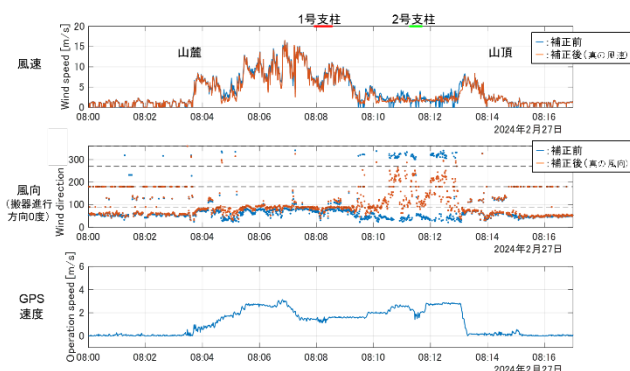


図 15 B 路線の測定結果 (上り)

4. 事前測定後のモニタリング装置改良

3 章の結果より、構築したモニタリング装置にて搬器の風向・風速を取得できることが示された。しかしながら、長期フィールド試験を行うにあたり、いくつかの課題が判明したので、その改善策とともにここで紹介する。

4. 1. 安定的な電源の取得

構築したモニタリング装置はバッテリーにて駆動する仕組みであるが、現行は携帯性の良いリチウムイオンバッテリーより電源を取得していた。当然のことながら、長期試験を始めると係員が常に監視することは困難であり、バッテリー充電についても電源が枯渇する度に交換することは現実的でない。そのため、搬器に搭載された電源より給電を受ける必要がある。電源部分を改造し、搬器電源より給電を受けている様子を図17に示す。



図17 配電盤とモニタリング装置

4. 2. 風向・風速計の設置位置変更

全体を通じて測定結果を比較すると、上りの風速は1日を通じて安定した波形となることが多く、下りの風速は乱れることが多い傾向にあった。当初は搬器中央に風向・風速計を設置していたが、下り走行の際には搬器の後ろ側へ隠れることとなり、剥離流等の影響が考えられた。そこで、センサの設置位置を搬器の下り方へ移すとともに、40cm程度であった高さ方向も100cmに上げ、外部影響のなるべく少ない位置へ変更することとした。

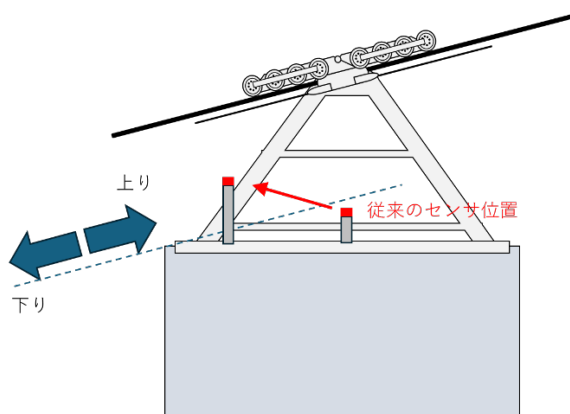


図18 風向・風速計の設置位置変更

5. 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。

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、長期フィールド試験を実施する必要がある。本検討にて、一日の試験測定において、いくつかの改善点を確認され、モニタリング装置の改良に着手した。この改良を経て、長期フィールド試験を実施をしていきたい。

謝辞

本研究は国土交通省鉄道局の「鉄道技術開発・普及促進制度」の助成を受けて実施するものです。

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” (2024)

講演 8. 第 4 種踏切安全通行支援システムに関する取組

交通システム研究部 ※山口 大助 三好 正太 長谷川 智紀 八木 誠（客員研究員）

1. はじめに

鉄道と道路交通が交差する踏切での安全の確保は最も重要である。踏切には現在、第 1 種、第 3 種、第 4 種の 3 種類が存在し、このうち警報機も遮断機もない第 4 種踏切での事故の発生可能性が高い。安全確保の観点から、第 4 種踏切については廃止、または警報機と遮断機が備わった第 1 種化が進められているものの、地方の鉄道を中心に多く残存しており、廃止または第 1 種化に至るまでの間も第 4 種踏切は存在し続けるため、第 4 種踏切の当面の安全性の向上が求められている。このような状況を受け、物理的に遮断するバーを設置し、踏切通行者が持ち上げて初めて通行可能となる仕組みが実用化されている¹⁾。

この遮断用のバーとは別に、交通安全環境研究所では「第 4 種踏切安全通行支援システム」の研究開発に取り組んでいる^{2), 3), 4)}。本システムは、踏切通行者が横断前に安全確認を行うことを前提に、「踏切通行者への列車接近の情報提供による支援」、「列車運転士への本システム動作状態の情報提供による支援」を通じて安全性の向上を図るものである。

本稿では第 4 種踏切安全通行支援システムの概要を紹介し、システムの技術仕様の検討に資するデータの取得のために行った現地試験について報告する。

2. 踏切と踏切事故の現状把握

踏切には、列車通過時に常に稼働する遮断機と警報機が備わった第 1 種、警報機のみ備わった第 3 種、警報機も遮断機もない第 4 種の 3 種類が存在する（図 1）。令和 5 年度末時点で、全国における各種踏切の箇所数及び中小民鉄及び路面電車における箇所数は図 1 中に示す通りで、特に第 4 種踏切の設置数は中小民鉄及び路面電車が約半数である⁵⁾。中小民鉄は地方に多く見られる事業者であることから、第 4 種踏切は地方の鉄道に多く残存しているといえる。

ここで、踏切事故の発生状況を見ると、列車接近時の直前横断が原因の事故が 51%を占めている⁵⁾。第 4

種踏切と他種の踏切を比較すると、第 4 種踏切では踏切 1 か所あたりの直前横断事故件数が多いことが既往の調査で判明している²⁾。このことから第 4 種踏切の安全性の向上が必要であるといえる。

このように、第 4 種踏切では列車との接触事故の発生率が特に高いことから、第 4 種踏切については廃止または第 1 種化が安全対策の基本方針となっている。この方針を受けて第 4 種踏切の箇所数は年々減少してきているものの、前述の通り地方の鉄道において第 4 種踏切が多く残存している。その要因として、踏切の廃止によって迂回が生じ、通行者に不便を強いることになるために、地域との調整が困難となっていることが指摘されている⁴⁾。また、第 1 種化は機器の設置だけでなく、踏切の機能の維持にも費用と労力を必要とするため、経営が厳しく人材が不足がちな地方の鉄道事業者においては早期の第 1 種化は難しい状況にあると推察される。

廃止または第 1 種化に至るまでの間も第 4 種踏切は存在し続けることから、第 4 種踏切の当面の安全性の向上が求められる。既往の調査²⁾によれば、第 1 種と第 3 種の警報機には直前横断事故の防止効果があることが示唆されており、列車接近の情報を踏切通行者に知らせ、安全な通行を促すことを目的とした支援装置を構築すれば、第 4 種踏切の安全性の向上に寄与するものと考えられる。交通安全環境研究所ではこの点に着目して、「第 4 種踏切安全通行支援システム」の研究開発に取り組んでいるところである。

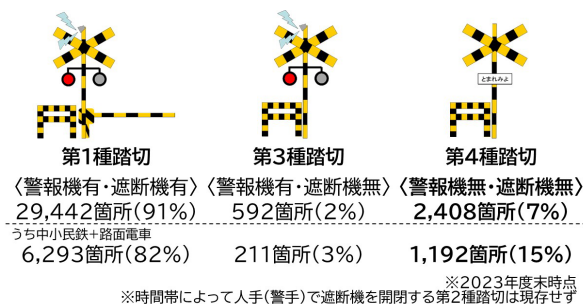


図 1 2023 年度末現在の踏切各種の設置箇所数



図3 車上装置

地上装置が正常動作している場合は図3中のように車上用報知装置が緑色に点灯し、正常動作していない場合は緑色以外に点灯する。

地上装置は図4に示す通りで、車上装置から受信した列車の位置及び速度の情報から当該列車の踏切への接近を判断する。接近と判断されると、図4中の地上用報知装置が視覚や音声によって踏切通行者に対して列車接近を示す支援情報を報知する。同時に車上装置へ動作状態を返信する。地上装置や報知装置の動作には電源が必要であるが、第4種踏切が設置されている場所は外部からの電源の供給が困難であると予想されるため、図4中のソーラーパネルと蓄電池を用いて、昼間の充電により地上装置の動作に必要な電源の確保を目指している。ソーラーパネルの発電能力と蓄電池の容量は、地上装置の動作時間や報知装置による報知回数に応じた消費電力量、晴天日数の傾向等に基づき決定する必要がある。

支援システムは地上装置と車上装置の間の直接通信を基本とするが、例えば山間部や曲線区間のインカーブ側に家屋が建っている箇所のように、第4種踏切の周辺環境によっては直接通信が困難な場合がある。



図4 地上装置

このような地点には地上装置と車上装置の間の通信を中継することを目的とした中継装置を設置する。中継装置は地上装置と車上装置の間の通信を長距離で確保する場合にも設置する。

4. 第4種踏切安全通行支援システムの現地試験

4. 1. 現地試験の評価項目と実験系の構成

支援システムの通信機能及び報知機能の動作確認を目的とする現地試験を京都丹後鉄道の協力を得て実施した。この試験では以下を中心に確認した。

- (1) 地上装置または中継装置と車上装置の間の通信成立距離
- (2) 地上及び車上で報知開始時の列車位置

なお、ソーラーパネルと蓄電池による地上装置の電源の自給については、現地試験時が曇天でソーラーパネル発電量が想定を下回り不十分であったことから試験の対象外とした。

現地試験における地上装置及び中継装置の配置を図5に示す。地上装置を第4種踏切である第三小寺踏切に、この踏切から丹後由良方面の3か所に中継装置を設置し、中継装置を介した地上装置と車上装置の間の通信の可能性を確認した。図5に示すように、当該踏切から宮津方面と丹後由良方面の中継装置 II までは直線であるが、中継装置 II と III の間は曲線区間でインカーブ側には藪がある。

4. 2. 現地試験の結果

4. 2. 1. 地上装置または中継装置と車上装置の間の通信成立距離

地上装置または中継装置と車上装置の間の通信成立距離は図6に示す結果となった。地上装置と車上装置の間で直接通信が成立する範囲は、第三小寺踏切から宮津方面に499m、丹後由良方面に399mであった。第三小寺踏切から丹後由良方面に設置した中継装置による通信成立距離の延伸については、中継装置 I と II によって踏切から699mの範囲において中継装置を介した通信が成立した。中継装置 II と III の間は藪の影響で電波が到達せず、通信は成立しなかった。このことから中継装置 III による通信成立距離の延伸効果は見られなかった。中継装置 I と II の間は通信が成立したことから、中継装置は問題なく動作していることが確認された。

以上より、中継装置の適切な配置によって支援システムは地上装置と車上装置の間の通信をより確実な

ものにすることが可能といえる。中継装置を複数設置する場合は中継装置同士の通信が成立するように配置を調整することが実用上の注意点である。

4. 2. 2. 地上及び車上での報知開始時の列車位置

列車が踏切を通過する 30 秒前に地上及び車上で支援情報の報知を開始することを要件とした上で、列車の運転速度を考慮して、丹後由良方面に向かって走行する列車は踏切手前 300m、宮津方面に向かって走行する列車は踏切手前 600m を報知開始点に設定した。この設定値に対して、試験結果を平均したところ、丹後由良方面に向かって走行する列車では踏切手前 297m、宮津方面に向かって走行する列車では踏切手前 586m であり、報知開始位置が設定値より十数メートルほど第三小寺踏切寄りの結果となった。列車速度を考慮すると、この差は 1 秒以内の時間遅延と推測される。遅延の要因として、車上装置における衛星測位からデータ送信までの処理や中継装置を介した通信の間に列車が移動することが考えられる。実際の運用では、この遅延を考慮して報知開始点を設定することで、報知タイミングを適切に設定可能であると考えられる。

5. おわりに

本稿では第 4 種踏切安全通行支援システムの概要を紹介し、システムの技術仕様の検討に資するデータの取得のために行った現地試験について報告した。

現地試験の結果、地上装置と車上装置の間の無線通信機能、列車位置に基づく支援情報の報知機能が問題なく動作することを確認した。

第 4 種踏切の安全対策は早期の対応が求められている。支援システムの技術仕様については、鉄道事業者とも連携して導入地域に即したものとなるよう検討を継続している。また、電源の自給についても検討を進めている。今回の現地試験を踏まえて、今後は長期のフィールド試験を計画しており、支援システムの社会実装に向けて引き続き研究開発を進めていく。

謝辞

現地試験にご協力いただいた京都丹後鉄道 (WILLER TRAINS 株式会社、北近畿タンゴ鉄道株式会社) に謝意を表します。



図 5 現地試験における各装置の配置



図 6 現地試験における通信成立距離

参考文献

- 1) JR 西日本ホームページ, <https://media.jrw-ip.jp/solution-product/products/5791/>
- 2) 八木 誠, 長谷川 智紀, “第 4 種踏切に対する安全性向上支援装置に関する検討”, 令和 5 年電気学会全国大会, No.5-166, (2023)
- 3) 三好 正太, “第 4 種踏切に対する支援装置の技術的検討と社会的課題への取組”, 交通安全環境研究所講演会 2024, pp.57-69, (2024)
- 4) 三好 正太, 山口 大助, 長谷川 智紀, 八木 誠, “第 4 種踏切の支援装置に関する取組”, 交通安全環境研究所フォーラム 2024, pp.75-76, (2024)
- 5) 国土交通省鉄道局, “鉄軌道輸送の安全に関わる情報 (令和 5 年度)”, (2024)

鉄道認証室における業務の概要

鉄道認証室

長谷川 智紀

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、製品認証機関に対する要求事項を規定した ISO/IEC 17065 に基づき、鉄道製品が IEC 62278 (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、認証機関としての最近の活動の概要と、今後の方向性について紹介する。

2. 鉄道認証機関の体制整備と現状

2. 1. 鉄道認証機関の体制整備

鉄道の安全で安定な輸送の確保を図るため、鉄道事業者、メーカー等の関係者において、過去の事故やトラブルの経験を踏まえ、事故防止等のための努力が積み重ねられている。これらの安全等に係る活動は、技術基準、規格（日本産業規格や鉄道関連団体規格等）等のもとで実践されてきている。このうち各種鉄道製品・システムの規格類への適合性に関して、日本では、一般的には、製品供給側（メーカー等）において技術文書中で規格準拠が宣言され、調達側（鉄道事業者等）において製品等の受入れの妥当性判断が行われている。

他方、海外、特に欧州においては、規格として欧州統一規格（EN 規格）または国際規格（IEC 等）に準拠することが求められ、その規格適合性判断を客観的な第三者機関にゆだねる「認証」が主流になっている。そのため、日本の鉄道関連メーカー等の安全関連製品等の海外展開に際しては、製品等の国際規格に対する認証が求められることが多くなっている。

このような状況の下で、平成 20 年 6 月の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会提言を受けて鉄道技術標準化調査検討会の下に設置された鉄道認証機関設立検討 WG における検討等を踏まえ、平成 23 年 4 月に交通安全環境研究所に鉄道認証室が設置された。また、平成 24 年 9 月には独立行政法人製品評価技術

基盤機構 認定センター（IAJapan）から、鉄道分野の認証機関としては我が国初の認定を取得した。

認証業務の実施にあたっては、内部の審査要員に加えて、関連規格に精通し適切な実務経験を有する技術者を外部審査要員として予め登録し申請された案件毎に指名して認証業務を担当いただいている。

また、マネジメントシステムの維持及び公平性の確保に関する事項を審議する「鉄道製品認証業務運営委員会」を設置し、委員の方々から助言をいただく体制となっている。

2. 2. 認証対象規格と認定の取得

認証対象規格は、鉄道認証室発足前の関係者において選定された海外でニーズの高い IEC 62278、IEC 62279、IEC 62280、IEC 62425 及び IEC 62236 の 5 規格である。現在の認証対象規格を表 1 に示す。なお、IEC 62236 については、実際に申請を受けて認定を取得したいと考えている。

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	○
		IEC 62425 Ed.2.0	
	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	○
電磁両立性	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	○
	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	

また、IEC 62425 については、令和 7 年 5 月に IEC 62425 Ed.2.0 が発行され、現在本規格の認定を受けるための作業を行っている。加えて、今年度は IEC 62278 についても、IEC 62278-1 Ed.1.0 として本年 7 月に発行された。審査等が円滑に対応できるよう、審査員教育等の準備を進めている。

3. 認証機関としての活動

3. 1. 認証業務

令和 7 年 9 月末現在の認証書の発行実績は合計 64 件（規格件数）である（図 1 参照）。一つの案件で複数の規格への適合性を申請される場合があり、案件数では 49 案件になる。なお、当該実績には、認証を終了したもの等も含まれている。

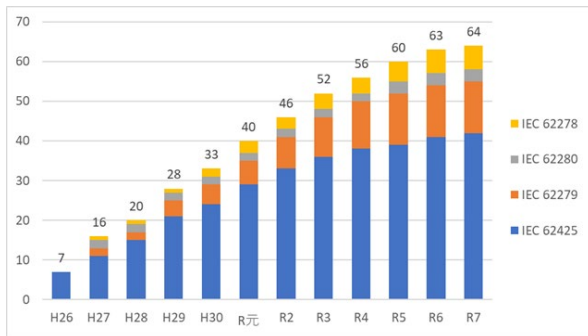


図 1 認証書発行実績（規格件数）

3. 2. 広報活動

認証活動を国内外に広く周知することにより、当認証機関の活用を促すとともに、国際通用性を高めるための広報活動にも力を注いでいる。

(1) 鉄道認証情報交換会

認証活動の状況を周知するとともに認証を取り巻く情勢について情報共有、認証活動に対する要望の把握を行うため、鉄道関連メーカ、関連協会及び国土交通省との情報交換会を定期的実施している。

昨今では、認定を受けている IEC 規格に加え、欧州規格である EN 規格の認証の要望が寄せられている。

(2) 電子媒体による情報提供

表 2 「RAMS セミナー」開催スケジュール

	開催日	内 容
第 1 回	R7.4.16	初回説明とシステムを構築する前に調べる事項（実施済）
第 2 回	R7.5.28	まず関係する状況を知ろう（実施済）
第 3 回	R7.7.16	機能安全とは何か（実施済）
第 4 回	R7.9.10	確率で言える安全、仕組みで守る安全（実施済）
第 5 回	R7.11.12	リスク解析
第 6 回	R8.1 頃	安全の目標値と SIL の関係
第 7 回	R8.3 頃	安全のかなめ、故障検知と停止

これまでの認証実績、各種規程類の最新版を Web ページに掲載している。また、英語版の Web ページにおいて、認証が活用された海外鉄道プロジェクト例を掲載している（図 2 参照）。

(3) Web セミナーの開催

鉄道関係者の方々に、国際規格における考え方等を含め、国際規格の理解を深めて、業務に役立てていただけるよう、Web セミナーを開催している。令和 7 年度は「RAMS 規格セミナー」と題して、4 月から 2 か月に 1 回の頻度で開催している。（表 2 参照）

4. 今後の取組みについて

令和 7 年 6 月に、今後の鉄道分野における技術の標準化活動をさらに戦略的かつ効果的に推進していくため、「鉄道技術標準化ビジネスプラン」が策定された。当室においても策定されたビジネスプランを踏まえ、規格認証体制の拡充に向け、取り組んでいきたいと考えている。

鉄道関連メーカ、鉄道事業者をはじめ鉄道業界の様々な立場の方々並びに関係機関のご指導、ご協力をお願いする。

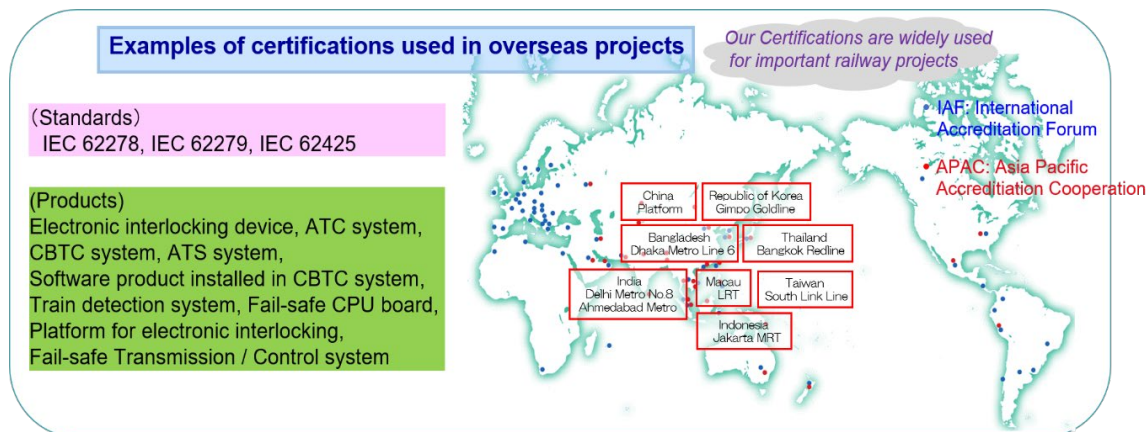


図 2 鉄道認証室の認証が活用された海外プロジェクトの例

講演 9. 改定された RAMS 関係規格の注意点について

－鉄道における国際規格 IEC 62425 規格の変更とそのポイント－

鉄道認証室

※森 崇、吉永 純

1. はじめに 鉄道関連規格の概要

鉄道関連のシステムの海外展開に際し、国際規格との適合性が要求される場合がある。交通安全環境研究所鉄道認証室は、鉄道関連の国際規格適合性認証機関として、製品認証に関する業務を実施しており、我が国の鉄道製品海外展開の一翼を担っている。

鉄道に關係する国際規格のうち弊室が対応できる規格は、以下の通りである。

- IEC 62425¹⁾²⁾

鉄道信号分野における安全関連電子システムの開発と受け入れの要求事項

- IEC 62279

鉄道の制御及び防護システムに使用されるシステムのソフトウェア開発プロセスと技術要求

- IEC 62280

伝送システムを使用する安全関連電子システムの基本要

- IEC 62278

鉄道システムにおける RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) マネジメントライフサイクルプロセスの要求

本稿においては、このうち、IEC 62425 は 2025 年 5 月に改定されたのでその注意点について述べる。なお、IEC 62278 についても 2025 年改定されている。

1. 1. IEC 62425 の対象

IEC 62425 は、鉄道信号分野における開発と受け入れに主に使用されている。このうち、ソフトウェアに関する事項は IEC 62279 を参照しており、本文中は主にシステム全体と、ハードウェアの観点で規格が構成されている。

IEC 62425 は、鉄道信号分野における規格であるが、海外展開に際して、鉄道信号分野だけではなく、

鉄道に使用される電子機器についての活用例も多くあり、鉄道関連国際規格の中では注目度も高い。この規格は、安全性について、「機能安全」による安全について述べているため、本稿では、まず機能安全について説明し、次に IEC 62425 規格における安全思想、また Edition 2 における変更点について述べる。

1. 2. 機能安全とは

安全を考える際には、「危険な状態が排除されていること。」と思いがちであるが、すべての危険な状態を排除することは一般には非常に困難である。鉄道関連規格だけではなく、一般の制御システムやリスクアセスメントにおいても、安全の定義は、“freedom from unacceptable risk”³⁾とされている。すなわち、危険な事象がないということではなく、「受け入れられないリスクがない」ことが「安全」を意味する。

次に、安全の前に「機能」がついた、「機能安全」とは

“part of the overall safety that depends on functional and physical units operating correctly in response to their inputs”

と IEC 62425 に定義されている。これを読み解くと

- 機能安全は、全体の安全の一部である。
- 機能及び物理的なユニットが、入力に対して正常に働くことによる安全である。

ということを示しているようである。IEC 62425 については、機能安全を対象としているため、安全を実現する方法のうち、機能安全のみを議論の対象とし、また、考えられる入力に対して、受け入れられないリスクがある場合、安全とされる動作を行うということを求めている。

いうなれば、「予期された事象に対する、安全な動作の定義と実装」ともいえるわけであり、どのような危

險の原因があり、危険な原因がリスクアセスメントにおいて、受け入れられるか否かの判断を行い、受け入れられない場合は、設計時点から考えておいてシステム構築を行う方法が、機能安全であるといえる。

このような手順を踏むため、機能安全を実現するシステムにおいては、危険原因となりうるハザードの抽出、ハザードの評価、必要ならば低減対策である安全関連機能の設定、その実装が網羅的になされている必要がある。

図1にハザードの抽出から、安全関連機能設定までの標準的な手順を示す。

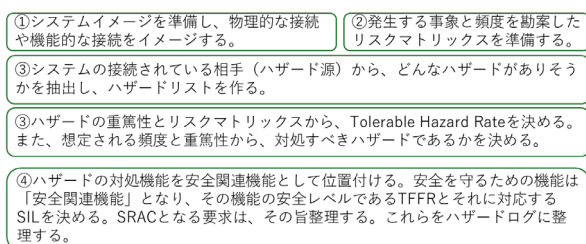


図1 安全関連機能の設定

2. IEC 62425 における安全思想

IEC 62425 における安全性の確保は、機能安全を中心に据えられている。十分に受け入れられる安全関連機能を設定し、その機能を正しく実装することが必要である。それにはマネジメントによる安全性と、受け入れ可能とされる目標を満たしているかどうかの確率論的な安全解析に基づいたシステム設計の2つの大きな柱からなる。この2つについて次に述べる。

2. 1. マネジメントによる安全

2. 1. 1. 品質管理プロセスによる安全

品質管理プロセスは、どちらかというところ「故障しないモノづくり」のために行われると一般的に考えられがちである。IEC 62425 5.2 章において、“The purpose of the quality management system is to minimize the incidence of human errors and to improve process performance at each stage of the life cycle, and thus to reduce the risk of systematic faults.”とされており、ライフサイクル管理の各段階において、安全を阻害するヒューマンエラーをどのように防ぐか計画を行い、実施を確認するということが重点が置かれている。

2. 1. 2. 安全管理プロセスによる安全

安全管理プロセスは、品質管理プロセスとは異なり、安全関連の systematic fault の残存リスクを最小化する作り込みを行うために実施される。すなわち、安全をどのように作りこむかのプロセスに重点を置き、品質管理プロセスを細分化し、システムの要求から、安全要求、設計及びその対応する試験の仕組みを構築するために安全プロセスが実施される。

- 構造化された文書体系
 - 安全ライフサイクル
 - 安全組織
 - セーフティプランの構築
 - ハザードと安全機能
 - 安全に資するシステム設計
 - Verification と Validation
- などについて、プロセスを定義する。

2. 2. 安全解析に基づいたシステム設計の手法

IEC 62425 における安全解析は、リスクアセスメントと、ハザードコントロールの2つの段階で実施される。

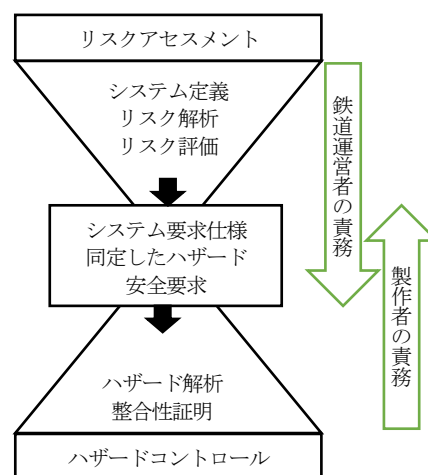


図2 砂時計モデル

図2に2つの段階のモデルを示す。これはIEC 62425 において、砂時計モデル (The hourglass model) と呼ばれ、システムを設計するにあたり、システム定義からその安全性への整合性証明までの一連の必要な行為を示している。

まず対象とするシステムを定義し、次にリスク解析を行う。リスク解析はハザードを抽出し、そのハザードがどのような原因で引き起こされるかを解析する。

次にリスクの評価を行う。ハザード及びその原因を確認し、ハザードの重篤性及び頻度からそのリスクが受け入れ可能かどうかの判断を行う。または、ハザードの重篤性及び受け入れ基準から、基準と整合するハザードの発生頻度以下であれば受け入れ可能であるかどうかを決定する。この受け入れ可能なハザード発生頻度を **Tolerable Hazard Rate (THR)** という。

対策が必要とされたハザードは、システムにおいてその低減を要求するか、**Safety Related Application Conditions (SRACs)** として、条件を付けてハザードコントロールをするか決定する。それをシステム製作に生かしていくこととなる。

次にハザードコントロールの段階に移る。ハザードとその **THR** 及び安全要求をもとに、ハザードに対応する安全関連機能を設定する。

ハザードに対応する安全関連機能の失敗許容頻度を **TFFR (Tolerable Functional Failure Rate)** といい、**THR** から **TFFR** は導出される。もし単一の機能でハザードを防止できるのであれば、**THR = TFFR** となる。

次に、**TFFR** を満足するような仕組みを構築する。ハードウェアの時間当たり故障頻度、故障検知時間及び故障検知率並びにメンテナンス間隔及び修理時間など、安全関連機能を維持するための必要な条件を入力し、整合性を証明することになる。

また、ヒューマンエラーなどの **systematic fault** は確率論による議論が難しい事項に対応するため、機能ごとの **TFFR** をもとに、それに応じた質の高い管理手法や開発技術を選択することにより安全性を担保する。

2. 3. セーフティケースの構築

品質管理プロセス、安全管理プロセスの実施結果、そしてそのプロセスに沿って導出された技術的な安全性の証拠は、鉄道信号システムの安全性を表明する手段となりうる。鉄道信号システムの安全性は、求められる **THR** から、実績で十分に示すことは困難であり、プロセス管理、受け入れられるリスクの低減として確率論的な考え方とその証拠、設計の正当性、試験、確認の正当性の確認をもって表現することになる。こ

のため、セーフティケースという図書で証拠を残し、ライフサイクル全体で管理することとなっている。

3. IEC 62425 Edition 2.0 の変更点

IEC 62425 Edition 2.0 は、2025 年 5 月に発行され、2007 年に発行された Edition 1.0 を置き換えている。変更点はほぼ技術的な改定（“This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007. This edition constitutes a technical revision.”）であるため、マネジメントについての変更点の説明は省略する。

3. 1. 既存のシステムなどの取り扱い

IEC 62425 Edition 1.0 においては、規格に対応して製作を行っていない **System / Subsystem / Equipment**（ここでいう **Equipment** は、サブシステムより小さな範囲である）で、すでに受け入れられているものは対象外であるとされていた。今回 Edition 2.0 の “6 Requirements for elements following different life cycles” においてその取扱いが定まった。

● 既存の System 全体を導入する場合

既存のシステムをそのまま IEC 62425 に適合するシステムとして取り扱う場合は、安全の証拠として提示されている事項を洗い出し、適用規格との差分を解析する。また独立した安全アセスメントにより、規格に合致していることを保証する。

● 既存の Equipment を組み込む場合

既存の **Equipment** を組み込み、システムを構築する場合、その **Equipment** は規格の要求事項をすべて満たしているとは言えない場合がほとんどである。本稿では詳細には触れないが、仕様を明確にし、故障モードを明らかにすることが求められる。その上で、その故障モードが起これないか、故障モードを防御する機能の **TFFR** が満たされているか、もしくは外部装置により故障モードへの対策機能を実装することが要求される。

またシステム全体の管理として、システムの構成管理に置くこと、システムとしての **Verification & Validation** の対象とすることが求められる。

3. 2. プログラム可能な LSI の取り扱い

IEC 62425 においては、ハードウェアの要求事項に

については対象とし、ソフトウェアの要求事項については IEC 62279 を適用することとなっている。しかしながら現在のシステムにおいては、そのいずれとも言い難い、LSI のロジックを回路設計者が自由に設定できる PLD(Programmable Logic Device)が普及してきており、IEC 62425 が対象とするシステムにも実装されていることが多い。

しかしながら、IEC 62425 Edition 1.0 においては、その取扱いには特に定められておらず、安全関連機能を実装する場合どのように判断をするのか明確な基準が存在しなかった。今回 Edition 2.0 において“Guidance on User Programmable Integrated Circuits”として Annex F に参考図書として要件が示された。

プログラム可能なハードウェアという観点から、Random fault(時間経過とともにランダムに故障が発生する故障)と、Systematic fault 双方を考慮する必要があることから、PLD の IEC 62425 の適用は、Random fault については通常のハードウェアと同じ考え方で対処することにより、Annex B 及び E の開発プロセスに沿い、技術的な選択は Annex E に沿うこととし、Systematic fault については、新規に追加された、Annex F を参考とするとされた。

Annex F については、ロジックを設計するための、IEC 62279 と似た管理手法だけではなく、ロジックを LSI に実装するための手法、Fail-safety を構成するための考え方、並列処理と同期に際して問題になるマイクロスタビリティ、既存のロジック設計である IP Core (Intellectual Properties Core)の活用ルールなど、この項だけで IEC 62425 のほとんどの項目が入るような内容であり、弊室としては参考になると考えている。

3. 3. 安全関連機能における SIL Table の定義

IEC 62425 Editon 2.0 について、Edition 1.0 からの最も目立つ変更は安全関連機能と TFFR の定義及び Basic SIL であろうと思われる。この規格でこれまで最も注目されてきた SIL Table の変更のため、そう感じられると考えている。

一見すると、THR による SIL の定義が TFFR に置き換わっており、SIL table の定義が変わったように見える。

表 1 SIL Table (上 Edition 1.0 下 Edition 2.0)

Table A.1 – SIL-table

Tolerable hazard rate THR per hour and per function	Safety integrity level
$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$	1

Table A.1 – The SIL table

TFFR per hour and per function	Safety integrity level
$10^{-9} \leq \text{TFFR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{TFFR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{TFFR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{TFFR} < 10^{-5}$	1

Edition 1.0 の A.5.2 章には、“The SIL table identifies the required SIL for the safety-related function from the THR.”と記述されている。これによると、THR と整合する安全関連機能の tolerable rate である TFFR について、SIL を割り当てるということになり、Edition 2.0 は、TFFR という略語を定義したが、これは規格制定者が、TFFR は開発初期段階では考えづらい一方で、他の機能安全規格と整合させる目的で取り入れたことがコメントされており、誤解を避けるためであり、実質的に同じことを述べていることになる。一方、Basic SIL については従来の SIL 1 と SIL 0 の間に追加された区分である。

4. 終わりに

本稿では、IEC 62425 の概要及び Edition 2.0 において変更された事項について概略を述べた。大きな思想として変更されていないが、全般として、取り扱いがあいまいな点が解消され、使い勝手がよくなっていると考えている。弊室としても、この規格をさらに解析し、よりよい認証体制を構築していきたいと考えている。関係各位のご指導をお願いしたい。

参考文献

- 1) IEC 62425 Editon 2.0, Railway applications – Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling, IEC (2025-05)
- 2) IEC 62425 Editon 1.0, Railway applications – Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling, IEC (2007-09)
- 3) IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary

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。

2024 年中の交通事故による死者数は 2,663 人、前年(2023 年)との比較で 15 人減 (-0.6%) であり、統計が残っている 1948 年以来、二番目に少ない。交通事故の状態別死者数の状況を見ると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、2008 年以降、状態別死者数は歩行中が最多となっている。また、65 歳以上の高齢者の死者数は前年より 47 人増加し 1513 人であり、死者全体に占める割合は依然として高く、人口 10 万人当たり的高齢者交通事故死者数は 4.18 人となり、全国平均の死亡者数 2.14 人の倍となっている。以上の事実から、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・自転車乗員等への対策が重要となる。これら交通弱者の安全確保を進める為にもさらなる技術の活用等が求められている。

衝突時の安全を確保するために必要な技術に対する研究及び開発は従前より活発に取り組まれているが、交通弱者への対応や昨今の車両や交通事情の変化に伴う交通事故の多様な実態に即した対応が望まれており、これまでも増して衝突安全にかかわる広範にわたる課題の詳細な解明が必要となってきた。

先端技術の導入による安全性向上を目的として自動運転技術の導入も積極的に行われており、自動運転車の一般社会への導入、普及が進められている。政府は 2025 年を目処に限定地域における無人自動運転サービスを 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欠かすことのできない要素の一つであるバッテリーであるが、日本国内でも電気自動車に関係する火災が報道され[1]、車載バッテリーの走行中及び充電中の安全性確保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、新たな技術や多様な交通形態における安全の確保を目的とした研究を効率的に進めることを目指している。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、衝突安全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、交通事故の多様な実態を踏まえながら、高齢者、年少者、自転車乗員等の交通弱者を対象とした車両の衝突安全に関する技術について広く検討している。

衝突安全研究は、従来実車等による衝突実験が中心であったが、近年は要望の広範囲化とより詳細な解析結果の必要性から、研究の効率化と高精度化が求められている。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解析し、現象の再現もある程度可能となってきた。また、実車による衝突実験の前に計算機上にて実験パラメータを選定することにより、必要なデータが確実に得られやすくなるなど、効率的に研究を進めることができる。同時に、高精度に計算機シミュレーションを実施することにより、実車衝突実験では困難な現象解析も可能となる。当研究所では、実車衝突実験と計算機シミュレーションの両方を行える強みがあり、これにより効率的な研

究や多様な衝突条件での詳細解析が可能となる。この取り組みは、前面衝突時に自動運転等を考慮した様々な乗車姿勢時の安全確保に関する研究、側面衝突時の反衝突側に乗車した乗員の衝撃挙動に関する研究、車両対自転車事故時の自転車乗員の受傷要因に関する研究などに活用している。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。

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、予防安全グループでは、自車及び周辺車両の挙動を研究する「車両挙動グループ」と、人間の認知・判断・操作や灯火について研究する「ヒューマンファクタ・灯火グループ」の二つを設けている。

車両挙動グループでは、レベル4の自動運転システムの市場化に向けて、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を具体化していくことが求められるが、その基礎とするために、一般的な人間ドライバの回避行動を定量的に把握する研究を進めている。

ヒューマンファクタ・灯火グループでは、社会的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の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、マーカーランプの社会受容性や見え方を評価する調査・実験により、マーカーランプの適切な取付方法や点灯方法等を研究している。また、新たなコンセプトに基づくパターン照射型前照灯により、ドライバから見た歩行者の気づきやすさ向上と歩行者から見た前照灯の眩しさ低減効果を検証している。

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駆動用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、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、国内外において電気駆動自動車の走行中に限らず、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が複数報告されており、使用中及び充電中や車両駐車時のバッテリー安全性について関心が高まっている中、我々は特に安全性とバッテリー劣化との関係に注目している。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、これまでに熱連鎖試験のイニシエーション方法や、電気自動車の火災の原因の一つの可能性として、リチウム電池セル内のリチウム析出に由来する熱暴走リスクの上昇について研究を行ってきた。現在は、非破壊診断技術を活用して、車載状態のバッテリーを対象としたリチウム析出を含むバッテリーの内部状態を推定する技術について検討を行っている。これらの研究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。

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）と協力し、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、東京都立大学、芝浦工業大学、杏林大学医学部等との共同研究や、BAST(独)、KATRI(韓)、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

自動運転技術を筆頭に最新の技術が広く社会に導入、普及してきている。さらに昨今、生成 AI などこれまでになかった革新的な技術も予想よりも早く自動車に搭載され、交通社会に導入されようとしている。自動車安全研究部では、より安全な交通社会実現の為に、新たな技術にも取り組み、正しい理解に基づいた技術の導入、普及の促進、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) The SANKEI NEWS (internet article)
<https://www.sankei.com/article/20230710-WBAIGC7ZMJNKTMMVG5QGEXNXIY/>

講演 10. 電気自動車の安全性に関する国際基準調和に向けた取り組み

自動車安全研究部

※小鹿 健一郎

1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）において、電気自動車の安全性に関する世界技術規則（Global technical regulation No 20、以下 GTR20）が議論されている¹⁾。ここでは、車載バッテリーセルの熱暴走が発生した場合の安全性を評価するための試験法（熱連鎖試験）が話し合われている。本発表では、当研究所のバッテリー安全に関する取り組みとして、WP29 における熱連鎖に関する議論の状況および当研究所が実施している研究内容について紹介する。

2. WP29 における議論

2. 1. EVS-IWG の概要

2012 年、衝突安全分科会（GRSP）傘下に、電気自動車の安全に関する作業部会（EVS: Electric Vehicle Safety – Informal Working Group）が設置された。共同スポンサー国として、米国（議長）、中国、欧州（共同議長）、日本（事務局）がこの会議を主導している。第 1 期（フェーズ 1）は 2 度の会期延長を経て、2018 年に終了し、GTR20 が 2019 年 3 月に成立した。現在は、第 2 期（フェーズ 2：会期 2019 年—2026 年 3 月）であり、フェーズ 1 で合意に至らなかった『熱連鎖試験』を主要な議題として継続している。『熱連鎖』とは、組電池において一部の電池が熱暴走を起こした際に、その熱暴走現象が隣接セルに伝播する現象のことを言う。（GTR20 において『熱暴走』は、セル内部の発熱反応により起こる制御不能なセルの温度上昇と説明されている。）

2. 2. 熱連鎖の議論におけるフェーズ 1 の結論

フェーズ 1 では、中国が自国で多発する電気自動車の火災への対応として、熱連鎖試験を GTR20 に導入することを主張したが、合意に至らなかった。試験法導入に反対した米国、欧州、日本の主な主張は次の 2 点であった。①自国の事故発生状況を鑑みると試験法を用いて直ちに規制する必要があるという状況になり。②中国より提案された試験法が、客観性があり、規制として活用するのに適当であるか、自国の研究機関に熱連鎖試験を実施させ検証する必要がある。

一方で、熱連鎖を原因とする電気自動車火災に対して対応が必要であるという認識が一致したことから、フェーズ 1 では、製造者が文書によってその安全性を説明することを義務付ける『文書化要件』による規制が採用となった。日本国内においては 2023 年 9 月以降に販売される新車から、製造者が熱連鎖に関する安全性についてその対策を文書で説明することが義務付けられた。

2. 3. フェーズ 2 における議論状況

2. 3. 1 フェーズ 2 序盤

フェーズ 2 序盤では、熱連鎖試験について技術的な議論が活発化した。これは、フェーズ 1 におけるデータ提供国が中国に限られていたのに対し、フェーズ 2 では日本、欧州、米国、カナダなども、車載パッケレベル、車両レベルで熱連鎖試験を行い、その試験データを議論に提供していることによる。

2. 3. 2 フェーズ 2 中盤

フェーズ 2 中盤では、欧州と米国の主張が対立し、EVS-IWG が議論休止となった。欧州は試験データを集積することで、客観性、再現性の高い試験法が策定できると主張したが、米国は、熱連鎖試験によってカバーされるのは、EV 火災の一部の事例でしかないと、試験法を追求するよりも、現在の文書化要件を高度化することが重要と主張した。これらの主張の溝は埋まらず、議長が議論の休止を宣言し、熱連鎖試験は、欧州のリードによって SIG-TP (Special interest group for thermal propagation)にて、UNR100 の改定を目標に活動することとなった。

2. 3. 3 SIG-TP における議論

SIG-TP では、欧州委員会が準備した試験法ドラフトをもとに、日本、中国、韓国、英国、ドイツ、フランス、スウェーデン、オランダによって議論が進められた。日本が主張したレーザや釘差しといったヒータ以外の熱暴走開始方法の採用や、ハイブリッド車用のバッテリーに関しては、バッテリーパッケレベルの試験を認めるといった要求はすべて盛り込まれ、熱連鎖試験を含む UNR100-05 が 2025 年 3 月に成立した。

2. 3. 4 フェーズ2 現在

EVS-IWG はフェーズ 2 の目標を GTR20 ammendment1 の策定として定め、2024 年 9 月に議論を再開した。2025 年 3 月の第 29 回会議において、現時点で発行している各国法規（国連規則 UNR100、米国法規 FMVSS、中国法規 GB）を包含する形で GTR20 ammendment1 を策定することで合意した。現在、米国とカナダのリードでドラフティング作業が進められている。

3. 当研究所における研究の紹介

ここでは、当研究所の研究として、①リチウム析出に由来するリチウムイオン電池の熱安定性低下に関する検討と②非破壊診断を用いたバッテリー安全性確保に向けた検討事例を紹介する。

3. 1. リチウム析出に由来するリチウムイオン電池の熱安定性低下に関する検討

3. 1. 1. 検討の背景と明らかにする内容

米国がフェーズ2中盤で指摘したように、UNR100-05 に盛り込まれた熱連鎖試験は EV 火災のすべてをカバーしているわけではない。例えば、UNR100-05 に記載された熱連鎖試験の対象は新品のバッテリーであり、使用過程においてバッテリーの熱安定性が低下することは考慮されていない。筆者はさらなる電気自動車の安全性確保には、使用過程で起こるとされるリチウム析出と熱安定性低下に関する実験データを集積することが重要と考え、リチウム析出による熱安定性低下の事象をラボレベルで再現することを試み、熱連鎖性能への影響を明らかにした。（表1）

表1. リチウム析出と熱安定性低下に関して明らかにする内容

検討	明らかにする内容
1	リチウム析出による熱安定性低下の確認（三元系セル）
2	リチウム析出による熱安定性低下の確認（リン酸鉄系セル）
3	熱安定性低下による熱連鎖性能への影響

3. 1. 2. 検討を行った内容の概略³⁻⁵⁾

検討 1²⁾は、リチウム析出による熱安定性低下を確認することを目的に実施した。具体的な手法としては、市販の円筒形小型セル（三元系正極）を低温環境で充放電を繰り返し、負極に金属リチウムが析出した

サンプルを作成した。金属リチウムが析出したセルにレーザ照射し、熱暴走に至るまでに投与したエネルギーを新品セルと比較することによって熱安定性の変化を評価した。金属リチウムが析出したセルは新品に比べて約 10 分の 1 の投与エネルギーで熱暴走し、リチウム析出による熱安定性低下が確認された。

検討 2³⁾は、リン酸鉄系セルにおいてもリチウム析出による熱安定性低下が起こるか確認する目的で実施した。市販の円筒形小型セル（リン酸鉄系正極）を低温環境で充放電を繰り返し、負極に金属リチウムが析出したサンプルを作成した。レーザ照射による熱暴走試験を実施すると、金属リチウムが析出したセルは新品に比べて半分以上の投与エネルギーで熱暴走し、リン酸鉄系セルにおいてもリチウム析出による熱安定性低下が確認された。

検討 3⁴⁾は、熱安定性が低下したセルの熱連鎖の起こりやすさについて調査する目的で実施した。具体的な手法としては、新品セルをレーザにより熱暴走させて、リチウム析出した隣接セルに連鎖させる実験を行った。リチウム析出したセルは、新品に比べて XX 秒早く熱連鎖した。これにより、熱暴走を起こしたセルの隣接セルにリチウム析出があった場合、より短い時間で熱連鎖を起こす可能性（バッテリーパック内の燃え広がりが早い可能性）が示された。

3. 1. 3. 調査から得られたリチウム析出に由来するリチウムイオン電池の熱安定性低下に関する知見のまとめ

リチウムイオン電池内の負極に金属リチウムが析出するとセルの熱安定性は低下し、金属リチウムが析出していない場合に比べて、少ないエネルギー投与で熱暴走を起こす。これは、三元系正極セルとリン酸鉄系正極セルのどちらでも起こり、特に三元系正極セルでは、少量のリチウム析出発生で、熱安定性が大きく低下した。

熱安定性が低下したセルを含む組電池では、熱連鎖のスピードが速くなると推定され、熱暴走発生時に、客室の安全確保が新品セル（リチウム析出無し）に比べて難しくなるケースが発生しうることが示唆された。

3. 2. 非破壊診断を用いたバッテリー安全性確保に向けた検討

3. 2. 1. 検討の背景と明らかにする内容

米国は、バッテリーを対象とした非破壊診断技術を活用し、熱暴走発生前にその可能性を検知し、ドライバーに警報を出すなどして、電気自動車の安全性を高める検討を行っている⁵⁾。一方、当研究所では、前述の通りリチウム析出に由来するリチウムイオン電池の熱安定性低下に関する調査²⁻⁴⁾を進めており、この知見と非破壊診断技術を組み合わせたバッテリー安全性モニタリングによる電気自動車の使用過程における安全性の確保に向けた検討を行っている。(表2)。モニタリングを安全対策として取り入れることの一番の意義は、使用過程の車両にも対応できるということである。

表2. 非破壊診断技術を用いた電気自動車の使用過程における安全性の確保に向けた検討において明らかにする内容

検討	明らかにする内容
4	負極容量維持率を指標とした安全判定の可能性
5	組電池を対象とした不安全電池検出の可能性
6	車両を対象とした非破壊診断の実施とデータサンプリング手法の影響

3. 2. 2. 検討を行った内容の概略⁶⁾

検討4⁶⁾は、充電曲線解析による負極容量維持率を指標とした安全判定の可能性について調査した。具体的な手法としては、複数の条件下で充放電を繰り返し、劣化させたセルを対象に充電曲線解析を行いセルの負極容量維持率を明らかにする。その後、レーザ照射を用いた熱暴走試験を行い、対象セルの熱暴走に至るまでに投与したエネルギーを明らかにし、その関係を分析した。負極容量維持率と熱暴走に至るまでの投与エネルギーの関係を分析したところ、ある負極容量維持率を境に投与エネルギーが大きいグループと小さいグループに分けられた。このことから、負極容量維持率を指標として安全判定ができる可能性が示唆された。

検討5⁷⁾は、組電池を対象とした不安全電池検出の可能性を確認することを目的に実施した。具体的な手法としては、4直列接続リチウムイオン組電池内の1

セルを、リチウム析出したセルと入れ替えた不安全セルを含む組電池を対象に充電曲線解析を実施した。対象組電池の充電曲線を解析したところ、組電池内の一つのセルの負極容量維持率が大きく低下しており、対象組電池が、不安全セルを含む組電池であると判定された。このことから、充電曲線解析は、組電池を対象として不安全な電池の検出が可能であることが示された。

検討6⁸⁾は、車両を対象とした非破壊診断の実施とデータサンプリング手法の影響評価を目的として実施した。具体的には、使用過程の電気自動車を対象に充電曲線解析を実施した。このときデータサンプリング時に、充電器によるデータサンプリングとOBDスキャンツールによるデータサンプリングを実施し、データサンプリング手法の違いによるバッテリーの内部状態推定への影響を明らかにした。この検討では、車両を対象とした検討の第一段階として評価対象をSOHとして実施した。今後、評価対象を安全性にも拡大していく予定である。

3. 2. 3. 非破壊診断を用いたバッテリー安全性確保に向けた検討のまとめ

非破壊診断の一つの手法である充電曲線解析を活用した車載バッテリーの安全性確保の検討を行っている。充電曲線解析から得られるセルの内部状態に関する情報のひとつである負極容量維持率に着目することで、セルの熱安定性低下を引き起こすリチウム析出を推定できることをセルレベル、組電池レベルで実証した。現在、車両レベルの実証に向けて取り組んでおり、その第一段階として、データサンプリング手法が推定結果に与える影響について検討を行った。

4. 今後の取り組みの方向性

当研究所は、電気自動車の安全性確保のために、バッテリー安全に関する取り組みを国交省と連携して進めていく。取り組みの主たる柱は、フィールドデータの調査、WP29における国際議論の主導、安全性向上に資する技術の評価である。フィールドデータの調査では、海外における事例に関する情報を収集、分析、分類等を行うことで、国内で事例が発生した場合に、適切に対応できるように準備している。WP29における国際議論の主導では、米国、欧州、中国をはじめとした協定締約国と議論を継続する。また、引き続き当研究所職員をテクニカルセクレタリとして派遣し、基準が調和されるように議論をリードする。安全性向上に資する技術の評価では、3.2 で記載したモニタリング技術が、電気自動車の安全性を向上する技術として、実用化できる可能性があるか引き続き評価を行う。

5. おわりに

本発表では、当研究所におけるバッテリー安全に関する取り組みとして、WP29における熱連鎖に関する議論の状況および当研究所における研究内容について紹介した。WP29における議論の状況では、熱連鎖試験を含む UNR100-05 が GTR20 ammendment1 に先立って成立した経緯について説明するとともに、フェーズ2の最新の状況について解説した。当研究所における研究内容では、リチウム析出による熱安定性低下の事例と非破壊診断を用いたバッテリー安全性確保に向けた検討事例を過去に発表した論文等を引用しながら紹介した。

参考文献

- 1) UNECE wiki site for EVS-IWG.
<https://wiki.unece.org/display/trans/EVS+30th+session>
- 2) Koshika, K., Tsuruga, H., Honda, K., “Summarizing Relation between Battery Degradation and EV Safety and Evaluating Battery Safety with Laser Irradiation” Proceedings JSAE Congress (Spring), 20235193.
- 3) Koshika, K., Tsuruga, H., Morita, M., Honda, K., “Sensitivity Analysis on Temperature, Charging Condition and Operating SOC Range to Degradation of LFP-type Lithium-ion Battery” Transactions of Society of

Automotive Engineers of Japan, Volume 56 Issue 2 Pages 207-212, 2024, doi: 10.11351/jsaeronbun.56.207.

- 4) 小鹿 健一郎、本多啓三 “レーザ照射法によるダメージセルの安全性低下現象の把握” 第66回電池討論会 2025.
- 5) Tanim, T.R et. al., “Challenges and needs for system-level electrochemical lithium-ion battery management and diagnostics”. MRS Bulletin 46, 2021, Pages 420–428.
- 6) Koshika, K., Tsuruga, H., Morita, M., Honda, K., “Pre-feasibility Study on Detecting Increased Risk of Thermal Runaway for Batteries Using the Charging Curve Analysis as a Non-Destructive Diagnostic Method” Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Volume 55 Issue 5 Pages 853-858, 2024, doi: 10.11351/jsaeronbun.55.853.
- 7) Koshika, K., Tsuruga, H., Morita, T., Honda, K., “Demonstrating Nondestructive Safety Diagnosis for Lithium-Ion Battery Modules Based on Charging Curve Analysis Data” Proceedings JSAE Congress (Spring), 20255184.
- 8) Koshika, K., Morita, T., ODA, T., Honda, K., “ Preliminary demonstration of internal state estimations for batteries in an in-service EV using a nondestructive diagnosis technique ” Proceedings JSAE Congress (Fall).

講演 11. 運転席と助手席に乗車した状態での側面衝突における乗員挙動に関する調査

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

一般に側面衝突事故では、衝突側に着座した乗員が最も受傷しやすいため、側面衝突基準は衝突側に着座する乗員の安全性を規定している。しかし、現実の側面衝突事故において、反衝突側に着座した乗員の死亡者の割合が低いことが報告されている。上野ら^①は、2000 年から 2004 年の日本の事故調査より、側面衝突事故による死亡者のうち約 35%が反衝突側に着座した乗員であることを報告している。著者ら^②は、2013 年から 2022 年の日本の事故調査より、側面衝突事故による死亡者のうち約 30%が反衝突側に着座した乗員であり、頭部と胸部を受傷する事例が多いことを確認した。したがって、今後、一層の交通事故死者数を削減するには、側面衝突時における反衝突側乗員の保護が必要と考える。

反衝突側乗員の受傷原因について、Brian ら^③は、米国の事故調査より、反衝突側乗員が車両内装材、座席、ハンドル、同乗者等に衝突して受傷することを報告している。櫻井ら^④は、シミュレーションにより WorldSID モデルを軽乗用車の前席に 2 体搭載した場合、反衝突側乗員の頭部が衝突側乗員の肩部と衝突していることを示した。車種により、乗員同士の挙動や衝突位置は異なることが考えられる。そこで、本調査では、異なる車種の前席に 2 名乗車した場合の側面衝突事故における乗員同士の挙動をより詳細に把握することを目的として、特に側面衝突時に乗員の被害が大きくなると考えられる日本特有の質量が軽く幅の狭い軽乗用車と、日本で多く普及している小型乗用車を対象として、運転席と助手席にダミーを搭載した条件で側面衝突実験を実施した。

2. 実験方法

実験は、ダミーを前席に 2 体搭載した以外は側面衝突基準である UN Regulation No. 95 (以下「UNR95」

という) に定められた試験方法に準じて実施した。

供試車両として、日本で販売台数の多い軽乗用車と小型乗用車を各 1 台用いた。図 1 に供試車両の外観を示す。



(a) 軽乗用車

(b) 小型乗用車

図 1 供試車両

UNR95 に定められている試験方法では、成人男性を模擬した AM50 パーセントイル側面衝突評価用ダミーである ES-2 ダミーを衝突側の前席にのみ搭載して試験を実施するが、本実験では反衝突側にも ES-2 ダミーを搭載した。ダミーの搭載方法は UNR95 に準じ、供試車両に標準装備されている 3 点式シートベルトで拘束した。反衝突側の座席前後位置は、衝突側の座席前後位置と同じ位置とした。

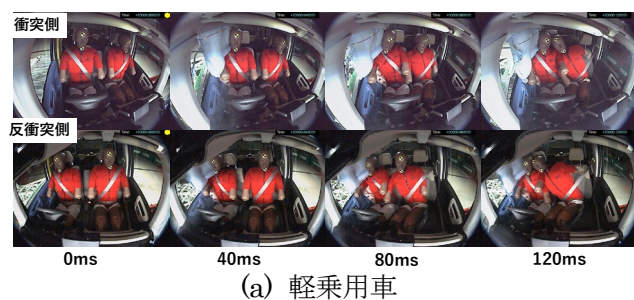
3. 実験結果

3. 1. ダミーの挙動

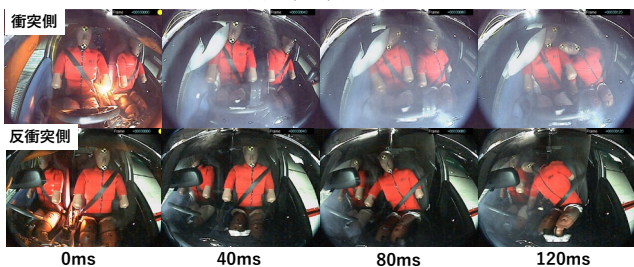
図 2 に各供試車両の衝突側(運転席)と反衝突側(助手席)におけるダミー挙動を示す。軽乗用車では、40 ms で衝突側のカーテンエアバッグとサイドエアバッグは展開が終了し、衝突側ダミーの頭部と胸部がそれらエアバッグと衝突していた。反衝突側ダミーは衝突側方向へ平行移動し、腰部がシートベルトのバックル部まで達していた。80 ms では、衝突側ダミーの頭部が反衝突側へ大きく傾き、胸部は衝突側へ傾いていた。反衝突側ダミーは腰部がシートベルトのバックル部により拘束され、腰部を中心に上体が回転運動を開

始してショルダーベルトが肩から外れ、右腕部が衝突側ダミーの胸部と衝突していた。120 ms では、反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの頭部と衝突していた。

小型乗用車では、40 ms で衝突側のカーテンエアバッグとサイドエアバッグは展開が終了し、衝突側ダミーの頭部と胸部がそれらエアバッグと衝突していた。反衝突側ダミーは衝突側方向へ平行移動して、腰部がコンソールボックス付近まで達していた。80 ms では、衝突側ダミーの頭部が反衝突側へ大きく傾き、胸部は衝突側へ傾いていた。衝突側ダミーの頭部の反衝突側への傾きは小型乗用車の方が軽乗用車より大きかった。反衝突側ダミーは腰部を中心に上体が回転運動を開始してショルダーベルトが肩から外れていた。120 ms では、反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突していた。



(a) 軽乗用車



(b) 小型乗用車

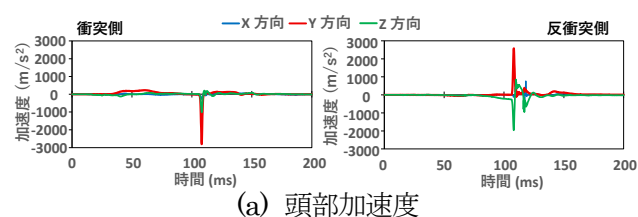
図2 ダミー挙動

3. 2. ダミーの計測値

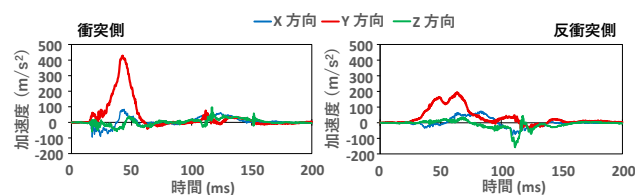
図3に軽乗用車の衝突側と反衝突側に搭載したダミーの頭部と胸部のX方向（ダミーの前後方向、前方向が正）、Y方向（ダミーの左右方向、左方向が正）及びZ方向（ダミーの上下方向、上方向が正）の加速度の時間履歴を示す。衝突側ダミーの頭部に関しては、Y方向加速度が30 ms 付近から増加を開始し、40 ms 付近から60 ms 付近まで約230 m/s²前後の加速度を維持し、105 ms 付近で急減して最小値 -2813 m/s² となった。30 ms 付近のY方向加速度の増加は、頭部が

カーテンエアバッグと衝突したため、105 ms 付近のZ方向加速度の急減は、頭部が反衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。反衝突側ダミーの頭部に関しては、Z方向加速度が80 ms 付近から減少を開始し、105 ms 付近で急減して最小値 -1963 m/s² となった。Y方向加速度は105 ms 付近で急増し、最大値2581 m/s² となった。80 ms 付近のZ方向加速度の減少は、腰がシートベルトのバックルにより拘束されて上体が回転運動をしたため、105 ms 付近のY方向加速度の急増とZ方向加速度の急減は、頭部が衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。

衝突側ダミーの胸部に関しては、Y方向加速度が20 ms 付近から増加を開始し、42 ms 付近で最大値428 m/s² となった。この20 ms 付近の増加は、胸部がサイドエアバッグと衝突したためと考える。反衝突側ダミーの胸部に関しては、Y方向加速度が30 ms 付近から増加を開始し、45 ms 付近から70 ms 付近まで約170 m/s² 前後の加速度を維持した。この30 ms 付近の増加は、座席の背もたれから胸部に荷重が入力されたためと考える。



(a) 頭部加速度



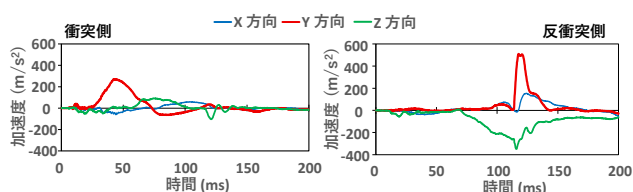
(b) 胸部加速度

図3 軽乗用車ダミー加速度の時間履歴

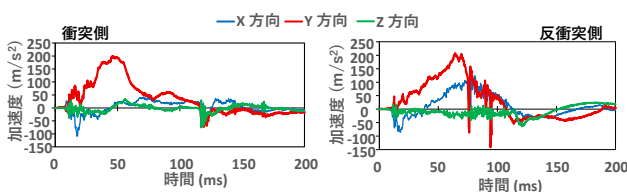
図4に小型乗用車の衝突側と反衝突側に搭載したダミーの頭部と胸部のX方向、Y方向及びZ方向の加速度の時間履歴を示す。衝突側ダミーの頭部に関しては、Y方向加速度が20 ms 付近から増加を開始し、44 ms 付近で最大値276 m/s² となった。この20 ms 付近の増加は、頭部がカーテンエアバッグと衝突したためと考える。反衝突側ダミーの頭部に関しては、Z方向加速度は70 ms 付近から減少を開始して115 ms

付近で最小値 -345 m/s^2 となった。Y 方向加速度は 113 ms 付近で急増し 115 ms 付近で最大値 586 m/s^2 となり、約 5 ms 維持した。70 ms 付近の Z 方向加速度の減少は、腰がコンソールボックスと衝突して拘束されて上体が回転運動をしたため、115 ms 付近の Y 方向加速度の急増は、頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突したためと考える。

衝突側ダミーの胸部に関しては、Y 方向加速度が 20 ms 付近から増加を開始し、46 ms 付近で最大値 200 m/s^2 となった。その後、80 ms 付近から 110 ms 付近まで加速度 30 m/s^2 付近を維持した後 110 ms 付近で急減して最小値 -75 m/s^2 となった。Z 方向加速度は 110 ms 付近で急減して最小値 -75 m/s^2 となった。Y 方向加速度の 20 ms 付近の増加は、胸部がサイドエアバッグと衝突したため、Y 方向と Z 方向加速度の 110 ms 付近の減少は、肩部が反衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。反衝突側ダミーの胸部に関しては、X 方向加速度が 10 ms 付近で急減して最小値 -85 m/s^2 となり、80 ms 付近で最大値 126 m/s^2 となった。Y 方向加速度は 20 ms 付近から増加を開始し、64 ms 付近で最大値 208 m/s^2 となった。X 方向加速度の 10 ms 付近の急減は、シートベルトプリテンショナーが作動してシートベルトから胸部に荷重が入力したため、その後の増加は座席の背もたれから胸部に荷重が入力したためと考える。Y 方向加速度の 20 ms 付近の増加は、座席の背もたれから胸部に荷重が入力したためと考える。



(a) 頭部加速度



(b) 胸部加速度

図4 小型乗用車ダミー加速度の時間履歴

3. 3. ダミー傷害値の閾値との比較

表1に、軽乗用車と小型乗用車の衝突側及び反衝突側ダミーの傷害値と UNR95 の閾値を示す。軽乗用車の衝突側ダミーと反衝突側ダミーの頭部評価指標 (Head Performance Criterion、以下「HPC」という) を除く全ての傷害値は UNR95 の閾値を下回っていた。衝突側と反衝突側のダミーの頭部同士が衝突した軽乗用車の場合の HPC は基準の閾値を超えていた。小型乗用車では、反衝突側ダミーの HPC と胸部変位が、衝突側ダミーより高かった。

表1 ダミー傷害値と閾値

傷害指標	傷害値				閾値 (UNR95)
	軽乗用車		小型乗用車		
	衝突側	反衝突側	衝突側	反衝突側	
HPC	1267	1579	58	222	1000
胸部変位 (mm)	15	5	12	26	42
腹部荷重 (kN)	0.5	0.4	0.4	0.5	2.5
恥骨荷重 (kN)	2.3	1.4	1.7	1.4	6

4. 考察

本調査で使用した軽乗用車では、前席にダミーを2体搭載した側面衝突実験において、反衝突側ダミーの頭部は衝突側ダミーの頭部と衝突し、どちらの頭部傷害値も UNR95 の閾値を超えた。HPC が 1,000 を超えた場合に頭蓋骨骨折の可能性が高くなり、1,500 を超えると頭蓋骨陥没骨折の可能性が生じてくる。前席に2名乗車した状況の側面衝突事故において、乗員の頭部同士が衝突した場合、頭部を受傷して死亡もしくは重傷事故となる可能性のあることが示唆された。そのため、側面衝突時の乗員の頭部同士の衝突に対し防止策を検討していく必要がある。

過去に報告されたシミュレーションによる調査⁽⁴⁾では、軽乗用車の側面衝突において前席に2体搭載したダミーの頭部同士は衝突せず、今回の調査と異なる結果が示されている。先行研究⁽⁴⁾において検討された乗用車はカーテンエアバッグを装備しておらず、側突時のダミーの頭部は、衝突側、反衝突側のどちらも同様の挙動をして衝突側に移動するため、頭部同士は衝突しないことが示されている。しかし、本実験では図2で示すように、衝突側ダミーの頭部がカーテンエアバッグに拘束された反動で反衝突側に移動したため、

反衝突側の頭部と衝突する現象が生じている。現在、市場に販売されているほぼすべての車両ではカーテンエアバッグが装備されている。このため、軽乗用車で前席に 2 名乗車した状態で側面衝突事故が発生した場合に、乗員同士の頭部が衝突する可能性があると考えられる。

本調査で使用した小型乗用車の前席にダミーを 2 体搭載した側面衝突実験において、反衝突側ダミーの頭部は衝突側ダミーの肩部と衝突したものの、頭部傷害値は UNR95 の閾値を下回っていた。肩部と衝突したのは、ダミー間の初期距離が小型乗用車の方が軽乗用車より広いことが、頭部傷害値が低いのはダミーの肩部が頭部と比べて加害性が低いことが要因と考える。ただし、実際の人間で頭部が同乗者の肩部に衝突した場合に乗員が受傷する可能性については、更なる調査が必要と考える。

軽乗用車、小型乗用車のどちらの場合も、側突直後の反衝突側ダミーは平行移動し、腰部がシートベルトもしくはコンソールボックスに拘束された後に上体が回転運動して、衝突側のダミーと衝突した。そして、ダミー間の初期距離が異なる軽乗用車と小型乗用車で、反衝突側ダミーの頭部が衝突する衝突側ダミーの身体部位が異なっていた。衝突する身体部位については、乗員間の初期距離以外にも、乗員の身長、乗車姿勢の影響を受けると推定される。今後、乗員同士の衝突位置と、身長差、初期距離及び姿勢の関係について、より詳細な調査を実施することで、側面衝突時の乗員同士の衝突に起因した受傷状況を確認していく必要がある。

反衝突側乗員 1 人で乗車している場合の側面衝突事故についても、乗員が車室内部品と衝突して死亡重傷事故が発生していることが報告されている³⁾。乗員が車室内部品と衝突する状況は、乗員の体格、乗車姿勢、座席位置の違い等により変化すると考えられることから、乗員が受傷する可能性の高い乗車状況と加害部位に関する調査を進める必要がある。

5. まとめ

本調査では、前席に 2 名乗車した場合の側面衝突事故における乗員同士の挙動を調査して以下の知見を得た。

- ・ 反衝突側ダミーは、衝突直後 (30~40 ms 後) 衝突側に平行移動し、腰部がシートベルトもし

くはコンソールボックスに拘束された。その後、腰部を中心に上体が回転運動して、頭部が衝突側ダミーと衝突した。

- ・ カーテンエアバッグの装備された条件で、反衝突側ダミーの頭部は、軽乗用車の場合は衝突側ダミーの頭部と、小型乗用車の場合は衝突側ダミーの肩部と衝突した。
- ・ 軽乗用車の実験では、衝突側と反衝突側のどちらのダミーも頭部傷害値が UNR95 の閾値より高かった。乗員の頭部同士が衝突した場合、どちらも死亡もしくは重傷となる可能性が高いことから、頭部同士の衝突防止策を検討していく必要がある。
- ・ 反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突した小型乗用車の実験では、反衝突側ダミーの方が衝突側ダミーより頭部傷害値が高かったが、UNR95 の閾値に比べて十分低い値であった。

参考文献

- 1) 上野 昌範ほか, “日本における側面衝突事故の分析”, JARI research journal vol.30 No.9 p.509-514 (2008)
- 2) 田中 良知ほか, “前面衝突事故および側面衝突事故における日本の交通事故の特徴”, 自動車技術会 2024 秋季大会 学術講演会 予稿集, 文献番号 20246265 (2024)
- 3) Brian Fildes, et.al, “OCCUPANT PROTECTION IN FAR-SIDE CRASHES”, THE NATIONAL CRASH ANALYSIS CENTER and MONASH University Accident Research Centre (2009)
- 4) 櫻井 俊彰ほか, “軽自動車の側面衝突事故における Far-side 乗員の傷害発生メカニズムの検討”, 日本交通科学学会誌 第 14 巻 第 3 号 p.15-24 平成 26 年 (2014)

ポスターセッション

① 自動運転機能使用時における走行環境性能の評価手法に関する検討

環境研究部

※奥井 伸宜

1. はじめに

自動運転の技術開発が進み、その技術を搭載した車両の安全性及び快適性が向上している。一方、自動運転機能使用時における、燃費性能及び排出ガス特性の評価を行う審査規定等の試験手法は存在しない。そこで本稿は、現在普及が進む自動運転機能の一つで、レベル 2 に相当する「先行車自動追従制御（ACC：Adaptive Cruise Control）」機能を使用し運転した際の燃費性能及び排出ガス特性を把握するための評価手法を検討した。

2. ACC 機能搭載車の車両性能評価手法の検討

自動車（乗用車）の燃費及び排出ガスは、国連の法規（WLTP：Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）を用いて評価される。その際、シャシダイナモメータにて評価を行うが、室内に車両が設置され、その車両前方には車速比例ファンが設置される。このような状況においては、先行車の状況を再現することが困難であり、試験車単独の評価となっている。そのため、実路走行にて ACC 機能付き車両を評価する手法が考えられる。しかし、実路においては道路状況や環境状況が変化し、走行条件が統一できない。また、走行時に周囲環境の外乱の影響を受けやすく、その機能が走行中にキャンセルする場合もある。

ここで、日本における実路走行排出ガス（RDE：Real Driving Emission）試験においては、独立行政法人自動車技術総合機構審査事務規程（TRIAS：Test Requirements and Instructions for Automobile Standard）TRIAS 31-J119-01¹⁾にて、「試験は道路又は試験路（テストコース）において行う」と記載され、試験路における RDE 試験を有効としている。そこで、ACC 機能搭載車の評価も試験路を走行させることにした。試験路で二台の車両を用い、先行車が認証モード等の目標車速パターンを正確に運転できれば、ACC 機能を使用した後続車の追従運転が可能となる。

3. ACC 機能搭載車の車両性能評価

図 1 に示すとおり、二台の車両を用い試験路を走行させる。本評価手法を成立させるためには、先行車が目標車速パターンを正確に運転する必要がある。そこで、先行車には当研究所で構築した運転ロボット²⁾を搭載し（図 1 左上図）、目標とする認証モードを正確に運転させた。後続車は ACC 機能を作動し、アクセル、ブレーキ及びステアリングを自動的に操作させ、先行車に追従運転させることで、各種性能を取得した。

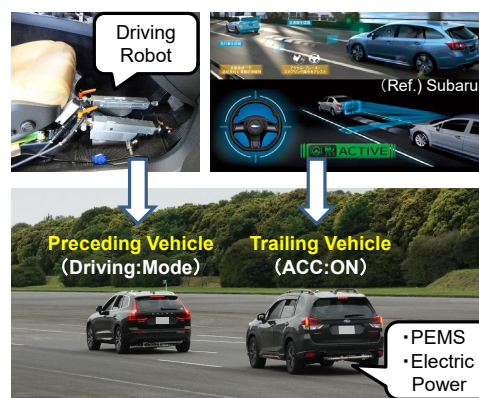


図 1 ACC 機能搭載車の車両性能評価手法

3. 1. 評価条件

試験モードは、WLTC（Low、Middle、High フェーズ）、及び実路走行時に取得した車速から作成した約 1,800 秒からなる RDE モードを使用した。RDE モードは、WLTC に比べての加減速度及び車両の発進、停止の頻度大きい。いずれの試験においても、エンジン及び車両等を暖機した後に試験走行を開始した。

供試車両は、図 2 に示すガソリンエンジン車である。レベル 2 に相当する ACC 機能を有しており、0km/h～約 120km/h の幅広い車速域で、アクセル、ブレーキ及びステアリング操作をアシストし、車両停止及び再発進も可能としている。

供試車両には車載式排出ガス測定装置（PEMS）を搭載し、補機用 12V バッテリーの電力情報を取得した。

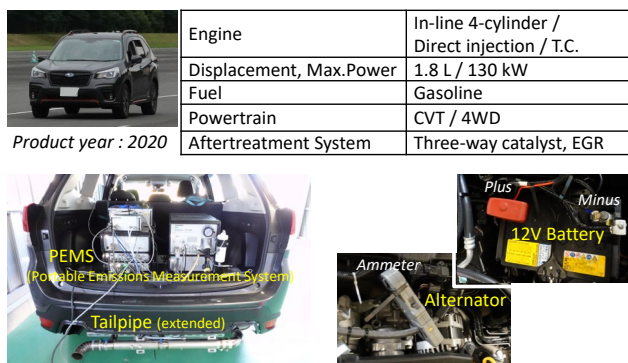


図2 供試車両

3. 2. 評価結果

追従試験の結果を図3に示す。PEMSから取得したCO₂排出量をWLTC及びRDEモードに分けて整理した。グラフの青色棒グラフは、ACCを機能させない時の車両単独走行で、運転ロボットを用いてモード走行させた結果である。茶色棒グラフは、ACCを機能させた追従時の走行結果となる。青色棒グラフと茶色棒グラフの差から求まるACC機能の作動によるCO₂排出量は、WLTC走行時に3.7%悪化し、RDE走行時に8.4%悪化する結果を示した。

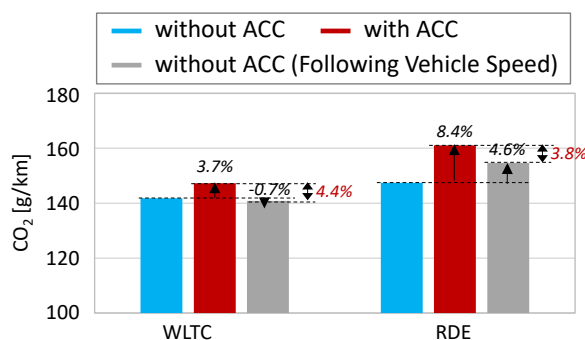


図3 ACC機能の作動有無における評価結果

(要因1) ACC機能による運転特性

ACC機能の作動による影響の切り分けを検討した。図3に示した灰色棒グラフは、ACCを機能させない車両単独走行となるが、ACCを機能させた追従車で取得した車速パターンを、運転ロボットを用いて走行させた結果である。ACCを機能させない車両単独走行の結果を示す青色棒グラフとこの灰色棒グラフの差が、車速パターンの違いによる影響を示す。WLTC走行時のCO₂排出量はほぼ同等であったが、RDE走行時は約4.6%悪化したことが確認できる。この違いは、車速パターンの加減速度の違いによるもので、RDEモードの加減速度及び車両の発進、停止の

頻度がWLTCに比べて大きいことが関係している。

(要因2) ACC機能作動時による補機の電力消費

ACCを機能させた追従時の走行結果を示す図3の茶色棒グラフと同一の走行車速となる灰色棒グラフに注目した。これら棒グラフの差がACCを機能させた際の補機電力量の影響を表しており、WLTC走行時は約4.4%、RDE走行時は約3.8%のCO₂排出量の悪化が確認できた。図4に示すRDEモードでは、供試車両がACC機能を作動させた時には、補機電力量が増加しCO₂排出量に影響を与えることが確認できた。

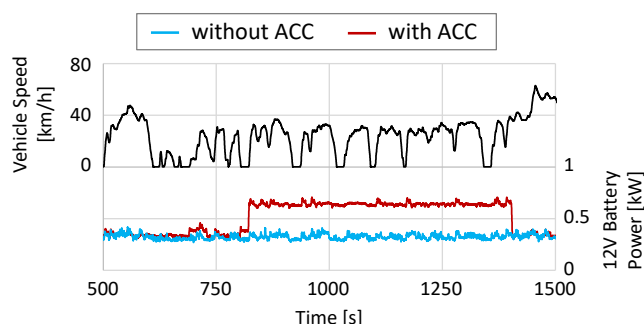


図4 ACC機能作動時による補機の電力消費

4. まとめ

自動運転機能使用時における、燃費性能及び排出ガス特性は不明である。そこで、ACC機能搭載車の各種車両性能を正確に評価する一手法を検討した。

RDE試験時に二台の車両を用い、運転ロボットを搭載した先行車に目標車速パターンを正確に運転させた。試験車となる後続車においてはACC機能を働かせ追従運転させることで、試験車の燃費性能及び排出ガス特性を取得した。上記手法を実車を用いて試行した結果、ACC機能搭載車の評価手法の有効性が確認できた。

本手法で得られた性能結果は一例である。今後ACC機能搭載車の数を増やし、ACC機能の作動有無における燃費等の傾向を整理していきたい。

参考文献

- 1) 自動車技術総合機構：路上走行時のディーゼル軽・中量車排出ガスに関する技術基準、TRIAS 31-J119-01 (別添 119)
- 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, pp.879-888 (2024)

②ディーゼル貨物車の NOx 浄化装置である尿素 SCR システムの使用過程における性能低下要因の検討

環境研究部

※山本 敏朗

1. まえがき

10t 超積載クラスのディーゼル貨物車に求められる積載重量及び輸送距離を電動化で実現することが難しく、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。従って、大型ディーゼルエンジンの開発は継続され、同エンジンから排出される窒素酸化物 (NOx) の低減対策は、今後も重要となる。現在の主流の対策である尿素 SCR システムは、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。SCR 触媒は高温かつ高濃度の水蒸気 (H₂O) にさらされることによる水熱劣化や硫黄 (S) 被毒劣化等により性能低下することがわかっている。SCR 触媒が、これらの性能低下に繋がる排出ガス状態にさらされる回数は、積算走行距離の増加に伴って増えることが推測される。現在、重量車の積算走行距離は、100 万 km 超となる場合もあり、実路走行時の排出ガス浄化性能確保の重要性が増しているものの、尿素 SCR システムの使用過程での性能低下等に関する知見が少ない。本研究では、尿素 SCR システムの使用過程での 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を対象に、尿素 SCR システム (Cu 系ゼオライト触媒搭載) の NOx 浄化性能の変化を、シャシダイナモメータ台上試験 (CD 試験) 等により、7 年間に渡って定期的に調査を行ってきた。

本報では、これらの調査データを基に、車両の使用過程において尿素 SCR システムの排出ガス低減性能に影響を及ぼす要因を分析し、性能低下の実態把握を行った。その概要について報告する。

2. 実験方法

供試車両は、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) である。年間 8 万 km 程度の運送事業走行を行い、定まった積み荷をほぼ同一ルートで定期的に運送する運送事業用貨物車である。同車両を用い、新

車時から積算走行距離約 46 万 km 時まで、定期的に CD 試験を実施してデータ収集を行った。

尿素 SCR 触媒の NOx 浄化性能の評価には、NOx 浄化率を用いた。NOx 浄化率は、SCR 触媒の前後の NOx 濃度値あるいは指定区間の NOx 質量値から、SCR 触媒で低減された NOx の割合として求めた。なお、SCR 触媒前の NOx 濃度データは尿素 SCR システムの制御用 NOx センサの測定値から、また SCR 触媒後の NOx 濃度データはダイレクトサンプリングによる排出ガス分析計 (CLD) の NOx 濃度測定値から取得した。

本報では、WHVC モード走行 (ホットスタート) 時において、異なる加速条件での NOx 浄化性能を評価するため、図 1 に示す 3 つの区間 (区間 A : 140 秒~730 秒、区間 B : 730 秒~1170 秒、区間 C : 1170 秒~1800 秒) に分けてデータ分析を行った。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。

以上のような WHVC モードデータの特性を活用して、使用過程における尿素 SCR システムの排出ガス低減性能に影響を及ぼす要因を分析した。

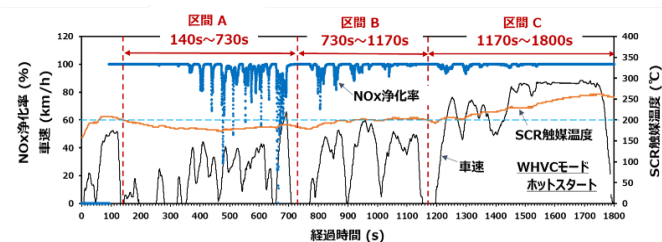


図 1 データ分析に用いた WHVC モード試験における 3 つの走行区間 A、B、C

3. 実験結果及び考察

3. 1. 積算走行距離の増加に伴う SCR 触媒温度低下

図 2 に、WHVC モード走行 (ホットスタート) 時の NOx 排出量及び NOx 浄化率の変化を 3 区間に分けて、積算走行距離ごとに並べて示す。結果、いずれの区

間のNOx浄化率も、積算走行距離の増加に伴い変動していて、区間Aでは12%程度の変動幅が認められた。このNOx浄化率が変動する原因について調査した。SCR触媒温度は、尿素SCRシステムのNOx浄化性能に影響を及ぼす要因である。WHVCモード（ホットスタート）走行時において、SCR触媒入口温度の区間別平均温度を積算走行距離の増加に伴いプロットした結果を、図3に示す。同図より、SCR触媒入口温度の平均は、区間Aにおいて、積算走行距離が126,000km～460,000kmと増加する中で低下傾向を示していることがわかる。ここで、NOx浄化反応における触媒活性化温度は190℃近傍であることを確認している。区間Aでは、SCR触媒入口温度の平均が積算走行距離288,000km以降は190℃未満に低下することから、NOx浄化反応が不活化してNOx排出量が増加することが推測される。このことは、図2の積算走行距離288,000km時のNOx排出量が増加し、NOx浄化率が低下していることと一致する。

以上より、積算走行距離の増加に伴って、SCR触媒入口温度が低下する現象が確認され、この温度低下が尿素SCRシステムの性能低下要因と考えられた。

3. 2. 尿素水インジェクターの尿素水の供給状態の変化が尿素SCRシステムの性能に及ぼす影響

本報では、SCR触媒への尿素水の供給状態を定量的に評価するため、WHVCモードの走行区間ごとに、SCR触媒前の尿素水インジェクター制御用のNOxセンサを用いてSCR触媒前の排出ガス中のNO量(mol)を、また、尿素水インジェクターからの噴射により尿素水から生成されるNH₃量(mol)をそれぞれ算出し、以下の式で評価した。

尿素水噴射量の評価値＝尿素水による生成NH₃モル数／SCR触媒前NOモル数

なお、Cu系ゼオライト触媒では、NOx分解の主たる反応がスタンダードSCR反応であるとする、尿素水噴射量の評価値は1.0近傍の値が推定される。従って、1.0未満の区間は、尿素水の噴射量が不足している可能性がある。図4に、供試車両のWHVCモード（ホットスタート）走行時において、NOx浄化率と尿素水噴射量の評価値を区間別に、積算走行距離の増加に伴い並べて示す。同図より、区間Aに着目すると、NOx浄化率（質量ベース）は積算走行距離20万km近傍から低下し、同様に尿素水噴射量の評価値も20万km近傍から減少していることがわかる。このように、両者の

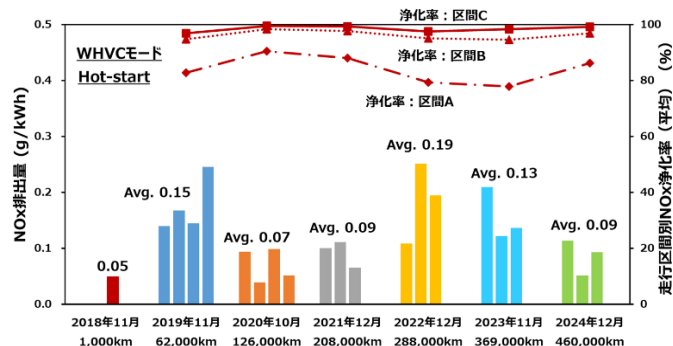


図2 積算走行距離の増加に伴うWHVCモード走行時におけるNOx排出量とNOx浄化率の比較

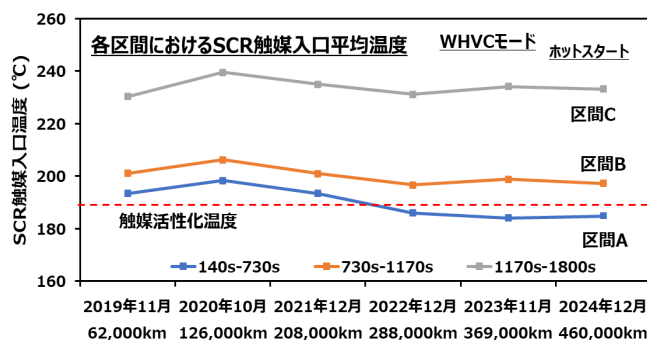


図3 積算走行距離の増加に伴うSCR触媒入口温度の区間別平均温度の変化

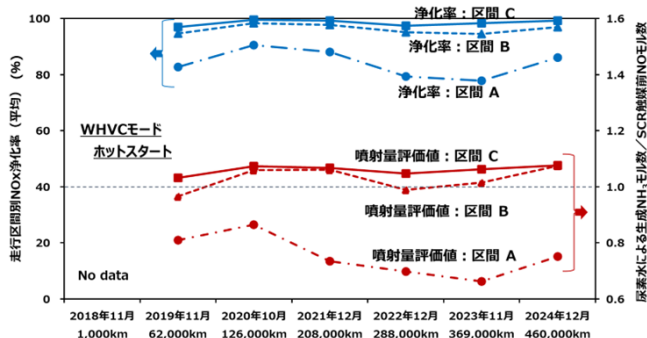


図4 積算走行距離の増加に伴うWHVCモード走行時におけるNOx浄化率と尿素水噴射量評価値の比較

変化はよく一致していることから、尿素水インジェクターの尿素水の噴射量不足が、尿素SCRシステムの性能低下要因になっている可能性が考えられる。

4. まとめ

WHVCモード（ホットスタート）において、6万km～46万kmと積算走行距離が増加する中で、モード走行区間のNOx浄化率（質量ベース）の変動が確認された。この変動の原因として、積算走行距離の増加に伴って、SCR触媒入口温度が低下する現象及び尿素水インジェクターの尿素水の噴射量不足の可能性が確認され、尿素SCRシステムの性能低下要因と考えられた。

③商用車のバッテリー劣化に関するフィールド調査に向けた取組(2)

環境研究部

※小鹿 健一郎

1. はじめに

交通研は、2022年7月にNEDOのグリーンイノベーション基金事業「スマートモビリティ社会の構築」の研究開発委託事業者に採択された。交通研は、本事業において2025年以降、商用車のバッテリー劣化に関するフィールド調査を行うことになっている。調査では、バッテリーのSOH（State of Health）を含む走行データを解析し、実使用環境下におけるSOHの変化の程度について明らかにする。また、問題となるレベルのSOHの低下が確認された場合、収集されたデータをもとに、SOHの低下を抑制するような車両の使い方について確認し、車両の使い方に関して提案を行う予定である。

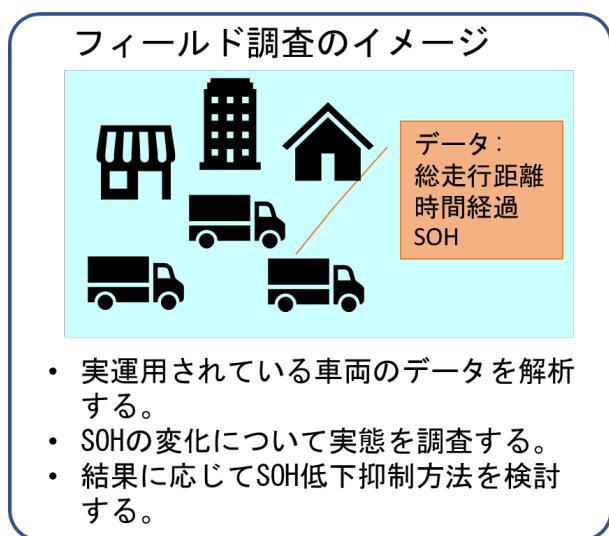


図1. フィールド調査のイメージ

本報告では、フィールド調査に先立ち行ったバッテリーのセル試験について述べる。バッテリーセルを対象とした試験は、22年度から24年度まで3年計画で実施した。22年度は三元系円筒型セル、23年度はリン酸鉄系円筒型セルを対象に評価を行い、交通研フォーラム2023^[1]および自動車技術会秋季大会2024^[2]においてそれぞれ発表を行っている。ここでは、24年度に実施した三元系角型セルの評価を中心に述べる。

2. バッテリーセルを対象とした試験

2. 1. 試験の概要

本節では、試験の概要として、目的、スコープ、試験の工程について説明する。本試験は、フィールド調査実施時の劣化要因解析を行うにあたり、注目すべきパラメータを整理することを目的として行った。本試験では、試験対象をバッテリーセルとした。セル試験、車両単体試験、フィールド調査の特徴を含めた比較を図2に示す。本試験の工程は、①充放電条件の設定、②繰り返し充放電の実施、③放電容量（SOH）の評価の順で行った。

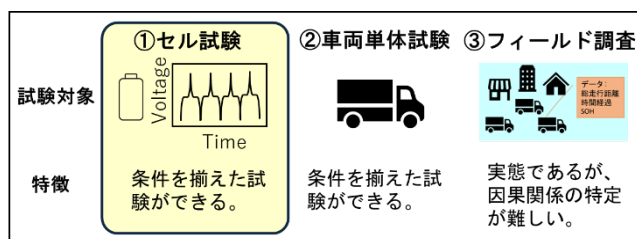


図2. 本試験のスコープと位置づけ

2. 2. 試験実施における24年度のポイント

24年度の実施のポイントとして、試験対象セルの選定、22年度実施内容との比較、明らかにしたい内容について述べる。試験対象セルの選定では、NEDOのプロジェクトにおいて、運送事業者が実際に使用しているEVトラック（デュトロZEV^[3]）に搭載されたバッテリーを入手して試験を行うこととした。22年度の実施内容と比較すると電池の正極材料は三元系で同じであるが、EVトラック用であり、容量が125Ahの大容量セルであった（表1）。明らかにしたい内容としては、実際の車載セルにおいても、温度や充電の状況が、容量低下に影響をあたえるかについて注目した。

表1. 22年度の実施内容との比較

	電池	試験期間	充放電条件
24年度	三元系 125 Ah	3か月	車両試験データを参考に設定
22年度	三元系 約3.2 Ah	3か月	テスラを想定して設定



図 3. 対象電池の外観（左）モジュール、（右）セル

2. 3. 充放電サイクルの設定

2. 3. 1. 環境温度、充電方法、使用 SOC 範囲の設定

劣化への影響が想定される 3 つのパラメータである環境温度、充電方法、使用 SOC (State of Charge) 範囲に関して表 2 に示す通り設定した。環境温度は、高温と低温の 2 種類とし、夏期を想定した 35℃、冬期を想定した 10℃とした。充電方法は、急速充電と普通充電の 2 種類とし、夏期急速充電は、1.2 C、冬期急速充電は、1.2 C また、夏期普通充電は、0.4 C、冬期普通充電は、0.3 C とした。(限られた試験期間で変化を確認するために、充電電流値はどれも車両試験のデータよりも大きな値で設定した。) 使用 SOC 範囲に関しては、運用方法を以下の通り 3 つ仮定し、設定することとした。i) 高 SOC 運用: 短距離走行後、継ぎ足し充電にて満充電にて使用する運用。ii) 広範囲 SOC 運用: 走行を継続し、十分に放電してから満充電にして使用する運用。iii) 中間 SOC 運用: SOC に充電上限/放電下限を設定して使用する運用。

繰り返し充放電試験では、この 3 つのパラメータを組み合わせ、充放電試験装置のチャンネル数の制約に合わせて計 10 通りの条件で充放電を行った (表 3)。22 年度の結果から、最も劣化が小さかった中間 SOC 運用、普通充電の条件を除くこととした。

表 2. 充放電試験のための設定パラメータ

環境温度	×	充電方法	×	使用SOC範囲
高温(夏期) 35℃		急速充電 (劣化大を想定)		i) 高SOC 100-70% ii) 広範囲SOC 100-35%
低温(冬期) 10℃		普通充電 (劣化小を想定)		iii) 中間SOC 70-35%

表 3. 充放電条件 10 通りの内容

	充電方式	SOC範囲	条件番号
夏期	急速充電	高SOC	1
		広範囲SOC	2
		中間SOC	3
	普通充電	高SOC	4
		広範囲SOC	5
冬期	急速充電	中間SOC	-
		高SOC	6
		広範囲SOC	7
	普通充電	中間SOC	8
		高SOC	9
		広範囲SOC	10
		中間SOC	-

2. 3. 2. 対象電池と結果比較のための積算放電容量の整理

本実験系では、3 種類の SOC 範囲での繰り返し充放電結果を比較するため、劣化評価でよく行われる繰り返し充放電回数を基準とした比較は適当ではないと考え、積算放電容量を基準に、各セルの劣化の状態を比較することとした。具体的な積算放電容量値は、25,000 Ah であり、本試験対象電池（三元系正極・大型角形リチウムイオン電池、電圧 3.65 V、容量 125 Ah）では、200 回の放電（SOC100→0%）に相当する。参考までにデュトロ ZEV を想定して距離換算すると、デュトロ ZEV の一充電走行距離は約 150 km であるため、200 回の放電は、3 万 km 走行に相当する。

3. 3. 試験結果: 放電容量維持率 (SOH)

環境温度、充電方法、使用 SOC 範囲、がパラメータとしてどの程度 SOH の変化に影響を与えるのか明らかにするために、異なる条件で充放電を行い、SOH 評価を行った。SOH は、繰り返し充放電を行い、積算放電容量が 25,000 Ah に到達したところで行った容量測定の結果を初期の容量測定の結果で除した値として算出した。条件ごとの SOH を図 3 に示す。夏期 (35℃) 運用では、いずれの条件においても SOH が高く維持された。一方、冬期の急速充電、広範囲 SOC 運用の条件では SOH 低下が促進される傾向が示唆された。

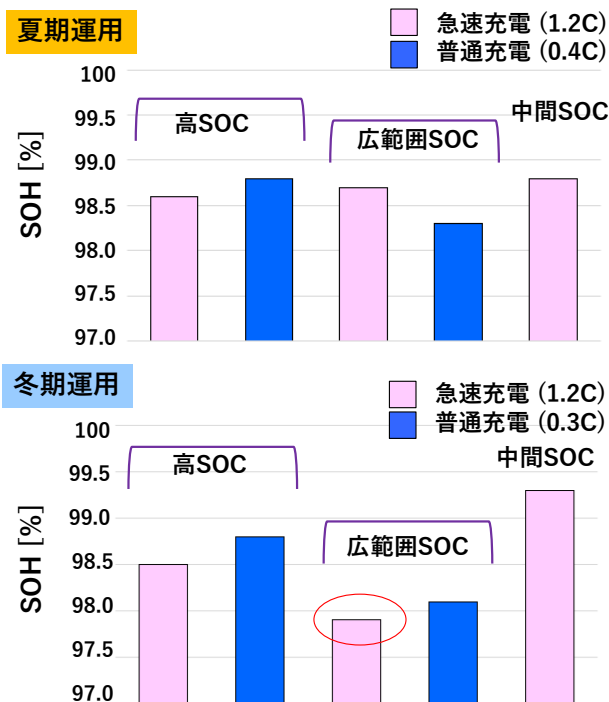


図 3. 各条件における放電容量維持率

3. 4. 22 年度の結果を含めた劣化傾向に関する考察

ここでは、22 年度の設定条件、結果について紹介し^[1]、二つの結果に共通する三元系リチウムイオン電池の劣化傾向について言及する。22 年度は、三元系円筒型セルを対象に試験を実施しており、テスラモデル S を想定した充放電条件を設定した。設定した積算放電容量は、795 Ah であり、22 年度試験対象電池 (三元系正極・小型円筒形リチウムイオン電池:NCR18650BM、電圧 3.6 V、容量 3180 mAh) では、250 回の放電 (SOC100→0%) に相当する。参考までにテスラ Model S を想定して距離換算すると、テスラ Model S の一充電走行距離は約 500 km であ

るため、250 回の放電は、12.5 万 km 走行に相当する。条件ごとの SOH を図 4 に示す。

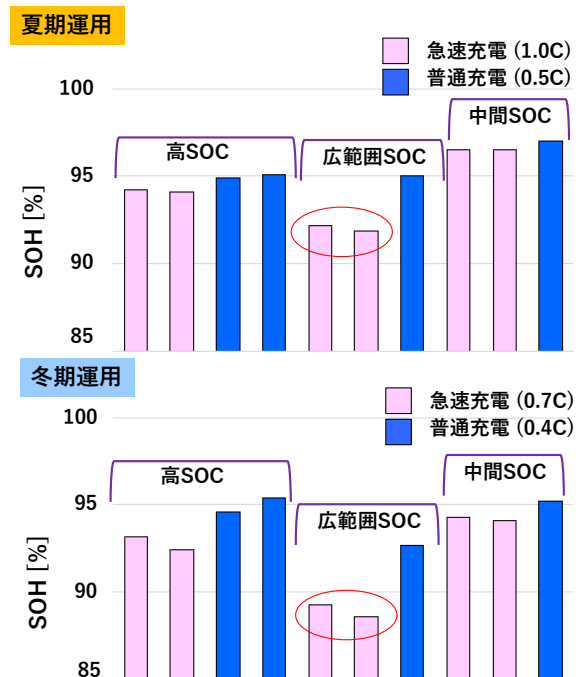


図 4. 22 年度に実施した三元系円筒型セルを対象とした試験結果(SOH)

二つの結果に共通する傾向は下記の通り、

- 急速充電であっても、中間 SOC 運用では SOH が高く維持される。
- 夏期はいずれの条件においても SOH が高く維持される。
- 冬期の広範囲 SOC 運用で急速充電を行う場合、SOH の低下が促進される。

両試験は、試験期間が 3 か月間と同一であるが、走行距離に換算して比較した場合、24 年度の結果は 3 万 km であり、22 年度の結果 12.5 万 km の約 25% 程度であり、この違いが SOH の低下の程度の違いの要因のひとつであると考えている。(その他には、電池そのものの耐久性の違い、電池使用時の上下限電圧を設定する際の余剰容量の大きさなども要因として想定される。)

4. おわりに

商用車 EV に搭載されている三元系大容量角形缶セルについて、環境温度、充電方法、使用 SOC 範囲を組み合わせ、10 条件の充放電サイクルを与え、電池の劣化挙動を調査した。充放電装置により 3 か月間、充放電の負荷をセルに印加した（積算電流値をもとに車両走行距離に換算した値は約 3 万 km であった。）。

夏期運用では、本実験範囲内のいずれの条件においても SOH は高く維持された。走行を継続し、十分に放電してから満充電にして使用する運用（広範囲 SOC 運用：SOC100-35%）のうち、冬期の急速充電では、SOH 低下が促進される傾向が示唆された。この傾向は 22 年度実施の三元系小型円筒セルの試験結果と類似していた。

22 年度と 24 年度の結果と統合すると、設定した 3 つのパラメータが 2025 年以降の車両データの解析においても、車両使用条件と劣化の関係を明らかにするうえで重要であることが示唆された。

参考文献

- 1) 小鹿 健一郎 "商用車のバッテリー劣化に関するフィールド調査に向けた取組" 交通安全環境研究所フォーラム 2023
https://www.ntscl.go.jp/Portals/0/resources/forum/2023files/day1_01.pdf
- 2) 小鹿 健一郎 "リン酸鉄系リチウムイオン電池を対象とした温度、充電条件および運用 SOC 範囲によるバッテリー性能低下への影響ーリン酸鉄系セルと三元系セルの安全性に対するリチウム析出の影響の違いー" 自動車技術会論文集 2025 年 56 巻 2 号 p. 207-212
<https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.56.207>
- 3) デュトロ ZEV 主要緒言
<https://www.hino.co.jp/dutrozev/lineup/index.html>

謝辞

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務(JPNP21028)の結果得られたものです。

④国連における AI の議論の動向と交通研の取組

環境研究部

※尾崎信利、新国哲也

1. はじめに

自動運転システム (ADS) において様々な情報を処理する過程で機械学習を中心とする人工知能 (AI) 技術が重要な役割を担う可能性が高まっている。国連における自動車基準調和世界フォーラム (WP.29) では、将来の機械学習に関する制度整備に向け議論が始まったところであり、今後議論が進むと考えられる。

交通安全環境研究所 (交通研) では、ADS の要素として外部環境認知 AI を搭載した車両を想定し、車両安全の観点から必要となる技術要件の検討を開始した。その一環として、車両安全上のリスクと AI 品質の関係を検証するデモンストレーションを行っている。本報では、WP.29 の議論の進展状況を整理するとともに、AI 品質評価に関する取組みについて報告する。

2. 国連における AI に関する議論の動向

WP.29 では、AI の急速な発展及び自動車向けの AI 技術の展開等を考慮し WP.29 における議論のニーズが高まったとして 2018 年より AI を取り上げてきた。WP.29 第 175 回会合では、インフォテインメント、車両管理、自動運転機能の開発への応用など、道路車両における AI の新たな関連性が指摘され、WP.29 のスコープに含まれる可能性があるとの認識をまとめている。

2023 年 11 月の WP.29 第 191 回会合では、WP.29 の傘下の自動運転分科会 (GRVA) より道路車両の文脈における AI に関するガイダンス文書の提案があった。これ以後も 2024 年 6 月に開催した AI のワークショップを含めて継続的な議論が行われ、2024 年 6 月の WP.29 第 193 回会合では、改正ガイダンス文書が採択された¹⁾。同時に、WP.29 でのこれらの議論を受け、AI に関する専門家作業部会の設置の必要性についても審議された。

2025 年 3 月の WP.29 第 195 回会合では、WP.29 の直属の組織として AI に関する新しい専門家作業部会を設立することを決定し、英国を中心とする WP.29

参加国がその設立の条件 (Terms of Reference: ToR) の草案を作成することとなった。

2025 年 6 月の WP.29 第 196 回会合で合意された同作業部会の設立条件²⁾の概要は下記の通りである。

(a) 道路車両における AI の開発に関する情報をまとめ、規制対象となっている自動車安全機能での AI の使用に関するユースケースリストを作成する。

(b) タスク(c: 下に記載)をサポートするため、自動車安全機能での AI の適用性を考慮して、AI の使用に関連する既存の利用可能な (ISO などの) 標準、研究、ベストプラクティス等の文献レビューを行う。

(c) タスク(a: 上記)と並行して、タスク(b: 上記)に基づいて、ターゲット AI システムを定義し、規制対象となっている自動車安全機能における AI の使用と運用に関するガイダンス文書を作成する。

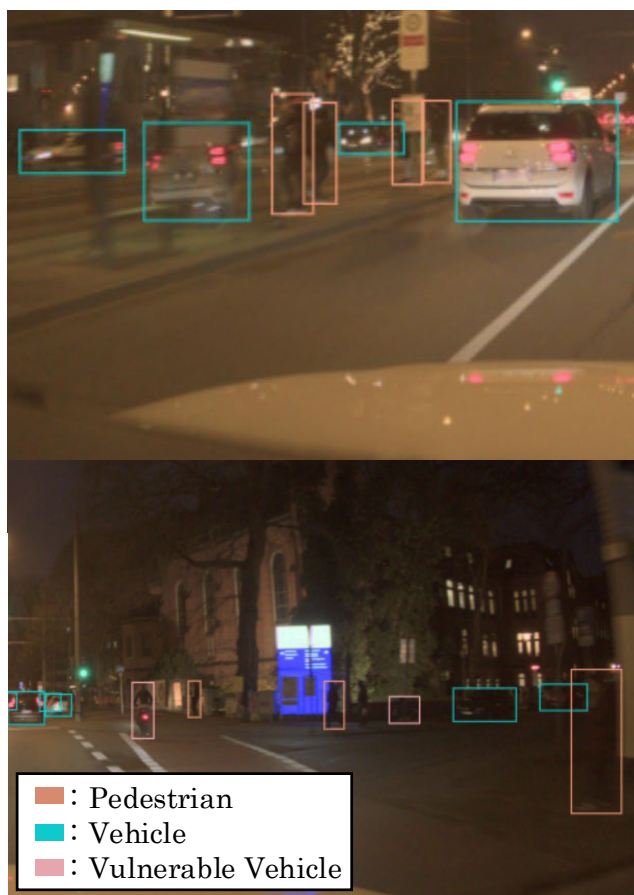
この部会のスコープとして、運転支援システムや自動運転システムなど人間の操作を (一部) 代替する機能を実行するシステムを含むが、これに限らない (例えば、ドライバーモニタリングシステム等は対象となり得る)。また AI システムの実装を考慮し、ガイダンスの策定には自動車メーカ、サプライヤー、型式認証機関及びテクニカルサービスなどのニーズを考慮することが求められている。

この新たな専門家作業部会には 2026 年 6 月までに、タスク(b)及び(c)の初期成果を WP.29 に報告することが課せられた。同作業部会の構成として、共同議長は英国、米国及び日本が務め、IEEE、SAE インターナショナル及びCITAが共同で事務局を務めることと決定された。第 1 回目の会合は、2025 年 8 月 27 日に実施された。

3. AI に関する交通研の取組

交通研では、ADS における外部環境の認識 AI が車両に実装されることを想定し、その評価における課題を整理している。その一環として、シナリオベースで具体的な状況を想定し、外部環境の認識 AI が ADS の機能に与える影響と、その影響に伴う車両安全上のリ

スクを明らかにすることを目的としたデモンストレーションを試みている。手順としては、まず路上の実写画像を対象として、最低限の標準的な交通状況を含むものの、シナリオの多様性や網羅性に欠けるテストデータを構築する。次に、このデータを用いた路上物体の検出・認識タスクにおいて良好な性能を示す AI モデルを作成する。そのうえで、このモデルに対し、遭遇頻度は低いが発生し得る非標準的な状況、すなわちエッジケース的な交通画像を入力し、その性能変化を評価する。併せて、どのような誤認識が生じ、それが事故にどのように結びつくかを分析する。これにより、例えば車両安全性を確保する上で不可欠なテストデータの品質管理不足を生じさせないように、第3者機関として批判的な評価が可能かを検討する。



“For this dataset, Zenseact AB has taken all reasonable measures to remove all personally identifiable information, including faces and license plates. To the extent that you like to request removal of specific images from the dataset, please contact privacy@zenseact.com.” 【zod.zenseact.com/license】

図1 エッジケース的な交通画像の例
(Zenseact open dataset から抜粋)

エッジケースとしては、低照度環境やモーションブラー、オクルージョンなどにより路上物体の認識が困難となる状況を想定している。エッジケース的な交通画像は、主に Zenseact open dataset (ZOD) ³⁾ を情報源として収集する。ZOD は、Zenseact が実車走行により収集した大規模かつマルチモーダルな自動運転向けデータセットであり、エッジケース的な交通画像も豊富に含んでいる。図1にその例を示す。図1から、低照度環境により背景と同化して判別が困難な車両や歩行者、また前景物によって一部が遮蔽された（オクルージョン）車両等を確認できる。これまでに、標準的な交通状況を対象としたテストデータ及び AI モデルの構築を完了している。今後は、エッジケースを含むテストデータを追加し、モデルにどのような弱点が存在するか、またそれにより安全性にどのような影響を与え得るかを検討していく予定である。

4. まとめ

国連における AI に関する議論の動向と AI に関する交通研の取組を紹介した。将来的に AI の基準を検討する際の要件のあり方の議論に反映するべく、ADS における外部環境認知 AI の品質評価方法について実験的考察を継続する。

参考文献

- 1) “Guidelines and recommendations for Automated Driving System safety requirements, assessments and test methods to inform regulatory development”, <https://unece.org/sites/default/files/2024-11/ECE-TRANS-WP.29-2024-39e.docx>
- 2) “Proposal for Terms of Reference of the Informal Working Group on Artificial Intelligence (Revision 4)”, <https://unece.org/sites/default/files/2025-06/WP29-196-24r4e.docx>
- 3) Alibeigi, M., Ljungbergh, W., Tonderski, A., Hess, G., Lilja, A., Lindstrom, C., Motorniuk, D., Fu, J., Widahl, J., & Petersson, C., “Zenseact Open Dataset: A large-scale and diverse multimodal dataset for autonomous driving,” Proc. IEEE/ CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 20121–20131, 2023.

⑤車検データを活用した使用過程車の分析

環境研究部（情報通信研究統括） ※榎本 恵 鈴木 央一 新国 哲也

1. はじめに

道路運送車両法には、車両の安全性確保や環境保全のための保安基準が定められている。検査を通じ、保安基準への適合性が確認された車両は自動車検査証が交付される。さらに、車両の使用過程において、有効期限ごとに継続的に検査が実施される。自動車技術総合機構（以降、機構）はこの継続検査を担っており、例えば令和6年6月の検査件数は472,188件¹⁾で、年間にするとおよそ6百万件にのぼる。検査場では、審査結果を電子的に取り扱うシステム（以降、高度化システム）を採用し、審査結果を蓄積している。

わが国は国連欧州経済委員会の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）の車両等の型式認定相互承認協定（以降、1958年協定）に加盟している。1958年協定の相互承認とは、自動車メーカーなどで量産される車両を前提に、事前に保安基準への適合性を確認する型式指定制度において、加盟国の認可を受け入れる制度である。1958年協定の規則は車両の使用前の型式認定を前提としているものの、車両の電動化によるバッテリー性能やソフトウェア更新など使用過程に関わる要件も含まれている。

これらのことを背景に、当研究所では検査時に取得したデータを有効活用し、継続検査等の効率化のみならず、将来的には使用過程車の基準適合性確認などの可能性について検討を行っている。

2. 車検データ

2. 1. 検査の高度化システム

平成18年から平成27年にかけて、高度化システムとして、検査機器等による審査結果を電子データとして取り扱う設備が導入され²⁾、現在全国の検査場で稼働している。

2. 2. OBD 検査について

OBDは排出ガス低減装置の故障等を診断するものとして技術基準に取り入れられた経緯³⁾があるが、ス

キャンツールにより故障内容に関する情報が読み出せることが整備等に有効であることなどから、安全関係を含めた多くの車両情報がOBD信号に含まれている。これを検査時に活用するため「車載式故障診断装置（OBD：On-board Diagnostics）を活用した自動車検査手法のあり方検討会」が平成29年から31年まで開催された⁴⁾。

OBDには、車載ECU（Electronic Control Unit）により故障コード（DTC：Diagnostic Trouble Code）が記録されている。DTCは標準規格化されているものと自動車メーカーが独自に定義しているものが存在する。さらにDTCへの記録条件は自動車メーカー毎に異なるため、故障の存在を推断できるものとして自動車メーカーが定めるDTCを特定DTCとして定義し、その情報を機構で集約する。また、OBDスキャンツールは自動車メーカー独自のもの、汎用ツールなど多様であるため、OBD検査では、通信プロトコルを定義しスキャンツールで読み取ったDTCが特定DTCかどうかを機構に問い合わせる形態としている。

令和元年に道路運送車両法が改定され、令和6年10月1日からOBD検査が実運用されることとなった。このため、令和5年から「OBD検査準備会合」を設置し徹底した準備を行い、令和6年12月からは「OBD検査モニタリング会合」を設けて運用されている。

3. データ分析

3. 1. 車検データ分析の試行

令和6年6月のOBD検査データ及び高度化システムデータから、排出ガス検査のデータ（N=407,698件）について解析を試行した。

図1に、排気中一酸化炭素（CO）濃度が規制値1%を超えて不合格となった普通自動車、小型自動車（827件）のCO測定値（縦軸）と走行距離（横軸）をプロットした。比較的走行距離が短くても不合格となるケースがみられる。

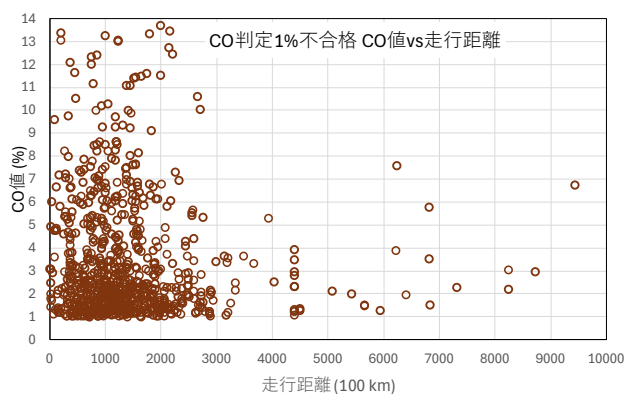


図1 CO 不合格車のCO測定量と走行距離

次に、走行距離別件数（左軸）と不合格率（右軸）を図2に示す。左右でグラフを分けているのは、走行距離のスケールが異なるためである。走行距離が長くなると不合格件数は減るものの、検査件数も減ることから、不合格率としてみるとむしろ上昇している。これは劣化の影響が示唆される一方で、大多数は合格しており、その差を生む原因がわかれば使用過程における環境性能改善につながる可能性がある。なお、全体の不合格率は0.23%であった。また、炭化水素（HC）の不合格件数と不合格率についても同様の傾向がみられた（図3）。

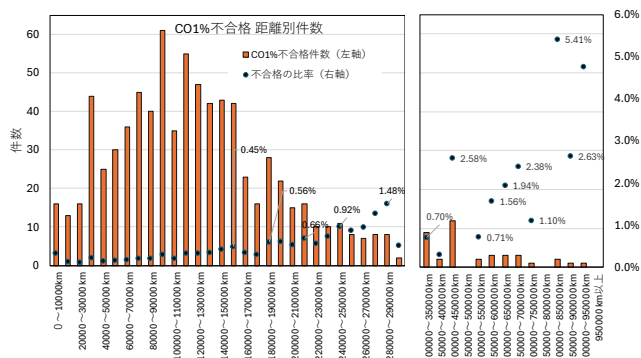


図2 CO 不合格車の走行距離別件数と不合格率

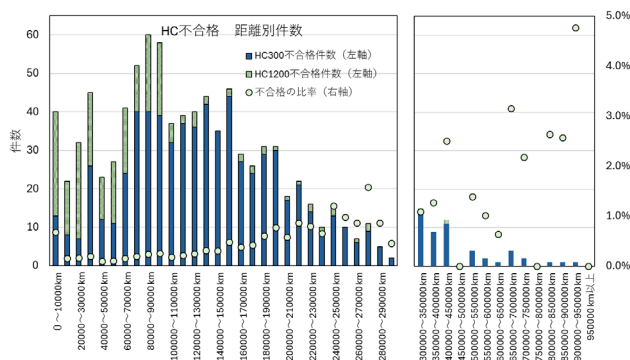


図3 HC 不合格車の走行距離別件数と不合格率

3. 2. OBFCM の活用の可能性について

令和6年6月に車載式燃料・電力消費等測定装置（OBFCM：On-board Fuel and electric Energy Consumption Monitoring）の技術基準が制定され、燃料消費量や電力消費量などの記録が義務づけられている。

また、現在、世界技術規則 GTR-No.22 では、バッテリーの耐久性要件として、年間500台以上の車両の90%以上がバッテリー容量劣化度（SOCE：State Of Certified Energy）の規制値を下回らないことを求めている。SOCE 規制値は、耐久年数5年または走行距離10万 km の乗用車で80%である。現在、この GTR の UN-R 化が進められており、国内へ導入される可能性がある。OBFCM の項目に含まれている SOCE 及び関連データはそれらに直結するもので、このようなデータの分析は着実な制度の導入に向けたポイントになると考える。

4. おわりに

検査データ、OBD 検査データを用い、使用過程車の性能や保安基準への適合性の視点で定点または時系列分析を通じて、検査の効率化や新たな基準策定や制度設計に有効活用し、これらの貴重なデータを社会に還元していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ>白書・オープンデータ>統計情報>自動車関係統計 整備 自動車検査業務量,
<https://www.mlit.go.jp/common/001470582.pdf>
- 2) 国土交通省ホームページ>政策・仕事>自動車>自動車関連情報の利活用に関する将来ビジョン検討会第6回検討会（平成26年9月19日）,
<https://www.mlit.go.jp/common/001056682.pdf>
- 3) 山本 敏朗, OBD の現状と将来の活用方策, 交通安全環境研究所講演会, 講演 6 (2016)
- 4) 国土交通省, 車載式故障診断装置を活用した自動車検査手法のあり方について（最終報告書）,
<https://www.mlit.go.jp/common/001279097.pdf>

⑥カーボンニュートラル燃料の内燃機関搭載車への利用

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、9 割近くを自動車占めており、その大半はガソリンや軽油といった液体燃料利用によるものである。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。

本稿ではこれらの燃料について、カーボンニュートラル燃料と呼称するための要件や、燃料使用時の車両影響の評価などに関する交通安全環境研究所の取り組みを紹介する。

2. カーボンニュートラル燃料

カーボンニュートラル燃料の定義として制度上確定したものではなく、どのような燃料をカーボンニュートラル燃料と呼称できるか検討する。図 1 に自動車を中心とする CO₂ 排出の概念図を示す。原油からのガソリンや軽油などの化石燃料の製造、また e-fuel やバイオ燃料の製造の際、製造工程でのエネルギー消費により CO₂ が大気中に排出される (A1、A2)。このとき

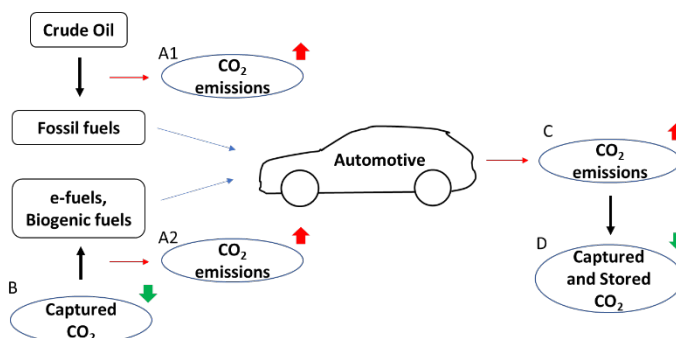


図 1 CO₂ 排出の概念図

再生可能エネルギー由来の電力を用いると A1 や A2 は限りなく小さくなる。e-fuel は大気中の CO₂ を回収 (B) して炭素源とする。バイオ燃料の場合、植物等の成長に伴って大気中の CO₂ を吸収 (B) する。任意の混合比の化石燃料と e-fuel やバイオ燃料の混合燃料を車両で使用すると CO₂ が排出される (C)。この一部を森林・海洋吸収や再生可能エネルギー由来の電力を用いる装置などにより回収および貯留する (D) ものとする。化石燃料と e-fuel を混合して用いる場合、排出分の A1+A2+C と回収分の B+D が同量になれば、CO₂ 排出は実質ゼロとなる。ライフサイクルで考える場合、さらに燃料の輸送や貯蔵、供給などで発生した CO₂ も考慮する必要があり、それらと同量を D に含めてようやく本当の意味でのカーボンニュートラルといえる。

この定義は最も厳格なものであり、実際には部分的な排出が認められている。欧州においてはカーボンニュートラル燃料に相当する燃料として、バイオ燃料は Hydrotreated vegetable oil (HVO) があり、欧州規格である EN15940 :2023 – Automotive fuels – Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods に記載がある。すでに市場導入が進んでおり、スタンドにて購入が可能である。HVO の代表的なものとして NESTE 社のものがある。CO₂ 含めた温室効果ガス (Greenhouse gas : GHG) のライフサイクルでの削減

率は化石燃料比で約 75%であり、残りの GHG 排出は製造や輸送、設備保守等によるものである。また、HVO は食料との競合があることから、競合しない別の燃料として Renewable Energy DirectiveIIIに記載されている Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO) がある。e-fuel がこれに該当し、輸送部門においては 2030 年に最低 1%の使用が義務づけられている。なお RFNBO と認定されるにはライフサイクルで化石燃料比 70%以上の GHG 削減が必要である。

一方、米国では Renewable Fuel Standard により燃料が定義されている。原料や製造方法により D3~7 まで 5 つのカテゴリがあり、最も削減率の低いトウモロコシ等由来のバイオエタノール (D6) でライフサイクルでの化石燃料比 20%以上の GHG 削減、HVO (D4) では 50%以上の削減が求められる。ワシントン州シアトル郊外の BP 社の製油所では、石油製品のアップグレード工程にバイオマス由来の原料を投入して共処理することにより GHG 排出を低減したバイオディーゼル燃料を生産している。このような共処理によって生産される燃料 (D5) は、GHG 削減率 50%以上で再生可能燃料と認定されるところ、GHG 排出 70%削減を達成している。

これらのことから、ライフサイクルでの GHG 排出が化石燃料比でおおむね 70%以上削減できる燃料をカーボンニュートラル燃料としてよいものとする。

3. 車両影響

排気量 3L の直列 4 気筒ディーゼルエンジンを搭載する小型トラックにて各種燃料を用いた排出ガス試験を実施した。走行したモードは Worldwide

Harmonized Vehicle Cycle (WHVC)であり、試験時間は 1800 秒である。なお、速度追従型の自動運転アクチュエータを用いて試験を行ったため、試験ごとの速度のばらつきはほぼない。燃料として性状の異なる HVO2 種、e-fuel はまとまった量の入手が困難であることから同様の合成プロセスで製造される Gas To Liquid (GTL) 燃料、脂肪酸メチルエステル (FAME) を軽油に 7%混合した欧州の B7 燃料、HVO を 51%軽油に混合した HVO51 燃料、基準となる JIS2 号軽油を用いて試験を行った。

図 2 にテールパイプ出口における成分濃度に排気流量を乗ずることで得られた単位時間当たりの CO₂ および NO_x 排出量の時間変化を示す。急加速を伴う 100 秒付近と 650 秒付近にて燃料による多少の差がみられるものの、それ以外ではほぼ一致した。これは入手した燃料が軽油の規格に近いものであること、燃焼による差異があったとしても排出ガス後処理システムの制御で対応できる範囲内であったことが考えられる。後処理システムへの負荷は燃料によって異なるものと考えられ、今後は後処理システムの耐久劣化についても検討していく必要がある。

4. まとめ

カーボンニュートラル燃料の要件やそれらを用いた車両影響試験の結果を紹介した。今回の試験で用いた燃料の範囲では、テールパイプでの排出ガスはおおむね同等であった。これは燃焼によって生じる排出ガスの差異を後処理システムの制御で吸収しているものと考えられ、今後は燃料種を増やしつつ後処理システムの耐久劣化についても検討していく。

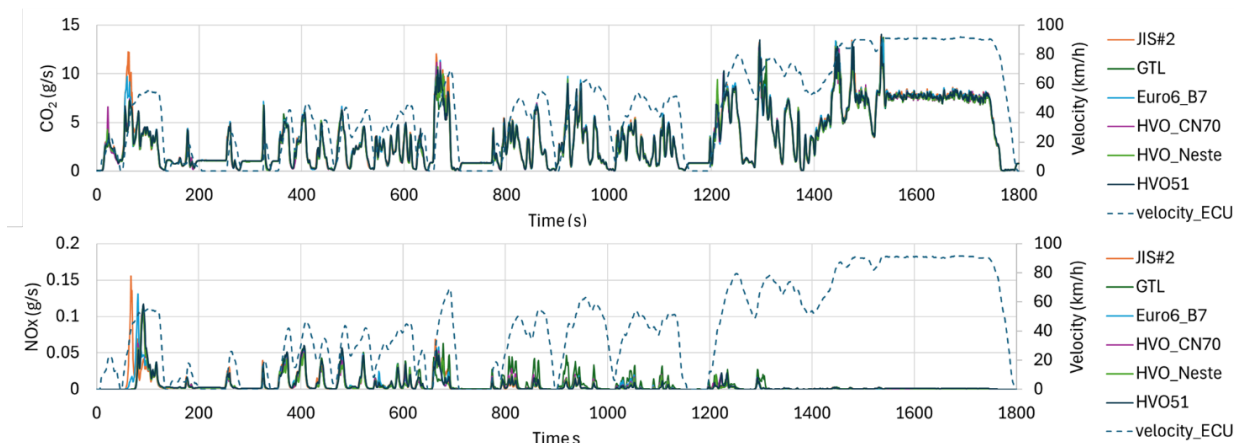


図 2 単位時間あたりの CO₂ および NO_x 排出量

⑦鉄軌道台車試験施設の更新について

交通システム研究部 ※佐藤 安弘 大野 寛之 小野 寛典

1. はじめに

鉄道の走行システムのダイナミクスに関する性能を検証する方法としては、1)実車両による走行試験、2)試験装置による台上試験及び3)計算機によるシミュレーションが主に挙げられる。台上試験では、走行試験に比べて外乱が少なく、いろいろな条件を変えて系統的に試験が行える利点がある。また、シミュレーションで必要となる計算モデルや入力諸元の調整が、台上試験では実物を扱うため不要となる利点がある。地下鉄など曲線の多い路線における走行安全性確保、レール・車輪摩耗の低減等の課題に対応するため、曲線通過試験が可能な「鉄軌道台車試験施設」(以下、「本施設」という)を昭和 63 年に当研究所に設置し¹⁾、車輪踏面形状、接触面の摩擦調整などのレール・車輪接触系の研究や、独立回転車輪台車、アクティブ操舵台車など各種台車の研究開発に活用されてきた²⁾。

本施設の老朽化した動力システム等の更新のほか、新たな機能の実装を含む更新工事が令和 7 年 3 月に完成したので、これまでの経緯と更新後の機能概要について報告する。

2. 本施設の概要

本施設では、レールを模擬する 4 輪の軌条輪の上に実物大台車を搭載して、軌条輪を回転させることにより、台車の走行状態を作り出す。本施設の概念図を図 1 に示す。軌条輪の外周部断面は JIS50kgN レール頭頂部断面形状(タイプレート角 1/40)に加工されているが、外周部をはきかえることにより、異なるレール断面に交換可能である。

本施設の設置当初より、曲線走行状態の再現は、①軌道の平面曲率に対応するものを軌間中心の鉛直軸回りの回転角(軌条輪角)として軌条輪に与える、②軌道の内外軌の長さの差に相当する分だけ内外軌の軌条輪の回転速度に差を付ける、③遠心力とカントの

過不足分だけ横方向力を車体に与える、ことの 3 点により行っている。さらに、曲線通過時の台車ボギー角付与機能を平成 16 年に追加している。

これらのうち、軌条輪角を与えるには、軌条輪軸受が取り付けられている軌条輪ベッドを、専用モータでスクリーギヤを駆動することにより、曲線半径に応じた所定の角度だけ水平面上で回転させて実現する。また、内外軌回転速度の差は、左右の軌条輪をそれぞれ別の駆動軸で駆動し、片側の駆動系に差動歯車装置を配し、それを副モータで駆動することにより、左右の駆動軸を異なった回転数で回転させて実現する。横方向力の付加は、同図右側に位置する横方向力付加装置によって静的に行うことができる。さらに、ボギー角付与機能は、荷重枠支持装置において荷重枠球頭支持部をモータにより左右変位して実現する。

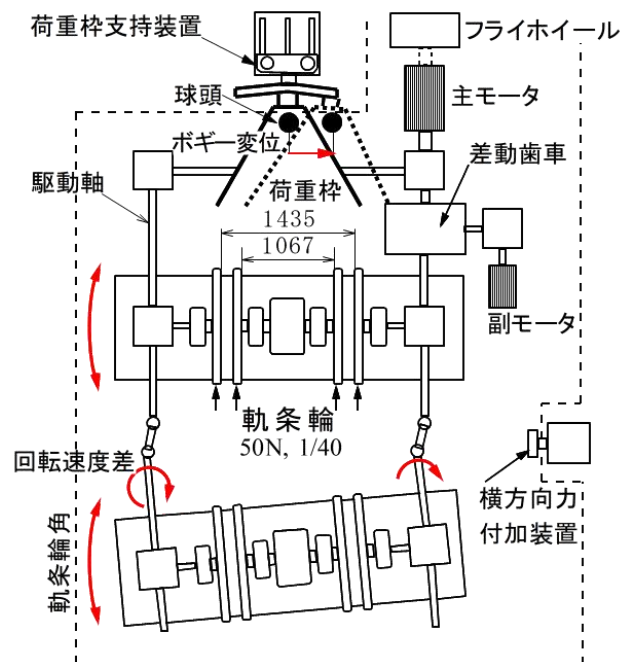


図 1 鉄軌道台車試験施設の概念図

3. これまでの主な成果

本施設を用いてこれまで曲線通過試験を中心に実施しており、車輪踏面形状の改良による曲線旋回性能の評価、レール・車輪間の摩擦調整による曲線旋回性能の評価、ボギー角をアクティブに操舵する台車の評価などについて報告した²⁾。ここでは、前記以外の主な例について簡単に報告する。

3. 1. 摩耗試験

曲線通過中の車輪等の摩耗量を把握するため、曲線状態で連続的に走行を続け、採取した摩耗粉の量を試験条件(曲線半径やレール・車輪潤滑条件等)により比較して摩耗状況を調べる試験を行った。走行中に測定が可能なレール・車輪接触力から摩耗量を推定する新たな指標を提案し、この指標により潤滑条件によらず摩耗量を推定することが可能となることを示した³⁾。

3. 2. 操舵台車の走行抵抗試験

台車のボギー角に応じて輪軸を操舵する方式の操舵台車について、曲線通過時の横圧や走行抵抗を測定し、輪軸の操舵がない通常台車条件に比較した性能向上効果を明らかにした。本施設へのボギー角付与機能の追加によって、この試験が可能となった。

直線走行時の本施設の消費電力に対する曲線通過時における増加分を測定し、走行抵抗に換算した。その結果、操舵台車では通常台車と比較して曲線通過時の走行抵抗が減少することを明らかにした⁴⁾。

4. 本施設の更新

4. 1. 更新の経緯

電気関係部品の故障等を契機に老朽化の調査を実施した結果、基幹部品である主モータや副モータ及び動力制御盤については、直流モータ及びサイリスタ制御方式が採用されており、後継機種や代替機種がないため修理が不可能で、試験中に故障した場合は重大な支障を来す恐れがあることが判明した。さらに、平成16年に更新した制御コンピュータが令和5年に故障し、本施設のプログラム運転ができない状態となった。交換部品が手に入らないため、制御コンピュータ及びソフトウェアの更新が必要となった。

一方で、営業列車を用いた軌道の状態監視の研究開発が近年進められていることから、軌道の異常の早期発見を支援する状態監視システム(センサ)を搭載した台車の技術要件の検討等に活用できるよう、軌道変位の機能追加を検討した。

4. 2. 更新後の仕様

主モータや副モータを交流モータに変更するとともに、動力制御盤をインバータ駆動方式に変更した。

一方で、軌道変位の機能として、軌道の通り変位に相当する曲率の模擬のため、軌条輪角付与の速度を0.03deg/sec から0.2deg/sec に向上するとともに、軌道の平面性変位の模擬のため、4箇所(1箇所)の軌条輪のうち1箇所を上下に変位(±10mm)できるようにした。

軌条輪角と曲率との関係は式(1)、曲率と正矢との関係は式(2)、軌条輪角付与の速度と軌条輪角との関係は式(3)でそれぞれ近似的に示される。

$$\Psi = \sin^{-1}\left(\frac{b\rho}{2}\right) \quad (1) \quad \rho = \frac{8Al}{L^2} \quad (2) \quad Av = \frac{\Psi}{\left(\frac{L}{2V}\right)} \quad (3)$$

ここに、 Ψ :軌条輪角、 b :軸距、 ρ :曲率、 Al :正矢、 L :弦長(10m)、 Av :軌条輪角付与の速度、 V :通過速度

具体的には、 $Av=0.2\text{deg/sec}$ であるため、式(1)から(3)より、 $Al=22\text{mm}$ 、 $V=40\text{km/h}$ や、 $Al=10\text{mm}$ 、 $V=85\text{km/h}$ などの条件で軌道の通り変位に相当する曲率の模擬が可能である。

また、平面性変位については、例えば、緩和曲線長がカントの300倍となる緩和曲線を軸距2.1mの台車が走行する場合の構造的な軸距平面性変位は7mmとなるので、この条件の模擬が可能である。

5. まとめ

本施設の概要を説明するとともに、これまでの主な成果及び更新後の機能について簡単に報告した。本施設の老朽化した動力システム等を更新したほか、軌道変位の機能追加のため、軌条輪角付与の速度向上及び軌条輪上下変位機能の追加を実施した。

今後は、状態監視システムを搭載した台車の試験を含め、さまざまな条件での試験等を通じ、引き続き各種台車の性能評価等に本施設を活用していく予定である。

参考文献

- 1) 松本ほか、平成元年度交通研発表会講演概要、pp.19-22 (1989)
- 2) 佐藤ほか、平成16年度交通研発表会講演概要、pp.187-190 (2004)
- 3) 一柳ほか、交通研フォーラム2023、pp.29-32 (2023)
- 4) 岩本ほか、操舵台車の曲線通過性能評価(曲線走行抵抗、省エネ効果の確認)、J-RAIL2014、S3-2-2 (2014)

⑧ GOA2.5 自動運転の安全性評価のための係員動作の比較検討

交通システム研究部 ※工藤 希 望月 駿登 三好 正太

1. はじめに

人口減少社会を迎え、鉄道事業者においても係員不足が深刻な問題であることから、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。「鉄道における自動運転技術検討会とりまとめ」¹⁾ (以下、「とりまとめ」という)によれば、自動運転を導入する線区は、一般的な路線での安全性と同等以上の性能を確保することを基本としている。当研究所では、この安全性を示すための安全性評価手法の検討を行ってきた²⁾。

今回、自動運転のうち、GOA2.5 (Grade Of Automation 2.5:緊急停止操作等を行う係員付き自動運転)の評価に資する検討として、GOA2.5において列車前頭に乗務する係員 (以下、「2.5 係員」という) 相当と運転士との動作の違いをシミュレータ試験により確認したので報告する。

2. GOA2.5 の評価について

とりまとめにおいて、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 requirements : 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) を基に GOA として定義している。

上記規格には GOA2.5 の定義はないが、鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準において、「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。なお、GOA2.5 は九州旅客鉄道(株)香椎線において実用化されているほか、東京地下鉄(株)及び南海電気鉄道(株)において検討が進められている。

とりまとめにおいて、2.5 係員は動力車操縦者運転免許を有しないため、操縦及び列車保安に関わる判断

はできないが、列車前方に異常を認めた場合の緊急停止操作等を担うとされており、列車の運行に密接に係る作業を行うこととなる。一方、列車保安に対しては、システムが安全性を確保する必要があり、システムの安全性を評価するにあたり、2.5 係員の作業を想定して評価を行う必要がある。そこで、従来の運転士と 2.5 係員相当として車掌経験者の乗務中における動作の違いについて比較することとした。

3. 運転シミュレータによる試験

車掌経験者と運転士経験者がそれぞれ列車前頭に乗務したときの動作の違いを確認するためにシミュレータ試験を行った。

3. 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) は、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用い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、環境条件 (天候、時間帯)、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設定することができる。



図 1 列車運行システム安全性評価シミュレータ

3. 2. 動作の把握試験

本試験では、障害物のある路線を車掌経験者が列車

前頭に乗務したときの操作及び視線計測、並びに運転士経験者が運転したときの操作及び視線計測により実態把握を行った。障害物は、線路中央に白色の四角形を配置した。障害物を発見した場合、運転士経験者は通常業務と同様に停止操作を行う。一方、2.5 係員は本来であれば緊急停止ボタンを操作するが、シミュレータに緊急停止ボタンが無いことから、試験において車掌経験者は障害物を発見した場合、シミュレータに既設の警笛又は連絡ブザーを押下することで代用した。試験には、15 名の被験者が参加した。15 名は 20 代から 40 代で運転士経験者が 5 名、車掌経験者が 10 名である。なお、路線最高速度は 70km/h である。

試験結果を図 2～図 4 及び表 1 に示す。図 2 及び表 1 は、障害物を視認し操作を行った際の障害物からの距離を示す。図 2 及び表 1 より、運転士経験者に比べ、車掌経験者が操作を行った距離は近いことが分かる。また、図 3 に試験中の視線計測の一例を示す。図中、橙色の記号（○□+）が視線の位置である。運転士は線路前方を注視する傾向であるのに比べ、車掌経験者はそれ以外の箇所にも視線を向ける傾向があった。これは、車掌は通常、列車最後尾の運転台に乗務しており、列車前頭における安全確認は定常業務ではなかったためと予想される。

また、図 4 に通常の乗務中に意識して見ている物体についてヒアリングした結果を示す。運転士経験者は

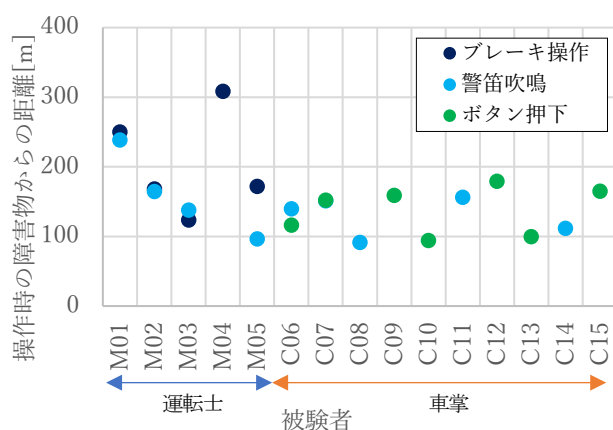


図 2 被験者毎の操作時の障害物からの距離

表 1 操作時の障害物からの距離[m]

		最大値	最小値	中央値
運転士	ブレーキ操作	308.8	124.0	172.1
運転士	警笛吹鳴	238.7	96.8	151.5
車掌	警笛吹鳴又はボタン押下	179.5	91.6	145.7

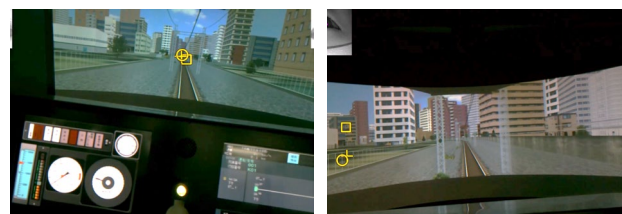


図 3 視線計測例（左：運転士経験者、右：車掌経験者）

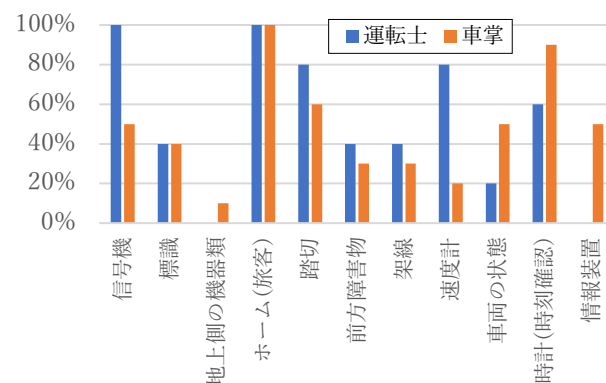


図 4 通常業務中に意識して見ている物体

信号機及び速度計を意識しているが、車掌経験者は時刻及び情報装置を意識していることが分かる。

このように、車掌経験者は、前頭での安全確認が定常業務ではなく、重点的に見ている物体は運転士経験者と異なるため、GOA2.5 の検討に当たっては、2.5 係員の業務とそのために必要な教育を踏まえてシステムの安全性評価を行う必要があると考えられる。

4. 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に資する検討として、運転士経験者と車掌経験者の乗務中における動作の違いを確認した。その結果、運転士経験者と車掌経験者とで動作に違いがあることが分かったことから、システムの評価の際にはこのような違いを踏まえた検討が必要と考えられる。今後も引き続き、鉄道における自動運転の評価手法について検討を行いたい。

参考文献

- 1) 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>
- 2) 工藤ら，“鉄道の自動運転における安全性評価手法の検討”，交通安全環境研究所フォーラム 2024, pp25-28

⑨ 踏切障害事故の実態分析 ー踏切道がある自動運転に向けた基礎的検討ー

交通システム研究部 ※工藤 希 押立 貴志（客員研究員）

1. はじめに

鉄道の自動運転について、踏切道がある等の一般的な路線を対象とし、個別路線の特徴を踏まえた検討が進められている。本研究では、運輸安全委員会において事故調査報告書が公表される列車脱線事故に至ったものを除き、「鉄道安全データベース¹⁾」から、平成26年度から令和5年度までの10年間を対象に、踏切障害事故（踏切道において、列車又は車両が道路を通行する人又は車両等と衝突し、又は接触した事故）の原因、衝撃物、及び衝撃物の発見距離を分析した。また、踏切道に関わる輸送障害の態様を分析した。この分析に基づき、自動運転における踏切事故防止に関わる基礎的検討を行った。

2. 踏切障害事故の分析

2. 1 踏切障害事故の傾向

分析の対象とした10年間の踏切障害事故件数は2,223件である。表1及び図1のとおり、原因別では、直前横断が1,207件（54.3%）と最も多い。次に、停滞等（停滞のほか、落輪、エンストを含む。）が646件（29.1%）である。

表1 原因別・衝撃物別の件数(10年間)

		原因別						計
		直前横断	側面衝撃	停滞等	限界支障	装置故障等	その他	
自動車	小型乗用	173	65	164	15	0	6	423
	普通乗用	103	62	102	15	0	2	284
	小型貨物	61	15	42	4	1	0	123
	普通貨物	12	0	19	9	0	1	41
二輪等	特種・特殊	8	1	13	2	0	5	29
	二輪・原付	46	11	37	2	0	0	96
	軽車両	102	6	144	14	1	15	282
歩行者		702	19	125	1	1	97	945
計		1,207	179	646	62	3	126	2,223

直前横断の衝撃物別では、歩行者が702件（31.6%）と最も多く、次に自動車が349件（15.7%）である。

停滞等の衝撃物別では、自動車が327件（14.7%）と最も多い。次に二輪等（二輪車のほか、原付、軽車両、特殊車を含む）が194件（8.7%）である。

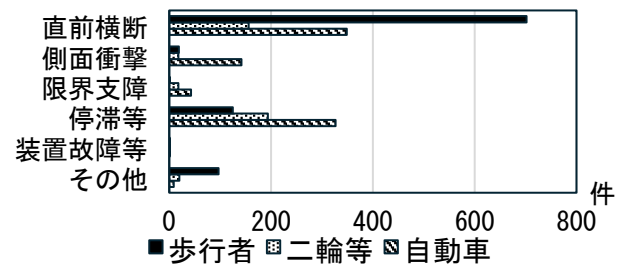
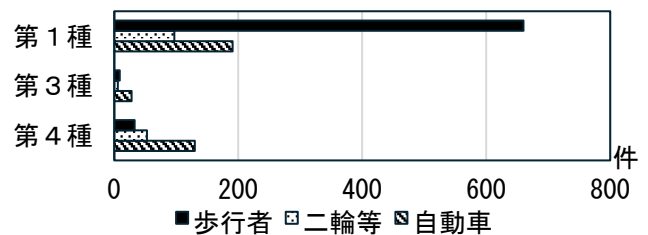


図1 原因別の衝撃物件数(10年間)

2. 2 直前横断の分析

直前横断(1,207件)では、図2のとおり、第1種踏切道での歩行者の事故が660件（54.7%）と最も多い。これは、警報機が鳴動し、遮断機が降下しているにも関わらず踏切道内に侵入したものと考えられる。直前横断に対しては、列車運転士による手動運転、自動運転に関わらず事故を防ぐことは容易ではなく、踏切道通行人等の安全通行行動が必要となる。



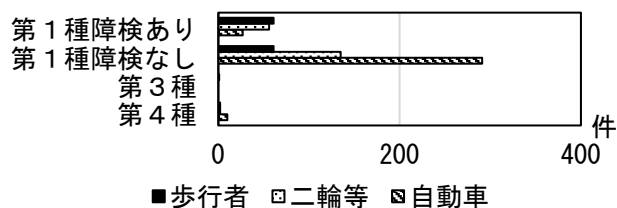
備考：第1種とは、踏切警報機及び遮断機を設けている第1種踏切道であり、第3種とは、踏切警報機を設けている第3種踏切道である。第4種踏切道とは、これらの踏切保安装置を設けていないものである。

図2 原因が直前横断の踏切種別の件数(10年間)

2. 3 停滞等の分析

停滞等(646件)では、第1種踏切道での自動車の事故が318件（49.2%）と最も多い。図3のとおり、第1種踏切道を自動障害物検知装置の有無に分けると、自

動車の事故の防止には、自動障害物検知装置は大きな効果があることがわかる。そのため、自動運転では、自動障害物検知装置の検知情報を列車の制御に使用することにより、更なる事故防止が期待できる。



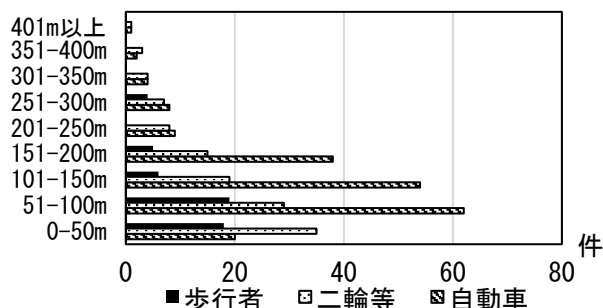
備考：障検とは、踏切道内を支障する自動車を自動的に検知する自動障害物検知装置である。

図3 停滞等の踏切種別（自動障害物検知装置の有無）の件数(10年間)

停滞等(646件)において、踏切道の支障物を運転士が発見した場合にブレーキを制御するものの事故に至ったケースで、衝撃物を発見した距離が事故概要から推定できたものは371件(57.4%)である。

図4のとおり、自動車は150m程度の距離で発見したものが多く、歩行者は100m程度の距離で発見したものが多く、これには時間帯や線路条件等による分類は行っていない。また、運転士が支障物を発見して支障物の手前で列車が停止したものは、踏切障害事故ではないためこれに含まれない。

列車の速度を70km/h、空走時間2s、ブレーキ減速度を4.0km/h/sとするとブレーキ距離は約209mとなる。一方、時間帯や線路条件等を踏まえると、停滞等の事故防止は、列車運転士による手動運転、自動運転に関わらず、踏切道通行人等の踏切外への脱出・退避など安全通行行動が必要である。



備考：本検討では、事故概要に支障物発見距離の記載がないものは、列車の運転速度及び事故後の列車の停止位置から、ブレーキ操作開始位置を推定し、これを支障物発見距離と仮定した。

図4 停滞等の衝撃物の発見しブレーキを操作した距離別の件数(10年間)

3. 踏切道に関わる輸送障害の分析

次に、事故に至らない状況として、輸送障害（列車の運休又は旅客列車の30分以上若しくは貨物列車の1時間以上の遅延の発生のもの）のうち、踏切道に関わるものについて分析した。踏切道に関わる輸送障害は、対象とした10年間で2,707件発生している。これには踏切障害事故や、短時間の列車遅延のトラブルは含まれない。列車停止に至る状況を分析すると、表2のとおり、警察・消防等からの踏切道を支障する自動車の連絡や、踏切保安設備の集中監視装置による異常検知などにに基づき、指令が列車の停止を指示したものが1,197件(44.2%)と最も多い。次に踏切道の非常押ボタンの操作や、自動障害物検知装置による特殊信号等による停止が981件(36.2%)である。これらについては、自動運転では異常発生情報により直ちに列車を停止させるシステムの導入等が必要である。

また、列車運転士が踏切道を支障する歩行者や自動車等を発見し、その手前で停止したものは105件(3.9%)である。

表2 踏切道に関する輸送障害件数(10年間)

列車停止に至る状況	件数	比率(%)
1. 指令の指示等で停止	1,197	44.2
2. 特殊信号等で停止	981	36.2
3. 運転士が異音等を感知して停止(通過時等)	57	2.1
4. 運転士が遮断桿等の異常発見(通過時等)	94	3.5
5. 運転士が支障物手前で停止	105	3.9
6. 支障物を行き過ぎて停止	136	5.0
7. 停車中の運転士が支障物発見	13	0.5
8. 支障物が自主退避	86	3.2
9. 詳細不明	38	1.4
計	2,707	100

4. おわりに

本研究は、平成26年度から令和6年度までの10年間の踏切障害事故(2,223)件及び踏切道に関わる輸送障害(2,707件)を分析した。踏切事故防止には、踏切道通行人等の安全通行行動に加え、自動障害物検知装置や指令等の指示による列車停止が大きな役割を果たしていることが分かった。今後の自動運転においては、異常発生情報により列車を直ちに停止させるシステムの導入等を進めることが重要である。

参考文献

- 1)「鉄道安全データベース」公益財団法人鉄道総合技術研究所作成

⑩路面電車における LiDAR センサを用いた 前方車両の検知手法の検討

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

路面電車では、運転士の目視運転により車両同士の衝突を防いでいる。(公財)鉄道総合技術研究所が作成した鉄道安全データベースによると、2019 年から 2023 年までの軌道における衝突事故件数の半数程度は、運転士の思い込みや判断ミスによるものである¹⁾。このため、前方車両への接近を運転士に知らせることで、衝突事故件数を削減することができ、ひいては衝突事故に伴う運休や運行遅延を減らすことができる。そこで、運転士に対し前方車両に接近していることを知らせるために、レーザを照射して検知物体との相対位置を出力する LiDAR(Light Detection And Ranging)センサ²⁾を用いて前方車両を検知する手法について検討した。一方、LiDAR センサは検知物体が何であるかを認識できない。また、路面電車のカーブは一般的な鉄道のカーブに比べて急であるため、図 1 に示すように、車両が走行する位置のデータベースを車上にもち、かつ LiDAR センサを設置した車両(以下、自車両)の前方に前方車両の認識範囲(図 1 の水色)を設定した場合、前方車両以外の物体を前方車両として認識することが懸念される。

本研究では自車両の前方が直線区間と曲線区間において、LiDAR センサを用いて前方車両を検知する手法について検討した。実車を用いたデータにより本手法の実現可能性を検討した内容を報告する。

2. 前方車両の検知手法の概要

本手法では自車両の前方に設置した LiDAR センサにより前方車両を検知する。路面電車はレールの上のみを走行するため、自車両の位置を検知できれば、自車両が走行しようとする場所を設定できる。ここで、自車両が走行しようとする軌間の中心位置の群を走行路という。また、前方車両はこの走行路上に存在すると仮定できる。そこで、図 2 に示すように、本手法では自車両の位置を LiDAR センサの出力の原点と

し、車上のデータベースをもとに走行路(図 2 下図の緑色の線)を設定する。そして、設定した走行路の付近を前方車両の認識範囲とし、この範囲内に LiDAR センサの出力があれば、この物体を前方車両として認識することとした。ここで、走行路にキロ程のような 1 次元の位置情報のみを使用する場合、方向の情報がないため、前方車両が直線区間か曲線区間を走行しているかを判断できない。そこで、走行路は 2 次元の位置情報とし、本手法では緯度・経度を用いる。そして、車両が走行する位置のデータベースは、衛星測位の機器を用いて事前に測定したデータをもとに作成した。

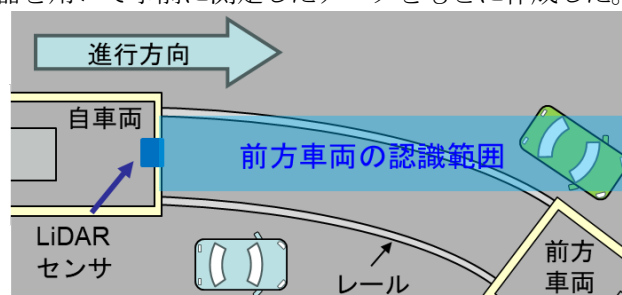


図 1 車両前方に検知範囲を設定した場合

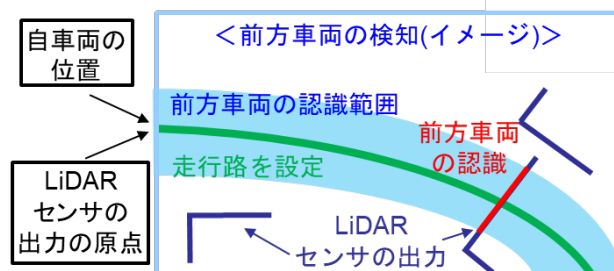
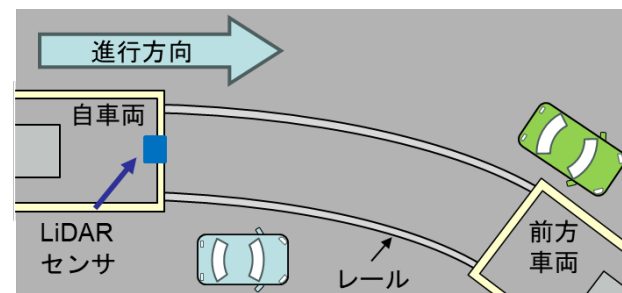


図 2 前方車両の検知手法の概要
上の図：自車両と前方車両の状況
下の図：前方車両の検知のイメージ

3. 検証条件と検証結果

3. 1. 検証条件

前述の検知手法を検証するにあたり、軌間の内側にある物体を前方車両として認識することとした。図3に示す二つの場面において、自車両が前方車両を検知可能かについて検証した。



(a) 自車両の前方が直線区間の場面

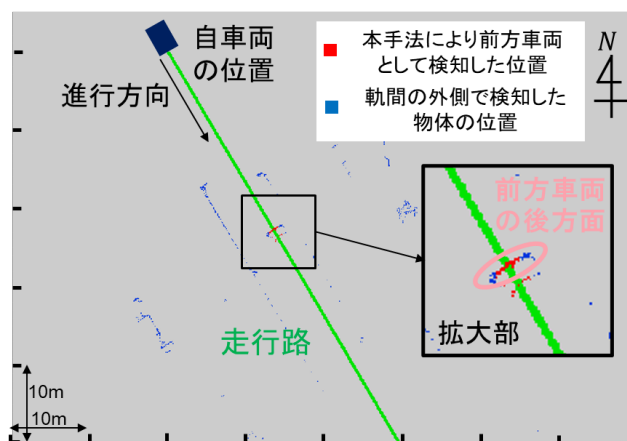


(b) 自車両の前方が曲線区間の場面

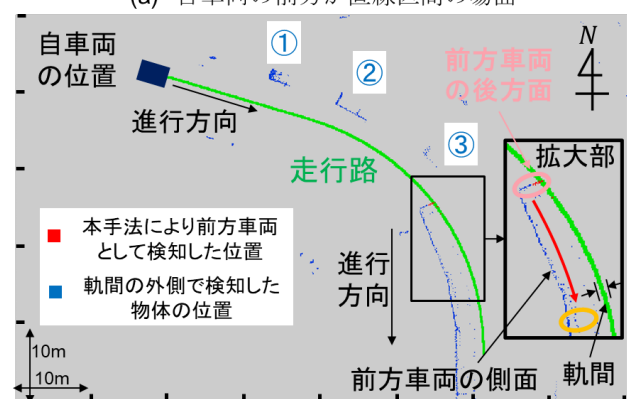
図3 前方車両の検知手法を検証する際の前方写真

3. 2. 検証結果

図3の各場面での前方車両の検知結果を図4に示す。ここで、図4の緑色は車上のデータベースを用いた走行路、赤色は前方車両として検知した物体の位置、青色は軌間の外側で検知した物体の位置を表す。図3(a)の赤枠に示すように前方車両が存在していることにに対し、図4(a)に示す前方車両の後方面の検知結果(以下、後方面)が赤色である。この結果から、自車両の前方が直線区間の場面では前方車両を検知可能であることを確認した。また、図3(b)に示す自動車①～③が軌間の外側にあり、かつ前方車両が存在している場合に、図4(b)の検知結果は検知物体のうち後方面のみが赤色である。この結果から、自車両の前方が曲線区間においても前方車両を検知可能であることを確認した。一方、緑色の走行路は軌間の中心位置の軌跡であるため、後方面の中心位置は走行路上にあると考えられるが、図4(b)では自車両の進行方向に対して走行路の右側にある。このため、図4(b)の拡大部において、前方車両が走行することで、検知した前方車両の側面に沿って後方面が移動するとした場合、後方面はさらに走行路の右側(図4(b)の橙色)で検知すると考えられる。この場合では、後方面が軌間の外側にあるため、前方車両として認識できない。これは自車両の前方に曲線区間があり、かつ検証するために算出した自車両の位置が実際の位置より後方であることから生じたものと思われる。



(a) 自車両の前方が直線区間の場面



(b) 自車両の前方が曲線区間の場面

図4 前方車両の検知手法の検証結果

4. まとめ

本研究では、路面電車の運転士に前方車両への接近を知らせるために、LiDAR センサを用いて前方車両を検知する手法を検討した。その結果、自車両の前方が直線区間であれば、前方車両を検知可能であることを確認した。一方、自車両の前方が曲線区間であり、かつ自車両の位置等が正確でなければ前方車両を検知できない場合があることを確認した。今後は曲線区間においても前方車両の検知を可能とする手法について検討していきたい。

謝辞

路面電車によるデータ取得は広島電鉄株式会社の協力を得て実施しました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 鉄道技術推進センサー 鉄道安全データベース
<https://www.rtri.or.jp/tecce/>, 2025/6/9
- 2) 代理店メーカーサイト http://www.kobeseiko.co.jp/Livox_Horizon.html

⑪全国の地域公共交通計画の類型化と課題抽出に関する研究

交通システム研究部 小林 貴

1. 研究背景と目的

2020 年の地域公共交通活性化再生法改正により、市町村に地域公共交通計画の策定が努力義務化された。2024 年 4 月時点で計画策定済みの自治体は全体の約 60%に及んでいる。既存研究では計画策定プロセスに着目した研究はみられるものの、各計画に盛り込まれた政策内容を分析した研究は限定的である。

本研究は、全国の市町村が策定した地域公共交通計画を収集し、記載内容を横断的に分析することで、複数の側面（地域交通課題の認識、データ活用、計画立案プロセス、評価など）に基づいて各自治体を特性ごとに分類し、それらの関連性を分析し、計画立案過程の課題を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2. 1. データ収集

「〇〇県 〇〇市 交通計画」といった文言でウェブ検索を行い、1202 件の地域公共交通計画を収集した。道路交通計画や交通安全計画は除外し、全自治体の約 7 割の計画を収集した。

2. 2. 分析方法

収集した計画の記載内容を以下の 9 つの大分類（地域交通課題、移動需要把握、最適化手法、エリア選定、事前評価、合意形成、新規交通手段導入、計画の具体性、事後評価）に分け、各大分類内の小分類項目（例えば「人口減少」の問題意識について記載されているか）について記述の有無を調査した。大・小分類項目については下調査をもとに決定した。

各大分類についてクラスタリングを実施し、自治体の特性による類型化を行った。さらに、小分類項目間の関連性をロジスティック回帰により分析した。

3. 結果

3. 1. 記載内容の実態

表 1 に各小分類項目の出現率を示す。「人口減少」「高齢化」「公共交通利用者減少」「交通弱者の移動手段確保」などは 0.9 前後の高い出現率を示し、ほぼ全計画が言及していた。一方、GPS 等の OD データ活

用（0.10）、路線・ダイヤ最適化（0.00-0.02）、新規公共交通導入（0.16）、自動運転・小型モビリティ（0.02-0.05）は極めて低く、先進的手法の普及が進んでいない実態が明らかになった。

表 1 地域公共交通計画の記述出現率

大分類	小分類：記述の有無の調査項目	出現率
地域交通課題	人口動態	0.95
	人口減少	0.98
	高齢化	0.94
	公共交通利用者減少	0.90
	自家用車への依存	0.30
	高齢運転者による交通事故	0.46
	運転者	0.84
	駅周辺の活性化	0.87
	運転手不足	0.77
	地域交通網	0.96
	運転手の高齢化	0.96
	交通空白地域	0.95
	公共交通の維持困難	0.94
	利便性・安全性	0.44
	公共交通の利便性向上	0.83
移動需要把握	バス停の危険性	0.54
	社会要因	0.73
	通院・通学の不便さ	0.52
	観光客減少（コロナ禍の影響）	0.89
	データソース	0.90
	パーソントリップ調査の使用	0.78
	国勢調査の使用	0.96
	独自アンケート調査の実施	0.10
	県や市町村の公表データの使用	0
	既存公共交通機関の利用者数データの使用	0
	GPS 位置情報等 OD データの使用	0
	その他データの使用	0
	手法	0
	四段階推定法やアクティビティベースドモデル等手法の活用	0
	最適化手法	0
エリア選定	路線最適化手法の活用	0
	ダイヤ最適化手法の活用	0.69
	エリア選定方法	0.76
	具体的地域名	0.48
	事前評価	0.40
	費用の事前評価	0.54
	初期費用の事前評価	0.81
	維持費用の事前評価	0.33
	補助金使用	0.02
	効果や便益の事前評価	0.26
	交通シミュレーション実施	0.37
	合意形成	0.68
	パブリックコメント実施	0.88
	ワークショップ実施	0.16
	意見交換実施	0.02
新規交通手段導入	協議会開催	0.05
	新規公共交通路線の運行開始	0.02
	自動運転車の導入	0.05
	グリーンスローモビリティなどの導入	0.01
	小型・パーソナルモビリティの導入	0.01
	実証実験による新たな公共交通の模索	0.48
	計画の具体性	0.65
	新たなルートや路線の運行	0.72
	新たなダイヤでの運行	0.85
	路線や停車場の調整	0.87
	本数や時間帯等ダイヤの調整	0.90
	事後評価	0.81
	中間・事後評価方法の記述	0.81
	評価項目設定	0.81

3. 2. クラスタ間の関連性分析

図1にクラスタリング結果の関連性を示す。この図は、異なる大分類間で各自治体の地域公共交通計画がどのように分布しているかを視覚的に表現したものである。縦棒は、分析対象とした各大分類（例えば、地域交通課題、移動需要把握など）における個々のクラスタを示す。縦棒の長さは、そのクラスタに属する自治体数に比例しており、クラスタの規模を表す。長い縦棒は、より多くの自治体があるクラスタに属していることを意味する。帯は、ある大分類の特定のクラスタに属する自治体が、別の大分類のどのクラスタに分布しているかを示す。帯の幅は、一方のクラスタから他方のクラスタへ移行する自治体数の相対的な量を表す。太い帯は、二つのクラスタ間に強い関連性がある、つまり、一方のクラスタに属する自治体の多くが、他方の特定のクラスタに属する傾向が強いことを示唆する。逆に、細い帯は、関連性が弱い、または該当する自治体の数が少ないことを意味する。

大分類「地域交通課題」における「総合型」クラスタに分類される自治体は、大分類「移動需要把握」において主に「公開データ型」と「実態調査重視型」に分かれている。これは、課題を総合的に認識している自治体であっても、その需要把握手法には二つの異なるアプローチが存在することを示している。特に「実

態調査重視型」は大分類「合意形成」における「ワークショップ型」と強い関連を持ち、住民参加型の計画立案を重視する自治体群の存在が見て取れる。

一方、大分類「地域交通課題」の「基本課題型」クラスタは、大分類「移動需要把握」では「公開データ型」、「最小データ型」、「意識調査中心型」とほぼ同程度に割り振られており、相対的に最小限のデータ取得にとどまる「最小データ型」の割合が高いことがわかる。

大分類「合意形成」から大分類「新規公共交通導入」への流れを見ると、「ワークショップ型」と「意見交換型」は主に「実証実験型」へと接続している。これは、住民参加型の合意形成を行う自治体が新たな交通手段を導入する際に、実証実験を通じた段階的アプローチを採用する傾向が強いことを示している。

大分類「新規公共交通導入」から大分類「計画の具体性」への流れでは、「実証実験型」は「包括的改善型」との関連が強い。これは、実証実験を重視する自治体が、その結果を踏まえて包括的な計画改善に結びつけていることを示唆している。一方、「導入消極型」クラスタからは「最小具体化型」への流れが見られ、新たな公共交通の導入に消極的な自治体は、具体的な計画立案においても最小限の対応に留まる傾向がある。

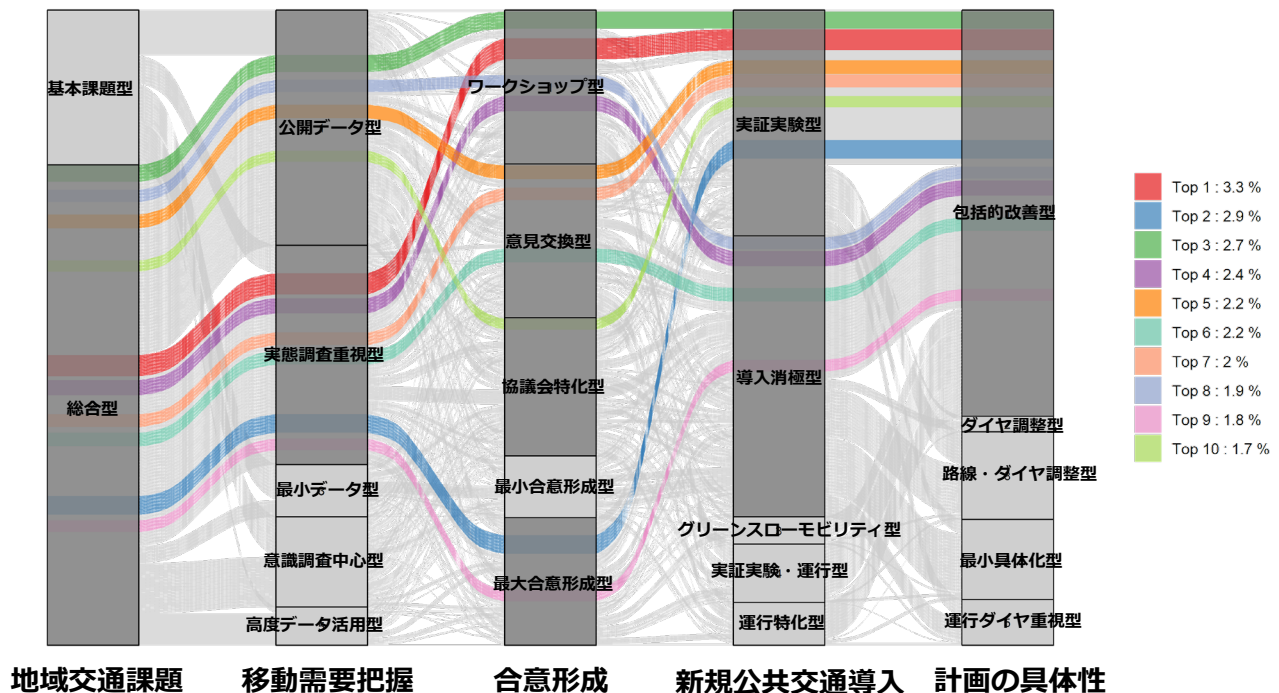


図1 交通計画策定に関わる自治体タイプの類型化

3. 3. 記載内容の関連性分析

前節で大分類のクラスタ間の関連性から自治体の地域公共交通計画立案における類型化と課題を示した。次に、これらの関係をより詳細に理解するために、計画に記載されている小分類の項目間の関係性を分析する。図2に計画の記載内容の関連性の分析結果をネットワーク図に示す。図中の円周状に配置された灰色の円とその中の濃い灰色の多角形は各大分類の小分類項目の出現頻度をレーダーチャートで表現している。分類間の関連性はネットワークエッジ（赤色矢印線）で表現され、小分類間の関係をロジスティック回帰の係数（オッズ比）を算出し、関係の強いエッジのみを示している。オッズ比は一般に、1.5以上で弱い関係、2以上で中程度、5以上で強い関係があると解釈される。図中に表示されているエッジはすべて10以上の強い関係のエッジである。

(1) 計画の記載内容の関連性

この図より、大分類「地域交通課題」を中心に「移動需要把握」、「計画の具体性」、「事後評価」に強いエッジが多く伸びていることがわかる。「地域交通課題」に接続しているエッジが多いことから、多くの自治体は地域交通に関する課題の認識は十分にしており、そのことが計画に記載されていることがわかる。そして、課題に対して、移動需要に関するデータにアクセスしようとしている意図が認められる。アクセスして

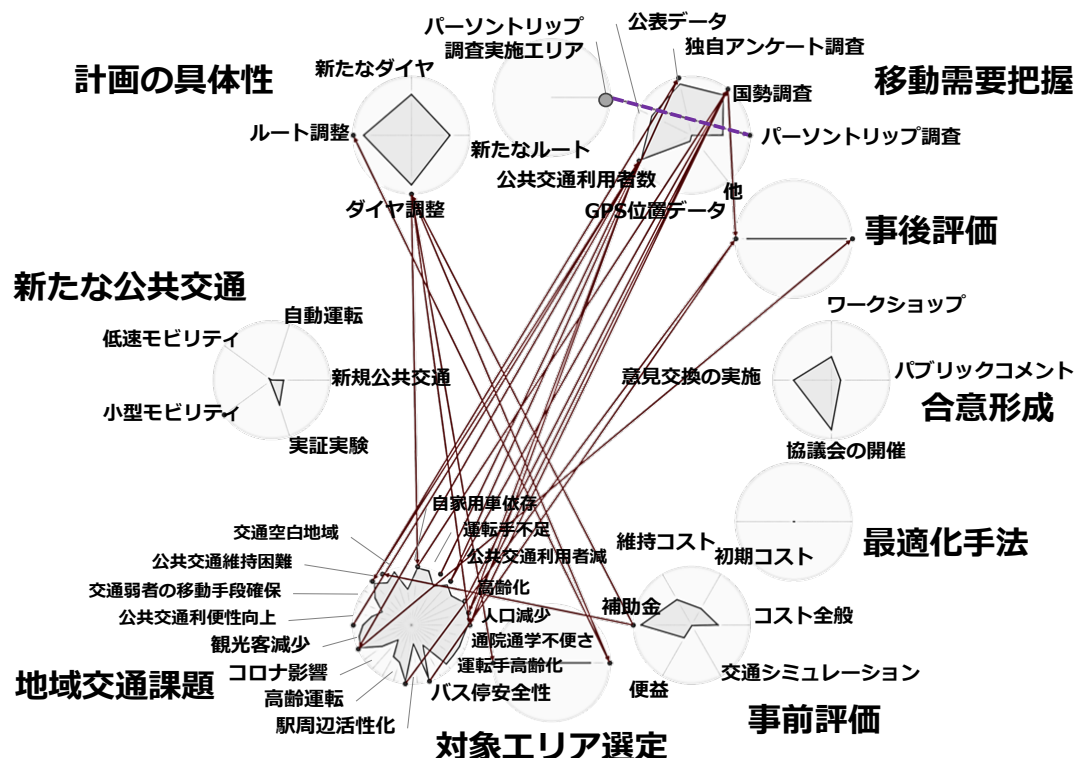
いるデータは独自に行う「アンケート調査」や「公共交通利用者数」が多い。しかし、アクセスしたデータから大分類「計画の具体性」にエッジが伸びておらず、関連性が弱いことがわかる。つまり、課題に対してデータを取得しようとする意図は認められるものの、それが計画の具体性には結びついていない可能性がある。

計画の具体性として既存路線の新たなダイヤを作成することやダイヤの調整をする点が計画に記載されているものの客観的なデータに基づくものではない可能性が示唆される。

(2) パーソントリップ調査データと計画策定の関連

交通計画の検討をするためには、「いつ」、「どこから」、「どこへ」、「なんのために」、「何人」移動需要があるかを把握する必要があり、時間帯や目的など多くの属性のODデータが必要となる。こういった多くの属性を有するデータとして、パーソントリップ調査があげられる。

図中紫点線は、地域公共交通計画内のパーソントリップ調査に関する記述と、対象の市町村においてパーソントリップ調査が実施されているか否かを示す変数との関係を示している。このオッズ比は1.3であり、関係性が低いといえる。つまり、過去にパーソントリップ調査が実施されており、使用可能なデータが



存在することが、計画策定時に影響していないことがわかる。さらに、大分類「移動需要把握」のパーソントリップ調査の点からは計画の具体性や合意形成にエッジが伸びておらず、計画の実行に関して影響を及ぼしていないことがわかる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、全国の市町村が策定した 1202 件の地域公共交通計画の内容を横断的に収集・分析し、以下の実態と課題を明らかにした。

- ・多くの自治体は地域交通に関する課題の認識は十分にしているものの、課題から具体的施策の立案・実施に至るプロセスには断絶が生じている可能性がある。
- ・特に、データの収集と活用において、計画立案者が移動需要に関するデータにアクセスしようとする意図は認められるものの、収集したデータが具体的な計画策定に効果的に活用されていない実態が示された。
- ・独自アンケート調査や公共交通事業者のデータは多く利用されているが、それらが最適なルートやダイヤの設計など、計画の具体性に十分に結びついていない可能性がある。また、パーソントリップ調査についても、実施の有無と計画内容の具体性に強い関連性は見られなかった。

本研究から得られたデータの収集と活用の限界に関する知見は、①データの空間的・時間的解像度の不足、②専門的知識を持った人材の不足、③最適化手法などの分析技術の不足、の3点から生じていると考えられる。このことは、今後の地域公共交通計画策定のプロセス改善に向けた示唆を与えるものである。特

に、簡便なデータ収集・分析手法の開発や、専門的知識を持たない担当者でも活用できる計画支援ツールの整備、さらには計画の実効性を高めるための評価手法の確立が急務であると考えられる。

今後の課題として、①容易に入手可能なデータから潜在移動需要を把握する方法、②最適な公共交通のルートやダイヤを出力できる方法、③シミュレーションを行わなくても簡便に顕在化移動量が推計できる方法、④費用や便益を評価できプランを比較検討できる方法等、の開発が必要である。これらの方法論の確立により、自治体の規模や人材に関わらず、効果的な地域公共交通計画の策定が可能になると考えられる。

当研究所ではこれらの点を解決可能な交通計画支援ツールを開発中である(図3)。今後はこのツールの開発を進めるとともに、地域における実証を目指し自治体や交通事業者との連携を模索していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：地域公共交通計画の作成状況一覧
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001597329.pdf> (アクセス日 2025/4/20)
- 2) 義浦大輔：地域公共交通計画の実態と課題に関する全国調査，土木学会論文集 D3 (交通工学) (土木学会編)，土木学会,183-188,2023 年.
- 3) 竹内龍介・吉田樹：自治体におけるコミュニティバスとデマンド交通の導入実態及び計画プロセスの差異に関する研究，土木学会論文集 D3, 78 巻 6 号，2022.
- 4) 各市町村の「地域公共交通計画」に関する公式ウェブサイト (アクセス日 2024/10~2025/4)



図3 交通計画支援ツール

⑫後部座席乗員の被害軽減に関する検討

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

自動車の後部座席は衝突時の車室侵入量の影響を受けにくいことから、かつては前席よりも安全だと考えられてきた¹⁾。しかし、運転席や助手席では、前席エアバッグなど様々な乗員拘束機構等により対策がされてきたのに対して、後席の衝突安全対策は遅れている状況にある。また、特に後席では乗車中に姿勢変化を生じやすくシートベルトが骨盤から外れやすい姿勢をとることがある²⁾。

筆者らは、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、小柄女性ダミーを用いてスレッド試験を実施し調査したところ、リラックスした姿勢（腰を前に出した姿勢）ではラップベルトが骨盤から外れることを確認した。

そこで、今回は学童用ブースタークッションを用い骨盤に対するラップベルト角度を大きくすることでリラックスした姿勢におけるラップベルト脱落防止について検討したのでその結果について報告する。

2. 実験概要

2. 1 シートベルトによる乗員拘束

図1に3点式シートベルトシステムによる乗員拘束を示す。

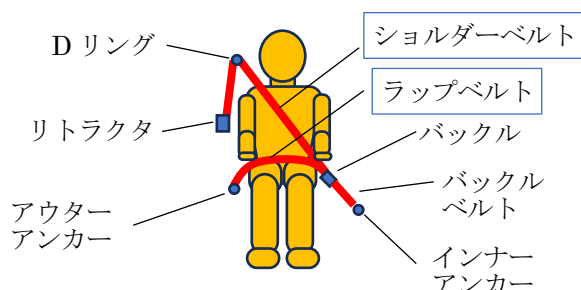


図1 3点式シートベルトシステム

シートベルトによる拘束力は、人体の最も堅牢な部位である骨格に加えられる必要があり、衝突中にショ

ルダーベルトは鎖骨と胸郭に、ラップベルトは骨盤前縁で保持されなければならない。

2. 2 乗車姿勢等とシートベルトによる乗員拘束

シートベルトの装着は乗員自身が行うが、体格や乗車姿勢によりベルトパスが異なる。これは、シートベルトと車体との接続点（インナーアンカー、アウターアンカー）が固定されていることや、Dリングの調整機構がない車両が増えているためである。

図2に体格及び姿勢によるシートベルトパスの違いを示す。ショルダーベルトは、成人男性の平均的な体格では適切に装着ができて、小柄な乗員では座高が低い場合首にかかることがある。また、ラップベルトについては、衝突試験の基準姿勢に比べて、腰を前に移動したリラックス姿勢では腹部が前方に移動するため角度が浅くなる。ラップベルトの角度が浅くなると骨盤から脱落する可能性が高くなる²⁾。

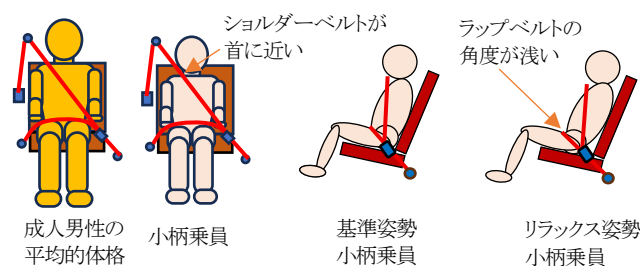


図2 体格及び姿勢によるシートベルトパスの違い

2. 3 乗員拘束の改善について

小柄乗員について学童用のブースタークッションを用いて座高を補完する方法についてスレッド試験により検討した。図3に実験に使用したブースタークッションを示す。図4に実験条件を示す。

UN-R129/03 に適合しており身長100cm～150cm までの乗員に対応。座面高さは実測で、後側 110mm、前側 130mm



図3 ブースタークッション

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。後席に小柄女性ダミー (AF05) を搭載し条件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、条件③では条件②にブースタークッションを用いた。各条件におけるダミー挙動と傷害値を比較した。



図4 ダミーの搭載条件

3. 実験結果

ダミーの挙動を図5に示す。初期状態では条件①②③ともにシートベルト経路は同様であった。その後、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）が作動を開始すると、衝突後 $T=0.025s$ には条件①②でショルダーベルトが首側に移動した。さらに、衝突後 $T=0.100s$ では、条件①③のショルダーベルトは衝突開始直後の位置で上体部の拘束を維持し、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。

条件③では、条件②と同じリラックス姿勢であったが、ジュニアシートを使用することによりラップベルトは骨盤拘束を維持するとともに、ショルダーベルトが首側に移動することも抑制することができた。

図6にラップベルト張力と胸部変位の時間履歴を示す。ラップベルト張力からは、条件①と条件③ではラップベルトが骨盤を拘束し続けているのに対して、条件②では 0.05s 付近では骨盤拘束からはずれ、その後は腹部を圧迫していることがわかる。

胸部変位は、条件③が最も大きな値を示す結果となった。これは、条件③ではショルダーベルトが胸郭中央を保持し続けたのに対して、条件①、②ではプリテンショナー作動時にショルダーベルトが首側に移動

し、特に条件②ではショルダー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。明瞭

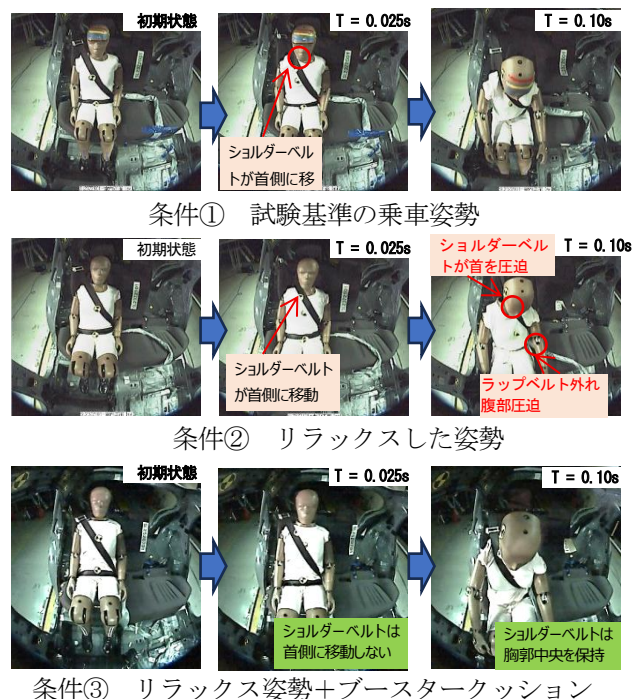


図5 ダミーの挙動

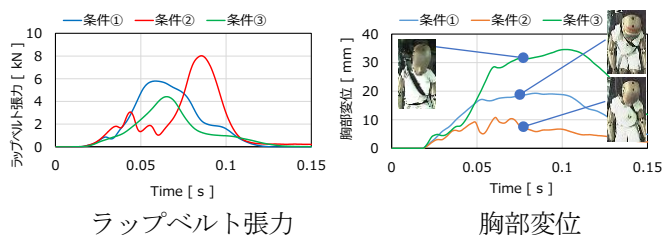


図6 ラップベルト荷重と胸部変位の時間履歴

3. まとめ

本検討により、学童用ブースタークッションを用いることでリラックスした姿勢でも衝突時にラップベルトの腰部拘束を保持できることが確認できた。ただし、胸部変位については乗員拘束方法やその他の対策を含めて検討する必要がある。

参考文献

- 1) Sahraei E., Digges K., Marzougui D. (2010). Reduced protection for belted occupants in rear seats relative to front seats of new model year vehicles. Ann Adv Automot Med 54: pp. 149–158.
- 2) 田中良彦 他, 自動車乗員の着座時における骨盤角度の静的計測と走行時の時間変化, 自動車技術会 秋季講演会, 2024

⑬マルチボディモデルの関節構造が 歩行者ダミーの衝突挙動に及ぼす影響

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

交通事故における乗員や歩行者の被害状況を解析するために、実車実験やシミュレーションといった手法がとられる。実車実験は、必要なコストや時間の制約により実施可能な衝突条件が制限される。一般的なマルチボディ解析や有限要素法解析などのシミュレーションは、実車実験より多くの衝突条件を検討可能だが、計算時間には数時間から数日を要する。そのため、実車実験、シミュレーションともに過去の知見等によって選定された限られた衝突条件を対象としており、多様な衝突条件の網羅的な調査は困難となる。そこで、実車実験や有限要素法解析の前工程で、より適切な衝突条件を選定するために多様な衝突条件を網羅的に調査する手法として、PC-Crash¹⁾に着目した。PC-Crash は交通事故調査²⁾などに用いられるソフトウェアであり、剛体の衝突挙動をわずか数分程度で解析できる。簡易的なマルチボディモデルを用いて乗員や歩行者を模擬して衝突挙動解析も可能であるが、PC-Crash データベースの標準人型モデル(Default モデル)は人体や衝突ダミーを詳細に再現していないため、衝突挙動の再現精度に課題がある。

本研究では、Default モデルより高精度にダミーの衝突挙動を再現可能なマルチボディモデルを開発することを目的とし、衝突ダミーを実測して開発したマルチボディモデルを用いて、関節構造が衝突挙動に及ぼす影響を調査した。

2. ダミーモデルの開発と関節構造

Hybrid-III AM-50 Pedestrian(Hybrid-IIIダミー)を実測し、各部位の寸法と仕様重量を再現した NTSEL ダミーモデル Ver.1 を開発した。図 1 に Hybrid-III ダミー、Default モデルと NTSEL ダミーモデル Ver.1 を示す。NTSEL ダミーモデル Ver.1 は、身長・体重が Hybrid-IIIダミーとほぼ同等であり、肩関節、肘関節、手、腹部の楕円体が Default モデルと異なる構造

である。また、頭部形状が扁平楕円体であること、頭部と首の接続位置が頭部中心からオフセットした位置であることも Default モデルと異なる。

NTSEL ダミーモデル Ver.1 の関節構造は Default モデルに準拠しており、肩と手首のボールジョイント、肘と足首の一軸ヒンジが Hybrid-IIIダミーの関節構造と異なる。これらの関節構造の差異が衝突挙動に影響する可能性を考慮し、本研究では Hybrid-IIIダミーの関節構造に準拠した NTSEL ダミーモデル Ver.2 も開発した。図 2 に NTSEL ダミーモデル Ver.2 を示す。拡大図に示すように、関節部の球体を介して 2 つの一軸ヒンジで接続することで二軸関節を再現した。

また、PC-Crash のマルチボディモデルは、ボールジョイントやヒンジの可動抵抗、回転域を定義できる。NTSEL ダミーモデル Ver.1 の可動抵抗と回転域は、Default モデルと同等の値を用いた。NTSEL ダミーモデル Ver.2 の可動抵抗は、Hybrid-IIIダミーと同様に各部位の自重を支えられる程度に調整し、回転域は Hybrid-IIIダミーに準じて調整した。

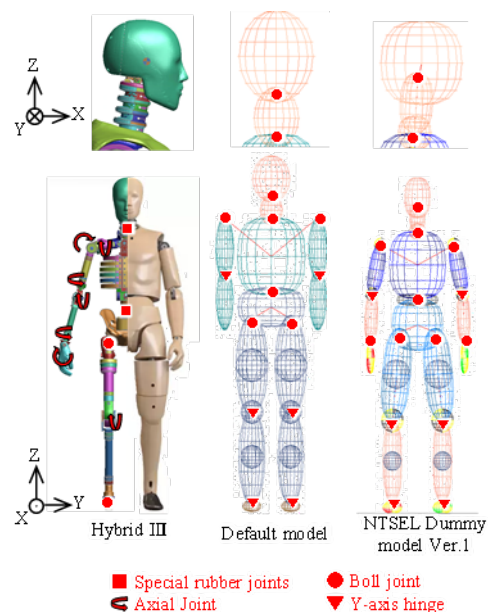


図 1 Crash Dummy and Multibody Model Joint

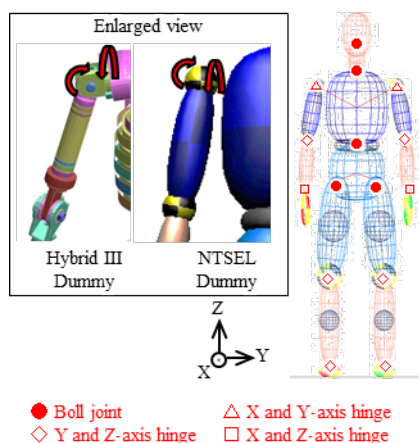


図2 NTSEL Dummy Model Ver.2

3. 衝突挙動の比較

マルチボディモデルの関節構造が衝突挙動に及ぼす影響を調査するため、実車実験結果と Default モデル、NTSEL ダミーモデル Ver.1 及び Ver.2 を用いたシミュレーション結果を比較した。

図3に車対歩行者衝突における衝突挙動を示す。いずれのモデルの挙動も車両との一次衝突までは実車実験結果と近似した。Default モデルは200 ms以降に体幹を軸とした捻じりが発生した。NTSEL ダミー

モデル Ver.1 は400 ms以降に腕部が頭上を越えて背中側まで回転した。NTSEL ダミーモデル Ver.2 は600 msまでの全身の回転と腕部挙動が実車実験に近似しており、すべてのモデルの中で最も実車実験に近い挙動を示した。また、実車実験ではダミーの頭部右側から地面へ落下したが、Default モデルは左腰、NTSEL ダミーモデル Ver.1 は右足、NTSEL ダミーモデル Ver.2 は右肩から地面に落下し、いずれも実車実験と異なる挙動を示した。これはモデルを構成する楕円体の特性(剛性、反発)の影響であると考えられる。

以上の結果より、マルチボディモデルの関節構造が衝突挙動に及ぼす影響は大きく、ダミーの関節構造を再現したマルチボディモデルによって PC-Crash の衝突挙動解析精度が向上することが明らかとなった。

参考文献

- 1) Wach W, "Simulation of Vehicle Accidents using PC-Crash", Institute of Forensic Research Publishers, (2011)
- 2) 本宮 嘉弘, 高塚 尚和, “軽微な事故で横転する軽ハイトワゴンの危険性”, 日本交通科学学会誌, Vol.17, No.2, pp.34-41 (2018)

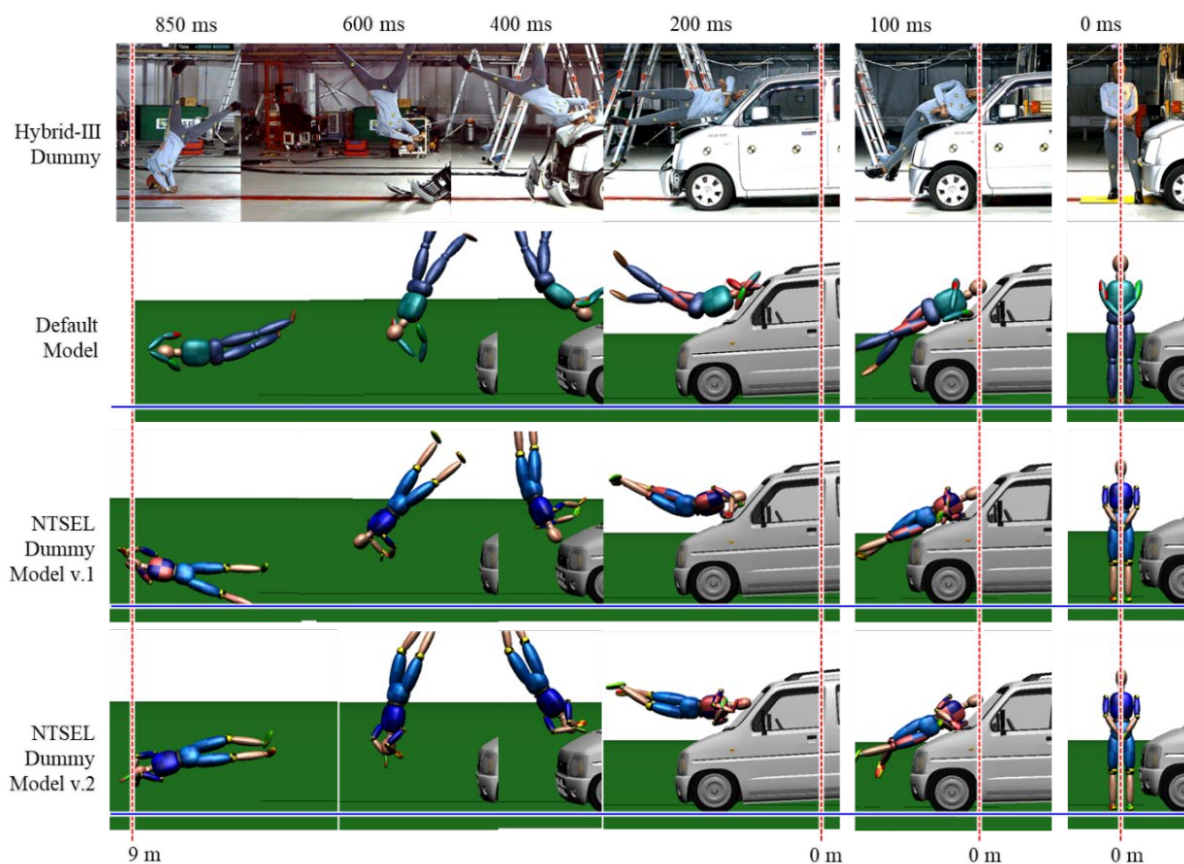


図3 Pedestrian Behavior

⑭人を対象とした車両前方ソナーの検知特性

自動車安全研究部
東京都立大学

※松井 靖浩 細川 成之
及川 昌子

1. はじめに

日本では、車両の発進時、前方の歩行者と衝突する死亡事故が報告されている¹⁾。特に、ドライバがわが子や縁故者を轢いてしまう事例も発生している²⁾。発進時の事故への対策として、カメラにより車両前方や周囲の映像を運転席で確認する技術が開発されている。ただしこの場合、ドライバがモニターを注視しない限り、周囲の歩行者を認識することはできない。一方、車両発進前に物体をソナーにより検知し運転者に警告することで、物体と車両との衝突を回避する技術が既に開発されている。車両前方ソナーは、発進及び駐車時に一定範囲の衝突危険性のある壁を始めとした障害物を検知し、ドライバへ音や表示で警告することで車両単独事故予防支援を主目的としている。本研究の目的は、車両前方ソナーにおける人検知の可能性を明らかにし、歩行者事故の予防装置としての活用可能性を検証することとした。

2. 調査方法

軽乗用車 2 車種（軽乗用 I、軽乗用 II）、小型セダン 1 車種、ミニバン 1 車種の計 4 車種を対象とした。軽乗用 I、小型セダン、ミニバンの車両前方ソナーには、センターセンサ、コーナーセンサがあり、それぞれ 2 個装着されている（図 1 (a), (c), (d)）。軽乗用 II には、コーナーセンサが 2 個装着されている（図 1 (b)）。本実験では、車両前部に対する人の立位向きを正面、横向きの 2 条件とし、各センサの検知距離を調査した。ソナーは物体を検知すると、軽乗用 I、軽乗用 II、ミニバンでは表示警報が表示され警告音が鳴るが、小型セダンでは警告音のみ鳴る。軽乗用 I は、ドライバがセンサの照射範囲を遠、中、近の 3 種切り替え可能としており、本実験では遠に設定した。

本実験参加者は、7 歳子供（以下、子供と呼称）、大人女性、大人男性各 1 名の計 3 名とし、独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理審査にお

いて承認を得た上で調査を実施した。実験参加者の身長は、子供が 126 cm、大人女性が 156 cm、大人男性が 171 cm であった。比較対象として、ソナー開発時の試験用に使用されている ISO 規定に準拠した塩化ビニール製のパイプ（高さ 1 m、直径 75 mm）を用いて同様の調査を実施した。



図 1 車両前方ソナー装着状況概観

計測に関係ないセンサを鉄板で塞ぐことにより、特定センサの検知点を評価した。センターセンサに関しては、図 2 に示すように、被験者が車両中心線上を車両に向かって前進し、警告音が安定して鳴る位置を検知点とした。コーナーセンサに関しては、軽乗用 I 及び II の場合、図 3 (a) に示すようにコーナーセンサを通り車両中心線と平行な線をコーナーセンサ延長線とし、被験者が同延長線上を車両に向かって前進し、警告音が安定して鳴る位置を検知点とした。

小型セダン、ミニバンの場合、図 3 (b) に示すように、フロントコーナーを起点とし車両中心線と 45° の線をフロントコーナー延長線とした。被験者は同延長線上を車両に向かって前進し、警告音が安定して鳴る位置を検知点とした。車両から各検知点までの距離を検知距離として計測した。分析では、パイプの検知距離に対する人の検知距離の比を式(1)のように対パイプ比とした。

$$\text{対パイプ比 (\%)} = \frac{\text{人検知距離}}{\text{パイプ検知距離}} \times 100 \quad (1)$$

尚、軽乗用Ⅰのセンターセンサに関しては、インストルメントパネル内の表示警報が表示される時の距離と警報音が鳴る時の距離は異なることから、両者を計測結果とした。

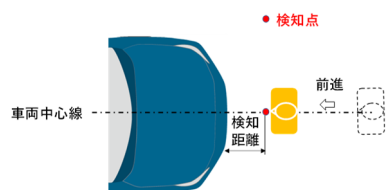


図2 センターセンサにおける検知距離の測定

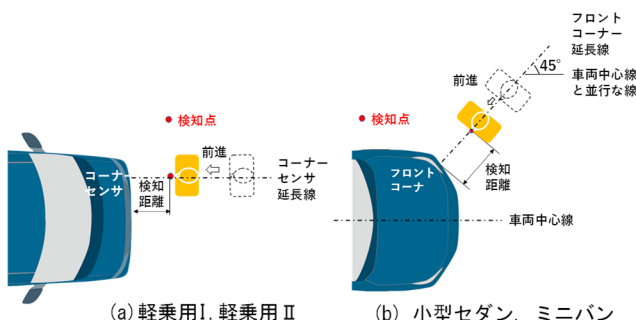


図3 コーナーセンサにおける検知距離の測定

3. 実験結果

人が正面を向いている条件での対パイプ比を図4に示す。センターセンサの対パイプ比は、子供が99~101%、大人女性が93~101%、大人男性が98~101%であった(図4(a))。コーナーセンサの対パイプ比は、子供が99~102%、大人女性が94~102%、大人男性が96~100%であった(図4(b))。

人が横向きの条件での対パイプ比を図5に示す。センターセンサの対パイプ比は、子供が97~100%、大人女性が92~97%、大人男性が94~99%であった(図5(a))。コーナーセンサの対パイプ比は、子供が94~99%、大人女性が91~98%、大人男性が93~98%であった(図5(b))。

4. おわりに

子供、大人女性、大人男性各1名の計3名を対象とし、車両前方ソナーにおける人検知の可能性を実験的に調査した。供試車両は、軽乗用車2車種、小型セダン1車種、ミニバン1車種の計4車種とした。本実験により、ソナーは人も検知可能であることが明らかとなった。但し、ソナーによる人検知は、人表面の形状に依存する可能性があり、ソナーに加えてカメラ等の併用も事故予防支援技術として必要と考える。

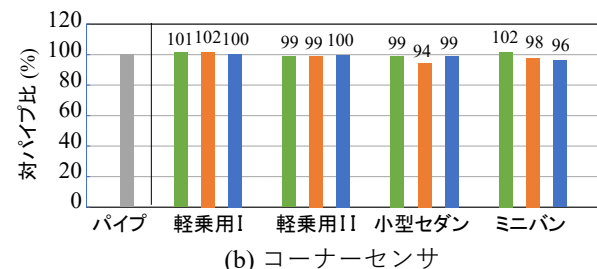
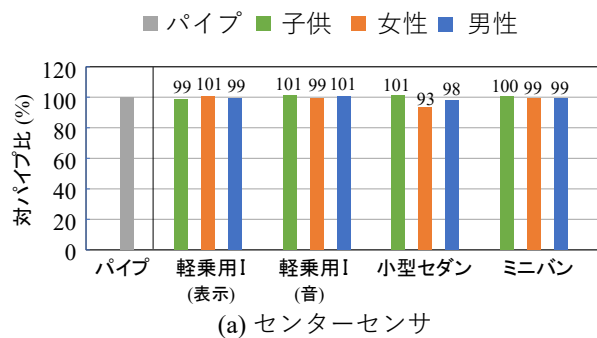


図4 人が正面向きの条件での対パイプ比

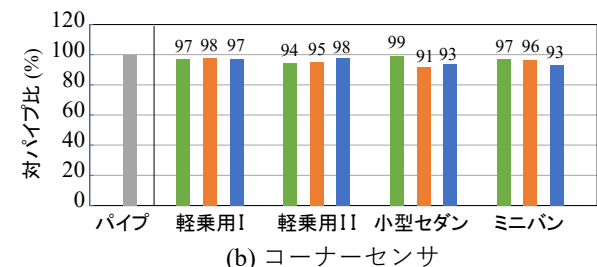
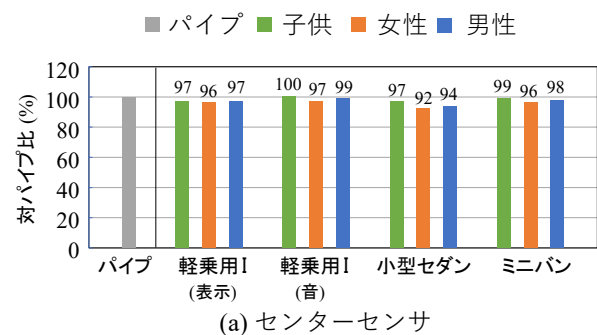


図5 人が横向きの条件での対パイプ比

参考文献

- 1) Matsui, Y. and Oikawa, S., "Situational characteristics of fatal pedestrian accidents involving vehicles traveling at low speeds in Japan", Traffic Injury Prevention, Vol. 20, No. S1, pp. S1-S6 (2019)
- 2) 交通事故総合分析センター:「低速で子どもが轢かれる事故一繰り返される発進時の悲劇」ITARDA Information, No. 141 (2022)

⑮ フィルム貼付が前面ガラスの光透過特性に及ぼす影響

自動車安全研究部

※加藤 洋子

松井 靖浩

関根 道昭

青木 義郎

伊藤 紳一郎

1. はじめに

自動車の前面ガラスは、一般的に図1に示すように鉛直から α の傾斜角度を有する。運転席のドライバの視線方向が地面に対し水平であると仮定すると、ドライバは $90^\circ - \alpha$ の角度のガラスを通して前方の交通状況を確認することになる。車両によって前面ガラスの傾斜角度 α は異なるため、前面ガラスの傾斜角度が光の透過特性に及ぼす影響を把握する必要がある。また、近年、前面ガラスに着色フィルムや減光フィルムを貼付した車両が存在し、そのような場合の透過特性への影響は不明である。本研究は、前面ガラスの傾斜角度を変化させた場合、そして、着色フィルムや減光フィルムを貼付した場合の光の透過特性を明らかにすることを目的とした。ここでは、光の透過特性として、分光透過率及び可視光線透過率を調査した。

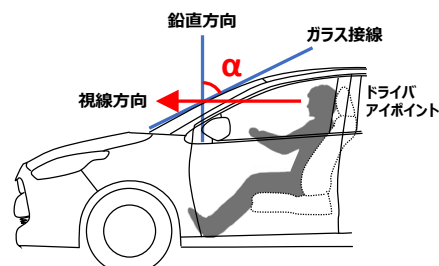


図1 前面ガラスの傾斜角度

表1 試験片に貼付したフィルム

試験片No.	想定貼付位置	フィルム分類	製造国
1	フロント	着色	日本
2	フロント	着色	日本
3	フロント	着色	日本
4	フロント	着色	日本
5	リア	減光	日本
6	フロント	減光	中国
7	フロント	着色	中国
8	フロント	着色	中国
9	フィルム貼付なし		

2. 調査方法

本研究は、コンパクトカー1台及び1Box車1台を選定し、その前面ガラスを調査対象とした。2車種それぞれ、協定規則¹⁾の手法に則し計測したアイポイント相当位置を含むように前面ガラスを切削し、フィルムを貼付しないガラス単体の試験片 (No. 9)、アイポイント相当位置を中心に縦 400 mm×横 300 mm の着色フィルムを貼付した試験片 6 種類 (No. 1~4, 7, 8)、同位置、同サイズで減光フィルムを貼付した試験片 2 種類 (No. 5, 6) の計 9 種類を用意した (表1)。図2にコンパクトカーの試験片 No. 4 の様子を示す。

実験装置は、試験光源、遮光板、光放射抑制治具、試験片、回転台、分光放射照度計より構成した (図3)。回転台上に切削端を下にして試験片を設置、試験片が光源に対して垂直となる角度を 0° とし、ガラス上アイポイントを中心に回転台を 0° から 70° まで 10° 刻みで回転させ、傾斜角度 α の試験片を通過した分光放射照度を測定した。実車における前面ガラスの傾斜角度は、コンパクトカーが 63.2° 、1Box車が 50.7° であったため、それらの角度でも計測することとした。以上によって計測した角度毎の分光放射照度と、試験片なしで計測した分光放射照度の比により、分光透過率 $T(\lambda)$

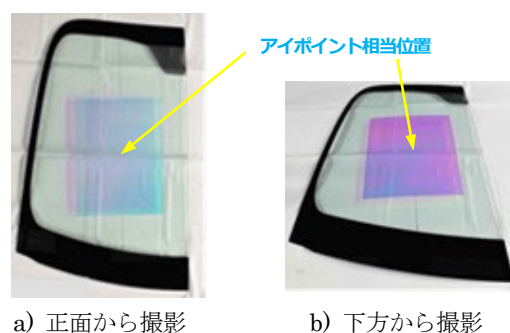


図2 フィルムを貼付した試験片の様子 (コンパクトカー, 試験片 No.4)

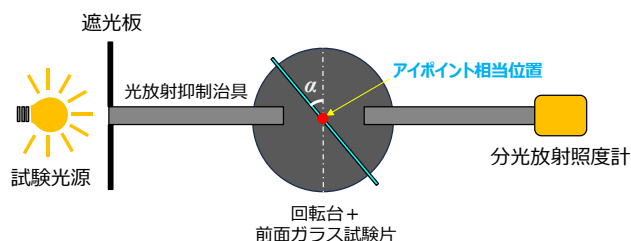


図3 実験装置概略図

を求めた (式(1))。そして、CIE 15:2004²⁾に準じ、式(2)(3)により標準イルミナントAの可視光線透過率 Y を算出した。なお、本研究では波長間隔 5 nm として可視光線透過率を求めた。

$$T(\lambda) = \frac{E(\lambda)_{\text{glass piece}}}{E(\lambda)_{\text{without glass piece}}} \quad \cdots (1)$$

$T(\lambda)$: 試験片の分光透過率 λ : 波長 [nm]

$E(\lambda)_{\text{glass piece}}$: 試験片を通過する場合の分光放射照度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$]

$E(\lambda)_{\text{without glass piece}}$: 試験片を通過しない場合の分光放射照度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$]

$$Y = K \sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) T(\lambda) \Delta\lambda \quad \cdots (2)$$

$$K = \frac{100}{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda} \quad \cdots (3)$$

Y : 可視光線透過率 [%] $\Delta\lambda$: 波長間隔

$S(\lambda)$: CIE 標準イルミナント A の相対分光分布²⁾ (図 4)

$\bar{y}(\lambda)$: XYZ 表色系における等色関数, 標準比視感²⁾ (図 5)

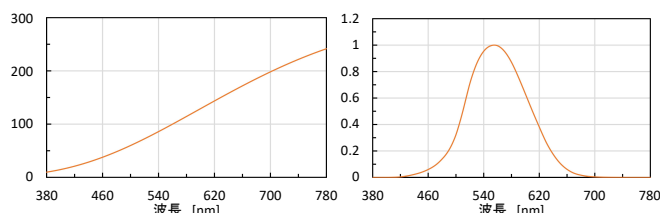


図 4 標準イルミナント A の相対分光分布²⁾

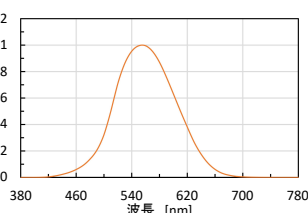
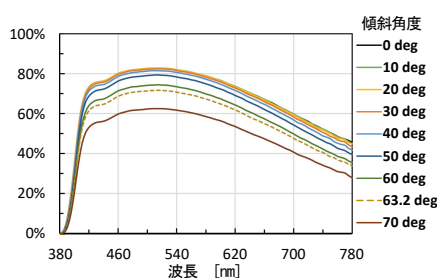


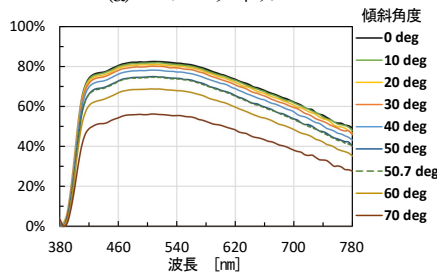
図 5 XYZ 表色系における等色関数 $\bar{y}(\lambda)$ ²⁾

3. 調査結果

フィルムを貼付していない試験片 No.9の傾斜角度 α を変化させた場合の分光透過率を図6 ((a)コンパクトカー、(b) 1Box 車) に示す。2車種とも、傾斜角度 α の増加に伴い、分光透過率が全体的に減少した。フィルムを貼付した No. 4では、特定波長の透過率が減少し、さらに傾斜角度によってその特定波長が短波長側へ推移する特徴が見られた (図7)。このような、透過率が低下する特定波長が傾斜角度により推移する様子は、他の着色フィルム (No. 1~3, 7, 8) にも見ら

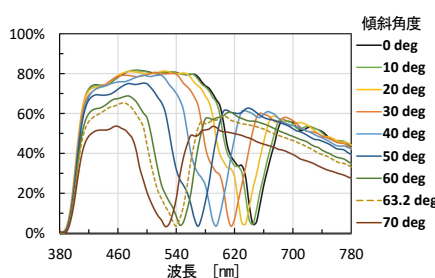


(a) コンパクトカー

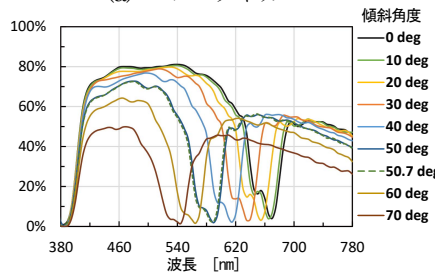


(b) 1Box 車

図 6 試験片 No.9 の分光透過率

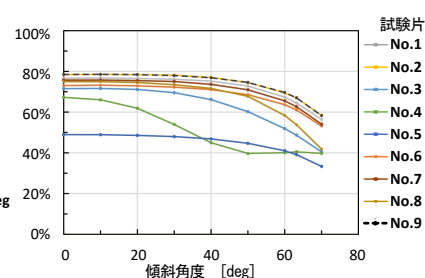


(a) コンパクトカー

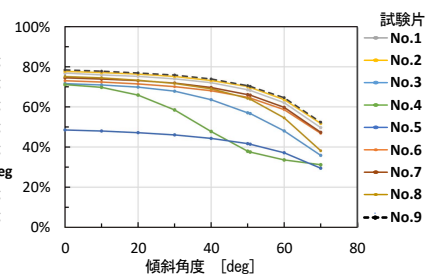


(b) 1Box 車

図 7 試験片 No.4 の分光透過率



(a) コンパクトカー



(b) 1Box 車

図 8 可視光線透過率 試験片 No.1~9

れた。一方、減光フィルム (No. 5, 6) ではこのような特徴は見られず、分光透過率が全体的に減少した。

試験片 No. 1~9の傾斜角度毎に求めた分光透過率 $T(\lambda)$ を用い、式(2) (3)より算出した可視光線透過率を図8に示す。No. 9 (フィルム貼付なし) において、傾斜角度 0° の場合の可視光線透過率は、2車種とも78.5%であり、傾斜角度 α の増加に伴い可視光線透過率が減少した。No. 2を除き、着色または減光フィルムを貼付した No. 1, 3~8では、いずれの傾斜角度においても No. 9よりも可視光線透過率が低下した。また、コンパクトカーの No. 4では傾斜角度 50° までに可視光線透過率が大幅に低下し、 50° 以降は同程度の可視光線透過率となった。視感度が最大である555 nm (図5参照) の付近の波長の透過率が、傾斜角度 50° 、 60° において低下している (図7 (a)) ことが要因と考えられる。

4. まとめ

本研究では、前面ガラスの傾斜角度を変化させた場合やフィルムを貼付した場合の光の透過特性を調査した。今後、透過特性がドライバの前方の見え方や運転行動に及ぼす影響を調査する必要がある。

参考文献

- 1) UN ECE, “Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3) Revision 7”, ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.7 (2023)
- 2) CIE, “Technical Report, Colorimetry, 3rd Edition”, CIE 15: 2004 (2024)

⑯ ダイヤモンド型パターン照射前照灯が歩行者や車両の気づきやすさに及ぼす影響

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

夜間は自動車事故が発生しやすく、特に対歩行者事故の割合が高くなる¹⁾。また、暗い夜道においてハイビームではなくロービーム走行したことによる対歩行者事故²⁾も指摘され、その対策が求められている。

こうしたことから、夜間の歩行者の被視認性向上のため、前照灯の高光度化や、対向車のドライバにグレアを与えず歩行者をより見えやすくするための配光可変型前照灯の開発導入が行われてきている。

これらの技術により、ドライバから見た夜間歩行者視認性の向上が期待されるが、その一方で高光度化した前照灯が歩行者に与えるグレアについては、新たな課題となっている。筆者らが行った前照灯の明るさに関するアンケート調査において、道路横断中に前照灯の眩しさにより危険を感じたことのある歩行者は3割強存在することが示されている³⁾。最近、国連自動車基準調和世界フォーラム（WP.29）の灯火器分科会（GRE）では、この問題を専門に扱うタスクフォース会議が活動を開始したところである。

2. 歩行者のグレア抑制と被視認性向上の解決案

歩行者のグレアを抑制するには歩行者に対する前照灯光度を抑える必要があるが、それによって歩行者の被視認性や歩行者の接近車両への気づきやすさが低下する恐れがある。

こうした課題を解決するため、前照灯に装備した専用のプロジェクタからダイヤモンド型パターンを歩道に照射するパターンニング前照灯が考案されている（図1）⁴⁾。これは、歩行者への光量を低減しつつ、歩行者の存在や動きを強調することで、歩行者の被視認性向上や、歩行者側が車両接近に気づきやすくなる効果も期待できる。

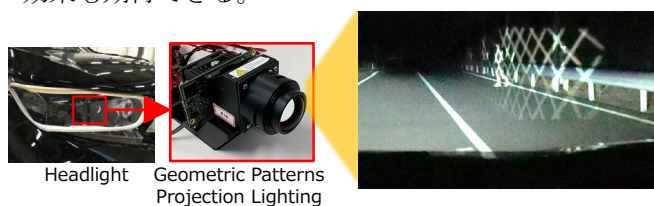


図1 パターンニング前照灯

3. 実験方法

本研究では、実車走行による被験者実験により、各種前照灯（ロービーム、ハイビーム、パターンニング）におけるドライバから見た歩行者の気づきやすさ、歩行者から見た前照灯の気づきやすさとグレア感を評価した。実験は当研究所自動車試験場の直線路で実施し、車道右側の歩行者に対し時速40 km/hで通過する条件とした（図2）。

被験者は外部から派遣された20~70歳の運転免許保有者24名であり、実験開始前の内容説明により実験参加への同意を取得した。本実験は当研究所の実験倫理審査委員会の承認を得て実施したものである。

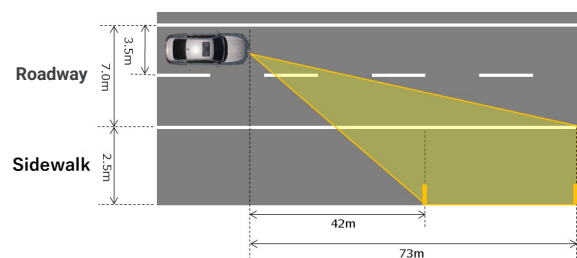


図2 実験走行条件とパターンニング照射エリア

4. 実験結果

4. 1. 車両からの歩行者の気づきやすさ

実験車両の助手席に搭乗した被験者が、道路右側の歩行者に気づいた時の歩行者までの距離を図3に示す。この距離の平均値は、ロービームの場合44 m、ハイビームの場合は97 m とほぼ保安基準に定められた距離（ロービーム40m、ハイビーム100m）と同等であった。パターンニング前照灯の場合は64 m となり、ロービームよりも距離が長かった。前照灯の種類の条件間に5%水準の有意差が認められた。

4. 2. 歩行者からの接近車両の気づきやすさ

道路右側に立ち横断方向を向いた被験者が、接近してくる車両に気づいた時の車両までの距離を図4に示す。この距離の平均値は、ロービームの場合47 m、ハイビームの場合は103 m であった。パターンニング前照灯の場合78 m となり、ロービームよりも距離が

長かった。前照灯の種類の条件間に 5%水準の有意差が認められた。

歩行者側から見た接近車両の気づきやすさの評価値（「とても気づきやすい」を 100 点とした気づきやすさの評価値）の平均を図 5 に示す。気づきやすさの評価値はハイビームが最も高く、次がパターンニング前照灯、ロービームの順となった。ロービームとその他のランプの間に 5%水準の有意差が認められ、パターンニング前照灯はハイビームと同等の評価値であった。

4. 3. 歩行者による接近車両のグレア評価

道路右側に立った被験者が、接近してくる車両を 85 ～50 m の距離の間に観測し、その時のグレア感を de Boer スケールにより評価した結果を図 6 に示す。グレア感は、ハイビームが最も高く、次がパターンニング前照灯、ロービームの順となった。de Boer スケールのグレア評価値の平均は、いずれも 4（許容限界）よりも大きい値となったが、4 及びそれよりも低い評価値の割合はロービーム 4%（24 名中 1 名）、パターンニング前照灯 29%（同 7 名）、ハイビーム 58%（同 14 名）となった。

5. まとめ

本研究では、ドライバから見た歩行者の視認性を高めるとともに、歩行者から見た車両前照灯のグレアを抑制させることを目標としたパターンニング前照灯について評価を行い、従来型のハイビーム、ロービームと比較した。その結果を以下に示す。

- 1) 実験車両に乗車した被験者が道路右側の歩行者に気づいた距離は、パターンニング前照灯がロービームよりも長かった。
- 2) 歩道位置に立った被験者による左側からの接近車両の気づきやすさ評価は、パターンニング前照灯とハイビームが同等の評価値であった。
- 3) 歩道位置に立った被験者による左側からの接近車両のグレア感は、ハイビームが最も高く、パターンニング前照灯、ロービームの順となった。

本研究の実施にあたりご協力いただいた、株式会社本田技術研究所及び本田技研工業株式会社の関係者の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 三井, “高齢者の身体機能と交通死亡事故の関係”, 科学警察研究所報告交通編 36-1, pp. 53-69 (1995)

- 2) 加藤他, “道路照明の明暗が起因して発生した交通事故のマクロデータ分析”, 2023 年度照明学会全国大会講演論文集, 4-O-2 (2023)
- 3) 青木他, “前照灯の照射パターンによる歩行者被視認性の変化”, 自動車技術会秋季大会講演予稿集, No.129-18 (2018)
- 4) Kazuyuki Kawamura, Kei Oshida, “Study on the Improvement of Pedestrian and Vehicle Visibility by Geometric Patterns Projection Lighting”, SAE MOBILUS (2025)

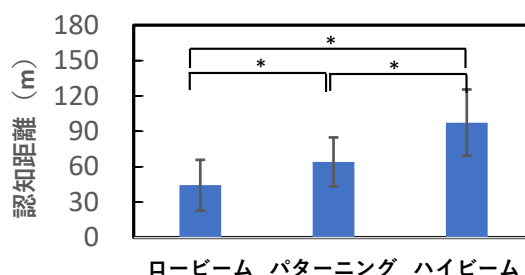


図 3 車両からの歩行者に気付いた距離 (* $p < 0.05$)

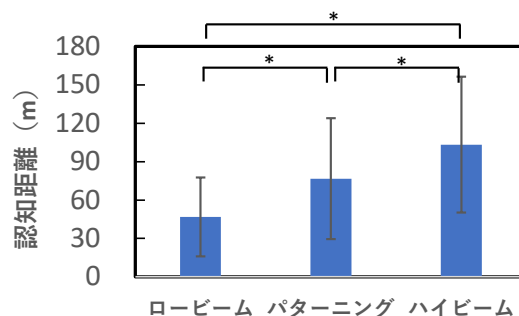


図 4 歩行者からの車両に気付いた距離 (* $p < 0.05$)

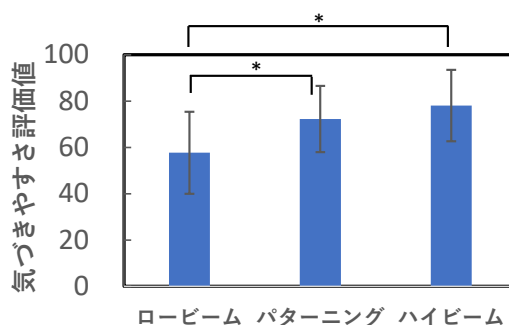


図 5 接近車両の気づきやすさ (* $p < 0.05$)

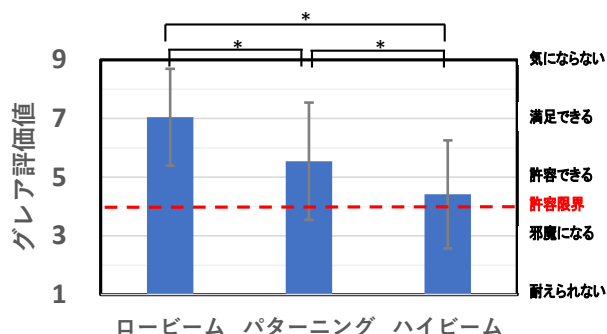


図 6 接近車両のグレア評価 (* $p < 0.05$)

⑪自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する 実車評価実験（1）

ーライン型ランプをルーフ前端に取付けた場合ー

自動車安全研究部

※阿部 晃大

関根 道昭

加藤 洋子

青木 義郎

飯塚 達也

1. はじめに

GRE（国連灯火器分科会）では、自動運転システムの作動状態を示す「自動運転マーカーランプ（以下、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 J3134¹⁾では、マーカーランプの光度を昼間 50 から 300 cd、夜間 10 から 125 cd、灯光の色をブルグリーンとしている。現行の道路運送車両の保安基準では、上記の光度範囲及び灯光の色の灯火を「その他の灯火」として車両に装備することが可能であることから、両者を区別する方法の一つとして、マーカーランプの光度を変化させることが検討されている。

既往研究²⁾では、マーカーランプを自動車のルーフ前端に搭載する場合を想定し、市販車の前照灯ユニットと実験用マーカーランプ（実験中の最大光度 87 cd）を暗室内で点灯させ、夜間のマーカーランプの見え方及び方向指示器のわかりやすさを調査した。その結果、マーカーランプの見やすさ、煩わしさ、眩しさが点灯パターンの影響を受けること、90 回/分以上の周期の光度変化は適切でないこと、光度を連続的に変化させ完全な消灯時間を設けない点灯パターンにより、方向指示器の認識を妨げにくくマーカーランプの煩わしさを抑えられることを確認した。しかしながら、水平面照度が数万 lx にも及ぶ昼間の屋外環境でもこの結果が適用できるかは不明であった。

本研究では、マーカーランプを設置した実験車両を昼夜の屋外環境にて観察し、その見え方や方向指示器のわかりやすさを評価する被験者実験を実施した。

2. 評価実験

実験は交通安全環境研究所（東京都調布市）の敷地内の屋外にて、昼間（11:00-15:00）と夜間（18:00-21:00）に分け、環境照度が昼間 10,000 lx 以上、夜間 1 lx 以下であることを確認した上で行った。SAE 規

格に適合するライン型マーカーランプを実験車両のルーフ前端に設置し（図 1(a)）、実験車両の正面 20m の位置に正対させた観察用車両の運転席と助手席から実験車両を観察した。夜間実験では、実験車両のすれ違い前照灯と車幅灯を点灯させるとともに、観察用車両のすれ違い前照灯も点灯させた（図 1(b)）。実験は普通自動車免許と 0.7 以上の視力を持ち、一般型色覚を有する昼間実験 22 名、夜間実験 24 名が参加し、倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

マーカーランプの点灯パターンとして、変化なし（定常点灯）、矩形変化（光度が矩形的に変化）、連続変化（光度が連続的に変化）の 3 水準を設定した。変化なしの場合におけるマーカーランプの光度は、昼間実験では 50 cd、125 cd、200 cd、275 cd の 4 水準、夜間実験では 10 cd、50 cd、87 cd、125 cd の 4 水準とした。矩形変化及び連続変化の場合、光度変化の周期は 20 回/分もしくは 45 回/分とし、昼間実験では最大光度を 125 cd、最小光度を 0 cd（消灯）、25 cd（最大光度の 5 分の 1）、62 cd（同 2 分の 1）のいずれか、夜間実験では最大光度を 87 cd、最小光度を 17 cd（同 5 分の 1）、43 cd（同 2 分の 1）のいずれかとした。

評価指標はマーカーランプの点灯条件ごとの①見やすさ、②煩わしさ、③眩しさ、④方向指示器のわかりやすさとし、①②④は 5 段階評価、③は de Boer スケールを用いた 9 段階評価（「1. 耐えがたい」～「5. 許容範囲の限界」～「9. 全く気にならない」）とした。



(a) 昼間

(b) 夜間

図 1 実験車両とマーカーランプ

3. 実験結果

3. 1. マーカーランプの光度が変化しない場合

マーカーランプの見やすさについて、昼間の評価結果の内訳を実験条件別に示した積み上げグラフを図2に示す。昼間は50 cdの条件において被験者の40%程度が評価値2以下（見にくい）と評価した一方、125 cd以上では被験者の多くが評価値4以上（見やすい）と評価した。夜間はいずれの条件でも被験者の多くが評価値4以上を選択した。

マーカーランプの煩わしさについて、夜間の評価結果を図3に示す。昼間は評価値2以下（煩わしい）とする評価がほとんど見られなかった。夜間は125 cdにおいて被験者の30%程度が評価2以下を選択した。

マーカーランプの眩しさについて、夜間の評価結果を図4に示す。昼間は200 cd以上の条件において、眩しさを許容できないとする評価値4以下がわずかに存在した。夜間は光度の上昇に伴い評価値4以下の割合が増加し、125 cdでは被験者の20%程度が評価値4以下を選択した。

3. 2. マーカーランプの光度が変化する場合

マーカーランプの点灯パターン別の方向指示器のわかりやすさについて、昼間と夜間の評価結果を図5に示す。今回の実験では方向指示器のわかりやすさが大きく低下する条件は確認されなかった。連続変化における方向指示器のわかりやすさは、矩形変化と同等もしくは矩形変化よりわかりやすいと評価された。

4. おわりに

マーカーランプの光度が変化しない条件では、昼間の50 cdや夜間の125 cdなど、SAEの定める光度範囲の下限もしくは上限にあたる条件において、見やすさの低下や眩しさが高まる傾向が見られた。本研究の実験条件の範囲では、マーカーランプの光度を変化させた条件間の評価結果の差は小さく、光度を変化させたことによる明らかな影響は見られなかった。

参考文献

- 1) SAE, “Automated Driving System (ADS) Marker Lamp”, J3134_201905 (2019)
- 2) 阿部晃大ほか, “自動運転マーカーランプの夜間時の見え方に関する屋内評価実験”, 自動車技術会論文集, Vol.56, No.1, pp.152-158 (2025)

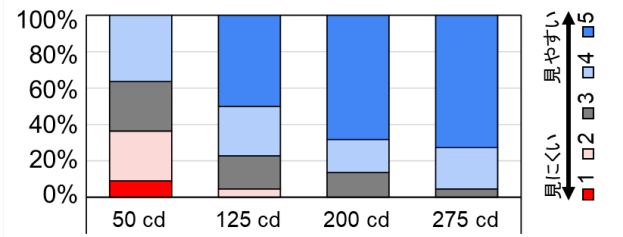


図2 マーカーランプの見やすさ（昼間）

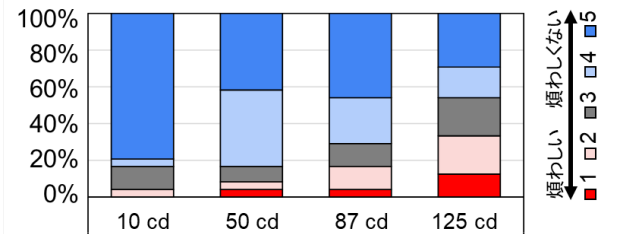


図3 マーカーランプの煩わしさ（夜間）

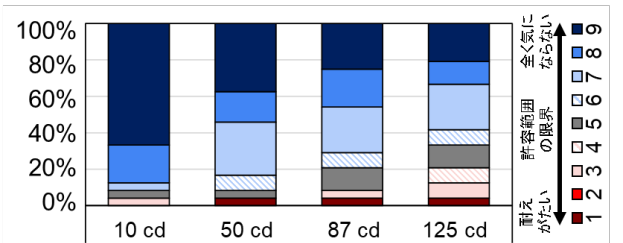
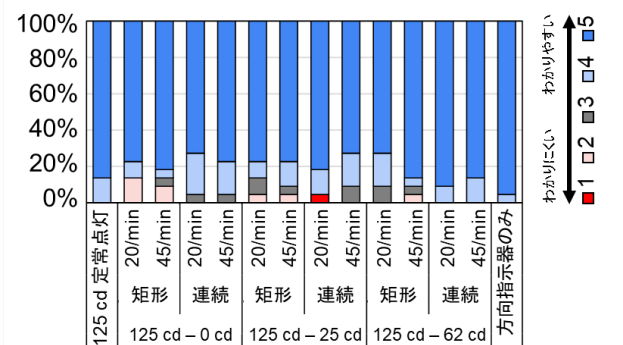
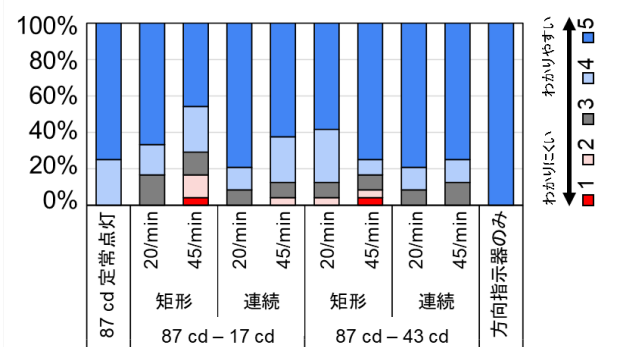


図4 マーカーランプの眩しさ（夜間）



(a) 昼間



(b) 夜間

図5 方向指示器のわかりやすさ

⑱自動運転マーカーランプの昼夜の見え方に関する 実車評価実験（2）

ーマーカーランプを前照灯の近傍に取付けた場合ー

自動車安全研究部

※関根 道昭

阿部 晃大

加藤 洋子

青木 義郎

飯塚 達也

1. はじめに

国連灯火器分科会（GRE）は、車両が自動運転中であることを周囲に示す「自動運転マーカーランプ（以下、マーカーランプ）」の基準を検討している。マーカーランプに関する SAE 規格¹⁾は、灯光の色をブルーグリーンと定めており、GRE はこれを参考に議論を進めている。一方、日本の法規では、光度が一定で 300 cd 以下であれば、ブルーグリーンのランプを装備できるため、自動運転中でない車両にも使用されるおそれがある。著者らは、自動運転中であることを示す特別な手段として、ランプの光度を変化させる点灯方式を検討している²⁾。また、GRE では乗用車の前照灯ユニットにマーカーランプを埋め込むデザイン事例が共有されている³⁾。この場合、前照灯や方向指示器など、既存灯火の点灯により、マーカーランプの見え方が変化することが懸念される。本報は、実車両の前照灯ユニット近傍にマーカーランプを設置し、光度を変化させる場合の見え方を調査し、適切な点灯方法について考察した。

2. 評価実験

交通安全環境研究所（東京都調布市）の敷地内の屋外にて、昼間（11:00-15:00）と夜間（18:00-21:00）に分け、環境照度が 10,000 lx 以上の昼間と 1 lx 以下の夜間の屋外環境における見え方の主観評価を実施した。実験に用いた車両の前面灯火器は、外側から車幅灯、前照灯、方向指示器の順に並んでおり、車幅灯は前照灯の三方を囲む形状であった（図 1）。評価用のマーカーランプとして、直径 5 mm のフルカラーLED を前照灯ユニットの上部に 4 個（2×2）8 段で 32 個、白色の治具により固定した。一段のサイズは縦 30 mm × 横 30 mm、正面から見たランプ全体のサイズは縦 30 mm × 横 240 mm であった。32 個（8 段）すべてを点灯させる「外側+内側条件（図 2a）」、方向指示器近傍（車両の中心側）の 16 個（4 段）を点灯させる

「内側条件（図 2b）」、前照灯近傍（車両の外側）の 16 個（4 段）を点灯させる「外側条件（図 2c）」を設けた。昼夜とも方向指示器が点灯する条件（図 3a）と点灯しない条件を設け、夜間は、すれ違い用前照灯と車幅灯を常に点灯させた（図 3b）。



図 1 評価用マーカーランプと実験車両の灯火器



(a) 外側+内側 (b) 内側 (c) 外側

図 2 マーカーランプの点灯箇所



(a) 昼間（方向指示器あり） (b) 夜間

図 3 点灯条件の例

LED の RGB 階調の調整により、灯光の色を SAE 規格¹⁾に定められた xy 色度図（CIE 1931）上のブルーグリーンの範囲内に設定した。マーカーランプの光度が変化する場合の光度変化の周期は第 1 報と同様に毎分 20 回と 45 回とした。光度の振幅として最大光度（20 cd）と消灯（0 cd）を繰り返す「消灯あり条件」と最大光度とその 5 分の 1 の光度（4 cd）を繰り返す「消灯なし条件」を設けた。さらに、最大光度と最小光度の間を矩形的に変化する条件と、最大光度から最小光度の間を連続的に変化する条件を設けた。

マーカーランプの点灯条件ごとに、①見やすさ、②光度変化のわかりやすさ、③方向指示器のわかりやすさを評価した。①は「1. 見にくい～5. 見やすい」の5段階評価、③は「1. わかりにくい～5. わかりやすい」の5段階評価とし、②は③の5段階に「0. 変化していない」を加えた6段階評価とした。

被験者は、普通自動車免許を保有する0.7以上の視力と一般型色覚を有する者であり、昼間22名、夜間24名が参加した。本実験は当研究所の人間を対象とする実験に関する倫理委員会の承認を得て実施した。

3. 実験結果

外側条件のマーカーランプの見やすさについて、図4に昼間と夜間の結果を示す。すべての光度変化の条件（消灯の有無、変化波形、変化周期）において、夜間の評価値1、2（見にくい）の割合は昼間よりも高かった。夜間はすれ違い前照灯が点灯し、その近傍に位置する外側条件のマーカーランプは見にくいと考えられる。昼間、夜間のどちらも消灯ありの矩形変化45回/分は評価値4、5（見やすい）の割合が高かったが、連続波形20回/分は、消灯あり、消灯なしのどちらも見にくいと評価する割合が矩形波形よりも高く、夜間はその傾向が顕著であった（図4b）。

内側条件は方向指示器の近傍であるため、昼間は方向指示器の点滅により見やすさが低下した。しかし、夜間の外側条件における前照灯の影響よりも小さかった。方向指示器は前照灯よりもマーカーランプの見やすさに与える影響が小さいと考えられる。

光度変化のわかりやすさについて、図5に外側条件の結果を示す。昼間、夜間のどちらも消灯ありの矩形変化45回/分は評価値4、5（変化がわかりやすい）の割合が高かった。この条件は、変化周期が短く、完全消灯の時間を含むため、変化がわかりやすいと考えられる。一方、昼間、夜間とも消灯なしの連続変化は評価値1、2（わかりにくい）の割合が高く、特に夜間の20回/分では評価値0（光度が変化していない）と評価した割合は26%と高かった。その他の条件では、昼間、夜間とも消灯ありの連続変化20回/分において評価値1、2の割合が高かった。連続変化は矩形変化よりも変化が感じられにくいと考えられる。なお、内側条件も同様の結果であった。

内側条件における方向指示器のわかりやすさを図6に示す。昼間はいずれの光度変化条件も、評価値4、5（わかりやすい）の割合が95%以上であり、夜間は

評価値1、2（わかりにくい）の割合が増えるものの評価値4、5の割合が90%以上であった。なお、外側条件も同様の結果であった。ただし、本検討ではSAE規格¹⁾の下限付近の光度を対象としており、光度が高い場合は異なる結果となる可能性がある。

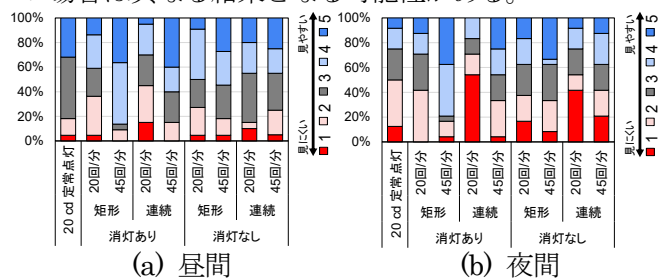


図4 マーカーランプの見やすさ（外側条件）

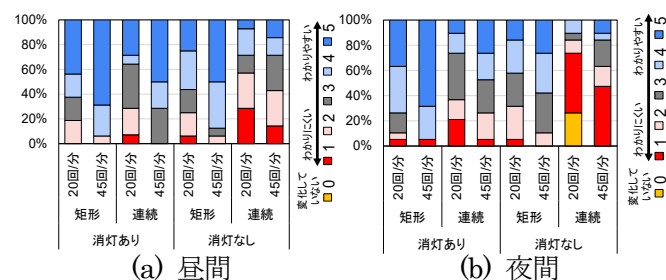


図5 光度変化のわかりやすさ（外側条件）

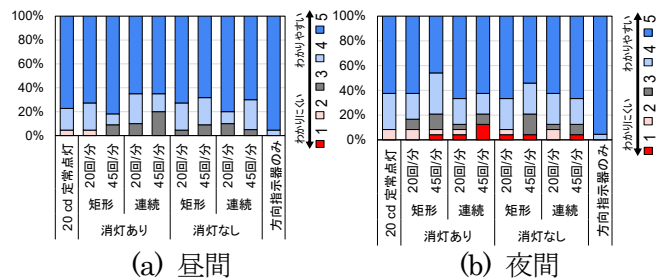


図6 方向指示器のわかりやすさ（内側条件）

4. おわりに

昼間は方向指示器の点滅、夜間はすれ違い用前照灯の点灯により、その近傍のマーカーランプの見やすさが低下した。特に、前照灯近傍のマーカーランプは見やすさが著しく低下するため、この位置に取り付ける場合は注意が必要である。また、光度変化の設定条件として、連続変化20回/分は、マーカーランプが見にくく、光度変化がわかりにくいため、適切でないと考えられる。

参考文献

- 1) SAE, “Automated Driving System (ADS) Marker Lamp”, J3134_201905 (2019)
- 2) 阿部晃大ほか, “自動運転マーカーランプの夜間時の見え方に関する屋内評価実験”, 自動車技術会論文集, Vol.56, No.1, pp.152-158 (2025)
- 3) TF AVSR, “Vehicle demonstration”, GRE-89-25

⑬. 一般ドライバの注意深い運転行動に関する調査

自動車安全研究部

※真鍋 裕輝

児島 亨

北田 幸一

森崎 憲治

1. はじめに

自動運転に関する国際規則を策定する会議では、自動運転車が有すべき危険回避能力として少なくとも **Competent and Careful human driver**（有能で注意深いドライバ）と同等程度の能力が一つの目安とされている¹⁾。しかし、現在の議論においては危険事象が発生してから自動運転車が危険回避行動を取るまでの時間や減速度等の能力、すなわち「**Competent**」に該当する基準は定量的な議論がされているものの、「**Careful**」に該当する基準は定量的な議論がほとんどされていない。本研究では、ドライビングシミュレータ（以下、DS）を活用し、一般ドライバが運転する車両が市街地を走行中に、危険事象が発生する可能性がある場面に遭遇した場合のリスクを低減するための注意深い運転行動の特徴を調査し、「**Careful**」な運転に関する議論の足掛かりとすることを目的とする。

2. 実験装置と実験参加者

一般ドライバの注意深い運転行動の調査に用いたDSの仕様を表1に示す。実験参加者は日常的に運転する運転歴5年以上の一般ドライバ12名とした。また、本実験は当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づき倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

3. 実験場面

リスクを低減するための注意深い運転行動がみられる可能性のある場面として、自転車を追いつ越す場面と駐車車両を追いつ越す場面を選定した。実験場面の概要を図1、2に、実験条件を表2、3、4に示す。対向車がいる実験場面においては、対向車と自車と自転車（もしくは駐車車両）の位置関係がある程度一定になるよう制御するため、対向車および自転車の速度調整をおこなった。ただし、自車が対向車の通過を待機するために減速することを想定し、対向車の速度には下限速度を設定した。なお、すべての実験条件において、自車が自転車や駐車車両を追いつ越した場合でも自車と対向車は衝突するほどは接近しない。

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

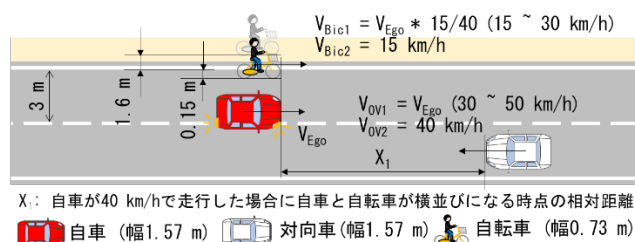


図1 実験場面（自転車）概略図

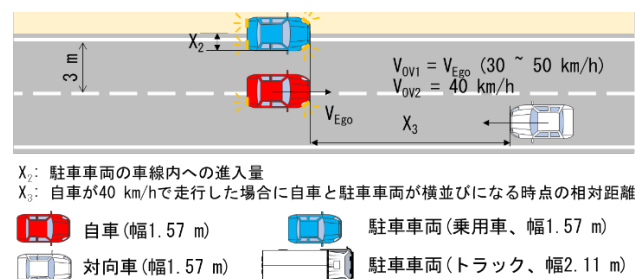


図2 実験場面（駐車車両）概略図

表2 実験場面（自転車）実験条件詳細

		実験番号					
		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
実験条件	対向車	なし	あり	あり	なし	あり	あり
	X ₁	-	60 m	80 m	-	60 m	80 m
	自転車走行場所	車道	車道	車道	歩道	歩道	歩道

表3 実験場面（駐車車両）実験条件詳細（1）

		実験番号					
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
実験条件	対向車	なし	なし	なし	なし	あり	あり
	X ₂	0.5 m	1.5 m	0.5 m	1.5 m	0.5 m	1.5 m
	X ₃	-	-	-	-	60 m	60 m
	駐車車両	乗用車	乗用車	トラック	トラック	乗用車	乗用車

表4 実験場面（駐車車両）実験条件詳細（2）

		実験番号					
		P_7	P_8	P_9	P_10	P_11	P_12
実験条件	対向車	あり	あり	あり	あり	あり	あり
	X ₂	0.5 m	1.5 m	0.5 m	1.5 m	0.5 m	1.5 m
	X ₃	60 m	60 m	80 m	80 m	80 m	80 m
	駐車車両	トラック	トラック	乗用車	乗用車	トラック	トラック

4. 実験結果

4. 1. 自転車追い越し

自車が自転車を追い越す場面における自車の運転行動に関して、自転車が歩道を走行していた場合にはすべての参加者が対向車とすれ違う前に自転車を追い越したものの、自転車が車道を走行している場合には対向車とすれ違うまで自転車の後方を追従する参加者がいた。このように、自転車を追い越す場面においては周辺の交通環境から自転車を追い越さずに追従するドライバもいることがわかった。

次に、自転車を追い越したドライバにおいて、自転車と横並びになった時点の自車と自転車の横方向の空間（以下、横距離）を調べた結果を図3に示す。歩道を走行している自転車を警戒して運転行動を変化させたドライバが多くなかったことから、自転車が車道を走行している条件のみを示している。図には、車線境界線（中央線）の位置を破線で記しており、この線よりも大きく横距離を取った場合には、対向車線に進入していることとなる。図より、対向車がない条件である B_1 においては 2 m 以上の横距離を確保する参加者が多かったが、対向車が走行している場合には車線境界線付近までの横移動となっていることから、自転車との距離を確保するだけでなく、対向車との衝突のリスクも考慮して 2 つのリスク対象に対するバランスを取った対応をしていたことがわかった。

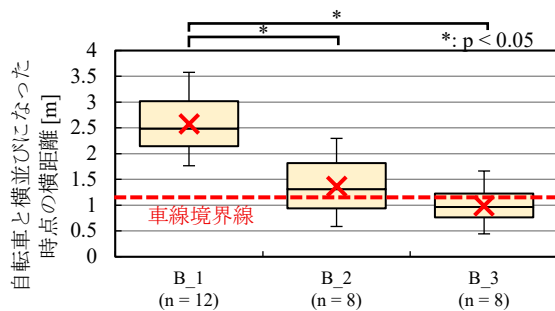


図3 自車と自転車が横並びになった時点の横距離

4. 2. 駐車車両追い越し

自車が駐車車両を追い越す場面において、自車が対向車の通過まで駐車車両の後方で待機したか否かを調べた結果を図4に示す。図より、対向車が通過する前に駐車車両を追い越すか否かは実験条件によって大きく変動することがわかった。特に追い越さずに待機する割合が多かった条件は P_6 と P_8 の条件であるが、この条件は駐車車両の車線内への進入量が大き

く対向車が近い条件（駐車車両は乗用車とトラック）である。また、追い越した割合が多かった P_7 と P_11 は、車線内への進入量が小さいトラックの条件であった。このように、特定の組み合わせにおいては駐車車両を追い越すか否かの判断が分かれやすかったものの、その他の顕著な特徴は見られなかった。

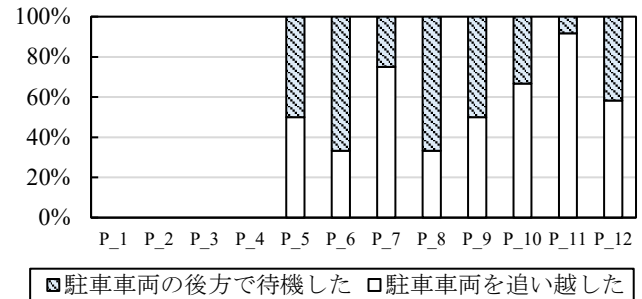


図4 駐車車両シナリオにおける運転行動

また、駐車車両を追い越した場合の駐車車両との横距離には条件ごとの顕著な差はみられず、平均値は多くの場合で 2 m 弱であった（箱ひげ図省略）。自転車を追い越す場合には、自転車との横距離を小さくすることで対向車への影響を小さくすることができていたが、駐車車両を追い越す場合には、駐車車両の死角による歩行者飛び出し等のリスク回避を優先して駐車車両との横距離を確保した可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究では DS を用いて自転車や駐車車両を追い越す際の一般ドライバの注意深い行動に関して調べた。結果として、一般ドライバは自転車や駐車車両を追い越す際には対向車の有無等の周囲の交通参加者や追い越し対象の状態（自車線にどれだけ進入しているか等）といった複雑な状況を総合的に判断して、対向車の通過まで待機するか、対向車線にどの程度進入して追い越すか等の運転行動を変化させていることがわかった。

参考文献

- 1) Consolidated draft texts, post 12th ADS-IWG meeting in Finland, for a new UN GTR and UN Regulation on Automated Driving Systems, submitted by SMS, Safety Case, DDT, User Interaction, Testing and ISMR OPIs based on the ADS-12-03 (2025)
<https://wiki.unece.org/download/attachments/29396174/1/ADS-12-03r3.docx?api=v2>

②市街地を走行する人間ドライバが周辺車両の危険な行動に遭遇した場合の回避行動及び物理的な余裕を確保するための運転行動

自動車安全研究部 ※児島 亨 真鍋 裕輝 北田 幸一 森崎 憲治

1. はじめに

一般道を混走する自動運転車が有すべき安全性に関する全体的な概念として、国連自動車基準調和世界フォーラム（WP.29）の自動運転システムの安全要件及び評価手法のガイドライン（Guidelines and recommendations for Automated Driving System safety requirements, assessments and test methods to inform regulatory development）

(1)では、自動運転車は有能な注意深い人間ドライバ（competent and careful human driver、以下、C&Cドライバ）と同等以上の安全性を有することが記されている。但し、C&Cドライバとはどのようなものか具体的には定義されておらず、今後の自動運転車の認証審査に向けて具体的に定義することが必要となる。

本調査は、市街地を走行中に周辺車両の危険な行動に遭遇した場合の人間ドライバの回避行動について考察するとともに、物理的な余裕を確保するための運転行動について考察するため、交通場面を模擬したドライビングシミュレータ（以下、DS）実験を行ったものである。以下、概要を報告する。

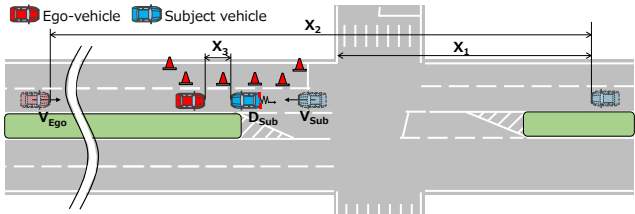
2. 実験方法

2. 1 実験場面

本調査では3つの交通場面（場面1～場面3）を対象とした。

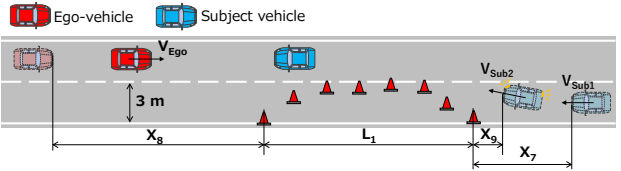
図1に場面1の概要を示す。自車（図中、Ego-vehicle、以下同様）が片側2車線の直線道路（制限速度50 km/h）の第2通行帯を走行中、遠方から逆走車（図中、Subject vehicle）が接近する。逆走車は自車との相対距離が50 mになった時点で3 m/s²で減速する。逆走車に遭遇したドライバの回避行動として、減速と操舵が想定されるが、本調査では減速による回避行動に着目するため、第1通行帯に工事車両とパイロンを設置し、車線を制限した。

図2に場面2の概要を示す。自車が片側1車線の直線道路（制限速度40 km/h）を走行中、対向車線側の工事車線規制区間（以下、工事区間）に接近



Speed limit of the road [km/h]	50
Speed of the ego-vehicle V_{Ego} [km/h]	Controlled by the driver
Waiting position of the subject vehicle X_1 [m]	300
Relative distance between the ego-vehicle and the subject vehicle at the moment the subject vehicle starts moving X_2 [m]	1000
Relative distance between the ego-vehicle and the subject vehicle at the moment the subject vehicle begins to decelerate X_3 [m]	50
Speed of the subject vehicle after it starts moving V_{Sub} [km/h]	50
Deceleration of the subject vehicle D_{Sub} [m/s ²]	3

図1 場面1の概要



Speed limit of the road [km/h]	40
Speed of the ego-vehicle V_{Ego} [km/h]	Controlled by the driver
Waiting position of the subject vehicle X_7 [m]	235
Distance from the ego vehicle to the lane restriction area at the moment the subject vehicle starts moving X_8 [m]	280 (2-1), 300 (2-2), 320 (2-3), 340 (2-4), 360 (2-5)
Distance to the lane restriction area at the moment the subject vehicle begins lateral movement X_9 [m]	33
Speed of the subject vehicle before initiating lateral movement V_{Sub1} [km/h]	$V_{Ego} * 1$
Speed of the subject vehicle after initiating lateral movement V_{Sub2} [km/h]	40
Length of the lane restriction area L_1 [m]	15

図2 場面2の概要

する。工事区間の後方から接近する1台の対向車（図中、Subject vehicle）が工事区間を通過するため、自車の車線に進入する。ドライバは対向車の接近状況に応じて対応することが求められる。本場面では、自車の車線に進入する対向車の接近度合いによってドライバの運転行動がどのように変わるのかを考察するため、対向車が発進する時点における自車から工事区間までの距離（図中 X_8 ）を実験変数とし、5水準設定した。尚、 X_8 が最も短い条件（280 m）でも、自車が速度40 km/hで減速せず走行した場合に対向車との衝突は発生しない。

図3に場面3の概要を示す。自車が片側1車線の直線道路を走行中、自車側の工事車線規制区間（以下、工事区間）に接近する。対向車線上には1台の対向車（図中、Subject vehicle）が走行している。ドライバは対向車よりも先に工事区間を通過する

かまたは工事区間の手前で待機して、対向車とすれ違った後に工事区間を通過するかを意思決定し対応することが求められる。本場面では、自車が対向車線に進入する際に対向車の接近度合いによってドライバの運転行動がどのように変わるのかを考察するため、対向車が待機中の工事区間までの距離（図中 X_{10} ）を実験変数とし、5水準設定した。また、本場面では、図中 X_{10} 、 X_{11} の設定値を場面 2（図 2）の X_7 、 X_8 と同じ値とした。これにより、 X_{10} が最も短い条件（280 m）でも、自車が速度 40 km/h かつ場面 2 で対向車が工事区間を通過した時と同じ走行軌跡で、対向車に先回りして工事区間を通過した場合、対向車との衝突は発生しない。

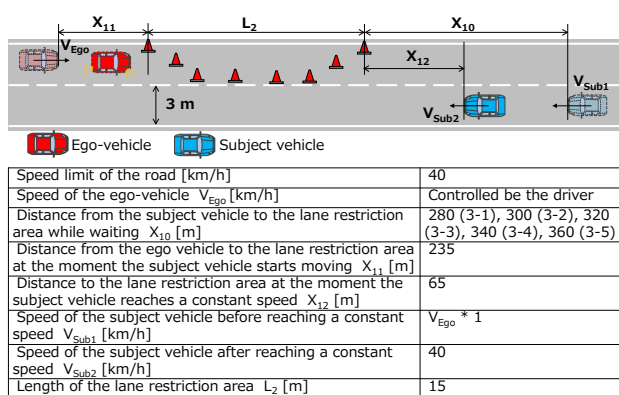


図 3 場面 3 の概要

2. 2 実験に使用した DS

図 4 に実験に使用した DS の外観の写真を示す。小型乗用車の車体を使用し、運転席及び操作系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 インチの有機 EL パネル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、解像度の高い画像を描画することが可能である。

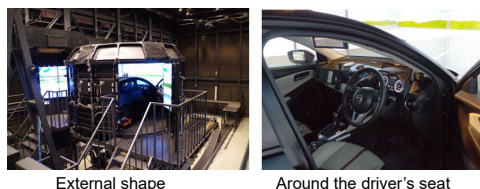


図 4 実験に使用した DS の外観

2. 3 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 23 歳～60 歳の一般ドライバ 22 名（男性 10 名、女性 12 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、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、本実験は当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づき倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

3. 実験結果

場面 1 では、22 名中 21 名が逆走車との衝突を回避した。また、本場面では逆走車が $3m/s^2$ で減速したが、仮に減速しなかった場合でも、18 名の実験参加者は自車の減速により、衝突するまでの間に完全停止したことがわかった。

場面 2 では、対向車との相対距離（図 2 の X_8 ）の条件によってブレーキ操作を行う人数が変化し、 X_8 が最も短い条件では 22 名中 21 名、最も長い条件では 8 名がブレーキ操作を行った。また、対向車とすれ違うまでの間の最低速度も X_8 の条件によって変化し、 X_8 が最も短い条件では約 9 km/h、最も長い条件では約 37 km/h（いずれも 22 名の中央値）となった。尚、対向車との衝突は発生しなかった。

場面 3 では、対向車との相対距離（図 3 の X_{10} ）の全ての条件において、工事区間の手前で対向車の通過を待機する人数が先回りする人数を上回った（ X_{10} が最も短い条件では 20 名が待機、最も長い条件でも 16 名が待機）。一方、いずれかの条件で先回りした人が 8 名おり、この多くは、場面 3 で対向車線に進入した時の方が、場面 2 で対向車が自車の車線に進入した時よりも、対向車と同じ車線にいる間の最小相対距離が短かったことがわかった。尚、先回りしたのべ 21 例のうち、1 例で衝突が発生した。

4. まとめ

本調査では、3 つの場面对象とした DS 実験の結果から、市街地を走行中に周辺車両の危険な行動に遭遇した場合の人間ドライバの回避行動について考察するとともに、物理的な余裕を確保するための運転行動について考察した。

参考文献

- (1) UN ECE : ECE/TRANS/WP.29/2024/39 (2024)
<https://unece.org/sites/default/files/2024-11/ECE-TRANS-WP.29-2024-39e.pdf>

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7年度交通安全環境研究所フォーラム 2025 講演概要

令和7年11月20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。

○本冊子は、グリーン購入法に基づく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。

