

平成 29 年度  
交通安全環境研究所フォーラム 2017  
講 演 概 要

2017. 11. 30, 12. 1  
国際連合大学 ウ・タント国際会議場

独立行政法人 自動車技術総合機構



## はじめに

自動車や鉄道に代表される陸上交通は、日本の経済活動を支える重要な役割を担っており、社会から陸上交通に求められる期待は高まっています。また、社会からの期待を受けて、交通事故死者数の削減や公害防止などの社会的課題への解決に向けた取組が重要となっております。

当研究所は、これらの社会的課題への解決に向けた取組として、自動車及び鉄道に関する基準・規格策定のための研究、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、鉄道製品の認証業務を実施しております。

本年の交通安全環境研究所フォーラムでは、二日間の日程で「鉄道分野の予防安全に関する取組と鉄道製品の国際展開に対する取組」及び「自動車の先進安全・環境技術への対応と国際基準調和への貢献」という二つのテーマを掲げ、当研究所の最近の研究結果をご紹介します。

初日では、鉄道分野の予防安全に関して、通信技術を利用した路面電車と自動車間の事故の未然防止に関する取組のほか、鉄道製品の国際展開に関して、鉄道の国際規格として大変重要なRAMS（信頼性、可用性、保全性、安全性）規格を考慮した安全性評価手法や認証などについてご紹介します。

また、二日目には、自動車の先進安全・環境技術に関して、自転車乗員や高齢者等交通弱者保護に効果のある先進安全技術に関する研究や、先進の排出ガス低減システムを搭載したディーゼル車に対する排ガス路上走行検査方法に関する詳細な検討結果のほか、自動車認証審査やリコール技術検証における自動運転関連技術などの先進技術への対応を紹介します。加えて、国際基準調和への貢献については、自動運転や情報セキュリティに関する国際的な共通ルール策定のための技術的検討状況をご紹介します。

本フォーラムでは、当研究所の研究結果等をご紹介しますとともに、関連する外部の専門家をお招きしてご講演いただくことにしております。加えて、本フォーラムのもう一つの大きなイベントであるポスターセッションにおいては、最新の研究成果を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、当研究所の活動をさらに充実・発展させ、当研究所に対する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。

平成29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 佐竹克也

# 目 次

鉄道分野の予防安全に関する取組と鉄道製品の国際展開に対する取組

11月30日の講演（ウ・タント国際会議場）

題 目	所 属	講演者	頁
<b>■交通システム研究部の取組</b>			
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 通信技術等を活用した路面電車・自動車間における安全性向上に関する取組	主席研究員	竹内 俊裕	3
講演 2 転換時の振動検出による発条転てつ機の予防安全の取組	上席研究員	緒方 正剛	7
講演 3 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	上席研究員	林田 守正	11
<b>■鉄道認証室の取組</b>			
鉄道認証室における最近の活動概要	鉄道認証室長	江國 実	15
講演 4 鉄道製品の調達と RAMS	専門調査員	渡邊 朝紀	17

自動車の先進安全・環境技術への対応と国際基準調和への貢献

12月1日の講演（ウ・タント国際会議場）

題 目	所 属	講演者	頁
<b>■自動車研究部の取組</b>			
自動車研究部における研究の概要と方向性	自動車研究部長	河合 英直	23
講演 1 歩行者認知支援システムがドライバの運転に与える影響に関する研究	研究員	後閑 雅人	25
講演 2 自転車乗員の交通事故発生要因と先進安全技術について	主席研究員	松井 靖浩	29
講演 3 高齢者等の交通弱者に配慮した自動車前照灯に関する評価解析	上席研究員	青木 義郎	33
講演 4 先進技術搭載ディーゼル乗用車等を対象にした排出ガス路上走行検査方法の検討	研究員	山口 恭平	37
講演 5 車両燃費評価におけるシミュレーションの活用と国際動向	主任研究員	水嶋 教文	41
<b>■国際調和推進部の取組</b>			
国際調和推進部における活動の概要と方向性	国際調和推進部長	坂本 一郎	45
講演 6 国連自動運転分科会（ITS/AD）における自動運転技術の定義と国際基準化項目の検討状況	主席研究員	関根 道昭	47
講演 7 国連自動車基準調和世界フォーラムにおける自動車セキュリティの議論の状況と交通安全環境研究所の取組	主席研究員	新国 哲也	51
<b>■自動車認証審査部・リコール技術検証部の取組</b>			
講演 8 自動車認証審査部における審査の概要について	自動車認証審査部長	山崎 孝章	55
講演 9 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	杉崎 友信	57

ポスターセッション（2階レセプションホール）

題 目	所 属	発表者	頁
		(※主発表者)	
①画像解析及び通信技術を活用した踏切事故防止支援システムへの取組	交通システム研究部  客員研究員	※ 竹内 俊裕 長谷川 智紀 工藤 希 山口 大助 伊藤 昇	63
②鉄道の安全性向上を目的とした衛星測位の精度向上に関する検討	交通システム研究部  客員専門調査員	※ 工藤 希 竹内 俊裕 篠田 憲幸	65
③助手席子供乗員に対するエアバッグの影響に関する調査	自動車研究部	※ 田中 良知 細川 成之 松井 靖浩	67
④乗員の胸部傷害低減方法に関する検討	自動車研究部	※ 細川 成之 田中 良知 松井 靖浩	69
⑤自動命令型操舵機能の試験法（案）の実車による検証	自動車研究部 自動車認証審査部	※ 児島 亨 伊原 徹	71
⑥一般及び軽度認知障害高齢者の運転行動の分析	自動車研究部  杏林大学医学部 元自動車研究部	※ 榎本 恵 関根 道昭 長谷川 浩 森田 和元	73
⑦車両停車方向の測定方法に関する検討	自動車研究部	※ 松村 英樹	75
⑧FCVにおける水素燃料消費率測定方法の国内導入に関する検討 ～実車を用いたWLTPのバリデーション～	自動車研究部	※ 小鹿 健一郎 新国 哲也	77
⑨HILSの知見を活用したディーゼル重量車の高精度排出ガス試験法の一検討	自動車研究部	※ 奥井 伸宜 山口 恭平	79
⑩車載型排出ガス測定システムを用いた重量車の路上走行時排出ガス評価手法に関する考察	自動車研究部	※ 山本 敏朗 鈴木 央一 山口 恭平 小澤 正弘	81

口 頭 発 表 11.30

# 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では、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・環境に関わる課題について、自動車・鉄道の双方を所管する交通安全環境研究所の特長を生かした分野横断的な研究を含め取り組んできた。

また近年では、我が国鉄道技術の国際的な展開が重要施策の一つとして位置づけられており、鉄道技術の国際的な展開を支援するため、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、交通システム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

平成 28 年度から 32 年度までの中期計画において、交通システム研究部では、研究重点分野として以下の 3 つの柱を立てている。

- (1) 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、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. 交通システムの安全性・信頼性評価

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っており、新たな技術の導入促進及び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。

鉄道技術の国際的な展開の支援のため、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、近年は無線式列車制御システム等運転保安システムに係る安全性評価の実績が増えているが、これら海外プロジェクト向けの安全性評価手法の体系化を図り、我が国の鉄道における安全確保の考え方に立脚しつつ、信頼性にも着目した評価手法について標準化・高度化に取り組んでいる。

今後も新たに開発されたシステム等の安全性評価を受託研究として継続的に実施することとしている。また、評価を通じて蓄積したノウハウは、安全性評価や鉄道認証室が所掌する国際規格適合性認証を的確に進める上で活用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を研究している。

自動車・鉄道の双方にかかる分野横断的な研究として、道路上を運行する路面電車と自動車との接触・衝突事故の防止、及び鉄道と道路交通が交差する踏切における事故の防止を対象として、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など、安全性向上手法の研究を進めている。

鉄道の車両、施設の保守管理については、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て軌道等の状態監視技術に関する取り組みを進め、地方鉄道の保守負担を軽減しつつ安全性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て、営業列車を用い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おり、走行音の積極的活用等の機能拡充を図るとともに、データの遠隔自動収録により、高頻度の計測データを現地に行かなくとも収集・解析できる仕組みを構築しつつある。また、発条転てつ機のトングレール転換時に発生する振動の検知による、転換不良等の予防保全手法に関する研究などを進めている。

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、安全性の観点から位置検知の精度・信頼性等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っている。

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、車線減少や交差点処理など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、CO<sub>2</sub>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。最近では、年齢に応じた交通行動の変化のほか、街

の構造や地形条件等地域の特性を踏まえた、よりきめ細かい評価を行うための検討を進めている。

また、新たなLRTなどの導入に伴う安全性評価や、省コストでホーム上の旅客の安全性を向上させること等を狙いとして様々な開発が進められている新型ホームドア等の評価を行っている。加えて、地域公共交通の整備を検討している地方自治体に対する技術的支援を行うなど、公共交通システムの普及や利用しやすい交通環境づくりに関する取り組みを実施している。

今後も、新たな交通システムを含めた評価等を通じて、地域の特性に適した公共交通の整備に貢献していくこととしている。

## 2. 5. 索道、その他の取組

中期計画における研究の重点分野とは位置づけられていないものの、継続的な取り組みが必要なテーマを自主事業として実施している。交通安全環境研究所は、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、索道に関する試験研究にも継続的に取り組んでおり、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を実施しているほか、索道事故等のデータベース化など索道の安全に資する研究を行っている。

このほか、公平性や中立性を担保しつつ、産官学連携の中核を担うべく、大学、事業者等との共同研究を実施し、上記研究重点分野に関連する研究の効率的かつ効果的な実施に努めている。

## 3. 今後の展開

交通システム研究部では、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。

これからも、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研究所の特長を生かした分野横断的な研究に積極的に取り組むとともに、引き続き、優れた安全性・信頼性を誇る我が国鉄道技術の国際的な展開を支援し、グローバルな社会的貢献を果たしていきたいと考えている。

# 講演 1. 通信技術等を活用した路面電車・自動車間における安全性向上に関する取組

交通システム研究部 ※竹内 俊裕 長谷川 智紀 林田 守正 押立 貴志 (客員研究員)  
篠田 憲幸 (客員専門調査員)

## 1. まえがき

近年、路面電車は環境負荷の少ない公共交通機関として関心が高まっているが、自動車と道路を共用していることから、図1に示すとおり平成27年度では60件の道路障害事故が発生しており、路面電車と自動車との間の事故防止を図ることが安全を確保する上で重要である。

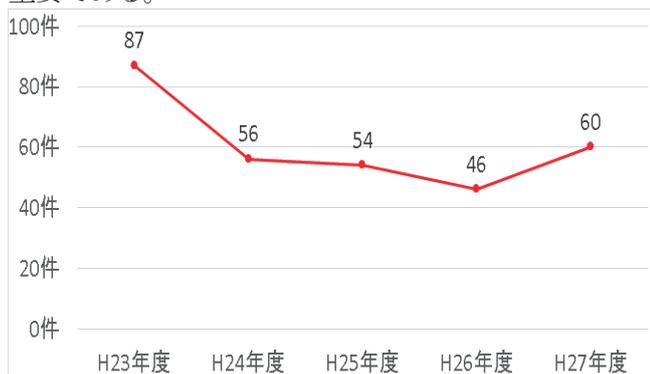


図1 道路障害事故件数の推移<sup>1)</sup>

路面電車と自動車との事故発生場所としては、その半数近くが交差点で発生していることから(図2)、交差点での事故を防止することが重要であると考えられる。

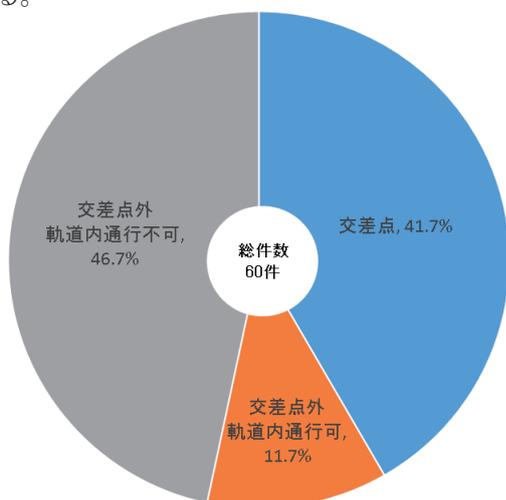


図2 道路障害事故発生場所別グラフ<sup>1)</sup>

自動車の事故削減に関する施策の一つに、国土交通省自動車局が交通事故による死傷者数の削減を目的として推進しているASV推進計画<sup>2)</sup>がある。ASV推進計画では、見通しの悪い交差点等において、自動車同士が位置や速度等の情報を交換し、情報提供や注意喚起の支援を行う通信利用型運転支援システムが検討され、一部実用化されている。

そこで、自動車とともに道路空間を共有する路面電車に対しても、通信利用型運転支援システムを用いることにより、路面電車・自動車の衝突事故防止が期待できると思われることから、東京大学、広島電鉄、及び中電技術コンサルタントとともに、通信利用型運転支援システムを用いた路面電車・自動車間衝突事故防止支援システムを構築し<sup>3)</sup>、路面電車・自動車の衝突事故防止を目的とする予防安全に関する取組を行っているので報告する。

## 2. 路面電車・自動車間衝突事故防止支援システム

これまでに構築した路面電車・自動車間衝突事故防止支援システム(図3)は、処理装置を中心として、自車両の位置検知を行うGPS受信機、自動車と通信を行うITS無線機とアンテナ、運転士への支援を表示と音声で行うための支援モニターと支援スピーカーで構成している。

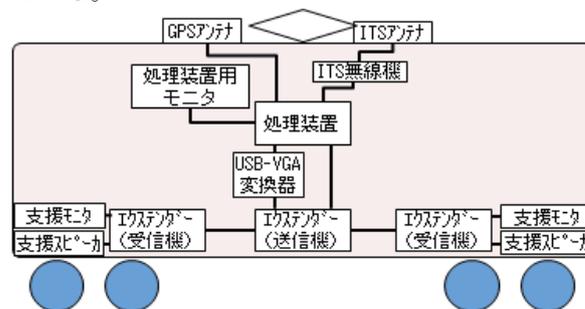
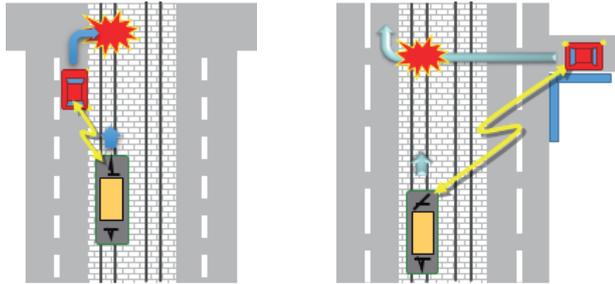


図3 システム構成

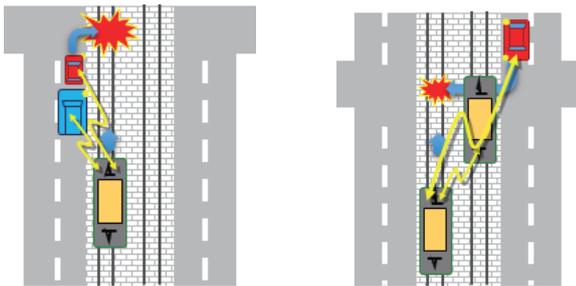
また、これまでは、路面電車事業者の意見や事故事例等から、支援により路面電車と自動車の衝突や接触

事故を削減する効果が見込まれる場面としては、右折自動車に対する支援（場面1）、細街路から軌道敷を超えて右折する自動車に対する支援（場面2）を検討してきた（図4）。今回、これらに加えて、路面電車事業者へのヒアリングを基に新たな6場面を選定し、その中から、特に支援の有効性が高いと思われる2場面、図5に示す大型車の陰に存在する右折自動車に対する支援（場面3）と対向路面電車の陰に存在する対向右折自動車に対する支援（場面4）について検討した。



場面1 場面2

図4 従来の支援場面



場面3 場面4

図5 新たに追加した支援場面

さらに、将来的に通信利用型運転支援システムの普及が進み、図6に示すように ITS 無線機を搭載した自動車が多数存在する環境下における支援についても検討を行った。

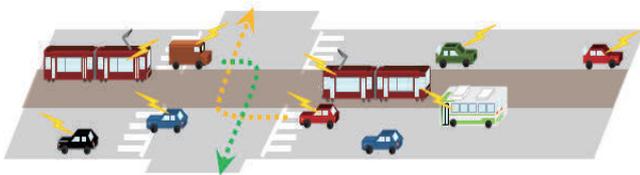


図6 ITS 車載器を搭載した自動車が多数存在する環境における支援のイメージ

### 3. 実証実験

構築した路面電車・自動車間衝突事故防止支援システムについて、各場面における支援状況を確認することを目的とした機能検証実験と、多数の ITS 無線機が

電波を放射している環境下での支援への影響を確認することを目的とした高負荷実験を実施した。

機能検証実験は、試験車両（図7）、試験自動車（図8）にシステムを搭載し、広島電鉄江波線（江波～横川駅間）において実施した。なお、大型車についてはワンボックス自動車にシステムを搭載して模擬した（図9）。



図7 試験車両



図8 試験自動車



図9 模擬大型車

高負荷実験は、路面電車の車庫に隣接している会議室に30台のITS無線機を電波を放射している状態で設置し、車庫線に試験車両を配置するとともに車庫線に接している駐車スペースに試験自動車を配置し、その状況で試験自動車から模擬支援情報を試験車両に

伝送し、試験車両に設置された支援モニタへの支援の出力状況を目視確認することとした。また、試験自動車から試験車両への通信を一定時間記録し、伝送未達の状況を測定した。

## 4. 実験結果

### 4. 1. 機能検証実験

機能検証実験は、試験自動車が交通法規を遵守した上で、試験車両に追従し、比較的交通量の少ない交差点等でタイミングを合わせながら10回以上繰返し実施した。大型車の陰に存在する右折自動車に対する支援（場面3）の実験時の様子を図10-①と図10-②に、対向路面電車の陰に存在する対向右折自動車に対する支援（場面4）の実験時の様子を図11-①と図11-②に示す。

各場面において支援が行われたことを「成功」、支

援が行われなかったことを「失敗」として、それぞれの回数及び成功率を表1に示す。各場面による成功率のばらつきは、試験時の交通事情によりタイミングが合わせられなかった影響によるものであり、特に場面4については、交差点で試験車両と対向路面電車がすれ違うタイミングが少なく、支援が行われるための条件が整わなかったことによるものであるが、その条件が成立した場合には各場面において確実に支援されることが確認できた。

表1 機能検証実験結果

	合計	成功	失敗	成功率
場面1	16回	13回	3回	81.3%
場面2	11回	10回	1回	90.9%
場面3	19回	14回	5回	73.7%
場面4	10回	6回	4回	60.0%



図10-① 場面3の処理装置画面



図11-① 場面4の処理装置画面



図10-② 場面3の支援状況

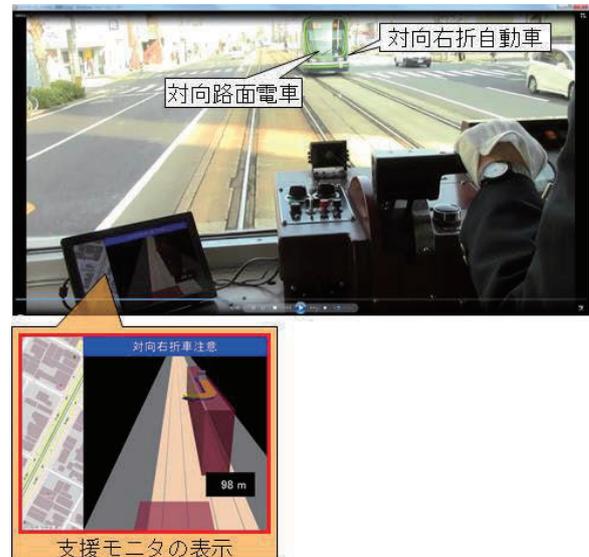


図11-② 場面4の支援状況

しかしながら、今回の実験において、大型車の陰に存在する右折自動車に対する支援（場面3）の実験時に、右折自動車に対する支援（場面1）の条件が先に成立した場合には、場面1の支援しか行われないことが確認されたことから、複数の支援がほぼ同じタイミングで成立した場合には、事故削減効果が高いと思われる支援を先に行う等、優先順位についての検討が必要であることが確認された。

#### 4. 2. 高負荷実験

高負荷実験では、30台のITS無線機が電波を発射している状況においても、試験自動車から送信された模擬支援情報が試験車両で受信され、支援モニタに支援が出力されることを確認した（図12）。



図12 高負荷実験時の処理装置画面

また、高負荷実験を実施した3日間の各日30分間の伝送ロスト率について測定した結果を表2に示す。ITS無線機のメッセージ伝送周期は100msecで行われる仕様となっていることから、30分間で18,000メッセージが伝送されることとなり、その間に受信できなかったメッセージを伝送ロストとして伝送ロスト率を求めた。

表2 高負荷実験時の伝送ロスト率測定結果

	1日目	2日目	3日目
伝送回数	18,000	18,000	18,000
受信数	17,120	16,596	16,618
伝送ロスト率	4.9%	7.8%	7.7%

測定の結果、測定日によって伝送ロスト率は異なるが、約5%~8%程度であり、高負荷状態によるものと推測される。しかしながら、100msec周期で支援情報は

次々と伝送されていることから、常に最新の情報に更新されるため、支援機能に影響を及ぼすような現象は見られなかった。

#### 5. まとめ

ASV推進計画で検討された通信利用型運転支援システムを活用して、道路空間を共有する路面電車と自動車間の事故防止を目的とする予防安全に関する取組について報告した。

路面電車・自動車間衝突事故防止支援システムを構築し、事故削減効果が見込まれる場面について機能検証実験を実施した結果、各場面において支援が行われることを確認した。

また、多数のITS無線機を搭載した自動車が存在する環境を模擬的に作り、高負荷状態においても支援が正常に行われることを確認した。

今回実験を行った4つの場面については、所定のタイミングで支援が行われることを確認したが、複数の支援が同時に成立した場合には、その時のタイミング次第で、先に成立した支援のみ行われることが確認され、支援の優先順位が重要であることも確認された。

今後の予定としては、路面電車事業者へのヒアリング等を実施し、支援の優先順位の考え方を取り入れるとともに、複数の支援が成立した場合の運転士への支援方法についても検討を進めていく予定である。またモニターランを通して、実環境においてITS車載器を搭載した一般の自動車との遭遇による支援状況を確認するとともに、それらの情報を用いて最適な支援タイミング等について検討を進めていく予定である。

なお、本実証実験に多大なるご協力を賜った東京大学生産技術研究所、広島電鉄株式会社、マツダ株式会社、中電技術コンサルタント株式会社に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所「鉄道安全データベース」より
- 2) 国土交通省自動車局 第5期ASV推進計画
- 3) 竹内他、“通信技術等を活用した鉄軌道・道路交通間における安全性向上に関する取組”，交通安全環境研究所フォーラム2016，pp.61-64（2016）

## 講演 2. 転換時の振動検出による発条転てつ機の予防保全の取組

交通システム研究部 ※ 緒方 正剛 佐藤 安弘 大野 寛之

### 1. はじめに

発条転てつ機は、単線の地方鉄道路線などに用いられ、転換時にバネ力で自動的に定位に復帰する転てつ機であるが、復帰動作が完了しないと、異線進入による脱線事故の危険性が生じるため、定期的な保全が重要である。鉄道分野の予防安全に関する取組の一つとして、小型の振動センサを用いた転換時の振動検出による発条転てつ機の予防保全の取組について報告する。

### 2. 発条転てつ機の機能と特徴<sup>1)</sup>

転てつ機には、電気転てつ機と発条転てつ機がある。電気転てつ機は、電気で駆動されるモータの回転力をクラッチ、歯車等を介して動作かんの往復運動に置き換え、その動作かんに連結されているスイッチアジャスターロッド及びスイッチアジャスタを介して、分岐器のトングレールを転換させる機構である。ほとんどの鉄道路線では電気転てつ機が使用されている。

一方、発条転てつ機は、モータがない代わりにバネと油圧シリンダを備え、バネ力によりスイッチアジャスタを介して分岐器のトングレールを定位側に復帰させる機構である。図1に発条転てつ機の例を示し、主要部分の構造を図2に示す。対向列車に対しては、バネ力により、トングレールを基本レールに密着させその状態（定位）を確保する。列車が背向で通過するときは、車輪がバネ力に打ち勝ってトングレールを割出し、トングレールを反位側に転換させ、列車通過後は、バネとダンパの作用により一定時間後に自動的に定位側に復帰する。ダンパがないと、車輪がトングレールを通過するごとにトングレールが転換・復帰を繰り返すことになるが、そのばたつきを抑えるため、ダンパによる緩衝機能を備えている。発条転てつ機は、分岐器の開通方向を変えるための電気動力が不要で、列車本数が比較的少ない地方鉄道の単線区間における上下列車の交換可能

駅などで見られ、駅に到着する列車には対向で定位の進路を保持し、出発する列車は背向で割出しを行い分岐を通過する。当初の発条転てつ機は、緩衝機能が無くもっぱら都市の路面電車で用いられてきたが、現在でも路面電車においては、緩衝機能を省いた発条転てつ機が用いられることが多い。



図1 発条転てつ機の例



図2 転てつ機主要部分の構造

### 3. 発条転てつ機の保全

#### 3. 1. 調整事項<sup>2)</sup>

##### (1) 密着調整

定位側・反位側それぞれにおいてトングレーと基本レールとの密着が確保されるよう、スイッチアジャスタのナットを回して密着調整が行われる。これは、定位の時にバネが所定の圧縮量となるように調整するもので、バネの圧縮量により復帰動作時の転換力を発生させる発条転てつ機では、所定の転換力を確保する観点から重要な調整である。

#### (2) 復帰時間の調整

トングレーを反位側に転換させた列車の通過後、トングレーが定位に復帰するまでの時間は4～8秒の間になるよう、ダンパのニードルバルブを調整する。復帰時間が極端に短い場合は、列車がトングレーを通過する際にトングレーがばたつく可能性がある。一方、復帰時間が極端に長い場合は、ダンパによる負荷が大きすぎる状態であるので、上記適正值に調整する。

### 3. 2. 保全事項<sup>1)</sup>

#### (1) 給油

発条転てつ機では、復帰動作時の転換力はバネ力で決まっているため、可動部分の円滑動作は欠かせない。このため、可動部分の給油は十分に行う必要がある。

#### (2) ダンパ

ダンパオイルの定期的な交換、オイルの量や汚れのチェックが必要とされている。

### 3. 3. 保全支援システムの必要性

発条転てつ機においては錆や傷等を原因として、トングレーと床版の摩擦等により転換負荷が増大してバネによる復帰動作が完了しない「復帰不能」が発生する場合がある。復帰動作が完了しないとトングレーと基本レールの間隙が生じ、対向列車に対して異線進入による脱線事故の危険性が生じる。これを予防するために上記調整や保全が必要であり、従来より、給油などは現場の状況に応じ経験的に実施され、現場で転換状況を確認することにより復帰時間の把握がなされているが、その頻度は限られている。

一方、信号制御が必要な場合に、転てつ機のストロークを検出して定位・反位の信号を出力する回路制御器を設ける。これにより、転てつ機の復帰不能が発生した場合に場内信号機に停止信号を現示して列車の分岐器への進入を防止することができる。但し、回路制御器を設備することで、回路制御器自身

の保全が必要となってくる。例えば、回路制御器の軸が汚れて軸が動きにくくなると、発条転てつ機の復帰力に対する負荷が大きくなるため、復帰不能の原因となり得る。

このため、発条転てつ機の動作状態を常時監視するシステムが開発されている。スイッチアジャスタのひずみ、あるいは転てつ機の変位量などを検出するため、センサ及びひずみアンプ、データロガーなどの機器を現場に設置し、通信機能によりデータの確認を常時行うことも可能なシステムが提案されている<sup>3)</sup>。しかしながら、さらなる省力化が求められる地方鉄道路線向けとして、機器を発条転てつ機に常設することなく、予防保全の支援に資する簡易な方法を検討した。

## 4. 転換時の振動検出による保全支援システム

### 4. 1. 概要

発条転てつ機に簡単に設置可能な小型のセンサとバッテリー駆動小型データ収録システム（以下、「本システム」という）を用いて、以下の機能の実現をめざす。

- ① トングレー定位復帰時の振動加速度及び復帰時間の記録機能
- ② オフラインでのデータ分析による転換動作の異常予兆検出と予防保全の支援機能

センサ部にはマグネットを一体的に取付けており、センサの転てつ機への取付け及び取外しが接着剤を用いることなく容易にできるようにしている。なお、接着剤によるセンサの取付けと比較し、マグネットによる影響のないことを確認している。

これらは市販の乾電池で長時間（約20日間）駆動でき、転換動作時等の加速度ピーク値を繰返し記録することができる。パソコンと接続して、データの転送や測定条件の設定が可能である。

振動加速度のサンプリングデータを全て記録するとデータ量が膨大となるため、記録周期を設定し、その周期内の±のピーク値のみを時刻とともに記録する方式を採用している。振動加速度の生波形に対するピーク検出及び記録されるデータのイメージを図3に示す。この方式により、記録周期1secで1日記録を続けた場合のデータ量は、数MB程度とコンパクトとなる。

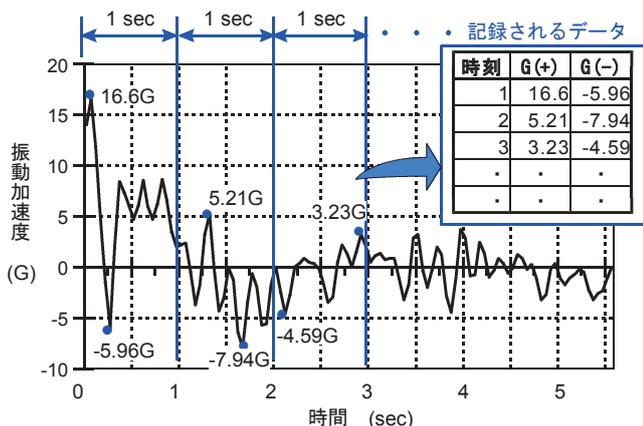


図3 本システムにおけるデータ記録イメージ

## 4. 2. 現地測定例

### 4.2.1.測定概要

単線電化の鉄道路線(A)及び非電化の鉄道路線(B)それぞれ1箇所の発条転てつ機において、本システムを用いて現地測定を行った。

センサは図4に示すように、スイッチアジャスタに取付けた。スイッチアジャスタにセンサを取付けた後、ある1日の日中時間帯において営業列車の通過に伴う通常の転換動作を複数回記録した。



図4 センサの取付け状況

### 4.2.2.測定結果

路線 A における測定結果例として、転てつ機の割出から復帰に至る1回の転換動作における振動加速度記録を図5に示す。図より、スイッチアジャスタがトングレールの割出による振動を受けてから、バネとダンパの働きで復帰するまで14sec かかり、復帰時の振動加速度は18.1G であることが確認でき

る。

路線 B における測定結果例を図6に示す。図より、同様に、割出から復帰するまで12sec かかり、復帰時の振動加速度は18.3G であることが確認できる。

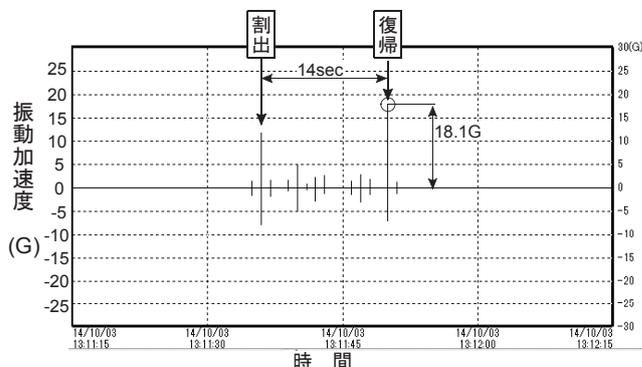


図5 現地測定例(路線 A)

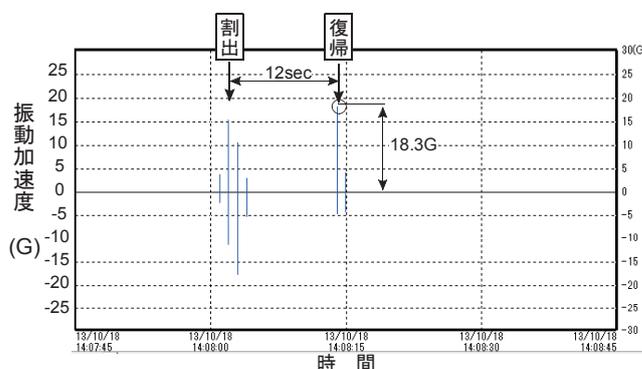


図6 現地測定例(路線 B)

このように、本システムにより転てつ機の復帰時間や振動加速度を把握できる。また、同一の転てつ機においては、反位から定位へ復帰する際の振動加速度の再現性は高く(路線 A における平均 17.5G、標準偏差 1.0G、路線 B における平均 18.7G、標準偏差 0.8G)、通常の転換動作において再現性があることを確認した。

さらに、季節変化等による長期的な再現性を確認するため、路線 A において冬期及び夏期に現地測定を行った。センサは、スイッチアジャスタの同じ場所に毎回取付けた。その結果を表1に示す。

表1 長期的なデータの再現性

測定日	振動加速度(G)	
	平均値	標準偏差
H26.10.03	17.5	1.0
H27.02.27	17.3	1.3
H27.09.17	16.5	0.3

表1より、発条転てつ機が反位から定位へ復帰する際の振動加速度について、測定時期による平均値などの違いはあまりないことを確認した。従って、何らかの原因によって転換負荷が増大するなどの異常に対して、振動加速度の値に変化が生じれば、異常検出ができる可能性があると考えられる。

#### 4. 3. 異常発生模擬試験

##### 4.3.1.目的

営業路線の現地測定によって、通常の転換動作時には、振動加速度等のデータに再現性があることを確認したが、3. 3. に述べたように転換負荷が増大するなどの発条転てつ機異常時について、振動加速度等のデータを確認するため、工場内に設置された発条転てつ機を用いて、異常発生模擬試験を実施した。

##### 4.3.2.試験条件

発条転てつ機の正常時に試験を実施したほか、転換負荷の増大の原因となり得る、ヒールボルト（図7参照）の締めすぎ、転換鎖錠器の固渋を模擬した試験を実施した。また、ダンパの不良として、ニードルバルブの調整不良、ダンパオイルの減少（レベル計下限程度）を模擬した試験を実施した。



図7 ヒールボルトの締結状況

##### 4.3.3.試験方法

当該分岐器を通過する車両は存在しないため、手動でハンドルを回転させることにより、一旦反位側に転てつ機を転換し、次にトングレールと基本レールの間に木片を挟み、その状態で手動ハンドルを定

位側に戻す。これにより、木片を挟んだままバネが圧縮される。木片をバール等でたたき出すことによって、バネとダンパの作用により一定時間後に自動的に定位側に復帰する。同一条件で転換→復帰を5回繰返した。本システムのセンサを現地測定と同様にスイッチアジャスタに取付け、測定を行った。

##### 4.3.4.試験結果

試験条件の組合せ及び試験結果を表2に示す。振動加速度は5回の平均値を示す。ニードルバルブの調整不良で復帰時間は正常時の6secから13secに増加したが、復帰時の振動加速度には大差が無かった。また、ダンパオイルの減少による影響は判然としなかった。一方、ヒールボルト締めすぎや転換鎖錠器の固渋によってトングレールの転換負荷が増加すると、復帰時の振動加速度は、正常時よりも減少することを確認した。

表2 異常発生模擬試験結果

ヒールボルト		ニードルバルブ		ダンパオイル		転換鎖錠器		振動加速度 (G)
正常	締め込み	正常	調整不良	正常	減少	正常	固渋	
○		○		○		○		9.7
○			○	○		○		10.2
○		○			○	○		9.1
○		○		○			○	8.2
	○	○		○		○		6.5
	○	○			○	○		7.2
	○	○		○			○	6.7

## 5. まとめ

本システムを用いて転換動作を繰返し記録することにより、転換動作が鈍くなるなどの兆候を記録できる可能性があり、長期的な傾向を把握できるので、給油などの保全タイミングを適切に設定することができると考えられる。すなわち、転換不良が発生する前に適切な保全を可能とするための、予防保全を支援するツールとして有効と考えられる。

今後は、本システムに自動解析・評価ソフトを加えたシステムを構築し、その効果を検証する必要がある。

最後に、現地測定や異常発生模擬試験に協力いただいた鉄道事業者及びメーカー各位に感謝します。

## 参考文献

- 1) 原; 鉄道と電気技術 Vol.12, No.7, pp78-84, 2001
- 2) 亘保, 植竹; 鉄道と電気技術 Vol.28, No.5, pp60-66, 2017
- 3) 潮見ほか; 鉄道総研報告 Vol.28, No.4, pp11-16, 2014

# 講演 3. 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

交通システム研究部 ※林田 守正 佐藤 安弘 大野 寛之 工藤 希  
元交通システム研究部 廣瀬 道雄  
東京大学 水間 毅

## 1. はじめに

交通安全環境研究所（当研究所）は鉄道技術に関する第三者機関としての安全性評価（以下、第三者安全性評価）に数多く取り組んできた。一方で、国際規格 IEC 62278 において「信頼性(R)・アベイラビリティ(A)・保全性(M)・安全性(S)」(RAMS) が定義されたことにより<sup>1)</sup>、これまでの安全性評価に RAMS の概念を取り入れる必要が生じている。そのため、当研究所では安全性(S)だけでなく信頼性等(RAM)の評価についても検討することにより、高い安全性の担保に加え、RAM を考慮した標準的な第三者安全性評価手法の構築に向けた取組を行っている。その内容について、昨年度に引き続いて報告する。

## 2. 第三者安全性評価の位置付け

### 2. 1. 鉄道技術の国際化への対応について

当研究所は、これまで公正中立な立場から、先進的な交通システムの実用化、あるいは新技術の導入やシステム改良に際して、各分野/段階における第三者安全性評価を実施してきた。わが国の鉄道技術は極めて高い安全性を有しているものの、鉄道製品の国際展開に当たっては、外国の技術基準や IEC シリーズ等の国際規格群への適合が重要となっている<sup>2)</sup>。当研究所の第三者安全性評価も、国際規格等との整合が必要とされる海外向けシステムの設計安全性を対象とする事例が増加しており、その形態の推移を図1に示す。

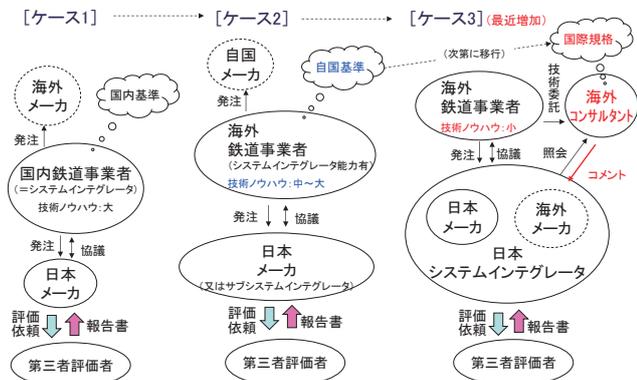


図1 第三者安全性評価の形態の推移

## 2. 2. RAMS の概念

IEC 62278 においては、安全性(S)だけでなく信頼性等(RAM)を含めた総合的な評価項目として、RAMS が表1のとおり定義されている<sup>1)</sup>。RAMS の概念に基づく技術評価の検討例は幾つか見られるが<sup>3)</sup>、本研究では、安全性(S)とRAMのバランスを考慮した第三者安全性評価の標準的な手法を検討している。

表1 RAMS の定義<sup>1)</sup>

項目	IEC62278における定義
信頼性 (R)	アイテムが、所定の条件と所定の時間間隔(t1,t2)で要求された機能を果たし得る確率。
アベイラビリティ (A)	外部から必要な資源の供給を行えば要求機能を所定の時間又は期間中、所定の条件において果たし得る状態を維持することができる製品の能力。
保全性 (M)	所定の手順と資源を使って所定の条件でメンテナンスを行う場合に、所定の条件で使用されているアイテムを所定の期間内にメンテナンスすることができる可能性。
安全性 (S)	許容出来ない危害が発生するリスクが無いこと。

### 2. 3. 第三者安全性評価と規格適合性評価/認証

鉄道製品の機能安全に関する国際規格への適合性を示す手段としては、第三者機関による規格適合性評価/認証を受けることが最も一般的である<sup>2)</sup>。当研究所においては、鉄道認証室が認証機関として、機能安全規格である IEC 62278 や IEC 62425<sup>4)</sup>等について規格適合性評価/認証を担当している。一方、交通システム研究部が担当している第三者安全性評価の報告書は、海外鉄道事業者等の相手先の判断により、認証書に代わる機能安全の証拠として活用される場合もある<sup>2)</sup>。

表2 第三者安全性評価と規格適合性評価/認証

	第三者安全性評価 (主に設計安全性)	国際規格適合性評価/認証 (機能安全関連)
評価の対象	・製品の技術内容、設計仕様等	・製品に対する安全マネジメントのプロセス
評価の主眼	・SIL等の指標に沿ったリスク分析に基づいた定量的な評価。 ・システムの安全管理にかかわる定性的な評価。	・各種証拠文書の記述の対象国際規格(IEC等)各条文に対する適合性の確認。
IEC 62278 RAMS 14段階への 対応範囲	・主に第6段階まで	・主に第7段階まで
国際展開において 第三者評価が 活用されるケース <sup>2)</sup>	・国際規格適合性評価/認証に代わるものとして要求される場合(相手先が安全性評価報告書を認証書相当と判断することが前提)。 ・規格適合性の証拠文書の一部として安全性評価報告書が要求される場合(規格適合性評価/認証を並行して実施)。	・機能安全に関する国際規格への適合の証拠を要求される場合。
評価機関としての オーソライズ	・国際的なオーソライズの仕組みは特に無い。	・認証機関に対する要求事項が国際規格(ISO/IEC 17065)で定められている。 ・認定機関による認定を取得している。

当研究所の第三者安全性評価と規格適合性評価／認証の比較を表2に示す。安全性評価では技術的な内容や仕様を対象として、SIL (Safety Integrity Level) <sup>1)</sup>等の指標に沿って、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うことが主眼となる。規格適合性評価では、安全マネジメントのプロセスの結果である各種証拠文書を確認することが主眼となる<sup>2)</sup>。設計安全性評価では、RAMSの14段階<sup>1)</sup>のうち第6段階(設計と実行)までを主な対象範囲と考えている。なおIEC 62425では、システムの安全性承認にはSafety Caseと第三者安全性評価(ISA: Independent Safety Assessment)が必須とされる<sup>3)</sup>。ここでは「ISA」は安全性評価を意味するか、または機能安全規格適合性評価／認証を意味するかは明確にされていないが、当研究所の第三者安全性評価結果(報告書)は、図2に示すようにSafety Case第4部「Technical Safety Report」に記述される安全性の証拠に該当すると解釈できる。

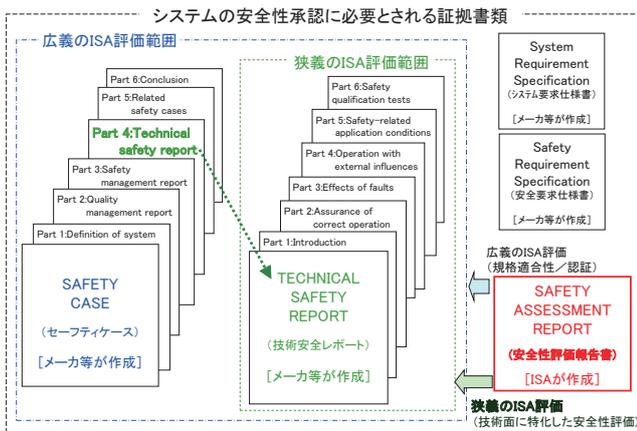


図2 IEC 62425における第三者安全性評価の解釈

### 3. RAMS への対応について

#### 3. 1. RAM の評価パラメータ

IEC 62278には、鉄道分野への利用に適するとされるRAMSのパラメータが例示されている。その一部を表3に示す<sup>1)</sup>。信頼性(R)のパラメータとしては故障率(頻度)、平均故障間隔、信頼度等、従来からわが国においても一般的に使用されているものが含まれている。アベイラビリティ(A)、保全性(M)についても同様である。なお安全性(S)のパラメータの1つとしてハザード率が挙げられているが、これは信頼性のパラメータである故障率のうち「危険側故障率」に相当し、IEC 61508では「時間当たり危険側故障平均

頻度」(PFH)として定義されている<sup>5)</sup>。危険側故障率は当研究所による第三者安全性評価においても主要なパラメータとして採用されてきた。これらの点から、RAMの評価パラメータとしては、IEC 62278等にも記載されている故障率等の一般的なパラメータを優先的に使用することが望ましいと考える。

表3 IEC 62278に示されるパラメータ(一部)<sup>1)</sup>

RAMS項目	パラメータ	記号	単位
信頼性(R)	故障率	$\lambda$	1/hr
	平均稼働時間	MUT	hr
	平均故障時間(非修理系)	MTTF	hr
	平均故障間隔(修理系)	MTBF	hr
	信頼度	$R(t)$	単位無し
	不信頼度	$F(t)$	単位無し
アベイラビリティ(A)	アベイラビリティ	$A (=MUT/(MUT+MDT))$	単位無し
保全性(M)	平均ダウン時間	MDT	hr
	平均修復時間	MTTR	hr
安全性(S)	ハザード率(危険側故障率)	$H(t)$	1/hr
	平均危険側故障間隔	MTBF(H)	hr

#### 3. 2. RAM のリスク評価

安全性のリスクについては、IEC 62278に離散化した危険事象の深刻さと発生頻度の積によるマトリクス評価手法が例示されている<sup>1)</sup>。一方、RAMのリスクについては、IEC/TR 62278-4にマトリクス評価手法が表4のように例示されている<sup>6)</sup>。故障の頻度はハザードの頻度と同様に6段階に区分され、影響度は、運行、快適性、保全のそれぞれの観点毎に3段階に区分される。それらの積であるリスクは、安全性と同様に4段階に区分される。RAMのリスク評価は、このような手法で行うことが望ましいと考える。

表4 RAMのリスク評価マトリクス<sup>6)</sup>

		影響度		
		軽度	中程度	重大
発生頻度	頻繁に発生	望ましくない	許容できない	許容できない
	発生の可能性大	許容できる	望ましくない	許容できない
	時として発生	許容できる	望ましくない	望ましくない
	いつか発生	無視できる	許容できる	望ましくない
	発生しそうな	無視できる	無視できる	許容できる
	発生は考えられない	無視できる	無視できる	無視できる

#### 3. 3. 安全性(S)とRAMのバランス

IEC 62278には、RAMSの各項目の重み付けに関しては特に記述されていない。安全性については要求水準に関する認識が国際的にも概ね共有され、評価の尺度はある程度定まっていると考えられる。例えば、列車制御システムにはSIL4相当のレベルが要求される<sup>7)</sup>。これに対し、RAMの要求水準は鉄道事業者等の自主的な判断に任される部分が多い。したがって第三者安

全性評価においては、RAMS の各項目を均等に評価するのではなく、あくまでも安全性を主眼とする。一方、RAM については、それ自体の良否よりも、安全性担保の前提とするシステム要求仕様として確認する形とすることが望ましいと考える。

#### 4. FTA による解析について

##### 4. 1. FTA による定量的解析に関する考察

当研究所の安全性評価においては、リスク分析として FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) の結果から選定した危険事象をトップ事象とする図 3 に示すような FTA (Fault Tree Analysis) を行い、そのトップ事象が発生する確率または頻度が十分に小さいことを確認してきた。個別の基本事象 (各要素の危険側故障等) の発生確率または頻度を全て特定するのは煩雑であるため、上位事象への遷移を阻む制約ゲートの条件の機能や信頼性に着目した定量的な解析を行ってきた。なお、危険側に限定しない不具合をトップ事象や基本事象とする解析は、FTA による信頼性の解析となる。

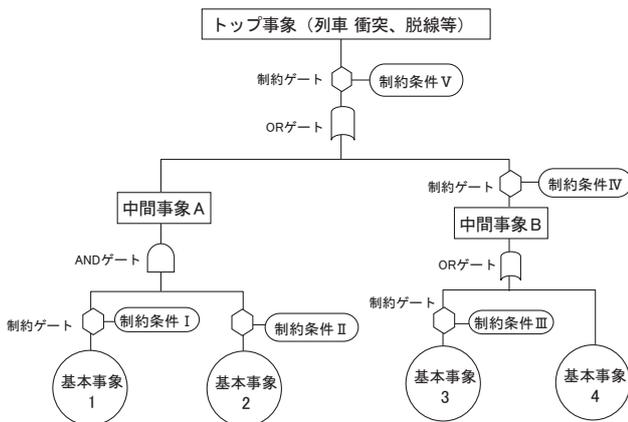


図 3 FTA の模式図

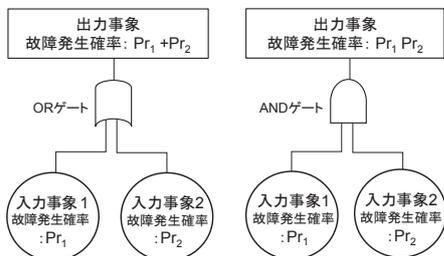


図 4 故障発生確率による解析モデル<sup>8)</sup>

FTA の定量的な解析手法としては、故障発生確率(無次元)による解析と、故障率(頻度、単位: 1/h)による解析手法がある<sup>8)</sup>。ここで FTA の一部として、2つの入力事象が OR ゲートまたは AND ゲートを介して 1

つの出力事象に至る単純なモデルを想定する。発生確率による解析においては、図 4 に示すように、OR ゲートの出力事象の発生確率は近似的に各入力事象の故障発生確率 ( $Pr_1$ 、 $Pr_2$  とする) の和 ( $=Pr_1+Pr_2$ ) となり、AND ゲート上の出力事象の発生確率は各入力事象の発生確率の積 ( $=Pr_1 \cdot Pr_2$ ) となる<sup>8)</sup>。一方、故障率による解析においては、図 5 に示すように、OR ゲートの出力事象の故障率は、各入力事象の故障率 ( $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  とする) の和 ( $=\lambda_1+\lambda_2$ ) となる。しかし AND ゲートの出力事象の故障率は各入力事象の故障率の積とはならず、また各故障率が一定でも経過時間  $t$  (単位: h) の関数 ( $=2\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot t$ ) となる<sup>8)</sup>。

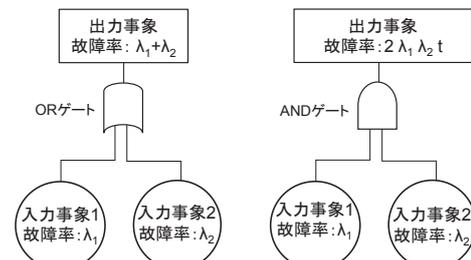


図 5 故障率による解析モデル<sup>8)</sup>

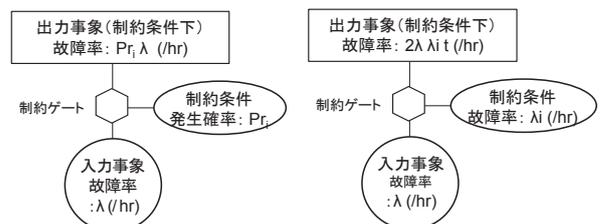


図 6 制約ゲートの条件と入出力事象の故障率<sup>8)</sup>

このように故障率による解析は計算がやや複雑になるが、IEC 61508 や IEC 62425 では、鉄道の安全関連機能の SIL について、高頻度作動モードまたは連続モードでの運用への要求として、危険側故障の平均頻度(単位: 1/h)として定義されている<sup>4) 5)</sup>。これは危険側故障率に相当するため、標準的な安全性評価手法としては故障率による FTA 解析が望ましく、経過時間  $t$  としてはシステムの稼働期間(例えば 20 年間  $= 1.75 \times 10^5$  h)等を採用できると考える。なお制約ゲートは AND ゲートの変形であるが<sup>8)</sup>、その制約条件の定義としては前述のように、「機能しない確率」と「機能自体の故障率」の 2 通りが考えられる。それらの場合の入力事象と出力事象の故障率との関係を図 6 に示す。制約条件を故障率として定義する場合は計算が一層複雑化するが、制約ゲートとしての SIL を設定す

ることによりトップ事象の要求 SIL を担保することが容易になると考える。

#### 4. 2. 信頼性解析ソフトウェアの活用

当研究所ではこれまで FMEA や FTA による解析には汎用表計算ソフトウェア等をベースとした手作業による手法（従来手法）を用いてきたが、新たに市販の信頼性解析専用ソフトウェアを活用する手法（ソフトウェア手法）を検討した。信頼性解析機能、FMEA 機能モジュールに続き、新たに FTA 機能をモジュールとして導入した。これは FMEA の結果から FTA 図を自動作成し、さらに自在な編集が可能なのである。その実行例を図 7 に示す。従来手法に対するソフトウェア手法の特長としては、階層構造の解析やトレーサビリティの確保の他、前述した故障率による FTA 解析において必要な複雑な計算が容易に行える点が挙げられる。

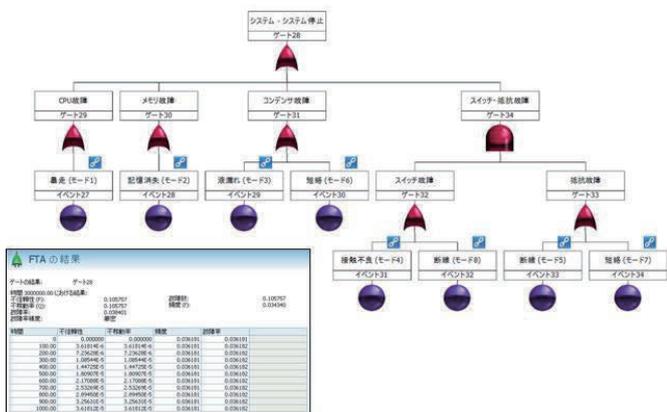


図 7 ソフトウェア手法による FTA の実行例

### 5. 標準的な第三者安全性評価手法の構築に向けて

安全性(S)を主眼とし、RAM も考慮した標準的な第三者安全性評価報告書の内容を以下の通り検討中である。その基本構成案を図 8 に示す。

#### 5. 1. 前段

緒言、評価対象範囲、評価参照資料一覧、参照国際規格、評価対象システム概要等を記述する。

#### 5. 2. 評価結果

##### 5. 2. 1 安全性の評価結果 以下を記述する。

- ・安全性に関連する技術的な要点と評価
- ・FMEA/FTA によるフォールトの影響解析
- ・実機/実車試験による FTA 結果等の検証

##### 5. 2. 2 RAM の評価結果 以下を記述する

- ・RAM に関連する技術的な要点と評価
- ・MTBF、MTTR 等による数値評価
- ・信頼性の観点からの FMEA と FTA

- ・実機試験による信頼性予測の検証
- ・安全性と信頼性の両立に関する課題の整理

### 5. 3. 評価の結論

安全性、信頼性等に関する評価結果をまとめ、システムに要求される安全性が、所定の RAM の設定条件下で担保されるかどうかの判断を記述する。

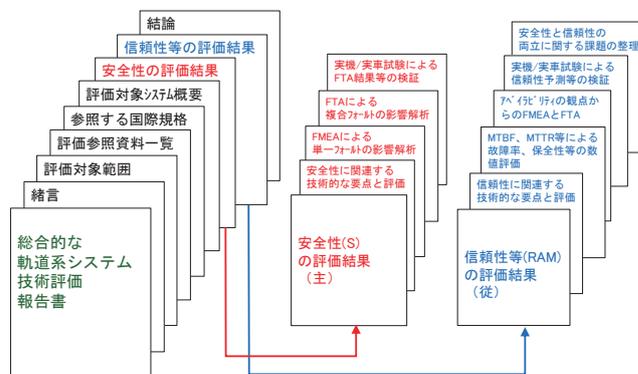


図 8 標準的な第三者安全性評価報告書の構成（案）

### 6. まとめ

- (1) 第三者安全性評価の位置付けについて国際規格や規格適合性評価/認証との関連を含めて整理した。
- (2) IEC 62278 で定義される RAMS における信頼性等(RAM)のパラメータやリスク評価に関し検討した。
- (3) FTA による定量的解析の課題を考察するとともに、信頼性解析ソフトウェアの FTA モジュールを導入し、試行した。
- (4) RAMS を考慮した標準的な第三者安全性評価手法の構築に向け、報告書の基本構成案を提示した。

### 参考文献

- 1) IEC 62278 First edition 2002-09 英和对訳版
- 2) 長谷川他, "国際規格への適合性評価と交通研の果たす役割", 交通研フォーラム 2010 講演概要 pp. 114-119
- 3) 平栗, "RAMS の考え方に基づいて信号システムを評価する", RRR Vol. 69 No. 8 pp. 43-52 (2012)
- 4) IEC 62425 Edition 1.0 2007-09
- 5) IEC 61508-1 Edition 2.0 2010-04 英和对訳版
- 6) IEC/TR 62278-4 Edition 1.0 2016-12
- 7) 平尾, "鉄道システムにおけるリスクベース安全管理", 日本信頼性学会誌「信頼性」Vol. 33 No. 8 pp. 366-369 (2011)
- 8) 小野寺, "国際化時代の実践 FTA 手法", 日科技連出版社 pp. 77-87 (2000)

# 鉄道認証室における最近の活動概要

鉄道認証室

江國 実

## 1. はじめに

交通安全環境研究所(当研究所)では、平成 23 年 4 月に、鉄道分野で我が国初の国際規格適合性認証機関となる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から認定を取得した。以来、5 年が経過したところであり、ここでは、認証機関として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. 日本における認証機関の必要性

海外市場では、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、その規格適合性の判断を契約関係者以外の客観的な第三者機関にゆだねる「認証」が求められることが主流になっている。そのため日本の鉄道関連メーカーの国際展開に際しては、製品の国際規格に対する認証の取得が必須の状況となっている。

多くの産業分野と同様に、鉄道分野においても、製品サプライヤと長期にわたり使用・保守を行う鉄道事業者両者の業務品質が相まって、我が国の鉄道製品の品質や鉄道システムの安全性/安定性(信頼性等)は、国際的に高い評価を受けている。しかしながら、鉄道製品に関する認証を行う日本の認証機関が存在しなかった当時は、日本のメーカーは主に欧州の認証機関から認証を取得することとなり、言語の壁、技術思想の違い等によって生じる時間とコストが課題となっていた。

### 2. 2. 認証機関の体制整備

このような状況の中で、交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会等における検討等を通じ、当研究所は、公平性・中立性や鉄道技術に関する安全性評価の実績等の観点から鉄道認証機関としての適格性を有するものとされ、平成 23 年 4 月に鉄道認証室を設け、ISO (国際標準化機構) 及び IEC (国際電

気標準会議) 共通のガイドである当時の ISO/IEC Guide65 (製品認証機関に対する一般要求事項) に基づく体制整備を行った。また、平成 24 年 9 月には、認定機関である独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターより、鉄道分野の認証機関として国内初の「認定」を取得した。

その後、ISO/IEC Guide65 に代わり ISO/IEC 17065 が発行されたことに対応し、平成 27 年 2 月には ISO/IEC 17065 に準拠した認証業務運営に移行した。さらに、平成 28 年 4 月に旧独立行政法人交通安全環境研究所は、旧自動車検査独立行政法人と統合後、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」が位置づけられる中で業務に取り組んでいる。現在の認証業務実施体制の概要を図 1 に示す。

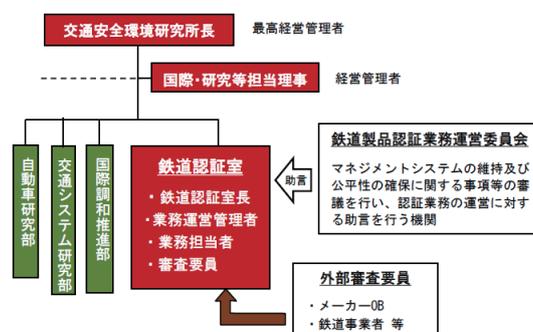


図 1 認証業務実施体制

### 2. 3. 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。当初、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いる。さらに、平成 28 年 9 月には、IEC 62279 及び

IEC62280 が認定規格として加えられた。現在の認証対象規格を表 1 に示す。

表 1 認証対象規格及び認定規格

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

### 3. 認証機関としての活動

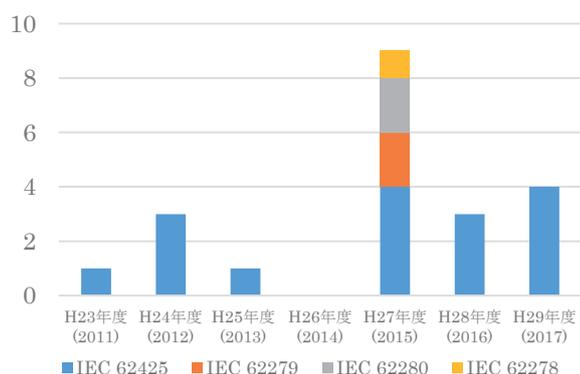
#### 3. 1. 認証の業務

これまでの認証書の発行実績は合計 21 件となっている (表 2 参照)。このうち認証が維持されているものは 19 件、認証取得者の申請により認証を終了したものは 2 件となっている。

#### 3. 2. 広報活動

また、鉄道認証情報交換会、WEB ページによる情報提供、国内外の各種展示等を通じて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。

表 2 認証書発行実績



(H29. 10. 1 現在。目標とする RAMS ライフサイクルに到達する過程で段階的に行う認証の実績等は含まない。)

### 4. 今後の取組について

#### 4. 1. 認定規格の拡充

平成 28 年 3 月に IEC 62278 を適用規格とする

認証書を発行したことに伴い、この実績に基づき認定規格の拡充に向けた諸手続を行っているところである。今後も、国際規格の動向と認証ニーズを反映し、認証対象規格及び認定範囲の更なる拡大についても検討を行うことが必要であると考えている。

#### 4. 2. 内外の動向への対応

基準等の性能規定化後、メーカーや鉄道事業者において新技術の導入に積極的に取り組まれ、鉄道サービスの安全性／信頼性の向上が図られてきている。鉄道製品やシステムへの新たな技術の導入にあたっては、社会(的)受容性に対する説明責任の要請から、管理主体が行う安全性／信頼性の判断について、今後とも合理性や客観性が確保されることが求められる。また、メーカー等の創意工夫による新技術の導入や、長期間のライフサイクルを有する製品の使用・保守を行う鉄道事業者の取組が進められる中で、鉄道製品・技術の国際展開にあたっては、引き続き、より一層多くのケースにおいて国際規格への適合性が求められるものと考えられる。

このような状況の下、国際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、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への取組とともに、その基盤となる技術評価手法の整備や第三者機関による規格適合性評価／認証の重要性が益々高まっていくものと考えられる。

このため、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証範囲の拡大に努めることとする。また、RAMS 規格をはじめとする国際規格の動向を踏まえつつ、これらへ適確に対応できるように、評価／認証業務のさらなる適正化を図って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、日本の鉄道製品・システムの認証を通じて、日本の鉄道技術の国際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. 鉄道製品の調達と RAMS

鉄道認証室

※渡邊 朝紀

## 1. はじめに

RAMS 規格 IEC 62278 (鉄道分野—信頼性、アベイラビリティ、保全性、安全性 (RAMS) の仕様と実証) は、2002 年に発行され、現在では海外における鉄道関係の調達では欠かせない規格となっている。国内の商習慣とは異なる海外でビジネスを行う企業は、国内における契約との様々な違いとともに、この規格に対応していくことが必要である。

交通安全環境研究所鉄道認証室では、鉄道製品の国際展開に対する取組として、鉄道製品認証を担当しており、IEC 62278 に対する認証に取り組んでいるところである。

本講演では、この規格の歴史的経緯、及び海外で発生している鉄道製品の調達に関わるトラブル、最近の RAMS 規格改定の動向について紹介する。

## 2. RAMS 規格の歴史的経緯

### 2. 1. 米国における経緯

米国の場合、1970 年代から信号保安装置の調達で、都市鉄道の安全性や信頼性の確保が議論されたようである。1976 年に米国議会が都市鉄道の保安装置や自動運転について調査を行っている<sup>1)</sup>。1965 年から 1974 年の間に、35 件の列車衝突と 52 件の脱線があった。列車衝突のすべてと脱線の 3 分の 2 はヒューマンエラーによるものであった。この調査分析から列車防護として、ATC(ATP(自動列車防護装置)を含む自動制御装置)が、手動方式より優れていることが確認され、ATP に起因する事故件数もサンフランシスコの BART(湾岸高速鉄道)の初期(1972 年)の一つだけであった。事故内容は、車上速度制御装置の水晶発振器の故障により、列車が駅に進入するも速度が上昇して、線路端を逸脱したものであった。一方で、BART は車上装置の故障で、1974 年 5 月～1975 年 1 月まで保有する列車のうち、ほぼ半分しか営業使用できなかった。ここに複雑な制

御装置の信頼性等がクローズアップされることとなった。

1974 年 DOT (米国運輸省)の交通システムセンターは、ATC の調査から、複雑な制御装置において full-safe design は実際には不可能であり、保安装置の安全性は、安全の確かさの確率を受け入れ可能なレベルにできるかに帰着するとしている。

また同時期に米国運輸安全委員会(NTSB)が、従来の fail-safe approach に加えて、total system safety を提唱しており、FTA(フォールトの木解析)から安全にクリティカルな部品を見出すこと、冗長性の確保などを挙げている。

これらを受けて鉄道事業者は、Reliability, Maintainability and Availability 問題に、ますます関心を持ち、それらの仕様に取り組むようになった。

1981 年に APTA(米国公共輸送協会)から「都市鉄道装置の RAM 仕様ガイドライン」が発行された<sup>2)</sup>。

なお、国内メーカの技報には「'83 年に受注したボストン MBA 向け LRV の仕様書で、安全性解析、信頼性試験、保全性チェックリストなどが求められたのが黎明期といえる。その後の海外案件ではこの RAMS 活動要求が当たり前のものとなり、」との記述がみられる<sup>3)</sup>。

### 2. 2. 製造物責任法による影響<sup>4)</sup>

欧州では、1960 年代のグリュネンター社の催眠鎮静薬によるサリドマイド事件や 1974 年のマクドネル・ダグラス社製トルコ航空機墜落事件を契機として、製造者に対する厳格責任の導入の聲が高まり、1968 年ごろから欧州委員会において製造物責任(PL)に関する草案の検討が開始され、紆余曲折を経て 1985 年に PL 指令(欠陥製造物に対する賠償責任に関する加盟国の法律、規制および行政規定の等質化についての EC 閣僚理事会指令)が成立した。この指令の主な内容は以下のとおりであり、3 年以内に国内 PL 法を制定することを加盟国に要請して

いる。

- ・被害者は損害の発生、欠陥の存在、因果関係の立証責任がある。(従来と異なり、被害者によるメーカーの責任の立証が不要となった)

- ・賠償金額の上限: 多数の加盟国で上限なし。

- ・製造業者が製造物責任を問われない場合は、(a)流通させなかったこと、(b)流通時点では欠陥がなかったこと、(c)販売目的で製造されたものでなかったこと、(d)規制当局の指示で欠陥が発生したこと、(e)当時の科学的・技術的水準では、欠陥の発見は不可能だったこと(開発危険の抗弁)、(f)部品の場合、完成品側の設計に欠陥があったこと、のいずれかを製造業者が立証できた場合である。

なお、米国では、多数の PL 訴訟があり、製造業者としては、安全度を高めて PL 訴訟を避けるために、構成管理や安全性解析、リスク管理が重要となった。

### 2. 3. 鉄道におけるセーフティケースの経緯

セーフティケースを鉄道に導入したのは英国である<sup>9)</sup>。Safety Case の語は、ある組織が危険を伴う活動(Hazardous Activity)をしようとするならば、それを安全に遂行することを立証しなければならない(must make a case that it will do so safely)ということからきている。1971年に原子力で、1984年に Control of Industrial Major Accidents Hazards Regulations (CIMAH)で導入された。監督官庁は産業安全を担う Health and Safety Executive (HSE)である。

1993年の英国の鉄道法で、英国国鉄は、軌道と信号を保有する Railtrack 社、30の列車運行会社などに分割された。

鉄道の safety regulator(安全規制庁)は、1840年以来永らく HM Railway Inspectorate (HMRi)であったが、1990年に HSE に移管された。民営化に当たって HSE から安全確保体制について提言がなされ、1994年に Railway Safety Case Regulations が導入された。

この規則により、英国では infrastructure controller と railway operator はセーフティケースを作成し、それが他者(operator の場合、infrastructure controller)に受け入れられるものでなければならなくなった。なお、セーフティケースには、(a)安全施策、(b)起こり得るリスクの評価、(c)安全管

理システムの記述が含まれる。

### 2. 4. EN 50126 の開発と国際規格化

上述のように、鉄道事業者、製造業者とも鉄道運行や製品の安全性・信頼性が確実であることの証明が必要になってきており、そのための規格のニーズが高まっていた。そして 1993 年より RAMS の欧州規格 EN 50126 の開発が始まった<sup>10)</sup>。1995 年には原案である prEN 50126 が公開され、直ちに実際に使用されたようである。前出の技報には「本 KCRC (香港地下鉄)案件では...当時まだ prEN 50126 とし規格化準備段階の欧州仕様には則ることを要求されるなど、それまでの案件とは比較にならないほど厳格な取り組みを余儀なくされた。」との記述がある<sup>11)</sup>。EN 50126 は 1999 年に発行された。

この欧州規格はそのまま国際規格案として、2001年に IEC(国際電気標準会議) TC9(鉄道電気設備専門委員会)に提案された。日本は TC9 の年次総会で、国際規格として義務化することに反対意見を述べたが、この時ばかりは、短時間で多数決により採択された。当時の会議でドイツ代表は「欧州内のさまざまな意見を抑えて、やっとなまとめあげた規格案だ、日本の言い分を少しでも聞き入れたら、忽ち蜂の巣をつついたようになり、瓦解してしまう。」と発言していた。このような訳で欧州規格 EN 50126 がほぼそのまま IEC 62278 となり、翌 2002 年には国際規格として発行された。

IEC 62278(EN 50126)には、製品やシステムのライフサイクルの各段階において、RAM 活動と Safety 活動について実施すべきことが、項目として列挙されているのみで、活動の具体的な深度や、どのような文書群を作成すべきかについては、明示されていない。そこで保安装置などの電気電子装置のセーフティケースに関し欧州規格 EN 50129、ソフトウェアの安全性に関し EN 50128、安全関連伝送に関し EN 50159-1、EN 50159-2 が作成され、それらが国際規格 IEC 62425、IEC 62279、IEC 62280-1、IEC 62280-2 として、それぞれ発行された。

### 3. 海外における鉄道製品調達のトラブル

上記の経緯のとおり、鉄道運行や製品の安全性・信頼性が確実であることを証明するための RAMS 規格が成立した後も、欧米においては、鉄道製品の調達をめぐるトラブルが絶えない。幾つかの例を述

べる。

### 3. 1. ICE TD<sup>7),8)</sup>

2001年に鳴物入りで登場したディーゼル式高速振り子列車ICE TD(20編成)は、車体傾斜装置などで重篤なトラブルが頻発し、2003年に運用中止となった。ドイツ鉄道が全車両をシーメンスに返却するとのニュースが流れたが、その後シーメンスが高速列車1編成を寄贈することで決着した。その列車は営業用ではなく、製品を試験する列車とのこと。2008年には、次項のIC4で悩むデンマークに一部が貸し出されている(13年間)。

### 3. 2. IC4

2002年にデンマーク国鉄は、4両編成の気動車IC4を83編成、アンサルドブレダに50億クローネで発注した。最高速度は200km/h。2006年1月1日営業開始予定だった。しかし2005年8月に運転試験を開始するも、安全性で不満足な結果となり、試験延期となった。保安装置と関連ソフトウェアが問題とのことであった。メーカーが2.5億クローネを補償として支払った<sup>9)</sup>。更に2007年6月に営業試用を開始するも、2008年3月に技術上の理由で中止となった。排気の悪臭で乗務員が乗務を拒否したという。8月から試用を再開し、12月から営業に供された。当初計画の併結運転ができないので、年末年始の多客期に使用できなかった。デンマーク国鉄は、2009年5月までにまともに機能する14編成を営業に使えるなければ、50億クローネの契約はキャンセルするとメーカーに最後通告した<sup>10)</sup>。デンマーク国鉄の話では、納入された5編成の機能はとても満足できるものではなく、トラブルシューティングのために技術要員を新たに配置する必要がある。紆余曲折を経て2013年に全編成納入されたが、トラブルが多く、2016年末にデンマーク国鉄は、コンサルティング報告を受けて、2024年までに順次廃車にすることを決定した<sup>11)</sup>。

### 3. 3. Fyra<sup>12)</sup>

2004年オランダ高速鉄道とベルギー国鉄は、合わせて19編成の高速列車をアンサルドブレダに発注した。当初は2007年に納入される予定だった。ベルギー側の安全当局からの認可がおりなかったが、ようやく認可されて2012年12月にブリュッセル～アムステルダム間の運行を開始するも、車体下部に付着した雪が原因で車両機器の破損が発生

するなどトラブルが相次ぎ、運行許可が取り消され、2013年1月17日から全列車の運行が停止された。ベルギー国鉄は、2013年5月31日に、「設計・製造において信頼性と安全性の観点から根本的な欠陥がある」とのコンサルタントの指摘を受けて、発注をキャンセルした。6月7日にはオランダ高速鉄道も発注をキャンセルした。<sup>13)</sup>

### 3. 4. Sバーン<sup>14)</sup>

2013年3月、ドイツ鉄道は、ベルリンのSバーン用車両(愛称名TALENT 2)に関し、ボンバルディアに対して4.68億ドルの損害賠償請求の訴訟をベルリンの裁判所に申し立てた。これは、車軸・車輪の設計変更・交換にかかった費用で、ブレーキシステムと主電動機の調整分も含まれる。話し合いがつかないので、訴訟を起こしたとのことである。このほか、他の車両に関してベルリンとミュンヘンで2.14億ドル賠償請求の訴訟も起こしている。2015年3月の報道によると両者は、複数の訴訟で和解した。和解内容は公表されていない<sup>15)</sup>。

### 3. 5. トロント路面電車<sup>16)</sup>

トロント市交通局TTCとトロント周辺地域の交通を担うメトロリンクスはボンバルディアとそれぞれ、2009年に204編成(12億カナダドル)、2010年に182編成(7.7億カナダドル)のLRV調達契約を結んだ。トロント市の場合2015年1月時点で予定した43編成に対し、3編成しか営業投入されていない。車椅子乗降のための設計不具合、部品の遅配、配線接続誤り、車体溶接の稚拙、訓練するとすぐやめってしまう溶接工などが指摘されている。ボンバルディア幹部の報酬返却、メトロリンクスによるアルストムとの別途契約、両者の応酬などが起きており、刻々と事態が進んでいる。

以上欧米では、RAMS規格が成立した後も、鉄道製品の調達で大きなトラブルが発生している。しかも何れも欧米の契約を熟知した発注側と主要メーカーの間で起きている。今後海外企業とのやりとりは増えると予想されるが、百戦練磨の彼らでさえ、互いに持て余していることに、国内の関係者は留意することが必要と思われる。

## 4. 鉄道製品調達の内外の相違

鉄道製品、例えば鉄道車両の場合、国内では一般

的に鉄道会社は鉄道車両全体を鉄道車両メーカーに発注するのではなく、主要部品を鉄道会社が自ら調達し、それを鉄道車両メーカーに支給する。鉄道会社が鉄道車両メーカーに発注するのは、車体の製作と部品のぎ装である。このような発注形態は程度の違いはあれ、国内のインフラビジネスに共通である。

欧州では、過去に鉄道車両を車体と電気品との二つに分けて発注する形態もあったが、現在では欧州のみならず海外では一般に、鉄道車両あるいは鉄道システム全体が一括して発注される。この場合、受注したメーカーはシステムのとりまとめをするシステムインテグレータである。

国内ビジネスでは、メーカーがシステムインテグレータとなることはないので、海外での受注活動には、複数企業がコンソーシアムを作るなど国内と異なる取り組みが必要となっている。

## 5. 最近の RAMS 規格改定の動向

現在 RAMS に関連する国際規格として、IEC 62278 (RAMS 一般)、IEC 62425(セーフティケース)、IEC 62279(安全関連ソフトウェア)、IEC 62280(安全関連伝送)、IEC/TR 62278-3(車両のRAM)、IEC/TR 62278-4(RAM リスクと RAM ライフサイクル)がある。

以前から RAMS 規格の体系化の動きがあるが、IEC TC9 の場では欧州側は、欧州規格として変更が完了してから、国際規格として提案するとの立場である。近々国際規格としての提案が予想される。

欧州での審議状況を見ると、EN 50126-1(IEC 62278 にほぼ対応)と EN 50126-2(安全へのシステムアプローチ)が承認され、エディトリアルな変更がなされているところである。また prEN 50129 (IEC 62425 に対応する欧州規格案)が照会段階で、2018 年に承認される予定となっている。

以上から、発行間近の欧州 3 規格に対応して、欧州から IEC 62278 と IEC 62425 の改定、及び IEC 62278-2 の新規作成が提案されるものと予想される。このほか技術報告となっている IEC/TR 62278-3 と IEC/TR 62278-4 の動向を注視する必要がある。特に IEC/TR 62278-4 は日本提案であり<sup>5)</sup>、IEC 規格とすることが望まれる。

## 6. まとめ

RAMS 規格の歴史的経緯、海外で頻繁に発生している鉄道製品の調達に関わるトラブル、最近の RAMS 規格改定の動向について述べた。

今後、RAMS 規格の改定が進むにあたり、これに適切に対応できるか否かが国際展開の鍵になるかと思われる。交通安全環境研究所鉄道認証室は、RAMS 規格への対応を含め、国際展開支援への努力を継続する所存である。鉄道業界の様々な方々並びに関係機関のご指導、ご協力をお願いする。

## 参考文献

- 1) Automatic Train Control in Rail Rapid Transit, United States Congress (1976)
- 2) Guideline for rail rapid transit equipment reliability, availability and Maintainability specification, APTA (1981)
- 3) 吉原宗明, "RAMS-客先要求と欧米の実態", 近畿車輛技報, No.9, pp.16-19(2002)
- 4) 欧州諸国の PL(製造物責任)法制度と製品安全性規制の動向, Risk Solutions Report, Vol.6, 銀泉(2014)
- 5) Andrew W Evans, "Railway safety cases and railway risk assessment in Britain", 4<sup>th</sup> International conference of competition & ownership in land passenger transport, pp.170-188 (1995)
- 6) Cenelec HP ([www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu)) >Standards Development >Technical Bodies > TC9X > Projects > EN 50126
- 7) "ICE orders confirmed", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 01 June 2001
- 8) "Learning lessons from tilting trains", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 01 Aug 2004
- 9) "Late deliveries justify compensation", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 01 Jan 2006
- 10) "DSB issues IC4 ultimatum", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 03 July 2008
- 11) "DSB sets IC4 withdrawal date to close an 'unhappy chapter'", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 16 Dec 2016
- 12) "Fyra high-speed train", [www.railway-technology.com](http://www.railway-technology.com)
- 13) "SNCB pulls out of Fyra V250 deal", [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com), 03 Jun 2013
- 14) "Bombardier sued over alleged train defects in Germany", CTV News, March 4 2013
- 15) "DB and Bombardier reach settlement on Disputes over various vehicle projects", Berlin Transportation, Press Release, March 20 2015
- 16) "Inside Bombardier's delayed streetcar deliveries, 'Not in Service'", Toronto Star, May 5 2017

## 口頭発表 12.1

# 自動車研究部における研究の概要と方向性

自動車研究部

河合 英直

## 1. はじめに

近年、自動車に対する先進技術の導入が著しく、またその開発速度も速くなってきている。自動車研究部においても自動車の安全、環境に係る先進技術に対して柔軟かつ総合的に対応するのみでなく、普及が見込まれる将来技術に対しても調査研究を行い、自動車全般に対する安全・環境に係る国の施策立案・基準策定を技術的に支援していくことを目的として種々の課題に取り組んでいる。

安全分野において、国土交通省は車両の安全対策により2020年の交通事故死者数を2010年比で約1,000人削減する数値目標を掲げており、この目標達成のためには衝突安全によって車両乗車時の死者数を削減するのみならず、さらに積極的に事故を未然に防止し、歩行者、自転車乗員、高齢者に代表される交通弱者の被害を削減することが重要となる。自動車研究部では、交通弱者の被害軽減と自動運転を見据えた先進安全技術の効果評価に着目しつつ調査・研究を進めている。

環境分野においては、大気環境保護のため、厳しい排出ガス規制と高水準の燃費基準の両立が求められている。この要求に応えるため、新しい燃焼技術や排出ガス浄化技術とともに電動化技術が導入され、それらを緻密に制御する先進技術の搭載が進んできている。このような先進技術が搭載された車両において、実際の走行状態における排出ガス低減、燃費性能向上を効果的に進めるためには、代表的走行条件において評価を行う従来の台上試験だけではなく、様々に条件が変化する実路走行時の排出ガス、燃費の評価を可能とする路上走行試験が重要になる。2015年に米国において発生したディーゼル乗用車に対する排出ガス不正事案を受け、国内においてもディーゼル乗用車に対する検査方法の見直しが検討され、2022年度より路上走行検査を導入することが提言された。自動車研究部では、以前より車載式排

出ガス測定システム PEMS (Portable Emissions Measurement System) を活用した研究を進めてきたが、この PEMS 研究により培った知見を基に、検査方法の見直しに積極的に協力するとともに、国内に導入される路上走行検査方法について技術的検討を進めている。また、将来の政策検討に役立てることを目的に、現在採用されている技術にとどまらず、将来採用が見込まれる先進技術が排出ガスや燃費に及ぼす影響等について詳細に予測する為の研究も進めている。

自動車研究部では、部内に衝突安全、予防安全、電気・電子技術・情報、視認性、点検整備、大気環境、電動系、騒音のグループを構成し、自動車全般に係る技術行政の推進に資する調査・研究及び国際基準調和活動に対する技術支援に取り組んでいる。

## 2. 研究概要

### 2. 1. 衝突安全グループ

衝突安全グループでは、交通事故の多様な実態を踏まえ、車両の衝突安全について広く検討している。交通事故の調査解析、実車衝突実験、スレッド実験等によるコンポーネント試験、シミュレーション解析等を行うとともに、頭部傷害に関する生体工学についても継続的に研究に取り組んでおり、交通弱者も念頭に衝突事故被害軽減を一層図るため子供乗員、高齢者乗員、自転車乗員等の保護に関する調査・検討を行っている。自転車乗員保護に関しては、未だ明らかにされていない点も多い交差点での事故実態について詳細な調査を行うとともに、車両対歩行者の場合と比較して、その移動速度も速く、並進時の事故や後突事故も多いという特徴を持つ対自転車事故に対する効果的な対策と先進安全技術のあり方及びそれらの評価手法に関して検討している。

### 2. 2. 予防安全グループ

交通弱者に対する効果が期待される先進技術を用いた予防安全技術の交通社会への普及を支援するため、

その試験法の検討や効果評価に関する研究を実施している。同時に、将来の自動運転車の安全な普及につながる要素技術の作動特性、安全な手動操作への遷移方法等人とシステムとの相互関係に関する研究を進めている。また、高齢者等の認知障害や発作・急病等に由来する交通事故の増加が懸念されている中で、杏林大学医学部とも協力し、高齢ドライバー等にとって有効な運転支援方策を検討し、より効果的な安全運転支援技術を明らかにする研究も行っている。

### 2. 3. 電気・電子技術・情報グループ

自動運転技術の導入を見据え、電子制御装置に係る安全性・信頼性を確実に確保するため、不具合検出方法、電磁両立性に関する評価方法等に関する研究を進めている。さらに、昨今の車両の著しい電子制御化の進展に伴い、車両に係る電子情報安全性の確保が必要となってきたが、この新しい課題に対する考え方の構築や基準の必要性、試験方法等について国際調和も念頭におきながら調査研究を進めている。

### 2. 4. 視認性、点検整備グループ

夜間における歩行者の被視認性向上を目的として前照灯の高光度化や配光可変型前照灯などの先進技術が導入されつつある。これらによりドライバーからの夜間における歩行者の被視認性は向上するが、その一方歩行者に与える影響については明らかになっていない点も多い。自動車研究部ではこれら先進自動車用灯火が歩行者や自転車乗員の行動に与える影響を調査し、新たな灯火等の有用性、評価法に関する研究を進めている。

点検整備に関しては、運転支援装置の普及に伴い、多数の電子制御システムが搭載された自動車に対応した自動車検査が求められており、OBD (On-board diagnostics) を活用した検査の可能性及び検査方法等について調査、研究を実施している。

### 2. 5. 大気環境グループ

自動車に起因した大気環境汚染を改善すべく、車載式排出ガス測定システム(PEMS)等を用いて様々な車両運転状態における実走行時の有害排気物質の計測、評価手法に関する研究を進めている。さらに、実際の使用条件をより反映した燃費評価手法等を確立することを目的に、いわゆるカタログ燃費と実燃費の乖離につながる因子の解明や車種毎の走行状態による燃費変動等を考慮した実用燃費評価方法に関する研究に取り組んでいる。次世代の大型車を見据えたプロジェクトでは、将来の自動車用動力源としてのエネルギーの多様化を視野に

入れて、低環境負荷車両の開発、評価法の確立を目指している。高度化するパワートレイン系の評価方法やリアルワールドにおける環境性能の実態把握と評価方法等に関する課題にも取り組んでいる。

### 2. 6. 電動系グループ

燃料電池自動車、電気自動車等に特有のバッテリー性能の劣化影響等について、電池安全性にも留意しながら、エネルギー消費効率等の環境性能を正しく評価するため、安全・環境性能双方に係る評価に関する研究を行っている。また、燃料電池自動車の水素燃料消費率測定に影響を及ぼす因子の抽出及び一充填走行距離試験法を策定するために必要な研究を進めている。さらに、ハイブリッド重量車等の燃費、排出ガス評価について、高精度で柔軟性を持つ新たなハイブリッド台上試験法に関する研究も進めている。

### 2. 7. 騒音グループ

交換用マフラーを用いた騒音測定を行い、使用過程車の車外騒音の実態把握及びマフラー性能等確認制度の見直しに資する研究を進めている。また、国連の車外騒音に関する会議(GRB)において、商用車等の後退時の警報音に関する新たな基準策定の動きがあり、当所では、この基準策定を技術的に支援するため、提案の根拠となる研究を行っている。

### 3. 外部連携

自動車研究に関する種々の課題について、東京工業大学、千葉大学、早稲田大学、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、NHTSA(米)、EPA/NVFEL(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、EPA/NVFELとは定例的に環境研究に関する意見交換を実施しており、また BASt とは、安全研究の幅広いテーマについて協力しており、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。

### 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しい技術の導入・普及につながり、更なる事故の削減、大気環境の一層の保全に貢献出来ると考える。今後も、自動車の安全、環境に関わる種々の課題に積極的に取り組んで行く。

# 講演 1. 歩行者認知支援システムがドライバの運転に与える影響に関する研究

自動車研究部

※後閑 雅人

田中 信壽

安本 まこと

## 1. まえがき

政府は、中央交通安全対策会議（平成 28 年 3 月）において「第 10 次交通安全基本計画」を策定し、2020 年までに国内における交通事故死者数を 2,500 人以下とし、世界一安全な道路交通を実現することを目標としている。また、近年減少傾向にあるものの平成 28 年の交通事故死者数が 3,904 人（前年比：213 人減）となっており、2,500 人以下という目標を達成するには様々な事故対策を実施することが必要である。交通事故を状態別に分類すると歩行者が歩行中に死亡する交通事故の割合が最も高く 34.9% (1,361 人) を占めており<sup>1)</sup>、第 10 次交通安全基本計画の目標を達成するためには、歩行者が歩行中に死亡する交通事故を削減することが必須な状況にあるといえる。歩行者は車両に比べ、検知対象が小さく動きが予測しにくいという特性がある。よって車載センサを用いた歩行者検知対応の被害軽減ブレーキだけでなく、携帯端末の通信を利用した歩行者の位置情報をドライバに提供する運転支援の検討が必要である。先進安全自動車推進検討会では、平成 28 年 3 月に「通信利用歩行者事故防止支援システム基本設計書（以下、基本設計書）<sup>2)</sup>」を策定し、通信を利用した運転支援システムについて備えるべき技術的要件や配慮すべき事項等について検討されている。基本設計書では、通信を利用した運転支援システムは、自立検知型や路車間通信システムによって防ぐことができない歩行者の飛び出し等による交通事故防止に効果的であるとされている。

本研究では、通信を利用した運転支援システムの一つである歩車間通信を利用した歩行者の接近情報をドライバに提示するシステム（以下、歩行者情報提示システム）に着目し、歩行者情報提示システムがドライバの運転行動に及ぼす影響を明らかにするために被験者実験を実施した。本実験では、歩道から車道へ進入しようとする模擬歩行者と、この模擬歩行者の接近を音と画像でドライバへ注意喚起することができ

る歩行者情報提示システムを準備し、歩行者情報提示システムの支援の有無による被験者の運転行動を比較検証することとした。

## 2. システムの支援レベル

通信利用型運転支援システム基本設計書<sup>3)</sup>では、支援を行った際にドライバに期待する行動別に支援レベルを定義している。表 1 に支援レベルの定義を示す。また、基本設計書では、支援レベルが「注意喚起」以上の支援を行うとドライバの受容性が得られないと想定し、支援レベルは「情報提供」を設定している。

しかしながら、今後の技術進歩等により歩行者の検知精度が向上することによって、精度の高い確実な「注意喚起」を行うことが可能になると想定される。本研究では、歩行者情報提示システムが誤情報無く確実な「注意喚起」を行うことを仮定し、被験者実験を実施した。

表 1 支援レベルの定義

支援レベル	定義	運転者に期待する行動
情報提供	運転者がシステムから提供された情報により安全運転を行うための客観情報を伝える。	通常運転時の行動で対応
注意喚起	特定のタイミング、特定の場所、運転者による特定の操作または特定の状況が生じたときに注意を喚起する。	やや急いだ行動で対応
警報	検知した情報からの事故の可能性を予測し、運転者に対して即座に適切な行動・操作を促す。	素早い行動で対応

### 3. 歩行者情報提示システム

図 1 に本研究で検証した歩行者情報提示システムの概要を示す。本システムは、車両運転席横のコンソールパネル上部に設置したモニタに任意の画像を、実験区間開始地点を起点とする任意のタイミングでドライバに提示することが可能である。また、音声についても任意の音声を同起点からの任意のタイミングでドライバに提示することが可能である。

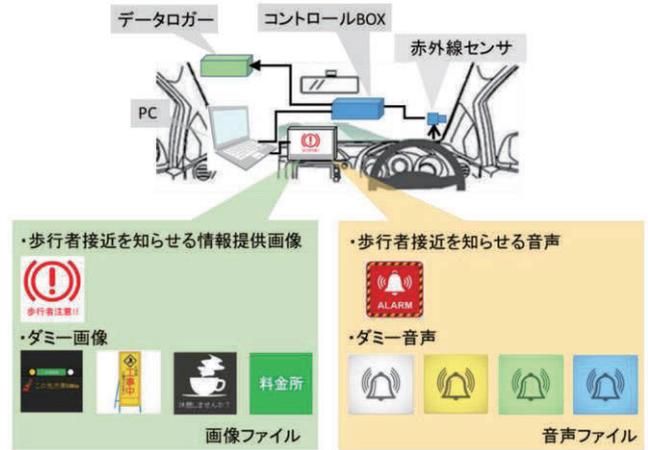


図 1 歩行者情報提示システムの概要

### 4. 歩行者情報提示システムの効果評価実験

#### 4. 1. 実験環境

図 2 に、歩行者を模擬した人形（以下、模擬歩行者）とドライバが運転する車両（以下、評価車両）との位置関係を示す。事前に予備実験を実施し、その結果から模擬歩行者の待機位置が視認しづらい場所に駐車車両を配置した。模擬歩行者は、対向車線左端に駐車している車両の後方を車線に対して直角に進入させる。但し、模擬歩行者は、走行車線内には進入しないものとした。なお、このような位置関係の実験環境が一か所であった場合、その場所で常にドライバが警戒し、普段の運転行動が現れない可能性がある。そこで、図 2 に示す位置関係で駐車車両と模擬歩行者を提示する装置（以下、模擬歩行者提示装置）を 50m 間隔に 5 箇所設置し、ドライバの実験区間に対する警戒意識の低下を図った。5 箇所のうち、3 箇所の模擬歩行者提示装置が実際に模擬歩行者を飛び出させることができる。模擬歩行者提示装置は、評価車両が模擬歩行者の 50m 前を通過後に任意の模擬歩行者（2 台目、4 台目及び 5 台目）を任意のタイミングで飛び出させることができる。本実験では、模擬歩行者が飛び出しを開始したタイミングで注意音と共に「歩行者注意」という警告画像を提示し、被験者へ歩行者の接近を注意喚起した。模擬歩行者は、歩行者の横向き姿を象った板とし、全高が 180cm となるようにした。着衣の配色は、上半身が黒、下半身を青とした。

歩行者情報提示システムが期待されている効果には、ドライバの歩行者に対する視認性の向上が挙げられる。そこで、本研究では、歩行者情報提示システムの効果を検証する環境としてドライバの歩行者に対する視認性が低下する夜間が適切であると考え、日没後 30 分以降の時間帯における効果を検証することとした。また、本実験を実施したテストコースには街路灯等の光源は設置されていない。

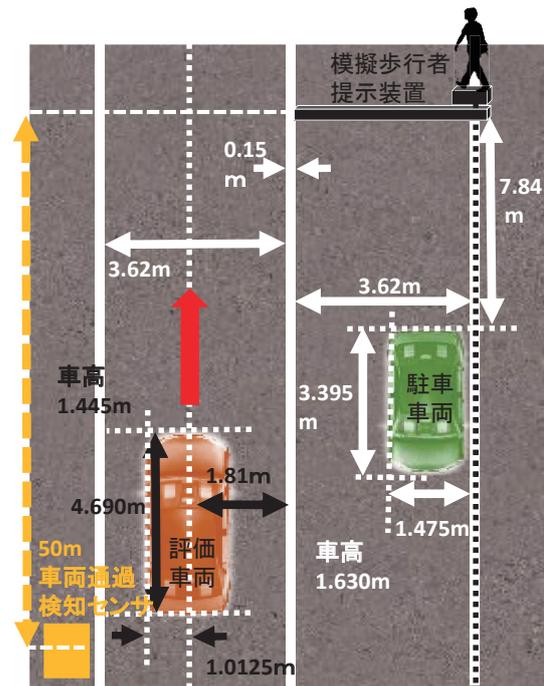


図 2 試験車両と実験装置の位置関係

#### 4. 2. 被験者

実験に参加した被験者は 11 名（男性 1 名、女性 10 名）で、平均年齢 44.9 歳（標準偏差 7.88）、最高年齢 60 歳、最低年齢 35 歳であった。被験者の免許保有年数は全員 10 年以上であり、主として買い物などで週に数回運転している。また、本実験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、当研究所所長の承認のもとに実施した。実験にあたっては、事前に実験内容を説明した後、インフォームド・コンセントを得た。

次に、日没前の明るい状況で、被験者に歩行者情報提示システムを搭載した評価車両を 30 分程度運転させコースを周回させた後、歩行者情報提示システムと模擬歩行者提示装置を体感させた。

### 4. 3. 模擬歩行者視認実験

本研究では、まず歩行者情報提示システムが模擬歩行者視認時間に与える影響を評価するための実験（以下、模擬歩行者視認実験）を実施した。模擬歩行者視認時間とは、模擬歩行者の作動からドライバが模擬歩行者を認知し、スイッチを操作するまでの時間と定義した（図3）。

被験者には、評価車両に搭載された Adaptive Cruise Control の定速走行機能を使用し、図2で示す走行車線を矢印の方向に 30km/h の一定速度で走行させた。その際、模擬歩行者の接近に気づいた時点でハンドルに備え付けたスイッチを押すこと、実験区間ではブレーキ操作を行わないことを指示した。

模擬歩行者は、図2に示した位置から移動を開始し、評価車両が走行する車線の中心で評価車両と衝突するタイミングで移動を開始させた。模擬歩行者の移動速度は 4km/h とした。本実験は、歩行者情報提示システムの支援有無の条件で被験者一人につき各 3 回ずつ行った。

なお、本実験では、実験の繰り返しによって被験者が注意音に対して反射的にブレーキ操作を行うことを避けるために模擬歩行者を飛び出させない実験区間で注意音と共にダミー画像（「この先工事中」、「休憩をとみましょう」等）を提示する試行を適時行い、被験者には常に注意喚起の意味を理解させるように心掛けた。計測項目は模擬歩行者視認時間である。

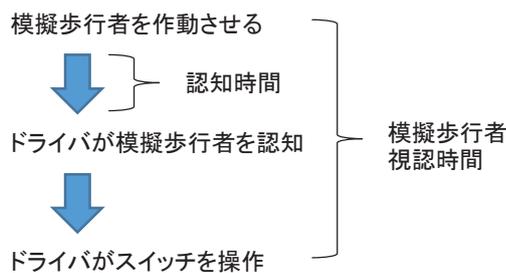


図3 模擬歩行者視認時間の定義

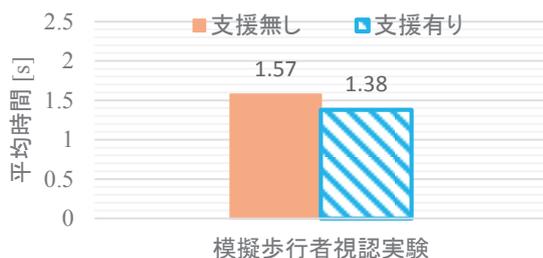


図4 模擬歩行者視認時間

### 4. 4. 模擬歩行者視認実験の結果

模擬歩行者視認実験の結果、図4に示す通り、歩行者情報提示システムの支援無しの場合、模擬歩行者視認時間の平均値が 1.57sec となった。一方、歩行者情報提示システムの支援有りの場合、模擬歩行者視認時間の平均値が 1.38sec となった。なお、平均値は 11 名×3 回分のデータから算出した。この結果から、歩行者情報提示システムによって模擬歩行者視認時間が平均 0.20sec 短縮されることが確認された。

### 4. 5. 模擬歩行者ブレーキ実験

次に、歩行者情報提示システムが模擬歩行者ブレーキ反応時間に与える影響を評価するための実験（以下、模擬歩行者ブレーキ実験）を実施した。模擬歩行者ブレーキ反応時間とは、模擬歩行者の作動からドライバが模擬歩行者を認知し、アクセルペダルからブレーキペダルに踏みかえブレーキを操作するまでの時間と定義した（図5）。

被験者には、評価車両に搭載された Adaptive Cruise Control の定速走行機能を使用し、図2で示す走行車線を矢印の方向に 30km/h の一定速度で走行させた。その際、被験者には、模擬歩行者の接近に合わせて、模擬歩行者との衝突を回避するようにブレーキを踏むように指示した。

模擬歩行者は、図2に示した位置から移動を開始し、評価車両が走行する車線の中心で評価車両と衝突するタイミングで移動を開始させた。模擬歩行者の移動速度は 6km/h とした。本実験は、歩行者情報提示システムの支援有無の条件で被験者一人につき各 3 回ずつ行った。計測項目は模擬歩行者ブレーキ反応時間である。

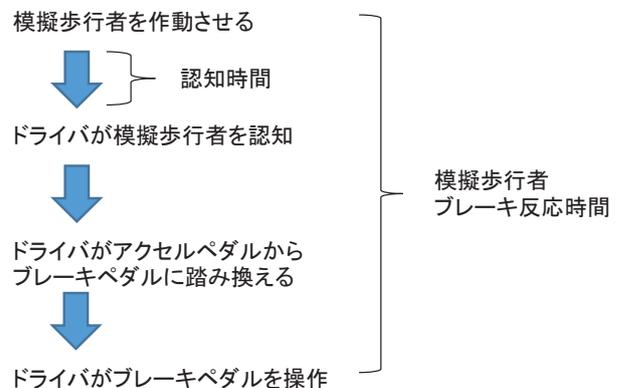


図5 模擬歩行者ブレーキ反応時間の定義

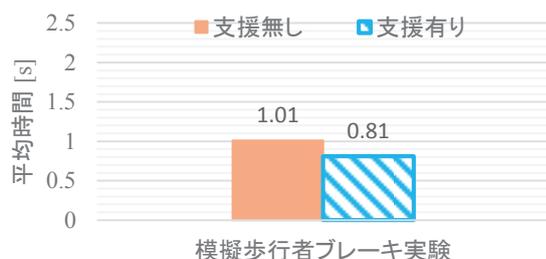


図6 模擬歩行者ブレーキ反応時間

なお、本実験では、実験の繰り返しによって被験者が注意音に対して反射的にブレーキ操作を行うことを避けるために模擬歩行者を飛び出させない実験区間で注意音と共にダミー画像（「この先工事中」、「休憩をとみましょう」等）を提示する試行を適時行い、被験者には常に注意喚起の意味を理解させるように心掛けた。

#### 4. 6. 模擬歩行者ブレーキ実験の結果

模擬歩行者視認実験の結果、図6に示す通り、歩行者情報提示システムの支援無しの場合、模擬歩行者視認時間の平均値が1.01secとなった。一方、歩行者情報提示システムの支援有りの場合、模擬歩行者視認時間の平均値が0.81secとなった。なお、平均値は11名×3回分のデータから算出した。この結果から、歩行者情報提示システムによって模擬歩行者ブレーキ反応時間が平均0.20sec短縮されることが確認された。

#### 5. 考察

模擬歩行者視認実験において計測されたドライバーの模擬歩行者視認時間には、スイッチ操作に要した時間が含まれている。よって、歩行者情報提示システムによって短縮された計測時間（0.20 sec）にはドライバーが認知に要する時間（以下、認知時間）の短縮に加え、スイッチ操作に要する時間の短縮が含まれている可能性がある。但し、模擬歩行者視認実験では模擬歩行者を4km/hに設定し、模擬歩行者が移動を開始してから評価車両と衝突するまでの時間を約5.0secに設定したこと、加えて、ブレーキ操作を行わない条件としたことから、ドライバーが模擬歩行者を認知しスイッチ操作を行うことのみ集中する実験となっている。歩行者情報提示システム支援の有無によってスイッチ操作に要する時間の変化はほとんど無いと考え

られ、模擬歩行者視認実験で計測された歩行者情報提示システムの支援によって短縮された計測時間は、認知時間の短縮によるものと考えられる。

一方、模擬歩行者ブレーキ実験では、模擬歩行者の歩行速度を6km/hに設定し、ドライバーは模擬歩行者を視認後、直ちにブレーキを踏まなければ衝突を回避できない状況となっている。模擬歩行者ブレーキ実験では、被験者の認知時間とアクセルペダルからブレーキペダルに踏みかえ、ブレーキ操作を行うまでの時間を計測していることから、歩行者情報支援システムの支援によって短縮された模擬歩行者ブレーキ反応時間の短縮時間（0.20 sec）には、被験者の認知時間の短縮時間とペダルの踏みかえに要する時間の変化が含まれていることとなる。この模擬歩行者ブレーキ反応時間の短縮時間（0.20 sec）が認知時間の短縮時間（0.20 sec）と同程度であるという事は、歩行者情報提示システムはペダルの踏みかえに要する時間にほとんど影響を与えていないと考えられる。

#### 6. まとめ

本研究は、歩行者情報提示システムがドライバーの運転行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本実験では、基本設計書において定義されている支援レベル「注意喚起」を想定し、歩行者情報提示システムの支援の有無によってドライバーの運転行動に及ぼす影響について被験者実験を実施した。この実験の結果から、ドライバーの認知時間を約0.2 sec短縮できることがわかった。よって本実験のように歩行者の接近情報を音と画像で正確に注意喚起することができれば、安全運転支援への効果があることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 警察庁交通局，“平成28年における交通死亡事故について”，pp.1-42（2017）
- 2) 国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会，“通信利用歩行者事故防止支援システム基本設計書”先進安全自動車（ASV）推進計画 報告書，資料編，pp.221-283（2016）
- 3) 国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会，“通信利用型運転支援システム基本設計書”先進安全自動車（ASV）推進計画 報告書，資料編，pp.139-207（2016）

## 講演 2. 自転車乗員の交通事故発生要因と先進安全技術について

自動車研究部  
首都大学東京  
芝浦工業大学

※松井 靖浩  
及川 昌子  
廣瀬 敏也

### 1. はじめに

2016年の我が国の交通事故死者数は3,904人であり、自転車乗員の死者数は13% (509人) を占める<sup>(1)</sup>。自転車は、通学や通勤、買物、子供の送迎、サイクリング等のレジャー手段など、身近で便利な交通手段として、子供から高齢者まで幅広い年齢層に利用されている。

現在、自転車乗員保護のための道路運送車両（以下、車両）に関する技術基準は存在せず、自転車乗員が関与する交通事故の発生メカニズムも充分解明されていない。近年では、自動車に搭載されたセンサが前方の歩行者や自転車乗員を検知し、警報やブレーキ制御をかける歩行者・自転車検知型被害軽減装置の普及が死傷者数低減に有効であると考えられている。

2014年に発生した自転車に関与する交通事故について都道府県別の傾向に着目すると、第1当事者、第2当事者ともに都市部が上位を占めており、第1当事者と第2当事者を足し合わせると自転車の関与する交通事故は東京が最も多い<sup>(2)</sup>。事故類型に着目すると、自転車に関わる交通事故は、出会い頭事故が最も多いことが報告されている<sup>(3)</sup>。

本稿では、都市部における自転車の走行状況及び車両と自転車の危険な接近状況を明確にすることで、交通事故発生メカニズムを解明し、自転車乗員検知型被害軽減装置に求められる要件を提案することを目的とした。ここでは都市部における自転車の走行状況及び車両のニアミス事象を調査したので以下に報告する。

### 2. 都市部における自転車の走行状況

実際の交通環境における自転車乗員の行動に関する特徴を解明するため、東京都 A 市の信号機のない交差点における自転車乗員の走行特性を調査した。対象とした交差点は、東京都 A 市において自転車乗員の関係する交通事故が多発した交差点の中から選定した。調査対象の交差点の概略を図 1(a)に示す。この交差点は、南北

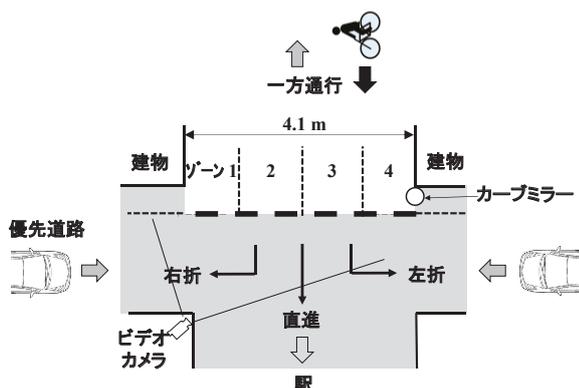
の一方通行（車両は北から南方向への一方方向）と東西の優先道路（車両は双方向）が交差する。

北方向道路及び南方向道路を図 1(b) (c)にそれぞれ示す。図 1(b)に示すように北方向道路角には、車両進入禁止の標識が設置されている。また、車両が北から南方向へ走行することから、路上には停止線を使用し一時停止「止まれ」の表示が塗布されている。なお、南方向道路角には北方向から交差点に進入する車両のドライバー用として、カーブミラーが設置されている。

この交差点から北側へ徒歩約 10 分の距離に鉄道の駅があることから、朝の通勤時間帯には多くの自転車が南から北方向へ移動する。そこで、本調査では、交差点角の道路標識ポールにビデオカメラを設置し、南から北方向へ移動する自転車の走行状況を録画撮影した。調査対象時間は、平日の朝 7 時 10 分から 8 時 10 分までの 60 分間とした。なお、ビデオカメラによる撮影については事前に警察署の許可を取得している。

交差点手前の道路幅は 4.1 m であり、道路の両側に緑色に路面ペイントされた路側帯がある。ここでは、路面を図 1(c)に示すように 4 つのゾーンに分け、自転車乗員の走行位置を調査した。交差点の白破線を通過する時を交差点進入時とし、その進入時の自転車の走行速度も調査した。なお、交差点角のカーブミラー背後には、図 1(d)に示す建物があるため、調査対象とした南から北方向へ走行する自転車乗員には、西側より交差点に進入する走行車両、自転車、歩行者が死角に相当する。

調査対象とした 60 分間に交差点を通過し、画像における分析が可能な自転車の台数は、合計 250 台であった。調査対象すべての自転車の平均走行速度は 3.09 m/s であった。



(a) 概略図



(b) 北方向道路



(c) 南方向道路



(d) 建物

図1 調査対象とした交差点の状況

交差点通過後の進行方向については、表1に示すように直進187人(75%)が最も多く、次いで左折57人(23%)、右折6人(2%)であった。自転車の平均走行速度を進行方向毎に比較すると、左折が最も速く(平均3.14 m/s)、次いで直進(平均3.11 m/s)、右折(平均2.18 m/s)の順であった。

表1 交差点を通過後の進行方向別自転車の平均速度

方向	自転車(人)	構成率(%)	自転車平均速度(m/s)
直進	187	75	3.11
左折	57	23	3.14
右折	6	2	2.18
合計	250	100	3.09

交差点における進行方向毎の自転車の平均走行速度について、安全確認の有・無別に図2に示す。250人中、交差点進入時に左右確認をしない自転車乗員は119人(48%)であった。自転車が直進する場合、安全確認をしない乗員の自転車走行速度(平均3.31 m/s)は、安全確認をした乗員の自転車走行速度(平均2.98 m/s)と比べ有意に速かった( $p < 0.05$ )。自転車が左折する場合、直進と同様、安全確認をしない乗員の自転車走行速度(平均3.16 m/s)は、安全確認をした乗員の自転車走行速度(平均3.06 m/s)と比べ僅かに速いが、有意差はなかった。

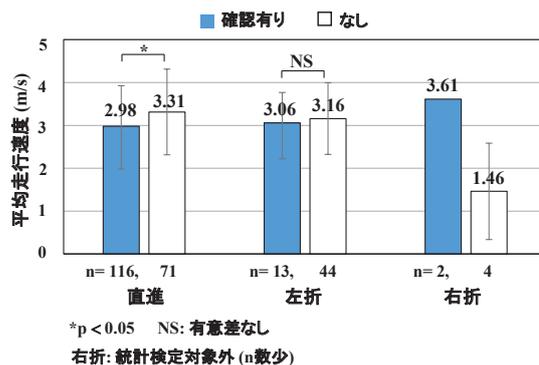


図2 安全確認有・無別の自転車平均走行速度

自転車の走行位置を図1(c)に示したようにゾーン1(自転車進行方向に向かい、道路の右路側帯)、ゾーン2(道路中央より右側)、ゾーン3(道路中央より左側)、ゾーン4(道路の左路側帯)の4つのゾーンに区分した。図3に示すように自転車の進行方向をゾーン別に分析したところ、最も人数の多いゾーン4の場合、左折(56

人)と直進(53人)の差は3人であった。これに対し、ゾーン3を通行する自転車のほとんどは直進(104人)しており、左折した自転車乗員は1人のみであった。ゾーン2では全員が直進(23人)しており、ゾーン1では7人が直進、5人が右折であった。この結果から、左折する自転車の多くはゾーン4を走行し、直進する自転車はゾーン3が最も多いことがわかった。

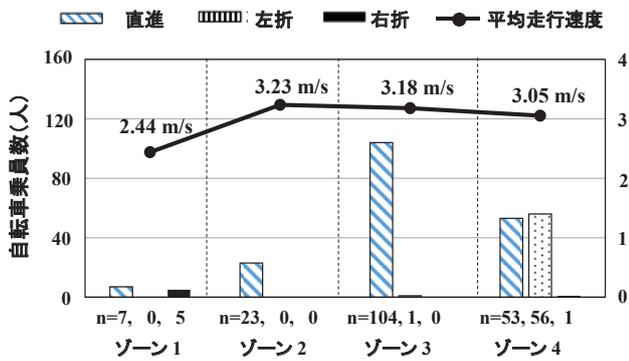


図3 ゾーン別、進行方向別の自転車乗員数

この交差点の南西角には図1(d)に示す建物があるため、交差道路を行き交う車両、自転車、歩行者が自転車乗員には死角となり、交差点進入直前まで認識が困難な環境であった。特にゾーン4を走行する自転車乗員は、交差点直前まで交差する車両等を認識することはできない。このような見通しの悪い条件も交通事故を誘発する一要因となることが推察される。

### 3. ニアミス事象における車両対自転車の接近状況

#### 3. 1. ニアミスデータの有効性

ニアミスデータの有効性を明確にするため、車両と自転車との接近状況について、ニアミスと事故を比較する。公益財団法人交通事故総合分析センターでは、1999年から2003年に日本で発生した四輪車対自転車乗員の死亡事故における車両と自転車の接近状況について調査している<sup>(4)</sup>。その調査結果では、車両が直進中に自転車乗員が死亡した事例が各年齢帯において青壮年では83%、高齢者では90%と大部分を占めることが報告されている。そこで、ここでは車両が直進する事例に着目し、単路において車両の移動方向に対し自転車が横断する場合を「分類A」、交差点において車両の移動方向に対し自転車が横断する場合を「分類B」、車両の移動方向に対し自転車が平行に移動する場合を「分類C」とした(図4)。

公益社団法人自動車技術会は、東京都内105台、静岡市内20台のタクシーに装着されたドライブレコーダのデータを2005年より収集している。ここでは、公益社団法人自動車技術会が保有するヒヤリハットデータベースを使用し、ニアミスデータの有効性を調査する。

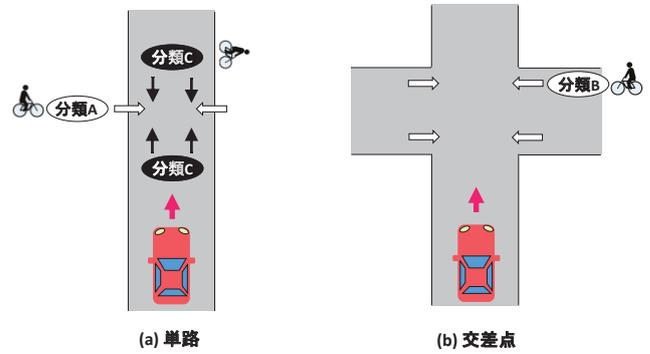


図4 車両と自転車の接近パターン

車両と自転車との接近状況について、自転車乗員が死亡した交通事故2818件<sup>(4)</sup>と、ニアミス事象229件を比較した結果を表2に示す。交差点の直前を車両が移動し自転車が横断する分類Bがニアミス事象(62.9%)、死亡事故(64.1%)ともに最も多く、両構成率に有意な差はなかった。このように、ニアミス事象・死亡事故ともに、車両が直進し、車の前方を自転車が横断する事象が多く、接近形態も違いがないことが判明した。この結果から、ニアミスデータは事故状況を把握する上で活用可能であると考えられる。そこで、車両が直進中、自転車がその車両前方を横断するニアミスデータ166件を使用し、両者接近時の分析を行った知見を次節で述べる。

表2 接近分類毎のニアミス事象と死亡事故の構成率

接近パターン	ニアミス事象		死亡事故		p値
	自転車(人)	構成率(%)	自転車(人)	構成率(%)	
A	22	9.6	386	13.7	0.072
B	144	62.9	1806	64.1	0.704
C	63	27.5	626	22.2	0.054
合計	229	100	2818	100	-

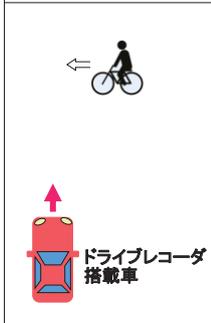
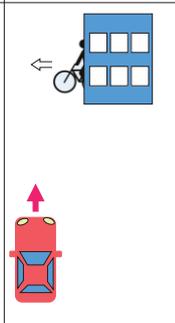
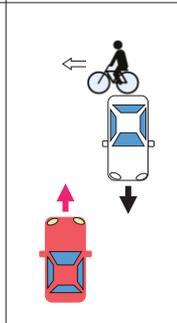
#### 3. 2. 衝突予測時間(TTC)の推定

公益社団法人自動車技術会が所有するヒヤリハットデータベースを使用し、ドライブレコーダ画像に自転車が現れた瞬間の自転車前輪から車両前端までの距離(自転車と車両との距離)情報を画像から抽出した。車両走行速度は、ドライバーが急ブレーキを踏む直前の速度情

報を抽出した。なお、衝突予測時間（TTC）は、ドライバーが自転車に気づかずブレーキをかけない最悪の状態を想定し、車両と自転車との距離（L）を車両走行速度（V）で除して求めた。

解析対象は、車両が直進中に自転車はその車両前方を横断した 166 件の中で、自転車前輪の距離情報が確認できる 161 件の事例とした。ここでは、危険な接近状況を解明するため、自転車の飛び出しを表 3 に示す 2 つに区分する：(a) 障害物なし、(b) 物陰（建物の陰、車両の陰）からの飛び出し。

表 3 2 つに区分した自転車の飛び出しパターン

(a) 障害物なし	(b) 物陰からの飛び出し	
	建物の陰から	車の陰から
		

ニアミスデータをそれら 2 つに区分したときの TTC、車両と自転車との距離、車両走行速度の各平均値と統計検定結果を表 4 に示す。自転車が物陰から飛び出す時の TTC（平均 1.95 秒）は、障害物なしで飛び出す時の TTC（平均 3.26 秒）と比べて有意に短かった。

この結果から、車両運転者の視界確保も交通安全対策としては必要と考える。現在、自動車に装着されたセンサーが歩行者や自転車乗員を検知し、警報やブレーキ制御をかける安全装置が交通事故防止に有効と考えられ、一部実用化されている。このような予防安全装置を開発、さらにこうした装置の保護性能を厳密に評価する際、障害物の有・無という条件が検知結果に大きく影響を及ぼすものとする。

表 4 飛び出しパターン毎の TTC

解析項目	TTC	
	(a) 障害物なし	(b) 物陰からの飛び出し
飛び出しパターン		
平均	3.26 秒	1.95 秒
標準偏差	2.11 秒	1.52 秒
自転車 (人)	25	136
p値	0.006**	

\*\* p < 0.01

#### 4. おわりに

自転車の関与する交通事故は都市部で多く発生しており、ここでは東京都における自転車の走行状況及び車両のニアミス事象を調査した。その結果、自転車乗員、車両運転者ともに建物などにより見通しが悪く、相手を認識できない交差点の場合、出会い頭での交通事故に至る可能性が極めて高くなることが推察された。現在、自動車に装着されたセンサーが歩行者や自転車乗員を検知し、警報やブレーキ制御をかける安全装置が交通事故防止に有効と考えられ、一部実用化されている。欧州における自動車アセスメントでは、自転車乗員検知型被害軽減装置の普及を目指し、保護性評価手法を検討している。このような予防安全装置を開発、またはこうした装置の保護性能を詳細に評価する際、障害物の有・無という条件が検知結果に大きく影響を及ぼすものとする。本結果がそれら装置の開発や保護性能評価手法に反映されることが期待される。

#### 参考文献

- (1) 公益財団法人交通事故総合分析センター：交通統計 平成 28 年版 (2017)
- (2) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：交通事故統計年報 平成 26 年版 (2015)
- (3) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：ITARDA インフォメーション、pp. 88、4-12。(2011)
- (4) 公益財団法人交通事故総合分析センター：ITARDA インフォメーション、53、pp. 4-6 (2004)

# 講演 3. 高齢者等の交通弱者に配慮した自動車前照灯に関する評価解析

自動車研究部 ※青木 義郎 後閑 雅人 田中 信壽 安本 まこと  
 小糸製作所 山村 聡志 中澤 美紗子

## 1. はじめに

高齢社会により 65 歳以上の高齢者の免許保有者数も年々増加し続けており、2016 年には 1768 万人に達している。これにより、高齢ドライバによる 2016 年の事故は 20 年前と比べると 2.2 倍以上 (図 1<sup>1)</sup>) となっており、高止まり傾向にある。また高齢ドライバによる事故は、夜間時において対歩行者への事故の割合が高いのが特徴である<sup>2)</sup>。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をより見えやすくするような配光可変型前照灯の開発導入が行われてきている。また、保安基準における走行ビームの最高光度は近年 1 灯当たり 112,500cd から合計で 430,000cd と引き上げられた。

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。また歩行者のグレアについては UNECE(国際連合欧州経済委員会)の GRE (灯火器分科会)でも十分議論されてないのが現状である。

この研究では、夜間時の対歩行者事故の低減を目指し、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光について評価解析を行うものとし、前照灯の照射範囲や加齢により歩行者被視認性及び認知特性がどのように変化するのか評価実験を実施した。

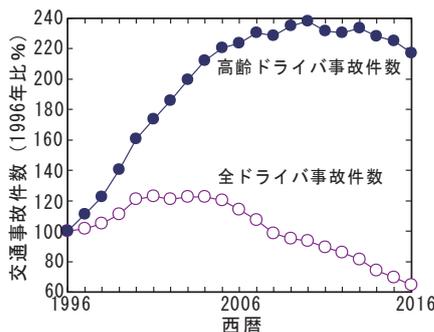


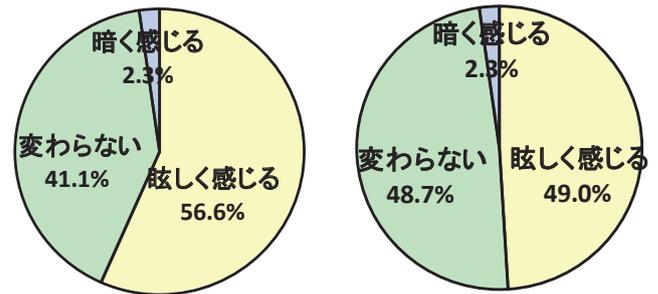
図 1 交通事故の推移.(1996 年比)

## 2. 前照灯に関する歩行者へのアンケート調査

年齢層 (高齢層 : 65 歳以上。非高齢層 : 20~64 歳) 別に、歩行者から見た前照灯の明るさ等に関するアンケート調査を実施した。その結果を図 2、図 3 に示す。

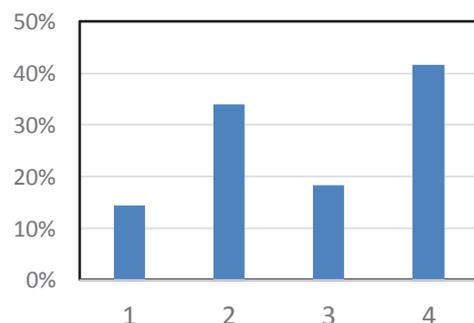
高齢歩行者、非高齢歩行者いずれも最近の前照灯は眩しく感じる人の割合が高く、高齢歩行者はその割合がより高くなるのが図 2 に示されている。

また、前照灯の明るさが歩行者安全性に及ぼす影響については、眩しすぎて危険を感じたことのある歩行者の割合が 3 割強存在することが示された (図 3-1、3-2)。



(a) 高齢歩行者 (n=312) (b) 非高齢歩行者 (n=312)

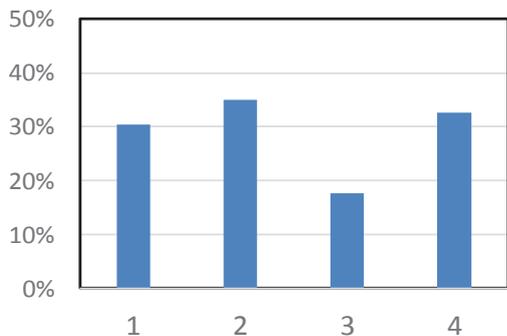
図 2 前照灯の明るさに関する歩行者アンケート結果 (Q.最近の自動車前照灯、以前と比べてどのように感じるか?)



- 1: 暗い夜道で前照灯の明るさが十分でなく危険を感じたことがある
- 2: 眩しすぎて、横断中などに危険を感じたことがある
- 3: 眩しく感じても危険を感じたことはない
- 4: 特に危険を感じたことはない

(a) 高齢歩行者 (n=312)

図 3-1 前照灯による歩行者安全性のアンケート結果 (Q.夜間接近してくる車両の前照灯について (複数回答可) )



- 1: 暗い夜道で前照灯の明るさが十分でなく危険を感じたことがある
- 2: 眩しすぎて、横断中などに危険を感じたことがある
- 3: 眩しく感じても危険を感じたことはない
- 4: 特に危険を感じたことはない

(b) 非高齢歩行者 (n=312)

図 3-2 前照灯による歩行者安全性のアンケート結果 (Q.夜間接近してくる車両の前照灯について (複数回答可))

### 3. 歩行者被視認性の評価解析

アンケート調査結果 (図 2、図 3-1、3-2) より、最近の前照灯は眩しく感じやすく、また安全性への影響も懸念されることから、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光を使用した場合、高齢ドライバーから見た歩行者の被視認性がどのように変化するかを評価解析することとした。また、歩行者死亡事故 (図 4 参照<sup>3)</sup>) のうち 72% は道路横断中に発生していることから、本研究では、横断歩行中の歩行者の見え方について評価することとした。

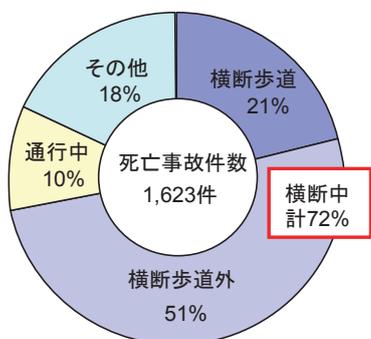


図 4 歩行者死亡事故の行動類型別割合 (終日)

#### 3. 1. 歩行者被視認性実験方法

本研究では、夜間横断歩行者の見え方が前照灯などによりどのように変化するかを明らかにするために、暗室 (当研究所低視程実験棟暗室 (図 5 参照)) 内において実験参加者 (高齢者) による評価実験を行った。

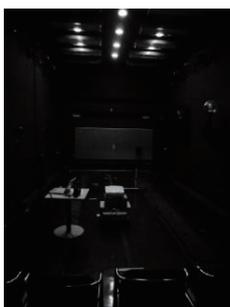
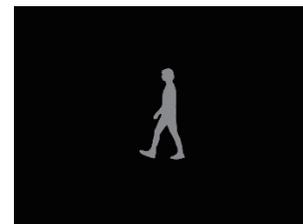


図 5 暗室

#### 3. 1. 1. 視認対象物

歩行者は、スクリーン上へのプロジェクタライトによる投影画像 (図 6 参照。 (最大投影面積 0.7m×1m)) により模擬する。歩行者の身長は成人男女平均である 160cm とした。横断歩行姿勢の歩行者の画像からその形状を抽出し、評価実験に使用することとした。



#### 3. 1. 2. 前照灯照射範囲 図 6 模擬歩行者

前照灯による見え方の変化を評価するため、3 種類 (図 7 参照: 全身照射、首下照射、足元照射) の画像を使用して実験を行った。全身照射は走行ビームを想定、足元照射はすれ違いビームを想定した。

さらに歩行者にグレアを与えずなおかつドライバに歩行者を視認しやすい将来の新型灯火を想定した”首下照射”の画像についても評価を実施することとした。

それぞれの歩行者画像について視認できるかどうか評価を行うものとした。

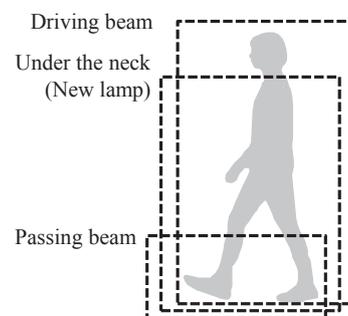


図 7 前照灯の照射範囲

#### 3. 1. 3. 観測条件

歩行者とドライバー間の距離は 30~150m と設定した。実験参加者は歩行者画像が投影されたスクリーンから 6m 離れた状態で観測評価 (図 8 参照)



図 8 観測状況

を行うものとし、縮尺率からこの時スクリーン上に映る人体の見かけ上の全長を算出し、表示を行った。

路面の水平面照度は CIE で規定されている 3lx (交通量の少ない住宅地区) ~20lx (交通量の多い商業地区) に基づき、路面の反射率は 15% で完全拡散であるものとして、背景輝度 (路面輝度) は

$$0.14 \sim 0.96 \text{cd/m}^2$$

と設定した。

歩行者輝度は前照灯の照射範囲内において均一とした。歩行者輝度と背景輝度のコントラスト C は以下の式(1)より算出する。何か存在するのがわかる (物体知覚)、歩行者であることが分かる (歩行者認知)

ぎりぎりのコントラスト値（コントラスト閾値）を、それぞれの条件で求めるものとした。

$$C = (L_p - L) / L_p \dots\dots\dots(1)$$

$L_p$  : 歩行者輝度 [cd/m<sup>2</sup>]     $L$  : 背景輝度 [cd/m<sup>2</sup>]

### 3. 1. 4. 実験参加者

実験参加者は、65歳以上の運転免許保有者16名である。なお、また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規程」に基づき実験を開始する前に内容の説明を充分に行い、インフォームドコンセントを得た。

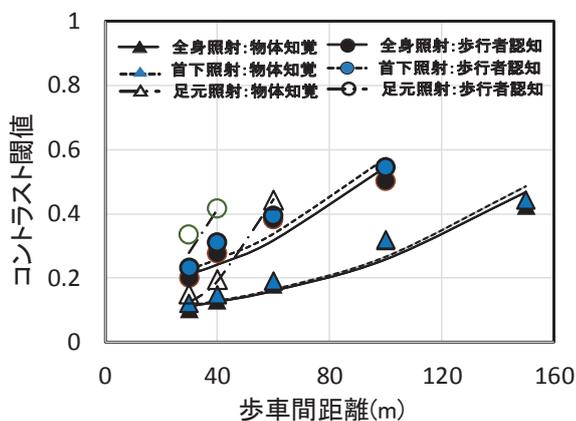
高齢層の平均年齢は70.9歳（標準偏差3.8）、平均視力は左0.80、右0.90であった。

## 3. 2. 実験結果

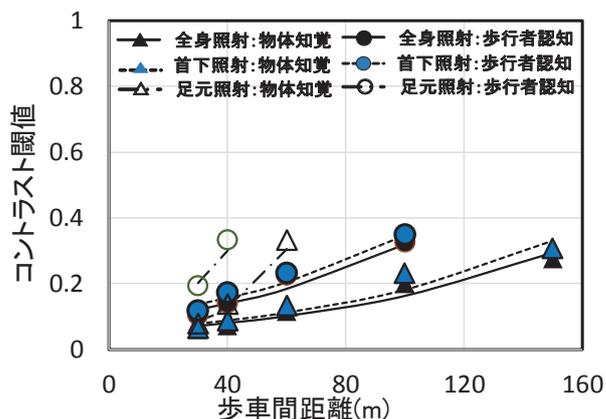
### 3. 2. 1. 照射範囲によるコントラスト閾値の変化

実験結果から歩行者についての物体知覚及び歩行者認知が限界となるコントラスト閾値を算出し、前照灯の照射範囲や背景輝度などとの関係を調べるものとした。その結果（背景輝度:0.14または0.96cd/m<sup>2</sup>のケース）を図9に示す。コントラスト閾値は、物体知覚、歩行者認知が可能な実験参加者の割合が50%（中央値）の時の値をそれぞれ算出したものである。

照射範囲、背景輝度、歩車間距離の条件により物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値は変化することが示されている。背景輝度が低下すると、視覚認知能力も低下するため、その分コントラスト閾値も高くなるものと考えられる。コントラスト閾値は視程などの算出において一般的に0.05が使用されているが、今回のような夜間の暗い条件では十分に整合せず、背景条件が暗くなるほど、また歩行者の距離が遠くなり見かけ上の大きさが小さくなるほど、大きな違いが出ることが明らかになった。



(a)背景輝度: 0.14cd/m<sup>2</sup>



(b)背景輝度: 0.96cd/m<sup>2</sup>

図9 照射範囲によるコントラスト閾値の変化

また物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値はいずれの条件でも大きく異なる。歩行者認知のためには物体知覚の場合よりも、さらに高いコントラストが必要になることが明らかとなった。

照射範囲の影響については、歩行者へのグレアを考慮した新型前照灯（首下照射）のコントラスト閾値は走行ビームの結果とほとんど差が見られない。すれ違いビームについてはより高いコントラストが知覚認知に必要であることが示されている。

今回求められたコントラスト閾値  $E_t$  と、歩車間距離  $D$  (m) や背景輝度  $L$  (cd/m<sup>2</sup>) との関係式を重回帰分析により求めた。その結果を以下に示す。

- 走行ビーム（全身照射：物体知覚）  
 $\log(E_t) = -1.069 + 0.00516D - 0.247L \dots\dots\dots(2)$
- 走行ビーム（全身照射：歩行者認知）  
 $\log(E_t) = -0.816 + 0.00594D - 0.286L \dots\dots\dots(3)$
- 新型前照灯（首下照射：物体知覚）  
 $\log(E_t) = -1.068 + 0.00521D - 0.203L \dots\dots\dots(4)$
- 新型前照灯（首下照射：歩行者認知）  
 $\log(E_t) = -0.779 + 0.00574D - 0.265L \dots\dots\dots(5)$
- すれ違いビーム（足元照射：物体知覚）  
 $\log(E_t) = -1.434 + 0.0185D - 0.199L \dots\dots\dots(6)$
- すれ違いビーム（足元照射：歩行者認知）  
 $\log(E_t) = -1.045 + 0.0171D - 0.171L \dots\dots\dots(7)$

この解析結果から走行ビームと新型前照灯（式(2)と(4)、式(3)と(5)）で歩車間距離と背景輝度に対する係数の値がほとんど変わらないことが明らかになった。また両側  $t$  検定（5%）においても有意差は認められなかった。すなわち走行ビームと新型前照灯との比較では、物体知覚や歩行者認知特性に殆ど影響しな

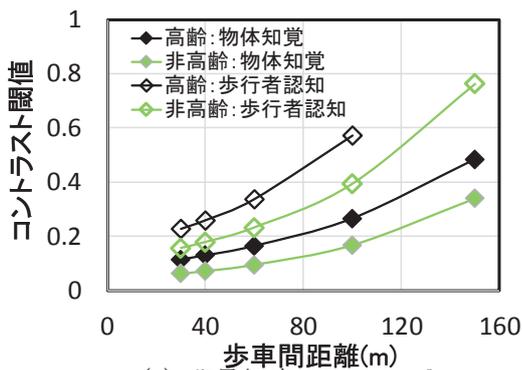
い。これは歩行者にグレアを与えない新型前照灯は、歩行者の被視認性を走行ビーム並みにできる可能性を示すものである

なお、すれ違いビームにおいては歩車間距離に対する係数が他より大きくなり、すれ違いビームの狭い照射範囲は歩行者認知や物体知覚に大きく影響する。

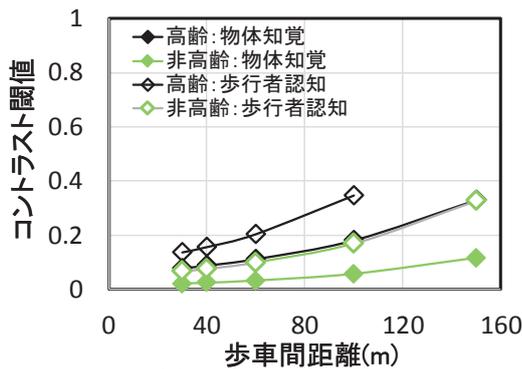
### 3. 2. 2. 年齢層によるコントラスト閾値の変化

年齢層によるコントラスト閾値の変化（本研究の高齢ドライバの結果と以前実施した非高齢ドライバ<sup>4)</sup>の結果の比較）を図10に示す。なお、非高齢層（平均視力、左1.07、右1.01）と今回の高齢層とでは、実験参加者の平均視力に差があったため、高齢層については視力上位8名のデータ（平均視力、左0.98、右1.08）に対する解析データを用いて、比較を行うこととした。

視力に大きな差がないにもかかわらず、夜間の条件では、物体知覚、歩行者認知いずれの条件でも高齢層の方が悪化しており、より高いコントラストが必要となることが示されている。



(a) 背景輝度: 0.14cd/m<sup>2</sup>



(b) 背景輝度: 0.96cd/m<sup>2</sup>

図10 年齢層によるコントラスト閾値の変化

## 4. まとめ

この研究では、夜間時の高齢ドライバ等による対歩行者事故の低減を目指し、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光について評価解析を行った。前照灯の照射範囲や加齢により歩行者被視認性がどの

ように変化するのか評価実験等を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 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。また、前照灯の明るさが歩行者安全性に及ぼす影響については、眩しすぎて危険を感じたことのある歩行者が3割強の割合で存在する。
- (2) 前照灯の照射範囲の影響については全身照射と首下照射ではほとんど差が見られなかった。歩行者にグレアを与えない新型前照灯（首下照射）は歩行者の被視認性を走行ビーム並みにできる可能性が示された。足元照射についてはより高いコントラストが視覚認知に必要である。
- (3) 背景輝度が低下すると、歩行者が視認限界となるコントラスト閾値も高くなる。コントラスト閾値は一般的に 0.05 が使用されているが、今回のような夜間の暗い条件に十分に整合せず、背景条件が暗くなるほど大きな違いが出る。
- (4) 物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値はいずれの条件でも大きく異なる。歩行者認知の場合には物体知覚の場合よりもさらに高いコントラストが必要になる。
- (5) 夜間の条件では、物体知覚、歩行者認知いずれの条件でも非高齢層より高齢層の方が同程度の視力でも悪化しやすく、より高いコントラストが必要となる。

今後も、交通弱者である高齢者や歩行者を保護するため、高齢ドライバ等の歩行者被視認性改善について検討を行う。

## 参考文献

- 1) 警察庁交通局: 平成 28 年中の交通事故の発生状況 (2017)
- 2) 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
- 3) 交通事故分析センター: ITARDA INFORMATION83 (2010) pp.1-12
- 4) 後閑雅人、青木義郎、田中信壽、安本まこと、山村聡志、中澤美紗子: 前照灯照射範囲の違いによる歩行者の被認知の変化 (第一報)、自動車技術会秋季大会 (2016)

## 講演 4. 先進技術搭載ディーゼル乗用車等を対象にした 排出ガス路上走行検査方法の検討

自動車研究部 ※山口 恭平 小澤 正弘

### 1. はじめに

近年のディーゼル車では、厳しい排出ガス規制に適合するため、高圧燃料噴射システムや EGR (Exhaust Gas Recirculation)、DPF (Diesel Particulate Filter)、尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction) 触媒などの先進技術の搭載が必須となっている。ディーゼル車に関しては、2015 年 9 月、フォルクスワーゲン社が米国で販売している車両において、排出ガス検査時のみ排出ガス低減装置を作動させる不正ソフトの搭載が米国環境保護庁 (EPA) より発表され、大きな問題となった (以下、「排出ガス不正事案」という)。この排出ガス不正事案を受けて、国内では国土交通省と環境省が合同で「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会」を設置し、車両総重量 3.5 t 以下のディーゼル乗用車およびディーゼル貨物車を対象に検査方法等の見直しが検討された。検査方法等の見直しにおいては、路上走行検査の導入に向けた検討が進められ、路上走行検査を 2022 年より導入することを提言した最終とりまとめが 2017 年 4 月に公表された。本講演では交通安全環境研究所が試験や解析などを行い、検討を進めている路上走行検査方法について紹介する。

### 2. 路上走行検査方法の検討

大気環境保全の観点から、シャシーダイナモメータ上で走行し評価を行う台上試験と同様に、路上走行においても排出ガス低減が図られることが必要不可欠である。そのため、路上走行検査方法の策定にあたっては、不正の防止に加え、実走行環境下における排出低減を確実にする検査方法にすべきとした基本的な考え方のもと、先行して検討が進められている欧州の RDE (Real Driving Emissions) 試験法<sup>2)</sup>を参考に、国内の走行環境などを反映した路上走行検査方法の検討を行ってきた。ここでは、これまでの検討内容を

「走行条件」、「環境条件」、「車両条件」、「運転条件」、「試験結果の評価」の 5 項目に大別して、それぞれの詳細を欧州の RDE 試験法と比較して説明する。

#### 2. 1. 走行条件

走行条件として、ここでは走行ルートに関連した下記の 5 項目を取り上げる。

##### 1) ルート選定および走行順序

欧州 RDE 試験法では、試験走行を都市内 (Urban)、都市間 (Rural)、高速 (Motorway) 走行に区分しており、走行ルートは全ての走行区分を含むとともに都市内、都市間、高速の順序で構成されることが基本とされている。走行順序については、台上試験の試験サイクルである WLTC (Worldwide Light-duty Test Cycles、図 1) が Low、Medium、High、Extra High フェーズの順序で構成されており、各フェーズの平均速度は走行順序に応じて高くなることに準じている。

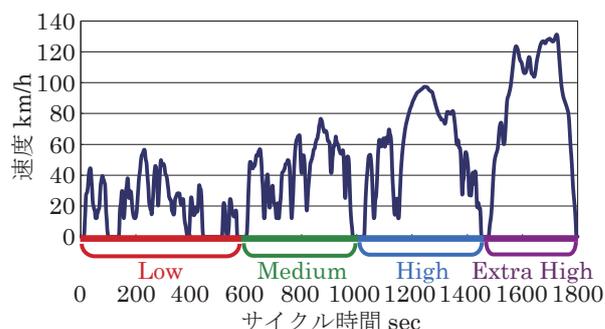


図 1 WLTC 速度パターン

一方、走行環境が欧州と異なる国内では、制限速度等から都市内と都市間走行を明確に区別することは困難であることから、一般道路と高速道路で構成されるルートとし、走行順序は欧州と同様の考え方から一般道路、高速道路の順序とした。

##### 2) 走行区分毎の速度条件および距離比率

欧州 RDE 試験法では、走行区分を走行速度で分類しており、各区分に対して走行距離比率が規定されて

いる。各走行区分における速度範囲と走行距離比率を表 1 に示す。規定された走行距離比率には欧州の走行実態が反映されており、4 フェーズで構成される WLTC の速度パターンに対して欧州 RDE 試験法の走行区分を適用した場合、各区分の走行距離比率は概ね等しく、規定を満たす比率になっている。

表 1 各走行区分の速度範囲と走行距離比率 (欧州)

走行区分	速度 km/h	走行距離比率 %
都市内	速度 ≤ 60	29~44
都市間	60 < 速度 ≤ 90	33 ± 10
高速	90 < 速度	33 ± 10

国内では走行環境の違いから、欧州 RDE 試験法と同様の走行区分を適用することは難しいため、走行区分は一般道路での走行を想定した低速および中速走行、高速道路での走行を想定した高速走行の 3 区分とし、表 2 に示す速度範囲と走行距離比率を設定した。低速と中速を区分する速度閾値に関しては、WLTC の Low および Medium フェーズにおける走行速度と走行距離を考慮して 40 km/h とし、中速と高速を区分する速度閾値は一般道路の最高制限速度等を考慮して 60 km/h とした。また、走行距離比率について、国内の台上試験では WLTC の Low、Medium、High の 3 フェーズで評価を行うことから、3 フェーズの速度パターンに 40、60 km/h の速度閾値を適用して算出した各区分の走行距離比率を基に規定した。

表 2 各走行区分の速度範囲と走行距離比率 (国内)

走行区分	速度 km/h	走行距離比率 %
低速	速度 ≤ 40	20~35
中速	40 < 速度 ≤ 60	30 ± 10
高速	60 < 速度	45 ± 10

### 3) 試験時間および走行距離

試験時間については、評価に必要なデータ数の確保および運転者の疲労等を考慮し、欧州 RDE 試験法と同様に 90 分以上 120 分以下とした。

また、走行距離に関して、欧州 RDE 試験法では最低走行距離が規定されており、都市内、都市間、高速の各走行区分で 16 km 以上の走行が必要となる。国内においては、先で述べた走行区分毎の距離比率と試験時間の規定を満たす条件であれば、評価に必要な一定の走行距離を確保出来ることを見込まれ、最低走行距離は設定しないこととした。

### 4) 標高および勾配

標高に関して、欧州 RDE 試験法では 1300 m 以下で試験を実施するよう規定されている。ただし、標高の高い場所では空気密度が低下することで、エンジンの燃焼不良等につながる可能性がある。そのため、NOx 低減対策の一つである EGR を減量する必要性が一定程度認められることから、700 m よりも高い標高で走行した区間における排出量は補正係数 1.6 で除して評価することとしている。国内においては、標高 1000 m 以上で供用されている高速道路の実延長が約 19 km に留まることなどを考慮し、標高の上限は 1000 m とした。また、700 m を超える標高で走行した区間のデータは、欧州と同様の取扱いとした。

勾配については、始点と終点の標高差が大きい場合はもちろんのこと、標高差が小さい場合であっても、ルート途中における標高の変化が大きくなることで試験結果の排出量は影響を受ける。走行ルートによって試験結果に大きな差異が生じることを防ぐため、欧州 RDE 試験法では、始点と終点の標高差は 100 m 以下、登りの累積高度は 1200 m/100km (走行 100 km あたりの累積高度) 未満としており、国内でも同様の規定とした。

### 5) その他条件

停止時間に関する条件について、欧州 RDE 試験法では、10 秒以上の停止 (速度が 1 km/h 未満) が複数回あり、停止時間の合計は都市内走行時間の 6% 以上 30% 未満と規定している。また、1 回あたりの停止時間も 300 秒を上限としている。国内においては、1 回あたりの停止時間に欧州と同じ規定を採用する一方、停止時間の割合に関しては、走行環境の違いを考慮する必要があるため、WLTC における Extra High フェーズの有無による停止時間割合の違いを参考に、低速走行に分類される総時間の 7% 以上 36% 未満とした。

## 2. 2. 環境条件

気温について、欧州 RDE 試験法では、-7 °C 以上 35 °C 以下の環境下において実施することが規定されており、試験途中で一時的に温度範囲から外れた場合であっても、その試験は無効となる。なお、0 °C 未満の低温条件や 30 °C を超える高温条件で走行した区間の排出量は補正係数 1.6 で除して評価することとしている。一方、国内においては走行環境の実態を反映させるため、県庁所在地の気温データや都道府県別の交通量データなどを参考に、-2 °C 以上 38 °C 以下を気温

条件とした。ただし、0℃未満の低温条件や35℃を超える高温条件で走行した際は、排出量を補正係数1.6で除して評価することとした。なお、試験中の車両周辺における気温が規定の温度範囲を外れた場合、基本的に試験は無効となるが、評価の結果、排出ガス量が規制値を満たせば、有効な試験として取り扱うことを認めている。

天候に関しては、国内においても欧州と同様に規定しないこととしたが、安全が確保される範囲内で実施すべきとした。

## 2. 3. 車両条件

車両条件として、下記の4項目を取り上げる。

### 1) 車載式排出ガス測定システム (PEMS) の設置

PEMS (Portable Emissions Measurement System) の設置に関して、欧州では各国の法規に従ってPEMSを設置することとしており、国内においても同様に道路運送車両法等の関係法令を遵守する必要がある。また、試験車両の排出ガス性能に影響を及ぼさないようにPEMSを設置するだけでなく、計測精度を確保するため、排出ガス流量計の前後に設ける直線部の長さなどの要件が欧州RDE試験法では規定されており、国内においても同様とした。

### 2) 試験自動車重量

排出ガス性能に影響を及ぼしうる要素である試験自動車重量は、欧州RDE試験法と同様に国内においても、車両重量(空車重量)に運転手、立会人、試験装置を加えた重量を基本とし、以下の式で求める重量(paymass90%重量)を試験自動車重量の上限とした。

$$\begin{aligned} \text{paymass90\%重量} &= \text{空車重量} + \text{運転手 (75 kg)} \\ &+ \text{最大オプション重量} + (\text{最大許容重量} - \text{空車重量} \\ &- \text{運転手} - \text{最大オプション重量}) \times 0.9 \end{aligned} \quad (1)$$

### 3) 暖機状態

欧州RDE試験法ではコールド(エンジン冷機状態)スタートとホット(エンジン暖機状態)スタートでの測定が義務付けられている。また、コールドスタートのプレコンディショニング条件については、30分以上の事前走行を行った後、2.1.および2.2.節で述べた標高と気温の条件を満たす環境下で6時間以上56時間以下ソークすることが規定されている。

一方、国内では台上試験のWLTCがコールドスタート試験のみでの評価となることを考慮し、路上走行検査もコールドスタートで測定を行うこととした。また、プレコンディショニング条件は、ソーク環境に関

する標高および気温条件が欧州RDE試験法と異なるが、その他条件は欧州と同様の規定とした。

### 4) 補機類の使用

エアコン等の補機に関して、欧州では想定される一般的な使用方法での操作を許可しており、国内においても同様とした。

## 2. 4. 運転条件

運転方法については、制限速度を遵守した上で、加速が極端にならないよう留意する必要がある。欧州RDE試験法では加速時の走行動態を評価しており、加速が緩急いずれか極端であった場合には試験不成立となる。走行動態の評価においては、RPA (Relative Positive Acceleration) と  $v \cdot a_{pos}$  [95] が評価の指標として用いられる。RPAとは、加速が過度に緩やかとなっていないかを判定する指標であり、加速時(加速度が0.1 m/s<sup>2</sup>以上)のデータを対象に、単位重量あたりの仕事量を積算し、走行距離で除することで求める。一方、 $v \cdot a_{pos}$  [95] は、過度な急加速をしていないかを判定する指標であり、加速時(加速度が0.1 m/s<sup>2</sup>以上)のデータを対象に、単位重量あたりの仕事率を昇順に並べた際の95%タイル値を指す。なお、RPAと $v \cdot a_{pos}$  [95] は都市内、都市間、高速の各走行区分で判定される。国内においても、走行動態の評価は欧州と同様の方法を採用するが、走行環境の違いを考慮して、判定を行う区分は60 km/h以下と60 km/h超の2区分とした。

## 2. 5. 試験結果の評価

### 1) 評価方法

欧州RDE試験法では、Moving Averaging Window法(以下、「MAW法」という)またはPower Binning法で排出ガス値を評価することが規定されている。今後、MAW法に一本化することが検討されており、国内においては、MAW法で評価することとした。

ここで、MAW法を具体的に説明する。MAW法では、台上試験でWLTCを走行した際のCO<sub>2</sub>排出量(g/test)の50%を基準とし、1秒毎に生成される各Window(移動平均処理を行う区間を定義)において、基準となるCO<sub>2</sub>排出量に達するまでの区間を対象に平均速度と各排出ガス量を算出する。それらの算出データを図2に示すように速度とCO<sub>2</sub>排出量(g/km)の関係で整理し、都市内、都市間、高速走行に分類する。そして、急加速等の極端な運転をした際のデータによる影響を低減するため、台上試験でWLTCを走

行した際の各フェーズにおける CO<sub>2</sub> 排出量を基に定義される CO<sub>2</sub> Characteristic Curve を標準的な運転をした際の基準 CO<sub>2</sub> 排出量とし、その基準の±25%にあたる Tolerance1 の範囲内に存在するデータは全て採用され、±50%である Tolerance2 から外れるデータは除外し、Tolerance1 と Tolerance2 の間に存在するデータは重み付けをした上で採用される。これらの処理を経て得られた各 Window の排出ガス量を加重平均し、各走行区分および試験全体の排出量が算出される。その他にも、各走行区分に分類される Window 数の比率 (Test Completeness) や Tolerance1 の範囲内に存在する Window 数の比率 (Test Normality) も規定され、極端な運転により CO<sub>2</sub> 排出量が基準値から大きく乖離した特異なデータは排除して、試験結果のばらつきを抑制する工夫がなされている。なお、上述の評価においては閾値等の様々な条件が規定されており、国内では欧州 RDE 試験法の規定を一部変更して適用した。変更した主な項目を表 3 に示す。国内と欧州では走行環境だけでなく、WLTC による台上試験で適用されるフェーズが異なることを考慮して、各項目を規定した。

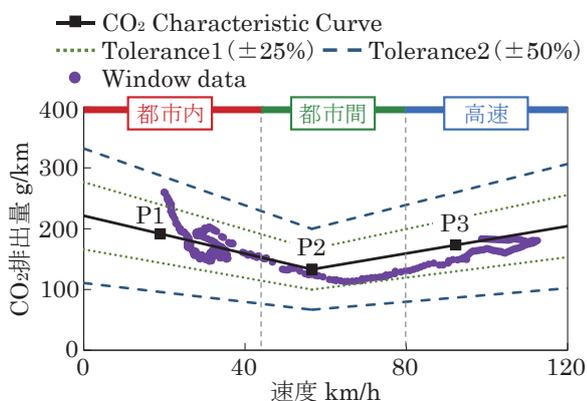


図 2 Moving Averaging Window 法

表 3 MAW 法の主な変更点

変更項目	国内	欧州
走行区分の速度閾値	都市内・都市間：30 km/h 都市間・高速：50 km/h	都市内・都市間：45 km/h 都市間・高速：80 km/h
WindowのCO <sub>2</sub> 排出量を規定する試験サイクル	WLTCの3フェーズ (Low, Medium, High)	WLTCの4フェーズ (Low, Medium, High, Extra High)
CO <sub>2</sub> Characteristic Curve の基準点	P1 (19.0 km/h) : LowフェーズCO <sub>2</sub> 排出量 ×1.1 P2 (56.6 km/h) : HighフェーズCO <sub>2</sub> 排出量 ×1.1 P3: 設定せず (中速より高い速度は HighフェーズCO <sub>2</sub> 排出量 ×1.1)	P1 (19.0 km/h) : LowフェーズCO <sub>2</sub> 排出量 ×1.2 P2 (56.6 km/h) : HighフェーズCO <sub>2</sub> 排出量 ×1.1 P3 (92.3 km/h) : Extra Highフェーズ CO <sub>2</sub> 排出量×1.05
Test Completenessの要件	各走行区分のWindow数は全Window数の10%以上	各走行区分のWindow数は全Window数の15%以上

## 2) 規制対象成分と規制値

欧州では NO<sub>x</sub> と PN (Particulate Number) を規制対象成分としているが、国内においては、ディーゼル車両から排出される NO<sub>x</sub> が台上走行と路上走行時で乖離が生じている問題を最優先で解決すべきと考え、当面は NO<sub>x</sub> のみを規制対象とした。

そして、規制値は CF (Conformity Factor) 値 (台上試験の規制値に対する倍数) として定め、国内と欧州の CF 値を表 4 に示す。欧州では NO<sub>x</sub> の CF 値を適宜見直し、2023 年までに CF 値=1.0 を目指すとしている。国内では、様々な条件下で路上走行した際のデータを基に検討し、CF 値を 2.0 に設定した。なお、欧州では試験全体だけでなく、都市内走行単独の排出ガス量においても CF 値を満たすことが義務付けられている。国内においては、試験全体に加え、主に一般道路を走行した際のデータとなる都市内と都市間走行をあわせた排出ガス量も規制の対象とした。

表 4 国内と欧州の CF 値

		NO <sub>x</sub>	PN
日本		2.0	—
欧州	2017年～	2.1	1.5
	2020年～	1.5	1.5

## 3. おわりに

本講演ではリアルワールドの環境保全を実現するために検討を進めている路上走行検査方法について、走行条件、環境条件、車両条件、運転条件、試験結果の評価に分けて検討内容を紹介した。交通安全環境研究所では今後も国土交通省等と連携して、実走行時の排出ガス低減に有効な検査方法の策定や国際基準調和に貢献すべく、試験、調査等を実施していく。

## 参考文献

- 1) 国土交通省・環境省 発表資料, 排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会資料,  
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_tk10\\_000035.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000035.html), (参照 2017.08.04)  
[http://www.env.go.jp/air/car/conf\\_diesel/post\\_9.html](http://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/post_9.html), (参照 2017.08.04)
- 2) Official Journal of the European Union, L 175,  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L:2017:175:TOC>, (参照 2017.08.04)

# 講演5. 車両燃費評価におけるシミュレーションの活用と国際動向

自動車研究部

※水嶋 教文

## 1. はじめに

昨今、膨大な人的・経済的被害をもたらす局所的集中豪雨などの異常気象が世界中で発生しており、これらを引き起こすと考えられる地球温暖化を防止する観点からも、自動車の燃費向上は重要な課題である。また、自動車の燃費向上に対する市場からの要求も年々高まっており、自動車メーカー各社は電動化などの新たなパワートレイン技術に加え、多くの技術改良を積み上げることで燃費向上を図っている。

交通安全環境研究所では、上記の燃費向上に資する新たな技術の評価手法を検討することに加え、国における将来の燃費基準値の策定を支援するため、乗用車を対象として最新型車両の燃費評価を実施している。しかしながら、個別技術の燃費影響度をシャシダイナモ試験により評価する場合、燃費への影響が小さい技術に対しては、試験ばらつきなどの影響により詳細な評価が困難である。そこで、車両燃費シミュレーションを活用することで個別技術による燃費影響度を評価する手法を考案したので紹介する。また、交通安全環境研究所と定期的に情報交換をしている米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency) (以下、「EPA」という) National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory (以下、「NVFEL」という) における当該分野の動向について紹介する。

## 2. 交通安全環境研究所における取組

### 2. 1. 乗用車燃費シミュレーションの構築

当研究所においては、既にシミュレーションの精度が検証されており、認証試験において使用されている重量車燃料消費率計算用プログラム<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>をベースに、乗用車燃費シミュレーションを構築した。重量車燃料消費率計算用プログラムはソースコードが開示されており任意にダウンロードできるが、走行モード、車両諸元、トランスミッション、変速アルゴリズム、タイヤころがり抵抗、車体空気抵抗は重量車用のもの

となっている<sup>2)</sup>。このため、これらの箇所に対しては乗用車用に新たにモデルを構築した。プログラムの改変箇所を図1に青字で示す。次節以降でその代表的なものについて解説する。

### 2. 2. 供試車両及びサブシステムのモデル化

当研究所は千葉大学大学院次世代モビリティパワーソース研究センターと共同で、排気量1.6Lの過給ガソリンエンジンを搭載した乗用車を供試車両とし、エンジン燃費マップ、タイヤころがり抵抗係数(以下、「RRC」という) [N/kN]及び車体の空気抵抗係数 [N/(km/h)<sup>2</sup>]を取得するとともにトランスミッションといったサブシステムのモデルを構築し、シミュレーションに適用した。なお、供試車両はトランスミッションに無段変速機 (CVT) を搭載している。

エンジン燃費マップは、供試車両に搭載されているエンジンと同一型式のエンジンによる台上試験装置を用いて取得した。図2に取得したエンジン燃費マップを示す。また、RRCはタイヤ単体試験装置を用いて測定し、車体の空気抵抗係数は供試車両の惰行試験により得られた走行抵抗のうち、速度の2乗に比例する項の係数から算出した。

トランスミッションのモデルは、シャシダイナモ試

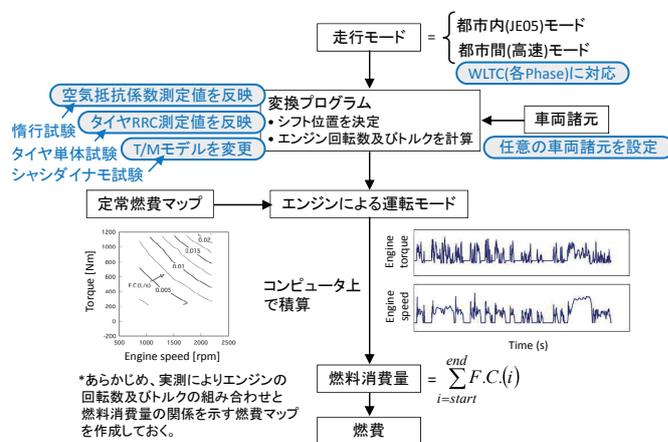


図1 重量車燃料消費率計算用プログラムの改変箇所

験装置を用いて加速試験により計測・取得したトランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップと、一定速度試験により計測・算出した式(1)に示す伝達効率の実験モデルとした。図3にトランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップを、図4に伝達効率の計測結果を示す。

$$\eta_{T/M} = aN_{T/M,out}^2 + bN_{T/M,out} + cr_{T/M}^2 + dr_{T/M} + e \quad (1)$$

ここで、 $\eta_{T/M}$ は伝達効率、 $N_{T/M,out}$ はトランスミッション出力軸回転数[rpm]、 $r_{T/M}$ はトランスミッションの変速比、 $a \sim e$ は係数である。

### 2. 3. 乗用車燃費シミュレーションモデルの検証

以上で構築した乗用車燃費シミュレーションから計算したWLTC (Worldwide Light-duty Test Cycle) 走行時の燃費をシャシダイナモ試験結果と比較した。図5にWLTCの各フェーズで燃費を比較した結果を示す。この結果、計算と実測の相違は最大でも5%程度であり、構築した乗用車燃費シミュレーションモデル

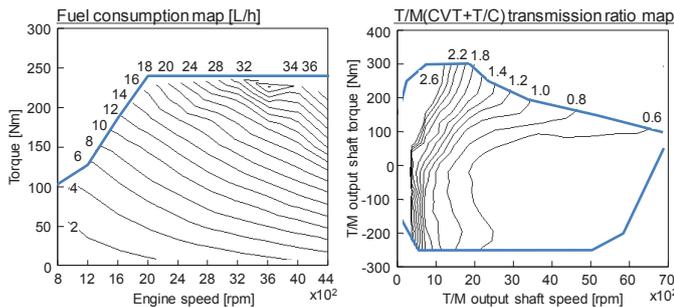


図2 エンジン燃費マップ

図3 トランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の変速比マップ

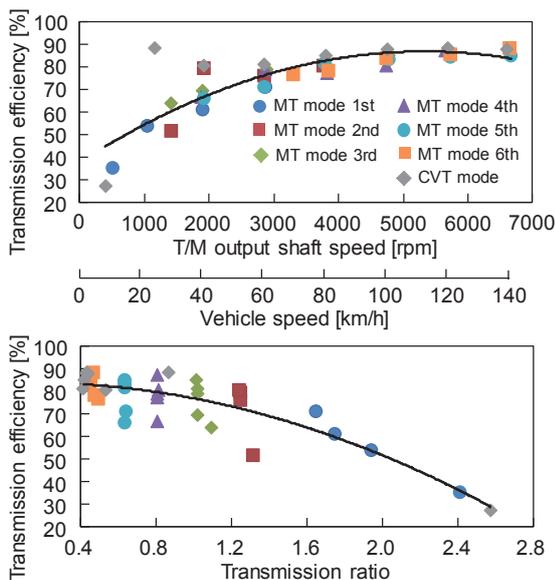


図4 トランスミッション (CVT+トルクコンバータ) の伝達効率の計測結果

は十分に高い計算精度を有していることが確認できた。図6にWLTCにおけるエンジン回転数、図示平均有効圧 (以下、「IMEP」という)、駆動力、燃料消費量の計算結果と計測結果の比較を示す。エンジン回転数の比較結果からはトランスミッションの変速比が、IMEPの比較結果からはトランスミッションの伝達効率が適切にモデル化できたといえる。

### 2. 4. 乗用車燃費シミュレーションの活用事例

図7に、タイヤRRC等級及び空気圧の違いがWLTC走行燃費に及ぼす影響をシミュレーションにより評価した結果を示す。この結果、タイヤRRC等級の変化に対しては、最大で7%程度燃費が変化した。また、各RRC等級のタイヤにおいて指定空気圧の-10%から+10%の範囲で空気圧を変化させた場合、燃費への影響は1%程度と小さいことがわかる。

図8に一次元エンジンシミュレーションツールGT-POWERにより予測したCooled EGR、可変圧縮比(VCR)、可変動弁機構(VVT+VVA)といったエンジン要素技術による熱効率向上や6速マニュアルトランスミッション(MT)化によるWLTC走行燃費の改善効果を、シミュレーションにより評価した結果を示す。この結果、これらの要素技術を全て適用することで、最大で20%程度燃費が改善した。

このように、実車での計測データをベースとして構築した乗用車燃費シミュレーションを活用することで、個別技術の改良による燃費改善効果を定量的に評価できることが示された。

## 3. EPA-NVFELの動向

### 3. 1. EPA-NVFELにおける取組の概要

EPA-NVFELにおいては、Light-Duty Vehicle (LDV)の将来の温室効果ガス (Greenhouse Gas) (以下、「GHG」という) 排出規制を策定するためのデータ収

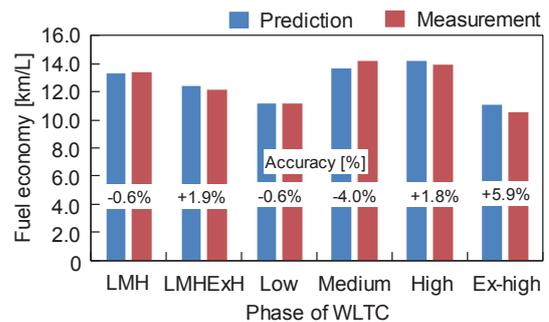


図5 WLTC走行燃費のシミュレーション結果と実測結果の比較

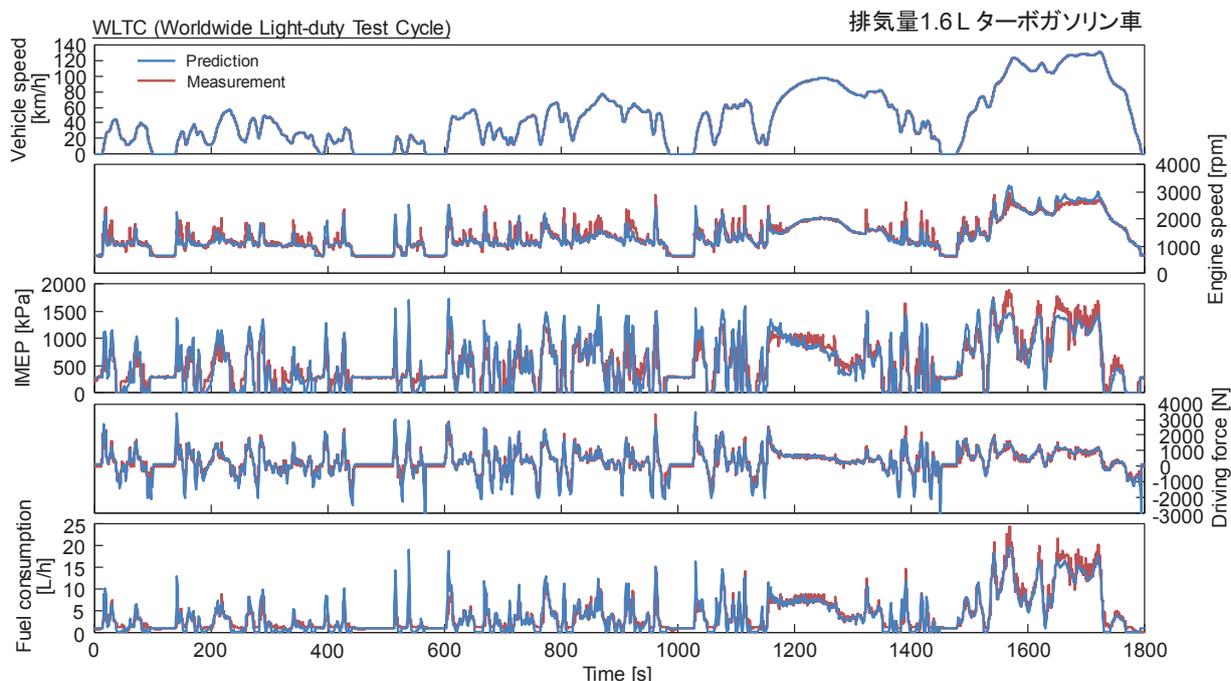


図6 WLTC 走行時のエンジン回転数、図示平均有効圧、駆動力、燃料消費量の計算結果と計測結果の比較

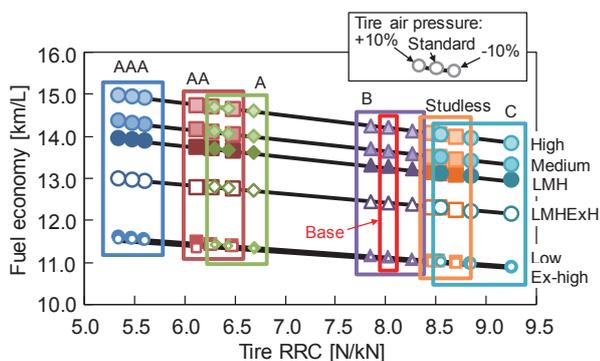


図7 タイヤ RRC 等級及び空気圧の違いが WLTC 走行燃費に及ぼす影響

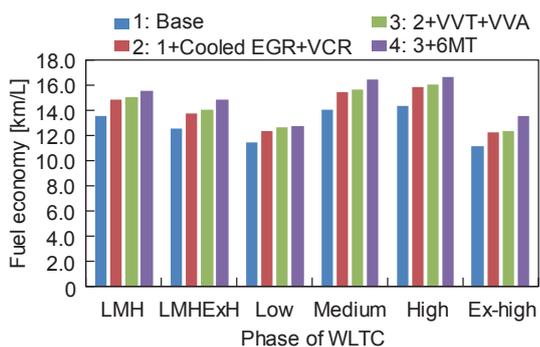


図8 エンジン要素技術、トランスミッション変更による WLTC 走行燃費の改善効果

集を目的として、最新型車両における燃費性能のベンチマーキングを実施するとともに、Advanced Light-duty Powertrain and Hybrid Analysis (以下、「ALPHA」という)と呼ばれる独自に開発した車両燃費シミュレーションツールを用い、将来普及が見込まれる技術を搭載した車両の燃費予測を行っている。

### 3. 2. 車両燃費シミュレーションツール ALPHA の概要

ALPHA は物理原則に基づいた車両燃費シミュレーションツールである。シミュレーションの基本的な考え方は国土交通省の重量車燃料消費率計算用プログラムと同じであり、モード走行時における車両燃費をエンジンの燃費マップから計算するモデルとなっている。ALPHA のプログラムは MATLAB/Simulink で構築されており、EPA が WEB で無償配布しているオープンソースコードである。初期のバージョンである ALPHA v1.0 は、シャシダイナモを用いた認証試験では燃費改善効果を評価することが困難なオフサイクル技術の評価を目的で用いられていた<sup>3)</sup>。近年では、将来技術による燃費改善効果を予測し、2022~2025 年(モデル年) GHG 排出規制値の妥当性を評価する目的で ALPHA v2.0 が運用されている。なお、v2.0 は v1.0 に対して、より現実的な車両挙動の表現に加え、エネルギーフローの解析を可能としている。

### 3. 3. 最新型車両の燃費性能ベンチマーキング

ALPHA に入力するエンジンの燃費マップやトランスミッションの伝達効率、エンジン台上試験装置を用いて EPA-NVFEL が独自に計測・取得し、ベンチマーキングしている。現在は EPA の WEB サイトで、

- ・トヨタ Camry 搭載排気量 2.4 L ガソリンエンジン
- ・シボレー Malibu 搭載排気量 2.5 L ガソリンエンジン

- ・マツダ Mazda 3 (日本名: アクセラ) 搭載排気量 2.0 L ガソリンエンジン (スカイアクティブエンジン)
- ・フォード F150 搭載排気量 2.7L ターボガソリンエンジン
- ・ホンダ Civic 搭載排気量 1.5L ターボガソリンエンジンの燃費マップ、及び次元エンジンシミュレーションツール GT-POWER や文献値から予測した将来エンジンの燃費マップが公開されており、ALPHA の入力データとして使用できるようになっている<sup>4)</sup>。

エンジンのベンチマーキングに際しては、エンジンを車両搭載状態と同一の制御状態で運転する必要がある。そこで EPA-NVFEL では、図 9 に示すようにエンジン台上試験で使用する ECU (Engine Control Unit)

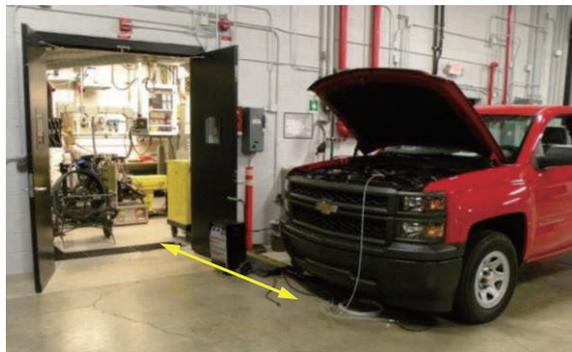


図 9 EPA-NVFEL におけるエンジン試験方法<sup>5)</sup>

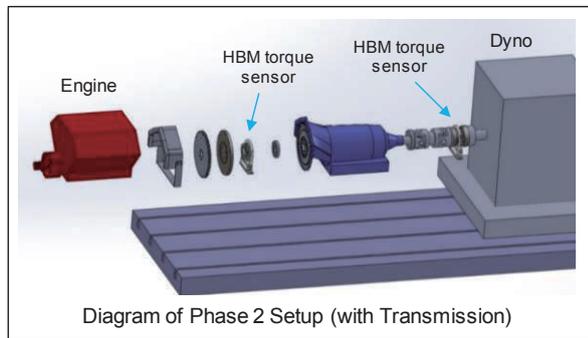


図 10 トランスミッションの伝達効率計測方法<sup>5)</sup>

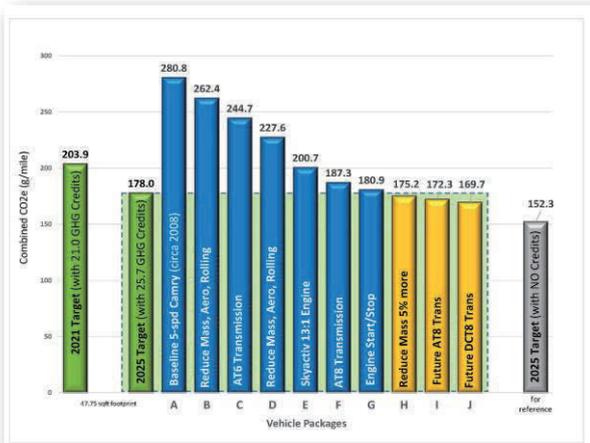


図 11 将来技術導入時における米国燃費試験サイクルの GHG 排出量削減効果<sup>6)</sup>

と試験室に横付けした車両の制御ユニットを接続することで、エンジン警告灯 (MIL: Malfunction Indication Lamp) を点灯させずにエンジンを運転する方法を構築している<sup>5)</sup>。

トランスミッションのベンチマーキングに際しては、図 10 に示すようにエンジン出力軸 (トランスミッションの入力軸) とトランスミッション出力軸にフランジ型軸トルク計を取り付け、エンジン台上試験装置により伝達効率を計測する手法を適用している<sup>5)</sup>。

### 3. 4. 将来技術導入時の GHG 排出量削減予測の例

EPA-NVFEL において、トヨタ Camry (2008 年式) をベースに車体軽量化、空気抵抗及びころがり抵抗の低減を考慮した上で、ベンチマーキングした最新のエンジンやトランスミッションのデータを ALPHA に適用し、GHG 排出量削減効果を予測した例を図 11 に示す<sup>6)</sup>。この結果、各種オフサイクルクレジットを適用すれば 2025 年の GHG 排出規制値と同等の性能を得られることが示されており、EPA-NVFEL ではこのようにして GHG 排出規制値の妥当性を評価している。

## 4. おわりに

今後は電動化車両に対しても燃費シミュレーションを活用し、燃費向上技術の評価・将来予測を実施するため、モデル構築手法を検討する予定である。また、EPA-NVFEL との意見交換を通して、引き続き米国の GHG 排出規制に関わる研究動向を調査する。

### 参考文献

- 1) “総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会重量車判断基準小委員会・重量車燃費基準検討会 最終取りまとめ”、(2005)
- 2) 国土交通省: 重量車燃料消費率計算用プログラム、[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000006.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000006.html)
- 3) Byungho Lee, et al., “Development of Advanced Light-Duty Powertrain and Hybrid Analysis Tool”, SAE 2013-01-0808, (2013)
- 4) EPA ALPHA ツール WEB サイト、<https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/advanced-light-duty-powertrain-and-hybrid-analysis-alpha#engine-mapping>
- 5) NVFEL 提供資料、NTSEL-NVFEL Technical Exchange Meeting、(2017)
- 6) John Kargul, et al., “Estimating GHG Reduction from Combinations of Current Best-Available and Future Powertrain and Vehicle Technologies for a Mid-sized Car Using EPA’s ALPHA Model”, SAE 2016-01-0910, (2016)

# 国際調和推進部における活動の概要と方向性

国際調和推進部

坂本 一朗

## 1. はじめに

自動車や自動車部品の流通の国際化はますます進展しており、安全対策、地球環境問題への対策など自動車性能に対する要求を世界規模でとらえる必要が生じている。加えて、日本の技術・基準をアジア諸国等と共同で国際標準化し、これらの国々の需要を取り込んでいくことが今後も我が国が継続的に成長を続けていくための原動力の一つと考えられている。具体的に、「インフラシステム輸出戦略」（平成 29 年度改訂版）の「3. 先進的な技術・知見等を活かした国際標準の獲得」において、「国際機関（国連自動車基準調和世界フォーラム等）における連携を通じて、我が国制度・技術の国際標準化を推進」することとしており、国土交通省は、アジアの新興国を含む世界各国において、安全・安心な車社会を実現するとともに、日本の企業がより活動しやすい環境を整備するため、自動車にかかる国際基準調和を積極的に推進している。

国連自動車基準調和世界フォーラム（以下、「WP29」という）では、自動車の基準の国際調和と認証の相互承認について審議を行っており、自動車の装置等に関する型式認可の相互承認協定と自動車の世界統一基準を策定する協定を扱っている。我が国はこれらの協定下で国連規則（UN Regulation、以下「UN 規則」という）や、世界統一技術規則（Global Technical Regulation、以下「UN GTR」という）の制定、改訂作業に積極的に参加している。

交通安全環境研究所（以下「当研究所」という）は、国土交通省の国際基準調和の推進を支援する立場から、WP29 の下に組織されている様々な会議に参加し、基準の原案作りや修正等の作業に関わっている。そのため、平成 28 年 4 月 1 日に、独立行政法人自動車技術総合機構の交通安全環境研究所として新たなスタートを迎えるに当たって、国際調和活動を専門に行う「国際調和推進部」を新設し、年々増加している

国際基準調和の業務に組織的かつ柔軟に対応できるよう実施体制の強化を図った。

以下に、国際調和推進部における基準調和への貢献に向けた活動の概要と今後の方向性について述べる。

## 2. 国際調和推進部の活動の概要

図 1 に示す WP29 及びその傘下の各専門家会合（GR）における主な活動の概要について紹介する。

### 2. 1. WP 29

WP29 直下に設置されている自動運転インフォーマル会議（ITS/AD（Intelligent Transport Systems and Automated Driving））は、日本と英国が共同議長を務め、当研究所が事務局としてこの活動を補佐している。自動運転技術の実現のための課題を解決する道筋を示した「サイバーセキュリティとデータ保護に関するガイドライン」をドイツと共同で作成し、当該ガイドラインは平成 29 年 3 月の WP29 で成立した。ITS/AD 傘下に設置されたサイバーセキュリティ TF では当研究所の職員が英国と共に共同議長を担当しており、国土交通省や日本の自動車メーカーと共に検討した資料を報告することによって主導的な役割を果たしている。

### 2. 2. 一般安全専門家会合（GRSG）

日本から、間接視界の基準である UN 規則 No.46 に、直前直左に直右及び近接後方を加えた視界の確保（ミラーでなく CMS（Camera Monitor System）、ソナー、直視でも可）の提案を行っており、日本の事故データを基に近接視界の必要性を主張してきた。その結果、車両近接における視界を確保するための VRU-Prxi（Vulnerable Road Users proximity）インフォーマル会議が新たに設置され、当研究所の職員が議長を務め、インフォーマル会議の運営を主導している。

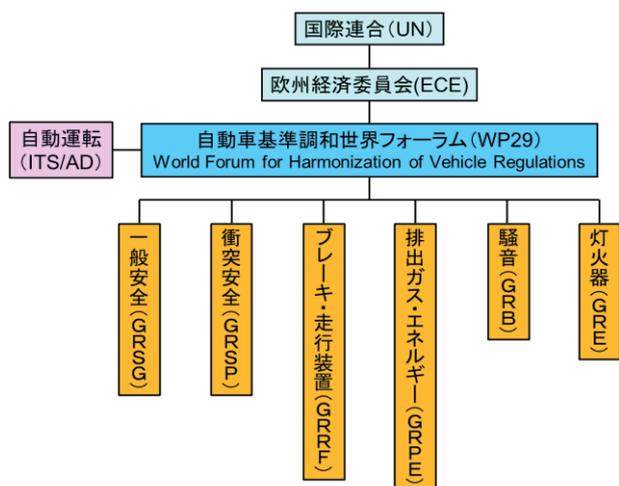


図1 自動車の国際基準調和活動を行う国連の組織

### 2. 3. 衝突安全専門家会合 (GRSP)

電気自動車の安全性に関する EVS (Electric Vehicle Safety) インフォーマル会議では、当研究所の職員が事務局として米国の議長と共に会議運営を担当し、バッテリーの安全性、耐久性等に関する新たな UN GTR のとりまとめに貢献した。これは、新 GTR の Phase 1 として第 173 回 WP29 (平成 29 年 11 月) で成立予定である。現在、Phase 2 に向けて、議長とともにインフォーマル会議の運営を主導している。

### 2. 4. ブレーキ・走行装置専門家会合 (GRRF)

GRRF では自動運転に関連する基準の議論が急速に行われている。かじ取装置に関する UN 規則 No.79 を改正するため、自動操舵 (ACSF : Automatically Commanded Steering Function) のインフォーマル会議が行われており、日本とドイツが共同議長となっている。当研究所は、共同議長である国土交通省を補佐するとともに、当研究所の研究部門の研究成果と審査部門の知見を基に、自動車線維持機能 (ハンドル保持) に必要な要件の提案を行い、UN 規則 No.79 改正案の策定に貢献した。これは、第 171 回 WP29 (平成 29 年 3 月) で成立した。現在は、片側 2 車線以上の自動車専用道において、ドライバのウィンカー操作を起点とする自動車線変更機能 (ハンドル保持) 等の要件について検討を行っており、第 174 回 WP29 (平成 30 年 3 月) での成立を目指している。

### 2. 5. 排出ガス・エネルギー専門家会合 (GRPE)

第 170 回 WP29 (平成 28 年 11 月) において、UN GTR No.15 (乗用車の国際調和排出ガス・燃費試験法 (WLTP : Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)) の Phase 1b が成立し、現在、Phase 2 に

向けた議論を行っている。Phase 1b に引き続き、当研究所の職員が WLTP インフォーマル会議の副議長、及び EV サブグループの共同議長を担当し、会議の運営に貢献している。また、電動車のモータ・エンジン出力定義や駆動用バッテリーの性能劣化評価試験の検討を行っている EVE (Electric Vehicles and the Environment) インフォーマル会議の活動も本格化しており、当研究所の職員が副議長として参画している。

### 2. 6. 騒音専門家会合 (GRB)

四輪車の騒音規制に関する UN 規則 No.51 では、試験法で規定されている加速走行の条件だけ騒音が小さくなるようにすることを防止するための規定があるが、その確認方法が煩雑で効果が見込めるかが不透明であるとの課題から、インフォーマル会議を設置して試験法の見直しを行っている。当研究所の職員が副議長を担当し、各国と連携して会議を進めている。また、トルコから車両の後退時における安全対策として警報装置の基準策定について提案がなされたことを受け、第 66 回 GRB (平成 29 年 9 月) で日本から後退時警報音の基準化のタスクフォース設置の提案を行い、承認された。当研究所の職員が議長を、トルコが副議長を担当することとなった。

### 2. 7. 灯火器専門家会合 (GRE)

UN 規則 No.53 (二輪自動車の灯火器取付け) に、DRL (Daytime Running Lights) と前照灯の自動切替え要件を追加する改正提案を日本から行っているが、照度を測定するセンサに課題があるため反対意見が出されたので、第 77 回 GRE (平成 29 年 4 月) において、当研究所が実施した調査結果を基に日本提案の妥当性を主張した。タスクフォースを設置して当事者間で検討した結果、第 78 回 GRE (平成 29 年 10 月) において、日本の提案に基づく UN 規則 No.53 の改正が承認される予定である。

## 3. 国際調和推進部の今後の方向性

当研究所は、我が国代表の一員として WP29 の各専門家会合及びインフォーマル会議に参加し、研究成果や認証審査の知見を活用し、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。今後も、我が国の先駆的な自動車技術に基づく基準・試験方法等について積極的に提案を行い、国際標準化に貢献することとしている。

# 講演 6. 国連自動運転分科会(ITS/AD)における 自動運転技術の定義と国際基準化項目の検討状況

国際調和推進部 ※関根 道昭 平松 金雄

## 1. はじめに

自動運転技術は、自動車をより便利で快適にするだけでなく、交通事故の予防や燃費の改善等にも効果があると期待されている。そのため、世界中の自動車メーカーが競って開発を進めているが、昨年5月、米国において自動運転車両の事故により乗員が死亡したことを機に、自動運転技術の安全性が非常に注目されることとなった。自動運転技術を安全に導入、普及させるためには、自動運転技術の安全要件に関する適正な国際技術基準を早急に整備する必要がある。

自動車基準調和世界フォーラム（以下、WP29）の中に自動運転技術を専門的に扱う ITS/AD (Intelligent Transport Systems/Automated Driving) インフォーマル会議（以下、ITS/AD）が設置されている。ITS/AD は、自動運転の国際基準化に必要な定義や、各専門家会合（GR）が具体的な基準を検討する場合の前提条件や対象範囲等を定めている。当研究所は ITS/AD の活動を事務局として全面的に支援しているため。ここでは自動運転技術の定義と国際基準化項目の検討状況に関する最近の成果を報告する。

## 2. 自動運転の定義とドライバの役割

これまでに各国政府や業界団体等から様々な自動運転の定義が提案されている。自動運転技術に関する多くの定義はシステムが全く介入しない手動運転から全てをシステムが実行する完全自動運転までを数段階に分割し、各レベルの名前とシステムの役割を記述している。中でも米国自動車技術会（SAE）の定義は、各レベルにおける自動運転システムの機能を詳しく記述しているため、ITS/AD は SAE の定義を参照して議論を進めている（表 1）。

SAE は運転時にドライバが果たす「認知、判断、操作」のことを動的運転タスク（DDT: Dynamic Driving Task）と呼んでいる。自動運転は DDT をドライバの代わりに車両システムが行う技術と定義している。

また、運用設計領域（ODD: Operational Design Domain）という設計上の使用環境を想定しており、自動運転技術は自動車専用道路や駐車場など、適切な ODD の条件下で使用することとしている。

表 1 米国自動車技術会（SAE）における自動運転の定義

レベル	レベルの名称	定義の概要	縦横方向 運動制御	物体・事象 検知と反応	万が一の 備え	運用設計 領域
運転者が運転タスクの一部または全部を実行する						
0	手動運転	予防安全装置がある場合でも、ドライバがすべての運転タスクを行う	ドライバ	ドライバ	ドライバ	該当なし
1	運転支援	自動運転システムによる横方向か縦方向どちらかの持続的な制御	ドライバとシステム	ドライバ	ドライバ	制限あり
2	部分的自動運転	自動運転システムによる横方向と縦方向の両方の持続的な制御	システム	ドライバ	ドライバ	制限あり
車両システムが全ての運転タスクを実行する						
3	条件付き自動運転	全ての運転タスクをシステムが行い、要求に応じてドライバが適切に反応	システム	システム	ドライバ	制限あり
4	高度自動運転	限定条件下で全ての運転タスクをシステムが実行。ドライバの反応を期待しない。	システム	システム	システム	制限あり
5	完全自動運転	無条件で全ての運転タスクをシステムが実行。ドライバの反応を期待しない。	システム	システム	システム	制限なし

レベル1は、速度調整、車線維持、ブレーキ操作などのDDTの1つを代行する自動運転である。例えば、定速走行・車間距離制御装置（ACC：Adaptive Cruise Control）、車線維持支援装置（LKAS：Lane Keeping Assist System）、先進緊急ブレーキシステム（AEBS：Advanced Emergency Braking System）など、すでに実用化、普及が進んでいる技術である。

レベル2は、レベル1の技術機能を組合せ、自動車専用道路などの好条件の環境において使用する自動運転技術である。ただし、レベル1及びレベル2においてドライバーは道路環境やシステムの状態を常に監視する必要があるとされている。

レベル3では全てのDDTをシステムが行うが、道路状況の変化や故障等によりシステムの対応が難しい場合にシステムが運転をドライバーに戻すことがある。これを「テイクオーバー」と呼ぶ。

レベル4では、システムの対応が難しい状況においてもドライバーの対応を期待しない点がレベル3と異なっている。レベル3、レベル4のいずれもODDを限定しているが、レベル5では全てのDDTをシステムが行い、テイクオーバーを要求せず、ODDは無制限とされている。

### 3. 国連規則のための自動運転の定義

ITS/ADは、自動運転システムの一般的な原則をWP29に提案し、これに基づきWP29が新しい基準を策定するためのガイドライン案を示すこととしている。国際基準化の観点から、SAEの各レベルにおける車両システムとドライバーの役割を区分し、レベルごとに求める安全対策や安全装置について詳細に検討した。その成果として表2に示す表を作成した<sup>2)</sup>。実際の表は分量が大きく、複雑であるため、ここでは概要と代表的な記載例のみを示している。表の列はSAEの自動化レベル、行は基準化のための検討項目の例などを示す。なお、この表のレベル2は2aと2bに分かれているが、その理由については3.7節で説明する。以下に表の内容を順番に説明する。

#### 3. 1. 二次タスクの禁止と許容

この表は、レベル1と2を「ドライバーによる物体と事象の検知と反応（OEDR：Object and Event Detection and Response）」、レベル3、4、5を「システムによるOEDR」と大きく区別して、前者を「ドライバーの二次タスク禁止」、後者を「ドライバーの二次タスク可能」としている。

表2 WP29における自動運転定義の提案と国連規則のための一般的原則（概要）

参考SAEレベル (J3016)	ドライバーによる物体と状況の検知と反応(OEDR) (ドライバーの二次タスク禁止)			システムによるOEDR (ドライバーの二次タスク可能)		
	1	2a	2b	3	4	5
車両の役割 (例)	縦横方向どちらかの制御	縦横の両方向の自動制御、ドライバーの介入操作で直ちに制御を解除		全ての制御（ドライバーに戻す場合がある）	ドライバーを頼らない全ての制御	システムによる常時運転
ドライバーの役割 (例)	縦か横の運転操作	運転環境を連続的に監視し、必要に応じてオーバーライドを行う		システム要求に応じて運転に復帰する	システムの作動、解除の決定	特になし
基準の開発ポイント (例)	現状と同じ	ドライバーの要求により直ちにシステム解除できること、 ドライバー有効性の認識機能		システム要求時に運転に戻れることを確認する機能、 引き継ぎ余裕時間の確保	車両の最小限のリスク状態を確保	設計環境のみでシステム作動を許可
WP1との調和 (道交法改正)	適合	適合	適合	要検討	要検討	要検討
必要とされるシステム要件の例						
オーバーライド機能	必要	必要	必要	必要	安全と矛盾する操作の反映を遅延	不要
ドライバーモニタ機能	手放し検知 (LKAS時)	手放し検知	手放し・視線検知等	手放し・視線・着座検知等	運用設計領域終了時の確認	不要
システム状態の記録	不要	不要	ドライバーによる操作とシステム状態	ドライバーによる操作とシステム状態	システム状態	
具体的な使用例	LKAS, ACC, ACSF Cat. A	ACC+ACSF (Cat.B1, C, D)	議論中 ACSF Cat. B2, ACSF Cat. E	議論中 ACSF Cat. B2, ACSF Cat. E	(将来開発予定)	

二次タスクとは、自動運転使用中にドライバーが行う運転とは異なる作業のことである。先に述べたように、レベル1及びレベル2におけるドライバーは常時の周辺監視義務を負うため、二次タスクは認められない。しかし、レベル3、4では限定されたODDにおいて車両が全てのDDTを代行するため、二次タスクが可能と述べている。ただし、レベル3では車両がドライバーにテイクオーバーを要求することがあるため、ドライバーが速やかに対応出来ないような二次タスク（居眠りなど）は認められないと思われる。

### 3. 2. 車両の役割

自動運転における車両の役割として、周辺の物体や状況を認識し、縦横方向の自動制御を行うことを求めている。レベル1、2、3において、ドライバーによるブレーキやハンドルの介入操作があった場合に自動運転制御を解除することとしている。これを「オーバーライド」と呼んでいる。ただし、レベル3におけるオーバーライドが、客観的な安全性と矛盾する場合にはその効果を遅延させることが出来るとしている。

レベル3において、設計された条件下でのみ自動運転を作動させることを認めている。ドライバーにテイクオーバーを要求し、自動運転制御を解除する場合には、十分な余裕時間を設けることとしている。また、ドライバーが運転に復帰できる状況にあることを確認する機能を備えることとしている。

レベル4の車両タスクはレベル3とほぼ同じであるが、ドライバーを頼ることが出来ないため、より高度な自動運転の機能が必要であり、ODD条件が満たされなくなった場合でも、車両のリスクが最小限となるような安全対策を求めている。レベル5では全てのDDTや安全確保を車両が行うこととしている。

### 3. 3. ドライバの役割

レベル1、2におけるドライバーの役割は、通常の運転とほとんど変わらず、運転環境を常に監視し、必要に応じてオーバーライドを行うことである。レベル3におけるドライバーは、DDTを車両に任せることが出来るが、車両からのテイクオーバー要求により運転に復帰する必要がある。ドライバーは車両の機能や性能限界などを十分に理解し、誤解や誤用がないように注意する必要がある。そのため、車両はドライバーが理解しやすいヒューマンマシンインターフェースを備えている必要があると思われる。

レベル4、5におけるドライバーは、基本的に何もしなくても良い。ただし、レベル4におけるドライバーには、自動運転使用中に想定したODD条件が満たされているか確認することを求めている。

### 3. 4. 基準化のポイント

以上に説明した自動運転技術の安全性を確保するための様々な機能の基準化が検討されている。例えば、オーバーライド機能、テイクオーバー機能、以下の節で説明するドライバモニタ機能やシステム状態を記録する機能などは基準化項目の候補となっている。また、レベル4、5におけるODD条件から外れた場合の車両リスクを最小限とするための安全対策についても何らかの規定を設ける可能性がある。

### 3. 5. ドライバモニタ機能

レベル1から3までの自動運転において、車両による対応が困難な場面では、オーバーライドやテイクオーバーといったドライバーによるバックアップ対応が必要となる。しかし、自動運転を使用中のドライバーは、手動運転の場合よりも運転に関与している意識が低下し、速やかな対応が難しくなる可能性がある。

そのため、ドライバーの運転への従事度を高め、安全性を確保するための対策の一つとしてドライバモニタ機能が提案されている。ドライバモニタ機能とは、車両システムに備えたカメラやセンサによりドライバーの状態を判別し、運転への従事度が低いと判定された場合に警告する機能である。

例えば、レベル1のLKASには、ドライバーがハンドルを握っていない場合（ハンズオフ）に警告する機能を求めている。レベル2b、3のシステムには、ハンズオフ検知に加え、ドライバーの視線や頭の動きを監視して運転従事度を確認する機能を求めている。

レベル3ではドライバーの役割が少なくなるため、ドライバーが運転席から離れてしまい、テイクオーバー要求への対応が遅くなる可能性がある。そのため、ドライバーが離席したら警告する機能や、ドライバーが二次タスクを行う場合には、運転席に備え付けた画面を使用することなどが検討されている。

レベル4において、高速道路の出口など、想定したODDが終了するときにドライバーに引き継ぐ場合にはドライバーの状態を確認する機能（ドライバモニタ機能）を求めている。ただし、ドライバーが引き継がない場合でもリスクを最小限に抑える対策を求めている。

なお、レベル5におけるドライバモニタ機能は不要としている。

### 3. 6. システム状態の記録

自動運転システムは新しい技術であり、当面の間、問題なく作動することを確認しながら運用する必要があると考えられる。あらゆる場面に対応できるプログラムを作成することは難しいため、想定外の状況に対応できない可能性がある。また、万が一事故が発生した場合にその原因を検証する必要があると考えられる。これらの理由から、ドライバの操作やシステムの状態を記録することを提案している。レベル2b、3においては、ドライバによる操作とシステム状態をどちらも記録することを求めている。レベル4、5では、システム作動にドライバが介入することを想定しないため、システム状態のみを記録するように求めている。なお、何の情報をもどの程度の精度で記録するかといった具体的な記録内容についてはITS/ADの対象外としている。

### 3. 7. 具体的な使用例

すでに普及が進んでいる安全運転支援機能と、近い将来実用化される自動命令型操舵機能（ACSF：Automatically Commanded Steering Function）などについて、表2との対応が検討されている。

LKASやACCはレベル1に分類される。ACSFは機能によってカテゴリA、B1、B2、C、D、Eに分類されている<sup>3)</sup>。カテゴリAは自動駐車などに使われる時速10km/h以下の自動操舵である。カテゴリB1はハンドルを握った状態で使用する車線維持機能であり、B2はハンドルから手を離しても作動する車線維持機能である。カテゴリCはドライバが周囲環境を確認し、指令を与えると作動する自動車線変更機能であり、カテゴリDはシステムが判断しドライバが承認することにより作動する自動車線変更機能である。カテゴリEはドライバの指令や承認なしに連続的に自動車線変更を行う機能である。

当初、ACSFは全てレベル2の機能として議論が進んできた。レベル2の自動運転技術はドライバの常時監視が前提であることから、表2に示した通り、現状の道路交通法に適合するため、基準策定後、比較的早期に市場導入が可能であると考えられている。

しかし、最近、ドイツやECなどはACSFの中でも高度な機能を有するカテゴリB2とEについてはレベル3に分類すべきではないかと提案している。レベル

3の自動運転はドライバの意思から独立して車両が独自に判断し、持続的に走行することから、国によっては道路交通法との調整が必要となり、市場導入時期が遅れることが懸念されている。

そこで、日本はレベル2を2aと2bに区分し、ACSFのB2とEをレベル2bにも分類し、レベル2bには2aよりも高度なドライバモニタ機能やシステム状態の記録を要求するという提案を行っている。ACSFをレベル2の技術としてまずは市場導入し、安全性や社会受容性などの実績を重ねながら議論を進める方針も併せて提案している。本稿執筆時点（2017年9月）では、これらの議論は収束しておらず、今後の技術動向を考慮しながら議論を続ける必要があると考えられる。

## 4. まとめ

自動運転技術の国際基準化に必要な定義の概要と議論の進捗状況について報告した。車両とドライバの役割分担に応じて、オーバーライドやテイクオーバーを実現するための機能や、ドライバ状態を監視する機能、システム状態やドライバの操作を記録する機能などが基準化項目の候補として提案されている。

当研究所はITS/ADの事務局として、全ての議論や資料の作成等に携わっている。この会議に関係する諸外国の行政府や自動車メーカーといった製造業界等の代表者と直接情報交換を行い、様々な立場の意見を集めることにより、公平で客観性、透明性の高い議論が展開されるように努力している。また、当研究所の知見がガイドライン等に反映されるように情報発信を行うこともある。このような活動を通じて、自動運転の国際基準が適正かつ効率的に構築されるように今後も支援を続ける予定である。

## 参考文献

- 1) SAE: Taxonomy and Definition for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016 (2016)
- 2) ITS/AD: A proposal for the Definitions of Automated Driving under WP.29 and the General Principles for developing a UN Regulation, ITS/AD-12-05-3 (2017)
- 3) ACSF-IG: Proposal for amendments to Regulation No. 79 to include ACSF > 10 km/h, ACSF-06-05 (2016)

# 講演 7. 国連自動車基準調和世界フォーラムにおける 自動車セキュリティの議論の状況と交通安全環境研究所の取組

国際調和推進部 ※新国 哲也 自動車研究部 小林 撰 河合 英直

## 1. はじめに

ドライバーが自動車をより安全に運転することを可能にする運転支援機能や自動運転機能の普及に伴い、自動車の制御システムや外部との情報通信におけるセキュリティの重要性が増している。国連の自動車基準調和世界フォーラム（以下、「WP29」という）の傘下の自動運転分科会（ITS/AD: Intelligent Transport Systems / Automated Driving）において取りまとめられた自動車のセキュリティガイドラインが車両構造に関する統合決議として発効した<sup>1)</sup>。さらに、今後 WP29 で対応すべき自動車セキュリティ上の課題を抽出するため、ITS/AD 傘下にセキュリティタスクフォース（以下、「TF」という）が新たに設置され、自動車のセキュリティに必要な国際的な技術要件について議論が進められている。

本稿では、TF における検討内容と交通安全環境研究所の活動の概要について述べる。

WP29 の ITS/AD における TF の概要は下記の通りである。

### ➤ Leading team :

議長：英国（英国運輸省）

日本（交通安全環境研究所）

事務局：国際自動車工業連合会（OICA）

### ➤ 活動期間：1年（2016年12月～2017年12月）

### ➤ 参加国（団体）

政府：英国、日本、オランダ、ドイツ、フランス、EC、中国、他

非政府組織:

国際自動車工業連合会（OICA）

欧州自動車部品工業会（CLEPA）

国際自動車検査委員会（CITA）

国際電気通信連合（ITU）

国際自動車連盟（FiA）

TF は 2017 年 12 月までに WP29 での取組に関する

提言をまとめ、ITS/AD へ提出することとしている。

2～5 章では TF の活動状況について、また 6 章では当研究所で実施している自動車に特化した情報セキュリティ分野への取組について説明する。

## 2. TF で取り扱う課題

TF では、活動を開始するにあたり ToR(Terms of Reference)として活動方針を定めた<sup>2)</sup>。TF の主たる課題として下記の 3 項目を設定した。

①サイバーセキュリティ対策

②ソフトウェアアップデートに関する対策

③データ保護

以下に、これらの 3 項目について TF の進捗状況を説明する。

## 3. サイバーセキュリティに関する議論の状況

自動車に特化したセキュリティ対策の検討は次のようなアプローチで実施している。

①どのような脅威（例えば CAN(Controller Area Network)メッセージの不正など）が起こりうるかを想定する。

②この脅威による車両安全性への影響などを最小限化する手段を検討し、その上で対策案をまとめる。

### 3. 1. リファレンス車両モデルの概要

上記アプローチで検討を行うに当たり、サイバーセキュリティが必要とされる車両としてリファレンス車両モデルを設定し、その共通仕様を定めた（表 1）。

また、図 1 には TF の検討対象の範囲を示した。TF において想定した検討の対象物に関する特徴は、例えばメーカーなどが自動車のユーザーに対して提供するサービス用のサーバーを含んでいる点である。ITS/AD による自動車のセキュリティガイドラインが、自動運転車及び Connected vehicle といっ

た車両を対象にしているのに対し、同 TF の検討対象範囲は、自動車との通信を行う自動車メーカーのサーバーや道路側との通信システムを含んだ幅広いものとなっている。

表1 リファレンス車両モデルの定義

The reference vehicle model including	
	Hardware
	Software
	Data held on the vehicle
	Internal communications
Interfaces with	
	External communication systems/ functions (e.g. V2X and emergency communications) and devices (e.g. USB, CD etc.)
	Vehicle functions/systems that use wireless communications (e.g. TPMS, keyless entry)
	Support servers which directly communicate with the vehicle
	Diagnostic/maintenance systems

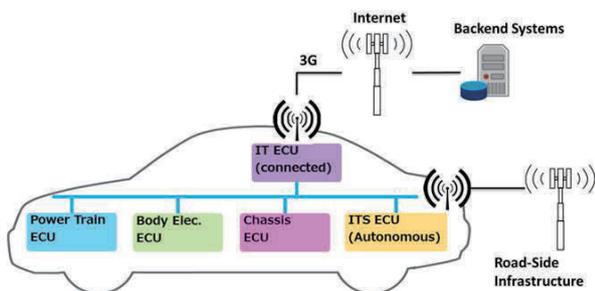


図1 脅威分析の検討対象範囲

想定した脅威のカテゴリは下記の通りである。

1. Compromise of back-end server  
(サービス用のサーバーへの不正接続)
2. Internal communication channels used to attack a vehicle  
(内部通信手段を利用した攻撃)
3. Update process used to attack a vehicle  
(アップデートを利用した攻撃)
4. Human factor and social engineering  
(人的要素に関する脅威)
5. Compromise of external connectivity  
(外部接続手段の不正接続)

6. Target of an attack on a vehicle (特定車両への攻撃)
7. System design exploits (設計仕様の悪用)
8. Data loss / "data leakage" from vehicle  
(情報漏えい)
9. Physical manipulation of systems to enable an attack  
(システムの物理的な改ざん)
10. Vehicle used as a means to propagate an attack  
(他への攻撃起点とする車の悪用)
11. Communication loss to/from vehicle  
(通信のロス)
12. Non-cyber security vehicle threats  
(その他の物理的な脅威)

### 3. 2. 脅威分析及びその対策の検討例

以上に説明してきたアプローチにより、TF で実施した脅威分析とその対策の例を紹介する。議論の結果の取りまとめには、例えば車両メーカーの開発などに活かせるように脅威の例に対する対応策および手段を示すこととしている。なお、紙面の関係上サーバーといった WP29 においては直接的な基準化の対象にならないものに関しては説明を割愛し、車両に関連する脅威分析とその対策についての検討例を紹介する。

- ①脅威の例 : Spoofing of messages by impersonation  
(なりすましによるメッセージの不正)
- ②対応策 : Online Services should have a strong mutual authentication of messages and assure secure communication (confidential and integrity protected) between the involved entities.  
(オンラインサービスでは、送受信とも強固な認証手段を設ける)

手段の例 :

- ✓ Message authentication for all messages received. (メッセージに認証を持たせる)
- ✓ Encryption for communications containing sensitive data. (重要データに暗号を用いる)
- ✓ Techniques to prevent replay attacks, such as timestamping and use of freshness values (時刻情報や常時更新する値を利用する) など

#### 4. ソフトウェアアップデートについて

TF におけるソフトウェアアップデートに関する議論の状況について説明する。ソフトウェアアップデートに関するセキュリティについては前章の「サイバーセキュリティに関する議論の状況」においてカバーされているので、ここでは制度上の課題とその対策の議論の状況について説明する。

TF は、車両の登録後も含め OTA (Over-The-Air updates)すなわち無線通信を使ったソフトウェアアップデートの可用性なども考慮し、メーカー以外の当局など必ずしもソフトウェアの詳細な記載内容を把握していない者が必要に応じてソフトウェアアップデートの概要(アップデート対象の機能や型式認証への影響など)や履歴を把握する方法について検討している。現在案として挙げているのは、型式認証の対象となる機能単位で1つのソフトウェア同定番号(SWIN : SoftWare Identification Number)を与え、このソフトウェア同定番号にソフトウェアアップデートの情報を関連付けて管理する方法である。

この提案のポイントは、自動車が基準適合の審査を経て、市販・登録されユーザーに使用される段階までを含めたソフトウェアアップデートの取り扱いを透明化することにある。例えば、欧州においては車両の登録情報についてメンバー国間の電子化による情報共有化を進めているが、このシステムとWP29において検討中である審査情報の電子化(DETA : Database for the Exchange of Type Approvals)を組み合わせれば、SWINの方法を適用し自動車の審査から使用までのソフトウェアアップデートを一括管理できる可能性がある。一方で、日本のように自動車審査と登録の仕組みが分かれている場合には、必ずしも有効ではない。TFでは、各国事情にも配慮しながら、各国の制度に役立つ提案ができるよう議論を進めている。

#### 5. データ保護について

先述の通り、ITS/ADにおいて自動車のセキュリティガイドラインが取りまとめられ、車両構造に関する統合決議として発効した。このガイドラインはドイツ及び日本からの原案を統合し修正を加えた構成となっており、ガイドラインに取り上げられた個人情報を含むデータ保護については主にドイツ

の原案を反映している。この背景からTFにおいても引き続きデータ保護を主課題の1つと捉え議論を進めている。現状では、データ保護の手段としてのセキュリティ上の課題は、先の3章に示した「サイバーセキュリティに関する議論の状況」に含まれる課題として議論されている。なお、データ保護のポリシーについては、これからの議論となっている。

#### 6. 当研究所の取組について

ここまでTFにおける3つの主課題について議論の状況を説明した。1章でも述べたが、TFとしては2017年12月までにこれらの課題に対する対応策をまとめる予定である。この対応策への日本の意見の反映はもちろんであるが、さらにセキュリティに関する将来的なWP29レベルの活動(例えば自動車のセキュリティに関する国際的な共通ルールの検討など)に関わっていくために、日本として対応するための組織が必要となった。そこで、自動車基準認証国際化研究センター(JASIC: Japan Automobile Standards Internationalization Center)に設置されている、官民からなる連携組織「自動運転基準化研究所」の傘下に、今年、通信・セキュリティタスクフォース(主査:自動車工業会)が設置され(図2)活動を開始した。

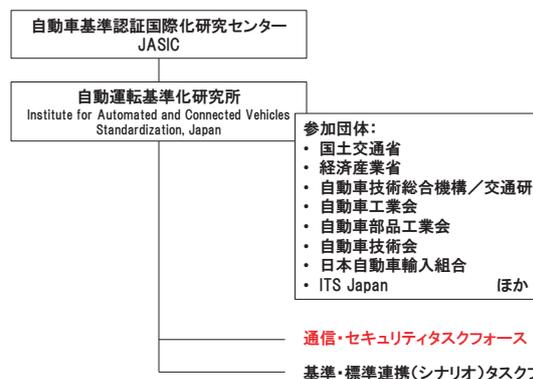


図2 WP29でのセキュリティの議論に対応する国内の体制

自動運転基準化研究所の通信・セキュリティタスクフォースでは、ITS/ADのTFにリンクしながら国内の専門家による脅威分析結果を基にITS/ADのTFに提言を行うとともに、通信やセキュリティ分野の基準化を考慮した将来課題の検討のために独自の調査活動を行っている。本調査活動は当研究所

が主体となり実施しており、下記にその概要を説明する。

### 6. 1. セキュリティに関する調査の目的

自動運転基盤化研究所では、発足初年度である2016年度からセキュリティに関する調査を実施している。2016年度の主な調査目的は、基盤化の観点での自動車独自のセキュリティについて考え方を整理することであった。調査では次のような知見が得られた。自動車では、例えば鉄道や飛行機といった他の輸送機器で通常行われている物理的なセキュリティ（例えば、情報管理区域の設定やセキュリティ教育など）を設定することが難しい。従って、物理的なセキュリティを期待しない設計思想により自動車のセキュリティ対策を施すことが必要となる。一方で、最終的な車両の安全性確保（非常停止など）について配慮することも重要である。

今年度の調査では、最終的な車両の安全性確保のため、不正等による制御異常を考慮した非常停止機能について市販車両の調査の実施や、共通的な非常停止機能について調査・検討を行うこととなった。

### 6. 2. 市販車両の非常停止機能に関する調査

非常停止機能を備える車両を用い、非常停止機能の作動条件・方法及び非常停止後の車両の状態等について調査を行っている。以下には非常停止機能の作動条件に関する調査結果の概要を示す。

市販車両の非常停止機能の作動条件として、手動での作動手順について調査した。国内メーカーを対象に、取扱説明書で非常停止機能の装備の記載がある車種を対象に作動方法を調査した。対象の5社の車両は「START」ボタンが付いており、このボタンを長押しするか連打することで非常停止機能が作動する。

一方で一部の輸入車両では非常停止機能の作動条件が異なっている。例えば図3の車両では、「START」ボタンが無く、車両の起動は運転席への着座がトリガとなっている。この車両では、シフトレバーのPレンジを長押しすることで非常停止機能が作動する。



図3 「START」ボタンが無くディスプレイでの操作設定が主体の車種

このように、手動での非常停止機能の作動条件は異なっており、仮にドライバーが制御異常を把握しても非常停止に戸惑う可能性が考えられる。そのため、非常停止機能の作動条件が統一化される必要がある。

## 7. まとめ

WP29 において自動運転に関する議論を行う ITS/AD に新たに設置されたセキュリティに関する TF の活動状況と、これに対応する日本国内の動向について説明した。

今後は、TF の議論の取りまとめ（2017年12月をめぐりに活動）に向け、日本の意見を反映しつつ、セキュリティに関して WP29 で扱うべき将来的な課題の明確化を進め、WP29 内の議論に反映していく。

### 参考文献

- 1) United Nations/Economic and Social Council, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP.29-78r6e.pdf>, 2017
- 2) United Nations/Economic and Social Council/WP29/ITS/AD/Cyber Security Task Force, <https://wiki.unece.org/download/attachments/42041673/TFCS-03-04e Updated ToR clean.pdf>, 2017

## 講演 8. 自動車認証審査部における審査の概要について

自動車認証審査部 ※山崎 孝章

### 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や燃料消費率の確認を、公正な立場で行うわが国唯一の機関である。

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、自動車が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、昨今の審査部の取り組みを概説する。

### 2. 自動車認証審査部の業務実績

平成 28 年度の自動車等の審査型式数は、自動車にあつては 3,565 型式、自動車装置にあつては 289 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、平成 28 年度は 196 件の受託があり、積極的な利用が進んでいる。

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、平成 28 年度は 91 件(対前年度 34 件減)であった。

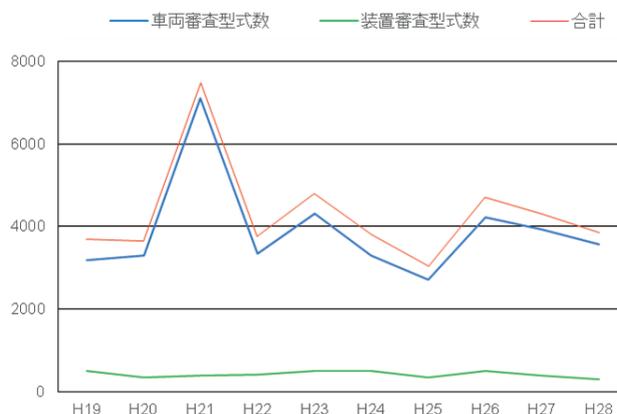


図 1 審査型式数の推移

### 3. 審査体制の構築に係る取組

審査部として中立・公正な審査を実施するため、基準の制定、改正等に対して、審査手法の確立及び職員の研修、さらに必要に応じた施設の整備により、審査体制の構築を行っている。

#### 3. 1. 新たな排出ガス・燃費基準の導入

乗用車の排出ガス及び燃費算定試験法(WLTP)については、国連における国際基準策定に向けて、平成 21 年以降、我が国が国際的議論を主導してきたところである。その結果、平成 26 年 3 月に WLTP が車両等の世界的技術基準協定に基づく世界統一技術規則(gtr 規則)として成立し、平成 28 年 10 月に国内導入された。また、平成 29 年 2 月には、WLTP における走行抵抗値の測定法における統計的手法が、現行の試験法(JC08 モード)に対しても導入された。本手法は、メーカーの不正行為の抑止・防止に資するものとなっている。

WLTP は、平成 30 年 10 月から新型乗用車に適用される予定である。審査部では、試験規程(TRIAS)を平成 29 年 4 月に定め、同年 9 月までに 13 件の試験を実施したところである。また、自動車試験場において、WLTP 試験実施のための施設を平成 32 年度までに整備することとしている。

### 3. 2. 車両接近通報に関する基準の導入

ハイブリッド車や電気自動車のような、一般エンジン車に比べて音が小さい自動車について、歩行者等に自動車の接近を音で知らせる車両接近通報装置に関する協定期則（UN 規則）第 138 号が平成 28 年 10 月に導入された。本規則は、電力のみによる走行が可能な自動車に対して、車両接近通報装置がある走行時に発する音圧及び周波数の速度変化を測定することにより、前進・後退時に車両接近通報が適切に行われるかどうかの確認を行うものとなっている。

本規則は平成 30 年 3 月から新型車に対して適用される予定であるが、審査部では、平成 29 年 2 月に TRIAS を定めるとともに、関係業界を交えた合同研修を実施した（図 2）。その結果、同年 6 月には世界初となる公式試験が実施されたところである。



図 2 UN 規則第 138 号導入に係る合同研修

### 3. 3. 先進安全自動車技術に係る対応

自動車技術の進展により、自動車の安全性を格段に高めること、利便性の向上を図ることを目的として、様々な先進安全自動車技術（ASV 技術）が実用化されるとともに、国際基準としての UN 規則化がすすめられている。これまでは、衝突被害軽減ブレーキ（AEBS）、車線逸脱警報装置（LDWS）、車両横滑り時制動力・駆動力制御装置（ESC）等についての UN 規則が整備されているが、審査部は、これらの規則の制定や改正に係る国際的議論に主要メンバーとして参画しているところである。

最近では、これらの技術を統合・発展させる形で、より自動運転に近づいた技術の開発が進んでおり、UN 規則化もあわせて行われているところである。

平成 29 年 3 月には、かじ取り装置に係る UN 規則（第 79 号）の改正が行われ、今まで禁止されていた車速 10km/h 超の自動操舵機能の一部が認められることとなった。また、操舵機能別のカテゴリー整理が行われるとともに、路外逸脱防止等を目的とした補正操舵機能（CSF）、車速 10km/h 以下の駐車時自動操舵機能（ACSF カテゴリー A）及び車速 10km/h 超での車線維持を目的とする自動操舵機能（カテゴリー B1）について、警報、性能要件が制定された。これらの改正項目については、国内導入（保安基準改正）及び TRIAS の制定を平成 29 年 10 月に行う予定である。

なお、自動車基準調和世界フォーラム（WP29）では、引き続き、車線変更を目的とした自動操舵機能（カテゴリー C）等に係る規則制定の議論がすすめられている。

### 3. 4. 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。また、日本国内ではこれに先行して、平成 28 年 4 月に道路運送車両法が改正され、IWVTA の国内担保措置となる共通構造部型式指定制度が創設されたところである。

審査部は、国土交通省や関係団体とともに、IWVTA を活用した自動車型式指定の申請及び届出について具体的な手続きや課題の検討を進め、その円滑な導入を図ることとしている。

## 4. まとめ

自動運転技術等の複雑で高度な新技術の導入・普及や安全・環境基準の強化に伴い、自動車認証審査に必要となる知識・技術レベルが高まっている。また、国際化が進む自動車市場の中で、自動車基準の国際調和や IWVTA に基づく相互認証など、自動車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 9. 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 ※杉崎 友信 小林 一幸

## 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からの依頼に基づき、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、不具合が疑われる情報については技術検証を行うとともに、リコール届出内容の技術的な妥当性について技術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を紹介するとともに、当部に求められる役割とそれに対する今後の取り組みについて、項目別に概説する。更に、本フォーラムのテーマである「自動車の先進安全・環境技術への対応」として、近年急速に普及が進んでいる先進安全自動車や昨今世界的に問題になった自動車の排出ガス不正制御に対する取り組みを紹介するとともに、今後活用が期待される車両情報のビッグデータについても触れる。

## 2. リコール技術検証業務の概要

### 2. 1. 不具合情報の分析

当部においては、ユーザーやメーカーからの不具合情報及びメーカーからの事故・火災情報のほか、警察や消防等の他関係機関からの不具合情報について分析を行っている。平成 28 年度は約 9,500 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。不具合情報件数は増加傾向で、特にユーザーからの不具合情報件数については毎年増加しており、平成 28 年度においては平成 23 年度に比べて 14%増加している。

表 1 不具合情報分析件数（平成 28 年度）

	不具合情報件数
ユーザーからの不具合情報	3,413
メーカーからの事故・火災情報※	1,592
メーカーからの不具合情報※	3,484
警察からの通報	394
消費者庁からの通報	226
その他(消防等からの通報)	393
計	9,502

※印は平成28年1月から12月間の件数、それ以外は平成28年4月から平成29年3月間の件数を表す。

### 2. 2. 技術検証

当部が実施した技術検証及びその結果市場措置に繋がった件数の推移を表 2 に示す。技術検証回数は、年間約 300～500 件程度の範囲で推移し、技術検証が終了した事案数は、年間約 100～200 件程度で推移している。これらの件数の変動は、事案の複雑度による検証期間の長短が影響しているものと思われる。

このように年度によって技術検証回数は増減するものの、リコール届出などの市場措置に繋がった検証件数は年間 20 件前後と一定の割合で推移しており、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 技術検証回数及び市場措置件数の推移

年 度	H24	H25	H26	H27	H28	
技術検証回数	364	310	532	465	309	
技術検証終了事案数	112	99	204	172	112	
技術検証結果	市場措置につながった件数	21	28	19	22	25
	・うち、リコール	9	18	15	14	21
	・うち、改善対策	1	0	0	1	0
	・うち、リヒートシフト	10	8	2	3	3
	・うち、保証延長	1	2	2	4	1

技術検証がリコール届出にどの程度影響したかを表3に示す。技術検証がリコール届出につながった件数とリコールの改善措置内容について技術検証した件数は、全リコール届出件数の約5~10%程度である。当部による技術検証がリコール届出に少なからず貢献していることがうかがえる。

表3 技術検証がリコール届出に影響した割合

年度	H24	H25	H26	H27	H28
技術検証がリコール届出につながった件数(A)	9	18	15	14	21
リコール改善措置の内容に対する妥当性検証数(B)	8	13	15	13	7
リコール届出数(C)	308	303	355	368	364
技術検証が影響したリコール届出の割合(%) (A+B)/C	5.5	10.2	8.5	7.3	7.6

### 2. 3. 先進安全・環境技術に関するリコール届出

表4に、過去5年間における新技術に関するリコール届出件数を示す。被害軽減ブレーキなど、近年導入され始めた新技術に関するリコールが発生してきており、これら新技術に関する不具合情報を注視していく方針である。

表4 新技術に関するリコール届出

年度	H24	H25	H26	H27	H28
ハイブリッド車 電気自動車 燃料電池車	7	11	7	10	12
被害軽減ブレーキ	1	2	0	4	2
レーンキープアシスト	0	0	0	0	0
全車速ACC	0	1	1	2	0

### 3. リコール技術検証部に求められている役割と今後の取組

自動車技術が複雑化していく中、自動車部品の共通化が進み、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、当部においても、「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」を主なテーマに関係者の方々と連携して取り組んでいきたいと考えている。

このテーマに取り組むにあたっては、(1)自動車不具合情報について、有効な情報をいかに迅速かつ多くの情報を収集できるか(2)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いかに迅

速に取得できるか、が当部の重要な課題となっている。

これらの課題に対して、主に以下の取り組みを実施することとしている。

- ①不具合情報の収集力の向上
- ②技術検証ノウハウの強化
- ③新技術への対応

また、ユーザーからの不具合情報を分析していく上で、ユーザーが自動車に関して誤った認識を持っていることが原因で事故・火災が起きている事案が発生しており、当部にとって、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」ももう1つの役割であると考えている。

### 3. 1. 不具合情報の収集力の向上

#### 3. 1. 1. 既存の不具合情報の収集ルートの充実

平成28年度において技術検証によってリコール届出につながった件数のうち、不具合情報別に分類した場合の件数及びリコール対象台数を表5に示す。件数及びリコール対象台数ともに、メーカーからの不具合情報が最も多いことが分かるが、ユーザーからの不具合情報についても、台数ベースで考えるならばおよそ4割を占めており、技術検証を行う上で大きな役割を果たしていることが分かる。今後、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、メーカー及び警察等の関係機関からも、引き続き、情報提供に関する協力をお願いしていきたい。

表5 技術検証の結果によるリコール届出の不具合情報別内訳(平成28年度)

	件数	台数	台数ベースでの割合 %
ユーザーからの不具合情報	6	567,985	37
メーカーからの事故・火災・不具合情報	11	914,174	59
警察からの通報	0	0	0
消費者庁からの通報	0	0	0
その他(消防等からの通報)	4	62,459	4
計	21	1,544,618	100

#### 3. 1. 2. 新たな不具合情報の収集ルートの構築

自動車の不具合情報の収集にあたっては、既存の不具合情報収集ルートの充実を推進するとともに、以下の情報を新たに活用することを検討している。

- ・自動車技術総合機構の検査部門や軽自動車検査協会からの検査時における不具合情報
- ・整備工場における点検整備情報
- ・諸外国におけるリコール情報

当部が所属している自動車技術総合機構の検査部門、軽自動車検査協会及び整備工場においては、自動車の専門家として、ユーザーが気づかない車両の設計・製造に起因する不具合を発見している可能性がある。したがって、関係者の方々と連携して新たな不具合情報の収集ルートの構築を図っ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. フィールド調査の導入

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、当部自ら自動車ユーザー等を訪問し、使用過程の車両を調査するとともに、使用実態の聴き取りや整備方法の確認を行うフィールド調査を導入した。

平成 28 年度においては、重大な事故につながりかねない不具合事案 2 件について実施し、独自に不具合の発生原因と発生メカニズムを解明することができ、効果的な技術検証を行うことに繋がった。その中で、大型バスのフレーム腐食による操縦系統の不具合については、最終的にリコール届出につながった。

#### 3. 2. 2. 技術検証実験の実施

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。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。

当部の設立当時は個別の技術検証を実施するために必要な事項について実験を行っていたが、ここ数年では、技術的な知見の蓄積を目的とした技術検証実験テーマが増加している。これは、技術検証を開始してから実験内容を決め実行するのでは多大な時間を要し、技術検証に時間がかかってしまうことから、予想される事象について事前に知見を蓄積するためである。その中で近年重点的に知見を蓄積しようとしているものは、車両火災に関する実験と先進安全自動車（ASV）に関する実験である。

車両火災については、火災事故案件が多いにもかか

わらず、その出火原因については不明なことが多いことから、燃焼に関する基礎実験を開始した。今後は徐々に実際の車両火災を模擬した実験に移行していくことで車両火災に関する知見を高め、火災事故を適切に分析する能力の習得を目指していく。

先進安全自動車については、近年急速に普及が進み、それとともにユーザーから様々な不具合情報が寄せられるようになってきたことから、その原因について技術検証実験を行い、知見の蓄積を図っていく。この件については 3.3.1 にて取り組み状況を記述する。

表 6 技術検証実験のテーマ数の推移

年度		H24	H25	H26	H27	H28
技術検証実験テーマ数		10	11	11	11	10
内訳	個別事案の検証	9	7	8	7	3
	知見の蓄積を目的	1	4	3	4	7
	うち、火災関係	0	1	0	3	3

#### 3. 2. 3. 不具合情報の分析強化

過去の設計・製造に起因する不具合情報や技術検証結果などを活用して、技術検証業務を実施してきている。技術検証業務のさらなる迅速化を図るべく、分析機能の強化に取り組んでいく。

### 3. 3. 先進安全・環境技術への対応

#### 3. 3. 1. 先進安全自動車への取組

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、現在、多種多様な技術が混在している状況である。そのような状況であることから、新技術の機能に対するユーザーの誤った認識による事案が、自動車の不具合情報として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、先進安全自動車の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きたい。

まずは、先進安全自動車の中で最も普及が進んでいる衝突被害軽減ブレーキに関し、平成 28 年における当部に寄せられた不具合情報について、作動状況別、作動対象別にどのような作動限界があるのか分析を行った。

今後は上記の分析結果を活用しながら、衝突被害軽減ブレーキを構成しているカメラやレーダー装置と

いったものについて、各々の機能限界を確認する技術検証実験を行っていき、得られた結果に基づきユーザーへの注意喚起につなげる予定である。

### 3. 3. 2. 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は作動させる一方で実際の走行時には意図的に作動させないようにするシステムを用いた排出ガス不正事案が発覚した。この事案の再発防止として、国土交通省及び環境省が合同で設置した「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会」の最終とりまとめにおいて、実際の走行状態に近い環境での試験となる路上走行検査（Real Driving Emission：RDE）の導入及び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）の実施体制の強化が必要であるとされたところである。これを受け、当部においては、サーベイランスの実施により、不正ソフトの有無を確認することが求められている。

サーベイランスの実施にあたっては、図1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、路上走行等を行って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手法を国土交通省とともに検討している。



図1 車載式排出ガス測定システム（PEMS）

### 3. 3. 3. 車両情報のビッグデータの活用

近年、先進的な安全・環境技術の導入にあたっては、高度な電子制御化が必要不可欠な状況であるとともに、今後、車の付加価値がハードからソフトに急速にシフトすると言われている。このような中、クラウド・コンピューティングや通信インフラの急速な発展により、メーカーが車載ソフトを無線で更新したり、車両情報（速度、加速度、位置、故障・老朽化等）を収集する動きが活発化してきている。また、車載ソフト

ウェアに起因するリコールが多くなってきており、こういった取り組みによって早期改善が期待される。リコール技術検証業務においても、収集された車両情報の活用により、車の使用方法や故障履歴などの把握も可能となり不具合の早期発見・早期改善につながる事が予想される。以上のことから、このような取り組みが促進されるよう、当部においても積極的に関与することを考えている。

### 3. 4. ユーザーへの注意喚起の取組

当部では、ユーザーや自動車メーカー等からの不具合情報をもとに、ユーザーや整備業者に対して不注意や誤った使用方法による事故・火災を未然に防止するため、国土交通省からの委託により、注意喚起のための受託調査を実施してきた。これらの結果は国土交通省のホームページ上でインターネット動画として公表されており、特に平成28年度受託調査「道路運送車両法の保安基準に適合するチャイルドシートの重要性及び適正使用に関する調査」については、道路運送車両法の保安基準に適合しないチャイルドシートの危険性が確認されたこともあり、大きな反響があった（図2）。



図2 道路運送車両法の保安基準に適合しないチャイルドシートの調査実験

## 4. 終わりに

近年、先進安全・環境技術は多岐にわたるとともに進展が著しいこともあり、自動車部品の共通化が進展している状況である。また、先進安全自動車の技術が急加速していくことから、より一層ハード面の安全対策が重要となってくる。今後、自動車社会の安全・安心を確保していくため、ユーザー、メーカー及び関係機関等と一体となって、自動車不具合の早期発見・早期改善に向けた取り組みを推進していく所存である。そのことが、自動車産業の国際競争力の向上にもつながるものと考えている。

# ポスターセッション

# ① 画像解析及び通信技術を活用した踏切事故防止支援システムへの取組

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

## 1. まえがき

鉄軌道輸送において、安全の確保は最大の使命であるが、鉄道運転事故件数は、長期的には減少傾向にあるものの、さらなる安全性向上のための対策が必要な状況となっている。中でも、鉄道運転事故全体の約3割<sup>1)</sup>を占めている踏切での事故を減らすことが、鉄道の安全性を向上させるうえで重要な課題である。

踏切事故の防止対策として、踏切障害物検知装置等があるが、これらの装置は踏切内で停滞した自動車を対象としていることから、歩行者の検知は難しい。また、厳しい経営環境にある地方鉄道においては、高コストな踏切障害物検知装置の導入は容易ではない。

一方、自動車の分野においては、交通事故死者数の削減を目的としたASV推進計画<sup>2)</sup>において、衝突被害軽減ブレーキ等の予防安全に資する運転支援技術が開発、実用化され、普及してきている。

また、自動車分野に限らず、画像処理デバイスや通信デバイスが、汎用技術として安価に使用できる環境が整ってきている。

そこで、これらのデバイスを鉄道分野に活用し、道路交通との協調を図ることで、省コストで双方の安全性を向上させることができると考えられることから、踏切における列車と自動車や歩行者との衝突事故を防止することを目的とした踏切事故防止支援システムを構築し、機能検証実験を実施してきたので紹介する。

## 2. 踏切事故防止支援システム機能概要

踏切事故防止支援システムは、踏切事故削減効果が見込まれる以下の機能を有している。

①踏切へ接近する自動車に対して、踏切の動作状態を報知する。

②踏切内で停滞した自動車や歩行者を検出し、その情報を接近する列車に報知するとともに、列車の接近を当該自動車・歩行者へ報知する。

また、地方鉄道への導入も視野に入れ、汎用技術を活用することで低コスト化を図ることとした。

## 3. 機能検証実験

### 3. 1. 踏切遮断時進入防止支援機能

踏切遮断時進入防止支援機能は、図1に示すように、動作中の踏切に接近中の自動車のドライバーに対して、GPSにより検知した自動車の位置から踏切までの距離に応じて音声メッセージと画面表示で情報提供や注意喚起を行う機能である。

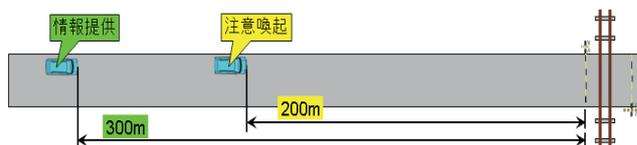


図1 支援タイミング

支援方法は、踏切までの距離による方法を採用し、試験自動車による10回の走行においては、安定した支援が行われることを確認した。

### 3. 2. 踏切停滞検出機能

踏切停滞検出機能は、画像解析技術を活用して踏切を通行する自動車や歩行者を検出し(図2)、踏切の動作開始後も踏切内に自動車や歩行者を認識した場合に、その情報を接近中の列車の運転士に対して報知し、当該踏切までの到達予想時刻に応じて情報提供、注意喚起、警報の各支援を行うとともに、停滞している自動車のドライバーや歩行者に対しても同様の支援を行う機能である。

踏切を通過する自動車や歩行者の検出方法は、カメラから入力されるフレーム画像(図2①)から動きのある物体のみを抽出する手法を採用した(図2②)。抽出した画像を二値化した後、輝度の総和を積算してグラフ化し(図2③)、グラフのピークがしきい値を超えた場合に自転車や歩行者等の障害物が踏切内へ進入したと判定する。判定後、その瞬間のフレーム画像を基準画像として保持し、以後入力されるフレーム画像との差分を抽出(図2④)、抽出した差分を二値

化（図2⑤）した後、輝度の総和を積算してグラフ化し（図2⑥）、ピーク値がしきい値を超えている間、障害物を追従する。障害物を追従している間に、踏切保安装置の制御リレーからクランプセンサを経由し

て取得した情報より踏切の動作開始を認識した場合に踏切内停滞と判定し、情報を伝送する。

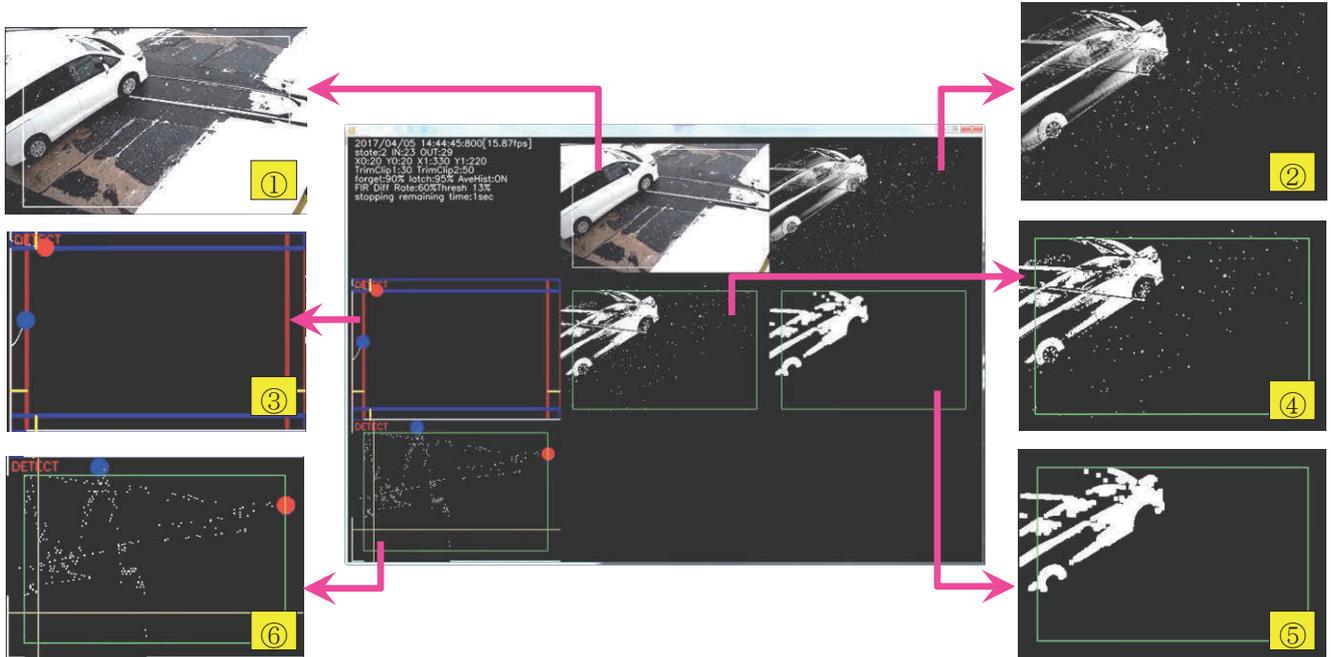


図2 解析画像

踏切内停滞の検出に関する実験は安全上難しいことから、踏切を通過する自動車や歩行者の検出率を検証することとした。その結果、踏切を通過した自動車と歩行者について、約 80%の検出率であることが確認された（表1）。

表1 検出状況

自動車（単位：台）			歩行者（単位：人）		
通過	検出	不検出	通過	検出	不検出
252	217	35	67	55	12
	86%	14%		82%	18%

通常、画像解析は天候の影響を受けやすいとされるが、この方法であれば降雪でも検出できることが確認された。しかしながら、大粒の雪が突然画角に入り込んだ場合や急激なコントラストの変化があった場合に、障害物ありと判定してしまう現象（図3）も見られたことから、状況に応じてパラメータを自動調整する機能が必要であることも確認された。



図3 外乱の影響の一例

#### 4. まとめ

画像解析及び通信技術を活用した踏切事故防止支援システムの取組として実施した機能検証実験の結果について報告した。

踏切遮断時進入防止支援機能については、試験自動車による走行において安定した支援が行われることが確認された。今後は、本支援方法について、踏切付近の通信環境の実態も含め試験例を増やすとともに、その効果評価等を通して、最適な支援タイミングについて検討していく予定である。

また、画像解析技術を活用した踏切停滞検出機能については、状況に応じたパラメータ調整が必要であるものの、踏切を通過する自動車や歩行者の検出がある程度可能であることが示され、降雪時でも検出可能であることが確認された。今後は、モニターラン等を通して、様々な天候や時間帯における検出状況の確認と、検出率を向上させるための検討を行い、上記の踏切遮断時進入防止支援機能と併せ、踏切事故防止支援システムとしての有効性を検証していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局 鉄軌道輸送の安全に関わる情報
- 2) 国土交通省自動車局 第5期ASV推進計画

## ② 鉄道の安全性向上を目的とした衛星測位の精度向上に関する検討

交通システム研究部

※工藤 希

竹内 俊裕

篠田 憲幸（客員専門調査員）

### 1. はじめに

鉄道ではこれまで位置検知に軌道回路及び地上子等を用いることで鉄道の安全を守ってきた。一方、衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）は、良好な受信状態のもとでは、常に位置検知が可能なシステムである。特に平成 30 年度から 4 機体制でのサービスが予定されている準天頂衛星の活用により位置検知精度向上が見込まれるため、様々な分野への展開が期待されている。

今回、GNSS を鉄道の安全性向上を目的として利活用することを前提に、線路方向を考慮した仰角マスクによる GNSS の精度向上方策について実験した内容を報告するとともに、鉄道分野における GNSS 利活用に関するガイドラインを作成したのでその概要を紹介する。

### 2. 鉄道における GNSS 利用

鉄道における GNSS 利用の取り組みとして、保線作業用の列車位置検知・通報システム及び運転士への支援システム等のシステムが実用化されている。一方、列車制御システムとしては、研究開発として平成 19 年頃から、「次世代運転管理システムに関する技術開発」や、「ATP 閉そくシステム(Automatic Train Protection and Block System)」の検討がされてきているが、現在、国内で実用化されているものはない。

当研究所ではこれまでに、衛星測位と汎用無線を用いた地方鉄道向けの列車制御システムを検討しているが、GNSS の測位精度が課題となっている。

### 3. 仰角マスクによる測位誤差低減効果

GNSS 単独での測位誤差は数十 m 程度であるが、1 つ前の測位結果と車両性能（加減速度等）を超える位置の差があればそのデータは用いない等の検定をすることで、誤差を含むデータはある程度取り除くことができる。しかし、このような検定を用いても、GNSS には一定量の誤差が常に含まれている可能性がある。

この状態で列車制御に用いるためには、推定される測位誤差の分、制御に用いる列車位置にバッファ（余裕）を持たせる必要がある。過去の実験では、ある路線においては±17m のバッファを見込めば安全に支障ない制御が可能という結果を得ている<sup>1)</sup>。

一方で、このバッファは短い方が良く、そのためには GNSS そのものの精度向上が必要である。当研究所では、森林や建物などにより電波が遮られ、検知誤差を生じやすいとされる線路直角方向の衛星を測位計算に用いないことで、衛星測位の誤差を低減させる方法を提案してきた。今回は、受信した全ての衛星を測位計算に利用する場合と、全方位に 30 度のマスクをした場合、及び線路直角方向のみマスクした場合（図 1）を比較した。その結果を図 2 に示す。図 2 より、マスクしていない状態に比べ、マスクした方が基準からの距離が小さくなるという結果が得られた。一方、マスクの効果は誤差の大きい図 2 の「マスク無し」のような場合には効果があるが、マスクせずとも誤差が少ない場合には効果がないことも分かっている。そのため、マスク処理を行う必要がある状況かどうかを判断する仕組みが必要となる。



図 1 仰角マスクの設定



図 2 仰角マスクの効果

#### 4. GNSS 利活用に関するガイドラインの作成

2. に示す状況の中、鉄道において GNSS の利用が進んでいる分野については情報共有により一層の活用を、まだ実用化に至っていない分野についてはその実用化の後押しをするため、「鉄道分野における GNSS 利活用ガイドライン検討委員会（座長：中村英夫日本大学特任教授）」において、ガイドラインを作成した<sup>2)</sup>。ガイドラインには、表 1 に示すような利用レベル毎に GNSS を利活用する際、注意すべき項目を検討しやすいように整理（表 2）するとともに既に実用化しているシステムを列挙している。

このガイドラインに法的根拠はないが、鉄道事業者、メーカ、研究機関、関係団体等が参画しており、業界標準的な位置づけを目指している。また、GNSS の技術は発展途上にあるため、今後の技術の進展等にに応じて改訂することを前提としている。

#### 5. おわりに

本稿では、鉄道における衛星測位利用の課題の一つである精度の向上方策について述べるとともに、鉄道

分野における GNSS 利活用ガイドラインの概要を紹介した。今後は、他の装置による GNSS 位置情報の補完の方法等について検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) ”交通分野における高度な制御・管理システムの総合的な技術開発の推進”（2015）  
<http://www.mlit.go.jp/common/001124041.pdf>
- 2) 鉄道分野における GNSS 利活用ガイドライン検討委員会, ”鉄道分野における GNSS 利活用に関するガイドライン”, (2017)  
<http://www.spac.jp/media/pdf/library/20170710-01.pdf>

表 1 利用レベルの定義

利用レベル	定義	
	目的	実現手段
レベル1	安定輸送の確保／ 機能・性能の向上	人間系＋システム
レベル2		システム
レベル3	安全の確保	人間系＋システム
レベル4		システム

表 2 ガイドラインの概要

分類		安定輸送の確保 ／機能・性能の向上		安全の確保	
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4
(A) システムの設計に関する事項	安全に関連する装置には接続しない	HR	HR	—	—
	最終的な安全の確保は人間系又はシステムにより担保			HR	—
	GNSS を使用する／しない区間を定義してシステムを設計し、GNSS を使用しない区間には、他の手段を用意				HR
	リアルタイム性を確保	R	HR	HR	HR
	受信機の性能に適応した測位精度を定義してシステムを設計		HR	HR	HR
(B) GNSS 情報の利用に関する事項	GNSS の測位状態や動作状態を監視し、使用者に対し必要なアラームを速やかに発する		R	HR	—
	衛星測位信号に基づき、衛星測位系が正常であることを確認（※1）				HR
	GNSS による位置情報の健全性を確認（※2）				HR
(C) システムの稼働に関する事項	(B) の※1 もしくは※2 が満足されない場合、又は、GNSS による位置情報の精度低下が確認された場合には、その位置情報を使用しない				HR
	GNSS の位置情報の利用をシステムとして実稼働させるに当たっては、事前に GNSS による測位の傾向を把握し、妥当性を確認				HR

HR: 強く推奨 R: 推奨 —: 対象外

### ③ 助手席子供乗員に対するエアバッグの影響に関する調査

自動車研究部 ※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩

#### 1. はじめに

平成 28 年に乗用車が電柱と衝突し、助手席にシートベルトを使用して乗車していた 3 歳の女兒がエアバッグの展開により胸部を受傷し死亡したとされる事故が発生した。

シートベルトやエアバッグは、交通事故において乗員の被害を軽減する重要な拘束装置である。しかし、それらは成人の体型を前提に設計されているため、体が小さい子供に対しては適切に機能せず、逆に被害を大きくする可能性がある。また、助手席子供乗員に対するエアバッグの影響に関する研究も少ない。

そこで、助手席に 3 歳児子供ダミーを搭載し、前面衝突事故を模擬したスレッド試験を行い、助手席子供乗員に対するエアバッグの影響について調査した。

#### 2. 前面衝突スレッド試験

##### 2. 1. 試験方法及び試験条件

試験は、小型乗用車を改造して作成したスレッド試験用治具（以下、ホワイトボディ）に、座席、インストルメントパネル（車室内の前面にあるステアリングやメータが取り付けられている内装材）、ハンドル、エアバッグ、シートベルト等を取り付けて実施した。子供ダミーは 3 歳児を模擬した Hybrid III 3YO ダミーを使用した。図 1 に試験に使用したホワイトボディを示す。



図 1 ホワイトボディ

試験は、速度 30km/h (8.3m/s) の前面衝突事故を模擬して実施した。図 2 に試験に用いたスレッドの加速

度及び速度波形を示す。加速度波形は、ホワイトボディと同型式車両を用いて実施した速度 30km/h のフルラップ前面衝突試験における車体加速度を用いた。また、エアバッグの展開開始時刻は、上記試験によりエアバッグ展開開始時刻を画像解析より求め、定めた。座席位置は最も厳しい条件と考えられる最前端とした。

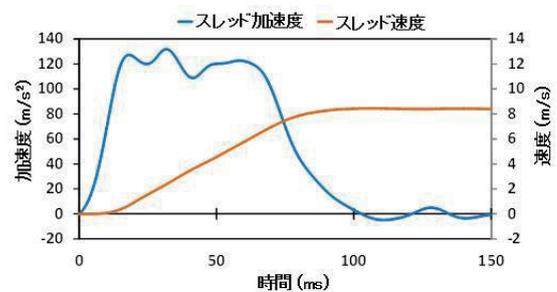


図 2 スレッドの加速度及び速度波形

図 3 に試験での子供ダミーの拘束条件を示す。シートベルト無し、シートベルト有り及びチャイルドシート使用の 3 条件とした。シートベルト有りの場合は、正規の使用状態ではショルダーベルトがダミーの頸部に掛かることから、ショルダーベルトを背中側に回してラップベルトのみで拘束した。チャイルドシートにはシートベルトで子供乗員を拘束するブースターシートを使用した。



(a) シートベルト無し (b) シートベルト有り (c) チャイルドシート

図 3 子供ダミーの拘束条件

今回の試験に使用した助手席エアバッグの展開状況を図4に示す。エアバッグは、ダッシュボード上部からフロントウィンドウガラスに沿って上方に展開し、その後下方に伸張する。これは、エアバッグの展開方向と乗員の移動方向を対向させないことで、エアバッグの攻撃性を低減させるための対策とされる。

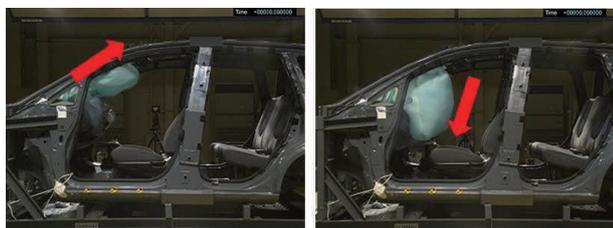
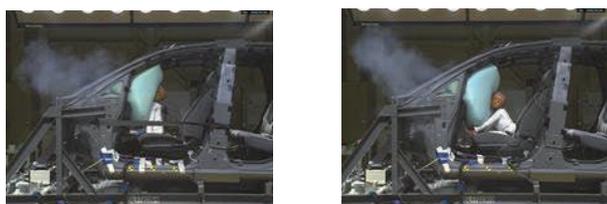


図4 エアバッグ展開状況

## 2. 2. 試験結果

図5に、各試験における衝突開始後100msでのダミーの状態を示す。シートベルト無しの場合、子供ダミーは初期姿勢のまま前方に移動し、展開したエアバッグに上部が衝突した後、頸部が後ろへ大きく回転した。シートベルト有りの場合は、ラップベルトにより腰部が拘束されていたため、腰部を中心に上部が前方に回転して、頸部が展開したエアバッグに衝突した後、頸部が後方へ大きく回転した。チャイルドシートの場合は、ラップベルトにより腰部が、ショルダーベルトにより上部が拘束されたことにより、ダミーの前方への移動量は小さく、結果としてエアバッグとダミー頭部との衝突は軽微であった。



(a)シートベルト無し (b)シートベルト有り



(c)チャイルドシート

図5 子供ダミーの状態 (100 ms)

図6に各試験のダミー傷害値と基準値の比を示す。図内の数値は計測した傷害値である。傷害値として、

米国の前面衝突基準に定められた Hybrid III 3YO ダミーの傷害値である HIC15 (加速度より算出する頭部傷害値)、Nij (引っ張り・圧縮荷重と屈曲・延伸モーメントより算出する頸部傷害値)、胸部3ms最大加速度及び胸部変位を用いた<sup>2)</sup>。また、同基準の基準値を用いた。シートベルト無し及びシートベルト有りの場合の頸部傷害値 (Nij) のみが基準値を超えていた。チャイルドシートを使用した場合、全ての傷害値は基準値を満足していた。

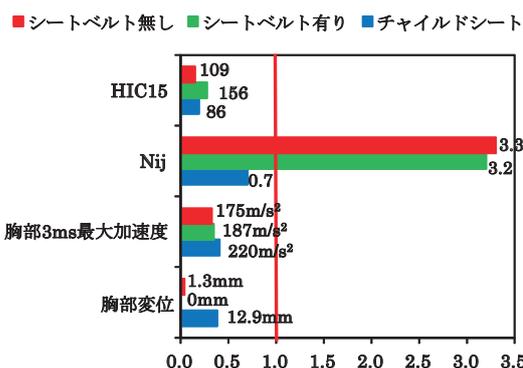


図6 傷害値と基準値の比

## 3. まとめ

今回の調査で使用した車両において、前向きチャイルドシートを使用して子供乗員を正しく拘束された場合は、助手席子供乗員がエアバッグにより加害される可能性は低いと考えられる。シートベルトを使用しない場合、もしくはラップベルトのみで拘束した場合は、頸部の傷害値が大きく、助手席子供乗員がエアバッグにより頸部を加害される可能性が高いと考えられる。このことから、拘束条件の違いにより助手席子供乗員にエアバッグが与える影響が異なることが確認できた。

今後は、展開方法の異なるエアバッグや異なる子供の初期姿勢でのさらなる調査を実施する予定である。

## 参考文献

- 1) Fredrik Heurlin, et al., "P Front passenger airbag benefits for restrained forward-facing children", IRCOBI Conference, IRC-16-43 (2016)
- 2) Rolf Eppinger, et al., "Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems - II", NHTSA (1999)

## ④ 乗員の胸部傷害低減方法に関する検討

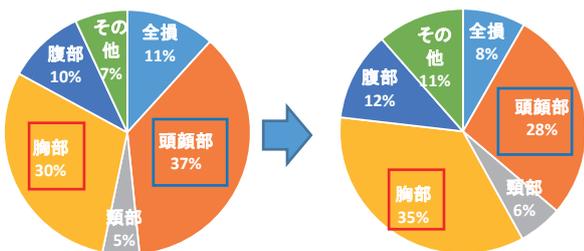
自動車研究部 ※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩

### 1. はじめに

近年、交通事故死者数は減少傾向にあり、平成 28 年中では 3,904 人と、10 年前の平成 18 年中の 6,352 人に比べて 2,448 人減少した。しかしながら、第 10 次交通安全基本計画<sup>1)</sup>で提示している平成 32 年中の交通事故死者数を 2,500 人以下とする目標を達成するためには、車両乗員の安全向上についても、より一層の対策を講じる必要がある。我々は、これまで胸部傷害低減に着目して乗員安全性向上の検討を行ってきた<sup>2)</sup>。今回は前面衝突時の胸部傷害の低減方法としてシートベルトのフォースリミッタの胸部傷害低減効果に着目し、スレッド試験による検討を行った。

### 2. 乗員の受傷部位の状況

図1に平成 18 年と平成 28 年の自動車乗車中死亡事故における乗員の損傷主部位を示す<sup>3)</sup>。自動車乗車中の死亡者数は、平成 28 年では 10 年前に対して 1021 人減少した。また、乗員の損傷主部位は、頭顔部の割合が 37%から 28%へと 9 ポイント減少したのに対して、胸部では 30%から 35%へと 5 ポイント増加している。



平成 18 年 (n=2,359) 平成 28 年(n=1,338)  
図1 自動車乗車中死亡事故における損傷主部位

### 3. スレッド実験

#### 3.1. 実験条件及び実験方法

乗用車は、事故時の乗員保護のために、シートベルトやエアバッグを装備している。このうちシートベルトは、主に運転席や助手席において、衝突の瞬間に弛みを巻き取りシートベルトの効果をより確実なものとするプリテンションナーや、乗員の胸部を必要以上に圧迫しないための装置であるフォースリミッタ等が普及している。

表1に実験条件を示す。まず、同一フォースリミッタ (5.0kN) でエアバッグ有無の場合で比較を行い、胸部たわみに対するエアバッグの寄与度を確認した (Test 1 , Test 4)。次に、フォースリミッタの設定値を 5.0kN、2.6kN 及びフォースリミッタなしの場合で胸部たわみの低減効果を確認した (Test 1 , Test2 , Test 3)。

表1 実験条件

	エアバッグ有り	エアバッグ無し
FL: 5.0 kN	Test 1	Test 4
FL: 2.6 kN	Test 2	—
FL: なし	Test 3	—

FL:Force Limiter

図 2 に実験状況と実験に用いたスレッドの加速度及び速度波形を示す。加速度波形は、ホワイトボディと同型式車両を用いて実施した衝突速度 50km/h におけるフルラップ前面衝突試験の車体減速度を用いた。スレッド試験は、実車衝突時の車体減速度でスレッドを加速することにより、台上で衝突現象を模擬する試験法である。乗員傷害値計測は、運転席に成人男性ダミーである HybridIIIAM50 を搭載して実施した。

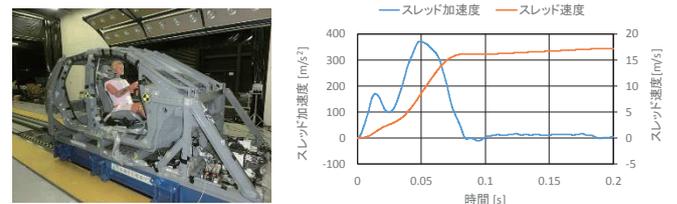
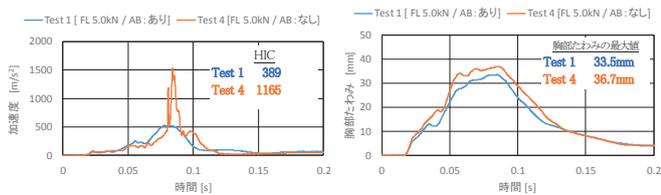


図 2 スレッド加速度及び速度波形

#### 3.2. 試験結果

まず、シートベルトのフォースリミッタが 5.0kN の場合について、エアバッグ有りの場合と無しの場合のダミー傷害値を図3に示す。頭部合成加速度は、エアバッグが有りの場合と無しの場合とで大きな差が生じた。これに対して、胸部たわみは、エアバッグ有りの場合は 33.5mm であったのに対して、エアバッグ無しでは、36.7mm とその差は 3.2mm と頭部ほどの大きな差はなかった。

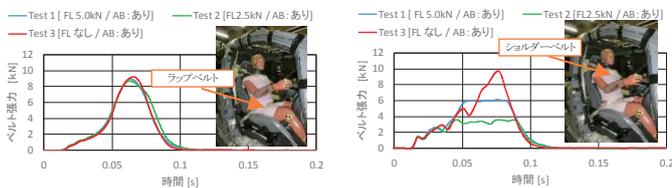


頭部合成加速度 胸部たわみ

図3 同一フォースリミッタ荷重でのエアバッグ有無による傷害値特性

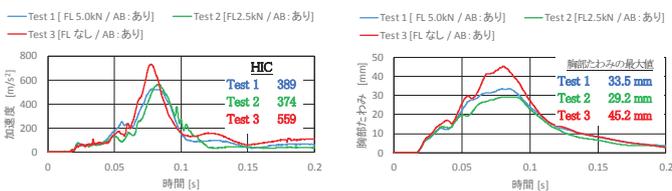
次に、フォースリミッタ調整による胸部たわみの低減効果について、シートベルト張力を図4に、傷害値を図5に示す。ショルダーベルト張力はフォースリミッタ有りの場合、衝突開始後に増加し、設定値付近ではほぼ一定で推移しているが、フォースリミッタ無しの場合では、ほぼ一様に張力が増加している。これに対して、ラップベルト張力は、フォースリミッタの設定によらずほぼ同等であった。

傷害値については、HIC ではフォースリミッタが 5.0kN と 2.6kN とでほぼ同等であったのに対して、胸部たわみでは、フォースリミッタが 5.0kN で 33.5mm、2.6kN で 29.2mm と約13%低減した。



ラップベルト張力 ショルダーベルト張力

図4 シートベルト張力



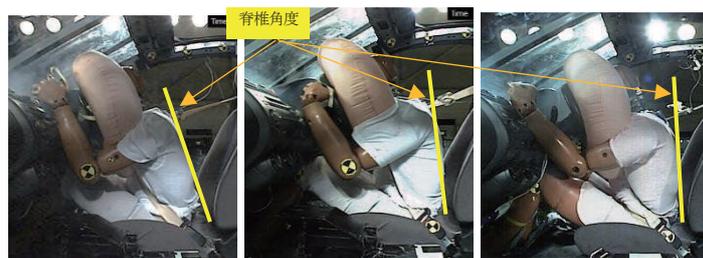
頭部合成加速度 胸部たわみ

図5 フォースリミッタ荷重による傷害値特性

図6にダミーの上体移動量最大時の挙動を示す。フォースリミッタ無しの場合では、ショルダーシートベルトは胸部を強く保持するため、ダミーの上体はほとんど前屈していない。これに対して、フォースリミッタ有りの場合では、シートベルトによる胸部保持は、フォースリミッタにより緩

和されるためダミーの上体移動量は増加する傾向にあることが分かる。今回の実験では、ダミー頭部のエアバックの有効範囲からの逸脱や、胸部のハンドル衝突はなかったが、車体減速度が高い軽自動車<sup>4)</sup>や、大柄のダミーの場合では上体移動量がより増大し衝突の危険も考えられる。

以上より、シートベルトのフォースリミッタを小さくすることは、乗員の胸部たわみ低減対策には有効であるが、上体移動量の増大を伴うため、車体減速度の低減対策等もあわせて実施する必要があるといえる。



FL:2.6 kN FL:5.0 kN FL:なし

図6 上体移動量最大時のダミー挙動

#### 4. まとめ

今回の実験では、フォースリミッタが胸部たわみの減少に有効な装置であることが確認でき、さらに、設定値の調整により胸部たわみをより少なくすることが可能であることが分かった。一方で、フォースリミッタの調整だけでは、乗員の上体移動量が増加しこれまで起こらなかったハンドル等の車室内部位との二次衝突の危険性も増加することが分かった。

近年、自動車乗車中の死亡事故においては、胸部の受傷割合が増えている。このため、交通事故時の乗員死傷者数の低減を図るためには、今後ともシートベルトやエアバッグの性能向上、車体減速度の低減など総合的な対策が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/koutu/kihon/keikaku10/index.html>
- 2) 細川ほか、前面衝突時における車両乗員の胸部傷害について、交通安全環境研究所フォーラム 2016 講演概要 pp.83-84
- 3) 交通統計, (公財)交通事故総合分析センター
- 4) Mizuno, K., et al. "The Crashworthiness of Minicars in Frontal Impact Tests" 23th ESV, Paper Number ,13-0255 (2013).

## ⑤ 自動命令型操舵機能の試験法（案）の実車による検証

自動車研究部 ※児島 亨

自動車認証審査部 伊原 徹

### 1. はじめに

国連自動車基準調和世界フォーラム（WP29）のブレーキと走行装置に関する専門家分科会（GRRF）において、自動操舵専門家会議が設立され、自動命令型操舵機能（Automatically Commanded Steering Function、以下 ACSF とする）の国際基準（R79 改正）が検討されており、その一部が 2017 年 3 月開催の WP29 で採択されている。

ACSF の機能のうち、片側 2 車線以上の自動車専用道を走行中に車線変更を行う機能については、隣接車線を走行する車両の接近をシステムが検知し、一定の範囲内に接近している場合には車線変更を中止する等の要件が必要であり、本要件を確認するための試験法が自動操舵専門家会議で提案されている。本稿では、GPS の位置情報を用いて複数台の車両の位置及び速度を同時に計測可能な装置を製作し、実車による試験法（案）の検証を行った結果について報告する。

### 2. 実験方法

#### 2. 1. 実車で検証した ACSF の試験法について

第 5 回自動操舵専門家会議において、ACSF カテゴリ E（システム ON 時、ドライバーの承認を得ること無くシステムの判断による車線変更を実施）の要件を規定する条文ドラフトが日本とドイツの共同提案（ACSF-05-03）として提示された。本ドラフトには試験法（案）として“Functionality Test 2 (FU2) : Test for the abort of lane change”（以下、FU2 試験とする）及び“Functionality Test 3 (FU3) : Test for lane change”（以下、FU3 試験とする）が含まれている（試験法の原案作成はドイツ）。図 1 に FU2 試験の概念図、図 2 に FU3 試験の概念図を示す。

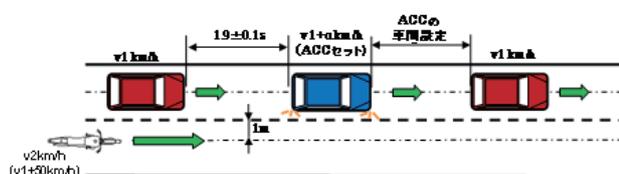


図 1 FU2 試験の概念図

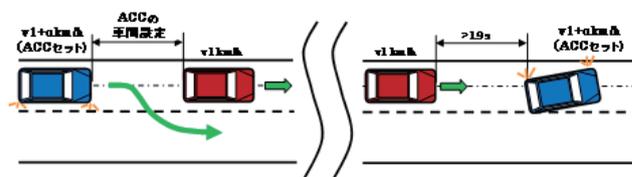


図 2 FU3 試験の概念図

FU2 試験は試験車両が前方車両（4 輪車）を追い越すために車線変更を行おうとしたところに隣の車線の後方から 2 輪車が相対速度 50km/h で試験車両に接近し、車線変更を中止する試験シナリオである。また、FU3 試験は試験車両が車線変更を行って前方車両（4 輪車）を追い越す試験シナリオである。

#### 2. 2. 実車検証で使用した計測装置について

FU2 試験を行うためには、試験車両を含む 3 台の 4 輪車及び 1 台の 2 輪車の速度及び位置等を同時かつ高精度に計測することが必要である。そこで、固定基地局を設置して GPS の位置情報を補正し、±2cm 以内の精度で位置を計測することが可能な RTK-GPS 測位方式の速度・距離計をベースとした計測装置を製作した。図 3 に 4 台の車両の外観及び車両間のデータ送受信の関係を示す。試験車両以外の 3 台のデータは無線 LAN で試験車両に送信し、試験車両に搭載した演算装置にて 2 台の車両間のデータを用いた演算（相対速度、車間時間等）を行う。各車両のデータは試験車両に搭載したノートパソコンに一括して記録することが可能である。また、各車両に搭載したモニタ画面上に、自車両の速度の他、横位置、車間時間等の目

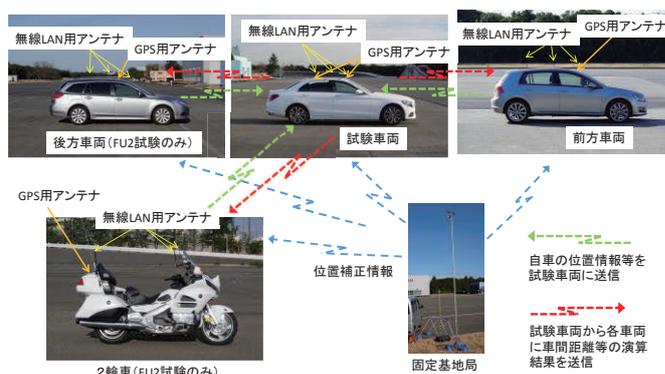


図 3 車両の外観及びデータ送受信の概念図

標値に対する偏差をリアルタイムに表示することにより、走行時のガイダンスとすることを可能にした。

図4にFU2試験の実車検証時の画像の例を示す。



図4 実車検証時の画像の例 (FU2 試験)

### 3. 実車検証結果

実車検証を実施した時点で、ACSF カテゴリ E に相当する機能を有する市販車両は存在しなかったため、システムによる車線変更機能については実車検証の対象外とし、試験車両のハンドル操作は手動で行った。尚、試験車両の速度制御については、試験法(案)で規定されている通り Adaptive Cruise Control (以下、ACC とする) を使用した。

図5にFU2試験時の時系列データの例を示す。4輪車3台及び2輪車1台の速度及び横位置を連続して計測可能であることを確認した。本図では後方車両の速度の変化が他の2台の4輪車に比べてやや大きくなっているが、十分な習熟走行を行うことによって、速度の公差である $\pm 2\text{km/h}$ は実現可能であると考えられる。但し、図6に示した試験車両と後方車両の車間時間に関しては、試験法(案)で規定されている $1.9\pm 0.1$ 秒は実現が困難であることが分かった。FU2試験における後方車両の役割は後方から接近する2輪車を検知しにくくすることであることを考慮すると、例えば、「車間時間は2.0秒以下のこと」のように規定する方がより現実的であると考えられる。また、試験法(案)では2輪車の横位置を $1\pm 0.25\text{m}$ としているが、実車検証の結果から、 $1\pm 0.5\text{m}$ 程度が現実的であると考えられる。また、試験車両の速度については、自動車試験場では $80\text{km/h}$ 程度が上限と考えられる。

FU3試験については、データ計測、走行時の公差、直線距離ともに特に問題は無く、実施可能であることを確認した。尚、今回の実車検証に使用した試験車両の場合、自動車試験場の直線区間内で追い越しを完了させるためには、ACCの設定車速を前方車両の速度 $+30\text{km/h}$ に設定する必要がある。また、追い越し前の試験車両の速度については、自動車試験場では

$80\text{km/h}$ 程度が上限と考えられる。

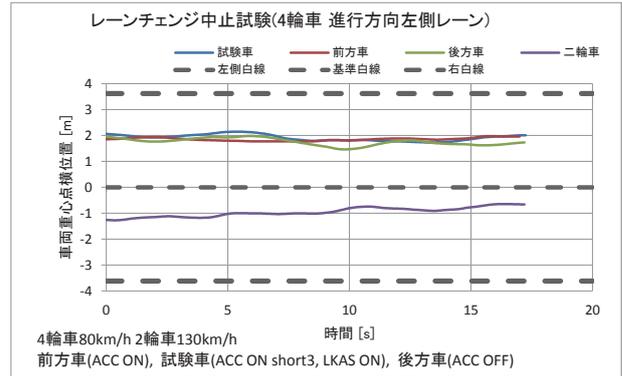
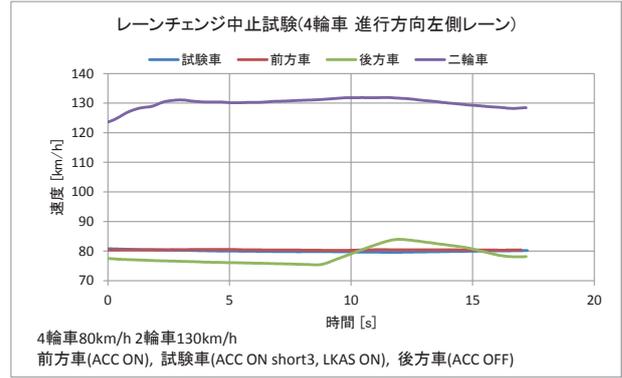


図5 実車検証結果の例 (FU2 試験)

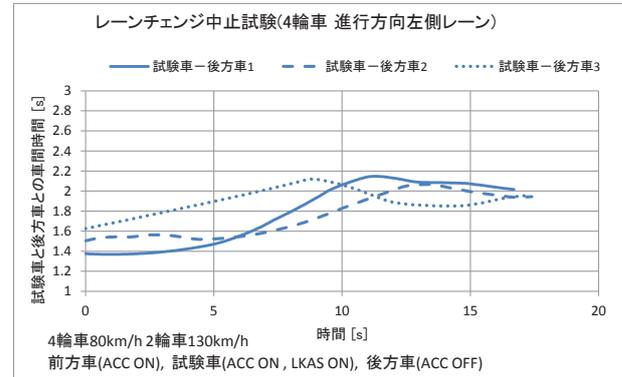


図6 試験車両と後方車両の車間時間 (FU2 試験)

### 4. まとめ

本調査では、ACSF カテゴリ E の試験法(案)として提案されているFU2試験及びFU3試験について、自動車試験場で実車検証を実施した。検証を行うにあたり、RTK-GPS速度・距離計をベースとし、4輪車3台及び2輪車1台の位置、速度等を同時かつ高精度に計測することが可能な計測装置を製作した。

実車検証の結果、FU2試験時の2輪車の横位置及び後方車両の車間時間の公差をより現実的な値へ見直す必要はあるが、大枠では自動車試験場でFU2試験及びFU3試験を実施可能であることを確認した。

## ⑥ 一般及び軽度認知障害高齢者の運転行動の分析

自動車研究部 ※榎本 恵 関根 道昭 杏林大学医学部 長谷川 浩 元自動車研究部 森田 和元

### 1. はじめに

わが国は2030年には全人口に占める65歳以上の割合が約32%と予測され、高齢ドライバも増加していくことが見込まれている。高齢ドライバは運転頻度を考慮すると、他の年齢層に比べ事故を起こしやすいことが分かっている<sup>1)</sup>。

65歳以上の罹患率が10-20%である軽度認知障害(mild cognitive impairment: 以下、MCI)とは、正常の生理的な老化過程で予想されるよりも認知機能が低下している状態であり、主観的・客観的に記憶障害を認めるが、全般的認知機能や基本的日常生活能力はほぼ保たれている状態である<sup>2)</sup>。認知症への年間移行率は10~15%、5年間で約半数が進行するといわれている<sup>3)</sup>。

MCIを罹患していても、基本的な日常生活機能は正常であり、移動のための自動車の運転は可能である。このため、MCI傾向が見られる高齢ドライバが安心して運転できるよう、適切な運転支援方法を検討することとした。まず、本研究では支援が必要な場面を抽出することとした。

### 2. 実験方法

ドライビングシミュレータ(以下、DS)を用い、市街地走行中のイベントに対して走行データを取得した。あわせて、認知機能検査を行った。

#### 2. 1. 実験参加者

杏林大学においてMCIと診断された男性3名(70歳、79歳、82歳、以下、MCI高齢者)及び三鷹市在住、運転頻度が週に数回である65歳以上の男女10名(平均年齢68.2歳、最小65歳、最高73歳、以下、一般高齢者)が参加した。

この実験は杏林大学医学部倫理委員会の審査及び(独)自動車技術総合機構の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づいて行った。

#### 2. 2. イベントとシナリオ

子どもの飛び出しなど市街地走行時に遭遇する可能性のある6種類のイベントに対し、単独で発生する場合と同時に別のイベントが発生する場合(計12種類、図1)においての実験参加者のそれぞれの反応時間等を比較することとした。

片側1車線の市街地道路約1.3kmを1走行とし、一人あたり8走行中、12種類のイベントを2回ずつ計24回発生させた。

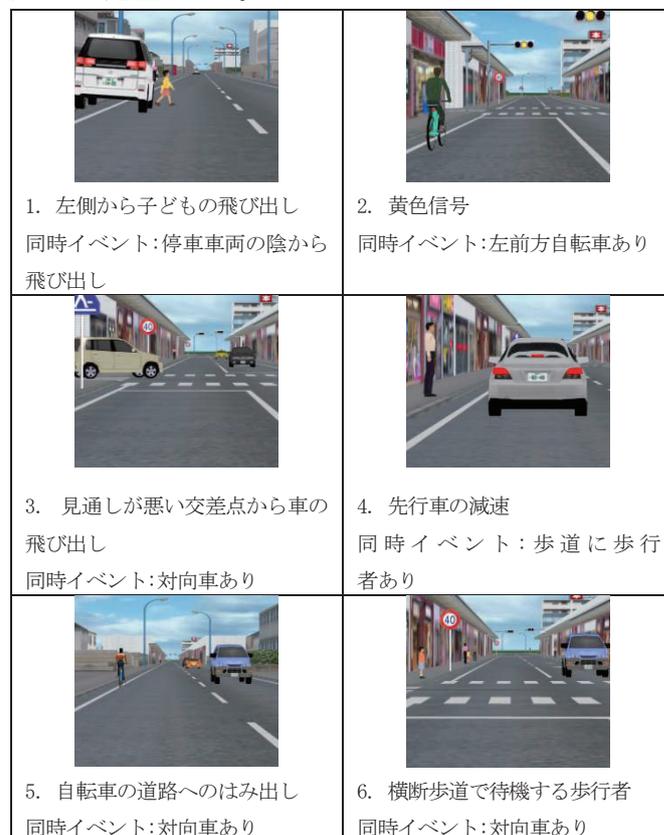


図1 イベント一覧(6種類×同時イベント有無)

#### 2. 3. 認知機能検査

DS走行の合間に、認知症のスクリーニングとして一般に広く用いられている精神機能短縮検査(Mini-Mental State Examination: 以下、MMSE)、高齢者用うつ尺度短縮版日本版(GDS-S-J: 以下、GDS)<sup>4)</sup>及びTrail Making Test(以下、TMT)<sup>5)</sup>を実施した。

TMTは、脳機能を評価する検査であり、タイプAは「1~25」までの数字を順に結び、タイプBは「1~13」までの数字と「あ~し」までのひらがなを交互に結んでいく(図2)。

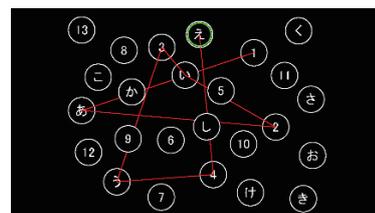


図2 TMT-Type B の例

### 3. 実験結果と考察

#### 3. 1. イベントに対する反応

各イベントにおいて、MCI 高齢者の人数が少なかったこともあり、一般高齢者との間に大きな差は見られなかったが、単独イベントと同時イベントには差があった。主な比較結果について述べる。

##### ・左側から子どもの飛び出し

歩行者は、自車両から歩行者までの距離を自車速度で除した TTC (Time To Collision) が 4 秒の時点で横断を開始させた。駐車車両の陰からの飛び出しでは、TTC が 4 秒の時点で歩行者を視認できるよう配置した。ブレーキタイミングに大きな差はなかったが、アクセルペダルを離れた時点の歩行者までの TTC は、単独の場合に比べて駐車車両の陰からの飛び出しの場合に約 1.2 秒短くなった。歩行者がいるかもしれないという予測に基づき、早めにアクセルペダルを離す行動が見られなかった。

##### ・黄色信号

黄色信号点灯からブレーキを踏むまでの時間を調べたところ、単独イベントに比べて自転車ありの場合に約 0.8 秒長くなった。目前の自転車に注意を向けていたため、距離が離れた信号への対応が遅れたと考えられる。

##### ・自転車の道路へのはみ出し

自転車に対し減速した割合は、単独イベントの場合 47%、対向車ありの場合 88%であった。

##### ・横断歩道で待機する歩行者

歩行者に対し停止または減速した割合は、単独イベント 31%、対向車あり 56%であった。単独のイベントでは自転車や歩行者へ注意が向きにくい傾向がみられた。

#### 3. 2. 認知機能テスト

MMSE の平均は、一般高齢者 28.0 点、MCI 高齢者 27.9 点であり、一般高齢者において 26 点未満 (26 点以上が正常) は 2 名であった。一般高齢者の GDS の結果、5 点以上 (うつ傾向) 1 名、10 点以上 (うつ) 1 名であった。このことから、一般高齢者に認知機能に障害がある者が含まれていた可能性が考えられる。

また、追従走行において TMT との相関が見られた先行研究<sup>9)</sup>を参考に、TMT 遂行時間と速度維持のためのアクセル操作の関係を分析した。図 3 に難易度が高い TMT-B の遂行時間 (横軸) と 1 走行中にアクセルペダルを離れた平均回数 (縦軸) との関係を示す。TMT

の遂行時間が長くなるにつれ、アクセルを離す回数が増加し、細やかなアクセル操作ができない傾向が見られた。

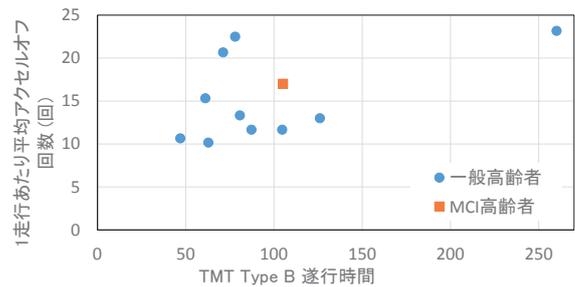


図 3 TMT とアクセルペダル操作の関係

#### 4. まとめ

MCI 罹患者を含む高齢ドライバーへの支援が必要な場面を、DS 走行と認知機能テストを用いて検討した。

- ・予測に応じた行動が不得手な可能性が考えられた。
- ・同時に注意を払う必要がある場面において、遠くの事象への注意がおろそかになる傾向が見られた。
- ・自転車や歩行者といった小さな対象に気がつきにくい可能性がある。
- ・認知機能が低下するにつれ、細やかなアクセル操作が苦手であると考えられる。

今後、実験参加者の追加及びイベントの追加による検討とともに、MCI 罹患者を含めた一般高齢者に対して必要な運転支援技術の要件を明らかにする。

#### 参考文献

- 1) 森田和元ほか: 被追突事故件数を媒介とした高齢ドライバーの交通事故の分析, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 3, p.903-908 (2013)
- 2) 玉岡 晃: MCI の管理 (アルツハイマー病) -- (予防・管理), 最新医学, Vol. 66, p. 2156-2165 (2011)
- 3) 児玉 直樹ほか: 健忘型軽度認知障害からアルツハイマー型認知症への進行に関する研究, 老年精神医学雑誌, Vol. 22, No. 6, p.717-722 (2011)
- 4) 杉下 守弘ほか: 高齢者用うつ尺度短縮版-日本版 (GDS-S-J)の作成について, 認知神経科学, Vol. 11, No. 1, p.87-90 (2009)
- 5) 眞田 敏ほか: Trail Making Test 指標の発達の発達の検討, 岡山大学大学院教育学研究科 研究集録, No. 150, p.9-16 (2012)
- 6) Choi Seong Youl *et al.*: Cut-off point for the trail making test to predict unsafe driving after stroke., Journal of physical therapy science, Vol. 28, No. 7, p.2100-2103 (2016)

# ⑦ 車両停車方向の測定方法に関する検討

自動車研究部

※松村 英樹

## 1. はじめに

乗用車などに搭載されている自動ブレーキのシステムは、車両周囲の物体をセンサで検知し、ブレーキを作動させる判断を行っている。このセンサとしてミリ波レーダを使用している車両があるが、衝突事故等でミリ波レーダの照射軸がずれると、誤検知により自動ブレーキが不要作動する可能性がある。そのため、今後、整備などでミリ波レーダの照射軸の軸ずれの確認を行うことが必要になると考えられる。

ミリ波レーダの軸ずれの確認を目的として、今回は車両停車方向の測定方法を検討し、その精度について確認した。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 測定システム

停車方向の測定システムの概略を図1に示し、測定装置の外観を図2に示す。

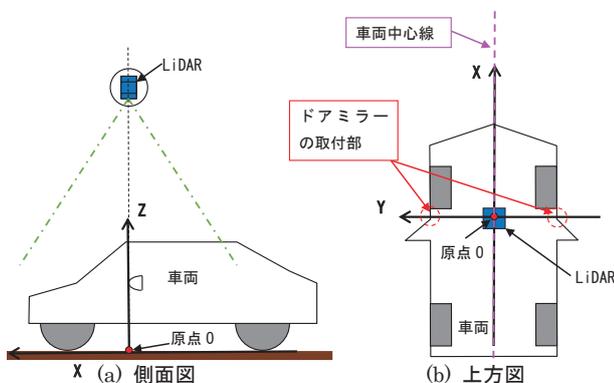


図1 測定システムの概略

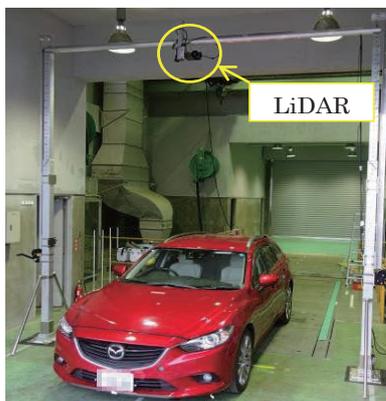


図2 測定装置の外観

最初、図1に示すように地面に原点Oを設定し、原点Oで直交する2本の水平線をX軸及びY軸、原点Oを通る鉛直線をZ軸と定義した。そして、図1(b)に示すように、車両中心線とX軸が一致し、左右のドアミラーの取付部がY軸上となる位置に車両を設置した。

停車方向を測定するセンサにLight Detection and Ranging (LiDAR)を使用した。今回のLiDARは、Quanergy Systems社製M8-1を用いた。

LiDARにより、車両形状について点群の3次元座標(X,Y,Z)データを出力した。

### 2. 2. 測定手順

停車方向の測定の概略を図3に示す。図3に示すように、X軸と車両中心線とのなす角度を「停車角度」とした。LiDARによる停車角度の測定手順を次の①から⑤に示す。

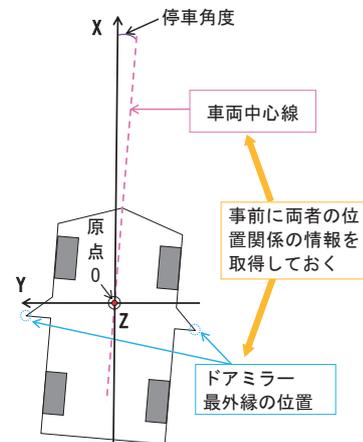


図3 停車角度の測定の概略

- ① 実験条件(2.3.節)で設定する停車角度に車両を設置する。この設定した停車角度を以後、「設定値」という。
- ② LiDARにより車両形状の点群の座標データを出力する。
- ③ ②の測定結果から、ドアミラー最外縁の座標を検出する。
- ④ 事前の実車測定により取得したドアミラー最外縁と車両中心線の位置関係の情報を用いて、③の

ドアミラー最外縁の座標データから車両中心線を求める。

- ⑤ ④の結果より、X軸と車両中心線から停車角度を求める。ここで求めた停車角度を以後、「測定値」という。

### 2. 3. 実験条件

停車角度の設定値は、車両上方から見て右回りに0.5°、1.0°、2.0°、3.0°とした。各停車角度において測定を10回行った。

### 3. 実験結果及び考察

LiDAR で出力した点群の座標データを白点で表した結果の例を図4に示す。図5(a)にLiDARによるドアミラー最外縁の検出結果の一例を示し、図5(b)にその時の車両上部からのカメラ画像を示す。また、図5には、左右のドアミラー最外縁を赤の線分で結んだ結果も同時に示す。図5の例では、ドアミラー最外縁がLiDARにより正しく検出されている。

図6に各停車角度の設定値に対する停車角度の測定値を示す。図6において、延べ40回の実験のうち、33回において停車角度の測定値と設定値の差が $\pm 0.5^\circ$ 以下となった。一方、残りの7回については、停車角度の測定値と設定値の差が大きく、精度の低い結果となった。

これらの精度の低い結果が生じたのは、以下の(ア)から(ウ)のためと考えられる(図7参照)。これらは測定システムの不備が原因である。

- (ア) LiDAR の出力データの欠損
- (イ) LiDAR のノイズデータの誤検出
- (ウ) ドアミラー最外縁の検出失敗

以上のように、今回のLiDARによる停車角度の測定では、精度が低くなる場合も少なからずあり、測定システムの大幅な改善が必要である。

### 4. まとめ

今回、LiDARによる停車角度の測定方法の検討及びその精度の確認を行った。その結果、停車角度を一定の精度で測定できた一方で、精度の低い結果も見られた。

今後の課題として、測定システムの大幅な改善が必用である。また、LiDARから出力された点群データから画像処理により車両中心線を求めるなどアルゴリズムの改良が必要であると考えられる。

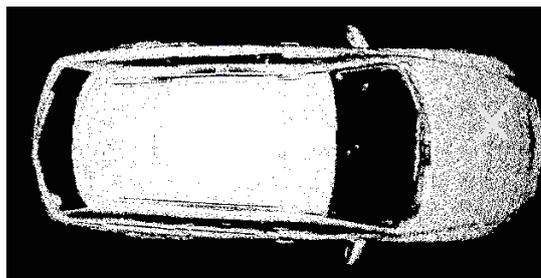
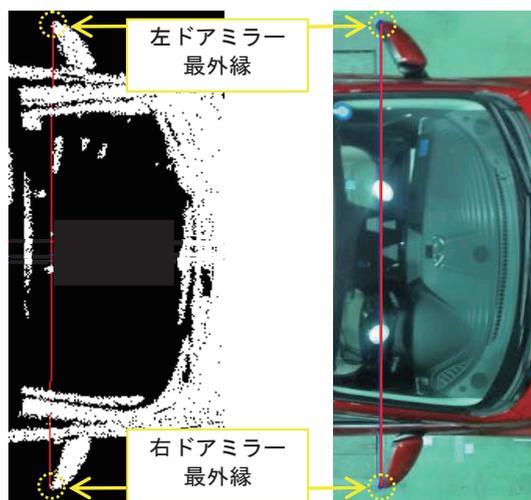


図4 LiDARによる出力結果の例



(a) LiDAR のデータ (b) カメラ画像

図5 ドアミラー最外縁の検出結果の一例

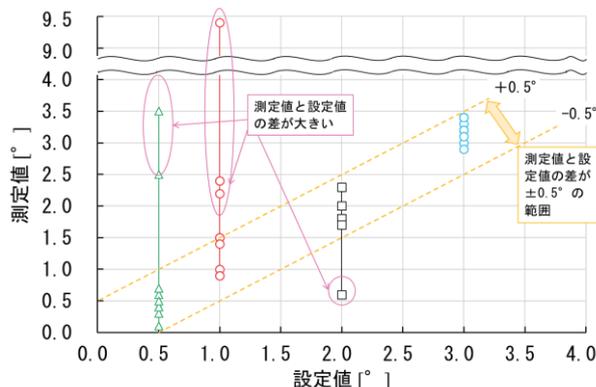


図6 停車角度の測定結果

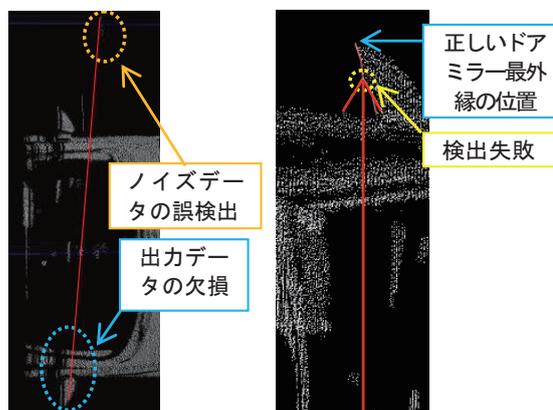


図7 停車角度測定での精度の低い結果の一例

## ⑧ FCV における水素燃料消費率測定方法の国内導入に関する検討

### —実車を用いた WLTP のバリデーション—

自動車研究部 ※小鹿 健一郎 新国 哲也

#### 1. はじめに

自動車の性能評価手法の共通化について、国際基準調和を推進しようという潮流を背景に、2016年11月に WLTP(Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)<sup>1)</sup>が国際技術基準(Global technical regulation)として成立した。この WLTP には燃料電池自動車の水素燃料消費率の測定方法も含まれており、国内導入が完了すると、国内で販売される燃料電池自動車の水素燃料消費率をカタログ等に表示することが可能となる。2014年12月より国内でも量産型の燃料電池自動車が販売されているが、現状では水素燃料消費率の試験法が未整備であるため、自動車メーカーが独自に測定した一充填走行距離を参考値として表示する状態にある(2017年9月現在)。本研究では、水素燃料消費率の測定において影響を与える因子を抽出し、それらが実際にどの程度影響を与えるか実車を用いて明らかにすることを目的とした。

#### 2. 実験の概要

WLTP 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参照し<sup>1)</sup>、WLTC(Worldwide Light-duty Test Cycles)(図1)における Low フェーズ、Medium フェーズ、High フェーズおよび Low-Medium-High の3フェーズ連続(以後 LMH と記述)における水素燃料消費率を求める。ここで得られる水素燃料消費率および水素使用量をもとに、①水素ボンベの重量測定による影響、②水素供給配管の構造に由来する水素損失の影響、③水素ボンベ切り替えの影響を評価する。また、④Low フェーズ、Medium フェーズ、High フェーズそれぞれの水素燃料消費率を LMH での水素燃料消費率を求める際に使用した補正直線の傾きを使用して簡便に補正する場合(簡便法を使用した場合)の影響についても評価する。ここで①②③は、車外の水素ボンベを使用することに起因す

る燃料電池自動車特有の因子であり、④は駆動用バッテリーを搭載する車両(ハイブリッド車)にも共通する因子である。さらに、⑤実験の繰り返しの際に発生する誤差の影響についても一例を示し、これらの影響度を比較する。

実験装置等の概略としては、燃料電池自動車の外部に設置された水素ボンベから、車両内の燃料電池に水素が供給される仕組みとなっている。消費した水素の量は、当該水素ボンベの走行前後の重量差で定義される。走行試験はシャシダイナモメーター上で行い、ローラの回転数より実走行距離が計測される。

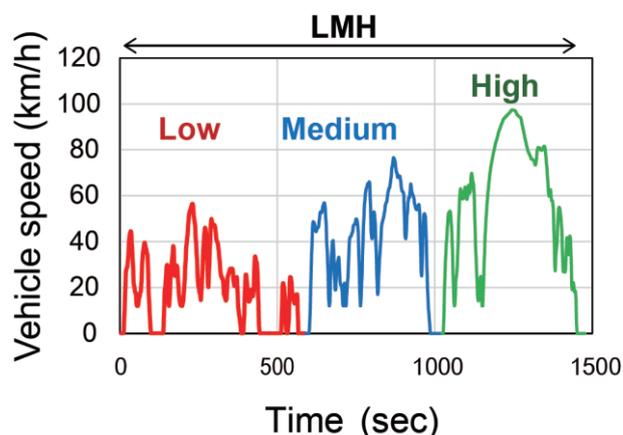


図1 試験に使用した走行パターン(WLTC)

#### 3. 実験結果

##### 3. 1. 走行パターンによる水素消費量の比較

走行パターンの燃費への影響度を評価するために、各走行パターンにおける水素消費量を測定し、Low フェーズの走行における水素消費量が最も小さいことを明らかにした(図2)。これにより、水素消費量の測定精度が燃費に与える影響が最も大きい走行パターンが Low フェーズであることが示された。また実際の車両試験の結果と、今後の車両性能の向上を想定し、Low フェーズの水素燃料消費率 150 km/kg の車

両を想定して影響度評価(3.2.および 3.3.)を行うこととした。

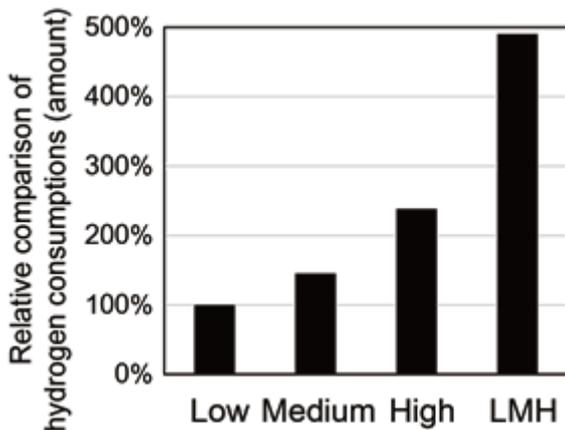


図2 各車速パターンに対する水素燃料消費量の相対比較 (Low=100%)

### 3. 2. 燃料電池自動車に特有の要因が燃費に与える影響度評価

①約 50 kg の水素ボンベに対して約 20 g の水素消費量を測定する計量器の測定精度に起因する影響、②水素供給配管の構造に由来する水素損失の影響 (一部の水素が配管内に留まり走行に使用されない)、③各フェーズ間の水素ボンベ切り替えに伴う影響をそれぞれ評価したところ、Low フェーズの水素燃料消費率 150 km/kg に対する最大誤差は、それぞれ、0.5%、0.3%、ほとんど影響なしであった。

### 3. 3. 燃料電池自動車に特有でない要因が燃費に与える影響度評価

燃料電池自動車に特有でない要因として④簡便法(前述)を使用した際の影響度と⑤試験の繰り返し誤差による影響度を評価した。簡便法を用いた際の影響を評価するために、試験開始時のハイブリッドシステムにおける駆動用バッテリーの残存電力量を調整し、試験前後における駆動用バッテリーからの電力収支を変化させて Low フェーズの燃費を求めた。簡便法を用いた際の影響は、単位距離あたり電力収支(図3横軸)の絶対値が大きいほど燃費への影響度も大きい。これは LMH で求めた補正直線を Low フェーズの燃費の補正に適用した場合、試験前後の電力収支が大きいと誤差が生ずることを示す。その大きさは、今回の試験における単位距離あたり電力収支の実測幅 (-30.0~+31.4 Wh/km) の範囲で最大 1.8%であった。一方、

試験の繰り返し誤差は、8回の試験で最大 2.0%であった。

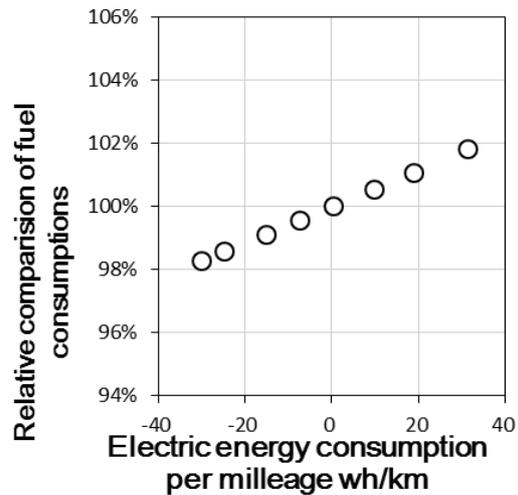


図3 簡便法を使用した際の燃費への影響

## 4. おわりに

今回、本研究では、水素燃料消費率の測定において影響を与える因子を抽出し、それらが実際にどの程度影響を与えるか実車を用いて明らかにした。前述①②③の車外の水素ボンベを使用することに起因する燃料電池自動車特有の因子が燃費におよぼす影響は 1%未満と考えられ、ハイブリッド車や内燃機関車にも共通する因子④⑤が燃費におよぼす影響に比べて、同等かまたは小さいことが示された。また今回の試験結果から、WLTP に規定された天秤等の機器および測定プロセスにおける測定精度を総合的に勘案すると、最小読み取り値 (0.1 g) の天秤を用いて約 20 g の水素を計量する本手法では、水素燃料消費率は整数 3 桁で表示されることが妥当であることが示された (例、149 km/kg、151 km/kg 等)。試験法が国内導入された際は、水素燃料消費率は整数 3 桁での表示となる見込みである。

### 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](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29grpe/ECE-TRANS-WP29-GRPE-2016-03e_clean.docx)

# ⑨ HILS の知見を活用したディーゼル重量車の高精度排出ガス試験法の一検討

自動車研究部 ※奥井 伸宜 山口 恭平

## 1. はじめに

地球温暖化による気候変動等への対策の一つとして、自動車から排出される二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 等の低減が求められている。それに加えて、重量ディーゼル車においては、相次ぐ排出ガス規制強化 (直近のものは 2016~2018 年規制) への対応も求められ、燃費性能及び排出ガス特性の両立に向けた研究、開発が進められている。その結果現行モデルでは過給装置、排出ガス再循環装置 (EGR : Exhaust Gas Recirculation) 及び排出ガス後処理装置等が導入されている。一方、これらの環境対応技術搭載車では、実路走行時とモード試験時の燃費性能及び排出ガス特性が乖離しているという指摘がある。当研究所では、乖離する原因を抽出し対策を施すことで、実車両の使用状態に近づけた試験法策定に向けた技術的検討を行っている。

過去に実施した研究で、ハイブリッド重量車の燃費性能及び排出ガス特性を調査した結果、人間がアクセルペダル及びブレーキペダルを操作し運転した場合よりも、HILS (Hardware-In-the-Loop-Simulator) 上に組み込まれるドライバモデルで運転した方が、それらの値が優れることが分かり、ペダル操作の違いが乖離の一要因となることを報告した<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、「ギヤの変速操作」に着目した。始めに、実車両における走行時の変速特性を調査し

た。次に認証試験モードに、取得した実車両の変速特性を考慮させ、台上試験でエンジン性能や排出ガス特性を評価した。以下に、結果を紹介する。

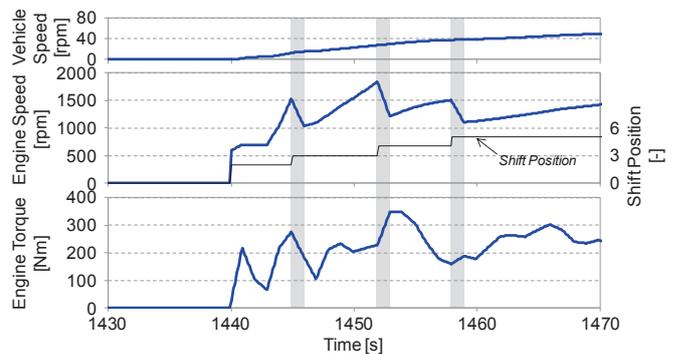
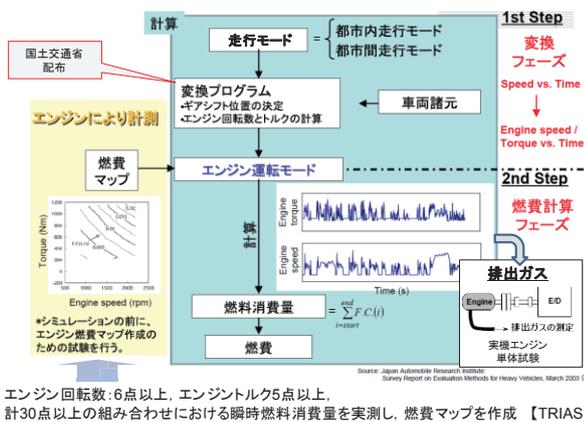
## 2. 従来重量車の排出ガス・燃費試験法

図 1 に示すように、重量車における排出ガス等の試験では実車両を使用せず、計算機上で仮想車両を走行させ、エンジン運転モード (1 秒ごとのエンジン回転数、エンジントルク) を算出する。このエンジン運転モードの指令に基づき、実エンジンの燃費マップから燃費を、エンジン単体運転から排出ガスを評価する<sup>3)</sup>。

図 2 に、運転パターンの一例 (JE05 モード高速走行開始部) を示す。車両総重量 (GVW : Gross Vehicle Weight) 8t/6 速 MT (Manual Transmission) の中型重量車を対象とした。エンジン回転数は、ギヤ変速に伴い高回転数から低回転数へ変動し、その時間幅は 1 秒である (図中の灰色部)。一方、エンジントルクは、ギヤ変速に伴う大きな変動は確認されず、滑らかかつ連続した正側のエンジントルクとなっている。

## 3. 実車両の変速特性の調査

本調査では、仕様の異なる 3 車両、重量車 A (GVW=6.6t/6 速 MT)、ハイブリッド重量車 B (GVW=6.3t/6 速 AMT (Automated Manual Transmission))、重量車 C (GVW=25t/7 速 MT) を用い、シャシダ



エンジン回転数: 6点以上、エンジントルク5点以上、計30点以上の組み合わせにおける瞬間燃料消費量を実測し、燃費マップを作成【TRIAS】

図 2 エンジン運転モードの一例 (JE05 モード)

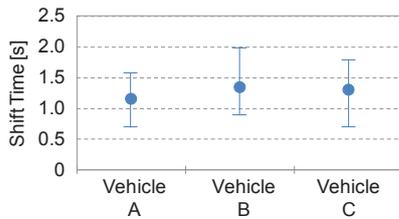


図3 実車両の変速時間 (JE05 モード)

イナモーターで、JE05 モードを走行した。

実車両では、変速時にアクセル開度=0%とした後、クラッチを切る。つまり、動力伝達が切れるため、「トルク中断」が発生することを確認した。また、図3に示す通り、トルク中断が発生する時間(変速時間)を調査した結果、車両重量や変速機の違いによらず、平均で約1.3秒生じることを確認した。

#### 4. 従来試験法の高度化

3章の結果を受け、従来試験法のエンジン運転モードの変速時に、トルク中断時間「1秒」を設定した。ここで、従来試験法の比較対象として、実車両相当の運転挙動が再現できる「拡張HILS(従来HILSのエンジン部分をモデルから実機に変更した装置)2)」を用いた。車両諸元は、2章で用いた中型重量車である。

JE05モード走行全体における、従来試験法で求めたNOx排出率及びトルク中断時間を考慮した際のNOx排出率を図4右側に、拡張HILSで算出した変速時間0秒及び1秒でのNOx排出率を図4左側に示す。これらNOxの計測個所は、排出ガス後処理装置の上流である。従来試験法の変速時にトルク中断時間を考慮させれば、拡張HILSで求めた実車相当とほぼ同じNOx排出率を示すことが分かった。

この図4におけるエンジン出力、NOx、EGR率の各履歴を図5に示す。JE05モード高速走行開始部である。トルク中断1秒を考慮したエンジン単体試験及び拡張HILSによる運転の各履歴は、ほぼ同等の傾向を示した。例えば、両条件ともエンジン出力は、変速時に0kW付近まで低減した。また、NOxは変速直後に多く排出される傾向を示し、この時のEGR率は低くなる傾向を示した。この理由は、基準車速に追従するため、変速直後はエンジンに対し高出力値が要求されるが、この急速なエンジン出力(トルク)の増加に対応するためEGRを減量することから、NOxが排出されやすい状態となったからである。一方、従来試験法では、変速に伴うトルク中断が発生せず、エンジン

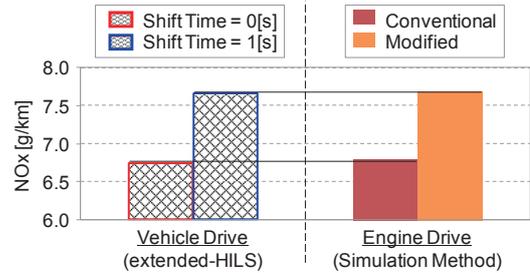


図4 変速時間を考慮した際のNOx排出率

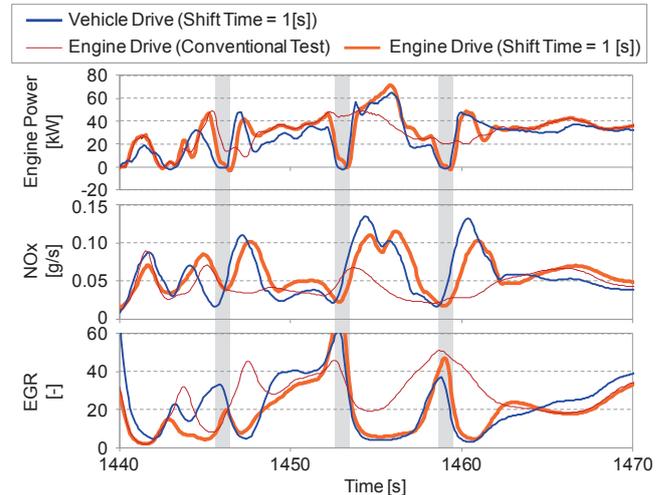


図5 変速時間を考慮した際のエンジン性能等履歴

出力が滑らかかつ連続的に推移していることから、変速直後であってもEGR率20%程度以上を確保でき、NOxがより低減できる状態にあったと考えられる。

#### 5. まとめ

最新ディーゼル重量車の排出ガス試験法の高精度化を検討するにあたり、ギヤの変速操作に着目した。

- (1) 実車両の変速操作には、約1秒の「トルク中断」が発生することが分かった。
- (2) 従来試験法の変速時に1秒の「トルク中断(アクセル開度=0%)」を適用すれば、実車両と同等のエンジン性能及び排出ガス特性が得られた。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：技術指針「ハードウェアインザループシミュレータシステムを用いた電気ハイブリッド重量車の燃料消費率及び排出ガスの試験法について」, 国自環第281号
- 2) 奥井伸宜：HILSドライバモデルの運転操作の違いがハイブリッド重量車の燃費性能・排出ガス特性に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.5, p.1191-1196 (2016)
- 3) 国土交通省：重量車排出ガスの測定方法(別添41), p.34-36 (2008)

# ⑩ 車載型排出ガス測定システムを用いた重量車の路上走行時排出ガス評価手法に関する考察

自動車研究部 ※山本 敏朗 鈴木 央一 山口 恭平 小澤 正弘

## 1. まえがき

排出ガス規制の強化にもかかわらず、路上走行では排出ガスが低減していない車両が存在するとの懸念がある。このことから、中央環境審議会答申「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」にて、路上走行時において新車認証時の排出ガスレベルが維持されていることを確認する手法として、車載型排出ガス測定システム（PEMS: Portable Emissions Measurement System）を用いる方法について検討する必要がある旨が指摘された。本報では、重量車にPEMSを搭載して、種々の走行条件での排出ガスを測定し、それらのデータを用いて、欧州で検討中の手法である Moving Averaging Window（MAW）法を基に、日本の交通事情の中で使用できる重量車の路上走行時における排出ガス評価手法について考察した。

## 2. 実験方法

試験車両は、尿素 SCR システム搭載の小型貨物車（ポスト新長期排出ガス規制適合、車両総重量 6.6t）を用いた。同車両に、PEMS（堀場製作所製 OBS-ONE 車載型排出ガス分析装置）を搭載して、都市内一般道、高速道路、都市間一般道を走行し、NOx 排出量等を測定した。また、路上走行時のエンジン出力を測定するため、プロペラシャフトにトルク計を装着した。トランスミッションのギヤ比とタイヤ径、さらに走行時のエンジン回転速度を用いて算出した車速と、実測した車速を比較することにより、走行時のギヤ位置を推定し、これとプロペラシャフトのトルク値を使ってエンジン出力を算出した。さらに、この手法によるエンジン出力の算出値とシャシダイナモメータ台上試験におけるエンジン要求出力とを比較することにより、本手法が適正であることを検証した。

積載条件は、半積載とした。エンジン冷却水温度を測定し、暖機状態を把握した。テールパイプでの排出ガス温度は、PEMS 付属のピトー管式流量計の温度補

正用温度センサで測定し、尿素 SCR システムが作動する温度の 130℃近傍を把握した。

## 3. 実験結果及び考察

本報で考察する重量車の路上走行時における排出ガス評価手法は、欧州で検討中の MAW 法を基にする。図 1 に、MAW 法の概念図を示す。MAW 法では、計測開始からエンジン仕事を積算して認証時の評価用モードと等価のエンジン仕事量になると最初の Window が生成される。次に、走行時間を 1 秒ずらしてエンジン仕事量が上記 Window と等価となった時点で次の Window が生成される。これを順次繰り返して路上走行全体では多数の Window が生成される。Window 毎に、その Window 内で測定された各排出ガス成分排出量をその Window のエンジン仕事量で除算して、各排出ガス成分の排出率（g/kWh）を算出する。MAW 法は、この排出率を用いて統計学的に評価する方法である。ただし、Window の平均エンジン出力が低いと評価対象から除外するなど、日本の交通事情に合わない点がある。一方、本報で考察する手法は、排出ガス低減システムが機能する通常走行において、NOx 排出量がエンジン回転速度とエンジントルクの関数とみなせることから<sup>1)</sup>、路上走行時に生成する多数の Window から、評価用モードとエンジン使用域が近似する Window を抽出して評価する方法である。以下に、その概要を記す。

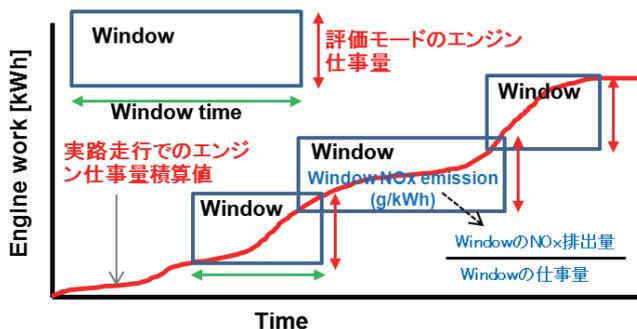


図 1 MAW 法の概念図

### 3. 1. 評価用モード JE05 の平均エンジン出力及びエンジン仕事量の算定

MAW 法で用いる評価用モードは、日本の都市部の走行条件を代表する JE05 とした。試験車両の JE05 モード走行時の瞬時エンジン出力データから、平均エンジン出力（定格出力に対する割合）：9.45%、エンジン総仕事量：5.26kWh を算定した。また、図 1 に示す Window time は Window の走行時間を示し、その目安となる JE05 モードの走行時間は 1830 秒（30.5 分）である。なお、試験車両の JE05 モード走行時（半積載、ホットスタート）の NOx 排出量は、0.520g/kWh であった。

### 3. 2. 本報の手法による排出ガス評価の一例

仕事量ベースの MAW 法を、路上走行時の NOx 排出量の評価に適用した。その結果の一例を、図 2 に示す。ここで、MAW 法では、JE05 モード（半積載、ホットスタート）の総仕事量が 5.26kWh であることから、この値により Window を構成し、走行時間全体で多数の Window を生成する。本報の手法は、これらの Window から、評価用モード JE05 の Window time あるいは平均エンジン出力等により、JE05 モードに近似する走行条件の Window の領域に着目し、その中からエンジン使用域が類似する Window を抽出して、その Window の NOx 排出量を確認して評価する。同図では、図中の四角のオレンジの破線で囲った領域の Window が、JE05 モードの走行条件に近似する領域であり、その中の黒丸で示した Window を抽出してエンジン使用域を調べた結果が、図 3 である。同図は、

図 4 に示す JE05 モード走行時のエンジン使用域と概ね一致することから、黒丸の Window は JE05 モードに相当すると判定できる。また、テールパイプでの排出ガス温度が 130°C 以上であることから、尿素 SCR システムが機能していることがわかる。このときの Window の NOx 排出量は、0.5g/kWh 近傍であり、JE05 モード走行時の 0.520g/kWh とほぼ一致する。これらのことから、試験車両は、路上走行においても、認証時の排出ガス性能を維持しているものと考えられる。

## 4. まとめ

欧州で検討中の MAW 法は、Window の平均エンジン出力が低いと評価対象から除外するなど、日本の交通事情に合わない点がある。本報では、PEMS 搭載の小型貨物車による路上走行試験データを用い、MAW 法を基にした従来の方法とは異なる排出ガス評価手法について考察した。本手法は、排出ガス低減システムが機能する通常走行において、NOx 排出量がエンジン回転速度とエンジントルクの関数とみなせることから、路上走行時に生成する多数の Window から、評価用モードとエンジン使用域が近似する Window を抽出して評価する。本報では、路上走行試験データを用いて、この手法の有効性を示した。

### 参考文献

- 1) 小澤正弘ほか、ディーゼル乗用車の実路走行時における NOx 排出量変動要因の一考察、自動車技術会論文集、Vol.48, No.4, pp.807-813 (2017)

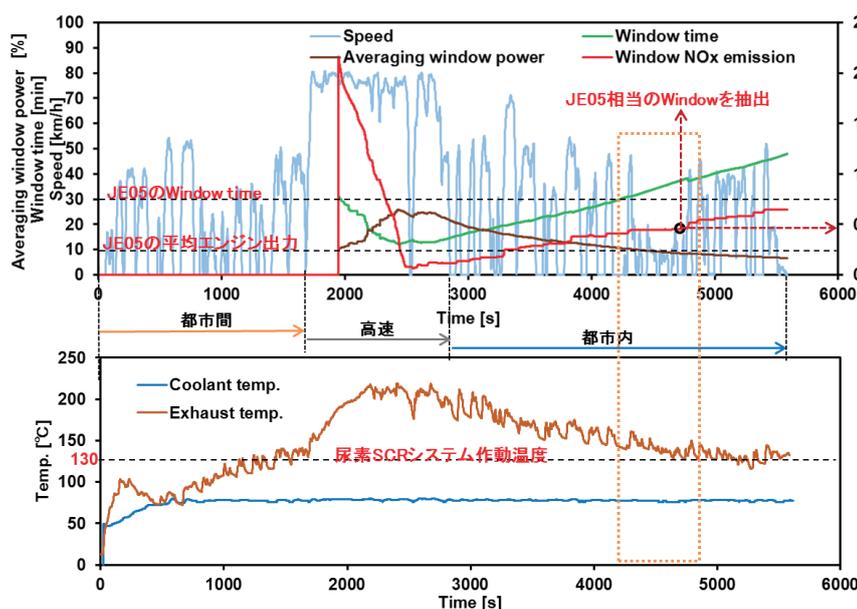


図 2 路上走行試験での MAW 法によるデータ処理と JE05 モード相当の Window の抽出

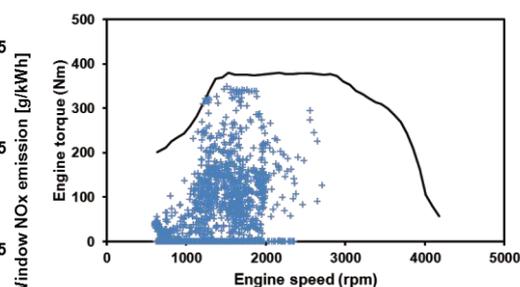


図 3 JE05 モードの走行条件に近似する Window のエンジン使用域

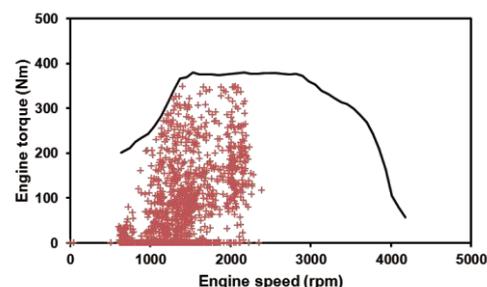


図 4 JE05 モード走行時のエンジン使用域