

令和元年度
交通安全環境研究所フォーラム 2019
講 演 概 要

2019. 11. 21, 22
イイノホール&カンファレンスセンター

独立行政法人 自動車技術総合機構



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を実現するため、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。さらに、少子高齢化・労働力不足の進行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海外においても生産されるとともに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、「新たな課題や国際化への対応」というテーマを掲げ、二日間の日程で行います。

まず、行政や外部の専門家をお招きして、最新の動向等についてご講演いただきます。

また、交通安全環境研究所からの発表として、自動運転車に係る安全性評価や認証業務への取り組み、地方鉄道におけるインフラ保守の効率化に資する研究といった新たな課題への対応や、海外への鉄道輸出促進等に資する規格適合性評価に関しその国際規格の動向、対歩行者の事故防止及び衝突事故の被害低減に資する取り組みといった国際化への対応についてご紹介いたします。同時に、ポスターセッションにおいて、最新の研究成果などについて幅広くご紹介いたします。

ご来場の皆様から忌憚のないご意見をいただくことにより、交通安全環境研究所の活動をさらに充実・発展させ、社会的な期待と信頼に応えていく所存でございます。

今後とも、皆様方のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

令和元年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 角 直 樹

11.21講演タイムテーブル

(開場9:30)

10:00~10:05	開会の挨拶		交通安全環境研究所長 江角 直樹
10:05~10:20	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
10:20~11:05	招待講演	鉄道技術行政における最近の動向 国土交通省鉄道局 技術企画課 技術開発室長 東平 伸	
11:05~11:30	講演1	レール横圧载荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討 上席研究員 緒方 正剛	横圧方向の荷重をレールに載荷でき、かつ、載荷荷重に対する軌間の変化を測定できる治具を製作し、この治具を用いることによって締結状態の良否を評価する方法を検討した。実験用軌道における実験及び現地実験によって、横圧载荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、締結状態を含むまくらぎの不良を判断できる可能性を検討したので結果を報告する。
11:30~11:55	講演2	車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価に関する取組 主任研究員 山口 大助	地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、列車の位置検知を正確に行う軌道回路の維持や更新が大きな負担となっている。この課題に対し、軌道回路によらない車上主体型の列車位置検知技術として、当研究所ではこれまで衛星測位システム（GNSS）の活用を検討してきたが、この過程でGNSSの測位精度が課題となった。本発表ではGNSSを補完するシステムを含む車上主体型の列車位置検知技術の評価手法等に係る検討の取組を紹介する。
11:55~12:20	講演3	新たな安全設計手法を用いた鉄道信号の設計安全性評価に関する取組 主任研究員 工藤 希	海外向け鉄道システムの設計安全性評価に関し、当研究所ではこれまでの実績に基づき、国際規格との調和や規格適合性評価等との関連について検討してきた。一方、複雑化した鉄道信号システムに対応するためには、従来のFTA（Fault Tree Analysis）／FMEA（Failure Mode and Effects Analysis）等の手法に加え、STAMP（System Theoretic Accident Model and Processes）／STPA（System Theoretic Process. Analysis）の活用が有効と考えられる。本稿では、STAMP／STPAに関する取組を紹介する。
12:20~13:30	昼休み（ポスターセッション）		
13:30~13:45	鉄道認証室における最近の活動概要		鉄道認証室長 山崎 輝
13:45~14:10	講演4	規格適合で求められるトレーサビリティの重要性について 主席研究員 長谷川 智紀	近年、海外における鉄道関連プロジェクトにおいて、国際規格への規格適合が求められることが増えてきた。特に、RAMS規格として知られているIEC 62278、SafetyCase規格で知られているIEC 62425、そしてソフトウェア規格として知られているIEC62279が求められる。これらに共通して要求されるものとして、トレーサビリティがある。本講演ではトレーサビリティの重要性とともに、階層的な仕様が求められる意義を紹介する。
14:10~14:35	講演5	規格適合におけるRAMS規格の現状と今後の動向について 客員専門調査員 服部 鉄範	近年の鉄道関連プロジェクトにおいて、システムのハード・ソフトの安全性に関するエビデンスだけでなく、システム構築のプロセスについても実証が求められるケースが多い。その際、最も多用されるのがRAMS規格（IEC 62278／EN 50126）である。本講演では認証及び規格適合性評価におけるRAMS規格の適用の現状と解釈の例、また2017年に欧州規格が改訂されたことに伴う、今後の動向を紹介する。
14:35~15:00	講演6	鉄道信号保安装置における通信と国際規格の活用 客員専門調査員 森 崇	IPネットワークの活用、クラウド化が進む現在、鉄道保安装置においてもその流れが加速しつつある。通信と鉄道保安装置の融合が進む今、IEC規格の中でも鉄道において現在広く活用されているIEC62280の適用方法について、またこの規格を活用するに当たり必要なライフサイクル管理について、実際のシステム構築を行う上での留意すべき点とともに紹介する。
15:00~15:05	事務局 連絡		

ポスターセッション

15:05~16:30

カンファレンスセンターRoomAでは、本講演の内容に加え、より幅広いテーマでの最新の研究成果をパネル展示しております。ポスターセッションの時間では、説明パネルの前に担当者が待機しており、ご説明・意見交換をさせていただきます。また、この時間以外にも、昼休みとコーヒープレイクの時間に担当者が待機しておりますので、ぜひお立ち寄りください。

※展示ポスターのタイトル一覧は、中面3ページ目をご覧ください。



11.22講演タイムテーブル

(開場9:30)

10:00~10:05	事務局 連絡	
10:05~10:20	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 一郎	
10:20~11:05	招待講演1	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 国土交通省自動車局 環境政策課長 山崎 孝章
11:05~11:30	講演1	電気重量車の電力消費率を高精度に評価するための新たなHILS試験手法の検討 主任研究員 奥井 伸宜 電気重量車（EV）の今後の普及に備え、現在、HILS（Hardware In the Loop Simulation）を用いたEV試験法の整備が進められている。この際、EVのバッテリーは、モデル化され扱われる。しかし、バッテリーは劣化する、車両走行時は温度が変化する等、実使用時のバッテリー状態をモデルで再現することは難しい。そこで、実バッテリーとHILSをリアルタイムに協調制御させた新たなHILS評価手法を検討した。
11:30~11:55	講演2	後退時警報装置の基準化に関する国内外の動向 主任研究員 宝渦 寛之 大型車等に取り付けられている後退時警報装置については、現在、国際的な枠組みにおいて、新たな基準制定が進められている。この後退時警報装置については、対歩行者の事故防止に一定の効果がある一方で、比較的大きな音量を発することから、周辺住民等の苦情の原因となりうる。そのため、適切な音量を検討しつつ、あわせてカメラモニタリングシステム等の他の安全装置による安全も比較考量のうえ、国際的な議論が行われている。本講演では、国際的な基準制定の動向と、交通安全環境研究所の取組について紹介を行う。
11:55~13:10	昼休み（ポスターセッション）	
13:10~13:35	講演3	自動車認証審査部における取組の概要について 自動車認証審査部長 是則 武志 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。
13:35~14:00	講演4	リコール技術検証業務の現状と今後の取組 リコール技術検証部長 堀江 暢俊 リコール技術検証業務に関して、「不具合情報の分析」、技術検証」、「車両調査」、「ユーザーへの注意喚起への取組」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（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。
14:00~14:15	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	
14:15~14:40	講演5	自動車の新たな歩行者頭部保護に関する研究 主席研究員 田中 良知 日本の交通事故死亡者数の低減のためには、割合の最も高い歩行中死亡者数の低減が重要である。歩行中死亡事故では頭部を受傷する事例が最も多い。そして、歩行者保護基準の頭部保護試験範囲外の部位に頭部が衝突している事例が多いと考えられる。今回、歩行者頭部保護試験範囲外で加害性が最も高いと考えられるAピラー部付近へ頭部インパクト試験を実施し、歩行者頭部保護性能に関する検討を実施した。
14:40~15:20	コーヒープレイク（ポスターセッション）	
15:20~15:45	講演6	自動運転車の制動制御の安全性評価手法の開発 研究員 後閑 雅人 本講演では、自動運転車とドライバが運転する車両との混合交通環境下において、自動運転車が行う制動制御の安全性を評価する手法について紹介する。自動運転車には、ドライバが運転する車両との交通流の中で、安全に走行することが求められる。後方を走行するドライバが感じる主観評価及び追突の危険性から、自動運転車の安全性を評価する手法を開発した。
15:45~16:10	講演7	自動運転中の作業負荷定量化手法に関する基礎的検討 上席研究員 関根 道昭 自動運転中の情報端末操作が運転復帰要請後の運転復帰時間に及ぼす影響を調べた。情報端末の操作と並行してドライバに与えた視覚・触覚刺激に対する反応時間により作業負荷の定量化を試みた。若年者においてははこの手法の有効性を確認できたが、高齢者においては個人差が大きく、うまく評価ができなかったため、評価手法を改良する必要があると考えられた。
16:10~16:55	招待講演2	ソフトウェアからみた自動車の安全性とサイバーセキュリティについて 名古屋大学大学院 情報学研究科教授 高田 広章
16:55~17:00	閉会の挨拶 理事 石井 素	

ポスターNo.	講演題目	所属	発表者（※：主発表者）
①	第三者安全性評価と規格適合性評価の併存について	交通システム研究部	※林田守正、佐藤安弘、竹内俊裕、工藤 希、渡邊翔一郎、長谷川智紀（鉄道認証室）、森 裕貴（鉄道認証室）、水間 毅（東京大学）
②	列車運転シミュレータを活用した運転支援装置の評価の取組	交通システム研究部	※渡邊翔一郎、竹内俊裕、長谷川智紀、山口大助、押立貴志(客員研究員)
③	標準ドライバモデルを適用したシャシダイナモメーター試験手法の検討	環境研究部	奥井伸宜
④	重量貨物車のディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）再生時における排出ガス挙動等の把握	環境研究部	※山本敏朗、鈴木央一、柴崎勇一
⑤	燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーションと国際基準調和活動への貢献	環境研究部	※小鹿健一郎、菊野 樹（自動車認証審査部）
⑥	軽貨物自動車の前面衝突時の乗員傷害について	自動車安全研究部	※細川成之、田中良知、松井靖浩
⑦	大型車の車両衝突速度と歩行者傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究	自動車安全研究部	※松井 靖浩、及川 昌子（首都大学東京）
⑧	交通弱者に配慮したグレアレスADBに関する評価解析	自動車安全研究部	※青木義郎、後閑雅人、田中信壽、戸高信一（本田技術研究所）、守屋輝人（本田技術研究所）、後藤 亮（本田技術研究所）、千々松 良（本田技術研究所）、高橋大介（小糸製作所）、大塩洋彦（小糸製作所）、山本逸平（小糸製作所）
⑨	AEBSの不要作動を確認する試験シナリオ（案）に関する研究	自動車安全研究部	※児島 亨、岩瀬常利、廣渡太一、浦手耕二
⑩	運転操作の自動化に向けた最高速度の認知に関する検討	自動車安全研究部	※中川正夫、小林 摂、新国哲也
⑪	自動運転車両における情報・セキュリティ分野の基準に関する活動報告	自動車安全研究部	新国哲也
11/21 講演1	レール横圧载荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討	交通システム研究部	※緒方正剛、佐藤安弘
11/21 講演2	車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価に関する取組	交通システム研究部	※山口大助、工藤 希、竹内俊裕、長谷川智紀、篠田憲幸(客員研究員)
11/21 講演3	新たな安全設計手法を用いた鉄道信号の設計安全性評価に関する取組	交通システム研究部	※工藤 希、林田守正、渡邊翔一郎、佐藤安弘、水間 毅（東京大学）
11/21 講演4	規格適合で求められるトレーサビリティの重要性について	鉄道認証室	長谷川智紀
11/21 講演5	規格適合におけるRAMS規格の現状と今後の動向について	鉄道認証室	服部鉄範（客員専門調査員）
11/21 講演6	鉄道信号保安装置における通信と国際規格の活用	鉄道認証室	森 崇（客員専門調査員）
11/22 講演1	電気重量車の電力消費率を高精度に評価するための新たなHILS試験手法の検討	環境研究部	※奥井伸宜
11/22 講演2	後退時警報装置の基準化に関する国内外の動向	環境研究部	※宝渦寛之、関根道昭、榎本 恵、坂本一朗
11/22 講演5	自動車の新たな歩行者頭部保護に関する研究	自動車安全研究部	※田中良知、細川成之、松井靖浩、水野幸治
11/22 講演6	自動運転車の制動制御の安全性評価手法の開発	自動車安全研究部	※後閑雅人、田中信壽、岩瀬常利、廣渡太一、安本まこと、古川 修（客員研究員）
11/22 講演7	自動運転中の作業負荷定量化手法に関する基礎的検討	自動車安全研究部	※関根道昭、榎本 恵、加藤洋子、澤間祐人（東京農工大）

目 次

新たな課題や国際化への対応

11月21日の講演（イイノホール）

題 目	所 属	講演者	頁
■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	1
講演 1 レール横圧载荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討	上席研究員	緒方 正剛	3
講演 2 車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価に関する取組	主任研究員	山口 大助	7
講演 3 新たな安全設計手法を用いた鉄道信号の設計安全性評価に関する取組	主任研究員	工藤 希	11

■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	山崎 輝	15
講演 4 規格適合で求められるトレーサビリティの重要性について	主席研究員	長谷川 智紀	17
講演 5 規格適合における RAMS 規格の現状と今後の動向について	客員専門調査員	服部 鉄範	21
講演 6 鉄道信号保安装置における通信と国際規格の活用	客員専門調査員	森 崇	25

11月22日の講演（イイノホール）

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 一郎	31
講演 1 電気重量車の電力消費率を高精度に評価するための新たな HILS 試験手法の検討	主任研究員	奥井 伸宜	33
講演 2 後退時警報装置の基準化に関する国内外の動向	主任研究員	宝渦 寛之	37

■自動車認証審査部・リコール技術検証部の取組			
講演 3 自動車認証審査部における取組の概要について	自動車認証審査部長	是則 武志	41
講演 4 リコール技術検証業務の現状と今後の取組	リコール技術検証部長	堀江 暢俊	43

■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	47
講演 5 自動車の新たな歩行者頭部保護に関する研究	主席研究員	田中 良知	49
講演 6 自動運転車の制動制御の安全性評価手法の開発	研究員	後閑 雅人	53
講演 7 自動運転中の作業負荷定量化手法に関する基礎的検討	上席研究員	関根 道昭	57

ポスターセッション（カンファレンスセンター）

題 目	所 属	発表者 (※主発表者)	頁
① 第三者安全性評価と規格適合性評価の併存について	交通システム研究部 鉄道認証室 東京大学	※ 林田 守正 佐藤 安弘 竹内 俊裕 工藤 希 渡邊 翔一郎 長谷川 智紀 森 裕貴 水間 毅	63
② 列車運転シミュレータを活用した運転支援装置の評価の取組	交通システム研究部 客員研究員	※ 渡邊 翔一郎 竹内 俊裕 長谷川 智紀 山口 大助 押立 貴志	67
③ 標準ドライバモデルを適用したシャシダイナモメーター試験手法の検討	環境研究部	奥井 伸宜	69
④ 重量貨物車のディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）再生時における排出ガス挙動等の把握	環境研究部	※ 山本 敏朗 鈴木 央一 柴崎 勇一	71
⑤ 燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーションと国際基準調和活動への貢献	環境研究部 自動車認証審査部	※ 小鹿 健一郎 菊野 樹	75
⑥ 軽貨物自動車の前面衝突時の乗員傷害について	自動車安全研究部	※ 細川 成之 田中 良知 松井 靖浩	77
⑦ 大型車の車両衝突速度と歩行者傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究	自動車安全研究部 首都大学東京	※ 松井 靖浩 及川 昌子	79
⑧ 交通弱者に配慮したグレアレス ADB に関する評価解析	自動車安全研究部 本田技術研究所 小糸製作所	※ 青木 義郎 後閑 雅人 田中 信壽 戸高 信一 守屋 輝人 後藤 亮 千々松 良 高橋 大介 大塩 洋彦 山本 逸平	81
⑨ AEBS の不要作動を確認する試験シナリオ（案）に関する研究	自動車安全研究部 自動車認証審査部	※ 児島 亨 岩瀬 常利 廣渡 太一 浦手 耕二	83
⑩ 運転操作の自動化に向けた最高速度の認知に関する検討	自動車安全研究部	※ 中川 正夫 小林 撰 新国 哲也	85
⑪ 自動運転車両における情報・セキュリティ分野の基準に関する活動報告	自動車安全研究部	新国 哲也	87

口 頭 発 表 11.21

交通システム研究部における研究の概要と方向性

交通システム研究部

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り組みを進めている。

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、事故の原因究明、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、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。

また、近年では、我が国鉄道技術の国際的な展開が国の重要施策の一つとして位置づけられている中で、この鉄道技術の国際的な展開に資するため、海外向けの交通システム・設備・車両の技術評価等に取り組んできた。

本稿では、当研究部が実施している取り組み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、研究重点分野として以下の 3 つの柱を立てている。

- (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

これらは国土交通省における鉄道分野の主要施策に対応しているものであるが、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り組みを紹介する。

2. 2. 都市交通システムの安全性・信頼性評価

都市交通システムに用いられる技術の安全性・信頼性に関し、技術評価の的確な遂行に資するよう、国内外の動向を踏まえた評価手法の研究を行い、新たな技術の導入促進及び主要施策である我が国鉄道技術の国際的な展開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。平成 30 年度からは、無線式列車制御システム等、近年の信号システムの高度化・複雑化に対応した新たなモデルによるリスク解析を含めた評価の深度化に取り組んでいる。

また、海外プロジェクト向けの同一システムに対して、当研究部が実施する安全性評価及び鉄道認証室が実施する国際規格適合性評価の両方が求められる場合があり、そのような場合を含め、より相手先が理解しやすい安全性評価報告書等のありかたについて検討している。

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いる。

2. 3. 地方鉄道の安全性向上

自動車分野等で急速に進展している情報通信技術、画像処理技術、衛星測位技術、各種センサ技術等に着目し、鉄道分野の予防安全や運転支援システム等を低コストで実現する手法の研究を行い、次世代技術を活用したメンテナンスの効率化・省力化及

びモニタリング技術を活用した事故等の未然防止に資する施策に貢献することを目指している。

自動車・鉄道の双方にかかる分野横断的な研究として、ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) の車車間通信技術や測位技術等を活用し、危険状態を検知してドライバー・運転士に注意喚起を行う安全運転支援システムにこれまで取り組んできたが、平成 30 年度より、自動車の自動運転用自律検知技術を地方鉄道等に導入する際に技術評価を行うための研究を開始した。

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センサ類を活用し、主に地方鉄道を対象とした軌道等の状態監視技術に関する研究を進め、地方鉄道の保守負担を軽減しつつ安全性の維持・向上に貢献していくこととしている。具体的には、振動センサ、騒音計、GPS、汎用無線等を組み合わせ、営業車両を活用した軌道状態監視システム(プローブ車両)による予防保全支援システムの構築を進めているほか、最近では、軌間拡大による脱線に対するリスクを簡易な治具を用いて評価するための検討を進めている。

さらに、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 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ついて、これまで取り組んできた衛星測位による位置検知の精度上の課題を踏まえ、慣性計測装置等の車上列車位置検知技術も活用しつつ、位置検知の精度・信頼性を含む安全性に関する研究に取り組んでいる。

2. 4. 公共交通の導入促進・評価

超高齢化・人口減少等の社会情勢の変化に対応し、高齢者、交通弱者等の特性を考慮した交通システム技術や軌道系交通システムと自動車交通の連携を踏まえた公共交通導入評価手法に関する研究を行い、将来にわたって持続可能な交通ネットワークの構築に資する施策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行っている。

近年では、電動で、時速 20km 未満で公道を走る 4 人乗り以上のモビリティ「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、スローモビリティの導入効果の評価を行うための交通流シミュレーション等の研究を進めている。

また、当研究所に設置されている列車運転シミュレータにより、架線レス車両などを対象に省エネルギー運転の評価や運転支援手法の研究を実施するなど、新たな方式の交通システムや新技術の導入を支援するための技術評価等に取り組んでいる。

2. 5. その他の取組

上記の取り組みの他、当機構の中期計画における研究の重点分野とは位置づけていないものの、継続的な取り組みが必要なテーマについて、自主事業として実施している。特に、当研究所は、索道(ロープウェイ、リフト等)の試験を行うことができる我が国唯一の公的機関として、握索装置(搬器をロープに固定する装置)や新型ロープの試験など索道に関する試験研究に継続的に取り組んでいる。

3. 今後の展開

交通システム研究部では、都市交通システムの安全性・信頼性評価、地方鉄道の安全性向上、公共交通の導入促進・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、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などの新技術の動向を踏まえ、新技術の安全で円滑な導入に貢献できるよう、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むことにより、引き続き、我が国鉄道技術の安全性・信頼性の確保や国際的な展開への貢献を果たしていきたいと考えている。

講演 1. レール横圧载荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討

交通システム研究部 ※緒方 正剛 佐藤 安弘

1. はじめに

鉄道の軌道構造として古くから用いられてきた木まくらぎ軌道は、地方鉄道等において現在も広く用いられている。急曲線部などでは列車の走行に伴い比較的大きな横圧がレールに作用する一方で、木まくらぎの劣化などにより犬くぎによるレール締結力が低下すると、軌間拡大が発生し、脱線事故につながるリスクが高まる。近年、地方鉄道において軌間拡大による脱線事故が目立っており、まくらぎや締結装置の維持管理が十分行われていない状況が指摘されている¹⁾³⁾。

軌道の維持管理において、まくらぎの劣化等については目視による異常の判別を要し、熟練した技能を要することから、異常の判断基準を数値で示せることが望ましい。従来から、軌道検測車を用いた動的な軌道変位の測定によって、輪重や横圧が作用する条件での軌間変位を管理することができるものの、コスト等の面から軌道検測車を導入することが困難な地方鉄道事業者もある。また、路面電車の軌道は舗装に覆われている場合、締結装置の状態を目視確認できない。

そこで、舗装除去がない低コストな検査として、横圧方向の荷重をレールに載荷でき、かつ、載荷荷重に対する軌間の変化を測定できる治具を製作し、締結の不良状態を模擬した実験を行った。さらに、実際の軌道でこの治具を用いた実験を実施し、締結状態の良否を数値で評価できるかを検討したので報告する。

2. 横圧载荷治具の検討と製作

軌間拡大によるリスクを線路全線に渡って把握するためには、走行中に動的な軌間変位が測定可能であることが望ましい⁴⁾が、軌道検測車以外の方法で正確に把握することは、現状では困難となっている。そこで、目視等でまくらぎの劣化等について疑われる箇所において、レールに左右方向の荷重をかけ、軌間の変

化を簡易に評価する方法を検討した⁵⁾。このために製作した治具の仕様を表1及び図1に示す。

表1 横圧载荷治具の仕様

構成	油圧ジャッキ、手動ポンプ等
最大荷重	15kN(ロードセルによる測定)
軌間	1435mm, 1067mm(部材組替により対応)
軌間拡大量の最大値	100mm(デジタル式リニアスケールによる測定)
载荷部位	レール頭部(併用軌道対応)
電源	乾電池等(商用電源不要)

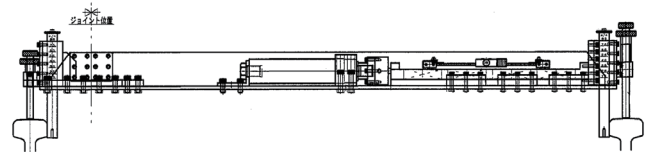


図1 横圧载荷治具

3. 実験用軌道における実験

3. 1. 実験用軌道の概要

実験室内の実験用軌道において、製作した横圧载荷治具を用いた実験を行い、レール締結状態と軌間変化の関係を把握した。横圧载荷治具の設置状況を図2に示す。実験用軌道の諸元は表2に示すとおりである。

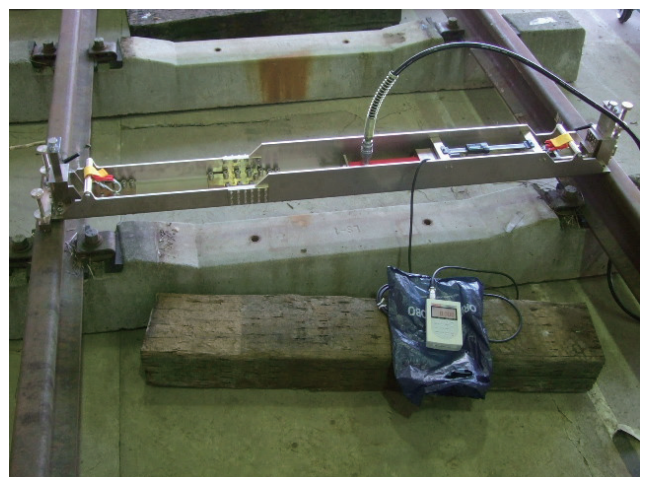


図2 実験用軌道への横圧载荷治具の設置状況

表2 実験用軌道の諸元

軌道全長	5m(直線)
軌間	1435mm
レール種別	50N
まくらぎ種別	PCまくらぎ
まくらぎ配置本数	6本/5m
締結装置	二重弾性締結装置(締結トルク100Nm)
道床	なし(実験室のコンクリート床上に設置)

3. 2. 実験方法

実験用軌道の全長が限られていることから、実験可能な条件は限られているものの、軌道の状態について不良本数の違いを見るため、以下の4条件を設定し、実験を行った。

- ・締結装置が全て正常(表2に示す締結トルク)の場合
- ・まくらぎ6本のうち中央部2本の締結装置が緩んでいた場合(まくらぎ連続不良2本:締結装置8箇所の締結トルクが0Nmでそのほかは正常)
- ・中央部3本の締結装置が緩んでいた場合(まくらぎ連続不良3本)
- ・中央部4本の締結装置が緩んでいた場合(まくらぎ連続不良4本)

横圧载荷治具を軌道の中央部に設置し、荷重は0.5kNずつ増加させ、それぞれの荷重における変位量(軌間拡大量)を測定する。最大荷重は5kNとする。同条件における荷重载荷を複数回実施する。

3. 3. 実験結果

荷重-変位曲線(横圧と軌間拡大量の関係)を図3~図5に示す。この実験結果より、以下のことがわかった。

荷重1~2kN程度では、軌間が動かないことがあるため、少なくとも3kN以上の荷重を载荷しないと、軌道側の条件による違いが判然としない。一方、5kNまでの载荷におけるいずれの条件においても、荷重と変位の間にはほぼ線形の関係があった。

また、締結状態が不良であるまくらぎの本数が増えるほど、同じ荷重による変位(軌間拡大量)が増加する。例えば、締結装置が全て正常の場合の荷重5kNにおける変位量は1.0mmであった。これに対し、まくらぎ不良本数4本の場合の荷重5kNにおける変位量は2.1mmであった。したがって、レール横圧载荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、締結状態を含

むまくらぎの不良を判断できる可能性があると考えられる。

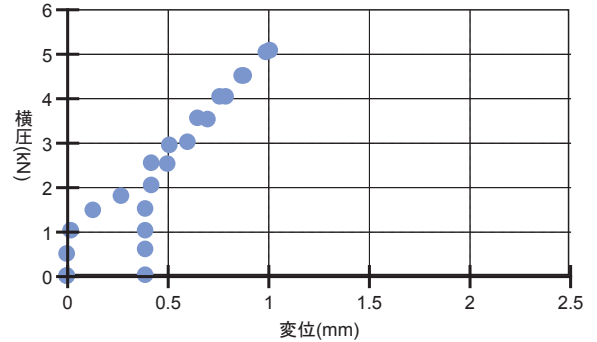


図3 横圧と軌間拡大量の関係(まくらぎ正常)

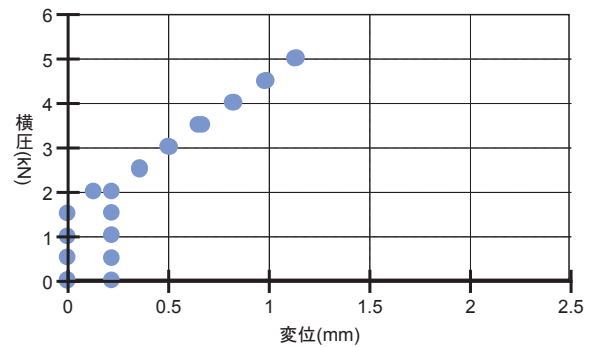


図4 横圧と軌間拡大量の関係(まくらぎ不良2本)

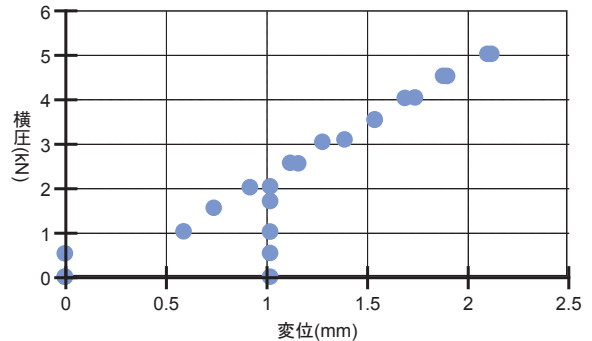


図5 横圧と軌間拡大量の関係(まくらぎ不良4本)

4. 評価法の検討

4. 1. 軌間拡大量の推定と許容値の設定

上記の実験結果により、横圧と軌間拡大量の間にはほぼ線形の関係があることを前提に、車両の当該箇所通過時の発生横圧がわかれば、レール横圧载荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、車両による横圧発生時の軌間拡大量を推定することができる。軌間拡大による脱線事故は急曲線部で主に発生しており、曲線通過時の発生横圧は線形や車両諸元等によって異なるものの、定常横圧(転向横圧及び超過遠心力)と

横圧変動分(車両の左右動の影響等)の和として算定することができる⁶⁾。ここでは一例として、曲線通過時の車両による発生横圧を40kNとする。

一方、軌間変位の限度値は、レールと輪軸の寸法関係から、一般に40mm程度となっている⁶⁾。当該箇所のスラックや静的な軌間変位によって、動的な軌間拡大量の許容値は異なる。一例として、昭和62年以前の旧国鉄におけるスラックの最大値25mmを適用した場合の保守余裕は、40mm-25mm=15mmとなる。なおかつ、当該箇所には軌間変位が生じている可能性がある。軌間変位の静的値は整備基準値を下回っているものとし、仮に+5mm(静的値)発生しているものとする、動的な軌間拡大量の許容値は15mm-5mm=10mmとなる。

4. 2. 実験結果を用いた評価例

以上の例について、実験用軌道の実験結果を当てはめて検討した結果を表3に示す。

表3 実験用軌道の実験結果に基づく評価例

まくらぎ連続不良本数(本)	2	3	4
軌間拡大量(mm)(5kN載荷実験時)	1.1	1.5	2.1
軌間拡大量(mm)(横圧40kN推定値)	8.8	12	16.8
軌間拡大量(mm)(許容値)	10	10	10
判定	○	×	×

表3では、まくらぎ連続不良本数2本までは、横圧40kN発生時の軌間拡大量は許容値を下回る一方、まくらぎ連続不良本数3本以上では許容値を上回ることを示している。文献7)によれば、「まくらぎの危険限界については、曲線部において連続2本以上、直線部においては3本以上、不良まくらぎが連続配列になると列車通過時の動的軌間拡大量が大きくなって7mmを超えることがあり、犬くぎの押し出しに対する残留変位も発生しやすくなる」とされており、表3の結果はこのことと整合性があるものと考えられる。

5. 現地実験による評価法の検証

5. 1. 構内側線における実験

5. 1. 1. 実験状況

地方鉄道の構内の側線で現地実験を実施した。実験では、横圧載荷治具を用いて、荷重と変位(軌間拡大量)の関係を複数箇所で開催した。2箇所はまくらぎ及び締結の状態が比較的よいと思われる箇所、2箇所はまくらぎの劣化により締結状態が比較的悪いと思

われる箇所を選定した。軌道条件を表4に示す。実験による軌道の破損を避けるため、載荷荷重は3kNまでを目安とし、載荷中に軌間拡大量が3mmに達した場合は、荷重はそれ以上かけないこととした。

表4 構内側線における軌道の諸元

軌間	1067mm			
レール種別	30kg			
まくらぎ種別	木まくらぎ			
まくらぎ配置本数	6本/5m			
締結装置	犬くぎ(1まくらぎ当たり4本)			
道床	碎石			
地点	1	2	3	4
線形	直線	曲線	直線	曲線
締結状態(目視)	不良	良	不良	良(最近打直し)

5. 1. 2. 実験結果

4箇所の地点のうち、地点1については、締結状態不良により横圧を1.5kN載荷した時点で変位が3mmに達する状況であったため、載荷を中止した。それ以外の地点について、前記3章での検討に準じて、曲線通過時の発生横圧40kNの場合の軌間拡大量推定値を求めた結果は、表5の通りとなった。

表5 実験結果及び締結状態の評価

地点	2	3	4
軌間拡大量(mm)(3kN載荷実験時)	0.7	1.8	0.4
軌間拡大量(mm)(横圧40kN推定値)	8.8	24.3	5.1
軌間拡大量(mm)(許容値)	10	10	10
判定	○	×	○

地点1のほかに、目視でも不良が疑われた地点3については、軌間拡大量は許容値を超えて大きくなると推定されるため、不良と判断される。ただし、地点3は直線区間であり、車両通過時の作用横圧が40kNをかなり下回ると思われるので、実際の軌間拡大量はかなり小さくなるものと考えられる。

一方、目視で締結状態が正常であった地点2及び地点4では、軌間拡大量の推定値は許容値を下回るため、実験結果からも正常と判断される。特に、犬くぎ締結直後の地点4は、最も軌間拡大量が小さいことが確認された。

5. 2. 併用軌道における実験

5. 2. 1. 実験状況

路面電車の併用軌道で現地実験を実施した。4箇所を選定し、横圧載荷治具を用いて、荷重と変位(軌間拡大量)の関係を把握した。1箇所は近年スラブ直結

構造に更新された箇所、3箇所は従来の木まくらぎ構造で締結が比較的緩いと思われる箇所で測定した。軌道条件を表6に示す。実験による軌道の破損を避けるため、載荷荷重は3kNまでを目安とした。

表6 併用軌道における軌道の諸元

軌間	1435mm			
レール種別	50N			
まくらぎ種別	なし	木まくらぎ		
まくらぎ配置本数	スラブ2m	9本/5m		
締結装置	直結	犬くぎ		
道床	コンクリート	砕石		
地点	1	2	3	4
線形	直線	直線	直線	直線
締結状態(目視)	良	やや不良	不良	不良

5. 2. 2. 実験結果

前記3章での検討に準じて、路面電車で曲線通過時の発生横圧 23kN とした場合の軌間拡大推定値を求めた結果は、表7の通りとなった。

表7 実験結果及び締結状態の評価

地点	1	2	3	4
軌間拡大量 (mm) (3kN載荷実験時)	0.9	1.3	1.7	2.0
軌間拡大量 (mm) (横圧23kN推定値)	6.7	9.7	12.7	15.1
軌間拡大量 (mm) (許容値)	10	10	10	10
判定	○	○	×	×

舗装アスファルトのひび割れ状況等から、目視でも不良が疑われた地点3及び地点4については、軌間拡大量は許容値を超えて大きくなると推定されるため、曲線部では不良と判断される。地点2の締結状態では、判定結果は問題ないものの、曲線部では許容値に近い軌間拡大量となることも想定される。一方、スラブ直結構造に更新された地点1では、最も軌間拡大量が小さいことが確認された。ただし、実際の測定地点はいずれも直線区間であり、車両通過時の作用横圧がかなり小さくなると推定されるので、実際の測定地点では車両通過時の軌間拡大量はかなり小さいものと考えられる。

5. 3. 検証結果

このように、車両通過時の横圧の推定値と、当該箇所での横圧載荷治具による載荷荷重と軌間拡大量の関係がわかれば、締結の劣化状況やまくらぎの連続不良本数が不明な場合であっても、まくらぎの不良等による軌間拡大のリスクが定量的に把握可能になると考えられる。現地実験の結果から、目視による劣化状

況と横圧載荷治具による判定結果は一致しており、しかも定量的に評価できることを確認した。

また、今回製作した治具は、狭軌及び標準軌、地方鉄道の軌道のほか、路面電車の併用軌道にも対応可能なことを確認した。

なお、本評価法では、横圧載荷治具による荷重載荷時に、輪重に相当する上下方向の荷重がレールに作用していないため、レールとまくらぎとの間に横圧と逆方向に作用する摩擦抵抗力が実際よりも小さくなることが想定される。従って、軌間拡大に対しては実際よりも厳しい条件の評価となると考えられる。

6. まとめ

地方鉄道において発生している軌間拡大による脱線事故を予防するため、これまでの熟練した技能を要するまくらぎや締結の目視による異常の判断を支援できるよう、横圧方向の荷重をレールに載荷でき、かつ、載荷荷重に対する軌間の変化を定量的に測定できる治具を製作し、締結の不良状態を模擬した実験を行った。さらに、実際の軌道条件でこの治具を用いた実験を行った。

その結果、横圧載荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、車両による横圧発生時の軌間拡大量を推定することによって、締結状態を含むまくらぎの不良を判断でき、これにより、これまでの熟練した技能を要するまくらぎや締結の目視による異常の判断を支援することができるものと考えられる。引き続き、現地の評価実績を積み重ねることとしたい。

最後に、実験に協力いただいた事業者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 運輸安全委員会: 鉄道事故報告書, RA2018-1-2 (2018)
- 2) 運輸安全委員会: 鉄道事故報告書, RA2018-1-6 (2018)
- 3) 運輸安全委員会: 鉄道事故報告書, RA2018-4-1 (2018)
- 4) 石川, 坪川: 動的軌間・平面性測定装置の開発と性能検証試験, 第22回鉄道工学シンポジウム (2018)
- 5) 緒方, 佐藤: レール横圧載荷治具を用いた軌間拡大のリスク評価の検討, J-Rail (2018)
- 6) 国土交通省鉄道局監修: 解説「鉄道に関する技術基準(土木編)改訂版(第三版) (2014)
- 7) 須田, 長門, 徳岡, 三浦: 新しい線路・軌道の構造と管理-, 日本鉄道施設協会 (1997)

講演 2. 車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価に関する取組

交通システム研究部 ※山口 大助 工藤 希 竹内 俊裕 長谷川 智紀
篠田 憲幸 (客員研究員)

1. はじめに

鉄道ではこれまで軌道回路や地上子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。しかしながら、地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、軌道回路のような地上主体の設備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を基本とした無線式列車制御システムが期待されている¹⁾ほか、慣性センサと速度発電機の併用により車上で位置検知するシステムの開発が進められている²⁾。

交通安全環境研究所では列車位置検知を衛星測位システム (GNSS; Global Navigation Satellite Systems) で行い、これと汎用無線を組み合わせた列車制御システムを提案してきた^{3),4)}。この過程で GNSS の測位精度が課題となり、精度向上を図る手法の検討⁵⁾を行ってきたが、精度向上の効果が一定ではなかったことから、引き続き検討が必要となっている⁶⁾。

本稿では、車上主体型の列車位置検知を基本とする列車制御システムへの活用等を想定して、既に列車位置検知に活用されているセンサと今後活用される可能性のあるセンサについて技術的な観点での整理や、GNSSをはじめとする複数の位置検知センサの組み合わせの整理を試みるとともに、列車位置検知技術の評価に関する取組について述べる。

2. 車上主体型位置検知技術

2. 1. 軌道上の列車位置

位置には「絶対位置」と「相対位置」の二つがあり、本節では鉄道における絶対位置と相対位置を考える。

絶対位置はキロ程や緯度・経度が該当する。列車制御における軌道回路や地上子、架線柱等の構造物の位置はキロ程に紐付けられており、これに基づく管理が

行われている。また、曲線通過速度を高めるための車体傾斜制御もキロ程情報に基づいて行われているケースがある⁷⁾。軌道中心を点と捉えると、軌道は列車走行方向にこの点が無数に連なったものと見ることができる。この点を介してキロ程と測量等で得た緯度・経度を紐付けることができる。

相対位置は列車の走行距離、列車と構造物 (架線柱、信号機柱、建築物等) の間の距離が該当する。無線式列車制御システムでは、車両に備わった速度発電機や速度センサから得られる速度情報を基に列車位置を演算している。この方法は車輪の滑走・空転や車輪の摩擦による車輪径の変化によって算出結果に誤差が生じるため、走行距離を補正するために一定間隔に軌道に地上子を設置している⁸⁾。

列車制御は軌道回路や地上子を使って行われることが多い。いずれもキロ程に紐付けられていることから、列車制御は絶対位置に基づいて行われるといえる。無線式列車制御システムでは、先述の列車位置と地上子の組み合わせで絶対位置を得て、前後の列車の各絶対位置から算出される相対距離 (間隔) により列車制御が行われている。

2. 2. 位置検知センサの併用

列車制御システムには、万が一システムを構成する装置に故障が発生した場合にも故障後の事象が安全側に遷移するフェールセーフ性が求められる。鉄道で安全側に働く対策の基本は列車を止めることにある。無線式列車制御システムでは、列車位置検知ができなくなった場合には速やかに列車を停止させる措置が取られる。ATS (自動列車停止装置) 等の保安装置に使われる地上子については、車両側の読取機である車上子が地上子を検知しない場合 (空振り) を考慮して、地上子が複数隣接して設けられる場合もある。

車上主体で列車位置を検知するシステムにおいて、

位置検知が困難になった場合は速やかに停止措置を取ることが最もシンプルな安全対策である。しかし、位置検知システムの点検や安全確認を経て再発車するまでには時間を長く要する場合も考えられる。よって、停車せずに走行を続けられ、走行の継続が困難な状況に陥った場合に限り停車させるような対策の方が望ましい。位置検知の確実性を高め、列車の走行を極力継続する手段として、位置を検知するセンサを複数組み合わせることが有用と考えられる。

複数のセンサは2個以上の構成が想定されるが、個数が増えるほど導入コストや維持管理コストも増加するため、個数には上限がある。2個の場合は1個目のセンサが位置検知機能を喪失しても2個目のセンサが正常作動していれば列車の位置検知を継続できる可能性が高い。3個の場合は各センサの検知結果に基づく多数決により列車位置検知を正確に行える可能性がある。先述のコスト等も踏まえると、複数のセンサは2個ないし3個が適当かつ現実的といえる。検討を容易にするため、本稿では2個のセンサを使用するケース

を対象に述べる。また、2個の位置検知センサをそれぞれⅠ系、Ⅱ系と呼ぶことにする。

2. 3. 位置検知機能を有するセンサ

本節ではⅠ系、Ⅱ系になり得るセンサについて技術的な観点での整理を試みる。

2. 3. 1. 列車位置検知に活用されているセンサ

先述のように、列車の位置検知手段として、軌道回路、地上子、速度発電機が既に活用されている。このほかにも、ループコイル、アクスルカウンタ（車軸検出器）、RFID（Radio Frequency IDentification）、トリココンタクタ、無線測距、GNSSがある。これらのセンサについて、設置箇所（地上／車上）、計測可能な項目等を整理したものが表1である。アクスルカウンタや路面電車で使われているトリココンタクタは地上側のみの設備であるため、検討の対象外とする。GNSSについては交通安全環境研究所の取組事例があり、3章で後述する。

2. 3. 2. 列車位置検知に活用できる可能性のあるセンサ

表1 列車位置検知に活用されているセンサ

センサ	地上側	車上側	絶対位置／ 相対位置	位置／速度		分類	備考
				位置	速度		
軌道回路	○	○(ATC受電器)	絶対位置	○	—	面で検知	
ループコイル	○	○	絶対位置	○	—	面で検知	複数の種類あり
アクスルカウンタ (車軸検出器)	○	—	絶対位置	○	—	点で検知	
地上子	○	○(車上子)	絶対位置	○	○	点で検知	2点間で速度検知可能
RFID	○(タグ)	○(読取機)	絶対位置	○	○	点で検知	2点間で速度検知可能
トリココンタクタ	○	—	絶対位置	○	○	点で検知	2点間で速度検知可能
無線測距	○(沿線無線機)	○(車上無線機)	絶対位置	○	—	電波で検知	SPARCS ⁹⁾ の場合
衛星測位(GNSS)	—	○	絶対位置	○	○	電波で検知	電波のドップラ効果で速度検知可能
速度発電機	—	○	相対位置	◇	○	速度で検知	

(凡例)○:設置 —:非設置 (凡例)○:測定可 —:測定不可
◇:計算等を介して間接的に取得可

表2 列車位置検知に活用できる可能性のあるセンサ

センサ	地上側	車上側	絶対位置／ 相対位置	位置／速度		分類	備考
				位置	速度		
磁気マーカ	○	○(読取機)	絶対位置	○	○	点で検知	2点間で速度検知可能
慣性計測装置(IMU)	—	○	相対位置	◇	◇	速度で検知	加速度、角速度の積分により位置と速度を算出
レーザドップラ速度計	—	○	相対位置	◇	○	速度で検知	
レーザドップラ速度計	—	○	相対位置	◇	○	速度で検知	
カメラ (単眼, ステレオ)	○ (地物, ターゲット)	○	相対位置 絶対位置	○	—	周辺環境 認識で検知	絶対位置検知は地物やターゲットの絶対位置との紐付けが必要
レーザセンサ (LIDAR)	○ (地物, ターゲット)	○	相対位置 絶対位置	○	—	周辺環境 認識で検知	絶対位置検知は地物やターゲットの絶対位置との紐付けが必要

(凡例)○:設置 —:非設置 (凡例)○:測定可 —:測定不可
◇:計算等を介して間接的に取得可

列車位置検知に活用できる可能性のあるセンサとして、磁気マーカ、慣性計測装置（IMU：Inertial Measurement Unit）、レーダドップラ速度計、レーザドップラ速度計、カメラ、レーザセンサ（LiDAR）が挙げられる。表1と同様に、これらについて設置箇所、計測可能な項目等を整理したものが表2である。

自動車分野では、車両挙動を加速度・角速度で検出する慣性計測装置がカーナビゲーションシステムに内蔵され、加速度・角速度を時間積分し、走行距離に換算して自車位置をモニタ上に表示している。これは同じ移動体である鉄道にも応用可能と考えられる。

また、現在、自動車の自動運転の技術開発が非常に盛んで、開発を担う自動車メーカー等が所有する試験車両には、カメラやレーザセンサ（LiDAR）¹⁰が搭載されている。これらは自動運転のセンシングデバイスとして自車周辺の環境認識のために使われる。自動車の自動運転ではダイナミックマップと呼ばれるデジタル地図に収録された建築物等の形状や位置の情報とカメラやLiDARから得られる情報を照合しながら自車の走行位置を推定する。

この技術を鉄道に当てはめると、まず車両に設置したカメラやLiDARが地物（構造物、建築物等）やターゲット（キロポスト、数字が書かれた標識等）の映像を記録する。この映像から列車との間の距離を検出できるが、この距離は相対位置となる。先述の通り、列車制御に用いる位置は絶対位置であることから、絶対位置を測定できる他のセンサとの組み合わせによってカメラやLiDARを列車位置検知に活用できる可能性がある。交通安全環境研究所ではLiDARによって列車と建築物等の間の相対位置を検出できることを確認している¹¹。LiDARがリアルタイムで記録するのは建築物等の形状であり、それがどこの建物かまでは認識できない。LiDARやカメラを位置検知に活用するには、これらが検出した形状や物体と絶対位置を紐付けるものが必要となる。

2. 4. 位置検知センサの組み合わせ方

2.1節で述べたように、列車制御はキロ程に基づく絶対位置の情報を用いて行われる。I系、II系ともに

表3 I系センサとII系センサの組み合わせ方

		II系センサ	
		絶対位置	相対位置
I系センサ	絶対位置	○	○
	相対位置	○	×

相対位置を出力するセンサでなければ、I系、II系のどちらかに相対位置を出力するセンサの使用は可能である。これを整理したものが表3である。表中の○は組み合わせ可、×は不可を示す。I系を主、II系を副とする組み合わせ、I系とII系の出力結果を常に比較するような組み合わせなど、様々なI系とII系の構成が考えられるが、これは列車制御システムの設計コンセプトや全体構成により決定される。

2.2節で述べたように、I系のセンサが位置検知機能を喪失してもII系のセンサが正常作動していれば列車の位置検知を継続できる可能性が高い。これを実現するには、I系とII系が共通原因故障に至らないよう、I系とII系は特性の全く異なることが望ましい。

2. 5. 列車位置検知技術の評価方法の検討

前節まで車上主体型の列車位置検知に有用なセンサの組み合わせについての整理を試みた。個別の組み合わせの評価については以下の手順が考えられる。

適用線区の状況（列車密度や列車編成長等）や列車制御システムの設計コンセプトより要求性能が定められる。この要求性能としては、検知精度やリアルタイム性のほか、信頼性（要求された機能を果たせる能力）、アベイラビリティ（継続して稼働できる能力、可用性）、保全性（要求された機能を修復させる能力）、安全性（フェールセーフ性、故障検知機能等）、環境性能（耐振動性、耐環境性等）がある。コストや寿命の観点も組み合わせを評価していく上で重要になる。

更に、要求性能を満たすことの検証・評価方法も必要であるが、これについては今後検討を進めていく。

3. GNSSに関する取組

本章ではGNSSに関する交通安全環境研究所の取組について述べる。

3. 1. 衛星測位

衛星測位とは、少なくとも4機の衛星からの電波を受信して、衛星から受信機に到達するまでの時間を求め、電波の速度を乗じて距離を得て現在位置を算出することである⁶。GNSSとして最も有名な米国のGPSをはじめ、日本も準天頂衛星を4機打ち上げており、これらの衛星の電波を受信して測位することができる。

しかし、GNSSによる測位は誤差が生じやすい。誤差の要因には、電波が通過する電離層や対流圏の影響のほか、時々刻々変化する衛星の配置やマルチパス⁶によるものがある。また、トンネル内では電波を受信

できず測位が困難である。GNSS を活用するには GNSS の誤差やデメリットを補完する必要があり、これには他のセンサとの併用が有用と考えられる。

3. 2. 他のセンサとの併用例

GNSS を補完するセンサは複数あると考えられ、その一つに慣性計測装置 (IMU) が挙げられる。IMU は 3 軸の加速度及び角速度を検出し、さらにこれらから姿勢角 (ロール、ピッチ) と方位角 (ヨー) を演算する装置である。

GNSS を補完するセンサとして IMU を併用し、実車走行時に測位を行った結果の一例を図 1 に示す。本図は立体交差の下を列車が通過したときの結果である。図中の青線は GPS で測位した結果、水色線は IMU で補完した結果、黄色矢印は列車の進行方向を示す。

僅かな時間ながら列車が立体交差下を通過することで電波の受信が遮断され、その影響を受けて GPS の測位結果は軌道から大きく離れている。これに対して、IMU で補完した測位結果は軌道に沿っている。列車位置は軌道に沿って検知されていることが望ましい。本結果から、IMU は GNSS を補完するセンサになり得ることを確認した。

GNSS については「鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」¹²⁾ (座長：中村英夫 日本大学名誉教授、事務局：国土交通省鉄道局、交通安全環境研究所) にて準天頂衛星をはじめとする GNSS の鉄道への活用が検討されている。列車位置検知に GNSS を適用する場合については同検討会の議論を参照しながら今後検討を進めていくこととしたい。

4. おわりに

本稿では、既に列車位置検知に活用されているセンサと今後活用される可能性のあるセンサについて技術的な観点での整理や、GNSS をはじめとする複数の位置検知センサの組み合わせの整理を試みるとともに、

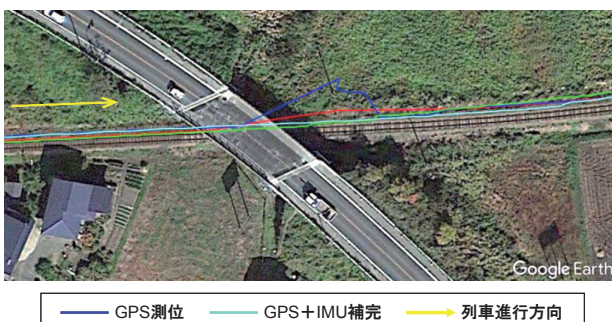


図 1 IMU で補完した場合の測位結果例

列車位置検知技術の評価に関する取組について述べた。今後は検知精度や信頼性などの観点から複数のセンサの適切な組み合わせについて検討を進めるとともに、車上主体型の列車位置検知技術に求められる要件やその評価方法などを検討する。

今後検討を進めていくにあたり、関係各位のご意見やご知見を多く賜れば幸いです。

謝辞

3.2 節で示した測位結果は多摩川精機株式会社との共同研究によって得られたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局，令和元年 9 月 6 日付報道発表
- 2) 北野ほか，“速度発電機と慣性センサを併用した車上位置検知・列車完全性管理システム”，鉄道総研報告，Vol.33，No.7，pp.29-34（2019）
- 3) 田中ほか，“鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究”，交通研フォーラム 2015 講演概要集，pp.121-124
- 4) 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
- 5) 篠田ほか，“列車制御に衛星測位を利用する際の処理方法の検討”，第 24 回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2017)，S7-5-1
- 6) 山口ほか，“車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価に関する基礎検討”，交通研フォーラム 2018 講演概要集，pp.59-60
- 7) 篠田ほか，“2000 系車体傾斜制御装置の開発”，第 41 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，(2004)
- 8) 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）
- 9) 日本信号株式会社ホームページ
- 10) 竹内ほか，“地方鉄道を対象とした自動運転技術活用に関する基礎検討”，交通研フォーラム 2018 講演概要集，pp.3-6
- 11) 篠田ほか，“LiDAR センサを用いた絶対位置の把握について”，第 25 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2018)，SS7-3-2303
- 12) 国土交通省ホームページ

講演3. 新たな安全設計手法を用いた 鉄道信号の設計安全性評価に関する取組

交通システム研究部 ※工藤 希 林田 守正 渡邊 翔一郎 佐藤 安弘
東京大学 水間 毅

1. はじめに

交通安全環境研究所では、海外向け鉄道システムの設計安全性評価に関し、これまでの実績に基づき、国際規格との調和や規格適合性評価等との関連について検討してきた¹⁾。一方、複雑化した鉄道信号システムに対応するためには、従来の安全性評価手法に加え、近年提案された新しい評価手法の活用が有効と考えられる。本稿では、新しい評価手法として STAMP (System Theoretic Accident Model and Processes) / STPA (STAMP based Process Analysis) による評価を試行したので報告する。

2. 第三者安全性評価の位置づけ

2. 1. 国際規格への対応

近年、メーカ等が鉄道システムの輸出に際し、その安全性を相手先に証明する方法として、表1に示したような機能安全関連の国際規格への適合性について第三者評価及び認証（以下、「規格適合性評価」という。）を受けることが一般化している。一方、海外向け鉄道システムの設計段階を主な対象とする第三者による技術的な安全性評価（以下、「設計安全性評価」という。）は、機能安全関連の国際規格を参照して行われることが多い。

規格適合性評価とは異なり、設計安全性評価は、システムの技術内容及び設計仕様等について、リスク分析に基づいた定量的評価や、システムの安全管理にかかわる定性的な評価などを行なうものである。鉄道システム導入先の必要に応じて、規格適合性評価等を補強する目的で実施され、規格適合性評価報告書の補足文書として添付される位置づけが考えられる。一方、導入先によっては、規格適合性に関する第三者評価を必要とせず、設計安全性評価だけを求められる場合もある。こうした設計安全性評価の目的に対応するた

め、当研究所としては、表1の中でも特に、IEC 62425 及び IEC 62278 を重点的に参照し、これらの規格との整合を図った安全性評価報告書の構成案を提案してきた²⁾。

表1 参照する国際規格の一例

規格番号	規格名・通称
IEC 62425	鉄道信号用安全関連電子装置の安全性証明
IEC 62278	鉄道における RAMS
IEC 62279	鉄道信号システムのソフトウェアの安全性
IEC 62280	鉄道信号システムの通信の安全性
IEC 62236	鉄道システムの EMC (電磁両立性)

2. 2. 安全性の水準

IEC 62425 においては、安全性の水準として、非安全事象の発生頻度に基づいて4段階の SIL (Safety Integrity Level) が定義されており。その最高水準は SIL4 (発生頻度 $1 \times 10^{-9} \sim 10^{-8}/h$) とされている³⁾。一般的に鉄道の列車制御システム及び信号システムに対しては SIL4 を達成することが要求されるため、各要素又はシステム全体における非安全事象の発生頻度が SIL4 を達成するか否かを主要な判断基準とする。

2. 3. これまでの安全性解析

これまで、設計安全性評価では、FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) 及び FTA (Fault Tree Analysis) を中心とする評価手法により実施してきた。これらの手法は、システムのハザードとその要因を事前に分析するための安全解析手法である。部品レベルまで細分化して分析できるため、深い分析が可能であるという特徴がある。

これまでの設計安全性評価においては、FMEAの結果から選定した非安全事象をトップ事象とするFTAを行い、そのトップ事象が発生する確率又は頻度が十分に小さいことを確認してきた。図1にFTAの例を示す。FTAでは部品の故障率を積み上げることでトップ事象に至る確率、すなわち非安全事象の発生頻度を求めることができるが、FTAの制約ゲート(制約条件事象が発生する場合に限って入力事象が有効となるゲート。ANDゲートと同等に計算できるもの)には、定期検査等の人の動作によるものが含まれるが、それらにより防護しなければ、安全性の水準(例えば、SIL4)を達成できないケースもある。このようなヒューマンエラーの発生確率は、安全性の水準の達成目標から逆算して求めることもでき、これまでの評価では、逆算した結果、ヒューマンエラーの発生確率を0.01~0.001以下に抑えることを条件としてSIL4が達成されるケースも存在した。

一方、一般的には定例作業時のエラー発生率は0.01~0.00001とされている⁴⁾ため、この前述の逆算によって求めた結果は妥当と考えられる。但し、このエラー発生率は教育・訓練がきちんと行われていることが前提であり、特に海外向けの評価においては、この前提を明示しておくことが必要である。

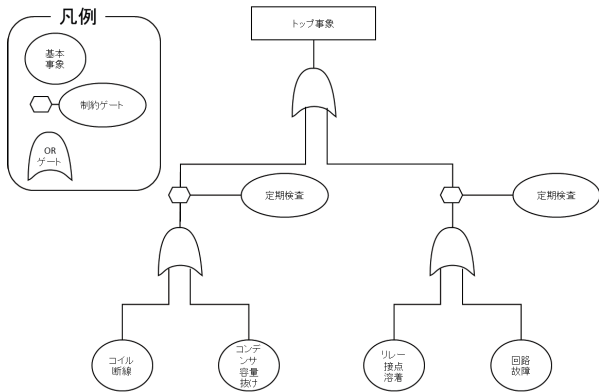


図1 FTAの例

3. STAMP/STPAの概要

3. 1. 概要

技術の進展に伴い評価対象装置も複雑化してきており、これまでのFMEA及びFTAのみで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が難しくなってきた。そのため、機器の相互作用及び時間的遷移を含む解析を得意とするSTAMP/STPAを用いた安全性解析を検討した。

STAMPは2012年にマサチューセッツ工科大学のLeveson教授が提唱した安全解析手法である⁵⁾。現代

のシステムのアクシデントの多くは、システムの構成要素の故障によって起きるのではなく、システムの中で安全のための制御を行う要素(コントローラ)と制御される要素(被コントロールプロセス)の相互作用が働かないことによって起きるというアクシデントモデルであり、このSTAMPを前提として、システムのハザード要因を分析する安全解析手法がSTPAである。機器の相互作用及び時間的遷移を含む解析を得意とする一方、部品レベルの解析には解析が膨大となることが想定され、そのような解析にはこれまで通り、FMEA及びFTAを用いる方が良いと思われる。

3. 2. 鉄道への活用事例

鉄道におけるSTAMP/STPAの活用事例としては、踏切制御を扱った例⁶⁾、ATCに対する安全性・信頼性解析を行った例⁶⁾及びATS装置を対象とした例⁷⁾等がある。

特にATS装置を対象とした例では、FMEA及びFTAと共にSTAMPを実施し、FTAで抽出できなかった項目をSTAMP/STPAにより抽出した項目が示されており、今後の安全性評価について、FMEA及びFTAだけでなく必要に応じてSTAMP/STPAを行うことに一定の効果があることが示されている。

STAMP/STPA自体が最近提唱された手法であるため、活用例は多くはないが、今後の安全性評価に有用な手法であると考えられる。

4. STAMP/STPAの試行

前報¹⁾に続き、図2に示すような簡単な連動装置をモデルとしてSTAMP/STPAの適用を試行した。

4. 1. 試行手順

STAMP/STPAではまず、アクシデント・ハザード・安全制約の識別及びコントロールストラクチャを構築する。次に、UCA(Unsafe Control Action: 非安全制御動作)を抽出し、UCA毎にHCF(Hazard Causal Factor: ハザード誘発要因)を特定する。

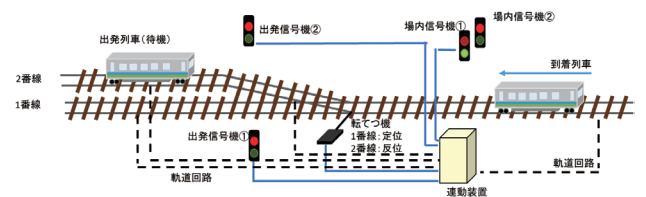


図2 モデル

4. 2. STAMP/STPAの適用

本検討では、制御を行う要素を連動装置、制御され

る要素を転てつ機と仮定し、制御構造図（コントロールストラクチャ）を図3に示すように構築した。連動装置から転てつ機への制御指示は、定位への転換、反位への転換、鎖錠及び解錠とし、各々の制御指示について連動装置へのフィードバック機能を有することとした。また、それ以外の関係要素として、進路構成、軌道回路（4区間）及び信号機（出発／場内）を挙げた。

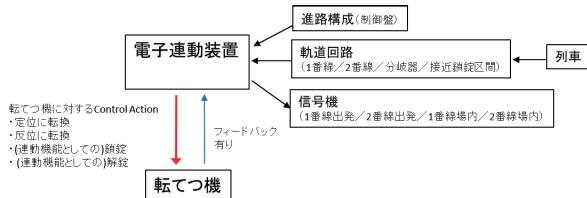


図3 コントロールストラクチャ

この検討で出てくるアクシデント・ハザード・安全制約の一覧を表2に示す。アクシデントに分岐器上の脱線又は衝突を挙げ、そのハザードと安全制約を挙げた。次に、コントロールアクションに対して安全制約違反となるUCAを表3に整理した。表中赤字の項目がUCAとなる。コントロールアクションが与えられない場合、与えられた場合、早すぎ/遅すぎ及び早すぎる停止/長すぎる適用のそれぞれの場合にどういった事象が起こりえるかを整理しており、装置間の時間的な遷移も考慮に入れた抽出が可能である。

これらの抽出されたUCAに対し、図4に示すガイドワードを参考に、図5に示すようなコントローループ図を作成し、HCFを抽出した。ガイドワードとは、解析する際のヒントとなる言葉であり、これがあ

表2 アクシデント・ハザード・安全制約一覧表

アクシデント	ハザード	安全制約
(A1) 列車が分岐器上で脱線する	(H1) 列車が分岐器上に在線中に不正転換する	(SC1) 列車が分岐器上に在線中は転換してはならない
(A1) 列車が分岐器上で脱線する	(H2) 列車が分岐器上で走行中に鎖錠されない	(SC2) 列車が分岐器上に在線中は鎖錠しなければならない
(A1) 列車が分岐器上で脱線する	(H3) 列車が非開通の分岐器を背向で通過する	(SC3) 列車が背向で分岐器を通過する際に非開通であってはならない
(A2) 列車同士が衝突する	(H4) 到着列車の進路が駅在線列車と競合する方向に分岐器が開通している	(SC4) 進路が競合するように分岐器を開通させてはならない
所定の列車が駅から出発できない	・分岐器非開通の場合、解錠ができない ・分岐器非開通の場合、定位または反位への転換ができない ・分岐器開通後の鎖錠ができない	出発ができるよう解錠、転換、鎖錠を行う
所定の列車が駅に到着できない	・分岐器非開通の場合、解錠ができない ・分岐器非開通の場合、定位または反位への転換ができない ・分岐器開通後の鎖錠ができない	所定の到着ができるよう解錠、転換、鎖錠を行う

表3 UCA 識別表

コントロールアクション	与えられないとハザード	与えられるとハザード	早すぎ/遅すぎ/誤順序でハザード	早すぎる停止/長すぎる適用でハザード
反位から定位に転換指示	・1番線の発着が不可 ・(UCA1) 1番線から誤発車すると脱線SC3違反	・(UCA2) 列車が分岐器上に在線すると脱線SC1違反 ・(UCA3) 2番線から誤発車すると脱線SC3違反	早すぎると ・1番線からの列車より先行する2番線からの列車の出発が不可 ・1番線からの列車出発前の2番線への列車到着が不可 ・1番線への列車に先行する2番線への列車の到着が不可 ・2番線への到着列車が分岐器直前だと1番線に誤進入((UCA4) 1番線に他列車在線だと衝突) SC4違反 ・(UCA5) 2番線への到着列車が分岐器上だと脱線 SC1違反 ・(UCA6) 2番線からの出発列車が分岐器上だと脱線 SC1違反 遅すぎると ・1番線からの出発が遅延 ・1番線への到着が遅延	早すぎる停止だと ・転換が途中で停止し列車の発着が不可 長すぎる適用だと ・次の反位への転換が不可
定位から反位に転換指示	・2番線の発着が不可 ・(UCA7) 2番線から誤発車すると脱線SC3違反	・(UCA8) 列車が分岐器上に在線すると脱線SC1違反 ・(UCA9) 1番線から誤発車すると脱線 SC3違反	早すぎると ・2番線からの列車より先行する1番線からの列車の出発が不可 ・2番線からの列車出発前の1番線への列車到着が不可 ・2番線への列車に先行する1番線への列車の到着が不可 ・1番線への到着列車が分岐器直前だと2番線に誤進入((UCA10) 2番線に他列車在線だと衝突) SC4違反 ・(UCA11) 1番線への到着列車が分岐器上だと脱線 SC1違反 ・(UCA12) 1番線からの出発列車が分岐器上だと脱線 SC1違反 遅すぎると ・2番線からの出発が遅延 ・2番線への到着が遅延	早すぎる停止だと ・転換が途中で停止し列車の発着が不可 長すぎる適用だと ・次の定位への転換が不可
鎖錠指示	(UCA13) 車両が分岐器上を走行中だと脱線 SC2違反	転換が不可	遅すぎると ・(UCA14) 分岐器に進入した車両が脱線 SC2違反	早すぎる停止だと ・(UCA15) 分岐器に進入した車両が脱線 SC2違反 長すぎる適用だと ・次の解錠、転換が不可
解錠指示	転換が不可	(UCA16) 車両が分岐器上を走行中だと脱線 SC2違反	早すぎると ・(UCA17) 分岐器から進出前の車両が脱線 SC2違反	早すぎる停止だと ・解錠が不完全で次の転換が不可 長すぎる適用だと ・次の鎖錠が不可

ることで、対象とする装置に詳しい人間でなくても容易に解析を行うことができるものである。

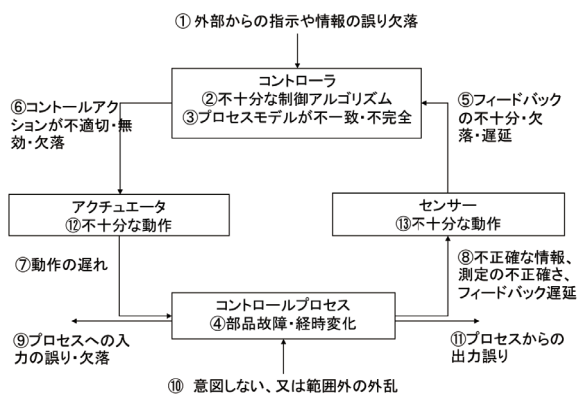


図4 STAMPにおけるガイドワード⁸⁾

解錠指示 早すぎると
(UCA17)分岐器から進出前の車両が脱線 SC2違反

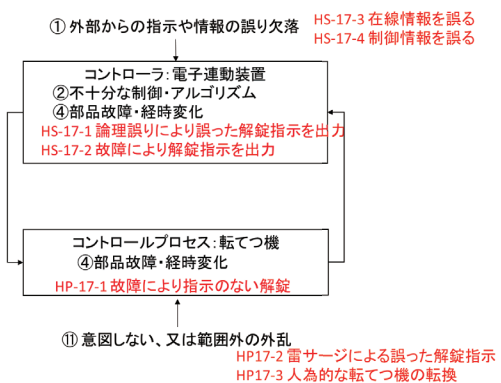


図5 コントロールループ図の例 (UCA17)

図5はUCA17に対してコントロールストラクチャを作成しそのハザード要因を解析したコントロールループ図の例である。同様に他のUCAに対しても解析を行った。抽出されたすべてのUCAに対して解析を行った結果、表4のように、HCF とその対策を整理した。

以上より、STAMP/STPA を実施することにより、相互作用及び時間的遷移も考慮に入れた安全性解析を行うことが可能であることを確認した。

表4 HCF とその対策の例 (UCA17) (一部)

ハザード誘発要因	対策
HS-17-1 論理誤りにより誤った解錠指示を出力	設計段階・製造段階での検査
HS-17-2 故障により解錠指示を出力	定期検査
HP-17-1 故障により指示のない解錠	定期検査

5. おわりに

海外向け鉄道システムの設計安全性評価に関し、複雑化した鉄道信号システムに対応するための評価手法について検討した。

これまでのFMEA及びFTAのような部品故障を対象とする考え方だけではなく、装置間の相互作用を解析するSTAMP/STPAの活用が有効なケースもあると考えられ、その一例として連動装置を例に検討を実施した結果、時間的遷移も考慮に入れた解析が可能なることから、その有効性を確認した。

今後は、FMEA及びFTAによる従来の安全性解析に加え、複雑化した鉄道信号システムに対応したSTAMP/STPAの適用実績を積み重ねていき、引き続き設計安全性評価に貢献していきたい。

参考文献

- 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)
- 林田他, “軌道系交通システムの国際展開に対応した技術評価手法の検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2015 講演概要集, pp.53-56 (2015)
- IEC 62425 “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signaling”, Ed.1.0 (2007)
- 中條武志, “人間信頼性工学: エラー防止への工学的アプローチ”, http://www.indsys.chuo-u.ac.jp/~nakajo/open-data/Healthcare_Errorproofing2.pdf
- 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”, 独立行政法人情報処理推進機構 p.1 (2016)
- 川野卓, “列車制御システムにおけるアシュアランス技術の適用に関する研究”, pp.70-85 (2018)
- 杉本他, “STAMP解析による時系列表現を取り入れたFTA解析の提案”, 日本信頼性学会, 第27回春季信頼性シンポジウム発表報文集, pp.109-112
- システム安全性・信頼性解析手法WG, “はじめてのSTAMP/STPA (実践編)”, 独立行政法人情報処理推進機構 p.8 (2017)

鉄道認証室における最近の活動概要

鉄道認証室

山崎 輝

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

他方、海外、特に欧州においては、規格として 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ー等の安全関連製品等の海外展開に際しては、製品等の国際規格に対する認証が求められることが多くなっている。

このような状況の下で、平成 20 年 6 月の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会提言を受けて鉄道技術標準化調査検討会の下に設置された鉄道認証機関設立検討 WG における検討等を踏まえ、平成 23 年 4 月に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、中期目標（平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月）に基づき鉄道関連業務もこれまでと同様に取り組んでいる。現在の認証業務実施体制の概要を図 1 に示す。

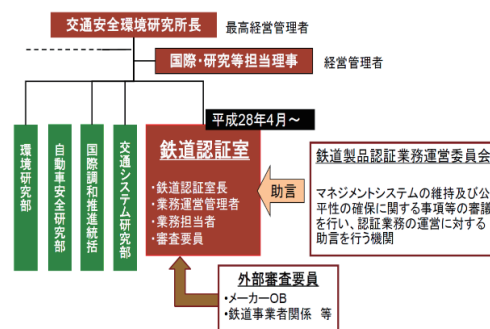


図 1 認証業務実施体制

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している。業務増に伴い執務室を拡張し、本年 7 月には IAJapan に登録した。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。

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、その後、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、保全性、安全性 (RAMS) の仕様と実証		IEC 62278:2002	○
通信、信号及び処理システム	信号用の安全関連電子システム	IEC 62425:2007	○
	鉄道の制御、保護システム用ソフトウェア	IEC 62279:2002	○
		IEC 62279:2015	○
	クローズドトランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-1:2002	○
	オープントランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-2:2002	○
トランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280:2014	○	
	通則、鉄道システム全体の外部等へのエミッション等	IEC 62236-1~5:2008	
電磁両立性			

3. 認証機関としての活動

3. 1. 認証の業務

本年 10 月 1 日までの認証書の発行実績は合計 35 件 (規格件数) である (図 2 参照)。なお、一つの案件で複数の規格適合性を申請される場合があるため案件数では 32 案件である。この 32 案件のうち認証が維持されているものは 30 案件、認証取得者の申請により認証を終了したものは 2 案件である。

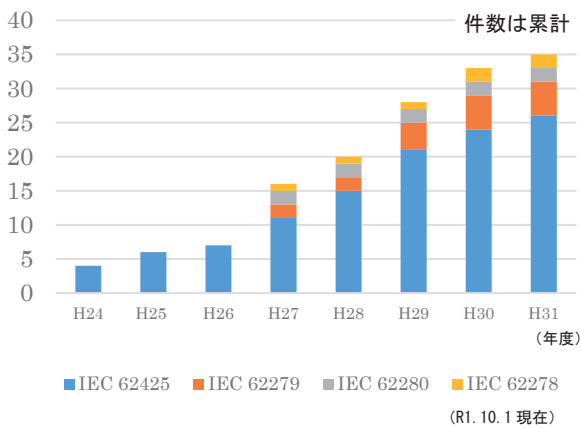


図 2 認証書発行実績 (規格件数)

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。

(3) その他

交通研フォーラム及び講演会での報告をはじめ、国内外の各種鉄道技術展等における展示等の取組を行っている。

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。

一方、国内においては、少子化の進展等に伴う関連技術伝承への取組の強化が従来にも増して重要な課題となっている。また、様々な技術分野でシステム等が高機能化、複雑化する中で、製品/システムの開発時から、安全性・信頼性がどのように考慮されて設計・開発されたか等について説明可能であることの重要性が指摘されるようになってきている。

このような状況の下、海外展開にあたっての国際社会との整合性の確保の観点や、新たな技術の社会受容性に対する説明責任の要請から、鉄道関連分野におけるエンジニアリング能力の向上とともに、技術とマネジメントの組み合わせによって製品安全性等を達成することを目標とする機能安全規格の考え方に基づく取組の強化が求められていくものと考えられる。

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、認証実績の拡充と認定範囲の拡大に努めていく。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、日本の鉄道技術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 4. 規格適合で求められるトレーサビリティの重要性について

鉄道認証室

※長谷川 智紀 田代 維史 渡邊 朝紀

服部 鉄範（客員専門調査員） 森 崇（客員専門調査員）

1. はじめに

近年、海外における鉄道関連プロジェクトにおいて、ISO (International Organization for Standardization, 英) や IEC (International Electrotechnical Commission, 英) に代表される国際規格、地域規格である欧州規格 (EN : European Norm, 仏) への規格適合が求められる。特に、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety, 英) 規格として知られている IEC 62278¹⁾ や EN 50126²⁾、Safety Case 規格で知られている IEC 62425³⁾ や EN 50129⁴⁾、そしてソフトウェア規格として知られている IEC 62279⁵⁾ や EN 50128⁶⁾ が要求される。

交通安全環境研究所では、鉄道分野で国内初となる認証機関として、NRCC (NTSEL Railway Certification Center) を立ち上げ、IEC 62278、IEC 62279 及び IEC 62425 等の規格適合に関する認証業務を平成 23 年度から開始し、平成 24 年度に製品評価技術機構 (NITE : National Institute of Technology and Evaluation, 英) 認定センター (IAJapan : International Accreditation Japan, 英) より IEC 62425 に対する製品認証機関として認定を受けた。現在、認定を受けている規格は IEC 62278、IEC 62279、IEC 62280⁷⁾ 及び IEC 62425 の 4 規格になる。

これまで、令和元年 10 月 1 日現在、32 件の認証書の発行を行ってきたところであるが、旧来からの日本国内向けのやり方では、規格適合が困難になる可能性が高いことが分かってきた。

特に、前述の規格で共通として求められているものとして、トレーサビリティがあるが、旧来からの日本国内向けのやり方ではトレーサビリティを確保することが難しいと著者としては感じている。

そこで、本発表では、旧来からの日本国内向けのやり方においてなじみのない、トレーサビリティについて、その意義と重要性、並びに階層的な仕様と要件の細かさの平均化が求められる意義について紹介する。

て、その意義と重要性、並びに階層的な仕様と要件の細かさの平均化が求められる意義について紹介する。

2. トレーサビリティとその重要性

2. 1. トレーサビリティとは

業界や用途によってトレーサビリティの意味する内容は変わってくる。食品の世界では、「食品の移動を把握できること」⁸⁾を指し、計量の世界では、「個々の校正が測定不確かさに寄与する、文書化された切れ目のない校正の連鎖を通じて、測定結果を計量参照に関連付けることができる測定結果の性質」⁹⁾を指す。

そのため、本報告では、IEC 62278、IEC 62279、IEC 62425 において求められているトレーサビリティについて述べる事とする。

これらの規格におけるトレーサビリティとは、以下の点について確認することである。

- ・ 全ての要件が適切に満たされていること
- ・ 追跡不可能な事項が入り込んでいないこと

なお、IEC 62278 では、トレーサビリティについて明示的に要求はされていないが、図 1 に示す Verification 及び Validation において次のように定義がされており、実質的にトレーサビリティを求めている。

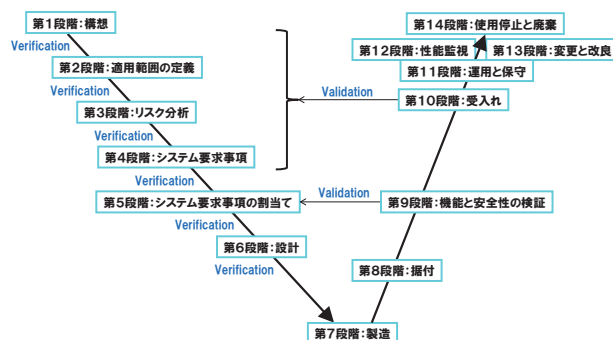


図 1 RAMS 規格の V スキーム

- **Verification** : 指定された要件が満たされていることの客観的証拠の調査及び提供による確認
- **Validation** : 特定の使用目的の特定の要件が満たされていることの客観的証拠の調査及び提供による確認

また、IEC 62425 では、**Verification** 及び **Validation** において次のように定義がされている。

- **Verification** : 検討中の段階の要件が、前の段階の出力を満たし、検討中の段階の出力がその要件を満たしていることを、分析及びテストにより証明する行為
- **Validation** : 製品が全ての要件を満たしていることを、テスト及び分析により証明する行為

このように、設定した要件が、各開発段階における入力・出力間で満たされおり、かつ製品が設定した要件を満たしているかを追跡すること、これがトレーサビリティである。これにより、要件の抜け漏れを防ぐことを規格は求めている。

2. 2. トレーサビリティを用いる意義

旧来からの日本国内向けのやり方においては、「ノウハウ」、「経験」、「暗黙知」に基づき安全性要件 (Safety Requirements) や試験計画 (Test Plan) が作られる傾向がある。この方法では、属人的になりやすい傾向があり、トレーサビリティがとりづらい仕組みになっている。ただし、属人的な要員が当該製品に対して終始一貫として携わることにより、当該要員によってトレーサビリティがとれてきた経緯がある。

しかし、少子高齢化がすすみ、従来の技術伝承のひとつである OJT (On the Job Training, 英) では、技術伝承の時間の確保が困難になりつつある。また、ノウハウをもつ要員の退職等もあり、旧来からの日本国内向けのやり方が限界に近づきつつある。¹⁰⁾

そこで、海外向け鉄道製品にかかわらず、属人的な仕様からの脱却とともに、仕様書の可読性を高める必要がある。その対策として、上位文書から下位文書へ、または下位文書から上位文書へ要件の追跡を可能とさせるトレーサビリティの確保が必要となる。標準的な関係を図 2 に示す。

ただし、トレーサビリティを確保するにあたっては、その手法に決まりがない。そのため、トレースを取るにあたり、次に示す注意すべき事項がある。なお、ここでは、要件の細かさを「粒度」と呼ぶこととする。

- 上位文書と下位文書の間で要件の粒度
- 複数の要件を、ひとつの要件のように記述
ひとつ目は、図 3 に示すように、上位・下位文書間で粒度が大きく違うため、トレース先が多くなり、トレース先のトレーサビリティの確実性が落ちることである。

ふたつ目は、図 4 に示すように、要件を複雑にすることにより、トレース元のトレーサビリティの確実性が落ちることである。

このように、トレーサビリティの確実性を高めるにあたっては、要件の記述方法に工夫が必要であり、その一手法として、**Formal Method** (形式手法) や構造化仕様があげられる。

そこで、次章では、このうち構造化仕様について述べる。

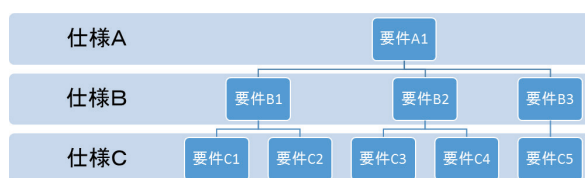


図 2 標準的な仕様の上下関係



図 3 仕様書間で粒度の差が大きい場合

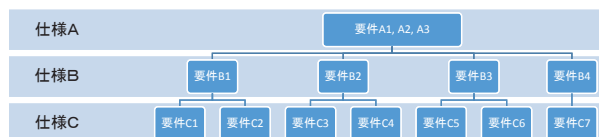


図 4 複数の要件を一つの要件と表現した場合

3. 階層的仕様と粒度の平均化

RAMS 規格等では、仕様の階層的構築が求められている。これは、例えば、Software Requirements からソースコードを作った場合、図 3 に示すように、一つの要件から多数のソースコードとトレースを取ることにになり、

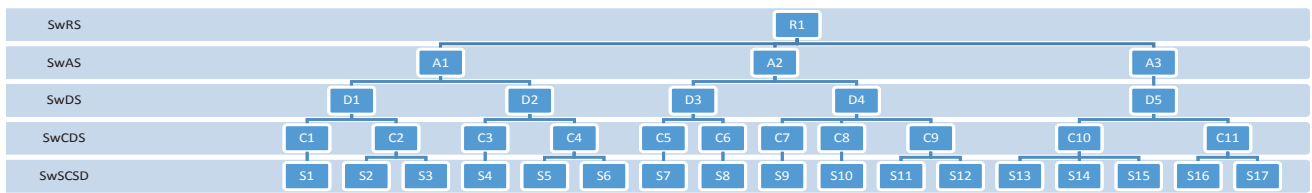


図5 IEC 62279 の階層的仕様を用いた要件の構造例

要件に対する網羅性が低くなる可能性が生じる。また、Software Requirements を詳細に作成する必要があり、要件の網羅性が低くなる可能性がある。

そこで、規格では、仕様を段階的に細かくする階層的仕様による開発が求められている。例えば、IEC 62279 では、求められているドキュメントとして次のものが挙げられる。

- Software Requirements Specification (SwRS)
- Software Architecture Specification (SwAS)
- Software Design Specification (SwDS)
- Software Component Design Specification (SwCDS)
- Software Source Code and supporting documentation (SwSCSD)

このように階層毎に文書を複数作成することにより、仕様書間の粒度の差を極力少なくし、要件のトレーサビリティを確保しやすくすることができる。(図5)

また、各仕様書の要件が整理されることになるため、仕様書における要件の実現を確認するテストの網羅性を確保することが可能になる。IEC 62279 では次のテスト関係のドキュメントが求められ、それらは各種仕様書とトレーサビリティが求められる。(図6及び図7)

- Overall Software Test Specification (OSwTS)
- Overall Software Test Report (OSwTR)
- Software/Hardware Integration Test Specification (SwHwITS)
- Software/Hardware Integration Test Report (SwHwITR)

- Software Integration Test Specification (SwITS)
- Software Integration Test Report (SwITR)
- Software Component Test Specification (SwCTS)
- Software Component Test Report (SwCTR)

なお、システムレベルにおいては、RAMS 活動の成果物として IEC 62278 において規定はされ、要件とのトレーサビリティを求めているが、IEC 62279 のような文書同士の明確なトレーサビリティに関する記述は見当たらない。

そのため、現状における RAMS 活動として作成すべき文書が不明確であることから、RAMS 活動を行う関係者によっては、規格の解釈により各文書において要件の粒度に違いが生じてしまう状況が見られる。

トレーサビリティを確保するためにも、各要件の粒度は均等になるよう仕様書を作成することが望ましいと考える。

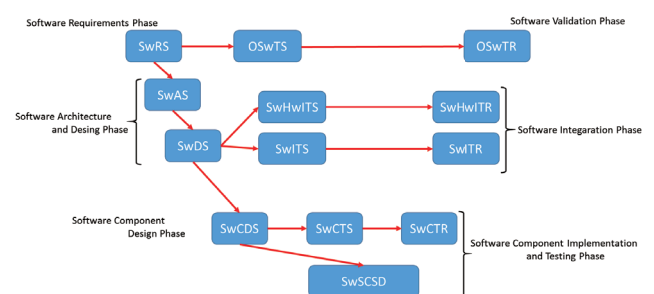


図6 IEC 62279 におけるトレーサビリティの関係

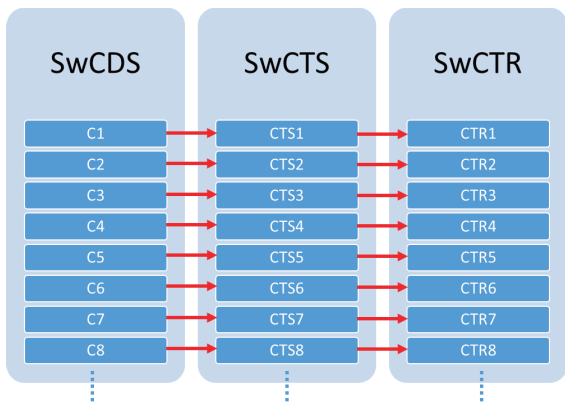


図7 仕様書、テスト仕様書及びテスト報告書の関係 (SwCDS、SwCTS 及び SwCTR の場合)

4. まとめ

これまで鉄道認機関設立以降対応した認証審査を踏まえ、規格適合におけるトレーサビリティの意義と重要性、並びに階層的な仕様と粒度の平均化に係る意義について述べた。

トレーサビリティの確実性を高めるにあたって、階層的仕様による上位・下位文書間の差を少なくするとともに、各仕様における要件の粒度を平均化することが重要であることを述べた。

海外向け鉄道製品にかかわらず、トレーサビリティは製品品質の確保において重要な活動であると考えられるため、国内向け製品に対しても積極的な適用、及びさらなる取り組みの向上を検討いただくことによって、これまでの国内向けのやり方の限界へのブレークスルーの一助になるとともに、国内向け鉄道製品及び海外向け鉄道製品の区別無い設計開発の構築を期待する。

参考文献

- 1) IEC 62278:2002: “Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)”
- 2) EN 50126:1999: “Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Basic requirements and generic process”
- 3) IEC 62425:2007: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling”

- 4) EN 50129:2003: “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling”
- 5) IEC 62279:2015: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems”
- 6) EN 50128:2011: “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems”
- 7) IEC 62280:2014: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related communication in transmission systems”
- 8) <http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trace/>
- 9) <https://www.nite.go.jp/iajapan/aboutus/gijutsu/trace.html>
- 10) 長谷川ら: “鉄道製品に関する安全関連規格に対して適合するための留意点について”, pp.17-20, 交通安全環境研究所フォーラム 2018, 2018年12月

講演 5. 規格適合における RAMS 規格の現状と今後の動向について

鉄道認証室

服部 鉄範（客員専門調査員）

1. はじめに

近年のアジア各国における鉄道関連プロジェクトにおいては、その入札及び導入にあたり、システム／製品のハードウェア及びソフトウェアの安全性に関するエビデンスだけでなく、システム構築のプロセスの適切性についても実証が求められるケースが多い。その際、適用される主なプロセス規格のひとつに RAMS 規格 (IEC 62278¹⁾ / EN 50126²⁾) がある。国内鉄道製品メーカーは、国内需要の将来的な縮小を想定し海外展開を推進していく中で、RAMS 規格を含めた、いわゆる安全関連規格に関する認証審査への対応力が必要となってきた。

本稿ではこうした状況を鑑み、認証において適用される安全関連規格を俯瞰し、特に RAMS 規格に着目し、その適用の現状と認証上の留意点について述べる。また鉄道関連プロジェクトの進展と共に、RAMS 認証に求められる内容が変化している側面があると考えていることから、その概要についても併せて述べる。さらに 2017 年には欧州規格の改訂版 (EN 50126-1,-2) が発行されており、国際規格 (IEC 62278) の改訂へ影響を与える可能性が高いことから、現在判明している範囲で、今後の動向について紹介する。

2. 安全関連 4 規格の認証件数の推移

鉄道認証室における認証の件数については、安全関連規格といわれる 4 規格分 (IEC 62278 (RAMS の仕様と実証)、IEC 62425 (信号用の安全関連電子システム)、IEC 62279 (鉄道の制御、保護システム用ソフトウェア)、IEC 62280 (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)) を合わせて、平成 24 年度以来、令和元年 5 月末までに、計 33 件 (案件数としては 30 件) について、認証を完了している。図 1 に示すとおり、その内 IEC 62425 が 24 件 (約 73%) と全体に占める割合が高く、次に IEC 62279 が 5 件 (約 15%) という一方で、IEC 62278 及び IEC 62280 の件数はデータの上では決して多くはないも

の、平成 30 年 5 月に IEC 62278 が認定規格に追加されたことに伴い、認証に関する照会が増加しており IEC 62425 や IEC 62279 と共にセットで要求される機会が増加すると想定している。図 2 に平成 30 年度末までの各規格の認証件数を示す。近年は毎年 4~9 件程度の依頼数であるが、今後は、規格間の件数の偏りが徐々に平準化され、かつ依頼の全体数がさらに増加すると分析している。

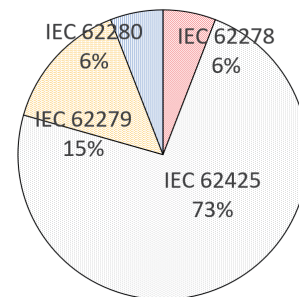


図 1 各安全関連規格の認証件数の比率

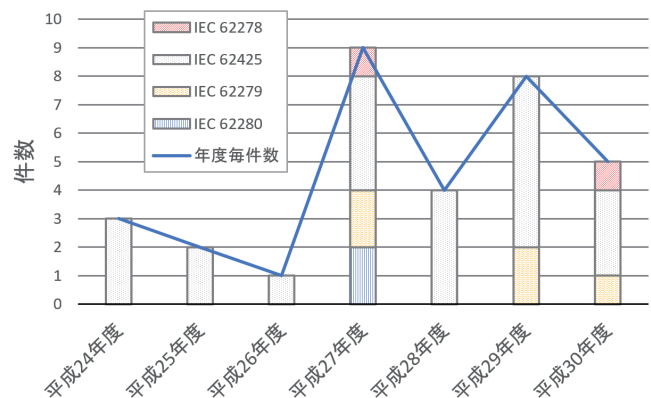


図 2 安全関連規格の認証件数の推移

3. RAMS 規格の適用の現状

国際規格としての RAMS の概要については、様々な文献が発行されている。それらの多くは IEC 62278:2002 の発行に関する情報、RAMS 要素、プロセスの重要性、他の安全関連規格との関係性、THR (Tolerable Hazard Rate, 英) 及び SIL (Safety Integrity Level, 英) の考え方、リスクマトリックスの考え方など、規格の中で重要な内容について解説して

おり、規格を理解する上で役立つ³⁾。ただ、それらの考え方を理解したとしても、実際にシステム／製品に RAMS 規格を適用する際には、規格に記述されていない部分で、少なからずハードルが生じる。本章では規格の適用にあたり留意すべき項目について述べる。

3. 1. 全体行程と実施体制の検討

製品開発を始めるにあたり、認証取得のための全体スケジュールと実施体制を、開発と並行して事前に検討しておくことが大切である。まず、対象製品が汎用品なのか、1度限りの特注品、あるいはシリーズ品であるのかによって、審査回数が異なり、行程に影響する。また、RAMS 規格は構想から廃棄に至る長期ライフサイクルに対応する必要があり、関連する規格との調整も生じるため、開発工程と認証行程とを合わせて考え、途中で生じる開発の差分まで考慮した行程を計画することにより、将来に亘り戦略的で無理のない、認証取得が可能となる。

3. 2. 申請時の諸条件

認証機関への申請にあたり、諸々の条件を事前に決定しなければならない。大きなポイントとしては、時系列のライフサイクルフェーズでどの段階までを対象とするのか、参照規格をどうするのか、認証結果が必要な時期などがある。プロジェクト体制が存在する場合には、システム統合を担当するインテグレータとサブシステムを供給するサプライヤ間の事前協議が必要である。

なお、申請にあたり必要なドキュメント様式をはじめ、規程類については、鉄道認証室のホームページ (<https://www.nts-el.go.jp/certification.html>) から閲覧・ダウンロードすることができる。

3. 3. SIL とその適用範囲の決定

実質的には、電子機器であれば IEC 62425、ソフトウェアであれば IEC 62279 の要求事項に沿って SIL 目標を設定するが、安全性分析の結果に基づいて SIL を割り付ける際には、機能構成の中で SIL が必要な範囲を明確化し、各機能に求められるレベルを過不足なく割り当てることが大切である。本当に必要な機能だけに必要なレベルを割り付けることで、合理的な製品設計を実施することができ、開発／認証に要する期間を適正化することができる。

3. 4. 適用ライフサイクルフェーズの決定

RAMS のライフサイクルフェーズでは、各フェーズで考慮すべき要求事項を満たすことが大切である

が、現在のところ、鉄道製品認証申請の際にどのフェーズまで認証実施するかを決定している。認証において多いのは第 6 フェーズ「設計と (RAMS 計画の) 実行」、次いで第 7 フェーズ「製造」までである。これは主にサプライヤが製品の RAM 性能を実証するためには、これらのフェーズまでエビデンスがあれば出荷できるためと考えられるが、最近では、インテグレータによっては第 9 フェーズ「システムの妥当性確認」まで、鉄道事業者では第 14 フェーズ「廃棄」までの審査を求めるケースもあることから、今後は申請者のニーズに柔軟に対応した RAMS 認証をさらに模索する必要があると考える。

3. 5. 信号プロジェクトの場合

従来は製品単体の認証依頼が多数であったが、近年では、システム・サブシステム・インタフェースを有するような、いわゆる信号プロジェクトに関する依頼を受けるようになってきた。しかしながら、そのような信号プロジェクトは、製品とは異なる側面があるため、RAMS 適用上留意すべき点について下記に述べる。

3. 5. 1. 開発と展開

大規模な信号システムを開発、展開しようとする場合、日本では鉄道事業者とサプライヤが一旦、研究開発契約などを締結してプロトタイプシステムを試作し、試験を実施した上で、実用化判定を行い、その後展開のフェーズに進むという開発、展開のスタイルがある。しかしながら RAMS 規格には、そのような開発、展開の 2 段階の流れは明記されていない。従ってそのようなシステムの認証にあたっては、図 3 のような RAMS サイクルの解釈を行い、それに従ってドキュメントを準備する必要がある。まず、「(1) プロトタイプ開発」は、時系列として、鉄道事業者からの要求仕様書などに基づき、機能の安全性分析を行った上で、試作品を設計・開発し、試験的に現地試験や走行試験を行う。その結果をみて組織内で実用化判定を行う。なお、運用と保全以降のフェーズはプロトタイプ開発では関係しない。次の段階として、「(2) 展開」に進むと、工事計画に従い試作品ではなく実稼働用の製品を製作し、現地に設置、試験を実施した上で、受入れに関する手続きを行い、実線区で使用開始する。この(1)と(2)とでは、開発と展開という意味で、自ずと準備するドキュメントが異なる部分があるので、注意が必要である。

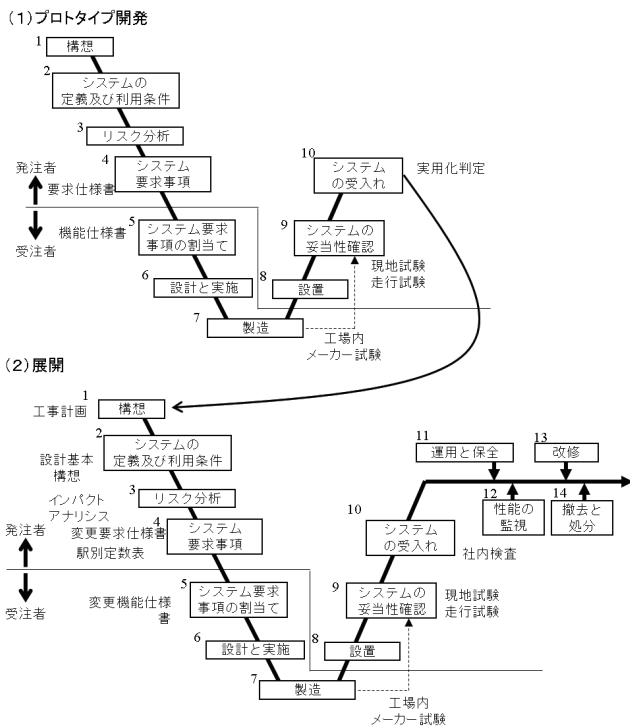


図3 RAMS サイクルの解釈

3. 5. 2. ドキュメント作成の役割分担

信号プロジェクトでは、インテグレータのマネジメントのもと、サプライヤが製品を提供する。認証にあたってはインテグレータとサプライヤとのドキュメント作成の役割分担を明確化することで、無理なく作業を進めることができる。一般にセーフティプラン、RAM プランなどのプラン系ドキュメントや現地試験以降のドキュメントはインテグレータが作成し、詳細仕様や工場内試験についてはサプライヤが作成するケースが多いが、決まりはないので、プロジェクト毎に妥当な分担を協議しておく必要がある。また、RAMS ではドキュメント間のトレーサビリティが求められるが、プラン系ドキュメントが変更になった際は、作成した組織が異なる場合でもレポート系ドキュメントを変更することが必要になるケースがある。プランが変更になった際は、必要であれば積極的にドキュメントを改訂することが、ベリフィケーションレポート及びバリデーションレポートにおいて、矛盾点の無いドキュメント群を作成することに繋がる⁴⁾。

4. RAMS 規格の今後の動向

現行の RAMS の国際規格 IEC 62278 は、1999 年に発行された欧州規格 EN 50126 を 2002 年に国際規格化したもので、長年にわたり認証において適用され

てきている。そうした中、2017 年に欧州規格の改訂版が EN 50126-1 及び-2 として発行された。これを受けて IEC 62278:2002 の改訂が今後進められる予定である。鉄道認証室は国際規格での認証を実施しているため、国際規格の改訂後の対応となる見込みであるが、改訂の動向については、関係の有識者にご指導を頂きながら、事前に調査・分析を実施しているので、その内容について主に認証の観点から紹介する⁵⁾。

4. 1. EN 50126 の改訂概要

欧州規格 EN 50126 の改訂作業は、2008 年頃から ERA (欧州鉄道庁) と CENELEC (欧州電気標準化委員会) が協力して開始され、既存の安全関連規格群を EN 50126 シリーズとしてパート毎に再構成する方針となった。すなわち、IEC 62279 及び IEC 62425 のベースとなった EN 50128 及び EN 50129 は、EN 50126 のパートとして再構成されることが計画された。その後、EN 50128 が 2011 年、EN 50129 が 2018 年に改訂されたが、結局、規格番号は変更されなかった。さらに、EN 50126 が EN 50126-1 として 2017 年に改訂され、同時に EN 50126-2 が新設された。表 1 に最新の EN 50126 シリーズの構成を示す。パート 1 は 1999 年に発行された EN 50126 の改訂版であり、パート 2 は、Part 1 適用時の Safety に関する一般的プロセスのガイドラインである。これら新しい欧州規格をベースとして、国際規格が発行された際には、鉄道認証室は新しい国際規格に従って認証を実施する必要がある。

表 1 最新の EN 50126 シリーズの構成

パート	概要
Part 1	Generic RAMS process ・一般的 RAMS プロセス ・ EN 50126 の内容見直し、新規事項追加
Part 2	Systems Approach to Safety ・安全に関するシステムアプローチ ・ Part 1 適用時の Safety に関する一般的プロセスのガイドライン

4. 2. IEC 62278 との相違点

EN-50126-1:2017 では大幅な改訂が行われたため、現行の IEC 62278:2002 との間には多くの相違点があるが、本稿では特徴的な点に絞って紹介する。

4. 2. 1. リスクに関する用語定義の見直し

規格内で用いられる用語については、第 3 章で定義されているが、改訂により追加、削除、変更が行われ

た。特徴的であるのは、risk の定義の変更である。表 2 に示すように、これまでリスクは hazard や harm という言葉を用いることで safety に限定していたが、今回の改訂で loss という言葉を使い RAM にも拡張された。

表 2 "risk"定義の変更

規格	定義
IEC 62278	probable rate of occurrence of a hazard causing harm and the degree of severity of the harm
EN 50126-1	combination of expected frequency of loss and the expected degree of severity of that loss

4. 2. 2. 適用設備の明記

規格が適用される対象設備については序論に記述されているが、IEC 62278 では第 2 パラグラフに、railway application (鉄道設備) と記述され、信号のみに限定していないと解釈され、さらに EN 50126-1 では第 1 パラグラフに、railway application fields Command, Control and Signalling (Signalling), Rolling Stock and Electric power supply for Railways (Fixed Installations) (鉄道分野の信号、鉄道車両、鉄道用電源 (地上設備)) と、適用設備が具体的に明記された。

4. 2. 3. 解説文の追記

IEC 62278 では用語定義の後に直接 RAMS の考え方について記述されているが、EN 50126-1 ではまず Multi-level system approach (多層システムのアプローチ) 及び Railway system overview (鉄道システム外観) というので、システムの階層構造と要求事項、また鉄道システムの構造と RAMS 要求事項について解説されており、システム・サブシステム・コンポーネントの関係、要求事項、特徴が整理されている。

また、EN 50129 (国際規格では IEC 62425) に記述されている、セーフティケースの目的と内容についても、EN 50126-2 に記載されている。

このように、解説が充実したことで、よりの確に規格の内容が理解できるようになったと考える。

4. 2. 4. 作成すべきドキュメントの明確化

IEC 62278 では第 6 章の各 RAMS ライフサイクルにおいて、各フェーズの目的、インプット、要求事項、成果物、ベリフィケーション、バリデーション内容について羅列的に記述されているのに対し、EN

50126-1 では第 7 章において目的、活動、成果物に整理され、ベリフィケーション、バリデーションの内容は第 6 章に共通事項が整理された。これにより実施内容がわかりやすくなったと考えられる。また成果物は例えばシステム定義書、RAM プラン、Safety プランなど、より具体的なドキュメント名が記述された。

4. 2. 5. ライフサイクルフェーズの変更

これまで RAMS ライフサイクルフェーズは 14 段階までであったが、運用に係わる 11~13 段階をひとつにしたことで、全体が 12 段階までに変更された。

4. 3. IEC 62278 の改訂に向けて

2018 年の IEC/TC9 年次総会の決議において、IEC 62278 改訂のためのメンテナンスチームを設置し、コンビナーとエキスパートの募集を行うが、CENELEC からの提案を待つ作業開始することが決議された。日本として有識者が協力し、十分な準備をして臨んでいく。

5. まとめ

本稿では、RAMS 規格の認証への適用の現状と今後の動向について述べた。交通安全環境研究所鉄道認証室は、日本の鉄道製品の海外展開への貢献のため、規格適合の適正化に引き続き、取り組んでいく。

最後に本稿をまとめるにあたり、ご指導を賜りました皆様方に深謝申し上げます。

参考文献

- 1) IEC 62278:2002, "Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)"
- 2) EN 50126-1:2017, "Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Generic RAMS Process"
- 3) 田代維史, "鉄道の安全関連国際規格の動向と規格適合性認証", pp.53-56, 交通安全環境研究所フォーラム 2014, 2014 年 11 月
- 4) 長谷川智紀, 渡邊朝紀, 田代維史, "鉄道製品に関する安全関連規格に対して適合するための留意点について", pp.17-20, 交通安全環境研究所フォーラム 2018, 2018 年 11 月
- 5) 松本雅行, "IEC 62278(RAMS)の改訂始まる", JREA, Vol.62, No.2, pp.14-17 (2019)

講演 6. 鉄道信号保安装置における通信と国際規格の活用

鉄道認証室

森 崇 (客員専門調査員)

1. はじめに

鉄道の安全を守るには、土木構造物、レールや枕木、ポイントなどの軌道、車両などの維持管理だけではなく、列車を制御するための信号装置や部外との交通との接続点である踏切装置等が重要な役割を果たしている。これらの装置は土木構造物や軌道等の「壊れない強度を持った安全、維持管理することにより保つ安全」ではなく、「壊れてもできるだけ安全な状態に遷移させる」というフェールセーフ思想でシステム設計が行われている。

この「フェールセーフ思想」で列車制御の安全を担保する装置を「鉄道信号保安装置」と一般的に称する。典型的な例には、列車と列車の間隔を確保し、衝突を起こさないようにする「閉そく装置」、列車に対して到着点まで安全に進路を確保する「連動装置」、「閉そく装置」や「連動装置」の情報を受け、運転士に対して進行の可否を示す「信号装置」、運転士が「信号装置」の指示に従わず運転を継続した場合に停止させる「ATS・ATC 装置」、列車の接近に応じて踏切を警報させ、踏切道に異常があれば列車を停止させる「踏切保安装置」などがある。

これらの装置は有機的に結合され、連携して動作する。この連携には、装置間の通信が使用されることになる。過去にはリレーを動作させ、そのリレー接点の ON/OFF により情報を伝送していたが、現代においては、IP(Internet Protocol,英)ネットワークや無線装置の活用が進みつつある。

このように鉄道信号保安装置の中で通信の重要性が増すにつれ、データの完全性の確保やセキュリティなど今までの鉄道信号保安装置の技術分野ではなかった事柄の重要性が増している。本発表では、鉄道保安装置におけるデータの完全性の確保、セキュリティ確保について国際規格を考慮に入れながら述べる。

2. 鉄道信号保安装置への通信活用の例

鉄道信号保安装置として近年当室の認証においても増加しているのは、CBTC(Communication Based Train Control,英)である。この装置の概要を図 1 に示す。

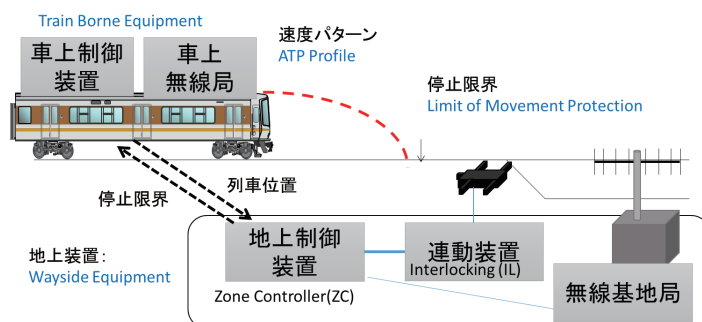


図 1 CBTC の例

このシステムはいくつかの装置からなる。Interlocking(連動装置)は、列車に対して進路を確保し、CBTC wayside equipment (地上装置) が先行列車と連動装置の進路確保条件から、当該列車が進行を許可される限界である LMA(Limit of Movement Authority,英)を決定する。LMA の情報をもとに、Train-borne equipment(車上装置)は、ATP (Automatic Train Protection,英) profile を計算し、その速度を超過するとブレーキ指令を出力する。

進路確保条件が誤って CBTC 地上装置に伝わったり、誤った LMA が車上装置に伝送されると、列車の追突や脱線につながることになる。

このような事象を起こさないために、伝送データの完全性の確保は、CBTC において非常に重要であることがわかる。

3. ネットワーク設計における一般的な留意点

鉄道信号保安装置に通信ネットワークを活用する際に留意すべき点を以下に述べる。

○鉄道信号保安装置の通信ネットワークは鉄道特注品のみで構成することはほぼ不可能であり、幅広い市販品の中から構成を検討することになる。

鉄道信号保安装置は、安全性を担保するため、故障しても安全な状態に遷移させる必要があるが、通信を担う通信ネットワーク機器はそのような思想で設計されているものを選択することはほぼ不可能である。汎用化が極度に進み、現実的には使用される機器はネットワーク機器メーカーが販売するものの中から選択することになる。その機器選択、ネットワーク構成やプロトコル選択については、鉄道事業者等の安全、稼働率、セキュリティ及び投資可能金額についての考え方によって大きく変わる。

○通信ネットワーク機器のライフサイクルは、製品寿命よりも保守の終了によって決まる。

ネットワーク機器のライフサイクルは鉄道保安装置の考える期間とは大きく異なり、5年から7年程度で保守サポートが終了することとなる。これはネットワーク機器がソフトウェアで動作するという特性上、ハードウェアのサポートだけではなく、ソフトウェアのサポートがあり、組み込むソフトウェアモジュールのサポートが終了すると、必然的に機器のソフトウェアのサポートを終了することになるためである。現在はサポート切れのソフトウェアを使用することは、ネットワークセキュリティの観点からは推奨されないため、その時点で機器の取り換えを行うこととなる。このため、通信ネットワーク機器においてライフサイクル管理も非常に重要な観点となる。

鉄道信号保安装置に使用される通信ネットワーク機器は、機器開発そのものをするのではなく、目的、保守ライフサイクル、鉄道事業者の考え方に応じて提供されているサービスや製品群から製品を選択し、代替可能な製品群を選択し取り替えることにより構築を行うことになる。このため、保守終了後、同一のプロトコルで動作するように、普及しているネットワークプロトコルを選択することが重要である。

4. IEC 62280 を中心にしたネットワーク構築の実際

4. 1. IEC 62280 の基本的な考え方

IEC 62280 (参考文献 1))は、鉄道用途の伝送、信号及び処理システムにおける、安全関連通信についての規格である。

IEC 62280 においては、reference architecture(参照構成)を定めている。これは現状を鑑み、一般の機器を用いて通信ネットワークを自営で構成することや、商用の通信ネットワークサービスを用いて鉄道信号保安装置の伝送を行うことを前提にしている。(図 2)

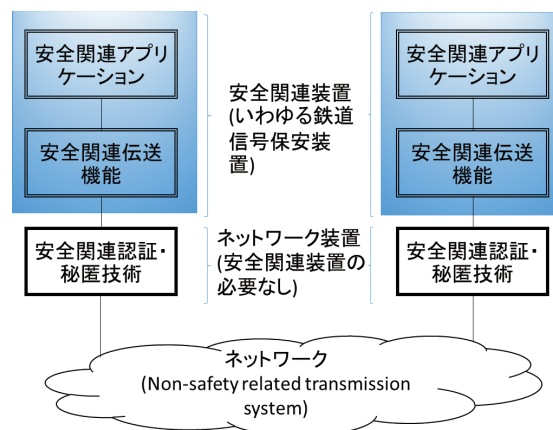


図 2 IEC 62280 参照構成

このモデルでは、安全関連伝送機能と通信ネットワークが伝送に関係する。通信ネットワークは、誤りやデータ抜け、データの重複、順序変更が発生する可能性がある。IEC 62280 では、通信ネットワークに非常に高い品質を要求するのではなく、どのような品質のものであっても、安全関連伝送機能で、その誤りなどを検出して、安全関連アプリケーションに使用しないように処理をすれば、誤ったデータで処理が行われずに、安全が担保できるという考え方に基づいている。その考え方の概要を図 3 に示す。

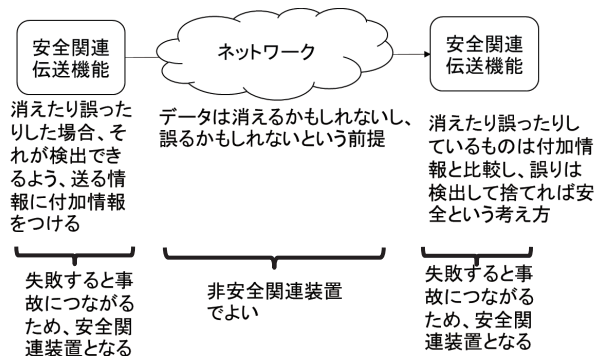


図 3 IEC 62280 の安全に対する考え方

この処理を失敗した場合、間違ったデータにより処理されてしまうため、異常の検出をできるだけ確実にを行うように、ソフトウェアの品質を高め、ハードウェアの故障があった場合素早く止めなければならない。このため、安全関連伝送機能の処理は鉄道信号保安装置の中で行うことが IEC 62280 で定められている。なお、安全関連伝送機能は IEC62425(参考文献 2)鉄道用途の伝送、信号及び処理システムにおける、信号のための安全関連電子システム)に定められた技術的手法によることとなっている。

また、セキュリティ上の脅威に対応するため、必要に応じて「安全関連認証・秘匿技術」を付加することになっている。

4. 2. IEC 62280 を中心に活用した設計

IEC 62280 は、Annex Dに"Guidelines for use of the standard(この規格の使用ガイドライン)"があり、設計ステップ (IEC 62280 D.1)が述べられている。

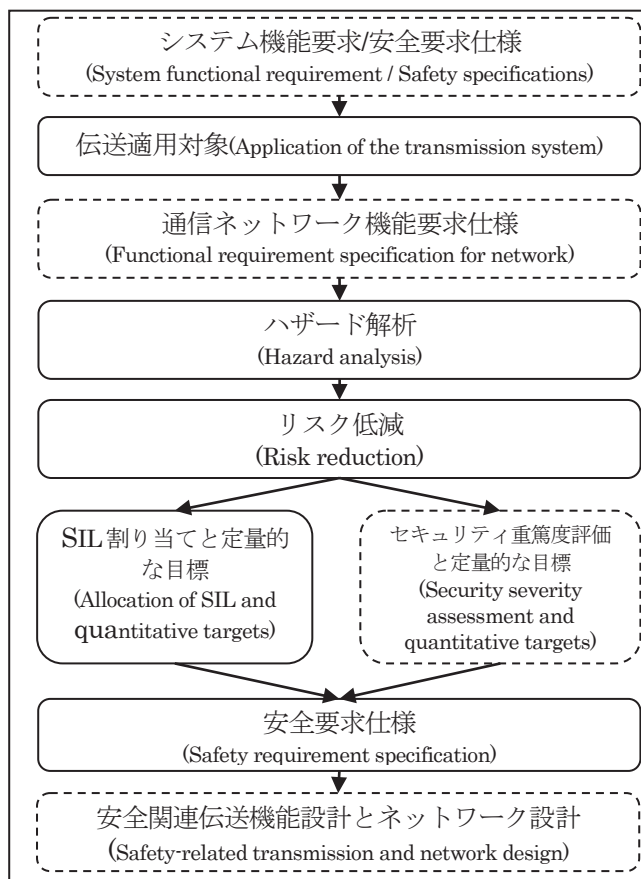


図 4 伝送機能設計の流れ

なお、図 4 における項目のうち、実線で囲われた部分は IEC 62280 Annex D に記載のある事項であり、点線で囲われた部分は、筆者が必要と思われる事項を追

記したものである。各々について、重要な事項を述べる。

(1) 伝送適用対象

通信ネットワークにどのようなデータがそのような頻度で流れるかを設計者が把握する。この把握がハザードの解析の基礎となる。

(2) ハザード解析

(1)で検討したデータが、

- 繰り返し repetition;
- 削除 deletion;
- 挿入 insertion;
- 順序逆転 re-sequencing;
- 符号破壊 corruption;
- 遅延 delay;
- なりすまし masquerade.

があった場合どのような好ましくない事象が起こるかを考えていく。この 7 つのガイドワードを IEC 62280 では、「脅威(threat)」といている。

この脅威は、通信ネットワークの特性により考慮しなければならない場合と、考慮の必要がない場合がある。このため、与えられた通信ネットワークにより、「専用で管理された category 1」、「専用ではないが外部からの悪意ある侵入がない category 2」、「オープンでアクセス制限のない category 3」に IEC 62280 では分類され、カテゴリごとの脅威への対策の必要性の有無が Annex B に示されている。

また、鉄道信号保安装置において好ましくない事象はほぼ「列車相互間の追突、衝突」、「列車の脱線」、「部外（自動車、人や土砂など）との衝突」、「運行の停止もしくは制限」とされる場合が多く、このうち人命に影響を与えるような事象を危害 (harm) という。

この解析結果を基に、どのような脅威が具体的に存在し、危害などの好ましくない事象のリスクを評価し、通信ネットワークがどのカテゴリにあるのかにより、リスク低減が必要かどうかを決定する。またなりすましによる、人為的な攻撃については、確率的なアプローチが困難なため、章を改め説明する。

表 1 に解析の例を示す。

表1 ボトムアップアプローチによる解析

地上-車上間伝送の例 (Category 3)

情報種別	脅威	ハザード	好ましくない事象	原因	頻度	評価
臨時速度制限	繰り返し	アプリケーション処理遅延・停止	列車運行不能	N/W機器故障	B	対策必要
	削除	切断によるデータ更新なし	速度超過による脱線での複数死亡	断線	A	対策必要
	挿入	機器故障によるデータ挿入	不正な速度低下	N/W機器故障	B	対策必要
	： なりすまし	： ハッキングによるデータ操作	： 速度超過による脱線での死亡 列車運行不能	： 無線区間ハッキング	： /	： 別途検討
：	：	：	：	：	：	：

(3) リスク低減、SIL の割り当てと定量的な目標

リスク低減の対処が必要な場合、脅威を引き起こす原因である hazardous event を解析し、通信ネットワークで事象発生頻度を低減するか、hazardous event があっても安全関連伝送機能で不正データを採用しないことにより対処することになる。安全関連伝送機能で脅威対処を行う方法について IEC 62280 7 章で考え方が示されている。以下に概要を示す。

表2 脅威とリスク低減手法

脅威	低減手法							
	シーケンス番号	タイムスタンプ	タイムアウト	ID	フィールドパック	認証	安全コード	暗号技術
繰り返し	X	X						
削除	X							
挿入	X			X	X	X		
順序逆転	X	X						
符号破壊							X	X
遅延		X	X					
なりすまし					X	X		X

表2の通りリスク低減手法例は規格に示されている。しかしながら、シーケンス番号や安全コードの長さなどについては示されていない。

例えば、ある保安装置の機能に $10^{-9}/h$ を許容危険側遷移頻度として割り当てた場合、一般的にその装置の SIL (Safety Integrity Level, 英) は 4 となる。その伝送を担う安全関連伝送機能にも SIL 4 を割り当てた場合、符号破壊の見落としもそれを下回ることが要求される。

一般的に安全符号 ICV (Integrity check value, 英) において符号脆弱性がない場合、その符号衝突確率は、安全符号長を n とすると、 $2^{-n/2}$ となる。仮にメッ

セージを 1 秒間に 100 回伝送し、伝送路におけるメッセージの誤り率が 10^{-5} の仮定の下で、符号誤り見逃し頻度を $10^{-10}/h$ を要求する場合、

$$100 \times 2^{-n/2} \times 3600 < 10^{-5}$$

を満たす n となる 71 ビット以上の安全符号長が必要である。このように、「安全符号を採用する」だけではなく、「脆弱性のない oo ビット長の安全符号を採用する」というレベルまでの検討が必要である。

5. 人為的な脅威についての留意点

なりすましなど人為的な脅威は、その他の脅威とは異なり、確率論的なアプローチのみで議論できない。また技術進化によりリスクが増大する可能性があることに留意した方が好ましい。

人為的な脅威は、ハッキングを行う人の能力、それによる利益、技術的及び環境などのハッキングの行いやすさにより攻撃が成功するかどうか決まる。一般的に安全を語る際、確率×重篤性がリスクと言われるが、セキュリティについては、「実行可能性×ハッカーの利益」が評価指標となるため、ハッキングを行った際の利益やその利益の高い部分への重点的な対処が必要である。また、技術進化により一般的にはリスクは増大するため、人為的脅威は日頃から脅威を監視する必要がある。IEC 62280 におけるなりすましへの対策について、上記のような視点が望まれると考える。

6. 最後に

鉄道認証室において、データ伝送を活用したシステムの審査は今後ともますます増えていくと思われる。規格適合性において、システムが規格に合致することのみを目的とするのではなく、その規格の精神を生かし、より安全でセキュアなシステムを構築するために規格を活用していただけると幸いである。

鉄道認証室においても限られたメンバーではあるが、これからも伝送系における安全とセキュリティについての調査研究を進めて参りたい。

参考文献

- 1) IEC, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related communication in transmission systems" IEC 62280 (2014)
- 2) IEC, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling" IEC 62425 (2007)

口 頭 発 表 11.22

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

大気汚染物質の排出に対する自動車の寄与は大きく、これまで厳しい排出ガス規制が設けられてきた。その結果、平成 29 年度の二酸化窒素 (NO₂)、浮遊粒子状物質 (SPM) 等による大気汚染については大きく改善されている。一方で、微小粒子状物質 (PM2.5) の環境基準達成率は、自排局で 86.2%であり、平成 28 年度と比較してやや低下し、自動車から排出される粒子状物質のさらなる低減が課題となっている¹⁾。

2017 年度の日本の二酸化炭素排出量²⁾は 11 億 9,000 万トンで、自動車全体で日本全体の 15.4% (運輸部門の 86.2%) を占めており、排出ガス規制とともに、更に厳しくなる燃費基準との両立が求められている。また、「成長戦略フォローアップ」(令和元年 6 月 21 日閣議決定)³⁾では、2030 年までに新車販売に占める次世代自動車の割合を 5~7 割とすることを目指すこととしている。

騒音については、平成 29 年度自動車交通騒音状況では、昼夜間とも環境基準を超過していたのは全体の 2.8%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緩やかな改善傾向にあるものの、幹線交通を担う道路に近接する空間においては、改善すべき余地が依然として大きく⁴⁾、沿道騒音に係る苦情件数は、ここ数年は減少傾向は見られない。

上記のような背景のもと、交通安全環境研究所環境研究部は、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、下記の課題について重点的に取り組んでいる。

- ・燃料電池等新技术搭載自動車の安全・環境性能評価
- ・実走行時の有害物質及び騒音の評価
- ・実用燃費の評価

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. 燃料電池等新技术搭載自動車の安全・環境性能評価

当研究所では、電気自動車 (EV)、燃料電池自動車 (FCV) 等次世代自動車といった新技术搭載車両について、環境性能 (水素燃料に対するエネルギー消費効率等) を正しく評価するための研究を実施している。世界統一技術規則第 15 号 (GTR-15) に規定されている FCV の水素燃料消費率試験法は、検証結果がない状況で試験法が検討されたものであるため、その後、日本において FCV が販売されたことから、当研究所において、量産車を用いて水素燃料消費率試験法の妥当性の確認を行い、公正な試験を実施するために必要な要件を明らかにした。この結果を基に、日本から GTR-15 の改正提案を行い、第 178 回 WP29 において改正が可決された。また、現在未整備である FCV の一充填走行距離 (レンジ) の試験法を整備するため、FCV の使用可能な水素量の測定法を検討し、レンジを計算式で求める手法の検討を行っている。

2. 2. 実走行時の有害物質及び騒音の評価

自動車の有害物質排出及び騒音に関しては、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等に関する研究を行っている。

例えば、国土交通省の「次世代大型車開発・実用化促進事業 (第 4 期)」(平成 27~30 年度) においては、実走行時の燃費向上・排出ガス対策、ハイブリッド車等の試験法の高度化に取り組み、必要な技術基準等を整備するための技術的な調査を行った。

引き続き、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、電動化技術や内燃機関分野等の開発促進の強化を図り、高効率次世代大型車両の開発・実用化の促進を目指して、産学官連携で「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~5 年度) で行うこととしており、令和元年度は、当研究所が中核的研究機関

として実施している。

また、RDE (Real Driving Emissions) 試験法に関して、世界統一技術規則 (GTR) 策定のための議論において試験成立性に係る要件が変更されていることから、新たな成立性要件における妥当性の検討を行っている。粒子状物質の評価については、実走行時における PN 計測手法が確立されていないため、シャシダイナモメータ及び各種 PN 計測装置等を用いて、簡便かつ精度よく評価が行える手法の検討を行っている。

騒音に関しては、公道での走行騒音から、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、深層学習を用いた判定モデルの作成を行っている。騒音データから音質や車両の走行方法等を加味して、車両騒音を判別するシステムを考案し、今後、街頭検査の効率化に資するべく、実用化を目指した検討を行う予定である。

2. 3. 実用燃費の評価

実走行時の燃費と認証審査時に得られたカタログ燃費については乖離があるという指摘がある。また、今後普及が見込まれる電気自動車 (EV) に対しては、使用過程において一充電航続距離や電力消費率 (電費) が大きく減少する例が見られる。その要因の一つとして、認証試験における運転挙動が運転者によって異なることや、実走行においては室内空調が使用されるなどの認証審査時と異なる使用状況が挙げられる。認証試験における運転者の運転挙動は再現性や公平性が求められることから、実路走行時の運転者の運転挙動を再現した「ドライバモデル」を構築し、運転ロボットで制御させ評価する新たな手法を検討した。

また、空調使用時の乗用車の電費性能評価に向け、試験手法の検討を行った。一方、重量車 EV については電費評価法が未整備であるため、重量車ハイブリッド評価に用いられている HILS (Hardware In the Loop Simulation) 試験法をベースとし、再現性、公平性を有する新たな評価手法 (装置) を検討した。

3. 国際基準調和活動

環境研究部では、WP29 の環境に関する専門家会合とその傘下のインフォーマル会議等において、基準の原案作りや修正等の作業に積極的に関わっている。

3. 1. 排出ガス・エネルギー専門家会合 (GRPE)

WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) インフォーマル会議は当研究所の職

員が副議長として参加しており、第 78 回 GRPE で承認された GTR15 (WLTP) の走行抵抗及び補間法等を修正した改正案と、GTR19 (WLTP EVAP) の設備要件追加の修正案の作成に貢献した。また、EVE (Electric Vehicles and the Environment) インフォーマル会議等においても当研究所の職員が副議長として参画している。

3. 2. 騒音・タイヤ専門家会合 (GRBP)

GRBP では、大型車等の後退を音で知らせる警報装置についての新たな国連規則を検討するためのタスクフォースが設置されており、当研究所の職員が議長を担当し、当研究所にて実施した調査研究を報告するなど、国際基準の策定に向けて積極的に活動を行っている。また、加速走行騒音については、規制値見直し等のための検討に貢献し、追加騒音規定を検討している ASEP インフォーマル会議では当研究所の職員が副議長として参画している。

4. 環境研究部の今後の方向性

近年の自動車には、排出ガスや燃費性能向上のために、新たなデバイスや複雑な制御など次々に新技術が導入されている。これらの技術を適切に評価するため、その評価システムや評価方法も高度化・複雑化している。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、自動車メーカーが新たに開発した優れた技術を積極的に投入できるように、関連する調査、研究等を進めていくとともに、国際基準調和に貢献していくこととしている。

参考文献

- 1) 環境省、“平成 29 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/106609.html>)、(参照 2019.08.21)
- 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 2019.08.21)
- 3) 内閣官房日本経済再生総合事務局、“成長戦略フォローアップ”、首相官邸ホームページ、(https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/portal/follow_up/)、(参照 2019.09.02)
- 4) 環境省、“平成 29 年度自動車交通騒音の状況について”、環境省ホームページ、(<https://www.env.go.jp/press/106640.html>)、(参照 2019.08.21)

講演 1. 電気重量車の電力消費率を高精度に評価するための 新たな HILS 試験手法の検討

環境研究部

奥井 伸宜

1. はじめに

プラグインハイブリッド自動車及び電気自動車等の電動化技術搭載車両の普及が急速に進んでいる。トラックやバス等の重量車分野においても、同様の流れにある。その普及の拡大を受け、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）にて、WHDC（Worldwide Heavy-Duty Certification procedure）の gtr（global technical regulation）No.4 で、ハイブリッド重量車を含む重量車の排出ガス試験法が規定され、運用されている。一方、それら車両の燃料消費率については、各国が独自に取り決め運用している。ここで、日本におけるハイブリッド重量車やプラグインハイブリッド重量車の燃料消費率（燃費）及び電気重量車の電力消費率（電費）の整備状況を、表 1 に示す。ハイブリッド重量車の燃費試験法は整備されているが、プラグインハイブリッド重量車の燃費試験法及び電気重量車の電費試験法は、未整備の状況にある。そこで、現在、国土交通省や環境省が中心となり「重量車の電費等試験法検討会」を立ち上げ、整備を進めている。その検討においては、既に整備されている「ハイブリッド重量車試験法（従来 HILS（Hardware In the Loop Simulation）試験法）」を参考とし、それら重量車に必要な改良を行っている。

従来 HILS 試験法は、車両のみならず、エンジン、電動モーター及びバッテリー等のパワートレイン部分をモデルで再現し、机上で計算機を用いて評価するものである。この際、エンジン等の状態が安定した「ホットスタート」を前提としていることから、モデルでそれらを再現することは比較的容易である。しかしな

表 1 電動重量車の試験法整備状況（日本）

	ハイブリッド (HEV)	プラグインハイブリッド (PHEV)	電気自動車 (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	なし(→拡張HILS)	なし

(TRIAS : Test Requirements and Instructions for Automobile Standards)

がら、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、そ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て運用する「拡張 HILS」手法を提案している¹⁾。

バッテリー搭載容量が多い電気重量車は、車両運用時にバッテリーが発熱する、劣化する等で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、上述した拡張 HILS 手法で得た知見を応用した「バッテリー-HILS」手法を検討した。具体的には、従来 HILS に実機バッテリーを組み合わせる手法である。本実験においては、電気重量車が入手困難であったため、市販の電気乗用車を対象とした。実際に、新たな HILS でこの電気乗用車をモデルで再現させ、各種検証を行った。以下、その内容を紹介する。

2. 電気自動車用バッテリーのモデル化の課題

実機バッテリーを低温環境下で使用した際、バッテリーの内部抵抗が増加するためバッテリー温度は上昇する。そこで市販の電気自動車を用い、この一般特性に対して車両性能がどの程度影響を受けるかを調べた。

表 2 供試車両

Vehicle weight	[kg]	1,100
Motor	Type	Permanent magnet synchronous motor
	Max. output [kW/min ⁻¹]	47 / 3,000 ~ 6,000
	Max. torque [Nm/min ⁻¹]	180 / 0 ~ 2,000
Battery	Type	Lithium-ion
	Rated voltage [V]	330
	Rated capacity [kWh]	16
	Control system	Inverter control
Drive-train		Rear-wheel drive
Product year		2009



2.1 供試車両

本実験に用いた供試車両を表 2 に示す。軽自動車カテゴリーに属する電気自動車（2009 年製）である。リチウムイオンバッテリーを 16kWh 搭載している。

2.2 課題把握（実車両を使用して）

シャシダイナモメーターを用いて、供試車両のバッテリー特性を調査した。バッテリー満充電からバッテリー残量が無くなるまで、JC08 モードを繰り返し走行した。車室内空調機は「オフ」である。

(1) 時間経過の影響

車両購入時から約 10 年が経過しており、その間の航続可能距離の推移を調査した。図 1 に、航続可能距離の結果を示す。納車後はカタログ性能（160km）に近い約 157km 走行できたが、2019 年 7 月時点は約 115km となり、走行可能距離は約 42km（約 27%）短くなった。

(2) 車両周囲（外気）温度の影響

従来試験法規定の周囲温度 25°Cに加え、7°C及び 37°Cの環境下で航続可能距離を調査した。図 2 に周囲温度に対する航続可能距離の結果を示す。試験実施時の車両積算走行距離（オドメータ）は、約 5,000km である。周囲温度が下がれば航続可能距離は減少し、周囲温度が上がればその逆となった。

(3) モード繰り返し走行時の影響

周囲温度違いの影響を詳細に調べるため、モード繰

り返し走行時のバッテリー温度の推移を、バッテリー蓄電状態（SOC : State of Charge）を横軸として整理した。結果を図 3 に示す。走行を繰り返すとバッテリー温度が上昇し、その温度上昇幅（ ΔT ）は、低温環境下ほど大きくなった。

以上の (1) ~ (3) で確認した通り、実使用時の電気自動車搭載バッテリーは、様々な影響を受けることを確認した。

ここで、電気重量車の電費評価は、従来 HILS 試験法をベースに検討されている。従来 HILS 試験法では、電池の直流内部抵抗や端子電圧を求める際、「電圧測定は単位電池端子間又は車両搭載状態端子間で行う。試験開始時の電池温度は、25°C±2°Cとする。ただし、車両搭載状態相当でのモード運転時における電池温度実測値を申請することで、45°C±2°Cを選択することができる。」と規定され、バッテリーをモデル化の際は、「電流や電圧特性を、最小二乗法によって求める。」とされる。しかし、ハイブリッド車に比べ、電気自動車のバッテリー使用領域（SOC 幅）は広く、走行時の実機バッテリーは、上述した通り、自己発熱により温度が上昇し、バッテリー特性が常に変化する。このことから、規定通りの 25°C±2°Cまたは 45°C±2°Cで保たれた環境下でバッテリーをモデル（マップ）化し、仮想車両を走行させた場合、実車両の走行性能を再現できない恐れがある。

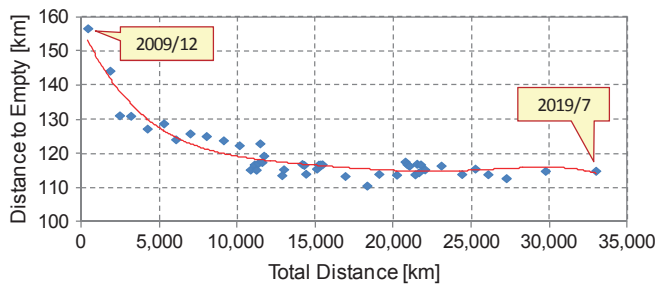


図 1 時間経過の影響（実車両、周囲温度：25°C）

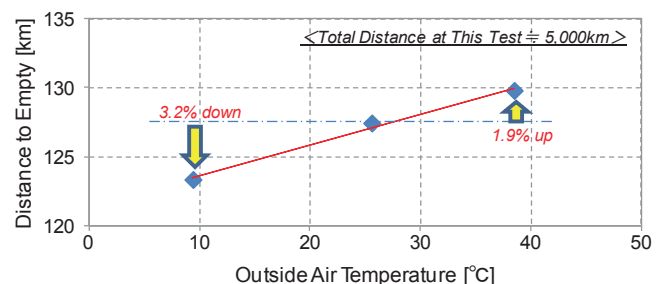


図 2 周囲温度の影響（実車両）

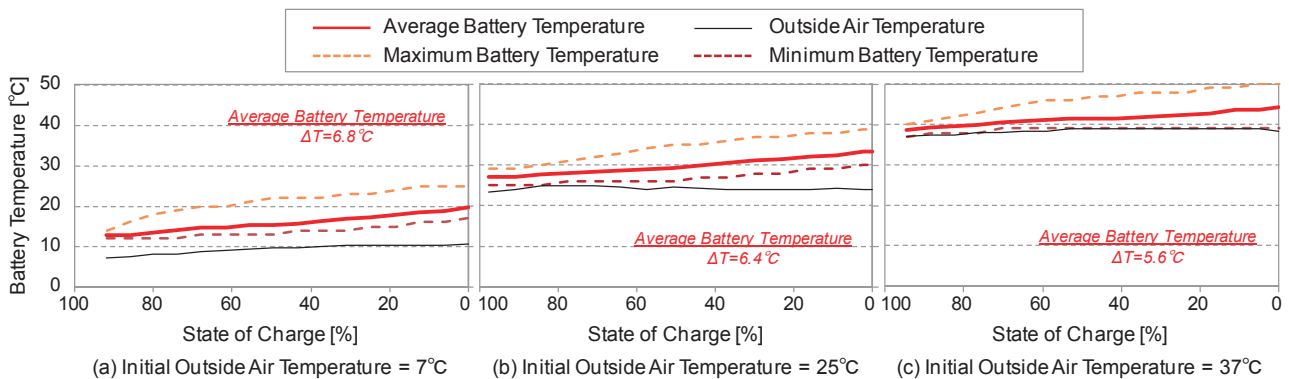


図 3 モード繰り返し走行時のバッテリー温度の推移（実車両）

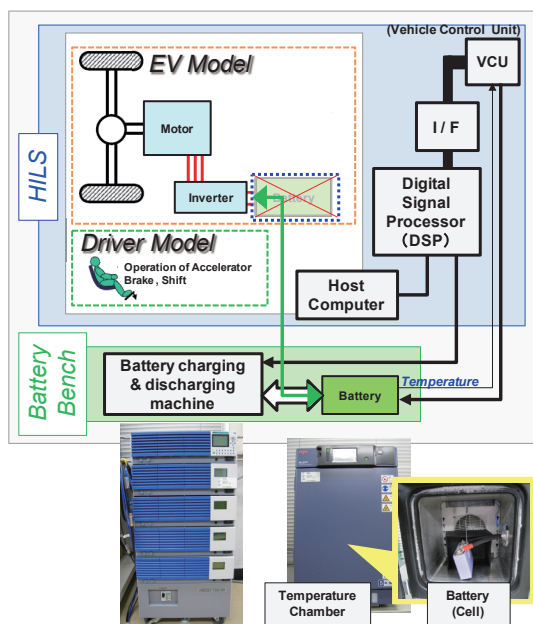


図4 バッテリーHILSの構成図

3. 課題対応（高精度評価に向けて）

電気重量車の電費を高精度に評価するには、従来HILSでバッテリーをモデル化して扱うことは困難である。そこで、拡張HILS手法で得た知見を応用し、電費を高精度に評価する新たなHILS手法を検討した。以下、その装置を「バッテリーHILS」と呼ぶ。

3.1 バッテリーHILSの構築

バッテリーHILSの構成図を、図4に示す。

操作PC上で実行されるHILSプログラムは、電気自動車モデル、ドライバモデル、道路状況等から構成され、車両制御装置（VCU）と制御信号を送受信することで、机上で仮想車両の走行が可能となる。今回構築したバッテリーHILSは、従来HILSのバッテリー部分をモデルから実機に置き換え、車両モデルと実機バッテリーをリアルタイムに協調制御させる装置である。バッテリーHILSの構築に伴い、外部指令によりバッテリーを充放電できる「バイポーラ方式直流安定化電源装置（PBZ20-100SR：KIKUSUI）」とバッテリーの周囲温度を -40°C ～ $+150^{\circ}\text{C}$ で調整できる「恒温槽（SH-242：ESPEC）」を使用した。

ここで、従来HILS試験法の試験電池は、「単位電池（モジュール）又はバランス装置等を含めた車両搭載状態とする。」とあるが、今回は『バッテリーHILSを構築し、運用の可能性を調査すること』を目的としており、「セル単位」で評価を進めた。本実験に使用した電池は、供試車両が搭載している同型の電池であ

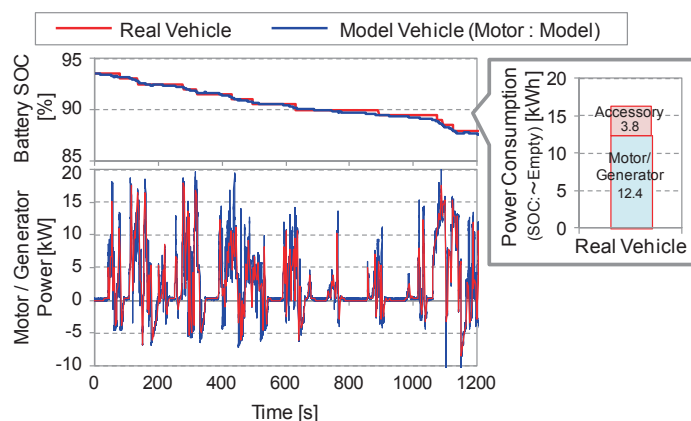


図5 バッテリーHILSによる供試車両性能の再現

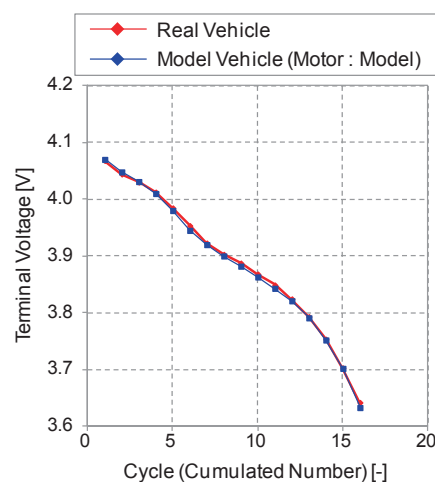


図6 モード繰り返し走行時の端子電圧の推移の再現

り、HILS上でスケーリング（セル単体×88個）することで、実車同等の電池パック容量を再現した。

3.2 バッテリーHILSの検証

(1) 仮想車両の構築

実車両と同型の電動モーターを動力計に設置し、バッテリーHILSで必要となる電動モーターの特性（マップ）を取得した。そのマップを使い、電気乗用車の仮想車両をHILS上に構築した。図5に、バッテリーHILS上に再現した仮想車両が、JC08モードを走行した際の電動モーター出力とバッテリーSOCを、実車と比較して示す。実車両やバッテリーHILSの実機バッテリーの周囲温度は約 25°C である。ここで、実車両の電動モーターと補機の消費電力量を、シャシダイナモメーターを用いて調査し、バッテリーHILSで構築した仮想車両に、この補機の電力量を付与した。

結果は、両者とも同等の傾向及び値を示し、仮想車両がバッテリーHILSで再現できることを確かめた。

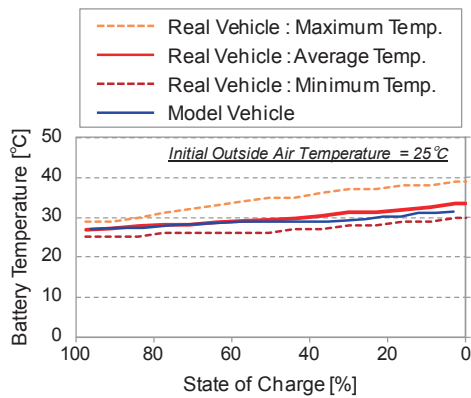


図7 モード繰り返し走行時のバッテリー温度の推移の再現

(2) モード繰り返し走行

JC08 モードを繰り返し走行し、バッテリー（セル単体）端子電圧及びバッテリー温度を調べた。この時の実車及びバッテリーHILS（実機バッテリー）の周囲温度は約 25°Cである。今実験における実機バッテリー周囲温度の設定においては、恒温槽の温度調節機能を停止し、操作室の室温条件下で実施した。

図6に、バッテリー端子電圧の推移をサイクル毎に整理し、実車両と仮想車両で比較して示す。実車両及びバッテリーHILSの実機バッテリー（セル単体）の端子電圧は、サイクルに対し同じ変化を示した。

次に、上記試験で得たバッテリーHILSと実車両のバッテリー温度の推移をSOCでまとめ、図7に示す。バッテリーHILSの実機バッテリー温度の推移は、実車両と同様、サイクルが増すにつれ上昇し、バッテリーHILSで実使用時のバッテリー特性が再現できた。

3.3 バッテリーHILSの応用（周囲温度の影響）

バッテリーHILSの実機バッテリーの周囲温度を、恒温槽を用いて変化させ、サイクルを繰り返し走行した。実際の周囲温度（平均）は、54°C、40°C、26°C、14°C、0°C、-8°C、-16°C、-28°Cである。セル単体の端子電圧を調べた結果を図8に示す。周囲温度が低温側（0°C以下）になるほど、1サイクル当たりのバッテリー電圧が劣る結果が得られた。この時のバッテリー温度上昇幅（満充電サイクルの走行開始時から、バッテリーが空となるサイクルの走行終了時の温度の差）を整理し、図9に示す。周囲温度が低温側（0°C以下）になるほど、電池の温度は上昇した。これは、低温側になるほど、バッテリーの内部抵抗の抵抗損失による自己発熱が要因で、温度が上昇したと判断でき

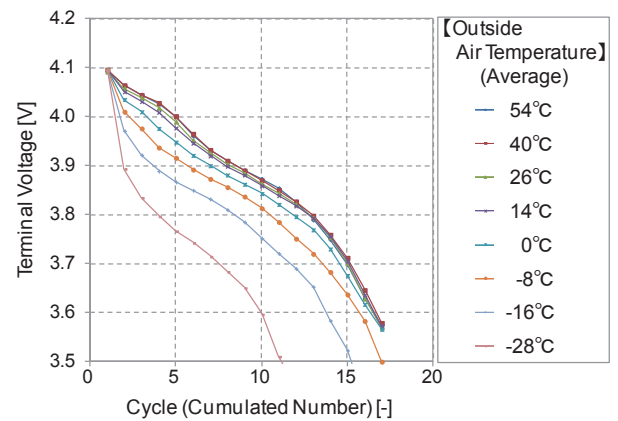


図8 バッテリー周囲温度と開放電圧の関係

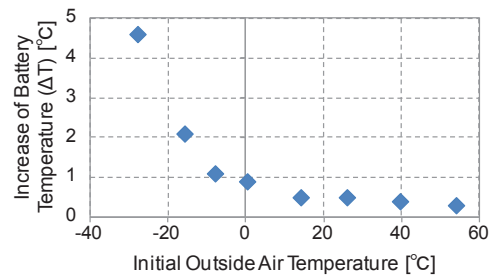


図9 バッテリー周囲温度とその上昇幅

る。参考までに、今回用いた恒温槽内の容積は小さく、槽内設置ファンの風による影響を多少受けている。

以上より、今回構築したバッテリーHILSを用いれば、電気重量車のあらゆる温度環境下における試験が容易に高精度に行うことが可能である。ここで、WLTP（乗用車）においては、低温環境下（-7°C程度）における性能試験が今後検討される。重量車への適用予定は決まっていないが、低温条件下の試験が求められた際、このバッテリーHILSは有効な手法となる。

4. まとめ

バッテリーをモデルで扱う従来HILS手法で電気重量車を評価する動きがある。しかし、車両走行時のバッテリー特性は常に変化するため、モデルで扱う事とは容易ではない。そこで、従来HILSのバッテリー部分をモデルから実機に置き換え、車両モデルと実機バッテリーをリアルタイムに協調制御させる「バッテリーHILS」を構築した。このバッテリーHILSの手法により、電気重量車のあらゆる温度環境下における試験が容易に高精度に行える可能性がある。

参考文献

- 1) 奥井伸宜：次世代電動重量車の燃費・排出ガス試験に対応した新たな評価手法の検討、交通安全環境研究所講演会、p.37-51 (2019)

講演 2. 後退時警報装置の基準化に関する国内外の動向

環境研究部

※宝渦 寛之

坂本 一朗

自動車安全研究部

関根 道昭

榎本 恵

1. はじめに

後退時警報装置とは、図 1 に示すように大型車等に取り付けられている車両後退時に警報音を発するものである。この装置については、我が国では装着の義務はないものの広く普及しており、現在、国際的な枠組みで基準化の検討が行われている。後退時警報装置は、対歩行者の事故防止に一定の効果がある一方で、比較的大きな音量を発することから、周辺住民等の苦情の原因となりうる。そのため基準化にあたっては、適切な音量を検討しつつ、カメラモニタリングシステム等の他の安全装置による安全も比較考量のうえ、議論が行われている。本稿では、国際的な基準策定の動向と、交通安全環境研究所の取り組みを紹介する。

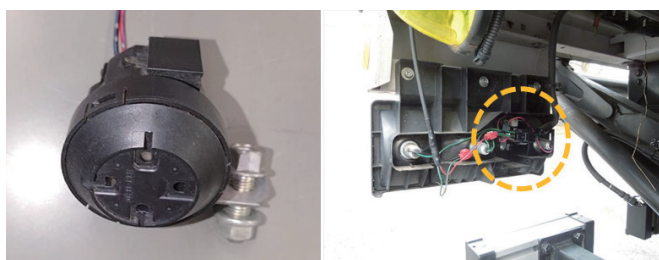


図 1 後退時警報装置とその取付け例

1. 1. 国際的な議論のはじまり

国連の自動車基準国際フォーラム (WP29) 傘下の騒音・タイヤ専門家会議 (GRBP) では、現在、後退時警報装置に関する新たな国連規則の検討が行われている。議論の発端は、2016 年 3 月に開催された第 168 回 WP.29 にてトルコが国内での後退時の事故増加を理由に基準化の必要性を訴え、その後、2016 年 9 月に開催された第 64 回 GRB (GRBP の前身) にて、ドイツが国内で後退時警報音に対する騒音苦情が多いため基準化の必要性を訴えたことにある。2017 年 2 月の第 66 回 GRB では、日独より新基準のより具体的なイメージについて提案を行い、2017 年 9 月に開催された第 66 回 GRB では、日本、ドイツ、トルコにて協議を行い、後退時警報音に関する新たな会議体

の設立を要請し、同会議にて新たなタスクフォースを設置することが認められた。新たな会議体は” Task Force on Reversing Alarm issues” とされ、日本が議長を、トルコが副議長を務めることとなった。なお、会議体の名称については、活動開始後に” Alarm (警告)” のニュアンスが強いとの指摘があったことから、現在は” Warning (警報)” を用いた” Task Force on Reversing Warning Sound issues” に変更されている。このタスクフォースの議長は、設立時より交通安全環境研究所の職員が務めている。

1. 2. 国内の状況

後退時警報装置は、1963 年に日本の山口電機工業株式会社が世界に先駆けて発売したものである。我が国において後退時警報装置は、装着義務はないものの広く普及しており、装置から発せられる警報音は、その音の特徴とともに、それが車両の後退を意味するものとして広く一般に認識されていると言える。一方で、このような警報音は、苦情の原因となることもある。国内のバス事業者及びトラック運送業者に対しアンケート調査を行った結果¹⁾では、回答した事業者のうち約半数が、後退時警報音について苦情を受けた経験があるとのことである。また平成 27 年には、徳島県にて、苦情のために後退時警報音を停止させて後退していた車両が、歩行中の視覚障害者と盲導犬をひいてしまうという痛ましい事故が発生した。このような状況から、我が国においても安全と環境の両面に配慮した後退時警報装置の基準が、喫緊に必要な状況である。このようななかで、交通安全環境研究所では、安全 (認知性) と環境 (受容性) を考慮した規制値策定に資するため、被験者による主観評価実験を実施した。

2. 後退時警報音の主観評価実験

警報音は、暗騒音が大きい環境においては、聞こえにくくなり認知性が低下し、暗騒音が小さい環境で

は、同じ音量でも相対的にうるさく感じ受容性が低下する可能性がある。そこで本研究では、後退時警報音の主観評価実験を行うにあたり、交通環境の暗騒音が認知性と受容性に与える影響を検討した。

2. 1. 後退時警報音のサンプル調査

主観評価実験を実施するにあたり、後退時警報装置の音質を調査した。ここでは、実際に車両に搭載されている4種類の後退時警報装置について警報音の周波数等を調査した。結果を表1に示す。いずれの警報装置も警報音の出力と休止を繰り返すものであり、装置Aと装置Bは2.1 kHz、装置Cは1.4 kHzの単一周波数（純音）の警報音を出力するものであった。装置Dは通過帯域0.6 kHzから12 kHzの広帯域音を出力するものであった。また、すべての装置は約0.4秒間の出力（オンセット）と約0.4秒間の休止（オフセット）を繰り返す断続音を出力するものであった。

表1 後退時警報音の測定結果

Device ID	Warning sound Frequency (kHz)	Onset Duration (s)	Offset Duration (s)	Duty Ratio (%)
A	2.1	0.37	0.32	54
B	2.1	0.40	0.37	52
C	1.4	0.42	0.42	50
D	0.6 - 12	0.43	0.34	46

これらの結果より、主観評価試験においては、純音と広帯域音の2種類を用いることとした。純音の警報音は、PCで合成した2.1 kHzの波形を0.4秒間の出力と0.4秒間の休止を交互に繰り返す断続音とし、広帯域の警報音は、装置Dの警報音を録音した音源ファイルを使用した。警報装置は、車体に取り付けた状態では、本実験で必要とする音量を発することは出来なかった。また同一条件で純音と広帯域音を効率的に比較する必要があることから、本実験では車両の後方に設置したスピーカから警報音を出力することにした。音量の条件として、車両後端から7 m、高さ1.2 mの位置におけるA特性音圧レベルを測定し、オーバーオール値が40 dBから90 dBの音を10 dB刻みで6種類の音量を設定した。

2. 2. 実験場所

実験は、交通安全環境研究所の半無響室にて行った。縦15 m、横15 m、高さ6.8 mの室内空間に、実

験装置を全て設置し、実験参加者もこの室内にておいて主観評価を行った。

2. 3. 実験装置

実験装置のレイアウトを図2に示し、テスト風景を図3に示す。室内に最大積載量3トンのドライバントラック（いすゞ製、車両型式：SKG-NPR85AN）を設置した。車両の後方の中心に、スピーカ（YAMAHA社製、MSP5）を設置した。スピーカは、ウーファの中心部が床面から約0.6 mとなるよう台座上に設置した。実験中は、車両のエンジンを作動させアイドリング音（約60 dB）を発した。車両後端から7 mの位置に、車両に対して背中を向けて実験参加者が座る椅子を設置した。この椅子は座面の高さを調整可能であり、実験参加者ごとに耳の位置を床面から1.2 mに合わせてから実験を行った。

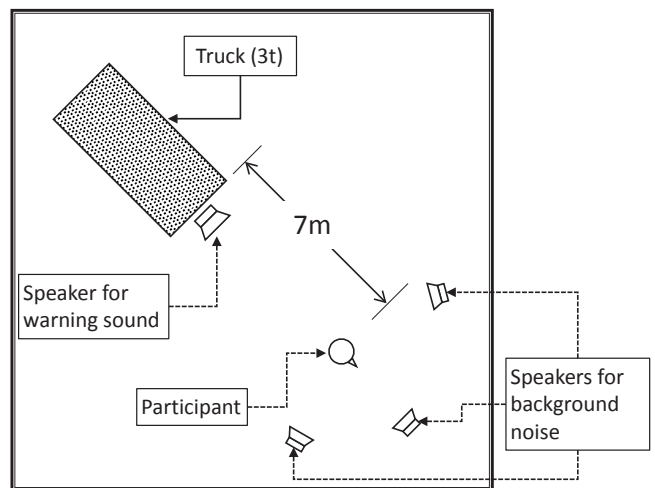


図2 主観評価実験におけるレイアウト

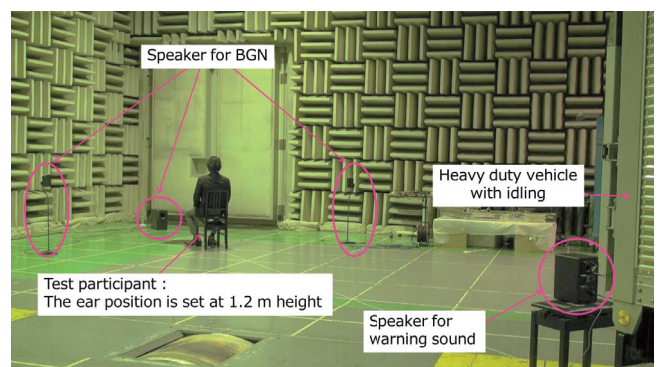


図3 主観評価実験の様子

2. 4. 付加暗騒音

警報音の主観評価は、模擬的な交通暗騒音を付加して実施した。使用した暗騒音は、米国の国家道路交通

安全局（NHTSA）が 2013 年に公表したモデル暗騒音を参考に作成した²⁾。この暗騒音は、幹線道路付近の平均的な環境暗騒音を模擬した音とされており、過去には、車両接近通報音に関する国連規則策定の際にも使用された実績がある。本実験においても、この暗騒音を用いることにより、現実の交通騒音環境における後退時警報音の聞こえ方を模擬的に評価できると考え、付加暗騒音として採用した。付加暗騒音は、実験参加者の周囲に設置したサラウンドスピーカからモデル暗騒音を発生させ、耳元での音量を調整した。NHTSA によれば、等価騒音レベルが 55 dB の場合を平均的な交通騒音と想定しており、異なる暗騒音を再現するために音量を調整した。本実験に使用した暗騒音の音量とその音量のイメージを表 2 に示す。なお 35 dB の条件では、車両のエンジンを停止させ、実験参加者に夜間をイメージさせるために室内の照度を落として薄暗がりにした。この時の実験参加者の位置の照度は、約 4 lux であった（通常は約 415 lux）。

表 2 付加した暗騒音レベルとその音量のイメージ

Traffic noise	BGN : L _{Aeq} (dB)	Real world situation
Noisy	65	Nearby railway
Normal	55	Shopping district
Slightly quiet	45	Resident area
Quiet	35	Resident area at dawn

2. 5. 実験参加者

本実験には、20 歳代から 60 歳代の 35 名（男性 9 名、女性 26 名）が、事前に実験の概要を理解したうえで本人の自由意志により参加した。全ての実験参加者の聴力は、聴力検査により正常であることを確認した。なお本実験は、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、安全と人権に配慮した形で計画し、事前審査を経た上で実施した。

2. 6. 実験計画と手続

この実験では次の 3 条件を設定した。

- ・警報音の種類 2 水準：純音（2.1 kHz）、広帯域音
 - ・警報音の音量 6 水準：40～90 dB まで 10 dB 刻み
 - ・暗騒音の大きさ 4 水準：35～65 dB まで 10dB 刻み
- 実験は、1 日最大 6 名の実験参加者を集め、1 名ず

つ交代で実施した。最初に実験参加者から実験倫理に関するインフォームドコンセントを得た後、一人ずつ控室から実験実施場所へ案内した。実験前には、室内の状況を確認させ、車両との位置関係や警報音の聴取方法、主観評価の回答方法などについて具体的に説明した。また評価を開始する前に、この実験で使用する 2 種類の警報音の最大音量 90 dB と最小音量 40 dB を試聴させた。

2. 7. 評価尺度

実験参加者に対し、1 つの警報音を提示した直後に次の質問に回答させた。質問は総合評価尺度であり、後退時警報音の聞こえやすさ（認知性）とうるささ（受容性）の両方を考慮した 9 段階で評価を行った。奇数の選択肢には次の説明文を添えた。

- 1：音が小さすぎて聞こえない
- 3：音が聞こえるが、その他の交通騒音と紛れて聞きづらい
- 5：音がはっきりと聞こえ、警報音として認識できるちょうどよい大きさ
- 7：音がはっきりと聞こえるがややうるさい
- 9：音が大きすぎて、とてもうるさい

実験参加者には、説明のない偶数の選択肢も連続した尺度であることを理解させ、1 から 9 までの最も適切な数字を選ぶように教示した。実験は、質問の意味を十分に説明した後に開始した。なお質問の提示はタブレット PC に表示して行い、評価値を画面上で選択させた。

実験参加者への警報音の提示は、45 dB 以上の 3 種類の暗騒音条件を実験参加者ごとにランダムな順序に振り分け、1 つの暗騒音条件において警報音の種類と音量をランダムに組み合わせて 12 試行（=2 水準×6 水準）連続して実施した。その後、次の暗騒音の条件に移った。このような手順で 6 名の実験を順番に終えた後、室内の照明を薄暗くし、最後に暗騒音 35 dB の条件を実施した。

警報音は、暗騒音が大きく、警報音が小さいと聞こえない可能性がある。そこで本実験では、警報音を提示するタイミングを視覚的に示すため、警告灯を実験参加者の前方に設置し、黄色いランプを 2 秒間点灯させ、消灯と同時に警報音を提示した。

警報音は、0.4 秒間隔で出力と休止を交互に 7 回繰り返す約 5 秒間の断続音とした。実験参加者は、希望すれば警報音を聞き直すことが可能であった、聞き直

しを要求するものはほとんどいなかったため、提示する警報音の長さは適切であったと考えられる。

3. 評価結果

実験参加者 35 名のうち、装置の不具合で実験が中断し、データを取得できなかった者が 2 名いた。また 3 名の実験参加者については、矛盾した評価結果を示したため除外した。従って以降では、計 30 名のデータについて示す。

3. 1. 警報音の総合評価

質問に対する回答を、警報音の種類別、警報音の音量条件別、暗騒音条件別に平均し図 4 及び図 5 示す。音量に関しては、全体的な傾向として、音量が最も小さい 40 dB のときに評価値は 1 から 2 (音が小さすぎて聞こえない) であり、大きくなるに従い評価値が増加し、最大の場合 (90 dB) には 8 から 9 (音が大きすぎて、とてもうるさい) となった。暗騒音の影響に関しては、警報音の音量が 50dB から 70dB の間に顕著に現れた。また、全ての警報音の音量において、暗騒音が大きくなるに従い評価値は小さくなった。後退時警報音の規制値については、2. 7 に示した評価尺度とその説明文より、下限値は 3~4 の間、上限値は

6~7 の間とすることが適切であると言える。そのため、規制値の下限値は 50~60dB 程度、上限値は 70~80dB 程度とすることが適切であると言える。

4. タスクフォース会議の動向

おわりに、基準化に向けてのタスクフォースの動向を簡単に紹介する。タスクフォースでは、新たな基準作成にあたり、まずは各国に対し現在の状況や新基準のあるべき姿をアンケートにて聞き取り調査を行った。その後、日本より、前章で述べた評価試験結果に基づき、後退時警報装置を車両に取り付けた状態での規制値提案を行っている。規制値については、現在のドラフトには装置単体のものも存在し、今後、議論が開始される見込みである。また、同じく日本より、カメラモニタリングシステム等の他の安全装置が有効である場合、苦情対策として、後退時警報音の一時停止機能を認めるよう提案がされており、タスクフォースとして合意している。タスクフォース会議では、この前提条件となるカメラモニタリングシステム等の他の安全装置の要件について、新規則の検討を行っている他のグループと密に連携し、互いに矛盾が生じないように慎重に議論を進めている。

謝辞

本稿にて述べた主観評価試験は、自動車基準認証国際化研究センターからの委託調査「後退時警報音の許容性・認知性の調査」の一部を報告したものである。また、実験の実施にあたっては、同センターの後退警報基準化対応国内ワーキングの委員より、多いなるご助言をいただいた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) Japan, "Pre-study for the discussion on reversing alarm systems: Japanese current situation," GRB-65-06, (2017)
- 2) National Highway Traffic Safety Administration, "Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles," NHTSA-2011-0100 (2013)

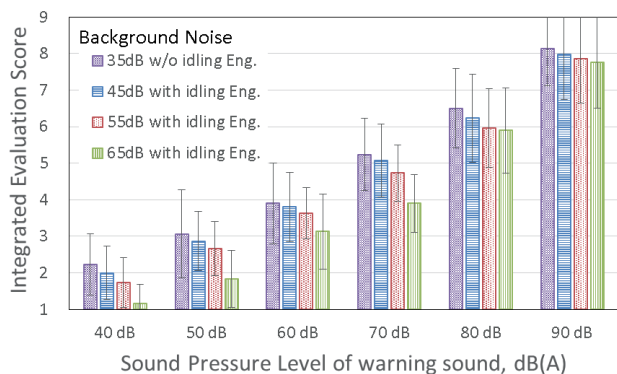


図 4 純音の後退時警報音の総合評価

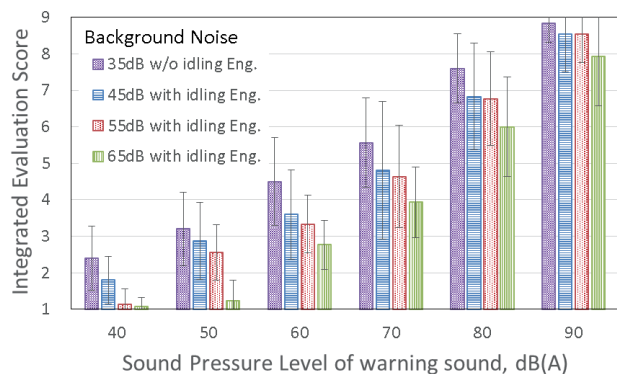


図 5 広帯域音の後退時警報音の総合評価

講演3. 自動車認証審査部における取組の概要について

自動車認証審査部 是則 武志

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

2018年度の審査部における審査型式数は、自動車にあっては2,662型式、自動車装置にあっては335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、2018年度は198件（前年比39件減）の受託があった。

さらに、国連の「車両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、2018年度は168件（前年度比40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。

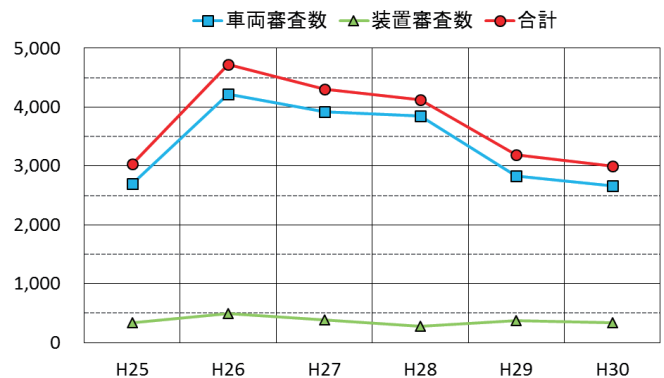


図1 審査型式数の推移

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必要がある。」 「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、) 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。

また、この制度は、公布の日から起算して1年6月を超えない範囲内において政令で定める日に施行されることとなっており2020年には制度の運用が開始される予定である。併せて、日本が国際的議論を主導している国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)「サイバーセキュリティタスクフォース」における国際基準の策定状況を踏まえ、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保安基準等の国内法規も国土交通省において現在検討されている。

審査部では、このように2020年から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、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」を新設し、2020年の円滑な審査開始に向けた準備を進めている。

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、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、これにより、将来の認証試験に向けた知識及び技能の習得にも繋がることとなった。なお、2018年度の実績は申請自動車メーカー数：8社 評価型式数：152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、旧基準に基づく認証を含んだL-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に基づく相互認証など、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 4. リコール技術検証業務の現状と今後の取組

リコール技術検証部 ※堀江 暢俊 西野 浩史 杉田 鉄平 塩入 優樹 日高 隆之 松本 広大

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「新たな課題や国際化への対応」として、近年、急速に普及が進んでいる先進安全自動車 (ASV) に対する取組等紹介する。

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、国土交通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土交通省からの委託を受けて傾向の分析を行っている。平成 30 年度は約 9,000 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、平成 30 年度は平成 26 年度に比べ、約 20% 程度増加している。

表 1 不具合情報分析件数推移

情報の種類	平成 26 年度	平成 30 年度
ユーザーからの不具合情報	2,733	3,313
メーカーからの事故・火災情報*	1,654	1,430
メーカーからの不具合情報*	3,990	3,580
その他 (警察、消防、消費者庁等)	803	699
計	9,180	9,022

※印は 1 月～12 月の件数、それ以外は 4 月～3 月の件数

2. 2. 技術検証

国土交通省ではユーザー等から提供された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) 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く国土交通省からの指示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、結果を国土交通省へ通知する。検証の中で再度メーカーへの質疑が必要な場合は国土交通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土交通省にその結果を通知する。メーカーからリコール届出が出された不具合事案に対しても再発等が疑われる場合やリコールの対象範囲拡大の必要性が疑われた場合、技術検証と同様に国土交通省からの指示を受けて妥当性検証を行う (車両法 63 条の 3)。

平成 30 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 100～200 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 100～200 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 18 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	H26	H27	H28	H29	H30
技術検証開始事案件数	201	168	85	133	200
技術検証終了事案件数	204	172	112	96	97
市場措置に繋がった検証事案件数	17	18	24	19	12

2. 3. リコール届出分析

表3に、国土交通省の公表データに基づき、平成25年から平成29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。

リコール対象台数については、平成27年度以降、タカタ製エアバッグのリコール届出により増加しているが、平成29年度では対象台数が減少傾向にあり、平成26年以前の水準に戻りつつある。タカタ製エアバッグを除いた対象台数は年間684万台であり、届出1件当たりの対象台数も減少傾向にある。

表4に、国土交通省の公表データに基づき、不具合発生の初報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。

平成29年度においては不具合発生の初報からリコール届出までにかかる月数は減少に転じ、平均15.6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	H25	H26	H27	H28	H29
届出件数	303 (295)	355 (333)	368 (319)	364 (319)	377 (357)
対象台数 (万台)	798 (724)	956 (736)	1,900 (944)	1,585 (963)	770 (684)

※ () 内：タカタ製エアバッグのリコール届出を除いた数
表4 不具合発生の初報日からリコール届出までの平均月数の推移

年度	H25	H26	H27	H28	H29
平均月数	14.0	14.4	15.3	17.0	15.6

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、主に以下の取組を行っている。

- 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35%近くを占めている。

引き続き、国土交通省とともにユーザーからの情報提供を一層呼びかけるとともに、一般ユーザーのみならず、運送事業者や整備工場等からの情報提供に関する協力をお願いしていきたい。

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。また、現在、軽自動車の検査時における不具合情報についても、軽自動車検査協会から情報収集を図るべく当該協会と検討している。

(2) 点検整備記録簿情報の分析

国土交通省にて平成28年度より収集している点検整備記録簿情報に関して、同型車両において特定の整備事項が多発する等があった場合に新たな情報源になりうると考えており、収集ルートを構築し分析を行っている。

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。

今後、国土交通省とも連携し、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土交通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で表 5 に示すとおり、調査件数も増加傾向にある。また、販売会社を訪問して整備の実態調査も実施している。

表 5 車両調査件数の推移

年度	H26	H27	H28	H29	H30
事故	19	12	21	15	20
火災	28	44	44	54	56
合計	47	56	65	69	76

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	H26	H27	H28	H29	H30	
実験テーマ総数	11	11	10	13	10	
内訳	個別事案の検証	8	7	3	1	3
	知見の蓄積	3	4	7	12	7
	うち、火災関係	0	3	3	4	3
	うち、ASV 関係	1	0	0	9	4

(1) 火災に関する実証実験

車両火災については、平成 30 年版消防白書によれば、表 7 にあるとおり、年間約 3,800 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、出火原因としては 2 番目に多いハーネスの燃焼実験を実施し、多くの知見が得られたので、その知見を火災見分時チェックリストに纏めて火災見分の原因調査に活用を開始した。

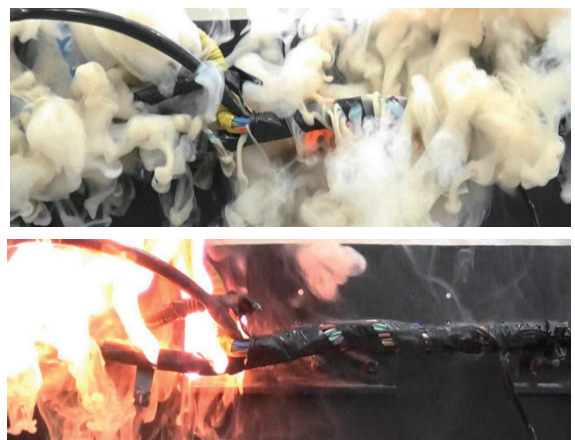


図 1 ハーネス燃焼実験（上：バッテリーショート通電後煙発生、下：煙発生後発火）

また、過去の出火原因で多かったオルタネータの火災について再現実験を実施し、単体での再現に成功した。今後は、消防センターの協力の下に再現したオルタネータを組み込んで実車火災実験を実施する予定である。

表 7 車両火災の主な出火原因（平成 29 年）

出火原因	件数
排気管	637
放火（放火の疑いを含む）	324
電気機器	215
交通機関内配線	388
たばこ、マッチ・ライター	162
その他（不明・調査中含む）	2,137
計	3,863

(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、近年、新たな技術の導入が急速に進み、多種多様な技術が混在している状況である。そのため、新技術に対するユーザーの認識不足による事案も含め、不具合情報が近年、国土交通省に多く寄せられるようになってきた。当部としては、今後、先進安全自動車の普及が加速していくことが予想されることから、新技術の機能に対する知見を早急に深めていくとともに、ユーザーに新技術の機能について正しい認識をもってもらうよう注意喚起していくこととしている。

昨年度においては、国土交通省から事業を受託して先進安全自動車の中でもペダル踏み間違い時加速抑制装置に関し、ユーザー等からの不具合情報を分析した。その分析結果を踏まえ、ユーザーの意図しない不要作動、期待通りに作動しない不作為、装置作動が十分でない条件を抽出し、様々な条件において、図2のペダル踏み間違い時加速抑制装置の作動確認実験を実施した。その実験結果については、国土交通省のホームページ上で動画として公表された。



図2 ペダル踏み間違い時加速抑制装置作動確認実験

3. 3 排出ガス不正制御を防止する取組

近年、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4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）を使用して、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。

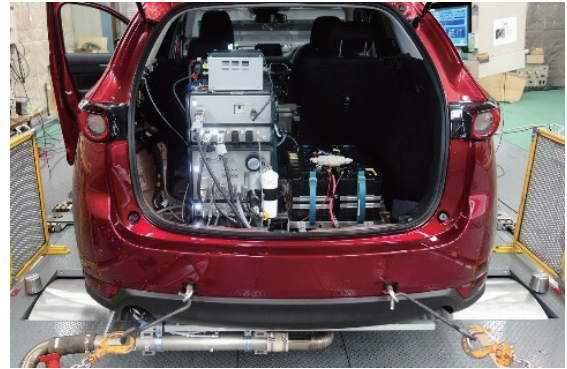


図3 車載式排出ガス測定システム（PEMS）

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いので、昨年ドイツ連邦自動車庁（KBA）を訪問し、市場不具合に対する情報連携を約束した。今年度は日本で起きているドイツ車の不具合について、ドイツでの不具合発生状況とメーカーの対応について確認した。その結果、ドイツではメーカーが市場への対応を検討中との情報が得られた事案があったので、技術検証に情報が活用できた。今後、今まで以上に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。

4. 終わりに

近年、自動車においては、社会的なニーズから新技術が次々と導入され、来年のオリンピックに合わせて、自動運転車が実現しようとしている。リコール技術検証部としては、これまで以上に先進技術に対応した検証体制構築を目指して、新たな取組を開始している。今後は、自動運転技術の普及を見据えレベル2相当（レーンキープ（LKAS）、車両追従（ACC））車両の作動条件の把握を行っていく予定である。

自動運転車が世の中に出回る頃には、十分な体制を構築し、ユーザーが安心して走行出来る社会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「平成29年度リコール届出内容の分析結果について」

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10次交通安全基本計画において2020年までに交通事故による年間死者数を2,500人以下とする目標を掲げている。2018年の交通事故による死傷者数は3,532人であり、前年より162人減少、警察庁が保有する1973年以降の統計で最少となった。同様に、人口10万人あたり死者数も減少傾向にある。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、全死者数の約半数が歩行中又は自転車乗車中の事故であり、そのうち約7割が高齢者となっている。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、さらに積極的に交通事故を未然防止し、車外の交通弱者に対する被害削減を進めることが必要と考えられる。

近年、自動車に対する先進技術、特に自動運転技術への期待は大きく、その開発速度も速くなってきているが、その一方で、自動車の制御システムや外部との通信における情報安全確保の重要性も増してきている。国際的な基準調和について議論を行う国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(UN-ECE/WP29)においても、自動運転に関する基準策定が急務となっている。自動運転関連規則について、より効率的に法規化作業を進めるために、2018年6月に新たに「自動運転専門部会(GRVA)」が設立された。現在、GRVA傘下に自動運転に係る4つの専門家会議が設置された。交通研からは、GRVA副議長並びに、レベル3以上の自動運転システムの安全性評価体系を検討することを目的とした「自動運転認証専門家会議(Informal Working Group Validation Method for Automated Driving :VMAD)」やサイバーセキュリティ専門家会議等3つの専門家会議に議

長として参加しており、自動運転に関する国際基準策定に対して重要な役割を担っている。

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・点検のグループを構成、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。同時に、GRVAでの活動はもちろん、WP29の下に組織されているGRSP(衝突安全)、GRE(灯火器)、GRSG(一般安全)や多くの専門家会議に議長、セクレタリ、委員等として積極的に参画し、国際基準調和活動に貢献している。

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10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に対する衝突被害軽減に関する研究を中心として、予防安全装置作動時の乗員被害軽減に関する研究にも取り組んでいる。また、車両の安全基準が未整備な自転車乗員について、自転車乗員の体格と衝突被害との関係についての調査を実施している。頭部傷害指標に関して生体工学の分野とも協力して研究を進め、新たな頭部傷害基準策定に貢献することを目的に継続的に取り組んでいる。

2.2 予防安全グループ

予防安全グループでは、自動運転技術の試験法の検討や効果評価に関する研究を中心に実施している。

自動運転技術に関しては、混合交通を想定した自動走行機能における車線変更制御の安全性を評価する手法の検討を進めている。

高齢ドライバーによる交通事故防止対策に関しては、軽度認知障害や虚弱ドライバー等による誤認識・誤操作が懸念されることから、杏林大学医学部とも協力し、空間認知機能と操舵・車速特性の解析により、高齢ドライバー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進めている。

さらに、新型自動車用灯火として、夜間における歩行者の視認性向上を目的とした前照灯の高光度化や可変配光化などの先進技術が導入されつつある。これらによるドライバーからの夜間における歩行者等の視認性評価のみならず、高齢ドライバーや歩行者など交通弱者に与える影響についても配慮した自動車用灯火の性能評価を実施している。また、歩行者保護を目的としたコミュニケーションライトによる情報提供の必要性や効果に関する調査及び路面描画ライトの効果評価等、新たな灯火の有効性、評価法に関する研究を進めている。

2.3 情報安全グループ

車両制御情報の不正利用防止を目的として、電子情報安全性(e-Security, e-Safety)等について検討を進めている。具体的には、重要保安部品の制御に関する通信メッセージの解析や電子情報安全性の課題を調査し、最新車両における情報セキュリティ対策の現状を確認、特に自動運転に関係する情報の解析やシステムの脆弱性に関する調査に積極的に取り組んでいる。さらに、自動運転の評価試験法と連動した自動運転情報記録装置 DSSAD(Data Storage System for Automated Driving)の要件の明確化を検討している。これらの研究成果を元に、積極的に UN-ECE/WP29 における自動車セキュリティ・情報管理等の基準化と国内基準採用に対応している。

2.4 電気・電子技術・点検グループ

電子制御装置の不具合検出方法、電磁両立性(EMC)に関する評価方法、将来の高度に電子制御化された車両にも対応可能な検査方法等に関する研究を進めている。これらの研究成果を用いて、例えば、車載式故障診断装置(OBD)を活用した自動車検査手法に関して、自動車技術総合機構本部とともにその導入準備に協力している。新たにブレーキ検査の代替走行テストの簡便

化・効率化を図ることを目的としたブレーキ検査方法の高度化に関する研究も開始、将来の高度に電子制御化された車両にも効率的に対応可能な検査方法を提案していく。

近年の電気自動車等、高密度、大容量の車載バッテリー搭載自動車が増加している中、電池安全性の確保はますます重要な課題となっている。自動車安全研究部では環境研究部と共同でバッテリー安全性能に係る現行試験法の高度化とバッテリーの安全性に関する新規技術基準の策定を支援することを目的とした研究を進めており、実行性の高い試験法の作成を目指している。

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、首都大学東京、東京農工大学、電気通信大学、杏林大学病院等との共同研究や、明治大学自動運転社会総合研究所、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。特に、BASt とは、安全研究の幅広いテーマについて密接な協力関係を構築しており、年に数度、双方の研究者がお互いを訪問し、具体的な研究テーマに関して意見交換、詳細議論を行っている。

自動運転に関しては、社会の期待も大きく、またその技術開発に迅速に対応するため、国際的な基準と標準策定に対して連携して対応するための全体戦略を検討している自動運転基準化研究所において、我々の研究成果を活用すると同時に、その議論を主導している。さらに、技術的側面のみならず法学的な考え方の理解も必要のため法曹界とも定期的な意見交換と議論を実施している。

4. まとめ

近年の自動車は、高度運転支援システムや複雑な制御など次々に先進技術が導入されている。これらの新しい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新技術の導入・普及につながり、更なる事故の削減に貢献出来ると考える。今後も、自動車の安全に関わる種々の課題に積極的に取り組んで行く。

講演 5. 自動車の新たな歩行者頭部保護に関する研究

自動車安全研究部
名古屋大学

※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩
水野 幸治（客員研究員）

1. はじめに

近年、日本の交通事故死亡者は減少傾向にあり、2018年の交通事故死亡者数は3,532人であった。図1に、2018年の状態別交通事故死亡者数とその割合を示す。歩行中死亡者数が最も多く、1,258人（36%）であり、交通事故死亡者数のさらなる低減のためには、歩行中死亡者数の低減が重要であると考えられる。

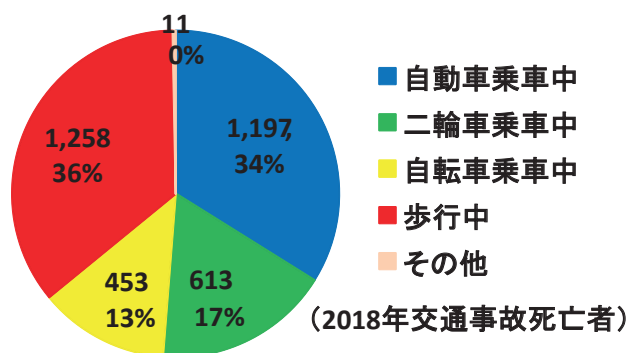


図1 状態別交通事故の死亡者割合（2018年）

日本においては、2005年に歩行者頭部保護基準が導入され、これにより、歩行中死亡者数が低減していることが報告されている¹⁾。一方マイクロ事故調査では、車両の歩行者保護基準の試験範囲外の領域に頭部が衝突している事例が多いことも報告されている²⁾。この報告によると、1993年から2012年の間に発生した歩行者頭部がAIS2以上の受傷をした71件の事故のうち、歩行者頭部が歩行者保護試験範囲であるボンネット部に衝突した事例は15件（21%）であり、その範囲外の部位であるAピラー付近は23件（32%）、カウル付近は24件（34%）と試験範囲内への衝突より多かった。また、過去の交通研のマクロ事故調査³⁾から、歩行者保護基準で想定している衝突速度以下での歩行者死亡事故において、損傷主部位が頭部の場合が51%であり、そのうち55%は頭部が車両と衝突した際に受傷していた。これらの事故調査結果から、歩行者死亡事故において、歩行者頭部保護試験で想定

されている範囲外に頭部が衝突している事例も多く、交通事故での歩行中死亡者数低減のためには、歩行者保護基準における頭部保護試験範囲拡大の検討が必要と考えられる。

今回、歩行者保護基準の頭部保護試験範囲拡大の検討のため、現行の歩行者保護基準に適合した車両を用いて、衝突時の客室空間確保のため歩行者への加害性が高くなるAピラー付近を衝突領域として歩行者頭部保護試験を行い、Aピラー付近の歩行者頭部保護性能を調査した。

さらに、Aピラーからウィンドシールドの内側方向に衝突位置を10mmずつ変更して歩行者頭部保護試験のコンピューターシミュレーションを行い、Aピラーから衝突位置までの距離と歩行者頭部保護性能の関係性を調査した。

また、近年、予防安全装置の普及が進んでおり、予防安全装置により歩行者事故において衝突速度が低下することが考えられる。そこで、Aピラー部を対象とし、衝突速度を変更して歩行者頭部保護試験を行い、Aピラー部に頭部が衝突した場合の衝突速度の低下による被害軽減効果について調査した。

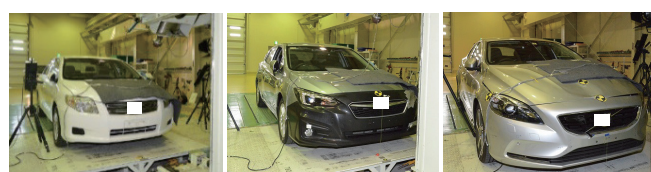
2. Aピラー部の頭部保護性能調査

現行の歩行者保護基準に適合した車両を用いて、Aピラー付近を対象として歩行者頭部保護試験を実施した。

試験車両は、歩行者保護基準に適合し、かつ販売台数が多い車種の中から前面形状の異なる普通乗用車セダン（以下セダンとする）3車種、普通乗用車ミニバン（以下ミニバンとする）2車種及び軽乗用車（以下軽乗用とする）2車種とした。図2に、試験に使用した車両を示す。

歩行者頭部保護試験は、歩行者保護基準であるUN Regulation No.127（以下UN R127とする）に定められた試験方法に準じて実施した。頭部インパクトの

衝突速度は 35 km/h である。衝突位置は、車両の前後方向位置については、軽乗用以外は歩行者保護基準の最後端位置となるラップ・アラウンド・ディスタンス (Wrap around distance、以下 WAD とする) 2,100mm の位置とした。軽乗用の場合は、WAD 2,100mm の位置が天井部もしくは天井部に近い位置となり、天井部の剛性が影響することが考えられるため、WAD1,900mm の位置とした。左右方向位置について、UN R127 のボンネット部での左右方向最外端位置の決め方に準じ、側面基準線から 82.5mm 内側の位置とした。



(a)セダン A (b)セダン B (c)セダン C



(d)ミニバン A (e)ミニバン B

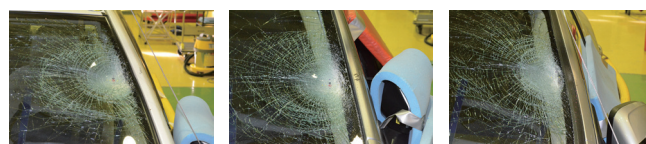


(f)軽乗用 A (g)軽乗用 B

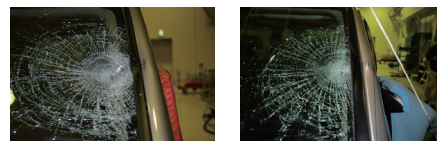
図 2 試験車両

図 3 に試験後の車両の状況を示す。すべての試験で、頭部インパクト中心が衝突した位置はフロントウインドシールドであり、ウインドシールドは割れていた。また、頭部インパクトは A ピラーとも衝突し、A ピラー部が変形した。軽乗用 B の場合は、衝突位置がルーフ部に近く、ルーフパネルも変形した。頭部インパクト中心が車両と衝突した位置は、車両形状により異なっていた。

図 4 に、それぞれの実験での頭部傷害値 (Head Injury Criteria、頭部加速度から算出する傷害値で以下 HIC という) の値を示す。軽乗用 A と軽乗用 B の HIC は、歩行者保護基準の頭部傷害値のしきい値である 1,700 より小さかったが、それ以外の車両の HIC は 1,700 を超えていた。



(a)セダン A (b)セダン B (c)セダン C



(d)ミニバン A (e)ミニバン B



(f)軽乗用 A (g)軽乗用 B

図 3 試験後の車両の状況

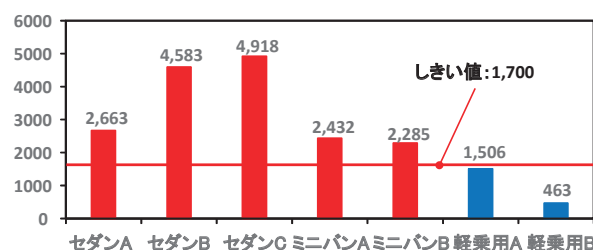


図 4 HIC 値

図 5 に、軽乗用 A の助手席側 A ピラーの断面を示す。一般に A ピラー部は、前面衝突時の客室変形を抑制するために補強部材が設定されている。しかし、軽乗用 A の助手席側 A ピラーには補強部材は設定されていなかった。このため、A ピラーの強度が他の車両に比べて小さくなり、HIC が 1,700 を下回ったものと考えられる。

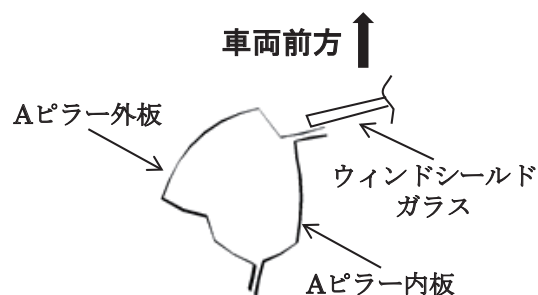


図 5 軽乗用 A の A ピラー断面

図 6 に、軽乗用 B の A ピラーの写真を示す。A ピラーが前後に 2 本あり、前側の A ピラーが細くなっている。このため、前側の A ピラーの強度が他の車両に比べて小さくなり、HIC が 1,700 を下回ったものと考えられる。



図6 軽乗用 B の A ピラー部

3. A ピラーからの距離と頭部保護性能の関係調査

現在の基準で定められた横方向の最外端位置は、車両形状により A ピラーとの距離が異なる。そのため、A ピラーから衝突位置までの距離と頭部傷害値の関係について把握することが必要となる。頭部インパクトを衝突させる位置を A ピラーからウィンドシールドの内側方向に、10 mm 間隔で変更して歩行者頭部保護試験のコンピューターシミュレーションを実施し、A ピラーから衝突位置までの距離と歩行者頭部保護性能の関係を調査した。車両モデルは、2 章の試験で使用したセダン A のものを使用した。図 7 に、頭部インパクトの衝突位置の一例を示す。A ピラー中心を原点として、車両内側方向に 10 mm 間隔で、0～150mm まで頭部インパクト中心の衝突位置を設定してシミュレーションを実施した。今回のシミュレーションにおいて、A ピラーの中心から内側端部までの距離は 38.5mm であった。頭部インパクトの半径は 82.5mm であることから、頭部インパクト中心と A ピラー中心との距離が 121mm 以上の場合に、頭部インパクトは A ピラーとラップしなくなる。実施したシミュレーションでは衝突位置が 130mm 以上の場合に、頭部インパクトが A ピラーとラップしていない。

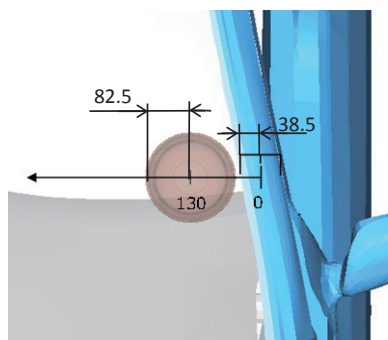


図7 頭部インパクト衝突位置の一例

図 8 に、シミュレーションでの HIC と衝突位置との関係を示す。頭部インパクト中心の衝突位置が A ピ

ラー中心から 30mm の場合に HIC が最大となり、30mm より大きくなるに従い HIC が小さくなった。距離が 90mm と 100mm の間で、HIC が 1,700 を下回った。頭部インパクト中心が 100mm の位置での頭部インパクトと A ピラーのラップ量は 21mm であり、頭部インパクト直径 165mm に対して約 13%と小さかった。このことから、歩行者事故時に頭部が A ピラーと衝突した場合、歩行者が死亡もしくは重傷となる可能性が高く、歩行者頭部が A ピラーと全く衝突しない場合はその可能性が低いことが確認できた。

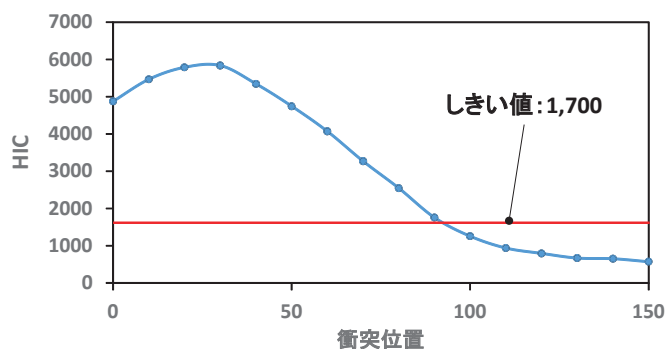


図8 HIC とインパクト衝突位置との関係

4. 衝突速度が低下した場合の効果について

近年、予防安全装置を装備した車両の普及が進んでいる。予防安全装置により、事故時の車両の衝突速度が低下して、歩行者傷害が低減することが期待される。そこで、A ピラー部を対象として、衝突速度を変更して歩行者頭部保護試験を行い、予防安全装置により衝突速度が低下した場合の A ピラー部の頭部保護性能について調査した。

試験には、2 章の試験で使用したセダン A、ミニバン A 及び軽乗用 A の 3 種類の車両を使用した。衝突位置は、前後方向は、セダン A とミニバン A は歩行者保護基準において頭部保護試験範囲で最後端となる WAD2,100mm の位置とした。軽乗用 A の場合は、WAD2,100mm の位置が A ピラー上端付近となり、ルーフの剛性が影響すると考えられることから、A ピラー中央付近となる WAD1,800mm の位置とした。左右方向は、A ピラー部に直接衝突させた。歩行者頭部保護試験は、衝突位置と速度以外は UN R127 に定められた試験方法に準じて実施した。頭部インパクトの衝突速度は 35 km/h、25km/h、15km/h の 3 条件とした。

図 12 に試験後の車両の状況を示す。全ての車種で、衝突速度 35 km/h の場合が最も変形が大きく、衝突速度 15 km/h の場合が最も変形が小さかった。衝突速度 15km/h のミニバンとセダンの場合は、フロントウィンドシールドが割れなかった。

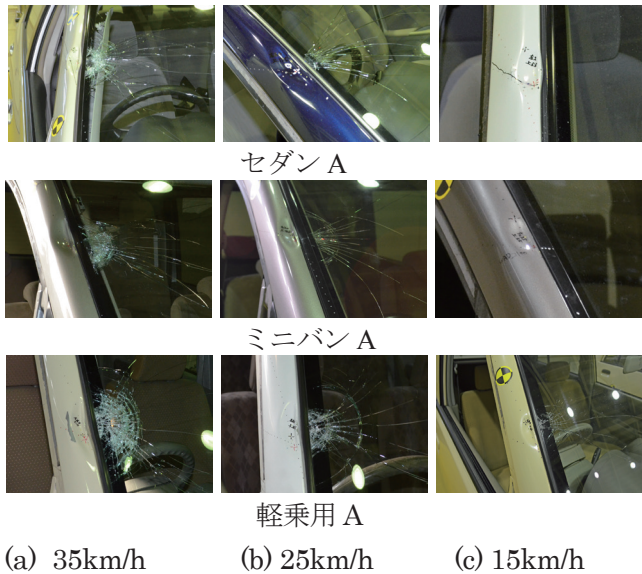


図 12 試験後の車両の状況

図 13 に、それぞれの実験での HIC の値を示す。衝突速度が速いほど、HIC の値が大きかった。衝突速度が 35km/h と 25km/h の場合は全ての車両で HIC が 1,700 を上回っていた。衝突速度が 15km/h の場合は全ての車両で HIC が 1,700 を下回っていた。今回の調査では、衝突速度が 35 km/h から 25 km/h になると、HIC はおよそ 1/2 となった。さらに衝突速度が 25 km/h から 15 km/h となると、HIC はおよそ 1/3 となった。頭部インパクトのエネルギー量は、衝突速度が 25km/h の場合は 35km/h の場合の約 51% であり、衝突速度が 15km/h の場合は 25km/h の場合の約 36% である。このため、HIC の変化は頭部インパクトのエネルギー量の変化により概算できることが考えられる。

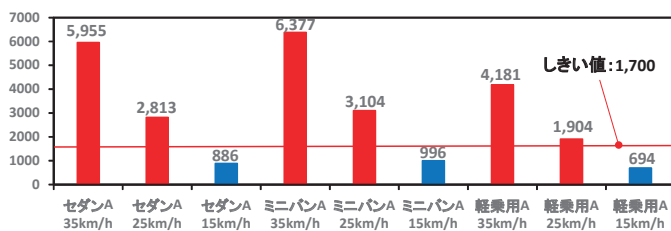


図 13 HIC 値

5. まとめ

今回の調査から、A ピラーに最も近い位置で歩行者保護試験を実施した場合、多くの車両で HIC が 1,700 を下回ることが難しいことが確認できた。また、A ピラーを前後 2 本に分割して設置し、前方の A ピラー強度を弱くすることで A ピラー部付近の歩行者保護基準を満足できることが確認できた。車両構造の変更により、A ピラー部の歩行者保護性能を向上させることが可能であると考えられる。

シミュレーションの結果から、歩行者頭部が A ピラーと衝突する場合は死亡重傷事故となる可能性が高く、A ピラーと衝突しない場合は死亡重傷事故となる可能性が低いことが確認できた。歩行者の死亡事故を減らすうえで、頭部が A ピラーと直接衝突することを防止することが重要であると考えられる。このため、歩行者頭部が A ピラーと直接衝突することを防止する歩行者エアバッグを装備することは、歩行者保護に有効であると考えられる。

歩行者事故時の衝突速度が低下すると、歩行者傷害の低減に有効であることが確認できた。歩行者事故での頭部の衝突速度が、35km/h から 10km/h 低下した場合、HIC が約 1/2 になり、20km/h 低下した場合は、HIC が約 1/6 になった。歩行者事故において頭部の衝突速度が 15km/h まで低下すれば、死亡重傷事故となる可能性が低くなると考えられる。このことから、歩行者に対応した予防安全装置の普及は、歩行者死亡事故の低減に有効である可能性が考えられる。

今後、A ピラー部を試験範囲に含める歩行者保護基準改正の提案が必要と考えられる。その際に、予防安全装置により衝突速度が低下した場合を想定して、衝突速度を変更する検討も必要と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省，“平成 26 年度車両安全対策検討会資料”，(2015)
- 2) (一財)日本自動車研究所，(公財)交通事故総合分析センター，国土交通省，“平成 25 年度車両安全に資するための医工連携による交通事故の詳細調査分析結果報告書”，(2014)
- 3) 田中、他，“自動車の歩行者頭部保護に関する調査”，交通安全環境研究所フォーラム 2016 講演概要，pp.77-80 (2016)

講演 6. 自動運転車の制動制御の安全性評価手法の開発

自動車安全研究部 ※後閑 雅人 田中 信壽 岩瀬 常利 廣渡 太一
安本 まこと 古川 修 (客員研究員)

1. はじめに

日本政府は、2020 年までに交通事故によって 24 時間以内に亡くなった人数（以下、交通事故死者数）を 2,500 人以下まで減らすことを目標に掲げ、世界一安全な道路交通の実現を目指している¹⁾。国内における 2018 年の交通事故死者数は、3,532 人であり²⁾、政府の目標を達成するためには、より効果的な交通事故対策が求められ、その対策の一つとして、自動運転車の普及を推進している³⁾。自動運転車の普及に伴い、ドライバが運転する車両との混合交通を想定する必要があり、自動運転車には、この混合交通下において安全に走行することが求められる。これを実現するためには、周りのドライバが安全に走行できることが重要であり、自動運転車の車両制御はドライバが予測できることに加えて、危険を感じさせないことが必要であると考えられる。そこで、周りのドライバが感じる衝突の危険を考慮して、自動運転車の車両制御を評価する手法を検討した。

過去 7 年間（2011～2017 年）に一般道路において発生した交通事故件数⁴⁾を事故形態別に分析すると、追突事故の発生割合が最も多く、全体の約 35%を占める（図 1 参照）。本研究では、後方車のドライバが感じる追突に対する危険感及び追突の有無から追突事故に関わる自動運転車の制動制御の安全性を評価する手法を検討した。

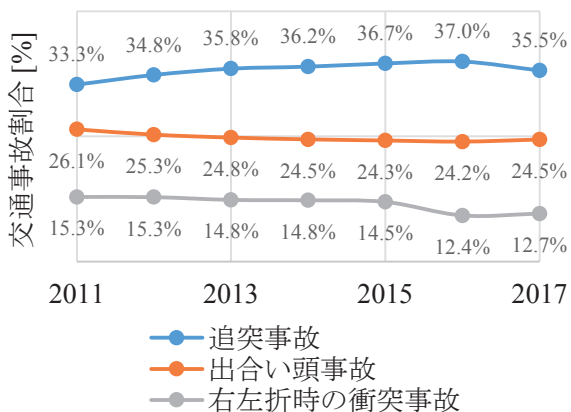


図 1 交通事故形態別の交通事故発生割合

2. 評価手法の考案

評価手法は、自動運転車の制動制御に対して、後方車が追突するかどうかを判定する式（以下、追突判定式：式(1)参照）及び後方車のドライバが危険を感じるかどうかを判定する式（以下、危険判定式：式(2)参照）を求め、各判定式に評価対象とする制動制御の減速度及び減速開始車間距離を代入することで、安全性を評価するものである。ここで、各判定式の偏回帰係数及び定数項は、ドライビングシミュレータ（以下、DS）上で異なる減速度及び減速開始車間距離の制動制御をドライバが評価する被験者実験を実施し、評価結果を基に重回帰分析から求める。

【追突判定式】

$$aX_1 + bX_2 - c \geq 0 \dots\dots\dots(1)$$

【危険判定式】

$$dX_1 + eX_2 - f \geq 0 \dots\dots\dots(2)$$

X_1 : 減速度[m/s²] X_2 : 減速開始車間距離[m]

a, b, d, e : 偏回帰係数 c, f : 定数項

3. 被験者実験

3. 1. 評価環境の設定

評価手法を検討する環境を設定するために、追突事故が多発する道路形状を分析した。図 2 は、道路形状別における追突事故件数の発生割合を示す⁴⁾。追突事故が最も発生している道路形状は、カーブ・屈折部を除いた一般道路の単路（以下、直進単路）であり、追突事故全体の約 60%を占める。本分析より直進単路を想定し、法定速度 60km/h からの制動制御を対象とする。

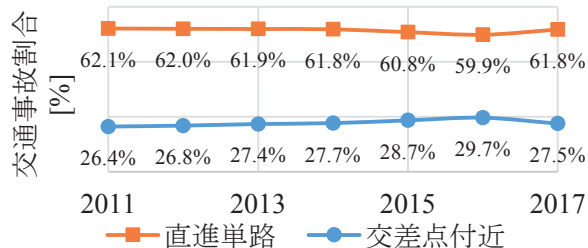


図 2 道路形状別の追突事故発生割合

3. 2. 減速度及び減速開始車間距離の選定

DS 上で被験者が制動制御を評価する実験を効率的に実施するために、評価する減速度及び減速開始車間距離を選定する。減速度及び減速開始車間距離は、実車を用いて被験者が行う制動制御時の車両挙動の特性を計測し、その特性に基づいて選定する。なお、本研究では、当研究所における「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づいて事前に審査が行われ、その承認のもとに実験を実施した。

3. 2. 1. 減速開始車間距離の選定

自動運転ロボットにより操作される前方車は、60km/h まで加速 (1.44m/s^2) した後、20 秒間定速走行を行い、その後減速 (4.81m/s^2) する。この後方を被験者 (人数 : 8 名、平均年齢 45.6 歳、標準偏差 : 12.7 歳) は追従走行し、その際の減速開始車間距離を計測する。なお、計測回数は、被験者ごとに 5 回とする。

図 3 は、減速開始車間距離の計測結果を示す。青色のデータが各被験者、赤色のデータが全被験者の平均値と標準偏差を示す。全被験者の減速開始車間距離の平均値は、28.3m (標準偏差 : 9.6m) である。追突判別式及び危険判別式を求めるには、追突を回避できる減速開始車間距離及び追突が生じる減速開始車間距離において、制動制御を評価する必要がある。そこで、DS 実験で評価する減速開始車間距離として、28.3m (平均値) , 19.2m (平均値 - 標準偏差) , 9.1m (平均値 - $2 \times$ 標準偏差) の 3 種類を選定することとした。

3. 2. 2. 減速度の選定

被験者 (被験者人数 : 9 名、平均年齢 45.4 歳、標準偏差 : 11.9 歳) は、Adaptive Cruise Control (以下、ACC) を使用し、車両速度を 60km/h で定速走行させた状態から、過去に被験者自身が経験したことがある急制動を再現する。なお、本実験は被験者自身が急制動を再現できたと判断するまで繰り返す。計測項目は、被験者が運転する車両の速度であり、その車両速度から減速度を算出する。

図 4 の青色のデータは、全被験者の急制動時における車両速度の変化を示す。本実験結果より、急制動時は全被験者がほぼ一定の減速度で車両を停止させる傾向を確認した。そこで、実験データから車両速度が 59km/h 以下、1km/h 以上の区間を抽出し、線形回帰分析により、全被験者の急制動時における平

均減速度を求めることとした。その結果、この平均減速度は 4.64m/s^2 (以下、基準減速度) となった。この基準減速度で 60km/h から停止するまで減速する制動制御を基準制動制御とする (図 4 の赤色のデータ)。そこで、DS 実験で評価する減速度として、基準減速度の 80% (3.71m/s^2) , 100% (4.64m/s^2) , 130% (6.03m/s^2) , 160% (7.42m/s^2) , 200% (9.28m/s^2) の 5 種類を選定することとした (図 5 参照)。

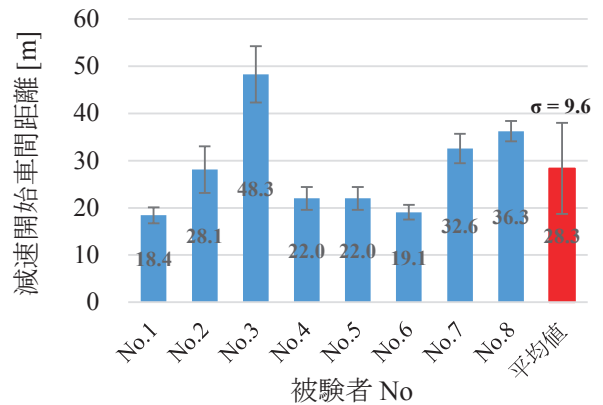


図 3 各被験者の減速開始車間距離

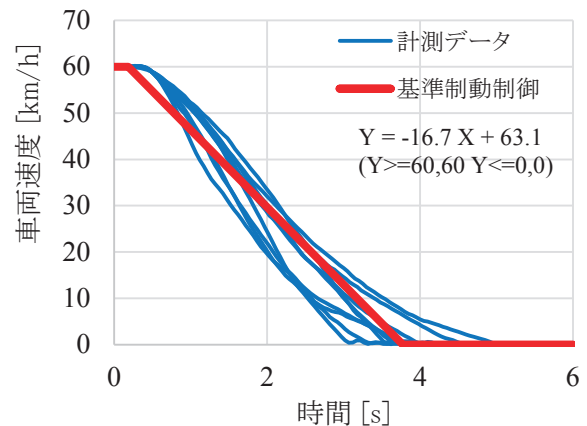


図 4 被験者の急制動と基準制動制御の車両速度

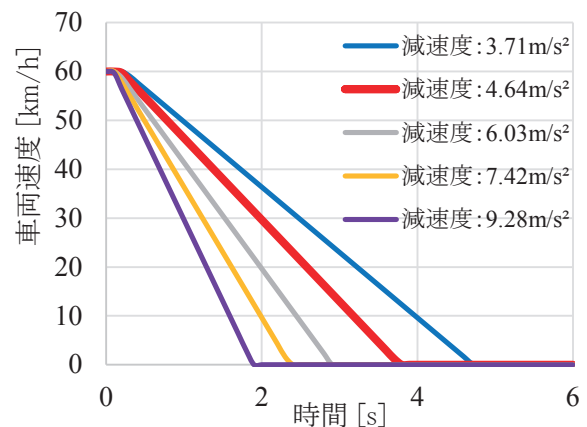


図 5 選定した制動制御の車両速度

3. 3. 制動制御の評価実験 (DS 実験)

3. 3. 1. 評価実験の概要

本実験では、制動制御について、後方車の被験者(人数：12名、平均年齢47.9歳、標準偏差：9.6歳)が感じる追突に対する危険感及び追突の有無を評価する。以下に実験内容を示す。

- ①被験者がハンドル付近のACCボタンを押すと、前方の自動運転車が60km/hまで加速する。
- ②被験者が乗車する後方車が、ACCで自動追従走行を開始する。ただし、ハンドル操作については、被験者が行う。
- ③追従走行を継続すると、減速開始車間距離(28.3, 19.1, 9.1m)が一定になり、車両速度が60km/hで安定する。
- ④走行安定後、自動運転車が一定の減速度(3.71, 4.64, 6.03, 7.42, 9.28m/s²)で制動制御を開始する。
- ⑤被験者は、自動運転車との追突をさけるために制動操作を行い、車両を停止させる。なお、ACCは被験者の制動操作開始時に解除される。
- ⑥被験者が前方の自動運転車による制動制御に対して主観評価を行う。

3. 3. 2. 評価指標

3. 3. 1. ⑥では、前方の自動運転車による制動制御に対し、被験者が感じる追突に対する危険感を、5段階(1：危険、2：やや危険、3：普通、4：やや安全、5：安全)の主観評価値で評価する。また、追突の有無は、DS上の前方車と後方車との相対距離の最小値(以下、最小仮想車間距離)で評価する。

3. 3. 3. 実験結果

3. 3. 3. 1. 最小仮想車間距離の分析

表1は、減速度及び減速開始車間距離ごとに全被験者の最小仮想車間距離の平均値を示す。本表の負の値(赤字)は、追突の可能性が高い制動制御であることを意味する。また、相関分析より最小仮想車間距離の平均値に対して、減速度は負の相関(相関係数：-0.71)、減速開始車間距離は正の相関(相関係数：0.66)が確認できた。

3. 3. 3. 2. 主観評価値の分析

表2は、減速度及び減速開始車間距離ごとに全被験者の主観評価値の平均値を示す。相関分析より主観評価値の平均値に対して、減速度は負の相関(相関係数：-0.68)、減速開始車間距離は正の相関(相関係数：0.70)が確認できた。

表1 最小仮想車間距離の平均値

減速度 [m/s ²]	減速開始車間距離 [m]		
	28.3	18.2	9.1
3.71	10.8m	8.4m	5.7m
4.64	8.4m	6.0m	4.2m
6.03	6.5m	4.7m	1.0m
7.42	5.8m	1.7m	-2.1m
9.28	4.9m	0.4m	-2.5m

表2 主観評価値の平均値

減速度 [m/s ²]	減速開始車間距離 [m]		
	28.3	18.2	9.1
3.71	4.1	3.4	2.3
4.64	3.8	2.9	2.0
6.03	3.2	2.4	1.4
7.42	2.7	1.7	1.1
9.28	2.1	1.4	1.1

3. 4. 判定式の定量化

3. 4. 1. 実施内容

各判定式の定量化を図るために、評価結果に対して、以下の内容を実施する。

- ①重回帰分析を用いて、最小仮想車間距離と主観評価値を推定する回帰式を求める。
- ②①で推定した回帰式を用いて、追突判定式及び危険判定式の偏回帰係数と定数項を求める。

3. 4. 2. 重回帰分析

重回帰分析より求めた最小仮想車間距離と主観評価値を推定する回帰式を以下に示す。

【MinD：最小仮想車間距離 [m]の回帰式】

$$\text{MinD} = -1.34X_1 + 0.31X_2 + 6.78 \dots\dots\dots(3)$$

【EV：主観評価値の回帰式】

$$\text{EV} = -0.32X_1 + 0.08X_2 + 2.82 \dots\dots\dots(4)$$

X₁：減速度[m/s²] X₂：減速開始車間距離[m]

3. 4. 3. 追突判定式及び危険判定式

回帰式(3)を用いて、最小仮想車間距離が0未満になる判定式を追突判定式とした。同様に回帰式(4)を用いて、主観評価値が2.5未満になる判定式を危険判定式とした。その判定式を以下に示す。

【追突判定式】

$$-1.34X_1 + 0.31X_2 + 6.78 < 0 \dots\dots\dots(5)$$

【危険判定式】

$$-0.32X_1 + 0.08X_2 + 0.32 < 0 \dots\dots\dots(6)$$

X₁：減速度[m/s²] X₂：減速開始車間距離[m]

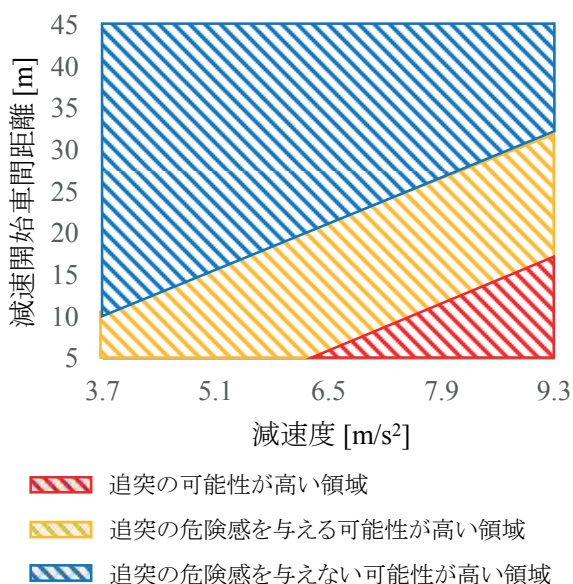


図6 制動制御の安全性評価

図6は、判定式(5)及び(6)を用いて、制動制御の安全性評価を図示したものである。赤色でハッチングした領域は、後方車のドライバが追突する可能性が高い制動制御の減速度及び減速開始車間距離を示す。黄色でハッチングした領域は、追突の可能性は低いが、後方車のドライバに追突の危険感を与える可能性が高い制動制御の減速度及び減速開始車間距離を示す。また、青色でハッチングした領域は、追突の可能性は低く、かつ、後方車のドライバに追突の危険感を与えない可能性が高い制動制御の減速度及び減速開始車間距離となる。

4. 考察

本評価手法は、最小仮想車間距離及び主観評価値を推定する回帰式から、追突判定式及び危険判定式を求め、制動制御の安全性を評価するものである。追突判定式を求めるには、自動運転車の制動制御に対して、後方車のドライバが追突する減速度及び減速開始車間距離から、追突を回避できる減速度及び減速開始車間距離までを包括して評価する必要がある。また、危険判定式を求めるには、自動運転車の制動制御に対して、後方車のドライバが追突の危険を感じる減速度及び減速開始車間距離から、追突の危険を感じない減速度及び減速開始車間距離までを包括して評価する必要がある。

本研究で得られた最小仮想車間距離を推定する回帰式は、評価した減速度及び減速開始車間距離に対して、 $-2.8 \sim 10.6\text{m}$ の範囲で推定が可能であった（実験値と推定値に有意差なし：P値 <0.01 ）。これは、追突が発生する状況から、追突を回避できる状況までを推定できている。また、主観評価値を推定する回帰式は、評価した減速度及び減速開始車間距離に対して、 $1 \sim 3.9$ の範囲で推定が可能であった（実験値と推定値に有意差なし：P値 <0.01 ）。これは、主観評価値の1（危険）～5（安全）までの73%の範囲で推定できている。

5. 結論

本研究では、一般道路における直進単路を想定した自動運転車の制動制御の安全性を、後方車のドライバが感じる追突に対する危険感及び追突の有無から評価する手法を検討した。DS上で異なる減速度及び減速開始車間距離の制動制御をドライバが評価する被験者実験を実施し、その結果を基に追突判定式及び危険判定式を求め、制動制御の安全性を評価する手法を開発した。

6. 今後の展望

本研究では、一般道路における直進単路を想定した60km/hからの制動制御を評価の対象としたが、高速道路や直進単路以外における適用の可否についても検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) 内閣府，“第10次交通安全基本計画”
- 2) 警視庁，“平成30年における交通死亡事故の特徴について”
- 3) 国土交通省，“自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討におけるダイナミックマップの多用途利用に向けた実現可能性の調査検討”
- 4) 公益財団法人 交通事故総合分析センター，“交通統計平成23～29年版”

講演 7. 自動運転中の作業負荷定量化手法に関する基礎的検討

自動車安全研究部 ※関根 道昭 榎本 恵 加藤 洋子
東京農工大学 澤間 祐人

1. はじめに

日本政府は、2020 年までに高速道路におけるハンドルの自動操作と限定地域の無人自動運転移動サービスの実現を目指しており、さらに 2025 年までに高速道路における完全自動運転の実現を目標に掲げている。SAE J3016¹⁾が定義するレベル 3 以上の自動運転は、従来人間が行ってきた認知、判断、操作をすべて車両システムが行うため、ドライバーは運転以外の作業（以下、副次タスク）を行うことができる可能性がある。そのため、2019 年 5 月に改正された道路交通法は、自動運転の一定の条件を満たさなくなったときにドライバーが直ちに適切に対処できる場合は、携帯電話の保持通話やカーナビなどの画像注視の禁止規定を適用しないこととしている。

レベル 3 の自動運転システムは、必要に応じたシステムからドライバーへの権限委譲（運転操作の引き継ぎ）を前提としており、システムが運転引き継ぎ要請（Take Over Request、以下 TOR）を提示したら、ドライバーは直ちに運転を引き継がなければならない。また、レベル 4 の高度自動運転システムにおいても、設計運行領域（Operational Design Domain、以下 ODD）が限定されており、例えば高速道路の出口などの目的地に到着して ODD から外れる前には、システムが TOR を提示してドライバーに運転の引き継ぎを求める可能性が高いと考えられる。

ドライバーが副次タスクを行っている時に TOR を提示すると、何もしていない場合よりもハンドルを握って運転を引き継ぐまでの時間が長くなることが示されている²⁾。特に複雑で作業負荷が高い副次タスクを行っている場合は、すぐに中断することが難しいため、運転引き継ぎ時間がさらに長くなると考えられる。そこで、本研究は副次タスクの作業負荷の程度を理解し、より詳細に運転引き継ぎ時間に与える影響を考察するため、検出反応課題^{3) 4)}（Detection Reaction Task、以下 DRT）により副次タスクの作業負荷の定量化を試みたので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1. 実験概要

ドライビングシミュレータ（以下 DS）を用いて、レベル 4 相当の自動運転中にドライバーが副次タスクを行い、目的地に近づいて ODD から外れる前に TOR を提示する場面を設定した。実験参加者は、副次タスクと並行して DRT を行った。副次タスクの最中に視覚刺激あるいは触覚刺激を提示して、実験参加者はこれらを検出したら、速やかに左の人差し指に装着したボタンを押した。このときの刺激提示からボタンを押すまでの反応時間を求めた。副次タスクの負荷が高い場合は、ドライバーの注意が副次タスクに集中するため、DRT の反応時間が長くなると考えられている^{3) 4)}。TOR 後にハンドルを握るなどの運転を引き継ぐまでの時間と DRT の反応時間の相関を求めることにより、副次タスクの負荷が運転引き継ぎ時間に与える影響を評価できると考えた。

この実験には、20 歳代から 50 歳代の非高齢者 18 名と 70 歳代～80 歳代の高齢者 18 名が参加した。この実験は、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、事前審査を経た上で実施したものである。

2. 2. 副次タスクの内容

この研究では副次タスクとして SuRT（Surrogate Reference Task）と呼ばれる図形課題を採用した⁵⁾。実験参加者は、画面上に表示される多数の円の中から一つだけ他の円より 1.2 倍大きい円を指先でタッチした（図 1）。タッチの直後には次の画面が表示され、この作業を一定時間繰り返し行った。

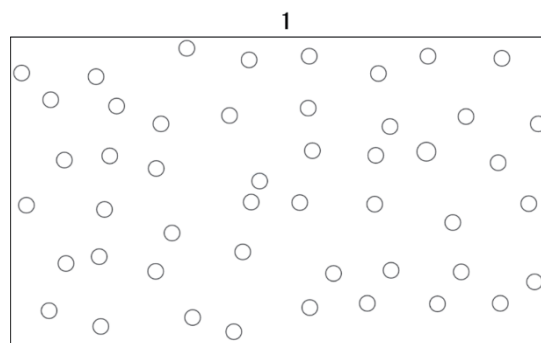


図 1 SuRT 画面の例

表示画面の設置方法に二つの条件を設けた。一つはカーナビ画面のように7インチのタブレットPCを運転席の左前方に固定して操作する固定画面条件であり、もう一つは手に持ったスマートフォンで操作を行う携帯画面条件であった(図2)。



図2 固定画面条件(左)と携帯画面条件(右)

2. 3. DRTの内容

DRTに用いる刺激は視覚刺激と触覚刺激の2種類とした。視覚刺激はヘッドバンドに取り付けたLEDの点灯により提示した(図2)。触覚刺激は右鎖骨付近に貼り付けた小型の振動モータにより提示した。視覚刺激、触覚刺激はどちらも1回あたり1秒間持続させた。刺激を提示する時間間隔は、3秒間から5秒間(平均4秒間)とした。

実験参加者は刺激を検出したらできるだけ速やかに図3左に示す左手人差し指のボタンを押した。刺激を与えてからボタンを押すまでの時間をDRTの反応時間とした。ボタンの押し方として、固定画面条件では左手の親指と人差し指にボタンを挟んで操作させ、携帯画面条件では人差し指をスマートフォンの裏側に押しつけてボタンを操作させた(図3右)。

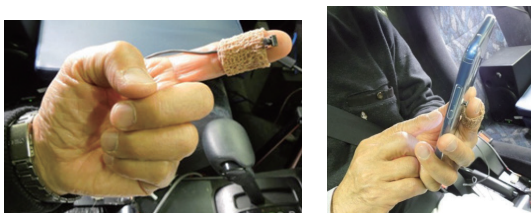


図3 応答ボタンと携帯画面条件のボタンの押し方

2. 4. 実験のシナリオ

三菱プレジジョン製のDS(DS-2000を改修)を用いて、高速道路の左側走行レーンを80 km/hで自動走行する場面を再現した。自車両の周りに複数の車両を走行させ、時々車線変更や追い越しを行い、自然な交通流を再現した。実験参加者には、周りの車両に衝突する恐れはないと教示した。走行時間の長さは10分と13分のいずれかとして、最後に提示されるTORのタイミングを推測されにくくした。

走行開始後、2分から4分の間に副次タスクを行わない状態でDRT反応時間を測定した。1分間のインターバルを挟んだのち、副次タスクを開始した。最初の30秒間は副次タスクのみを行い、その後の2分間は副次タスクとDRTを両方並行して行った。

TORとして、車内に設置したスピーカから「ピピピ」という音に続き「自動運転モードを終了します」という音声メッセージを提示した。実験参加者には、自動運転には有効区間があり、TORが聞こえたら副次タスクを中断して運転を引き継ぐように教示した。実験の最初に、副次タスクを行わない状態で自動運転を行い、TORを受けて運転を引き継ぐ練習を行った。

3. 実験結果

3. 1. DRT各条件における運転引き継ぎ時間

TOR発行後に運転を引き継いだことを確認するため、次の四つの行動を観察した。

- ① 副次タスクを止めて前を向く
- ② ハンドルを握る(ハンドル上のボタンを押す)
- ③ アクセルペダルに足を載せる
- ④ アクセルペダルを踏み込む

行動①と行動③は実験の記録映像、行動②と行動④はDSの記録データから解析した。非高齢者と高齢者のDRT各条件におけるTORへの反応時間をそれぞれ図4と図5に示す。誤差線は標準偏差である(以下の図も同じ)。「SuRTなし」は、練習走行のDSの記録データから行動②と行動④のみを示した。

高齢者におけるTORへの反応時間は非高齢者よりも全体的に長く、標準偏差が大きいという特徴が見られた。TORへの平均反応時間を副次タスクの有無で比較すると、非高齢者は副次タスクを行った場合でも、TORへの反応時間はほとんど変化しなかった。しかし、高齢者は副次タスクを行っている場合において、TORへの反応時間が長くなっていた。

行動別に見ると、TOR発行後、前を向く行動とハンドルを握る行動は速やかに生起することがわかった。非高齢者においては、携帯画面よりも固定画面の方が、TORが提示されてから前を向くまでの時間が短い傾向が見られた。固定画面は実験参加者の左前方に設置されていたため、手に持って少しうつむいて使用する携帯画面よりも、前方への視線の移動距離が短いことが関係していると考えられる。

一方、アクセルペダルに足を乗せて踏み込む行動には個人差が大きかった。今回の実験ではレベル 4 における ODD 終了前の TOR を想定しており、他車両が接近するなどの緊急対応が必要なイベントを設定しなかったため、実験参加者は自分のペースで運転を引き継いでいたと考えられる。緊急対応が必要でない場合でも、非高齢者は、速やかに運転を引き継ぐことができるが、高齢者は、全体的に TOR に対する反応が遅く、運転を引き継ぐときの動作に個人差が大きいことがわかった。

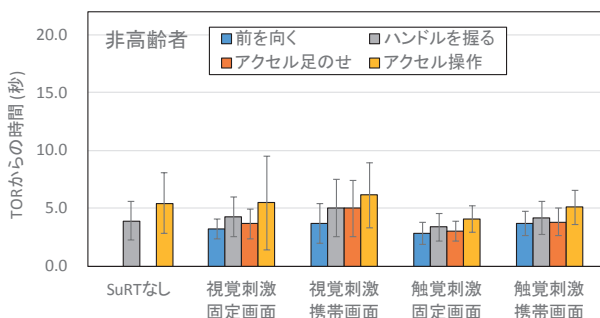


図 4 TOR 後の運転引き継ぎ時間 (非高齢者)

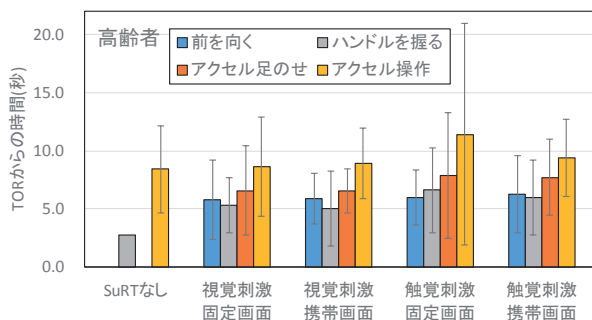


図 5 TOR 後の運転引き継ぎ時間 (高齢者)

3. 2. DRT の反応時間

DRT 刺激に反応できた場合の平均反応時間 (DRT 反応時間) について、図 6 に非高齢者の結果、図 7 に高齢者の結果を示す。「SuRT なし」は副次タスクを行わない場合の結果である。非高齢者と高齢者のどちらも「SuRT なし」の DRT 反応時間が最も短かった。そして、非高齢者の場合は「SuRT なし」以外の条件では刺激の種類と画面の種類に関係なく、ほとんど差がなかった。高齢者では触覚刺激において、非高齢者と比較して約 0.2 秒遅かったが、固定画面と携帯画面の間にはほとんど差がなかった。

3. 3. DRT と TOR 反応時間の関係

図 8 と図 9 に非高齢者と高齢者の DRT 反応時間と TOR 発行後に前を向くまでの時間の関係を示す。こ

こでは、実験参加者別、条件別の平均反応時間を用いている。さらに表 1 に各条件における DRT 反応時間と TOR 反応時間の相関係数を示す。非高齢者においては携帯画面の条件において、正の相関が見られた。高齢者においては個人差が大きく、すべての条件において相関が見られなかった。高齢者にとって DRT と副次タスクの二重課題の難易度が高すぎた可能性が考えられる。

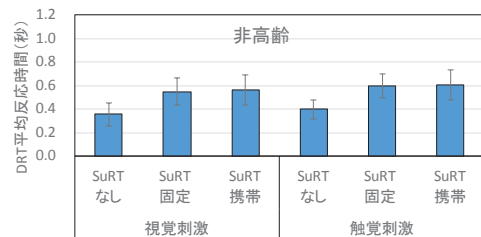


図 6 DRT の平均反応時間 (非高齢者)

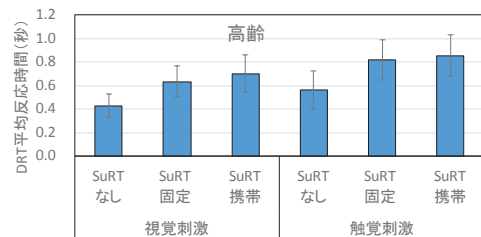


図 7 DRT の平均反応時間 (高齢者)

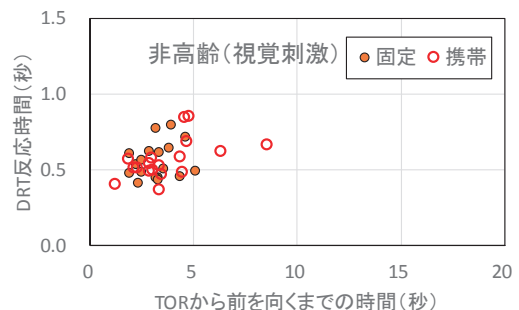


図 8 DRT 反応時間と TOR 後前を向くまでの時間の関係 (視覚刺激、非高齢者)

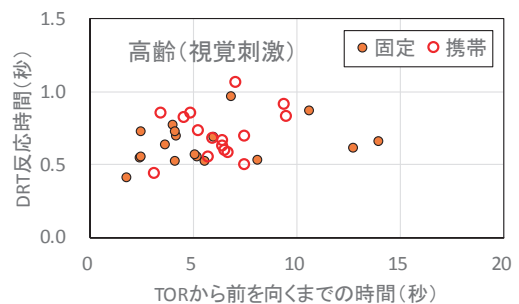


図 9 DRT 反応時間と TOR 後前を向くまでの時間の関係 (視覚刺激、高齢者)

表 1 DRT 反応時間と前を向く時間の相関係数

年齢	視覚 DRT		触覚 DRT	
	固定画面	携帯画面	固定画面	携帯画面
非高齢	0.21	0.53*	-0.09	0.52*
高齢	0.28	0.27	0.31	0.24

(* p<.05)

表 2 DRT 反応時間とハンドルを握る時間の相関係数

年齢	視覚 DRT		触覚 DRT	
	固定画面	携帯画面	固定画面	携帯画面
非高齢	0.21	0.66**	0.05	0.44+
高齢	-0.17	0.15	0.24	0.11

(** p<.01, + p<.10)

同様に、非高齢者と高齢者における DRT 反応時間と TOR 提示からハンドル上のボタンを押すまでの時間について、表 2 に各条件における相関係数を示す。前を向くまでの時間と同様に、非高齢者における携帯画面条件の相関係数に有意差が認められた。

4. 結論

非高齢者の携帯画面条件においては、視覚刺激、触覚刺激のいずれにおいても、DRT の反応時間と TOR 後の反応時間の相関に有意差が確認された。ただし、DRT の反応時間、TOR への反応時間のどちらも全体的に短く、ばらつきが小さかったため、今回の実験よりも大きい作業負荷の副次タスクを与えた場合の反応時間を検討する必要があると考えられる。

一方、高齢者の場合はいずれの条件においても DRT と TOR の相関が観察できなかった。高齢者のデータは全体的にばらつきが大きかったことから、DRT と副次タスクを同時に行うことが高齢者にとっては過大な負荷であったと考えられる。DRT の負荷を調整すれば、全体の作業負荷を軽減できるため高齢者においても副次タスクの作業負荷を定量化できる可能性が残っていると考えられる。

DRT は本来、運転中に短時間で行うカーナビ操作などの作業負荷を調べる課題であるため、刺激の時間間隔が 3 秒から 5 秒間に設定されている。しかし、自動運転中の副次タスクを評価する場合、DRT が実験参加者に余計な負荷を与える恐れがある。今後の実験では DRT 刺激の間隔を長くするなどして、DRT 自体の負荷を小さくする必要があると考えられる。

また、非高齢者における TOR 後の運転引き継ぎ時間は全体的に短かった。SuRT という副次タスクは、没入度が低く、躊躇せず中断することができるた

め、実験参加者は速やかに運転を引き継いだものと考えられる。しかし、実際の自動運転では運転手が積極的に行いたい副次タスクを実行すると考えられるため、没入度が高くなると予想される。そのため、今後の実験では没入度が高い副次タスクについても検討する必要があると考えられる。

本実験におけるシナリオでは、レベル 4 における ODD 終了前の TOR を想定しており、TOR 発行時の交通状況に緊急性がなく、急いで運転を引き継ぐ必要性が薄かった。そのため、特に高齢者においては、運転を引き継ごうとする動機づけに個人差が生じやすかったと考えられる。今後、TOR 発行時にある程度緊急性がある場面についても検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本論文は平成 30 年度に自動車基準認証国際化研究センター (JASIC) から受託した研究成果の一部を報告したものである。この調査にご協力いただいた関係者に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) SAE : “Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems”, J3016 (2018)
- 2) 児島亨ほか, “高速道路上で自動運転システムを使用中の安全な運転操作引き継ぎに関する実験的研究”, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.3, pp. 870-876 (2019)
- 3) ISO17488, “Road vehicle – Transport information and control systems – Detection-response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving”, pp. 6-14 (2016)
- 4) National Highway Traffic Safety Administration: “Detection Response Task (DRT) Evaluation for Driver Distraction Measurement Application”, (2014)
- 5) ISO/TS 14198: “Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems”, (2019)

ポスターセッション

① 第三者安全性評価と規格適合性評価の併存について

交通システム研究部 ※林田 守正 佐藤 安弘 竹内 俊裕 工藤 希 渡邊 翔一郎
 鉄道認証室 長谷川 智紀 森 裕貴
 東京大学 水間 毅

1. はじめに

当研究所はこれまでに、国内外向けの鉄軌道システムに対する第三者安全性評価を数多く行ってきた。しかし近年、海外においては、鉄道関連のメーカ等が自社システムの安全性を導入先に対して証明する手段として、同じく第三者による国際規格（IEC (International Electrotechnical Commission, 英) シリーズ等）への適合性評価を受け、認証書を取得すること（以下、認証手続の有無に係わらず「規格適合性評価」という。）が主流になっている¹⁾。このような状況を踏まえ、規格適合性評価との併存を念頭に置いて、技術的な検討を主体とする第三者安全性評価の課題や方向性について考察した結果を述べる。なお、規格適合性評価も広義の安全性評価に含まれると考えられるため²⁾、本報告では安全性評価又は規格適合性評価を実施する第三者を「ISA (Independent Safety Assessor)」と総称する。

2. 第三者安全性評価の形態

日本の鉄道技術が国内外に導入される際、導入先の鉄道事業者（以下、「事業者」という。）がシステム受入れの妥当性を判断するために、第三者安全性

評価が必要とされる形態を、当研究所の実施事例に基づいて図1に示す³⁾。[ケース1]は国内導入のケースである。事業者が十分な技術力によってシステムインテグレータを務め、技術基準等による他、自社のノウハウに基づいてシステム受入の妥当性を判断する。ただし、技術の新規性が高い場合等には第三者安全性評価が要求される。[ケース2]及び[ケース3]は海外での導入のケースである。[ケース2]は、[ケース1]と同様に技術力を有する事業者がシステム受入の妥当性判断を行うが、その判断材料の1つとして第三者安全性評価が要求されるケースである。[ケース3]は、技術ノウハウが少ない事業者が、第三者機関（鉄道技術コンサルタント等）に、技術力を要する業務を委託するケースである。この場合、事業者から委託された第三者機関（以下、「事業者側ISA」という。）により、システムの安全性の証明（主に規格適合性評価、場合により安全性評価も）が要求される。事業者側ISAはそれらの評価報告書を他の技術文書等と共に精査したうえで、システム受入れの妥当性を判断する。

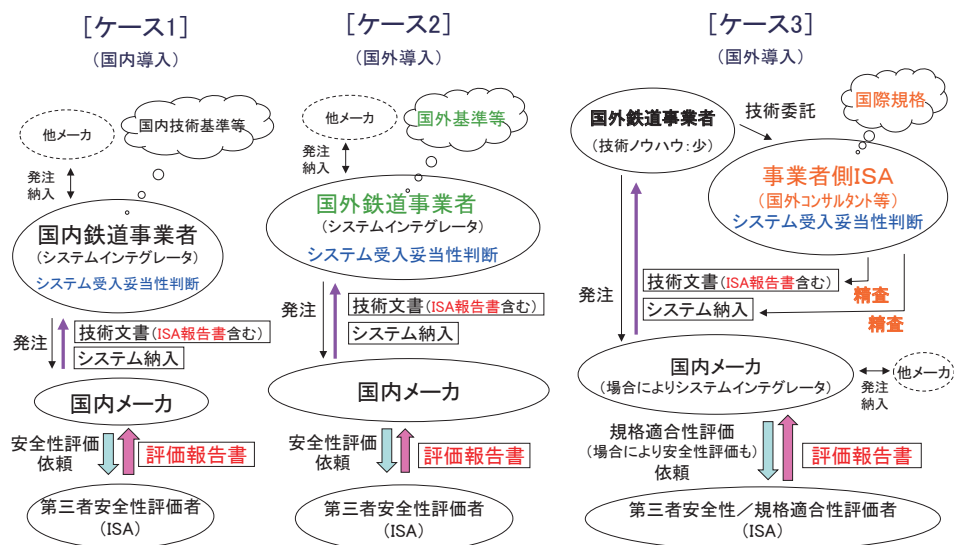


図1 第三者安全性評価の形態³⁾

3. 安全性評価と規格適合性評価の併存について

3. 1. 国外向けシステム評価における併存状況

当研究所における国外向けシステムに対する安全性評価は、2. で前述したように、[ケース2] 及び [ケース3] の形態で実施されている。[ケース2] では、安全性評価報告書が国外の事業者により、規格適合性評価報告書や認証書に代わるものとして扱われ、システム受入れ可否の判断材料の一部とされる。ただし、実態として、該当する国や事業者は極めて限られている。[ケース3] では、規格適合性評価のみが実施される事例が多いが、安全性評価が並行して実施される事例も存在する。3.2. に後述するように、規格適合性評価だけではリスク解析の妥当性評価が困難な事例も少なくないと考える。したがって、非安全事象の発生の可能性を最小限に留めるためには、今後も、技術内容に關与する安全性評価の意義は小さくないと考える。本報告では、主に [ケース3] において、安全性評価が規格適合性と併存していくための方策を考察した。

3. 2. 評価実施面での比較

[ケース3] において、同一のシステムに対し、安全性評価及び規格適合性評価が実施されるケースでの、両者の実施面での性格を表1に示す。

表1 安全性評価と規格適合性評価の実施面での比較

	第三者安全性評価 (主に設計安全性)	規格適合性評価 (機能安全関連)
評価の主眼	・システムの技術内容	・システムに対する安全マネジメントのプロセス
評価のために提示される文書	・[参照文書](安全性の判断の根拠) ・システムの基本設計資料 ・システムの新規性、安全性等を示す技術資料 ・システムのリスク解析資料	・[評価文書](文書自体が評価対象) ・適用する国際規格(例: IEC 62425等) ・システムが当該国際規格の各条文に適合していることを証明する各種文書(文書自体が評価対象)
検討項目	・新技術要素の基本設計の妥当性 ・SIL等の指標に沿ったリスク分析に基づく定量的な安全性 ・従来システムとの安全性の比較 ・システムの維持管理に依存する定量的な安全性	・システムの当該国際規格への適合性を証明する各文書の記述内容の妥当性
可否判断の指標(例)	・SILで規定される安全性(SIL4等) ・従来システムと同等以上の安全性	・当該規格の全ての条文への準拠(評価対象文書上の記述の確認)
成果物	・安全性評価報告書(規格適合性評価参照文書の一部とされる場合あり)	・規格適合性評価報告書 ・認証書
第三者評価機関としてのオーソライズの仕組み	・国内外におけるオーソライズの仕組みは特に無し	・認証機関に対する要求事項に関する国際規格(ISO/IEC 17065)への準拠 ・認定機関による製品認証機関としての認定(上記準拠と共に取得済)

安全性評価の主眼はシステムの技術内容であり、判断の指標は、SIL (Safety Integrity Level, 英) 等の指標で要求される定量的な安全性 (例えば SIL4: 非安全事象の発生頻度が $1 \times 10^{-9}/h \sim 1 \times 10^{-8}/h$) の担保の可否等と

考える。これに対し、機能安全関連の規格適合性評価の主眼は、システムに対する安全マネジメントのプロセスであり、判断の指標は、当該規格の全ての条文への準拠の有無であると考えられる。

また評価のために委託元から提示される文書は、安全性評価ではシステムの安全性の判断材料であるが、規格適合性評価では文書の存在及び記述そのものが評価の対象である。このように、安全性評価と規格適合性評価の性格は大きく異なるが、前者の成果物である安全性評価報告書が、後者の評価対象文書の一部として扱われることとなる。

3. 3. 評価対象及び成果物の関連性

3.2 で前述したように、[ケース3] においては、安全性評価報告書が規格適合性評価の対象文書の一部として扱われ、その記述内容が規格適合性評価報告書の記述にも反映されるという事例が存在する。このような事例で、安全性評価及び規格適合性評価 (IEC 62425 の例) が並行して行われる場合の、双方の評価範囲の包含関係を図2に示す。

規格適合性評価の対象は「Safety Case」と呼ばれる一連の文書である。一方、安全性評価の対象は「Safety Case」の一文書である「Technical Safety Report」またはその付帯文書である各種の技術文書によって説明される技術内容である。そして、安全性評価の成果物である報告書は、「Technical Safety Report」の付帯文書として、「Safety Case」に含まれ、規格適合性評価の対象文書の一部となる。

IEC 62425 によれば、「Safety Case」及びその規格適合性評価報告書の他、「System Requirement Specification (システム要求仕様書)」等を含めた全ての文書が、事業者によるシステム受入れの安全面での妥当性判断、すなわちシステムの安全性承認に必要な証拠文書とされる²⁾。

[ケース3] においては、図1及び図2に示すように、事業者側 ISA が事業者に代わり、これら全ての証拠文書を精査する。したがって、[ケース3] において、同一システムに対し安全性評価と規格適合性評価が並行して実施された場合、規格適合性評価報告書だけでなく、安全性評価報告書も事業者側 ISA の精査の対象に含まれることとなる。

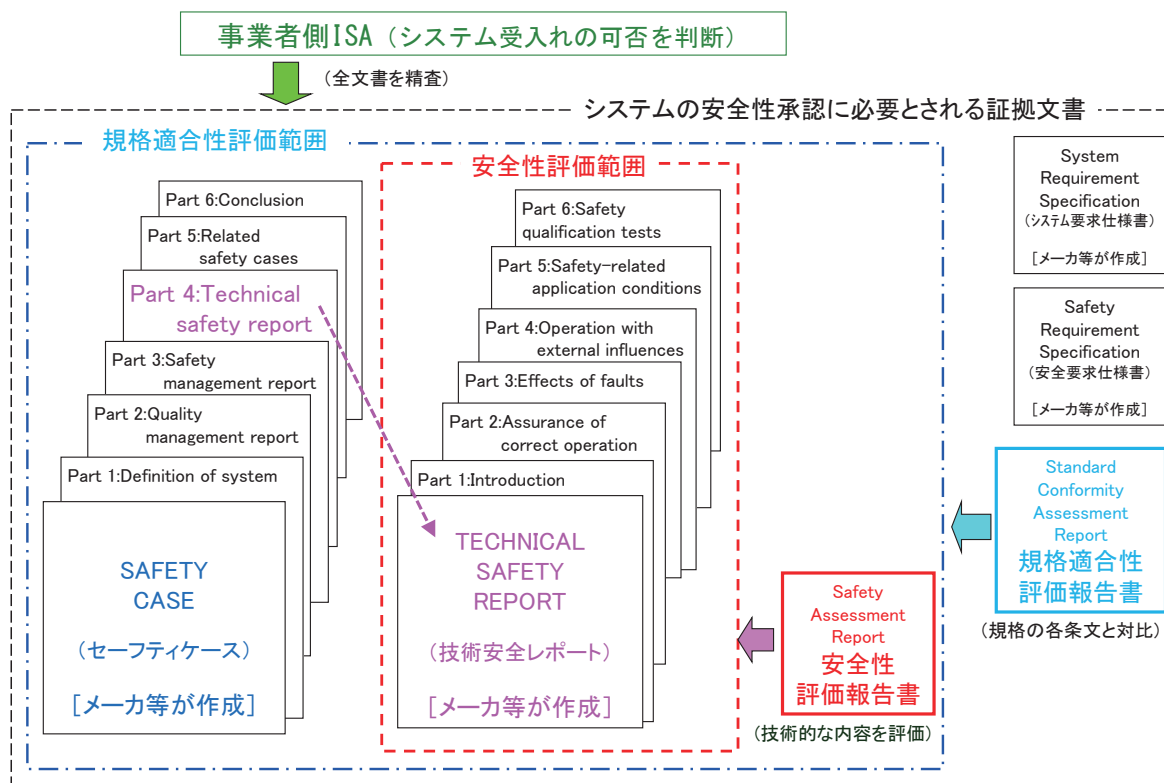


図2 安全性評価と規格適合性評価の範囲 (IEC 62425 の例)

3. 4. 今後の併存に向けた課題と対策

3. 4. 1. 規格適合性評価報告書の全般的な整合

3.3に前述したようなケースでは、事業者側ISAが、安全性評価報告書と規格適合性評価報告書を見比べながら精査すると考えられる。もし両報告書の記述内容に整合性が不十分な点が残っていると、それを事業者側ISAに指摘され、妥当性判断に支障をきたす可能性が生じる。このような事態を回避するため、両報告書の作成に当たっては、記述の細部に至るまで整合性がとれ、矛盾点が残らないように留意することが必要であると考えられる。これは、規格適合性評価においては、複数の評価対象文書間のトレーサビリティが重視されるが⁴⁾、事業者側ISAの視点からは、このことが安全性評価報告書と規格適合性評価報告書の間にも要求されると推定することによる。ただし、両者の整合性を図る過程では、ISO/IEC 17065の規定(認証機関のシステム開発への関与、コンサルティング等の禁止)に当研究所が抵触しないことが必要である⁵⁾。

3. 4. 2. 参照文書

表1に示すように、安全性評価は規格適合性評価と性格が大幅に異なるため、その参照文書の多くは、規格適合性評価の対象文書とは別のものとなる。しかし

総合的な設計仕様書(FDR(Final Design Review, 英)等)や主要なリスク解析文書(ハザードログ、FMEA(Failure Mode and Effects Analysis, 英)、FTA(Fault Tree Analysis, 英)等)は双方の評価で共有することが望ましい。また安全性評価のために提示される、技術内容の詳細な説明のための文書は、書式や表現が多様化しがちであるが、できるだけ統一性を有し、また総合的な設計仕様書の項目との関連性が明確化されることが望ましい。

3. 4. 3. 評価項目の絞り込み

安全性評価では、システムの新規性や従来技術との差分等に注目するため、重点的に評価する項目を絞り込む場合が多い。このような評価項目の絞り込みに際しては、客観的な選定基準と選定理由を明確にする必要があると考える。また、仕様項目全体の中での位置付けを整理する必要がある。これに対し、規格適合性評価においては、当該規格の規定全般にわたり、評価文書に対して準拠の可否を判断していくため、評価項目を特に絞り込むことは無いと考える。

3. 4. 4. 報告書の構成

一般的に、安全性評価報告書には、定型的な文書構成は存在せず、評価の項目と結果を任意に並べた形と

することが多い。一方、規格適合性評価報告書には、ある程度定型的な文書構成が存在する。そのため、安全性評価報告書の構成は、規格適合性評価報告書や総合的な設計仕様書の構成との対応が分かりやすい形とすることが望ましい。

3. 4. 5. 報告書の記述

安全性評価報告書と規格適合性評価報告書で用いる用語や文体は、極力整合させることが望ましい。特に類義語（例えば「危険事象」と「非安全事象」）については、共通化が必要であると考え。ただし、判断の記述としては、規格適合性評価報告書と違い、安全性評価報告書では参照文書に基づいて断言できる事項は極めて限られるため、推定的な語調（「・・・問題は無いと考えられる。」等）が多用される。

3. 4. 6. 指摘事項と対応

安全性評価報告書には、指摘事項、対策及び対応状況について記述される事例が多い。この記述については、規格適合性評価の観点では、対応状況が全て「Close（了）」であることが必須である。すなわち、指摘と対策の必要性のみが記述された事項は「Open（未了）」と見なされ、規格不適合と判断される可能性があることに留意することが望ましい。また、指摘事項と対応に関する記述は、ハザードログの記述とも整合することが望ましい。

4. 第三者安全性評価の今後について

4. 1. 国内導入向け [ケース 1]

今後は、1980年代のように全く新しい鉄軌道システムが続出することはあまり期待できないものの、国内導入向けの安全性評価のニーズは一定数残ることが予想される。当面の間、国内導入向けのシステムには、国際規格適合の必要性は小さく、規格適合性評価も行われないと考えられる。しかし国外で開発され、規格適合性評価／認証済のシステムが国内に導入されるケースにも対応できるように、安全性評価に国際規格の考え方を積極的に採り入れていく方向になると考えられる。

4. 2. 国外導入向け [ケース 2]

安全性評価を規格適合性評価と同等のものとして扱う少数の国外事業者（技術力有り）をターゲットとする安全性評価のニーズは、当面の間は持続すると考えられる。ただし、将来的にはそのような事業者が要求する安全性証明手段が、規格適合性評価／認証へ移

行する可能性は否定できない。そのため、安全性評価は、3.4で前述した方向になると考えられる。

4. 3. 国外導入向け [ケース 3]

技術力が十分でない国外事業者に代わって事業者側 ISA がシステム受入れの妥当性を判断するこのケースでは、規格適合性評価が増加していく可能性が高いと考えられる。しかし将来的にも、技術内容を主眼とする安全性評価が、規格適合性評価と併存する必要性は残ると予想されるため、3.4で前述した方向になると考えられる。

5. まとめ

第三者安全性評価の実施形態について、当研究所の事例に基づき、3種類のケースに分けて整理した。また国際的なシステムの安全性証明手段としては規格適合性評価／認証が一般化している状況を踏まえ、国外導入先のケースにおける第三者安全性評価と規格適合性評価の併存に関する課題と対策について検討した。そのうえで、第三者安全性評価の将来に向けた方向性を考察した。

参考文献

- 1) 江國実, "鉄道認証室における最近の動向", 交通安全環境研究所フォーラム 2018 講演概要集, pp.15-16
- 2) IEC 62425 "Railway applications - Communication, signalling and processing systems- Safety related electronic systems for signalling" Edition 1.0 2007-09
- 3) 林田守正他, "RAMS を考慮した鉄道技術の標準的な第三者安全性評価手法に関する取組", 交通安全環境研究所フォーラム 2017 講演概要集, pp.11-14
- 4) 長谷川智紀他, "鉄道製品に関する安全関連規格に対して適合するための留意点について", 交通安全環境研究所フォーラム 2018 講演概要集, pp.17-20
- 5) ISO/IEC 17065 "Conformity assessment - Requirements for bodies certifying products, processes and services" First Edition 1.0 2012-09-15

② 列車運転シミュレータを活用した運転支援装置の評価の取組

交通システム研究部

※渡邊 翔一郎

竹内 俊裕

長谷川 智紀

山口 大助

押立 貴志(客員研究員)

1. はじめに

1. 1. これまでの研究と解決すべき課題

交通安全環境研究所は図1に示す列車運行システム安全性評価シミュレータ(以降、運転シミュレータとする)を有しており、車両の運転の模擬と運転操作の結果を記録することができる。また、運転支援手法の研究を行うため、運転シミュレータに対し、図2の赤枠のように、外部演算装置と運転支援装置を追加した。これにより、車両の運転に伴う消費エネルギー等の計算結果を基に、運転支援装置上で支援情報を提供することが可能となった。そして、外部演算装置で消費エネルギーの計算が妥当に行われていること及び運転支援に必要な運転曲線の計算結果がリアルタイムに得られることを確認した¹⁾。

外部演算装置と運転支援装置を用いて、省エネルギーを目的とした運転支援手法の研究を進めていたところ、運転シミュレータの実験結果が必ずしも想定する結果と一致しないことがあり、改めて測定データを分析した。その結果、支援情報の提供から、運転士が運転操作を完了するまでの時間が結果に影響している可能性があることが判明した。

一方、現車では図3に示すように、支援情報の提供から車両が駆動するまでの間には、運転士の認知・判断・操作を含む遅延時間が生じる。先行研究では、現車試験において2.5秒の遅延時間を考慮した運転支援を行っている²⁾。

1. 2. 本稿の目的

より現車に近いシミュレーション環境を構築し、支援方法の研究を進めるためには、遅延時間を確認する実験が必要と考えた。はじめに、運転シミュレータでは、車輪、モータ、等の車両機器は実装しておらず、図3に示す「車両が駆動するまでの時間」はゼロであることから、外部演算装置を活用して、測定データを分析すれば、支援情報の提供から運転士の操作完了ま

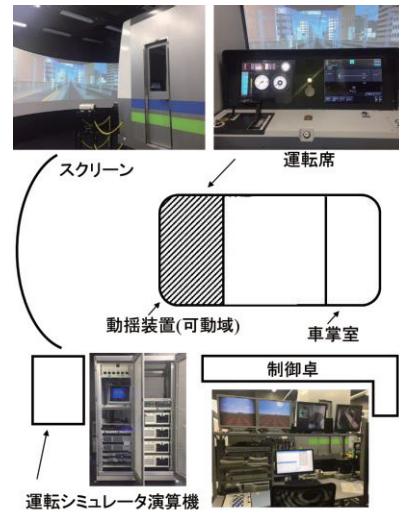


図1 列車運行システム安全性評価シミュレータ¹⁾

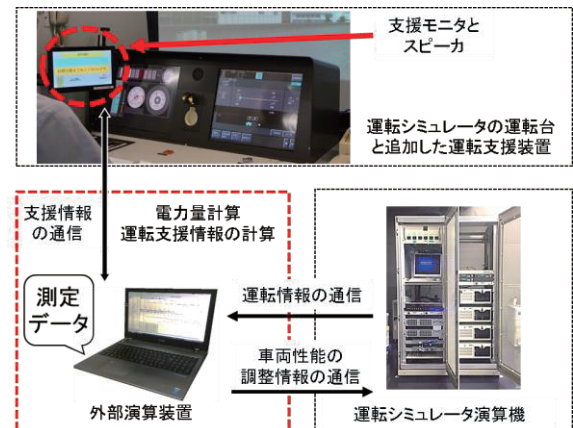


図2 運転支援装置用の評価装置の構成

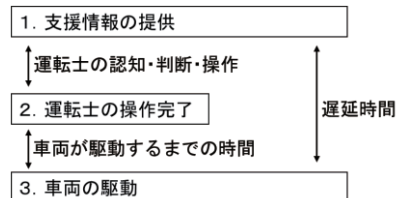


図3 遅延時間の内訳

での時間を正確に測定することができる。そこで、支援情報の提供から運転士の操作完了までの時間を測定するため下記2の実験を行った。次に、先行研究の現車試験において測定された遅延時間との差を求め、

現車を想定した運転シミュレーションを行う際に考慮すべき「車両が駆動するまでの時間」を明らかにした。本稿では、これらの検討結果^{3,4)}を報告するとともに、今後の研究の方向性について述べる。

2. 検証実験

2. 1. 実験条件

本実験では、支援情報の提供から操作完了までの時間を求めるために、運転操作開始後、車両が任意の位置に到達すると、運転支援装置上に非常ブレーキを取り扱うよう支援情報を提供し、合わせて同装置から警報音を出すように設定した。そして、外部演算装置の測定データを用いて支援情報の提供から操作完了までの時間を求めた。実験では、運転シミュレータの操作経験のある研究員3名を運転者として測定を行った。運転者には、事前にこの実験の趣旨を教示しつつも、支援情報が提供される位置は教示せず、1人の運転者につき5回測定を行った。

2. 2. 実験結果と考察

実験の結果を表1に示す。支援情報の提供から操作完了までの時間を平均すると、1.5秒であった。この時間は、図3に示した整理で考えると遅延時間に含まれるため、現車における車両が駆動するまでの時間を含めた遅延時間2.5秒より小さくなるとの予想に合致する結果となっている。これらの差を取ると車両機器が駆動するまでの時間を導くことができ、その時間はおおよそ1.0秒であることが明らかになった。また、情報を提供した時点でのノッチ位置が操作時間に及ぼす影響も合わせて分析したところ、それらに相関関係は認められないことも確認できた。

3. 結論と今後の課題

本研究では、運転シミュレータと外部演算装置を活用し、運転支援情報の提供から運転士の操作完了までの時間を測定した。支援情報の提供から運転士の操作完了までの時間は、実験の結果約1.5秒であった。この結果と先行研究の結果を比較して、操作完了から車両機器が駆動するまでの時間は約1.0秒であることを明らかにした。この時間を考慮すれば、より現車に近いシミュレーションを行うことが可能となる。

今後は、遅延時間を考慮した支援情報の提供により、想定する結果と実験結果との再現性の検証を進める予定である。加えて、運転支援方法の研究を深度化

するためには、車両の HMI (Human Machine Interface) 機器の高性能化に対応する必要があるため、図4に示すタッチパネルディスプレイの活用や指令所と運転士の相互通信を模擬する等、運転シミュレータを活用した実験を進めていきたい。

表1 情報提供から操作完了するまでの時間測定結果

	試行回数	運転支援装置から指示された時点でのノッチ位置	支援情報の提供から操作完了までの時間(秒)
運転者1	1	0	2.2
	2	3	1.7
	3	0	1.8
	4	3	1.7
	5	0	1.9
運転者2	1	4	1.4
	2	0	1.1
	3	0	1.3
	4	0	1.5
	5	0	1.0
運転者3	1	1	1.6
	2	2	1.0
	3	2	1.4
	4	2	1.3
	5	1	1.0
平均	-	-	1.5



図4 運転支援装置と外部演算装置の相互通信実験

参考文献

- 1) 渡邊翔一郎, 他: 「運転支援装置を活用した省エネルギー運転に対する列車運転シミュレータによる評価の取組」, 平成30年度交通安全環境研究所フォーラム2018 講演概要, pp. 11-14 (2018)
- 2) 長谷川智紀, 他: 「運転支援装置による省エネルギー運転, 回生効果最大化への取組み」, 平成25年度交通安全環境研究所フォーラム2013 講演概要, pp. 61-64 (2013)
- 3) 渡邊翔一郎, 他: 「列車運転シミュレータを活用した手動運転の電力量評価とリアルタイム運転曲線計算の基礎検討」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-18-063, pp. 7-12 (2018)
- 4) 渡邊翔一郎, 他: 「列車運転シミュレータを活用した運転支援システム評価に向けた基礎検討」, 電気学会 交通・電気鉄道/ITS 合同研究会, ITS-18-28, TER-18-85, pp. 21-26 (2018)

③ 標準ドライバモデルを適用した シャシダイナモメーター試験手法の検討

環境研究部

奥井 伸宜

1. はじめに

自動車（乗用車）の販売カタログ等に記載される燃料消費率（燃費）及び二酸化炭素等の排出ガス量は、シャシダイナモメーター（CHDY）に実車両を設置し、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）で定められた WLTP（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）等で規定された WLTC（Worldwide Light-duty Test Cycle）等の走行パターンを走行し計測している。最近、この値と実路走行時の燃費や排出ガス量の乖離が問題となっており、一要因に運転動作が挙げられる。表 1 に CHDY 試験の運用方法を示す。現状、車両メーカーのプロドライバーが運転しており、一般ユーザーの運転動作と異なる。そこで、車両走行性能を公平に評価できるよう、人間の頭脳にあたるドライバモデルを共通化し（標準ドライバモデル）、その指令で運転ロボットを操作させる CHDY 試験手法を検討している。

検討①では、標準ドライバモデルを構築し、特定メーカーの運転ロボットで操作した結果、事前調整が不要で、人間の運転動作と同等の性能が得られることが分かり¹⁾、「フォーラム 2018」で紹介した。将来この手法で CHDY 試験を行うには、標準ドライバモデルから操作指令を受け取る運転ロボットは、メーカーを特定しないことが望まれる。そこで検討②として、複数の運転ロボットを用意し、標準ドライバモデルの制御で CHDY 試験を行い、運転ロボットのメーカー（仕様）の違いが車両走行性能に及ぼす影響を調査した。

表 1 シャシダイナモメーター試験の運用方法

【現状】	人間（プロドライバー）	
	<指令>頭脳	<操作>足
【将来】	<共通領域> ドライバモデル	<競争領域> 運転ロボット
	・交通研所有 （標準モデル）	・メーカー① ・メーカー② ・メーカー○

2. 実験装置 および 実験条件

2.1 実験装置

運転ロボット A（RBT200ST：明電舎）及び運転ロボット B（ADS-7000：堀場製作所）を用いた。両ロボットとも市販品である。1 自由度の直動アクチュエーターの伸縮量や速度を任意に調整することで、アクセル及びブレーキペダルを操作する。各運転ロボットのアクチュエーターの仕様を表 2 に示す。各運転ロボットのアクセルの仕様はほぼ同等であるが、ブレーキは異なる。さらに、アクセル制御信号を車両側に直接入力することで、アクチュエーターを用いない運転を行った（ただし、ブレーキは運転ロボット A を使用）。

本実験は、供試ロボットに付属するドライバモデルは使用せず、標準ドライバモデルで制御した。図 1 に制御システムの構成を示す。供試ロボットに加え、標準ドライバモデルを搭載した PC と DSP（高速演算装置：dSPACE）から成る。DSP で演算した各ペダル開度情報を運転ロボット制御盤の外部端子に入力し、各アクチュエーターを操作した。また、実際の车速情報は CHDY から取得し、DSP に入力させることで、各ペダルの操作量をリアルタイムに演算させている。

表 2 運転ロボットのアクチュエーターの仕様

運転ロボット&アクチュエーター	操作量	ストローク	操作時間	
運転ロボットA	アクセル	160 N	150 mm	0.20 s
	ブレーキ	400 N	235 mm	0.40 s
運転ロボットB	アクセル	160 N	150 mm	0.28 s
	ブレーキ	220 N	200 mm	0.28 s

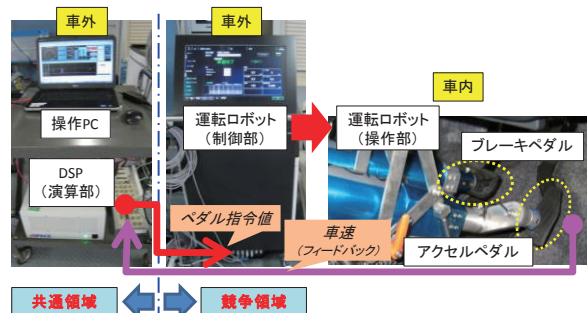





図 1 運転ロボット及び制御システム

表3 供試車両

	【Vehicle A】	【Vehicle B】	【Vehicle C】
			
Vehicle Weight [kg] (Unloaded)	1,100	1,800	3,150
Body Size [m] (L/W/H)	3.39/1.47/1.61	4.93/1.85/1.45	6.61/2.22/2.49
Power Unit	【EV】 (Motor)	【Diesel】 (2.0L/Turbo)	【Hybrid (Diesel)】 (3.0L/Turbo)
Transmission	—	9AT	6DCT

2.2 実験条件

(1) 走行モードと車両諸元 (表3 参照)

軽中量車の電気自動車及びディーゼルエンジン車を選定し、WLTC (コールドスタート) 試験を行った。また、重量車はハイブリッドディーゼルエンジン車で、JE05 (ホットスタート) 試験を行った。

(2) ドライビングインデックス (表4 参照)

基準車速と実際の車速との乖離を指標にした「ドライビングインデックス」を、評価軸として用いた。

WP29において、IWRの許容値は「-4.0~+4.0」、RMSSEの許容値は「~+0.8(日本提案) or ~+1.3(欧州提案)」で検討されており、今実験の考察に用いた。

3. 実験結果

図2に各供試車両走行時のドライビングインデックス及び車両走行性能を示す。参考として、CHDY走行に慣れている人(当研究所職員)が運転した際のドライビングインデックスも併せて記す。

車両A及び車両BのIWR、RMSSE及び電力消費率(電費)、燃費、NOx排出率は、運転ロボットの仕様によらず、ほぼ同等の値を示した。車両Cにおいても、運転ロボットの仕様違いによる影響はほぼない

表4 ドライビングインデックス

ER (Energy Rating)	目標走行と実走行との仕事量比率
DR (Distance Rating)	目標走行距離と実走行距離との距離の比率
EER (Energy Economy Rating)	「DR/ER」による単位仕事あたりの走行距離の比率
ASCR (Absolute Speed Change Rating)	目標走行中の加速度と実走行中の加速度の累乗比率
IWR (Initial Work Rating)	目標にかかわる仕事量の変化率
RMSSE (Root Mean Squared Speed Error)	絶対速度差の二乗平均平方根

が、アクセル信号を車両側に直接入力した結果に比べると、多少劣っている。これは、アクチュエーターの動作遅れが一要因として考えられる。そこで図2右端で、車両Cのアクセル及びブレーキペダルの挙動を比較する。信号を直接入力したペダル動作に比べ、アクチュエーター使用時の挙動の山や谷のピーク値がやや大きく出る箇所が確認される(特に、運転ロボットB)。しかし、ドライビングインデックスは、いずれも許容値を満たしている。つまり、標準ドライバモデルにはロバスト性があることから、標準ドライバモデルを適用したCHDY試験は、運転ロボットのメーカー(仕様)を特定しなくても運用できることを確認した。

4. まとめ

仕様の異なる運転ロボットを用意し、標準ドライバモデルの制御指令にて、CHDY試験を行った。その結果、標準ドライバモデルにはロバスト性があるため、運転ロボットの仕様が異なっても、ほぼ同等の車両走行性能が得られることが確認できた。

今後はCHDY試験場等へ運転ロボット及び制御装置の持ち運びを容易とするため、小型化を検討する。

参考文献

- 1) 奥井伸宜、河合英直：シャシダイナモメーター試験で運転するドライバの標準化検討、交通安全環境研究所フォーラム 2018 講演概要集、p.25-28 (2018)

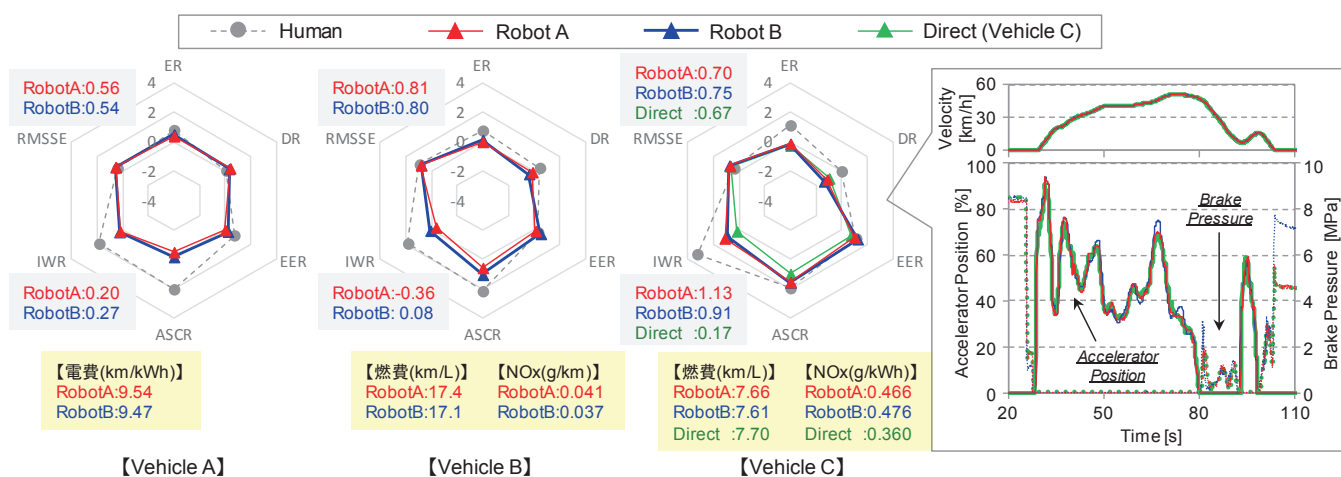


図2 ドライビングインデックス及び車両走行性能

④ 重量貨物車のディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）再生時における排出ガス挙動等の把握

環境研究部

※山本 敏朗

鈴木 央一

柴崎 勇一

1. まえがき

ディーゼル車の排出ガス対策において、有害成分のPM（粒子状物質）を捕集して除去するDPF（ディーゼル微粒子捕集フィルター）は、必要不可欠である。DPFの捕集効率は高く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を燃やして取り除くDPF再生処理が必要となる。これまでDPF再生時の排出ガス挙動は、頻度が低いと考えられて注目されなかった。しかしながら、路上走行でのDPFの再生頻度については明らかにならず、再生頻度が高い場合はDPF再生時の排出ガス挙動を無視できない可能性がある。また、DPF再生時には、600℃程度の高温条件でPMを燃焼させる場合があり、ポスト新長期規制以降の車両ではDPF後段に尿素SCR（選択的触媒還元）触媒を配置していることから、SCR触媒の熱劣化問題に注意を払う必要がある。

このような状況から、本報では、路上走行時に、自動制御で排出ガス温度を上昇させてPMを燃焼し除去する「DPF自動再生」時における排出ガス挙動等を調査した。尿素SCRシステム搭載車と未搭載車（EGRのみ）で排出ガス挙動が異なることが予測されることから、それぞれの車両について試験を実施した。さらに、NO_xセンサベースの車載計測器（SEMS：Sensor-based Emissions Measurement System）¹⁾を運送事業用貨物車に装着して2か月間の通常運送業務走行を行い、走行中におけるDPF自動再生時のNO_x等の排出ガス挙動、排出ガスの昇温状態、GPS（全地球測位システム）による走行状態および燃料消費量等のエンジン作動状態に関するデータを収集し、走行中におけるDPF自動再生の頻度、DPF自動再生による燃料消費量の増加分について調査した。さらに、DPF自動再生が後段のSCR触媒の熱劣化に及ぼす影響について検討するため、第一段階としてSCR触媒に加わる熱量を概算した。

以下に、これらの調査結果の概要を報告する。

2. 実験方法

DPF再生時における排出ガス挙動の調査には、尿素SCRシステム搭載の小型貨物車A（ポスト新長期規制適合、車両総重量5.8t、EGR装置搭載）と未搭載の小型貨物車B（ポスト新長期規制適合、車両総重量6.6t、EGR装置搭載）を用いた。また、通常運送業務走行での路上走行試験には、尿素SCRシステム搭載の中型貨物車C（ポストポスト新長期規制適合、車両総重量7.8t、EGR装置搭載）を用いた。

これらの車両に、ジルコニア式NO_xセンサをベースとしたSEMSあるいは車載型排出ガス測定システム（PEMS：Portable Emissions Measurement System）を搭載して、一般道、高速道路等を走行して各種の走行データ、排出ガスデータ、燃料消費量データ等を取得した。

通常運送業務走行での路上走行試験は、尿素SCRシステム搭載の中型貨物車CにSEMSを装着して実施した。試験期間は、平成30年12月3日～平成31年2月1日の61日間であり、39日間の運行、22日間の運休で、継続的に実施した。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ーに送信された。運送業務終了後にデータサーバー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。

3. 実験結果および考察

3. 1. DPF自動再生時のNO_x等の排出ガス挙動

DPF再生では、未燃燃料をポスト噴射等により酸化触媒に供給し酸化反応熱で排出ガス温度を上昇させ

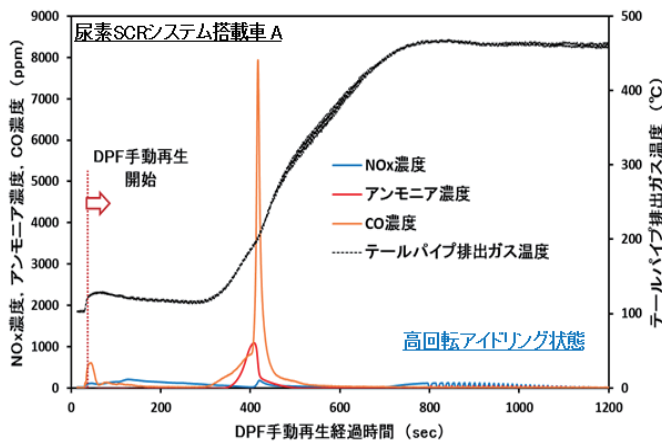


図1 尿素SCRシステム搭載車のDPF 手動再生時の排出ガス挙動

てPMを燃焼し除去する。走行中に自動制御により行われる「DPF自動再生」、停車中にユーザー操作により行われる「DPF手動再生」等がある。DPF自動あるいは手動再生時におけるNOx等の排出ガス挙動を、尿素SCRシステム搭載車Aと未搭載車Bにおいて調査した。

まず、尿素SCRシステム搭載車Aにおける、高回転アイドリング状態でのDPF手動再生時のNOx濃度、CO濃度、アンモニア濃度およびテールパイプ排出ガス温度を、PEMSおよびSEMSを用いて測定した。その結果

を、図1に示す。ここで、アンモニア濃度は、NOxセンサのアンモニア干渉特性（アンモニアをNOxとして検知する特性）を利用して、NOxセンサのNOx濃度出力とPEMSのNOx濃度出力の差分として求めた²⁾。同図より、テールパイプ排出ガス温度が上昇して200°C近傍（DPF手動再生開始後400秒ほど）となった時点で、CO濃度およびアンモニア濃度が急増・急減していることがわかる。その後の温度上昇では、両者の濃度は抑制されていることから、CO濃度の急増はDPFの燃焼温度の上昇を目的としたインジェクターのポスト噴射により供給された未燃燃料の酸化触媒での不完全酸化に、またアンモニア濃度の急増は尿素噴射で生成され一時的にSCR触媒に吸着していたアンモニアが加熱によりSCR触媒を離脱したことに、それぞれ起因するものと考えられる。

また、同車両の路上走行時におけるDPF自動再生時の排出ガス挙動を、SEMSを用いて測定した。その結果を、図2に示す。時刻7:40頃のDPF自動再生初期における排出ガス温度上昇期の200°C近傍において、図1と同様に、主にアンモニアと推測される物質の濃度の増加が一時的に観測され、その後のNOxと推測される物質の排出はDPF自動再生中には抑制されているこ

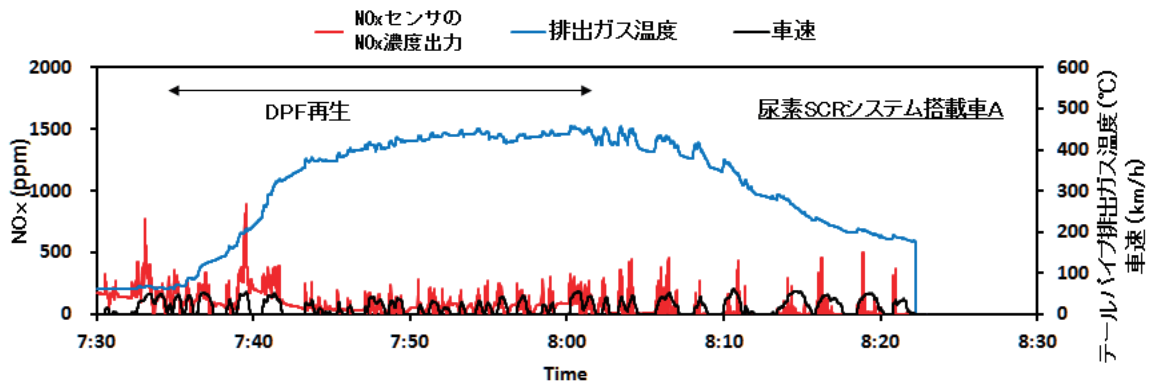


図2 尿素SCRシステム搭載車Aの路上走行時におけるDPF再生時の排出ガス挙動

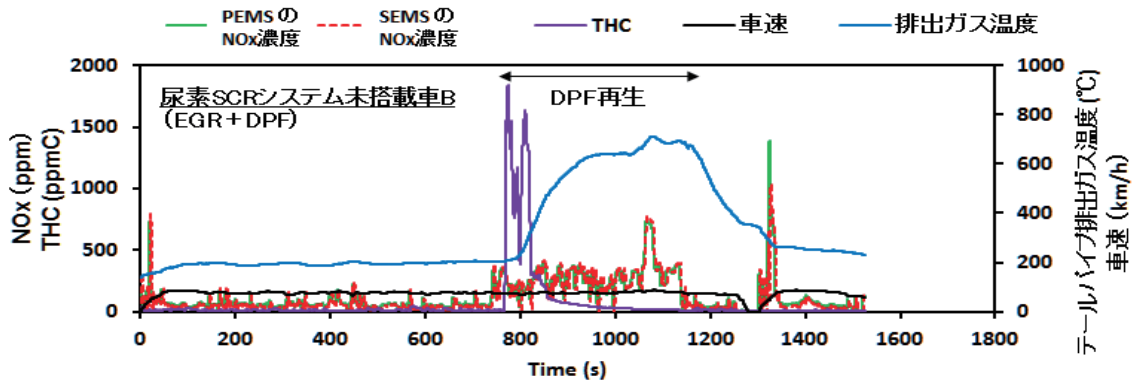


図3 尿素SCRシステム未搭載車B（EGR+DPF）の路上走行時におけるDPF再生時の排出ガス挙動

とがわかる。ここで、DPF 自動再生時は EGR 機能が停止することを確認していることから NOx 排出が増加する可能性があるが、これを尿素 SCR システムが機能して NOx を抑制しているものと考えられる。

一方、図 3 に、尿素 SCR システム未搭載車 B (EGR +DPF) の路上走行時における DPF 自動再生時の排出ガス挙動を、PEMS および SEMS を用いて測定した結果を示す。同図より、経過時間 800 秒ほどで DPF 自動再生が開始され、それと同時に NOx 濃度が同期して増加し、DPF 自動再生が終了するまでその増加状態は継続していることがわかる。この NOx 濃度の増加は、EGR 機能の停止に起因するものと考えられる。

以上より、DPF 自動再生時の排出ガス挙動としては、尿素 SCR システム搭載車では SCR 触媒に吸着しているアンモニアの脱離による一時的な排出が、また尿素 SCR システム未搭載車 (EGR+DPF) では EGR 機能停止に起因する NOx 排出量の増加が確認された。

3. 2. 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 (尿素 SCR システム搭載の中型貨物車 C) を用いて、通常運送業務走行での路上走行試験を 39 日間にわたって継続的に実施した。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、一週間サイクルで、ほぼ定まったルートを走行している。この路上走行試験で、19 回の DPF 自動再生が実施された。これらの DPF 自動再生を時系列に並べて、再生と次の再生の間のエンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事を算出し、それらを時系列に並べて、それぞれプロットした結果を、図 4 に示す。図中には、エンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事それぞれの 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。エンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事のいずれにしても、1 日の走行では DPF 自動再生は実施されないが、2 日間の走行で 19 回中 11 回の DPF 自動再生が実施され、3 日間の走行では 19 回全ての DPF 自動再生が実施されていることがわかる。このことから、本試験の運送事業走行では、2 日～3 日に 1

回 (走行距離：450km～1050km に 1 回) の頻度で DPF 自動再生が実施されていることがわかる。また、図中に「四角のマーカー」でプロットしたのは、主に高速道路を用いる長距離走行ルートにおいて実施された DPF 自動再生である。比較的、短いエンジン作動時間、短い走行距離および少ないエンジン仕事量で DPF 自動再生が実施されていることがわかる。高速道路走行では、エンジン回転数が高く排出ガス流量が継続的に大きくなり DPF の昇温が容易であることから、DPF 自動再生の必要条件を整え易く、これに起因して再生頻度が高くなっている可能性がある。

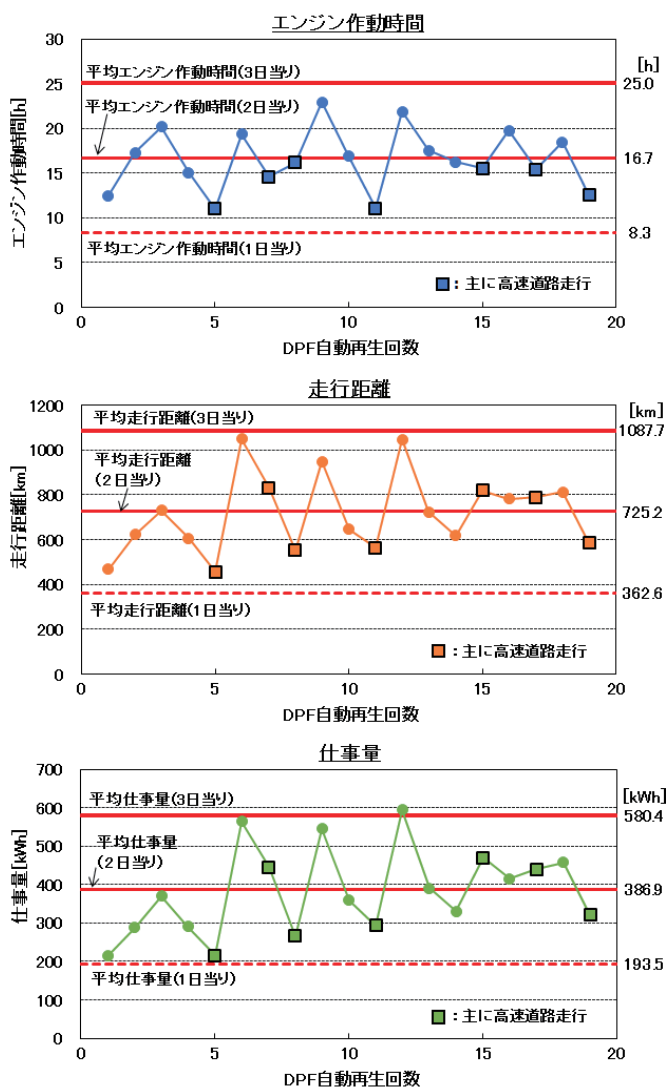


図 4 通常運送業務走行における DPF 自動再生の頻度

表 1 高速道路走行における DPF 自動再生時と通常走行時のエンジンデータ等の比較

	CO ₂ 排出量		吸入空気量	燃料消費量	車速	エンジン回転数	テールパイプ排出ガス温度
	TOTAL [kg]	平均値 [g/s]	平均値 [g/s]	平均値 [g/s]	平均値 [km/h]	平均値 [rpm]	平均値 [°C]
DPF自動再生時 [15分間]	12.324	13.708	90.2	3.902	79.3	1453	466.1
通常走行時 [15分間]	7.931	8.814	66.8	2.743	80.6	1477	240.8

3. 3. DPF 自動再生による燃料消費量の増加および DPF 後段の SCR 触媒に加わる熱量

DPF 自動再生の過程は、先ず、インジェクターのポスト噴射で燃料の未燃分を酸化触媒に送って酸化反応を生じさせる。次に、その反応熱で DPF 内の温度を効率よく上昇させて 600°C 程度の高温状態にし、DPF 内に捕集された PM を燃焼させる。このため、DPF 自動再生時には、通常走行時よりも燃料消費量が増加することになる。この燃料消費量の増加分を概算した。表 1 に、通常運送業務走行において、高速道路走行中に DPF 自動再生が実施されたときのエンジンデータと走行条件が同等の通常走行時のエンジンデータを比較した一例を示す。ここで、15 分間の DPF 自動再生における燃料消費量の差がポスト噴射による燃料消費量と見なせる。よって、軽油密度 (15°C) を 0.8295 g/cm³ とすると、1.26 L の軽油が DPF 自動再生に使用されていることになる。

次に、DPF 自動再生によって、後段の SCR 触媒は熱劣化の影響を受ける可能性があることから、それを検討するための基礎データを取得することとした。現在、中型・大型貨物車では、総走行距離 100 万 km を超える車両が存在している。このことから、NO_x 等の低減を排出ガス後処理装置に依存している現状においては、SCR 触媒等の耐久性能 (劣化状態) の把握が重要となっている。しかしながら、年間 10 万 km を走行する車両においても 100 万 km を走行するには 10 年間を要することから、認証等で耐久性能評価を行うためには、時間短縮を図って性能把握を可能にする「加速劣化試験法」の作成が重要となる。作成に当たっては、路上走行時の排出ガスデータ、エンジンデータ、走行条件データ、劣化に関連する算出データ (SCR 触媒等の加熱条件データ等) 等を基礎において、性能劣化に繋がる要件を検討する必要がある。本報では、基礎データを取得するための第一段階として、DPF の自動再生によって、後段に配置されている SCR 触媒を通過する排出ガスの熱量の増加分を概算した。15 分間の DPF 自動再生時に通過する排出ガス量は、吸入空量に燃料消費量を加算して求められる。ここで、DPF 自動再生時の吸入空気量は、増加していることがわかる。通過熱量は、排出ガス量に排出ガス温度の上昇分および排出ガスの定圧比熱を乗算することにより算出することができる。概算では、排出ガス温度の上昇分はタールパイプ排出ガス温度 (平均値) の上昇分で与え、排

出ガスの定圧比熱は 600 °C の空気の定圧比熱 1.054 J/(g・K) を用いて算出し、約 20 MJ となった。この熱量が加算された排出ガスは、DPF 自動再生により継続的に SCR 触媒を通過して触媒を加熱することになる。この SCR 触媒の加熱条件が、熱劣化要因になるかどうかについては、次段階の検討課題である。

4. まとめ

路上走行試験等により、DPF 自動再生時の排出ガス挙動、走行中における DPF 自動再生の頻度、DPF 自動再生時の燃料消費量の増加および DPF 後段の SCR 触媒に加わる熱量について調査し、以下の点が明らかとなった。

- (1) DPF 自動再生時の排出ガス挙動としては、尿素 SCR システム搭載車では SCR 触媒に吸着しているアンモニアの脱離と考えられる一時的な排出が、また尿素 SCR システム未搭載車 (EGR+DPF) では EGR 機能停止に起因すると考えられる NO_x 排出量の増加が確認された。
- (2) 本試験の運送事業走行において、DPF 自動再生は、2 日～3 日に 1 回 (走行距離：450km～1050km に 1 回) の頻度で実施されていることがわかった。また、高速道路走行では、DPF 自動再生の頻度が高くなる傾向がみられた。これは、DPF 自動再生の必要条件を整え易いことに起因している可能性がある。
- (3) DPF 自動再生による燃料消費量の増加分および DPF 自動再生によって後段の SCR 触媒を通過する排出ガスの熱量の増加分を試算した。DPF 自動再生により加熱された排出ガスは、継続的に SCR 触媒を通過して触媒を加熱することから、熱劣化の一因となる可能性がある。

参考文献

- 1) 山本敏朗, 鈴木央一, 山口恭平, “NO_x センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時における NO_x 排出量の測定と NO_x 抑制装置の機能診断”, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 642-649 (2018)
- 2) 山本敏朗, 野田明, 阪本高志: 排出ガス対策装置の車載機能診断システム (OBD) に関する性能要件及び機能評価法の研究 (第 1 報) —触媒劣化の検知方法に関する基礎的考察—, 平成 12 年度 (第 30 回) 交通安全公害研究所研究発表会講演概要, pp. 93-96 (2000)

⑤ 燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーショント国際基準調和活動への貢献

環境研究部 ※小鹿 健一郎
自動車認証審査部 菊野 樹

1. はじめに

燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法を含むWLTP(Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)¹⁾が国際技術基準 (Global technical regulation No. 15: GTR-15) として2016年11月に成立した。日本政府はGTR-15の国内法への取り込みを進めており、2017年4月より交通安全環境研究所が燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーションを行うこととなった。バリデーションはGTR-15の記載に基づいて実施した試験が①技術的に正しく測定が行える内容であること②公正な審査が実施可能あることの2つを最終確認する作業である。この作業はGTRが成立する前に実施されることが通例であるが、燃料電池自動車においては、本試験法の法文案の活発な議論が行われていた当時、量産型の燃料電池自動車が販売されていない状態であったため、バリデーションは行われずGTRが成立するという特殊な状況となった。

2. バリデーションの実施体制

本バリデーションは、環境研究部、自動車認証審査部の共同プロジェクトとして実施された。環境研究部が量産型車両を用いた実験を行い、自動車認証審査部が試験規程 (TRIAS: Test Requirements and Instructions for Automobile Standards)案の作成を行った。また、バリデーション実施によって、GTR-15の記述に対して、公正な試験実施に必要な追加の要件等があることが判明した場合は、GTR-15の修正を日本として提案することを本プロジェクトの最終的な目標として設定した。

3. バリデーションの実施と結果²⁾

3. 1. GTR-15に記載された測定方法

ここでは、GTR-15に記載された燃料電池自動車の水素燃料消費率の測定方法 (重量法) の概要について説明する。水素燃料消費率は、ある距離を走行したときにどれだけの重量の水素が消費されたかを表す値である。消費された水素重量の計測方法として、本測定法では、車載タンクは使用せず、外付けポンペから水素供給配管を通じて、車載の燃料電池に水素を供給するように準備し、走行試験前後の外付けポンペの重量を計量し、その差分を消費された水素重量とすることになっている (図1)。

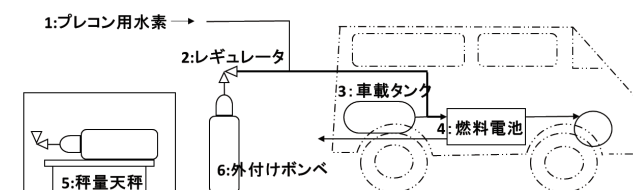


図1 水素燃料消費率試験の概要を示す模式図

3. 2. 本測定法に特有と考えられる要素と影響度評価

本測定法と内燃機関車等の燃費測定法を比べて特有と考えられる要素に、①天秤を用いたタンクの計量、②配管を用いた車載燃料電池への水素供給がある。本バリデーションでは、①計量精度による燃費への影響の大きさ、②供給配管管理による燃費への影響の大きさを評価した。

影響評価の結果、①計量精度による燃費への影響は最大0.5%であることが推定された。これはGTR-15で規定されている天秤の最小読み取り値が0.1gであり、最も影響が大きくなると想定されるWLTC Lowフェーズにおける水素消費量が20.6g程度であるとの関係から推定された。他方、②供給配管管理による燃費への影響の大きさは、今回試験した2種類の燃料電池自動車に対する試験条件の範囲では、最大0.3%であることが推定された。

3. 3. 本試験法に対するバリデーション結果と発生しうる課題の整理

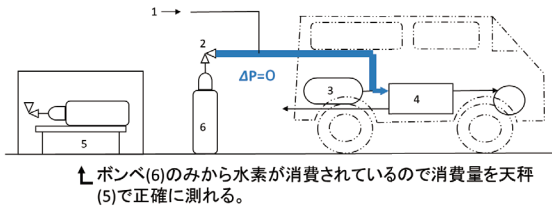
前述の燃費への影響度評価の結果、GTR-15に記載された燃料電池自動車の水素燃料消費率の測定方法を用いることで、内燃機関自動車等の燃費試験に比べて遜色なく、公正な試験が実施可能であることを確認した。

一方、2車種の量産車を対象とした試験では問題とならなかったが、今後対応が必要になるケースがあることも本バリデーションにより判明した。それは、前述②の供給配管管理にかかわるものであった。

GTR-15に供給配管の具体的設計の要件の記載はなく、自動車メーカーが試験設備と車両(車載燃料電池)の制約の範囲内で、配管の長さや径、配管内圧力等を自由に設定することができる状態である。このため、供給配管の設計(配管の大きさや配管内圧力調整能力)によっては、次のような場合に正確な水素消費量を求めるのが困難になる可能性がある(図2)。

正確な水素消費量の測定のためには、外付け水素ポンベから、車載の燃料電池スタックに水素を供給する配管内(図2-aの青色の配管部分)の水素量は、車両試験の前後で変化しないように制御される必要がある(図2-a)。試験後の配管内圧力が試験前の配管内圧力より低下している場合、燃料電池自動車は外付けの水素ポンベ内の水素および、配管内に存在する水素の両方を消費して走行しており、外付けポンベの重量計測結果のみでは、水素消費量が過少評価されてしまう(図2-b)。

(a) 水素消費量が天秤で正確に測れるケース:走行試験前後で配管内圧力差=ゼロ



(b) 水素消費量が天秤で正確に測れないケースの例:走行試験後に配管内圧力低下

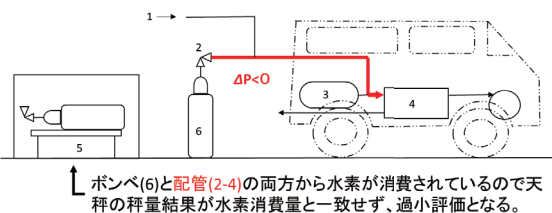


図2 配管管理が水素燃料消費率の測定結果に影響を及ぼす場合の例

4. GTR-15に対する修正提案の内容

前節3.3に示したケースが発生しても対応できるように、日本から第24回WLTPインフォーマル会議(2018年9月)においてGTR-15の修正案を提案した。修正案の主旨は、走行試験前後で配管内の圧力に変化(試験結果に影響を及ぼすレベル)が発生した場合、配管内から消費された水素量を計算(実在気体の状態方程式)により求めることで、測定結果を補正し、走行に使用した水素量を正確に求めることを可能にするものであった。

5. おわりに

今回、燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーションを世界の公的研究機関に先駆けて実施した。バリデーションの結果、本調査において評価した項目の影響度はどれも0.5%未満と低い値であったことからGTR-15に記載された方法でFCVの水素燃料消費率が適正に測定できると結論づけた。また、今回のバリデーションでは、配管の設計や制御が水素燃料消費率の測定に影響を与える可能性が示唆された。(今回の調査では、問題はなかったが、将来問題となるケースが起こる可能性がある。)このバリデーション結果をJASICにおいて審議し、GTR-15への配管補正に関する要件の追記を日本として提案することとなった。日本の提案内容は第178回WP29で了承され、GTR-15 Amendment 5として2019年6月に成立した。

参考文献

- 1) 国連UN-ECE GRPE ホームページ:
https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29grpe/ECE-TRANS-WP29-GRPE-2016-03e_clean.docx
- 2) Kenichiroh Koshika et. al., "Validation of Test Procedure for Measuring the Fuel Consumption of Production-Model FCVs" WCX SAE World Congress Experience, (2019)

⑥ 軽貨物自動車の前面衝突時の乗員傷害について

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

軽自動車は、維持管理費用が比較的安いことや環境負荷が低い等により、販売台数を伸ばしている。一方で、(公財)交通事故総合分析センターの車種別前面衝突事故における運転者の死亡重傷割合(死亡、重傷、軽傷、無傷の合計に対する死亡+重傷の割合)によると、軽貨物車の死亡重傷割合は他の車種に比べて高く、この傾向は高齢者ほど顕著である¹⁾。

そこで、本稿では軽貨物車の前面衝突時の乗員傷害について、軽乗用車や小型乗用車と比較してその特徴を調査した。

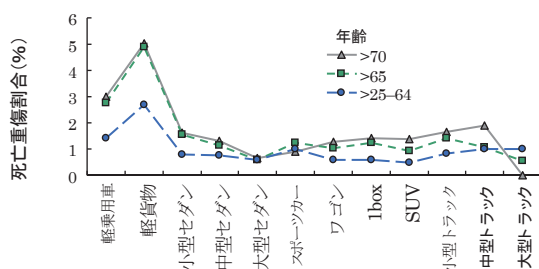





図1 運転者の死亡重傷割合

2. 実車衝突試験

2. 1. 試験条件

車種の違いによる前面衝突時の乗員傷害について比較するために、表1の条件で前面衝突試験を実施した。軽貨物車は、2013年式の軽トラックを、軽乗用車は2004年式、小型乗用車は2007年式の車両を用いた。衝突速度は、軽貨物車と軽乗用車は55km/h(法規試験速度の10%の増し)、小型乗用車は60km/h(法規試験速度の20%の増し)で実施した。乗員傷害は運転席に搭載した成人男性ダミーで評価した。なお、いずれの車両も運転席には衝突時の乗員保護装置としてエアバッグと3点式シートベルト(プリテンショナー及びフォースリミッタ機能付き)が装備されている。

表1 試験条件

	Test 1 軽貨物車	Test 2 軽乗用車	Test 3 小型乗用車
車両 外観			
衝突速度	55 km/h	55 km/h	60 km/h
車両重量	871kg	1,063kg	1,226kg
ダミー	運転席：成人男性ダミー		

2. 2. 車両構造

図2に試験車両の前面構造を示す。いずれの車両も前面衝突時の衝突エネルギー吸収に重要な役割を果たすフロントサイドメンバーが客室から前方に配置され、前端がバンパークロスビームで連結されている。軽貨物車は、他の車両と異なり左右のフロントサイドメンバー間にエンジンがなく、また長さも短い。これは、軽貨物車では、限定された全長内で荷台長さを確保するために工夫された構造と考えられる。一方で、衝突安全には不利な車型と考えられる。



図2 試験車両の前面構造

2. 3. 試験結果

図3に衝突試験状況を示す。いずれの車両についても車両前面は大きくつぶれて衝突エネルギーの吸収を行っているものの、客室部分の変形は軽微であった。ちなみに、いずれの車両も衝突後はドアを片手で開放することができた。また、軽貨物車は客室後部の荷台部分が大きく曲げ変形を生じており、ここでも衝突エネルギーを吸収している。

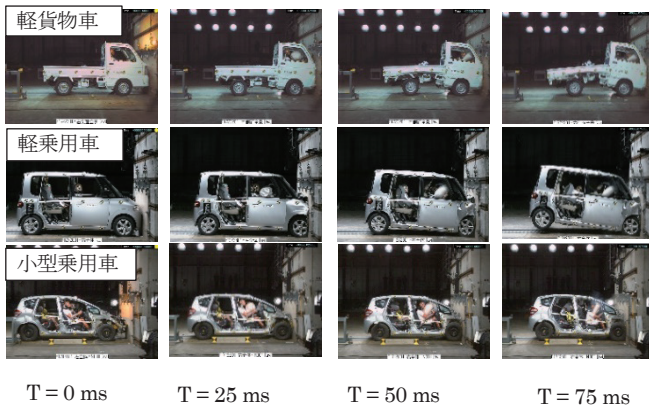


図3 衝突試験状況

車両減速度の時間履歴を図4に示す。車両減速度は運転席側のサイドシルで計測した。軽乗用車と小型乗用車では、車両減速度の一つ目のパルスはフロントサイドメンバーのつぶれによるものであり、二つ目のパルスは客室を含むエンジン後部構造の変形によるものと考えられる。これに対して、軽貨物車では、車両減速度のパルスは、一つのみであった。これは、軽貨物車では、客室前部にエンジンがないためであり、比較的短時間で最大減速度に達する。また、最大減速度は軽乗用車と小型乗用車ではそれぞれ約 600m/s^2 と約 500m/s^2 であるのに対して、軽貨物車は約 800m/s^2 と非常に大きかった。

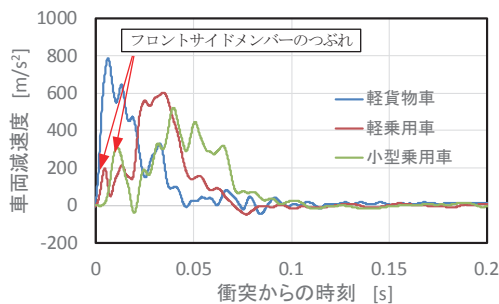


図4 車両減速度の時間履歴

次に、車両減速度と車体変形量の関係を図5に示す。軽貨物車の車体変形量は 0.24m であったのに対して、軽乗用車と小型乗用車では、それぞれ 0.43m 、 0.67m と大きかった。

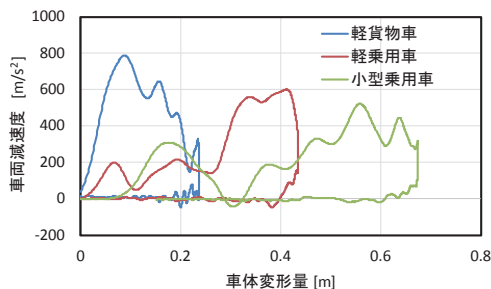


図5 車両減速度と車体変形量の関係

図6に代表的な乗員傷害値を示す。いずれも、保安基準の傷害評価基準値に対する比率で示した。胸部たわみ以外の傷害値はいずれも評価基準値以下であった。また、小型乗用車については、衝突速度が法規試験速度の20%増しであるにもかかわらず、全ての傷害値が評価基準値以下であった。これに対して、軽貨物車は、ほとんどの項目で傷害値が最も高かった。

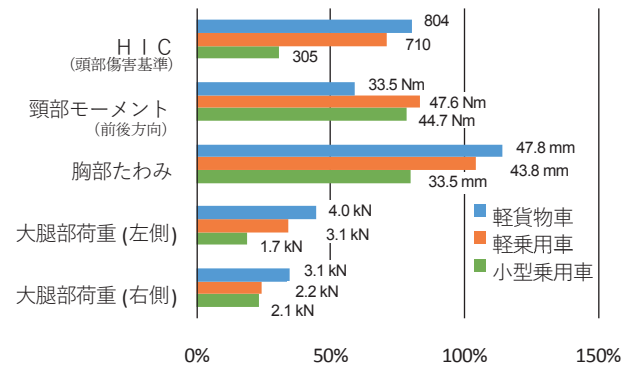


図6 乗員の傷害値

3. まとめ

軽貨物車は、他の車種に比べて車体変形量が小さく、車両減速度が高い。したがって、頭部傷害はエアバッグで緩和できるものの、上部はシートベルトにより強く拘束されるため胸部たわみを抑制することは難しいと考えられる。また、車両減速度が衝突直後から急激に上昇するためにシートベルトのプリテンショナーの作動開始時間に余裕が少ないといえる。

4. おわりに

軽貨物車は、貨物車の中で最も保有台数が多く必要不可欠な存在となっている。しかし、前部構造の制約のために衝突安全には不利な車種であると考えられる。よって、軽貨物車乗員の交通事故死傷者を低減するためには、衝突安全対策の充実だけでなく、予防安全装置の積極的な採用による衝突速度の低減を図ることも重要であると考えられる。すでに、一部では衝突被害軽減ブレーキを標準装備する車種も販売されていることから、旧式車両からの乗り換えの促進が期待される。

5. 参考文献

- 1) 交通事故例調査・分析報告書(平成23年度), (財)交通事故総合分析センター

⑦ 大型車の車両衝突速度と歩行者傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究

自動車安全研究部
首都大学東京

※松井 靖浩
及川 昌子

1. はじめに

2018年の我が国の交通事故死者数は3,532人であり、その中で歩行者は1,258人で36%を占め、その割合は近年高まる傾向にある⁽¹⁾。歩行者の事故では頭部に傷害を受け死亡する事例が最も多いことから、我が国では、乗用車に衝突された際の歩行者頭部を保護するための技術基準が、ボンネットを対象として2005年に導入された。一方、トラックを含む貨物車については、乗用車派生の車両を除き、歩行者頭部保護を目的とした技術基準は存在しない。センサーで予め歩行者を検知し、事故時の車両衝突速度を低減させる歩行者検知型被害軽減装置の装着は、歩行者死亡事故減少への有効な対策技術の一つであると考えられる。こうした装置により車両衝突速度が低下すれば死亡率が大きく低減すると考えられる。

本研究では、そのような装置による車両の衝突速度低減時における、歩行者の被害軽減効果を明確にすることを目的とし、貨物車を含む車両の衝突速度と歩行者重傷率・死亡率との関係を交通事故実態に基づき分析したので、以下に知見を述べる。ここでは、公益財団法人交通事故総合分析センター所有のマクロデータ及びマイクロデータを使用した。

2. マクロデータを用いた車両走行速度による重傷率・死亡率の算出

2000～2013年（14年間）のマクロ事故データを使用した。交通事故における車両の各走行速度帯における歩行者の重傷率・死亡率を求めた。尚、本研究の重傷率は、軽傷者数、重傷者数の中で重傷者数の占める割合、死亡率は、軽傷者数、重傷者数、死者数の中で死者数の占める割合とした。

車両種類は、貨物車に加えセダンも分析対象とした。ここでは(a) 車両総重量11t以上貨物車（大型貨物車と呼称）、(b) 5t～11t未満貨物車（中型貨物車と呼称）、(c) 軽自動車及び1Box車を除く5t未満貨物車（小

型貨物車と呼称）、(d) 1Boxタイプの3t未満貨物車（1Box車と呼称）、(e) セダン（軽自動車、ミニカー除く）の5車種を対象とした。マクロデータを用いて求めた車両走行速度と重傷率・死亡率との関係をそれぞれ図1に示す。車両走行速度の増加に伴い、歩行者の重傷率・死亡率は増加する傾向であった。

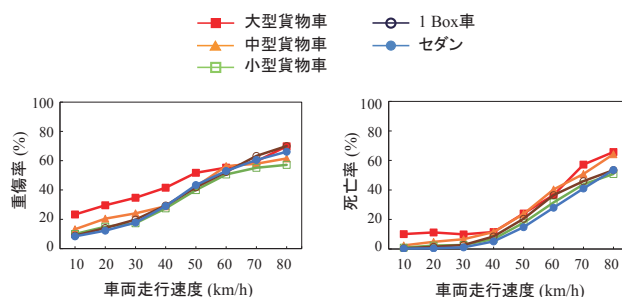


図1 車両走行速度と重傷率、死亡率との関係

特に、大型貨物車の場合、重傷率は車両走行速度50 km/h以下において、死亡率は車両走行速度30 km/h以下において、他の車種と比べ高い傾向を示した。このように、大型車との衝突では、車両走行速度が低い場合においても他の車種と比べ重傷率、死亡率が高かった。

3. ミクロデータを用いた車両走行速度と車両衝突速度との関係式の算出

実際の交通事故では、運転者が危険を認知しブレーキをかけることで、速度が低減した状態で歩行者に衝突することが予測される。その時の車両の速度を車両衝突速度と呼称する。マイクロデータでは、車両走行速度だけでなく、マクロデータには存在しない車両衝突速度を有する。そこで本稿では、1993年から2013年（21年間）までの歩行者が関与したマイクロデータを使用し、車両走行速度と車両衝突速度との関係を算出した。ここでは(a)～(d)を合算して貨物車とし、車両走行速度と車両衝突速度との関係を算出した。貨物車及びセダンにおける傷害程度別の車両走行速度と車両

衝突速度との関係を図2に示す。車両走行速度と車両衝突速度の分布を直線近似した際の近似直線式を図中に表示した。貨物車の場合、死亡(0.87)の回帰係数は重傷(0.81)の回帰係数より大きい数値を示した。このことから、死亡事故の場合、車両衝突速度はマクロデータの車両走行速度の0.87倍であり、重傷事故の場合はマクロデータの車両走行速度の0.81倍であると推定された。

セダンにおいても死亡(0.94)の回帰係数は重傷(0.85)の回帰係数より大きかったことから、車両はほとんど減速せずに歩行者へ衝突し、その結果、歩行者が死亡に至ったと推察される。従って、死亡事故の場合、車両衝突速度はマクロデータの車両走行速度の0.94倍、重傷事故の場合にはマクロデータの車両走行速度の0.85倍であると推定された。

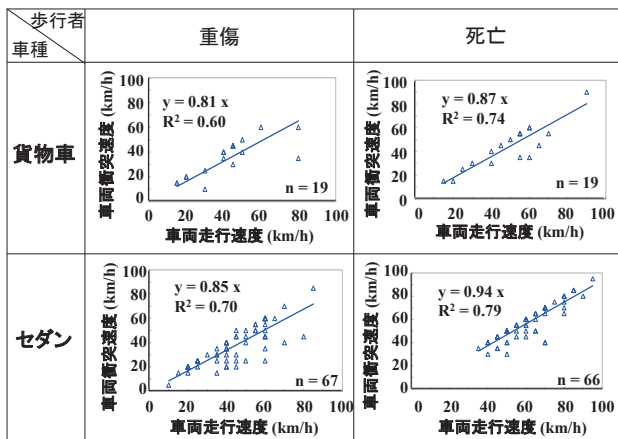


図2 車両走行速度と車両衝突速度との関係

4. 車両衝突速度毎の重傷率・死亡率の算出

2章で求めた車両走行速度と重傷率・死亡率との関係に、3章で求めた回帰係数を適用し、車両衝突速度毎の歩行者の重傷率・死亡率を車種別に算出した。大型貨物車、中型貨物車、小型貨物車、1Box車の4車種については、3章で貨物車として求めた回帰係数(重傷率を算出する場合は0.81、死亡率を算出する場合は0.87)を2章で求めた車両走行速度に適用し、車両衝突速度毎の歩行者の重傷率・死亡率を算出した。同様に、セダンに関しては3章で求めた回帰係数(重傷率を算出する場合は0.85、死亡率を算出する場合は0.94)を2章で求めた車両走行速度に適用し、車両衝突速度毎の歩行者の重傷率・死亡率を算出した。

算出した車両衝突速度と歩行者の重傷率・死亡率との関係を図3に示す。歩行者の重傷率が20%以下の車

両衝突速度に着目する。小型貨物車、1Box車、セダンが20 km/h以下、中型貨物車が10 km/h以下の場合、歩行者の重傷率は20%以下となった。さらに、歩行者の死亡率が5%以下の車両衝突速度に着目する。小型貨物車、1Box車、セダンが30 km/h以下、中型貨物車が20 km/h以下の場合、死亡率は5%以下となった。尚、大型貨物車は10 km/h以下の場合でも死亡率は10%と高くなった。このように歩行者の重傷率・死亡率は、車種により異なる傾向を示すことが明らかとなった。

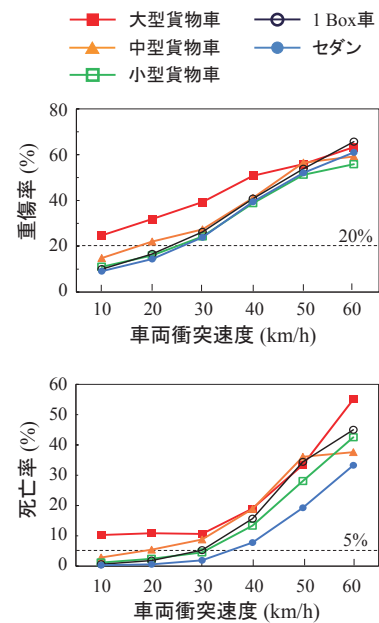


図3 車両衝突速度と重傷率、死亡率との関係

5. おわりに

交通事故状況を基に大型貨物車、中型貨物車、小型貨物車、1Box車、セダンを対象として、車両衝突速度が減少した場合の歩行者の被害状況を分析した。その結果、車両衝突速度の低減が重傷率・死亡率の低減に与える効果は大きいことがわかった。将来、車両衝突速度を減少させる機能が適切に作動可能な歩行者検知型被害軽減装置がトラックを含む各種車両に適用された場合、交通事故における歩行者の死傷者数の大幅な削減が期待される。

尚、本研究は、株式会社いすゞ中央研究所からの助成を得て実施したものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 公益財団法人交通事故総合分析センター、“交通統計平成30年版”(2019)

⑧ 交通弱者に配慮したグレアレス ADB に関する評価解析

自動車安全研究部 ※青木 義郎 後閑 雅人 田中 信壽
 本田技術研究所 戸高 信一 守屋 輝人 後藤 亮 千々松 良
 小糸製作所 高橋 大介 大塩 洋彦 山本 逸平

1. はじめに

夜間時において対歩行者の交通事故の割合は高く、そして重大事故につながりやすい¹⁾。これは、夜間時における歩行者の被視認性の低下が原因と考えられる。こうしたことから夜間の歩行者被視認性向上のため、前照灯の高光度化や、対向車のドライバにグレアを与えず歩行者がより見えやすくするような配光可変型前照灯 Adaptive Driving Beam (ADB) の開発導入が行われてきている。

これらによりドライバから見た夜間歩行者被視認性の向上が期待されるが、その一方で高光度化した前照灯が歩行者に与える影響については十分な知見が得られていない。そこで筆者らは歩行者へのグレアにも配慮した新しいグレアレス ADB について歩行者被視認性実験を行い、走行ビームと同等の歩行者被視認性を確保できることを明らかにした²⁾。

本研究ではさらに、グレアレス ADB によって歩行者のグレア感や横断判断がどのように変化するか評価実験を実施した。

2. 前照灯に関する歩行者へのアンケート調査

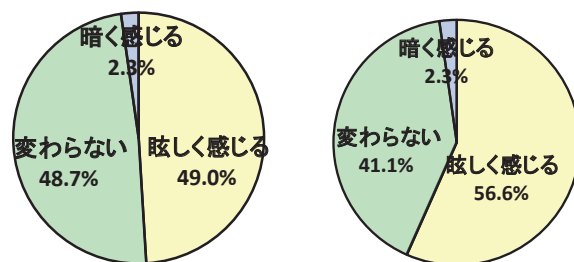
歩行者から見た前照灯の明るさに関するアンケート調査を実施した²⁾。その結果を図 1 に示す。

高齢歩行者、非高齢歩行者いずれも最近の前照灯は眩しく感じる人の割合が高く、高齢歩行者はその割合がより高くなる。このため本研究では歩行者にグレアを与えにくく、かつ歩行者の被視認性が走行ビーム並みに確保できるような配光特性を持つグレアレス ADB (図 2) を提案し、評価実験を行うこととした。

3. 歩行者グレア及び歩行者横断判断評価実験方法

本研究では、前照灯の配光によって歩行者のグレア感や横断判断がどのように変化するか夜間評価実験 (図 3 参照) を実施した。

実験参加者は 14 名である。なお実験参加者は外部から派遣されており、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き実験前に内容説明を行い、実験参加の同意を得た。また本田技術研究所生命倫理委員会の承認を得て行った。



(a) 非高齢歩行者 (n=312) (b) 高齢歩行者 (n=312)

図 1 前照灯の明るさに関する歩行者アンケート結果 (Q.最近の自動車前照灯、以前と比べてどのように感じるか?)

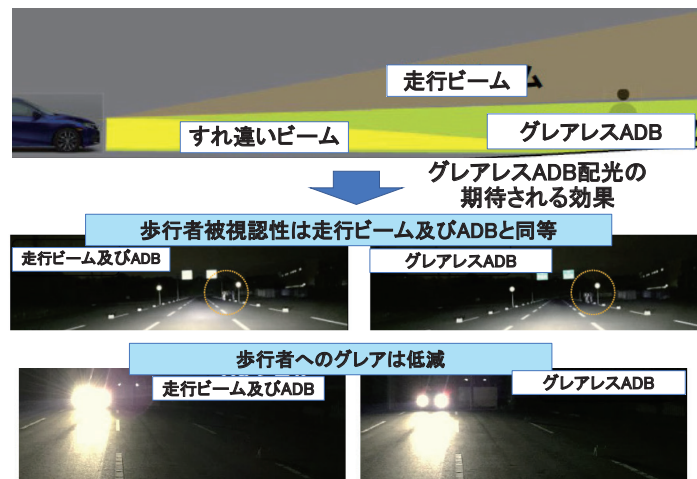


図 2 グレアレス ADB 配光



図 3 実験風景

3. 1. グレア評価

車両接近時（図4参照）における前照灯のグレア感について実験参加者はアンケート形式で評価した。

3. 2. 横断判断評価

実験参加者は接近してくる車両に対して左側あるいは右側の道路脇に立ち、ぎりぎり横断できるタイミングについて押しボタンスイッチによる評価を行った。

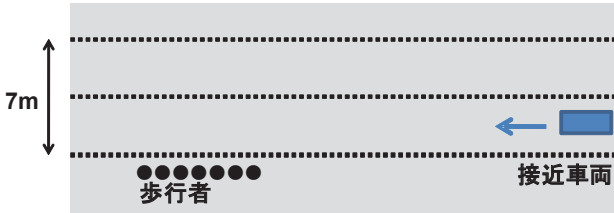


図4 実験状況

4. 実験結果

4. 1. グレア評価

接近車両の前照灯に対する実験参加者のグレア評価結果を de Boer スケールに置き換え（気にならない=9、満足できる=7、許容できる=5、邪魔になる=3、耐えられない=1。この値が4の時にグレア許容限界）、その平均値を算出した。その結果を図5に示す。

図5より、走行ビームは、いずれの接近速度でも許容限界を超えるグレアが発生する（グレア評価値4以下）のに対して、グレアレスADBの場合にはグレアは許容限界内（グレア評価値4以上）に収まることが示された。

4. 2. 横断判断評価

接近車両の前照灯に対する実験参加者の横断判断評価結果の平均値を算出した。その結果を図6に示す。

すれ違いビームよりも走行ビームの方が、ぎりぎり横断できると判断した歩車間距離は長くなり、歩行者への光度が高くなるほど、歩行者の横断判断は慎重になることが示された。なお、グレアレスADBの場合には、すれ違いビームと比較すると歩車間距離は短くならず横断判断は慎重になる傾向が示された。

5. まとめ

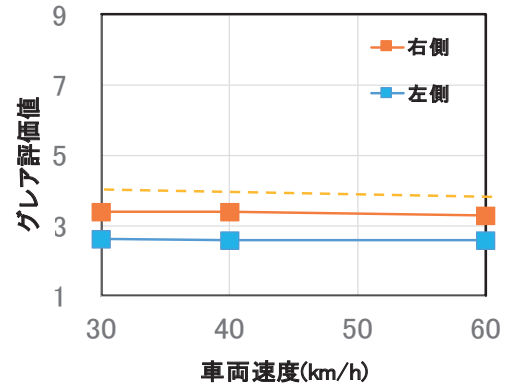
この研究では、歩行者へのグレアも配慮したグレアレスADBによって歩行者のグレア感や横断判断がどのように変化するのか評価実験を実施した。

その結果、グレアレスADBを用いた場合には、歩行者に対するグレアは許容限界内に収まり、横断判断もすれ違いビームと比べて慎重になる傾向が示された。

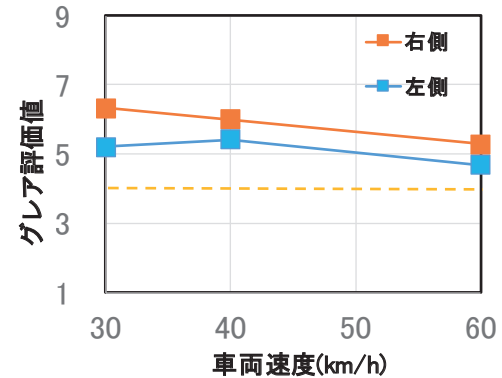
今後も新しい前照灯システムについて評価実験を行い、交通弱者に安全な前照灯について検討を行う。

参考文献

- 1) 三井：高齢者の身体機能と交通死亡事故の関係、科学警察研究所報告交通編(1995)36-1, pp. 53-69
- 2) 青木他：前照灯の照射パターンによる歩行者被視認性の変化自動車技術会秋季大会（2018）



(a) 走行ビーム



(b) グレアレスADB

図5 歩行者の前照灯グレア評価。

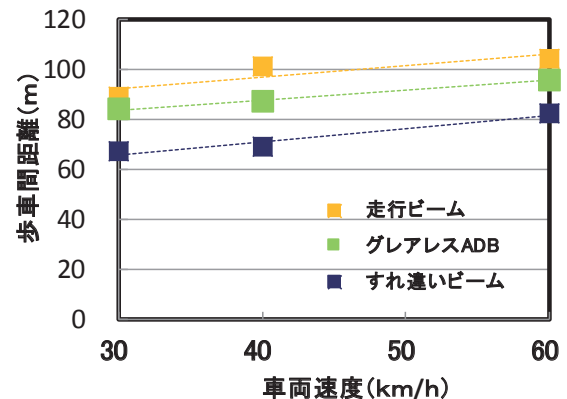


図6 ぎりぎり横断できると判断した歩車間距離

⑨ AEBS の不要作動を確認する試験シナリオ（案）に関する研究

自動車安全研究部 ※児島 亨 岩瀬 常利 廣渡 太一 自動車認証審査部 浦手 耕二

1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）第178回会合において、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）の国際基準が成立した。同基準では、前方の車両及び歩行者に対して所定の制動要件を満たすこと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を実施することとなっている。図1に対車両及び対歩行者の不要作動確認試験シナリオの概念図を示す。対車両、対歩行者ともに、試験車両が対象物の側方を通過するシナリオである。

図1のシナリオは、AEBS の不要作動が発生する可能性のある交通場面の例であり、現実には各社のAEBS のシステム構成や制御アルゴリズム等により、不要作動が発生する可能性のある交通場面は数多く存在すると考えられる。

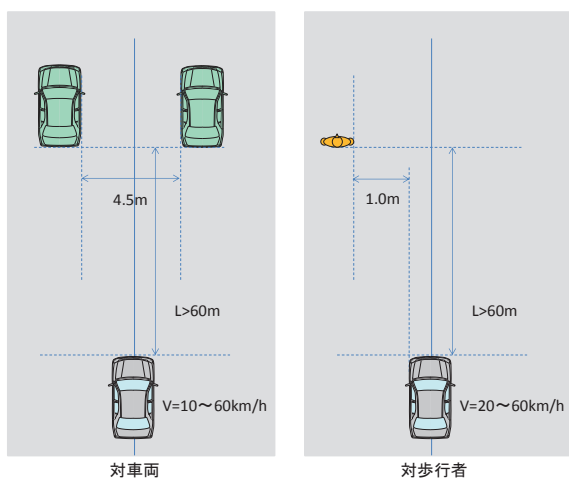


図1 Annex3 Appendix 2 で規定される
不要作動確認試験シナリオの概念図

AEBS を装備した車両の取扱説明書には、不要作動が発生する可能性のある交通場面、環境等の説明が記載されている他、国土交通省ホームページの「自動車のリコール・不具合情報」の中にも AEBS の不要作動によるものと推定される不具合情報が存在する。

そこで本研究では、自動車メーカー各社の取扱説明書や国土交通省ホームページの「自動車のリコール・不具合情報」を参考に、不要作動の有無を確認するための試験シナリオ（案）を複数作成し、実車による検証を行った。なお、AEBS の不要作動については、物理的な衝突の可能性だけではなく、当該場面におけるドライバの運転行動（例：図1の場面において、AEBS が作動しなくともドライバ自身の操作によって速度を低下させる場合も考えられる）との関係等も考慮した上で判断する必要があると考えられるが、本研究では、AEBS が作動しなくとも物理的に衝突が発生しない状況において警報またはブレーキ制御が行われた場合を不要作動と定義した。

2. 試験シナリオ（案）

図2に本研究で作成した試験シナリオ（案）を示す。全部で8つの試験シナリオを作成した。以下、順に概要を説明する。

試験シナリオ1は、試験車両が交差点を右折する際に、対向車線にも右折待ちの相手車両（静止）が存在する場面である。本シナリオでは試験車両が右折を開始する時点の試験車両と相手車両の距離を実車検証時の実験パラメータとした。試験シナリオ2は、試験車両が直進中に前方の相手車両が左折する場面である。本シナリオでは試験車両の速度及び相手車両が左折を開始する時点の試験車両と相手車両の衝突予測時間（Time To Collision、以下、TTC とする）を実車検証時の実験パラメータとした。試験シナリオ3は、試験車両と相手車両が比較的半径の小さい曲線路ですれ違う場面である。試験車両が左旋回を行い、曲線路の中央付近ですれ違うものとした。試験シナリオ4

は、道路脇にガードパイプが設置された曲線路（右旋回）において、ガードパイプの外側に静止した相手車両または歩行者が存在する場面である。本シナリオでは試験車両の速度を実車検証時の実験パラメータとした。試験シナリオ5は、試験車両が直進中に、左前方を歩行中の歩行者の横を通過する場面である。歩行者の進行方向は試験車両と同方向及び逆方向の2条件とした。また、ガードパイプ有と無の条件を実施した。試験シナリオ6は、直進中の試験車両の前方に工事看板が設置されており、右方向に操舵して隣の車線に移る場面である。本シナリオでは右操舵を開始する時点の試験車両と工事看板のTTCを実車検証時の実験パラメータとした。試験シナリオ7は、試験車両が直線路を走行中に、対向車線側の脇道より相手車両が左折して直線路に進入する場面である。本シナリオでは相手車両の右前端が道路白線に最接近した時点の試験車両と相手車両のTTCを実車検証時の実験パラメータとした。試験シナリオ8は、試験車両が片側2車線の直線路の右車線を走行中に、左車線に進路変更する場面である。道路左脇にはガードパイプが設置されている。ガードパイプの外側に静止した歩行者ターゲットを設置する条件及び設置しない条件を実施し

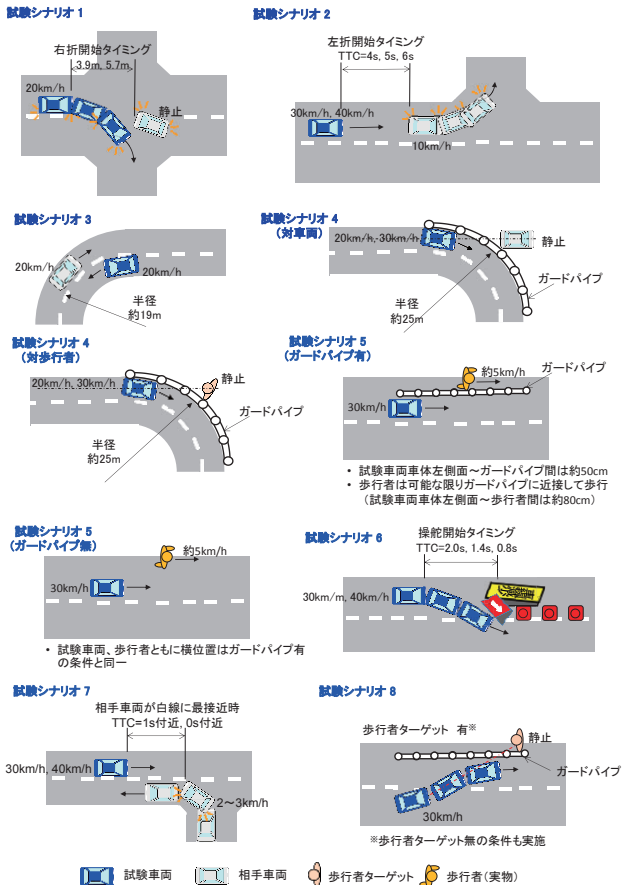


図2 試験シナリオ（案）の概要図

た。また、本シナリオでは左方向へ操舵時の操舵速度を実車検証時の実験パラメータとした。

3. 実車検証実験

3. 1. 試験車両及び試験場について

試験車両は表1に示す国内メーカーの普通乗用車3台とした。また、実車検証は当研究所の自動車試験場第二地区（埼玉県熊谷市）で実施した。

表1 試験車両の仕様

試験車両	車体形状	登録年月	検知方式
A	ミニバン	2018年2月	単眼カメラ
B	セダン	2018年3月	ミリ波レーダー+ステレオカメラ
C	ステーションワゴン	2018年1月	ステレオカメラ

3. 2. 実車検証結果

表2に実車検証結果一覧を示す。計8つの試験シナリオのうち、試験シナリオ1、2、4、6において、複数の試験車両で不要作動が確認された。

表2 実車検証結果一覧

試験シナリオ	実験条件	実験結果																	
		試験車両A			試験車両B			試験車両C											
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目									
1	試験車両20km/h 手前側で操舵 (5.7 m) 奥側で操舵 (3.9 m)																		
2	試験車両30km/h, 相手車両10km/h TTC= 4sで左操舵開始																		
	試験車両40km/h, 相手車両10km/h TTC= 5sで左操舵開始																		
3	試験車両20km/h, 相手車両20km/h TTC= 6sで左操舵開始																		
	試験車両40km/h, 相手車両10km/h TTC= 4sで左操舵開始																		
4	試験車両20km/h, 相手車両(静止) TTC= 5sで左操舵開始																		
	試験車両30km/h, 相手車両(静止) TTC= 6sで左操舵開始																		
5	試験車両30km/h, ガードパイプ有 歩行者同方向																		
	試験車両30km/h, ガードパイプ有 歩行者逆方向																		
6	試験車両30km/h, ガードパイプ無 歩行者同方向																		
	試験車両30km/h, ガードパイプ無 歩行者逆方向																		
7	試験車両30km/h, TTC=2.0sで右操舵開始																		
	試験車両40km/h, TTC=1.4sで右操舵開始																		
8	試験車両30km/h, 相手車両 TTC=1s付近で白線に最接近																		
	試験車両40km/h, 相手車両 TTC=0s付近で白線に最接近																		

4. まとめ

本研究では、乗用車用 AEBS の不要作動を確認するための試験シナリオ（案）を作成し、実車による検証を行った。実車検証の結果、複数の試験シナリオにおいて不要作動が確認された。今後は、不要作動が確認された試験シナリオを対象に、当該場面におけるドライバの運転行動（走行速度、対象物への接近状況等）との関係等についても調査を行い、更に精査した上で基準の改正提案の資料としてまとめる予定である。

⑩ 運転操作の自動化に向けた最高速度の認知に関する検討

自動車安全研究部 ※中川 正夫 小林 摂 新国 哲也

1. はじめに

レベル3以上の自動運転では、ドライバに代わってシステムが認知・判断・操作を行うことになる¹⁾。自動運転車が ODD（運行設計領域: Operational Design Domain）内において、合理的に予見される防止可能な事故を起こさない²⁾ためには、道路条件、地理条件、環境条件、最高速度など自車を中心とした近接領域の局所情報³⁾を正確に取得することが重要である。

なかでも、交通事故の削減には速度の抑制が有効であり、自動運転車が道路に設定された最高速度を正確に認知し遵守する必要がある。しかし、自動運転車によって使用するセンサの種類や構成が異なり、認知の正確性を一義的に評価することが難しい。

そこで本研究では、道路に設定された最高速度の認知に着目して、認知原理が異なる2車両を使用して認知の正確性及び特性を比較し、自動運転車における道路に設定された最高速度の認知に関する安全上の課題について検討する。

2. 実験に使用した車両と評価値

2. 1. 実験に使用した車両と認知原理

車両 A は、ステレオカメラによって標識を認識し、最高速度を認知する。画像認識を使用することで、最高速度のほかに「追越しのため右側はみ出し禁止」や「終わり」も認知できる（図 1 (a)）。車両 B は、GPS により取得した位置情報と地図情報を照合し、地図情報に基づいて最高速度を認知する（図 1 (b)）。

車両 A、B ともに、ある程度以上ステアリングを操作すると認知された情報がキャンセルされる。

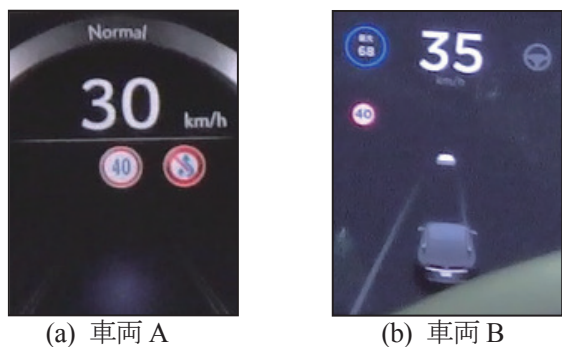


図 1 認知した最高速度の表示

2. 2. 評価指標：F 値

システムが認知した最高速度の正確性を評価するため、後述の表 1 から算出される適合率（=TP/(TP+FP)）と再現率（=TP/(TP+FN)）の調和平均である F 値⁴⁾を使用する。F 値は 0~1 の値をとり、1 に近い方が正確であることを示している。

表 1 に最高速度 40km/h の認知を例として、F 値を算出するためのデータ分類の定義を示す。40km/h 道路で 40km/h と認知すれば正解：True Positive (TP)となり、40km/h 以外と認知すれば誤認知：False Negative (FN)となる。一方、40km/h 道路ではない道路で 40km/h と認知すれば過認知：False Positive (FP)、40km/h 以外と認知すれば True Negative (TN)となる。ここで、TN には、30km/h 道路で 10km/h と誤認知したものなど評価対象以外も含まれるが、F 値には影響しない。

表 1 データ分類

		真値	
		40km/h	40km/h 以外
システム出力	40km/h	TP	FP
	40km/h 以外	FN	TN

実験により計測されたデータを（データ点数は後述）、上記定義にしたがって TP, FN, FP, TN（単位：点）に分類し、F 値を算出した。

3. 道路に設定された最高速度の認知実験

図 2 に示す 1 周 11.2km の交通研周辺の一般道を走行し、道路に設定された最高速度の認知実験を行った。

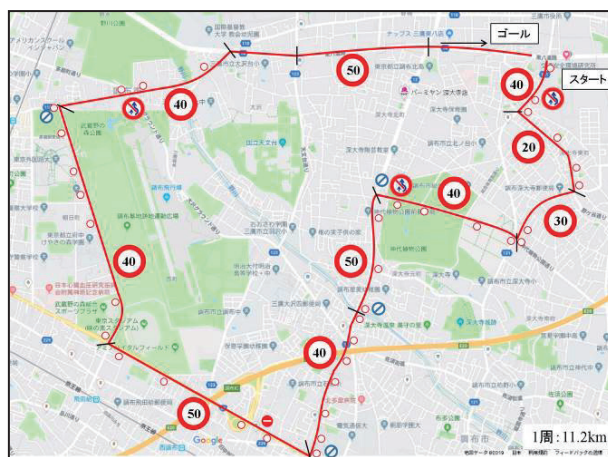


図 2 最高速度の認知実験コース

コースを標識や交差点などによって 42 のセクターに分割し、各車両で 4 周して評価を行った（総データ点数：各車両 168 点（TP+FP+FN+TN=168））。

本コースには、最高速度 20, 30, 40, 50km/h の区間が存在し、各最高速度に関して F 値を算出した。

4. 実験結果及び考察

4. 1. 認知の正確性及び特性の比較

道路に設定された最高速度の認知に関して、最高速度ごとの各車両の F 値の結果を表 2 に示す。

表 2 F 値の結果

		F 値			
		20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
車両 A		0.93	0.8	0.94	0.74
車両 B	GNSS 良	0	0	0.83	0.55
	GNSS 悪	0	0	0.87	0.55

車両 A はカメラで標識を認識すると、間違えることなく最高速度を認知していたが、標識のない道路やコーナーを曲がった直後では標識が現れるまで最高速度が不明となり F 値が低下した。これは、画像認識を利用する車両が最高速度を認識し続けるためには、速度標識が一定間隔で存在しなければならないことを示唆している。また、車両 A は速度標識の横を通過するまで最高速度を表示しないため、標識の認識から最高速度の認知までの処理時間を検証できなかった。

車両 B は GPS のみに依存しているため、速度標識がない箇所でも最高速度を認知できた。その一方で、20km/h 道路では認知せず、30km/h 道路では誤って全て 10km/h と認知した。また、50km/h 道路でも一部認知しない区間が存在し、GPS の衛星情報の捕捉状況（位置精度劣化度 PDOP: 1.5 未満（良）及び 2.1 付近（悪）の 2 水準で比較、図 3）による影響もないことから、参照する地図情報に依存していると考えられる。よって、GPS により道路に設定された最高速度を認知

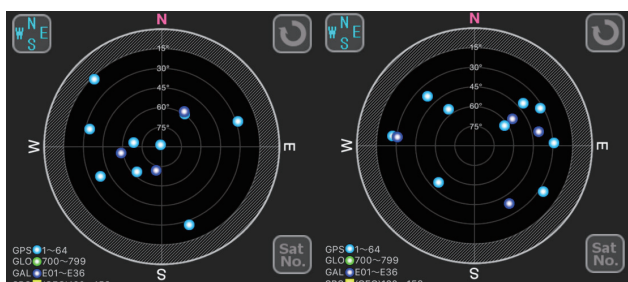


図 3 衛星の配置例 (PDOP: 1.5 & 2.1)

する車両では、ダイナミックマップ⁵⁾などの地図情報の分解能や情報の正確性が重要であると示唆された。

以上より、道路に設定された最高速度の認知において、原理の差異によって認知特性が異なることがわかり、その差異を考慮に入れた認知の正確性の評価手法の構築が必要である。

4. 2. 偽造 GPS 信号による誤認知

4.1 節で述べたように、車両 B における最高速度の認知は地図情報に大きく依存しているが、GPS 信号による位置情報が誤っている場合に最高速度を誤認知することが考えられる。そこで、車両 B に偽造した GPS 信号を与え、最高速度を誤認知するリスクについて実験を行った。車両 B の GPS 2 系統のうち 1 系統に図 2 のコースで収録した GPS 信号の一部を挿入し、構内で静止状態にも関わらずコース上の道路を走行していると認識させた。

結果、車両 B に偽造 GPS 信号を挿入することで、コース上任意の道路に設定された最高速度を認知することが確認された。さらに、誤認知した最高速度に従って走行する危険性が考えられることもわかった。

今後、自動運転車における最高速度の認知において、偽造された GPS 信号によって道路の最高速度が誤って認知された場合、実際の最高速度を遵守できない危険性があると考えられる。

5. まとめ

運転操作の自動化に向けて、センサの種類や構成が異なるシステムの安全性を確保する上で、ODD の要件となり得る「道路の最高速度の認知」が車両によって異なる可能性が示唆された。誤認知の危険性なども踏まえ、その差異による詳細な要件及びその性能の評価手法の構築が必要である。今後は、WP29 で議論が進められている自動運転車の安全性評価方法への反映なども視野に研究を進めていく。

参考文献

- 1) 自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義、JASO テクニカルペーパー、自動車技術会 (2018).
- 2) 自動運転車の安全技術ガイドライン、国土交通省自動車局 (2018).
- 3) 青木正喜、ITS における画像認識の現状と課題、人工知能学会誌、Vol.15, No.2 (2000), pp.234-241.
- 4) Safety first for automated driving, Mobileye (2019), <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2019/07/Intel-Safety-First-for-Automated-Driving.pdf>.
- 5) K. Yoneda, R. Yanase, M. Aldibaja, N. Suganuma, and K. Sato, Mono-camera based vehicle localization using lidar intensity map for automated driving, Artificial Life and Robotics, Vol. 24, No.2 (2019), pp.147-154.

⑪ 自動運転車両における情報・セキュリティ分野の基準に関する活動報告

自動車安全研究部

新国 哲也

1. はじめに

国連欧州経済委員会における自動車基準調和世界フォーラム（WP29）では、自動運転及び関連する技術について基準案の策定を進めている。優先課題として、表1に示す項目が掲げられている。これらの課題は、自動運転に関する専門家分科会として2018年に発足した自動運転技術分科会 GRVA(Working Party on Automated / Autonomous and Connected Vehicles)において検討が進められている。

表1 WP29における自動運転の優先課題¹⁾

課題名	概要
Functional Requirements for automated / autonomous vehicles	自動運転に関する機能要件を検討する。車両制御のみならず、安全性に対するリスク低減方策、ヒューマンマシンインターフェース等をカバーする。
New assessment / Test method	自動運転のための新しいアセスメント及び試験方法を検討する。
Cyber security and (Over-the-Air) Software updates	サイバーセキュリティ及びソフトウェアアップデートに関する基準案を策定する。
Data Storage System for Automated Driving vehicles (DSSAD : Data Storage System for Automated Driving)	自動運転に関するデータ記録装置の要件を検討する。なお、衝突による衝撃をイベントとした車両情報記録装置(EDR: Event Data Recorder)の検討も同時に進める。

本報告では、著者が議長として関わっているサイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート及び自動運転に関するデータ記録装置（DSSAD）について、活動の状況を概説する。

2. サイバーセキュリティに関する基準案について

専門家会議により検討されている基準案の特徴は次の通りである。

- ① 車両のセキュリティを確保するため、自動車メーカーが取るべき組織的なルールを設定することと、そのルールが自動車メーカーの組織により守られていることを認可当局が確認すること。

- ② 自動車メーカーの組織的なルールの下に、セキュリティ方策が車両型式に適切に反映されていることを認可当局が確認すること。

- ・基準案が想定する適用対象と範囲：

自動車の開発やサービス等について、セキュリティを担当する組織的な主体として、サイバー・セキュリティ・マネジメント・システム（CSMS）という概念を定義している。CSMSには、製造されるプロダクト（車両や部品・システム）そのものではなく、自動車メーカーを中心とする組織が取るべき行動等に関する規定やそれを運用する仕組みが含まれる。CSMSの対象になる組織には、自動車メーカーのみならず、関連するサプライチェーンなどの組織も含まれる。

- ・提案された基準の仕組み：

認可当局は、サイバーセキュリティに関する要件が、当該自動車メーカーの組織により確実に実施されていることを確認の上、認可を行う。さらに車両型式の認可は、自動車メーカーがCSMSの有効な証明書を有する状態でのみ与えられる。

- ・車両型式の認証について：

型式認証を受けようとする際には、自動車メーカーがその時点で有効なCSMSの証明書を有することが必要となる。その上で、審査の対象になる型式の車両に適切なセキュリティ対策がなされていることを認可当局が確認する（例えば、CSMSにより実施された脅威分析に基づき各装置のセキュリティ機能が設計されていることを確認する）。これにより型式が審査される。

以上、サイバーセキュリティの基準案を解説した。この基準案の特徴は、セキュリティに関する技術的要件そのものが基準とされているのではなく、自動車メーカーの組織が取るべき行動に関して、基準の要件が定められている点にある。このために、進歩の早い情報技術に合わせ基準を頻繁に変更する必要はない。また、基準として個別の技術（例えば特定の暗号化技術

など)を指定することもないため、攻撃の対象が公にさらされることもない。

3. ソフトウェアアップデートの基準案について

2. で説明したサイバーセキュリティに関する基準案の特徴と同様に、ソフトウェアアップデートに関する基準案においても次の2つの段階を有するアプローチが提案されている。

①車両安全を確保するためのソフトウェアアップデートプロセス(後に説明する)を組織的なルールとして設定することと、そのルールが自動車メーカーの組織により守られていることを認可当局が確認すること。

②自動車メーカーの組織的なルールの下に、適切にソフトウェアアップデートが実施されるための仕組みが型式を取得する車両に備わっていることを認可当局が確認すること。

・基準案が想定する適用対象と範囲：

自動車のためのソフトウェアアップデートの仕組みに関して、ソフトウェア・アップデート・マネジメント・システム(SUMS)という概念を定義している。SUMSとは、製造されるプロダクト(車両や部品・システム)そのものではなく、自動車メーカーを中心とする組織がソフトウェアアップデートのために適用する行動等に関する規定や、それを運用する仕組みを表す。SUMSの対象になる組織には、自動車メーカーのみならず、関連するサプライチェーンなどの組織が含まれる。自動車メーカーは、SUMSによってどのように安全性が確保されるかについて、証明することが求められる。さらに車両型式の認可は、自動車メーカーがSUMSの有効な証明書を有する状態でのみ与えられる。

・車両型式の認証について：

型式認証を受けようとする際には、自動車メーカーがその時点で有効なSUMSの証明書を有することが必要となる。その上で、審査の対象になる型式の車両に適切な対策がなされていることを認可当局が確認する(例えば、安全性を確保するため、車両制御に係わるアップデートを走行中に実施できないようにする仕組みが、設計通り機能するかを確認する)。これにより型式が審査される。

・ソフトウェア照合番号の定義について

ソフトウェアアップデートのプロセスの透明化を図るため、車両に搭載されたソフトウェアと認可当局

の承認内容とを照合する方法が検討された。この検討においてRxSWIN(Regulation x に対するSoftware Identification Number)は、型式認証を受けた車載のシステムにインストールされたソフトウェア(複数のユニットにより構成されるシステムであれば、それぞれのユニットに存在する複数のソフトウェア)のバージョン情報を集約し、管理する概念として考案された。なお、ソフトウェアのバージョン管理などの運用ルールは、自動車メーカーがそれぞれのシステムに応じて設定することができるとしている。

4. データ記録装置に関する基準について

DSSADについては、WP29のGRSG(Working Party on General Safety、一般安全)専門家会議の議題であったEDR(Event Data Recorder、車両衝突をトリガとした、車両状態に関するデータの記録装置)とともに、新たに発足したインフォーマルワーキンググループ(Informal Working Group on Event Data Recorder (EDR) and Data Storage System for Automated Driving (DSSAD)、以下IWG EDR/DSSADとする)において、基準化の議論が開始された。

IWG EDR/DSSADの活動方針は次の通りである。

- ① EDRとDSSADの違いを明確化する
- ② WP29の指示である同一車線内の自動運転機能(ALKS: Automated Lane Keeping System)に対応するDSSADの要件を検討する
- ③ さらに高度な自動運転機能に対応するデータ記録要件を整理し、基準案をまとめる

①及び②の課題は、2020年3月をめどに基準案をまとめるよう取り組んでいる。

5. まとめ

GRVAにおいて、優先的に取り組まれている課題の中から、サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート及びDSSADの基準化に関する活動状況を概説した。今後も、交通安全環境研究所として積極的にWP29の議論に参画し、基準の公平性を確保しつつ国内導入の円滑化を図っていく。

参考文献

- 1) United Nations/Economic and Social Council, ECE/TRANS/WP.29/2019/34"Framework document on automated/autonomous vehicles" (2019)

受託・施設利用等について

■ 受託・共同研究について

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

● 実績（受託元）

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

■ 施設利用について

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

令和元年度 交通安全環境研究所フォーラム2019講演概要

令和元年11月21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 <https://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に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可

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

