

令和2年度  
交通安全環境研究所フォーラム2020  
講 演 概 要

2020. 11. 19  
オンライン開催

独立行政法人自動車技術総合機構



## はじめに

自動車や鉄道は、世界各国において経済活動や国民生活を支える重要な役割を担っています。安全・安心で環境に優しい交通社会を実現するため、交通事故の削減や地球環境の保全について、より一層取り組む必要があります。さらに、少子高齢化・労働力不足の進行や地域公共交通の厳しい経営環境に対応するため、自動運転の実現、生産性の向上、インフラ保守の効率化等にも取り組む必要があります。

また、日本企業は、自動車や鉄道といった製品を、日本から世界各国に輸出するのみならず、海外において生産しているため、日本企業の国際競争力を確保する観点から、自動車及び鉄道に関する基準・規格の国際化も重要となっています。

交通安全環境研究所は、これらの社会的課題の解決に向け、自動車及び鉄道に関する基準・規格の策定のための研究、さらに、自動車の型式指定等に関する審査、リコールに関する技術的検証、鉄道製品に関する国際規格の認証業務などを実施しています。

本年の交通安全環境研究所フォーラムは、「時代の変革に伴う新技術導入と国際化に向けた貢献」をテーマに掲げ、それぞれの分野における取組について講演させていただきます。

具体的には、自動車分野では、自動運転に代表される新技術導入にあたっての研究や、国際会議において議長職として貢献した内容等を紹介いたします。鉄道分野については、衛星測位や障害物検知センサといった新技術に関する研究や国際化のため必要な鉄道製品認証のスキームについて紹介いたします。併せて、最新の研究成果等についてポスターセッションで幅広く紹介いたします。

本年のフォーラムは、新型コロナウイルスによる感染の影響から、残念ながらオンラインによる開催とさせていただきましたが、ご参加いただく皆様から忌憚のないご意見をいただくことにより、交通安全環境研究所の活動をさらに充実・発展させ、社会的な期待と信頼に応えていく所存でございます。

今後とも、皆様のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

令和2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 平井 隆志

## フォーラム2020 プログラム

10:00～10:05 開会の挨拶 交通安全環境研究所長 平井 隆志

10:05～10:15 交通システム研究部における研究の概要と方向性  
交通システム研究部長 佐藤 安弘

10:15～10:40 講演1 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討  
主任研究員 山口 大助

10:40～11:05 講演2 障害物検知センサを活用した鉄軌道における衝突事故防止に関する取組  
主席研究員 竹内 俊裕

11:05～11:15 鉄道認証室における最近の活動概要 鉄道認証室長 黒川 和浩

11:15～11:40 講演3 スキームオーナーとしての鉄道認証室  
研究員 森 裕貴

11:40～13:00 昼休み(ポスターセッション)

13:00～13:25 世界初の自動運転に関する国際基準策定への貢献  
審議役(リコール技術検証部長兼務) 斧田 孝夫

13:25～13:35 自動車安全研究部における研究の概要と方向性  
自動車安全研究部長 河合 英直

13:35～14:00 講演4 自動車線維持装置(Automated Lane Keeping System)の国連新規則における機能要件について  
主席研究員 児島 亨

14:00～14:25 講演5 運転支援のための路面描画ライトに関する研究  
研究員 加藤 洋子

14:25～14:40 休憩

14:40～14:50 環境研究部における研究の概要と方向性 環境研究部長 坂本 一郎

14:50～15:15 講演6 2030年度燃費基準とオフサイクル技術の評価について  
上席研究員 鈴木 央一

15:15～15:20 閉会の挨拶 理事 石井 素

15:20～17:00 ポスターセッション

## ポスターセッション

- 1 地域特性に応じた公共交通システムの導入効果評価について  
交通システム研究部 \*工藤 希、大野 寛之

---

- 2 列車運転支援情報伝送の妨害対策に関する検討  
交通システム研究部 \*林田 守正、工藤 希、竹内 俊裕、大野 寛之、水間 毅(東京大学)

---

- 3 NOxセンサを用いた重量車排出ガス計測システムにおけるNOx濃度測定等の高精度化に関する検討  
環境研究部 \*山本 敏朗、鈴木 央一、柴崎 勇一

---

- 4 車載型PN計測装置の計測原理の違いが評価結果に与える影響  
環境研究部 \*志村 渉、奥井 伸宜

---

- 5 使用過程ハイブリッド自動車のバッテリー及び燃費性能変化 —リチウムイオン電池搭載車両を試験対象として—  
環境研究部 \*小鹿 健一郎、鈴木 央一

---

- 6 重量車の電費等試験法検討会における議論の概要  
環境研究部 \*柴崎 勇一、新国 哲也

---

- 7 産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の概要  
環境研究部 \*鈴木 央一、奥井 伸宜、山本 敏朗、柴崎 勇一、坂本 一郎

---

- 8 ヘッドランプの汚れとクリーナーによる夜間運転視界の変化  
自動車安全研究部 \*青木 義郎、佐藤 誠晃(小糸製作所)、市川 靖洋(小糸製作所)、阪井 健(小糸製作所)、田中 博(小糸製作所)

---

- 9 後付け式踏み間違い時加速抑制装置に関する基本調査  
自動車安全研究部 \*関根 道昭、伊藤 紳一郎、岩瀬 常利、廣渡 太一

---

- 10 大型バス座席のシートバック角度が衝突時の乗員の安全性に及ぼす影響調査  
自動車安全研究部 \*田中 良知、細川 成之、松井 靖浩

---

- 11 衝突被害軽減ブレーキ作動時の乗員挙動が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響調査  
自動車安全研究部 \*細川 成之、田中 良知、松井 靖浩

---

- 12 大型車の車両衝突速度と自転車乗員傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究  
自動車安全研究部 \*松井 靖浩、及川 昌子(東京都立大学)

---

- 13 自動運転車の社会受容性に関する研究 <事故判例の分析から>  
自動車安全研究部 \*中川 正夫

---

- 14 標準ドライバモデルと小型可搬型運転ロボット適用による将来の燃費・排出ガス評価手法への対応について  
環境研究部 \*奥井 伸宜

---

- 講演1 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討  
交通システム研究部 \*山口 大助、工藤 希、竹内 俊裕、長谷川 智紀

---

- 講演2 障害物検知センサを活用した鉄軌道における衝突事故防止に関する取組  
交通システム研究部 \*竹内 俊裕、長谷川 智紀、山口 大助

---

- 講演3 スキームオーナーとしての鉄道認証室  
鉄道認証室 \*森 裕貴、千島 美智男、長谷川 智紀

---

- 講演4 自動車線維持装置(Automated Lane Keeping System)の国連新規則における機能要件について  
自動車安全研究部 \*児島 亨、浦手 耕二

---

- 講演5 運転支援のための路面描画ライトに関する研究  
自動車安全研究部 \*加藤 洋子、青木 義郎、関根 道昭

---

- 講演6 2030年度燃費基準とオフサイクル技術の評価について  
環境研究部 \*鈴木 央一、志村 渉

## 目次

### 時代の変革に伴う新技術導入と国際化に向けた貢献

11月19日の講演(オンライン開催)

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 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討	主任研究員	山口 大助	3
講演2 障害物検知センサを活用した鉄軌道における衝突事故防止に関する取組	主席研究員	竹内 俊裕	7
<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	黒川 和浩	11
講演3 スキームオーナーとしての鉄道認証室	研究員	森 裕貴	13
<b>■国際調和推進統括の取組</b>			
世界初の自動運転に関する国際基準策定への貢献	審議役(リコール技術検証部長兼務)	斧田 孝夫	17
<b>■自動車安全研究部の取組</b>			
自動車安全研究部における研究の概要と方向性	自動車安全研究部長	河合 英直	19
講演4 自動車線維持装置(Automated Lane Keeping System)の国連新規則における機能要件について	主席研究員	児島 亨	21
講演5 運転支援のための路面描画ライトに関する研究	研究員	加藤 洋子	25
<b>■環境研究部の取組</b>			
環境研究部における研究の概要と方向性	環境研究部長	坂本 一郎	29
講演6 2030年度燃費基準とオフサイクル技術の評価について	上席研究員	鈴木 央一	31

ポスターセッション

(オンライン開催)

題目	所属	発表者※主発表者	頁
① 地域特性に応じた公共交通システムの導入効果評価について	交通システム研究部	※ 工藤 希 大野 寛之	39
② 列車運転支援情報伝送の妨害対策に関する検討	交通システム研究部  東京大学	※ 林田 守正 工藤 希 竹内 俊裕 大野 寛之 水間 毅	43
③ NOx センサを用いた重量車排出ガス計測システムにおける NOx 濃度測定等の高精度化に関する検討	環境研究部	※ 山本 敏朗 鈴木 央一 柴崎 勇一	47
④ 車載型 PN 計測装置の計測原理の違いが評価結果に与える影響	環境研究部	※ 志村 涉 奥井 伸宜	51
⑤ 使用過程ハイブリッド自動車のバッテリー及び燃費性能変化—リチウムイオン電池搭載車両を試験対象として—	環境研究部	※ 小鹿 健一郎 鈴木 央一	53
⑥ 重量車の電費等試験法検討会における議論の概要	環境研究部	※ 柴崎 勇一 新国 哲也	55
⑦ 産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の概要	環境研究部	※ 鈴木 央一 奥井 伸宜 山本 敏朗 柴崎 勇一 坂本 一朗	57
⑧ ヘッドランプの汚れとクリーナーによる夜間運転視界の変化	自動車安全研究部 小糸製作所	※ 青木 義郎 佐藤 誠晃 市川 靖洋 阪井 健 田中 博	59
⑨ 後付け式踏み間違い時加速抑制装置に関する基本調査	自動車安全研究部	※ 関根 道昭 伊藤 紳一郎 岩瀬 常利 廣渡 太一	61
⑩ 大型バス座席のシートバック角度が衝突時の乗員の安全性に及ぼす影響調査	自動車安全研究部	※ 田中 良知 細川 成之 松井 靖浩	63
⑪ 衝突被害軽減ブレーキ作動時の乗員挙動が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響調査	自動車安全研究部	※ 細川 成之 田中 良知 松井 靖浩	65
⑫ 大型車の車両衝突速度と自転車乗員傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究	自動車安全研究部 東京都立大学	※ 松井 靖浩 及川 昌子	67
⑬ 自動運転車の社会受容性に関する研究 <事故判例の分析から>	自動車安全研究部	※ 中川 正夫	69
⑭ 標準ドライバモデルと小型可搬型運転ロボット適用による将来の燃費・排出ガス評価手法への対応について	環境研究部	※ 奥井 伸宜	71





# 口 頭 発 表 11.19



# 交通システム研究部における研究の概要と方向性

交通システム研究部

佐藤 安弘

## 1. まえがき

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

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

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

本稿では、当研究部が実施している取組の概要について報告する。

## 2. 交通システム研究部の研究

### 2. 1. 研究重点分野

自動車技術総合機構の平成28年度から令和2年度までの中期計画において、当研究部関係としては、研究重点分野として以下の3つの柱を立てている。

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

これらは国土交通省における鉄道分野の主要施策に対応しているものであるが、この各重点分野において、1つ又は複数の研究テーマを立てて、研究に取り組んでいる。以下、各重点分野ごとに現在の取組を紹介する。

### 2. 2. 都市交通システムの安全性・信頼性評価

都市交通システムに用いられる技術の安全性・信頼性に関し、技術評価の的確な遂行に資するよう、国内外の動向を踏まえた評価手法の研究を行い、新たな技術の導入促進及び主要施策である我が国鉄道技術の国際的な展開に貢献することを目指している。

具体的には、海外プロジェクト向けの安全性評価等を受託研究として実施してきており、我が国の鉄道における安全確保の考え方に立脚しつつ、国際規格との調和や信頼性にも着目した評価手法について、標準化・体系化に取り組んできた。最近では、無線式列車制御システム等高度化・複雑化した信号システムに対応した新たなモデルによるリスク解析を含めた評価の深度化に取り組んでいる。併せて、列車制御や運転支援への利用が進んでいる無線通信の妨害対策技術についても、関連国際規格との整合を考慮した評価手法を検討しており、その一環として、列車運転支援情報の伝送系をモデルとした走行実験により、模擬的な妨害による事象と対策の実施効果の検証等を進めている。

今後も新たに開発されたシステム等の安全性評価を継続的に実施することとしている。

### 2. 3. 地方鉄道の安全性向上

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

に資する施策に貢献することを目指している。

自動車・鉄道の双方にかかる分野横断的な研究として、これまで取り組んできた ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) の車車間通信技術や測位技術等を活用し、危険状態を検知してドライバー・運転士に注意喚起を行う安全運転支援システムに加え、障害物を検知するセンサとして自動車の自動運転用自律検知技術を鉄軌道に活用するための取組を進めている。地方鉄道や路面電車における実証実験などを通じて、これらを導入する際に技術評価を行うための試験法の提案を目指している。

鉄道の車両、施設の保守管理については、脱線事故の防止等走行安全性の確保のため極めて重要であり、近年低コスト化、高性能化が進んでいるセンサ類を活用し、主に地方鉄道を対象とした軌道等の状態監視技術に関する研究を進め、地方鉄道の保守負担を軽減しつつ安全性の維持・向上に貢献していくこととしている。最近では、軌間拡大による脱線に対するリスクを簡易な治具を用いて評価するための検討を進めているほか、車両動揺に基づく軌道状態の要注意箇所の抽出手法について、実軌道における軌道検測車のデータとの関係分析等により、検討を進めている。

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 (Global Positioning System : 全地球測位システム) 等の衛星測位技術を活用して列車の位置検知を行う車上システムについて、位置検知の性能等を含む技術評価手法を研究している。具体的には、車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を考案し、実路線での衛星測位実験による検証に取り組んでいる。

## 2. 4. 公共交通の導入促進・評価

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

LRT は、地下鉄・高架鉄道に比して乗降における

上下移動が少なく、高齢化社会が進展する中で交通弱者にも利用しやすい軌道系交通システムである。その一方で、既存の道路空間に併用軌道として導入する場合には、車線減少や交差点での信号制御の変更などによる道路交通流への影響が考えられることから、路線バスなどを含む道路交通及び LRT などの軌道系交通を模擬したシミュレーションによる評価を行い、LRT の導入効果や道路交通流への影響等について、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。

近年では、電動で、時速 20km 未満で公道を走る 4 人乗り以上のモビリティ「グリーンスローモビリティ」の活用が推進されている。こうした、スローモビリティの導入効果の評価を行えるように前記シミュレーションの改良を進めている。

## 2. 5. その他の取組

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

## 3. 今後の展開

交通システム研究部では、都市交通システムの安全性・信頼性評価、地方鉄道の安全性向上、公共交通の導入促進・評価を重点分野として研究に取り組んでおり、これらの研究を通じて、国の施策の支援や、安全で持続可能な交通社会の実現に貢献している。

今後は、無線式列車制御システム、自動運転用技術、車上列車位置検知技術をはじめとする、新たな技術を用いた交通システムや列車の安全運行・施設の維持管理の省力化に資する技術の安全で円滑な導入に貢献するとともに、新たなモビリティサービスを指向した技術を含む公共交通の地域の特性に応じた導入に貢献できるよう、当研究所が有する研究資産と、これまで培ってきた技術力を活用しつつ、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の特長を生かした研究に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

# 講演 1. 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討

交通システム研究部 ※山口 大助 工藤 希 竹内 俊裕 長谷川 智紀

## 1. はじめに

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

衛星測位は衛星から発信される複数の電波を受信して現在位置を算出<sup>3)</sup>するが、トンネル等の電波受信が難しい場所では測位できず、高層ビル等が密集する場所では建物に反射した電波を受信すること (マルチパス) で測位精度の低下が懸念される。そのため、衛星測位の利活用にあたっては、当該路線での測位精度の事前評価が必要である。

例えば踏切の制御において踏切の作動開始点/終了点 (地上側) での列車通過の検知に車上での衛星測位の利用を想定する場合、踏切の作動時間を最適にするためには、列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを事前に評価する必要がある。踏切制御用の地上子 (軌道) 側をマーカとして利用し、車上子 (地上子と情報をやりとりする車両側の装置) が地上子通過を検知して衛星測位の精度を評価する手法<sup>4)</sup>が考案されているが、地上子及び車上子は列車の安全運行に係る保安装置で取り扱いが容易でないため、簡便な評価手法が求められる。

そこで、筆者らは地上子とは異なる定点を基準とし、列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を本稿で提案する。

## 2. 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法

筆者らの提案手法では下記の①～④を行う。

- ① 定点の設定及び定点での高精度測位の実施
- ② 定点通過の検知
- ③ 車上での衛星測位による列車走行位置の測定
- ④ 時刻同期と測位誤差の算出

以下に各々の詳細を述べる。

### 2. 1. 定点の設定及び定点での高精度測位の実施

地上側で絶対位置を確実に測定できる箇所を定点として設定する。この定点において高精度測位を行い、定点の絶対位置を示す緯度と経度を事前に取得し、精度評価の基準とする。本稿では踏切の端を定点とする。

### 2. 2. 定点通過の検知

後述の測位誤差を算出するためには、列車が定点を通過した瞬間とそのときの時刻を記録する必要がある。前者を記録するため、レーザ光を対象物に照射し、その反射を利用して変位を検出するレーザ変位計を走行中の車両～まくらぎ (またはバラスト) 間の高さが測定できるように車両側に取り付ける。踏切内はレール頭頂面と道路面が一致することから、踏切通過中は車両～道路面間の変位を測定することになり、車両～まくらぎ間よりも変位が小さくなる。この変位の変化はレーザ変位計の出力の変化として現れる。踏切の端を定点とすれば、レーザ変位計の出力の変化点が踏切の端に相当するため、定点通過の検知を容易に行うことができる。なお、定点の設定やレーザ変位計の車両取付位置によって踏切の進入時を検知する場合と進出時を検知する場合に分かれるため、注意が必要である。

### 2. 3. 車上での衛星測位による列車走行位置の測定

衛星測位によって列車の走行位置を車上で逐次算出するため、衛星からの電波を確実に受信できるようにアンテナを可能な限り車両屋根上に設置する。また、受信した電波を利用して現在位置を算出する受信機と

受信機から出力される測位結果を記録するパソコンを車上側に設置する。車上での測位結果はアンテナの取付位置に該当する。測位精度を的確に評価するためにはレーザ変位計とアンテナの取付位置は線路長手方向において一致していることが望ましい。

## 2. 4. 時刻同期と測位誤差の算出

2.2 節で述べたように、測位誤差を算出するためには列車が定点を通過したときの時刻を記録する必要がある。これはレーザ変位計の出力と同時に UTC (協定世界時)の時刻も記録することで可能となる。GNSS は UTC に同期するように運用されており、車上での衛星測位の結果にも UTC の時刻が記録される。時刻の照合によって定点通過時点の車上側の測位結果 (測位点) を抽出でき、測位点と定点の間の距離を算出することができる。提案手法ではこの距離を「測位誤差」と定義し、測位誤差の大きさによって地上の定点 (基準) に対する車上側の衛星測位の精度を評価する。

上述した提案手法の概略を図 1、測位誤差の定義を図 2 にそれぞれ示す。

レーザ変位計とアンテナの取付位置が線路長手方向において一致している場合 (図 2 中の  $d=0$  に相当) のほか、レーザ変位計とアンテナの間の離隔 (同  $d$ ) が小さい場合は両者の取付位置は一致しているものと見なすことができるが、離隔が大きい場合は注意を要する。測位誤差を大きめに見積もると安全側になると考えられることから、線路長手方向のレーザ変位計とアンテナの取付位置の離隔が大きい場合は、この離隔を測位誤差に加算して評価することが妥当といえる。

## 3. 提案手法の妥当性を検証する実験

提案手法の妥当性を検証するため、実列車の走行による実験を実施した。

### 3. 1. 機材の設置

レーザ変位計、アンテナ、受信機、パソコンを車上に設置した。図 3 に示すように、レーザ変位計は乗務員室への乗降時に使用するステップに固定した。アンテナは車両屋根上の車体幅に対してほぼ中央に設置した。屋根上の既設装置やレーザ変位計の固定方法等の都合により、レーザ変位計とアンテナの取付位置は線路長手方向において 0.8m の離隔となった。

### 3. 2. 定点での高精度測位

ネットワーク型 RTK 測位を利用し、踏切の端において 2本のレール間の中央付近で高精度測位を実施し

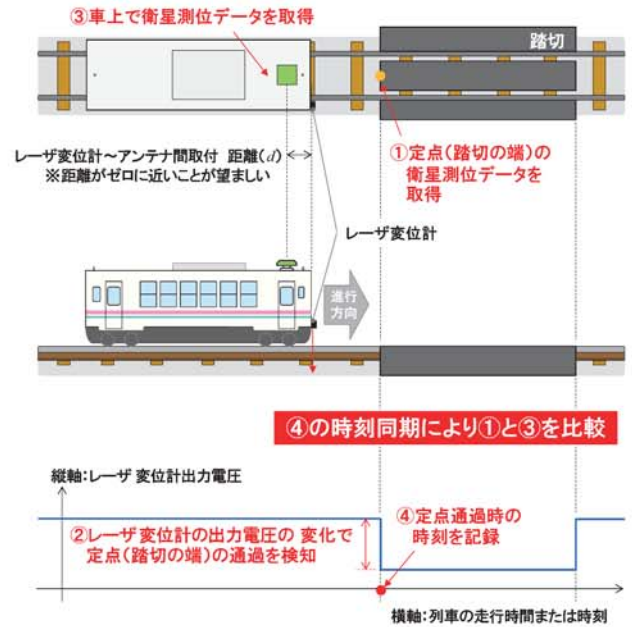


図 1 提案手法の概略

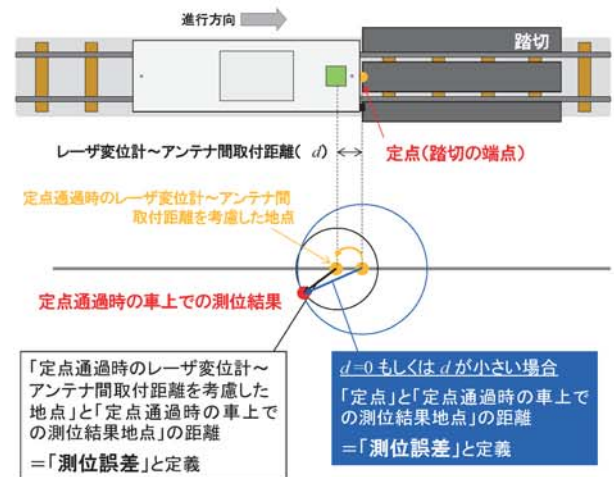


図 2 測位誤差の定義

た。その様子を図 4 に示す。本実験では踏切の下り方面の端を定点に設定した。

### 3. 3. 車上での衛星測位による列車走行位置の測定

測位に使用する GPS、QZSS 等の衛星の種類、コード測位や搬送波測位等の測位方法<sup>4)</sup>、測位精度を高めるための補強信号<sup>4)5)</sup>の使用の有無等により評価対象の衛星測位の条件は異なる。本実験では下記の 2 条件 I)及び II)を設定した。

- I) GPS、QZSS のほか、GLONASS (ロシア)、Galileo (EU) の各衛星からの電波を利用した衛星測位
- II) ネットワーク型 RTK 測位

両条件で異なる受信機を使用した。測位結果を出力する周期に該当するサンプリング周波数は、条件 I)

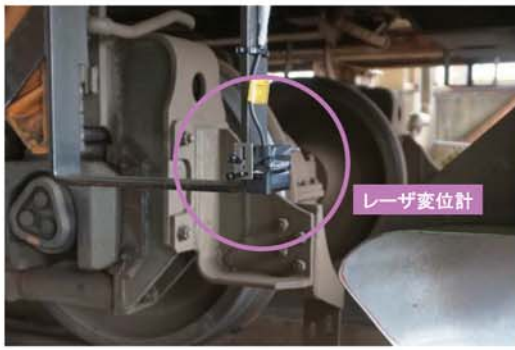


図3 車両へのレーザー変位計の取り付け



図4 踏切端点（定点）での高精度測位の様子

が5Hz、条件IIが10Hzである。これよりも高いサンプリング周波数を設定すると、測位結果を継続的に出力できない状況が見られた。

### 3. 4. 測位誤差の算出結果

本実験は2020年3月に実施し、試運転列車が同一区間を2往復走行した。測定回数は上りと下り合わせて4回である。実験区間内の2箇所の踏切（踏切A、B）を対象に、車上の衛星測位データから測位誤差を算出した。その結果を表1に示す。表中の「高精度測位」は定点での衛星測位の結果（基準）、「1回目」と「2回目」は1往復目、「3回目」と「4回目」は2往復目で、「MGNSS」は前節の衛星測位の条件I、「NRTK」は同条件IIを指す。「速度」は衛星測位の情報から得られた定点通過時の走行速度を指す。

本表より、各測定回ともに提案手法により測位誤差を算出できており、提案手法の妥当性を確認できる。また、2往復目の方が測位誤差は大きい傾向が見られる。2箇所の踏切ともに周囲の開けた場所であることから、衛星配置の違いが測位誤差の傾向の違いに現れたものと考えられる。1回目（10時台）と3回目（12時台）の踏切A上空の衛星配置を図5に示す。仰角 $\theta$ の高いところ（図中の円の中央）に衛星が多いと測位精度が高くなる傾向にあるといわれており、本図より1回目の方が仰角の高い衛星が多いことが分かる。

表1 列車走行実験における測位誤差の算出結果  
(a) 踏切A

踏切A	緯度			経度			測位誤差 [m]	速度 [km/h]	
	度	分	秒	度	分	秒			
高精度測位	38	8	42.06592	140	2	22.22527	—	—	
1回目	MGNSS	38	8	42.3177	140	2	22.299	7.968	58.5
	NRTK	38	8	42.28302	140	2	22.29387	6.899	
2回目	MGNSS	38	8	41.8836	140	2	22.1733	5.762	55.7
	NRTK	38	8	41.87212	140	2	22.16617	6.146	
3回目	MGNSS	38	8	42.4536	140	2	22.4148	12.814	59.5
	NRTK	38	8	42.51352	140	2	22.36747	14.229	
4回目	MGNSS	38	8	41.5497	140	2	22.0464	17.851	62.3
	NRTK	38	8	41.54662	140	2	22.06026	16.508	

(b) 踏切B

踏切B	緯度			経度			測位誤差 [m]	速度 [km/h]	
	度	分	秒	度	分	秒			
高精度測位	38	7	21.77958	140	1	56.61002	—	—	
1回目	MGNSS	38	7	22.0038	140	1	56.6682	7.057	57
	NRTK	38	7	21.96147	140	1	56.66502	5.766	
2回目	MGNSS	38	7	21.5907	140	1	56.5527	5.989	56.2
	NRTK	38	7	21.56498	140	1	56.53992	6.834	
3回目	MGNSS	38	7	22.2246	140	1	56.8134	14.588	56.6
	NRTK	38	7	22.27997	140	1	56.76642	15.892	
4回目	MGNSS	38	7	21.3282	140	1	56.5194	14.092	56.7
	NRTK	38	7	21.38438	140	1	56.48492	12.56	

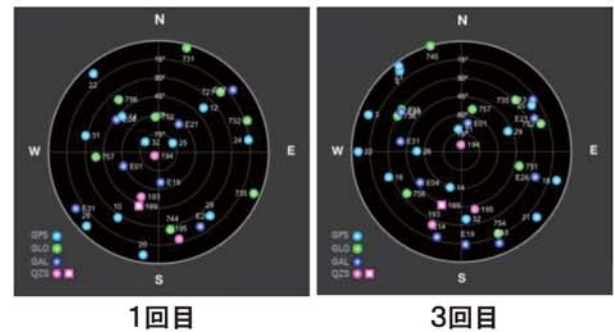


図5 踏切A上空の衛星配置  
(内閣府提供アプリ「GNSS View」より作成)



図6 踏切Aにおける衛星測位結果のプロット

踏切Aを対象に、各回の測位結果をGoogle社の「Google Earth」上にプロットしたものを図6に示す。本図より、車上で衛星測位の結果は列車の進行方向に対して定点よりも後方の位置であることが分かる。踏切Bについても測位結果をプロットしたところ、図6とほぼ同様になることを確認した。このことから、列車走行中の衛星測位の結果は実際の走行位置よりも

後方の位置を示す傾向にあることが示唆される。言い換えると、これは列車が衛星測位の結果よりも実際には前方に位置することを指し、危険側となる。この理由として主に次の二つが考えられる。

受信機には測位結果の精度向上を図るための計算上の工夫が採り入れられていることが多い<sup>6)</sup>。その一例として、過去の測位結果等も活用して現在位置を算出する手法があるが、過去の結果を現在の測位計算に反映している最中も列車は走行し、現在位置が逐次変化する。このことが測位結果に影響を及ぼすと考えられる。本実験で使用した受信機にも同様の計算手法が実装されている可能性がある。

また、条件 II) は受信機による測位情報が逐次外部サーバへ送信され、多数の電子基準点での観測データを基にこのサーバ上で行われた誤差補正計算の結果を受信機が受信して現在位置が確定する仕組みである。受信機とサーバの間は携帯電話回線等で通信されるが、通信に遅延が生じることが指摘されており<sup>7)</sup>、この遅延が測位結果に影響を及ぼしている可能性がある。

ところで、列車速度と衛星測位データ取得のサンプリング周波数の関係について以下の式を導出できる。

$$D_j = 1000v / 3600f_s \quad \dots(1)$$

ここで、 $D_j[m]$ は1サンプリング間の走行距離、 $v[km/h]$ は列車速度、 $f_s[Hz]$ はサンプリング周波数である。

式(1)より列車速度に応じて測位精度の分解能が変化する。衛星測位条件 I)と II)のサンプリング周波数を踏まえると、踏切通過時の列車速度  $v=60km/h$  では条件 I)  $D_j=3.33m$ 、条件 II)  $D_j=1.67m$  程度となり、この速度における測位精度の分解能に相当する。

本実験における線路長手方向のレーザ変位計とアンテナの取付位置の離隔  $0.8m$  は、 $v=60km/h$  程度のときは上記の分解能よりも小さいため、表 1 ではレーザ変位計とアンテナの取付位置は同一と見なして測位誤差を示している。一方、条件 I)  $v=14.4km/h$  未満、条件 II)  $v=28.8km/h$  未満になると、分解能が  $0.8m$  よりも小さくなり、注意を要する。このような場合は先述の通り、レーザ変位計とアンテナの取付位置の離隔を測位誤差に加算して精度を評価することが妥当といえる。

#### 4. おわりに

本稿では、定点及び定点での高精度測位による精度評価の基準を設定し、定点通過検知と時刻同期に基づき定点に対する測位誤差を算出して、列車上で得た衛

星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を提案した。

提案手法の妥当性を検証するため、実列車の走行による実験を実施したところ、提案手法に基づいて測位誤差が算出されていること、列車走行時間帯によって測位誤差の傾向に違いが見られることを確認した。また、列車速度とサンプリング周波数の関係から測位精度の分解能に変化が生じ、注意を要することも述べた。

更に、実験結果から、列車走行中の衛星測位の結果は実際の走行位置よりも後方の位置を示す傾向にあることが示唆された。

本稿で報告した実験では走行速度が最高で  $60km/h$  程度であったが、今後はより高速域における提案手法の妥当性について検討を進めていきたい。

一方、3.4 節にて衛星配置による測位誤差の傾向の違いを述べたが、衛星の故障が測位結果に影響を及ぼすことも知られている<sup>8)</sup>。衛星測位の利活用にあたっては、測位精度もさることながら、衛星の健全性（正常に動作していること）や信頼性の評価も必要と考えており、これについても今後検討を進めていきたい。

#### 謝辞

3章で述べた列車走行実験は山形鉄道株式会社のご協力を得て実施しました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 馬場ほか、“無線による列車制御システム(ATACS)”、JR EAST Technical Review, No.5, pp.31-38, (2003)
- 2) 例えば、工藤ほか、“列車制御システムにおける衛星測位利用に関する取組”、交通研フォーラム 2016 講演概要集、pp.65-68
- 3) 神宮ほか、“携帯電話回線を利用した列車制御システム(ATP 閉そくシステム)の開発”、JREA, Vol.63 No.3, pp.43900-43903, (2020)
- 4) 例えば、磯部ほか、“センチメートル級衛星測位サービスの開発”、JREA, Vol.63 No.3, pp.43904-43907, (2020)
- 5) 内閣府みちびき (準天頂衛星システム) 公式サイト
- 6) 久保幸弘、“衛星測位技術へのカルマンフィルタの応用”、システム/制御/情報, Vol.64 No.1, pp.33-38 (2020)
- 7) 伊勢嶋ほか、“RTK-GPS 測位における伝送遅延に関する研究”、日本航海学会論文集, Vol.119, pp.205-211, (2008)
- 8) 坂井丈泰、“衛星航法システム MSAS の導入”、第 50 回自動制御連合講演会論文集、pp.723-726, (2007)



# 講演 2. 障害物検知センサを活用した鉄軌道における 衝突事故防止に関する取組

交通システム研究部 ※竹内 俊裕 長谷川 智紀 山口 大助

## 1. まえがき

地方鉄道においては、人口減少に伴う要員の減少や高齢化から、省力化への期待が高まりつつある一方で、平成 30 年度には中小民鉄では 48 件の踏切障害事故が発生（図 1）し、路面電車では 21 件の道路障害事故と 4 件の車両衝突事故が発生（図 2）しており、さらなる事故防止の取組みが必要な状況である。

こうした中で、人間のミスによる事故等を防止するため、センシングやモニタリング等の最新技術を導入した新たな運行管理システムやドライバレス自動運転などの技術開発も推進されている。

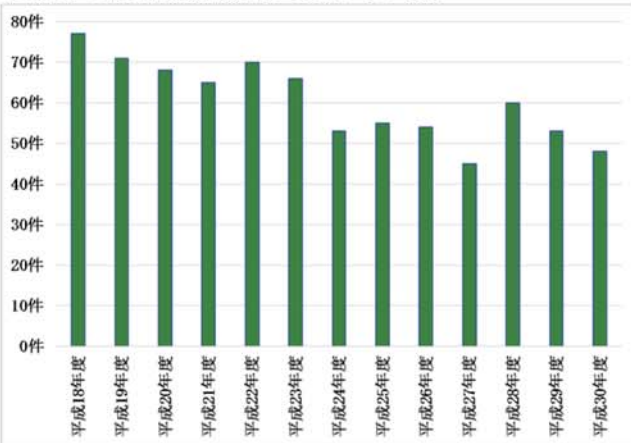


図 1 中小民鉄の踏切障害事故件数<sup>1)</sup>

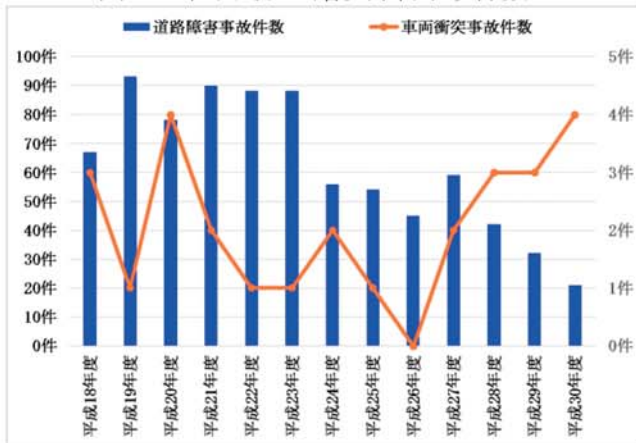


図 2 路面電車の道路障害事故と車両衝突事故件数<sup>1)</sup>

一方、自動車の自動運転技術の進歩には著しいものがあり、中でも障害物を検知する技術として、画像センサ（ステレオカメラにより、測定対象との距離を測定）、ミリ波レーダ（ミリ波が対象物に反射して戻る波の位相差を利用して距離を測定）、及び LiDAR センサ（Light Detection and Ranging：投影したレーザが対象物に反射して返るまでの時間から距離を測定）等が単独または組み合わせて幅広く活用されており、さらに高性能化や低価格化を目標として技術開発が進められている。

そこで、これらの自動車の分野で汎用化された技術を活用することで、列車運行上の障害となる事象が線路上で発生した際の警報等、運転支援の可能性が考えられる。そのため、自動車の自動運転で採用されている各センサについて比較検討を行い<sup>2)</sup>、地方鉄道での活用を考慮した結果、検出距離、検出精度などの性能や、将来的に小型化や低価格化が見込まれる LiDAR センサを選定し、障害物検知センサとして活用するための取組を行ってきたので紹介する。

## 2. LiDAR センサ性能評価実験

選定した LiDAR センサは表 1 に示す仕様のスキャニングセンサで、図 3 に示すように垂直方向に 4 本のレイヤが上下交互に 2 組出力され、高さにより色分けされて 3 次元を表現するセンサである。このセンサの検出可能距離は、0～200m となっている。なお、選定した LiDAR センサが発するレーザ光は、レーザクラス 1<sup>3)</sup>であり、公衆への影響はないタイプである。

表 1 センサの仕様

項目	仕様
レーザクラス	クラス 1 (IEC 60825-1:2014)
レーザ波長	905nm
開口角	110°
垂直走査角度	6.4°
レイヤ数	8 レイヤ (4 レイヤ×2)

スキャン周期	25Hz
角度分解能	0.8°
検出距離	0.3m~200m
距離分解能	4cm



図3 スキャンイメージ

このセンサの性能を評価するために、交通安全環境研究所の敷地内で測定を行った。測定は、敷地内の直線道路において、LiDAR センサを定置し、遠ざかる実験車両を検知できる距離について測定した。その結果、距離が離れるにつれて点群の数は少なくなるものの、スペック通り 200m まで検知できることが確認された (図4)。

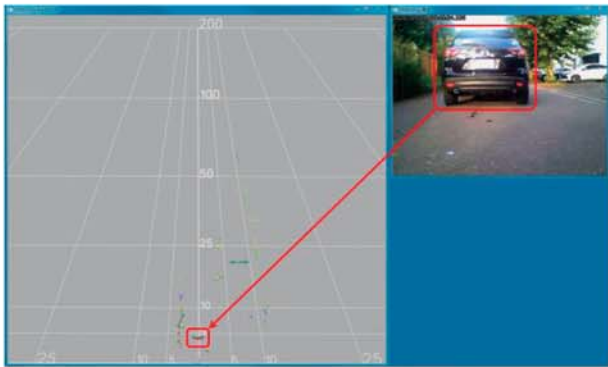


図4 距離測定の様子

### 3. 地方鉄道における実証実験の実施

地方鉄道におけるLiDARセンサの活用法の一つとして、列車運行上の障害となる事象の検知が期待される。具体的には、踏切で停滞している自動車や歩行者等、線路沿線からの侵入物や飛来物、プラットフォームからの転落などが想定されるが、それらをできる限り早期に検知し、走行中の列車を停止させることが必要となる。

そこで、それらの事象を想定した場合の検知状況を確認するために、走行データ収集装置を開発した。走行データ収集装置は、前方障害物を検知するためのLiDAR センサ、自車両位置を把握するためのGNSS 受信機、前方映像を撮影するためのWEB カメラ、各機器の情報を収集し、障害物判定を行う機能を有する専用アプリケーションソフトがインストールされた組込用パソコンで構成される (図5)。

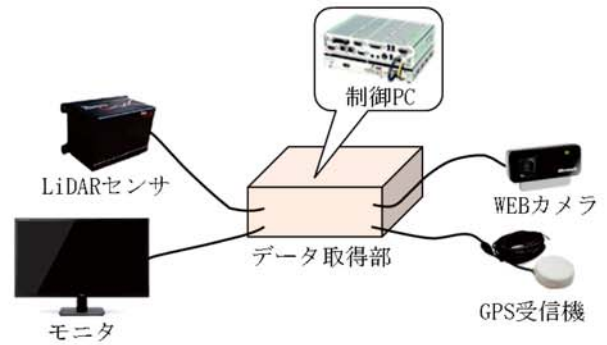


図5 走行データ収集装置の構成

専用アプリケーションソフトは、建築限界に合わせて設定された障害物検知エリア内に、LiDAR センサで検知した点群が一定数以上認められた場合に障害物ありと判定し、障害物検知エリアを赤色表示する機能を有している。また、鉄軌道は線路以外走行しないことから、GNSS 受信機により検知した自車両位置より、あらかじめ保持している路線図データを参照し、進行方向の線路形状に合わせて障害物検知エリアを変化させることで、直線部のみならず曲線部における障害物の検知 (図6) も可能とする機能を有している。

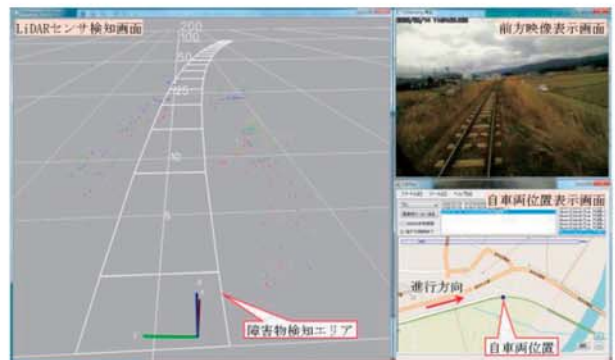


図6 アプリケーションソフト画面



図7 試験風景

開発した走行データ収集装置を使用して、山形鉄道フラワー長井線において、試験車両の荒砥方排障器上

にLiDAR センサを固定し、運転席横にデータ取得装置を設置し、長井駅から荒砥駅への走行時に実証実験を実施した（図7）。

LiDAR センサにより検知される線路沿線の物体について実験で確認するとともに、各駅へ到着する際の駅舎ならびに駅ホームの検知状況について確認した。なお、営業運転中に障害物を進路上に設置することは、安全上難しいことから、建築限界の設定値を通常より大きく設定することにより駅ホームや線路沿線の草木等を障害物として検知することとした。

実験の結果、列車が駅への進入時に、50m 程度手前から駅舎や駅のホーム端を明確に検知可能であり（図8）、近距離の障害物については確実に検知できることが確認された。

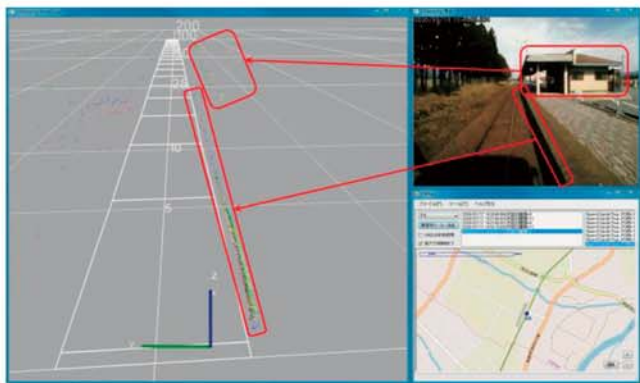


図8 ホーム端の検知状況

また、約60km/h で走行中に50m 程度手前から障害物検知エリア内に入り込んだ線路沿線の草木等が、一定数以上の点群数で認識された場合に、障害物ありと検知できることが確認された（図9）。

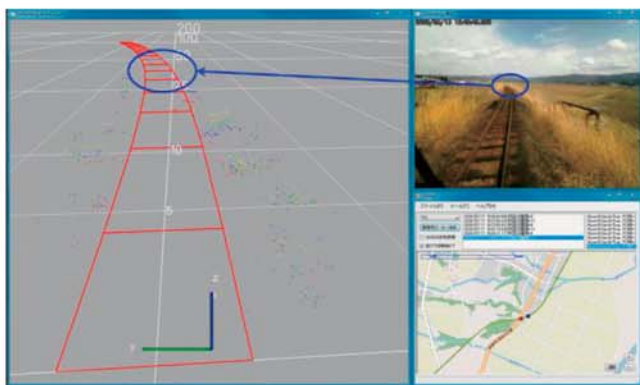


図9 障害物の検知例

しかしながら、今回の実験では、障害物を検知する距離を100m に設定して実施したが、実際に障害物として認識し、検知できたのは50m 程度であったことから、車上から遠方（例えば100m 先）の障害物を検知することは非常に難しいという課題も確認された。さ

らに、試験を実施した山形鉄道の最高速度は75km/h のため、常用制動時の制動距離が約400m、非常制動時でも約300m となることから、センサの検出可能距離である200m 先の障害物が検知できたとしても衝突事故を防止することは難しい。そのため、LiDAR センサを障害物検知センサとしてこうした最高速度の線区で使用する場合には、LiDAR センサ単独ではなく、異なる方式のセンサ等と組み合わせることが望ましいと思われる。

#### 4. 路面電車における実証実験の実施

前章の鉄道における実験結果より、LiDAR センサについては、近距離での障害物の検知性能が優れていることが確認されたことから、最高速度が40km/h の路面電車での検知状況を確認するために、広島電鉄市内線において実証実験を実施した。実験は、過年度までに取組みを行ってきた路面電車-自動車間衝突事故防止支援システム<sup>4)</sup>にLiDAR センサを加え、先行路面電車との距離に応じて情報提供等の支援を行うことで衝突事故を防止する先行路面電車への衝突防止支援機能について実施した。路面電車-自動車間衝突事故防止支援システムは、LiDAR センサ、運転士への支援情報を表示する支援モニタ、制御用パソコンと車車間通信用無線機で構成され（図10）、それぞれ試験車両の排障器、運転席横のスペース、座席上に設置した。



図10 試験風景

また、先行路面電車への衝突防止支援機能は、試験車両の前方を走行する先行路面電車との距離をLiDAR センサにより常時監視し、車間距離が50m 以下で情報提供、30m 以下で注意喚起を支援モニタに表示するとと

もに音声メッセージで支援する機能である(図11)。

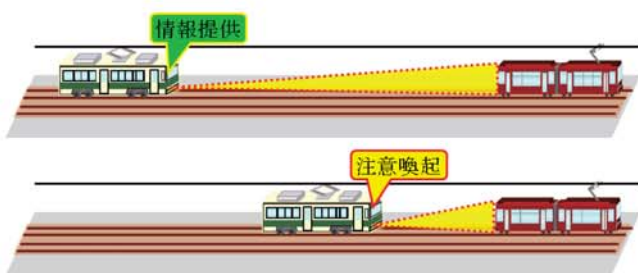


図11 先行路面電車への衝突防止支援機能

実験は、広電本社前電停～広島駅電停間を走行しながら、先行路面電車が交差点赤信号で停車するごとに、試験車両との距離を測定しながら実施した。

その結果、先行路面電車への衝突防止支援機能は約120mの位置から先行路面電車を検知し始め、50m以下で情報提供、30m以下で注意喚起が画面表示と音声メッセージで動作することが確認され(図12)、LiDARセンサによる先行路面電車への衝突防止支援については、有効であることが確認された。

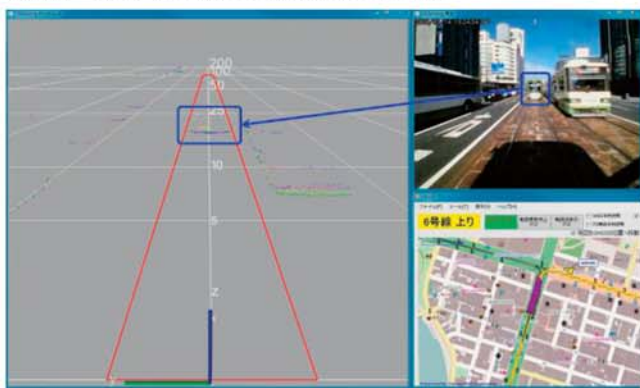


図12 先行路面電車の検知状況

## 5. まとめ

自動車の自動運転で採用されているLiDARセンサを障害物検知センサとして、鉄軌道へ活用するための取組みについて紹介した。

まず、鉄道での活用を検討するために、列車運行上の障害となる事象を想定した場合の検知状況を確認する走行データ収集装置を開発し、山形鉄道フラワー長井線荒砥駅～長井駅間で実証実験を実施した。その結果、駅舎や駅のホーム端など近距離の障害物については確実に検知できることが確認された。しかしながら、その距離は50m程度であり、100m先の障害物については、点群数が少なく、障害物と認識することは難しいという課題も確認され、こうした場合は他のセンサ等と組み合わせることが望ましいことも確認され

た。

次に、路面電車での活用を検討し、先行路面電車への接近を常時監視し、衝突の防止を距離に応じて支援する先行路面電車への衝突防止支援機能を検証するために、広島電鉄市内線において実証実験を実施した。その結果、予め設定された距離に応じて、情報提供や注意喚起の支援が行われることを確認し、最高速度が40km/hの路面電車へのLiDARセンサの活用は有効であることが確認された。

今後、鉄道での活用については、開発した走行データ収集装置を実列車に設置し、数ヶ月程度のモニターランでデータを取得し、障害物検知状況を確認することにより、LiDARセンサの評価を進める予定である。

また、路面電車での活用については、今回実験を行った先行路面電車への衝突防止支援機能とともに、自動車と路面電車の衝突事故防止のため、過年度まで実施していた車車間通信を活用した通信利用型運転支援機能と組み合わせて、より高精度な支援を行うシステム(図13)に改修を行い、実証実験を通して有効性を確認していく予定である。

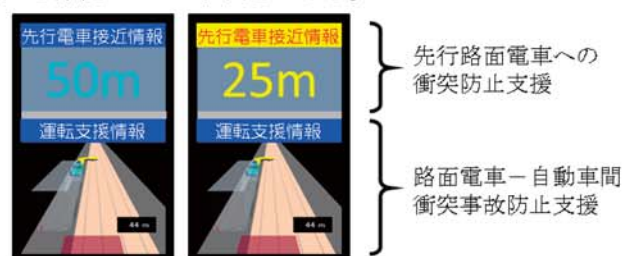


図13 システムの改修案

さらに、それらの結果を元に、自動車の自動運転で採用されている新技術を地方鉄道等に導入する際に、安全性の観点から技術評価を行うための標準的な試験法について検討を進めていく予定である。

最後に、実証実験に多大なるご協力を賜った山形鉄道株式会社と広島電鉄株式会社に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 鉄軌道輸送の安全に関わる情報, 平成18年度～平成30年度, 国土交通省鉄道局
- 2) 竹内他, 「地方鉄道を対象とした自動運転技術活用に関する基礎検討」, 交通安全環境研究所フォーラム2018, pp. 3-6(2018)
- 3) JIS C 6802:2001, 「レーザ製品の安全基準」
- 4) 竹内他, 「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」, 交通安全環境研究所フォーラム2017, pp. 3-6(2017)

# 鉄道認証室における最近の活動概要

鉄道認証室 黒川 和浩

## 1. はじめに

交通安全環境研究所では、平成 23 年 4 月に鉄道認証室を設置するとともに、平成 24 年 9 月には独立行政法人製品評価技術基盤機構 認定センター (IAJapan) から、鉄道分野の認証機関としては我が国初の認定を取得した。以来、8 年余が経過したところであり、ここでは、認証機関としての最近の活動の概要について紹介する。

## 2. 鉄道認証機関の体制整備と現状

### 2. 1. 鉄道認証機関の体制整備

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

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

このような状況の下で、平成 20 年 6 月の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会提言を受けて鉄道技術標準化調査検討会の下に設置された鉄道認証機関設立検討 WG における検討等を踏まえ、平成 23 年 4 月に鉄道認証室が設置された。平成 28

年 4 月以降は、「交通安全環境研究所」が独立行政法人自動車技術総合機構内の機関として位置づけられ、中期目標（平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月）に基づき鉄道関連業務もこれまでと同様に取り組んでいる。現在の認証業務実施体制の概要を図 1 に示す。

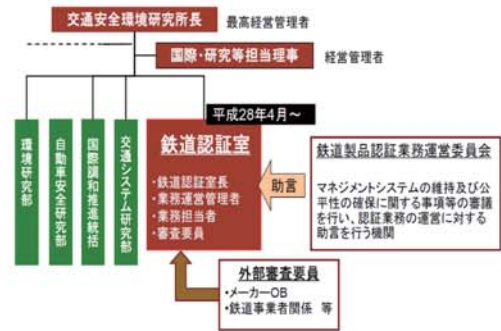


図 1 認証業務実施体制

認証業務の実施にあたっては、内部の審査要員に加えて、関連規格に精通し適切な実務経験を有する技術者を外部審査要員として予め登録し申請された案件毎に指名して認証業務を担当戴いている。また、マネジメントシステムの維持及び公平性の確保に関する事項を審議戴く鉄道製品認証業務運営委員会から助言を戴く体制となっている。

### 2. 2. 認証対象規格と認定の取得

認証対象規格は、発足前の関係者において選定された海外でニーズの高い IEC 62278、IEC 62279、IEC 62280、IEC 62425 及び IEC 62236 の 5 規格である。平成 24 年 9 月に IEC 62425 を対象とする認定を取得して以降、認定機関による定期的な検査が実施され、当認証機関の適格性が継続的に認められてきており、その後、平成 28 年 9 月には、IEC 62279 及び IEC 62280 について、さらに平成 30 年 5 月には、かねてより関係者から要望のあった IEC 62278 の認定を取得した。現在の認証対象規格を表

1に示す。なお、IEC 62236については、実際に申請を受けて認定を取得したいと考えている。

表 1 認証対象規格及び認定規格

規格名称	規格番号	認定規格	
信頼性、アベイラビリティ、保安性、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

本年10月1日までの認証書の発行実績は合計44件(規格件数)である(図2参照)。一つの案件で複数の規格適合性を申請される場合があり、案件数では37案件になる。なお、当該実績には、認証取得者の申請により認証を終了したもの(規格件数8件、案件数8案件)も含まれている。

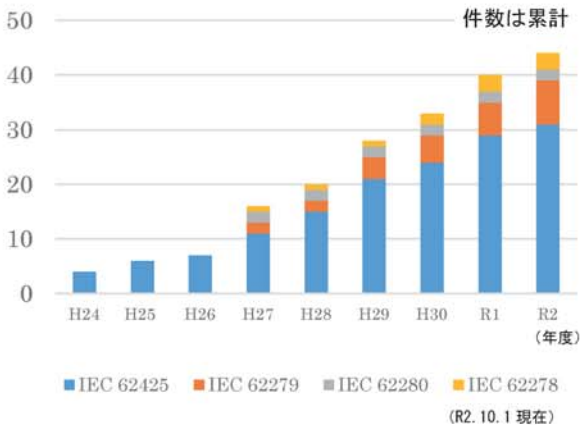


図2 認証書発行実績(規格件数)

#### 3. 2. 広報活動

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

##### (1) 鉄道認証情報交換会

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

##### (2) 電子媒体による情報提供

これまでの認証実績、各種規程類の最新版をWebページに掲載している。

##### (3) その他

交通研フォーラム及び各種講演会での報告をはじめ、国内外の各種鉄道技術展等における展示等の取組を行っている。具体的には、世界鉄道研究会議や鉄道技術展でのパネル展示、パンフレット配布及び講演(鉄道技術展のみ)、そして個別に要請を受けた講演を行っている。

### 3. 3. 鉄道製品認証システム(認証スキーム文書)の改正

(1) 認証審査した鉄道製品に対して定期的を実施するサーベイランスについて、鉄道認証室の実績や他の認証機関の規程を調査し、認証審査に係る文書類の改訂や製品の製造予定がない場合に限り、サーベイランスを2回まで延長できる特例を新たに規定した。

(2) 認定機関の要求事項の変更に伴う、認証の一時停止に係る手順、認証の取消しに係る手順及び認証の申請に先立って行われた認証に関連する評価結果又は試験結果の活用範囲についての認証スキーム文書への規定追加を行った。

認証スキーム文書に係る変更については、今回の講演の中で詳述する。

### 4. 今後の取組について

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

このため、当室においては、認証機関に対する国際規格の要求事項を遵守し認定の維持を図ることはもちろん、引き続き、認証業務を着実に進め、認証実績の拡充と認定範囲の拡大に努めていく。また、規格適合性評価の手法を活用した製品品質の確保に向けた取組の重要性について情報発信に取り組んでいきたいと考えている。このような活動を通じて、当研究所では公平中立の立場から、日本の鉄道技術の海外展開や鉄道技術の維持・発展に引き続き貢献したいと考えている。鉄道関連メーカー、鉄道事業者をはじめ鉄道業界の様々な立場の方々並びに関係機関のご指導、ご協力をお願いする。

## 講演3. スキームオーナーとしての鉄道認証室

鉄道認証室

※森 裕貴

千島 美智男

長谷川 智紀

### 1. はじめに

交通安全環境研究所鉄道認証室（NRCC）は鉄道製品に関する我が国唯一の認証機関として、平成23年9月より認証業務を開始した。NRCCは認証機関への要求事項が規定された国際規格であるISO/IEC 17065（平成24年9月まではISO/IEC Guide 65）に基づいた認証活動を実施し、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（IAJapan）より認定を受けている。

ISO/IEC 17065では、認証機関はISO/IEC 17065の要求事項を一貫して満たすことのできるマネジメントシステムを確立し、維持することを求めている。このマネジメントシステムを確実に実行するために、認証のプロセス等を規定した文書をマネジメントシステム文書と呼んでいる。表1にNRCCが認証機関として策定、公表しているマネジメントシステム文書名及び本稿における略称を示す。

表1 マネジメントシステム文書

マネジメントシステム文書名	略称
鉄道製品認証業務品質マニュアル	品質マニュアル
鉄道製品認証業務取扱手順	業務取扱手順
鉄道製品認証業務要員管理手順	要員管理手順
鉄道製品認証申請手続き等に関する手引き	申請手引き
鉄道製品認証業務様式集	様式集

また、ISO/IEC 17065では、認証機関は認証スキームに従って運用される第三者適合性評価機関と定めており、認証スキームとISO/IEC 17065の要求事項が矛盾しないことを求めている。

認証スキームとは、認証機関が行うことのできる認証業務について、その認証の範囲や実行するための規則、手順及びマネジメント等について制定するものである。ISO/IEC 17067では認証スキームを制定するための指針のみ記載されており、ISO/IEC 17065の様に認証機関が守るべき要求事項は記載されていない。た

だし、ISO/IEC 17065において、認証機関が利用する認証スキームを制定するにあたっては、ISO/IEC 17067を参考にすることを推奨されている。

そこで、NRCCは認証機関として策定した表1に示した文書とは別に、鉄道製品認証のための認証スキームをISO/IEC 17067に基づき「鉄道製品認証システム」という文書（以下、認証システム文書という）として策定し、公表している。この認証システム文書はNRCCがスキームオーナーとして制定し、運用を行っている文書である。

本稿では、認証システム文書についてISO/IEC 17067の内容に触れながら、主に申請者の皆様に影響を強く及ぼす項目について紹介する。また、NRCCが認証機関として行っている認証活動に認証システム文書がどのように反映されているか解説する。

### 2. 認証スキームのステークホルダ

図1に認証スキームに関連する一般的なステークホルダについて示す。ISO/IEC 17067では認証スキームの制定について2つのケースを想定している。1つ目は、認証スキームを利用する認証機関が直接制定するケース。2つ目は、国等の規制当局や関係団体が制定するケースである。日本国内の鉄道製品認証については、平成20年6月の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会の提言にもあり、これまで日本国内には存在していなかった国際規格への適合性評価を行う第三者機関としてNRCCが設立された。そのため、既存の認証スキームは存在しておらず、NRCCが5つの国際規格（表2）との適合性を評価することを目的として制定した。これは、ISO/IEC 17067における認証機関が直接制定するケースに該当する。

認証スキームを直接利用する者としては、当然のことながら認証機関である。認証機関はISO/IEC 17065に基づき、認証スキームに従い、認証機関として活動するためのルールを定めたマネジメントシステム文書を策定する。

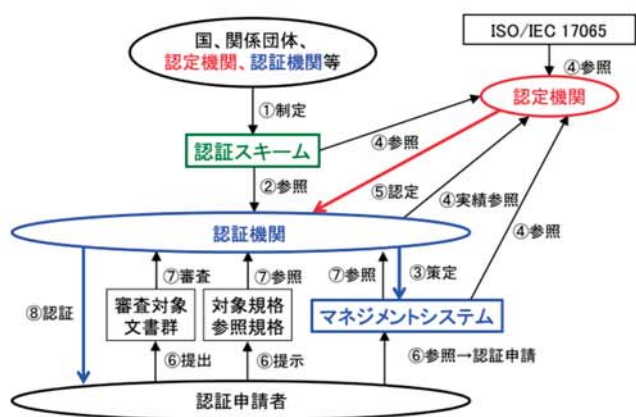


図1 認証スキームのステークホルダ

表2 NRCC が評価対象とする国際規格

IEC 62278	鉄道分野—信頼性, アベイラビリティ, 保全性, 安全性 (RAMS) の仕様と実証
IEC 62425	鉄道分野—通信, 信号及び処理システム—信号用の安全関連電子システム
IEC 62279	鉄道分野—通信, 信号及び処理システム—鉄道の制御, 保護システム用ソフトウェア
IEC 62280	鉄道分野—通信, 信号及び処理システム—トランスミッションシステムにおける安全性に関する通信
IEC 62236	鉄道分野—電磁両立性—

※IEC 62279 及び IEC 62280 は最新の版以外に一部の旧版を含む。

また、認証機関が認定機関に認定申請を行う場合、認定機関が認証スキームを参照することが想定される。認証機関を審査する際に、ISO/IEC 17065 の要求事項において認証スキームに認証機関が従うとされている項目の審査において、認証スキームを参照することになる。なお、認定機関が認証機関を認定する際の要求事項については、ISO/IEC 17011 に詳細が定められているが本稿では取り扱わない。

認証スキームを間接的に利用する者としては、認証機関を利用する申請者が該当する。例えば、認証申請者は認証機関が策定したマネジメントシステム文書を参照し申請を行うが、スキームオーナーへ苦情及び異議申立てを行うことができる。ただし、認証機関においても苦情及び異議申立て窓口を用意することが ISO/IEC 17065 で定められており、認証機関の認証活動に関する苦情等は先ずはそちらへ提出することを推奨している。

### 3. スキームタイプ

製品認証においては、対象となる工業製品が大量生

産品から受注生産による一品物のように多岐にわたるため、認証機関が実施すべき業務について、ISO/IEC 17067 の"5.3 Type of product certification schemes"では、認証の対象となる製品の特徴毎に分類し、これをスキームタイプと呼んでいる。本章では認証システム文書に規定されている鉄道製品に対する認証審査（①RAMS 設計図書認証、②RAMS 製品認証、及び③EMC 認証）と当該認証審査を実施するにあたり選択した認証スキームタイプを中心に紹介する。

表3及び表4にISO/IEC 17067に基づきNRCCが認証システム文書に規定した、スキームタイプ一覧を示す。表3に示すように、認証機関が選択したスキームタイプ毎に実施すべき事項が(x)で示されている。

次項よりNRCCが提供する認証審査について、認証書がどのように活用されることを想定しているのか、そのためにどのスキームタイプを選択しているかを説明する。なお、EMC 認証についてはこれまでにNRCCにおける認証実績がないため本稿においては省略する。

#### 3. 1. RAMS 設計図書認証 (スキームタイプ 1a)

NRCC が提供する認証審査のうち、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) 設計図書認証については、主に対象となる鉄道製品が設計段階、又は特定の納入先が決まっていなプロトタイプ製品において認証を取得したい申請者へ向けた認証審査である。例えば、入札への参加条件に認証書が求められるケースや鉄道製品の広報活動に認証書を活用したいケースが考えられる。

RAMS 設計図書認証では、認証審査時点では対象となる製品が製造又は出荷されることが確定していないため、市場や工場から抜き取りで調査を行うサーベイランスを適用することは想定されない。そこで、認証システム文書では RAMS 設計図書認証を、サーベイランスに関する実施項目が無いスキームタイプ 1a と定めている。

なお、ISO/IEC 17067 の"5.3.2 scheme type 1a"においても記述されているが、スキームタイプ 1a で認証を取得した設計を元に、その後製造された製品については、既認証の範囲外であり再度の申請をお願いしている。

#### 3. 2. RAMS 製品認証 (スキームタイプ 3)

NRCC が提供する認証審査のうち、RAMS 製品認証については、主に対象となる鉄道製品が特定のプロジ



エクトのために製造され、かつ工場出荷が予定されているといった申請者へ向けた認証審査である。例えば、納入先の鉄道事業者より受け入れの条件として第三者機関による評価が求められ、国際規格への適合性に関する認証書を要求されているケース等が考えられる。

鉄道製品についてはネジ等に代表される大量生産品とは異なり、製品に求められる機能は同一であっても、鉄道事業者毎に環境条件が異なる、周囲の機器とのインターフェースが路線毎に異なるなど、完全に同一の製品が販売されるケースは稀である。そのため、ISO/IEC 17067にて想定される市場からのサンプルにおけるサーベイランスは現実的ではない。そこで、認証システム文書では RAMS 製品認証を、サーベイランスの手法として、工場からのサンプルにより実施することとし、スキームタイプ3と定めている。

表3 認証システム文書におけるスキームタイプ (1a ~3)

製品認証スキームにおける適合性評価の機能及び活動	製品認証スキームのタイプ			
	1 a	1 b	2	3
1) 選択 (Sampling) 該当する場合、計画及び準備の活動、規正文書などの要求事項の特定、並びにサンプリングを含む。	x	x	x	x
2) 特性の確定 (Determination) 該当する場合、次による。 a) 試験 b) 検査 c) 設計評価 d) その他の確定活動 (例えば、検証)	x	x	x	x
3) レビュー (Evaluation) 規定要求事項が満たされたかどうかを実証するための、確定段階で得た適合性の証拠の調査	x	x	x	x
4) 認証の決定 (Attestation) 認証の授与、維持、一時停止又は取消し	x	x	x	x
5) 証明、ライセンスの授与 (Licensing) a) 認証書又はその他の適合の表明の発行 (証明) b) 認証書又はその他の適合の表明の使用権の授与 c) 製品のバッチに対する認証書の発行	x	x	x	x

d) サーベイランス又はバッチの認証に基づく適合マークの使用権の授与	x	x	x
6) サーベイランス (Surveillance) 適用可能な場合、次による。 a) 市場からのサンプルの試験又は検査 b) 工場からのサンプルの試験又は検査 c) 製品の生産の評価 d) 無作為試験又は無作為検査と組み合わせたマネジメントシステム監査		x	x

表4 認証システム文書におけるスキームタイプ (4 ~N)

製品認証スキームにおける適合性評価の機能及び活動	製品認証スキームのタイプ			
	4	5	6	N
1) 選択 (Sampling) 該当する場合、計画及び準備の活動、規正文書などの要求事項の特定、並びにサンプリングを含む。	x	x	x	x
2) 特性の確定 (Determination) 該当する場合、次による。 a) 試験 b) 検査 c) 設計評価 d) その他の確定活動 (例えば、検証)	x	x	x	x
3) レビュー (Evaluation) 規定要求事項が満たされたかどうかを実証するための、確定段階で得た適合性の証拠の調査	x	x	x	x
4) 認証の決定 (Attestation) 認証の授与、維持、一時停止又は取消し	x	x	x	x
5) 証明、ライセンスの授与 (Licensing) a) 認証書又はその他の適合の表明の発行 (証明) b) 認証書又はその他の適合の表明の使用権の授与 c) 製品のバッチに対する認証書の発行 d) サーベイランス又はバッチの認証に基づく適合マークの使用権の授与	x	x	x	x
6) サーベイランス (Surveillance) 適用可能な場合、次による。 a) 市場からのサンプルの試験又は検査 b) 工場からのサンプルの試験又は検査 c) 製品の生産の評価 d) 無作為試験又は無作為検査と組み合わせたマネジメントシステム監査	x	x	x	x

#### 4. 認証システム文書の内容

3章で述べたように認証機関が実施すべき業務の項目はスキームタイプとしてISO/IEC 17067に記述されているが、認証スキームで具体的に規定すべき内容を"6.5 Content of scheme"において列挙している。本章では、NRCCが認証スキームについて定めた認証システム文書の内、認証申請者に関連する条項に着目し、スキームオーナーとしてのNRCCがどのような考え方のもと各条項を規定しているかを、具体的な記述を踏まえながら紹介する。

##### 4. 1. レビュー及び判定

認証システム文書において、認証機関が認証の決定を行う際のプロセスを以下のように定めている。

- ✓ 認証機関は、認証書の授与を決定するに当たり、製品に関する規格適合性の証拠の妥当性をレビューし、認証審査報告書を作成し、判定を行う。判定はレビューを行った要員とは異なる要員が行う。

ISO/IEC 17067では、認証の決定を行う際の具体的な記述は無いが、認証機関に対して適用される規格と矛盾しないことが推奨されている。そのため、NRCCではIEC 17065の要求事項に従い、本項目を認証システム文書に定めている。

##### 4. 2. 認証範囲の拡大又は縮小

認証システム文書において、認証書発行以降の認証範囲の取扱いについては、以下のように定めている。

- ✓ 認証機関は、認証取得者が認証の対象である製品に関する認証範囲の拡大又は縮小の求めには応じず、別申請として認証審査を行うものとする。

ISO/IEC 17067では、認証範囲の拡大又は縮小の取扱いについて定めることのみを要求しており、禁止している訳では無い。しかしながら、鉄道製品においては、認証範囲の拡大又は縮小については、軽微なものから重大なものまで数多く想定される。そのため、事前に一定の基準を設けることは困難であり、認証の決定と同様のプロセスを踏む必要があるとNRCCは考えている。そのため、現時点においては認証範囲の拡大又は縮小が認められた場合は、サーベイランス等ではなく別途認証審査を実施することを認証システム文書に定めている。

##### 4. 3. サーベイランスの周期

認証システム文書において、認証機関がサーベイランスを必要とするスキームタイプを選択している場

合、その周期は以下のように定めている。

- ✓ サーベイランスは、少なくとも年1回実施することを原則とする。

ISO/IEC 17067及びIEC 17065のどちらの規格においても、サーベイランスの周期に関する明確な期間は示されておらず、定期的にサーベイランスを実施することのみを要求している。鉄道製品においては、短期間の更新需要により定期的に生産される製品から、十数年単位で再生産が想定されない製品まで幅広く想定されるため、NRCCは他分野の認証スキームを参考にしながら、原則1年と認証システム文書に定めている。

しかしながら、認証機関としての実績を積み中で一定の条件の下であれば、原則1年としたサーベイランスの実施を延長することは可能であると判断し、スキームオーナーとして認証システム文書に以下の特別条項を加える改正を2019年12月2日に実施し、2020年4月1日より施行している。

- ✓ ただし、認証基準日までに認証対象製品の製造の予定がなく、かつ、認証の根拠とした事項の変更がない場合は、サーベイランスの実施を1年延長することができる。延長の回数は、連続して2回を限度とする。

延長の回数を2回と制限した理由としては、例えば生産の予定が無い場合も、スキームタイプ3(RAMS製品認証)では、製品の生産プロセスの定期的な評価の実施を求めているためである。RAMS製品認証では、生産に適用される設計図書の確認やISO 9001の登録状況の確認をサーベイランスにて実施することとしており、3年間でこれらの文書類が何も変更されないことは想定されないためである。

#### 5. おわりに

NRCCは国内の鉄道製品認証の分野において、国内唯一の認証機関であると同時に、認証スキームを制定するスキームオーナーであることに焦点を当てて、「鉄道製品認証システム」(認証システム文書)の解説を行った。認証システム文書は、認証機関としてもその内容を申請者の皆様に遵守頂く文書と位置付けている。そのため、今回ご紹介したサーベイランスの周期延長等、改善できる部分については積極的に見直しを図りたいと考える。

# 世界初の自動運転に関する国際基準策定への貢献

—政府目標（2020年に高速道路で自動運転）達成に向けた活動を支援—

審議役

斧田 孝夫

## 1. はじめに

「自動運転」という言葉がかまびすしく喧伝されるようになって久しい。しかしながら自動運転の市場導入は、本稿執筆時点において残念ながらまだ実現していない。そして自動運転に関する基準が整備されていないことがその理由の一つとして挙げられてきた。

このような中、本年6月24日、自動運転技術に係る初めての国際基準が国連自動車基準調和世界フォーラム（WP.29）において成立した。

本稿では、自動運転技術を実現するための環境整備に関する活動のうち、政府目標<sup>1)</sup>達成に向けた国内の活動、国際基準調和の必要性について述べたうえで、自動運転導入に向けた国際的な活動を整理してみた。

## 2. 自動運転導入に向けた日本の活動

我が国では2019年、交通事故により3,215人の方が亡くなった。死亡事故発生件数の95%は「運転者の違反」に起因したものと<sup>2)</sup>なっているため、運転者に代わってシステムが自動車を操縦する自動運転車は、運転者が原因の交通事故を大幅に低減できる可能性を秘めている。運転には自動車の運転への運転者の関与度合の観点から様々な概念が存在しているが、以下では、官民ITS構想・ロードマップ2020で定義されたレベル3以上の自動運転(以下「自動運転」という)について述べることにする。

### 2. 1. 全体ロードマップ

わが国では毎年、IT総合戦略本部（本部長：内閣総理大臣）において、自動運転導入に向けた日本の活動の全体ロードマップを含む「官民ITS構想・ロードマップ」が策定されている。2018年6月に公表された「官民ITS構想・ロードマップ2018」では、特定の自動運転技術（レベル3の自動パイロット）について民間企業による市場化が可能となるよう政府が目指すべき努力目標の時期を2020年目途と設定された<sup>1)</sup>。また、2018年4月には自動運転に係る整備制度大綱（大綱）が策定され、安全性に関する要件等を2018年夏までにガイドラインとして制定することや、保安

基準を段階的に策定するとともに、日本が議論を主導して車両の安全に関する国際基準を策定することなどとされた<sup>3)</sup>。

### 2. 2. 道路運送車両法の一部を改正する法律の成立

大綱が策定された時点では、道路運送車両法は自動運転車を想定されたものとなっていなかった。そのため2019年5月、保安基準の対象装置への自動運行装置の追加などを内容とする道路運送車両法の一部を改正する法律が成立した。

### 2. 3. 自動運行装置の保安基準の策定

道路運送車両法の一部を改正する法律の関連規定が2020年4月に施行されることを受けて同年3月、保安基準が改正され、自動運転車の安全性能やその作動状態の記録項目等を定めた安全基準が策定された。

## 3. 国際基準調和の必要性

上述の保安基準の公布にあたり、国土交通省からは、同保安基準は国連WP.29におけるこれまでの国際議論も踏まえつつ策定されたもので、引き続き国際議論をリードするとともに、国際基準が成立した場合には、速やかに同基準を国内導入するとの基本スタンスも併せて示された。以下では国際基準調和に関する政府内での位置づけ及びそのための体制について述べる。

### 3. 1. 国際基準調和に関する政府内での位置付け

内閣官房長官が議長を務める経協インフラ戦略会議では毎年、インフラシステム輸出戦略を決定、公表している。同戦略では、我が国自動車メーカー等の国際競争力の強化を図るため、国際機関（WP.29等）における連携等を通じて、我が国制度・技術の国際標準化、相手国でのデファクト・スタンダード獲得等を推進することが明記されている<sup>4)</sup>。

### 3. 2. 自動運転車に係る国際基準主導に向けた体制

国際的なルールづくりを主導するためには、産学官の連携体制の構築し、科学的な調査結果を基にした国際基準案を提案することが重要である。産学官の連携体制については、国土交通省主導の下、当研究所の職員

経済産業省をはじめとする関係省庁、研究機関、メーカー等が連携して様々な活動が一体的かつ戦略的に実施されている<sup>5)</sup>。また、自動運転に関する国際基準策定のために必要な技術的な調査についても、弊所が中心となって実施し、我が国提案の基準案の策定に積極的に貢献している。

#### 4. 自動運転導入に向けた国際的な活動

上述の国際基準主導に向けた体制により、我が国は自動運転導入に向けた国際的な活動を推進してきたところであり、以下ではそれらの活動を概観する。

##### 4. 1. WP.29 の改組

石井国土交通大臣（当時）が参加した 2017 年の G 7 交通大臣会合では、自動運転技術の実用化に向けた政策についても話し合われ、国連の WP.29 における国際的なレベルでの協力を目指すことが合意された<sup>6)</sup>。このような政治的にハイレベルな期待に適切に対応するため WP.29 は 2018 年 6 月、30 年以上変わることのなかった傘下の組織を改組し、新たに自動運転の基準等を取り扱う自動運転専門分科会（GRVA）を創設した。

##### 4. 2. 自動運転枠組文書の策定

新たに創設された GRVA を中心に自動運転に関する WP.29 の活動を戦略的に進めていくため、活動の目的、対象項目、それぞれの項目ごとの工程等をまとめることが必要とされた。このため、これらをまとめた自動運転枠組文書を、日本がリードして日米欧中から共同提案し、2019 年 6 月の WP.29 で合意された。同文書では、我が国の基準策定スケジュールと整合する形で、2020 年 3 月までに高速道路における自動車線維持走行（ALKS）の国際基準案を作成することが明記された<sup>7)</sup>。

##### 4. 3. 自動運転技術に係る初めての国際基準成立

ALKS の国際基準案の策定にあたって我が国は、日本の提案を確実に議論の俎上にのせるために関連会議の議長を務めるとともに、弊所が実施した技術的な調査・試験データ等の明確な根拠に基づく論理的な提案を行うことによって、国際基準案の策定を主導した。このような活動を経て、自動運転枠組文書に基づく初の活動成果として、高速道路における車線維持機能に関する自動運転技術（ALKS）の国際基準案が本年 3 月合意され、6 月に WP.29 において、自動運転技術に係る初めての国際基準として成立した<sup>8)</sup>。

## 5. 結び

2020 年を目途に高速道路での自動運転技術の市場化を可能とする政府目標を達成するため、改正道路運送車両法と自動運転の国内基準が今年 4 月に施行された。また、自動運転の国際基準も、日本が主導して、今年 6 月に成立した。我が国はこれまでも国際基準策定作業に参画し、策定された国際基準を国内に導入してきたところであるが、自動運転分野について我が国自動車メーカー等の国際競争力の強化を図るなどの観点からは、国内基準の整備が国際基準の整備に遅れることのないようにすることが重要であり、そのためには国際基準策定作業をより強力でリードすることが必要である。弊所は、弊所の研究成果を基に国土交通省が行うそのような活動を今後とも強力で支援していくこととしている。

## 参考文献

- 1) 内閣府：令和元年版交通安全白書，p.59（2019）
- 2) IT 総合戦略本部：官民 ITS 構想・ロードマップ 2018，p.28（2018.6）
- 3) IT 総合戦略本部：自動運転に係る整備制度大綱，p.10-13（2018.4）
- 4) 内閣官房：インフラシステム輸出戦略（令和 2 年度改訂版），p.30（2020.7）
- 5) 国土交通省：「自動運転基準化研究所」の設立について（2016.5）
- 6) 国土交通省：G 7 交通大臣会合 大臣宣言，p.4（2017.6）
- 7) WP.29：Framework document on automated/autonomous vehicles (ECE/TRANS/WP.29/2019/34)，UNECE，<https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/gen2019.html>
- 8) UNECE：UN Regulation on Automated Lane Keeping Systems is milestone for safe introduction of automated vehicles in traffic（2020.6.25）  
<https://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2020/un-regulation-on-automated-lane-keeping-systems-is-milestone-for-safe-introduction-of-automated-vehicles-in-traffic/doc.html>

# 自動車安全研究部における研究の概要と方向性

自動車安全研究部 河合 英直

## 1. はじめに

政府は第10次交通安全基本計画において2020年までに交通事故による年間死者数を2,500人以下とする目標を掲げている。2019年の交通事故による死傷者数は前年より317人減少し、警察庁が保有する1948年以降の統計で最少となる死者数3,215人となり、四年連続で4,000人を下回った。しかし、その内容を見ると2008年以降、自動車乗車中の死者数よりも歩行中の死者数の方が多く、政府目標を達成するためには、いわゆる交通弱者と呼ばれる子供・高齢者・歩行者・自転車乗員等への安全対策が求められる。このような状況において、従前からの衝突安全技術によって自動車乗車時の死者数を削減するのみならず、さらに積極的に交通事故を未然防止し、車外の交通参加者、中でも交通弱者に対する被害削減を進めることが重要と考える。

近年、自動車に対する先進技術、特に自動運転技術の導入が進み、またその開発速度も速くなってきている。国際的な基準調和について議論を行う国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(UN-ECE/WP29)においても、自動運転に関する基準策定が急務となっている。自動車安全研究部の研究員も傘下の専門家会議等において共同議長等の役職も担い、官民オールジャパン体制での議論に貢献してきた。2020年6月に開催されたWP29第181回会合において、レベル3自動運行装置(高速道路等における60km/h以下の渋滞時等において作動する車線維持機能に限定した自動運転システム)並びにサイバーセキュリティ及びソフトウェアアップデートの国際基準が成立した。

国内においても、2020年4月1日に、この国際基準の成立に先行して、同等の内容の自動運行装置等の基準を施行している。<sup>1</sup>

自動車安全研究部では、衝突安全、予防安全、情報安全を自動車安全の三本柱と捉え、自動運転技術への

対応と車両安全の確保等を目的として、部内に衝突安全、予防安全、情報安全、電気・電子技術・点検整備のグループを構成し、自動車の安全に係る先進技術に対して柔軟かつ総合的に対応しながら、技術行政の推進に資する研究に取り組んでいる。同時に、WP29の下に組織されているGRVA(自動運転)、GRSP(衝突安全)、GRE(灯火器)、GRSG(一般安全)や多くのインフォーマルグループに議長、セクレタリ、委員等として積極的に参画し、国際基準調和活動に貢献している。

## 2. 研究概要

### 2.1. 衝突安全グループ

衝突安全グループでは、交通事故の多様な実態を踏まえながら、車両の衝突安全について広く検討している。特に、第10次交通安全基本計画において重点保護対象とされている、高齢者、年少者、自転車乗員等の交通弱者を対象とし、衝突安全技術に関する基準化、法規化に必要なデータを提供することを主眼に、交通事故の調査解析、実車衝突実験、スレッド実験等によるコンポーネント試験、シミュレーション解析等を行うとともに、頭部傷害に関する生体工学に関する研究についても継続的に取り組んでいる。

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

自転車乗員保護に関しては、乗員の体格と衝突被害との関係等について調査、解析を行い、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

予防安全グループでは、自動運転技術の評価法に関する検討を中心に取り組んでいる。

自動運転車の開発、性能評価手法及び基準化の動向調査を行った上で、自動運転車と人間ドライバが運転する車両との混合交通を想定した安全性評価手法の検討、及び試験法について研究している。同時に、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、高齢者に有効な運転支援内容を解明し、予防安全システムの設計、評価に役立つ対策を提案することを目的に、杏林大学医学部とも協力し、高齢者の運転特性と有効な支援方法を明らかにし、高齢ドライバへの自動運転技術等を活用した適切な運転支援方法について検討を進めている。

また、レベル3以上の自動運転車の運転中に、許容可能なサブタスクの種類や安全性の評価方法について、国際基準策定の議論が開始されている。我々は、自動運転中のサブタスクによる運転者への作業負担を定量的に評価するための指標を明確にし、サブタスクによる作業負担が安全性に与える影響を明らかにする研究を進めることにより、国際議論に積極的に貢献している。

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

### 2. 3. 情報安全グループ

自動運転車において新車時のみならず使用期間内においても継続的に安全性を保つためには、車両に係る情報安全の確保が必要となる。

情報安全グループでは、これら車両に対する新たな安全要求に対応していくため、まず、車両制御情報に関するセキュリティ対策機能の要件整理および確認方法の検討および審査・点検における課題の明確化を行い、国際基準における自動車セキュリティの位置づけを明確にし、基準化へ貢献することを目的に車両制御情報の不正利用防止に関する研究を進めている。さらに、自動運転車の安全性評価に重要な要素となる、自動運転車のセンサ等による認知性能の評価法を検討することを目的に、認知の正確性及び特性を比較、評価し、安全上の課題についての調査、研究を開始した。

### 2. 4. 電気・電子技術・点検整備グループ

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

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

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

## 3. 外部連携

自動車安全研究部では、種々の研究課題について、芝浦工業大学、東京都立大学、東京農工大学、電気通信大学、中央大学、杏林大学病院等との共同研究や、NHTSA(米)、VRTC(米)、BASt(独)、TÜV(独)、IIHS(米)、Thatcham(英)等の研究機関等との連携、情報交換を進めている。特に、BAStとは、安全研究の幅広いテーマについて密接な協力関係を構築しており、年に数度、双方の研究者がお互いを訪問し、具体的な研究テーマに関して意見交換、詳細議論を行っている。

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

## 4. まとめ

昨今、特に自動運転技術など最新の技術に対する期待が大きい。これら技術を搭載した車両の性能を公正、適切に評価することが正しい技術の導入・普及につながると考える。今後も、更なる事故の削減に貢献することを目的として、自動車の安全に関わる種々の課題に積極的に取り組んで行く。

### 参考文献

- 1) [https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07\\_hh\\_000338.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000338.html)

# 講演 4. 自動車線維持装置 (Automated Lane Keeping System) の 国連新規則における機能要件について

自動車安全研究部 ※児島 亨

自動車認証審査部 浦手 耕二

## 1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) 第 181 回会合において、高速道路等における 60km/h 以下の渋滞時等に作動する車線維持機能に限定した自動運転システムである Automated Lane Keeping System (以下、ALKS とする) の国際基準 (R157 として施行予定) が成立した。当研究所からは基準案の検討が行われた自動操舵専門家会議に出席し、要件の技術的根拠となる実験データの提供を行った。

以下、R157 における ALKS の代表的な機能要件及び当研究所が実施した実験について概説する。

## 2. ALKS の機能要件について

機能要件は R157 の 3 つの章に記載されている。

- ・5 章 System Safety and Fail-safe Response
- ・6 章 Human Machine Interface/operator information
- ・7 章 Object and Event Detection and Response

### 2. 1. System Safety and Fail-safe Response

5 章は一般要件、動的運転タスク (Dynamic Driving Task、以下、DDT とする)、緊急時動作 (Emergency Manoeuvre、以下、EM とする)、運転操作引継要求 (Transition demand、以下、TD とする) 及びリスク最小化制御 (Minimum Risk Manoeuvre、以下、MRM とする) に関する規定である。

一般要件では、作動中のシステムは合理的に予見可能かつ回避可能な衝突を生じさせないこと、各国の交通ルールの遵守、TD にドライバーが応答しない場合に MRM を実行すること及び本基準の要件を満足しない時にはシステムの作動を不可能にすること等が規定されている。

DDT の要件のうち、前後方向の車両の動きに関しては、システムの最高速度を 60km/h とすること、道路線形、周辺環境等に応じた速度の制御、静止車両、静止した道路利用者または通行止めの走行車線の手前で車両を完全停止可能なことに加え、前方の車両との最小車間時間及び最小車間距離等が規定されてい

る。また、衝突回避に関しては、先行車との最小車間距離を確保している状況において先行車がフルブレーキで制動した場合でも衝突を回避すること及び割込車両に対し衝突を回避することが規定されている他、自車よりも低い速度の割込車両や歩行者に対しても定量的な衝突回避が規定されている。

EM の要件では、衝突の危険が差し迫った場合に、必要に応じフルブレーキで制動するかまたは操舵により回避することが規定されている。操舵による衝突回避では車線境界線を越えてはならない。また、差し迫った衝突の危険が消失するかまたはドライバーがシステムの作動を停止しない限り EM を終了しないこと、車外への報知等が規定されている。

TD の要件では、システムから TD が提示された場合に、ドライバーが安全に運転操作を引継ぐための要件が規定されている。引継ぎには移行期間 (Transition phase) が必要であるとの考え方を基に、移行期間ではシステムの作動を継続すること、安全な引継ぎのために十分な時間を供給すること等が規定されている。ドライバーが TD に応答しない場合には、MRM に移行し、車両を減速・停止させるが、MRM の開始は TD の開始から最短で 10 秒後となっている。また、TD 開始後できるだけ早くドライバーが応答することが望ましいので、TD 開始後 4 秒以内に警報を強めることとなっている。強める方法には触覚警報 (ごく短時間のブレーキ制御を想定) も含まれる。

MRM の要件では、車線内 (車線を認識できない場合には周辺交通やインフラ設備から走行軌跡を導出) で減速すること、減速度は  $4\text{m/s}^2$  以下とすること、ハザードランプを点滅すること等が規定されている。

### 2. 2. Human Machine Interface/operator information

6 章は Driver Availability Recognition System、Activation/Deactivation and Driver Input、System override 及び Information to the driver に関する規定である。

Driver Availability Recognition System は、システ

ム作動中にドライバがTDに応答可能な状態であるか否かをモニタする機能である。ドライバが適切なポジションで運転席に着座し、シートベルトを着用した状態で運転操作を引き継げる状態であることを検知し、運転席へ着座していない状態が1秒以上継続するかまたはシートベルトを外した場合にはTDを提示すること等が規定されている。応答可能か否かは、過去30秒間に少なくとも2つの指標に対する判定基準が応答可能と判定されない場合には、応答可能でないと判定する。具体的な指標については、ドライバが操作するコントロール類への入力、瞬き、閉眼及び意識的な頭または身体の動きが例として示されており、製造者は判定基準の数、組合せ及び監視のインターバルの妥当性を審査機関に対し書面で提出し、審査される。

Activation/Deactivation and Driver Input の要件では、作動、作動停止及びドライバの操作入力があった場合のシステムの動きに対する規定がある。システムの作動及び作動停止を行う専用手段を備えること、イグニッション ON 時の初期設定は作動停止であることその他、システムが作動となる条件が規定されている。手動操作による作動停止については、作動時と同じ手段を用いること及び意図しない操作によって作動停止しないことが規定されている。ドライバが運転操作介入した場合の作動停止については、ステアリング操作によってシステムがオーバーライドされた場合またはステアリングを握った状態でブレーキまたはアクセル操作によってシステムがオーバーライドされた場合に作動停止することが規定されている。TD または MRM を実行中の作動停止については、オーバーライドの条件が成立するかまたはドライバがステアリングホイールを握り、注意力を有していることが確認された場合に作動を停止することが規定されている。システムの作動停止後は、前後方向または横方向の車両制御を連続的に行う機能へ自動的に移行することは禁止されている。

System override の要件では、ステアリング、ブレーキ及びアクセルへの入力に対する規定がある。ステアリングへの入力に対しては、ドライバの入力が閾値を超えた場合にシステムをオーバーライドし、閾値にはドライバの注意力も含むこととなっている。注意力については、ドライバの視線方向が主に前方の道路を見ていることをシステムが確認した場合、ドライバの視線方向が後写鏡を見ていることをシステムが確認

した場合またはドライバの頭の動きが主に運転操作に向けられていることをシステムが確認した場合の少なくとも1つが該当する場合に注意力を有すると判定する。製造者は審査機関に対し具体的な確認方法、判定基準等を書面で提出し、審査される。ブレーキへの入力に対しては、ドライバがシステムによって発生する減速度よりも大きい減速度を発生するブレーキ操作を行うかまたは停車状態を維持しようとした場合に、前後方向制御をオーバーライドすることとなっている。アクセルへの入力に対しては、ドライバのアクセル操作により本基準の要件から逸脱しない範囲で前後方向制御をオーバーライドすることとなっている。なお、アクセルまたはブレーキへの入力が合理的な閾値を超えた場合には、TD が提示される。

Information to the driver の要件では、ヒューマンマシンインターフェース（以下、HMI とする）に対する規定がある。システムの状態及びシステムの故障（少なくとも光学信号）、TD（光学警報に加え、音または触覚による警報）、TD 開始から4秒以内に持続的または断続的な触覚警報を含め、TD 終了まで警報を強めること、MRM 実行中であること（光学警報に加え、音または触覚による警報）及びEM 実行中であること（光学信号）を提示すること等が規定されている。

## 2. 3. Object and Event Detection and Response

7章はセンシングに関する規定である。前方検知距離は46m以上であること及び横方向検知距離は隣接する左右の車線の全幅を検知するのに十分な距離であることを前提に、製造者が審査機関に申告すること等が規定されている。

## 3. 当研究所が実施した実験の概要

### 3. 1. 実験の目的

本実験は、高速道路で使用する自動運転システムを対象とし、システム作動中にTDが提示され、ドライバが運転操作を引き継ぐ場面において、安全な運転操作引継ぎのために配慮すべき事項等を考察することを目的として実施した。

### 3. 2. 実験方法

実験はドライビングシミュレータを用いて行った。運転操作引継ぎを行う場面は、図1に示す3場面とした。計画的な事象発生例として、高速道路出口の手前でTDを提示する場面（場面A）を設定し、計画外の事象発生例として、システムの故障発生により



TD を提示する場面 (場面 B) 及び車線減少により TD を提示する場面 (場面 C) を設定した。いずれの場面も、運転操作を引き継いだ直後に運転負荷の高い状況に遭遇した場合を想定し、場面 A は高速道路出口に渋滞で停車中の車列が出現、場面 B は隣接車線より他車両が自車の前方に割込んだ後に  $4\text{m/s}^2$  で減速、場面 C は後方から自車よりも高い速度で他車両が接近する状況で自車が車線変更する設定とした。TD を提示する時点における自車の速度は、場面 A 及び場面 B は  $100\text{km/h}$ 、場面 C は  $80\text{km/h}$  とした。TD を開始してからシステムの作動を停止するまでの時間を Transition time とし、場面 A は 15 秒、場面 B 及び場面 C は 5 秒、10 秒、15 秒の変数とした。また、TD 開始後にドライバがアクセル、ブレーキまたはステアリングのいずれかを操作した時点でシステムの作動を停止し、TD にドライバが応答しない場合には、Transition time 終了時にシステムを作動停止した。

システム作動中のドライバの行為 (タスク) については、何も行わない、車載モニタによる動画視聴及びタッチパッド操作によるゲームの 3 条件とした。車載モニタによる動画視聴は、没入度があまり高くなり過

ぎず、TD の認知を阻害する可能性が低いと考えられる行為の例として実施し、TD 開始時には動画を終了して TD を通知した。タッチパッド操作によるゲームは、没入度がある程度高く、TD の認知を阻害する可能性が考えられる行為の例として実施し、タッチパッドの画面はシステムとは連動しないこととした。

実験に使用する HMI はモニタ画面上への表示及びスピーカからの音とした。表示については、TD 開始時に、間もなくシステムが作動を停止することを告げる表示を開始し、システムが作動を停止した時点で作動停止を告げる表示に切り替えた。音については、TD 開始時に、報知音 (ピンポン) 及び間もなく作動を停止 (解除) することを告げる音声を 1 回提示し、システムの作動を停止した時点で報知音 (ピピピピ) 及び作動停止を告げる音声を 1 回提示した。

実験協力者は日常的に運転を行う 30 代～50 代の非高齢の男女 10 名及び 60 代後半～80 代前半の高齢の男女 10 名で構成した。「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づく事前審査を受け、実験開始前に被験者に実験内容の説明を行い、同意を得た上で実施した。実験前の練習走行では、高速道路出口の手前で TD を提示し、運転操作を引き継いだ後、手動操作で出口路を走行 (渋滞車列は出現せず) する場面を 1 回実施した。

実験に使用したドライビングシミュレータは、車両に発生する加速度等を体感でき、運転操作引継ぎ時のステアリング操作をより現実に近い形で再現するため、システム作動中は道路線形等に応じてステアリングホイールが自動で転舵するものとした。

### 3. 3. 実験結果

実験結果の例として、場面 B の結果を説明する。

図 2 は TD を開始後、ドライバがステアリングホイールを握るまでの時間を、タスクの条件及び Transition time の条件ごとに集計した結果である。タスクの条件によらず、Transition time が長くなる程、ステアリングホイールを握るまでの時間の 75%ile 値が増大している。この理由は、一部のドライバは TD 開始後も作動停止の通知まではシステムの作動が継続することを理解しており、TD を開始後、しばらく様子を見て応答したためである。また、高齢者の 1 名はタッチパッドの条件で TD に応答しなかった。

図 3 は Transition time が 5 秒の条件において、TD

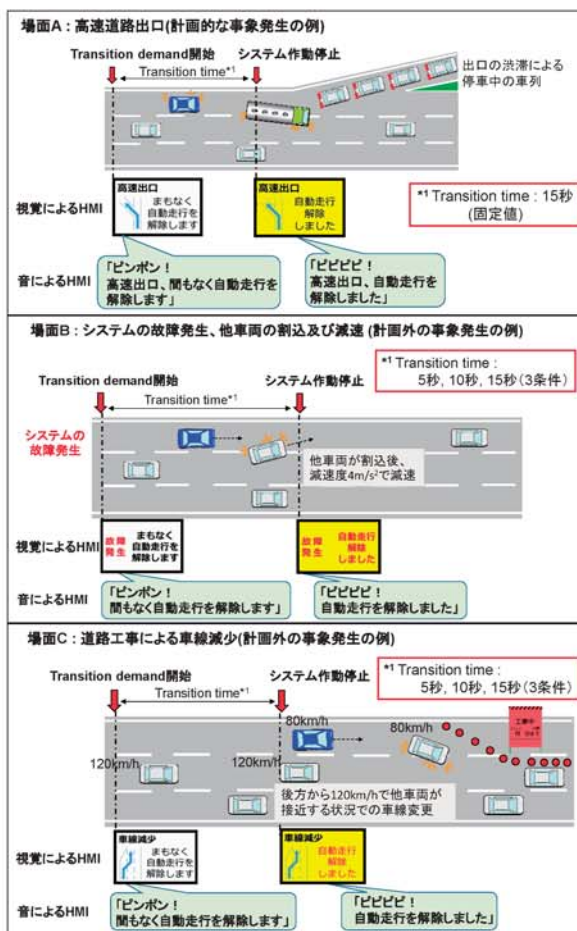


図 1 実験場面の概要

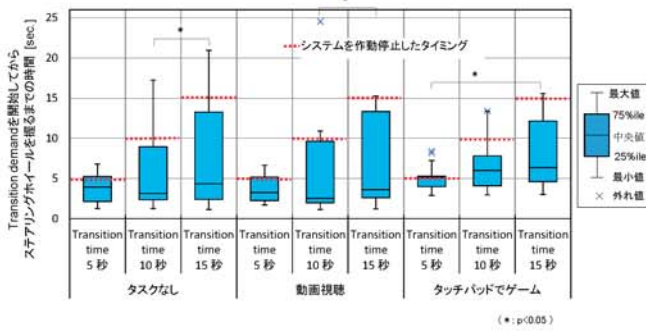


図2 ステアリングホイールを握るまでの時間（全条件）

を開始後、ドライバがステアリングホイールを握るまでの時間を、タスクの条件ごとに集計した結果である。中央値で見ると、タッチ패드操作の場合には他の条件に比べ、ステアリングホイールを握るまでの時間が1~2秒増大している。一方、75%ile値で見た場合には、タスクの条件による違いはほぼ見られず、比較的多くのドライバにとって、タスクの条件によらず、概ね5秒以内にステアリングホイールを握ることが可能であることが分かった。

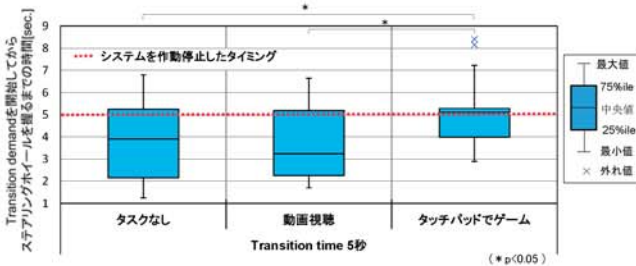


図3 ステアリングホイールを握るまでの時間（5秒）

図4はTDを開始後、隣接車線の他車両が自車の前方に割込んだ際に、ドライバがブレーキ操作を行ったタイミングをタスクの条件及びTransition timeの条件ごとに集計した結果である。縦軸の0秒は、割込車両の左前輪が車線境界線に到達した時点を示している。多くのドライバは割込車との車間距離を確保するため、割込車が減速を開始（図中、青色破線）する前にブレーキ操作を開始している。また、50%ile値で見

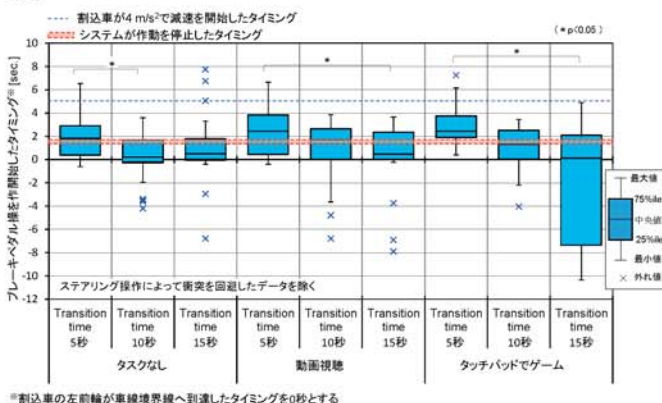


図4 ブレーキペダル操作開始タイミング

ると、Transition timeが10秒及び15秒の条件ではシステムが作動を停止（図中、オレンジ色破線）する前にブレーキ操作を開始している。図3ではTransition timeが長くなる程、ステアリングホイールを握るまでの時間が長くなる傾向が見られたが、一方で、図4の結果はTDが10秒程度以上確保された場合には、より早く危険対象から離れる方向へ運転行動が変化するドライバも存在することを示している。

### 3. 4. 実験結果まとめ

本実験では以下の知見が得られた。

- ①多くのドライバは、TDを開始後、概ね5秒以内にステアリングホイールを握ることが可能である。一方で、ドライバが運転操作を引き継いだ直後に、周囲の状況を確認してより安全な運転行動を行えるようにするためには、更なる時間的な余裕を確保することが望ましい。本実験の結果からは、Transition timeを10秒または15秒とした場合に、より早いタイミングで危険対象から離れる操作を行うことが可能になることが分かった。
- ②一部のドライバでTransition timeが長くなる程、TDへの応答が遅くなる傾向が見られたことから、ドライバに迅速な応答を促すHMIが必要である。
- ③運転操作を引き継いだ直後に危険事象に遭遇するリスクを低減するため、システムはTransition timeの間に速度を低下させる等、より安全な方向に車両の動きを制御することが望ましい。
- ④システム作動中に、システムと連動しないツールを用いて比較的没入度の高いタスクを行うと、TDの認知を阻害する場合がある。

実験結果は自動操舵専門家会議で報告した<sup>2)</sup>。このうち、上記①はTD開始後MRM移行までの最短時間10秒の規定、上記②はTD開始後4秒以内に警報を強める規定、上記③は移行期間中の速度低下を許容する規定の根拠となった。

## 4. まとめ

引き続き、当研究所は日本の提案内容の新たな基準案等への反映及び技術的根拠となる実験データの提供を行っていく予定である。

## 5. 参考文献

- 1) UN ECE, "ECE/TRANS/WP.29/2020/81"(2020)
- 2) UN ECE, "ACSF-17-07"(2018)

# 講演5. 運転支援のための路面描画ライトに関する研究

自動車安全研究部 ※加藤 洋子 青木 義郎 関根 道昭

## 1. はじめに

現在、WP29/GRE (灯火器専門分科会) では、ADB (可変型走行ビーム) の可変配光範囲内の灯光により路面上に視覚情報提示を行う「路面描画ランプ」の導入について議論している。日本政府は、路面描画の表示により、ドライバの先行車や歩行者に対する注意力の低下や、他の交通参加者に混乱を生じさせるといった事故リスクについても留意しつつ、路面描画の許容可否を検討している。

本研究では路面描画の安全性に関する基礎的な検討として、自車両前方に表示された路面描画の有無や照明条件の変化が、自車両ドライバのブレーキ反応時間にどのように影響を及ぼすかを調査した。また、路面描画が他の交通参加者に及ぼす影響を調査するため、自車両ドライバ、対向車ドライバ、歩行者の視点から観察した場合の路面描画の可読性について併せて調査を行った。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 実験場所

当研究所 (東京都調布市) の屋外、透水性アスファルト舗装の路面において、日没後の天空照度 0.1 lx 以下の条件下で実験を実施した。

### 2. 2. 実験日程・被験者

実験は各日 4 名とし、4 日間実施した (表 1)。ただし、1、2、4 日目は路面が乾燥していたが、3 日目は実験開始前に雨が降り路面が湿潤状態であった。

被験者は外部から募集し、20 歳代～50 歳代の 16 名 (男性 8 名、女性 8 名) が参加した。「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づく事前審査を受け、実験開始前に被験者に実験内容の説明を行い、同意を得た上で実施した。

表 1 被験者リスト

No.	性別	年齢	両眼視力	日付	路面
1	男	50	0.9	2020年 1月9日	乾燥
2	女	50	0.7		
3	女	55	1.5		
4	女	50	1.5		
5	男	24	1.5	1月14日	乾燥
6	女	32	1.5		
7	男	20	1.5		
8	女	22	1.2		
9	男	22	1.2	1月15日	湿潤
10	男	22	1.2		
11	女	22	1.0		
12	男	22	1.5		
13	男	36	1.2	1月16日	乾燥
14	男	50	1.0		
15	女	23	1.5		
16	女	24	0.7		

### 2. 3. 実験装置

図 1 に実験装置配置図、図 2 に自車両側から見た実験装置の様子、図 3 に対向車側から見た実験装置の様子を示す。被験者は、自車両及び約 50m 離れて設置された対向車のドライバ席から、運転操作は行わず停止した状態で路面描画を観察した。また、2～4 日目 (被験者 No.5～16) については、歩行者視点として路面描画の右側約 3m の位置から、路面描画を観察した。

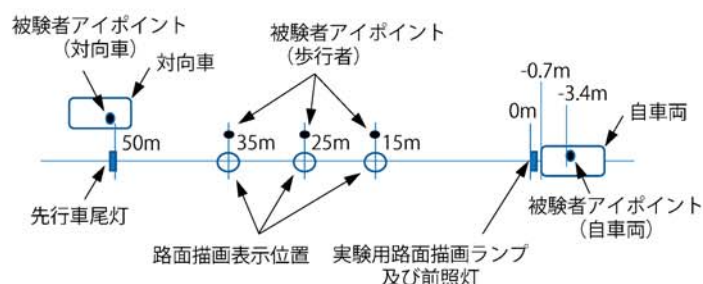


図 1 実験装置配置図



図2 自車両側から見た実験装置の様子



図3 対向車側から見た実験装置の様子

自車両の前照灯は消灯し、実験用の路面描画ランプ及び前照灯（すれ違いビーム）を自車両前端の前方0.7m（図1参照）、高さ0.7mとなるよう昇降台の上に設置して点灯させた（図4）。前照灯の左右間幅は1.4mとし、路面描画ランプはその中央に配置した。路面描画は、路面描画ランプから15m、25m、35m離れたいずれかの位置（図1参照）に投影する。

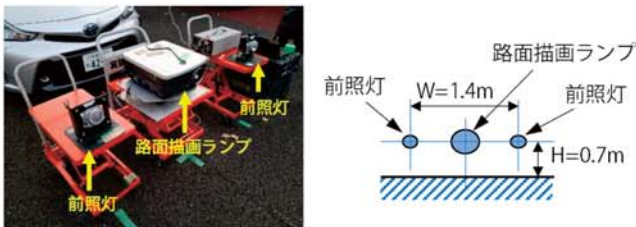
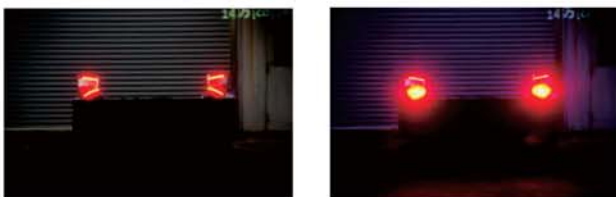


図4 実験用路面描画ランプ及び前照灯の配置

また、自車両に乗車した被験者の先行車の制動灯点灯に対する反応時間を測定するため、路面描画ランプから50m前方に、図5に示す先行車を模擬した尾灯及び制動灯を高さ0.97m、左右間幅1.27mで設置し、自車両車内に図6に示す押しボタンを用意した。



(a) 制動灯消灯時 (b) 制動灯点灯時

図5 先行車の尾灯及び制動灯



図6 ブレーキ反応ボタン

## 2. 4. 実験条件及び手順

路面描画は、表示位置の3条件の他に、ランプ光度を5、9、14万cdの3条件、大きさ（シンボルの横幅）を小（1.2m）と大（2.5m）の2条件で変化させた（表2）。実験は、ランプ光度、表示位置、大きさの組み合わせ毎に区切って進行し、これを1ブロックとする。ランプ光度3条件、表示位置3条件、大きさ2条件のため、計18ブロックとなる。

表2 路面描画の条件

ランプ光度 [cd]	5万, 9万, 14万
表示位置 [m]（路面描画ランプ位置からの距離）※図1参照	15, 25, 35
大きさ（シンボルの横幅[m]）	小(1.2), 大(2.5)

路面描画のシンボル（表示内容）は、30、40、50、←、→の5種類とした。図7に、自車両側から撮影した路面描画の例を示す。実験では、各ブロックにつき10個（シンボル5種類×各2回）のシンボルをランダムな順序で4秒間ずつ表示させ、被験者が予測できないタイミングで先行車の制動灯を3回点灯させた。自車両に乗車した被験者は、表示内容を読み上げながら、制動灯の点灯に反応し、図6の手持ちの押しボタンを押下した。本研究では、制動灯の点灯からポ



(a) シンボル“30”の場合



(b) シンボル“←”の場合

図7 自車両側から見た路面描画の例

（路面乾燥時、ランプ光度14万cd、表示位置15m、大きさ2.5m(大)）

タンが押下されるまでの時間をブレーキ反応時間と定義した。各ブロック終了後に、被験者は路面描画の可読性を0~5（0：見えない、1：読めない、2：読みにくい、3：普通に読める（苦勞せずに読める）、4：読みやすい、5：非常に読みやすい）の尺度で評価し、中間の評価（例えば、2.5等）も可とした。対向車、歩行者の視点からは、制動灯への反応は行わず、可読性評価のみを行った。

路面描画を表示する（路面描画あり）18ブロックはランダムな順序で実施し、その前後に、路面描画を表示しない条件（路面描画なし）を1ブロックずつ行った（前を①、後を②とする）。路面描画なしのブロックでは、シンボル表示内容の読み上げ及び可読性評価は実施しない。

また、路面乾燥時及び路面湿潤時に、自車両側から測定した路面描画のランプ光度と表示位置による路面輝度の変化を図8に示す。これは、実験用前照灯点灯の状態で“■”の路面描画シンボルを表示し、シンボル中央付近を測定角0.2度の輝度計で測定した場合の輝度値である。本実験の透水性アスファルト舗装の実験場所では、路面湿潤時の路面輝度は路面乾燥時の20%程度となることが分かった。

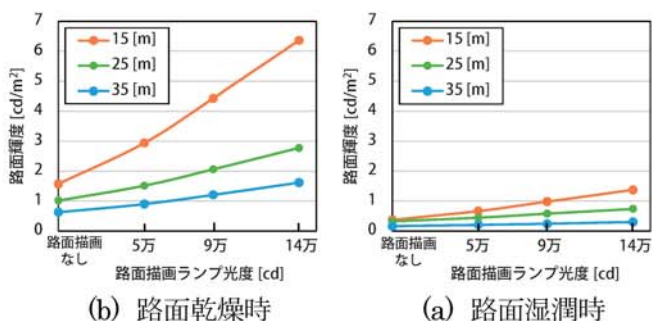


図8 ランプ光度と位置による路面輝度の変化

### 3. 実験結果

#### 3. 1. ブレーキ反応時間

路面乾燥時の被験者12名×3回分の各ブロックのブレーキ反応時間の平均値を図9に示す。路面描画なし（①と②の平均値）は0.34秒、路面描画ありの全条件での平均値は0.48秒となり、路面描画なしの場合と比べ、路面描画ありの場合は平均0.14秒（最小0.10秒、最大0.19秒）長かった。路面描画なしの平均反応時間と路面描画ありの18条件の各平均反応時間についてt検定を行ったところ、全ての条件間に1%水準で有意差が検出された。ドライバの注意が路

面描画に集中した場合、制動灯の点灯への反応遅れが生じることが示された。ただし、既往の調査では、ブレーキ反応時間の遅延は、HUDによって0.4秒程度り、車載モニタによって0.4秒以上<sup>2)</sup>発生するといった報告があり、それらと比較すると本実験の路面描画による遅延は短い。また、路面描画ありの場合のブレーキ反応時間は、路面描画のランプ光度、表示位置、シンボルの大きさにより反応時間に変化があったものの、系統立った変化ではなかった。

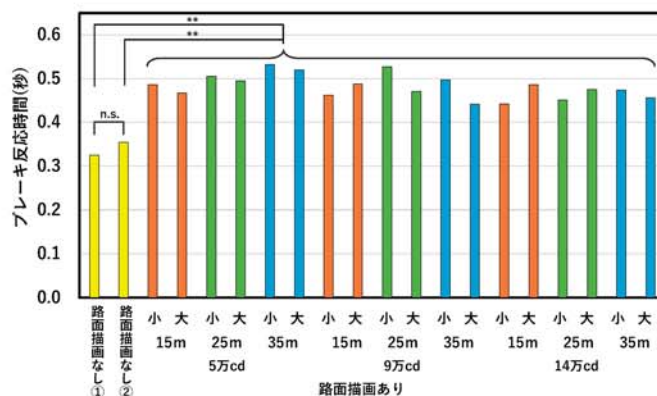


図9 ブレーキ反応時間（路面乾燥時）

被験者数が4名と少ないが、路面湿潤時の被験者4名×3回分の各ブロックのブレーキ反応時間の平均値を図10に示す。路面描画なしは0.31秒、路面描画ありの全条件での平均値は0.44秒となり、路面描画なしの場合と比べ、路面描画ありの場合は平均0.13秒（最小0.08秒、最大0.19秒）長かった。路面乾燥時（図9）より全体的に短くなっているが、全被験者の平均年齢が33歳であるのに対し路面湿潤時の被験者4名の平均年齢は22歳（4名とも22歳、表1のNo.9~12）であるため、路面状態の影響ではなく、年齢が低いために反応時間が短くなった可能性がある。路面の乾燥/湿潤状態や舗装の種類による影響について、今後も調査していく必要がある。

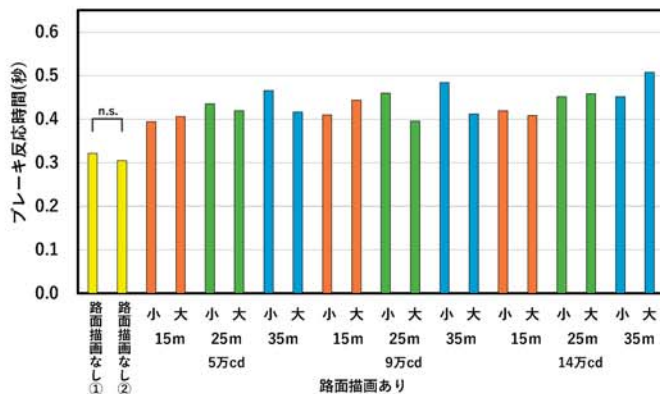


図10 ブレーキ反応時間（路面湿潤時）

### 3. 2. 路面描画の可読性

路面乾燥時及び路面湿潤時の路面描画の可読性の評価結果を、図 11~13 に示す。

自車両ドライバによる可読性 (図 11) は、ランプ光度が高くなるほど、路面描画の表示位置が自車両に近くなるほど、シンボルが大きくなるほど向上した。また、路面湿潤時は、路面乾燥時よりも評価が低い特徴が見られた。これは、路面湿潤時は路面乾燥時より路面輝度が低くなるためと考えられる (図 8 参照)。

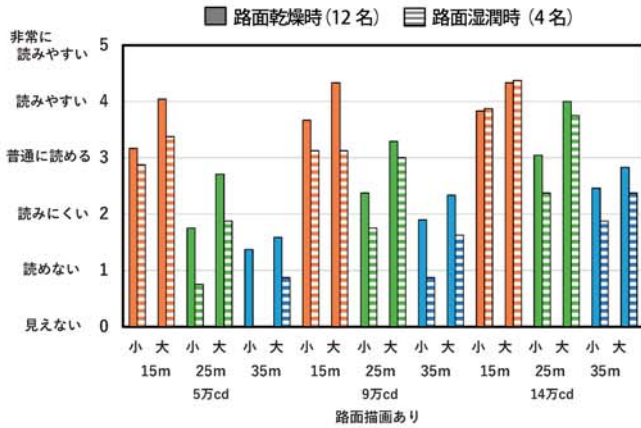


図 11 路面描画の可読性 (自車両ドライバ)

対向車ドライバによる可読性 (図 12) は、自車両と異なり、表示位置 25m において評価が高くなる特徴が見られた。表示位置が自車両に近くなるほど、シンボルの見掛けの大きさが小さくなることに加え、前照灯による減能グレア (近くにまぶしい光源がある場合に視認性が低下する現象) が生じることが影響していると考えられる。

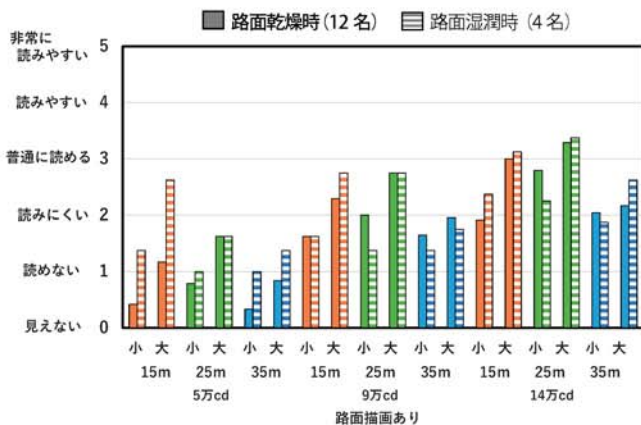


図 12 路面描画の可読性 (対向車ドライバ)

歩行者による可読性 (図 13) は、自車両ドライバと同様に、ランプ光度が高くなるほど、表示位置が自車両に近くなるほど、シンボルが大きくなるほど向上し

た。特に表示位置 15m の場合は、歩行者でも高い評価となり混乱を与える可能性があることが示された。

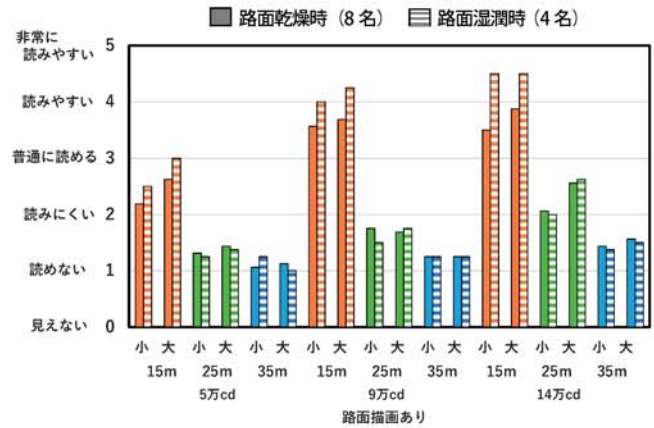


図 13 路面描画の可読性 (歩行者)

### 4. まとめ

本研究では、灯光により自車両前方の路面上に表示される路面描画について、基礎的な評価実験を実施した。

ブレーキ反応時間の実験結果より、路面描画により 0.1~0.2 秒程度のブレーキ反応時間の遅延が発生することが示された。路面描画の可読性の評価結果より、自車両に見えやすく、他の交通参加者に見えにくい路面描画を生成するためには、路面描画のランプ光度、表示位置、大きさを適切に制御する必要があることが示された。

本実験の路面湿潤条件については被験者数が 4 名と少なかったため、追加で確認する必要がある。また、走行中などの動的条件の場合や、他の交通参加者への影響についても、さらなる検討を行う必要がある。

### 謝辞

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

### 参考文献

- 1) 榎本恵, 関根道昭, 森田和元, 田中健次: ヘッドアップディスプレイを想定した重畳表示における情報の表示数と位置が安全運転に与える影響(第 2 報)—ブレーキ操作および視点移動について, 自動車技術会論文集 Vol.47, No.2, p.523-529 (2016)
- 2) 森田和元, 益子仁一, 岡田竹雄: 自動車の車室内表示装置を注視することによる反応時間の遅れについて, 照明学会誌, Vol.82, No.2, pp121-130 (1998)

# 環境研究部における研究の概要と方向性

環境研究部

坂本 一朗

## 1. はじめに

大気汚染物質の排出に対する自動車の寄与は大きく、これまで厳しい排出ガス規制が設けられてきた。その結果、平成 30 年度の二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、浮遊粒子状物質 (SPM) 等による大気汚染については大きく改善されている。一方で、微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の環境基準達成率は自排局で 93.1%、光化学オキシダント (O<sub>x</sub>) は自排局で 0% であり、さらなる低減が課題となっている。

2018 年度の日本の二酸化炭素排出量<sup>2)</sup>は 11 億 3,800 万トンで、自動車全体で日本全体の 15.9% (運輸部門の 86.2%) を占めており、排出ガス規制とともに、更に厳しくなる燃費基準との両立が求められている。「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(令和元年 6 月 11 日閣議決定)<sup>3)</sup>では、2010 年比で、世界で供給する日本車 1 台当たり温室効果ガス 8 割程度削減を目指すこととしている。

平成 30 年度自動車交通騒音の状況<sup>4)</sup>では、全国で昼夜とも環境基準を超過していたのは全体の 2.7% であり、道路に面する地域における環境基準の達成状況は緩やかな改善傾向にあるものの、幹線交通を担う道路に近接する空間においては、改善すべき余地が依然として大きく、また、沿道騒音に係る苦情件数はここ数年は減少傾向は見られない。

上記のような背景のもと、交通安全環境研究所環境研究部は、陸上交通に係る環境の保全、及び、温室効果ガスの排出削減を図るため、国が実施する関連行政施策の立案や技術基準の策定等に資する研究等を行うことをミッションとして、以下の課題について重点的に取り組んでいる。

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

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

## 2. 研究の概要

### 2. 1. 燃料電池等新技术搭載自動車の安全・環境性能評価

当研究所では、電気自動車 (EV)、燃料電池自動車 (FCV)、ハイブリッド自動車 (HEV) 等次世代自動車について、環境性能を正しく評価するための研究を実施している。近年では、新車時だけでなく、車両の使用期間を通して環境性能等が維持される耐久性についても議題となっているため、使用過程のハイブリッド車のバッテリー性能変化と燃費性能変化の関係について調査を行っている。

### 2. 2. 実走行時の有害物質及び騒音の評価

自動車の有害物質及び騒音に関しては、より実走行条件に即した様々な運転条件下において適用可能な評価方法の高度化に関する研究を行っている。

自動車から排出される粒子状物質を低減するために、従来の重量による PM 排出量の規制に加え、粒子数 (PN) の規制が導入されることとなり<sup>5)</sup>、当研究所は、将来的に RDE (Real Driving Emissions) 試験における PN 規制に備えて、PEMS (Portable Emission Measurement System) の PN の測定原理の違いが評価結果に与える影響を調査している。

重量車においても路上走行時における排出ガス計測の必要性は高まっており、欧州ではすでに PEMS による重量車の RDE 試験が始まっているが、我が国では実施段階までには時間を要する状況である。当研究所では、NO<sub>x</sub> センサ等の排気管直挿センサを用いた計測システムの開発と、その結果を基に路上走行時の排出ガスを高精度に把握する手法を検討している。

騒音に関しては、公道での走行騒音から、街頭検査時の騒音試験法である近接排気騒音試験法の規制値を超過する車両を判別すべく、AI を活用した判定モデルの作成を行っている。騒音データから音質や車両の走行方法等を考慮して、車両騒音を判別するシステ

ムを考案し、街頭検査の効率化に資するべく、実用化を目指した検討を行っている。

乗用車の販売カタログ等に記載される燃料消費率や排出ガス量は、シャシダイナモメーターに実車両を設置し、規定された車速パターンを走行し計測しているが、この値は、運転操作によってバラツキが生じる。そのため、車両走行性能を公平に評価できるよう、運転ロボットを使った試験手法を検討している。

国土交通省は、運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出量の多い大型車分野に関し、産学官連携のもと、電動化技術や内燃機関分野等の開発促進の強化を図るため、「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」を5か年計画（令和元年～5年度）で行っている。令和元年度に引き続き令和2年度も当研究所が中核的研究機関となって、車両技術、排出ガスの後処理、エンジンの効率化等に関する内燃機関に関する研究を実施している。

### 2. 3. 実用燃費の評価

次期重量車燃費基準において、電動自動車等（電気自動車、プラグインハイブリッド車、燃料電池自動車）においても、その省エネルギー化への取り組みを評価する必要があるため、国土交通省は検討会を設置し上記3車種の電費等の試験法の検討を行っている。交通研は2台の電気自動車の電費の結果を提供し、試験法の策定に関わっている。

また、欧州や米国で導入されている、モード試験においては反映できない燃費改善技術（オフサイクル技術）による燃費向上の効果を検証し、「オフサイクルクレジット」の制度構築に資するための基礎的な調査を行っている。

## 3. 国際基準調和活動

環境研究部では、WP29の環境に関する専門家会合とその傘下のインフォーマル会議等において、基準策定に必要なデータの提供等を積極的に行っている。

### 3. 1. 排出ガス・エネルギー専門家会合（GRPE）

WLTP（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）インフォーマル会議は当研究所の職員が副議長として参加し、GTR No.15（WLTP）を基に1958年協定加盟国が採択できる国連規則の検討を行ってきた。第80回GRPE（令和2年1月）においてWLTPの国連規則案が承認され、第181回WP29（令和2年6月）において成立した。また、EVE

（Electric Vehicles and the Environment）インフォーマル会議で議論されてきたシステム出力の新GTR案、RDEインフォーマル会議で議論されたRDEの国連規則案が第81回GRPE（令和2年6月）において承認された。

### 3. 2. 騒音・タイヤ専門家会合（GRBP）

GRBPでは、大型車等の後退を音で知らせる警報装置に関する新たな国連規則を検討するため、タスクフォースが設置され議論が行われている。当研究所の職員が議長を担当し、当研究所にて実施した調査研究を報告するとともに、国際基準の策定に向けて積極的に活動を行っている。また、四輪車の加速走行騒音に関する国連規則UNR51-03で規定されている追加騒音試験法（Additional Sound Emission Provisions（ASEP））の見直しはASEPインフォーマル会議で行われており、当研究所の職員が副議長として参画し、試験法案の提案を行っている。

## 4. 環境研究部の今後の方向性

近年の自動車には、排出ガスや燃費性能向上のために、新たなデバイスや複雑な制御など次々に新技術が導入されている。これらの技術を適切に評価するため、その評価システムや評価方法も高度化・複雑化している。当研究所では、国の施策等に貢献するための試験研究等を継続して実施していくことにより、環境の保全及び温室効果ガスの排出削減を図るため、関連する研究、調査等を進めていくとともに、国際基準調和に貢献していくこととしている。

### 参考文献

- 1) 環境省、“平成30年度 大気汚染物質（有害大気汚染物質等を除く）に係る常時監視測定結果”、環境省ホームページ、(<https://www.env.go.jp/press/files/jp/113643.pdf>)、(参照 2020.8.31)
- 2) 国土交通省、“運輸部門における二酸化炭素排出量”、国土交通省ホームページ、([https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_tk\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html))、(参照 2020.08.31)
- 3) パリ協定長期成長戦略懇談会、“パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略”、首相官邸ホームページ、(<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai40/pdf/senryaku.pdf>)、(参照 2020.8.31)
- 4) 環境省、“平成30年度自動車交通騒音の状況について”、環境省ホームページ、(<http://www.env.go.jp/press/107839.html>)、(参照 2020.08.31)
- 5) 環境省、“今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第十四次答申）”、環境省ホームページ、(<http://www.env.go.jp/press/108320/mat01-95.pdf>)、(参照 2020.08.31)



## 4. 2030 年度燃費基準とオフサイクル技術の評価について

環境研究部 ※鈴木 央一 志村 渉

### 1. はじめに

CO<sub>2</sub> 排出やエネルギー消費削減に向けて、世界各国、地域で自動車の燃料消費率（以下「燃費」という）規制が強化されている。日本においては、乗用車等の軽・中量車を対象とする 2020 年度燃費基準の適用が始まり、達成判定が行われるようになったのに加えて、2030 年度燃費基準に関する最終とりまとめが令和元年 6 月に公表された<sup>(1)</sup>。その基準値は、2020 年度燃費基準から 44.3%改善という野心的なものである。従来からの変更等詳細は後述する。

また、上記最終とりまとめにおいては、「モード試験では反映されない燃費向上技術の達成判定における評価について速やかに検討すること」と述べられている。これは米国において、試験サイクルで効果が現れない燃費向上技術（以下「オフサイクル技術」という）について、その効果しるを超過達成分として貯蓄したり、未達分の埋め合わせに使える「クレジット」として評価する「オフサイクルクレジット」として制度化したことを意識した記述といえる。したがって、2030 年度燃費基準が適用される前に、日本版オフサイクルクレジット制度が導入される可能性が高いと考えられ、それは実燃費向上にも寄与しうるものである。

本報告では、2030 年度燃費基準について触れた上で、オフサイクルクレジット制度について紹介するとともに、その日本版の導入に向けて交通安全環境研究所で行った調査結果の一部を示すこととした。

### 2. 2030 年度燃費基準について

2030 年度燃費基準において、従来のものから大きく変更された点としては、以下の 3 点が挙げられる。

- 評価方法が JC08 モードから WLTC へと変更
- 電気エネルギーの公平な評価を行うために資源や

加工段階も含めた（Well to Wheel = WtW）評価の概念が取り入れられた

○従来の重量区分ごとの基準値から車両重量を含めた計算式により求められることになった

中でも WtW の評価は基準としては新しい概念で、外部給電の電気を走行エネルギーとして用いる EV や PHEV の普及が見込まれる中で、エネルギーの生成過程を燃費の評価に取り入れたことは妥当性のあるものと考えられる。

車両重量と燃費基準値の関係を図 1 に示す。基準年度に市販される車両の車両重量の台数分布が 2016 年と同じ場合の推定値で 25.4km/L となる。走行中のエネルギー消費の主因は走行仕事によるもので、その走行仕事量をベースに考えると、燃費基準値は車両重量に対して下に凸の曲線状になるが図 1 ではそうっていない。これはトップランナー方式により基準値を定める場合、各車両重量クラスのトップランナーにさらなる燃費向上技術の導入やその想定普及率を加味して定めることになるため、例えば 800kg 前後は主に軽自動車該当する重量であるが、それらにフルハイブリッドシステムの導入を見込むことは困難であるのに対して、1,200kg 前後では低燃費なコンパクトハイブリッド車が多く存在するなど事情が異なるためである。

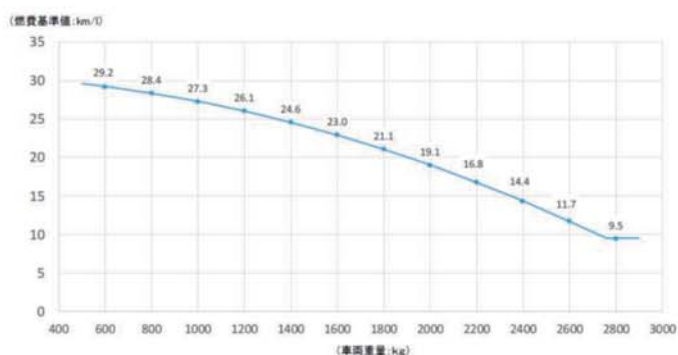


図 1 車両重量に対する 2030 年度燃費基準値<sup>(1)</sup>

### 3. オフサイクルクレジット制度について

#### 3. 1. オフサイクル技術について

前記の通り、オフサイクル技術はモード試験で使用しないデバイスで、その例としてエアコンやヘッドライトが挙げられる。米国でオフサイクル技術として取り上げられている技術項目とそのクレジット値の例を表1に示す<sup>②</sup>（これとは別途「エアコンクレジット」がある）。一方、欧州においても同様の視点で定められた「エコイノベーション」制度がある。その中では表1に記載されたもの以外に高効率オルタネーター（補機バッテリー用の発電機）などが認定された実績がある。

表1 米国で取り上げられているオフサイクルクレジット対象技術の例（効果はCO<sub>2</sub>削減量）

技術項目	条件など	効果(g/mile)
高効率ライト	100W 低減時	1.0
排熱回収	100W 回収の場合	0.7
ソーラーパネル	75W パネルの場合	
電池の充電のみ		3.3
充電とキャビン内換気		2.5
能動的な空力改善	抗力係数(Cd)3%減	0.6
変速機暖機促進	いずれも熱源はエンジン	1.5
エンジン暖機促進	なので合計に上限がある	1.5
日射・温度制御	低透過率ガラス等	合計で3.0まで

欧米において、オフサイクルクレジットは企業平均燃費（CAFE）値を算出する際に加味されるもので、ユーザーへ情報として供される燃費値に影響を持つものにはなっておらず、日本でも同様の考え方になると見込まれる。

#### 3. 2. オフサイクル技術の効果判定について

オフサイクルクレジットの評価は、当該技術の基準技術からの燃費改善効果と、実運用の中でそれがどれだけの頻度で使用されるか、の2つの要素からなる。

前者の燃費改善効果について、基本的に同一車両において新旧の技術それぞれで評価を行い差分をとることになるが、基準技術の定義や効果を客観的に評価することが難しいといった課題があり、米国の制度でも多くの付帯条件がある。

一方で後者の実用面について、各オフサイクル技術の使用頻度を把握することは容易でない。例えばヘッドライトの使用頻度をとって、それに関する

公的なデータは存在しない。欧米で類似制度を導入した際のデータは存在するものの、車の運用も道路事情も大きく異なる環境下では差異があると考えられる。それに関する調査結果について4章にて言及する。

### 4. オフサイクル技術の使用頻度調査結果

#### 4. 1. データ取得について

オフサイクル技術に関する日本全体の使用頻度について実態を調査するため、セダン、ミニバン、コンパクトカーの3車種からそれぞれを代表する型式のものを選択した上で、日本全国を3つのエリアに分割し、各100台分のデータを取得した。内訳を表2に示す。

表2 データを取得した車種および台数

ID	車種	エリア1	エリア2	エリア3
A	セダン	100	100	100
B	ミニバン	100	100	100
C	コンパクト	100	100	100

※各エリア区分は昭和48年行政管理庁告示第143号に基づく「標準地域メッシュ」により分割したもので、概ねエリア1は北海道、東北、北陸、エリア2は関東、中部、エリア3は関西とそれ以西を指す。

このデータを用いてオフサイクル技術の使用頻度等を求めるにあたり、各車種各エリアの総運行時間に対する、当該技術の使用時間の合計から平均使用頻度を求めるとともに、さらにその結果から全国平均を求めた。全国平均を求めるには、エリアごと車種ごとに存在する台数が異なる点を考慮する必要がある。車種ごとの重み付けは当該車種の2019年の販売台数<sup>③</sup>に応じたものとし、エリアによる重み付けは各エリアの自動車保有台数<sup>④</sup>（令和元年10月現在）に基づいて行った。A～Cの各車種、エリア1～3の各エリアにおける全体に占める寄与率を表3に示す。

表3 各車種、エリアごとの全体に対する寄与率

車両ID	割合	エリア	割合
A	0.173	1	0.177
B	0.328	2	0.470
C	0.499	3	0.353
合計	1.000		1.000

## 4. 2. 分析結果について

データが取得できたデバイスにおける日本全体での使用頻度について表 4 にまとめる。またこのうち、ヘッドライトとウィンカーについて車種とエリア別の使用頻度の内訳を表 5 に示す。

表 4 より、ヘッドライトの使用頻度は 31.8%となっているが、表 5 をみると、車両 A の値がエリア 2 で突出して高いために、全体が引き上げられる形となった。その理由は明らかでないが、セダンについては、エリア 2 が都市部を多く含むことから、個人タクシー等も含まれたと推察される。タクシーの場合は、この調査で想定した一般ユーザーの車の使い方とは異なるものの、無作為抽出の結果としてとくに排除はしていない。一方のウィンカーについては、車種やエリアによる違いは比較的小さい。

表 4 各種デバイスの使用頻度分析結果

	使用頻度の代表値
ヘッドライト	31.8%
ウィンカー	7.7%
ハザード	2.0%
車幅灯等	40.8%
デフロスター	1.5%
ワイパー	7.2%

表 5 ヘッドライト及びウィンカーの車種、エリアごとの使用頻度

<ヘッドライト>

車両 ID	エリア 1	エリア 2	エリア 3	代表値
A	0.206	0.465	0.214	
B	0.261	0.320	0.283	
C	0.247	0.316	0.302	
3 車種合計	0.242	0.362	0.273	<b>0.318</b>

<ウィンカー>

車両 ID	エリア 1	エリア 2	エリア 3	代表値
A	0.073	0.095	0.069	
B	0.074	0.079	0.063	
C	0.075	0.074	0.072	
3 車種合計	0.074	0.082	0.068	<b>0.077</b>

この結果から、代表値を求めるにあたり、ウィンカーのようなデバイスであれば一部車種の結果を全体に適用しても大きな違いにはならない一方で、ヘッドライトの例では、車種やエリアなどがある程度網羅的に調査しないと全体の傾向を見誤る恐れがある。表 4 に記載したデバイスのうち前者の例にあて

はまるのはウィンカー以外にはワイパーのみで、それ以外では例えばハザードでは車種により、デフロスターはエリアによる違いがみられた。

これらの分析結果は、オフサイクル技術の効果判定を検討する際に有用なデータとなる。

## 5. オフサイクル技術の効果測定の例

### 5. 1. 対象としたオフサイクル技術について

オフサイクル技術の一例として、ここでは窓に貼るフィルムを取り上げる。フィルムにて太陽光を遮断あるいは吸収できれば車室内に入る熱量が低減し、その分エアコン負荷を低減させ、燃費向上が期待できる。これは表 1 における「日射・温度制御」技術の一つに該当する。なお、本試験は、2011～12 年度に実施した民間会社からの委託試験の結果の一部を、委託元の下承を得てオフサイクルクレジットの評価例として活用するものである。

### 5. 2. 評価方法について

評価試験は外部の日射設備を有する環境試験室にて実施した。試験車両は 5 ナンバーサイズ 3 列シートの一般的なミニバンである。貼ったフィルムの諸元を表 6 に示す。フロント及びフロントドアガラスに貼るフィルムが他と異なるのは、それらについては保安基準で一定以上の可視光透過率が求められているためである。

フィルムの貼付による燃費影響を適正に評価する過程で重要と考えたのは、条件設定である。その一つ目は日射の方向で、試験車は左右は対称であるものの、前後の窓は面積も角度も貼るフィルムも異なるため、いずれか一方のみからの日射では代表性を確保することは困難である。そこで、図 2 に示すように、前方斜め上方及び後方斜め上方の 2 つの日射条件で評価することで、前方、側方、後方それぞれの影響を対等に扱えると考えた。なお、日射は波長分布を太陽光に近づけたカクテル光線で、強さは日射と垂直断面で 1.0kW/m<sup>2</sup> (設定値) とした。その場合、地面と同じ水平面上では約 0.86kW/m<sup>2</sup> となる。

表6 フィルムの諸元  
(JIS R 3106、JIS S 3107 による測定値)

貼付場所	日射透過率	日射吸収率	日射反射率	遮蔽係数
フロント窓、フロントドア窓	67%	25%	8%	0.86
スライドドア窓、3列目シート窓、リア窓	26%	55%	19%	0.52

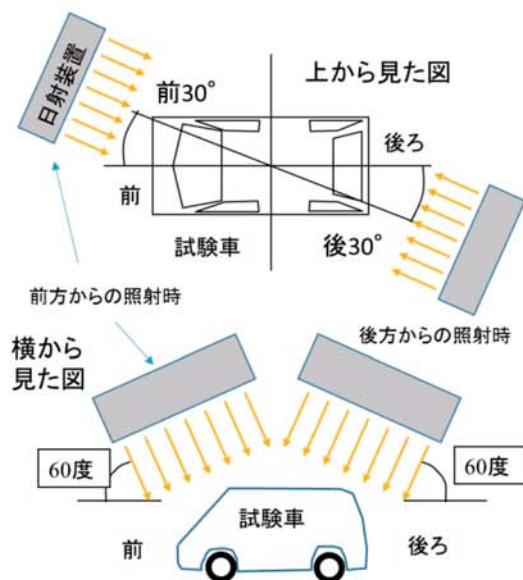


図2 フィルムによる燃費影響試験における試験車に対する日射状態を示す模式図

条件設定における2つ目の課題は、通常のモード試験では評価されない日射影響を、公定評価法であるJC08モードを用いて、どのように評価すれば妥当といえるか、という点である。通常のJC08モード及び今回の評価試験それぞれの手順を比較したものを、図3-1、図3-2に示す。冷機試験においては、測定前のソーク時間(冷機状態を作るために車両をキーオフの状態に放置する時間)のうち測定開始前の20分間については試験時と同じ日射条件下にソークすることで、放置状態における車室内温度変化も加味できるようにした。また、暖機試験においては、測定前に行う20分間の暖機運転中においても日射及びエアコン条件を測定試験中と同一とすることで、冷機試験とは異なり車室内温度やエアコン作動条件的に安定した条件とすることを試みた。

### 5. 3. 試験結果及びその評価

表7に測定結果をまとめる。記載した値は前方からと後方からの日射時それぞれの結果を調和平均した上で、JC08モード試験法に準拠して冷機試験と暖

機試験の結果を1:3で加重調和平均したものである。

フィルムを貼付した時の燃費値は9.54km/Lであり、フィルムなしの9.30km/Lから約2.6%の燃費改善効果がみられた。近年燃費向上に向けて様々な新技術の導入等が進められる中で、エンジンや駆動系等のパワートレインや様々な制御系に立ち入ることなく2.6%の改善効果が得られたということは、数値的に小さいものではない。

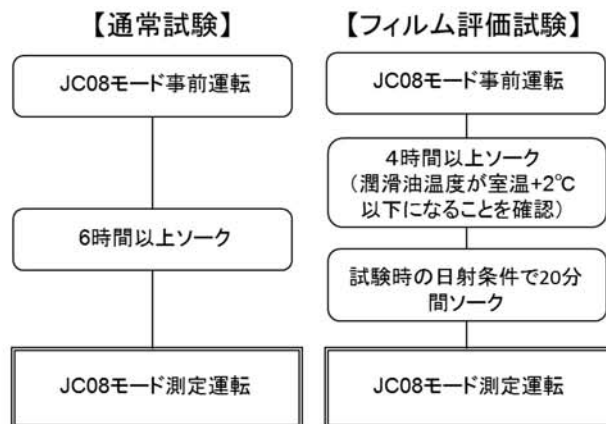


図3-1 通常試験とフィルム評価試験におけるJC08モードの試験手順(冷機)

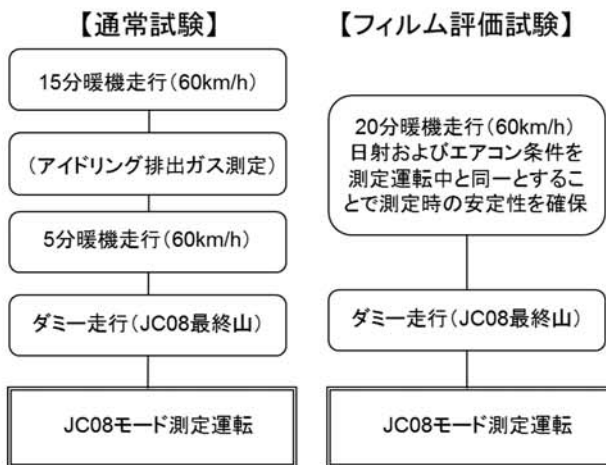


図3-2 通常試験とフィルム評価試験におけるJC08モードの試験手順(暖機)

表7 試験結果まとめ

試験室温度(°C) と日射の有無	試験条件	燃費値 km/L
25	エアコンなし	12.30
35 & 日射	エアコンなし	13.44
35 & 日射	エアコンあり、フィルムなし	9.30
35 & 日射	エアコンあり、フィルムあり	9.54

表7で「エアコンなし」の燃費は13.44km/Lとなっていることから、エアコンを使用することにより約30%燃費が悪化したことになる。フィルムを貼付することにより2.6%燃費が改善したということは、エアコン使用による燃費悪化のうち8~9%程度悪化を抑えた、とみることができる。また、この2.6%の改善をCO<sub>2</sub>の低減量で見ると、約6.3g/km(約3.9g/mile)になる。表1に示す米国におけるオフサイクルクレジットの上限値(3g/mile)を超えるものとなるが、試験結果を表1の数値と比較するには以下の2点を考慮する必要がある。

- ・米国での燃費評価はFTP-75モードと高速燃費モードのコンバインドで行われるが、その平均車速はJC08モードの約2倍に相当するため、エアコンの燃費影響は米国試験法の方が相対的に小さくなる。
- ・表1の数値は、効果と頻度の積から算出されたものであるのに対し、本項における結果は効果のみを表したものであり、大きい数値になる。

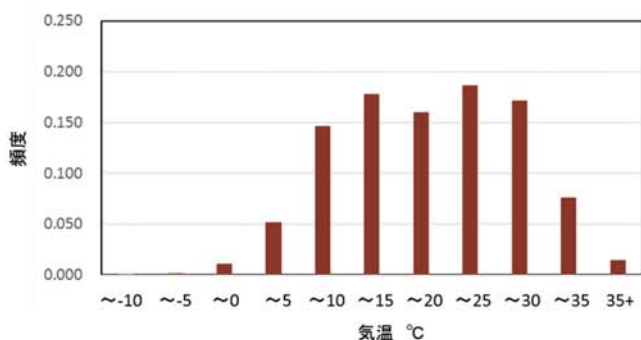


図4 国内の運行における気温の頻度分布

ここで国内の使用環境でフィルムが効果を発揮する頻度について考える。図4は4章で用いたデータから、車両運行時の気温の頻度分布を示したものである。フィルムが効果を発揮するのは、日射下でエアコン(冷房)を使用する場合(例えば25°C以上)と考えられる。夜間に35°C以上になることは考えにく

いことから、図4の35°C以上の場合(1.45%)はほぼ効果を発揮する状況と考えられる。それ以下の温度(25~30°Cの頻度は17.19%、30~35°Cは7.63%)では、夜間や降雨時などのケースも含まれ、該当するのは一部に限られるとみられることから、トータルで概ね12~17%程度の頻度で効果を発揮するものと推測される。それを踏まえると本試験結果は、米国のクレジット値の上限と比較すると大幅に低い水準となる。表1における「日射・温度制御」はフィルムに限らない様々な技術を包含するものであるため、上限値はより大きな改善効果が期待できる技術を対象にするように設定されたと考えられる。

#### 5. 4. 試験結果を用いたオフサイクルクレジットの試算

前項で示したCO<sub>2</sub>排出約6.3g/kmに相当する燃料消費削減効果と、「12~17%」とした効果を発揮する頻度を仮に中間の値である15%と仮定すると、オフサイクルクレジットはCO<sub>2</sub>排出量0.95g/km相当となる。表7における25°Cでの燃費12.30km/Lは、認証試験法(JC08モード)の条件で得られたものである。これに対して、試算したオフサイクルクレジットは燃費値の約0.5%に相当する。この改善割合は必ずしも大きなものとはいえないものの、近年の低燃費車においてCO<sub>2</sub>1g/kmレベルの値は小さいものとはいえない。そのため、オフサイクルクレジット制度が導入されれば、他のオフサイクル技術との併用もあることから、相応の燃費向上に相当するクレジットが得られるケースがあると考えられ、実燃費向上につながる技術の採用を促すなどの変化をもたらすものと予想される。

#### 6. まとめ

本報の概要を以下にまとめる。

- 2030年度燃費基準は2020年度燃費基準から44.3%の大幅な改善を求めるものとなったことに加えて、新たにWell to Tankの考え方が取り入れられるなどの変化が加えられた。
- 基準の達成判定には、米国のオフサイクルクレジット制度に類するものが取り入れられる可能性が高く、米国の制度等について紹介した。
- 今後のオフサイクルクレジット制度の検討に向けて、オフサイクル技術の日本における使用頻度等についての調査結果の一部、例えばヘッドライトの使

用率は31.8%であることなどを示した。

- 実際のオフサイクル技術の効果に関する測定、評価例として、窓に貼付するフィルムによるエアコン使用時の燃費向上効果を日射装置付きの環境試験室で測定した例（本試験結果では2.6%の燃費改善）を示すとともに、それによるオフサイクルクレジットを試算した。

### 参考文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会自動車判断基準ワーキンググループ・交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会自動車燃費基準小委員会合同会議、「乗用車の2030年度燃費基準に関する最終とりまとめ（令和元年6月）」、国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/common/001303219.pdf>
- (2) Environmental Protection Agency (EPA): 2017 and Later Model Year Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions and Corporate Average Fuel Economy Standards (2012)
- (3) 日本自動車販売協会連合会: 乗用車ブランド通称名別順位(2019)
- (4) 自動車検査登録情報協会: 都道府県別・車種別保有台数表(2019年10月)

# ポスターセッション





# ① 地域特性に応じた公共交通システムの導入効果評価について

交通システム研究部 ※工藤 希 大野 寛之

## 1. はじめに

持続可能な地域交通の確保のためには、基幹交通だけでなく、端末交通の維持も必要である。これまでの高速で定時に大量に輸送することを得意とする公共交通を、事業者が独立採算で担う仕組みだけでは、利用者数の少ない地方の端末交通を維持することはできない。一方、端末交通や観光用途に低速で少人数を運ぶグリーンスローモビリティの開発が進みつつある。端末交通の導入には地域の現状に応じたメリットの提示が必要である。そこで、グリーンスローモビリティの導入効果について検討を行った結果を報告する。

## 2. 背景

### 2. 1. 地方公共交通の現状

平成 25 年に施行された「交通政策基本法」第 2 条において、「交通に対する基本的な需要が適切に充足されることが重要」<sup>1)</sup>とされている。すなわち、地方においては、持続可能な地域交通の確保、特に、高齢者、障害者、妊産婦等の移動には、基幹交通（鉄道、バス等）だけでなく、端末交通の維持が必要となる。

輸送人員の少ない地方においては、鉄道や路線バスといった既存の公共交通は、その能力を生かしきれない状況が続いている。例えば、地方交通事業者の経営状況を見ると、バス事業者 232 者のうち、黒字事業者は 62 者（26.7%）である。一部の首都圏の事業者を除くと、インフラを民間事業者が独立採算で公共交通を担うという構造は、ほとんどの都市では維持できていないことが伺える<sup>2)</sup>。

このような状況の中、全国一律の施策ではなく、自治体を中心となって地域の実情に応じた地域公共交通を確保、維持していく必要がある。交通研では、新

しい公共交通を導入する際の効果を定量的に示すことが自治体等の検討の一助となると考えた。

### 2. 2. グリーンスローモビリティ

前述の状況の中で、端末交通としてグリーンスローモビリティが期待されている。グリーンスローモビリティとは電動で、20km/h 未満で公道を走る 4 人乗り以上のモビリティを指す。ゴルフカートタイプ<sup>3)</sup>や、電動低速バスタイプ<sup>4)</sup>がある（図 1）。

利用方法としては、一般の路線バスが通れない狭隘路での利用や、高齢化が進む地域での利用、観光利用などが考えられている。各地で実証実験等が行われているが、2019 年 11 月 27 日に開業した池袋エリア周遊バス路線「IKEBUS」もグリーンスローモビリティの一つである<sup>5)</sup>。



図 1 電動低速バス（eCOM-8）

### 2. 3. 導入効果の考え方

公共交通の導入に際しては、4 段階推定法や、費用便益分析などの手法が一般的である。一方、従来の便益を評価する手法は交通システムを導入する際に大事な評価ではあるものの、「交通に対する基本的な需要が適切に充足される」という交通政策基本法の趣旨に沿うためには、別の観点も考慮する必要があると考

える。前述の手法以外の評価方法として、交通研では、これまで開発してきた都市交通シミュレータを用いて、地域交通全体の CO<sub>2</sub> 排出量から公共交通の導入効果評価を行う手法や、AHP (Analytic Hierarchy Process：階層分析法) を用いて経路選択をするモデルを提案してきた。

今回は、AHP を使った評価であれば、端末交通の評価も可能と考えて、シミュレーションにより検討した。

### 3. AHP を用いた導入効果評価

#### 3. 1. 都市交通シミュレータの概要

交通研が開発してきた都市交通シミュレータは、交差点をノード、道路をリンクとするネットワーク上を、目的地を持った交通システム (自動車、バス、グリーンスローモビリティ等) が一台ずつ信号の現示及び定められた加減速度等で走行し、走行速度からエネルギー消費量や二酸化炭素排出量を算出することが可能なマイクロシミュレータである<sup>6)</sup>。

#### 3. 2. AHP モデル

AHP は、問題要素を最終目標、評価基準及び選択されるシステムの関係で階層構造を作り、最終目標からみた評価基準の重要性、各評価基準からみた各システムを評価し、最後にこれらを最終目標からみた各システムの評価に換算するものである。

これまでに検討した交通システム評価を行う際の特徴として、図2に示す評価基準のうち旅行時間や排ガスなどの項目は、都市交通シミュレータで計算した値を用いた。これにより、渋滞などの実際の交通状態を考慮した経路選択を可能とした<sup>7)</sup>。

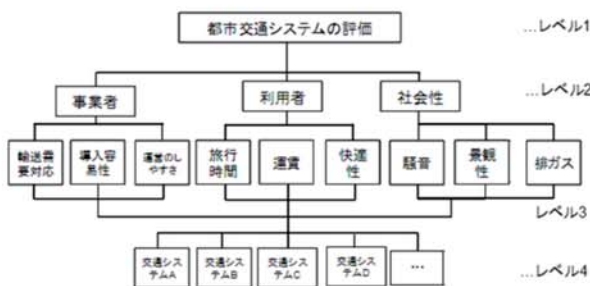


図2 階層構造

### 3. 3. シミュレーション条件

今回の検討では、グリーンスローモビリティが利用される可能性の高い2つのケースについて検討した。

(a) 住宅地でのラストワンマイル利用

(b) 観光地でのプチ観光バス利用

本検討で利用したグリーンスローモビリティは図1に示した eCOM-8 を対象とした。諸元を表1に示す<sup>4)</sup>。

表1 eCOM-8 の諸元

全長	4405mm
全幅	1900mm
全高	2450mm
車両質量 (空車時)	1160kg
乗車定員	10名 (運転手含む)
最高速度	19km/h
一充電航続距離 (19km/h 定速)	約 40km
最小回転半径	6.2m
モータ形式	DC ブラシレス インホイールモータ
駆動方式	全8輪駆動
最高出力	10.4kW (1.3KW×8)
バッテリー形式	リチウムポリマー
バッテリー容量	100Ah
定格電圧	52V

#### 3. 4. 住宅地でのラストワンマイル利用

昭和40年代に開発され、高齢化が進んだ団地のラストワンマイル利用を想定して、団地内のバス停や公共施設間のトリップについて検討した。

シミュレーション上の評価ルートは約1kmであり (図3)、選択できる交通手段として、自動車のみ、グリーンスローモビリティを乗り換え無しで利用、及び路線バスからの乗り換える場合の検討を行った。自動車交通量は仮想的に各ノードからの自動車発生量を50台/h、トリップの想定は高齢者とした。

計算の結果の一例を図4に示す。ここで縦軸の優先度は、各交通手段の評価の度合いを示しており、数字が大きい方がその地域に合った交通システムであることを示している。図4より、自動車とグリーンスローモビリティは同等程度の評価となった。移動時間や定時性については自動車が有利であるものの、環境性能等の項目においてグリーンスローモビリティの評

価が高く、総合的に同程度となったものと考えられる。

また、運行本数の増加と優先度との関係についても評価を行ったが、効果は余り見られない結果となった。一方、その際の道路交通の平均速度を見ると（表2）運行本数が増えるに伴い、平均速度が小さくなる結果となり、この例では運行本数は増やす効果はあまりないことが分かる。



図3 シミュレーション範囲（住宅地）

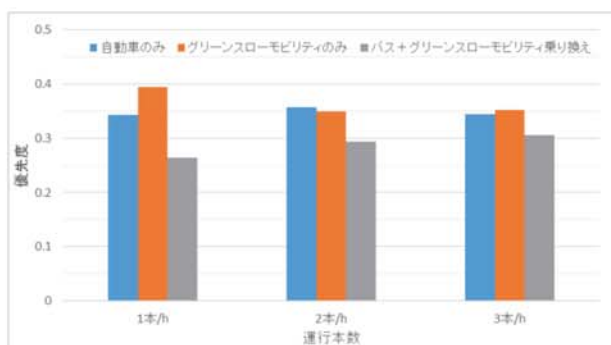


図4 住宅地における運行本数別優先度

表2 グリーンスローモビリティ未走行時との平均速度の差

運行本数(本/h)	1	2	3
平均速度の差(km/h)	-0.60	-2.1	-8.6

### 3. 5. 観光地での利用

次に、観光地でのグリーンスローモビリティ利用について検討を行った。公共交通の駅から、観光地である賑わいのある通りを観光しつつ移動することを想定した。当該エリアは自動車交通量や路線バスも多い場所である。

シミュレーション範囲を図5に示す。シミュレーション上の評価ルートは約5kmとし、選択できる交通

手段として、自動車（タクシーを想定）、現在ある公共交通（新交通システム）と徒歩、新交通システムとグリーンスローモビリティを乗り換え、新交通システムとバスの乗り換え、自動車とグリーンスローモビリティを乗り換える場合とした。自動車交通量は、平成22年度交通センサスデータ<sup>8)</sup>を基に設定し、既存の路線バスも設定した。トリップは観光客を想定して20代~60代とした。



図5 シミュレーション範囲（観光利用）

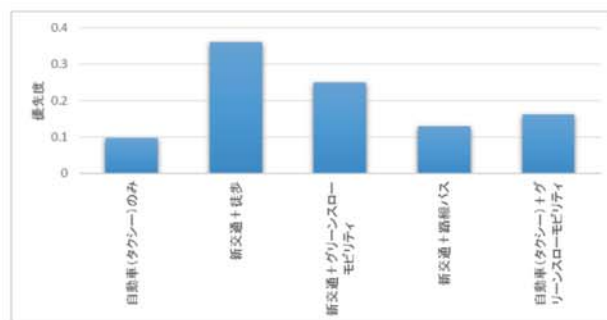


図6 観光地における交通手段別優先度

図6に結果の一例を示す。全般的に公共交通を利用した交通システムの評価が高い結果となった。グリーンスローモビリティは、新交通システムと比べると劣るが、バスや自動車を利用した場合より評価が高いことがわかる。これは、新交通システムは定時性が高く短時間で移動でき、エネルギー効率や環境性もよいことから評価が高くなった。また、当該エリアは日頃から渋滞しているエリアであり、シミュレーション実行時の道路交通の平均速度は約13km/hであったことから、道路交通を利用する自動車やバスの評価が低く計算される結果となった。

グリーンスローモビリティ走行時、未走行時の道路交通の平均速度の差を比較したところ、未走行時に比べ0.5km/h減となった。市内中心部等の高速走行が

できないエリアでは、制限速度 20km/h 未満というグリーンスローモビリティのデメリットが目立たないため、導入効果が得やすいことがわかる。

### 3. 6. 考察

以上の結果より、グリーンスローモビリティ等の交通システムを導入した場合の優先度を地域毎に求めることができ、その際の自動車交通への影響についても合わせて評価できることが分かった。また、グリーンスローモビリティはその性質上、鉄道やバス等の公共交通の代替手段となるのは難しいが、道路交通の状況によっては定時性の観点から必ずしも不利にならない場合があることもわかった。

また、住宅地でのラストワンマイル利用について、図4では利用者視点だけでなく、事業者や社会性の視点を含めた総合的な評価を行ったが、図7に3. 4. の条件での利用者視点のみを抜き出した評価結果を示す。この結果から、利用者視点だけでは評価が低く、利用者に対してグリーンスローモビリティのメリットを提示することが必要であることが示唆される。一方、利用者視点の評価としては、現在のAHPのツリーでは、速達性や定時性についての評価が高くなりやすいと考えられる。しかしながら、グリーンスローモビリティの良さである、「ゆっくり、余裕をもって、乗って楽しい」という点は、必ずしも評価しきれていないように思われるため、今後、AHPのツリーに新しい評価項目を含めることも検討したい。

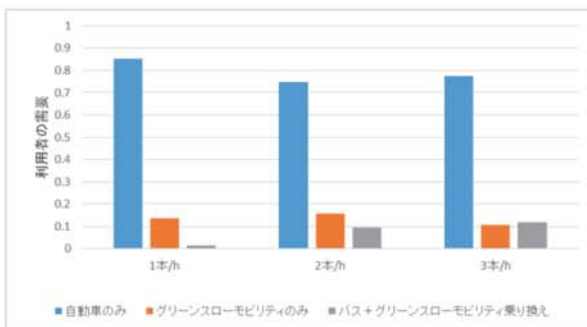


図7 利用者目線から各ルートを選択率

## 4. おわりに

地域特性に応じた公共交通、特にグリーンスローモビリティについて、その導入効果評価を、住宅地のラストワンマイル利用と、観光地での利用の例で試行した。その結果、導入地域毎に、導入した場合の優先度

を求めることができ、その際の自動車交通への影響についても合わせて評価できることを確認した。

一方、従来の公共交通に求められてきた速達性や定時性といった評価項目は、グリーンスローモビリティの評価軸の重要性としては適切ではない可能性も示唆された。今後は、昨今のライフスタイルの変化も踏まえた評価項目の変更を含め、地域特性に応じた公共交通の導入効果評価を行っていききたい。

### 参考文献

- 1) 交通政策基本法
- 2) 平成30年度乗合バス事業の収支状況について [https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03\\_hh\\_000314.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03_hh_000314.html)
- 3) 国土交通省, “グリーンスローモビリティの導入に向けたポイント集”, <https://www.mlit.go.jp/common/001239779.pdf>
- 4) 株式会社シンクトゥギャザー, “よりパワフルになった低速電動コミュニティビークル「eCOM-8」”, <https://www.ttcom.jp/products/current/ecom-8/>
- 5) 豊島区, “IKEBUSについて”, <https://www.city.toshima.lg.jp/333/machizukuri/kotsu/bus/1910312223.html>
- 6) 工藤ほか, “ライトレールの導入実現に向けて”, 交通研フォーラム 2007 講演概要集, pp.33-36 (2007)
- 7) 工藤ほか, “交通流シミュレータを用いたLRT導入効果の評価について”, 交通研フォーラム 2008 講演概要集, pp.149-150 (2008)
- 8) 内閣府 沖縄総合事務局 開発建設部, “H22年度那覇地区交通センサスデータ”, <http://www.dc.ogb.go.jp/road/ir/data/koutu/index.html>

## ② 列車運転支援情報伝送の妨害対策に関する検討

交通システム研究部 ※林田 守正 工藤 希 竹内 俊裕 大野 寛之  
東京大学 水間 毅

### 1. はじめに

無線通信を列車制御や運転支援に利用するシステムでは、情報伝送における妨害の対策に関する評価が必要である。そこで、ケーススタディとして、人為的又は偶発的な妨害への対策の評価方法について、国際規格との整合やセキュリティの観点を含めて検討するため、伝送システムのモデルを用いた走行実験を実施した。本報告では、その結果を述べる。

### 2. 実験装置と実験方法

実験は、鉄道路線上での実列車による走行実験（以下、「実列車走行実験」という。）及び当研究所構内での自動車による模擬的な走行実験（以下、「模擬走行実験」という。）を行った。

#### 2. 1. モデルとした伝送システム

図1にモデルとした伝送システム（先年度に当研究所が構築した「踏切事故防止支援システム<sup>1)</sup>」）の概念を示す。列車が接近中の踏切上又は近傍に自動車が位置する場合、自動車から列車に対し、各々に設置された無線通信装置（以下、「自動車側装置」及び「列車側装置」という。）を通じて「停滞無し」又は「停滞有り」の踏切情報が伝送される。列車側装置は受信した踏切情報を処理して、図2(a)(b)に示すような運転士支援画面上への表示（以下、「画面表示」という。）を行う。踏切情報が「停滞有り」で、列車と踏切の相対距離が一定値以下となった場合は、図2(b)の画面表示によって列車運転士に警告し、非常ブレーキ等の運転操作を支援するという機能を有する。

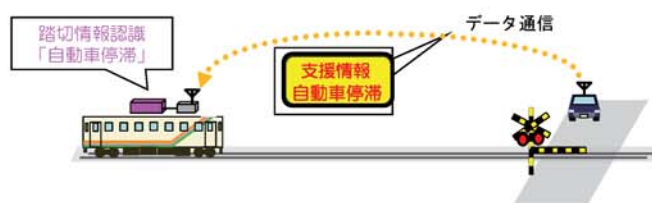
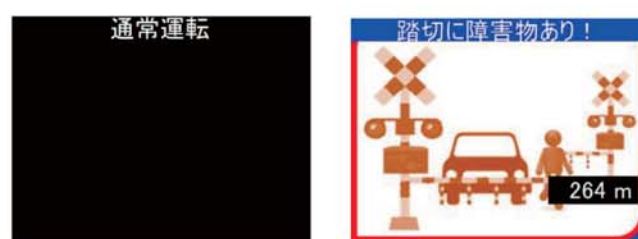


図1 モデルとした伝送システムの概念<sup>1)</sup>



(a)通常運転 (b)踏切に障害物あり(警告)

図2 運転士支援画面表示

#### 2. 2. 模擬的な伝送の妨害と対策の設定

本実験では、模擬的な伝送の妨害の要因として、「なりすまし」と「ノイズ」の2種類を想定した。

##### 2. 2. 1. 模擬的な「なりすまし」による妨害

模擬的な「なりすまし」による伝送妨害（以下、「なりすまし妨害」という。）の概要を図3に示す。踏切に停滞があり、停滞自動車から列車に向けて正規の踏切情報（停滞有り）を送信中に、この情報を第三者が傍受し、偽の踏切情報（停滞無し）に改ざんしたうえで、列車側装置に送信するという想定である。その対策を図4に示す。踏切情報に32ビットCRC(Cyclic Redundancy Check、巡回冗長検査)コ

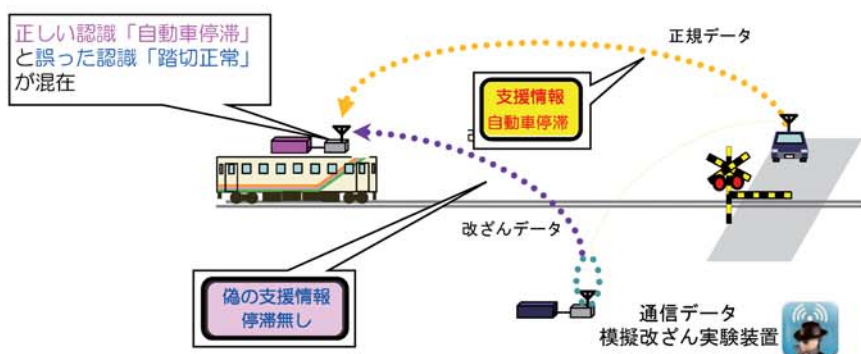


図3 模擬的な「なりすまし妨害」の概要

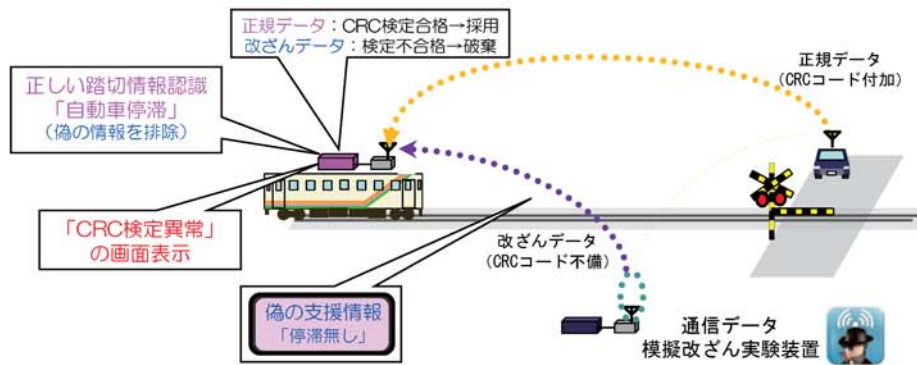


図4 模擬的な「なりすまし妨害」の対策

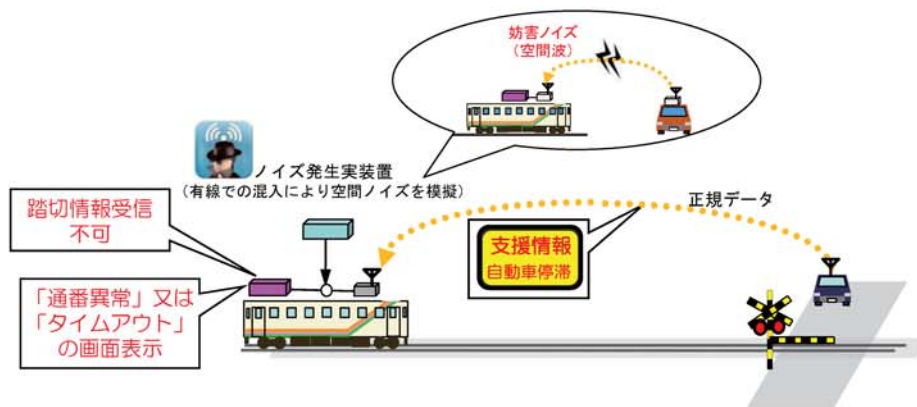


図5 模擬的な「ノイズ妨害」の概要と対策

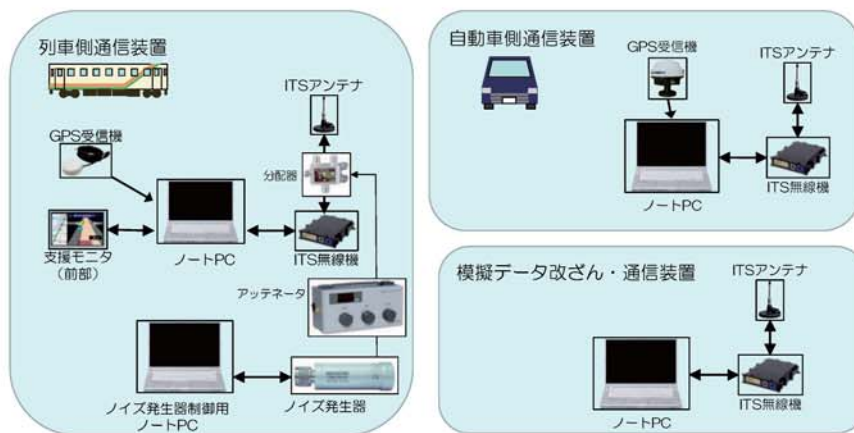


図6 実験装置の構成

ードを追加し、列車側装置で受信時に検定を行うことにより、合格した正規データのみが採用され、CRCコードが不備な改ざんデータは破棄される。

### 2.2.2. 模擬的なノイズによる妨害

模擬的なノイズによる伝送妨害（以下、「ノイズ妨害」という。）の概要を図5に示す。自動車側装置からの踏切情報の伝送が偶発的又は意図的なノイズにより妨害され、列車側装置での受信が途絶するという想定である。受信が途絶した場合、踏切情報に関わらず、画面表示は図2(a)となる。

### 2.3. 実験装置

2.2.に前述した模擬的な伝送妨害による事象と対策効果を確認するための実験装置の構成を図6に示す。2.1.で前述した伝送システムを本実験向けに一部仕様変更したものである。妨害対策として、異常検知や画面表示に関する以下(1)～(4)の機能を追加した。それらの追加機能について図4、図5及び表1に示す。

- (1) データ受信中は「受信中」を図2(a)に併記する。
- (2) 改ざんデータがCRC検定で破棄された場合、これを検知し、図2(a)(b)に「CRC検定異常」を併記する。

(3) データ内容に通番を追加し、受信データの通番が一定値以上飛躍した場合、これを検知し、「通番異常」を図2(a)(b)に併記する。

(4) 受信が一定時間以上途絶した場合、これを検知し、「タイムアウト」を図2(a)(b)に併記する。

表1 追加した異常検知と画面表示併記の機能

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

列車側装置、自動車側装置の他に、模擬データ改ざん装置を追加した。また列車側装置のアンテナと無線機本体の間に、想定する空間ノイズと等価なノイズ(無線通信と同じ周波数帯の正弦波)を模擬的に有線で印加する装置を挿入した。自動車側装置から停滞情報を受信中の列車が当該踏切手前の所定地点(以下、「警告地点」という。)を越えると、画面表示が図2(a)から(b)に遷移する仕様とした。

## 2. 4. 実験方法

### 2. 4. 1. 実列車走行実験

実列車走行実験は、地方鉄道の営業路線において実施した。実験の状況を図7に示す。2.3.に前述した装置を実験用の列車及び自動車に設置し、実験走行区間内の踏切の近傍に自動車を駐車させて踏切内停滞を模擬し、また模擬データ改ざん装置を自動車の近くに配置したうえで、列車を踏切に向けて走行させた。なお、この実験における図2の支援画面の視認状況に基づいて、2.3.に前述した対策機能を追加することとし、2.4.2に後述する模擬走行実験において確認した。



図7 実列車走行実験の状況

### 2. 4. 2. 模擬走行実験

模擬走行実験は、当研究所の構内において実施した。実験の状況を図8に示す。列車側装置及び自動車側装置の配置は実列車走行実験と同様としたが、列車は自動車で、停滞自動車は定置架台で、踏切は舗装路

面上のマーキングでそれぞれ模擬した。模擬列車の走行は、実列車走行における距離と速度を縮尺し、2種類のコース(「起点①→起点②→模擬踏切」及び「起点②→模擬踏切」)を設定した。



図8 模擬走行実験の状況(起点②→模擬踏切)

## 3. 実験結果

### 3. 1. 実列車走行実験について

#### 3. 1. 1. なりすまし妨害

列車側装置が「停滞有り」の踏切情報を受信し、なりすまし妨害が無い場合の画面表示は、列車が警告地点以遠においては図2(a)であり、同地点を超えて接近すると図2(b)に遷移することを確認した。なりすまし妨害がある場合の画面表示は、警告地点を超えると図2(a)と(b)が交互に切り替わることを確認した。その対策として踏切情報に対しCRC検定が行われた場合は、同時受信した正規データ(停滞有り)と改ざんデータ(停滞無し)のうち前者のみが採用されることにより、図2(b)の画面表示が継続することを確認した。

#### 3. 1. 2. ノイズ妨害

列車側装置が「停滞有り」の踏切情報を受信し、列車が警告地点を超えて画面表示が図2(a)から(b)に遷移した時に、十分な強度のノイズを印加すると、受信が途絶し、画面表示が図2(a)に戻ることを確認した。またノイズ印加を中止すると、直後に受信が再開され、画面表示が図2(b)に復帰することを確認した。

### 3. 2. 模擬走行実験について

#### 3. 2. 1. 妨害無し

踏切情報が「停滞無し」の場合、模擬列車の進行に伴い、画面表示は図2(a)から「図2(a)+『通信中』」に遷移して、そのまま模擬踏切に達することを確認した。踏切情報が「停滞有り」の場合、画面表示は図2(a)→「図2(a)+『通信中』」→図2(b)と遷移することを確認した。

### 3. 2. 2. なりすまし妨害

3.1.1.に前述した実列車走行実験結果と同様の結果を得た。また追加対策の検証として、改ざんデータがCRC検定により破棄された時に、図2(a)(b)の画面表示に「CRC異常」が併記されることを確認した。

### 3. 2. 3. ノイズ妨害

3.1.2.に前述した実列車走行実験結果と同様の結果を得た。また追加対策の検証として、表1に示す受信途絶に関する異常検知機能により、「通番異常」又は「タイムアウト」が、図2(a)(b)の画面表示に併記されることを確認した。

## 4. 考察と今後の方向性

### 4. 1. 妨害への対策の効果について

#### 4. 1. 1. 「通信中」の併記

「通信中」の図2(a)(通常運転)への併記については、自動車停滞の有無に関わらず、踏切情報が不達であるか、又は「停滞無し」の情報を受信中かを容易に判別できることが検証された。したがって、踏切情報が不達の場合に「通信中」が併記されない仕様は、画面表示が図2(a)でも「停滞有り」の可能性を意識させる効果があると考えられる。

#### 4. 1. 2. なりすまし妨害対策

CRCについては、CRCコードも同時に改ざんされない限り有効であることが検証された。「CRC検定異常」の併記については、妨害の存在を視認できることが検証され、画面表示の真偽に注意を喚起する効果があると考えられる。なお本実験装置の試行的な仕様では、CRC検定無しで改ざんデータを受信した場合、3.1.1.に前述した画面表示(図2(a)(b)の交互表示)となるが、図2(a)が継続するケースについても検討したい。

#### 4. 1. 3. ノイズ妨害対策

「通番異常」及び「タイムアウト」の図2(a)(b)への併記については、一時的な受信の途絶を容易に視認できることが検証された。したがって、前述の「通信中」の併記と併せて、「停滞有り」情報の見逃しや受信遅れに関する注意を喚起する効果が期待できる。特に図2(b)の画面が(a)に遷移した時に「通信中」が併記されない場合、伝送妨害の存在を推定できると考えられる。これらの併記は、実際の運転士支援に向けては、シンボルマーク化等を検討する必要があると考えられる。また、検知機能の表示以外への応用も検討したい。

### 4. 2. 国際規格及びセキュリティとの関連について

鉄道の安全関連の通信に関する国際規格であるIEC 62280に記述される「伝送システムに対する7つの脅威と防護」<sup>2)</sup>と、本実験での「妨害と対策」との関連を表2に示す。本実験の「なりすまし妨害」及び「ノイズ妨害」は、IEC 62280の「なりすまし」及び「削除」に該当すると考える。「なりすまし」はセキュリティに関わる人為的な脅威であり、IEC 62280では「暗号化技術」等の対策が有効とされている。本実験では、「なりすまし」に有効とはされていないものの、2.2.1.に前述したように、「安全符号」(CRCはその1種)を試用した。今後は、暗号化技術等が採用された場合の評価についても検討する予定である。「削除」に関しては、IEC 62280では「通番」が有効な対策とされ、本実験でも採用した。「タイムアウト」は、IEC 62280では「削除」の有効な対策とされていないが、本実験では採用した。これは、IEC 62280では「遅延」(過負荷起因に限定)の有効な対策とされ、一方、本実験では「ノイズ妨害」による通信途絶は「遅延」の一種であると解釈したためである。

表2 伝送システムに対する脅威と防護対策<sup>2)</sup>

IEC 62280で定義される7つの脅威	IEC 62280に記述される防護対策(○:有効 △:条件付で有効)							
	通番	タイムスタンプ	タイムアウト	送信元/受信先ID	フィードバックメッセージ	同一証明手順	安全符号	暗号化技術
繰り返し	○	○						
削除 (本実験:ノイズ妨害)	○ (採用)		○ (採用)					
挿入	○			△	△	△		
再順序	○	○						
劣化							○	○
遅延 (過負荷起因)		○	○					
なりすまし (本実験:なりすまし妨害)					△	△	○ (採用)	○

## 5. まとめ

列車制御や運転支援に利用される無線通信に対する妨害と対策に関し、既存の伝送システムをモデルとした実験的なケーススタディにより検討し、国際規格やセキュリティとの関連を含めて考察した。さらに、IEC 62280に挙げられている他の5つの脅威への対策について検討する等、情報伝送システムの妨害対策に関する評価法の確立に向けて取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 竹内俊裕ほか, “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講演概要集, pp.61-64 (2016)
- 2) IEC 62280 Edition 1.0 2014-02



### ③ NO<sub>x</sub> センサを用いた重量車排出ガス計測システムにおける NO<sub>x</sub> 濃度測定等の高精度化に関する検討

環境研究部

※山本 敏朗 鈴木 央一 柴崎 勇一

#### 1. まえがき

ディーゼル重量車の排出ガス規制は、エンジン単体でのエンジンダイナモメータ室内試験によって実施されている。一方、欧州では、排出ガス規制の強化にもかかわらず、都市部における大気質の改善が進まないことから、新たな規制として、車両に車載型排出ガス計測システム（PEMS：Portable Emissions Measurement System）を搭載して路上走行時の排出ガス性能を評価する試験（RDE：Real Driving Emissions）が始まっている。これは、実使用条件下での排出ガスを低減させれば、大気質の改善効果が期待できるとの考えであるが、多様な走行条件となる路上走行において、適切な評価法を定めることの難しさがある。わが国でも国際基準調和の観点から重量車のRDE試験に関する検討は始まっているが、欧州との交通事情等の違いから調整事項も多く存在し、実施段階までには、さらなる時間を要するものと考えられる。

本報では、重量車の路上走行時の排出ガス計測を、ジルコニア（ZrO<sub>2</sub>）式NO<sub>x</sub>センサ等の排気管直挿型センサを用いた計測システム（SEMS：Sensor-based Emissions Measurement System）<sup>1)</sup>で行う場合の課題を明らかにするとともに、その改善策について検討した。欧州のRDE路上走行試験では、認証試験で用いる定置型排出ガス分析計をコンパクトにして車載可能としたPEMSを用いるが、電源部とガスポンプを加えると重量200kg超となって設置は容易でなく、消費電力が大きいことから計測可能時間は2時間～3時間と短い。このことは、評価試験を実施する上での制約となる。一方、SEMSでは、排気管直挿型センサであることから設置は容易で、電源は車両バッテリーから供給できるので長時間の計測が可能である。しかしながら、課題も存在する。現状のNO<sub>x</sub>センサ（限界電流型ZrO<sub>2</sub>センサ）は、認証時のNO<sub>x</sub>分析に用いる化学発光（CLD）

法に比べて測定精度が劣り、さらに排出ガス中のNH<sub>3</sub>をNO<sub>x</sub>に誤検知するNH<sub>3</sub>干渉問題<sup>2)</sup>がある。本報では、NO<sub>x</sub>センサの測定精度の改善策として、NO<sub>x</sub>濃度算出時の検量線を重量車の排出ガスに適合するように修正するとともに、NH<sub>3</sub>干渉を補正するために排気管直挿型NH<sub>3</sub>センサ（混成電位型ZrO<sub>2</sub>センサ）の導入を検討した。以下に、これらの検討結果の概要を報告する。

#### 2. 検討方法

NO<sub>x</sub>センサのNO<sub>x</sub>濃度測定における測定精度の改善策を検討するため、3台の試験車両のシャシダイナモメータ試験による排出ガス測定データを用いた。試験車両は、小型貨物車A（平成28年規制適合、車両総重量4.7t）、中型貨物車B（平成28年規制適合、車両総重量7.8t）および大型貨物車C（平成21年規制適合、車両総重量25t）である。それぞれの車両の排気管には、NO<sub>x</sub>センサを装着するとともに定置型排出ガス分析計（CLD法）のサンプリングプローブを接続し、WHVCモード等を走行して、NO<sub>x</sub>センサ出力、NO<sub>x</sub>濃度（CLD法）等を連続的に取得した。そして、NO<sub>x</sub>濃度算出用の検量線を用いてNO<sub>x</sub>センサ出力をNO<sub>x</sub>濃度に換算し、定置型排出ガス分析計のNO<sub>x</sub>濃度（CLD法）と比較することにより、測定精度の改善策を探った。

NH<sub>3</sub>干渉補正の検討には、上記の大型貨物車C（積算走行距離：約68万km）の排気管に、NO<sub>x</sub>センサおよびNH<sub>3</sub>センサを装着し、さらに定置型排出ガス分析計（CLD法）を接続して、シャシダイナモメータ試験を行った。供試車両に装着されている尿素SCR触媒は、性能劣化が進行して、エンジン高負荷運転域ではテールパイプからのNH<sub>3</sub>排出が認められることから、この領域のデータを用いて、NH<sub>3</sub>センサのNH<sub>3</sub>濃度の測定性能や同センサを用いたNO<sub>x</sub>センサのNH<sub>3</sub>干渉を補正する方法について検討した。

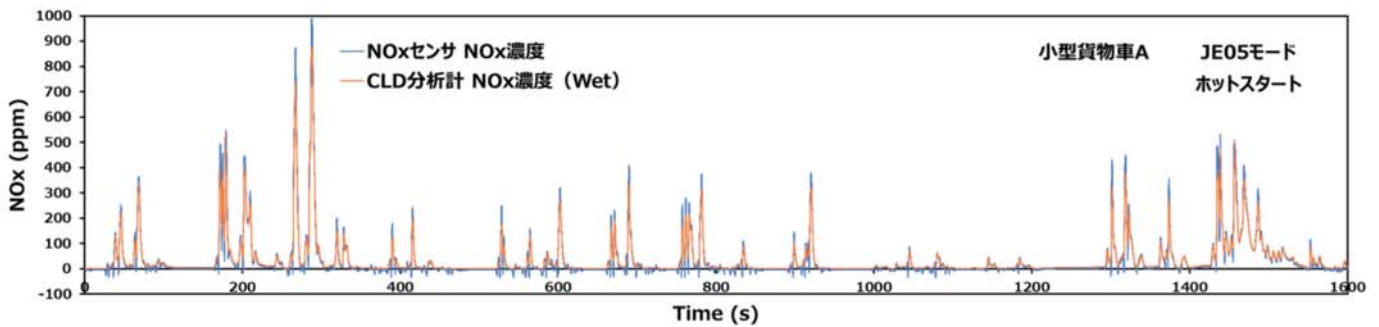


図1 NOx センサによる NOx 濃度測定値と定置型排出ガス分析計 (CLD 法) による NOx 濃度測定値の比較

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1. NOx センサの NOx 濃度測定値の補正

図1に、小型貨物車Aが、シャシダイナモメータ試験において、JE05モードを走行したときのNOx センサによるNOx濃度測定値と定置型排出ガス分析計 (CLD法) によるNOx濃度測定値を時系列で比較した結果を示す。同図より、両者は概ね一致しているものの、NOx排出のない条件でNOxセンサのNOx濃度がマイナス側に変動している領域が観測され、またNOx濃度が急増・急減する変動のピーク値においてNOxセンサの濃度が定置型排出ガス分析計 (CLD法) の濃度より大きくなっていることがわかる。ここで、NOxセンサの応答性は定置型排出ガス分析計 (CLD法) よりも高いことから、変動の立ち上りのピーク値が大きくなる時は立ち下りのピーク値も大きくなるはずであるが、立ち上りのピーク値のみが大きい場合が観測され、応答性では説明できない誤差要因の存在が考えられる。

まず、NOxセンサにおけるNOx濃度のマイナス側への変動について考察し、その補正方法を検討した。ここで、供試NOxセンサは、ZrO<sub>2</sub>固体電解質のO<sub>2</sub>イオン伝導性を応用したセンサ基板で構成される。ZrO<sub>2</sub>の内外面にO<sub>2</sub>ポンプとして一対の電極が配置され、この電極間に調整した電圧を印加することでO<sub>2</sub>を測定空間から汲み出す。その上で、NOx測定用ポンプでNOxをO<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>に分解してそのO<sub>2</sub>分圧をO<sub>2</sub>イオン伝導量として検出する。この検出値を基に、排出ガス中のNOx量に比例した出力信号を取り出す。この測定原理から、NOxセンサ出力のマイナス側への変動は、O<sub>2</sub>を測定空間に汲み入れる場合に生じることが考えられる。急なアクセル操作等によってセンサ基板に温度降下が生じる場合、電極にNOが吸着し難くなりCOのみが吸着するとの報告<sup>3)</sup>がある。このCOを酸化するためにO<sub>2</sub>

が測定空間内に汲み入れられてセンサ出力がマイナス側へ変動している可能性がある。ただし、この出力のマイナス側への変動は、NOx排出のない条件で生じていることから、マイナス出力をゼロとして処理すれば排出量への影響はないものと考えられる。

次に、NOx濃度が急増・急減する変動のピーク値において、NOxセンサの濃度が定置型排出ガス分析計 (CLD法) の濃度より大きくなることについて考察した。NOxセンサは、NOx濃度に比例した電圧出力を検出し、その出力をモデルガス (N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、NO、H<sub>2</sub>O : 3%、室温) により作成した検量線を用いて濃度に換算している。図2に、小型貨物車AがJE05モードを走行したときのNOxセンサによるNOx濃度電圧出力値と定置型排出ガス分析計 (CLD法) によるNOx濃度測定値の関係を示す。図中のオレンジ色の直線は、モデルガスによる検量線であり、赤色の破線はCLD法によるNOx濃度測定値の近似直線を示す。同図より、NOx濃度電

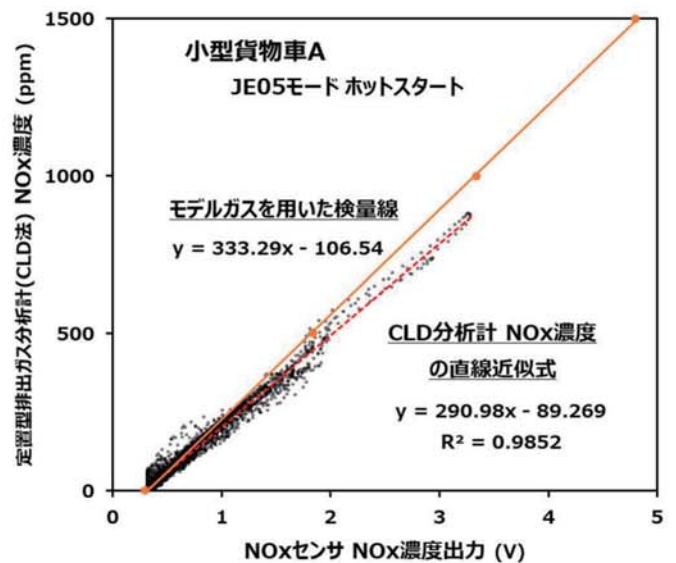


図2 NOxセンサによるNOx濃度電圧出力値と定置型排出ガス分析計 (CLD法) によるNOx濃度測定値の関係

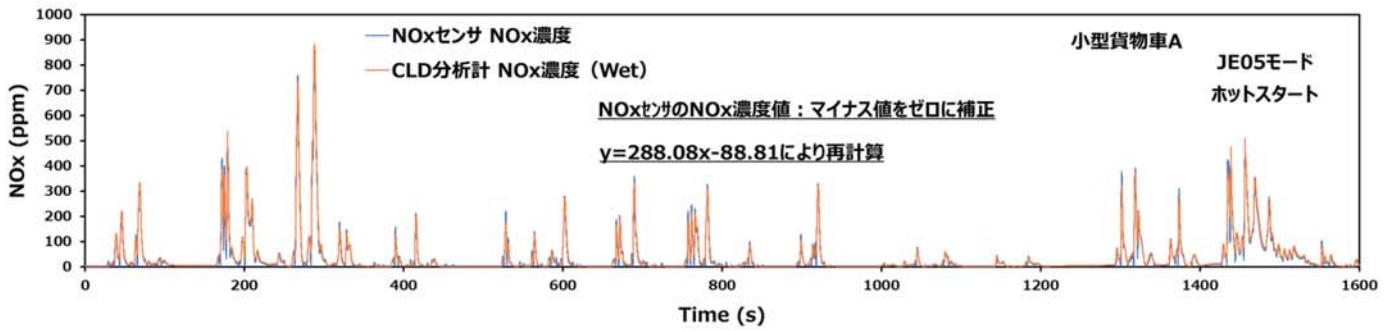


図3 NOx センサのNOx 濃度測定値（補正後）と定置型排出ガス分析計（CLD 法）のNOx 濃度測定値の比較（補正：NOx センサのNOx 濃度出力を、マイナス値をゼロに置き換えた上で、①式の検量線を用いてNOx 濃度を再計算）

圧出力に対するNOx 濃度測定値（CLD 法）は、モデルガスによる検量線を用いたNOx 濃度換算値よりも小さくなることわかる。このことは、モデルガスによる検量線が小型貨物車Aの排出ガスに適合していないことを示している。このように検量線の適合不良が、NOx 濃度変動のピーク値において、NOx センサの濃度が定置型排出ガス分析計（CLD 法）の濃度より大きくなる原因であると考えられる。そこで、小型貨物車 A が JE05、WHVC 等のモードパターンをコールドスタートあるいはホットスタートで走行したときのNOx センサによるNOx 濃度電圧出力値と定置型排出ガス分析計（CLD 法）によるNOx 濃度測定値の関係を分析して、以下に示す小型貨物車 A 用の検量線を作成した。

$$y = 288.08 x - 88.81 \quad \dots \text{①式}$$

y : NOx 濃度 (ppm)、x : NOx センサ出力 (V)

①式の作成過程を以下に示す。図 2 に示すような NOx センサの NOx 濃度電圧出力値と定置型排出ガス分析計（CLD 法）の NOx 濃度測定値の直線近似式における「傾き」と「y 切片」は、走行条件により排出ガス中の H<sub>2</sub>O 濃度が変動することに起因して変化すると考えられる。小型貨物車 A では、検量線の分析に用いたモード走行データの平均 H<sub>2</sub>O 濃度は、5.4%~6.7%の範囲で変化したが、「傾き」と「y 切片」それぞれの変化はわずかであったことから、検量線①式の「傾き」と「y 切片」は、分析に用いたモード走行データの「傾き」の平均値および「y 切片」の平均値とした。

ここで、図 1 の NOx センサの NOx 濃度出力を、マイナス値をゼロに置き換えた上で、①式の検量線を用いて NOx 濃度を再計算した結果を、図 3 に示す。同図より、NOx センサによる NOx 濃度測定値と定置型排出ガ

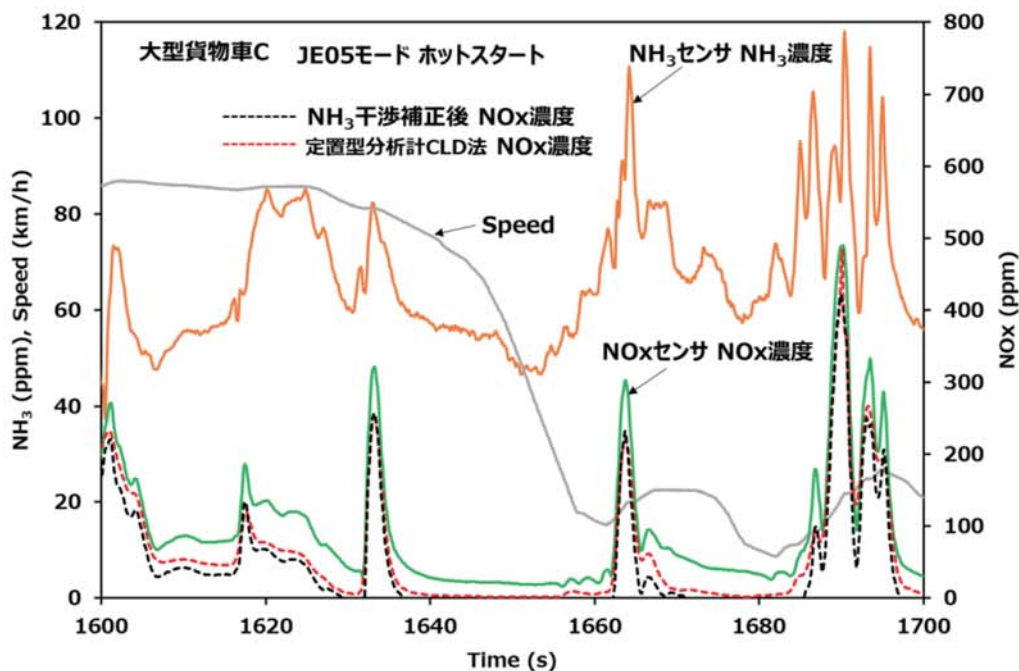


図4 JE05 モード走行時におけるNOx センサのNOx 濃度測定値、定置型排出ガス分析計（CLD 法）のNOx 濃度測定値およびNH<sub>3</sub> センサのNH<sub>3</sub> 濃度測定値の時系列変化

ス分析計 (CLD 法) による NO<sub>x</sub> 濃度測定値は、NO<sub>x</sub> 濃度変動のピーク値においてよく一致し、NO<sub>x</sub> センサの NO<sub>x</sub> 濃度測定値の補正が適切であることがわかる。

同様に、中型貨物車 B および大型貨物車 C ついても各車両に適合する検量線を作成し、補正法の有効性を確認した。試験車両において、H<sub>2</sub>O 濃度等の排出ガス組成が異なる場合は、検量線を車両ごとに用意する必要があると考えられた。

### 3. 2. NH<sub>3</sub> センサによる NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉補正

図 4 に、大型貨物車 C が、シャシダイナモメータ試験において、JE05 モードを走行したときのモード最後のショートトリップにおける NO<sub>x</sub> センサによる NO<sub>x</sub> 濃度測定値、定置型排出ガス分析計 (CLD 法) による NO<sub>x</sub> 濃度測定値および NH<sub>3</sub> センサによる NH<sub>3</sub> 濃度測定値を時系列で表示して示す。同図より、大型貨物車 C (積算走行距離: 約 68 万 km) では、NH<sub>3</sub> (オレンジ色の線) が 50ppm~120ppm の範囲で変動して排出されていることがわかる。そのため、NO<sub>x</sub> センサの NO<sub>x</sub> 濃度 (緑色の線) は、NH<sub>3</sub> を NO<sub>x</sub> と誤検知して、定置型排出ガス分析計 (CLD 法) の NO<sub>x</sub> 濃度 (赤色の破線) より大きな値となっている。ここで、NH<sub>3</sub> センサの NH<sub>3</sub> 濃度測定値を用いて NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉の補正が可能かどうかを検討した。NH<sub>3</sub> は、NO<sub>x</sub> センサの Pt 族系電極 (センサ温度: 700℃程: 内蔵ヒータで温調) において、以下に示す酸化反応により、NO<sub>x</sub> (NO および NO<sub>2</sub>) を生成している。



ここで、供試 NO<sub>x</sub> センサの上記反応における NH<sub>3</sub> から NO<sub>x</sub> を生成する転換率は、約 80% として、以下の式により、NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉を補正することとした。

$$\text{NO}_x \text{ 濃度補正值} = \text{NO}_x \text{ 濃度測定値} - \text{NH}_3 \text{ 濃度} \times 0.8 \quad \dots \textcircled{2}$$

この②式を用いて NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉を補正した結果を、図 4 中に黒色の破線で示す。同図より、NO<sub>x</sub> 濃度補正值 (黒色の破線) は、定置型排出ガス分析計 (CLD 法) の NO<sub>x</sub> 濃度値 (赤色の破線) と概ね一致していることがわかる。このことから、NH<sub>3</sub> センサの NH<sub>3</sub> 濃度の測定性能および同センサを用いた NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉の補正方法は、適正であると考えられる。ただし、NH<sub>3</sub> の NO<sub>x</sub> への転換率 80% は、走行条件等によって変化することが考えられ、適切な設定値については、今後の検討課題としたい。

## 4. まとめ

ZrO<sub>2</sub> 式 NO<sub>x</sub> センサを用いた重量車排出ガス計測システム (SEMS) における NO<sub>x</sub> 濃度測定の高精度化に関する課題とその改善策について検討した。その結果、以下の点を明らかにした。

(1) NO<sub>x</sub> センサの NO<sub>x</sub> 濃度出力のマイナス側への変動は、急なアクセル操作等によってセンサ基板に温度降下が生じ、電極に NO が吸着し難くなり CO のみが吸着し、この CO を酸化するために O<sub>2</sub> が測定空間内に汲み入れられて生じているものと考えられた。ただし、NO<sub>x</sub> 排出のない条件で生じていることから、マイナス出力をゼロとして処理すれば排出量への影響はないものと考えられる。

(2) NO<sub>x</sub> 濃度が急増・急減する変動のピーク値において、NO<sub>x</sub> センサの濃度が定置型排出ガス分析計 (CLD 法) の濃度より大きくなるのは、センサ添付のモデルガスによる検量線が試験車両の排出ガスに適合していないことに起因する。新たに、試験車両の実排ガスデータを基に検量線を作成し、これを用いて NO<sub>x</sub> 濃度を再計算することにより、上記の課題が改善された。

(3) 排気管直挿型 NH<sub>3</sub> センサ (混成電位型 ZrO<sub>2</sub> センサ) の NH<sub>3</sub> 濃度測定値を用いて、NO<sub>x</sub> センサの NH<sub>3</sub> 干渉の補正方法を検討した。供試 NO<sub>x</sub> センサにおいて NH<sub>3</sub> から NO<sub>x</sub> を生成する転換率を約 80% として、NO<sub>x</sub> センサの NO<sub>x</sub> 濃度測定値から NH<sub>3</sub> 濃度測定値の 80% の値を減算することにより補正できるとの見通しを得た。

## 参考文献

- 1) 山本敏朗, 鈴木央一, 山口恭平, “NO<sub>x</sub> センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時における NO<sub>x</sub> 排出量の測定と NO<sub>x</sub> 抑制装置の機能診断”, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 642-649 (2018)
- 2) 山本敏朗, 野田明, 阪本高志: 排出ガス対策装置の車載機能診断システム (OBD) に関する性能要件及び機能評価法の研究 (第 1 報) - 触媒劣化の検知方法に関する基礎的考察 -, 平成 12 年度 (第 30 回) 交通安全公害研究所研究発表会講演概要, pp. 93-96 (2000)
- 3) 藤井朝文ほか, “高精度リア A/F センサの開発”, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175303 (2017)

## ④ 車載型 PN 計測装置の計測原理の違いが 評価結果に与える影響

環境研究部

※志村 渉

奥井 伸宜

### 1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)の排出ガス・エネルギー専門分科会 GRPE(Working Party on Pollution and Energy)に設置された RDE-IWG (Global Real Driving Emissions Informal Working Group)では、軽・中量車の実路走行時の排出ガス(RDE)試験の国際基準調和活動が行われている。先行する欧州の RDE 試験<sup>1)</sup>では、排出ガス中の粒径 23 nm ~ 2.5 μm の粒子数 PN(Particle Number)が評価対象に含まれる。さらに、粒径下限の引き下げが検討されている。RDE 試験における PN 排出量の評価には、車載型排出ガス計測装置 PEMS(Portable Emission Measurement System)が用いられ、後述する 2 種類の計測原理がある。また、日本では、RDE 試験における PN 規制の導入は未定だが、型式認証時の台上試験における PN 規制が、令和 5 年末までにディーゼル車、令和 6 年末までにガソリン直噴車を対象に適用が開始される<sup>2)</sup>。

本研究では、ガソリン直噴エンジンを搭載した乗用車の PN 排出量を計測原理の異なる 2 つの PN PEMS によって評価し、計測原理の違いが評価結果に与える影響について調査した。その結果を報告する。

### 2. PN PEMS の計測原理

PN PEMS の計測原理には、凝縮式 CPC (Condensation Particle Counter) と拡散荷電式 DC (Diffusion Charging)がある。

CPC 式では、粒子がアルコール蒸気中を通過時に凝縮成長し、肥大化した粒子にレーザー光を照射した際の散乱光を検出して粒子数を計測する。国連規則第 83 号(UNR 83)において、シャシダイナモ試験での PN 排出量の評価にも採用されている。

DC 式では、粒子を帯電させた後、電場中に送り、帯電した粒子が電極に引き寄せられて衝突した際に流れる電流値によって粒子数を計測する。

### 3. 実験方法

排気量 2 L のガソリン直噴エンジンを搭載した無過給式の乗用車(出力 114 kW。以下、NA 車)とターボチャージャーによる過給式の乗用車(出力 169 kW。以下、TC 車)を用いて、シャシダイナモ上で WLTC モード(Ex high を含む)を走行させた際の PN 排出量[個/km]を評価した。PN 濃度[個/cm<sup>3</sup>]は、2 つの PN PEMS(CPC 式:堀場製作所 OBS ONE PN、DC 式:AVL PN PEMS iS)でテールパイプ直下から同時にサンプリングして評価した。排出ガス流量は、図 1 に示すように各 PN PEMS のピトー管を直列に接続して計測した。また、テールパイプ直下及び CVS 希釈後における排出ガス濃度を排出ガス分析計(堀場製作所 MEXA ONE)で評価した。各試験条件を表 1 に示す。



図 1 実験装置

表 1 試験条件一覧

No.	車両	モード	始動条件	ピトー管の接続位置 上流/下流
1	NA車	WLTC (LMHE)	cold	DC式/CPC式
2	NA車		cold	CPC式/DC式
3	NA車		hot	DC式/CPC式
4	NA車		hot	CPC式/DC式
5	TC車		cold	DC式/CPC式
6	TC車		hot	DC式/CPC式

### 4. 実験結果及び考察

PN PEMS による PN 排出量は、瞬時の PN 濃度と排出ガス流量から求められる。図 2 に各 PN PEMS によるモード全体での PN 排出量及びその相対差を示

す。cold 試験における PN 排出量は、NA 車では約  $10 \times 10^{11}$  個/km、TC 車では約  $40 \times 10^{11}$  個/km であった。参考に欧州の規制値は  $6 \times 10^{11}$  個/km である。

各 PN PEMS による評価結果は、TC 車の hot 試験 (No.6)を除き、DC 式による値が CPC 式による値を下回り、NA 車の cold 試験 (No.1、No.2)では約 23~26% 低かった。この要因について、①ピトー管の接続位置、②排出ガス流量、③PN 濃度の観点から考察する。

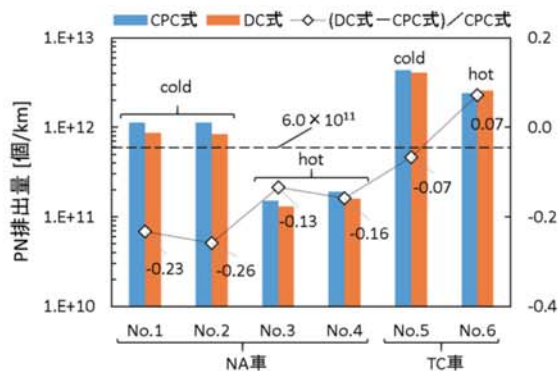


図2 各 PN PEMS による PN 排出量

#### ①ピトー管の接続位置

試験 No.1 と No.2 及び No.3 と No.4 は、表 1 に示すように各ピトー管の接続順を入れ替えた試験である。図 2 において、各々の条件の PN 排出量はほぼ同等であったことから、本試験においては、ピトー管の接続位置による影響は小さかったものと推察される。

#### ②排出ガス流量

各条件のモード全体における平均排出ガス流量について、各ピトー管による計測値と CVS による計測値を比較した。DC 式のピトー管による平均排出ガス流量は、CVS による値とほぼ同等(+1~2%)であった。一方、CPC 式のピトー管による計測値は CVS による値に比べて若干高かった(+6~8%)。ただし、PN 排出量の差に比べて小さいため、排出ガス流量計測の影響は限定的と考えられる。

#### ③PN 濃度

各 PN PEMS によるモード全体での平均 PN 濃度及びその相対差を図 3 に示す。図の右軸に示した平均 PN 濃度の相対差は、図 2 の PN 排出量の相対差とよく一致した。このことから、PN 排出量に差を生じた主な要因は、PN 濃度の検出差であると考えられる。

PN 濃度の検出差をもたらす要因として、図 4 に示す検出効率の違いが挙げられる。検出効率は、検出下限がより小さな校正器に対する PN PEMS の検出値

の割合を粒径毎に求めたものである。図 4 において、約 60 nm を境に検出効率の大小が逆転するため、車両から排出される粒子の粒径分布が PN 濃度の検出差を左右する。粒径分布を調べることで、PN 濃度の検出差と検出効率の関係が明らかになると考えられる。

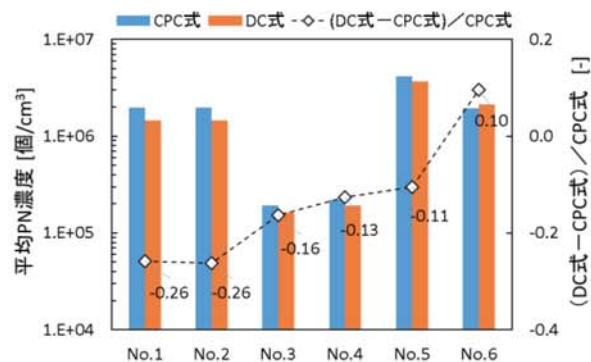


図3 各 PN PEMS による平均 PN 濃度

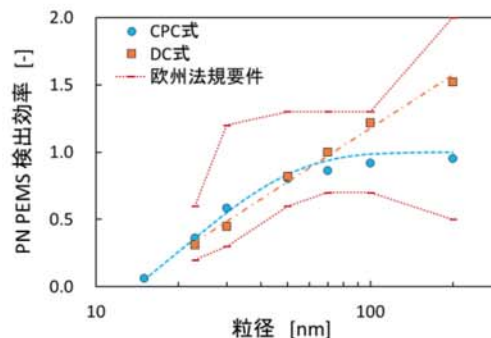


図4 各 PN PEMS の検出効率

## 5. まとめ

計測原理の異なる 2 つの PN PEMS を用いて、直噴ガソリン乗用車のシャシダイナモ試験における PN 排出量[個/km]を評価した。その結果、拡散荷電式(DC 式)による PN 排出量は、凝縮式(CPC 式)に対して、最大で約 26%低かった。これは、PN 濃度[個/cm³]の検出差が支配的な要因であることがわかった。計測原理の違いによる検出効率の違いが、PN 濃度の検出差に影響した可能性がある。

今後は、粒径分布を計測し、検出効率と PN 濃度の関係を検証するとともに、PN PEMS と定置型 PN 計測装置の比較を行う予定である。

## 参考文献

- 1) EU Regulation 2017/1154, 6. Analysers for measuring (solid) particle emissions
- 2) 環境省中央環境審議会：今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十四次答申)

## ⑤ 使用過程ハイブリッド自動車のバッテリー及び燃費性能変化

—リチウムイオン電池搭載車両を試験対象として—

環境研究部

※小鹿 健一郎、鈴木 央一

### 1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) において、排出ガス、燃費、一充電走行距離等環境性能評価方法に関する世界技術規則 (Global technical regulation) が議論されている。<sup>1)</sup> 近年では新車時だけでなく、車両の全使用期間を通して環境性能等が維持される、Durability(耐久性)についても議題となっている。電動系車両におけるバッテリー性能の低下は不可避であるが、ハイブリッド車における燃費性能はバッテリーに加えてエンジンを含めた車両制御も影響するため、バッテリー性能の低下とその影響について把握することが難しい。

このような背景から環境研究部では、使用過程ハイブリッド自動車の『バッテリーの性能変化』と『燃費性能の変化』の関係について調査を行っている。前回のニッケル水素電池を搭載した車両の調査報告<sup>2)</sup>に続き、今回はリチウムイオン電池を搭載した車両についての調査結果を報告する。

### 2. 実験の概要

使用過程ハイブリッド自動車として、2年間で総走行距離 10.5 万 km の車両を用意し、この車両の燃費性能を台上試験により測定した。次に、当該ハイブリッド自動車に搭載されていた駆動用バッテリーパックを新品と交換し、約 1000km の慣らし走行後に新品バッテリー搭載時の燃費を測定し、先の結果と比較することで燃費性能変化について調査した。また、使用過程バッテリーパックをセルに分解し、容量について調査するとともに、一部のセルについては内部抵抗についても測定を行い、これらの性能を新品セルと比較し、バッテリーの性能変化について調査した。これにより、バッテリーの性能変化が燃費性能へ与える影響について、定量的に評価を行った。

### 3. 実験結果

#### 3. 1. 燃費性能の比較

燃費性能測定を行う試験サイクルは JC08 モード (コールドスタート及びホットスタート) とし、いずれも 6 回程度実施し、試験前後のバッテリー充電率変化 ( $\Delta$ SOC: State Of Charge) および充放電電流量の収支と燃料消費量の関係を導き、 $\Delta$ SOC がゼロとした場合の燃費を当該試験サイクルの燃費値とした。バッテリー交換前後のコンバインド燃費は、それぞれ、32.23 km/L と 32.82 km/L であった(図 1)。同様に、一定速度(60 km/h)で走行した場合の燃費はそれぞれ、45.29 km/L と 45.14 km/L であった(図 2)。

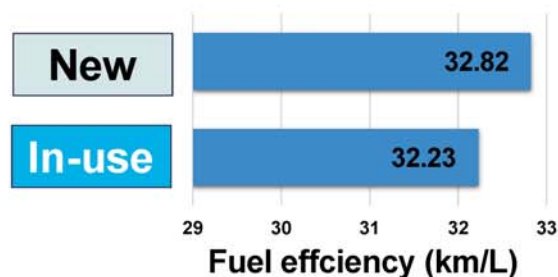


図 1 バッテリー交換前後の燃費比較(JC08 モード)

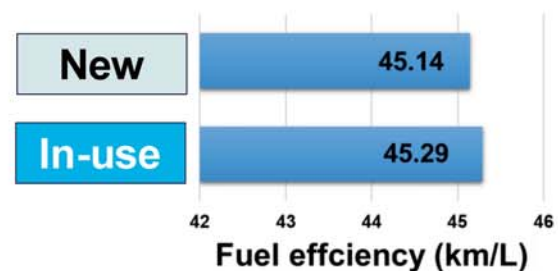


図 2 バッテリー交換前後の燃費比較(60 km/h 一定)

#### 3. 2. バッテリー性能の比較

バッテリーの性能評価のために、放電容量測定および内部抵抗測定を行った。セルの放電容量を、充放電試験装置 (菊水電子工業 型番: PFX2512) を用いて測定した。容量測定のための充放電条件は、カットオフ電圧 4.2 V、電流値 1/3 C (1.7 A) の定電流充電後、カットオフ電圧 3.4 V、電流値 1 C (5.0 A) の定電流放

電とした。これは、新品セルの放電容量が 5.0 Ah となるように設定した。同じ条件で測定した使用過程品のモジュール平均放電容量は 4.75 Ah (図 3) であり、最大値は 4.77 Ah、最小値は 4.72 Ah であった。新品と比較すると放電容量は約 5%低下していた (24 セルの平均)。

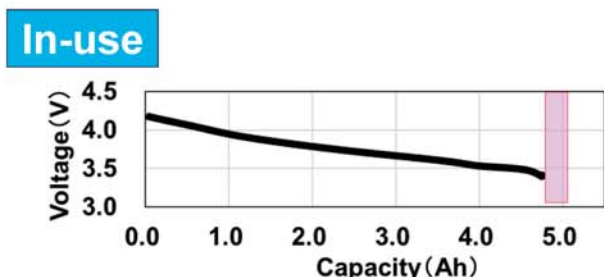


図 3 使用過程セルの放電容量測定の様子

セルの内部抵抗は JIS C 8708 に記載された方法に従い、周波数応答解析装置 (NF corporation 型番: FRA5014) を用いて、セル SOC=50%における内部抵抗を測定した。測定対象として、使用過程品からは、容量低下が最も小さかったセル(No.8)、もっとも大きかったセル(No.5)、その中間程度の容量低下であるセル(No.3)を選択した。新品に関しては、使用過程品と対応する配置のセルを選択した。結果を表 1 に示す。使用過程品の内部抵抗は新品に比べて約 0.1 mΩ高い値を示した。

表 1 セルの内部抵抗の比較

Cell No.	No.8	No.3	No.5
	Internal resistance [mΩ] @1 kHz		
New	1.21	1.22	1.30
In-use	1.35	1.38	1.40
Increase	0.14	0.16	0.10

### 3. 3. バッテリー性能変化と燃費性能変化の関係

今回試験を行った 10.5 万 km 走行後のハイブリッド車は、バッテリー容量が平均で約 5%低下しており、内部抵抗を測定した 3 つのセルの内部抵抗増加は約 0.1 mΩであった。一方、バッテリー交換による燃費の変化は-1.8%~+0.3%であったことから、今回試験した車両は、バッテリーの性能低下を想定し、仮にバッテリーの性能が低下しても、その性能低下が燃費に影響を与えにくいように設計されていると考えられる。その

一例として本試験車両では、走行試験中における駆動用バッテリーの SOC 使用幅は 20%から 80%程度の範囲に限られていた。そのため容量が約 5%低下しても、燃費性能に及ぼす影響は小さいと考えられる (図 4)。

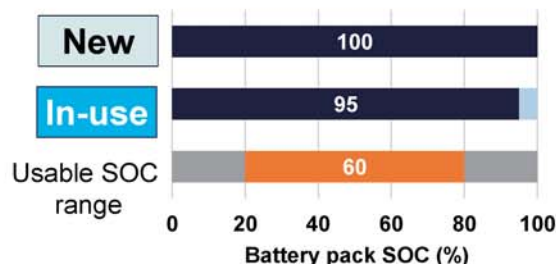


図 4 バッテリーの容量低下とハイブリッドシステムで使用する SOC の関係を表したイメージ

## 4. おわりに

本研究では、燃費の性能試験およびバッテリー性能試験を行い、今回は 10.5 万 km 走行したハイブリッド自動車のバッテリーの性能変化と燃費性能変化の関係について明らかにした。性能比較試験では、燃費の変化 (2%未満) とバッテリーの容量低下(5%程度)が観測された。今回試験した車両は、バッテリーの性能低下が燃費に影響を与えにくいように設計されていると予想された。現行の技術では、バッテリー性能は (程度の差はあるものの) 必然的に低下するものであるため、その性能低下が起こっても、燃費・排出ガスといった車両性能に影響を与えないようメーカーは設計を行うことが望ましいと考える。引き続き調査を継続し、国際的な技術基準策定会議等において、情報の提供を行う予定である。

### 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)
- 2) 小鹿 健一郎、鈴木 央一、新国 哲也 “使用過程ハイブリッド自動車のバッテリー及び燃費性能変化” 交通研フォーラム 2018



## ⑥ 重量車の電費等試験法検討会における議論の概要

環境研究部

※柴崎 勇一 新国 哲也

### 1. はじめに

2018年12月に「総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会自動車判断基準ワーキンググループ・交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会自動車燃費基準小委員会合同会議」において、トラック等の重量車の新たな燃費基準<sup>1)</sup>について検討がなされた。この中で次期重量車燃費基準においては、電動自動車等(電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池車)においてもその省エネルギー化への取り組みを評価する必要があると提言されている。しかし、現時点でこれらの車両についての電力量消費率(以下電費)あるいは水素消費率に関する型式認証審査のための試験法は存在していない。このため、国土交通省は検討会を設置し、電動重量車、プラグインハイブリッド重量車、燃料電池重量車の3種類の重量車の電費等の試験法を検討するためのワーキンググループを立ち上げて、検討を進めている。本稿では、この検討会における電動重量車電費試験法の議論の状況について、交通研で計測した電費の結果も踏まえ説明する。

### 2. 検討中の試験法の概要

同検討会では、電動重量車の電費試験法として、ハイブリッド重量車の燃費試験法として用いられている手法に則した試験法が検討されている。以下にハイブリッド重量車の燃費試験法について簡単に説明する。エンジンベンチを用いて測定したエンジン回

転数とトルクを軸とする燃費マップとエンジントルク特性及び車両諸元(車両重量、タイヤ径、全面投影面積、変速機諸元等)を用いて、JE05モード<sup>2)</sup>および都市間モード<sup>3)</sup>の走行をコンピュータ上でシミュレートして燃費を算出している。各走行モードによるエンジンの作動状態を、車体なしに台上で再現する手法としては図1に示すEngine Control Unit(以下ECU)のみを実機として用いるHardware In the Loop Simulation(以下HILS)法<sup>4)</sup>があり、多くのメーカーがこの手法を用いて燃費を算出している。

HILS法で用いられるシミュレータの計算モデルには、ハイブリッド重量車に搭載される電動部品が既にモデル化されている。そのため、電動重量車の電費試験法にHILS法の既存のシミュレータを活用することが考えられるが、この場合エンジンモデルを排除するだけでなく、電動重量車特有の要素を計算モデルとして考慮する必要がある。そこで、電動重量車をシャシーダイナモにて試験して考慮すべき要素について検討した。

### 3. 消費電力量の調査

2台の電動重量車を用いて、充電電力量の計測及び、JE05モード走行を繰り返した場合における電費の計測を実施した。図2には電動パワートレインの主要要素と電力の流れを模式的に示した。電力計測は図2のA~D点において計測した。なお、A点、B点、C点は電流計および電圧計を用いて直接計測を行い、D点においてはECUのCAN(Controller Area Network)情報を元に計測を行った。

まず、充電電力量の計測結果について説明する。充電時にA点にて計測した充電完了までに商用電源から供給された電力量とB点にて計測した車載充電器にて直流に変換された後の電力量を比較すると、商用電源から供給された電力量のうち、約8%の電力量を充電器で消費していることが分かった。

次にJE05モード走行時の計測結果について説明す

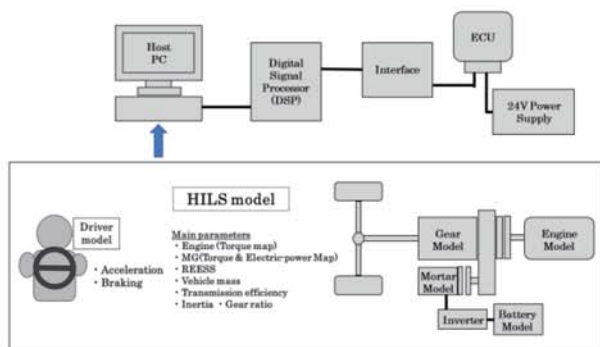


Fig.1 HILS testing system

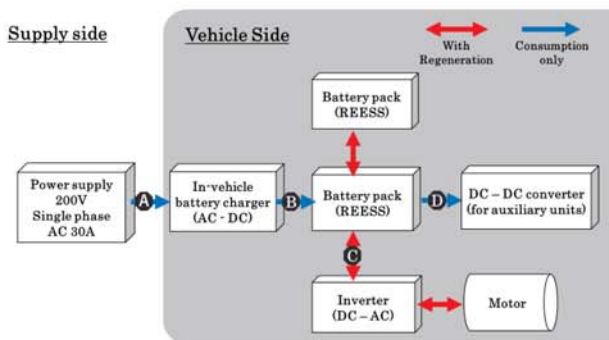


Fig.2 Main electric devices and measured points

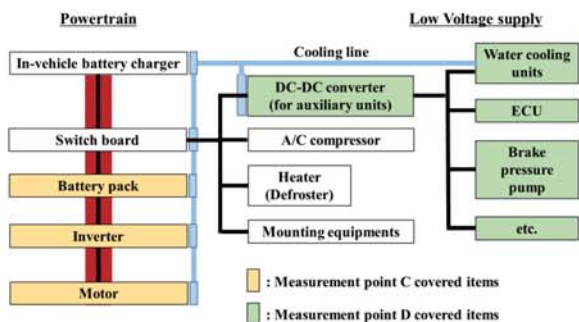


Fig.3 Electrical units on heavy duty EV

る。電動重量車の主要回路を図3に示す。大まかにモータ、インバータ等のパワートレイン系回路と、高電圧バッテリーよりDC・DCコンバータを介して24Vに降圧したものを電源とする補機に分けられる。2つの車両では単一エネルギー源である高電圧バッテリーにて、パワートレイン系回路のための電力のみでなく、補機の電力も賄っている。補機の走行時の消費電力量を計測するためにJE05モードを走行させ、1走行毎のパワートレイン系の消費電力量としてC点、補機の消費電力量としてD点を計測した。JE05モードを1回走行する際にパワートレイン系回路と補機が消費する電力量を合算したのに対して、補機が消費する電力量のみの割合は約5~9%となることが分かった。さらに補機の消費電力量の要因を調べるために、CAN信号にて取得したJE05モード走行時の補機の消費電力の時間変化を調べた。例としてモード走行開始後1500secから1800sec間の消費電力の変化を図4に示す。定常的な消費電力があるのに加え、ブレーキを用いて車両を大きく減速させるタイミングにおいて、消費電力の増大が見られる。これはブレーキ動作のために消費した負圧を回復させるため、ブレーキ負圧ポンプの消費電力が増大したことが原因と考えられる。ただし、厳密な電力増大のタイミングはブレーキ負圧

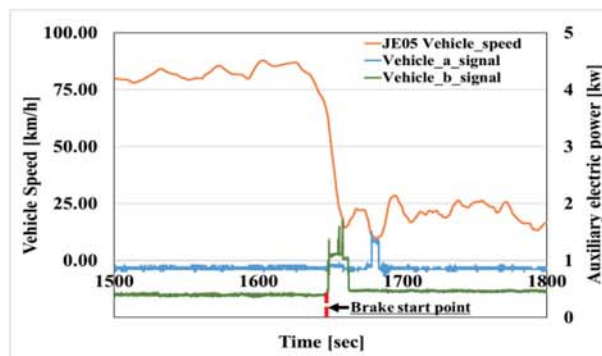


Fig.4 Auxiliary electric power at deceleration

ポンプの性能により変化すると考えられる。なお、同様の消費電力の変化は図4以外のブレーキ操作タイミングでも計測された。

2つの車両を用いて、充電電力量の計測及び、JE05モード走行を繰り返した場合における電費の計測を実施した結果、充電器による消費電力量や走行時の補機による消費電力量が電費に対して無視できない大きさとなることが分かった。検討会においては、この結果を踏まえて、充電器の消費及び走行時の一定消費電力及び一時的消費電力をモデルとして考慮する方向で検討が進められている。

#### 4. おわりに

本稿では現在検討を進めている電動重量車等の電費等試験法策定の内、現在進行中である電動重量車の電費試験法の検討状況について説明した。今後はプラグインハイブリッド重量車、燃料電池重量車についても検討に入る予定である。

#### 参考文献

- 1) 経済産業省「総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会自動車判断基準ワーキンググループ交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会自動車燃費基準小委員会合同会議（第6回）議事要旨」（2018年）
- 2) 国土交通省：「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2019.02.15】別添41」,別紙2, p.1-p.36 (2019年)
- 3) 08-003(1)-01 燃料消費率試験（重量車（2025年度燃費基準対応）） p.17-p.46
- 4) TRIAS 08-005-01 電気ハイブリッド重量車燃料消費率試験（HILSシステム）  
<https://www.naltec.go.jp/publication/regulation/fkoifn0000000ljx-att/fkoifn00000060ry.pdf>

## ⑦ 産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業の概要

環境研究部

※鈴木 央一、奥井 伸宜、山本 敏朗、柴崎 勇一、坂本 一朗

### 1. 背景、これまでの経緯

2000 年代初頭は、有害大気汚染物質の環境基準達成率が低く、大気汚染が深刻な状況にあった。中でも NOx（窒素酸化物）及び PM（粒子状物質）については、ディーゼル重量車からの排出寄与率が高く、その抜本的な改善が求められた。国土交通省は平成 14 年度より、「次世代大型車開発・実用化促進プロジェクト」（その後継も含め以下、「本プロジェクト」という。）を実施し、次世代大型車の調査・実証試験等を行ってきた。交通安全環境研究所は、本プロジェクトの中核的研究機関として実務面を取り仕切ってきた。

本プロジェクトの第 1 期（H14～16）では、超低エミッション化を目指して、CNG（圧縮天然ガス）や DME（ディメチルエーテル）等の代替燃料エンジン車、シリーズ及びパラレル式のハイブリッド車、スーパークリーンディーゼルエンジンなど新技術の開発試作が行われた。

第 2 期（H17～22）では、第 1 期で開発試作した車両等の実証試験を行うとともに、リーマンショック前後のエネルギー高騰などを反映して水素やバイオ燃料、FTD（フィッシュアトロップシユ合成）燃料を用いたものが技術開発対象に加えられた。

第 3 期（H23～26）においては、電動化技術が中心となって電気・プラグインハイブリッドトラックの開発試作や電気バス関連技術の開発などが行われた。

この頃になると大気汚染の問題は大幅に改善したことに加え、電動化技術などが各社競争領域になり始めたこともあり、本プロジェクトの中で開発試作の形で実施していくことが難しくなってきた。そこで第 4 期（H27～H30）では、次世代ディーゼルや重量ハイブリッド車の評価法に加えて、実走行時の燃費・排出ガス性能の維持、改善に関する業務として、実際に運用されている重量車の環境性能評価や、近年普及するテレマティクス技術を用いた燃費向上として環境関連項目の標準化などを実施した。

### 2. 本事業の概要

#### 2. 1. 実施予定期間

本プロジェクト第 5 期の実施予定期間は、平成 31 年（令和元年）度より開始し、令和 5 年度までの 5 ヶ年計画としている。

#### 2. 2. 実施体制

国土交通省より交通安全環境研究所が委託を受けて業務を進めるにあたり、事業全体の方針決定や進捗管理をする「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進検討会（以下、「検討会」という）」を設置し、その下に個別調査研究の進捗管理等を行う車両技術 WG、後処理 WG、内燃機関 WG の 3 ワーキンググループを設ける体制とした。令和 2 年度の体制図を図 1 に示す。

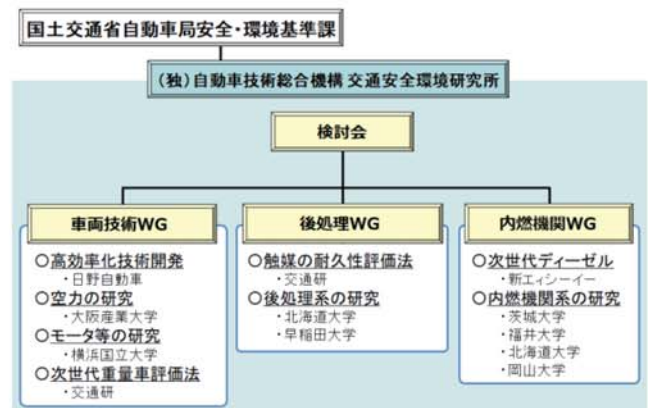


図 1 本プロジェクト実施体制図

#### 2. 3. 実施内容

第 5 期より、産学官連携として大学などが調査研究を行うプレイヤーとして参画するにあたり、より必要性や有効性の高い研究項目についての検討が必要となった。平成 30 年度に「高効率次世代大型車プロジェクト検討会」（座長：慶應義塾大学 飯田訓正教授）を設置し、重量車メーカー（4 社）等に対して、将来求められる要素技術開発等のニーズ調査を行うとともに、その結果を踏まえて大学・研究機関等へのシー

ズ調査を実施した。これらの調査結果を基に、上記検討会での議論を経て、研究・開発テーマとして下記の11テーマを設定した。(括弧内は令和2年度実施者)

#### ○車両技術 WG 関連テーマ

- (1) 大型車に適用するための高効率化技術開発及び性能評価 (日野自動車)
- (2) 道路データを活用した新たな重量車評価手法 (Model Based Testing : MBT) の検討 (交通研)
- (3) 重量車の空力性能改善に関する調査 (大阪産業大学)

#### ○後処理 WG 関連テーマ

- (4) 過渡反応・吸着・拡散・固体尿素の挙動解析に基づく SCR 触媒システムの高機能化 (北海道大学)
- (5) 還元剤濃度の能動的制御による尿素 SCR 触媒システムの浄化性能向上の調査 (早稲田大学)
- (6) 重量車の排出ガス後処理装置に関する耐久性評価法の検討 (交通研)

#### ○内燃機関 WG 関連テーマ

- (7) 次世代燃料使用時の硬質デポジット生成に寄与する含酸素・含窒素多環芳香族の生成過程に関する研究 (茨城大学)
- (8) 理論化学・物理に基づくすす生成機構の解明及びモデル化 (福井大学)
- (9) ガスエンジンにおけるノッキング発生メカニズムの解明とその知見に基づく高熱効率燃焼法に関する調査 (岡山大学)
- (10) ディーゼルエンジンの壁面熱伝達に及ぼす燃焼スケールの影響解明とその知見に基づく高熱効率燃焼法に関する調査 (北海道大学)
- (11) 大型ディーゼル機関において画期的熱効率向上を実現するための冷却損失低減技術に関する調査 (新エィシーイー)

また上記に加えて、昨年度は大型車の電動化技術の動向及びその効果、導入に係る課題等の整理を行う「電動化勉強会」を一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) が運営する形で実施した。その勉強会の中で行われた審議や検討の結果として、令和2年度より「重量車のパワートレイン改良による電費向上効果の検討」(横浜国立大学)のテーマが車両技術 WG の下に追加された。

## 2. 4. 現況

第5期より実施テーマが増加し、検討会委員が直接個別実施内容について把握することが難しくなったことに加え、令和元年度の第2回検討会が COVID-19 の影響を受けてメール審議となり十分な審議が行えなかったことなどを受けて、令和2年8月7日に令和元年度の成果報告会を web 会議にて開催し、各テーマの実施内容について、検討会委員、各 WG 委員がそろって議論を行う場を設けた。5ヶ年計画の2ヶ年目が始まったところであり、まだ跳躍前の助走的な進捗ではあるものの、最終目的の達成に向けた飛躍的な性能改善や現象解明につながるポテンシャルを感じさせる結果が示された。例えば内燃機関 WG の各テーマからは、以下のような成果が報告された。

- ・多環芳香族 (PAH) 生成の圧力依存性解明に向けた最高圧 1MPa の高圧フローリアクターの構築
- ・簡易に PAH の凝集を評価できる計算手法を確立し、先行研究の手法から 10 倍以上の高速化を実現
- ・ガスエンジンにおける、ノッキングとは異なる異常圧力振動を伴わないエンドガス自着火の実現
- ・ディーゼル噴霧及び燃焼撮影系を立ち上げ、ノズル噴孔径や噴霧速度の違いによる燃焼過程を調査
- ・燃焼室内火炎の空間遮蔽に向けたマルチインジェクターの導入とその背反として噴霧干渉による熱発生抑制の調査と最高筒内圧を抑制しつつ熱効率を改善する方策の提案

上記に加えて、他の WG も含めて計画通り進捗していることが示された。今年度についても、第1回の検討会及び各 WG にて事業計画の承認を受け、事業実施を進めていく。

## 3. ま と め

平成14年度より始まっている本プロジェクトは、平成31年(令和元年)度より第5期として「産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業」となり、従来少なかった「学」の力を加えて幅広い調査研究テーマを実施していくこととなった。交通安全環境研究所は本プロジェクトの中核的研究機関として、国土交通省及び検討会委員の有識者の指導をいただきながら、社会に役立つ研究成果を挙げていくことに努めていきたい。

## ⑧ヘッドランプの汚れとクリーナーによる夜間運転視界の変化

自動車安全研究部 ※青木 義郎  
小糸製作所 佐藤 誠晃、市川 靖洋、阪井 健、田中 博

### 1. はじめに

ヘッドランプ表面に泥、埃等が付着した際、ヘッドランプ表面で光が散乱し、路面への照射照度の低下を引き起こすとともにすれ違いビーム使用時には対向車へのグレアを増加させる危険がある。このグレア防止のため、UN R48(灯火器類の取付に関する国連規則)では光束 2,000lm を超える光源を使用したすれ違いビームには、ヘッドランプクリーナーの装着が義務付けられている。

海外から WP29/GRE (灯火器専門分科会) にヘッドランプクリーナーの義務付け廃止案が提出されたことから、この議論を行うにあたり、ヘッドランプクリーナーの有効性を判断するための解析データが必要となった。

本研究では、ヘッドランプに汚れが付着した場合における対向車ドライバのグレア感への影響とヘッドランプクリーナーによる改善効果を調査するために実験・解析を行った。

### 2. ヘッドランプクリーナーの概要

ヘッドランプクリーナーとは、ヘッドランプのレンズ面に付着した泥、雪等を洗浄する装置である。図1に噴射式ヘッドランプクリーナーの外観を示す。

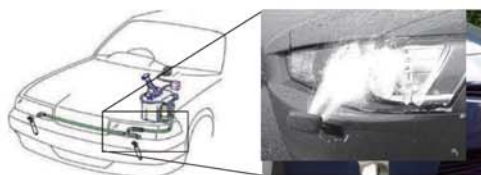


図1 ヘッドランプクリーナーの外観

### 3. 実験方法

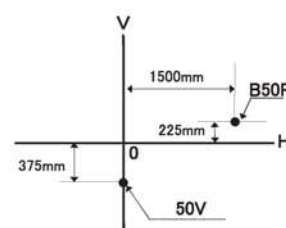
ヘッドランプ表面への泥、埃等が付着した際の配光の変化と、ヘッドランプクリーナーによるその改善効果を調査するために、規定された泥を付着させるベンチテスト及び実環境下での泥や雪等を付着させる実車走行実験を実施した。

#### 3. 1. ベンチテスト

ベンチテストでは、数種類のヘッドランプを用い

て、UN R45 に規定される配光回復率試験方法に基づき実験検証を行った。ヘッドランプクリーナー使用前、使用後のそれぞれについて配光測定を実施し、泥付着による配光の変化とヘッドランプクリーナーの洗浄効果について評価を行うこととした。

配光は、25m 前方に設置されたスクリーン上にヘッドランプ光を照射させ、路面上の視認性に影響を及ぼす測定ポイント (50V)、対向車ドライバのグレア感に影響を及ぼす測定ポイント (B50R) についてそれぞれ測定を実施した(図2参照)。条件によりその照度がどのように変化するかを調査する。 図2 配光測定ポイント



### 3. 2. 実車走行実験

実車走行実験では、LED ヘッドランプを搭載する車両を用い、冬期、主に積雪、融雪状態での道路環境(市街地、山間部、高速道路(北陸自動車道)。図3参照)で二台の車両を追従走行させた。走行後、後続車両のヘッドランプの汚れによる配光変化とヘッドランプクリーナーの洗浄効果について調査した。



図3 実車走行ルート

### 4. 実験結果

#### 4. 1. ベンチテスト

ヘッドランプの汚れとクリーナー洗浄により対向車のドライバアイポイント (B50R) でのグレア照度値がどのように変化するか測定した。その結果を図4に示す。ヘッドランプは、光束 2,000lm を越える HID 仕様の 5 車種を選定した。横軸の汚れ度はポイント 50V でのヘッドランプ汚れによる照度低下率を示す。

グレア照度値は、汚れ状態時に汚れ度の増加に伴って増加し、汚れ度 40~60%の範囲で極大となり、その

近似曲線は UN 規則の B50R 照度値の上限である 0.57lx を上回る。ヘッドランプクリーナー洗浄によってヘッドランプ汚れ度が初期～約 60%までの範囲でグレア照度値は低減し、UN 規則上限を概ね下回る。

これによりヘッドランプクリーナー使用によるグレア改善効果が明らかになった。

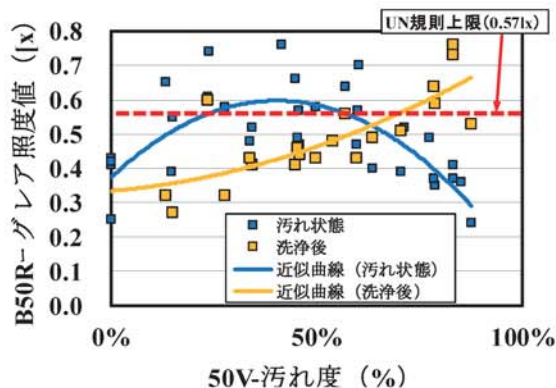


図4 ベンチテストでの B50R グレア照度値変化

ヘッドランプの条件（初期値、泥付着後、洗浄後）ごとに、配光測定を行い、その配光データを用いて対向車からその前照灯を見たとき（図5参照）のグレア感の数値解析を実施した。グレア感は Clausen と Bidels のモデル式を用い数値化した。その結果を図6に示す。なお、グレア評価値は小さいほどグレア感は強まり、この数値が4以下の時にドライバの許容限界を超えるという報告がなされている<sup>1)</sup>。

数値解析の結果、ヘッドランプが汚れ状態の時に対向車へのグレアは車間距離 20m、汚れ度 50%の条件で許容限界を超える（評価値<4）。クリーナー洗浄後は対向車を感じる眩しさは許容範囲内まで改善されることが明らかになった。

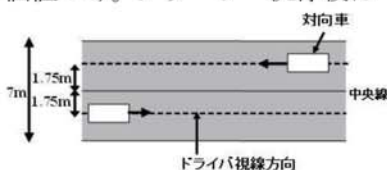


図5 道路設定条件

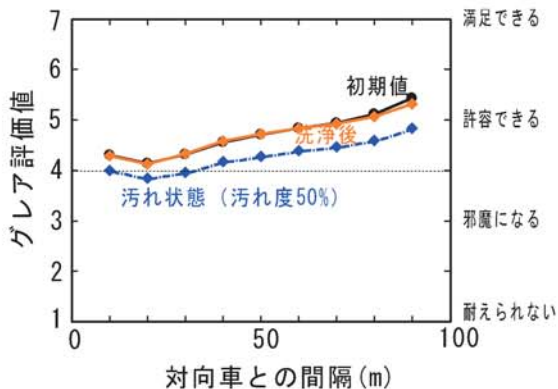


図6 汚れ状態とクリーナー洗浄後のグレア評価値

## 4. 2. 実車走行実験

LED ヘッドランプは表面温度が上がりやすく、レンズ面へ着雪や着氷が起りやすくなる。冬期、主に積雪、融雪状態での道路環境で二台の車両を追従走行させた場合の後続車両のヘッドランプ(LED仕様)の汚れによりグレア照度値 (B50R) がどのように変化するのか測定を行った。その結果を図7に示す。

走行中、前走車が巻き上げた泥、着雪、着氷、雨滴の付着によるヘッドランプ汚れ度の上昇によりグレア照度値は増加する傾向を示した。この実車走行時のグレア照度値は、ベンチテストの結果と比較して2倍程度の高い数値であり、対向車に対するグレアはベンチテストよりも実環境下の方がさらに厳しくなるものと考えられる。

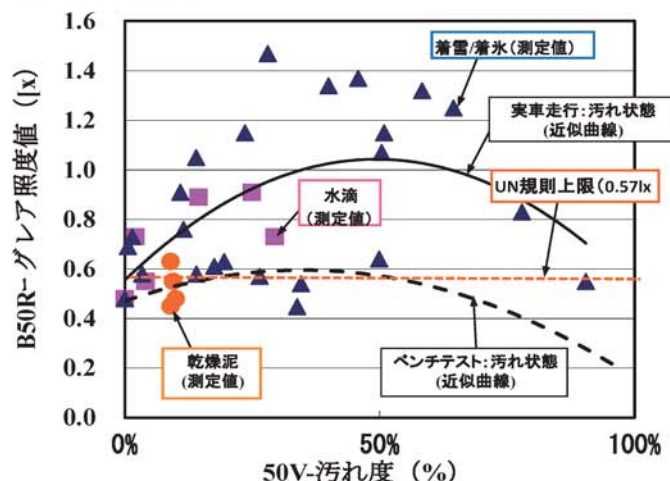


図7 実車走行実験でのB50Rグレア照度値変化

## 5. まとめ

ヘッドランプ汚れとグレアの関係と、ヘッドランプクリーナーの効果について検証し、ヘッドランプの汚れによるグレアの発生とヘッドランプクリーナー使用によるその改善効果を明らかにした。

本研究の成果は GRE インフォーマル会議にて報告<sup>2)</sup>を行い、海外から提出されたヘッドランプクリーナー義務付け廃止案は取り下げられた。

### 参考文献

- 1) 益子ほか：可変配光前照灯(AFS)が対向車ドライバに与える幻惑状況の解析、交通研発表会講演概要、pp79-84(2003)
- 2) Change in Night-time Driving Visibility Due to Soiled Headlamps and Its Improvement by Headlamp Cleaners, SLR ad-hoc meeting on “Headlamp levelling”(2019)

## ⑨ 後付け式踏み間違い時加速抑制装置に関する基本調査

自動車安全研究部 ※関根 道昭 伊藤 紳一郎 岩瀬 常利 廣渡 太一

### 1. 背景と目的

自動車のアクセルペダルをブレーキペダルと間違えて操作し、障害物と衝突する踏み間違い事故<sup>1)</sup>を防止するため、誤ってアクセルペダルを操作しても一時的に加速を抑制するシステムが開発されている。このシステムは、セーフティ・サポートカー（サポカー）の機能として提供されており、運用中の車両に後付けできる装置も存在する（以下、後付け装置と呼ぶ）。後付け装置は、自動車製造者だけでなく、独立系部品メーカーも提供している。一方、後付け装置の使用条件や機能には限界があるため、ユーザはそのことを理解する必要がある。本稿は、代表的な後付け装置の基本的な使用条件下の動作特性を調査し、使用上の留意点などを報告することを目的とする。

### 2. 調査対象とした後付け装置の概要

本調査では、以下に示す機械式装置1台と電子式装置2台を対象として、それぞれを3台の試験車両に装着した。

今回調査した機械式装置は、通常のアクセルペダルを取り外し、ブレーキペダルに取り付けて使用するものである。ドライバはアクセルを踏む代わりに、レバーを足で右側に倒す操作を行う。これにより、とっさの状況で闇雲にペダルを踏み込んだとしてもブレーキのみが作動するようになる（図1）。



図1 機械式装置の概念図と操作方法  
(ワンペダルホームページ資料より)

電子式装置は、既存のアクセルペダルには変更を加えず、アクセル操作を電氣的に無効にすることを可能にする。今回取り上げた自動車製造者が提供する装置（以下、電子式装置1）は、車両に追加装備した超音

波センサが、発進時に車両周辺の3m以内に障害物を検知したとき、ブザーやランプで警告し（図2）、アクセル入力を無効にする。また、今回扱った独立系部品メーカーが提供する装置（以下、電気式装置2）は、車速が10km/h以下でアクセル急開時の電気信号を検出した場合、アクセル信号を遮断する機能を持っている。これらの電子式装置は、駐車場で多く発生している低速走行中の踏み間違い事故<sup>1)</sup>を防止することを想定している。



図2 車室内の警告表示機

### 3. 代表的な使用条件における走行評価

当研究所自動車試験場第一地区の直線路及び駐車制動試験路（傾斜16%から18%）においてドライバによる走行試験を行い、代表的な使用状況における加速抑制機能の作動状況を観察した。13名が機械式装置、12名が電子式装置1と2を評価した。なお、この実験は「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき実施したものである。4つの使用条件における評価結果を助手席のスタッフが記録し、すべての評価を終えた後、全体的な操作に関する違和感の有無について尋ねた。

#### 3. 1. 前方に壁

前方に壁がある状況でアクセルを踏んだときの車両挙動を調べた。電子式装置1については、模擬障害物が車両の約3m先にある状態でアクセルペダルを強く踏み込んだ（図3左）。電子式装置2と機械式装置については、前方に壁があると想定して、停止状態からアクセルペダルを強く踏み込んだ。その結果、すべての装置において急発進が抑制された。

### 3. 2. 段差の乗り越え

試験車両が路肩などの段差を乗り越えられるか調査した。自動車試験場構内の高さ 5cm の段差に前輪を接触させた状態で車両を停止させ、アクセルを強く踏み込んだ (図 3 右)。その結果、電子式装置 1 と機械式装置では、全員が遅延なく段差を乗り越えることができた。一方、電子式装置 2 では、12 名中 8 名 (66.7%) が段差を乗り越えることができなかった。この場合、ペダルをゆっくり踏み込む必要がある。



図 3 前方に壁 (左) と段差の乗り越え (右)

### 3. 3. 対向右直場面 (想定)

自動車試験場の走行路に仮想の交差点を設け、交差点内で一時停止した後、強くアクセルを踏み込み右折する状況を検討した (図 4 左)。その結果、電子式装置 1 と機械式装置では、遅延なく交差点を右折することができたが、電子式装置 2 では、12 名中 9 名 (75%) において加速遅延が発生し、スムーズに右折することができなかった。この場合もペダルをゆっくり踏み込んで加速する必要があるが、急いで右折しようとして強くアクセルペダルを踏み込んだときに、なかなか発進できない状況が懸念される。

### 3. 4. 坂道発進

坂道において一時停止し、発進する場面を検討するため、駐車制動試験路の中腹に試験車両を停止させ、再発進する場面を調べた (図 4 右)。その結果、電子式装置 1 と機械式装置では遅延なく発進することができたが、電子式装置 2 では、すべてのドライバーがアクセルを強く踏み込んだでも登坂できず、車両が後ろに下がる現象を経験した。例えば、立体駐車場の入り口などでこの現象が発生した場合、後続車両と接触する可能性がある。



図 4 対向右直場面 (左) と坂道発進 (右)

### 3. 5. ペダル操作の違和感

4 つの走行条件を終えた後で、ドライバーに総合的な操作性の違和感について質問したところ、電子式装置 1 ではペダルの操作性に違和感が無いという回答が得られた。一方、電子式装置 2 では、段差の乗り越え、対向右直場面、坂道発進においてスムーズに発進できない場合があったため、12 名中 11 名 (91.7%) がペダルの操作性に違和感があると回答した。また、機械式装置を評価した 13 名中 6 名 (46.2%) が操作性に違和感があると回答した。アクセルペダルは通常、足を縦方向 (前方向) に倒して操作するが、機械式装置では足を横方向にずらして操作するため、約半数のドライバーが違和感を覚えたと考えられる。

## 4. まとめ

後付け式踏み間違い時加速抑制システムについて、電子式装置 1 は、今回検討した使用条件における問題は観察されなかった。一方、電子式装置 2 は、段差の乗り越え、対向右直場面、坂道発進でスムーズに加速できない場合があった。機械式装置では、そのような問題は生じなかったが、操作性が通常車両と大きく異なるため、装置の使用方法に慣れる必要があることが示された (表 1)。加速抑制装置の主たるユーザである高齢者は、装置の特性理解や使用方法の習熟に時間がかかることが多い。そのため、装置の提供者は高齢ユーザに対する十分な説明を行うとともに、ユーザ自身が習熟した上で利用する必要があると考えられる。

表 1 調査結果のまとめ

検討項目	電子式 1 (純正)	電子式 2 (独立系)	機械式 (独立系)
① 壁に向かって急加速	加速なし	加速なし	加速なし
② 段差の乗り越え	可能	制限あり	可能
③ 対向右直 (想定)	可能	制限あり	可能
④ 坂道発進	可能	制限あり	可能
⑤ 操作のしやすさ	変化なし	変化あり	変化あり

## 参考文献

- 1) 交通事故総合分析センター：アクセルとブレーキペダルの踏み間違い事故, ITARDA Information No.124



# ⑩. 大型バス座席のシートバック角度が衝突時の乗員の安全性に及ぼす影響調査

自動車安全研究部      ※田中 良知      細川 成之      松井 靖浩

## 1. はじめに

夜行の大型バスでは、乗客は夜間就寝のために座席のシートバックを大きく倒した状態で乗車していることが多い。一方、バス座席の安全性に関する国際基準 (UN Regulation No.80、以下 R80 とする) では、座席のシートバック角度が製造者の設計角度、もしくは垂直から 25° 倒した状態で乗員の安全性を評価しており、シートバックを倒した状態では評価していない。

また、R80 ではバス座席にシートベルトの装備が義務付けられているものの、乗用車に義務付けられている 3 点式シートベルトではない。

そこで本研究では、大型バスの座席のシートバック角度とシートベルトタイプが乗員の安全性に及ぼす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

図 1 に試験の状況を示す。試験は、座席のシートバック角度を除き R80 に定められた試験方法に準じて実施した。スレッド試験機にバス座席を前後に 2 脚取り付け、後席にダミーを搭載し、前面衝突事故を模擬した加速度で前面衝突試験を実施した。ダミーには成人男性ダミーである Hybrid III AM50 ダミーを使用した。バスの座席は大型バスに使用されている一般的な座席を使用した。

表 1 に試験条件を示す。R80 では、試験時のシートバック角度は製造者の指定する設計値もしくは垂直から 25° と定められている。今回の調査ではシートバック角度を垂直から 25°、50°、80° の 3 条件とした。図 2 に座席のシートバック角度の設定状況を示す。シートベルトタイプは 2 点式シートベルトと 3 点式シートベルトの 2 種類とした。図 3 にそれぞれのシートベルトの取り付け状況を示す。



図 1 試験状況

表 1 試験条件

試験番号	座席シートバック角度	シートベルトタイプ
Test 01	25°	2点式
Test 02	25°	3点式
Test 03	50°	2点式
Test 04	50°	3点式
Test 05	80°	2点式
Test 06	80°	3点式

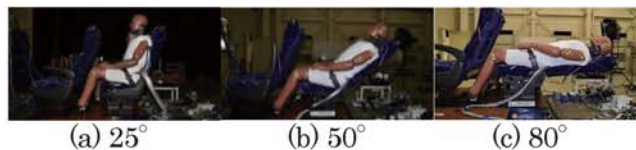


図 2 座席のシートバック角度の設定状況



(a) 2点式シートベルト      (b) 3点式シートベルト  
図 3 各シートベルトの取り付け状況

### 2. 2. 試験結果

図 4 に各試験における衝突開始後 160 ms でのダミーの状態を示す。シートバック角度 25° の 2 点式及び 3 点式シートベルト条件、シートバック角度 50° の 2 点式シートベルト条件ではダミー頭部が前席と衝突していた。特に、シートバック角度 25° の 2 点式シートベルト条件の場合は、前席との衝突により他の場合に比べてダミー頭部が大きく後傾していた。シートバック角度 50° の 3 点式シートベルト条件とシートバック角度 80° の 2 点式及び 3 点式シートベルト

ト条件の場合には、ダミー頭部が前席と衝突しなかった。



2点式シートベルト 3点式シートベルト

図4 ダミーの状態 (160 ms)

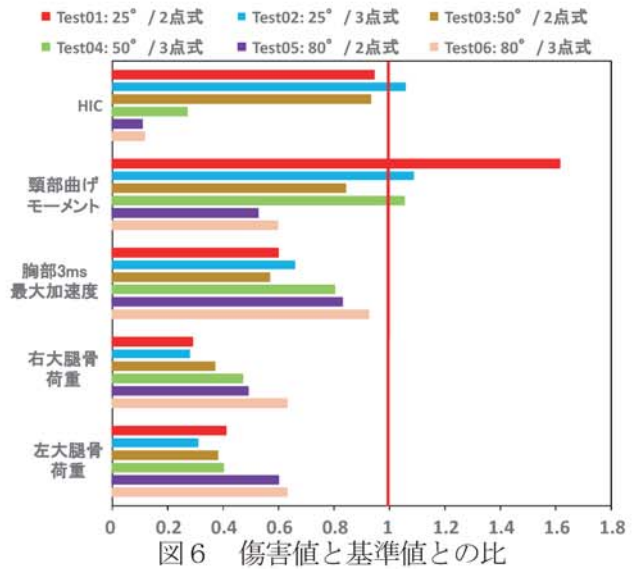
図5 にシートバック角度80° の3点式シートベルト条件の場合の衝突開始後110 ms時の状況を示す。シートベルトが頸部を圧迫していた。



図5 シートバック角度80°、3点式シートベルト条件のダミーの状態 (110 ms)

図6 に各試験のダミー傷害値と基準値との比を示す。傷害値として、頸部傷害値以外はR80に定められた傷害値であるHIC(加速度より算出する頭部傷害値)、胸部3ms最大加速度及び大腿骨荷重を用いた。頸部傷害値は、乗用車の前面衝突に関する国際基準であるUN Regulation No.137に定められた頸部曲げモーメントを用いた。また、基準値としてそれぞれの基準に定められた値を用いた。

HICについては、シートバック角度25°の3点式シートベルト条件が基準値を超えていた。頸部曲げモーメントについては、シートバック角度25°の2点式及び3点式シートベルト条件、シートバック角度50°の3点式シートベルト条件が基準値を超えていた。



### 3. 考察及びまとめ

座席のシートバック角度が25°の場合、2点式と3点式シートベルト条件を比較すると、頭部傷害値の差は小さかったが、頸部傷害値では2点式シートベルト条件が約1.5倍大きかった。座席のシートバック角度が50°の場合、2点式と3点式シートベルト条件を比較すると、2点式シートベルト条件の場合には頭部が前席と衝突して頭部傷害値が約3.5倍大きかった。これらのことから、シートバック角度が25°と50°の場合では、3点式シートベルトに比べて2点式シートベルトの方が乗員安全性は低いことがわかる。日本のバスでは、一般に夜行大型バスであってもシートバック角度が50°より大きく傾く座席は少ないため、基本的にはバスの座席には3点式シートベルトを装備することが望ましい。

座席のシートバック角度が80°の場合、2点式と3点式シートベルト条件を比較すると、3点式シートベルト条件の場合にシートベルトが乗員の頸部を圧迫する可能性があった。このため、シートバック角度の傾きが大きく乗員が寝た姿勢の場合では、2点式シートベルトに比べて3点式シートベルトの方が安全性は低くなる可能性がある。50°より大きいシートバック角度が設定できる場合には、3点式シートベルトの安全性の確認が必要である。

また、R80では傷害値として定められていない頸部傷害値で、2点式シートベルトと3点式シートベルトの乗員傷害値に顕著な差が見られた。今後、R80の評価項目として頸部傷害値の追加も検討していくことが必要と考える。

# ⑪衝突被害軽減ブレーキ作動時の乗員挙動が衝突時の乗員傷害に及ぼす影響調査

自動車安全研究部 ※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩

## 1. はじめに

近年、予防安全装置を装着した車両の普及が進んでいる。特に衝突被害軽減ブレーキ「Advanced Emergency Braking System : 以下、AEBS という）搭載車は、(一社)日本自動車工業会の資料<sup>1)</sup>によると、その国内販売台数に占める割合が 2015 年度に 15.6%であったのに対して、2019 年度では 83.5%と急速に普及が進んでいる。一方で、AEBS は、運転者等が意図していない状況で作動すると乗車姿勢に乱れが発生することもあり、衝突時にシートベルトやエアバッグの効果が十分に発揮されるかどうかを確認する必要がある。そこで、AEBS 作動時の乗車姿勢の乱れが衝突時の受傷状況に及ぼす影響について調査を行った。

まず、AEBS 作動時の乗員の姿勢変化について実車を用いて計測した。その後、取得した乗員の姿勢情報を用いて、前面衝突を模擬したスレッド試験を実施し、通常姿勢での乗員傷害や乗員挙動と比較検討を行った。

## 2. 実車実験

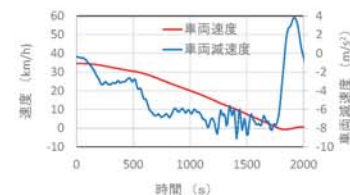
### 2. 1. 実験及び結果

AEBS 作動時の乗員挙動の取得には、2012 年製の小型乗用車を使用した。車両の対物センサにはミリ波レーダーが使用されている。実験では、供試車両を発泡スチロール製の模擬車両に向かって直進走行させ、AEBS 作動により模擬車両直前で停止した条件での乗員挙動を取得した。今回の実験では、車両速度を 50km/h の場合と 35km/h の場合とで実験を行ったが、50km/h では模擬車両の手前では停止できなかった。乗員挙動は、運転者の頭部、肩部、腰部の移動量を高速度カメラの映像で計測した。実験状況を図 1 に示す。実験は、「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規定」に従い、安全に十分配慮して実施し

た。



実験状況

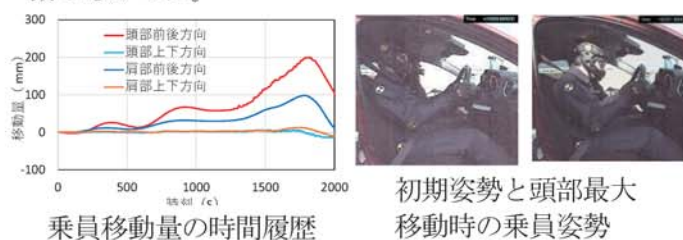


車両速度、減速度の時間履歴

図 1 実験状況

図 2 に実験結果として乗員移動量の時間履歴並びに初期状態及び頭部前後方向最大移動時の乗員姿勢を図 2 に示す。

本実験において乗員の移動量が最も大きかったのは、減速度は最大で約  $8\text{m/s}^2$  であった。乗員各部の移動量は、頭部前後方向が前に 200mm、頭部上下方向が下に 4mm、肩部前後方向が前に 96mm、肩部上下方向が下に 10mm であった。腰部はほとんど移動しなかった。また、シートベルトの緊急ロック機能は作動しなかった。



乗員移動量の時間履歴

初期姿勢と頭部最大移動時の乗員姿勢

図 2 乗員の移動量

## 3. スレッド実験

### 3. 1 実験条件

AEBS 作動後に前面衝突事故を起こした場合を想定しスレッド実験を実施した。AEBS を装備した車両では、これを装備していない車両に比べて衝突速度が低くなることも想定されるが、今回は乗車姿勢が乗員傷害に及ぼす影響をより明確に確認するために、小型乗用車による 50km/h でのフルラップ前面衝突試験の車体減速度を用いた。図 3 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。

乗員傷害値計測は、運転席に成人男性ダミーである Hybrid III AM50 を搭載して実施した。表1に実験条件を示す。AEBS 作動時の乗員姿勢を再現するために、ダミーの背部とシートとの間に治具を挿入した。ただし、ダミーは人間と異なり柔軟に姿勢を変えることができない。そこで、頭部の水平位置を実車実験にあわせて、規定の搭載位置に対して前方に 200mm オフセットした。この状態における肩部位置は、規定の搭載位置よりも前方に 110mm (被験者では 96mm) となった。腰部位置は規定の位置である。

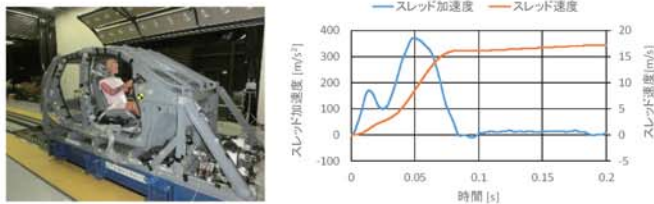




図3 スレッド実験状況

表1 スレッド実験条件

	Test 1	Test 2
乗車姿勢	前面衝突基準の乗車姿勢	AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢
ダミー搭載状況		

### 3. 2. 実験結果

図4にダミー挙動、図5に頭部合成加速度及び胸部たわみの時間履歴示す。また、図6にエアバック上の頭部衝突位置を示す。

頭部合成加速度は、前面衝突基準の乗車姿勢よりも AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢の方が低かった。これは、図4から AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢では、ダミーとハンドルとの距離が近いので、エアバッグの展開途中から頭部とエアバッグが接触し、頭部拘束が早い段階から行われたことにより頭部の減速時間が長くなり、結果的に頭部の最大加速度を低く抑えられたと考えられる。一方で、エアバッグの展開途中で頭部が接触することによる顔面への影響については懸念される。

胸部たわみは、頭部合成加速度と同様に AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢の方が低くなった。これは、図6のエアバック上の頭部衝突位置が示すように、AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢では、エアバッグとの接触位置が上方になるために、ダミーの上体部拘束

がシートベルトだけでなくエアバッグの寄与度も高かったことも影響したためと考えられる。

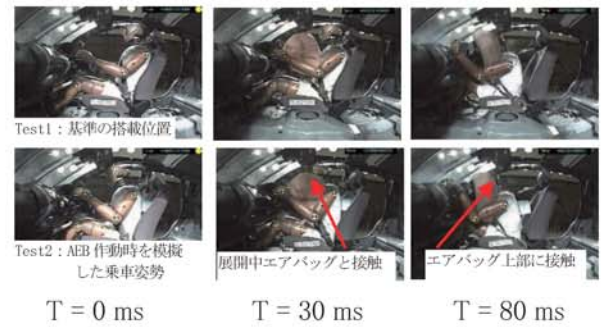


図4 ダミー挙動

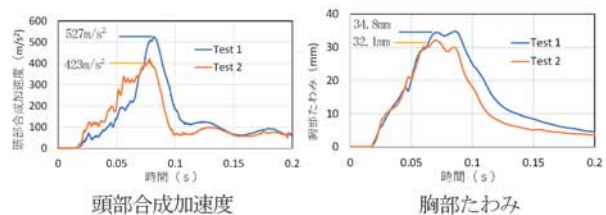


図5 頭部合成加速度、胸部たわみの時間履歴



図6 エアバック上の頭部衝突位置

### 3. まとめ

今回の実験では、AEBS 装備車両を用いて作動時の乗車姿勢の乱れを調査し、これをもとにスレッド実験により衝突事故を模擬してダミーの傷害値を比較した。

ダミーの頭部合成加速度や胸部たわみは、AEBS 作動時を模擬した乗車姿勢においても傷害値が悪化することはなかった。一方で、前面衝突基準の乗車姿勢に比べて、頭部の衝突位置が上方に変化することが確認できた。AEBS は、衝突事故を未然に防ぎ、また、衝突直前速度を低減することから交通事故死傷者を低減するために重要な装置である。一方で、乗車姿勢の乱れにより、これまで注目されてこなかった乗員傷害も懸念される。従って、今後とも乗車姿勢と乗員傷害の関係について調査を行う必要があると考える。

### 5. 参考文献

- 1) (一社) 日本自動車工業会ホームページ,  
[http://www.jama.or.jp/safe/safety\\_equipment/PDF/safety\\_equipment\\_01.pdf](http://www.jama.or.jp/safe/safety_equipment/PDF/safety_equipment_01.pdf)

# ⑫大型車の車両衝突速度と自転車乗員傷害との関係からみた衝突被害軽減ブレーキの効果予測に関する研究

自動車安全研究部  
東京都立大学

※松井 靖浩  
及川 昌子

## 1. はじめに

2019年の我が国の交通事故死者数は3,215人であり、その中で歩行中の死者数1,176人(36.6%)、自転車乗員の死者数433人(13.5%)を合わせると交通弱者(歩行者、自転車乗員)は50.1%を占める<sup>1)</sup>。このような状況から、交通弱者への対策はきわめて重要な課題である。我が国では、車両のボンネットを対象に歩行者頭部を保護するための技術基準が2005年に導入された。一方、トラックを含む貨物車については、乗用車派生の車両を除き、歩行者頭部保護を目的とした技術基準は存在しない。

現在、自動車に装着されたセンサーで歩行者を検知し、警報やブレーキ制御をかける安全装置の普及も有望と考えられ、一部実用化されている。更なる交通事故死者数の低減には、自転車乗員事故への対策も重要となり、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の開発も必要と考えられる。

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

## 2. マクロデータを用いた車両走行速度による重傷率・死亡率の算出

2000～2014年(15年間)のマクロ事故データを使用した。交通事故における車両の各走行速度帯における自転車乗員の重傷率・死亡率を求めた。尚、本研究の重傷率は、軽傷者数、重傷者数の中で重傷者数の占める割合、死亡率は、軽傷者数、重傷者数、死者数の中で死者数の占める割合とした。

車両種類は、貨物車に加えセダンも分析対象とした。ここでは(a)車両総重量11t以上貨物車(大型貨

物車と呼称)、(b)5t～11t未満貨物車(中型貨物車と呼称)、(c)軽自動車及び1Box車を除く5t未満貨物車(小型貨物車と呼称)、(d)1Boxタイプの3t未満貨物車(1Box車と呼称)の貨物車を対象とした。本研究では、比較として(e)セダン(軽自動車、ミニカーを除く)を含め計5車種を対象とした。マクロデータを用いて求めた車両走行速度と重傷率・死亡率との関係をそれぞれ図1に示す。車両走行速度の増加に伴い、自転車乗員の重傷率・死亡率は増加する傾向であった。

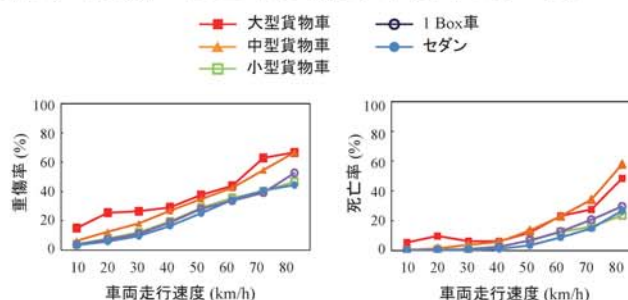


図1 車両走行速度と重傷率、死亡率との関係

特に、大型貨物車の場合、重傷率は車両走行速度30 km/h以下において、死亡率は車両走行速度20 km/h以下において、他の車種と比べ高い傾向を示した。このように、大型車との衝突では、車両走行速度が低い場合においても他の車種の場合と比べ重傷率、死亡率が高い。

## 3. ミクロデータを用いた車両走行速度と車両衝突速度との関係式の算出

実際の交通事故では、運転者が危険を認知しブレーキをかけることで、速度が低減した状態で自転車乗員に衝突することが予測される。その時の車両の速度を車両衝突速度と呼称する。マイクロデータでは、車両走行速度だけでなく、マクロデータには存在しない車両衝突速度を有する。そこで本稿では、1993年から2014年(22年間)までの自転車乗員が関与したマイクロデータを使用し、車両走行速度と車両衝突速度との関係を

算出した。ここでは(a)~(d)を合算して貨物車とし、車両走行速度と車両衝突速度との関係を算出した。貨物車及びセダンにおける傷害程度別の車両走行速度と車両衝突速度との関係を図2に示す。車両走行速度と車両衝突速度の分布を直線近似(y切片=0)した際の近似直線式を図中に表示した。貨物車の場合、死亡(0.96)の回帰係数は重傷(0.83)の回帰係数より大きい数値を示した。このことから、車両はほとんど減速せずに自転車乗員へ衝突し、その結果、自転車乗員が死亡に至ったと推察される。これら回帰係数より、死亡事故の場合、車両衝突速度はマクロデータの車両走行速度の0.96倍であり、重傷事故の場合はマクロデータの車両走行速度の0.83倍であると推定される。

セダンにおいても死亡(0.92)の回帰係数は重傷(0.80)の回帰係数より大きく、死亡事故の場合、車両衝突速度はマクロデータの車両走行速度の0.92倍、重傷事故の場合にはマクロデータの車両走行速度の0.80倍であると推定される。

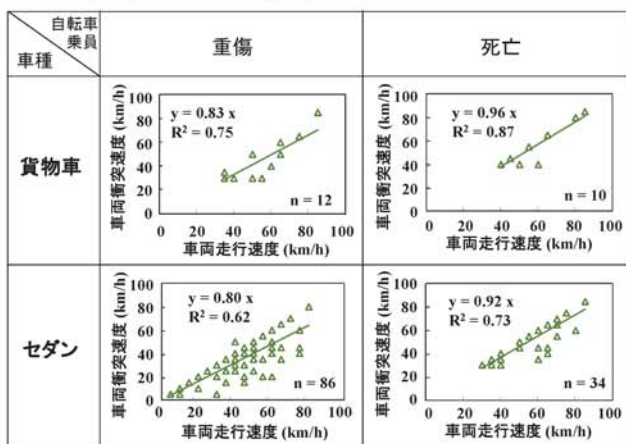


図2 車両走行速度と車両衝突速度との関係

#### 4. 車両衝突速度毎の重傷率・死亡率の算出

2章で求めた車両走行速度と重傷率・死亡率との関係に、3章で求めた回帰係数を適用し、車両衝突速度毎の自転車乗員の重傷率・死亡率を車種別に算出した。大型貨物車、中型貨物車、小型貨物車、1Box車の4車種については、3章で貨物車として求めた回帰係数(重傷率を算出する場合は0.83、死亡率を算出する場合は0.96)を2章で求めた車両走行速度に適用し、車両衝突速度毎の自転車乗員の重傷率・死亡率を算出した。同様に、セダンに関しては3章で求めた回帰係数(重傷率を算出する場合は0.80、死亡率を算出する場合は0.92)を2章で求めた車両走行速度に適用し、

車両衝突速度毎の自転車乗員の重傷率・死亡率を算出した。

算出した車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係を図3に示す。自転車乗員の重傷率が20%以下の車両衝突速度に着目する。小型貨物車、1Box車、セダンが30 km/h以下、中型貨物車が20 km/h以下、大型貨物車が10 km/h以下の場合、自転車乗員の重傷率は20%以下となった。さらに、自転車乗員の死亡率が5%以下の車両衝突速度に着目する。小型貨物車、1Box車、セダンが40 km/h以下、中型貨物車が30 km/h以下の場合、死亡率は5%以下となった。大型貨物車においては10 km/hの場合、死亡率は6%であった。このように自転車乗員の重傷率・死亡率は、車種により異なる傾向を示すことが明らかとなった。尚、死亡率が20 km/hの場合、30 km/hと比べて高いのは、礫過が要因であると考えられる。

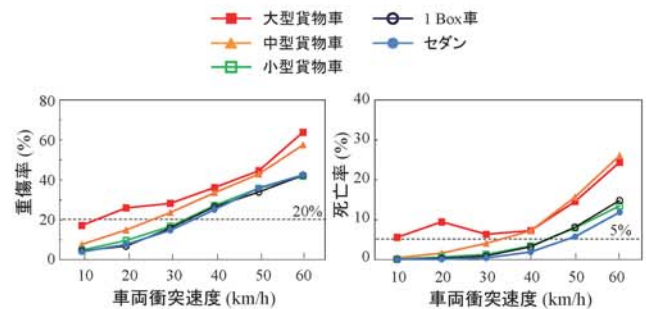


図3 算出した車両衝突速度と重傷率、死亡率との関係

#### 5. おわりに

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

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

#### 参考文献

- 1) 公益財団法人交通事故総合分析センター、“交通統計令和元年版”(2020)

# ⑬ 自動運転車の社会受容性に関する研究<事故判例の分析から>

自動車安全研究部

※中川 正夫

## 1. はじめに

「運行設計領域内において、システムが引きおこす人身事故であって、合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと<sup>1)</sup>」が、レベル3, 4の自動運転車<sup>2)</sup>が満たすべき基本的な安全要件として WP29 で国際的に合意<sup>3)</sup>され、本合意のもとに自動運転車の安全性について議論が進められている。

上記要件<sup>1)</sup>は、ドライバーが過失を問われる要件そのものだが、自動運転車では従前はドライバーに課していた安全運転義務を自動運転システムが履行することになり、ドライバーに替わる自動運転システムの安全要件を考える必要がある。現状では自動運転車の社会受容性を考慮した安全要件がまだ明確ではないものの、少なくともドライバーが過失を問われる行為は自動運転システムにおいても禁止されるべきと考えられる。

そこで、事故判例におけるドライバーの過失の分析から、自動運転車が最低限満たすべきと考えられる要件を検討するための研究を進めている。本稿では、過失の考え方をまとめ、「先行車の急制動」に該当する事故判例について分析し、自動運転車に求められる要件を検討した。

## 2. 過失の考え方

ドライバーが過失を問われる場面は、「危険事象の発生を事前に予想できたか（結果予見可能性・結果予見義務の有無）」、そして「予見した危険事象に対して、その発生を回避できたか（結果回避可能性・結果回避義務の有無）」が問われる。これら予見と回避を遂行する義務（一般に注意義務と称する<sup>4)</sup>）を履行したか否かで過失が問われることになる。

例えば、図1に示す横断者と車両が衝突した事故の場合、衝突から時系列を遡って、結果予見可能性のあった地点すなわち横断者を発見可能だった地点を特定した上で、同地点から衝突地点までの距離と停止距離（＝空走距離＋制動距離）を比較することにより、結果予見が可能な地点から制動などの回避行動を行うことで衝突を回避できたか否かで過失の有無を認定する<sup>4)</sup>。過失は、遭遇した危険事象に対する一般的なドライバーの能力を基準として、一般的なドライバーが

予見でき、かつ回避できる危険事象にも関わらず事故をおこしたときに問われることになる。

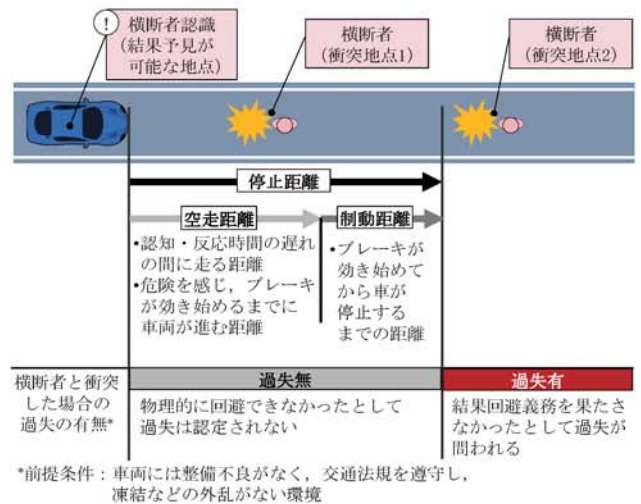


図1 過失の考え方

## 3. 事故判例の分析

自動運転車が遭遇すると考えられる多様な交通場面のそれぞれについて過失の要件を整理する必要があるが、本稿では過失の有無が分かれている「先行車の急制動」を扱うこととした。

本稿では、事故判例における注意義務に着目し、各判例の注意義務をできる限り忠実に再現した。

### 3. 1. 先行車との車間距離を約12mに保ち、共に約50km/hで進行中、交差点内で先行車が急制動の措置をとったため追突した事例<sup>5)</sup>（自車に過失あり、図2）

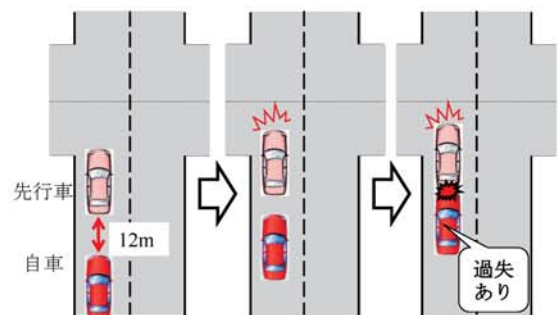


図2 先行車の急制動1

注意義務: 他車両に追従するドライバーにとって、先行車が急制動の措置をとるかもしれないことを予測し、常に追突を避けうる態勢をとって運転することは、最

も基本的かつ重要な注意義務である。例え交差点内であっても、先行車が急制動の措置をとることがないと信頼して運転することは許されない。

### 3. 2. 左車線から車線変更してきた先々行車との衝突を避けようとして急停止した先行車に追突した事例<sup>6)</sup> (自転車に過失なし、図3)

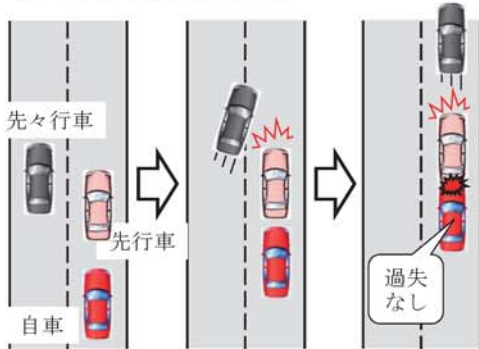


図3 先行車の急制動2

注意義務：車線変更してきた先々行車がそのまま加速しながら走り去る態勢にあるにも関わらず、50~60 km/h の速度で走行中の先行車ドライバーが、いきなりブレーキペダルをいっぱい踏み込み、その後も依然として急制動措置を解除することなく、ブレーキペダルをいっぱい踏み込み続け、そのため先行車が停止してしまうという事態は、走行していた車線前方の道路状況や交通状況の下では、一般的なドライバーの考え方から見て社会通念上、明らかに異常な事態であるといわざるを得ない。本場面において、先行車の急停止までも予見し得る可能性はなく、ドライバーはかかる急停止を予見すべき義務までも負っていない。

### 3. 3. 判例分析から見えてくること

上記のように、同様の場面及び同じ物理現象に対しても、状況によって過失の有無が分かれていることがわかる。自動運転車には過失のないふるまいが求められているなかで、遭遇する交通場面の状況の如何に依らない画一的なふるまいの線引きを行い、社会受容性を確保する必要があると考えられる。

先行車の急制動に対して事故を起こさないためには、道路交通法第26条にもあるように、直前の車両などが急に停止したときにおいても追突するのを避けることができるため必要な距離を保たなければならない<sup>7)</sup>。とるべき車間距離は先行車の種類、速度、道路状況、見通しなどに依存するとの事故判例における記述<sup>8)</sup>もあり、ドライバーは経験に照らして周辺車両や交通流から合理的に車間距離を定めていると考えられる。

上記の道路交通法第26条にある「先行車の急停止」

には制動による急停止だけでなく、制動以外（例えば静止障害物への衝突）による急停止も含まれるとの最高裁判決<sup>9)</sup>がある一方で、状況によって過失の有無が異なる事故判例も見られ、事故判例における車間距離に対する画一的な見解は見られない。

車間距離を十二分にとれば、有事における先行車との衝突は避けられるものの、自車の速度低下によって交通流を乱したり、他車の割り込みなどの誘発により新たな危険事象を発生させたりするなどして、社会受容性を損ねることも考えられる。安全を確保しつつ、その副作用で周辺車両に危険を生じさせないように、自動運転車の性能として必要とされる車間距離と事故判例を参考にした社会受容性にあう車間距離の両面から安全要件を定める必要があると考えられる。

最後に、刑事罰における「疑わしきは罰せず」の原則から科学的真実とは異なる判決が出る場合もある。自動運転車に求められるふるまいの画一的な線引きを行うためにも、事故判例を精査・分類し、安全要件の本質的な要素を洗い出して議論を行う必要があると考えられる。

## 4. まとめ

本稿では、一般的なドライバーが過失を問われる行為を参考に、自動運転車に求められる最低限の安全要件について検討した。先行車の急制動における事故判例の比較から、同様の場面及び同じ物理現象に対しても状況に応じて過失の有無が分かれることがわかった。

ドライバーの過失から自動運転車の安全要件として線引きを行うにあたり、「先行車の急制動」以外の交通場面においても、必要な機能と社会受容性の両面から整理するべく今後も分析を続けていく。

### 参考文献

- 1) 自動運転車の安全技術ガイドライン、国土交通省自動車局 (2018)
- 2) 自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義、JASOテクニカルペーパー、自動車技術会 (2018)
- 3) ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.2 (2019)
- 4) 中川由賀、道路交通法及び道路運送車両法の改正を踏まえたレベル3自動運転車の操作引継ぎ時の交通事故の運転者の刑事責任、中京ロイヤー、Vol.32 (2020), pp.13-27
- 5) L03710158、刑事裁判資料、No.239, p.262
- 6) 名古屋高判平元・2・27、自動車事故・危険運転重要判例要旨集(第2版)、自動車事故判例研究会(2017)、pp.195-197
- 7) 執務資料道路交通法解説 17 訂版、東京法令出版(2017)、p.249
- 8) L02220661、刑事裁判資料、No.198, p.452
- 9) 最決昭43・3・16、自動車事故・危険運転重要判例要旨集(第2版)、自動車事故判例研究会(2017)、pp.189-192



# ⑭ 標準ドライバモデルと小型可搬型運転ロボット適用による 将来の燃費・排出ガス評価手法への対応について

環境研究部

※奥井 伸宜

## 1. はじめに

自動車（乗用車）の販売カタログ等に記載される燃料消費率（燃費）及び窒素酸化物等の排出ガス量は、シャシダイナモメーター（CHDY）に実車両を設置し、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）で定められた WLTP（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）で規定される WLTC（Worldwide Light-duty Test Cycle）等の車速パターンを走行し計測している。近年、この値と実路走行時の燃費や排出ガス量の乖離が問題となっており、運転操作が一要因として考えられている。CHDY 試験は、現状、車両メーカーの熟練したドライバーが運転することが多く、一般ユーザーの平均的な運転動作を反映しているとは言い難い。そこで、運転操作のバラツキを排除し、車両走行性能を公平に評価できるよう、ドライバモデルを共通化し（標準ドライバモデル）、その指令で人間による車両の操作を代行する運転ロボットを使った CHDY 試験手法を検討している。

交通研フォーラム 2018 で、構築した標準ドライバモデルの指令で特定メーカーの運転ロボット（アクチュエーター）を操作した結果、事前調整が不要で、人間の運転動作と同等の性能が得られることを紹介した。昨年度のフォーラムでは、複数の運転ロボット（アクチュエーター）を用意し、標準ドライバモデルの制御で CHDY 試験を行い、運転ロボットの仕様が異なる

っても、同等の走行性能が得られることを紹介した。

今回は、標準ドライバモデルで操作できる小型可搬型運転ロボットを構築した。本稿では、小型可搬型運転ロボットの制御性を確認し、これを用いることで可能となる将来の燃費、排出ガス評価手法への対応について考察した。

## 2. 小型可搬型運転ロボット

### 2.1 小型可搬型運転ロボットの構築

アクセル及びブレーキペダルを操作するため、1自由度の直動アクチュエーターで運転ロボットを構築した。仕様は、図 1 に示す通り、市販の運転ロボット A（RBT200ST：明電舎）及び運転ロボット B（ADS-7000：堀場製作所）を参考に選定した。

構築した運転ロボット C の制御は、標準ドライバモデルを搭載した PC と DSP（高速演算装置:dSPACE）から成り、DSP で演算した各ペダル開度情報を運転ロボット制御盤の外部端子に入力することで、各アクチュエーターの伸縮量や速度を任意に調整できる。この時、CHDY から取得した車速情報を DSP に入力させることで、各ペダルの操作量をリアルタイムに演算させている。

### 2.2 小型可搬型運転ロボットの構成

図 2 に市販の運転ロボット A と構築した運転ロボ

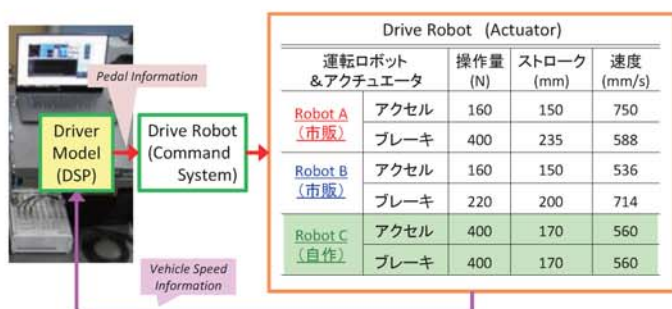


図 1 運転ロボット（アクチュエーター）の仕様

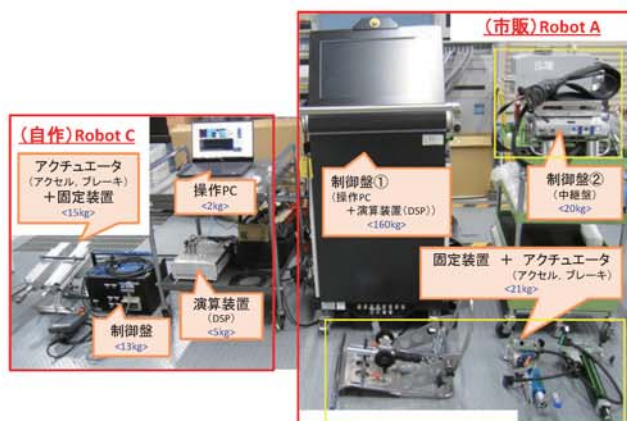


図 2 小型可搬型運転ロボットの構成と比較

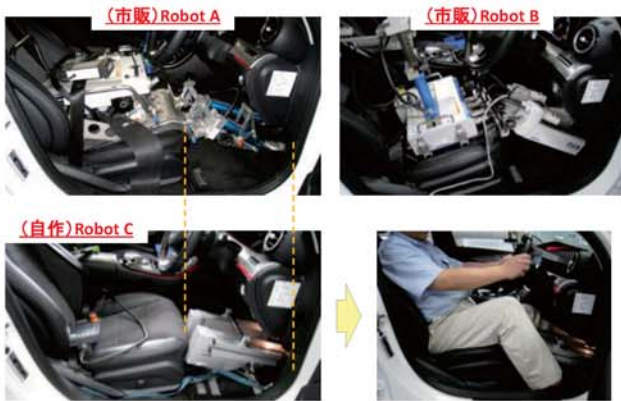


図3 小型可搬型運転ロボットの車両設置性

ット C の外観及び構成を比較する。運転ロボット C の機能をアクセル及びブレーキペダル操作に絞ったことで、重量は 83%減、サイズも小型化でき、運転ロボットの持ち運びや車両への搭載を容易とした。

### 2.3 小型可搬型運転ロボットの車両設置性

車両に運転ロボットを設置した様子を図 3 に示す。市販ロボットは、シートにアクチュエーター用の制御盤と固定装置を搭載し、固定装置のフレームを用いて各アクチュエーターを設置する。一方、運転ロボット C はシートを占有させることなく、アクチュエーターを運転席のフロアに容易に設置できる構造とした。

## 3. 小型可搬型運転ロボットの走行性能の確認実験

### 3.1 実験条件

軽中量車の電気自動車、ディーゼル及びガソリンエンジン車を選定し、WLTC（コールドスタート）の CHDY 試験を行った。

今回、市販ロボット A 及び B を比較対象とするが、機器メーカーが提供するドライバモデルは使用せず、本研究で構築した標準ドライバモデルによる操作指令で各運転ロボットを制御した。

## 3.2 実験結果

図 4 に各車両走行時のドライビングインデックス、電費、燃費及び排出ガスの測定結果を示す。ドライビングインデックスとは、WLTP で規定される基準車速と実際の車速との乖離を数値化したものである。

各車両の結果は、運転ロボットの仕様によらず、ほぼ同等の性能を示した。このことから、構築した小型可搬型運転ロボット（運転ロボット C）による CHDY 試験の運用が可能となることが分かった。

## 4. 将来の燃費・排出ガス評価手法について

運転ロボットを用いた CHDY 試験の運用を目指し、①標準ドライバモデル、及び②小型可搬型運転ロボットを構築した。これら①と②を組み合わせた運転ロボットにより、人間による運転操作のバラツキを排除することができ、車両走行性能を公平に評価できると考えられる。さらに、今後 RDE（Real Driving Emission）試験が導入され、テストコースで実際の道路交通を模擬した車速パターンで車両を走行させる試験も想定されている。この際、複雑な車速パターンを最大 2 時間程度、正確に追従して走行する運転が求められる。構築した運転ロボットは、小型可搬型でモデルの事前調整が不要であるため、このような用途にも活用できると考えられる。

## 5. まとめ

- (1) 小型可搬型の運転ロボットを構築し、このロボットによる CHDY 試験の運用の可能性を確認した。
- (2) 標準ドライバモデルと小型可搬型運転ロボットの活用で、CHDY 試験時における公平性及び再現性を効率よく確保できる。

今後、運転ロボットを用いた CHDY 試験の公平性確保に向け、国際基準調和を視野に活動を進める。

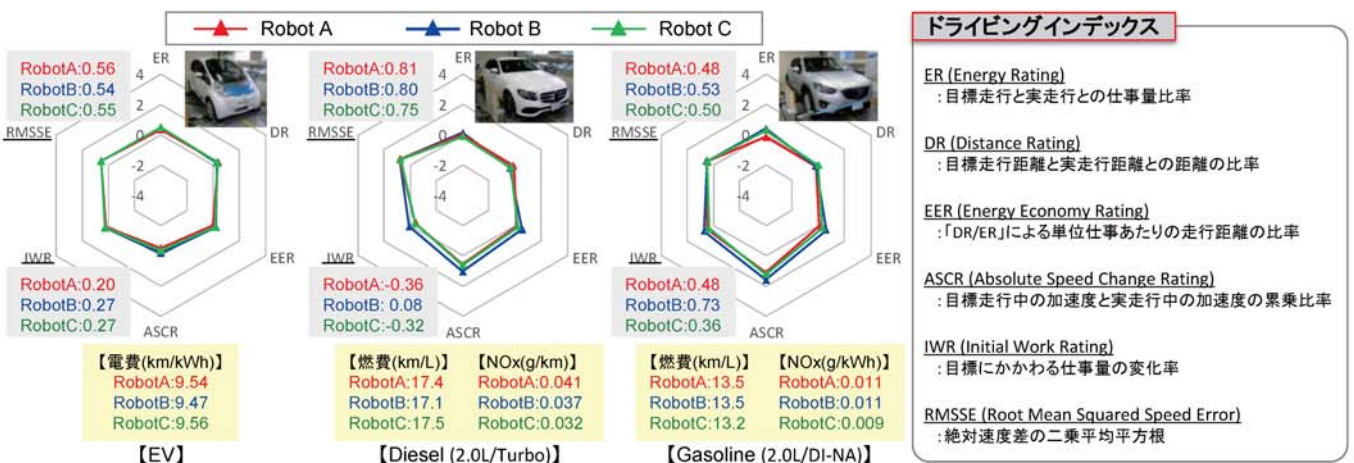


図4 各種運転ロボットによる走行性能結果（CHDY 試験）

## 受託・施設利用等について

### ■受託・共同研究について

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

#### ●実績(受託元)

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

### ■施設利用について

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

---

令和2年度 交通安全環境研究所フォーラム 2020 講演概要

令和2年11月19日発行

編集兼発行人 独立行政法人 自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

発行所 独立行政法人 自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 7-42-27

URL <http://www.ntsel.go.jp/>

---

本書についてのお問い合わせは、企画部技術コーディネーター(交通安全環境研究所)までお願いいたします。

電話 (0422)41-3207

FAX (0422)41-3233

○本冊子はグリーン購入法(国等による環境物品等の調達に関する法律)に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。

○リサイクル適正の表示:紙へリサイクル可

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