

令和三年度

交通安全環境研究所フォーラム 2021

講 演 概 要

2021. 11. 29, 30

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

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。安全・安心で環境に優しい交通社会の実現は、世界共通のテーマであり、交通事故の削減や地球環境の保全について、より一層取り組む必要があります。特に近年は、気候変動の深刻化に伴い、国際的課題として急速にクローズアップされているカーボンニュートラルの取り組み強化が強く求められています。さらに、少子高齢化・労働力不足や地域公共交通の厳しい経営環境に対応するため、自動運転の実現、生産性の向上、インフラ保守の効率化等にも取り組む必要があります。

また、我が国の自動車や鉄道は国内外に生産拠点を有し、世界各国に輸出されているため、我が国の国際競争力を確保する観点から、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、これらの社会的課題の解決に向け、自動車及び鉄道の安全・環境に関する基準・規格の策定のための研究、さらに、自動車の型式指定に関する審査・リコールに関する技術的検証、鉄道製品に関する国際規格の認証業務などを実施しています。

本年の交通安全環境研究所フォーラムは、二日間の日程で「人に優しい持続的なモビリティの実現に向けた取組」というテーマを掲げ、当研究所が行っている様々な取組をご紹介します。また、外部の専門家をお招きしてご講演を頂くことにしております。ポスターセッションにおいては、最新の研究成果などについて幅広くご紹介いたします。

本年のフォーラムは、新型コロナウイルス感染症の発生状況を踏まえ、オンライン形式と対面形式を組み合わせたハイブリッドの方式で開催させていただきましたが、双方の形式を問わずご参加いただく皆様から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こた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3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 **江坂行弘**

講演タイムテーブル

2021.11.29 (月) 講演タイムテーブル (開場 9:30)		講演会場: 伊藤謝恩ホール
10:00 ~ 10:05	開会の挨拶	交通安全環境研究所長 江坂 行弘
10:05 ~ 10:20	環境研究部における研究の概要と方向性	
10:20 ~ 11:05	招待講演 1	2050年カーボンニュートラル実現に向けた取組と課題 国土交通省自動車局安全・環境基準課 環境基準室長 伊藤 史雄氏
11:05 ~ 11:30	講演 1	重量車におけるカーボンニュートラル化に向けた取組 2050年におけるカーボンニュートラル化を目指すにあたり、大型トラックなどの重量車ではとりわけその難易度が高く、内燃機関の高効率化を進めつつ電動化や水素化などが進んでいくと見込まれる。それに関して、現在取り組んでいる「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」において得られている成果の一部とともに、今後のエネルギー消費に関する評価において想定される課題について紹介する。 環境研究部 副部長 新国 哲也
11:30 ~ 11:55	講演 2	HILS 試験法の拡張による重量車 RDE 代替評価の検討 実路走行排出ガス (RDE) 試験が 2022 年よりディーゼル乗用車に適用される。将来、重量車へ適用を拡げる場合には、乗用車と異なり車種車型が多数存在するため、実車両を用いた RDE 試験は困難と考えられる。そこで、従来の重量車試験法 (HILS 法) を基にし、重量車 RDE の代替評価の可能性を検討した。実際、HILS と実エンジンをリアルタイムに協調制御し、同時に実走行時の走行風をエンジンベンチに適用させ、評価を行った。 主任研究員 奥井 伸宜
11:55 ~ 12:20	講演 3	AI を用いた走行騒音から不正改造車両の判定手法 騒音の街頭検査に用いられる試験法は、車両を停止させた状態で行われるため、走行騒音とは単純な相関がない。走行騒音から違法な車両を判別することが出来れば、街頭検査の効率化が図れると考えられることから、本研究では、深層学習を用いて、走行騒音から街頭検査で違法と判定される車両を判定可能か検討した。検討の結果、速度、加速度等が任意の状態の車両に対して、高精度に違法 / 適法を判別可能な学習モデルを作成することが出来た。 主任研究員 宝渦 寛之
12:20 ~ 13:20	昼休み (ポスターセッション)	
13:20 ~ 13:35	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 佐藤 安弘
13:35 ~ 14:20	招待講演 2	LCA が導くカーボンニュートラル時代の交通戦略 中部大学 工学部 都市建設工学科 准教授 柴原 尚希氏
14:20 ~ 14:45	講演 4	カーボンニュートラル時代の端末公共交通 - 人口減少下での利便性確保に向けて - 環境問題と人口の高齢化とが我が国の交通社会に変革をもたらそうとしている。日本政府も「2050年カーボンニュートラル宣言」を発表し、2050年までの脱炭素社会の実現と温室効果ガスの排出実質ゼロとを目標としている。この目標に向けた地域公共交通の果たす役割について、人口の高齢化を背景に考察する。 主席研究員 大野 寛之
14:45 ~ 15:10	講演 5	衛星測位による列車位置検知の精度の評価に向けた取組 列車の位置を地上側で検知する軌道回路の保守・更新等は鉄道事業者にとって大きな負担となっており、列車の位置を列車側で検知する仕組みへの期待が大きい。その手段の一つとして衛星測位が挙げられるが、列車位置検知へ利活用するには測位精度を事前に評価する必要がある。この評価を行う手法について検討を進めており、本発表ではその経過を報告する。 主席研究員 山口 大助
15:10 ~ 15:25	鉄道認証室における最近の活動概要	鉄道認証室長 黒川 和浩
15:25 ~ 15:50	講演 6	交通安全環境研究所鉄道認証室が評価の対象とする認証範囲の拡大について 鉄道認証室の認証は主に海外展開に活用されており、当室では、認証利用者のニーズに応えられるよう取り組んでいる。今般当室では、認証が可能な範囲について、鉄道製品製造後に行われる、製品の現地への据付等のプロセスに拡大することにより、認証業務の充実強化を行ったことについて報告する。 主席研究員 千島 美智男
15:50 ~ 15:55	事務局 連絡	
15:55 ~ 16:55	ポスターセッション	

※講演内容・講演者は変更になる場合があります。予めご了承ください。

2021.11.30 (火) 講演タイムテーブル (開場 9:30)

講演会場：伊藤謝恩ホール

10:00 ~ 10:05	開会の挨拶	
10:05 ~ 10:20	自動車安全研究部における研究の概要と方向性 自動車安全研究部長 河合 英直	
10:20 ~ 11:05	招待講演 3	視野障害と自動車運転 医療法人社団 済安堂 西葛西・井上眼科病院 副院長 國松 志保氏
11:05 ~ 11:30	講演 7	裁判例の分析による過失要件と自動運転車の社会受容性に関する研究 自動運転車には、死亡事故の96%を占めるドライバのミスを抑制し、より安全な交通を実現することが期待されている。自動運転車がドライバよりも安全であるためには、ドライバに求められる要件を明らかにする必要があることから、本研究では裁判例の分析によりその要件を明らかにし、自動運転車の社会受容性および安全性を考える上での要件を検討した。 研究員 中川 正夫
11:30 ~ 11:55	講演 8	前面衝突時のISOFIX固定ブースターシートの安全性について 実車乗車状態でブースターシートの固定方法の違いが子供乗員の安全性に及ぼす影響について調査し、前面衝突時にシートベルトが滑り上がる現象とサブマリン現象が以下の2つの条件下で発生することを確認した。1.乗員が前方に大きく移動するシートベルト構成、2.乗員がISOFIX固定ブースターシートに着座している。このことから、前面衝突時の乗員の前方移動を抑制する基準改正を国際基準調和会議の場において提案した。 主席研究員 田中 良知
11:55 ~ 12:20	講演 9	自転車乗員視点を想定したターンシグナル路面描画の有効性に関する研究 現在、自動車の灯光を用いて路面上に視覚情報を投影表示する「路面描画ランプ」の開発が各国メーカーによって進められている。本研究は、方向指示器と同時点灯し、周囲の交通参加者に自車の右左折や進路変更を伝え易くするための路面描画について、自転車乗員の視点から観察した場合を想定し有効性を調査した。路面描画の有無による方向指示器点灯に対する反応時間の差異や、路面描画に関するアンケート結果を報告する。 研究員 加藤 洋子
12:20 ~ 13:30	昼休み (ポスターセッション)	
13:30 ~ 13:55		自動運転技術に関する国際基準等策定活動への貢献 自動運転技術の実現するための環境整備に関する活動のうち、自動運転技術に関する基準やガイドラインに関するものについて述べたうえで、国際基準等導入のための活動における我が国の貢献と交通研の役割について紹介する。 審議役 斧田 孝夫
13:55 ~ 14:20	講演 10	自動車認証審査部における審査の概要について 高い技術力による厳正な審査と、申請者にとって利便性・合理性の高い審査を両立することが、従来にも増して強く求められている中で、自動車認証審査部は業務実施体制の強化を図るべく、様々な措置を講じている。ここでは、審査業務の現状と、自動運転や、サイバーセキュリティ及びソフトウェアアップデートをはじめとした先進技術・安全性に関連する認証業務への対応等の自動車認証審査部における取組について概説する。 自動車認証審査部長 小磯 和子
14:20 ~ 14:45	講演 11	リコール技術検証の現状と今後の取組 リコール技術検証業務を始め、これに関連する「不具合情報の分析」「技術検証実験」「事故車両等の見分」などについて現状を報告する。また、排出ガスに係る不正ソフトの有無の確認業務(サーベイランス)を紹介するとともに、今後の主な取組についても紹介する。 リコール技術検証部長 大森 隆弘
14:45 ~ 14:50	閉会の挨拶 理事 石井 素	
14:50 ~ 15:50	ポスターセッション	

※講演内容・講演者は変更になる場合があります。予めご了承ください。

ポスタータイトル

29日 / 12:20 ~ 13:20、15:55 ~ 16:55

30日 / 12:20 ~ 13:30、14:50 ~ 15:50

会場：多目的スペース

NO.1	自動運転車の安全性評価に向けた台上試験機を用いたVRテストシステムの開発	自動車安全研究部 *中川 正夫、杉本 岳史、山本 裕之、関根 道昭
NO.2	AEBSの不要作動を確認する試験シナリオに関する研究(続報)	自動車安全研究部 *児島 亨、岩瀬 常利、廣渡 太一
NO.3	乗車姿勢が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響について—小柄女性ダミーによる検討—	自動車安全研究部 *細川 成之、田中 良知、松井 靖浩
NO.4	車両後方ゾナーにおける人検知の可能性調査	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)
NO.5	高速点滅光の明るさ感評価に関する研究	自動車安全研究部 *加藤 洋子、関根 道昭、伊藤 紳一郎(ポスター対応)
NO.6	ADB機能を活用した路面描画ランプの動的評価	自動車安全研究部 *青木 義郎、加藤 洋子、関根 道昭
NO.7	注意散漫状態の高齢ドライバーに対する視覚的注意喚起情報の効果に関する研究	自動車安全研究部 *関根 道昭、榎本 恵、加藤 洋子、向田 佑介(電気通信大学)、田中 健次(電気通信大学)
NO.8	レーザをイニシエーション手法に用いた自動車用リチウムイオン電池の安全性試験の検討	自動車安全研究部 *小鹿 健一郎、本多 啓三(電気安全環境研究所)、釣賀 英樹(電気安全環境研究所)、梅田 実(長岡技科大)、白仁田 沙代子(長岡技科大)
NO.9	重量貨物車の実路走行データによるディーゼル微粒子捕集フィルタ(DPF)の再生頻度と捕集性能の把握	環境研究部 *山本 敏朗、鈴木 央一、柴崎 勇一
NO.10	ガソリン直噴車における固体粒子の粒径分布評価	環境研究部 *志村 渉、奥井 伸宜
NO.11	車両周囲温度湿度環境をコントロールする次世代シャシダイナモ設備	環境研究部 *川原田 光典、奥井 伸宜
NO.12	高精度ルートマッチング機能を用いた道路上での走行車両の位置情報取得手法の開発	環境研究部 *柴崎 勇一、山本 敏朗
NO.13	運転支援情報伝送に関する妨害対策の実列車走行実験による検証	交通システム研究部 *林田 守正、工藤 希、長谷川 智紀、小林 貴、水間 毅(東京大学)
NO.14	鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法について	交通システム研究部 *長谷川 智紀、工藤 希、山口 大助、一柳 洋輔
NO.15	新しい列車制御システムを対象とした安全解析について	交通システム研究部 *工藤 希、長谷川 智紀、林田 守正
NO.16	支柱通過前後の索道搬器のロール振動に関する考察	交通システム研究部 *一柳 洋輔、森 裕貴、山口 大助、千島美智男、緒方正剛、押立貴志(客員研究員)
29/講演1	重量車におけるカーボンニュートラル化に向けた取組	環境研究部 *新国 哲也、鈴木 央一
29/講演2	HILS試験法の拡張による重量車RDE代替評価の検討	環境研究部 *奥井 伸宜
29/講演3	AIを用いた走行騒音から不正改造車両の判定手法	環境研究部 *宝渦 寛之
29/講演4	カーボンニュートラル時代の端末公共交通—人口減少下での利便性確保に向けて—	交通システム研究部 *大野 寛之、工藤 希、小林 貴
29/講演5	衛星測位による列車位置検知の精度の評価に向けた取組	交通システム研究部 *山口 大助、工藤 希、長谷川 智紀、一柳 洋輔
29/講演6	交通安全環境研究所鉄道認証室が評価の対象とする認証範囲の拡大について	鉄道認証室 *千島 美智男、吉永 純、(交通システム研究部)長谷川 智紀
30/講演7	裁判例の分析による過失要件と自動運転車の社会受容性に関する研究	自動車安全研究部 *中川 正夫
30/講演8	前面衝突時のISOFIX固定ブースターシートの安全性について	自動車安全研究部 *田中 良知、細川 成之、松井 靖浩
30/講演9	自転車乗員視点を想定したターンシグナル路面描画の有効性に関する研究	自動車安全研究部 *加藤 洋子、青木 義郎、関根 道昭

*マークは、筆頭発表者です。

目次

人に優しい持続的なモビリティの実現に向けた取組

11月29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	坂本 一朗	1
講演1 重量車におけるカーボンニュートラル化に向けた取組	上席研究員	新国 哲也	3
講演2 HILS 試験法の拡張による重量車 RDE 代替評価の検討	主任研究員	奥井 伸宜	9
講演3 AIを用いた走行騒音から不正改造車両の判定方法	主任研究員	宝渦 寛之	13
■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	佐藤 安弘	17
講演4 カーボンニュートラル時代の端末公共交通—人口減少下での利便性確保に向けて—	主席研究員	大野 寛之	19
講演5 衛星測位による列車位置検知の精度の評価に向けた取組	主席研究員	山口 大助	23
■鉄道認証室の取組			
鉄道認証室における最近の活動概要	鉄道認証室長	黒川 和浩	27
講演6 交通安全環境研究所鉄道認証室が評価の対象とする認証範囲の拡大について	主席研究員	千島 美智男	29

11月30日の講演（伊藤謝恩ホール）

題目	所属	講演者	頁
■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	自動車安全研究部長	河合 英直	33
講演7 裁判例の分析による過失要件と自動運転車の社会受容性に関する研究	研究員	中川 正夫	35
講演8 前面衝突時の ISOFIX 固定ブースターシートの安全性について	主席研究員	田中 良知	39
講演9 自転車乗員視点を想定したターンシグナル路面描画の有効性に関する研究	研究員	加藤 洋子	43
■国際調和推進統括の取組			
自動運転技術に関する国際基準等策定活動への貢献	審議役	斧田 孝夫	47
■自動車認証審査部・リコール技術検証部の取組			
講演10 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	小磯 和子	49
講演11 リコール技術検証の現状と今後の取組	リコール技術検証部長	大森 隆弘	51

ポスターセッション

題目	所属	発表者 ※主発表者	頁
①自動運転車の安全性評価に向けた台上試験機を用いたVRテストシステムの開発	自動車安全研究部	※中川 正夫 杉本 岳史 山本 裕之 関根 道昭	57
② AEBS の不要作動を確認する試験シナリオに関する研究（続報）	自動車安全研究部	※児島 亨 岩瀬 常利 廣渡 太一	59
③乗車姿勢が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響について —小柄女性ダミーによる検討—	自動車安全研究部	※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩	61
④車両後方ソナーにおける人検知の可能性調査	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	63
⑤高速点滅光の明るさ感評価に関する研究	自動車安全研究部	※加藤 洋子 関根 道昭 伊藤紳一郎 (ポスター対応)	65
⑥ ADB 機能を活用した路面描画ランプの動的評価	自動車安全研究部	※青木 義郎 加藤 洋子 関根 道昭	67
⑦注意散漫状態の高齢ドライバーに対する視覚的注意喚起情報の効果に関する研究	自動車安全研究部 電気通信大学 電気通信大学	※関根 道昭 榎本 恵 加藤 洋子 向田 佑介 田中 健次	69
⑧レーザをイニシエーション手法に用いた自動車用リチウムイオン電池の安全性試験の検討	自動車安全研究部 電気安全環境研究所 電気安全環境研究所 長岡技科大学 長岡技科大学	※小鹿健一郎 本多 啓三 釣賀 英樹 梅田 実 白仁田沙代子	71

題目	所属	発表者 ※主発表者	頁
⑨重量貨物車の実路走行データによるディーゼル微粒子捕集フィルタ（DPF）の再生頻度と捕集性能の把握	環境研究部	※山本 敏朗 鈴木 央一 柴崎 勇一	73
⑩ガソリン直噴車における固体粒子の粒径分布評価	環境研究部	※志村 涉 奥井 伸宜	75
⑪車両周囲温度湿度環境をコントロールする次世代シャシダイナモ設備	環境研究部	※川原田 光典 奥井 伸宜	77
⑫高精度ルートマッチング機能を用いた道路上での走行車両の位置情報取得手法の開発	環境研究部	※柴崎 勇一 山本 敏朗	79
⑬運転支援情報伝送に関する妨害対策の実列車走行実験による検証	交通システム研究部 東京大学	※林田 守正 工藤 希 長谷川 智紀 小林 貴 水間 毅	81
⑭鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法について	交通システム研究部	※長谷川 智紀 工藤 希 山口 大助 一柳 洋輔	85
⑮新しい列車制御システムを対象とした安全解析について	交通システム研究部	※工藤 希 長谷川 智紀 林田 守正	87
⑯支柱通過前後の索道搬器のロール振動に関する考察	交通システム研究部 客員研究員	※一柳 洋輔 森 裕貴 山口 大助 千島 美智男 緒方 正剛 押立 貴志	89

口 頭 発 表 11. 29

環境研究部における研究の概要と方向性

環境研究部

坂本 一朗

1. はじめに

自動車から排出される大気汚染物質は、これまでの厳しい排出ガス規制によって大幅に低減し、令和元年度の二酸化窒素（NO₂）の環境基準達成状況¹⁾は自排局、一般局ともに100%達成であった。一方、微小粒子状物質（PM_{2.5}）の環境基準達成率は自排局で98.3%、光化学オキシダント（Ox）は自排局で0%であり、さらなる低減が課題となっている。

令和元年度の日本の二酸化炭素排出量²⁾は11億800万トンで、自動車全体で日本全体の16.0%（運輸部門の86.1%）を占めており、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月18日）³⁾では、「2035年までに、乗用車新車販売で電動車100%を実現できるよう、包括的な措置を講じる。」こととしている。

令和元年度の自動車交通騒音状況⁴⁾では、全国で昼夜間とも環境基準を超過していたのは全体の2.6%であり、道路に面する地域における環境基準の達成状況は改善傾向にあるものの、沿道での突出した騒音に対する苦情件数はここ数年は増加傾向にある。

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、陸上交通に係る環境の保全、及び、温室効果ガスの排出削減を図るため、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等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。

- ・燃料電池自動車、電気自動車等の新技術搭載車の安全・環境性能評価とOBDの活用による使用過程の車両性能情報収集方法の検討
- ・実環境走行でのエネルギー消費効率・有害排出物質等の信頼性・公平性を高めた評価
- ・走行実態に即した騒音の評価

本稿では、当部で行っている研究及び国際基準調和活動の概要と方向性について述べる。

2. 研究の概要

2. 1. 燃料電池自動車、電気自動車等の新技術搭載車の安全・環境性能評価とOBDの活用による使用過程の車両性能情報収集方法の検討

カーボンニュートラルの実現に向けて、電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド自動車等次世代自動車の環境性能評価方法を、技術の進歩に対応して高度化するための研究を行っている。特に、電動車の普及が見込まれるため、技術が急速に進化しているバッテリーの安全性や耐久性を適切に評価するための研究を行っている。また、災害時における電動車のバッテリーの活用についての検討も行っている。

2. 2. 実環境走行でのエネルギー消費効率・有害排出物質等の信頼性・公平性を高めた評価

自動車のエネルギー消費率や有害排出物質に関して、より実走行条件に即した様々な運転条件下において適用可能な評価方法の高度化に関する研究を行っている。

微小粒子状物質のさらなる低減のため、従来の重量によるPM排出量の規制に加え、粒子数（PN）の規制が導入されることとなったことから、とりわけ国際基準で定められている重量車のPN試験法が国内の車両に対して妥当であるかの検証実験を行っている。

重量車の実走行時における排出ガスを計測するため、当研究所ではNO_xセンサ等の排気管直挿センサを用いた計測システムの開発と、その結果を基に路上走行時の排出ガスを高精度に把握する手法を検討するとともに、排出ガスの実態把握に取り組んでいる。

また、自動車全体のエネルギー消費（CO₂）を削減するため、交通流シミュレーションを構築し、実路における自動車の挙動を再現すると共に、自動運転や次世代環境車の普及に伴うエネルギー消費の削減効果を試算するための基礎調査を行っている。

国土交通省は、運輸部門におけるCO₂排出量の多

い大型車分野に関し、産学官連携のもと、電動化技術や内燃機関分野等の開発促進の強化を図るため、「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」を5か年計画（令和元年度～5年度）で行っている。令和3年度も当研究所が中核的研究機関となって、大型車を電動化するに当たって積載量を減らさずにバッテリー搭載スペースを確保するため、モータと変速機を一体化したアクスルの開発、重量車の空力性能改善のための車両形状の検討などを行っている。

2. 3. 走行実態に即した騒音の評価

マフラーを交換する等により公道走行で突出した騒音を発生する車両が存在するため、苦情の原因となっている。そのため走行時の騒音から、街頭検査時の騒音試験法である近接排気騒音試験法の規制値を超過する車両を判別すべく、走行騒音の周波数特性に着目したAIモデルの作成を行っている。AIモデルの検証を行うため、警察機関等と連携して街頭検査に同行し、走行騒音と近接排気騒音のデータを収集し、車両騒音を判別するシステムの精度向上の検討を行っている。

3. 国際基準調和活動

環境研究部では、国際連合欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（WP29）傘下の環境に関する専門分科会及び専門家会議等において、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・エネルギー専門分科会（GRPE）

EVE（Electric Vehicles and the Environment）専門家会議は当研究所の職員が副議長を担当し、バッテリーの耐久性の要件について検討を行っている。第84回GRPE（2021年11月）において世界技術規則（GTR）の案を合意し、第186回WP29（2022年3月）での成立を目指している。また、RDE（Real Driving Emissions）専門家会議においては米国も交えてGTRの策定に向けた活動が開始された。

3. 2. 騒音・タイヤ専門分科会（GRBP）

GRBPでは、大型車等の後退を音で知らせる警報装置に関する新たな国連規則を検討するため、タスクフォースが設置され議論が行われている。当研究所の職員が議長を担当し、第75回GRBP（2022年1月）において、新国連規則案の合意を目指している。また、四輪車の加速走行騒音に関する国連規則UNR51-03で規定されている追加騒音試験法（Additional Sound

Emission Provisions（ASEP）の見直しがASEP専門家会議で行われており、当研究所の職員が副議長を担当している。第75回GRBP（2022年1月）に改正の提案文書を提出する予定である。

4. 環境研究部の今後の方向性

令和元年度の自排局における二酸化窒素の環境基準達成率が初めて100%となった。この状況が引き続き維持できるように使用過程時における排出ガス性能の評価を継続して行っていくこととしている。

また、カーボンニュートラルの実現に向けて自動車の電動化が推進されているため、バッテリーの安全性や耐久性の評価、災害時における医療救護等への電動車の活用、電動化が困難な重量車において走行時の二酸化炭素排出量を低減するため次世代燃料を使用したときの環境性能の評価などを行っていく予定である。

さらに、他研究部との連携により、交通システム全体を通じて安全・安心な環境の創出についても検討を行っていく予定である。

当研究所では、国の施策等に貢献するための試験研究等を継続して実施していくことにより、環境の保全及び温室効果ガスの排出削減を図るため、関連する研究、調査等を進めていくとともに、国際基準調和活動に貢献していくこととしている。

参考文献

- 1) 環境省，“令和元年度 大気汚染状況について”，環境省ホームページ，<https://www.env.go.jp/press/109397.html>，（参照 2021.8.31）
- 2) 国土交通省，“運輸部門における二酸化炭素排出量”，国土交通省ホームページ，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html，（参照 2021.08.31）
- 3) 内閣官房，経済産業省，内閣府，金融庁，総務省，外務省，文部科学省，農林水産省，国土交通省，環境省，“2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”，<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>，（参照 2021.08.31）
- 4) 環境省，令和元年度自動車交通騒音の状況，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/files/jp/115891.pdf>，（参照 2021.8.27）

講演 1. 重量車におけるカーボンニュートラル化に向けた取組

上席研究員 新国 哲也 鈴木 央一

1. はじめに

商用を主とする重量車の動力源には、主に原油から精製される軽油を燃料とするディーゼルエンジンがこれまで用いられてきた。これは、コスト、効率、利便性、性能（出力、航続力）など、実用上重要な要素について、他の動力源に対して圧倒的に優位性があったためである。これらの要素以外に普及を左右する重要要素としては、環境性能が挙げられる。ディーゼル車による大気汚染問題が深刻だった 2002 年に、国土交通省は「次世代大型車開発・実用化促進プロジェクト」を立ち上げ、ディーゼル車に置き換わりうる技術として、排出ガス性能に関するポテンシャルの高い天然ガス、ジメチルエーテル、水素などを対象に技術指針策定等に向けた技術開発支援なども実施した。それらでは、窒素酸化物（NOx）と粒子状物質（PM）について当時の排出ガス規制値の 1/10 レベルという超低排出ガス性能を達成し、抜本的な大気環境改善に向けた可能性をいち早く提示した。ただし、その後ディーゼル車の排出ガス性能が大きく改善されると、天然ガス等の優位性の主たる部分は失われたため、これらの技術については、大規模な普及には至らない結果となった。近年では、地球温暖化をもたらす CO₂ などの温室効果ガス削減がクローズアップされている。今後は 2050 年カーボンニュートラル実現に向けて、重量車についても電動車や水素燃料自動車の開発・導入等がさらに進められていくと考えられる。

一般に急速に動力源が置き換わる際、例えば帆船から蒸気船、蒸気機関車から電車や気動車、プロペラ機からジェット機などへの移行をみると、置き換わる側が実用面で圧倒的に高いポテンシャルを持っており、公的な普及策などを必要とせずその後の主流となった。環境性能による置き換えの場合は、既述のような自然な流れのみでは難しく、政策的な普及策などを組み合わせながら、置き換えによるメリットがある、あ

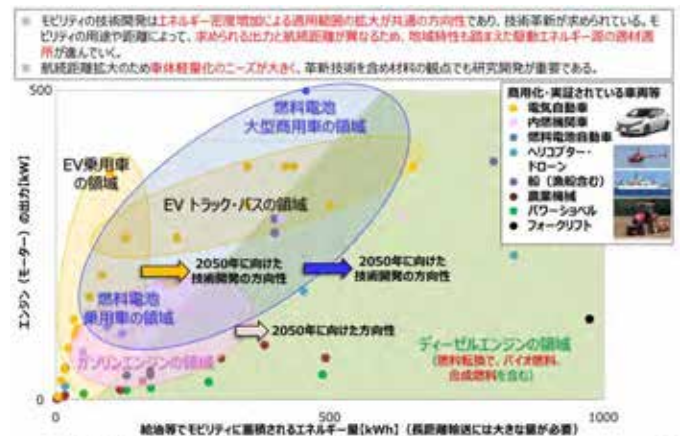


図 1 モビリティに蓄積されるエネルギー量と動力源の出力の関係¹⁾

るいはそれでビジネスモデルが成立するカテゴリから順次進められていくと考えられる。

長距離輸送に使用されることが多い大型トラックでは、上記の実用上の要素のうち、とりわけコストと航続距離（それを決定する因子となるエネルギー密度）が重要となる。様々な動力源を搭載した車両のエネルギー搭載量などについて比較したものを図 1 に示す¹⁾。この図における計算では、現行の長距離トラックは、出力が 300kW 程度である一方、搭載されるエネルギー量は 1000kWh を超えるレベル（図の枠外）となる。現状では EV や燃料電池車で同等なレベルのエネルギー量を搭載することが不可能であるため、代替することは当面困難とみられる。一方、同じ重量車であっても、都市内走行を中心とする小型トラックや路線バス等においては、そこまで搭載エネルギー量が多くないことに加え、多くが毎日同じ拠点に発着するため、新エネルギー車両の導入につきもののインフラ面（例えば EV の場合は充電器の設置など）の課題が少ない。そういった車種では比較的短期間に電動化が進む可能性が高い。したがって、次世代の重量車技術

に関するカーボンニュートラル化について検討していく場合、電動化に加えて内燃機関の活用によるカーボンニュートラルの実現も検討を進めることが重要と考えられる。国土交通省が実施している「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業（以下、「次世代事業」という。交通安全環境研究所は中核的研究機関として本事業に参加）」においては、電動化を含む「車両技術」に加えて「内燃機関」「後処理」の3つのワーキンググループ（WG）を設置して、大学、民間企業と共同で調査研究を進めている²⁾。実施体制を図2に示す。

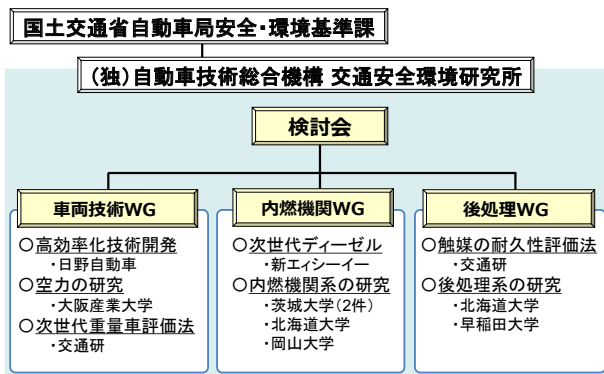


図2 次世代事業の実施体制図

本報告では、交通安全環境研究所における重量車を対象としたカーボンニュートラルに向けた取り組みとして、実施中の次世代事業における成果の一部を紹介するとともに、水素やカーボンニュートラル燃料を対象に今後基準や評価法に関する検討が必要と見込まれる事項について述べていく。

2. 次世代事業で得られつつある成果について

次世代事業は、令和3年度が5年計画の3年目にあたり、最終的な目標達成に向けて引き続き業務を進めている。これまでに得られている成果の一部について紹介する

2. 1. 車両技術関連

車両技術WGでは、4件の調査研究テーマが実施されている。そのうち、本報では「重量車のパワートレイン改良による電費向上効果の検討（実施：横浜国立大学）」で得られている成果について紹介する。本研究は重量EVにおける今後の技術進化による改善しるを予測しようというものである。2020年度にはSiC

インバータの採用による電費向上効果について、シミュレーションを用いた予測を行った。

SiCインバータと、それと比較対象となるIGBTインバータについて、それぞれ単体で50Aレベルの既製品素子を15個並列にした回路を設計し、効率を回路シミュレーションにより求めた。

二つのインバータの効率の差分をマップとして示したものが図3である。SiCインバータ素子の方が電力変換効率が高いものの、大半のエリアにおいては差が小さい。ただし、IGBTインバータでは回生（トルク値マイナス）が困難な低速回転においては、最大20%の差が見られ、回生を多く使用するような状況では電費に差をもたらす可能性がある。

図3の結果に、車両モデル、パワートレインモデル、ドライバモデルなどを合わせて走行燃費への影響について調べた。車両は一般的な4t積載クラスのトラ

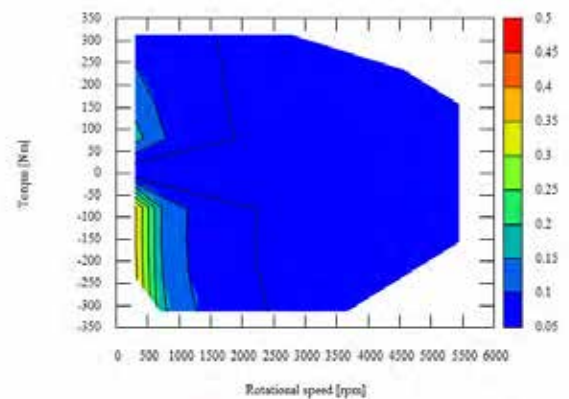


図3 SiCインバータとIGBTインバータの効率の差分

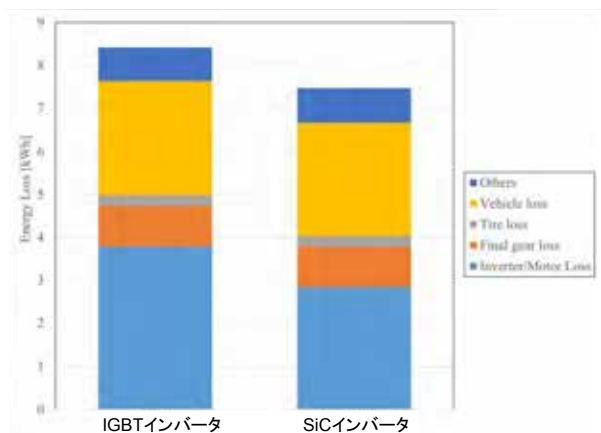


図4 IGBTインバータとSiCインバータ使用時のJE05モード走行時のエネルギー消費の内訳

ック（計算車両重量 7.7t）とし、バッテリーを 47.7kWh 搭載し、駆動には仮定として乗用 EV 用モータを 2 個使用するものとした。

図 4 はその計算結果である。都市内走行を代表する JE05 モードでは、インバータ・モータの損失が全体の半分近くを占めることから、インバータ効率の影響が大きく現れたと考えられ、約 10% の電費改善効果が得られた。なお、同じモータを 4 個持つ総重量 25t の大型トラックを想定して評価したところ、走行仕事に占めるモータ・インバータの損失は大幅に小さい割合になった。一方、低速回転数での回生頻度が増加したため、約 7.6% の改善効果が得られた。このように車両や走行パターンの違いによる改善効果の違いが適切に評価されたと考えており、シミュレーションに使用したモデルは定性的に妥当なものと考えられる。

今年度以降は、可変磁束モータあるいは変速機の導入などによる電費影響調査、さらには一部実機を用いた検証などを行う。

2. 2. 内燃機関関連

内燃機関 WG では、5 件の調査研究テーマが実施されている。その中には、すすやデポジットなどの生成メカニズムに関する研究から、軽油点火の圧縮天然ガスエンジンにおける自着火特性の分析を対象とするものまで、幅広い研究が存在している。本報では、ディーゼル機関の熱効率向上に取り組んでいる「大型ディーゼル機関において画期的熱効率向上を実現するための冷却損失低減技術に関する調査（実施：株式会社新エイシーイー）」における結果のうち、冷却損失低減に関する研究を取り上げる。

冷却損失は、ピストンやシリンダを通して熱エネルギーが失われてしまうことが主であり、それらを断熱化する試みは過去にも行われてきたものの、概ね良好な結果は得られていない。これは、単に断熱をしても燃焼室内の温度上昇により吸入温度が上昇し、サイクル全体でのエネルギー損失が結果的に増加するため、断熱化による効果を相殺してしまうことによる。こうした課題を解決するためには、筒内壁面温度としては燃焼から膨張行程では高温を確保しつつ、吸気から圧縮行程ではむしろ温度を低下させることが望まれる。このような課題に対して、乗用車用ディーゼル機関を対象に、圧縮時と膨張時の壁温の変化幅を増大させる技術が発表されている⁴⁾。ここでは、最大筒内圧力が高く耐久性が要求される大型車用の鍛造鋼製ピスト

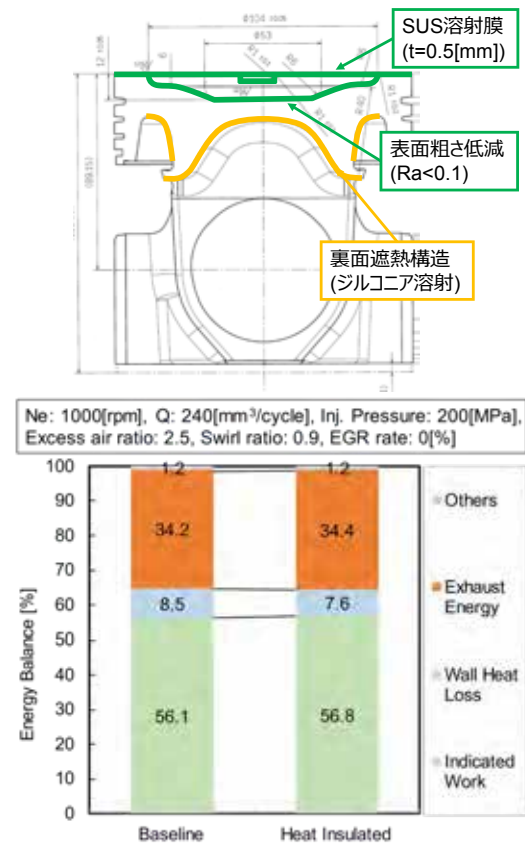


図 5 ピストン表面及び下面の断熱加工（上図）とそれによる正味仕事、各種損失などの変化（下図）

ン等にも適用可能なものとして、ピストン表面を低粗度化（以下、便宜上「鏡面化」という）するなどした結果を見ていくことにする。

まず単にピストン表面を鏡面化するだけでは、冷却損失の有意な低減効果が得られなかったことから、従来の断熱化技術とは異なる構造としてピストン頂面に薄いステンレス（SUS）層を溶射した上でピストン裏面にジルコニア溶射を行った。図 5 に示すとおり 0.9 ポイントの冷却損失の低減が可能となり、その多くを図示仕事の増加につなげることができている。

その改善効果の分析については今年度以降も進めていくことになるが、狙い通り燃焼から膨張行程においては高い圧力を維持できている一方で、圧縮時の圧力が低下していることがわかっている。その理由として壁面温度の不均一性や輻射伝熱の影響が考えられ、表面の瞬時温度計測による熱流束の解析などによりその影響を解析し、さらに断熱構造などを改善する調査を今後行っていく。

2. 3. 後処理関連

後処理 WG では、3 件の調査研究テーマが実施されており、ここでは「還元剤濃度の能動的制御による尿素 SCR 触媒システムの浄化性能向上の調査（実施：早稲田大学）」の研究の成果を取り上げる。本研究では、とくに NO_x 浄化を行う尿素 SCR において還元剤の効果的な添加制御手法に着目している。還元剤である尿素水から加水分解等を経て生成されるアンモニアは、NO_x 還元の有効であるものの有害であり、そのまま排出されることは防がなくてはならない。そのため SCR 触媒後段に酸化触媒が設置されることが多いが、アンモニアが酸化されると温室効果ガスである一酸化二窒素 (N₂O) になる反応プロセスもあり、還元剤を NO_x 還元効果的に使うことの意義は大きい。

図 6 は、還元剤となるアンモニアの間欠的な添加に関するパラメータについて示したものである。定常的に 300ppm で供給し続けた場合と、それより高い濃度のアンモニアを間欠的に供給させ、そのインターバルを変数（図 6 における「 dt_{off} 」）としている。その際、各条件のアンモニア供給量は定常的にアンモニアを供給する場合と同一である。

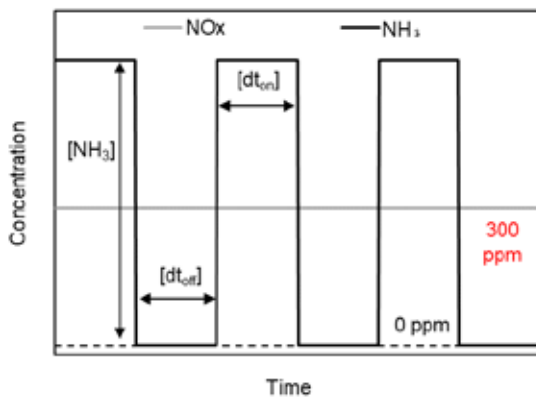


図 6 尿素水の間欠的な添加のイメージ

そのときの浄化率の変化について図 7 に示す。間欠的に供給した場合には NO_x 濃度と同一濃度を連続的に供給した場合（浄化率約 40%）よりも全体的に高い浄化率を示した。とくに 1200ppm など高い濃度を 120 秒程度のインターバルで供給したときに高い浄化率を示した。これは触媒上のアンモニア吸着量は多い方が浄化性能につながる一方で、アンモニアが飽和吸着となった場合に硝酸アンモニウムが生成して触媒活性表面を被覆して NO_x 浄化を阻害するケースが

あるため、最適間隔が存在したと推測された。ただし、この値は温度や触媒の物性により変化するものであり、今後各要素の値を入れた汎用性の高い理論式を求める検討を行う。

本結果は、触媒テストピースを用いたリアクタ試験で実証されたモデルを用いたシミュレーション結果によるものであるが、今後実機を用いた検証を実施していく。

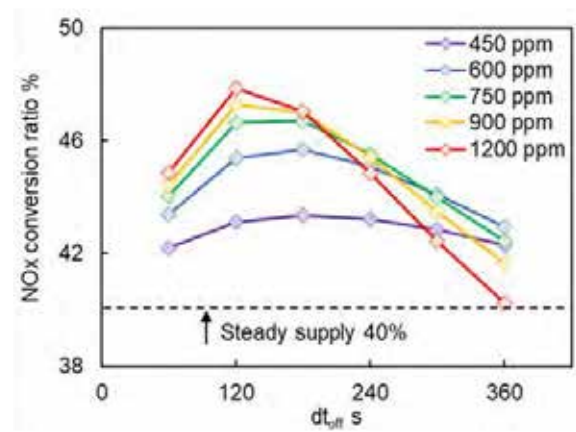


図 7 還元剤の間欠供給の違いによる NO_x 浄化率変化

3. カーボンニュートラル化に向けた評価方法の検討など

今後カーボンニュートラル化に向けて、多様なエネルギー源、具体的には電気、水素、アンモニア、カーボンニュートラルな軽油互換の液体燃料（それを代表するものとして以下、「e-fuel」という）などの利用拡大が見込まれる。このうち水素、アンモニア、e-fuel は、燃焼をさせると NO_x 等の有害成分を生成する可能性がある。電気を用いる場合、使用過程でのバッテリー容量低下など性能変化が課題となり得る。また、水素燃料電池車 (FCV) においては、軽・中量車においてはすでに水素消費率がカタログ等にも記載されている一方で、重量車における水素消費量測定はこれからの課題といえる。

ここでは上記のうち、e-fuel における排出ガスの問題と、FCV における水素消費量測定についてみていくこととしたい。

3. 1. e-fuel について

長距離トラック等においては既述のようにディー

ゼルエンジンが当面必要と見込まれ、それらに e-fuel を用いることが考えられる。

過去に交通安全環境研究所において、バイオ燃料（菜種油メチルエステル：RME）を用いて当時の最新排出ガス低減装置を有する車両にて性能評価を行ったところ、NO_x 排出量が 2 倍以上に増加するなど大きく性能が悪化する例がみられた⁵⁾。これは昨今の制御の高度化が進む車両においては、燃焼、過給機、後処理等の制御において、現行の軽油を前提に高度に最適化されており、それから外れた性状の燃料が使用された結果、排出ガス性能が大きく変化したと考えられる。一方で、RME が分子構造中に酸素を含み、燃焼時の PM 生成が少ない特性を生かして、より積極的に排出ガス再循環（EGR）を行うなど制御を変更することで、軽油使用時よりも NO_x 等を低減することが可能となり、有害排出物抑止のポテンシャルの高さも示された。

また、高濃度バイオ燃料により 2009 年規制適合の重量車用エンジンを運転して評価を行った試験において、未規制成分であるアルデヒド排出量や粒子数（PN）排出が増加したとする例がある⁶⁾。

これらの性能変化は、燃料噴射系や過給器などエンジン技術及び排出ガス後処理装置や、その制御技術の進化により影響度が変化すると見込まれる。そこで、その時々最新の技術における e-fuel 使用時の性能変化について見ていきながら、大気環境改善につながる低排出ガス性能を維持していく取り組みを継続していくことが必要と考えられる。

3. 2. 水素消費量評価について

重量車については、FCV 等水素を燃料とする車両の燃料消費率測定法は現時点では定められていない。ただし乗用車等の軽・中量車における水素消費量評価法については、すでに「軽・中量車の世界統一排出ガス測定法に係る協定規則（第 154 号）」でも定められており、WLTC を走行した際の水素消費量を試験前後の水素ボンベの重量差から求める重量法が、主に使用されている。その国際的な検討に際しては交通安全環境研究所において実施した精度検証等の試験調査⁷⁾を報告している。

一方、重量車における燃費評価方法は、モード試験中の燃料消費を直接測定するものではなく、シミュレーション法が用いられ、燃費値自体は計算により求められるもので、軽・中量車とは抜本的に異なる。シミ

エンジン回転数 10点 トルク 5点

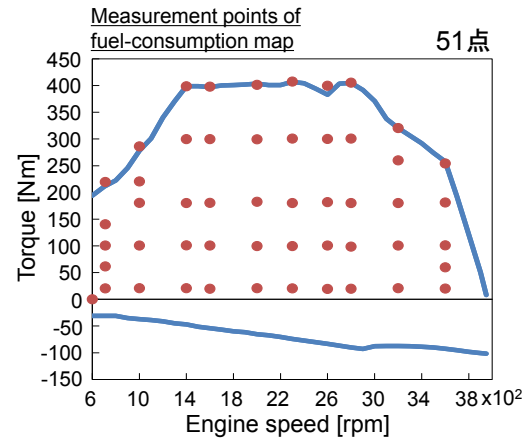


図 8 重量車燃費評価に用いられる燃費マップの測定点（赤丸）の例

ュレーション法に必要な実測データは、エンジン車の場合だとエンジンの回転数と負荷率で定められる多数の条件における燃料消費率を求めたデータ群である燃費マップになる（燃費マップのデータを取得することは FCV でも同様）。燃費マップの計測点の例を図 8 に示す。このような多数点の測定を重量法により測定するとした場合、数十 kg レベルのタンク重量（汎用の 47L ボンベの重量は約 50kg）に対して条件によっては数 g レベルの水素消費を測定することになり、精度確保には長時間の運転が必要になると見込まれることに加え、試験途中でボンベを切り替える場合の処置など、実運用面の課題が多いと考えられる。そのため、軽・中量車の測定でほとんど実績のない流量法や圧力法の適用を考慮した、実用的な試験プロセスを明らかにしていくことが重要であると考えられる。

こうした問題意識で実施した調査結果は、水素内燃機関、水素燃料電池のいずれにも活用できるもので、今後の重量車のカーボンニュートラル化を評価方法の面からアシストできると考える。

4. ま と め

トラック、バスなどの重量車におけるカーボンニュートラル化は、当面内燃機関も含めた広範な技術を用いて進められていくことが重要であると考えられる。国土交通省が進めている「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」では、産学官連携で幅広い技術を対象に取り組んでおり、その一部を紹介し

た。

また、今後カーボンニュートラル化に向けて基準や試験法策定などにおいて課題になり得る要素の例として、e-fuel や水素消費量測定について取り上げた。これらの課題について、それが必要とされる機会を探りつつ、国土交通省が推進する次世代事業の中核的研究機関を担いながら、自らも研究を進めることを目指したい。

参考文献

- 1) NEDO ほか、「モビリティ／水素分野の技術動向について、」 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/002_04_01.pdf
- 2) 鈴木央一、奥井伸宜、山本敏朗、柴崎勇一、坂本一郎、「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の概要、」交通研フォーラム 2020、https://www.ntsels.go.jp/Portals/0/resources/forum/2020files/poster/post_07_s.pdf
- 3) 自動車技術会フォーラム (21FORUM-6) https://www.jsae.or.jp/02event/2021forum/prog_21F-6.php
- 4) 脇坂佳史、稲吉三七二、福井健二、小坂英雅、堀田義博、川口暁生、「壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減 (第 2 報) -単筒エンジンによる遮熱効果の先行検討-」自動車技術会論文集 Vol.46.No.1、p. 39-45、2016
- 5) 川野大輔 石井素 後藤雄一、野田明、青柳友三、「バイオマス燃料対応ディーゼルエンジンの研究開発」、交通研フォーラム 2007、<https://www.ntsels.go.jp/Portals/0/resources/forum/2007files/07-05k.pdf>
- 6) 北村高明、松浦賢、「バイオディーゼル燃料によるポスト新長期規制適合エンジンの排出ガスへの影響」、JARI Research Journal 20140501
- 7) 小鹿健一郎、新国哲也、「FCV における水素燃料消費率測定方法の国内導入に関する検討、」交通研フォーラム 2017、<https://www.ntsels.go.jp/Portals/0/resources/forum/2017files/P08.pdf>

講演2.HILS 試験法の拡張による重量車 RDE 代替評価の検討

環境研究部

※奥井 伸宜

1. はじめに

自動車の実路走行における排出ガスとシャシダイナモを使ったサイクルをベースとする排出ガスの試験結果には、乖離があるとの指摘がある。このため、欧州ではディーゼル及びガソリン乗用車の路上走行 (RDE : Real Driving Emission) 試験が 2018 年より開始されている。日本においては、ディーゼル乗用車の RDE 試験が 2022 年より開始されることが決まり、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) の整備等が進められている。一方、トラックやバス等の重量車に対する RDE 試験の適用は、現時点で未定である。

これらの背景から、実際の道路状況下で重量車の燃費や排出ガスを乗用車と同様に評価することが望ましい。しかし、重量車は同じパワートレインを数多くの車種に展開しており、RDE 試験で重量車全ての車両仕様を評価することは困難である。ここで、重量車のカタログに記載されている燃費や排出ガスは、計算による「シミュレーション法¹⁾」や「HILS (Hardware in the Loop Simulation) 法²⁾」が用いられ、すべての仕様を効率よく評価できる手法となっている。

本研究では、HILS 手法を用いながら実機のエンジンや各種装置の特性を考慮できるように拡張することで、重量車 RDE の代替評価の可能性を検討した。

2. HILS 試験法の拡張 : 現在の構築状況

図 1 中央に示す HILS は、車両のみならず、エンジン、電動モータ及びバッテリー等のパワートレイン部分を机上の計算機にモデルで再現したものである。

エンジンについては、エンジン等の状態が安定した

表 1 電動重量車に対する試験法の整備状況 (日本)

	Hybrid (HEV)	Plug-in Hybrid (PHEV)	All Electric (EV)
乗用車	TRIAS_5-9-2009	TRIAS_5-9-2009	TRIAS_99-011-01
重量車	TRIAS_99-007~9-01 TRIAS_31-J041(1~3)-01 →HILS手法が採用 →エンジンHILS手法が望ましい!	→エンジンHILS手法を提案 <国交省、自工会と 勉強会を実施済み> (→エンジン+バッテリーHILS)	→バッテリーHILS手法を提案

「ホットスタート」が前提であり、モデルで再現することは比較的容易である。しかし、電動化技術搭載車両の実運用時は、コールドスタートとなる場面が多く、エンジン等は熱変化を伴うため、エンジンのモデル化は困難である。そこで、プラグインを含むハイブリッド重量車のコールドスタートの燃費や排出ガスを高精度に評価することを目的として、エンジン部分をモデルから実機に置き換えた「エンジン HILS」手法を構築した。

一方、バッテリー搭載容量が多い電気重量車は、車両走行時にバッテリーが発熱する、長期の使用過程下で劣化するなど、バッテリーの各種特性が時々刻々変化する。そのため、バッテリーをモデルで扱うことは容易ではない。そこで、電気重量車の電費を高精度に評価することを目的に、従来 HILS に実機バッテリーを組み合わせた「バッテリー HILS」手法を構築した。

電動重量車に対する試験法の整備状況を表 1 に、エンジン HILS 及びバッテリー HILS の概略図を図 1 に示す。HILS の拡張により得られる利点を以下に記す。

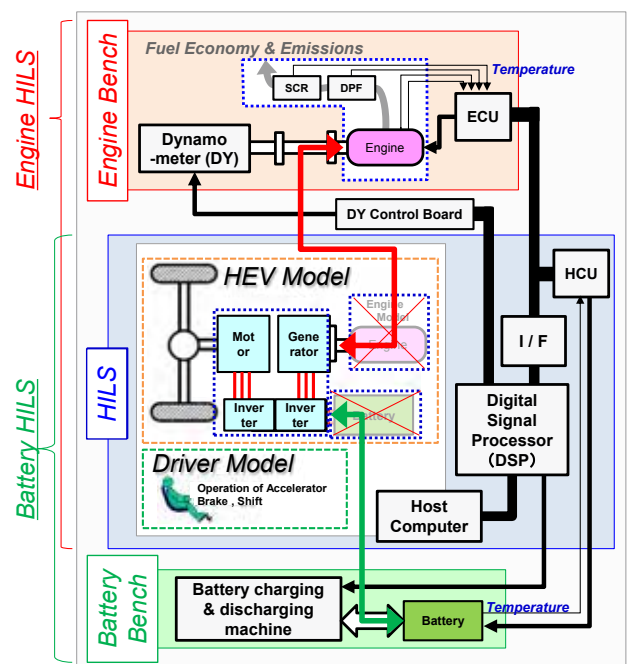


図 1 HILS の拡張化 (概略図)

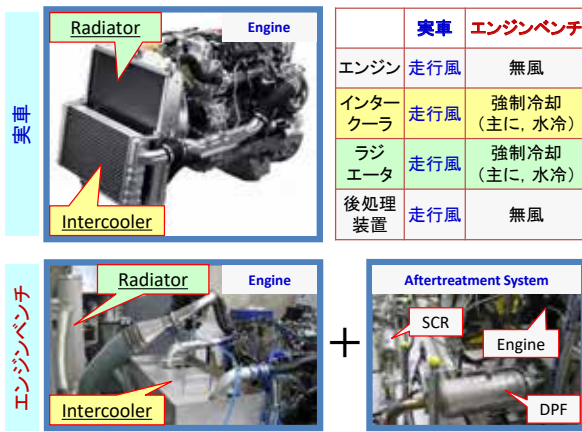


図2 HILSの拡張化(概略図)

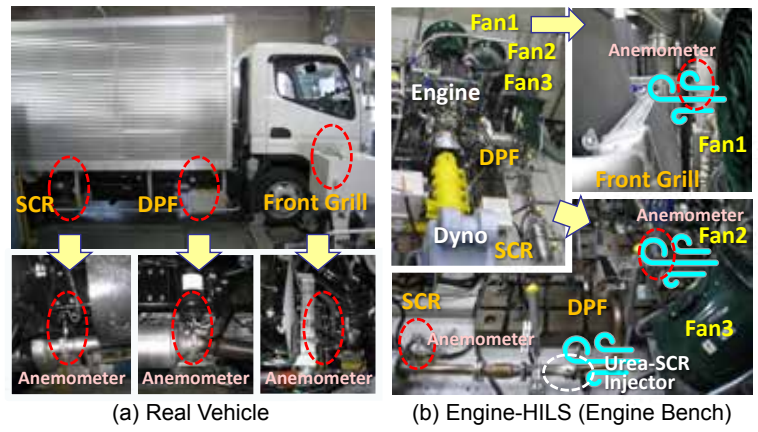


図3 走行風の再現準備(ファン, 風速計の設置)

①電動技術搭載重量車の燃費、排出ガスを高精度に評価することが可能となる (HEV、PHEVを含む)

- ・エンジンや排出ガス後処理装置の温度変化を加味した評価ができる
- ・バッテリーの温度変化や劣化状態を加味した評価ができる

②試験工数の削減が可能となる

- ・HILS プログラムを実行しながら実機エンジン、実機バッテリーを稼働
- ・実機エンジン、実機バッテリーの使用により、事前評価が不要 (燃費マップ、バッテリー特性マップ等の取得が不要)

③新たな大型設備投資が不要となる

- ・従来 HILS と保有エンジンベンチを使用
- ・バッテリーのセル単体と小型な充放電装置を使用

3. HILSの拡張によるRDE代替評価に向けて

3.1 エンジンベンチ試験手法

現在、重量車に適用されているシミュレーション法及びHILS法は、エンジンの計算モデルの構築が必要となることから、エンジンベンチ試験が適用されている。重量車RDEの評価をエンジンベンチ試験手法で実施する際、冷却方法が課題になると考えられる。

エンジンベンチ試験は、エンジンの運転指令値に、「時間 vs. エンジントルク」及び「時間 vs. エンジン回転数」が与えられる。その指令値には車速の概念がなく、実車両が実路を走行する際に発生する走行風をエンジン等の冷却に用いることができない。そのため、エンジンや排出ガス後処理装置は、空調機を用いて調整された室内温度環境下(25℃など)に設置され、この環境下の無風で試験が行われている。さらに、従来試験手法は、エンジン給気冷却用のインタークーラ、エンジン冷却用のラジエータなどは、図2に示す

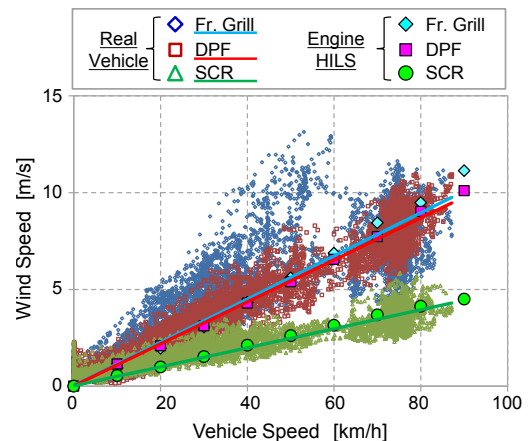


図4 走行風の取得及び再現

車両純正品とは異なる水冷方式の熱交換器に置き換えられている。

3.2 エンジンHILS試験手法

エンジンHILSは、目標車速を仮想車両が追従走行しながら、エンジン駆動に必要な情報をエンジン制御装置(ECU: Engine Control Unit)に直接入力する。このため、エンジン運転中に車速情報が活用できる。

3.3 エンジンHILSを用いた走行風の再現

(1) 実走行時の走行風の実態把握

市販のディーゼルトラック(キャンター:三菱ふそうトラック・バス)を供試車両として、「市街地~高速~郊外」から成る実路ルートを走行し、走行風と車速の関係を調査した。この際、図3(a)に示すとおり、車両のフロントグリル後、排出ガス後処理装置DPF(Diesel Particulate Filter)前、SCR(Selective Catalytic Reduction)前に風速計(SYSTEM 6244: KANOMAX)を設置した。

結果を図4に示す。フロントグリル後とDPF前の風速はほぼ同等で、SCR前の風速はそれらの半分程度であることが分かった。

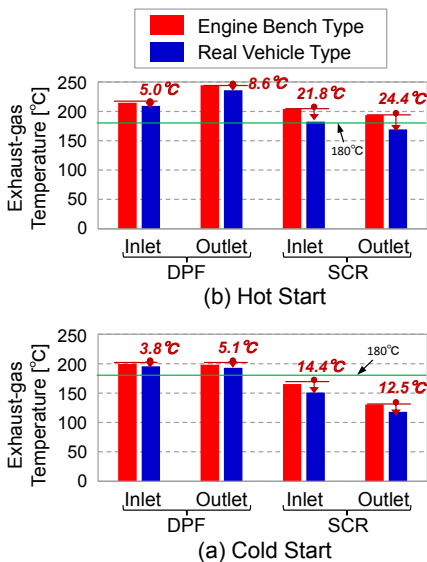


図5 排出ガス後処理装置へ及ぼす冷却の影響 (DPF, SCR 温度)

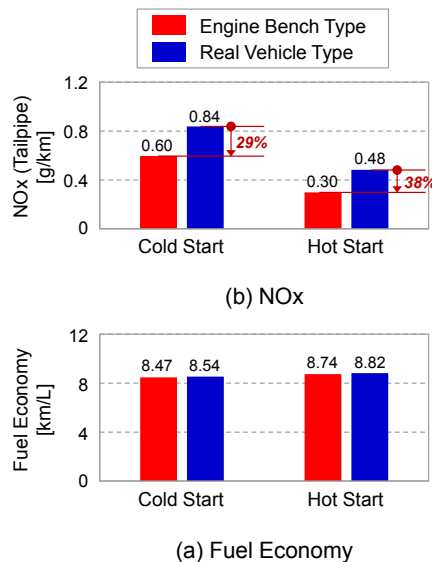
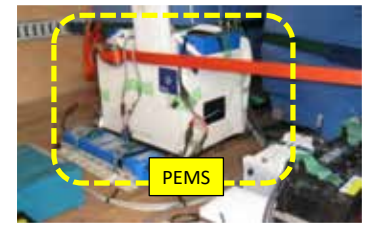
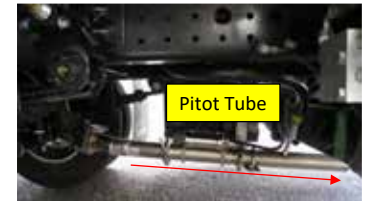


図6 排出ガス後処理装置へ及ぼす冷却の影響 (燃費, NOx)



(b) Luggage Compartment



(a) Tailpipe

図7 実車走行試験 (PEMS 搭載)

(2) エンジンベンチにおける走行風の再現

供試車両が搭載する同型、同制御の実エンジン、DPF 及び SCR をエンジンベンチに設置し、HILS と組み合わせ「エンジン HILS」を構築した。この際、エンジンベンチに設置した車速比例ファンで、エンジン、DPF 及び SCR に当てる風速を調整した。風速計は、実車と同様の位置に設置した (図 3(b))。実路走行時の風速は、横風や吹き戻しなどの要因でバラつきを生じたことから、一次近似した線で代表させた。エンジンベンチ内でこの近似線上の風速が得られるよう、各車速比例ファンの設置位置や向きを調整した。

調整後の結果を図 4 に示す。エンジンベンチ内で実車相当の走行風 (代表線) を再現することができた。

3. 4 走行風が与える影響の把握

実車が走行する際、排出ガス後処理装置は走行風を受ける (図 4)。そこで、排出ガス後処理装置への冷却の有無が、エンジン性能に与える影響を評価した。従来エンジンベンチ相当条件として、インタークーラは空冷方式、ラジエータは水冷方式、排出ガス後処理装置は無風の室温環境下とした。一方、実車相当条件として、インタークーラ、ラジエータ及び排出ガス後処理装置は車速比例ファンによる空冷方式とした。

JE05 (コールド及びホットスタート) モード全体における各後処理装置前後の排出ガス温度の平均値を、図 5 に示す。車速比例ファンを使う実車相当 (図中の Real Vehicle Type) の方が、各計測部における排出ガス温度が低く、SCR で NOx 浄化に必要な排出ガス温度 (180°C 以上) は、ホットスタートでも下回る結果

となった。一方、車速比例ファンを使わない従来エンジンベンチ相当 (図中の Engine Bench Type) は、その温度 (180°C) を上回ることが確認された。

次に、モード全体における燃費及び NOx 排出量を図 6 に示す。燃費は、冷却条件の違いによらず、同等となった。NOx 排出量は、車速比例ファンを用いた実車相当の条件において、コールドスタートで 29%、ホットスタートで 38%悪化した。上述したとおり、走行風により排出ガス温度が低下し、SCR の NOx 浄化機能が低下したことが要因として考えられる。

以上より、排出ガス後処理装置への冷却の有無が、排出ガス特性に影響を与えることを確認した。従来エンジンベンチ試験の課題になると考える。

4. HILS の拡張による RDE 代替評価の検証

重量車 RDE の代替評価を試みた。供試車両が実路を走行した際のエンジン性能と、この時に取得した車速パターンを用いて「エンジン HILS+車速比例ファン」で運転させた際のエンジン性能を比較した。

4. 1 実験条件

ルート 1 は「市街地～高速～郊外」から成り、勾配が比較的なだらかなルート (熊谷ルート: 走行距離=79km、区間平均車速=46km/h)、ルート 2 も「市街地～高速～郊外」から成るが、起伏の多いルート (箱根ルート: 走行距離=81km、区間平均車速=46km/h) である。どちらもコールドスタートである。ルート 3 は高低差の多い都市高速の周回ルート (首都高 C1 ルート: 走行距離=39km、区間平均車速=52km/h) であり、ホットスタートである。



図8 RDE試験時のエンジン回転数及びNOx排出量の時間履歴：ルート2（実車及びエンジンHILS）

実車の排出ガス計測は、図7に示す車載式排出ガス計測装置（PEMS：Portable Emission Measurement System）（AVL M.O.V.E Gas PEMS iS：AVL）を用いた。道路勾配は、準天頂衛星に対応する高精度測位端末（AQLOC-Light：三菱電機）を用いた。走行時の外気温度は約26～30℃、天気は晴れ、路面はdry状態で、車両重量は半積載重量（5,010kg）とした。

エンジンHILSの走行条件は、実路走行時に取得した車速パターンと勾配を目標とした。この際、本エンジンHILSは従来の重量車試験法の考えを踏襲しており、直線路として仮想車両を追従走行させた。冷却システムは、実車相当の状態に近づけるため、インタークーラ、ラジエータ及び排出ガス後処理装置は、車速比例ファンによる空冷方式とした。

4.2 実験結果

ルート2の起伏の多い箱根ルートの走行結果を図8に示す。図上段より車速及び高度、エンジン回転数、排気管出口のNOx排出量（瞬時、積算）を示す。

エンジン回転数に着目する。実車及びエンジンHILSで再現した仮想車両の回転数は、モード全域においてほぼ同等であった。つまり、実車両の走行状態をエンジンHILSで良好に再現できている。次に、排気管出口のNOx排出量を確認する。コールドスタートとなる発進時、エンジンHILSのNOx排出傾向は十分に再現できている。エンジンがホット状態になった後も、実車と同等のNOx排出傾向を示した。

さらに、各走行全体におけるNOx及びCO₂排出量を図9に示す。ルート2のNOx及びCO₂排出量は、

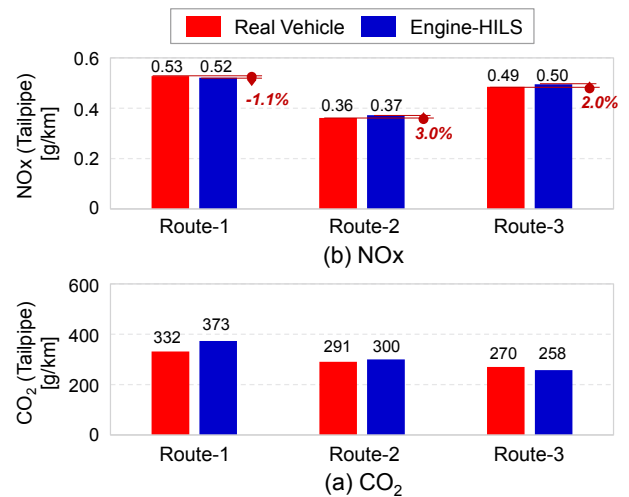


図9 RDE走行時の排出ガス結果

両条件でほぼ同程度の値を示した。ルート1及び3に関しても、エンジンHILSで実車走行性能がほぼ再現できることを確認した。

5. まとめ

HILS法を拡張したエンジンHILS手法に、エンジンや各種装置の冷却に必要な走行風をエンジンベンチ内で再現し組み合わせることで、重量車RDEの代替評価の可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 自動車技術総合機構：燃料消費率試験（重量車（2025年度燃費基準対応）），TRIAS 08-003(1)-01
- 2) 国土交通省：技術指針「ハードウェアインザループシミュレータシステムを用いた電気ハイブリッド重量車の燃料消費率及び排出ガスの試験法について」，国自環第281号（2010）

講演3. AIを用いた走行騒音から不正改造車両の判定方法

環境研究部

※宝渦 寛之

1. はじめに

道路交通騒音に係る環境基準は緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の沿線など一部の地域においては依然として厳しい騒音環境下にさらされている。このようななかで、住民感情を著しく損ねる存在として、自動車ユーザが自らの意思によりマフラーを交換する等によって、道路運送車両の保安基準（以下、保安基準という。）に適合しない大きな騒音を発する車両が挙げられる。図1は、国土交通省の不正改造車110番への情報提供件数のうち、マフラー騒音が占める割合を示したものであるが、マフラー騒音の占める割合は、年々、増加傾向にあり、喫緊に有効な対策が必要な状況であることがわかる。また、近年のコロナ禍による相対的な交通量の減少や自粛疲れから、暴走行為を行う車両の増加も指摘されており、今後、さらに深刻な状況となる可能性もある。

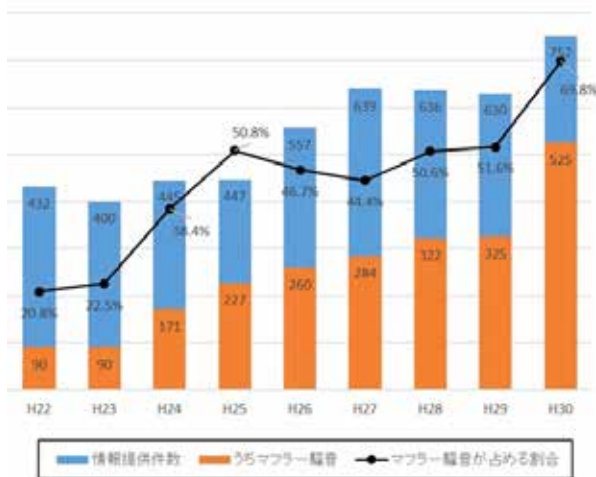


図1 不正改造車110番の情報提供件数にマフラー騒音が占める割合¹⁾

このような車両の取締りは、保安基準の細目を定める告示別添38「近接排気騒音の測定方法」に定められている騒音測定試験（以下、近接排気騒音試験という。）によって実施される。試験にあたっては、車両を呼び止めて停止させ、エンジン回転計の取り付けや騒音計の設置を行い、試験法に則った操作をして試験を

行う。図2に街頭検査における近接排気騒音試験の様子と走行騒音の測定の様子を示し、図3に近接排気騒音試験と定常走行騒音及び加速走行騒音との関係を示す。図3より、走行騒音と近接排気騒音とは単純な相関が低いことがわかる。この理由としては、近接排気騒音試験と走行騒音では車両の状態や騒音測定位置が大きく異なるため、音源の寄与率が異なるためであると考えられる。



街頭検査

実走行

図2 街頭検査における近接排気騒音試験の様子と実走行の様子

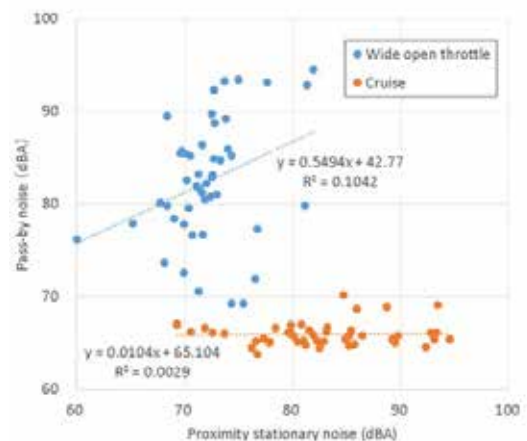


図3 近接排気騒音試験と走行騒音の関係

ところで、近年、様々な分野において、AI (Artificial Intelligence) の活用が進んでおり、従来技術では解決が困難であった多くの課題の解決に貢献している。AIを活用することによって、これまで困難であった走行騒音のみから不正改造車両を検出することが出来れば、より効率的な取締りを行うことが可能となると考

えられる。そのため、本研究では、深層学習により作成した AI モデルを用いて、走行騒音から不正改造車両を判定可能か検討した。本稿では、研究の第一段階として、対象を単独で走行する二輪車を対象に限定し AI の適用を検討した結果を報告する。

2. 深層学習による AI モデルの作成

本研究で扱うデータは騒音データであるが、AI は画像認識において多大な実績を有するため、騒音データを画像データに変換し、この画像データに対して教師あり学習の分類を行う AI モデルを作成した。AI モデルの作成においては、使用可能なデータセットが存在しないため学習データの測定を実施した。

2. 1. 騒音データの事前処理

図 4 に本研究にて採用した事前処理の概要を示す。ここでは、騒音計にて収録した騒音データについて、一定時間幅ごとに周波数解析を行い、横軸を時間、縦軸をスペクトル密度とする白黒の図を作成する。これらは、それぞれの図中の最大値で正規化を行った。ここで正規化を行った理由は、公道では騒音計を設置できる場所が限られるため、車両から騒音計までの距離が測定場所によって様々となり、同じ車両が同じ条件で走行しても異なる騒音レベルとして測定されるため、騒音レベルは考慮しない方がよいと考えられるためである。また、AI モデルの作成にあたっては、画像の変化量が大きな箇所が特徴量として保存されるため、各画像における特徴量を顕在化させる意味でも正規化は適切であると考えられる。

事前処理によって作成した図について、畳み込みニューラルネットワークを適用し、画像を”適法車両”、”不正改造車両”及び車両以外の音を想定した”その他”に分類した。なお本研究では、一つの画像の時間幅を 40msec とし、A 特性の周波数補正を行っている。

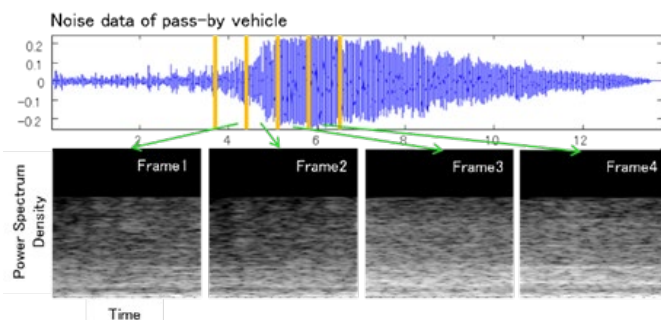


図 4 騒音データの事前処理方法

2. 2. 畳み込みニューラルネットワーク

畳み込みニューラルネットワークは、畳み込み層、プーリング層、全結合層で構成される。畳み込み層では、特徴量の抽出を担っており、プーリング層では、畳み込み層で得られた特徴量を縮小してまとめるために用いられる。全結合層は、全てのノードが次のノードに結合されており、重みを用いて各分類の確率を計算する。本稿では、5 つの畳み込み層、3 つの全結合層、プーリング層に加え、ドロップアウト層、ソフトマックス関数から構成される AlexNet²⁾を使用した。ドロップアウト層では、過学習を防ぐためランダムに入力をゼロとし、ソフトマックス関数では、出力値を 0~1 の値に正規化する。図 4 に本研究で用いた深層学習の構成を示す。

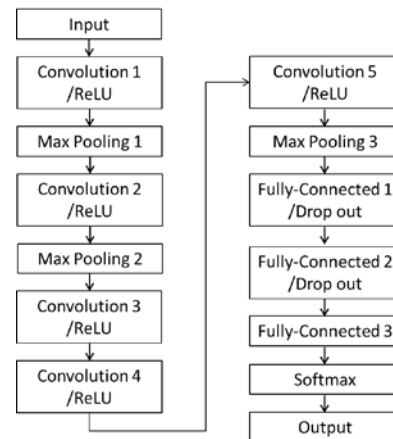


図 5 AI モデル作成のためのアルゴリズム

2. 3. 学習データの測定

一般的に、深層学習により AI モデルを作成する際には、既存のライブラリが使用される。しかし、本研究に必要なのは、近接排気騒音試験が規制値を超過する”不正改造車両”と規制値を超過しない”適法車両”の騒音データである。このようなデータセットは既存のものには存在しないため、テストコース上にて騒音測定を行った。試験車両は二輪車 3 台とし、それぞれの車両について、近接排気騒音試験の結果が規制値を超過するマフラーを 1 本ずつ用意し、純正マフラーとマフラーを交換した状態にて測定を行った。試験車両の走行方法は、車速、加速度、ギヤ位置等、任意とし、1 台ずつ順に測定を行った。得られた騒音データについて 2.1 に示した事前処理を行い、各分類について、それぞれ約 6000 枚の画像データを作成した。作成した画像データは、AI モデル作成のためのデータとして 80% 使用し、残りの 20% は作成された AI モデルの

検証のために使用した。これらのデータの振り分けは、無作為に行った。

3. 学習データによる AI モデルの検証

深層学習では一般的に、“精度”と“損失”という観点にて、AIモデルの善し悪しを判断する。“精度”とは、正解か不正解かのうち、正解となる確率をあらわす。このような場合は、51%の確率で不正改造車と判定された場合も100%の確率で不正改造車両と判定された場合も同じ扱いとなる。一方、“損失”とは、予測値と実際の値の差を、関数を使用して評価するものであり、高精度なAIモデルであれば損失の値は小さくなる。

図6に、学習データを用いて50世代までAIモデルを作成した際の精度と損失を示す。また、学習データの結果はTrain、検証データの結果はValidationとして示す。この結果では、計算の初期段階から精度が高いモデルが作成されていることがわかる。また損失についても、計算の初期段階から低い値で安定していることがわかるが、30世代以降に値が増加する傾向となっており、学習データに対して過学習となっている可能性が考えられる。そのため、以降の検証においては、25世代目のAIモデルを用いることとした。

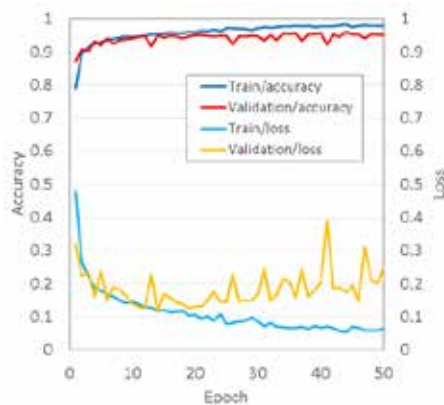


図6 AIモデルの精度及び損失

4. 公道を走行する車両の走行騒音による AI モデルの検証

前節で述べた検証は、得られたデータをランダムにAIモデル作成の学習用データと損失を計算するための検証用データに振り分けたため、完全に無関連のデータでの検証ではない。そこで、学習データと無関連なデータについて、作成したAIモデルの検証を行うべく公道にて二輪車の騒音測定を行った。公道での測

定は、暗騒音の低い山間部と暗騒音の比較的高い都市部にて実施した。

4. 1. 山間部での検証

学習データとは無関連のデータによってAIモデルの検証を行うため、山間部を走行する二輪車を対象とした街頭検査と並行して通過騒音の測定を行った。図7に走行騒音測定のための騒音計の設置場所と街頭検査実施場所の関係を示す。街頭検査は図の右下から左上へ走行する車両のみを対象としており、街頭検査実施場所より上流側にて、一般車両が通常走行している際の走行騒音を測定した。騒音計設置場所と街頭検査実施場所にはそれぞれ記録員が待機し、通過時刻と車両外観等から、走行騒音と近接排気騒音試験の結果を照合した。



図7 街頭検査場所と騒音計設置場所の関係

表1に、街頭検査員が判断した不正改造車/適法車の結果と、同時に取得した走行騒音に対しAIモデルを適用して判定した結果を示す。ここで示した各分類の確率は、車両が到来し通過するまでの騒音データに対する平均値である。検証の対象とした車両はいずれも学習データとは無関連な単独走行する二輪車は6台であり、そのうち5台を正しく予測している。いずれの車両も近接排気騒音試験の結果は規制値付近の値となっており、人の聴感では判定は困難であるが、AIモデルでは高精度に予測することができていることが確認された。

表1 山間部を走行する車両に対する検証結果

AIの予測した確率 [%]			AIの予測	街頭検査結果	近接排気騒音 試験結果 [dB]
不正改造車両	適法車両	その他			
26.3	63.4	10.3	適法車両	適法車両	93
11.1	50.6	38.3	適法車両	不正改造車両	99
23.0	56.3	20.7	適法車両	適法車両	88
1.4	98.1	0.5	適法車両	適法車両	87
0.1	99.9	0.0	適法車両	適法車両	82
67.4	18.8	13.7	不正改造車両	不正改造車両	98

4. 2. 都市部での検証

次に都市部において、街頭検査と並行して測定を行った結果を示す。測定は、図7にて示した方法と同様に、街頭検査実施場所から離れた上流側の位置に騒音計を設置し、後に車両外観等から走行騒音と近接排気騒音試験の結果を照合した。表2に、合計20台の車両について測定を行った結果のうち、一部を示す。都市部で行った街頭検査はいずれも平日の昼間に行われたため、測定した全ての車両は、街頭検査員によるスクリーニングの結果、問題ないとされた車両であった。そのため、近接排気騒音試験を実施することなく適法車両と判定されている。一方、判定結果は、適法車両を不正改造車と誤判定することはなかったものの、適法車両をその他と判定することがあった。測定を行った20台のうち、正解率は60%であった。前項に示した山間部の測定では、暗騒音は極めて低くまた、車間距離は十分に取れていたため、作成したAIモデルの前提条件である単独走行する車両という点は十分に満たしていた。一方、都市部では生活騒音や突発音により暗騒音が高いことや車間距離が短いことによる他の車両の影響により、前提条件を十分に満たせず判定精度が低下したと考えられる。また山間部と比べて、都市部では対象車両の走行騒音と暗騒音の差が小さく、適法車両の特徴量として検出されなかった可能性がある。

表2 都市部を走行する車両に対する検証結果
(抜粋)

AIの予測した確率 [%]			AIの予測	街頭検査結果	近接排気騒音 試験結果 [dB]
不正改造車両	適法車両	その他			
0.5	99.1	0.4	適法車両	適法車両	実施せず
5.3	92.7	2.0	適法車両	適法車両	実施せず
12.4	37.1	50.4	その他	適法車両	実施せず
3.8	26.9	69.2	その他	適法車両	実施せず
3.5	76.1	20.4	適法車両	適法車両	実施せず
24.0	54.4	21.6	適法車両	適法車両	実施せず

5. おわりに

本稿では、研究の第一段階として、対象を単独走行する二輪車に限定してAIモデルを作成し、その検証を行った。その結果、前提条件を十分に満たす場合については、学習データとは無相関な一般の車両についても、車両情報や走行条件等の情報を与えることなく高精度に判定することができた。一方、暗騒音や他の車両の影響が混入すると考えられる都市部のような環境においては、精度の悪化が確認された。この対策

として、交通安全環境研究所がこれまでに開発してきた、マイクロホンアレイによる音源分離手法を活用することが考えられる。図8に、当該手法にて音源分離を行った結果の例を示す³⁾。図中の赤い領域が強い音源であることを意味しているが、この車両は改造がなく一定走行で走行していたため、前後のタイヤを別々の音源として捉えている。この音源分離手法を交通流へ適用して個々の車両騒音を分離し、本稿で紹介した手法を適用することにより、単独走行する二輪車という前提条件にとらわれず、交通流中から不正改造車両を検出可能なシステムを構築できると考えられる。交通安全環境研究所では、このようなシステムの実現に向けて、現在も研究を継続している。



図8 マイクロホンアレイによる音源分離結果の例

謝辞

本稿にて紹介した公道での測定の一部は、国土交通省殿のご協力により実施したものです。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山崎孝章, “国土交通省における自動車の環境政策と国際基準調和について”, 交通安全環境研究所フォーラム2019講演概要集, (2019)
- 2) Krizhevsky et al., “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” Proc. of Advances in Neural Information Processing Systems, (2012)
- 3) Houzu et al., “Development of Sound Source Localization System to Detect Noisy Vehicles from Traffic flow,” Proceeding of INTER-NOISE 2011, (2011)

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

佐藤 安弘

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）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きた。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きた。

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報告する。

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平成28年度から令和2年度までの中期計画において、当研究部関係としては、以下の3つの柱を研究重点分野として取り組んできた。

- (1) 都市交通システムの安全性・信頼性評価
- (2) 地方鉄道の安全性向上
- (3) 公共交通の導入促進・評価

現在の中期計画(令和3年度から令和7年度まで)においては、行政ニーズやこれまでの研究成果等を踏まえ、3つの研究重点分野を以下のように再構築した。

- (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、各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

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

具体的には、海外プロジェクト向け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について、標準化・体系化に取り組んできた。最近では、無線式列車制御システム等新たな技術を用いた列車制御システムに対応し、国内外で活用できる安全性評価手法の構築を図るため、リスク分析から安全性評価に至るプロセスを整理し、評価に当たっての課題を抽出すべく検討を進めている。

このほか、鉄道における電磁放射に関する安全性の確保のため、磁界の大きさや周波数が変動する車両から発生する磁界については、測定・評価手法及び低減方策について継続的に調査を行っている。

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

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

提とする地方鉄道・索道等の維持に貢献することを目指している。

鉄道の車両、施設の保守管理については、脱線事故の防止等走行安全性の確保のため極めて重要であり、近年低コスト化、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、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。最近では、営業列車の車両動揺に基づき軌道状態の要注意箇所を特定するためのシステムについて検討を進めるとともに、走行安全性に関わる軌間拡大に関するリスクを的確に評価するため、軌間の拡大箇所の推定法について、実軌道における軌道検測車のデータとの関係分析等により、検討を進めている。

また、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索道の導入など近年の社会情勢変化を踏まえ、索道施設の維持管理の省力化等に資する技術の評価の取組を開始した。具体的には、運転中の索道において異常を検知し、運転の停止や点検整備に活用するための搬器動揺のモニタリング方法について検討することとした。

一方、将来に向けて一層の保守負担軽減、省コスト化を図るには、軌道回路等の地上設備に頼っている列車の位置検知を車上主体に置き換え、地上設備を削減・省力化することが求められる。このため、準天頂衛星、GPS（Global Positioning System：全地球測位システム）等の衛星測位技術を活用して列車の位置検知を行う車上システムに対する評価を目的として、衛星測位の精度及び安全性・信頼性を考慮した性能評価手法について検討を進めている。

自動車・鉄道の双方にかかる分野横断的な研究としてこれまで取り組んできた ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の車車間通信技術や路車間通信技術等を活用し、障害物検知装置が設置されていない地方鉄道等の踏切における自動車と列車との衝突事故防止に資する低コストな安全性向上策の技術要件に関する検討を進めている。

2. 4. 新技術を含む公共交通の地域に応じた導入促進評価

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。

LRTは、地下鉄・高架鉄道に比して乗降における上下移動が少なく、高齢化社会が進展する中で交通弱者にも利用しやすい軌道系交通システムである。その一方で、既存の道路空間に併用軌道として導入する場合には、車線減少や交差点での信号制御の変更などによる道路交通流への影響が考えられることから、路線バスなどを含む道路交通及びLRTなどの軌道系交通を模擬したシミュレーションによる評価を行い、LRTの導入効果や道路交通流への影響等について、CO₂排出量など環境への影響も含めた定量的評価をこれまで行ってきた。

近年では、電動で、時速20km未満で公道を走る4人乗り以上のモビリティ「グリーンスローモビリティ」の活用が推進されている。こうした、中～小量輸送向けに開発が進む新しい公共交通システムについて利用状況調査を行い、地域特性との関係について検討するとともに、上記シミュレーションを活用した公共交通の導入効果評価手法について、地域特性を反映した適切な評価を行うための評価指標を検討することとしている。

3. 今後の展開

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

今後も、新たに開発されたシステム等の安全性評価を継続的に実施することとしており、無線式列車制御システム、自動運転用技術、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安全で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た地方鉄道・索道等の維持のほか、地域の特性に適した公共交通の整備に貢献できるよう、当研究所が有する研究資産と、これまで培ってきた技術力を活用しつつ、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の特長を生かした研究に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

講演 4. カーボンニュートラル時代の端末公共交通

ー人口減少下での利便性確保に向けてー

交通システム研究部 ※大野 寛之 工藤 希 小林 貴

1. はじめに

地球温暖化問題と少子高齢化問題により、我が国の交通社会に変革がもたらされようとしている。とりわけ地球温暖化物質である CO₂ (炭酸ガス) の削減は世界的な課題であり、日本政府も 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル宣言」¹⁾ を発表し、2050 年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標としている。この目標に向けた地域公共交通の果たす役割について、人口の高齢化を背景に考察する。

1. 1. 運輸分野の CO₂ 排出

国土交通省の公表資料²⁾によると、2019 年度における我が国の CO₂ 排出量のうち、運輸部門からの排出量は 18.6% を占め、その中で自動車全体では運輸部門の 86.1% (日本全体の 16.0%) を占めている。そのうち、旅客自動車が運輸部門の 49.3% (日本全体の 9.2%) に当たることから、旅客自動車からの CO₂ 排出削減効果はカーボンニュートラル実現の中で大きな役割を果たせるものと考えられる。その目的のために、運輸分野が取り得る方法の一つが公共交通へのモーダルシフトであり、もう一つが車両の電動化と電力のグリーン化である。

1. 2. 人口高齢化と公共交通

人口減少を伴う少子高齢化問題は、移動手段にも様々な影響を与えている。その一つとして、交通死亡事故に占める高齢運転者の比率が高まってきたことが挙げられる³⁾。今後、さらなる高齢化の進展とともに、交通死亡事故が増えるようなことはあってはならず、その対策が求められている。事故防止の観点から高齢者が自発的に運転免許を返納する場合、その後の高齢者の足を確保する必要がある。

人口減少と高齢化とは労働人口の減少をもたらし、運輸分野においてもその影響は免れない。二種免許保持者の絶対数が減少し、バス運転手の採用が困難にな

れば、運行頻度の低下や、ひいては路線の縮小や事業からの撤退にもつながる恐れがあり、地域公共交通の崩壊にもつながりかねない。

2. バリアフリーな公共交通

高齢者に限らず、車椅子利用者やベビーカーの利用者、あるいは大きな荷物を持つ旅客にとって、公共交通車両の利用に際して乗降容易なバリアフリー性は極めて重要である。道路面からの高さの低い低床かつフルフラットな車両であれば、誰にとっても利用しやすいユニバーサルデザインを実現することができ、旅客の利便性は高まる。公共交通の利便性の向上は利用者増にもつながり、モーダルシフトを促進することにもつながる。

2. 1. 電動バスへの期待

自動車の中で、利用者があえて不自然な体勢を取ることなく乗降が可能な車種はバスのみと思われ(図 1)、低床バスであれば収納可能なスロープ板を備えていることから、車椅子利用者の乗降も容易である。

普通乗用車では乗車して座席に座る際に、必ず腰かがめて体をねじると言う不自然な体勢を取らねばならない。また、車椅子からの移乗も簡単ではない。ユニバーサルデザインタクシー車両(図 2)は車椅子で乗降可能なであっても、通常座席に座る際に、狭いところで身体をひねる必要があることは一般の乗用車と変わりはない。低床バスであれば立位のまま、歩道の延長で歩きながら乗車可能であり、日常動作と同じ方法で着席することができる。



図 1 バスのバリアフリー性



図2 ユニバーサルデザインタクシーの例

現在広く普及しているノンステップバスの車体後半部は、エンジンやアクスル等の配置上の問題から客席床部を高くせざるを得ず、床面をフルフラット化することができない。フルフラット化の障害となるエンジン等を電気駆動に置き換えインホイールモータを採用すれば、100%の低床化が可能となる(図3)。

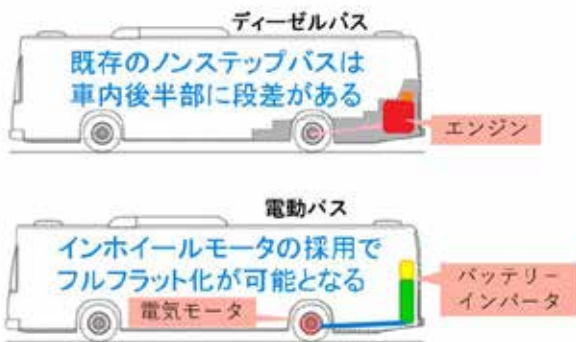


図3 バス電動化のメリット(1)フルフラット化

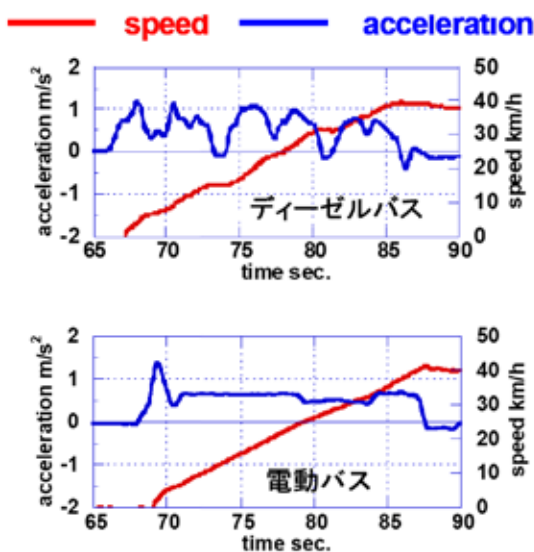


図4 バス電動化のメリット(2)乗り心地

バス電動化のメリットはフルフラット化によるバリアフリー性向上だけにとどまらない。ディーゼルバスと異なり電動化した車両はギアチェンジの必要がないことからスムーズな加速が可能となり、乗り心地の向上や、加速度変化に起因する車内転倒事故の危険性を低下が期待できる(図4) 4)。こうした電動化のメリットは大型バスだけでなく、旅客需要の少ない地域の末端交通に適した小型バスやグリーンスローモビリティでも同様である。

2. 2. グリーンスローモビリティ

末端公共交通の車両として近年注目を浴びつつあり、各地で導入に向けた社会実験が行われているものがグリーンスローモビリティである。グリーンスローモビリティは「電動で時速20km未満で公道を走る4人乗り以上のパブリックモビリティ」と定義されている 2)。小型のものはゴルフカートをベース車両としたもの(図5)が主流であり、それよりも少し大型のものは低速交通用に新たに開発された電動車両(図6)が用いられている。自動運転機能を備えた車両の開発も進められている。



図5 グリーンスローモビリティ(カート型)



図6 グリーンスローモビリティ(小型バス型)

2. 2. 1. エネルギーの地産化とグリーン化

グリーンスローモビリティは池袋のような都市部でも用いられているが、導入事例の大半は公共交通需要の少ない地方において、検討が進められている。地方においては近年、太陽光発電所の設置が広がっており、耕作放棄地や山林等が発電用地として転用されている(図7)。グリーンスローモビリティは電気を動力源とすることから、こうした太陽光発電の電力を利用することで、エネルギーの地産地消による完全なグリーン化を図ることができる。電動化により、単に走行中のCO₂排出がなくなることにとどまらず、カーボンニュートラルの実現が可能となる。



図7 中山間地の太陽光発電所

2. 2. 2. 「スロー」のメリット

グリーンスローモビリティの走行速度は時速20km未満であることから、他の車両の走行を阻害するのではないかという懸念が指摘されている。その点に関し、交通安全環境研究所において交通流のシミュレーションを行った結果、小型バス型の車両が停留所で旅客の取扱いをする間に一般乗用車が追い越すことと、住宅地には迂回可能な道路があることとで、大きな渋滞は発生しないことが分かった⁵⁾。

走行する車両の速度が低ければ、万一事故が発生した際の被害が小さくなることは自明であり、そのことから、我が国においても地域内道路の最高速度を時速30kmとするゾーン30の導入が進められている(図8)。ゾーン内では狭窄部やハンプを設ける等の方法で制限速度が守られる工夫がなされている。通学路で児童が犠牲になる悲惨な交通事故が起こる度に、自動車交通と共存する歩行空間の安全確保の必要性に注目が集まるが、生活空間に密着した「スロー」な交通手段として、グリーンスローモビリティの活用も考えられる。



図8 ゾーン30の標識と道路狭窄

2. 3. 自動運転への期待

電動バスやグリーンスローモビリティは、電子制御による自動運転と親和性が高い(図9)。同一ルートを走行する公共交通であれば、一般旅客を乗せた状態で自動運転レベル3の実用化が考えられる。今後の制度設計次第であるが、運転が自動となるため、二種免許を持つ運転手ではなく、旅客案内と非常時の停止操作を行う要員の乗車だけで営業運行が可能となれば、雇用の幅が広がり、地域のシニアの雇用につながる可能性もある。そうなれば、こうした末端交通は単なる移動手段ではなく、地域コミュニティにおけるソーシャルキャピタルとしての役割も果たすことにつながる。



図9 自動運転グリーンスローモビリティの例

3. 端末交通と MaaS

近年行われている端末交通の社会実験では、スマートフォン等の携帯端末を用いて運行情報表示や乗車予約を可能としたものが多い(図10)。携帯端末を用いた交通機関の案内や決済等を行うシステムとして MaaS (Mobility as a Service : 出発地から目的地までの移動手段に関する様々な交通手段の「検索～予約～移動～決済」までを一元的に行うサービス) の概念が提唱され、我が国においても各地で MaaS に係る社会実験が進められている(図11)²⁾。日常的な「地域の足」である端末交通も、最寄り駅までのアクセス手段、目的地までのイグレス手段として MaaS に組み込まれることが求められる。



図10 交通社会実験での表示画面例

現時点では、各地で行われている MaaS 事業のシステムに互換性はなく、また、大手鉄道事業者等が進めている MaaS 事業に関してそれぞれ独自に開発が進められている。こうした状況が放置されると、互換性のない複数の規格が併存し、それぞれの陣営で囲い込みが行われ、本来 MaaS に求められる「一元的に行うサービス」が確立できない懸念がある。自宅からのアクセス交通で使う MaaS が目的地のイグレス交通に対応しておらず、別の MaaS を利用するか、現地で調べて現金決済を強いられるとすれば著しく利便性を欠くことになる。

そうした事態を避けるためには、交通に係るデータ形式の標準化とオープンデータ化が必要である。共通フォーマットのオープンデータを用いて、様々な主体が工夫を凝らした MaaS アプリケーションを提供できる体制を整えれば、自由な競争を損なうことなく全国一元的なサービスを提供することが可能となる。

カーボンニュートラルにつながるモーダルシフトを推進するためには、情報技術を用いて利便性を高めることで、公共交通全体の魅力を高める必要がある。

4. おわりに

電動車両の端末交通への導入はカーボンニュートラル化にとどまらず、災害時の非常電源としての活用も期待できる。自動運転によるスローな交通手段は安全性の向上や地域コミュニティの再生に資する可能性も秘めている。その利便性と魅力を高め、モーダルシフトを進める手段として「一元的」に使える MaaS の普及が期待されている。今後は、このような新しい端末交通の利便性等を評価項目に取り入れ、地域特性に応じた公共交通の導入促進評価を行っていききたい。

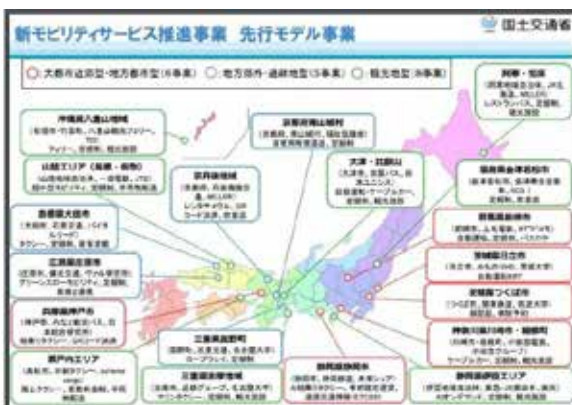


図11 MaaS モデル事業の実施状況

参考文献

- 1) 首相官邸ホームページ (2021)
- 2) 国土交通省ホームページ (2021)
- 3) 警察庁ホームページ (2021)
- 4) 紙屋, 大野, 林田, “高齢者に優しい電動コミュニティバス” IATSS review : 国際交通安全学会誌 Vol.33(4), PP341-348 (2008)
- 5) 大野, 工藤, “ラストマイルを埋める公共交通スローモビリティの可能性” 交通安全環境研究所フォーラム 2018 講演概要, PP61-62 (2018)

講演5. 衛星測位による列車位置検知の精度の評価に向けた取組

交通システム研究部 ※山口 大助 工藤 希 長谷川 智紀 一柳 洋輔

1. はじめに

鉄道ではこれまで地上主体の設備である軌道回路等を用いて列車の位置検知を正確に行う列車制御システムによって安全を確保してきたが、地方鉄道等ではその維持や更新に係るコストが大きな負担となっている。これを解決する手段として、軌道回路によらない車上主体型の列車位置検知システムが期待されており、速度発電機と位置補正用地上子を組み合わせたものが実用化されている¹⁾ほか、交通安全環境研究所では米国のGPS (Global Positioning System) や日本の準天頂衛星 (QZSS; Quasi-Zenith Satellite System) 等の衛星測位システム (GNSS; Global Navigation Satellite Systems、全球測位衛星システムともいう)の活用に関する研究に取り組んできた²⁾。

衛星測位は衛星から発信される複数の電波を受信して現在位置を算出³⁾するが、トンネル等の電波受信が難しい場所では測位できず、高層ビル等が密集する場所では建物に反射した電波を受信すること (マルチパス) で測位精度の低下が懸念される。そのため、衛星測位の利活用にあたっては、当該路線での測位精度の事前評価が必要である。列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価するため、筆者らはこれまでに「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を提案した³⁾。本手法は定点を多く設定することで詳細な評価が可能となる一方、定点の数だけ現地での高精度測位作業の工数が必要となる。

そこで、この手法に加え、列車上で得た衛星測位の結果にどの程度の誤差を生じているかを地上の定点によらず連続的に評価する手法を提案する。

2. 車上測位精度評価手法

2. 1. 車上での衛星測位による列車走行位置の測定

列車上で得た衛星測位の精度を連続的に評価するため、図1に示す構成により車上で衛星測位を行う。

本稿で提案する「衛星測位による列車位置検知の車上での測位精度評価手法」(以下、車上測位精度評価手法)は土木の高精度測量等に用いられるRTK (Real Time Kinematic) 測位⁴⁾の結果を基準とし、図中の受信機①の測位結果を基準と比較することを基本とする。車両屋根上に設置したアンテナで受信した電波を分配器により受信機①とRTKの受信機に等しく分配する。これによって両受信機に入力される電波が全く同一の条件となり、受信機同士で時刻 (GPS 時刻) の同期を取ることができ、車上測位精度評価手法を実現している。受信機①には評価したい項目 (どの衛星の電波を使用するか、補強情報の有無など) に対応したものを接続する。評価したい項目の数だけ電波を分配して評価できるが、筆者らは最大で4分配 (RTKを含む) までとしている。RTKには局所的に基準局を設置してローカルに測定する場合と基準局に電子基準点や仮想基準点を利用する場合の二つがあるが、鉄道では長距離の路線も数多くあるため、後者の特に仮想基準点を利用する方式で基準を測定している。

2. 2. 車上測位精度評価手法での測位誤差の定義

前述の通り受信機①とRTK受信機で時刻同期が取れていることから、測位時刻ごとに両受信機の測位結果 (緯度と経度で表記される点を「測位点」とする) が得られる。そこで、測位時刻ごとに両受信機の測位点間の距離を算出する。この距離が短くなるほど受信機①の測位点が基準であるRTKの測位点に近づくことから、測位結果の精度が高いと見なすことができ

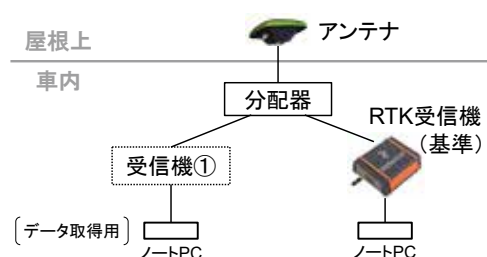


図1 車上での衛星測位の測定機器構成

る。車上測位精度評価手法ではこの 2 点間の距離を「測位誤差」と定義する。車上測位精度評価手法の概略を図 2 に示す。RTK は搬送波測位（干渉測位）⁴⁾ によって高精度の測位結果である FIX 解を得られることから、車上測位精度評価手法では RTK の FIX 解を得られたときのみ測位誤差を算出する。

交通安全環境研究所では、測位点から軌道に向けて下ろした垂線と軌道の交点を軌道上の測位点とするマップマッチングと呼ばれる方法を利用して軌道方向の測位誤差を評価する手法を考案し、その有用性を確認している⁵⁾。この手法では垂線を導くために軌道方向の方位角の把握が必要となるが、特に曲線部ではこの把握が複雑になる。そこで、図 3 に示すように、評価したい項目（受信機①）の測位点は基準に対してどの方角にも均等に現れるものと想定し、方角によらず測位点間の距離のみで測位誤差を定義することとした。マップマッチングの方法は図 3 中の実際よりも前方（安全側）または後方（危険側）のどちらの位置を検知しているかを把握できる利点はあるが、車上測位精度評価手法では算出した測位誤差が安全側、危険側のどちらにも生じる可能性があるものとして、容易に測位精度の評価を行えるようにしている。

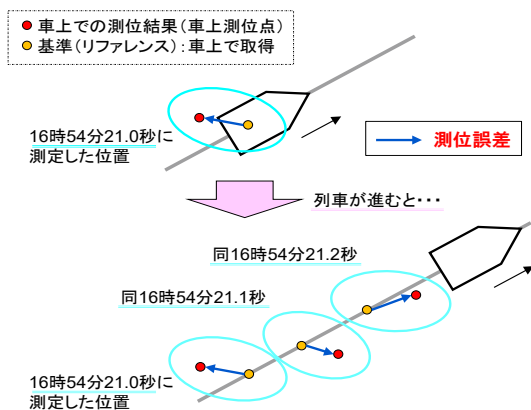


図 2 車上測位精度評価手法の概略

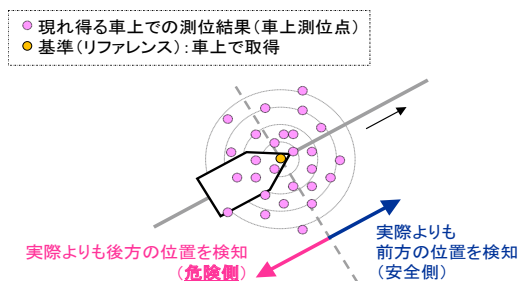


図 3 想定する測位点の出現

3. 列車走行時の測位精度評価

A 鉄道及び B 鉄道において試運転列車走行時に車上で衛星測位を行い、車上測位精度評価手法によって測位結果の精度を評価した。

3. 1. A 鉄道

A 鉄道では評価したい測定項目を以下の二つとし、受信機は各々に対応するものを使用した。

I) GPS、QZSS の各衛星からの電波を利用した測位（単独測位⁴⁾（コード測位⁴⁾）

II) 上記 I に加えて QZSS 独自のサービスであるセンチメートル級測位補強サービス信号（CLAS: Centimeter Level Augmentation Service）⁶⁾ を利用した測位（精密単独測位型 RTK）

車上測位精度評価手法に基づく測位誤差の算出結果を図 4 に示す。図中の横軸は測定時間（単位：秒、測定開始時をゼロ）、縦軸は測位誤差（単位：m）である。II について、水色は CLAS を利用して得られた高精度の FIX 解の測位結果、紫色は FIX 解よりもやや精度が劣る FLOAT 解⁴⁾の測位結果、赤色は単独測位（コード測位）による測位結果をそれぞれ表す。

初めに、本図より測位誤差を算出できている様子を確認できる。次に、本図と路線周辺環境から以下のことが推測される。

- 測定項目 I では全体的に 1m 程度の測位誤差が生じている
 - 測定項目 II では FIX 解を得られたときの測位誤差が小さく、CLAS の特徴である高精度測位の様子を確認できる
 - 60 秒付近で測位誤差の不算出が見られるが、これは列車が立体交差下を通過中で、基準である RTK も含め衛星からの電波の受信が一時的に遮断されたためである
 - 90 秒付近で測位誤差の不算出が見られ、その後測定項目 I では測位誤差の大きい傾向にあるが、これは列車がトラス橋梁を通過中で、RTK も含め衛星からの電波を受信し難い状態が続いたためである
 - 測定項目 I で 570 秒付近と 900 秒付近、II では 900 秒付近に測位誤差が大きい傾向にあるが、いずれも線路脇に 250m 程度の防風林が存在する駅で、電波を受信し難い状態が続いたためである
- このように、車上測位精度評価手法によって当該路線における衛星測位の精度評価が可能となる。

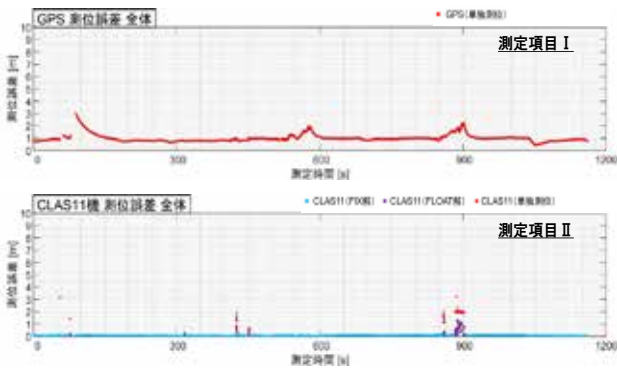


図4 測位誤差の算出結果 (A 鉄道)

ところで、A 鉄道では測定区間内の複数の踏切の定点を対象に「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」の妥当性を検証した³⁾。このうち踏切 A での結果の一例に着目すると、踏切 A 内の定点通過時の測定項目 I と II の測位誤差はそれぞれ I: 0.856m、II: 0.016m であった。一方、踏切 A 内の定点通過時に基準となる RTK は地上に対して 6.899m の測位誤差を生じ、RTK の測位点は実際の列車の位置よりも後方を示した。これらのことから、測定項目 I は 7.755m 程度、II は 6.915m 程度の地上に対する車上の測位誤差を生じ、実際よりも後方の位置を示す可能性があるものと推測される。

3. 2. B 鉄道

B 鉄道では同一区間を複数の時期に分けて測定した。評価したい測定項目を以下の三つとし、受信機は各々に対応するものを使用した。

D) GPS、QZSS の各衛星からの電波を利用した測位 (単独測位 (コード測位))

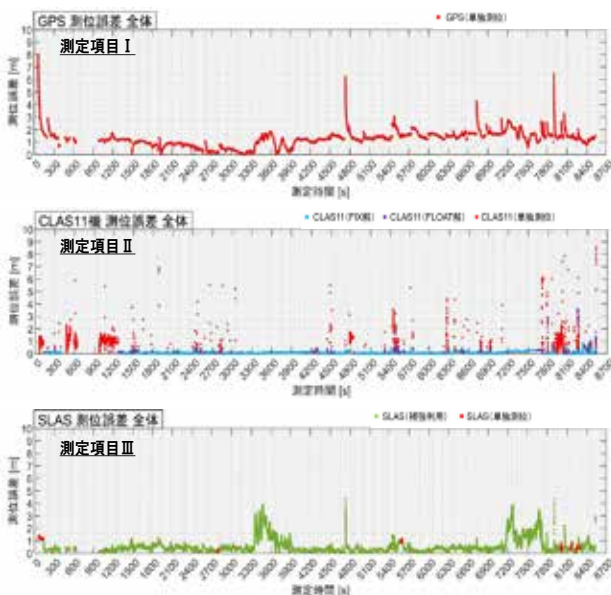


図5 測位誤差の算出結果 (B 鉄道、測定 1 回目)

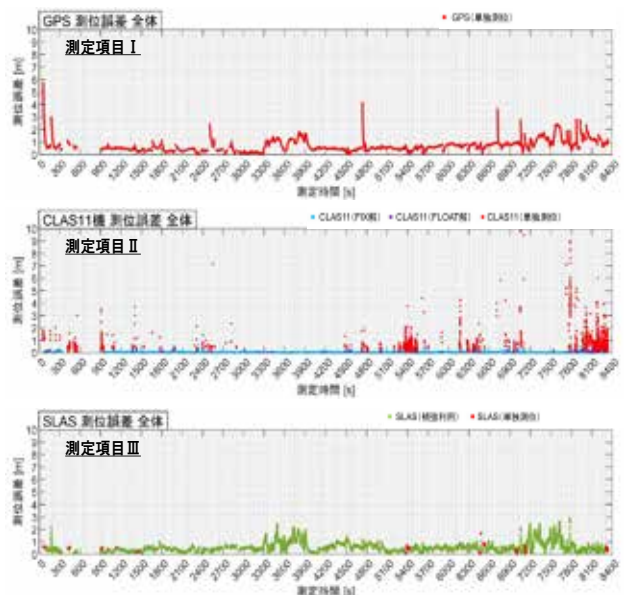


図6 測位誤差の算出結果 (B 鉄道、測定 2 回目)

II)上記 I に加えて CLAS を利用した測位 (精密単独測位型 RTK)

III)上記 I に加えて QZSS 独自のサービスであるサブメータ級測位補強サービス信号 (SLAS: Submeter Level Augmentation Service)⁶⁾を利用した測位 (相対測位⁴⁾ (コード測位))

車上測位精度評価手法に基づく測位誤差の算出結果について、測定 1 回目を図 5、2 回目を図 6 にそれぞれ示す。両者は 4 週間離れている。測定項目 I と II のグラフは 3.1 節と同様である。III について、緑色は SLAS を利用して得られた測位結果、赤色は単独測位 (コード測位) による測位結果をそれぞれ表す。本図と路線周辺環境から以下のことが推測される。

- 特に測定項目 I と III は時期によって測位誤差の傾向に違いが見られる
- 測定項目 II では時期によらず FIX 解を得られたときの測位誤差は小さく、CLAS の特徴である高精度測位の様子を確認できる
- SLAS の利用によって測定項目 III は I と比べて測位精度が高くなる場面が見られる
- 試運転列車起点駅は上屋に覆われているために出発時は RTK も含め衛星からの電波を受信し難い状態で、出発後に程なくして測位開始となるが、しばらくは測位誤差が大きい傾向にある
- 300~900 秒の間は長いトンネルが複数存在し、トンネル走行中は RTK も含め衛星からの電波を受信できないため、測位誤差は不算出となるほ

か、トンネル同士の間で測位できた場合も測位誤差は大きい傾向にある

- 7800 秒付近から試運転列車終点駅到着までの区間は都市部につき立体交差や高層建物が多く存在し、これらによる電波の一時的な遮断やマルチパスの影響で測位誤差が大きい傾向にある
- 3300～3900 秒付近及び 7200～7680 秒付近は試運転列車が駅に長時間停車している状況で、測定項目 I と III では測位誤差が 2～4m 程度生じているのに対して II では測位誤差が小さいことから、CLAS の利用によって駅内での当該列車の停車番線を精度よく検知できる可能性がある

算出された測位誤差について 95 パーセンタイル値 (percentile) を求めたところ、表 1 に示す値がそれぞれ得られた。測定項目 II は CLAS の FIX 解で測位結果が得られたとき、III は SLAS によって測位結果が得られたときを対象としている。95 パーセンタイル値とはデータを小さい順に並べたときに初め (最小値) から数えて全体の 95% に位置する値のことを指し、この値が小さいと測位誤差が全体的に小さいといえる。本表より測定項目 II の値が最も小さく、このことから CLAS の特徴である高精度測位によって測位誤差は小さい傾向にあることを確認できる。

ところで、B 鉄道ではトンネルや立体交差が多く存在し、電波を受信し難い状況もあった。試運転列車での測定時間 (約 2 時間 20 分) のうち、例えば測定項目 II の CLAS の FIX 解は測定 1 回目では約 78%、2 回目では約 79% の時間帯でそれぞれ得られた。これは測定時間全体に対する衛星測位結果の取得の割合に相当し、「有効測位率」と定義する。試運転列車のダイヤは同一であることから、先述の駅での長時間停車を差し引くと当該測定区間での CLAS の FIX 解の有効測位率は概ね 75% 前後と推測される。測定項目 I、II、III の有効測位率を表 2 にまとめる。本表から測定項目によって値に違いが見られるが、これは測定項目によって測位計算の方法が大きく異なること (特に I 及び III と II) と、受信機メーカーによって測位計算のチューニングが異なることによるためと考えられる。

4. おわりに

列車上で得た衛星測位の結果がどの程度の誤差を生じているかを地上の定点によらず連続的に評価する手法を提案した。また、列車走行時の衛星測位につ

表 1 測位誤差 95 パーセンタイル値 (B 鉄道)

	測位誤差 95パーセンタイル値	
	測定1回目	測定2回目
測定項目 I (単独測位)	2.18m	1.56m
測定項目 II (CLASのFIX解)	0.20m	0.07m
測定項目 III (SLAS補強利用)	1.85m	1.36m

表 2 有効測位率 (B 鉄道)

	測定モード	有効測位率	
		測定1回目	測定2回目
測定項目 I	単独測位	95.12%	95.01%
	(測位不能)	4.88%	4.99%
測定項目 II	CLASのFIX解	77.58%	78.95%
	CLASのFLOAT解	5.34%	5.35%
	単独測位	9.06%	7.77%
	(測位不能)	8.01%	7.94%
測定項目 III	SLAS補強利用	91.05%	89.93%
	単独測位	3.96%	4.93%
	(測位不能)	4.99%	5.13%
RTK (基準)	FIX解	86.54%	83.44%
	FLOAT解	2.43%	5.40%
	相対測位	1.59%	1.32%
	単独測位	4.18%	4.51%
	(測位不能)	5.26%	5.32%

いて提案手法に基づき測位精度評価を行い、その結果を示した。

今後は本提案手法ならびに文献 3)での提案手法を活用した列車位置検知の測位精度の総合的な評価手法について検討を進めていきたい。

謝辞

本稿の一部は国土交通省鉄道局からの受託調査の成果によるものです。試運転列車における測定は山形鉄道株式会社、北海道旅客鉄道株式会社のご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) 馬場ほか、“無線による列車制御システム(ATACS)”、JR EAST Technical Review、No.5、pp.31-38、(2003)
- 2) 例えば、工藤ほか、“列車制御システムにおける衛星測位利用に関する取組”、交通研フォーラム 2016 講演概要集、pp.65-68
- 3) 山口ほか、“衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討” 交通研フォーラム 2020 講演概要集、pp.3-6
- 4) 例えば、谷口功、“位置情報の基本と技術”、翔泳社
- 5) 吉永ほか、“鉄道におけるマルチ GNSS 測位の利活用技術”、交通研フォーラム 2014 講演概要集、pp.45-48
- 6) 内閣府みちびき (準天頂衛星システム) 公式サイト

鉄道認証室における最近の活動概要

鉄道認証室

黒川和浩

1. はじめに

交通安全環境研究所では、平成23年4月に鉄道認証室を設置するとともに、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。以来、9年余が経過したところであり、ここでは、認証機関としての最近の活動の概要について紹介する。

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は、一般的には、製品供給側（メーカ等）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EN規格（欧州統一規格）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月に鉄道認証室が設置された。平成28年

4月以降は、独立行政法人自動車技術総合機構内の機関として「交通安全環境研究所」が位置づけられた。現在の認証業務実施体制の概要を図1に示す。



図1 認証業務実施体制

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載っている。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戴く鉄道製品認証業務運営委員会から助言を戴く体制となっている。

令和2年度においては、業務量の増加傾向が顕著となったため、体制の強化を図ったところである。

2. 2. 認証対象規格と認定の取得

認証対象規格は、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。平成24年9月にIEC 62425を対象とする認定を取得して以降、認定機関による定期的な検査が実施され、当認証機関の適格性が継続的に認められてきており、平成28年9月には、IEC 62279及びIEC 62280について、さらに平成30年5月には、かねてより関係者から要望のあったIEC 62278の認定を取得した。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、保安全性、安全性 (RAMS) の仕様と実証		IEC 62278:2002	○
通信、信号及び処理システム	信号用の安全関連電子システム	IEC 62425:2007	○
	鉄道の制御、保護システム用ソフトウェア	IEC 62279:2002	○
		IEC 62279:2015	○
	クローズドトランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-1:2002	○
	オープントランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-2:2002	○
電磁両立性	通則、鉄道システム全体の外部等へのエミッション等	IEC 62236-1~5:2018	○

3. 認証機関としての活動

3. 1. 認証の業務

本年 11 月 1 日までの認証書の発行実績は合計 50 件 (規格件数) である (図 2 参照)。一つの案件で複数の規格適合性を申請される場合があり、案件数では 41 案件になる。なお、当該実績には、認証取得者の申請により認証を終了したもの (規格件数 8 件、案件数 8 案件) も含まれている。

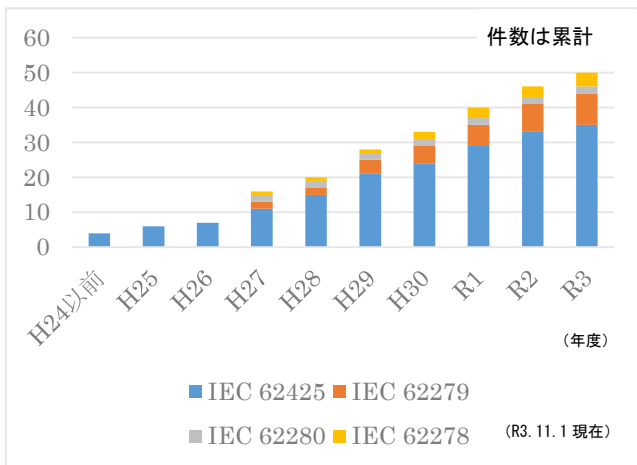


図 2 認証書発行実績 (規格件数)

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を行うため、鉄道関連メーカー、関連協会及び国土交通省との情報交換会を定期的に実施している。

(2) 電子媒体による情報提供

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。令和 2 年度には、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の掲載を開始した。

(3) その他

交通研フォーラム及び各種講演会での報告等を行っている。令和 2 年 12 月～令和 3 年 10 月の間には、国際規格を安全性確保や品質管理にどのように活用できるかについての Web セミナーを 6 回にわたり開催した。

3. 3. 鉄道製品認証システム (認証スキーム文書) の改定

RAMS 製品認証について、第 7 段階 (製造) までから、第 8 段階 (設置) まで、又は第 9 段階 (システムの妥当性確認) まで、認証対象範囲を拡大した (令和 3 年 2 月 16 日に関連規定を改定し、4 月 1 日から施行)。これについては、実際に申請を受け、認定取得に向けて取り組んでいきたいと考えている。

なお、スキーム文書の改定ではないが、認証の軽微な変更について、契約によらず、迅速に対応できる制度を令和 3 年 3 月に創設し、Web ページに掲載した。

4. 今後の取組について

近年、世界的に鉄道に対する期待が高まる中で、多くの国において都市鉄道や高速鉄道等の整備が検討・推進されており、引き続き、国内の鉄道関連メーカーを中心に積極的な展開が進められている。

このため、当室においては、認証機関に対する国際規格の要求事項を遵守し認定の維持を図ることはもちろん、引き続き、認証業務を着実に進め、認証実績の拡充に努めるとともに、業務ニーズに対応した体制整備等を図っていく。また、規格適合性評価の手法を活用した製品品質の確保に向けた取組の重要性について情報発信に取り組んでいきたいと考えている。このような活動を通じて、当研究所では公平中立の立場から、日本の鉄道システムの海外展開や鉄道技術の維持・発展に引き続き貢献したいと考えている。鉄道関連メーカー、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。

講演 6. 交通安全環境研究所鉄道認証室が評価の対象とする認証範囲の拡大について

鉄道認証室
交通システム研究部

※千島 美智男 吉永 純
長谷川 智紀

1. はじめに

交通安全環境研究所鉄道認証室 (NRCC) の認証は主に海外展開に活用されており、NRCC では、認証利用者のニーズに応えられるよう、認証対象規格の拡大等、認証能力の充実・強化に取り組んでいる。

NRCC の認証は、「製品認証」(Product certification) 分野に該当するため、製品認証を行う機関に対する要求事項を規定した国際規格 ISO/IEC 17065 (設立時は、ISO/IEC Guide65) に準拠するよう認証スキーム (認証制度の枠組み) を定め、かつ、認証機関として必要な規程を整備し、認証活動を行っている。また、認証の国際的信用性を確保する観点から、国際認定フォーラム (IAF) 及びアジア太平洋認定協力機構 (APAC) に署名している独立行政法人製品評価基盤機構認定センター (IAJapan) から認定を取得している (ただし EMC に係る認証範囲を除く)。

NRCC ではこれまで、製品認証の範囲を、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) の製品ライフサイクルにおける製造、又は出荷のプロセスまでとしていた。しかし、出荷後に行われる現地への据付等までを含めた認証が必要との要望があることから、今般、認証範囲の見直しを行った。

本稿では、認定を取得済の「認証が可能な範囲」について、認定を維持しつつ、鉄道製品の製造後に行われる製品の現地への据付等のプロセスまで拡大することで、認証業務の充実・強化を行ったことについて報告する。

2. NRCC の鉄道製品認証

NRCC は、「認証スキーム」(認証制度の枠組み) を定める立場 (スキームオーナー) と、認証スキームに従って適正に認証を実施する立場 (認証機関) の2つの立場を有している。

NRCC はスキームオーナーとして、ISO/IEC 17067 (適合性評価-製品認証の基礎及び製品認証スキームのための指針) に基づき「鉄道製品認証システム」を策定し、以下の3つの認証スキームを運営している。

(1) RAMS 設計図書認証

RAMS 設計図書認証は、設計段階までの製品を対象としており、図1に示す RAMS ライフサイクル第1段階から5段階までの製品、第1段階から第6段階までの製品及び製造を伴わない第1段階から第7段階までの製品が主たる対象である。

(2) RAMS 製品認証

RAMS 製品認証は、システムまたはプロジェクトに特定されない製品、及びシステムまたはプロジェクトに特定された製品に設計、製造され工場出荷が予定される製品であり、RAMS ライフサイクル第1段階から第7段階までの製品が主たる対象である。

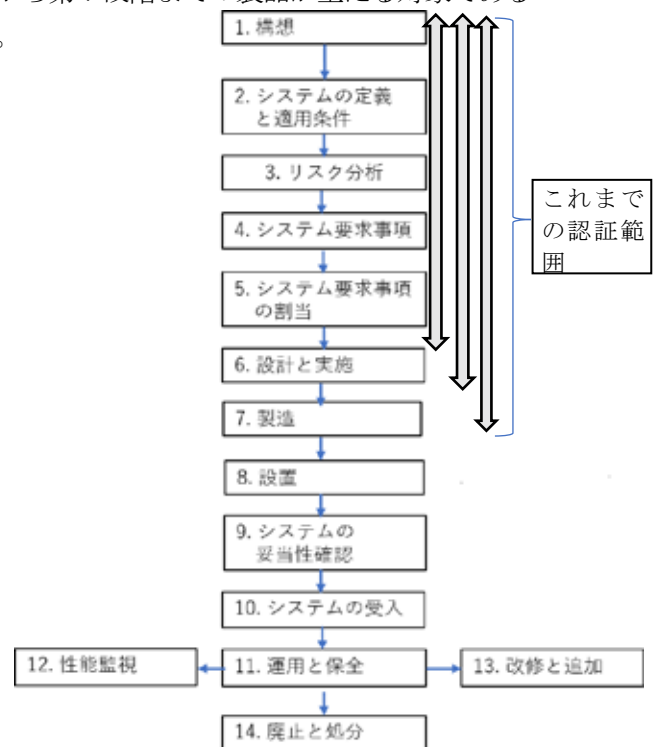


図1 RAMS ライフサイクル

(3) EMC 認証

EMC 認証は、EMC の試験を行う試験所が ISO/IEC 17025 (試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項) の認証を取得しているか、又は NRCC が同規格に準拠していると判断した試験所が行った試験結果等が主たる審査の対象である。

認証の対象とする国際規格は表 1 のとおりであり、前述のとおり RAMS ライフサイクルの段階について認証を行う制度としている。

このうち、IEC 62236 (EMC) を除く 4 規格について IAJapan から認定を取得しているため、IAJapan のシンボルマーク付きの認証書を発行することができる。

表 1 NRCC が認証の対象とする国際規格

IEC 62278	鉄道分野—信頼性、アベイラビリティ、保水性、安全性 (RAMS) の仕様と実証
IEC 62425	鉄道分野—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 62279	鉄道分野—通信、信号及び処理システム—鉄道の制御、保護システム用ソフトウェア
IEC 62280	鉄道分野—通信、信号及び処理システム—トランスミッションシステムに関する通信
IEC 62236	鉄道分野—電磁両立性—

認証の申請は、申請者が認証スキームの種類及び適用する規格 (1 規格又は複数の規格) を選定し、認証機関に申請する制度としている。

3. 認証範囲の拡大

3. 1. 検討課題

ニーズを踏まえ、現地への鉄道製品の据付等までを認証するためには、RAMS ライフサイクルにおける第 8 段階又は第 9 段階のプロセスまでの認証範囲の拡大 (すなわち認証スキームの改正) が必要だ

が、NRCC が取得済みの認定に影響を及ぼさない必要があった。

また、これまでの認証スキームでの認証範囲は、制定時に「製品認証」分野の他の一般製品の認証スキームを調査し、RAMS ライフサイクルの第 7 段階まで、と整理した経緯があるため、今回の改正に当たっても、鉄道製品の製品認証として適切な範囲の再整理が課題となった。

NRCC では、鉄道製品の認証に関する実態等の情報収集と、考え方の再整理を行うこととした。

3. 2. 検討結果及び改正の概要

検討の結果、取得済の認定範囲に影響を及ぼさないよう、図 2 のように従来の「RAMS 製品認証」を「RAMS 製品認証 A」に変更し、新たに RAMS ライフサイクル第 8 段階または第 9 段階までを認証範囲とする「RAMS 製品認証 B」スキームを追加し、認証利用者等へ影響を生じないように措置した。

また、文献調査から、現地への据付等までが製品認証として認証されるケースがある点等から、一般製品よりも「製造」の範囲が広いと概念整理することとし、据付等の妥当性は、申請者が実施し、そのプロセスが規格に基づいていることを審査することとした。

改正後の認証スキームは 2021 年 4 月より運用を開始している。認証スキームに係る「鉄道製認証システム」は当所の HP で公表しているため、詳細はそちらを参照頂きたい。

4. おわりに

鉄道製品分野における国内唯一の認証機関として、NRCC は認証活動を行ってきた。

今後も、審査体制のさらなる充実を図り、鉄道製品の海外展開に貢献していきたいと考えている。

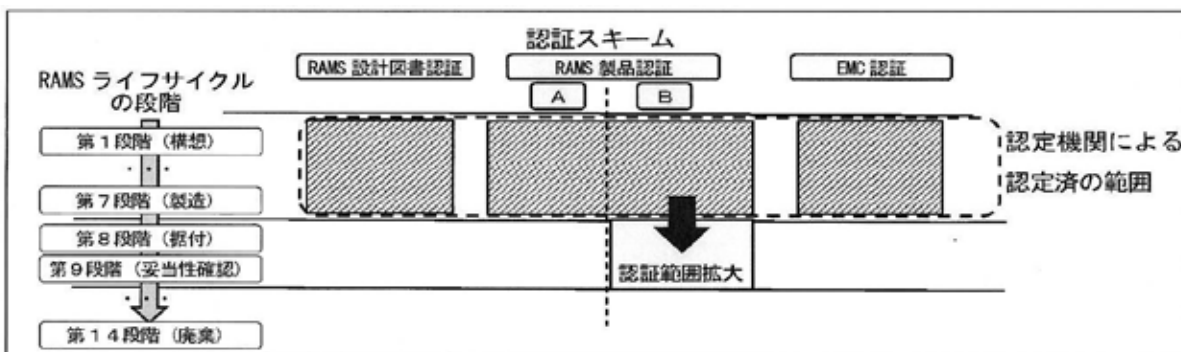


図 2 改正の概要

口 頭 発 表 11.30

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。2020年の交通事故による死傷者数は前年より376人減少し、2,839人と4年連続で戦後最少を更新して初めて3,000人を下回った。しかし、その内容を見ると2008年以降、自動車乗車中の死者数よりも歩行中の死者数の方が多く、政府目標を達成するためには、いわゆる交通弱者と呼ばれる子供・高齢者・歩行者・自転車乗員等への安全対策が求められる。このような状況において、従前からの衝突安全技術によって自動車乗車中の死者数を削減するのみならず、さらに積極的に自動走行等の新技術も活用して交通事故を未然に防止し、車外の交通参加者、特に交通弱者の被害削減を進めることが重要と考える。

近年、先進技術、特に自動運転技術の導入が進み、またその開発速度も速くなってきている。国土交通省では2018年9月に「自動運転車の安全技術ガイドライン」⁽¹⁾としてレベル3、4の自動運転車が満たすべき安全要件を世界に先駆けて策定した。これにより、後に国際基準が策定されるまでの間にも安全な自動運転車の開発・実用化を促進してきた。同時に自動運転車の安全性に関する日本の考え方や安全要件を国内外の基準に反映させるべく活動を行ってきた。国内において、このガイドラインの考え方に基づき、2019年に道路運送車両法が改正され、2020年4月にはレベル3、4の自動運転車を対象とした保安基準の改正、並行して道路交通法の改正も行われた。改正道路運送車両法では、国が定める保安基準の対象装置に「自動運行装置」を追加し、自動運行装置が機能する特定の条件(走行環境条件)を国土交通大臣が付与すると定めた。また、保安基準においては、自動運行装置の性能及び作動記録装置の要件等を定めた⁽²⁾。これら一連の法規改正を受けて、2021年3月、

日本において世界で初めて型式指定を取得した自動運転車(レベル3)の販売が開始された。

引き続き現在も国内外において、レベル4自動運転の実現を含む、より高度な自動運転機能にかかる研究開発や基準検討が進められている。

自動車安全研究部では、衝突安全、予防安全、情報安全を自動車安全の三本柱と捉え、自動運転技術への対応と車両安全の確保等を目的として、部内に衝突安全、予防安全、情報安全、電気・電子技術・点検整備のグループを構成し、自動車の安全に係る先進技術に対して柔軟かつ総合的に対応しながら、技術行政の推進に資する研究に取り組んでいる。

2. 研究概要

2.1 衝突安全グループ

衝突安全グループでは、交通事故の多様な実態を踏まえながら、車両の衝突安全について広く検討している。特に、第11次交通安全基本計画において重点保護対象とされている、高齢者、年少者、自転車乗員等の交通弱者を対象とし、衝突安全技術に関する基準化に必要なデータを提供することを主眼に、交通事故の調査解析、実車衝突実験、スレッド実験等によるコンポーネント試験、シミュレーション解析等を行うとともに、頭部傷害に関する生体工学に関する研究についても継続的に取り組んでいる。

昨今の予防安全装置の普及に鑑み、それらの装置作動時の乗車姿勢の乱れが乗員傷害に及ぼす影響を調査し、衝突試験法規の改定に必要な情報を提供するための研究も行っている。

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

自動運転車については、次の目標である「レベル4の自動運転システムの市場化」の達成に向けて、より高度な自動運転技術の評価法に関する検討を中心に取り組んでいる。

自動運転車の開発、性能評価手法及び基準化の動向調査を行った上で、自動運転車とドライバが運転する車両との混合交通を想定した安全性評価手法を検討するとともにその試験法について研究している。また、自動運転中に運転者が行う二次タスクの作業負荷が運転引継ぎ時間や運転引継ぎ後の車両挙動の安全性に与える影響を定量的に評価する研究を進め、国内外の議論に積極的に貢献している。自動運転に関しては、技術的側面のみならず法学的な考え方の理解も必要なため法曹界とも定期的な意見交換と議論を継続して実施している。

さらに、自動運転車両及び現行車両に対するコミュニケーションライトや路面描画ライトの必要性の検証並びに最適及び運用下限となる条件の明確化を目的として、コミュニケーションライトによる情報提供に関する研究も進めている。

高齢者等の認知障害や発作・急病等に由来する交通事故の増加が懸念されている。高齢者に有効な運転支援内容を解明し、予防安全システム的设计・評価に役立つ対策を提案することを目的に、大学医学部とも協力して高齢者の運転特性を明らかにし、高齢ドライバへの自動運転技術等を活用した適切な運転支援方法について検討をおこなっている。

2.3 情報安全グループ

自動運転車において安全性を保つためには、車両に係る情報安全の確保が必要となる。車両外部からの攻撃に対する情報安全性とともに、車両が取得する情報の正確性も自動運転車の安全な走行には重要となる。

情報安全グループでは、これら車両に対する新たな安全要求に対応していくため、車両制御情報の不正利用防止に関する研究を進めている。さらに、自動運転車の安全性評価に重要な要素となる自動運転車の認識性能の評価法を検討することを目的に、自動運転車に使用されるセンサ等による認識の正確性及び特性を比較・評価し、安全上の課題について検討を進める目的で、自動運転車の環境認識機能の正確性に関する調査、研究を開始した。

2.4 電気・電子技術・点検整備グループ

燃料電池自動車、電気自動車等に必須の車載バッテリーの安全性について、現行試験法の高度化と新規技術基準の策定支援を目的に、熱連鎖試験のイニシエーション方法について研究を進めている。

電子技術の観点から、電子制御装置に係る安全性・信頼性を確実に確保するため、不具合検出方法、電磁両立性に関する評価方法等に関する研究を進めてきた。現在は、国内に導入されている自動車における電磁両立性試験(R10)設備間の相関性評価等を行っている。

点検整備に関しては、2024年度よりOBD(On-board diagnostics)を活用した検査の開始が予定されており、車両からの情報抽出を行う際のメーカー毎の技術的な取り扱いの違いなどにも対応できる適切なシステムの構成が必要になる。研究部門の知見に基づき、機構本部の検査部門に対して技術的助言を行うなど、積極的に協働し実証実験に貢献してきた。

3. 外部連携

自動車安全研究部では、種々の研究課題について、芝浦工業大学、東京都立大学、東京農工大学、電気通信大学、中央大学、杏林大学医学部病院等との共同研究や、NHTSA(米)、VRTC(米)、BAST(独)、TÜV(独)、IIHS(米)、Thatcham(英)等の研究機関等との連携、情報交換を進めている。

4. まとめ

昨今、特に自動運転技術など最新の技術に対する期待が大きい。これら技術を搭載した車両の性能を公正、適切に評価することが正しい技術の導入・普及につながると考える。今後も、より安全な交通社会実現の為に自動運転技術の正しい導入と普及そして更なる安全技術開発の一助となる調査、研究に積極的に取り組んで行く。

参考文献

- 1) <http://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>
- 2) https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000338.html

講演 7. 裁判例の分析による過失要件と自動運転車の社会受容性に関する研究

自動車安全研究部

※中川 正夫

1. はじめに

昨今の交通死亡事故原因の約 96%はドライバーのミスとされており、自動運転車の普及によってこのような現在の交通事故の多くを減らすことが期待されている。自動運転車の導入期においては、自動運転車と従来のドライバーが運転する車が道路上で同時に走行し、混在する状況となることが考えられる。そうした状況下において安全で円滑な交通社会を維持するためには、自動運転車が他の交通参加者に危険を及ぼさないことが重要と考えられる。

国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(WP29)では、レベル3、4の自動運転車が満たすべき基本的な安全要件として「運行設計領域内において、システムが引き起こす人身事故であって、合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」を合意した²⁾。その上で、自動運転車は有能で注意深い人間ドライバー(C&C driver; Competent and Careful human driver)よりも安全であること³⁾が求められているが、その基準となる人間ドライバーに求められる要件を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、高速道路におけるレベル3の自動運転を対象に、裁判例を参考にして基準となる人間ドライバーに求められる要件を定量的に分析した。

2. ドライバに求められる要件の抽出

人間ドライバーに求められる要件は交通場面ごとに異なると考えられ、ここでは1例として2021年1月に発効したALKS(Automated Lane Keeping System)国連規則(UN Regulation No.157)⁴⁾で規定されている交通場面の中から「先行車が自車線から車線変更し静止障害物が出現する交通場面」を扱うこととする。

なお、本研究ではALKSを前提とし、事故の回避に際して自車は操舵及び車線変更しないものとし、制動のみを行うものとする。

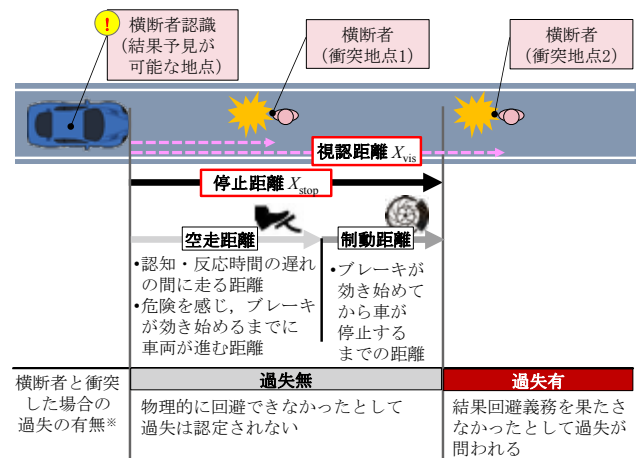
2. 1. 過失の考え方

過失の要件を裁判例から検討するにあたり、自動車運転過失致死傷罪における過失に関する基本的な考え方をまとめる。

過失を認定するにあたり、ドライバーには「危険事象の発生を事前に予想できたか(結果予見可能性・結果予見義務の有無)」、そして「予見した危険事象に対して、その発生を回避できたか(結果回避可能性・結果回避義務の有無)」が問われる。これら予見と回避を遂行する義務が一般に「注意義務」といわれる。

例えば、図1に示す横断者と車両が衝突した事故の場合、衝突から時系列を遡って、結果予見可能性のあった地点すなわち横断者を発見可能だった地点を特定した上で、同地点から衝突地点までの距離(視認距離 X_{vis})と停止距離 X_{stop} (=空走距離+制動距離)を比較し、衝突を回避できたか否かで過失の有無を認定する⁵⁾。

ここで、制動によって回避できたか否かの基準となる停止距離は、人間ドライバーが危険を認知して反応するまでに要する認知反応時間による空走距離と最大



*前提条件：車両には整備不良がなく、交通法規を遵守し、凍結などの外乱がない環境

図1 過失の考え方

限の制動による制動距離とに分けられる。制動距離は、そのときの车速や車両の能力（普通車か大型トラックか等）、さらには路面の状態等に依存するため、個々の事例によってその値は異なる。

その一方で、空走距離に相当する人間ドライバーの認知反応時間は裁判例や警察において 0.75 秒が用いられており、交通研による実験においてもその値の妥当性が確認された⁶⁾。

2. 2. 裁判例の分析

裁判例から結果予見が求められる時点と取るべき車間距離について検討する。

2. 2. 1. 結果予見が求められる時点

「先行車が自車線から車線変更し静止障害物が出現する交通場面」における危険事象の発生を予見すべき時点の検討にあたり、平成 26 年に名古屋で発生した事故の裁判例⁷⁾を取り上げて分析する。

本裁判例では、高速道路において 85km/h 程度の车速で車間距離を 24m 程度開けて先行車に追従していたところ、先行車が車線を変更した後、不具合のためハザードランプを点滅させて停車していた普通自動車の存在を認識したものの、ハザードランプを点滅させて低速走行していると誤認し、約 20m まで迫って初めて停車していることに気づき急制動を講じたものの間にあわず衝突し、3 名を死亡させ 1 名に傷害を負わせたと認定されている。また、车速 85km/h からの停止距離は 94.2m と認定されている。

衝突から時系列を遡って、結果予見可能性のあった時点特定するにあたり、図 2 に示す時点が挙げられている。なお、各時点における障害物までの距離は実況見分により明らかにされた値であり、裁判において実際に用いられた値である。

本裁判例では、上記の結果予見可能性のあった時点の中から、以下に示す主位的訴因と予備的訴因から過失が議論されている。ここで、検察官が第一に主張する犯罪事実が主位的訴因、主位的訴因を裁判所が認めない場合に備えて、第二次的な犯罪事実として検察官が主張する犯罪事実が予備的訴因である。

<主位的訴因：前方注視義務違反>

主位的訴因では、(エ) 実際の車間距離で障害物の存在を認知可能な時点（障害物まで 101.2m）を結果予見可能性のあった時点であるとし、前方注視義務違反で過失を問うている。车速 85km/h からの停止距離 $X_{stop}=$

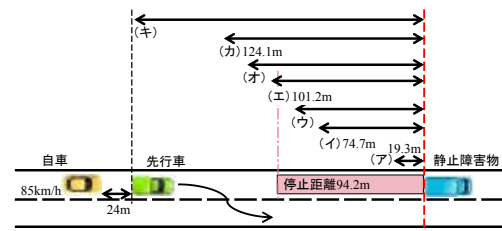


図 2 結果予見可能性があると考えられる時点

- (ア) 被告人が実際に障害物が何か（停車していること）を認知した時点（障害物まで約 19.3m）
- (イ) 被告人が実際に障害物の存在を認知した時点（障害物まで 74.7m）
- (ウ) 実際の車間距離で障害物が何か（停車していること）を認知可能な時点
- (エ) 実際の車間距離で障害物の存在を認知可能な時点（障害物まで 101.2m）
- (オ) 取るべき車間距離で障害物が何か（停車していること）を認知可能な時点
- (カ) 取るべき車間距離で障害物の存在を認知可能な時点（障害物まで 124.1m）
- (キ) 先行車が車線変更を開始した時点

94.2m よりも障害物までの距離 $X_{vis}=101.2m$ は長いものの、その距離が近いことから本裁判例では回避可能性が認められなかった*。

<予備的訴因：前方注視義務違反

+車間距離保持義務違反>

予備的訴因では、(カ) 取るべき車間距離で障害物の存在を認知可能な時点（障害物まで 124.1m）を結果予見可能性のあった時点であるとし、主位的訴因の前方注視義務違反に車間距離保持義務違反を加えて過失を問うている。本事例では、車間距離を 24m（車間時間約 1s）しかとっていなかったが、本来取るべき車間時間 2s の車間距離をとっていたとすると、车速 85km/h から停止に必要な停止距離 $X_{stop}=94.2m$ よりも十分に長い $X_{vis}=124.1m$ で障害物を認知できることから、回避可能性が認められ過失が認定された。

以上、本裁判例では、主位的訴因、予備的訴因ともに結果予見可能性が認められる時点が被告人が前方に車両が停車していることを理解し、衝突する危険があると判断した時点ではなく、対象の障害物を発見することができる時点とされている。本研究では、この時点での障害物までの距離を視認距離 X_{vis} とした。

*本裁判例のように、被告人にとって裁定が厳しくなりすぎないよう酌量されることがあるため、裁判例を分析するにあたり注意が必要である。

2. 2. 2. 取るべき車間距離

道路交通法第26条では、「車両等は、同一の進路を進行している他の車両等の直後を進行するときは、その直前の車両等が急に停止したときにおいてもこれに追突するのを避けることができるため必要な距離を、これから保たなければならない」とされている。そこで、車間距離に関する重要裁判例**について検討する。

本裁判例^{8),9)}は、先行車を車速40km/h、車間距離6m(車間時間0.53s)で追従していたところ、静止障害物に衝突して急停止した先行車に衝突した事例であり、制動機の制動力以外の作用によって急停止した事象が道路交通法第26条の「直前の車両等が急に停止したとき」に相当するかが論点となっている。

第一審で制動機の制動力以外の作用によって停止した先行車は追従車にとってその進路に突然現出した障害物としているが、第二審で先行車は制動機の制動力以外の作用によって停止する可能性をもってすでに先行していた危険物であるとしている。そして、第三審で「道路交通法26条1項の『先行車が急に停止したとき』とは、先行車が制動機の制動力によって停止した場合のみならず、制動機以外の作用によって異常な停止をした場合も含むとした原判決の判断は相当である」と判断している。

本研究では、取るべき車間距離は停止距離と等しいとし、WHOにより示されている停止距離^{10)***}を取るべき車間距離とすることとした。

3. 過失要件の定量分析

前章において明らかとなった定性的な要件を定量的に分析し、自動運転車の社会受容性及び安全性を考える上で必要となる要件を検討する。

3. 1. 実際の車間距離の計測

自動運転車には道路交通法を遵守することが求められており、自ら車間距離を詰めることはないとしても、交通流の中で先行車等の挙動により車間距離が短くなることも考えられる。

そこで、条件をそろえるため実車(車両 α)のACC(Auto Cruise Control)の機能を活用し、車間距離を管理して車両挙動を計測した。車両 α では、車間距離を7段階で選択できるが、最短・中間・最長の3水準で計測を行った。

**裁判官や検事、判事らが教科書的に参考としている裁判例。

***警察庁もWHOが示している停止距離を用いている。

また、車速に応じて車間距離が変わるため、20-80km/hの20km/h毎の車速において計測を行った。一定車速で走行する先行車を追従し、先行車と自車それぞれの位置や車速等の情報を同期して記録した。

3. 2. 視認距離 X_{vis} の導出

予見可能性を認める時点が「先行車が車線変更した後に静止障害物が見えた時点」であることから、図3に示すようにシミュレーション(CarMaker 10.0, IPG Automotive社製)においてカメラのコンフィデンス(対象を捉えた確信度)が立ち上がった位置から静止障害物までの距離を視認距離 X_{vis} として導出した。

ここで、先行車は2秒かけて車線変更することとし、静止障害物は車両(普通車)とした。また、カメラは図に示すようにフロントウィンドウ上部中央に取り付けた。カメラのコンフィデンスvisibilityは、式(1)に示すように対象の見えている部分から確信度を示したもので、対象を四角く囲んだ時のピクセル数 $nPix_{tot}$ に対して、対象が写っているピクセル数 $nPix_{vis}$ の割合を示す。

$$\text{visibility} = \frac{nPix_{vis}}{nPix_{tot}} \quad (1)$$

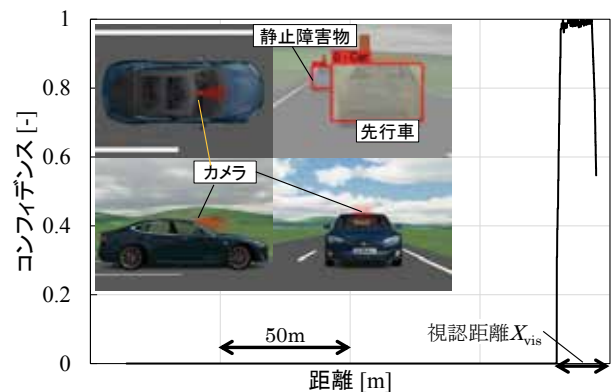


図3 カメラのコンフィデンス

3. 3. 定量要件の導出

計測した車間距離及びシミュレーションから算出した視認距離 X_{vis} を停止距離¹⁰⁾と比較することにより求められる各車速及び車間距離の条件における過失の有無を表1に示す(赤が過失あり、緑が過失なし)。

ここで、計測された車間距離が取るべき車間距離よりも短い条件では、不足している距離を算出された視認距離 X_{vis} に足し、取るべき車間距離を取っていた場

合の視認距離 X_{vis} とした（表中、括弧内がシミュレーションによる算出値、括弧外が不足分を足した値）。

表1より、回避可能性がなく過失が問われない条件も存在し、定量分析により過失の有無を明確にできることがわかる。

過失が問われない条件は、実験のために扱った車間距離が短い条件だが、これは先行車等の挙動により車間距離が短くなった状態に相当する。表1に示すようにほとんどの条件が過失を問われる条件であり、自動運転車は先行車等の挙動により厳しい状態におかれな限り事故を起こしてはならず、その他の全ての条件における安全性を網羅的に確認する必要があると考えられる。

表1 過失の有無

車速	停止距離 X_{stop} [m]	視認距離 X_{vis} [m]		
		最短	中間	最長
20km/h	7.8	16.1	19.5	22.5
40km/h	19.9	29.9 (27.0)	33.7	39.8
60km/h	36.5	43.8 (37.9)	50.3 (47.5)	56.0
80km/h	57.5	53.4 (43.4)	62.1 (55.3)	70.4 (66.3)

4. まとめ

本研究では、裁判例の分析によりドライバに求められる要件を定量的に分析することにより、自動運転車の社会受容性及び安全性を考える上で必要となる要件を検討した。

「先行車が自車線から車線変更し静止障害物が出現する交通場面」において予見可能性がある時点は静止障害物が見えた時点であり、取るべき車間距離は停止距離と等しいことがわかった。

定量分析により回避可能性がなく過失が問われない条件も存在する一方、先行車等の挙動により厳しい状態におかれな限り事故を起こしてはならないと考えられる。

このような過失の考え方に基づいて結果予見可能性があった時点特定することにより自動運転車の社会受容性及び安全性を検討する手法は、他の交通場面等についても適用可能と考える。

参考文献

- 1) 警察庁交通局、令和2年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通違反取締り状況等について、p.27.
- 2) ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.2, UNECE WP.29 180th session (2019), <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.2>
- 3) ECE/TRANS/WP.29/2020/81, UNECE WP.29 181th session (2020), <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/81>
- 4) ECE/TRANS/505/Rev.3/Add.156, <https://unece.org/sites/default/files/2021-03/R157e.pdf>
- 5) 中川由賀「道路交通法及び道路運送車両法の改正を踏まえたレベル3自動運転車の操作引継ぎ時の交通事故の運転者の刑事責任」『中京ロイヤー』Vol.32, pp.13-27 (2020).
- 6) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、規制の精緻化に向けたデジタル技術の開発／無人自動運転車における運行時に取得するデータの活用と安全性評価のための基礎システムの技術開発 2020年度成果報告書、20000269-0 (2021).
- 7) 名古屋高判、平 27・2・16、TKC ローライブラリー、25505921.
- 8) 最判、昭 43・3・16、最高裁判所刑事判例集、No.22, Vol.3, p.81.
- 9) 最判昭 43・3・16解説、判例タイムズ、No.221, p.175.
- 10) World Health Organization, Speed management – A road safety manual for decision-makers and practitioners, p.7, (2008).

講演 8. 前面衝突時の ISOFIX 固定ブースターシート の安全性について

自動車安全研究部 ※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩

1. はじめに

チャイルドシート（Child Restraint System、以下 CRS という）の1つに学童用のブースターシートがある。ブースターシートにより子供乗員を拘束する方法には、ブースターシートをシートベルトで拘束する方法（シートベルト固定）とブースターシートを ISOFIX で固定した上からシートベルトで拘束する方法（ISOFIX 固定）がある。

このブースターシートの固定方法の違いが乗員安全性へ与える影響に関する調査は少ないものの、固定方法の違いがダミーの挙動や傷害値に与える影響は小さいと報告⁽¹⁾⁽²⁾されている。

これらの調査は新旧基準に定められたテストベンチを用いて行われており、実車環境下での調査は行われていない。そこで本研究では、実車のボデーを改造した治具を用いたスレッド実験、新しい CRS の国際基準である UN Regulation No.129（以下 R129 という）のテストベンチで実車の状況を模擬するように変更した条件等でスレッド実験を行い、より実車に近い条件でブースターシートの固定方法の違いが子供乗員の安全性に及ぼす影響を調査した。

2. 実車ボデー スレッド実験

2. 1. 実験方法

スレッド試験機に実車のボデーを補強改造したボデー治具を設置し、前面衝突実験を実施した。ボデー治具には、後席に座席とシートベルトを取り付けた。ダミーは R129 で採用されている 6 歳の子供を模擬した Q6 ダミーを使用した。図 1 にスレッド実験に使用したボデー治具を示す。ボデー治具は、日本で一般的に普及している小型乗用車を用いて作成した。

図 2 に、実験に使用したブースターシートとボデー治具に搭載した Q6 ダミーの写真を示す。ブースターシートは、ISOFIX 固定とシートベルト固定のどちら

も可能なものを使用した。子供ダミーの搭載方法とスレッド実験の加速度波形は、R129 に定められた前面衝突試験方法に準じた。ブースターシートの車両への固定方法の違いがダミーの挙動に与える影響について調査するため、ブースターシートの固定方法を ISOFIX 固定とシートベルト固定の 2 条件として、実験を実施した。



図 1 ボデー治具



図 2 ブースターシートと Q6 ダミー

2. 2. 実験結果

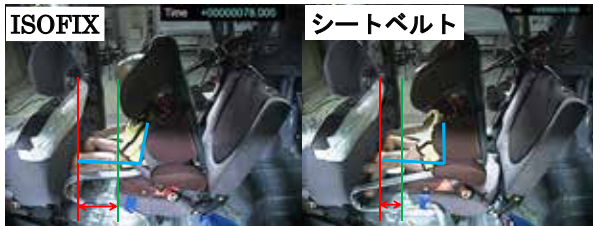
図 3 に衝突開始後 190 ms 時の斜め前から見たダミーの挙動を示す。ISOFIX 固定条件はシートベルト固定条件に比べてシートベルトが滑り上がり、より頸部に近づいていた。ISOFIX 固定条件では、乗員がシートベルトにより頸部を受傷する可能性がある。



(a) ISOFIX 固定 (b) シートベルト固定

図 3 190ms 時のダミーの状況

図4に衝突開始後78ms時の側面から見たダミーの挙動を示す。図中の赤線はダミー膝位置を、緑線はブースターシート前端位置を、青線はダミーの背骨と大腿骨の姿勢を示す。ISOFIX固定条件はシートベルト固定条件に比べて、ダミーの膝がブースターシート前端に対してより前方に位置しており、ダミーがブースターシートに対してより前方に大きく移動した。また、ダミーの上体と大腿部との角度はISOFIX条件がシートベルト固定条件より大きかった。



(a) ISOFIX 固定 (b) シートベルト固定

図4 78ms時のダミーの状況

3. R129 テストベンチスレッド実験

3. 1. 実験方法

前章の実車ボデーを使用したスレッド実験では、過去のテストベンチを用いた調査結果と異なり、ブースターシートの固定方法の違いによりダミーの挙動に違いが生じた。そこで、R129に定められたテストベンチを用いて実車の状況を模擬した場合に同様の現象が発生するか調査した。

前章の実験に使用した車両とR129に定められたテストベンチでは形状やシートベルト配置等が異なり、特にシートベルト経路は大きな差が見られる。そこで本実験では、テストベンチのシートベルト経路をR129で定められた条件（以下R129条件という。）とテストベンチで実車のシートベルト経路を模擬した条件（以下実車模擬条件という。）の2条件とした。図5(a)に前章で使用した車両のシートベルト経路、(b)にR129テストベンチのシートベルト経路、(c)にR129テストベンチで実車を模擬したシートベルト経路を示す。実車では、シートベルト経路はクッションに沿って曲線状になっている。一方、テストベンチのシートベルト経路では直線状で、経路が異なる。そこで、実車模擬条件では、座席クッションと同じ特性の素材をシートベルト経路に配置し、実車と同様に曲線状とした。また、本実験では、ブースターシート固定方法をISOFIX固定とシートベルト固定の2条件と

して、合計4条件で実験を実施した。



(a) 車両



(b) R129 テストベンチ

(c) 実車模擬

図5 実験でのシートベルト経路

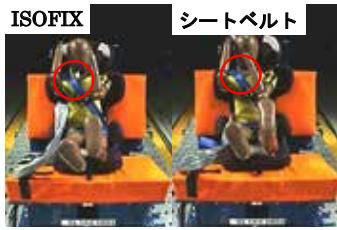
3. 2. 実験結果

図6にR129条件における、図7に実車模擬条件における衝突開始後190ms時の正面から見たダミーの挙動を示す。R129条件においては、ブースターシートの固定方法の違いによらずダミーの挙動はほぼ近似しており、シートベルトが滑り上がる現象は確認されなかった。実車模擬条件においては、ISOFIX固定条件はシートベルト固定条件に比べてシートベルトが滑り上がり、より頸部に近づいていた。実車模擬条件においてISOFIX固定条件では、乗員がシートベルトにより頸部を受傷する可能性がある。

図8にR129条件における、図9に実車模擬条件における衝突開始後103ms時の側面から見たダミーの挙動を示す。図中の赤線はダミー膝位置を、緑線はブースターシートの前端位置を、青線はダミーの背骨と大腿骨の姿勢を示す。R129条件においては、ブースターシートの固定方法によらずダミーの挙動及びブースターシートの挙動はほぼ近似していた。実車模擬条件においては、ISOFIX固定条件はシートベルト固定条件に比べて、ダミーの膝がブースターシート前端に対してより前方に位置しており、ダミーがブースターシートに対してより前方に大きく移動した。また、ダミーの上体と大腿部との角度はISOFIX条件がシートベルト固定条件より大きく、ダミーの腰部がより下方へ回転した。

R129に定められたテストベンチの条件では固定方法の違いによらずダミーの挙動はほぼ同等であったが、テストベンチで実車のシートベルト経路を模擬し

た条件では固定法の違いによりダミーの挙動に違いが生じ、実車ボデーを使用したスレッド実験で発生した現象と同様の現象が発生した。



(a) ISOFIX 固定 (b)シートベルト固定

図6 R129条件での190ms時のダミーの状況



(a) ISOFIX 固定 (b)シートベルト固定

図7 実車模擬条件での190ms時のダミーの状況



(a) ISOFIX 固定 (b) シートベルト固定

図8 R129条件での103ms時のダミーの状況



(a) ISOFIX 固定 (b) シートベルト固定

図9 実車模擬条件での103ms時のダミーの状況

4. 考察

実験結果から、前面衝突時にダミーがブースターシートに対してより前方に位置する場合に、シートベルトが滑り上がる現象とダミーの上体と大腿部の間の角度が大きくなる現象が確認できた。この状況は、ダミーが前方に移動する量が多い場合と、ブースターシートが前方に移動する量が少ない場合の組み合わせで発生すると考えられる。

本実験でダミーの前方への移動が大きくなるのは、シートベルト経路が変化したことが原因と考えられる。図10に実車ボデーを用いたスレッド実験での、

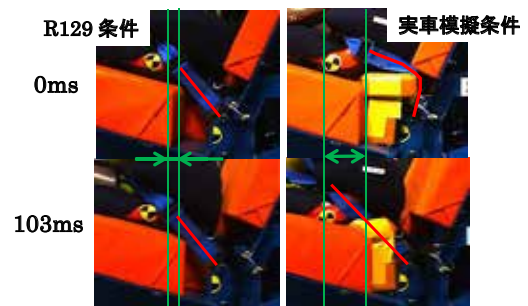
ISOFIX 固定条件における衝突開始後 0 ms 時と 84 ms 時のシートベルト経路を示す。図中の赤線がアンカレッジからバックルまでのシートベルト経路を示す。0 ms 時ではクッションに沿った曲線状であったベルト経路が、84 ms 時には直線状となっており、この経路の変化によりダミーが前方へ大きく移動した。



(a) 0 ms 時 (b) 84 ms 時

図10 実車ボデー・スレッド実験のシートベルト経路

図11にR129スレッド実験での、ISOFIX 固定条件におけるR129条件と実車模擬条件での衝突開始後0ms 時と103ms 時のシートベルト経路を示す。上段の写真が0ms 時、下段の写真が103ms 時を示す。図中の赤線がアンカレッジからバックルまでのシートベルト経路、緑線がバックル治具の位置を示す。R129条件では、0 ms 時と103 ms 時でシートベルト経路はほぼ近似しており、ダミーの前方への移動量は小さい。実車模擬条件では、0ms 時にはクッションに沿って曲線であったシートベルト経路が103ms 時には直線状となっており、この経路変化によりダミーが前方へ大きく移動した。



(a) R129 条件 (b) 実車模擬条件

図11 R129スレッド実験のシートベルト経路

図12にダミーがブースターシートに対してより前方に位置する場合にシートベルトが滑り上がる現象が生じるメカニズムを示す。図中①で前面衝突時にダミーが前方に移動するのに対してブースターシートは移動しないことから、ブースターシートのベルトガイド位置はダミーに対してより後方に位置することになる。そのため、図中②で示す通り、肩からベルト

ガイド部まで斜めに位置するシートベルトがダミー側面と接する位置が上方に滑り上がり、上腕下部に近づくこととなる。このことから、図中③で示す通り、ダミー前方ではシートベルトが上方に滑り上がり頸部に近づく現象が発生したと考えられる。

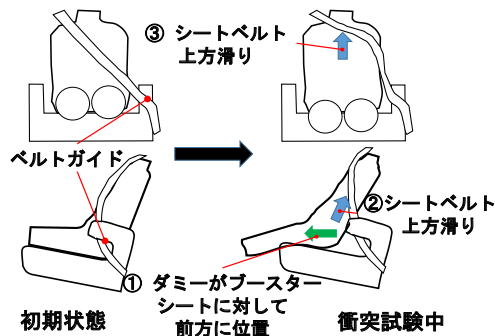


図 12 シートベルト滑り上がり現象のメカニズム

図 13 にダミーの上体と大腿部の間の角度が大きくなる現象が生じるメカニズムを示す。図中①で前面衝突時にダミーが前方に移動するのに対してブースターシートは移動しないことから、図中②で示す通りダミー下面がブースターシート座面と接している面積が小さくなる。そのため、ダミーを下から支える力が減少し、下肢の重量により図中③のダミー腰部の下方への回転が大きくなり、結果としてダミーの上体と大腿部の角度が大きくなったと考えられる。

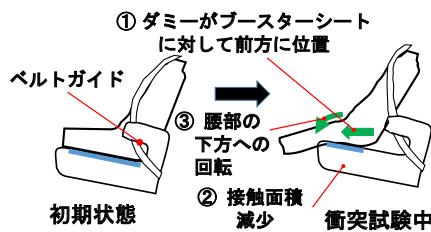


図 13 ダミー上体と大腿部の角度増加のメカニズム

一般に前面衝突時に腰部が下方へ回転する場合やラップベルトが腰骨から外れて腹部へ移動する場合、乗員が腹部等を受傷する可能性の高いサブマリン現象が発生する^④。図 3 の ISOFIX 固定の場合の挙動ではラップベルトが腹部まで達していた。また、図 9 の ISOFIX 固定の場合の挙動では、ダミー腰部の下方への回転が他の場合に比べて大きかった。これらのことから本研究においても、前面衝突時にダミーがブースターシートに対してより前方に位置する場合にサブマリン現象が発生していた可能性が高いと考える。

これらのことから、前面衝突時にシートベルト経路

が変化して乗員の前方移動が大きくなる構造を有する車両において、ブースターシートを ISOFIX 固定で使用すると、前面衝突事故が発生した場合に子供乗員がシートベルトの頸部圧迫やサブマリン現象の発生により受傷する危険性が考えられる。今後このような状況を発生させないためにも、乗員の前方移動量を抑制するための基準改正が必要と考える。

5. まとめ

今回の調査から、以下のことが確認できた。

1. 前面衝突時にダミーがブースターシートに対してより前方に位置する場合に、シートベルトが滑り上がる現象とダミーの上体と大腿部の間の角度が大きくなる現象が確認できた。
2. 前面衝突時にダミーがブースターシートに対してより前方に位置する状況は、前面衝突時にシートベルト経路が変化しダミーの前方移動が大きくなる車体構造を有し、かつブースターシートを ISOFIX 固定で使用した場合にのみ確認できた。
3. シートベルトが滑り上がる現象は乗員が頸部を圧迫されて受傷する可能性があり、乗員の上体と大腿部の間の角度が大きくなるとサブマリン現象が発生して乗員が腹部を受傷する可能性があることから、どちらも乗員にとって危険である。

参考文献

- 1) JASIC, “Comparison of the R44 Test Data using ISOFIX Booster /Seatbelt Booster”, CRS-38-05, UNECE/GRSP/CRS 38th meeting(2013)
https://wiki.unece.org/download/attachments/5801998/CRS-38-05e%20ISOFIX_booster.pdf
- 2) Visvikis, C, et al. “THE EFFECT OF ISOFIX ON BOOSTER SEAT PERFORMANCE IN UNREGULATION NO. 129 FRONT IMPACT TESTS”, 25th ESV, Paper Number ,17-0371 (2017)
- 3) Chandrashekhar, K, et al. “ROLE OF TRAUMATIC SEATBELT FAT STRANDING IN AUTOMOTIVE CRASH INJURY ANALYSIS”, 26th ESV, Paper Number ,19-0137 (2019)

講演9. 自転車乗員視点を想定した ターンシグナル路面描画の有効性に関する研究

自動車安全研究部 ※加藤 洋子 青木 義郎 関根 道昭

1. はじめに

現在、自動車の灯光により路面上に視覚情報を投影する「路面描画ランプ」の開発が、各国メーカーによって進められている。可変配光前照灯（Adaptive Driving Beam）を活用し、運転中のドライバーに対し視覚情報を提供する路面描画¹⁾の他、図1のように、方向指示器（ターンシグナル）と連動し、周囲の交通参加者に自車の右左折や進路変更を伝わり易くするための路面描画（以下、ターンシグナル路面描画）などが開発されている。

本研究では、ターンシグナル路面描画の有効性について検証するため、自転車乗員の視点を想定し、車両の方向指示器点灯に対する反応時間の取得とアンケート調査を実施した。また、自転車運転中のスマートフォン操作による危険性についても検討するため、スマートフォン操作を行う場合も評価した。

2. 実験方法

2. 1. 実験概要

本研究では、ターンシグナル路面描画の有効性を検証するため、被験者を自転車に乗車させ、ターンシグナル路面描画の有り／無しそれぞれの場合の、車両の方向指示器点灯に対する反応時間を取得する実験を行った。実験風景を図2に示す。路面描画ランプ搭載車両は静止状態とし、静止状態の自転車から観察させる実験1と、走行状態の自転車から観察させる実験2を実施した。また、各条件の終了後に路面描画に関するアンケートを行った。

実験は、日没後の当研究所（東京都調布市）の屋外にて計4日間行い、天候はいずれも晴れまたは曇りであった。実験を完遂した被験者は、表1に示す20～60代の計13名（平均年齢31.9歳）であった。「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規程」に基



図1 ターンシグナル路面描画搭載車両



図2 実験風景

表1 被験者リスト

No.	性別	年齢	両眼視力	色覚	自転車の使用頻度
1	女	47	0.9	一般	ほとんど毎日
2	女	22	1.0	一般	週に数回
3	男	61	1.0	一般	週に数回
4	女	59	0.5	一般	月に数回
5	女	21	1.5	一般	数年間乗ってない
6	男	23	1.2	一般	年に数回
7	男	21	1.2	一般	年に数回
8	女	22	1.5	一般	ほとんど毎日
9	女	28	1.2	一般	ほとんど毎日
10	男	21	1.5	一般	ほとんど毎日
11	男	47	1.5	一般	月に数回
12	女	21	0.9	一般	週に数回
13	男	22	0.9	一般	ほとんど毎日

づく事前審査を受け、実験開始前に実験内容の説明を行い、同意を得た上で実験を実施した。

2. 2. 実験装置

本実験で使用したターンシグナル路面描画の路面上の寸法を図3に示す。本実験で用いた路面描画は破線状であり、図3の近・中・遠の部分が車両に近い側から順次点灯するシーケンシャル点灯となっている。車両の方向指示器は、車両の左前端部、左ドアミラー部、左後端部の3箇所が同時に点滅点灯する。路面描画無し条件として「方向指示器のみが点灯する条件」、路面描画有り条件として「方向指示器と路面描画が点灯する条件」を行う。それぞれ1回につき3秒間点滅する。

方向指示器点灯に対する被験者の応答は、自転車の左右ブレーキレバーに取り付けたセンサによって取得し(図4)、方向指示器の点灯から自転車の左右いずれかのブレーキレバーを握るまでの時間を反応時間とした。

2. 3. 実験1：静止状態の自転車から観察

実験1では被験者はスタンドを立て静止した状態の自転車に乗車し、自転車運転模擬のためペダルを漕ぎながら、観察を行う。被験者の観測位置は、路面描画搭載車両の後端から後方を正として、5、2.5、0、-2.7mの4条件とし、いずれも路面描画搭載車両左側1mとした(図5)。また、車両後端部の方向指示器を見えにくくするため、路面描画搭載車両の後方にワゴン車を配置した。ワゴン車のヘッドライトは、観測位置5m、2.5mの場合はロービーム、観測位置0m、-2.7mの場合はスモールライトを点灯した。視点高1.5mとして、各観測位置から測定した路面描画点灯時と消灯時の路面輝度値を表2に示す。

また、観測条件として、「スマートフォン無し」条件と「スマートフォン有り」条件を設けた。「スマートフォン有り」条件では、自転車のハンドル部に固定したスマートフォン(図6)の画面上部に、0~9の1桁の数字をランダムに2.25秒間隔で表示し、3の倍数が表示された際に画面下部の該当する数字ボタンをタッチする作業を行いながら、方向指示器の点灯に反応する。

実験1では、観測位置4条件、スマートフォンの有無2条件の計8条件を行い、実験時間はそれぞれ3分間とした。3分間で「方向指示器のみ」と「方向指示器+路面描画」を4回ずつランダムな順序、間隔で点

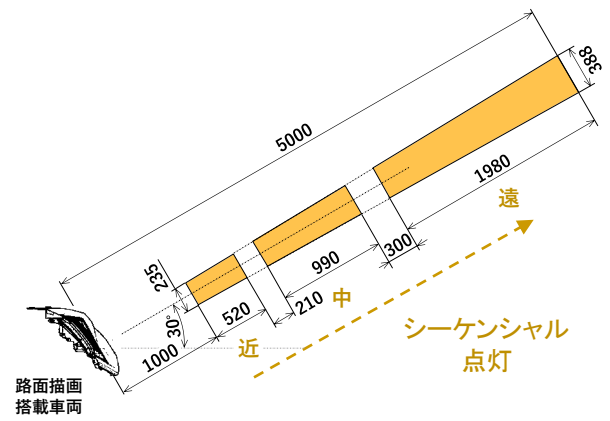


図3 路面描画の寸法

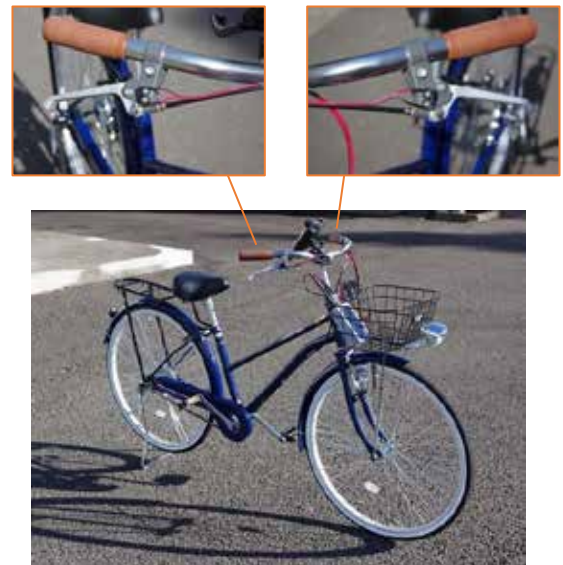


図4 実験に使用した自転車

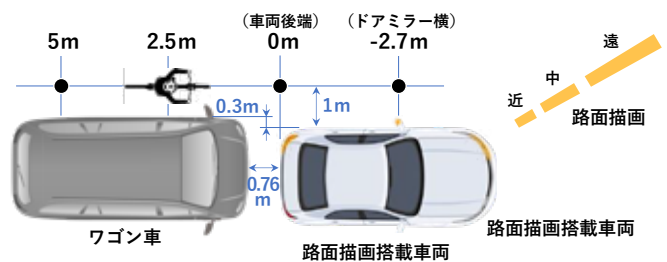


図5 実験1レイアウト

表2 路面の輝度 (cd/m²)

観測位置	路面描画ON			路面描画OFF		
	近	中	遠	近	中	遠
-2.7m	7.0	5.0	3.9	0.1	0.3	0.2
0.0m	7.3	6.3	4.8	0.2	0.4	0.4
+2.5m	7.8	7.8	5.8	1.1	1.8	1.9
+5.0m	6.7	6.6	5.5	1.4	1.9	2.0

灯した。各条件終了後に路面描画の有効性に関するアンケートを行った。

2. 4. 実験2：走行状態の自転車から観察

実験2では、被験者は自ら自転車を漕ぎ、路面描画搭載車両の左側1mのライン上をワゴン車後方から走行しながら観察を行う(図7)。10回走行するうち、被験者が予測できないタイミングで「方向指示器のみ」を3回、「方向指示器+路面描画」を3回ランダムに点灯した。被験者は方向指示器点灯に反応し、自転車のブレーキレバーを握り減速する。

実験2では、安全性を考慮し「スマートフォン有り」条件は行わず、「スマートフォン無し」条件のみとした。実験終了後に路面描画の有効性に関するアンケートを行った。



図6 実験に使用したスマートフォン



図7 実験2レイアウト

3. 実験結果

3. 1. 反応時間

実験1、実験2の各条件における、被験者13名分の反応時間の平均値を図8に示す。

観測位置、スマートフォン操作の有無、路面描画の有無の影響について分散分析を行ったところ、スマートフォン操作の有無による有意差が確認された。スマートフォン有りは、スマートフォン無しに比べ有意に反応時間が長かった(** $p<.01$)。

また、路面描画の有無についてt検定を行ったところ、一部の条件において、路面描画有り条件は路面描画無し条件よりも反応時間が短いことが確認された。観測位置-2.7m、スマートフォン無しの場合、ドアミラー部の方向指示器が視野に入らないため、前方に表示される路面描画の効果が特に得られたと考えられる(* $p<.05$)。一方、観測位置-2.7mのスマートフォン有りの場合は、視線が下向きとなり、ドアミラー部の方向指示器の光が自転車やスマートフォンに反射するのが見えていた可能性が有る。その光に反応していたために、路面描画の効果があまり得られなかったと考えられる。その他、観測位置5mでスマートフォン有りの場合、路面描画有り条件が路面描画無し条件よりも反応時間が短い傾向となり(+ $p<.10$)、実験2の走行条件は、路面描画有り条件が路面描画無し条件よりも反応時間が短くなった(* $p<.05$)。走行条件は、静止条件よりも視線が前方に向くため、路面描画による効果が得られたと考えられる。

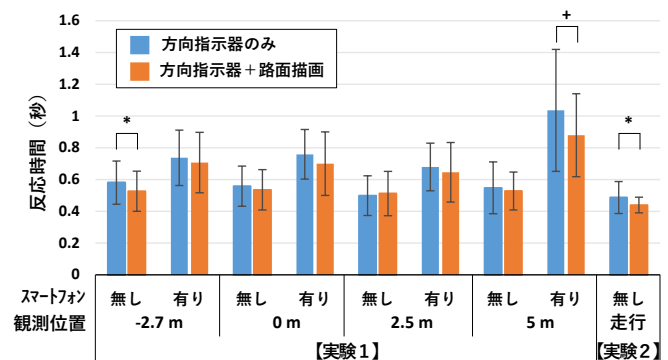


図8 方向指示器点灯に対する反応時間

3. 2. アンケート結果

実験1の各観測位置での実験終了後及び実験2の実験終了後に、「路面描画ランプにより方向指示は確認しやすくなったか」を質問した。実験1の場合は、スマートフォン有無条件毎に質問した。被験者13名分の回答結果を図9に示す。

今回行った全ての条件において、半数以上が「はい」と回答し、実験2の走行実験では全員が「はい」と回答した。反応時間で有意差が確認されなかった条件においても、路面描画の表示によって方向指示が伝わり易くなる効果があると考えられる。スマートフォン有り条件では、観測位置が後方になるほど、視野に路面描画が入り難くなるため、「いいえ」の回答が多くなったと考えられる。

Q1:路面描画ランプにより方向指示は確認しやすくなったか？

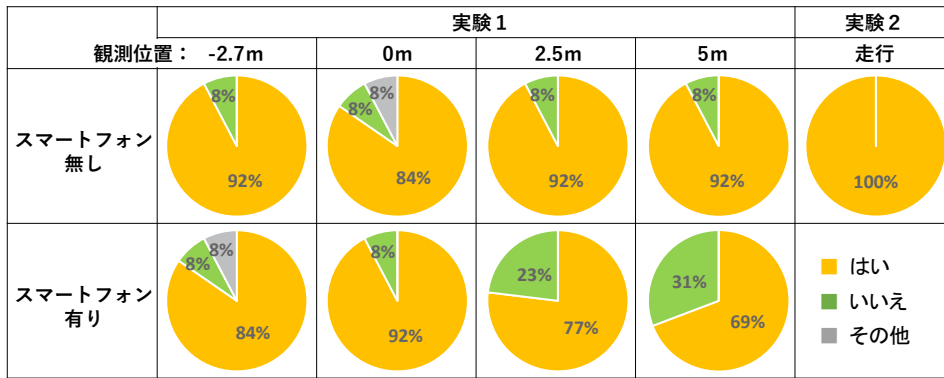


図9 各観測位置終了後のアンケート回答結果 (Q1)

全実験終了後に行ったアンケートでは、路面描画の表示によって歩行者や自転車の安全性が向上すると思うと回答する者が多かった (図10)。また、どのような路面描画の表示内容で便利になるか (複数回答可) の間では、今回の実験で方向指示の路面描画を体験したことが影響している可能性があるが、「方向指示」を回答する者が多かった (図11)。

以上のアンケート結果より、今回実験を行ったターニングナル路面描画は、肯定的な評価が得られたと言える。

4. まとめ

本研究は、車両の方向指示器に連動し、路面上に視覚情報を投影する路面描画ランプの有効性について検証した。自転車乗員の視点を想定し、車両の方向指示器点灯に対する反応時間の取得とアンケートによる調査を行った。また、自転車運転中のスマートフォン操作の影響についても調査を行った。

その結果、車両の方向指示器に連動する路面描画の表示について、安全性向上への効果が期待できる結果となった。スマートフォン操作を行う場合は、スマートフォン操作を行わない場合に比べ、方向指示器点灯への反応が遅れること、路面描画の効果が得られにくいことが確認された。

今後、路面描画の安全性や有効性について、さらなる評価解析を行う予定である。

謝辞

本研究は、株式会社小糸製作所の協力を得て実施したものである。ここに謝意を表す。

Q2: 方向指示や後退、発進等を路面上に情報提供する路面描画ランプにより、歩行者や自転車の安全性が向上すると思いますか？

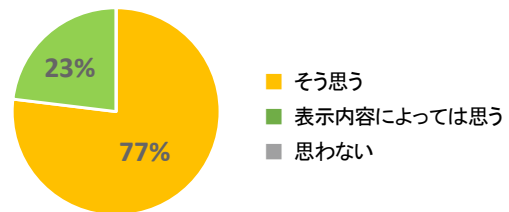


図10 実験終了後のアンケート回答結果 (Q2)

Q3: どのような表示内容で便利になると思いますか？ (複数回答可)

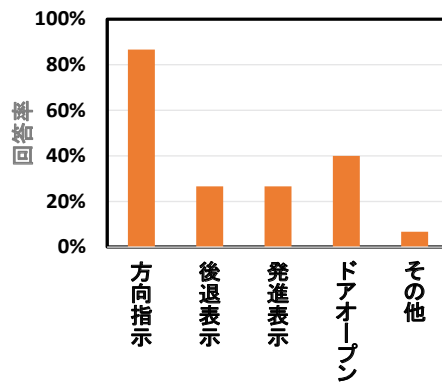


図11 実験終了後のアンケート回答結果 (Q3)

参考文献

- 1) 加藤洋子, 青木義郎, 関根道昭, “運転支援のための路面描画ライトに関する研究”, 交通安全環境研究所フォーラム2020 講演概要集, pp. 25-28 (2020)

自動運転技術に関する国際基準等策定活動への貢献

— 自動運転の黎明（市場化から普及へ） —

審議役

※斧田 孝夫

1. はじめに

本田技研工業株式会社の自動車（通称名：レジェンド）が、2020年11月に世界初の自動運転レベル3の型式指定を国土交通省より取得し、2021年3月に国内での販売が開始された。自動運転技術は新たな別のステージへと変わっていく転換点を迎えたといえるかもしれない。

本稿では、自動運転車に係る我が国の取り組みを概説したうえで、自動運転技術の国際基準等策定に関する弊所のこれまでと今後の取り組みを紹介する。

2. 自動運転に係る日本の取り組み

我が国では2020年、交通事故により2,839の方が亡くなった。死亡事故発生件数の94%は「運転者の違反」に起因したものとなっている¹⁾ため、運転者に代わってシステムが自動車を操縦する自動運転車は、運転者が原因の交通事故を大幅に低減できる可能性を秘めている。運転には自動車の運転への運転者の関与度合の観点から様々な概念が存在しているが、以下では、官民ITS構想・ロードマップ2020で定義されたレベル3以上の自動運転(以下「自動運転」という)について述べることとする。

2. 1. 我が国におけるこれまでの取組と実績

我が国では毎年、IT総合戦略本部（本部長：内閣総理大臣）において、自動運転導入に向けた日本の活動の全体ロードマップを含む「官民ITS構想・ロードマップ」が策定されている。2018年6月に公表された官民ITS構想・ロードマップ2018では、特定の自動運転技術（レベル3の自動パイロット）について民間企業による市場化が可能となるよう政府が目指すべき努力目標の時期が2020年目途と設定されていた²⁾。2021年6月に公表された最新の官民構想・ロードマップでは、後述する自動車線維持走行（ALKS）や、サイバーセキュリティに関する国際基準成立への我が国の多大な貢献や、冒頭述べたホンダレジェンドの市場導入等に言及の上、“2020年に向けて設定した

目標については、概ね達成したと言える”と総括している³⁾。

2. 2. 我が国における今後の方針

上述の通り、レベル3の自動運転技術の市場化が実現したことなどを踏まえ、官民ITS構想・ロードマップでは、自動運転は市場化から普及を促進する段階に移りつつあるとしている。そのうえで、2030年の実現目標として自動運転システムの高度化に向けた技術開発、関係する制度の整備等を進めるとこととしているほか、重点目標として自動運転車の安全性評価手法の確立や、車両に対するサイバーセキュリティの対策を進めることとしている⁴⁾。

3. 弊所におけるこれまでの取り組み

弊所は令和3年から8年までの5年間の中期計画において、我が国技術の国際標準の獲得を目指した国土交通省の国連自動車基準調和世界フォーラム（WP.29）等における活動を支援し、我が国が主導して国際基準調和を進めることが出来るよう努めるとともに、自動車の認証の国際相互承認制度の進展等に貢献しつつ新たな審査内容への対応に向けた知識及び技能の習得を図ることとしている。以下ではWP.29の活動を概観したうえで、国交省を中心とする我が国のWP.29における活動とそれを支援するための弊所の取り組みについて述べる。

3. 1. WP.29における自動運転に関する活動

WP.29は、自動車の安全・環境基準を国際的に調和することや、政府による自動車の認証の国際的な相互承認を推進することを目的として国連に設置された組織で、自動運転の国際基準などもWP.29で検討されてきた。自動運転技術の実用化に対する関心が2010年代後半に世界的に高まったことを受け、WP.29は2018年6月、新たに自動運転の基準等を取り扱う自動運転専門分科会（GRVA）を創設した。

3. 2. 自動運転枠組文書の策定

新たに創設されたGRVAにおいて自動運転に関するWP.29の活動を戦略的に進めていくため、活動の

目的、対象項目、それぞれの項目ごとの工程等をまとめた自動運転枠組文書が2019年6月に策定された。我が国はこの策定に主体的に関与し、その結果、ALKSの国際基準案を我が国の基準策定スケジュールと整合する形で作成することが同文書に明記された⁵⁾。

3. 3. 自動運転車に係る国際基準主導に向けた体制

国際的なルールづくりを主導するためには、産学官の連携体制を構築し、その中で国際標準案策定のための活動との戦略的な連携を図り、科学的な調査結果を元にした国際基準案を提案することが重要である。産学官の連携体制については、国土交通省主導のもと、弊所の職員が所長を務める「自動運転基準化研究所」が設置され、経済産業省をはじめとする関係省庁、研究機関、メーカー等が連携して様々な活動が一体的かつ戦略的に実施されている⁶⁾。

3. 4. 自動運転技術に係る初めての国際基準成立

ALKSの国際基準案の策定にあたって我が国は、弊所が実施した技術的な調査・試験データ等の明確な根拠に基づく論理的な提案を、自動運転枠組文書に明記された基準策定スケジュールに沿って適時適切に行うことによって、国際基準案の策定を主導した。具体的には、同規則案の重要な部分である運転操作引継ぎの要件に関する技術的調査を行い、この結果は同要件の技術的根拠として採用された。このような活動を経て、自動運転枠組文書に基づく初の活動成果として、ALKSとサイバーセキュリティに関する国際基準案が2020年3月合意され、6月にWP.29において、自動運転技術に係る初めての国際基準として成立した。

4. 弊所における今後の取り組み

弊所では、官民ITS構想・ロードマップに示された2030年の実現目標の達成に貢献すべく、引き続き我が国が主導して国際基準調和を進めることが出来るよう努めるほか、重点目標として示された自動運転車の安全性評価手法の確立や、車両に対するサイバーセキュリティの対策に関しても新たな審査内容への適切な対応を図る観点から積極的に取り組んでいくこととしている。以下ではそれらの取り組みを概説する。

4. 1. 自動運転車の安全性評価手法の確立

自動運転車の安全性評価手法は自動運転枠組文書に基づき、これまでもWP.29で検討が行われてきたものであり、弊所は検討を行う会議体(VMAD)の共

同議長を務めるほか、傘下に設けられた4つの作業グループの全てに積極的に関与するなどして議論を主導してきたところである。本年6月にはVMADが自動運転車の安全性評価手法についてまとめたガイドライン第1版がWP.29で合意された。VMADは現在、ガイドライン第2版の検討を行っている。

4. 2. サイバーセキュリティ国際基準の運用

昨年6月に成立したサイバーセキュリティの国際基準は、多岐にわたる新たな内容が導入されたことから、国際的に適切で公平な運用をどのように確保していくかが課題の一つとなっていた。このため、弊所は国連事務局と共同で同国際基準の適切な運用のためのワークショップを開催⁷⁾し、課題の解決に向けた活動を主導している。

5. 結び

2021年の官民ITS構想・ロードマップは自動運転が市場化から普及の段階に入ったと指摘している。今後は普及のための取り組みが求められるが、次々と新たな自動運転技術が出てくることを踏まえれば、市場化の取り組みも引き続き必要である。弊所はこのような双方の取り組みを今後とも強力に進めていくこととしている。

参考文献

- 1) 内閣府：令和3年版交通安全白書、p.82(2021)
- 2) IT総合戦略本部：官民ITS構想・ロードマップ2018、p.28(2018.6)
- 3) IT総合戦略本部：官民ITS構想・ロードマップ、p.3、p14(2021.6)
- 4) IT総合戦略本部：官民ITS構想・ロードマップ、p.25、p29(2021.6)
- 5) WP.29：Framework document on automated/autonomous vehicles (ECE/TRANS/WP.29/2019/34)、UNECE、
- 6) 国土交通省：「自動運転基準化研究所」の設立について(2016.5)
- 7) Workshop on the implementation of UN Regulation No. 155、<https://unece.org/info/events/event/357290>、2021、

講演 10. 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 小磯 和子

1. はじめに

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

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

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

ここでは、昨今の審査部の取組を概説する。

2. 自動車認証審査部の業務実績

2020 年度の審査部における審査型式数は、自動車にあつては 2,874 型式、自動車装置にあつては 810 型式となっている（図 1）。

また、メーカーの設計・開発をより円滑に進めるため、審査業務に先立ち試験等を行う先行受託試験については、2020 年度は 224 件（前年比 26 件減）の受託があった。

さらに、国連の「車両等の型式認定相互承認協定（1958 年協定）」に基づく、日本政府による装置型式指定認可証（E43）発行については、概ね国内で使用される突入防止装置及び大型後部反射器を除くと、2020 年度は 581 件（前年度比 413 件増）であった。

この他に、国土交通省が 2018 年 3 月に創設した「衝突被害軽減ブレーキの性能認定制度」に係る先進安全技術の性能評価を行ったが、本評価については 3.2.項にて詳述する。

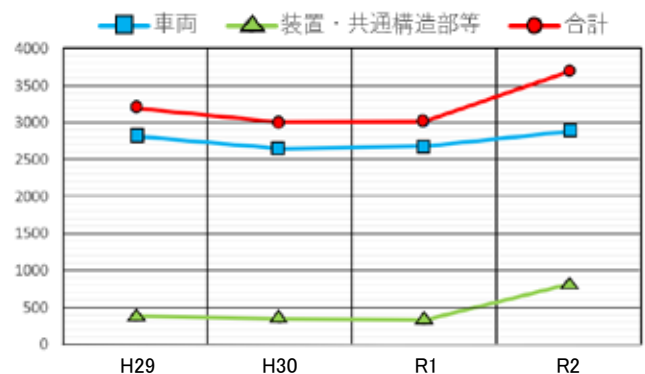


図 1 審査型式数の推移

3. 審査体制の構築に係る取組

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

3. 1. 情報セキュリティ審査への対応

「自動運転に係る制度整備大綱」を踏まえ、レベル 3 以上の自動運転の 2020 年目途の実用化に向け、2018 年 9 月に国土交通省の交通政策審議会の下に設置された小委員会において、自動運転車等の設計・製造過程から使用過程にわたる総合的な安全確保に必要な道路運送車両法に基づく各種制度のあり方について検討が行われ、2019 年 1 月に報告書がとりまとめられた。

この報告書において、「①第三者による不正アクセスにより最悪の場合、自動車の制御が不能となり重大な事故を引き起こすおそれがあることから、サイバーセキュリティ対策を講じることが必要である。」「②（通信を活用した使用過程の自動車の安全性に影響するソフトウェアのアップデートについて

て、) 使用過程時の自動車の安全性に大きな影響を及ぼすソフトウェア配信については、無線による配信又は有線のコネクタ接続による配信に関わらず、当該配信を適確に行うことができる能力や体制等に関する一定の要件を満たした者が、保安基準上支障がないと国により認められたものを配信する仕組みを新たに創設する必要がある。」との報告がなされた。

この報告を受け、2019年5月24日に改正道路運送車両法が公布され、「自動運行装置等に組み込まれたプログラムの改変による改造であって、その内容が適切でなければ自動車が保安基準に適合しなくなるおそれのあるものを電気通信回線の使用等によりする行為等」にかかる許可制度が創設されるとともに、許可に係る技術的な審査は審査部が行うこととなった。

これを受けて審査部では、新たに始まるサイバーセキュリティやソフトウェアアップデートに関する認証審査を行う機関として、国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)での議論への参画、国内調整、審査方法の検討を行うため、2019年4月に「情報セキュリティ審査準備室」を立ち上げて準備を進め、2020年7月には「情報セキュリティ審査センター」を設置し、審査業務を開始した。

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。

さらに、同センターにおいては、サイバーセキュリティに係る国際基準(2021年1月に保安基準取り入れ)に対応するため、情報セキュリティマネジメントシステムに関するISO27001の認証を2021年3月に取得した。

3. 2. 先進安全技術の性能評価試験実績

基準適合性審査に準ずる試験として、政府が推進している「安全運転サポート車」の普及啓発のために、未だ基準が策定されていない先進安全技術(乗用車用の衝突被害軽減ブレーキ)について、国の性能認定制度に基づき、2018年度より性能評価試験を実施している(図2)。国土交通省による試験方法の策定にあたり、認証試験の知見を生かし貢献する

とともに、策定された試験方法「自動車の先進安全技術の性能の評価等に関する規程」(国土交通省告示)に沿った試験について、公平な認定評価が行えるよう、審査に関する機構規程類を整備し、適切に試験を実施した。また、令和2年度より対車両要件に加え、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。昨年度の実績は申請自動車メーカー数:8社 評価型式数:511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

3. 3. 国際的な車両型式認証制度への対応

我が国は、WP29において国際的な車両型式認証制度(IWVTA)の創設を提案したほか、傘下の専門家会合でも副議長を務めるなど、同制度に係る国際的議論を主導してきた。2018年7月には本制度に係る国際基準(UN規則)第0号が発効され、2019年4月から、IWVTAに基づく認可の相互承認が開始された。

審査部では、認証時の手続き等に関する規程類の作成を行い、IWVTAの審査体制を整える等の準備を行った。

4. まとめ

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

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

講演 11. リコール技術検証の現状と今後の取組

リコール技術検証部 ※大森 隆弘 小田 秀人 塩入 優樹 木戸 和幸 東出 直樹 藤澤 功貴

1. まえがき

リコール技術検証部は、平成 16 年にリコールに係る不正行為が発覚したことを契機として、道路運送車両法の改正に伴い、平成 18 年 5 月に交通安全環境研究所に設置された。

当部では、国土交通省と連携して、ユーザー等から寄せられる不具合情報について、設計・製造に起因する不具合のおそれがあるかどうかを分析し、設計・製造に起因すると疑われる情報については技術検証を行うとともに、リコール届出の分析及び技術的な妥当性検証を行うことを業務としている。

本稿ではリコール技術検証業務の現状とともに、本フォーラムのテーマである「人に優しい持続的なモビリティの実現に向けた取組」として、近年、急速に普及が進んでいる先進安全自動車（ASV）に対する取り組み等を紹介する。

2. リコール技術検証業務の概要

2. 1. 不具合情報分析

当部においては、国交省にて集約されたユーザー等から提供された不具合情報及びメーカーからの事故・火災情報のほか、警察や消防等の関係機関からの不具合情報について国交省からの委託を受けて傾向の分析を行っている。令和 2 年度は約 8,800 件の不具合情報について分析を行っており、その件数及び内訳を表 1 に示す。近年、ユーザーからの不具合情報が増加傾向であり、令和 2 年度は令和元年度に比べ、10% 近く増加している。

表 1 不具合情報分析件数推移

情報の種類	令和元年度	令和 2 年度
ユーザーからの不具合情報	3,458	3,811
メーカーからの事故・火災情報 及び不具合情報	4,787	4,504
その他（警察、消防、消費者庁等）	702	552
計	8,947	8,867

2. 2. 技術検証

国交省ではユーザー等から提供された不具合情報についてメーカーでの調査結果を報告させ（道路運送車両法（以下「車両法」という。）63 条の 4）、設計・製造に起因するおそれのある事案の場合、リコール技術検証部へ検証指示を行う（車両法 63 条の 2）。

リコール技術検証部では車両法に基づき国交省からの依頼を受けてメーカーからの報告内容等について技術検証を行い、結果を国交省へ通知する。検証の中で再度メーカーへの質疑が必要な場合は国交省を通じて再度報告を求めため、多くの場合事案 1 件あたり複数回の技術検証を行う。メーカーの回答と事実確認結果に妥当性が認められた場合、技術検証終了とし、国交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拡大の必要性が疑われた場合、技術検証と同様に国交省からの依頼を受けて妥当性検証を行う（車両法 63 条の 3）。

令和 2 年度から過去 5 カ年の間に行った技術検証について、技術検証開始事案件数、技術検証終了事案件数および市場措置に繋がった事案件数を表 2 に示す。技術検証開始事案件数は、年間約 80~200 件程度の範囲で推移し、技術検証の終了事案件数も年間約 90~140 件程度で推移している。これらの事案件数の変動は、事案毎の複雑度が影響したためと考える。

市場措置に繋がった検証事案件数は年度によって増減はあるものの、5 カ年平均で年 19 件となっており、リコール制度の適切な実施に継続的に貢献しているといえる。

表 2 技術検証の実績

年度	H28	H29	H30	R1	R2
技術検証開始 事案件数	85	133	200	132	92
技術検証終了事 案件数	112	96	97	141	107
市場措置に繋が った検証事案件数	24	19	12	19	22

2. 3. リコール届出分析

表3に、国土交通省の公表データ¹⁾に基づき、平成28年から令和2年におけるリコール届出の件数及び対象台数の推移を示す。

表4に、国土交通省の公表データ¹⁾に基づき、不具合発生の日からリコール届出までにかかった平均月数の推移を示す。

令和元年度においては不具合発生の日からリコール届出までにかかる月数は減少に転じ、平均16.0ヶ月要している。

表3 リコール届出件数及び対象台数の推移

年度	H28	H29	H30	R1	R2
届出件数	364 (320)	377 (357)	408 (382)	415 (397)	384 (383)
対象台数 (万台)	1,585 (963)	770 (684)	822 (757)	1,053 (974)	661 (661)

※（ ）内：タカタ製エアバッグのリコール届出を除いた数

表4 不具合発生の日からリコール届出までの平均月数の推移

年度	H28	H29	H30	R1	R2
平均月数	17.0	15.6	17.4	15.1	15.3

3. 自動車不具合の早期発見・改善に向けた取組

自動車における新技術の進展が著しい中、自動車部品の共通化が進んでいる状況において、自動車社会の安全・安心を確保していくためには、これまで以上に自動車の不具合の早期発見・早期改善が求められている。

そのような中、当部においては、「設計・製造に起因する自動車不具合の早期発見・早期改善の促進」を目標に掲げ、主に以下の取り組みを行っている。

- ①不具合情報の収集・分析の向上
- ②技術検証ノウハウの強化
- ③排出ガス不正制御の発見（サーベイランス）
- ④外国との市場不具合に対する情報連携

これらに加え、ユーザーから提供される不具合情報において、ユーザーが自動車技術に関して誤った認識を持っている事案が増加してきていることから、ユーザーに自動車の正しい認識を持ってもらう「ユーザーへの注意喚起」も、当部の重要な役割の1つとして取り組んでいる。

3. 1. 不具合情報の収集・分析の向上

3. 1. 1. 既存の不具合情報の収集ルートの充実

ユーザーからの不具合情報については、増加傾向であり、また提供される不具合情報全体の約43%を占めている。

3. 1. 2. 新たな不具合情報の収集ルートの構築

不具合情報の収集にあたっては、既存の収集ルートの充実を推進するとともに、新たな収集ルートの構築に取り組んでいる。

(1) 自動車検査時における不具合情報

登録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する仕組みを平成29年12月から運用している。

(2) 市場措置後の不具合情報に関する情報

リコール等の市場措置の後で発見された同種不具合情報について、統計整理、分析及びとりまとめを今年度から行っている。

3. 1. 3. 不具合情報の分析強化

ユーザー等から提供された不具合情報が設計・製造に起因するおそれのある事案かどうか判断する際、過去に提供された不具合情報における同車種の類似事象件数の把握に努めてきた。これにより、設計・製造に起因するおそれのある事案について、より早期に詳細な検討を開始することが可能になった。

今年度からは、自動車の設計から使用段階までを総合的に対応することにより、安全・環境性能に疑義のある自動車を迅速かつ確実に把握するため、検査結果を管理しているシステムの情報やリコール検証のために保有している不具合情報等を併せて集計した上で分析できるシステムを今年度構築することとしている。

今後とも国土交通省と連携し、過去の不具合情報、技術検証結果及びリコール届出の情報分析の機能を一層強化し、不具合の早期発見・早期改善を更に促進していきたいと考えている。

3. 2. 技術検証ノウハウの強化

3. 2. 1. 車両調査

自動車の不具合原因が設計・製造に起因するかどうかの判断材料を迅速に収集するため、実際に事故や火

災が起きた車両について確認する車両調査を国交省等の行政機関と連携して実施している。また、技術検証中の事案で事故や火災に繋がったと疑われる場合は積極的に車両調査に参加することとしており調査件数は表5に示すとおりである。

表5 車両調査件数の推移

年度	H28	H29	H30	R1	R2
事故	21	15	20	15	10
火災	44	54	56	48	43
合計	65	69	76	63	53

3. 2. 2. 技術検証実験

技術検証の過程においては、メーカーからの報告を参考にしつつ、当部においても技術検証実験を行い、事実関係を明らかにしている。また、技術的な知見の蓄積を目的とした技術検証実験にも取り組んでいる。これら技術検証実験のテーマ数の推移は表6のとおりであり、毎年のテーマ数は10件程度となっている。

その中で、近年、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、車両火災に関する実験と先進安全自動車に関する実験が挙げられる。

表6 技術検証実験のテーマ数の推移

年度		H28	H29	H30	R1	R2
実験テーマ総数		10	13	10	10	10
内 訳	個別事案の検証	3	1	3	3	2
	知見の蓄積	7	12	7	7	8
	うち、火災関係	3	4	3	4	1
	うち、ASV関係	0	9	4	5	5

(1) 火災に関する実証実験

車両火災については、消防庁の公表データ²⁾によれば、表7にあるとおり、年間約3,500件程度起きており、そのうち、出火原因が「その他（不明・調査中含む）」が約55%程度を占めている。また、当部が参加した車両調査においても、出火原因が特定に至らなかった事案が多々ある状況である。このような状況を踏まえ、車両火災の原因究明を図るべく、車両火災に関する実証実験を実施している。

昨年度においては、電気装置によるものと見られる火災事例が散見されたため、当該装置に通電した場合の車両火災に係る基礎実験の実施を行った。これによ

り、通電による温度上昇から発火、燃焼、さらに延焼を再現することで当該機器からの火災発生要因、形態が把握でき、車両火災に係る知見を蓄積できた。



図1 電気装置燃焼実験（基板通電後トラッキング発生→基板に着火→延焼拡大）

表7 車両火災の主な出火原因（令和元年）

出火原因	件数
排気管	614
放火（放火の疑いを含む）	267
電気装置	236
交通機関内配線	329
たばこ、マッチ・ライター	169
その他（不明・調査中含む）	1,970
計	3,585

(2) 先進安全自動車に関する実証実験

先進安全自動車については、その実用化に向けて官民が連携して推進しているところであり、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。しかし、レベル2の運転支援システムは、システムがドライバーに代わって全ての運転を行う機能ではなく、ドライバーによる運転の監視が必要であり、ドライバーが正しく認識して運転しないと交通事故が発生するおそれがある。このため、各自動車メーカーの車両に搭載された予防安全装置について各種実験を行い、今後導入される自動運転車両に対する技術検証業務の質の向上・効率化を図るべく知見を蓄積した。



図2 自動運転レベル2 運転支援システムの調査
 (上) ハンズオフ機能等に関する調査
 (下) 車線維持支援機能等に関する調査

3. 3. 排出ガス不正制御を防止する取組

排出ガス低減装置を新規検査時にのみ作動させる一方で実際の走行時には作動させないようにする不正ソフトを用いた排出ガス不正事案が平成27年9月に発覚した。この事案を受け、国土交通省からの要請に基づき、不正ソフトの使用防止に資する抜き取り調査（サーベイランス）を一昨年度から開始し、昨年度は3車種の調査を実施し、実施結果を国土交通省へ報告した。

サーベイランスの実施にあたっては、当部自らが図3の車載式排出ガス測定システム（PEMS）を使用し、従来の排出ガス測定方法であるシャシーダイナモ測定に加えて、路上走行等による排出ガス測定を行い、排出ガス値に乖離がないかを確認するなどにより、不正ソフトの使用の有無を確認している。

当部においては、今年度も、国土交通省からの要請に基づき、サーベイランスを実施し、排出ガス不正制御を防止する取組を継続すると共により効率の良いサーベイランス手法の構築を目指していく。



図3 車載式排出ガス測定システム（PEMS）

3. 4. 外国との市場不具合に対する連携

日本に輸入される自動車はドイツ車が一番多く、米国車も増えてきていることから、国交省と連携しつつドイツ連邦自動車庁（KBA）や米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）が保有する不具合情報の活用を努めてきた。海外機関とは今後とも連携を密にして市場不具合の早期改善に取り組んでいくこととしている。

4. 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普及率については内閣府の公表データ³⁾によると、平成23年で1.4%であったものが令和元年では93.7%に達している。これにともない自動車の新技術の不具合も増加していくことが予想されるため、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体制構築を目指していくこととしている。

このような新たな技術に関する不具合情報の収集・分析をより適切に行えるように十分な体制を構築することで、人に優しい持続的なモビリティの実現に向けて尽力して行きたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 国土交通省「令和2年度リコール届出内容の分析結果について」
- 2) 消防庁「令和2年版消防白書」
- 3) 内閣府「令和3年版交通安全白書」

ポスターセッション

① 自動運転車の安全性評価に向けた台上試験機を用いたVRテストシステムの開発

自動車安全研究部 ※中川 正夫 杉本 岳史 山本 裕之 関根 道昭

1. はじめに

自動運転車の安全性を評価するには、自動運転が作動可能な運行設計領域において遭遇しうる様々な交通場面を網羅的に確認する必要がある。国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(WP29)の自動運転分科会 GRVA 傘下の VMAD (Validation Method for Automated Driving)では、従来の手法にはなかった複数の試験を組み合わせて効果的かつ効率よく安全性を評価する新しい試験法 (NATM: New Assessment and Test Method) が検討されている。NATM には、従前の試験場における実車試験だけでなく、公道における走行試験やシミュレーションを用いたバーチャル試験、さらには自動車メーカーの開発段階における監査や使用段階での継続的な調査などが含まれている。

自動運転車の安全性を網羅的に確認する場合は、衝突の生じない交通場面だけでなく、衝突の可能性のある交通場面における被害軽減対策なども試験対象に含まれることになる。しかし、認証審査等において、従来のように実車を使った試験(従来法と称する)によって衝突の可能性のある交通場面も全て確認することは審査工数及び安全性の観点から困難である。

そこで本研究では、多種多様な交通場面を効率よく評価することを目的に、VR (Virtual Reality) テストシステムを開発するとともに評価試験への導入可能性を検証した。

2. VR テストシステム

本システムではシミュレータと台上試験機が対になっており、シミュレータ内部に交通環境(道路、天候)、自動運転車両(評価対象車両)、認識対象車両のモデルを構築している。台上試験機上の自動運転車両の挙動がシミュレータに入力されると、リアルタイムで認識対象車両との距離や相対速度などが計算され、センサ類に入力する擬似信号が生成される。

本システムの開発にあたり、シミュレータに使用するシナリオを生成し、生成されたシナリオをセンサへの入力信号に変換する技術の整理を行うとともに従来法によるベンチマークと本システムによる評価との比較検証及び課題の整理を行った。本システムの構成を図1に示す。

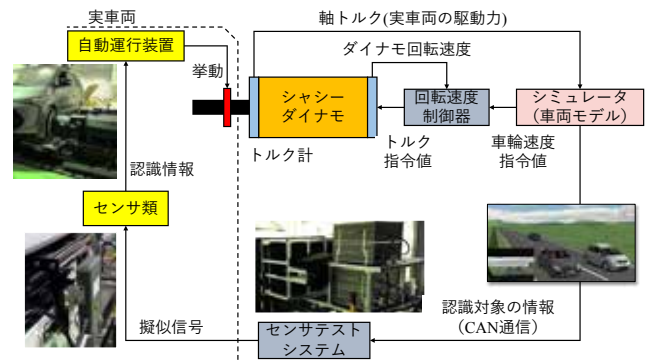


図1 VRテストシステムの構成

2. 1. シミュレータで生成したシナリオ

従来法との比較検証にあたり、VMAD で議論されているシナリオの中から「先行車が自車線から車線変更して静止障害物が出現する交通場面」を用いた。

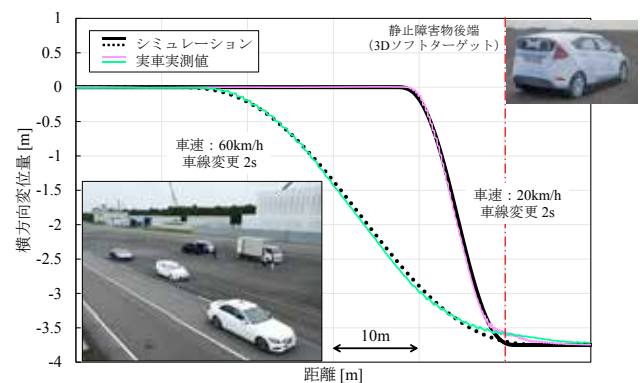


図2 先行車の挙動の比較

図2に認識対象車両である先行車の挙動に関して、従来法によるベンチマークにおける挙動とシミュレ

ーションにおける挙動との比較結果を示す。図 2 より、実車の挙動をシミュレータ上で再現できていることがわかる。

2. 2. センサ類への入力信号

各種センサ（レーダ、ステレオカメラ及び LiDAR (Light Detection and Ranging)）の原理に基づいた手法で認識対象物との距離、車速などの情報をそれぞれのセンサに適した入力信号に変換した。

レーダの対象物による反射波はレーダターゲットシミュレータにより遅延させ、擬似的な認識対象を生成した。ステレオカメラへの入力信号として、視差を有する認識対象の左右画像を生成^{1),2)}した。これらの入力信号を同期させることにより、車両が同一のターゲットを認識した状況を模擬することができた。

また、現在の技術では LiDAR に入力する擬似信号の生成は困難と考えられることから、車両の周りに何もない状態を模擬する仮想空間の構築を行った。

2. 3. VR テストシステムの効果

特定のシナリオ（実走行 1 分）を試行した際の従来法と VR テストシステムによる方法との比較例を表 1 に示す。ここで、サイクルタイムはある条件の開始から次の条件の開始までに要する時間である。また、降雨や逆光など環境条件の再現性に関する得失も示す。

衝突がない場合には、従来法/VR テストシステムともにサイクルタイムが 3 分である一方、衝突がある場合には従来法では衝突によって壊れた 3D ソフトターゲット（静止障害物）を組み立て直す必要があることからサイクルタイムが 15 分となった（いずれも複数条件試行時の平均値）。

また、従来法では、衝突した際に評価対象車両に損傷が生じた場合に車両の交換などコストがかさむことが懸念される。さらに、従来法の試験要員は衝突の有無に関わらず 8 人程度必要である一方、VR テストシステムであれば 3 人程度で運用可能である。

以上より、VR テストシステムは衝突の可能性がある条件であっても室内において安全に評価できるだけでなく、従来法と比較して工数を 90%以上削減できる可能性があることがわかった。

3. まとめ

本研究では、自動運転車の安全性を評価するにあたり、自動運転が作動可能な運行設計領域において遭遇しうる様々な交通場面を効率よく網羅的に検証すべく、シミュレータと台上試験機を用いた VR テストシステムを開発した。

本システムにより、衝突の可能性のある条件においても従来の試験法に比べて安全かつ効率よく評価が行えることがわかった。

なお、あらゆるセンサ構成を持つ様々な自動運転車を評価するためにはまだ技術的課題が残されており、特に降雨など現実では再現性良く試行しづらい条件について引き続き研究をすすめていく。

最後に、本成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP 20007）の結果として得られたものである。

参考文献

- 1) 中川正夫, 高橋利道, 関根道昭, 紫垣卓男, 實吉敬二, 自動運転車の安全性評価のためのステレオカメラへのシナリオ教示に関する研究, 2021 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, D0303, (2021)
- 2) 中川正夫, 山本裕之, 高橋利道, 自動運転車の安全性評価のための VR テストシステムにおける画像表示法に関する考察, 2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, G97, (2021)

表 1 従来法と VR テストシステムによる方法の比較例

試験法	衝突の有無	工数			完成車との同等性	交通場面の再現性	環境条件の再現性
		サイクルタイム	人数	人時			
従来法	衝突なし	3分	8人	0.4人時	◎	◎	○
	衝突あり	15分	8人	2人時	△		
VR テストシステム	衝突なし/ 衝突あり	3分	3人	0.15人時	◎	◎	△

②AEBS の不要作動を確認する試験シナリオに関する研究（続報）

自動車安全研究部 ※児島 亨 岩瀬 常利 廣渡 太一

1. はじめに

乗用車等の衝突被害軽減ブレーキ（Advanced Emergency Braking System、以下、AEBS とする）の国際基準である UN R152（以下、R152 とする）¹⁾では、前方の車両及び横断歩行者に対する性能要件が規定されている他、衝突の危険性が差し迫っていない状況における警報及び制動制御の作動（False reaction、以下、不要作動とする）を最小化することが規定されている。不要作動が最小化されていることを審査の際に確認する方法として、Annex 3 Special requirements to be applied to the safety aspects of electronic control systems（電子車両制御システムの安全性に適用する特別要件）の Appendix 2 に示される試験シナリオ（以下、シナリオとする）を実施することとなっている。現行のシナリオは極めて限定された交通場面を対象としたものであることから、当研究所では新たに複数のシナリオ案を検討し、AEBS を装備した複数の試験車両を用いて、不要作動の有無を評価した。検討したシナリオ案及び実車評価結果について、フォーラム 2019 でポスター発表した²⁾。

その後、当研究所では、一般ドライバーがシナリオと類似した交通場面を走行した際の運転行動を調査する実験を行い、実験結果を基にシナリオの走行条件を決定した。本稿では一般ドライバーを対象に実施した実験の概要及び完成したシナリオについて報告する。

2. 実験方法

Fig.1 に一般ドライバーを対象に行ったシナリオを示す。シナリオ A では、ドライバーには直線区間を約 30km/h で走行し、交差点へ接近した時点で速度を調節して右折を行うように指示を出した。右折時の速度、走行軌跡についてはドライバーに委ねた。シナリオ B では、ドライバーには直線区間では 40km/h で走行する前方車両を追従し、前方車両が減速して 10km/h で左折する際に、自車の速度及び車間距離を調節、前方車両が左折した後は、速度を 40km/h まで回復させる

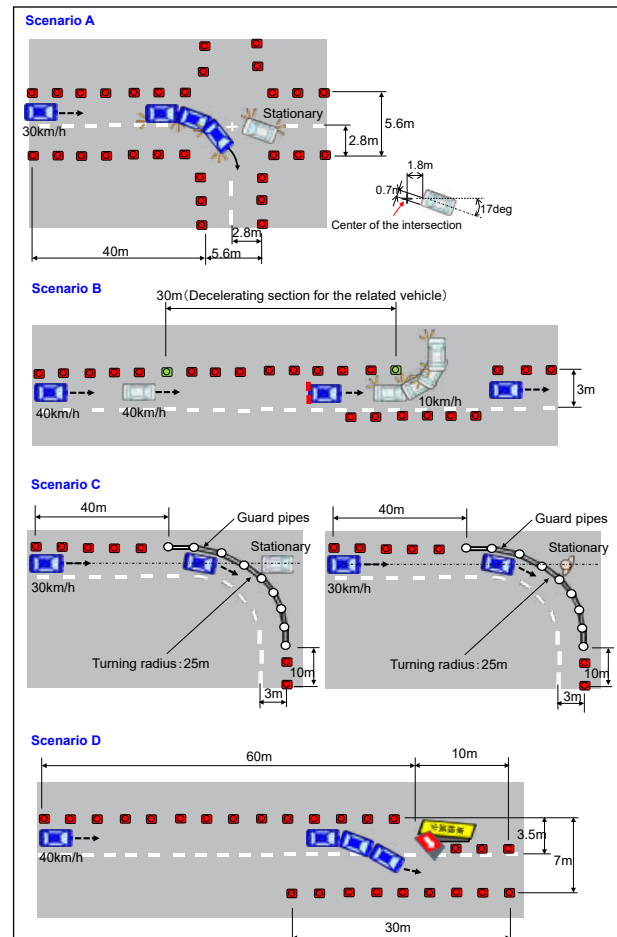


Fig.1 Schematic diagram of for the scenarios for the experimental tests by normal drivers

ように指示を出した。前方車両を追従走行する間の車間距離については、比較的混雑した市街地の走行をイメージしてもらった上でドライバーに委ね、前方車両が左折中の速度及び車間距離の調節についてもドライバーに委ねた。シナリオ C では、ドライバーには直線区間を約 30km/h で走行し、カーブの手前でドライバーの判断により速度を調節して車線から逸脱しないようにカーブ区間を走行するように指示を出した。旋回中の速度、車線内での走行軌跡についてはドライバーに委ねた。ガードパイプの外側には静止車両または静止した歩行者ターゲットを配置した。シナリオ D では、ドライバーには左側の車線を約 40km/h で走行し、車線減少

を通知する看板の手前で右側車線へ進路変更するよう、指示を出した。進路変更のタイミング、速度及び走行軌跡についてはドライバーに委ねた。

実験に使用した車両は国内メーカーの普通乗用車とした。本実験ではドライバーの運転行動を把握することを目的とするため、実験中は試験車両の AEBS 及び LDWS (車線逸脱警報) を OFF 状態とした。

実験協力者は日常的に運転を行う 20代~50代の男女 10名 (男性 4名, 女性 6名) で構成した。実験協力者に対し、書面と口頭で実験内容、進行順序及び注意事項等について説明を行った後に、実験参加者の意思により同意書へ署名してもらった。また、本実験は独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき事前承認を得た後に実施した。

実験で評価を行う項目は、速度、対象物との衝突予測時間 (Time To Collision、以下、TTC とする) 及びブレーキ操作の有無とした。

3. 実験結果

実験結果の一例として、シナリオ A において右折中の自車と対向車線の静止車両とのラップ率が 0% となった時点における自車の速度と対象物 (静止車両) との TTC の関係を Fig.2 に示す。図中、赤枠で囲った部分は 25%ile 値~75%ile 値である。速度は 7km/h~13km/h、TTC は 1.4 秒~2 秒の間に分布している。

実験結果を基にシナリオの走行条件を決定し、文章を付記して完成した 4 つのシナリオを Fig.3 に示す。

4. まとめ

本研究で作成した 4 つのシナリオを基にした R152 Annex 3、Appendix 2 の改正提案³⁾は、2021 年 3 月に開催された第 183 回国連自動車基準調和世界フォーラム (WP.29) において採択された。

参考文献

- 1) UN ECE: ECE/TRANS/505/Rev.3/Addendum 151 – UN Regulation No.152(2020)
- 2) 児島 亨ほか: AEBS の不要作動を確認する試験シナリオ (案) に関する研究、交通安全環境研究所フォーラム 2019 講演概要、p.83-84(2019)
- 3) UN ECE: ECE/TRANS/WP.29/2021/15(2021)

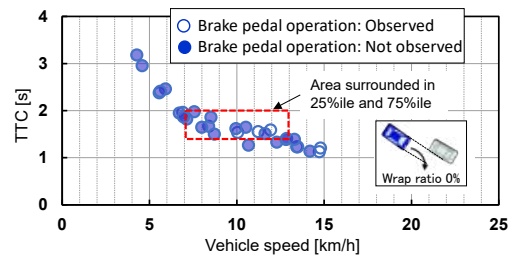


Fig.2 Vehicle speed and TTC (Scenario A)

Scenario A : Right turn at the intersection

1) Beginning to steer for right turn

2) Wrap ratio 0%

Text of scenario A

The subject vehicle drives at a speed of 30 km/h (with a tolerance of +0/-2 km/h) toward the intersection, and decelerates by braking to a speed of **not less than 20 km/h** at a point where the subject vehicle begins to steer right, and the TTC to the oncoming vehicle is **not more than 2.3 seconds**. When the subject vehicle turns right in the intersection, the speed is reduced to **not less than 13 km/h**, and then drives at a constant speed. The TTC to the oncoming vehicle is **not more than 1.4 seconds** at when the wrap ratio between the subject vehicle and the oncoming vehicle becomes 0%.

Scenario B : Left turn of a forward vehicle

1) Beginning of left turn (forward vehicle)

2) Wrap ratio 0%

Text of scenario B

Both the forward vehicle and the subject vehicle drive at a speed of 40 km/h (with a tolerance of +0/-2 km/h) on the straight road. The forward vehicle decelerates by braking to a speed of 10 km/h (with a tolerance of +0/-2 km/h) in order to turn left at the corner, and the subject vehicle also decelerates by braking to keep appropriate distance with the forward vehicle. At when the forward vehicle begins to turn right or left, the speed of the subject vehicle is **not less than 29 km/h** and the TTC to the frontal vehicle is **not more than 3.6 seconds**. After that, the subject vehicle decelerates to a speed of **not less than 23 km/h**, and then drives at a constant speed. The TTC to the forward vehicle is **not more than 1.6 seconds** at when the wrap ratio between the subject vehicle and the oncoming vehicle becomes 0%.

Scenario C : Curved road with guard pipes and a stationary object

1) Beginning to steer to turn right

2) Offset ratio -100%

Text of scenario C

The subject vehicle drives at a speed of 30 km/h (with a tolerance of +0/-2 km/h) toward the curve of which the radius is not more than 25 m at the outer side of the road, and decelerates by braking to a speed of **not less than 24 km/h** at a point where the subject vehicle enters the curve. The TTC to the stationary vehicle or a stationary pedestrian target is **not more than 1.5 seconds** at when the subject vehicle begins to turn in the curve. In the curve, the subject vehicle drives outer lane than the centre of the road. After that, the subject vehicle continues to turn in the curve at a constant speed of **not less than 23 km/h**. The TTC to the stationary vehicle or a stationary pedestrian target is **not more than 1.0 second** at when the wrap ratio between the subject vehicle and the stationary vehicle becomes 0%, or at when the offset ratio between the subject vehicle and the centre of the pedestrian target becomes -100%.

Scenario D : Lane change due to road construction

1) Beginning to steer for lane change

2) Offset ratio -100%

Text of scenario D

The subject vehicle drives a straight road at a speed of 40 km/h (with a tolerance of +0/-2 km/h), and begins to steer in order to change the lane in front of the signboard which notifies reducing the lane. No other vehicles approach the subject vehicle. The TTC to the signboard is **not more than 3.7 seconds** at when the subject vehicle begins to steer. During changing the lane, **the speed of the subject vehicle is constant**, and the TTC to the signboard is **not more than 3.0 seconds** at when the offset ratio between the subject vehicle and the centre of the signboard becomes -100%.

Fig.3 Scenarios for evaluation of false reaction

③乗車姿勢が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響について

—小柄女性ダミーによる検討—

自動車安全研究部

※細川成之 田中良知 松井靖浩

1. はじめに

日本の交通事故の死者数は、減少傾向にあり 2020 年中は 2,838 人と過去最少となった。これは、自動車の衝突安全性能の向上とともに、衝突被害軽減ブレーキ「Advanced Emergency Braking System : 以下、AEBS という)をはじめとした予防安全装置の普及も大きく寄与しているものと考えられる。

一方で、自動車の予防安全装置は、運転者が意図していない状況で作動すると乗車姿勢に影響を及ぼし、衝突時のシートベルトやエアバッグの効果が十分に発揮されない可能性がある。そこで、我々は成人男性ダミーを用いて AEBS 作動時の乗車姿勢の乱れと衝突時の受傷に関する検討を行った¹⁾。今回は、小柄な乗員の乗車姿勢が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響を検討するために、小柄女性ダミーを用いてスレッド実験を行ったので、その結果について報告する。




2. 実験条件

衝突形態としては、乗員の死亡が最も多い前面衝突事故を想定したスレッド実験を実施した。減速度波形は、乗員傷害をより明確に確認するために、50km/hでのフルラップ前面衝突試験のものを用いた。乗員の傷害値は、運転席に小柄女性ダミー (Hybrid III AF05: 身長 145cm、体重: 約 45kg) を搭載して実施した。表 1 に実験条件を示す。ダミーの搭載方法は、米国の衝突安全法規である FMVSS208 で規定されている搭載方法とした。

乗車姿勢は、FMVSS208 試験の乗車姿勢 (Test 1) と AEBS 作動時の乗車姿勢 (Test 2)、そしてダミー上体部がハンドルに最接近した状態 (Test 3) の 3 種類とした。Test 2 における乗員姿勢は、頭部の水平位置を Test 1 の搭載位置に対して前方に 200mm オフセット¹⁾した。また、Test 3 の場合は Test 1 に対して頭部を前方に 300mm オフセットした。胸前面とステアリングホイール中央との水平距離は、それぞれ、

Test 1 が 168mm、Test 2 が 80mm、Test 3 が 20mm である。

表 1 スレッド実験条件

Test 1	Test 2	Test 3
FMVSS208 試験の乗車姿勢	AEBS 作動時の乗車姿勢	ハンドルに最接近した乗車姿勢
		
168 mm	80 mm	20 mm

3. 実験結果及び考察

図 1 にダミー挙動を示す。Test 1 では、エアバッグが十分に展開後に頭部がエアバッグと接触していた。Test 2 では、初期姿勢が Test 1 よりも若干前のめりであるため、エアバッグが十分に展開しないうちに頭部が接触したものの、ダミーの挙動は Test 1 とほぼ同様であった。これに対して、Test 3 では、初期姿勢において頭部がハンドルと近いために、エアバッグの展開が十分でない状態で頭部がステアリングと接触してしまった。さらに、エアバッグが首部付近を中心に展開したため、頭部が下から突き上げられる方向に力が付加されたため、80ms では他の条件に比べて頭部が大きく後傾した。

図 2 に頭部合成加速度及び胸部たわみの時間履歴、図 3 に首部傷害値の時間履歴を、図 4 にシートベルト荷重を示す。

頭部合成加速度の時間履歴は、Test 1 と Test 2 とではほぼ同様であったが、Test 3 では 16ms 付近と 32ms 付近に加速度のピークがみられた。16ms 付近の加速度ピークは頭部がエアバッグの展開初期に接触したためであり、32ms 付近の加速度ピークはエアバッグ効果が少ない状態で頭部がステアリング上端

と衝突したためと考えられる。

胸部たわみについては、Test 2 と Test 3 とともに、Test 1 に比べて低い値であった。これは、ダミーの上体が前屈しているために、ショルダーベルトによる上体の拘束が十分でなかったためと考えられる。



T = 0 ms T = 20 ms T = 40 ms T = 80 ms
図1 ダミー挙動

頸部の傷害値については、Test 1 と Test 2 とではほぼ同様であったが Test 3 では、上下方向引張荷重が他の条件に比べて約1.7倍高い値であった。また、前後方向モーメントも後傾方向に2倍以上高い値であった。これは、Test 3 では頭部がステアリングに近いうえに、エアバッグが頸部付近から展開したため、頭部はエアバッグで前方移動を抑制されるのではなく、上方に突き上げられる方向に作用したためと考えられる。

シートベルト荷重については、ラップベルト荷重の時間履歴は全ての試験条件でほぼ同様の結果となった。これは、ダミーの膝部とインパネとの距離が比較的近かったために、ダミーの下体部の拘束の変化が少なかったためと考えられる。一方で、ショルダーベルト荷重は、Test 1 に対して Test 2 と Test 3 では低かった。これは、Test 2 と Test 3 では上体部が前傾しているためにショルダーベルトがダミー上体部の前方移動を十分に抑制できなかったためと考えられる。

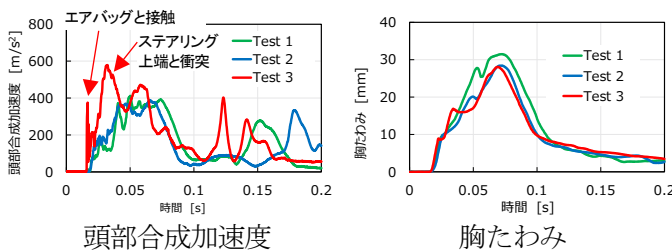


図2 頭部合成加速度、胸部たわみの時間履歴

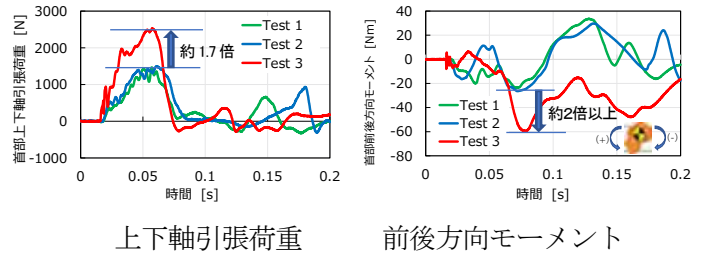


図3 頸部傷害値の時間履歴

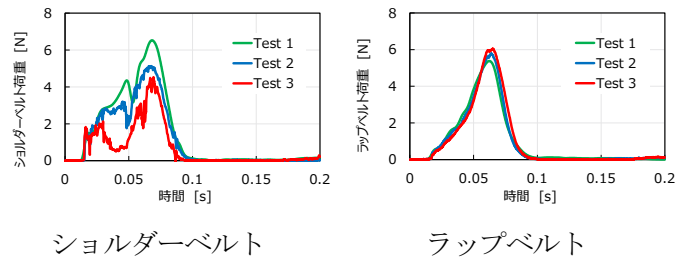


図4 シートベルト荷重

4. まとめ

今回の実験条件では、ダミーの頭部や胸部の傷害値は、乗車姿勢により悪化することはなかった。一方で、首部については、頭部がハンドルに近い乗車姿勢の場合において傷害値が悪化することが分かった。

AEBS や自動運転技術は、衝突事故を未然に防ぎ、また、衝突直前速度を低減することから交通事故死傷者を低減するために重要な装置である。一方で、乗車姿勢の乱れにより、これまで注目されてこなかった乗員傷害が発生することも想定されることから、今後さらなる調査を行って行く必要がある。

今後、車両の衝突安全性能においては、予防安全装置や自動運転技術を前提として検討を進めることになるが、特に、自動運転車ではリクライニング姿勢等、多様な姿勢を取る可能性があるため、シートベルトやエアバッグ等の性能要件についても引き続き検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 細川 他, “衝突被害軽減ブレーキ作動時の乗員挙動が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響調査”, 交通安全環境研究所フォーラム 2020, pp.65-66 (2020)

④車両後方ソナーにおける人検知の可能性調査

自動車安全研究部 ※松井 靖浩 細川 成之
東京都立大学 及川 昌子

1. はじめに

2020年の我が国の交通事故死者数は2,839人であり、そのうち歩行中死者数は1,002人であり、全交通事故死者の中で歩行中死者数の占める割合(35%)は最も高かった¹⁾。このような状況から、交通弱者である歩行者への対策は極めて重要な課題である。我が国では、車両のボンネットを対象に歩行者頭部を保護するための技術基準が2005年に導入された。今後、歩行中死者数をさらに低減させるためには、実際の交通事故の実態を踏まえた上での対策を講じる必要がある。

日本の交通事故において、低速度の車両が歩行者と衝突する場合、車両後退時における事例の割合が高いことが判明している²⁾。その対策として、車両後退時の事故防止を目的に後写鏡等に関する安全基準が定められている。一方、車両後退時に物体を検知するセンサとしてソナーを使用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。本研究は、車両後方ソナーにおける人検知の可能性を検証することを目的とし、車両後方ソナーが装着されている車両を対象として調査を実施した。

2. 実験方法

国産セダン1車種(A車)、国産SUV2車種(B車、C車)、輸入SUV1車種(D車)の計4車種を対象とした。供試車両の後方ソナーには、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。供試車両に装着されているセンターセンサ、コーナーセンサを図1に示す。本実験では、車両後部に対する人の向きについて、正面、横向きの2条件下で各センサの検知距離を調査した。

本実験では、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名を対象とし、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規程に基づき、ソ

ナーによる人検知距離を調査した。被験者の身長は、子供が132cm、大人女性が161cm、大人男性が174cmであった。比較対象として、塩化ビニール製のパイプ(高さ1m、直径75mm)を用いて、同様の調査を実施した。

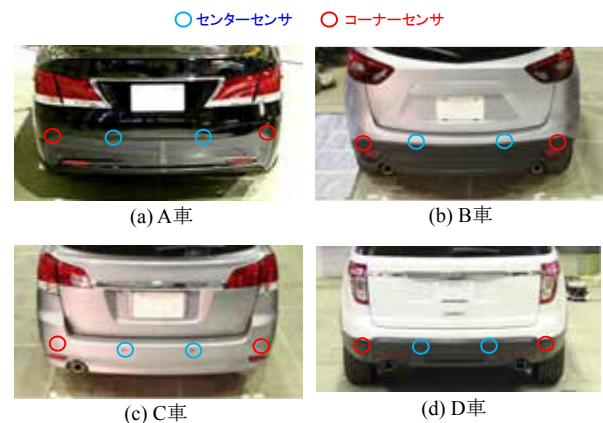


図1 車両後方ソナー装着状況概観

センターセンサに関しては、図2(a)に示すように、被験者が車両中心線上を車両後方から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、車両後端から検知点までの距離を検知距離として計測した。コーナーセンサに関しては、図2(b)に示すように、リアコーナーを起点とし車両中心線と平行な線から30°の線をリアコーナー延長線とした。被験者はリアコーナー延長線上を後方から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、リアコーナーから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。

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

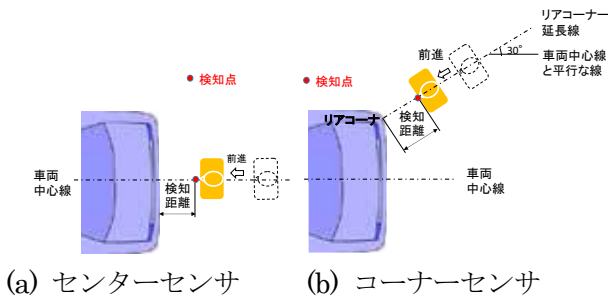


図2 検知距離の測定

3. 実験結果

人が正面を向いた条件での対パイプ比を図3に示す。センターセンサの対パイプ比は、子供が50~84%、大人女性が89~102%、大人男性が98~102%であった。コーナーセンサの対パイプ比は、子供が85~92%、大人女性が97~107%、大人男性が95~103%であった。

大人全体での対パイプ比は、センターセンサは89~102%、コーナーセンサは95~107%であった。子供の対パイプ比は、大人に比べて低い結果が示されたが、国産車であるA車、B車、C車では、センターセンサが67%以上、コーナーセンサが85%以上であることが分かった。

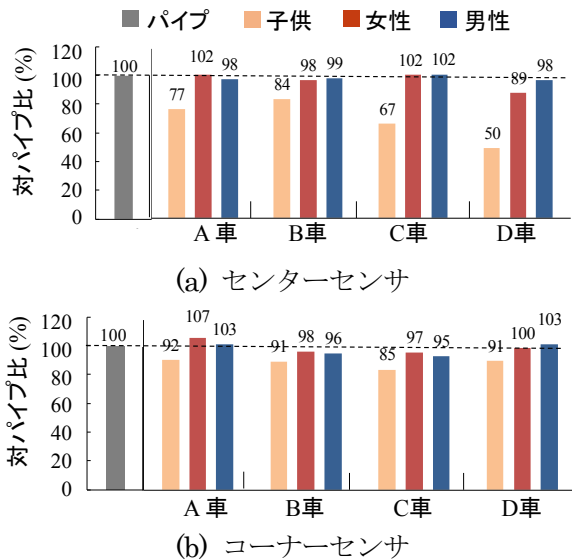


図3 人が正面向きの場合の対パイプ比

人が横向きの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32~64%、大人女性が78~97%、大人男性が97~99%であった。コーナーセンサの対パイプ比は、子供が58~80%、大人女性が87~98%、大人男性が86~102%であった。

大人全体の対パイプ比は、センターセンサが78~99%、コーナーセンサが86~102%であった。子供の対パイプ比は、大人に比べて低い結果が示されたが、国産車であるA車、B車、C車では、センターセンサが52%以上、コーナーセンサが75%以上であることが分かった。

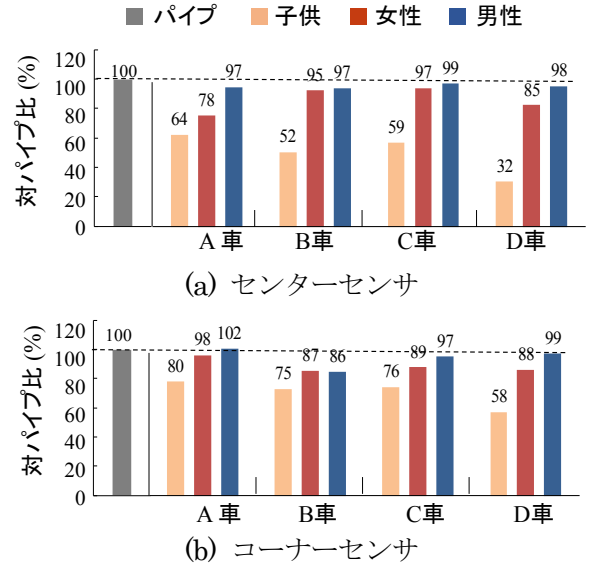


図4 人が横向きの場合の対パイプ比

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、車両後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、セダン1車種、SUV3車種の計4車種とした。車両後方ソナーは、駐車場などで車両が後退する際、衝突危険性のある壁など障害物と車両との距離を測定し、ドライブへ警告することで車両単独事故予防支援を主目的として開発されている。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の体形差に依存する可能性があり、特に子供の対パイプ比が低いことから、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。

参考文献

- 1) 公益財団法人交通事故総合分析センター, “交通統計令和2年版” (2021)
- 2) 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)

⑤高速点滅光の明るさ感評価に関する研究

自動車安全研究部 ※加藤 洋子 関根 道昭 伊藤 紳一郎

1. まえがき

LED を光源とする前照灯が市場に投入されて既に10数年が経つ。この間にも、LEDの高効率化や耐久性などの技術開発が進み、LED前照灯の車両への搭載数は増大している。ここで、LED前照灯の明るさを制御する場合、高速点滅させながら明・滅の割合(Duty比)を変化させている場合がある。LEDは入力電流を変えると光度と共に色度に変化するがDuty比を変えても発光色に変化せず、熱の影響も緩和されるという利点があるためである。

人間の知覚においては、閃光のようなフラッシュ光をより明るく感じると言われているが(Broca-Sulzer効果)、その点滅がはっきりと認識されない場合には、時間的に平均された光強度によって明るさを感じる(Talbot-Plateau効果)と言われてきた。

そこで、LED前照灯と同じ発光原理の高輝度白色LEDチップを使用して、人間の明るさ感に対する時間積分の効果(Talbot-Plateau効果)について検証することを目的に、定常光と点滅光を比較することにより両者の関係を求めた。文献¹⁾では、被験者は視認試験経験者4名としたが、今回光源の提示方法を改良し、一般の被験者を対象に明るさ感評価実験を実施した。

2. 実験方法

2. 1. 実験条件

暗室内に視角0.1度の点光源刺激を左右に並べて2つ提示した。実験装置の概要を図1に、実験状況を図2に示す。光源はどちらも同じ高輝度白色LEDで、ピーク波長が444nmの青色LEDが黄色い蛍光体を通して白色になるもの(図3)を用いた。被験者は10m離れた地点からこれら2つの点光源刺激を同時に観測した。2つの点光源刺激の内1つは、実験条件に応じて点灯電圧、点滅周波数、Duty比を変化させて点滅させる刺激光として用いた。もう1つは、参照光として連続点灯させ、被験者の応答によって点灯電流を

変化させることにより光強度を変化させた。光源周辺はほぼ暗黒としたが、被験者の手元付近はキーボード操作をしやすいように、間接照明を用いて照明し、必要最小限の明るさを確保した。

刺激光は、明るさ感のDuty比依存性と周波数依存性の両方を検討するため、点灯電圧を固定し、Duty比として点灯時間の割合を10、20、40、80、100[%]の5条件、周波数を35、50、100、200、300[Hz]の5条件とした。

被験者は運転に必要な視力を有しており、Duty依存性実験は9名、周波数依存性実験は10名である。

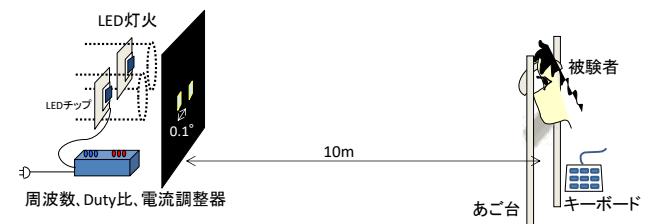


図1 実験装置概要



図2 実験状況

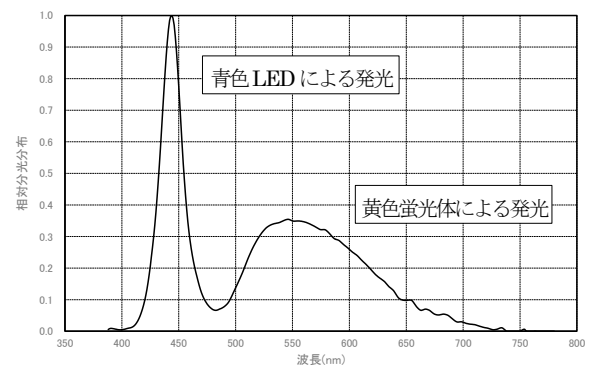


図3 高輝度白色LEDの相対分光分布特性

なお、本実験を実施するにあたっては、「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づいて、被験者に十分な説明を行うとともに被験者の同意を得て実施した。

2. 2. 実験手順

被験者はまず間接照明で薄暗く照らされた暗室内に約5分間順応した。その後、あご台にあごを固定し、提示される2つの点光源の光を観察した。被験者は左右の点光源のうち、どちらが明るいかわかるのは同じかを手元のキーボードで応答した。

まず、下降系列として、参照光の初期値を刺激光の平均値の1.5倍相当とし、次の参照光は1つ前の参照光の0.909倍となるように提示し、2回続けて参照光が暗いと回答したときに終了した。最後に参照光が明るいと回答したときの光強度と終了直前の1回目に参照光が暗いと回答したときの光強度との対数平均値（2個の数値の積の平方根）を取得データとした。次に、上昇系列として、参照光の初期値を刺激光の平均値の0.667倍相当とし、次の参照光は1つ前の参照光の1.1倍となるように提示することにより、同様に対数平均値を取得した。1つの刺激光の条件に対して下降系列と上昇系列を交互に3回繰り返し、計6個のデータの平均値を最終的な回答とした。

2. 3. LED 出力光の校正

点滅刺激光の校正では、点灯電圧、点滅周波数、Duty比の組み合わせによる実験条件ごとに、校正された高速応答型のシリコンフォトダイオードを使用してLED出力光を測定し、時間積分値を計算した。

また、参照光用の連続点灯LEDの校正では、同一のシリコンフォトダイオードを使用して点灯電流とLED出力光との関係について測定を実施した。

さらに、これらの校正を繰り返して実行することにより、時間変化がないことも確認した。

3. 実験結果

3. 1. 明るさ感の周波数依存性

被験者ごとに100Hzでの明るさ感評価で正規化した各周波数における明るさ感評価及び全被験者の平均値並びに回帰直線を図4に示す。この結果から、点灯電圧が一定の場合、周波数による依存性はなく、光強度の積分値が等しければ、明るさ感も同等となることが分かった。

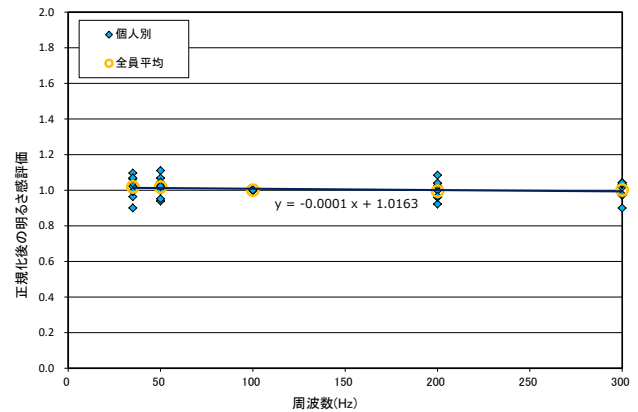


図4 明るさ感評価結果（周波数依存性）

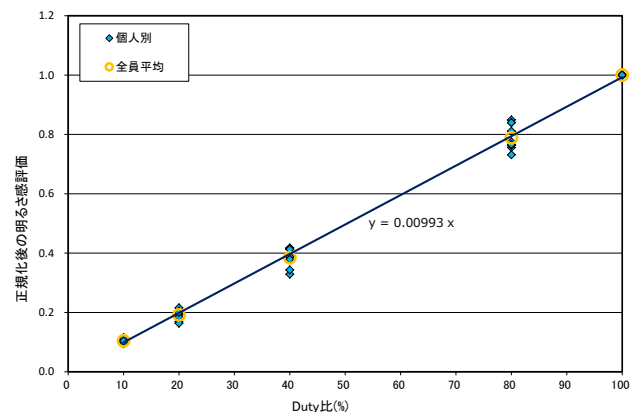


図5 明るさ感評価結果（Duty依存性）

3. 2. 明るさ感のDuty比依存性

被験者ごとにDuty比100%（連続光）での明るさ感評価で正規化した各Duty比における明るさ感評価及び全被験者の平均値並びに回帰直線を図5に示す。この結果から、点灯電圧が一定の場合、明るさ感 はDuty比に比例することが分かった。

4. まとめ

本実験は、刺激光の点灯電圧を変えた条件でも実施しており、LED前照灯においても、高速点滅光に対する明るさ感は、周波数、Duty比に依存せず、時間積分を行って得られる光強度とほぼ等しいというTalbot-Plateau効果が確認された。

従って、高速点滅するLEDやレーザー光源を搭載した自動車ランプの測定は、時間積分が正確に行えるような測定器により対応可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 岡田、塚田、伊藤，“高速点滅光の明るさ感測定に関する研究”，自動車技術会2016年秋季学術講演会，講演番号278，a161066（2016）

⑥ADB 機能を活用した路面描画ランプの動的評価

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

ドライバの運転を支援し安全性の向上を図るため、灯光により路面上に視覚情報を呈示する路面描画ランプの検討・開発が、現在各国で進められてきている。これを受けて、2019年10月のUNECE/GRE(灯火器専門分科会)本会議にADB(可変型走行ビーム)の可変配光の範囲内でこの路面描画ランプを運用可能とする国際基準案が提出された。

この路面描画ランプは、ドライバへの運転支援情報の呈示により安全性向上への効果が期待される反面、他の交通参加者への影響や、先行車などへの注意力低下が懸念される。

このため当研究所ではこの路面描画の安全性評価を行うため静止した状態での実車実験¹⁾を実施した。この研究成果についてGRE関連会議で報告²⁾を行ったところ、「動的な実験では評価結果が変わるのではないか」という意見が出された。

本研究では、車両の前方に表示される路面描画機能が自車ドライバや他の交通参加者の安全性に及ぼす影響をさらに評価するため、ドライビングシミュレータ(以下DS)を用いた動的評価実験を実施した。

2. ブレーキ反応時間実験方法

被験者はDS(図1)に搭乗し、指定された直線路(第二走行車線)を30~50km/hの目標速度で走行した。左側車線に定速走行40km/hの車両を走行させ、被験者はその車両を目安に速度調整を行った。自車両の50m前方に先行車が走行し、先行車の制動灯が点灯したら速やかに被験者はブレーキペダルを操作するものとした。先行車の制動灯の点灯からブレーキペダル操作までの時間をブレーキ反応時間と定義した。このブレーキ反応時間が



図1 DSによる実験状況

路面描画ランプの有無や観測条件、シンボルの表示条件により、どの様に変化するか調べる。

路面描画ランプは自車両、対向車両、追抜車両(図2~図4)に搭載された場合についてそれぞれその影響を調べることにした。

なお本実験において評価を行う被験者14名は、外部から派遣され、当研究所の人間を対象とする実験に関する倫理審査規程に基づいて実験を開始する前に内容の説明を行い、実験参加の同意を得た。



図2 自車両からの路面描画



図3 対向車両からの路面描画



図4 追抜車両からの路面描画

3. 実験結果

3. 1. ブレーキ反応時間

ブレーキ反応時間の実験参加者全14名の平均値と標準偏差を求めた。その結果を図5、図6に示す。

自車両路面描画ランプ搭載車両の場合(図5)、路面描画ありの場合のブレーキ反応時間は、路面描画なしの場合と比べて、読み上げあり(被験者は表示されているシンボルを口頭で回答)で平均0.09秒、読み上げなし(表示されているシンボルの口頭回答なし)で平均0.05秒長くなる。

路面描画なしの結果と路面描画ありについてt検定を行ったところ、読み上げありについては12条件中9条件においては5%水準で有意差が検出された。読み上げなしについては有意差が認められなかった。

この結果から、ドライバがそのシンボルを注視し読み取ることが必要な状況では自車両の路面描画はブレーキ反応時間に遅延を発生させる可能性あるが、それ以外の状況では路面描画の影響はないものと考えられる。また、過去の文献によると、ブレーキ反応時間の遅延はHUDでは0.4秒程度、車載モニタでも0.4秒以上発生するという報告があり、今回の路面描画による遅延はそれらと比較すると短いことが明らかになった。

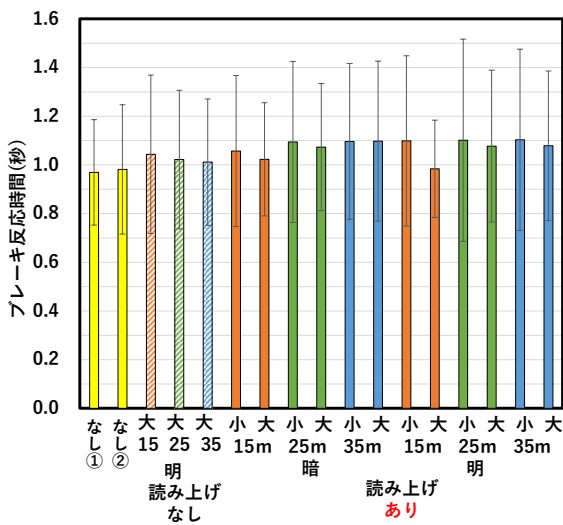


図5 自車両路面描画によるブレーキ反応時間の変化

他車両が路面描画ランプを搭載した場合(図6)、ブレーキ反応時間は路面描画なしの場合と比べて対向車両の場合は平均0.05秒、追抜き車両の場合は平均0.04秒長くなる。しかしながらいずれもt検定による有意差は認められなかった。

以上の結果から、他車両が路面描画ランプを使用しても自車両ドライバのブレーキ反応時間には影響しないものと推測される。

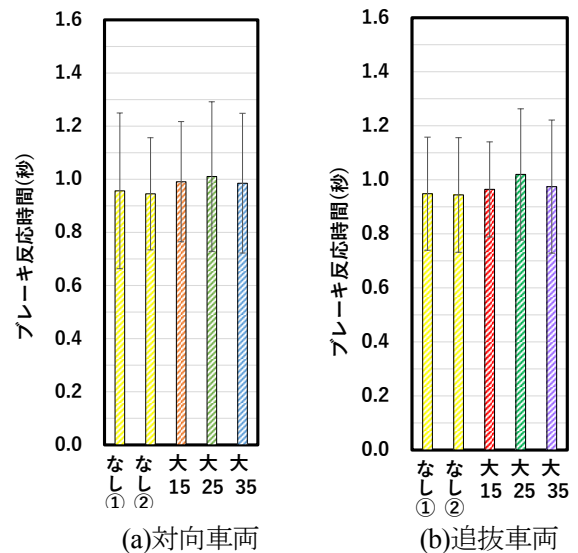


図6 他車両路面描画によるブレーキ反応時間の変化

3. 2. アンケート評価

図7に全実験終了後に行ったアンケート結果(14名平均値)を示す。

“路面上に情報提供させる路面描画ランプにより運転が便利になるか”の問いに対しては、“表示内容によっては運転が便利になると思う”の回答が86%と多数を占めた。

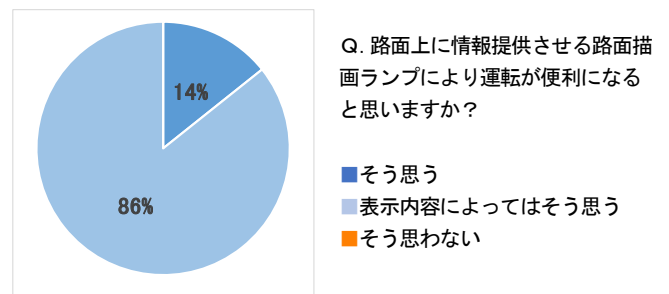


図7 路面描画ランプアンケート調査結果

5. まとめ

路面描画の表示がブレーキ反応時間などに及ぼす影響を調べるため、DSによる動的評価実験を実施した。その結果、路面描画によりブレーキ反応時間に遅延が発生するケースがあるもののHUDなどのケースと比べると小さく、他車両からの影響も有意な差がないことが明らかになった。

<参考文献>

- (1) 青木他：路面描画ランプを用いたドライバへの情報呈示に関する評価解析、自動車技術会秋季大会(2020)
- (2) SLR-38-17-Rev.1.,SLR 38th session(2020)

⑦注意散漫状態の高齢ドライバーに対する視覚的注意喚起情報の効果に関する研究

自動車安全研究部 ※関根 道昭 榎本 恵 加藤 洋子
電気通信大学大学院 向田 佑介 田中 健次

1. はじめに

近年、我が国は超高齢社会となり、単位免許人口あたり、75歳以上の運転者が死亡事故を起こす件数は他の年齢層より高くなっている¹⁾。高齢者が起こす交通事故の人的要因は、脇見や考え事をしていたことによる「発見の遅れ」が約8割を占めるといわれる²⁾。そのため、高齢ドライバーの発見の遅れに対応する予防安全システムが求められている。

我々は、ドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いて、ドライバーがハザード（要注意対象）を発見する様子を調査し、ヘッドアップディスプレイにハザードが現れたことを示す注意喚起情報を提示すると、ハザードの発見や安全運転が促進されることを確認している³⁾⁴⁾。ただし、これらは被験者が運転に集中した状態での結果であり、同乗者との会話や考え事など、運転以外のことにも注意が向いている場合の効果については明らかではない。本研究は、高齢者の注意散漫時におけるハザードの発見に注意喚起情報が及ぼす効果について調査した結果を報告する。

2. 実験方法

電気通信大学のDS（三菱プレジジョン製 D3Sim (Ver. 6)）を用いて、片側1車線の市街地を制限速度40km/hで走行した。約10分間の直進走行の中で次に説明するハザードをランダムな順序で出現させた。

第1のハザードは対向車線に停車中のバスである（図1）。バスの陰から飛び出してくる歩行者等に備えて、ドライバーが減速するか否かを評価した。

第2のハザードは横断歩道で立ち止まっている歩行者である（図2）。ドライバーが歩行者に気づいて横断歩道手前で減速するか否かについて評価した。

第3のハザードは側道の自転車である（図3）。左の側道を走行している自転車が自車両の前方約60mの位置から時速10km/hで右に約1.5度傾いた方向へ約5.0s走行し、その後約3.0s間直進した後、元の位置に戻っていくというものである。自転車の手前で速度を落として走行できるかを評価した。

被験者を注意散漫状態にするため、DS運転中の2.25sごとに一桁の乱数を聞かせ、ひとつ前の数字を発話させる音声タスクを与えた。また、注意喚起情報として、ハザードの近くに半透明の黄色い三角形を0.7s点灯、0.1s消灯で3回点滅させた（図4）。音声タスクの有無と注意喚起情報の有無を組合せ、一人あたり計4走行を行った。



図1 停車中のバス



図2 横断歩道付近の歩行者



図3 側道の自転車



図4 注意喚起情報

被験者は電気通信大学及び当研究所とは関係のない外部から募集した高齢者19名（平均年齢72.5歳、標準偏差4.0歳）、若年者11名（平均年齢25.5歳、標準偏差7.2歳）である。この実験は電気通信大学の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき、被験者の同意を得たうえで行った。

3. 実験結果

3. 1. 停車中のバス

停車中のバスの横を通過するときに、停留所の手前30mからバスを通過するまでの速度変化を減速、速度維持、加速の3種類に分類し、それぞれの割合を算出した（図5）。高齢者の音声タスクなし、注意喚起情報なしでは、加速する割合が44%だったが、注意喚起情報ありでは、加速する割合が0%に減り、減速する割合は22%から50%へ増加した。一方、高齢者の音声タスクありの条件で減速した割合は注意喚起情報なしで20%、注意喚起情報ありで27%とほとんど変わ

らなかったが、加速した割合は情報なしで10%、情報ありでは36%と大きく増加した。若年者の場合、音声タスクなしにおいて注意喚起情報により減速する割合はほとんど増えなかったが、音声タスクありの場合は注意喚起情報によって減速する割合が50%から86%と顕著に上昇した。

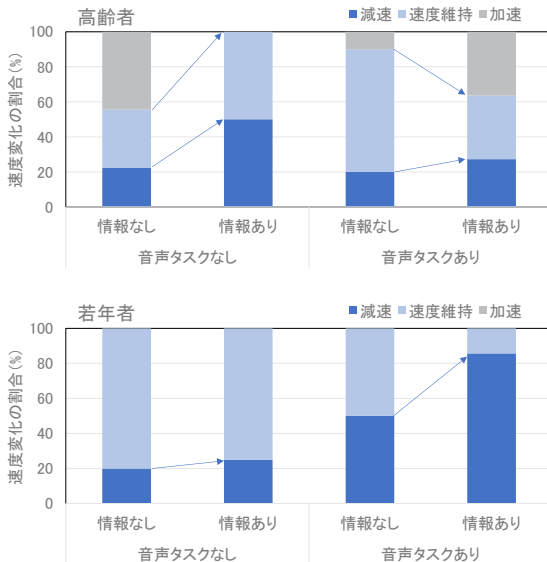


図5 停車中のバスに対する速度変化の割合

3. 2. 横断歩道付近の歩行者

横断歩道を渡ろうとする歩行者の手前30m以内で30km/h以下に減速した割合を求めた(図6)。年齢層には有意差がなく、音声タスクなしの場合は、注意喚起情報によって減速する割合が高くなった(F(1, 56)=18.07, p<0.01)。しかし、音声タスクありの場合は、注意喚起情報の効果が見られなかった。

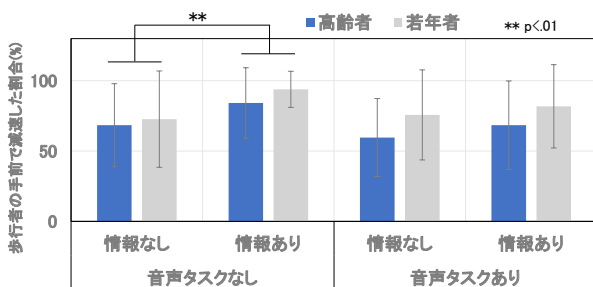


図6 横断歩道付近の歩行者の手前で減速した割合

3. 3. 側道の自転車

自転車までの距離が60mの時点から、横に並ぶまでにかかった時間を年齢層別、条件別に示した(図7)。この時間が長いほど、速度が小さく安全運転であったといえる。音声タスクなしの場合、注意喚起情報によって自転車と並ぶまでの時間が長くなった(F(1, 56)=

4.35, p<0.05)。しかし、音声タスクありの場合は、注意喚起情報の効果が認められなかった。

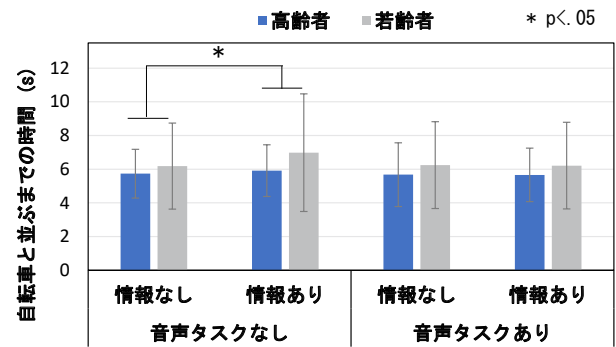


図7 側道の自転車と並ぶまでの時間

4. まとめ

高齢ドライバーの交通事故の主要因とされるハザードの「発見の遅れ」を軽減するため、ハザード付近に注意喚起情報を提示するDS実験を行った。ここでは、ドライバーに音声タスクを与えて注意散漫状態にした場合について検討した。その結果、運転に集中している場合は、注意喚起情報によって、すべてのハザードの手前で減速する割合が増加することを確認した。しかし、注意散漫状態においては、注意喚起情報を与えても、横断歩道付近の歩行者と側道を走行する自転車の手前で減速する割合は増えなかった。特に、注意散漫状態の高齢者が停車中のバスの横を通過するときは、注意喚起情報によって加速する割合が多くなり、適切な安全運転ができないことが示唆された。今後は、注意散漫状態でもハザード発見に効果がある注意喚起方法を開発し、その評価方法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 内閣府, “子供及び高齢運転者の交通事故の状況”, 令和2年版高齢社会白書(2020)
- 2) 警視庁 HP, “防ごう! 高齢者の交通事故!”, <https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/koreisha/koreijiko.html> (2021年10月参照)
- 3) 平野ら, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 21, No.1, pp.111-120 (2019)
- 4) 榎本ら, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 22, No. 3, pp.107-116 (2020)

⑨ 重量貨物車の実路走行データによるディーゼル微粒子捕集フィルタ (DPF) の再生頻度と捕集性能の把握

環境研究部

※山本 敏朗

鈴木 央一

柴崎 勇一

1. まえがき

ディーゼル車の排気対策において、NO_x 対策と同様に重要となるのが粒子状物質 (PM) 対策である。排気対策の初期においては、燃焼時の O₂ 不足に起因する煤を主とする PM と、燃焼温度が高いことによって発生する NO_x の同時低減がトレードオフの関係であることから、排気対策を困難にしていたが、電子制御式コモンレールシステムと排出ガス後処理装置が開発され、排出ガスは改善された。ディーゼル車からの PM 排出は、コモンレールシステムを用いた高圧噴射による燃料粒子の微粒化とディーゼル微粒子捕集フィルタ (DPF: Diesel Particulate Filter) を用いた PM の捕集により激減した。同時に、NO_x 排出も、尿素 SCR (選択的触媒還元) システム等の排気管装着により、尿素水の加水分解等で生成された NH₃ (還元剤) による NO_x 還元によって大きく抑制されることとなった。

PM 対策の要である DPF は多孔質のセラミックスから成り、捕集効率は高く PM 除去に有効であるが、捕集された PM は DPF 細孔内に堆積するため、目詰まり防止策として PM を 600℃程で燃やして取り除く DPF 再生処理が必要となる。ここで、DPF の再生が充分に行われないと、PM 捕集可能量が徐々に減少し、再生の頻度は高くなっていくことになる。このことから、DPF 再生頻度の測定および分析は、DPF 捕集性能を把握するために極めて重要であることがわかる。この DPF 再生頻度を測定するためには、長時間に渡って、路上走行時の排出ガス温度、EGR バルブ開度等のデータ収集によって、DPF の再生状態を連続的に把握することが望ましいが、これまで、実路走行において、長時間の連続的なデータ収集により、DPF の再生頻度を分析した事例はほとんどない。

本研究では、NO_x センサ、排気温度センサ等の排気管直挿型センサを用いた計測システム (SEMS: Sensor-

based Emissions Measurement System) ¹⁾ で長時間のデータ収集を行い、そのデータを基にして DPF 再生頻度を調査した。さらに、一般道走行あるいは高速道路走行のような走行条件が、DPF の再生頻度に及ぼす影響について考察した。以下に、これらの結果の概要を報告する。

2. 実験方法

DPF 再生頻度の調査には、本調査に協力いただいた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 7.8 t、EGR および尿素 SCR システム搭載、DPF 自動再生方式および連続再生方式) を用いた。DPF 自動再生方式とは、走行中に、DPF 前後の差圧が上昇して目詰まりを自動検知すると、ポスト噴射および排気管噴射によって軽油を排気管に投入し、酸化触媒において排出ガスを昇温して 600℃程とし、DPF 内の PM を燃焼して除去し再生する方式である。同車両に、SEMS を装着し、通常運送業務の中でデータ収集を実施した。試験期間は、2018 年 12 月 3 日～2019 年 2 月 1 日の 39 日間の運行と、2019 年 11 月 11 日～2019 年 12 月 27 日の 35 日間の運行である。

走行試験データは、サンプリングレート 0.5 秒で収集されて、それらのデータはデジタコ (デジタル式の運行記録計) の通信モジュールにより、1 分間隔で遠隔地のデータサーバに送信された。1 日の運送業務終了後にデータサーバから試験データを取得して、収集データに異常はないか等の試験実施状況の確認を行った。DPF 自動再生の範囲を決定するために、自動再生の開始と終了は、EGR バルブの開度情報から、バルブが閉じたところから再び開くところまでと定義した。

3. 実験結果および考察

3. 1. 通常運送業務走行でのDPF自動再生の頻度

実際に運送事業者が運用している車両を用いて、2018年と2019年に、2ヶ月間ほどの通常運送業務走行でのデータ収集を行った。走行ルートは、一般道および首都高速道路等を用いる中距離走行ルートと、主に高速道路を用いる長距離走行ルートから成り、1週間～2週間のサイクルで、ほぼ定まったルートを走行している。図1に、2018年と2019年の走行データを、走行速度70km/h未満と以上で区分して示す。ここで、走行速度70km/h未満は一般道走行、走行速度70km/h以上は高速道路走行とみなすと、一般道走行と高速道路走行は、2018年で45対55の割合、また2019年で57対43の割合となり、2018年では高速道路走行が多いことが、また2019年では一般道走行が多いことがわかる。

これらの走行試験においてDPF自動再生は、それぞれの試験期間中に、2018年で19回、2019年で18回生じた。再生と次の再生の間の走行距離を順次算出し、それらを時系列に並べてプロットした結果を、図2に示す。なお、再生の1回目は走行距離の履歴が不明のため、プロットから除いている。図中には、走行距離の1日当たり、2日当たりおよび3日当たりの平均値を記している。両年ともに、2日～3日の走行中に全てのDPF自動再生が生じていることがわかる。ただし、2日および3日当たりの平均走行距離は、2018年で725kmおよび1088km、2019年で650kmおよび975kmと異なっている。これは、図1で示したように、一般道走行と高速道路走行の割合の違いに起因し、2018年は高速道路走行割合が大きいため、平均走行距離が大きくなっている。また、走行割合の違いは、自動再生が生じるまでの走行距離に影響する。一般的に、走行速度が低下すると、単位距離当たりのPM排出量は増加することから、同一走行距離では、高速道路走行割合が大きい条件では減少し、一般道路走行割合が大きい条件では増加することが推測される。このことは、2018年が2019年よりも、全体的にDPF自動再生時の走行距離が長くなっていることと一致する。さらに、高速道路走行は、80km/h程での安定走行となるので、走行距離当たりのPM捕集量も一定値に近くなり、DPF自動再生時の走行距離も安定するものと考えられる。2018年のプロットの変動が2019年に比べて安定しているのは、このためであると推察される。

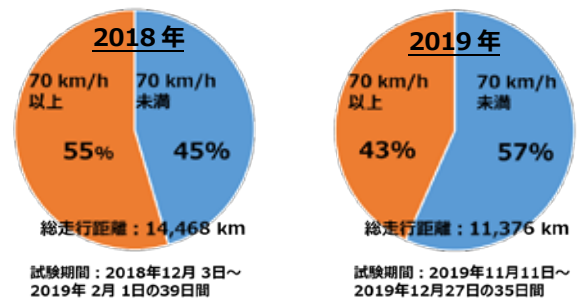


図1 走行速度70 km/hを閾値にした走行状態の分析

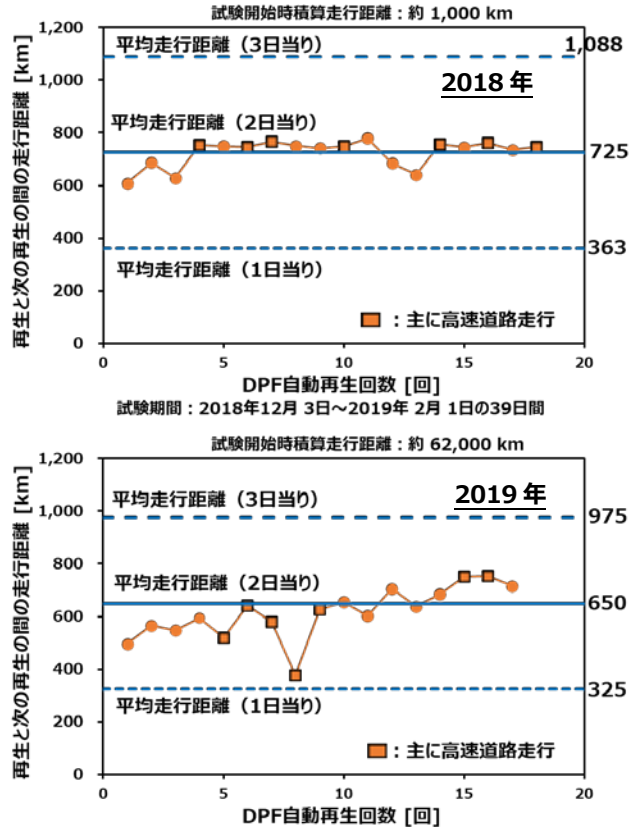


図2 運送事業走行におけるDPF自動再生の頻度

4. まとめ

中型貨物車にSEMSを装着して、2018年、2019年と運送事業走行中にデータ収集を実施し、DPF自動再生の頻度を調査した。その結果、両年ともに、2日～3日の走行中にDPF自動再生が生じていることがわかった。また、2018年が2019年よりも、全体的にDPF自動再生が生じるまでの走行距離が長いのは、高速道路走行割合が大きいことに起因すると考えられた。

参考文献

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

⑩ガソリン直噴車における固体粒子の粒径分布評価

環境研究部

※志村 渉 奥井 伸宜

1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）の排出ガス・エネルギー専門分科会 GRPE（Working Party on Pollution and Energy）に設置された PMP-IWG（Particle Measurement Programme Informal Working Group）では、排出ガス中の粒子状物質の粒子数 PN（Particle Number）による評価法（PMP 法）が検討されている。一方、RDE（Global Real Driving Emissions）-IWG では、実走行時の排出ガス（RDE）中の PN 評価法が検討されている。

PMP 法では、台上試験において希釈トンネルから排出ガスをサンプリングし、据置型 PN 計測装置で PN を評価する。一方、RDE 試験法では、供試車両のテールパイプ直下からサンプリングし、車載型 PN 計測装置 PN-PEMS（Portable Emissions Measurement System）で PN を評価する。PN-PEMS には計測原理の異なるものがあり、著者らはこれまでに、計測原理の違いによる検出効率の違いが PN 排出量の評価結果に与える影響について検討してきた⁽¹⁾。

RDE 試験法では、PN-PEMS の性能確認のため、台上試験において PN-PEMS と PMP 法による据置型 PN 計測装置との PN 排出量を比較するが、サンプリング方法が異なるため、粒子損失や二次粒子生成により PN が変化し、両者には差異が生じる可能性がある。

本研究では、ガソリン直噴乗用車を用いて、テールパイプ直下および希釈トンネルにおける PN の粒径分布を評価し、サンプリング方法の違いが PN 評価結果に与える影響について検討した。

2. 実験方法

排気量 2 L のガソリン直噴エンジンを搭載した無過給式の乗用車（出力 114 kW。以下、NA 車）とターボチャージャによる過給式の乗用車（出力 169 kW。以下、TC 車）を用いて、シャシダイナモ上で WLTC モード（Ex high を含む）を走行した際の排出ガス中

に含まれる粒子の粒径分布および PN 排出量を評価した。テールパイプ直下における粒径分布は、希釈器と Catalytic Stripper による揮発性粒子除去装置が一体となった粒径分布計測装置（TSI 製 EEPMS 3095。以下、EEPMS。）で評価し、希釈トンネルにおける粒径分布は、フィルタエアで追加希釈した後、Catalytic Stripper（Catalytic Instruments 製 CS10）で揮発性粒子を除去し、粒径分布計測装置（TSI 製 EEPMS）で評価した。排出ガス流量の測定には、PEMS（堀場製作所製 OBS-ONE）用のピトー管を用いた。PMP 法による PN 排出量の評価には、検出下限粒径がそれぞれ 23nm と 10nm の据置型 PN 計測装置（堀場製作所製 SPCS2300 および SPCS2310）を用いた。実験装置のレイアウトを図 1 に示す。

3. 実験結果および考察

図 2 に各試験車両の WLTC モード走行時の PN 排出量の瞬時値および累積値をモード全体の走行距離で除した値の時系列データをそれぞれ示す。

図より、いずれの車両も走行開始直後に PN 排出量が最も高く、L フェーズにおける PN 排出量が最も高かった。エンジンが暖機されると PN 排出量は減少す

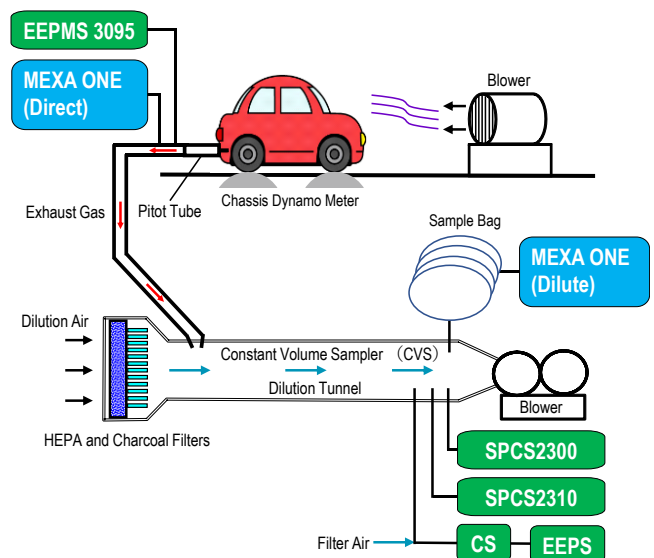


図 1 実験装置

るが、Ex high フェーズにおいて、比較的短時間にPN 排出量が増加する傾向が見られた。

テールパイプ直下からサンプリングした EEPMS と希釈トンネルからサンプリングした EEPS の累積PN 排出量に着目すると、モード開始から約 30 秒間における差異（図 2、A・B）が顕著であり、モード全体では約 3 割程度 EEPMS の方が高かった。これは、希釈トンネルからサンプリングした EEPS では、テールパイプと希釈トンネルを繋ぐ配管や希釈トンネル内の壁面に粒子が付着し、粒子損失が発生したことを示唆する。次に、SPCS2300 と SPCS2310 によるPN 排出量を比較すると、始動直後は両者の値は比較的良好一致するが、NA 車では約 200s、TC 車では約 300s 経過後から徐々に差異が拡大し、モード全体では約 2 割程度、SPCS2310 による値の方が高かった。このことから、始動直後においては、粒径 23nm 以下の粒子の排出割合は比較的小さいが、エンジンが暖機されると、23nm 以下の粒子の排出割合が増加したものと考えられる。

図 3 に EEPMS および EEPS による粒径分布から、粒径範囲約 5.6~10 nm、約 10~23 nm および約 23~560 nm のPN 排出量を EEPMS による値を基準に正規化した結果を示す。

いずれの車両も、小径の粒子の方がテールパイプ直下に対して希釈トンネルにおけるPN の減少率が高く、粒子損失割合が高いことが示唆される。また、L フェーズにおけるPN 減少率は他の走行フェーズに比べて高い。これは、L フェーズではPN 濃度が高く、

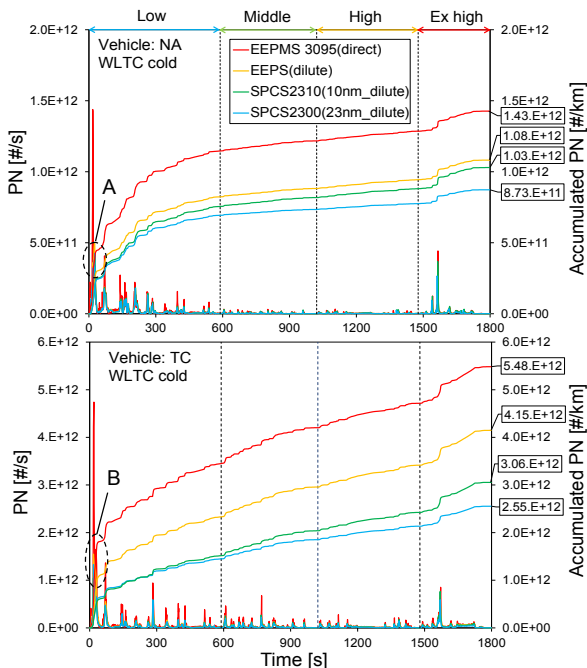


図 2 PN 排出量の時系列データ

排出ガス流量が小さいため排気管内における滞留時間が長いことや排出ガス中の水分の凝縮等が影響していると考えられる。

4. まとめ

本研究では、ガソリン直噴車を用いて、WLTC モード走行時のテールパイプ直下と希釈トンネルにおける粒径分布を評価することにより、サンプリング方法の違いがPN 排出量の評価結果に与える影響について検討した。その結果、粒径の小さな粒子ほど、テールパイプと希釈トンネルの間における粒子損失割合が高いことが分かった。また、検出下限粒径が 10nm の据置型 PN 計測装置による希釈トンネルにおけるPN 排出量は、検出下限粒径が 23nm の装置に比べて、約 2 割高いことが分かった。

謝 辞

本研究に使用した SPCS2300 および SPCS2310 は堀場製作所より、EEPMS 3095 は東京ダイレックより貸与して頂いた。ここに記し、謝意を示す。

参考文献

- 1) 志村・奥井, “車載型 PN 計測装置の計測原理の違いがガソリン直噴車のPN 排出量評価に与える影響”, 自動車技術会 2021 年春季大会学術講演会予稿集, pp.1-6 (2021)

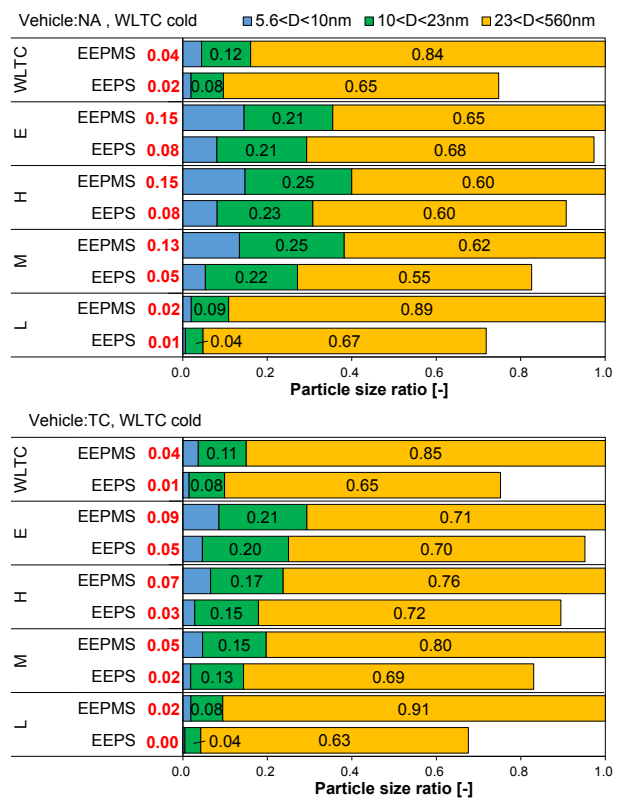


図 3 PN の粒径割合

⑪ 車両周囲温度湿度環境をコントロールする 次世代シャシダイナモ設備

環境研究部

※川原田 光典

奥井 伸宜

1. はじめに

燃費及び排出ガス試験に一般的に用いられるシャシダイナモでは、車輪をローラ上に設置するよう車両を固定し、あらかじめ定められた速度パターンを走行する。現在の試験法は Worldwide harmonized Light vehicle Test Procedure : WLTP (国際調和排出ガス・燃費試験法) に基づく WLTC の速度パターンを用いる方法である。WLTC モード (Class 3b) の速度パターンを図 1 に示す。Low (L)、Medium (M)、High (H)、Ex-High (ExH) の 4 フェーズ (国内認証試験では L、M、H の 3 フェーズ) があり、それらを連続で走行する。認証試験の際の環境条件は、温度 23℃ 及び湿度 50%RH (Relative Humidity : 相対湿度) と規定されている。

ここで他の車両試験法の温度湿度に着目すると、国連規則 UNR83-7 では 23℃ に加えて低温環境 (-7℃) でのシャシダイナモ試験法が定められている。さらに、国内の路上走行試験法 (道路運送車両の保安基準第 31 条、細目告示別添 119) で規定されている温度域は -2℃ から 38℃ であるうえ、湿度範囲については規定されていないなど一部の試験条件が明確になっていない。また、電気自動車等の電動車が搭載するバッテリーは充放電時の周囲温度により性能劣化の進行度合いが異なる。電動車においてバッテリーの性能劣化は航続距離などに直結するため、実走行時の環境及び充放電を想定した性能評価試験が必要である。

このような状況に対応するには、車両周囲の温度及び湿度のコントロールが可能なシャシダイナモ設備の導入が不可欠である。そこで交通安全環境研究所では、幅広く温度湿度を変化させることができる環境試験室を新設するとともに既存設備の改修を行い、「次世代シャシダイナモ設備」として 2021 年に完成させた。本稿では、次世代シャシダイナモ設備を紹介し、その後ディーゼル乗用車 (ポスト新長期規制適合) を用いた実験で得られた結果について報告する。

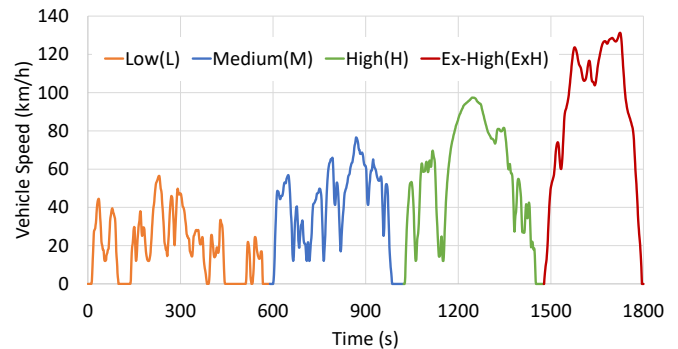


図 1 WLTC モード (Class 3b)



図 2 次世代シャシダイナモ設備

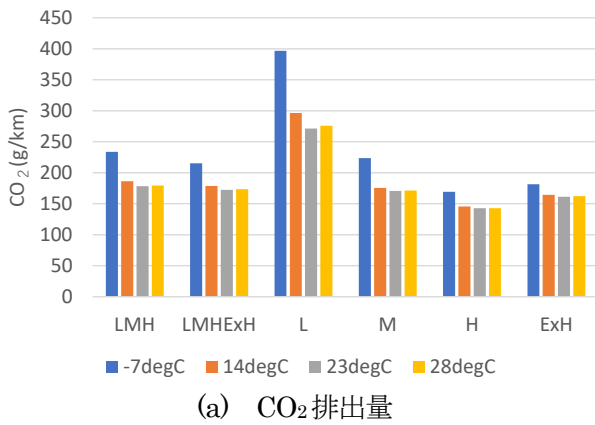
表 1 温度湿度制御範囲

設定可能温度域	-7 ~ 38 °C
湿度制御可能温度域	5 ~ 28 °C

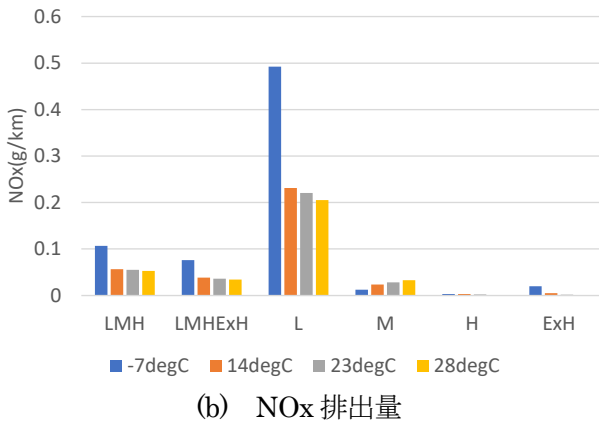
2. 実験設備

図 2 に次世代シャシダイナモ設備での実験状況を示す。車体周辺の床部分がシャシダイナモであり、周囲の銀色の壁及び天井は断熱パネルである。車両前方に車速風ファンが設置されている。その上方に空調機の吹き出し口がある。

表 1 に設定可能な温度湿度域を示す。温度設定が可能な範囲は -7 から 38℃ であるが、そのうち湿度制御可能な温度範囲は 5 から 28℃ である。なお、5 から 28℃ のいずれの温度においても 50%RH に制御する

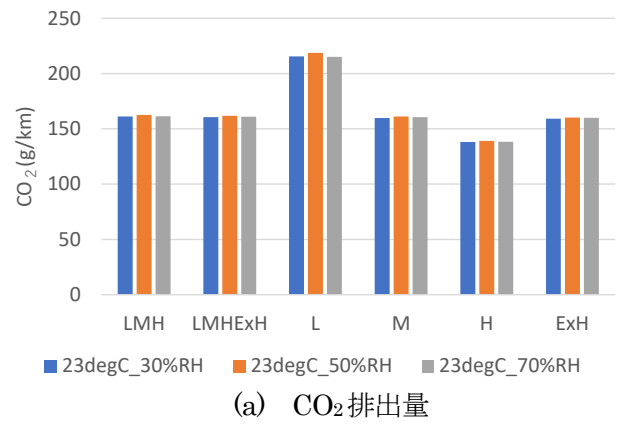


(a) CO₂ 排出量

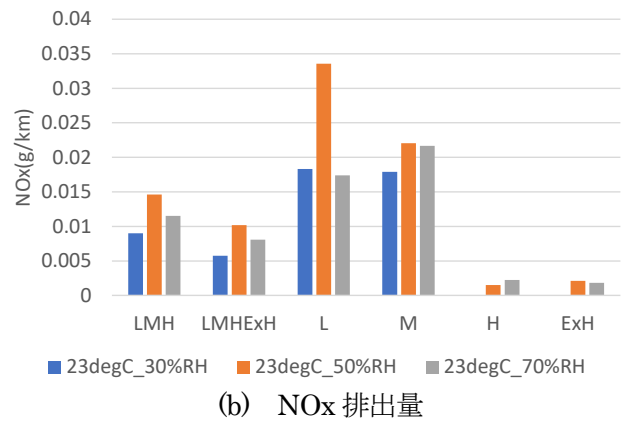


(b) NO_x 排出量

図3 温度影響 (Cold 条件)



(a) CO₂ 排出量



(b) NO_x 排出量

図4 湿度影響 (Hot 条件)

ことが可能である。設定可能な湿度の範囲は設定温度に依存し、23℃付近では30%RHから70%RHまでの広い範囲で制御可能である。

3. 実験結果

様々な温度湿度条件で図1に示したWLTCモードの走行を行い、排出ガスに及ぼす影響を調べた。温度変化については各温度でソーク後に暖機運転なしで計測を開始するCold条件と、湿度変化については各条件でWLTCモードの走行を1回行い10分後に再度走行を開始するHot条件において計測を行った。なお、計測は車載式排出ガス分析計で行った。

図3にCold条件で行った温度変化の結果を示す。LMH及びLMHExHは、それぞれ3フェーズ及び4フェーズ全体の結果を示す。CO₂排出量の比較においては-7℃における排出量が全フェーズを通して高かった。NO_xについてはLowフェーズで-7℃における排出量が高い値を示した。低温環境で排出ガス特性が悪化することは、他の研究者ら¹⁾によって報告されており、同様の傾向である。次にHot条件で行った湿度変化の結果を図4に示す。CO₂排出量についてはほぼ

同じ値を示し、NO_x排出量では違いが見られた。詳細については今後サンプル数を増やして検討を進める。

4. まとめ

車両周囲の温度湿度環境をコントロール可能な次世代シャシダイナモ設備を導入し、様々な温度湿度条件でWLTCモード走行試験を行った。その結果、温度湿度が排出ガス性能に影響を与えることが確認できた。今後は幅広い温度湿度範囲で走行試験を実施し、温度湿度が排出ガス性能に与える影響の詳細を検討する。さらに今回使用した内燃機関を動力源とする従来車のみならず、今後普及が進むと見込まれている電動車を用いた試験を行い、電動車の特性を考慮した新たな評価法などの検討を進める。これらを通じて、将来の基準策定の一助となる知見を得る。

参考文献

- 1) Jerzy Merkisz et al., "A Comparison of Tailpipe Gaseous Emissions from the RDE and WLTP Test Procedures on a Hybrid Passenger Car", SAE Technical Paper 2020-01-2217, 2020

⑫高精度ルートマッチング機能を用いた 道路上での走行車両の位置情報取得手法の開発

環境研究部

※柴崎 勇一 山本 敏朗

1. はじめに

本稿では、走行中の車両の位置情報（緯度、経度、高度）の取得に着目し、特に、高度の精度を向上させるために検討した手法について報告する。現在、車両の位置情報を取得するための手段としては Global Positioning System（以下 GPS）での計測が主流であるが、立体的に接続するジャンクションやトンネル等の構造物内において、走行している道路上の位置を正しく把握してその地点の高度を求めることは困難である。高度を把握するためには、車速計測とジャイロスコープによる車両の傾きの計測により走行中の勾配変化を計算した後、高度を算出する手法¹⁾等が存在するが、簡便であるとは言い難い。そこで、ジャイロスコープおよび加速度センサを持つ GPS ナビゲーションシステムにて取得した位置情報を元に、別途用意する道路上の緯度、経度、高度情報を有する地図を参照することによって、走行中の車両の位置における高度を簡便に取得する手法を検討した。

2. 走行車両の位置情報取得手法について

2.1 位置情報取得手法の概要

本手法は車両に搭載した GPS ナビゲーションシステムにより計測した緯度、経度情報の連続する履歴を用いて、道路上の緯度、経度、高度情報を有する地図の緯度、経度に照らし合わせて、その地点の高度情報を取得するものである。使用する地図は、高度のデータを含む地図と、日本デジタル地図道路協会および国土地理院が主体となって作成した高速道路などの建築物の高度を含む、高精度なデジタル道路地図データを合わせ持つもの²⁾を使用した。

この地図は、道路上に緯度、経度、高度等の情報を格納した点（以下、情報点）を持っており、情報点は交差点、分岐路を端点としている。また、情報点が存在する道路の情報を反映した複数の緯度、経度情報のつながりを線（以下、リンク）として記録している。

車両の高度情報の取得方法は、まず、日本国内のリンクを持つ地図データに、走行時の車両の緯度、経度を計測した点（以下、計測点）の緯度、経度を中心とした一定の範囲内にあるリンクを抽出し、車両が走行していると予想されるリンクを限定する。次に、Fig.1 の Situation1 に示すように、抽出したリンク内の連続した複数の情報点の緯度、経度を基に最小二乗法で直線（図中①）を求める。同様に、計測点についても連続する複数の計測点の緯度、経度から最小二乗法で直線を求める（図中②）。両者を比較して、その角度差が±35° 以内のリンクのみを選別する。Situation2 では例として右折時の状況を示したが、停止からの右左折においても同じ方法にて判別している。また、計測点は Fig.2 に示すように道路地図のリンクに対して、完全に同一の位置とはならないため、選別したリンクに対して、計測点に近く、最も適したリンクとその中の情報点を選別する。Table.1 に示す道路種別や車両速度等の判定基準を用いて、各リンクの評価を行い、最も評価の高いリンクを選別する。次に、選別されたリンク内の情報点の内、計測点に最も近い情報点を導き出して、その高度情報を計測点の高度とする。以上が車両の高度情報取得の流れとなる。また、トンネル等の GPS 信号が届かない場所では GPS ナビゲーションシステムが持つジャイロスコープおよび加速度センサ等を用いて補正した緯度、経度情報を計測点とした。

2.2 緯度、経度情報等の計測

今回の計測では内部にジャイロスコープおよび加速度センサを持つナビゲーションシステム（パイオニア製）を GPS 受信機として接続して緯度、経度の計測を実施した。また、車両速度、エンジン回転数、燃料噴射量等の走行車両の制御情報も車両に設置されている OBD コネクタより収集した。また、各計測項目の計測周期は 1 秒とし、各計測データは計測器上で同期できるよう構成した。

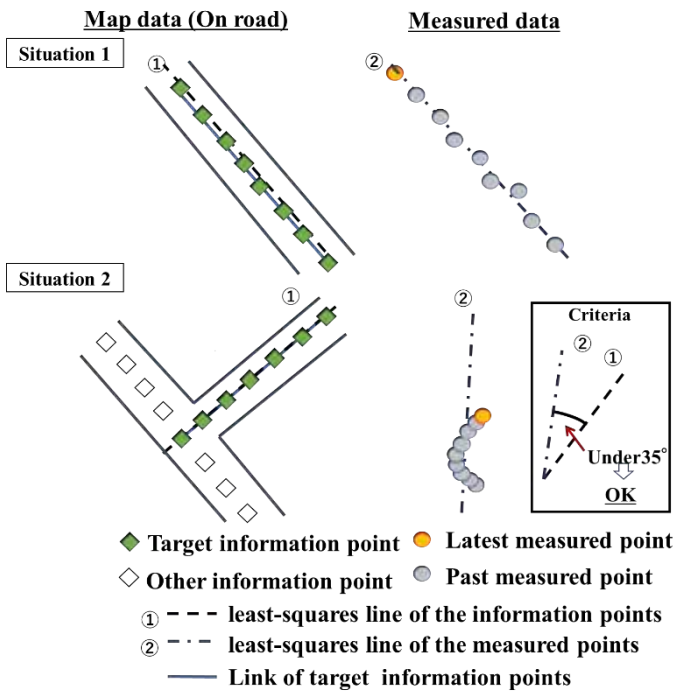


Fig.1 Comparison of link to measured data

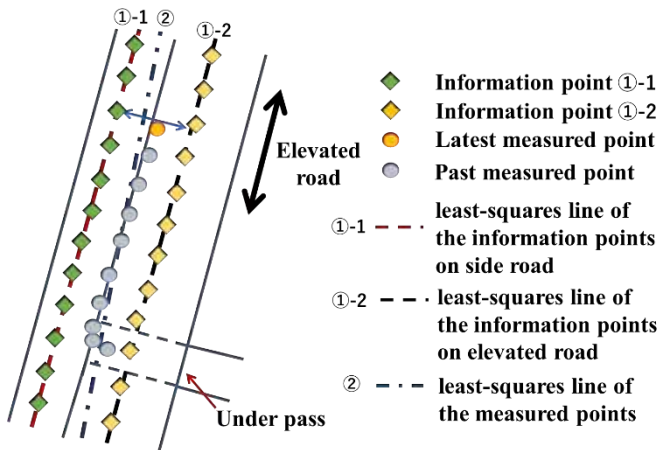


Fig.2 Example of link determine condition

3. ジャンクションでの高度取得結果

Fig.3 に横浜町田 IC を走行した時の高度の取得結果を示す。図から、走行ルート中 2 箇所（図中の○印）で本来参照すべき位置とは異なる位置の高度を参照していることが分かった。調査の結果、各リンクの評価の内、1 点前の計測点で選択したものと同じリンクであることと、1 点前の計測点で抽出した高度に対して、今回、評価対象となるリンク内の各々の情報点の高度との差が小さいことへの評価が適切ではなかった為、ジャンクション上のリンク内にある情報点の高度ではなく、高速道路本線のリンク内にある情報点の高度を最適な値として導き出していたことが分かった。今後はこれらの寄与度を再検討しつつ、他の判定項目の精査を行い、精度向上

Table.1 Optimal link evaluation items

Road information	Road classification	National, Prefectural, Highway, etc.
	Direction	Wrong way or not
	Other conditions	Elevated track, Tunnel, Crossing, Under-pass, etc
Vehicle information	Vehicle speed	30km/h over or under

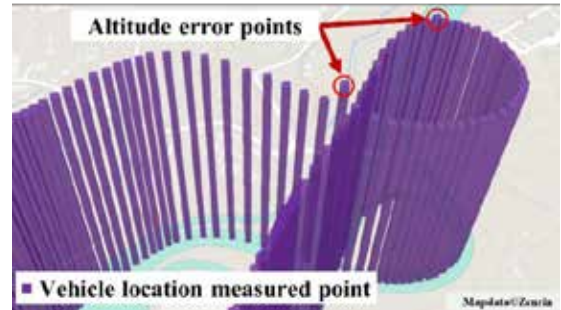


Fig.3 Calculation result at Yokohama machida IC

を進める予定である。

4. まとめ

本稿では、車両の位置情報（緯度、経度、高度）のうち、特に、高度情報を精度良く得られる手法を検討した。以下に結果をまとめる。

(1) 車両に搭載した GPS ナビゲーションシステムにより走行中に計測した緯度、経度情報を用いて、道路上の緯度、経度、高度情報を有する地図データに照らし合わせることで、車両の走行地点の高度を取得する手法を検討した。本手法はトンネル等の構造物内でも動作を可能とするために、GPS ナビゲーションシステム自身が持つジャイロスコープおよび加速度センサ等を用いて補正して出力する走行中の車両の緯度、経度情報も使用可能とした。

(2) ジャンクションでの位置情報取得結果より、走行ルートのうち 2 箇所において別の情報点の高度を取得した例が確認された。原因は、最適な情報点を抽出するための判定基準に対するリンクの評価の中で、割り振られた評価値の寄与度に不適切なものが存在した為であった。今後、リンクの判定基準を精査してさらなる精度向上を図る。

参考文献

(1) 佐藤 進, 山本 敏朗, 小川 恭弘: 実路走行による道路勾配および標高計測手法に関する研究, 自動車技術会論文集, 39 巻, 5 号, p.163-168 (2008)
 (2) インクリメント・ピー株式会社: MapFan DB 地図データベース, <https://business.mapfan.com/service/db/road.php>, (参照 2021.02.15)

⑬ 運転支援情報伝送に関する妨害対策の実列車走行実験による検証

交通システム研究部 ※林田 守正 工藤 希 長谷川 智紀 小林 貴
 東京大学 水間 毅

1. はじめに

近年、無線通信を活用した列車制御や運転支援が普及しつつあるため、その情報伝送に関する信頼性が重要になっている。本報告では、昨年度に実施した、踏切事故防止支援システムをモデルとした情報伝送への偶発的／人為的妨害の対策に関するケーススタディの内容を紹介するとともに、それを実際の列車走行実験により検証し、対策効果を確認した結果について述べる。

2. 伝送妨害のケーススタディ

2. 1. モデルとした伝送システム

モデルとした伝送システムの概念を図1に示す¹⁾。列車が接近中の踏切上又は近傍に自動車がある場合、自動車から列車に対し、各々に設置された無線通信装置（以下、「自動車側装置」及び「列車側装置」

という。）を通じて「停滞無し」又は「停滞有り」の踏切情報が伝送される。列車側装置は受信した踏切情報を処理して、運転席に設置された運転士支援画面上への表示（以下、「画面表示」という。）を行う。踏切情報が「停滞有り」で、列車が当該踏切手前の所定地点（以下、「警告地点」という。）を越えると、2.5で後述するように、列車運転士に「踏切に障害物あり！」の画面表示（以下、「警告画面」という。）で警告し、非常ブレーキ等の操作を促す機能を有する。

2. 2. 模擬的な伝送妨害の設定

2. 2. 1. 模擬的な「なりすまし」による妨害

模擬的な「なりすまし」の形態を図1に併せて示す。踏切に停滞した自動車側装置から列車に対し正規の踏切情報（停滞有り）を送信中に、この情報を第三者が傍受し、偽の踏切情報（停滞無し）に改ざんして、列車側装置に送信するという想定である。

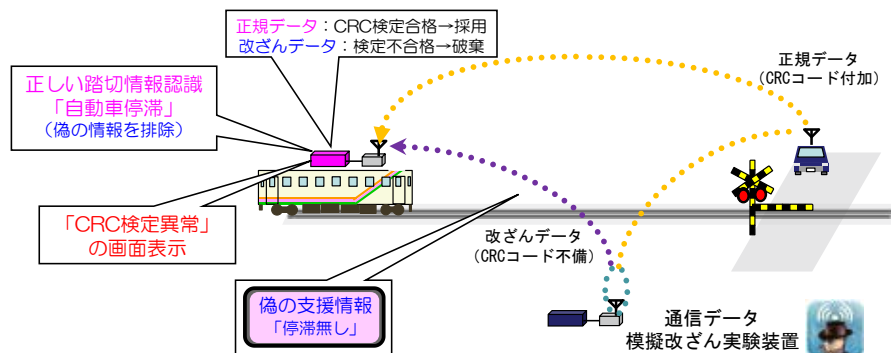


図1 モデルとした伝送システム及び模擬的な「なりすまし妨害」の概要¹⁾

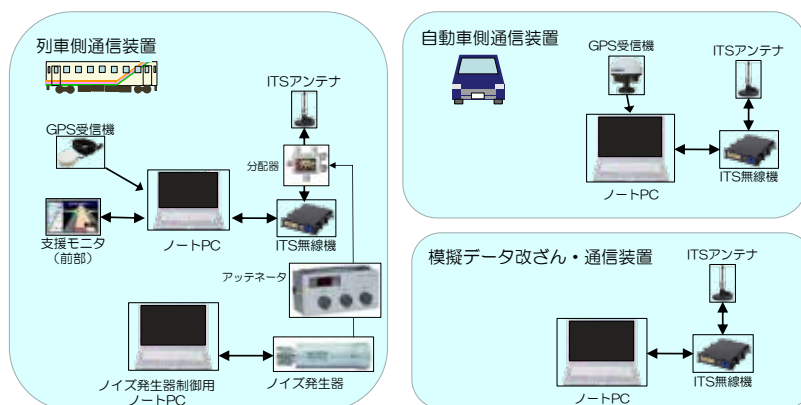


図2 実験装置の構成¹⁾

2. 2. 2. 模擬的なノイズによる妨害

踏切に停滞した自動車側装置からの踏切情報の伝送が偶発的又は意図的なノイズにより妨害され、列車側装置での受信が途絶するという想定である。

2. 3. 実験装置

実験装置の構成を図2に示す¹⁾。先年度に構築した伝送システムを一部変更したもので、無線器は700MHz帯高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport System)向の仕様を採用した²⁾。列車側装置、自動車側装置の他に、模擬データ改ざん装置を追加した。また列車側装置のアンテナと無線機の間、想定する空間ノイズと等価なノイズを模擬的に有線で印加した。

2. 4. 妨害影響の検知及び対策

2. 4. 1. データ改ざん

踏切情報に32ビットCRC(Cyclic Redundancy Check、巡回冗長検査)コードを追加し、列車側装置で受信時に検定を行う。合格した正規データのみが採用され、CRCコードが不備な改ざんデータは不合格となり破棄される。この検定不合格が生じた場合、「CRC検定異常」として検知する。なおCRC検定の有無は、毎回の実験走行毎に切り替え可能とした。

2. 4. 2. 通信途絶

あるデータセットを受信してから次のデータセット(以下、「次データ」という。)を受信するまでの時間を常時チェックし、一定値(しきい値)が経過しても受信出来ない場合は「タイムアウト」として検知す

る。また受信データの通番を常時チェックし、データの欠落のため次データの通番の飛躍が一定値を超えている場合は「通番異常」として検知する。「通番異常」は正規データと改ざんデータを同時受信した際にも生じるため、データ改ざんの検知にも有効である。

2. 5. 支援の画面表示

2.4に前述した妨害影響の検知・対策の状況を運転士に通知するための画面表示を表1及び表2に示す。

- (1) 列車が当該踏切に接近し、自動車側装置からの踏切情報の受信が可能になると、文字列「受信中」が画面①(通常運転)に追記され、画面②に遷移する。踏切情報が「停滞有り」の場合、列車が警告地点を越えると、更に表示が画面②から画面⑥へ遷移する。
- (2) タイムアウトが検知された場合は、文字列「タイムアウト」が画面①に併記される(画面③)。
- (3) 通番異常が検知された場合、文字列「通番異常」が画面①又は画面⑥(踏切に障害物あり!)に追記される(画面④又は画面⑧)。
- (4) 受信データのCRC検定不合格が検知された場合、文字列「CRC検定異常」が画面②又は画面⑥に追記される(画面⑤、画面⑦又は画面⑧)。

表1 異常検知と画面表示併記の機能¹⁾

	検知の指標	標準値	異常検知のしきい値	検知・画面追記のタイミング
CRC異常	CRC関数値(余り)	送信側と受信側の一致	送信側と受信側の不一致	送信側と受信側の不一致時点
通番異常	データ通番から次データ通番の増分	1	15番(3s相当)以上の飛躍	次データ受信(再開)時点
タイムアウト	前データ受信後、次データ受信までの経過時間	200ms	6s以上	前データ受信後、次データ未受信のまま6s経過時点

表2 運転士支援画面

a) 踏切情報：「停滞無し」(通常画面)

①基本画面	②通信中	③通信中断	④データ通番異常	⑤CRC検定異常

b) 踏切情報：「停滞有り」(警告画面)

⑥基本画面	⑦CRC検定異常	⑧CRC検定異常・通番異常

3. 実験方法

3. 1. 模擬走行実験

2章で前述した機能を確認するため、模擬走行実験を当研究所の構内において実施した¹⁾。走行コースの設定を図3に示す。列車は実験用自動車で、停滯自動車は定置架台で、踏切は舗装路面上のマーキングでそれぞれ模擬した。走行コースは、実列車走行に対し距離を1/4又は1/2に縮尺した2種類の区間(区間①：起点①→起点②及び区間②：起点②→模擬踏切)を設定し、縮尺に応じた低速走行を行った。

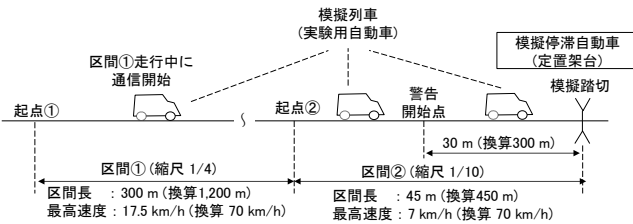


図3 模擬走行実験のコース

3. 2. 実列車走行実験

3.1.に前述した模擬走行実験で確認した機能を検証するため、実列車走行実験を地方鉄道の営業路線において実施した。実験の状況を図4に示す。2.3.に前述した装置を実験用の列車及び自動車に設置し、実験走行区間内の踏切の近傍に自動車を駐車させて踏切内停滯を模擬し、また模擬データ改ざん装置を自動車の近くに配置したうえで、列車を踏切に向けて走行させた。なお、先年度に先行的な実列車走行実験を行い、その結果を2.4に前述した検知、対策に反映した。



図4 実列車走行実験の状況

4. 実験結果

4. 1. 模擬走行実験による機能確認

模擬走行実験による機能確認の主な結果を表3に示す。機能確認の結果は概ね良好であった。

表3 模擬走行実験による機能確認の結果

No.	走行区間	踏切情報	模擬妨害	運転士支援画面表示の確認事項	結果	備考
1	①	停滯無し	無	通信可能となった時点で画面①から②へ遷移	OK	模擬列車の進行に伴い通信可能となる
2	①	停滯無し	無	通信中から再び通信無しとなった場合、画面②から画面①、③へ遷移	OK	通信断がしきい値以上に継続した場合
3	①	停滯無し	無	通信が復旧した時点で画面①又は③から画面④へ遷移	OK	しきい値以上の通番飛躍があった場合
4	②	停滯有り	無	・警告点以遠では画面②を表示 ・警告点を越えると画面⑥に遷移	OK	本来の機能
5	②	停滯有り	なりすまし (CRC検定無)	・警告点以遠では画面②を表示 ・警告点を越えると画面②と⑥の交互表示に遷移	OK	正規データと改ざんデータを同時採用
6	②	停滯有り	なりすまし (CRC検定有)	・警告点以遠では画面⑤を表示 ・警告点を越えると画面⑦又は⑧に遷移	OK	なりすましの存在通知および改ざんデータの破棄
7	②	停滯有り	ノイズ	・警告点以遠では画面②を表示 ・警告点を越えると画面⑥に遷移 ・ノイズ印加時に画面①、③又は④に遷移	OK	ノイズは画面⑥表示中に印加

4. 2. 実列車走行実験による検証

実列車走行実験による検証の主な結果を表4に示す。模擬走行実験と比べて実験走行回数の制約が大であったが、検証の結果は概ね良好であった。

5. 考察と今後の方向性

5. 1. 妨害への対策の効果について

5. 1. 1. 「通信中」の併記

列車の踏切への接近に伴う、通常画面への「通信中」の追記(画面①から②への遷移)については、停滯の有無に関わらず、踏切近傍の自動車の存在が運転士に伝達され、直後に警告画面に切り替わる可能性(画面⑥に遷移)を意識させる効果が検証された。

5. 1. 2. なりすまし妨害対策

「CRC 検定異常」の追記(画面⑤⑦⑧)については、改ざんデータは破棄されているものの、妨害の存在を意識させる効果が検証された。なお本実験では、CRC 検定無しの設定では改ざんデータと正規データの同時受信により通常画面と警告画面の交互表示となり、即座になりすまし妨害を認識できた。しかし改ざんデータの受信レベルが正規データより十分に高いと改ざんデータのみを受信し、通常画面の表示が継続することが懸念される。そのような場合、「CRC 検定異

表4 実列車走行実験による検証の結果

No.	走行方向	踏切情報	模擬妨害	運転士支援画面表示の確認事項	結果	備考
1	上り (南向き)	停滞 有り	ノイズ	・通信可能となった時点で画面①から②へ遷移 ・警告点を越えた時点で画面②から⑥へ遷移 ・ノイズ印加時点で画面⑥から①へ遷移 ・ノイズ印加を停止した時点で画面①から⑥へ遷移	OK	画面⑥に遷移後にノイズ添加、その後添加停止
2	下り (北向き)	停滞 有り	無	・通信可能となった時点で画面①から②へ遷移 ・警告点を越えた時点で画面②から⑥へ遷移	OK	ノイズ妨害無しの動作を確認
3	上り	停滞 有り	なりすまし (CRC検定無)	・通信可能となった時点で画面①から②へ遷移 ・警告点を越えた時点で画面②⑥の交互表示へ遷移	OK	正規データと改ざんデータを同時採用
4	下り	停滞 有り	なりすまし (CRC検定有)	・通信可能となった時点で画面①から⑤へ遷移 ・警告点を越えた時点で画面⑦または⑧へ遷移	OK	改ざんデータを破棄し正規データのみを採用すると共に、なりすましの存在を通知
5	上り	停滞 有り	なりすまし (CRC検定有)	・通信可能となった時点で画面①から⑤へ遷移 ・警告点を越えた時点で画面⑦または⑧へ遷移	OK	改ざんデータを破棄し正規データのみを採用すると共に、なりすましの存在を通知

常」の追記（画面⑤）による、表示の真偽に関する注意喚起が有効であると考えます。

5. 1. 3. ノイズ妨害対策

対策無しの場合は、通信の成否自体が表示されないため、ノイズ妨害の存在を認識できない。これに対し、対策有り（「通信中」の消去（画面①）、「通番異常」又は「タイムアウト」の追記（画面③④））では、一時的な通信途絶を容易に視認できるため、「停滞有り」情報の見逃しや画面表示遅れに関する注意を喚起し、ノイズ妨害の悪影響を低減する効果が期待できる。

5. 2. 支援に必要な通信距離について

列車側装置と自動車側装置との通信が安定し支援画面が確定した地点（「以下、「通信安定地点」という。）から、踏切までの距離及び到達時間を図5に示す。距離はアンテナを室外（運転室窓外）に取り付けた場合は概ね400m前後であったが、室内（客室窓際）に取り付けた場合は200～300mに留まり、踏切到達までの時間も短くなった。供試車両の当該線区における非常ブレーキ距離は最長で約300mであるため、「停滞有り」の場合は少なくともそれ以遠で警告画面（画面⑥）が表示されるよう、アンテナ取付は室外の最適な

位置を選定することが重要である。また同一の踏切であっても、実験走行毎の通信安定地点との距離のばらつきが大きかったため、本実験で試行したITS無線通信仕様の鉄道への応用の可否については、使用条件の差異や無線環境を含め、更に検討が必要と考える。

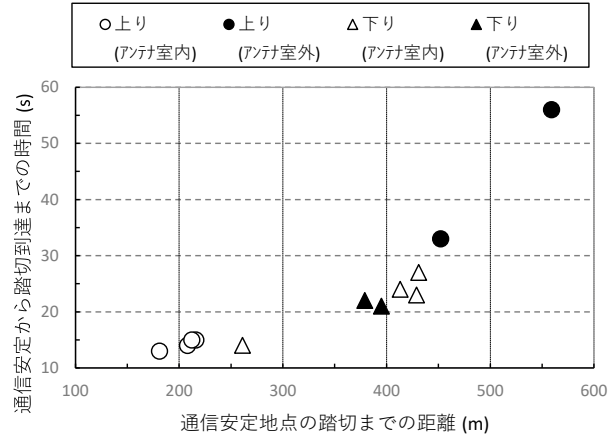


図5 支援時点の踏切までの距離及び時間

5. 3. 実用化に向けて

実用性の点からは、本実験で設定した、画面表示への文字列の追記は、シンボルマーク化等の最適化を検討する必要があると考える。そのうえで、運転士を対象としたモニタ調査等による検証を重ねたい。また、検知機能の画面表示以外への応用も検討したい。

6. まとめ

列車制御や運転支援に利用される無線通信に対する妨害に関し、既存システムをモデルとしたケーススタディを行った。検知、対策の機能を模擬走行実験により確認し、実列車走行実験により検証した。本報告で対象とした妨害はIEC 62280に挙げられる7種類の脅威と対策³⁾の内の2種類であるが、他の5種類の脅威についても検討を重ねる等、情報伝送システムの妨害対策に関する評価法の確立に取り組んでいきたい。

最後に、本実験の実施及びデータ解析に多大な御協力、御支援を賜った関係各位に深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 林田守正ほか，“列車運転支援情報伝送の妨害対策に関する検討”，交通安全環境研究所フォーラム2020講演概要集，pp.43-46（2020）
- 2) （一社）電波産業会，700MHz帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 .1.0版（2012）
- 3) IEC 62280 Edition 1.0 2014-02

⑭ 鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法について

交通システム研究部 ※長谷川 智紀 工藤 希 山口 大助 一柳 洋輔

1. はじめに

鉄道から発生する磁界については、平成24年7月に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が改正され、鉄道電気施設に係る測定方法及び基準値が定められたところである。一方、鉄道車両については、国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission)の国際規格 IEC 62597¹⁾において測定法に関する規格が定められているものの、国内での基準値は定められていない状況である。

交通安全環境研究所では鉄道車両から発生する磁界について、客室内²⁾及び車両外側における発生傾向について検証を行ってきた。そこで、本報告では車両外側における鉄道車両から発生する磁界の測定において、測定結果へ影響を与える原因について検証を行ったので、報告する。

2. 鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法

鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法は、前述の IEC 62597 に定められている。IEC 62597 における鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法を表1及び図1に示す。

IEC 62597 では、図1の構成において、車両の磁界発生源に可能な限り近い位置において、以下に示す車両状態で測定することが求められている。

- ・動力回路は通電されているが、作動していないこと。
- ・補助回路は作動し、関係する機器は動作させていること。

3. 鉄道車両の外側に発生する磁界の測定

3. 1. 測定条件

磁界測定及び解析時の周波数範囲等の条件は、IEC 62597 に準拠した範囲とし、以下の通りとした。

- ・周波数範囲 : 直流～20 kHz
- ・サンプリング周波数 : 51.2 kHz
- ・周波数間隔 : 1.56 Hz

表1 IEC 62597 に規定されている測定用プローブ

	要件
直流磁界	・等方性3軸プローブ
交流磁界	<ul style="list-style-type: none"> ・3つの直交ループを備えた3軸プローブ ・サーチコイル面積は100cm² ・測定帯域は少なくとも5～20kHz ・なお、次のセンサを使ってもよい。 <ul style="list-style-type: none"> ・IEC 61786 に準拠した3軸のフラックスゲート方式のセンサ ・測定帯域は少なくともDC～20kHz

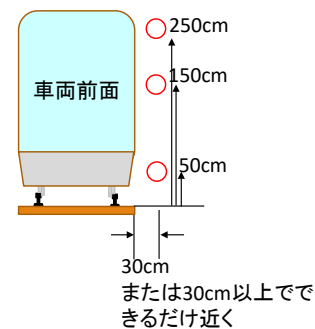


図1 IEC 62597 に規定されている鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法

- ・周波数解析時の時間窓長 : 0.64 秒
- ・時間窓関数 : Hanning 関数
- ・オーバーラップ : 0%

3. 2. 車両の状態

鉄道車両の外側に発生する磁界の測定において、IEC 62597 では前述のとおり車両は停止している状態で測定を行うこととしている。一方、発生源が特定しづらい状況であることから、当研究所では IEC 62597 に規定されている方法に加え、次に示す条件において測定を行うこととした。

- ・車両端から50cm間隔で車両周辺を測定(図2参照)

また、IEC 62597 では、車両は静止状態で測定することが規定されているが、踏切等では車両の加速また

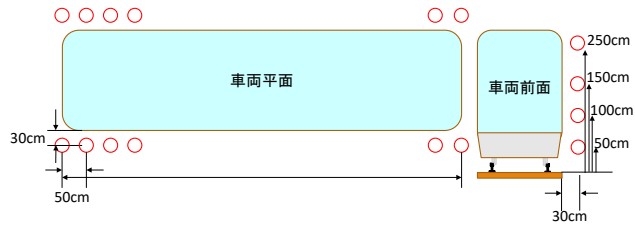


図2 静止状態における鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法

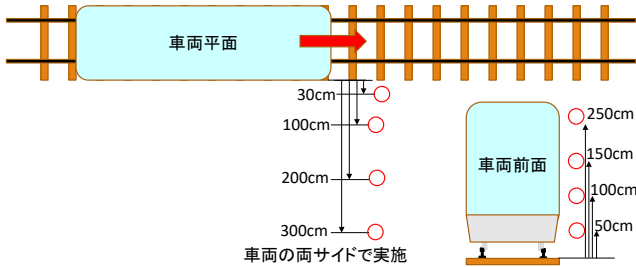


図3 加速状態及び減速状態における鉄道車両の外側に発生する磁界の測定方法

は減速により、動力回路が作動している状態が考えられる。そのため、鉄道車両の外側に発生する磁界の測定においては、鉄道車両の加速状態及び減速状態において測定することを加えることとした。鉄道車両の加速状態及び減速状態における測定方法を図3に示す。

3. 3. 測定結果

上記方法により測定した例を図4、図5に示す。

3. 4. 測定における注意すべき点

IEC 62597にも規定されているが、車両の外側及び線路脇にある磁界発生源は測定結果に影響を与える可能性がある。

当研究所で実施したこれまでの測定において、鉄道車両の外側に発生する磁界の測定に影響を与える可能性がある磁界発生源は次の通りである。

- ・き電線
- ・負き電線

これらは、線区にもよるが1000A程度の電流が流れる可能性があり、図6に示す通り、数m離れた場合においてもDCにおいて数十 μ Tの磁界を発生させる可能性がある。

4. おわりに

鉄道車両外側における、鉄道車両から発生する磁界の測定において、測定方法及び測定結果へ影響を与える原因について述べた。当研究所ではこれらの方法により、引き続き鉄道車両外側における磁界の

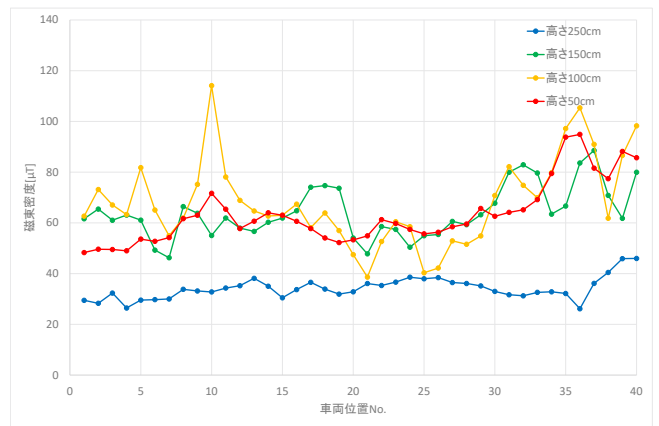


図4 静止状態における測定例

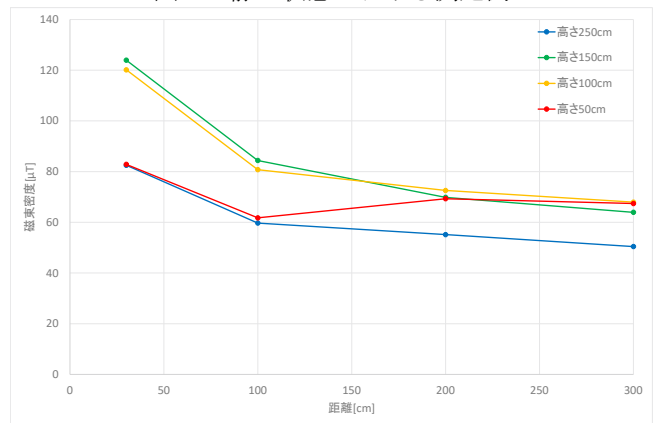


図5 加速状態における測定例

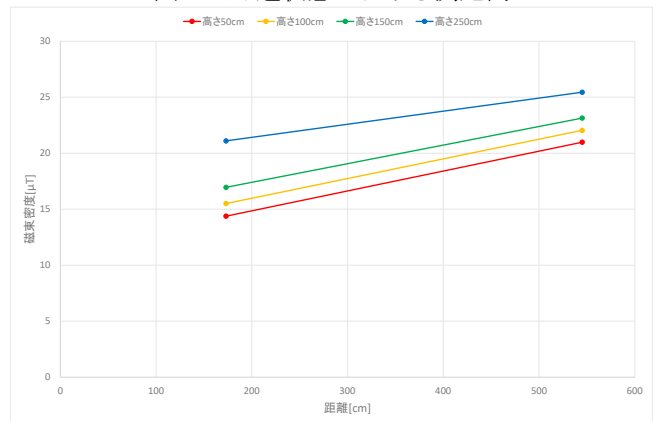


図6 き電線の影響例 (シミュレーション)

発生傾向について検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) IEC 62597:2019 Ed.1.0: “Magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure - Measurement procedures”
- 2) 長谷川ら, “鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための磁界測定と鉄道車両における磁界の発生傾向”, 交通研フォーラム 2015 講演概要, pp.57-60 (2015)

⑮ 新しい列車制御システムを対象とした安全解析について

交通システム研究部 ※工藤 希 長谷川 智紀 林田 守正

1. はじめに

交通安全環境研究所では、第三者機関として国内外の列車制御システムに対する安全性評価をこれまでに実施してきた。近年では、新しい列車制御システムの導入・検討が進んでいることから、これに対応する安全性評価手法を検討したので、報告する。

2. 安全性評価とは

鉄道信号分野における安全性評価とは、新しいシステムや改修したシステムに対して、技術的な観点から安全上の問題がないか評価を行うものである。近年、鉄道システムを輸出する際、安全性を相手先に証明する方法として、メーカーはその製品の第三者評価を受けることが一般化している。この第三者評価には、安全性評価と、機能安全関連の国際規格への適合性評価／認証とに大別される。本稿では、前者を対象としている¹⁾。安全性評価のうち、評価の依頼者である事業者・メーカー等が作成した、設計仕様に対して評価を行うものを設計安全性評価という。基本的な手順は、まず、評価範囲を定め、その後、依頼者から提出された技術内容及び設計仕様、定量的なリスク分析、及びシステムの安全管理方法等に対し妥当性の評価を行う。

3. 無線を使った新しい列車制御システム

3. 1. 無線を使った列車制御システムの概要

近年では、列車位置及び進行方向等の伝送に無線を使うなど、新しい列車制御システムの導入・検討が進んでいる。この無線を用いた列車制御システムは、統一的な仕様はないものの、国内においては、都市鉄道向け無線式列車制御システム（CBTC）仕様共通化検討会とりまとめ²⁾等により、導入・検討が円滑に進むような検討がなされている。無線を使った列車制御システムのイメージを図1に示す。従来の列車制御では、軌道回路及び地上子等の地上装置で列車検知し、制御も地上装置主体であることが

多いが、無線式では、列車の位置演算を車上でを行い、地上装置から無線伝送により進路情報及び停止限界点等の情報を得て、停止限界点までのパターン制御を可能とする。

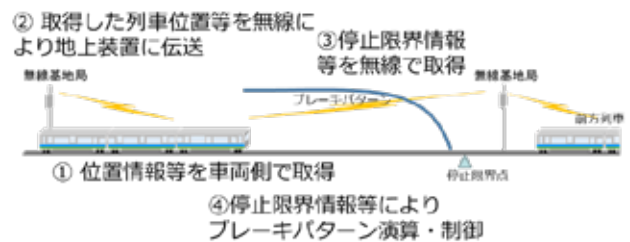


図1 無線式列車制御システムのイメージ

一般に、軌道回路を用いた従来の信号保安装置では、装置が故障した場合でも列車の在線状態となるため安全側であった。軌道回路を使わない場合、一部の装置が故障して列車位置が不明になってしまった際の、安全をどう担保するかが課題となる。また、無線式列車制御は列車密度や運転の考え方によって、情報更新間隔（地上制御装置及び車上制御装置の処理周期（制御周期）、制御装置間の伝送周期、並びに伝送品質によって定まる間隔）が異なるため、設計安全性評価を行う際に画一的な手法を取りにくいことが課題である。

3. 2. 無線式列車制御システムを対象とする安全性評価の課題

無線式列車制御システムを対象とする場合、設計安全性評価の主なポイントは、以下が挙げられる。

- ① 軌道回路式の安全性と同等の列車在線検知、閉そくの確保
- ② 無線通信の信頼性、安定性
- ③ 車上装置／地上装置の故障による影響と非安全事象の発生頻度
- ④ 無線通信途絶時の安全性担保
- ⑤ 制御データ伝送の確実性
- ⑥ 無線通信に関するセキュリティ

⑦ 国際規格との関連

このうち、②、④及び⑥については、無線を用いることによる新たな項目と言える。⑤及び⑦は従来通りであるが、無線を使うことに注意をして評価を行う必要がある。さらに、①、③及び④については、従来の列車制御と比べ、車上装置/地上装置への機能の割付が異なることから、設計安全性評価の範囲を決定する上で特に注意が必要であると考えられる。また、通信を伴うため、タイミングなど、今までの安全性解析では評価の対象にならなかったものが対象になり得るようになり、新たな解析手法の追加の必要性が高まってきた。

4. STAMP/STPA を使った安全性評価の検討

4. 1. STAMP/STPA とは

STAMP/STPA (System Theoretic Accident Model and Processes /STAMP based Process Analysis)は機器の相互作用及び時間的遷移を伴うなどの複雑な事象の解析を得意とする安全解析手法である³⁾。従来の設計安全性評価にはFTA (Fault Tree Analysis) 及びFMEA (Failure Mode and Effects Analysis)等の安全解析手法を用いてきたが通信タイミングの考慮が難しい。またFMEAは、部品レベルでの詳細な解析を得意とするため、詳細な仕様が決まっていないと解析しにくい。一方、STAMP/STPAは概要レベルの情報でも解析できることが特徴である。そのため今回はSTAMP/STPAを用いた検討を行った。

4. 2. 無線式列車制御システムを対象とした検討

図1にあるような簡単な無線式列車制御のイメージに対し、STAMP/STPAによる解析を行った。表1にアクシデント・ハザード・安全制約の表を、図2にコントロールストラクチャを示す。ここでは簡易的に、車両の中を車上装置と車両（モータ、位置検知装置を含む）に分けて記載した。

ここで、図2において自車両への停止指示の誤りについて考えると、停止すべきタイミングで停止指示が出力されないことは、表1のSC1違反となる。その原因を検討するため、自車両の車上装置に関するコントロールループ図を図3に示す。図3には、考えられる原因を記載しているが、このうち(3),(4)が無線伝送に関わる項目であることが分かる。このように、新しい列車制御システムの安全性評価の場合、最初にSTAMP/STPAを行うことで、システム全体

のどこに安全上の課題があるのか、俯瞰することができる。

表1 アクシデント・ハザード・安全制約

アクシデント	ハザード	安全制約
(A1) 前方列車との衝突	(H1) 停止すべきタイミングで停止指示がでない	(SC1) 停止すべきタイミングで停止指示がでないといけない



図2 コントロールストラクチャ

停止すべきタイミングで停止指示が出力されない (SC1違反)

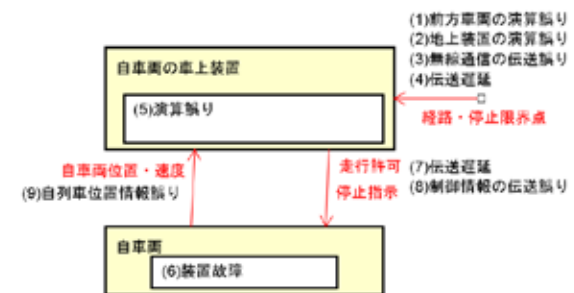


図3 コントロールループ図の例

5. おわりに

本稿では、近年導入・検討が進んでいる無線式列車制御システムをはじめとする新しい列車制御システムに対して、設計安全性評価を行うための課題を整理し、STAMP/STPAを用いたリスク分析の一例を示した。今後は、さらに検討を進め、新しい列車制御システムに対する安全性評価を進めていきたい。

参考文献

- 1) 林田他, “鉄道信号システムの設計安全性評価に関する新たな取組”, 交通安全環境研究所フォーラム 2018 講演概要集, pp.55-58 (2018)
- 2) 都市鉄道向け無線式列車制御システム(CBTC)仕様共通化検討会, “都市鉄道向け無線式列車制御システム (CBTC)仕様共通化検討会 とりまとめ”, (2021)
- 3) システム安全性解析手法WG, “はじめてのSTAMP/STPA～システム思考に基づく新しい安全性解析手法”, (独)情報処理推進機構, (2016)

⑩ 支柱通過前後の索道搬器のロール振動に関する考察

交通システム研究部 ※一柳 洋輔 森 裕貴 山口 大助
千島 美智男 緒方 正剛 押立 貴志 (客員研究員)

1. はじめに

索道では、運転中の加減速や風等によって搬器が動揺し、線路中の近接する支柱等の建造物、地表面等と接触することのないよう、搬器とこれら建造物等とは一定の間隔を確保している。本研究では、搬器が建造物と接触した事象を受け、動揺測定と運動シミュレーションをもとにそのメカニズムを分析し、ワイヤロープの撓みや振動が搬器のロール振動（進行方向軸まわりの回転）に与える影響を考察したので報告する。

2. 事象の概要

図1に示す3線交走式索道において、終点駅に向かって通常で運行中の搬器が、支柱Bを過ぎた箇所で切土法面(以下、壁面という)に接触した。搬器が壁面に接触するには搬器のロール角は約10.6度発生したことになる。

支柱Aに設置された風速計は当日の営業運行開始前に5~6 m/sを示した。支柱Bには風速計は無いが、支柱前後は両側が壁面となっているため搬器のロール振動を助長する風向の風は小さいと推定される。

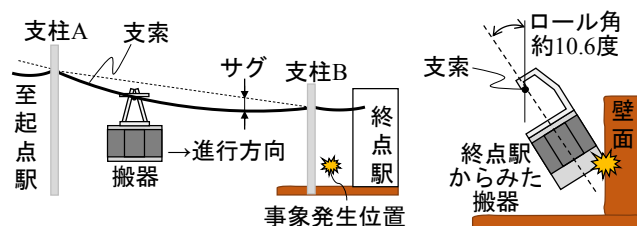


図1 索道施設および壁面との接触事象の概要

3. 走行中の搬器の動揺測定

索道事業者の協力のもと、当該搬器客室内の床面中心に慣性センサを設置し、搬器のロール角を全線にわたり連続的に測定した。動揺測定時の積載条件は、接触事象の発生当時の状況に合わせた。

図2には全線にわたる走行のうち支柱A通過以後の搬器のロール角の推移および同波形の時間周波数解析の結果を示す。搬器の荷重を負担する支索は自重

と搬器による局所荷重によって撓み、支柱の中間付近では撓み量（サグ量）が大きく、支柱付近では小さい。サグ量の大きい支柱Aと支柱Bの中間付近では支索自体の振動と搬器の振動とが相互に影響し合い、複雑な振動が生じている。

動揺測定の日には常時風が弱く、ロール角の値は全体を通じて小さいが、支柱Bへの接近に従って搬器のロール振動周期が短くなり振幅は増大している。

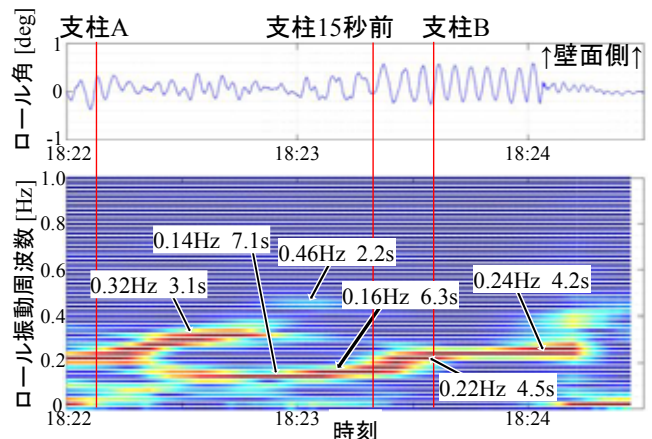


図2 搬器のロール角の推移と時間周波数解析

4. 接触事象の発生するメカニズムの考察

動揺測定の結果に基づき、接触事象の発生原因を以下のように推定し、その概要を図3に示す。

支柱間を走行中に風による外力を受けて搬器の傾斜が発生した後、サグ量の変化に伴う支索の振動の変化の影響を受け、搬器のロール振動は複雑になり、かつ搬器の振動周期は徐々に短くなった。支柱Bへの接近に従って、支索のサグ量が小さくなり、支索自体の運動のエネルギーは支索を支点とした搬器のロール振動に集約された。支柱Bでは支索が支持され、支索の振動が抑制されたため搬器は支索の振動の影響を受けずに、支柱Bに達した時点でそれまでに集約されたエネルギーによって搬器のロール振幅が最大となった。支柱通過後も搬器のロール振動が持続して、搬器が壁面に接触する事象に至ったと推定される。

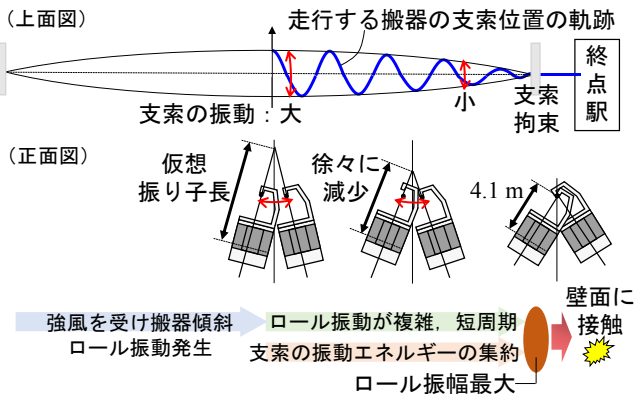


図3 壁面との接触に至る原因の考察

5. 搬器の運動シミュレーションによる検証

搬器の運動シミュレーションを行い、支索のサグ量と振動が搬器に及ぼす影響を確認する。例示するパラメータは動揺測定の結果から推定した。

5. 1. 振り子長変化の影響

支索のサグ量が大きくなる支柱の中間付近では、支索と搬器が一体の、長さ 16.3 m の振り子として振動し、支柱位置では搬器単体の長さ 4.1 m の振り子になると仮定する。支柱間から 45 秒かけて搬器が支柱に到達するまでのサグ量の変化を、振り子長の時間変化として模擬したシミュレーションを行う (図4)。

搬器ロール角の推移を図4右下に示す。支柱間の3/4位置の付近では振動の周期は6.3秒であるが、支柱近傍では搬器のロール固有振動周期に等しい4.1秒まで減少し、振幅は初期の4度から11.4度まで増大する。この支柱前後における振動周期の変化は、図2に示した実測結果とほぼ一致することを確認した。

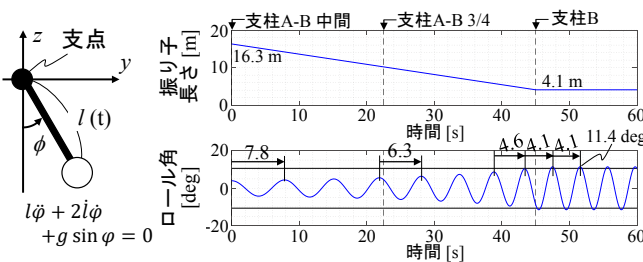


図4 振り子長が変化するシミュレーション

5. 2. 支索の左右振動の影響

支索と搬器とが同調せず一体の振り子とならない場合として、搬器を集中質量、支索を振り子の支点とする図5左のモデルで運動解析を行う²⁾。振り子の支点到左右方向の強制変位を与えることで、撓んだ支索が左右に振動する様子を模擬する。風の外力により支

索が左右に 0.21 m 変位し、搬器が 7 度傾斜した状態で壁面のあるエリアに進入した時点初期状態とする。その後は風の影響を受けない搬器は自由振動を開始する。支柱への接近に従い支索のサグ量が減少する状況を想定し、支索は周期 4.5 秒で振動しながら支柱に到達する 15 秒の間に拘束する (図5右上)。

搬器のロール振動応答の結果を図5右下に示す。支索からの変位加振を受け、支索の拘束後には搬器のロール振幅は壁面との接触に至る 11 度まで増大する。以上より、搬器が傾斜した状態から支柱に接近する際には、風以外の要因として、支索の振動の影響を受けて搬器の動揺が増幅する場合があることを確認した。

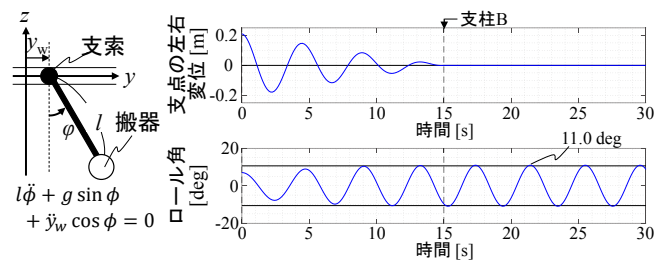


図5 支点が左右振動するシミュレーション

6. まとめ

風の外力により傾斜した搬器が支柱へ接近する際、支索のサグ量および支索の振動の影響が支柱への接近に従って複雑に変化したため、搬器が壁面と接触する程のロール振幅に成長したと推定される。

今回は動揺測定や数値解析に基づき分析を行ったが、搬器の動揺や運行に関する情報をモニタリングすれば、事故や異常が発生した際にその原因を迅速に特定することができると考えられる。またリアルタイムのデータから異常を検知し、運転の停止や点検整備へつなげることも期待できる。今後は、現在一般的に設置されている風速計などの既存の計器類のほか、近年では小型高性能化した慣性センサを新たに活用するなど、運転中の搬器動揺や各種保安設備のモニタリング手法についての研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本鋼索交通協会, “索道施設設計標準・管理標準及び同解説 2018年改訂版” (2018)
- 2) 一柳ほか, “索道のロープ振動が搬器のロール振動へ及ぼす影響の一考察”, 日本機械学会関東支部第27期総会・講演会, No. 11F01 (2021)

■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3年度 交通安全環境研究所フォーラム 2021 講演概要

令和3年11月29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促進等に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可

本誌はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [Aランク] のみを用いて作製しています。

