平成 27 年度

# 交通安全環境研究所フォーラム 2015

# 講　　演　　概　　要

2015. 11. 18, 19

国際連合大学　ウ・タント国際会議場

独立行政法人 交通安全環境研究所

# はじめに

自動車･鉄道等の陸上交通は、我が国の都市及び地域における重要な交通手段であり、その安全確保や環境保全に関わる対策が最重要であることは言うまでもありません。また地球規模でも、交通事故数の減少や大気汚染対策、温暖化対策等が喫緊の課題となっていることを背景に、我が国の燃料電池自動車や自動運転技術、さらには高い安全性・定時性を誇る鉄道システムといった陸上交通に関わる高度な技術が、世界各国でいっそう注目を浴びてきております。

一方、近年のグローバル化の益々の進展や新興国等の急速な経済成長等により、陸上交通分野の国際競争は激化してきており､今後も熾烈となっていくことが予想されます。このような国際情勢の中で、我が国の国際競争力を確保するという観点から、さらには我が国及び各国の安全・安心かつ環境に優しい持続可能な社会の構築に貢献するという観点から、高度な技術を活用して、高いレベルの国際基準・国際規格の策定を推進し、各国との調和を図っていくことが社会的に求められているところです。

当研究所は、自動車・鉄道の安全・環境基準策定支援研究、自動車の型式指定のための基準適合審査やリコールに係る技術的検証等を行っておりますが、それらに加え、特に近年は、前述の状況を勘案し、自動車分野については国際基準調和活動への支援業務を、そして鉄道分野については規格の海外提案活動や認証業務を行う等、海外展開支援活動を積極的に推進してきているところであります。

このような状況の中、本年の交通安全環境研究所フォーラムは、自動車の国際基準調和活動や鉄道技術・規格の海外展開や認証活動といった切り口で、当研究所の最近の研究成果等をご紹介するとともに、関連する外部の専門家をお招きしてご講演頂くことにしております。本フォーラムが、今後の持続可能な社会の構築や、ひいては我が国の関連産業のさらなる発展に向けての議論に貢献できれば誠に幸いに存じます。併せて、ご来場の皆様から忌憚のないご意見を頂くことにより、当研究所の活動をさらに充実・発展させ、当研究所に対する社会的な期待と信頼に応えていく所存でございます。

今後とも、皆様方のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

平成27年11月

独立行政法人　交通安全環境研究所

理事長　**飯　村　　修**

# Time Table 2015.11.18(Wed)

## テーマ：自動車の国際基準調和に向けた取り組み

| Time | 講演内容 |
|---|---|
| 10:00～10:10 | **開会の挨拶**　理事長：飯村 修 |
| 10:10～10:40 | **招待講演1**<br>[講演者] 国土交通省自動車局 技術政策課<br>技術企画室長：猪股 博之<br>**自動車の国際基準調和活動に関する最近の動向** |
| 10:40～10:55 | 自動車安全研究領域長：河合 英直<br>**自動車安全研究領域における研究の概要と方向性** |
| | **【自動車安全研究領域の取り組み】** |
| 10:55～11:20 | **講演1** [講演者] 主席研究員：田中 良知<br>**前面衝突試験の胸部傷害指標に関する調査**<br>前面衝突試験時の胸部傷害指標について、事故調査、実験及びシミュレーションによる調査を実施した。事故調査から、高齢者と助手席女性乗員の胸部傷害事故低減の必要性が確認できた。実験及びシミュレーションから、胸部傷害指標として最大たわみ量の方がより適切に胸部傷害の状況を評価できることを確認したが、同時に胸部たわみ量はシートベルト経路の影響を受けることも確認した。上記結果より、フルラップ前面衝突基準の国際基準化活動において、胸部傷害値をたわみ量とするにあたり、シートベルト経路要件を基準に追加すること、傷害基準値として高齢者を対象とした基準値を日本から提案して、2015年5月のGRSPで合意された。この基準は2015年11月のWP29会議に上程され、2016年6月頃に施行予定である。 |
| 11:20～11:45 | **講演2** [講演者] 上席研究員：青木 義郎<br>**カメラモニタシステムに関する調査研究と国際基準調和活動**<br>近年自動車において車載モニタシステムの活用が進められており、ドアミラーについてもその機能を代替するカメラモニタシステム（CMS）の検討が実施されている。当研究所ではCMSについて評価実験を実施し、必要要件を検討するとともに、UNECEの専門部会等で国際基準調和活動を実施したので、その内容について報告する。 |
| 11:45～12:10 | **講演3** [講演者] 上席研究員：伊藤 紳一郎<br>**自動車EMC基準R10の最新動向と審査施設の整備状況**<br>昨年改正されたR10-05シリーズの概要を報告するとともに自動車審査部で建設中の試験設備の整備状況の概要を報告する。 |
| 12:10～13:20 | **昼休み（ポスターセッション）** |
| 13:20～13:50 | **招待講演2**<br>[講演者] 国土交通省自動車局 環境政策課<br>次世代自動車推進官：大橋 将太<br>**自動車環境基準の国際調和と国内取入れの動向について** |
| 13:50～14:05 | 環境研究領域長：石井 素<br>**環境研究領域における研究の概要と方向性** |

| Time | 講演内容 |
|---|---|
| | **【環境研究領域の取り組み】** |
| 14:05～14:30 | **講演4** [講演者] 上席研究員：鈴木 央一<br>**重量車における新たな評価方法についての動向**<br>従来のエンジンベンチ試験における排出ガス評価に加えて、車載排出ガス分析計（PEMS）等による評価が世界的に行われている。また燃費評価法についても日米では近く更新が見込まれ、欧州でも策定が進められている。国内外のこれらの動きについて概説する。 |
| 14:30～14:55 | **講演5** [講演者] 主席研究員：山田 裕之<br>**自動車排出粒子計測法の高度化**<br>**－PMPによる活動のこれまでとこれから－**<br>国連欧州委員会、GRPEに設立されたPMPワーキングでは、diesel particulate filter(DPF)を装着した車両からの粒子状物質測定を行うことができる新たな認証時測定法の開発を行ってきた。その中で提案された測定法はparticle number(PN)によるものである。本ワーキングの活動により、欧州においては軽量車、重量車に本計測法による規制が導入された。本発表では、これまでのPMPワーキングの活動を紹介するとともに、現在のPN計測法に残された問題点、今後のPMPの活動について紹介する。 |
| 14:55～15:20 | **講演6** [講演者] 上席研究員：坂本 一朗<br>**自動車の騒音等の国際基準調和の概要について**<br>本年7月の中央環境審議会「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について（第三次答申）」においては、国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）で本年6月に改訂された四輪車の騒音に関する国連規則を導入することが示された。また、WP29においては、ハイブリット車等の静音性に関して、新規の国連規則が成立する見込みとなった。本講演では、これらの規則に対して官民が協力して活動した概要を述べる。 |
| 15:20～15:50 | **コーヒーブレイク（ポスターセッション）** |
| | **【自動車基準認証国際調和技術支援室の取り組み】** |
| 15:50～16:15 | **講演7** [講演者] 自動車基準認証国際調和技術支援室長：成澤 和幸<br>**自動車基準の国際調和活動における交通安全環境研究所の役割と今後の展望**<br>国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）における乗用車等の排出ガス・燃費測定法や電気自動車の安全性能基準の国際統一化について最近の動向を概説する中で、交通安全環境研究所の役割を紹介する。また、自動運転に関する議論など新規提案されている課題を取り上げ、今後の国際基準の方向性について述べる。 |
| | **【自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み】** |
| 16:15～16:35 | **講演8** [講演者] 自動車審査部長：佐竹 克也<br>**自動車審査部における審査の概要について**<br>進展著しい自動車の安全・環境技術に対する厳正かつ公平な審査と、申請者にとって利便性・合理性の高い審査の両立が求められているところ、昨今の自動車審査部の取り組みについて、国際認証基準調和活動のトピックスを交えながら、概説する。 |
| 16:35～16:55 | **講演9** [講演者] リコール技術検証部長：山﨑 孝章<br>**リコール技術検証業務の実施状況について**<br>平成26年度における自動車不具合情報、事故火災情報等の傾向、技術検証に係る状況や技術検証事案の分析結果について概説するとともに、同年度に行った、「雪道走行時の不安全挙動」に繋がるおそれがあるタイヤの不適切使用に関する調査の結果について紹介する。 |

# Time Table 2015.11.19(Thu)

## テーマ：国際規格を中心とした鉄道技術の海外展開に向けた取り組み

| Time | 講演内容 |
|---|---|
| 10:00～10:20 | 交通システム研究領域長：廣瀬 道雄<br>**交通システム研究領域における研究の概要と方向性** |
| 10:20～11:20 | **招待講演**<br>[講演者]国土交通省鉄道局 技術審議官：潮崎 俊也<br>**日本の鉄道技術の海外展開** |
| | **【交通システム研究領域の取り組み】** |
| 11:20～11:45 | **講演1** [講演者]上席研究員：林田 守正<br>**軌道系交通システムの国際展開に対応した技術評価手法の検討**<br>日本の鉄道技術の海外展開に際しては、国際規格に準拠した第三者安全性評価が必須とされるケースが増加している。そのような状況に鑑み、国際規格の客観性や合理性を参照しながら、これまでの当所のFMEA、FTAを中核とする手順を継承した標準的な安全性評価手法を取りまとめた結果を報告する。さらに、RAMS等の概念に基づき、安全性重視の方針を堅持しつつ、信頼性等も十分に考慮した技術評価手法の確立に向けた取り組みについて述べる。 |
| 11:45～12:10 | **講演2** [講演者]主席研究員：長谷川 智紀<br>**鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための磁界測定と鉄道車両における磁界の発生傾向**<br>近年、磁界の人体ばく露に関する関心が高まっており、鉄道における磁界の測定方法についてはIEC/TS 62597として発行されている。当所では、IEC/TS 62597の測定手法に則り、国内の鉄道車両における磁界測定を行ってきた。その結果から得られた鉄道車両における磁界発生傾向について述べる。 |
| 12:10～13:30 | **昼休み（ポスターセッション）** |
| 13:30～13:55 | **講演3** [講演者]主席研究員：竹内 俊裕<br>**車上電力量測定法に関する考察**<br>IEC（国際電気標準会議）で審議中の車上電力量測定に関するPT62888の原案において、ヨーロッパでは国際列車運用における課金を目的としたEN規格に基づくヨーロッパ式の車上電力測定方法を提案している。日本では、これまで車内情報システムを用いて車上電力量測定を行っていたが、厳密に測定精度が規定されることはなかった。そこで、この車内情報システムによる電力量と測定器による電力量を測定し、車内情報システムを用いた場合の電力量測定に影響を与える要因について検討を行ったので報告する。 |
| 13:55～14:20 | **講演4** [講演者]主席研究員：大野 寛之<br>**旅客の移動利便性向上を目指す国際規格化の動き**<br>鉄道に関わる国際規格に関しては、これまでは交通事業者指向の主としてハードウェアに関する部分の規格が中心であった。近年はユーザーすなわち旅客指向の利便性や安全性に関わる分野についての国際規格化の動きが広がってきている。路線の計画段階から、旅客の利便性や移動制約者の安全性等に配慮する方策等を考慮すること等についても規格あるいはガイドライン化が進められている。こうした新たな規格化の動きへの交通安全環境研究所の取り組みについて紹介を行う。 |

| Time | 講演内容 |
|---|---|
| 14:20～14:45 | **講演5** [講演者]上席研究員：緒方 正剛<br>**鉄道の国際規格に関する交通安全環境研究所のこれまでの関わりと今後について**<br>これまで交通安全環境研究所では、無人運転システムの安全性要件(IEC62267)、都市交通システムの管理と指令(IEC 62290)、鉄道の運転状況記録装置(IEC 62625)、鉄道システムからの磁界測定法(IEC/TS 62597)、無線利用列車制御システム(IEC 62773)、鉄道の環境条件に関する要件(IEC62498)等に関する国際規格審議に国内主査、国際主査等で主導的立場として参画し、国際規格化に貢献するとともに、国内では、技術基準化、JIS化等にも貢献してきたので、その概要を述べる。また今後、鉄道製品の国際展開で重要となる日本提案のRAMS(信頼性(R)、アベイラビリティー(A)、保守性(M)、安全性(S))規格(IEC62278)改訂審議について、その概要と交通安全環境研究所の研究、認証機関としての関わりについて述べる。 |
| 14:45～15:25 | **コーヒーブレイク（ポスターセッション）** |
| | **【鉄道認証室の取り組み】** |
| 15:25～15:50 | **講演6** [講演者]鉄道認証室 技術統括：田代 維史<br>**鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望**<br>近年、欧州鉄道規格の国際規格化が加速するとともに鉄道海外市場の拡大が進んでおり、国際標準化活動や規格適合性認証の重要性が高まっているが、輸送安定性、安全性で実績ある日本の鉄道技術をこの流れに整合させるには課題が多い。本講演では、これまでの経緯、キーとなる規格の特徴、対応する国内活動、解決すべき課題、及び今後の展望について報告する。 |
| 15:50～16:15 | **講演7** [講演者]鉄道認証室長：佐藤 安弘<br>**鉄道認証機関としての交通安全環境研究所の役割と今後の方向性**<br>鉄道製品・技術の海外展開にあたっては、国際規格への適合性に関する認証が求められる。交通安全環境研究所では、鉄道分野で国内初の規格適合性認証機関となる鉄道認証室を設置し、平成24年9月に認証機関として認定を受けた鉄道認証室は、認定機関の審査による継続的な認定を維持しつつ活動している。認証活動の概要について紹介するとともに、将来に向けた鉄道認証機関としての方向性について述べる。 |
| 16:15～16:20 | **閉会の挨拶** 理事：水間 毅 |

※講演内容・講演者は変更になる場合があります。予めご了承ください。

# Poster Title ポスタータイトル

## 会場：2階レセプションホール

1
**小型車両の乗員傷害の軽減について**
※細川 成之・田中 良知・松井 靖浩(自動車安全研究領域)

2
**予防安全支援システム効果評価シミュレータASSESSを用いた出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討(第2報)**
※田中 信壽・安本 まこと(自動車安全研究領域)・
波多野 忠(元自動車安全研究領域)

3
**マクロデータによる高齢者単独事故の特徴分析**
※森田 和元・関根 道昭(自動車安全研究領域)

4
**ニアミス事象における車両対自転車の接近状況について**
※松井 靖浩・及川 昌子(自動車安全研究領域)

5
**ドライバー異常時対応システムに関する調査**
※児島 亨(自動車安全研究領域)・波多野 忠(元自動車安全研究領域)

6
**自動運転技術の国際基準策定のためのITS / 自動運転インフォーマルグループの活動概要**
※関根 道昭・平松 金雄(自動車安全研究領域)

7
**道路交通騒音の超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発**
ー検証試験および通過車両情報抽出機能の追加ー
※宝渦 寛之・坂本 一朗・西 孝弘(環境研究領域)
石濱 正男(神奈川工科大学)・猿渡 克己(株式会社小野測器)

8
**ひとの運転特性を反映させたHILSドライバモデルの検討**
※奥井 伸宣・川野 大輔・鈴木 央一(環境研究領域)

9
**NOxセンサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の排出ガス診断方法の検討**
※山本 敏朗・鈴木 央一・水嶋 教文(環境研究領域)

10
**車検にOBDを活用する場合の効果と課題**
※山口 恭平・鈴木 央一・山本 敏朗(環境研究領域)

11
**試験時間短縮を目指した電気自動車の一充電走行距離測定法の開発**
※小鹿 健一郎(環境研究領域)・新国 哲也(自動車安全研究領域)・
小林 一樹(自動車審査部)

12
**重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて(第3報)**
ー エンジン暖機モデルを用いた冷機始動時の燃料消費率計算方法 ー
※水嶋 教文・山口 恭平・川野 大輔・鈴木 央一(環境研究領域)

13
**列車の運転状況記録装置データを活用した安全性向上方策に関する研究**
※田中 佑輔・廣瀬 道雄・日岐 喜治(交通システム研究領域)

14
**鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究**
※田中 佑輔・廣瀬 道雄・竹内 俊裕・林田 守正(交通システム研究領域)

15
**小型レール状態診断装置による状態監視の活用例について**
※森 裕貴・佐藤 安弘・大野 寛之(交通システム研究領域)・
綱島 均(日本大学)・浅野 晃(京三製作所)

16
**旅客移動の陸海をつなぐシームレス小型船の研究**
※大野 寛之(交通システム研究領域)・
平田 宏一・宮崎 恵子・田中 信行(海上技術安全研究所)

17
**ロープウェイ施設における風分析と搬器の突風応答シミュレーション**
※佐藤 久雄・押立 貴志・廣瀬 道雄(交通システム研究領域)

18
**画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置(第2報)**
※ 竹内 俊裕・千島 美智男・森 裕貴(交通システム研究領域)

※マークは、発表者です。

# 目　次


| 題　目 | 所　属 | 発表者名（講演者） | 頁 |
|---|---|---|---|
| **自動車の国際基準調和に向けた取り組み**（18日の講演（ウ・タント国際会議場）） | | | |
| 自動車安全研究領域における研究の概要と方向性 | 自動車安全研究領域長 | 河合　英直 | 1 |
| ■自動車安全研究領域の取り組み | | | |
| 講演１<br>前面衝突試験の胸部傷害指標に関する調査 | 主席研究員 | 田中　良知 | 3 |
| 講演２<br>カメラモニタシステムに関する調査研究と国際基準調和活動 | 上席研究員 | 青木　義郎 | 9 |
| 講演３<br>自動車ＥＭＣ基準Ｒ１０の最新動向と審査施設の整備状況 | 上席研究員 | 伊藤　紳一郎 | 15 |
| 環境研究領域における研究の概要と方向性 | 環境研究領域長 | 石井　素 | 21 |
| ■環境研究領域の取り組み | | | |
| 講演４<br>重量車における新たな評価方法についての動向 | 上席研究員 | 鈴木　央一 | 23 |
| 講演５<br>自動車排出粒子計測法の高度化<br>－ PMP による活動のこれまでとこれから－ | 主席研究員 | 山田　裕之 | 29 |
| 講演６<br>自動車の騒音等の国際基準調和の概要について | 上席研究員 | 坂本　一朗 | 35 |
| ■自動車基準認証国際調和技術支援室の取り組み | | | |
| 講演７<br>自動車基準の国際調和活動における交通安全環境研究所の役割と今後の展望 | 自動車基準認証国際調和技術支援室長 | 成澤　和幸 | 41 |
| ■自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み | | | |
| 講演８<br>自動車審査部における審査の概要について | 自動車審査部長 | 佐竹　克也 | 45 |
| 講演９<br>リコール技術検証業務の実施状況について | リコール技術検証部長 | 山﨑　孝章 | 47 |

| 題　目 | 所　属 | 発表者名（講演者） | 頁 |
|---|---|---|---|
| **国際規格を中心とした鉄道技術の海外展開に向けた取り組み** | 19日の講演（ウ・タント国際会議場） | | |
| 交通システム研究領域における研究の概要と方向性 | 交通システム研究領域長 | 廣瀬　道雄 | 51 |
| **■交通システム研究領域の取り組み** | | | |
| 講演１<br>軌道系交通システムの国際展開に対応した技術評価手法の検討 | 上席研究員 | 林田　守正 | 53 |
| 講演２<br>鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための磁界測定と鉄道車両における磁界の発生傾向 | 主席研究員 | 長谷川智紀 | 57 |
| 講演３<br>車上電力量測定法に関する考察 | 主席研究員 | 竹内　俊裕 | 61 |
| 講演４<br>旅客の移動利便性向上を目指す国際規格化の動き | 主席研究員 | 大野　寛之 | 65 |
| 講演５<br>鉄道の国際規格に関する交通安全環境研究所のこれまでの関わりと今後について | 上席研究員 | 緒方　正剛 | 69 |
| **■鉄道認証室の取り組み** | | | |
| 講演６<br>鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望 | 鉄道認証室　技術統括 | 田代　維史 | 73 |
| 講演７<br>鉄道認証機関としての交通安全環境研究所の役割と今後の方向性 | 鉄道認証室長 | 佐藤　安弘 | 77 |

| 題　目 | 所　属 | 発表者名（※主発表者） | 頁 |
|---|---|---|---|
| | | ポスターセッション（2階レセプションホール） | |
| ①小型車両の乗員傷害の軽減について | 自動車安全研究領域 | ※細川　成之<br>田中　良知<br>松井　靖浩 | 83 |
| ②予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いた出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討（第2報） | 自動車安全研究領域<br>元自動車安全研究領域 | ※田中　信壽<br>安本まこと<br>波多野　忠 | 85 |
| ③マクロデータによる高齢者単独事故の特徴分析 | 自動車安全研究領域 | ※森田　和元<br>関根　道昭 | 89 |
| ④ニアミス事象における車両対自転車の接近状況について | 自動車安全研究領域 | ※松井　靖浩<br>及川　昌子 | 91 |
| ⑤ドライバー異常時対応システムに関する調査 | 自動車安全研究領域<br>元自動車安全研究領域 | ※児島　亨<br>波多野　忠 | 93 |
| ⑥自動運転技術の国際基準策定のための ITS/ 自動運転インフォーマルグループの活動概要 | 自動車安全研究領域 | ※関根　道昭<br>平松　金雄 | 95 |
| ⑦道路交通騒音の超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発<br>－検証試験および通過車両情報抽出機能の追加－ | 環境研究領域<br>神奈川工科大学<br>株式会社小野測器 | ※宝渦　寛之<br>坂本　一朗<br>西　孝弘<br>石濱　正男<br>猿渡　克己 | 97 |
| ⑧ひとの運転特性を反映させた HILS ドライバモデルの検討 | 環境研究領域 | ※奥井　伸宜<br>川野　大輔<br>鈴木　央一 | 101 |
| ⑨ NOx センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の排出ガス診断方法の検討 | 環境研究領域 | ※山本　敏朗<br>鈴木　央一<br>水嶋　教文 | 105 |
| ⑩車検に OBD を活用する場合の効果と課題 | 環境研究領域 | ※山口　恭平<br>鈴木　央一<br>山本　敏朗 | 109 |
| ⑪試験時間短縮を目指した電気自動車の一充電走行距離測定法の開発 | 環境研究領域<br>自動車安全研究領域<br>自動車審査部 | ※小鹿健一郎<br>新国　哲也<br>小林　一樹 | 111 |

| 題　　目 | 所　属 | 発表者名（※主発表者） | 頁 |
|---|---|---|---|
| ⑫重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第３報）<br>－エンジン暖機モデルを用いた冷機始動時の燃料消費率計算方法－ | 環境研究領域 | ※水嶋　教文<br>山口　恭平<br>川野　大輔<br>鈴木　央一 | 113 |
| ⑬列車の運転状況記録装置データを活用した安全性向上方策に関する研究 | 交通システム研究領域 | ※田中　佑輔<br>廣瀬　道雄<br>日岐　喜治 | 117 |
| ⑭鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究 | 交通システム研究領域 | ※田中　佑輔<br>廣瀬　道雄<br>竹内　俊裕<br>林田　守正 | 121 |
| ⑮小型レール状態診断装置による状態監視の活用例について | 交通システム研究領域<br><br><br>日本大学<br>京三製作所 | ※森　　裕貴<br>佐藤　安弘<br>大野　寛之<br>綱島　　均<br>浅野　　晃 | 125 |
| ⑯旅客移動の陸海をつなぐシームレス小型船の研究 | 交通システム研究領域<br>海上技術安全研究所 | ※大野　寛之<br>平田　宏一<br>宮崎　恵子<br>田中　信行 | 127 |
| ⑰ロープウェイ施設における風分析と搬器の突風応答シミュレーション | 交通システム研究領域 | ※佐藤　久雄<br>押立　貴志<br>森　　裕貴<br>廣瀬　道雄 | 129 |
| ⑱画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置（第2報） | 交通システム研究領域 | ※竹内　俊裕<br>千島美智男<br>森　　裕貴 | 133 |

# 口　頭　発　表

# 自動車安全研究領域における研究の概要と方向性

自動車安全研究領域　　河合 英直

## 1. はじめに

平成26年の日本の交通事故の死者数は4,113人であり、これはピーク時である昭和45年の死者数の約1/4であるものの、なお年間 4,000 人以上もの方が犠牲になっている。状態別の傾向では相対的に歩行中の死者数が増えており、平成 20 年以降は乗車中の死者数を抜いて最も大きな比率を占めている。また65歳以上の高齢者が占める割合が高い。国土交通省では車両の安全対策により2020年の交通事故死者数を2010年比で約1,000人削減する数値目標を掲げており、この目標達成のためには、今までの衝突安全によって車両乗員の安全を確保すると共に、さらに積極的に事故を未然に防ぐことと、歩行者や自転車乗員の死傷者を減らすことが重要となる。そのための一つの手段として、将来的な自動運転車の導入も見据えた高度運転支援装置の活用と普及の促進が検討されている。

このような状況において、自動車安全研究領域では、新しい技術である自動運転を見据えた予防安全技術に注力しつつ、領域内に衝突安全、予防安全、電気・電子技術、視認性・点検整備の 4 つのグループを構成し、自動車の安全に係る技術行政の推進に資する研究・調査および国際基準調和活動等に取り組んでいる。

国際基準調和活動については、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)の下に組織されている 6 つの専門家会議(GR)のうち GRRF(ブレーキと走行装置)、GRSP(衝突安全(バッテリー安全を含む))、GRE(灯火器)、GRSG(一般安全)の 4 つに参画、運転支援の高度化、運転の自動化に関わる横断的な新技術を扱う ITS-AD (Intelligent Transport System-Automated Driving) では事務局を、LKAS(Lane Keeping Assist System 車線維持支援装置)ad-hoc 会議では共同議長を担当している。各 GR 傘下の CRS(Child Restraint Systems チャイルドシート)、AECS(Accident Emergency Call System 緊急時通報システム)、CMS(カメラモニタシステムシステム)、EVS-gtr(電気自動車安全)、ACSF (Automatically Commanded Steering Function 自動操舵)等のインフォーマルワーキンググループに委員として参加、タスクフォースリーダー等を務めている。

## 2. 研究概要

### 2. 1. 衝突安全グループ

交通事故の多様な実態を踏まえ、車両乗員の衝突安全のみにとどまらず広く検討している衝突安全グループでは、交通事故の調査解析、実車衝突実験、スレッド実験等によるコンポーネント試験、シミュレーション解析等を行うとともに、頭部傷害に関する生体工学についても継続的に研究に取り組んでいる。具体的な研究課題としては、 近年、販売台数を大きく増やしている軽自動車等の小型車両の乗員の安全確保に必要な衝突安全に求められる性能要件について小型車両の特徴を踏まえた調査・検討を行っている。交通弱者であり、交通外傷では歩行者、自転車乗員の保護が最も重要な課題として位置づけられているにもかかわらず、まだその知見が少ない自転車事故の防止および被害軽減に関する研究を開始した。

### 2. 2. 予防安全グループ

予防安全グループは、ドライビングシミュレータ(DS)実験や、車両、ドライバ、道路条件等をモデル化した計算コード開発等により、予防安全装置の導入効果や安全上の課題に関して検討している。自動運転との関連では、今年度より DS を活用して ACSF の安全性評価を行っている。2011 年からスタートした国土交通省の第 5 期先進安全自動車推進計画(ASV5)において、事務局として全体の企画・運営を行うとともに、プロジェクト推進に必要となる研究成果を提供している。予防安全装置の評価については、BASt(ドイツ連邦道路交通研究所)と交通研との研究協力協定を中心に Euro-NCAP の中核的な専門機関との研究協力、情報交換も実施している。研究課題として、歩行者に対する衝突回避・被害軽減支援システムの普及促進を図るために、システムの衝突回避性能及び

被害軽減性能を適正に評価することに加え、ドライバの運転操作への介入度合いなど実用上の総合的な安全性に対する評価方法について検討している。また、増加する高齢者等の、認知症や病的原因に由来する交通事故が懸念されている中で、さらなる交通事故発生の防止を目的として、杏林大学医学部とも協力し、高齢ドライバ等にとって有効な運転支援方策を検討し、より効果的な安全運転支援技術を明らかにする研究を進めている。

### 2. 3. 電気・電子技術グループ

自動車に種々の運転支援装置も搭載されるようになり、近年ますます電子化が進んでいる。これら運転支援装置は走行、操舵、制動など自動車の基本的機能に関わる部分も多く、電子的不具合によりこれらの機能が誤動作することを未然に防ぐ必要がある。自動車に搭載されたこれらの装置には、電磁妨害波を放出することも、周辺電磁波に影響を受けることもなく、その性能を十分発揮できる性能、すなわち電磁両立性(EMC：Electro-Magnetic Compatibility)が求められる。電気・電子技術グループでは、このEMCに関する基準である国連協定規則第10号(R10)の動向調査、改正対応、IEC(International Electro technical Commission国際電気標準会議)、CISPR(Comite international Special des Perturbations Radioelectriques 国際無線障害特別委員会)、ISO(International Organization for Standardization 国際標準化機構)等の規格改訂動向調査、電波暗室の仕様検討等を実施している。

さらに、昨今、自動車に搭載されている種々の電子機器を制御するコンピュータは車載ネットワークに接続され、相互の連携により自動車全体を統括的に制御している。車載ネットワークが実用化されたのは1980年代の後半で、ドアや照明など比較的簡単な機能の制御からスタートしたが、近年では通信の高速化が進み、車両の走行、操舵、制動に係る制御へも応用されている。車載ネットワークには自動車の特殊性を考慮した設計が求められるが、電子的安全性(e-security)などについて当初から十分な配慮のもとに開発が進んできたかについては疑問が残り、不正アクセスなどに対する脆弱性が指摘されている。電気・電子技術グループでは、自動車の特殊性を踏まえた上で、不正アクセスに対するロバスト性を確認するための認証試験のあり方、さらにe-securityに関して国際調和すべき対象の整理等を行うことを目的とした研究を開始した。

また、今後燃料電池自動車や更なる電動化技術の導入により、さらに普及することが予想されるリチウムイオン電池について、引き続きその安全性を十分に担保するための試験法の検討に対して、安全性と環境性能双方の知見を活用し対応していく。

### 2. 4. 視認性・点検整備グループ

運転支援装置の普及に伴い、多数の電子制御システムが搭載された自動車に対応した自動車検査が求められており、視認性・点検整備グループでは，OBD(On-board diagnostics)を活用した検査の可能性及び検査方法等について検討している。また、自動車の長期使用による構造・装置の劣化と適切な保守管理を怠ったことが原因と見られる事例が報告されている。設計寿命を超えて使用される車両も増加傾向にあると想定され、安全の確保における点検や整備の重要性が高まっている。自動車のライフサイクル全体における安全性を確保するために、使用過程にある車両の状態を調べ、適切な点検整備を促進し、部品の定期交換等も含めた自動車構成部品の予防保全のあり方を検討する必要がある。視認性・点検整備グループでは整備工場などでの点検整備状況等のデータを用いて、多面的な分析を行っている。

視認性に関しては、近年LEDに次ぐ新光源として電子制御によるレーザー発光前照灯が開発されたが、レーザー光は網膜に対する危険性を持ち、また光源が高速点滅制御されることもあり、自動車灯火へ適用した場合の安全性についての検討と、測定精度に問題が生じない様に、レーザー光源に対応した試験法について本グループにおいて調査、検討を行っている。

## 3. 外部連携

自動車安全研究に関する種々の課題について、芝浦工業大学、首都大学東京、東京農工大学、電気通信大学、杏林大学病院等との共同研究や、NHTSA(米)、VRTC(米)、UTAC(仏)、BASt(独)、TÜV(独)、TNO(蘭)、TRL(英)、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2014年1月に締結した研究協定覚書により、安全研究の幅広いテーマについて協力しており、年に数度、双方の研究者がお互いを訪問し、具体的な研究テーマに関して意見交換、詳細議論を行っている。現在、歩行者や自転車に対する被害軽減ブレーキ性能評価法、高齢化問題、安全技術とドライバ責任との関連などの分野で協力が進んでおり、更に分野が広がる見込みである。

# 講演１．前面衝突試験の胸部傷害指標に関する調査

自動車安全研究領域　※田中 良知　細川 成之　山口 大助
松井 靖浩
自動車審査部　澤村 崇
名古屋大学　水野 幸治（客員研究員）

## １．はじめに

日本では、前面衝突安全基準としてフルラップ衝突とオフセット衝突の二種類の衝突試験が義務化されている。オフセット衝突の試験基準については、車両等の型式認定相互承認協定（いわゆる 1958 年協定、以下 58 協定）により欧州と同じ基準を採択している。

2008 年より、58 協定の前面衝突基準の改正を検討するために、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（以下 WP29）の衝撃吸収分科会（以下 GRSP）の下で、インフォーマル会議が開催されてきた。同会議ではオフセット衝突試験に加え、新たにフルラップ衝突試験を導入することが提案された。日本は、前面衝突基準について 58 協定を採択していることから、この基準改正の内容を取り入れることが求められるため、インフォーマル会議に参加して、改正内容が日本の交通状況において安全向上につながるものとなるように働きかける必要があった。

日本における前面衝突事故での死傷者低減に有効な対策を検討するためには、日本での前面衝突事故の実態を把握する必要がある。そこで、まず近年の日本における前面衝突事故について調査を行った。

また、日本では既にフルラップ衝突とオフセット衝突の二種類の前面衝突基準が義務化されているが、乗員の安全を評価する傷害指標のうち胸部の指標が、導入時期の違いにより、二つの前面衝突基準で異なっている。58 協定にフルラップ衝突基準を新たに導入する検討において、その傷害指標はオフセット衝突と同じものが提案された。そのため、フルラップ衝突で採用されている胸部加速度と、オフセット衝突で採用されている胸たわみのどちらの胸部傷害指標が胸部傷害を評価するのに適切であるか、調査が必要となった。シートベルトは乗員の安全性向上に寄与しており、必要不可欠な保護装置であるが、衝突事故時に、シートベルトが乗員を拘束することから、前面衝突事故において乗員が胸部を受傷する場合の加害原因として、シートベルトの占める割合が高いことが、過去の事故調査で報告されている[1)]。そこで、シートベルトから乗員にかかる荷重が異なる条件で実車衝突実験を実施して、ダミーの胸部傷害値の比較を行い、前面衝突試験に適切な胸部傷害指標について調査を行った。

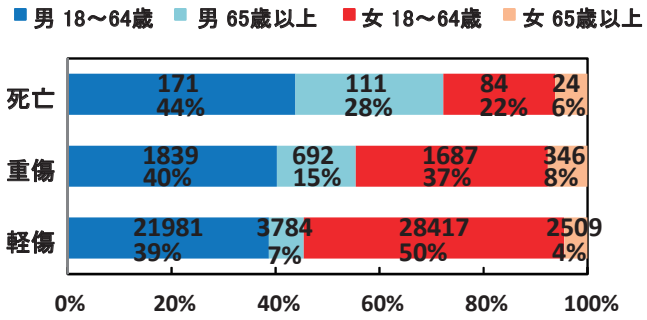
さらに、現在の前面衝突試験では、乗員の傷害を評価するためのツールとして、Hybrid III AM50 ダミーを使用している。このダミーは、オフセット衝突の胸部傷害指標である胸たわみを、一ヶ所の変位計で計測している。シートベルトから乗員に入る荷重は、シートベルトの経路に沿っていると考えられるため、シートベルト経路と変位計の位置の違いにより、胸たわみの計測値に影響がある可能性が考えられる。しかしながら、現在の基準ではシートベルト経路についての規定は定められていない。そこで、シートベルト経路の異なる条件で、スレッド衝突実験及びコンピューターシミュレーションを実施して、ダミーの胸たわみについて比較を行い、シートベルト経路の違いがダミーの胸たわみの計測値に与える影響について調査を行った。

## ２．事故調査

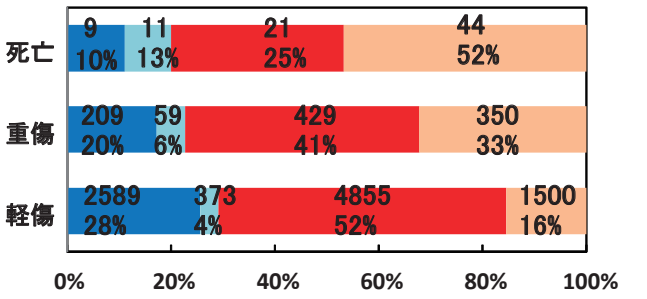
### ２．１．マクロ事故調査

日本における前面衝突事故の実態を把握するために、エアバッグを搭載した 2.5t 以下の乗用車の前面衝突事故のうち、シートベルトを着用した前席乗員の死傷事故について、2007 年から 2011 年の 5 年分のマクロ事故調査を実施した。2.5t 以下の乗用車に限定したのは、オフセット衝突試験基準の対象となる車両の事故を調査対象としたためである。また、現在販売されている乗用車の多くにエアバッグが搭載されていることから、エアバッグ搭載車両に限定して調査を行った。

図１に運転席及び助手席の死亡・重傷・軽傷事故における「男性 18～64 歳」，「男性 65 歳以上」，「女性 18～64 歳」及び「女性 65 歳以上」の割合を示す。65 歳以上の高齢者の死亡者の割合は軽傷者数の割合に比べ、男性の場合は運転席で約 4 倍、助手席で約 3.3 倍、女性の場合は運転席で約 1.5 倍、助手席で約 3.3 倍と高くなっている。高齢者の人体耐性が低く、事故が起きた場合に死亡事故につながりやすいためと考えられる。交通事故死亡者数低減のためには、高齢者の対策が必要と考えられる。性別について、死亡者数で運転席の約 28%、助手席の約 77%が女性であり、助手席の女性の割合が高かった。日本において、助手席に女性が乗車する割合が高く、助手席の女性乗員保護対策が必要と考えられる。




(a) 運転席




(b) 助手席

図１　性別・年齢別死傷者割合

図２に、死亡事故における前席乗員の損傷主部位の割合を示す。運転席、助手席ともに「胸部」が占める割合が最も高く、次いで運転席では「頭・顔部」が、助手席では「腹部」が高かった。

衝突事故時のエネルギー量を評価するための指標として、衝突前後での速度変化量（以下ΔV）がある。車両の持っている運動エネルギー量が車両の質量と速度で決まることから、衝突前後でのΔV が衝突前後でのエネルギー変化量を表すと考えられるためである。他方、日本のマクロ事故調査においては、車両が衝突したとき速度のデータが無いため、ΔV の算出が出来ない。そのため、危険認知速度（衝突の危険を認知したときの走行速度）から算出する擬似的な速度変化量（以下擬似ΔV）がΔV の代わりに用いられている。図３に、衝突時の擬似ΔV 毎の「頭・顔部」、「胸部」及び「腹部」が損傷主部位の前面衝突事故の死亡重傷率を示す。死亡重傷率は、分子を死亡者数と重傷者数の和、分母を死亡者数と重傷者数と軽傷者数の和で算出した。過去の調査において、前面衝突事故での衝突時の実際のΔV は擬似ΔV の約 80%と推定できることが報告されている [2)]。前面衝突基準の衝突速度である 50km/h と推定できる擬似ΔV は約 62.5km/h であり、図において 60km/h 以下の範囲の死亡重傷率は、「胸部」が他の部位に比べて特に高くなっている。死亡者数で「胸部」が損傷主部位の事故が多く、「胸部」の死亡重傷率が高いことから、日本において「胸部」の保護性能の向上が必要と考えられる。

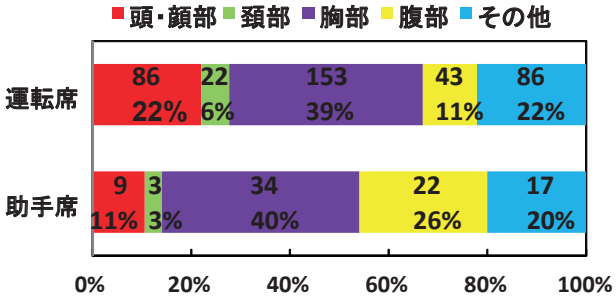
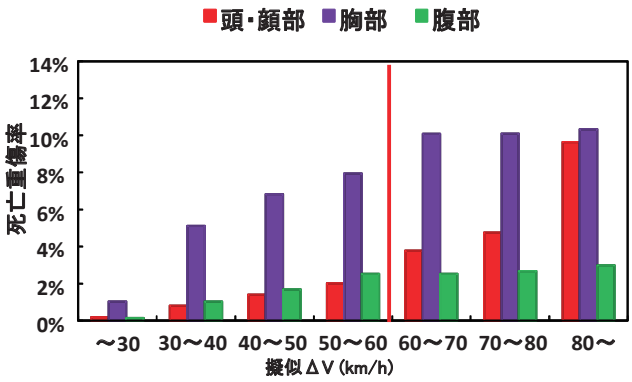
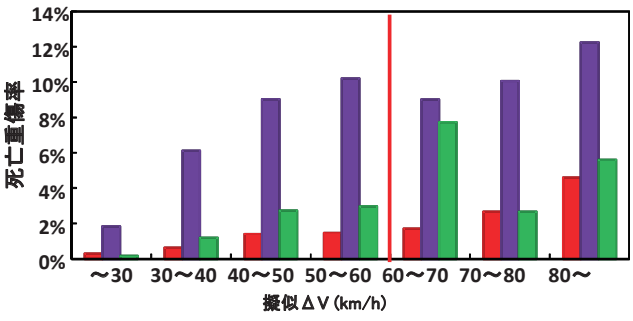



図２　死亡事故損傷主部位割合




(a) 運転席




(b) 助手席

図３　擬似ΔV 毎損傷主部位別死亡重傷率

## ３．シートベルトから乗員にかかる荷重違いに関する調査

### ３．１．実車衝突実験条件

前面衝突時の乗員保護装置として、一般にシートベルトとエアバッグが多く使用されている。これらの装置の普及は乗員の安全性向上に寄与し、交通事故死亡者数の削減に大きく貢献している。ただし、これらの保護装置は乗員を拘束するときに、保護装置を通して乗員に荷重がかかることから、衝突時の乗員安全のために必要な装置でありながら、乗員に対する加害部位にもなってもいる[1)]。今回、シートベルトフォースリミッタ及びエアバッグ有無の条件で、フルラップ衝突基準の試験方法に従って衝突実験を行いダミーの胸部傷害値について比較、それぞれの拘束装置が胸部傷害値に与える影響について調査を実施した。シートベルトフォースリミッタは、シートベルト張力を一定に保ち、シートベルトから乗員に過大な荷重がかかることを防ぐ装置である。

図４に前面衝突実験の状況を示す。基準の試験方法に従い、運転席及び助手席に Hybrid III AM50 ダミーを搭載して、50km/h の速度で固定壁に衝突させた。

図５に実験に用いた車両の写真を示す。 2001 年に生産が開始された小型乗用車を用いて実験を行った。

表１に実験条件を示す。エアバッグの有無、シートベルトフォースリミッタの有無の計四条件で実車衝突実験を実施した。

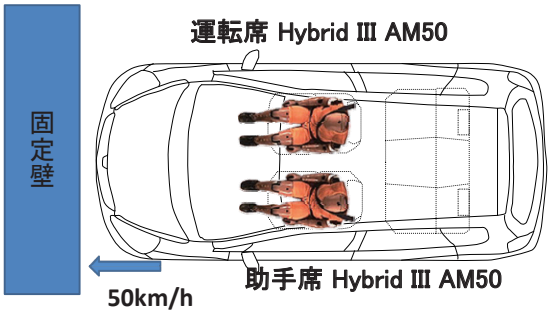



図４　前面衝突実験

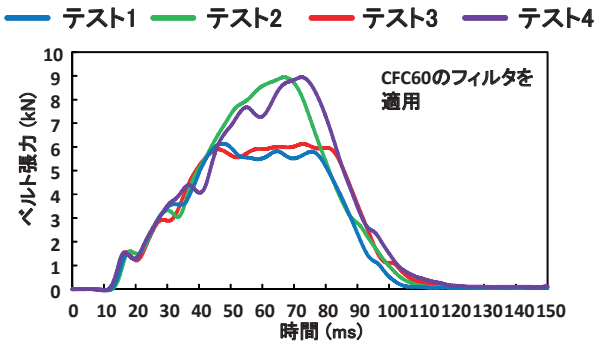
図５　衝突実験車両

表１　実験条件

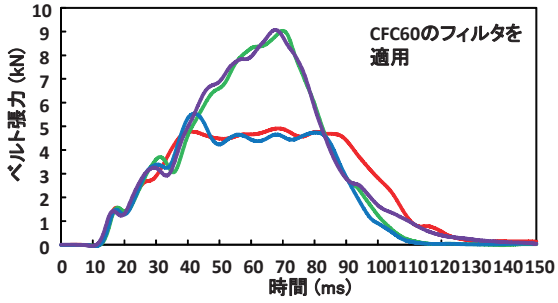
| | | エアバッグ | |
|---|---|---|---|
| | | 有り | 無し |
| シートベルト フォースリミッター | 有り | テスト1 | テスト3 |
| | 無し | テスト2 | テスト4 |

### ３．２．実車衝突実験結果

図６に、運転席及び助手席のシートベルト肩部張力の計測値の時間履歴を示す。図の値は、衝撃の加わる実験で得られた計測値の不要な高周波ノイズを取り除くために、米国自動車技術会規格 SAE J211 で定義される CFC（Channel Frequency Class）フィルタのうち、CFC60 のフィルタを適用している。シートベルトが乗員の胸部を拘束することから、シートベルト張力のうち車両の前後方向に働く成分が、シートベルトから乗員の胸部の前後方向（胸部を圧迫する方向）にかかる荷重となる[3)]。運転席と助手席のどちらも、フォースリミッタ有りのテスト１と３の波形、フォースリミッタ無しのテスト２と４の波形は、張力が上昇しているときの波形及び最大値がほぼ同等であった。シートベルト張力の最大値は、フォースリミッタ無しの場合は運転席と助手席のどちらも約 9kN であり、フォースリミッタ有りの場合は運転席で約 6kN、助手席で約 5kN と運転席の方が大きかった。これは、運転席にはステアリングがあり、乗員の前方移動量を助手席より小さくする必要があることから、運転席のベルト張力の方が高く設定されているためと考えられる。




(a) 運転席

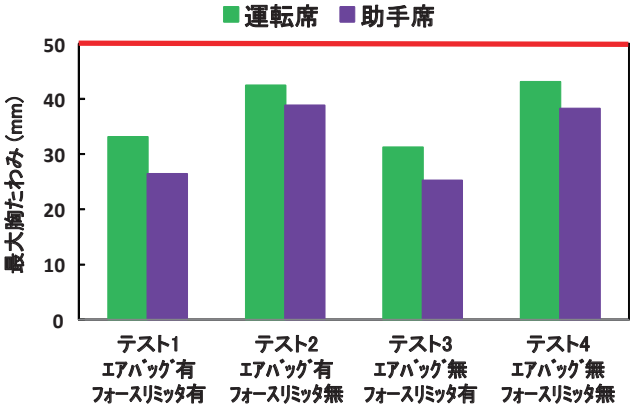



(b) 助手席

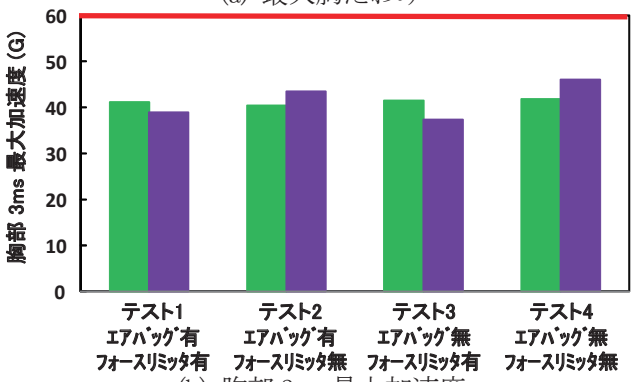
図６　シートベルト張力の時間履歴

胸部傷害値は、胸たわみでは最大値、胸部加速度では3ms最大加速度(3ms以上保持した加速度の最大値)で基準値が定められている。図７に最大胸たわみ及び胸部 3ms 最大加速度の運転席及び助手席の計測値を示す。赤線が基準値を示す。全ての実験で胸部傷害値は基準を満足していた。どちらの傷害値も、フォースリミッタ有りの場合のテスト１と３、フォースリミッタ無し場合のテスト２と４の計測値がほぼ同等であった。フォースリミッタの有無による傷害値の差に着目すると、3ms 最大加速度は運転席では大きな差が見られないものの助手席では差が認められた。一方、最大胸たわみでは明確な差が認められた。この結果から、シートベルトから乗員の胸部へかかる荷重を評価する指標として、胸たわみの方がより適切に評価できると考えられる。

エアバッグ有無による胸たわみ最大値及び胸部3ms最大加速度の差に着目すると、フォースリミッタ有りの条件であるテスト１と３及びフォースリミッタ無しの条件であるテスト２と４で、最大胸たわみと 3ms 最大加速度のどちらも差は見られなかった。今回の実験において、エアバッグの胸部傷害値への寄与は小さいと考えられる。




(a) 最大胸たわみ




(b) 胸部 3ms 最大加速度

図７　胸部傷害値

## ４．シートベルト経路違いに関する調査

### ４．１スレッド実験条件

基準の前面衝突試験に使用されている Hybrid III AM50 ダミーでは、胸たわみを一ヶ所の変位計で計測している。シートベルトから乗員にかかる荷重はシートベルトに沿っているため、シートベルト経路の違いにより、胸たわみの計測値に影響がある可能性が考えられる。そこで、スレッド実験によりシートベルトの経路の違いが胸たわみの計測値に与える影響について調査を実施した。

図８にダミーの胸部変位計の位置を示す。ダミーの顎から約240mm下側の位置に変位計の計測点がある。

図９に、スレッド実験の状況を示す。スレッド試験機に搭載できるように改造した車体に、運転席シート、インストルメントパネル、ステアリング及びシートベルトを取り付け、運転席に Hybrid III AM50 ダミーを搭載して、衝突速度 50km/h のフルラップ前面衝突試験を模擬した加速度波形でスレッド試験機を作動させる前面衝突模擬スレッド実験を実施した。

図１０にシートベルト経路条件を示す。肩部アンカー位置が最上端の設定で、シートベルトが肩部中心付近を通り、ダミー中心で顎とベルトの距離が 150mm の経路を標準（図１０(b)）とし、ベルトが肩部で首に接触し、ダミー中心で顎とベルトの距離が 100mm の経路を上側（図１０(a)）、ベルトが肩部外側を通り、ダミー中心で顎からベルトの距離が 230mm の経路を下側（図１０(c)）とする三種類のシートベルト経路で実験を実施した。(c)の下側のベルトの経路が、胸部変位計の計測点付近の上を通っている。

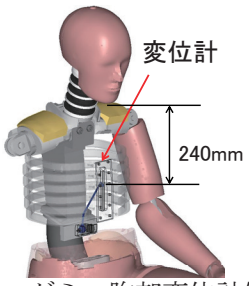
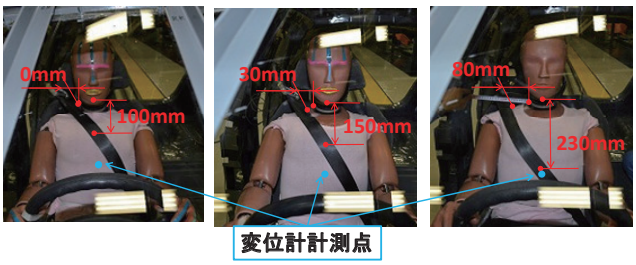



図８　ダミー胸部変位計位置

図９　スレッド実験状況




(a) 上側　　(b) 標準　　(c) 下側

図１０　シートベルト経路条件

## ４．２．実験結果

図１１に、胸たわみの計測値の時間履歴の比較を示す。シートベルトが胸部変位計の計測点の上を通る(c)の下側の条件が最もたわみ量が大きく、(b)の標準の条件が二番目、(a)の上側の条件が最も小さかった。

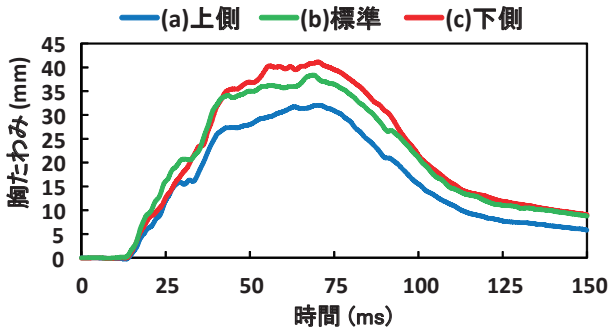


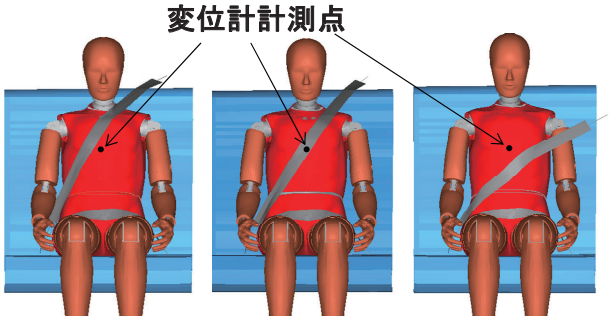

図１１　胸たわみ計測値時間履歴

今回の実験において、シートベルト経路の違いにより、前面衝突基準の傷害指標である胸たわみが小さく計測される可能性のあることが確認できた。試験において乗員の安全性を正しく評価するために、シートベルト経路の要件を基準に規定する必要があると考えられる。

## ４．３．シミュレーション条件

シミュレーションは、ダミーモデルを用いて行い、シートベルト経路の違いが胸たわみの計測値に与える影響について調査した。

図１２に、シミュレーションにおけるシートベルト経路条件を示す。エアバッグの無い後席乗員をモデルとして、シートベルトフォースリミッタ無しの条件で50km/h のフルラップ前面衝突試験を模擬したシミュレーションを実施した。シートベルト経路は、肩の中心を通る経路を標準とし、ベルトが肩部で首に接触する経路を上側、左腕上部を通る経路を下側とした。実験では、シートベルトは肩部の上を通るようにしたが、シミュレーションではシートベルト経路の違いを明確にするため、ダミー中心部を通るシートベルト中心位置の間隔を、より広く設定した。そのため、シートベルト経路が下側の条件では、シミュレーションの場合の方が実験の場合より下側の経路を通っている。




(a) 上側　　(b) 標準　　(c) 下側

図１２　シミュレーションにおけるシートベルト経路条件

## ４．４．シミュレーション結果

図１３に、胸たわみのシミュレーション結果の時間履歴を示す。胸たわみの最大値はシートベルト経路が(b)の標準の条件が最も大きく、(a)の上側及び(c)の下側の条件のどちらも胸たわみの最大値は小さくなった。その差は大きく、シートベルト経路の違いが胸たわみの計測値に影響を与えることがシミュレーションによっても確認できた。

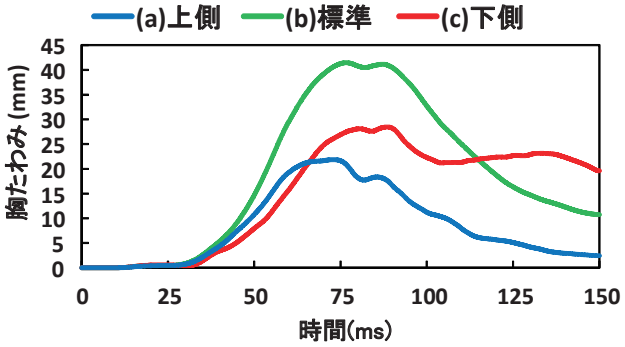
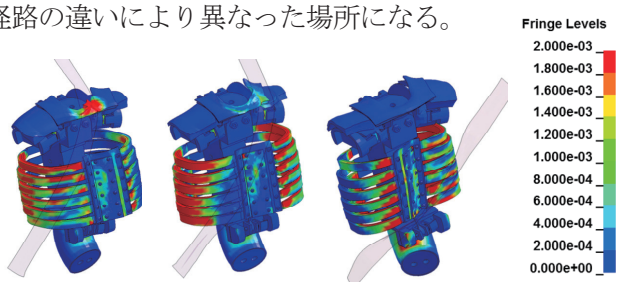



図１３　胸たわみのシミュレーション結果の時間履歴

胸たわみがほぼ最大となる 80ms での、シートベルト経路違いによる胸部の歪みの違いについて図１４に示す。シートベルトの経路に沿って大きな歪みが発生しており、最大歪みの発生する場所はシートベルトの経路の違いにより異なった場所になる。




(a) 上側　　(b) 標準　　(c) 下側

図１４　ダミーモデル胸部歪み

## ５．まとめ

今回の調査で、日本での前面衝突死亡事故において、運転席では男性乗員が、助手席では女性乗員が多いこと、高齢死亡者数の占める割合が高いこと、「胸部」が損傷主部位の死亡事故が最も多いこと、衝突基準の速度以下の事故では「胸部」の死亡重傷率が他の部位に比べ特に高いことが確認できた。高齢者の保護対策及び胸部受傷の低減対策として、胸部傷害指標である胸たわみの傷害基準値をより厳しくすることが考えられる。現在の基準では、全年齢乗員で胸部傷害が発生する確率から傷害値が定められている（肋骨が三本以上折れる程度の傷害が発生する確率が 50%、Hybrid III AM50 ダミーの場合最大胸たわみ 50mm）が、これを 65 歳以上の高齢者乗員で胸部傷害が発生する確率から定まる値（上記と同じ傷害が発生する確率、Hybrid III AM50 ダミーの場合最大胸たわみ 42mm）に変更する案がインフォーマル会議で提案された。

また、前面衝突試験の胸部傷害指標について、胸たわみと胸部加速度を比較すると、シートベルトから乗員にかかる荷重の違いに対して、3ms 最大加速度より最大胸たわみの方がその差を明確に判断できた。このことから、胸部加速度より胸たわみの方が、乗員の胸部受傷の可能性をより適切に評価できる指標であると考えられる。

他方、シートベルト経路の違いにより、ダミーによる胸たわみの計測値に差が生じる可能性があることが確認できた。現在の前面衝突基準ではダミー搭載方法にシートベルト経路は規定されていないため、乗員の安全性について正しく評価するためにはシートベルト経路を規定する必要がある。そのため、当研究所が中心となって、シートベルト経路が定まるように前面衝突試験のシートベルト装着方法を作成した。装着方法を検討したときの様子を図１５に示す。

図１５　シートベルト装着方法検討の様子

これらの調査結果から、前面衝突基準の改正で導入されるフルラップ衝突の試験法において、運転席では男性ダミーを、助手席では女性ダミーを使用して助手席での女性乗員の安全性向上を図ること、胸たわみの傷害値について、高齢者の耐性値から定められる値に変更して胸部保護性能の向上と高齢者の安全性向上を図ること、胸部傷害指標を胸たわみとするにあたりダミーのシートベルト装着方法を基準に規定することを日本から提案した。これらの提案を織り込んだフルラップ衝突新基準が 2015 年 5 月の GRSP 会議で合意され、2015 年 11 月の WP29 会議で採択される予定である。それに伴い、日本のフルラップ前面衝突試験も新たに導入される試験方法と同じ内容に変更される予定である。

## 参考文献

1)国土交通省、平成 24 年度車両安全に資するための医工連携による交通事故の詳細調査分析結果報告書、(2013)

2) (公財)交通事故総合分析センター、前面及び後面衝突事故の衝突速度ΔＶの推定精度向上に関する研究、(2012)

3)岩中泰樹ほか、自動車前面衝突における乗員の胸部傷害指標の検討、自動車技術会学術講演会 2014 秋季大会　前刷集、No.145-14,pp13-18(2014)

# 講演２．カメラモニタシステムに関する調査研究と国際基準調和活動

自動車安全研究領域　※青木 義郎　松村 英樹　岡田 竹雄　岩瀬 常利
元自動車安全研究領域　松島 和男

## １．はじめに

近年自動車において車載モニタシステム（例えば図1）の活用が進められており、ドアミラーについてもその機能を代替するカメラモニタシステム（CMS：Camera Monitor System）の開発（図2）が行われている。UN/ECE(国際連合欧州経済委員会)の GRSG（自動車安全一般）専門部会においても、これまで認められていなかったドアミラー代替としての CMS を可能とするための基準案作成が行われてきた。

CMS が実現されてドアミラーが除去されると、視線移動量の低減による脇見運転事故の減少や、認知支援技術との融合により急な車線変更による追突事故、左折時巻き込み事故などの低減も期待できる。また、デザインの自由度や空力特性の改善も可能になる。その一方、CMS の使用に関して、懸念点も存在する。CMS の性能や機能により安全性がどのように変化し、性能要件をどのように定めるべきか明らかにする必要がある。

本研究では、CMS 性能要件を定めるため進路変更判断の評価実験やモニタサイズ、モニタ配置、昼光の影響などについて評価・測定を実施したので報告する。また CMS に関する GRSG での国際基準調和活動内容についても報告する。

## ２．ドアミラーの代替としての CMS

ドアミラーと異なり、CMS の場合、視覚情報がカメラとモニタを通して表示されるため、その見え方はハードの仕様や性能に依存することとなる。こうしたことからこれまではドアミラーの代替としての CMS は国際基準で認められていなかった。しかしながら、GRSG にそれが提案されて以来、ISO（国際標準化機構）にて規格化、その後 GRSG の専門部会にて基準化の審議が行われてきた（表 1）。

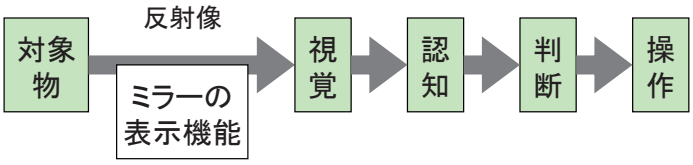
図１ 従来の車載ﾓﾆﾀｼｽﾃﾑ [1)]

図２ ドアミラー代替 CMS [2)]

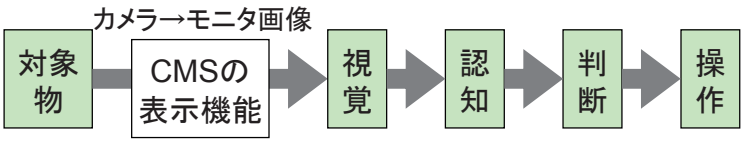
表１　CMS 基準化までの流れ

| | |
|---|---|
| ～2010/3頃 | UNECE/GRSGでCMSが提案<br>内容が多岐にわたるため、ISOへ検討依頼 |
| 2010/4/1<br>～2014年 | ISOの自動車専門委員会にて議論<br>ISO/DIS（Draft International Standard）16505のドラフト作成 |
| 2014年 | UNECEの専門部会にてCMS基準化の審議再開<br>2015年中にフォーマルドキュメントの提出を目指す |

間接視界に基づいて進路変更を行う場合、ドライバがどのようなプロセスで実施するのかを図 3 に示す。




(a) ミラー




(b) CMS

図３　間接視界に基づく進路変更プロセス

ミラーの場合には、後方の対象物はその反射像をドライバが視覚することとなるため、その見え方はミラーの形状（曲率や大きさ）に依存することとなるが、その焦点調整や明るさ（瞳孔）調整は人間の眼球内で行われる。また両眼視差も利用可能なため、人間が行う視覚処理は直接視に近い。

一方 CMS の場合には、後方の対象物はカメラにより映されたモニタ画像をドライバが視覚することとなり、焦点調整や明るさ（絞り）調整はカメラで行われることとなる。視覚情報もモニタ画面により平面状に描写されるため、両眼視差による距離の判断も行うことができなくなる。そのため、その見え方はハードウェアの性能や仕様に大きく依存することとなる。

こうしたことから、CMS の場合にはミラーのように視野範囲と曲率（倍率）だけでなく、

・分解能
・輝度調整能力（最大輝度、昼光対策、夜間視認性）
・モニタ配置

・ノイズ性能（画素欠損、ブルーミング）
・時間応答性（フレームレート、フリッカー）
などハード性能要件について多岐にわたり規定する必要がある。

## 3．ミラーや CMS による車線変更タイミング

そこで、まず CMS によりドライバがミラーと同様の車線変更が可能かどうかを調べることとした。実走行中の車線変更判断が CMS とミラーで異なるかどうか実車走行による評価実験（図 4）を 2012 年から 2014 年にかけて実施した。

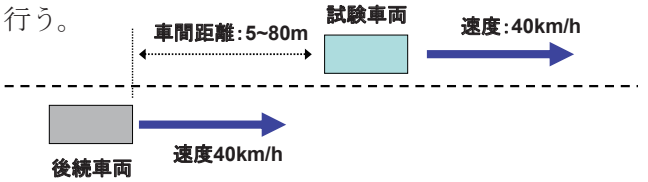
(a) 昼間実験

(b) 夜間実験

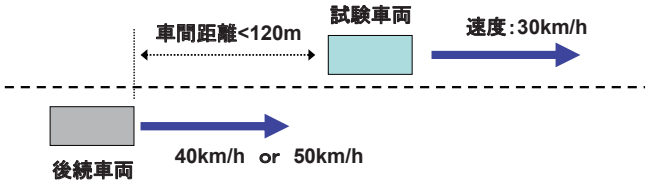
図 4　実車走行による評価実験

### 3．1．実験方法

実験は、2 台の車両をテストコース上（直線区間）において 1 車線分ずらして追従走行させて行う。その走行パターンを図 5 に示す。走行パターンは a)等速度走行、b)後続車両接近走行の 2 種類である。実験参加者は先行車両を運転し、後続車両の位置をミラーまたは CMS で確認し、車線変更が可能かどうかの判断を行う。



(a) 等速度走行



(b) 後続車両接近走行

図 5　実験走行パターン

実験参加者は、運転免許保有者 18 名である。なお、実験参加者は外部から派遣されており、当研究所の実験倫理規程に基づき実験開始前に内容の説明を行い、実験に参加することの同意を得た。実験に用いた CMS の仕様を表 2 に示す。

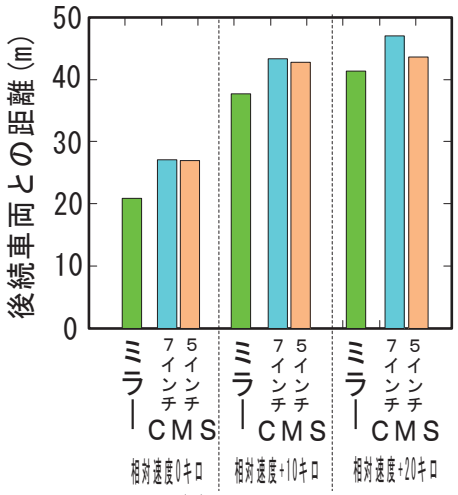
表 2　CMS 仕様

| | |
|---|---|
| 最低被写体照度 | 0.1lx |
| モニタサイズ | 7.1インチ |
| 画素数 | 800×480 |
| コントラスト比 | 500：1 |
| 輝度 | 1000cd/m$^2$ |

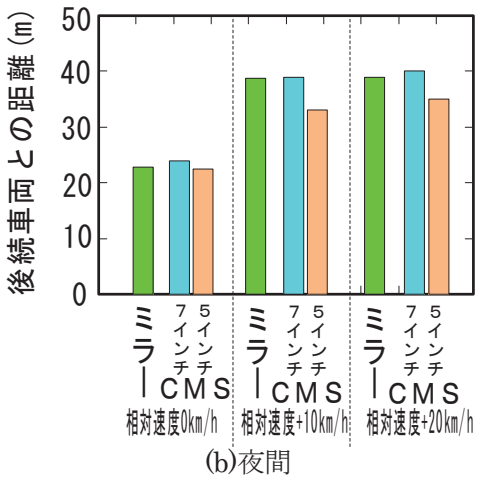
### 3．2．実験結果

実験参加者が“ぎりぎり車線変更”できると判断した時の後続車両までの車間距離の平均値を算出した。その結果を図 6 に示す。

図 6 より、昼間の場合、CMS では、モニタサイズが 7 インチ 5 インチ双方の場合においてミラー（曲率は 1320R）による場合よりも判断時の車間距離が長くなっている。昼間の場合は CMS のモニタサイズが 5 インチでもドライバは安全サイドの評価をするが、夜間時には後続車両までの車間距離は 5 インチの場合においてはミラーの場合を下回る場合がある。夜間では



(a) 昼間



(b)夜間

図 6 「ぎりぎり車線変更できる」と判断した後続車両までの車間距離

モニタサイズが小さいと、危険な判断が起こりやすいことが示された。

## 4．CMS のモニタ配置位置評価

モニタの配置位置により CMS に対するドライバの評価がどのように変化するのかを調べるため、実車走行による評価実験を実施した。

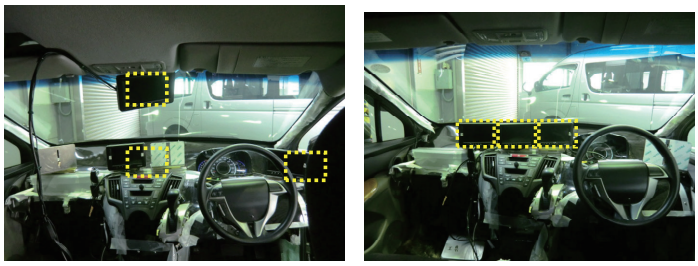
### 4．1．実験方法

まずドアミラーの代替としての CMS に対して、モニタ配置位置による見え方の違いを調べるために、2 種類の配置パターンで実験を実施した（図 7 参照）。一つはドライバから見てモニタをフェンダーミラー方向に設置する a)左右分散型配置、もう一つはモニタをダッシュボード上中央に 2 台集める b)中央集中型配置である。

(a)左右分散型配置　　(b)中央集中型配置

図 7　CMS 試験システムのモニタ設置位置
（モニタ 2 台）

さらにルームミラーの CMS 化についてもサイドミラー代替としての CMS と組み合わせてどのような配置位置が適切か評価を行うこととした。その配置パターンを図 8 に示す。



(a)3 台分散型配置　　(b)3 台中央集中型配置

図 8　CMS 試験システムのモニタ設置位置
（モニタ 3 台）

サイドミラー代替 CMS 用カメラはドアミラー上部に近接（図 9）して、ルームミラー代替 CMS 用カメラは車両後方に取り付けた。CMS の視覚情報は、ドアミラーの場合と同様に車体側面部もモニタ上に表示させた（図 10）。

図9　サイドミラー代替用 CMS カメラ設置位置

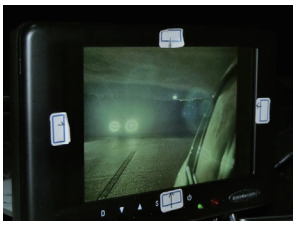


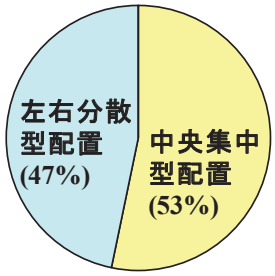
図10　サイドミラー代替用 CMS モニタ画像

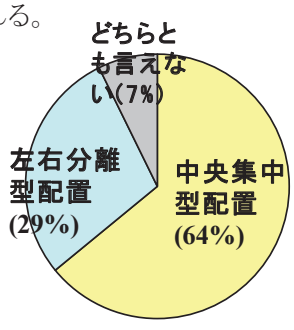
### 4．2．実験結果

1 時間程度の実車走行後に、実験参加者に対してモニタ配置に関するアンケートを実施した。図 7 のモニタ 2 台の配置パターンについてどちらが良いかドライバが評価した結果を図 11 に示す。さらに、モニタ 2 台の配置パターンだけでなくモニタ 3 台の配置パターン（図 8）も含めてどのパターンが良いかドライバが評価した結果を図 12 に示す。

図 11 より、モニタの配置は左右分散型配置よりも、中央に 2 台集中して配置した中央集中型配置の方が良いという実験参加者の数がやや多いことが明らかになった。また、特に夜間の場合にその傾向は顕著となった。

さらに、中央集中型配置が良いという理由として、“中央の方が視線移動しやすい”、“ 中央の方が右も左も目に入るので距離の感覚がつかみやすい” といった意見が実験参加者から出された。中央集中型配置は、視線方向の異なる 2 つの画像を同時観測することにより、疑似的な両眼視差が形成され距離感がつかみやすくなるのではないかと推測される。




(a)昼間（回答者数 15）　　(b)夜間（回答者数 14）

図 11　モニタ配置位置の評価（モニタ 2 台）
（どちらのモニタ配置が良かったか？）

図 12 より、ドアミラーだけでなくルームミラーもCMS 化しモニタ 3 台で表示した方を好むドライバが多いことが明らかになった。またモニタ 3 台の場合には、集中型配置よりも分散型配置の方が逆に好まれることが示されている。3 台のモニタが集中すると 1 台の後続車両が 3 台のモニタに同時に表示されることがあり視界に入りやすいため、混乱を生じるとの意見が実験参加者から出された。ルームミラーCMS 及びサイドミラーCMS を集中表示させる場合には、重複した視野を無くしかつ歪みを抑えるような画像融合処理技術が必要になってくるのではないかと推測される。

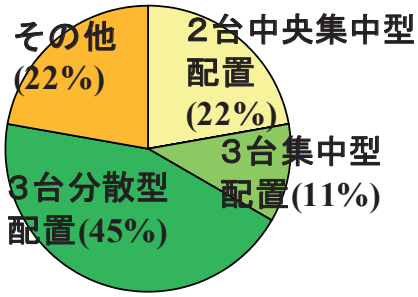



図 12　モニタ配置位置の評価（2 台および 3 台）
（どのモニタ配置が良かったか？）

## 5．昼光による視認性の影響

CMS の場合、昼光によりモニタ画面の輝度コントラストが低下し、後続車両が見えづらくなることがある（図 13）。モニタの設置位置や時間帯により、昼光のモニタの画面への影響がどのように変化するのかについて計測を行うこととした。

図 13　昼光によるモニタ上の後続車両視認性低下

### 5．1．測定方法

CMS モニタ設置の可能性がある車内 4 か所（図 14、図 15 参照、①左サイドミラー近辺、②右サイドミラー近辺、③ダッシュボード上車両中央部、④ルームミラー位置）において昼光によるモニタ鉛直面照度、ドライバアイポイント位置から見たモニタ輝度についてそれぞれ測定を行った。

測定は 2015 年 2 月 19 日に昼光の影響が大きくなりそうな時間帯（正午近辺、日没前）に実施した。測定場所は交通安全環境研究所熊谷試験場で、建物などにより日陰にならない条件で実施した。天候は快晴であった。

図 14　車内昼光照度測定位置

(a)左サイドミラー近辺及び車両中央部　(b)右サイドミラー近辺

図 15　モニタ画面への昼光の照射

### 5．2．測定結果

昼光によるモニタ面法線照度、ドライバアイポイント位置から見たモニタ輝度（モニタ画面 OFF 時）の測定結果を図 16、図 17 に示す。なお、照度値や輝度値は測定時間中のそれぞれの条件で最大値を示す。ルームミラー位置の輝度は使用したモニタ画面の拡散反射率 16.6%により計算した値とした。

太陽の方角が車両後部の場合よりもむしろ前部に存在するときの方が昼光の影響が大きいことが示されている。これはリアガラスよりもフロントガラスの方が面積が広くなおかつ透過率も高いため、人体や服装からの反射光がモニタ面に映りこみやすいことが原因と思われる。また日没前にはサイドガラスからの太陽直射光の進入により、左モニタや中央モニタ面の反射輝度が上がりやすい。これらの設置条件の時、晴

天時にはモニタ輝度が低いと視認性が低下するものと考えられる。

また、モニタをアイポイントよりも下方に設置した①、②、③の条件よりも④のルームミラー位置の方が昼光照度は抑えられやすい。ルームミラー位置に進入してくる光は天空からの直射光ではなく主に路面反射光であるため、昼光の影響は抑えられやすいものと考えられる。

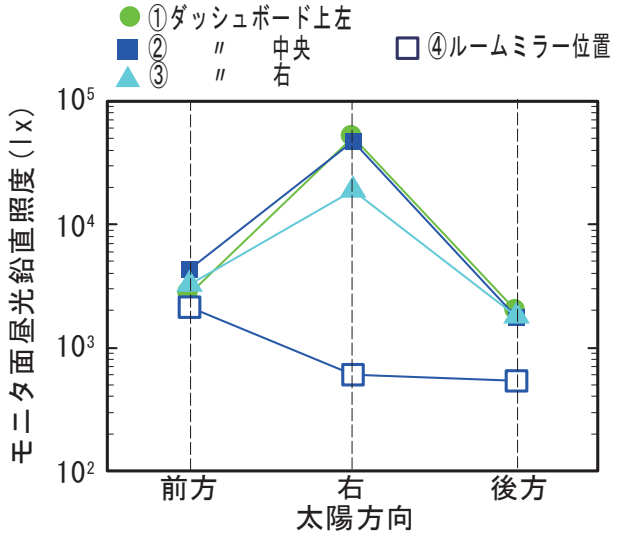



図 16　各条件におけるモニタ面昼光鉛直照度

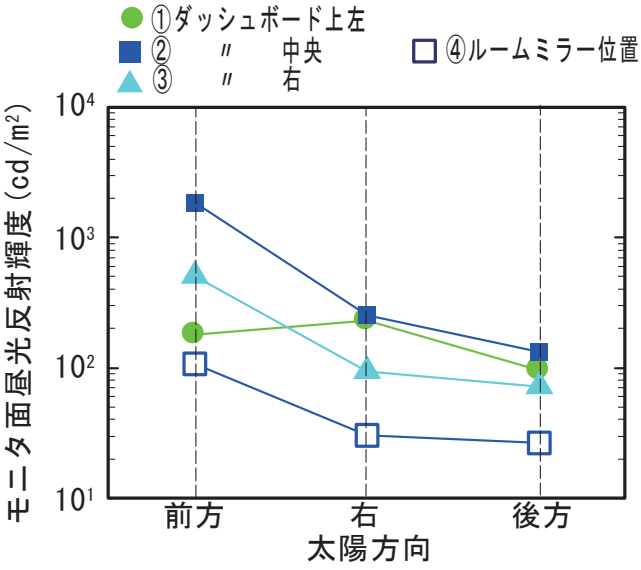



図 17　各条件におけるモニタ面昼光反射輝度

## 6．CMS に関する GRSG での活動

カメラモニタシステムに関しては 2010 年頃から ISO のドキュメント作成の議論が行われ、その議論を引き継いで 2014 年から UN/ECE でも CMS 基準化の検討が始められこととなった。 こうしたことから UN/ECE では、CMS 専門部会（IGCMS-Ⅱ（The informal group on camera-monitor systems-Ⅱ）が 2014 年に設置された。2014 年 2 月に第 1 回会議が開始され、合計 8 回の IGCMS-Ⅱ会議が実施された（表 3）。また、第 106 回（2014 年 5 月 5～9 日））、第 107 回（2014 年 9 月 29 日～10 月 3 日）の GRSG 国際会議においても IGCMS-Ⅱ会議の進捗状況などについて報告がなされた。

表 3　IGCMS-Ⅱ会議

| | 会議場所 | 日程 |
|---|---|---|
| 第 1 回 | ケルン | 2014 年 2 月 5、6 日 |
| 第 2 回 | ベルリン | 2014 年 3 月 27、28 日 |
| 第 3 回 | パリ | 2014 年 6 月 5、6 日 |
| 第 4 回 | ジュネーブ | 2014 年 9 月 29、30 日 |
| 第 5 回 | パリ | 2014 年 11 月 3、4 日 |
| 第 6 回 | ズーテルメール | 2014 年 12 月 17－19 日 |
| 第 7 回 | ガイマースハイム | 2015 年 1 月 28、29 日 |
| 第 8 回 | ガイマースハイム | 2015 年 2 月 19－20 日 |

IGCMS-Ⅱ会議ではまず、ISO から提出されたドキュメント案（ISO 16505）の記述内容から追加、変更が加えられ、基準案作りが進められた。日本からも交通研等から資料が提出され改良が加えられ、2015 年第 108 回 GRSG にフォーマルドキュメントが提出された。各国から了承され、今後 WP29 への上程が予定されている。

## 7．まとめ

CMS 性能要件を調べるため進路変更判断の評価実験やモニタサイズ、モニタ配置、昼光の影響などについて評価を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 昼間の実車走行では CMS による車線変更の判断はドアミラーよりも慎重になりやすくなる。昼間に関しては CMS のモニタサイズが 5 インチでも安全サイドの評価となるものと考えられる。
2) 夜間では CMS のモニタサイズが小さいと危険な車線変更の判断が起こりやすくなる
3) ドアミラー代替としての CMS の場合、車体側面部を表示させた場合には、モニタ 2 台を左右に分散させるよりも、中央に集めた方が見えやすいというドライバが多くなる。

4) ドアミラー代替としての CMS に加えて、ルームミラー代替としての CMS を使用する場合には、今回の条件ではモニタ 3 台を分散させた方が良いというドライバが多かった。
5) 今回の条件では、太陽の方角が車両後部の場合よりも前部に存在するときの方が昼光の影響が大きかった。
6) モニタをドライバのアイポイントよりも下方に設置した条件よりもルームミラー位置の方が昼光照度は抑えられやすい。

今後、CMS についてさらに調査を実施する予定である。

## 参考文献

1) 東京モーターショーニュース(2011)
2) ベストカー、コックピットはもうすぐこうなる！(2) クルマのインパネまわりが急激に進化中(2014)

# 講演３．自動車ＥＭＣ基準Ｒ１０の最新動向と審査施設の整備状況

自動車安全研究領域　※伊藤 紳一郎　　自動車審査部　小林 敬史

## １．まえがき

自動車の EMC（ElectroMagnetic Compatibility 電磁両立性：外部の通信等に妨害を与えず、かつ、外部の電磁波により誤作動しないこと）に関する国際基準として、国連協定規則第 10 号（R10）がある。R10 は、2008 年 7 月 11 日に R10-03 シリーズが発効し、2011 年 10 月 28 日に、充電状態における自動車の EMC 要件を追加することが主な改正点である R10-04 シリーズが発効し、さらに、2014 年 10 月 9 日に、自動車の充電回路部品の EMC 要件を追加することが主な改正点である R10-05 シリーズが発効した。

わが国は、R10-03 シリーズの国内導入を 2011 年 5 月 31 日に公布し、2011 年 8 月 1 日に施行した。また、04 シリーズ及び 05 シリーズについては、それぞれの発効と同時に国内に公布、施行している。

そこで、国内的にはいくつかの適用除外と経過措置があるものの、現時点で適用が義務付けられている最新基準である R10-05 シリーズの概要について報告する。ただし、国内的な適用除外や経過措置についてはここでは触れないこととする。

さらに当研究所では、現在、EMC に関する審査施設「電磁両立性試験棟」の整備を鋭意進めており、その概要についても報告する。

## ２．Ｒ１０-０５シリーズ概要

### ２．１．適用範囲

カテゴリ L（二輪、三輪車等）、M（乗用車）、N（貨物車）、O（被牽引車）の自動車及びそれに搭載される部品（ESA：Electrical/electronic Sub-Assembly）に適用される。

### ２．２．型式認可

型式認可には、車両として型式認可を受けるものと ESA として認可を受けるものがある。

車両として型式認可を受ける場合は、申請できるのは自動車メーカーであり、その手法としては、車両全体として R10 の規定を満足することを確認する方法と、該当する全ての ESA について R10 適合の型式認可を受けた上でそれらの認可証を添えて申請する方法がある。

ESA として型式認可を受ける場合は、申請できるのは自動車メーカーまたは ESA メーカーであり、その手法としては、R10 の ESA に関する規定を満足することを確認するものである。

型式認可を受けた場合は、車両組み込み部品を除いて、図１に示すような表示をすることが義務付けられている。

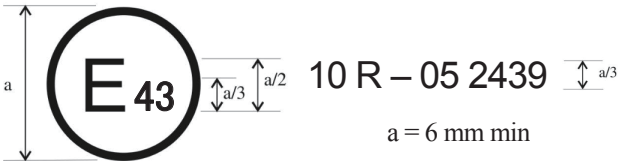



図１　型式認可番号例

### ２．３．技術的要件

技術的要件（試験方法及び限度値等）は、充電回路の有無にかかわらず全ての車両及び ESA に適用されるものが R10 本文の第 6 章に、充電状態の車両及び ESA に追加して適用されるものが R10 本文の第 7 章に記載されている。

具体的な試験方法は R10 の附則が参照され、さらに、かなりの部分は関連する国際規格が発行年及び版を指定して直接参照されている。

全ての車両及び ESA に適用される試験項目を表１に、充電状態の車両及び ESA に追加して適用される試験項目を表２に示す。表２の試験項目は R10-04 シリーズ及び R10-05 シリーズで追加されたものである。

なお、本報告で使用している主な用語、略語の一覧を表３に示す。

表１ 全ての車両及びＥＳＡに適用される試験項目

| 測定項目 | | 車両に適用 | | ＥＳＡに適用 | | 主な引用規格 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 測定方法 | 限度値 | 測定方法 | 限度値 | |
| 広帯域放射エミッション | 車両 | 附則 4 | 本文 6.2. | | | CISPR 12 第 5 版(2001)改訂第 1 版(2005) |
| | ＥＳＡ | | | 附則 7 | 本文 6.5. | CISPR 25 第 2 版(2002)修正票(2004) |
| 狭帯域放射エミッション | 車両 | 附則 5 | 本文 6.3. | | | CISPR 12 第 5 版(2001)改訂第 1 版(2005) |
| | ＥＳＡ | | | 附則 8 | 本文 6.6. | CISPR 25 第 2 版(2002)修正票(2004) |
| 伝導エミッション | ＥＳＡ | | | 附則 10 | 本文 6.7. | ISO 7637-2 第 2 版(2004) |
| 放射イミュニティ | 車両 | 附則 6 | 本文 6.4. | | | ISO 11451-2 第 3 版(2005) |
| | ＥＳＡ | | | 附則 9 | 本文 6.8. | 電波暗室法：ISO 11452-2 第 2 版(2004)<br>TEM セル法：ISO 11452-3 第 2 版(2001)<br>ＢＣＩ法 ：ISO 11452-4 第 3 版(2005)修正票 1(2009)<br>ストリップライン法：ISO 11452-5 第 2 版(2002)<br>800mm ストリップライン法：附則 9 の 4.5. |
| 伝導イミュニティ | ＥＳＡ | | | 附則 10 | 本文 6.9. | ISO 7637-2 第 2 版(2004) |

表２ 充電状態の車両及びＥＳＡに追加して適用される試験項目

| 測定項目 | | 車両に適用 | | ＥＳＡに適用 | | 主な引用規格 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 測定方法 | 限度値 | 測定方法 | 限度値 | |
| 広帯域放射エミッション | 車両 | 附則 4 | 本文 7.2. | | | CISPR 12 第 5 版(2001)改訂第 1 版(2005) |
| | ＥＳＡ | | | 附則 7 | 本文 7.10. | CISPR 25 第 2 版(2002)修正票(2004) |
| 伝導エミッション | ＥＳＡ | | | 附則 10 | 本文 7.17. | ISO 7637-2 第 2 版(2004) |
| ＡＣ電源線に発生する高調波エミッション | | 附則 11 | 本文 7.3. | 附則 17 | 本文 7.11. | IEC 61000-3-2 第 3.2 版(2005)改訂第 1 版(2008)<br>改訂第 2 版(2009)<br>IEC 61000-3-12 第 1.0 版(2004) |
| ＡＣ電源線に発生する電圧変化、電圧変動、フリッカ | | 附則 12 | 本文 7.4. | 附則 18 | 本文 7.12. | IEC 61000-3-3 第 2.0 版(2008)<br>IEC 61000-3-11 第 1.0 版(2000) |
| AC/DC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッション | | 附則 13 | 本文 7.5. | 附則 19 | 本文 7.13. | CISPR 16-2-1 第 2.0 版(2008)<br>IEC 61000-6-3 第 2.0 版(2006) |
| ネットワーク・通信アクセスの無線周波数伝導エミッション | | 附則 14 | 本文 7.6. | 附則 20 | 本文 7.14. | CISPR 22 第 6.0 版(2008)<br>IEC 61000-6-3 第 2.0 版(2006) |
| 放射イミュニティ | 車両 | 附則 6 | 本文 7.7. | | | ISO 11451-2 第 3 版(2005) |
| | ＥＳＡ | | | 附則 9 | 本文 7.18. | 電波暗室法：ISO 11452-2 第 2 版(2004)<br>ＢＣＩ法 ：ISO 11452-4 第 3 版(2005)修正票 1(2009) |
| 伝導イミュニティ | ＥＳＡ | | | 附則 10 | 本文 7.19. | ISO 7637-2 第 2 版(2004) |
| AC/DC 電源線からの伝導ファーストトランジェント／バースト妨害イミュニティ | | 附則 15 | 本文 7.8. | 附則 21 | 本文 7.15. | IEC 61000-4-4 第 2.0 版(2004) |
| AC/DC 電源線からの伝導サージイミュニティ | | 附則 16 | 本文 7.9. | 附則 22 | 本文 7.16. | IEC 61000-4-5 第 2.0 版(2005) |

表３ 用語、略語一覧

| 用語／略語 | 英語名称 | 解説 |
|---|---|---|
| IEC | International Electrotechnical Commission | 国際電気標準会議、同会議が発行する規格を指すこともある。 |
| CISPR | International Special Committee on Radio Interference | 国際無線障害特別委員会(IEC の組織)、同委員会が発行する規格を指すこともある。 |
| ISO | International Organization for Standardization | 国際標準化機構、同機構が発行する規格を指すこともある。 |
| TEM Cell | Transverse Electromagnetic Mode Cell | 横電磁界モードセル、筐体内にある平板導体と筐体間に垂直方向のみの電界を発生させる装置。 |
| ストリップライン | Stripline | 2 つの平行平板に高周波電流を流し、それらの間に TEM モードの電磁界を発生させる装置。 |
| BCI | Bulk Current Injection | バルク電流注入、クランプ式の BCI プローブによりワイヤハーネス等に高周波電流を注入すること。 |
| 放射エミッション | Radiated Emission | 空間を伝播して放射される電磁波のこと。 |
| 伝導エミッション | Conducted Emission | ワイヤハーネス等の導体を伝導して放出される電磁波のこと。 |
| 放射イミュニティ | Radiated Immunity | 空間を伝播してくる電磁波に対する耐性のこと。 |
| 伝導イミュニティ | Conducted Immunity | ワイヤハーネス等の導体を伝導してくる電磁波に対する耐性のこと。 |
| スプリアス放射 | Spurious Emission | 無線機から送信される電磁波のうち、中心周波数の上下に必要周波数帯幅の 2.5 倍の周波数よりも外側に放射される電磁波のこと。 |

また、主な試験方法及び限度値の例を以下に記載する。

### ２．３．１．充電状態でない車両の要件

広帯域放射及び狭帯域放射エミッションは、車両から 10m または 3m 離れた位置にアンテナを設置して測定する。狭帯域放射エミッションでは、簡易測定法も許容されている。1 例として 10m 離れた位置で準尖頭値検波モードで測定したときの限度値を図２に示す。

放射イミュニティは、車両に対して周波数範囲 20MHz~2000MHz、電界強度 30V/m の電磁波を照射したときに誤作動が発生しないことを確認する。

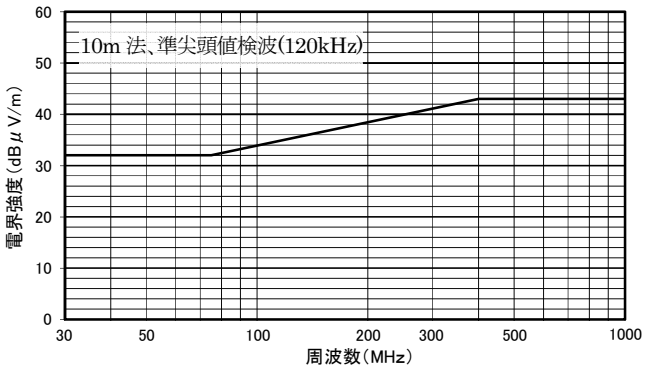



図２ 車両広帯域放射エミッションの限度値例

### ２．３．２．充電状態でないＥＳＡの要件

広帯域放射及び狭帯域放射エミッションは、台上に設置した ESA から 1m 離れた位置にアンテナを設置して測定する。1 例として準尖頭値検波モードで測定したときの広帯域放射エミッションの限度値を図３に示す。

放射イミュニティは、ESA に対して周波数範囲 20MHz~2000MHz の電磁界を照射したときに誤作動が発生しないことを確認するものであるが、申請者は、電波暗室法、TEM セル法、BCI 法、ストリップライン法、800mm ストリップライン法の中から自由に組み合わせて選択することができる。試験法ごとに照射する電磁界の強度要件が定められている。

なお、800mm ストリップライン法は R10 独自の試験方法であり、使用頻度は高くないものと考えられる。

伝導エミッション及び伝導イミュニティは、型式認可を受けた車両に ESA を追加搭載する場合を考慮した試験で、12V または 24V の電源線を通じて相互干渉が発生しないことを確認するものである。

なお、12V または 24V の電源線を通じて車両内部で発生する相互干渉については、自動車メーカーが型式認可を受ける段階で対策を講じていると考えられるため、伝導エミッション及び伝導イミュニティは車両には適用されない。

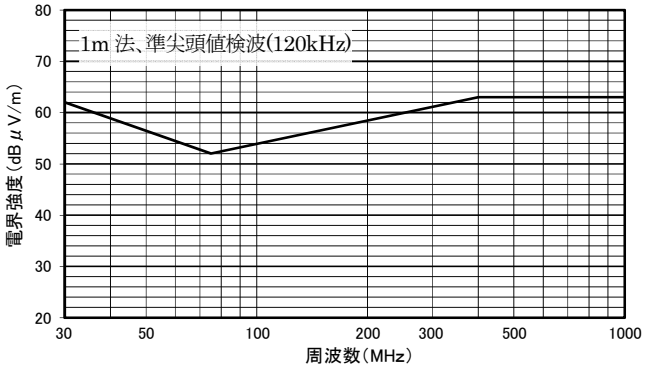



図３ ESA 広帯域放射エミッションの限度値例

### ２．３．３．充電状態の車両に追加される要件

広帯域放射エミッションは、車両の状態が充電状態であるということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態でない場合と同じである。図４に充電状態における車両及び試験設備の設置状況の例を示す。

放射イミュニティは、車両の状態が充電状態であるということ及び合否判定基準が「車両が移動しない」ということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態でない場合と同じである。

狭帯域放射エミッションは、適用しない。

これ以外に、充電状態においては、AC または DC の電源ケーブルを介して電力系統と接続されていることから、電力系統との間で相互干渉が発生しないことを確認するための試験として、一般的に家電 EMC 規格と呼ばれている IEC 61000 系の試験の一部が追加されている。これは、欧州において、車両側に適用される基準である R10 と電力系統側に適用される低電圧指令との切り分けを明確化して、車両側における基準は R10 に一本化し、二重規制を防ぐためのものである。

その試験項目は、AC 電源線に発生する高調波エミッション、AC 電源線に発生する電圧変化､電圧変動､フリッカ、AC/DC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッション、ネットワーク･通信アクセスに発生する無線周波数伝導エミッション、AC/DC 電源線からの伝導ファーストトランジェント/バースト妨害イミュニティ、AC/DC 電源線からの伝導サージイミュニティである。

１例として、図５に AC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッションの限度値の例を示す。

なお、充電制御の通信が電源線を利用している場合や DC 充電装置との間の充電ケーブルが 30m 未満の場合や DC 充電装置が一般に開放されない専用のものである場合等には一部の試験項目が除外される。

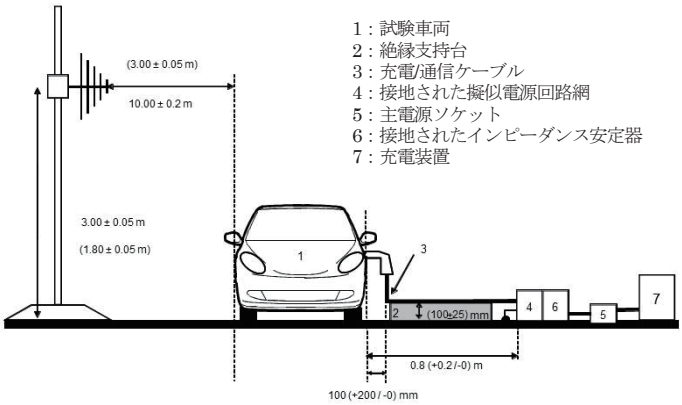



図４ 広帯域放射エミッション試験の配置例

### ２．３．４．充電状態のＥＳＡに追加される要件

広帯域放射エミッションは、ESA の状態が充電状態であるということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態でない場合と同じである。

放射イミュニティは、ESA の状態が充電状態であるということ及び合否判定基準が「過電流や過電圧等の不正な充電状態にならない」ということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態でない場合と同じである。なお、選択可能な試験方法は、電波暗室法と BCI 法に限定されている。

狭帯域放射エミッションは、適用しない。

伝導エミッション及び伝導イミュニティは、ESA の状態が充電状態であるということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態でない場合と同じである。

電力系統との間の相互干渉を防止するための試験項目である、AC 電源線に発生する高調波エミッション、AC 電源線に発生する電圧変化､電圧変動､フリッカ、AC/DC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッション、ネットワーク･通信アクセスに発生する無線周波数伝導エミッション、AC/DC 電源線からの伝導ファーストトランジェント/バースト妨害イミュニティ、AC/DC 電源線からの伝導サージイミュニティについては、ESA の状態が充電状態であるということ及びイミュニティ試験の合否判定基準が「過電流や過電圧等の不正な充電状態にならない」ということを除いて、試験方法及び限度値は充電状態の車両の場合と同じである。

１例として、図６に AC/DC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッション試験の配置例を示す。

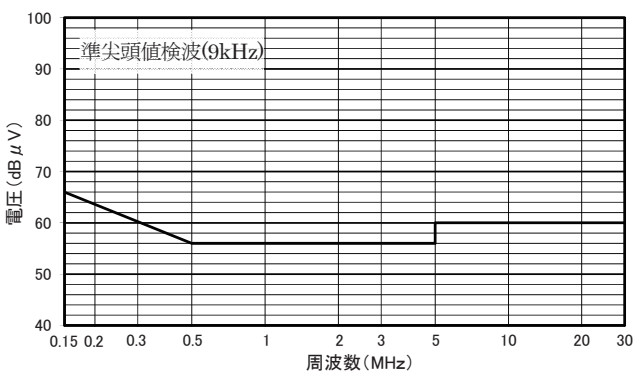



図５ AC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッションの限度値例

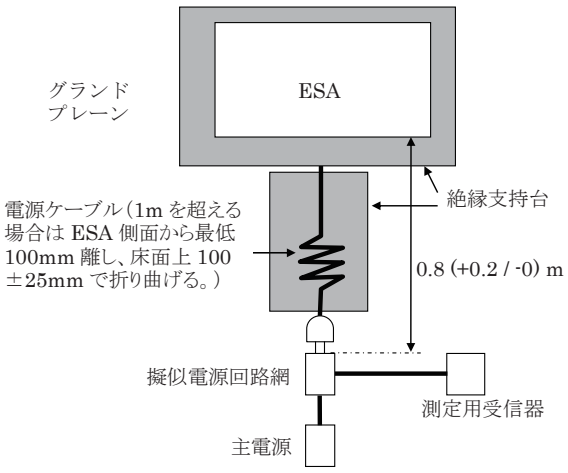



図６ AC/DC 電源線に発生する無線周波数伝導エミッション試験の配置例（充電状態のＥＳＡ）

### ２．３．５．例外条件

車両に対する要件においても、ESA に対する要件においてもいくつかの例外規定が設けられている。

主なものとしては、静電気放電試験は適用しないこととされている。有害な静電気放電が発生するのは乗員の乗降時であって、乗降時の車両は停止しているので、仮に何かあったとしても問題ないとされているからである。

また、最近では様々な送受信機が搭載されているが、送信機の場合は、必要帯域と帯域外放射は R10 のエミッション規制から除外され、スプリアス放射のみ規制の対象となる。また、受信機の場合は、受信機の帯域内においてイミュニティ試験で受信機能に誤作動があっても許容されることになっている。

### ２．４．その他の規定

その他の規定として、型式の拡大や変更に関する規定、量産段階における性能維持に関する規定、基準に適合しない場合の罰則規定、製造中止に関する規定、基準適用に関する過渡規定等がある。

過渡規定では、既に R10-03 シリーズを使用した新規の型式認可は取得できなくなっている。また、2017 年 10 月 9 日以降、R10-04 シリーズでの型式認可が取得できなくなる。

また、R10-04 シリーズ以前の規定に基づいて型式認可を受けた車両についても、その車両が充電回路を有するかどうかによって、型式認可がいつまで有効かが異なっている。詳細については、R10-05 シリーズの第 13 章を参照されたい。

なお、国内における過渡規定については、2011 年の国内導入時のわが国独自の過渡規定がまだ一部有効となっており、注意が必要である。

### ２．５．Ｒ１０を取り巻くＥＭＣ動向

近年、電気自動車や電気式ハイブリッド自動車の普及等パワーエレクトロニクス技術の飛躍的な進展により、30MHz 以下の周波数における電磁波が放射される機会が多くなっている。そこで 30MHz 以下の周波数におけるエミッションの発生を抑えるために CISPR 規格を作成する作業が始まっており、自動車分野では CISPR36 を新規に作成するための検討が行われている。CISPR36 には、測定方法、許容値、測定場所の検証方法等についても盛り込まれる予定である。CISPR36 が制定されれば、いずれは R10 に取り込まれるものと考えられる。

また、R10-05 に適合させるためには膨大な量の試験を実施する必要があるが、安全性を損なうことなく簡素化することができないか検討する必要があると考えられる。

## ３．ＥＭＣ審査施設の整備状況

当研究所では、2016 年 3 月までの第 3 期中期（5 ヶ年）計画の中において、2011 年の R10 国内導入に伴う国内の経過措置の最終期限である 2016 年 7 月までに稼働するように電磁両立性試験棟の施設整備を鋭意進めている。

車両用電波暗室の図面を図７に、ESA 用電波暗室の図面を図８に示す。

車両用電波暗室の有効寸法は 30m×20m×10m、シャシダイナモメータを搭載するターンテーブルの直径は 10m である。また、ESA 電波暗室の有効寸法は 9m×7m×5m である。

それぞれ、R10 に規定されているエミッション試験、イミュニティ試験を実施することが可能である。

当初、車両用電波暗室と ESA 用電波暗室は同一の建物内に設置する予定であったが、建築コストの増大に伴い、ESA 用電波暗室は既存の建物内に設置することとなり、両者は完全に分離して使用することが可能である。

図９に電磁両立性試験棟完成予想図を示す。また、図10及び図11に 2015 年 10 月時点での工事状況を示す。外壁及び屋根工事は完成し、内装工事としてシールド工事を実施しているところである。

## 4．あとがき

R10-05 シリーズでは、試験方法のかなりの部分が ISO 規格、IEC 規格、CISPR 規格を参照することにより規定されている。実際に試験を実施するにあたっては、これら膨大な量の参照規格を熟知しておく必要がある。

また、これら引用規格は発行年、版数を指定して引用されている。引用規格が改訂された場合には、新旧どちらの規格を参照すべきか検討したうえで、必要ならば新規格を参照するように R10 を改訂する必要がある。

なお、現在建設中の電磁両立性試験棟は間もなく完成する予定であるが、自動車または ESA の EMC 性能向上のために有効活用していく予定である。

## 参考文献

UN Regulation No. 10：Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility, 16 October 2014.

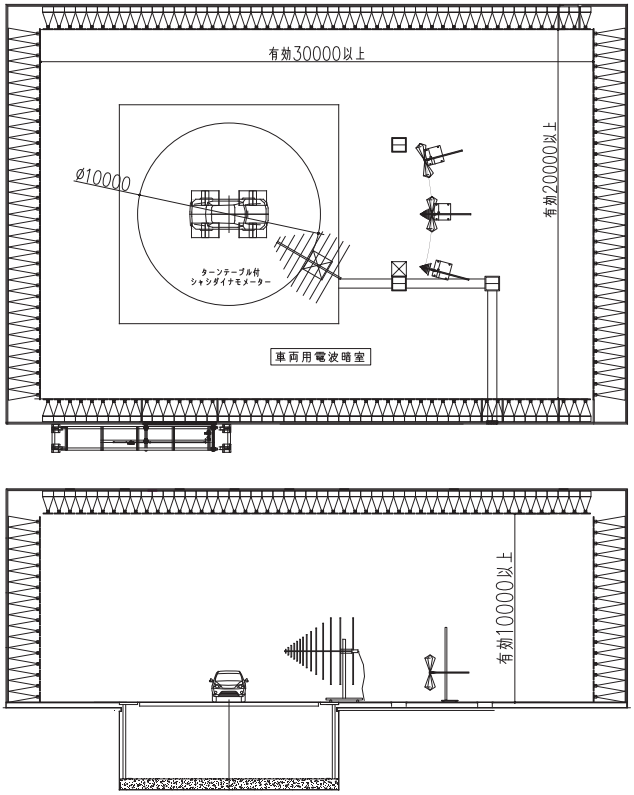



図７　車両用電波暗室図面

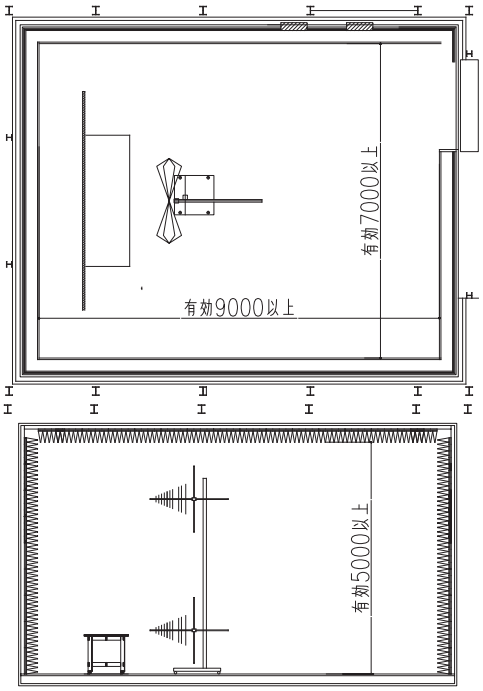



図８　ＥＳＡ用電波暗室図面

図９　電磁両立性試験棟完成予想図

図10　電磁両立性試験棟外観(2015/10/07)

図11　電磁両立性試験棟内装工事状況(2015/10/07)

# 環境研究領域における研究の概要と方向性

環境研究領域　　石井 素

## １．はじめに

大気汚染物質及び地球温暖化物質排出に対する自動車の寄与は大きく、これらの排出ガス、燃費といった環境性能に関しては国民の関心も非常に高いため、国の施策として厳しい排出ガス規制と高水準の燃費基準等が設けられてきた。このような積極的な施策を続けてきた結果、$NO_2$（二酸化窒素）、SPM（Suspended Particulate Matter、浮遊粒子状物質）等による大気汚染については大きく改善されている[1)]。また、エコカーに対する減税などにより、燃費に優れた車両の普及も進んでいる状況にある。

交通安全環境研究所は、公平・中立な立場から陸上交通の安全確保と環境保全に関する国の施策を技術的に支援する試験・研究等の実施が主たるミッションとなっている。環境研究領域においては以下のような課題に関する試験、研究に重点的に取り組んでいる。

・自動車の排出ガス、騒音等の地域環境問題の改善
・省エネルギーの推進、エネルギー多様化等を含む自動車に関わる地球温暖化の防止等
・陸上交通全体を研究対象としている当研究所の特長を生かした分野横断的課題

また、上記の課題に共通して、現在当研究所で注力している案件が、自動車の国際基準調和活動への参画である。今回のフォーラムでは、当領域において取り組んできたものの中から、重量車における評価方法の動向、自動車排出粒子計測法の高度化、騒音等の国際基準調和の概要について報告する。

## ２．研究の状況

### ２．１．自動車に関わる地域環境対策分野

平成 27 年 2 月に中央環境審議会（以下「中環審」という。）より「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方(第十二次答申)」が答申された[2)]。同答申では、排出ガス試験方法の基準調和を速やかに進めつつ自動車排出ガス低減を図ることにより、引き続き我が国の大気環境の保全に貢献していくことが適当である旨が示され、乗用車等における排出ガス試験方法の国際調和等の国際調和の方針が示された。乗用車等の排出ガス試験については、現行の JC08 モードを WLTC (Worldwide Light-duty Test Cycle、世界統一試験サイクル)に変更するとされた。排出ガス試験は、WLTP（ Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure、世界統一排出ガス・燃費試験方法）に則り、コールドスタートのみとする。許容限度目標値も定められ、ガソリン・LPG 乗用車、ディーゼル乗用車は平成 30 年（2018 年）末までに適用を開始される等とされている。これら WLTP に関連した当研究所の試験結果は、昨年のフォーラム等で報告している。

この第十二次答申においては、今後の検討課題等として、二輪車のさらなる排出ガス低減対策の推進の他に、微小粒子状物質（$PM_{2.5}$）等に関する対策及び燃料蒸発ガス低減対策の導入検討が提言されている。微小粒子状物質及び燃料蒸発ガスに関しては、平成 27 年 3 月に中環審より「微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について（中間取りまとめ)」が出されている[3)]。$PM_{2.5}$ の現象解明やこれまでの施策に関する検討を進め、光化学オキシダント対策と共通する課題が多いことにも留意しつつ、$PM_{2.5}$ の国内における当面の排出抑制策の在り方について、$PM_{2.5}$ の削減に確実に寄与する一次生成粒子（ばいじん、ディーゼル微粒子等)、並びに $PM_{2.5}$ 及び光化学オキシダントの前駆物質（NOx、VOC(Volatile Organic Compounds、揮発性有機化合物)）について、排出規制等の取組状況、排出実態や排出抑制技術の状況等を踏まえ、対策強化の可能性を検討する方針が示されている。なお、$PM_{2.5}$ については、年平均濃度が概ね減少傾向にあるものの、環境基準の達成率は平成 25 年度において、一般環境大気測定局で16%、自動車排出ガス測定局で23%と低い状況にある。当領域でも自動車からの排出に関しては、調査、試験等を行っているところである。

また、騒音に関しては、中環審答申[4)]において我が

国の騒音環境の実態に即した自動車単体騒音低減を図りつつ、国際基準調和を考慮する方針の下、四輪車の走行騒音規制の国連規則であるUN-R51-03及び二輪車の走行騒音規制の国連規則であるUN-R41-04が国内に取り入れられるよう、基準値策定に資するデータの収集を行った。

### ２．２．自動車に関わる地球温暖化の防止等

車両単体として求められる地球温暖化対策は、燃費を継続的に向上することである。自動車の燃費基準に関しては、乗用車に関しては平成 32 年度を目標年度とした燃費基準が設けられており、基準達成車両については、税制面でのインセンティブが適用されている。さらに、平成 27 年 3 月に小型貨物自動車（車両総重量 3.5t 以下の貨物自動車）に対して、新たな燃費基準がとりまとめられ、目標年度（平成 34 年度）において、平成 24 年度実績値と比較して 26.1%の燃費の改善がなされることになる野心的な目標が設定された[4]。また、重量車（車両総重量 3.5t を超える乗用・貨物自動車）については、本年、目標年度の平成 27 年度を迎えたが、ここのところモデルチェンジされる車両のほとんどはこの燃費基準を達成している状況にある。現在、重量車の燃費試験法では、シミュレーション法で燃費を計算する際に必要な空力、転がり抵抗として予め定められた値を用いており、これらに対する改良の努力は反映されていない。海外においては、空力等も考慮する試験法が検討されており、このような状況も考慮しつつ、当研究所では燃費評価試験法の検討を進めるためのデータの収集を行っている。

その他、将来の普及が見込まれるプラグインハイブリッドや電気自動車については、従来の内燃機関車両と同様の物差しで環境性能を比較できないか、総合的な評価方法の調査、研究も継続している。

また、「次世代大型車開発・実用化促進プロジェクト」では、将来の自動車用の動力源としてのエネルギーの多様化を視野に入れて、低環境負荷車両の開発、評価法の確立を目指している。抜本的な $CO_2$ 排出量低減を期待して試作したプラグインハイブリッドトラックについては、様々な走行パターンで評価を行った。電気バスに関しては、九州地方で営業路線に供されており、実走行時の環境性能評価を行った。高効率ハイブリッドトラックについては、新しいコンセプトの電動過給機等の開発を推進し、さらに高度化するパワートレイン系の評価方法及び評価システムの仕様を検討するなどの成果を得ることができた。今後は、これまで取り組んできた次世代ディーゼルエンジンのエネルギー収支の把握を継続するとともにリアルワールドにおける環境性能実態の把握と評価方法等に関して、取り組んでいく予定である。

### ２．３．分野横断的課題

ハイブリッド車等電動系車両では駆動音のレベルが非常に低く、路上で視覚障害者が車両を認識するのが難しいという課題については、スマートフォンを歩車間通信端末として利用するための研究を進めてきた。この研究では、スマートフォンの位置情報を基に、歩行者-自動車間の距離を求め、両者の距離に応じて情報提供や警告を出すシステムを試作し、評価を行った。さらに、当研究所で実施している将来の自動運転を見据えた SIP(Strategic Innovation promotion Program:戦略的イノベーション創造プログラム）において、歩車間通信及び車車間通信により、事故を未然に防ぐための情報提供を主とした支援機能に必要な性能要件（位置精度、通信遅延、情報提供方法等）に関する課題の整理を行っている。

## ３．まとめ

自動車の環境性能は、継続的に向上しており、そのためにパワートレイン系には様々な先進的な技術が投入され、複雑化している。また、これらを適切に評価するために、その評価システム、評価方法も高度化、複雑化されている。当研究所では、国の施策等に貢献する試験、研究等を実施する努力を継続していくことにより、自動車メーカーが優れた技術を積極的に投入できるように、また、自動車ユーザーがそれらの優れた技術の恩恵を享受できるように関連する調査、研究等を進めていきたいと考えている。

## 参考文献


1) 環境省，“平成 25 年度　大気汚染状況について”(2015)

2) 中環審，“今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十二次答申)について”，(2015)

3) 中環審大気・騒音振動部会微小粒子状物質等専門委員会，“微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について(中間取りまとめ)”，(2015)

4) 中環審，“今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について”，(第二次答申,2012)，(第三次答申,2015)

5) 国土交通省,“小型貨物自動車の新たな燃費基準(トップランナー基準)に関するとりまとめについて”，(2015)

# 講演４．重量車における新たな評価方法についての動向

環境研究領域　※鈴木 央一　川野 大輔　奥井 伸宜　山本 敏朗　山口 恭平

## １．はじめに

自動車排出ガス試験法などの国際統一基準化の流れを受けて、日本でも 2016～18 年にかけて重量車の国際統一試験法 WHDC（Worldwide harmonized Heavy Duty Certification procedure）およびオフサイクル試験法 OCE（Off-Cycle Emission）が採用される。これら試験法の紹介や、それによる排出ガス性能への影響等については昨年のフォーラム 2014 にて発表している [1]。

一方、世界的にはそれにとどまらない変化がみられる。とりわけ、近年進化が著しい高度な排出ガス低減技術が導入された車両においては、それが有効に働くときとそうでないときの性能差が拡大する傾向にあり、実際に道路を走行しているときの排出ガス性能（RDE: Real-world Driving Emission）を重要視する流れがある。それを評価する代表的なものとして、車載式排出ガス分析計（PEMS: Portable Emission Measurement System）を用いて実際に道路を運行する車両における排出ガス測定を行う手法が挙げられる。これについては、欧米ではすでに導入あるいはそれを前提とした実証試験が始まっており、日本国内においても、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（第十二次答申、平成 27 年 2 月）」で、今後導入の可能性も含めた検討が必要であるとされている。

これら排出ガス評価法に対して、燃費評価法については、日本で 2006 年（平成 18 年）に世界初の重量車燃費試験法が策定されたが、その後、欧米いずれも独自のものを開発し、採用（欧州は予定）している。

本稿では、それら重量車の環境性能に関する国際統一基準化と、その枠にとどまらない各国の状況などを紹介する。なお、重量ハイブリッド車への WHDC 適用（現状では排出ガス試験のみ）に関しては、別途検討が進められている [2]。

## ２．WHDC 導入について

2016 年より導入される排出ガス規制においては、窒素酸化物（NOx）排出規制値が強化（0.7→0.4g/kWh）されるほか、試験サイクルが WHDC に基づく過渡試験サイクル WHTC（Worldwide Harmonized Transient Cycle）および定常試験サイクル WHSC（Worldwide Harmonized Steady-state Cycle）となる。それを国内の試験法とするための基準策定（保安基準の細目告示別添 41 の更新）が国土交通省により行われている。現在は基準適合に向けてメーカー等が各種技術開発を進めている段階である。

一方、日本独自の制度として並行輸入車の取扱いがある。少数輸入される車両を想定したものであるが、それらでも排出ガス試験が実施される。重量車の型式指定の審査においては、エンジン単体で排出ガス試験が行われ、規制に適合したエンジンが各車種へ搭載される。しかしながら完成車として少数が輸入される並行輸入車でエンジン単体試験を行うのは現実的でないため、当該車両を直接使用したシャシダイナモ試験が行われる。従来の D-13 モード、JE05 モードはシャシダイナモ上でエンジンベンチにて行われる試験と等価な試験を行うことができたが、WHTC ではそれが不可能であり、新たな手法が必要となっている。その手法について、交通研では国土交通省より受託して検討を進めている。車両で試験を行うにあたっては、WHTC の元となった速度パターン WHVC（Worldwide Harmonized Vehicle Cycle）をシャシダイナモ上で走行することをベースに検討することになる。しかし WHVC は、多種の車両で道路勾配の変化も含めた走行がベースとなっており、1 台の車両で基準車速を WHVC とした走行をしても、エンジン回転数やトルクは WHTC と等価にはならない。そして JE05 モードと同様に半積載で道路勾配なしの設定で WHVC を走行した場合、サイクル全体の仕事量が試験法に準拠したエンジンベンチ試験よりも概ね少な

くなる。仕事量が少ないと排気温度が下がる方向になり、エンジンベンチ試験と同等の条件とはいいがたい。そこで最低限の同等性を確保するため仕事量を合わせるとすると、JE05 モードの設定から仕事量を増加させる処置が必要となる。そこで 2 つの候補を挙げて比較試験を実施した。

・半積載設定で実施する JE05 モードに対して全積載設定とする。

・半積載設定のまま、全体の仕事量をエンジン試験時に近づけるように道路勾配設定（仕事量を増やす場合には登坂）を行う。

その結果、勾配設定をした場合、仕事量をエンジン試験と同等にする点については優れているものの、瞬時的な仕事率ではむしろ乖離が大きくなった。また、AT 車ではエンジン試験時の仕事量を計算する前提となる全負荷試験ができないといった欠点があり、それらの問題のない全積載設定とすることで検討を進めている。そこで、エンジンベンチにおける WHTC 試験とシャシダイナモにおける WHVC 走行を、同一エンジンで実施した結果から仕事量を比較したものを図 1 に示す。両試験の仕事量は概ね合うものの、図に見られるように、同等エンジンで架装や積載量が異なる場合には上下する場合もある。それらも含めた 9 台の重量車について、シャシダイナモ試験で JE05 モードと WHTC（ホットスタートのみ）を実施した時の NOx 排出量に関する相関を図 2 に示す。NOx 後処理装置を持たない 1 台で WHTC 試験にて大幅に高い排出となったほかは、概ね同等で、過半のエンジンでは WHTC でわずかに減少する。これは 3 機種のエンジンで両モードを試験法に則って試験をした結果、2 機種で WHTC での NOx 排出が JE05 モードよりも減少した昨年度の報告内容をほぼ踏襲するものといえる。よって、エンジンの詳細データ等を持たない外部機関等が実施できることを前提としつつも、ある程度の妥当性を確保したものといえる。

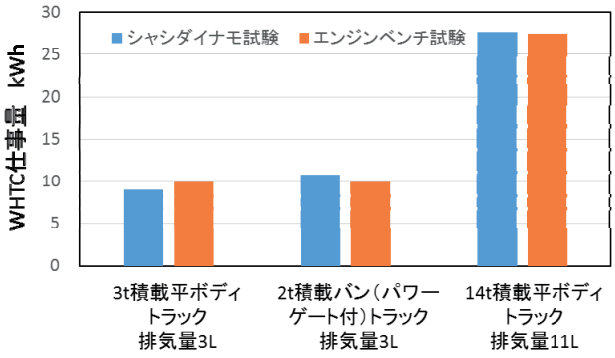



図 1　シャシダイナモ試験とエンジンベンチ試験における WHTC 仕事量の比較

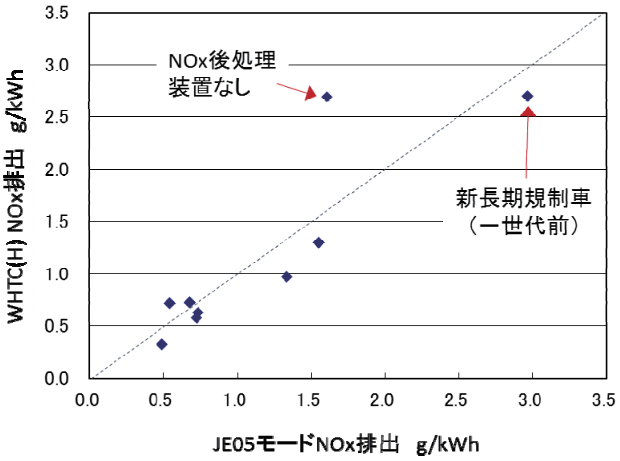



図 2　シャシダイナモ試験による JE05 モードと WHTC（ホット）との NOx 排出量比較

## 3．PEMS を用いた排出ガス評価

### 3．1．欧米における導入の状況

米国では 1990 年代に、ある大型車で長距離走行を行うと認証試験サイクルで機能する排出ガス低減デバイスが無効化される制御（デフィートストラテジー）を行った事例が発覚したことを受けて、実走行時の排出ガス性能をチェックしなくてはいけない、という意識が早くから持たれていた。そしてその主対象は、上記の経緯から長距離輸送にたずさわる重量車における、連続した高速走行における排出ガス性能であった。米国ではすでに規制が開始されているだけでなく、この視点は国際統一規則（Global Technical Regulation: GTR）の中にも反映されている。すなわち、OCE（GTR No.10）では、実際の車両を走行させることも考慮しつつ、中速エンジン回転以上の高負荷を対象とした NTE（Not To Exceed）領域における連続的な運転中における排出ガス性能を評価することになっている。

一方の欧州においては、排出ガス規制が強化されているにもかかわらず、都市部を中心とした大気中 $NO_2$ 濃度等が必ずしもそれに見合った改善となっていない[(3)]。これを受けて、比較的最近になって「実際に走行している状態での排出ガス性能」が注目されるよ

うになり、その対策のいわば切り札として PEMS による評価試験が考えられている。

欧州の重量ディーゼル車では NOx 後処理装置として尿素 SCR（Selective Catalytic Reduction：選択還元触媒）が採用されているが、尿素 SCR を持つ車両では、多くで EGR（Exhaust Gas Recirculation：排気再循環）が廃止される（図 3）など、国内のものと比べて後処理装置への依存度が高い。従来の欧州における重量ディーゼルエンジンの排出ガス評価試験サイクル ETC（European Transient Cycle）は、JE05 モードと比較して平均仕事率が相当に大きく、当然ながら排気温度も高くなることから尿素 SCR による NOx 低減をより積極的に行うことが可能であった。しかしながら、尿素 SCR の触媒活性温度は日欧に違いはなく、一般に都市内で低速走行が継続される状況では、排気温度は触媒活性温度以下になり、尿素 SCR による大幅な NOx 低減は困難である。日本の重量車

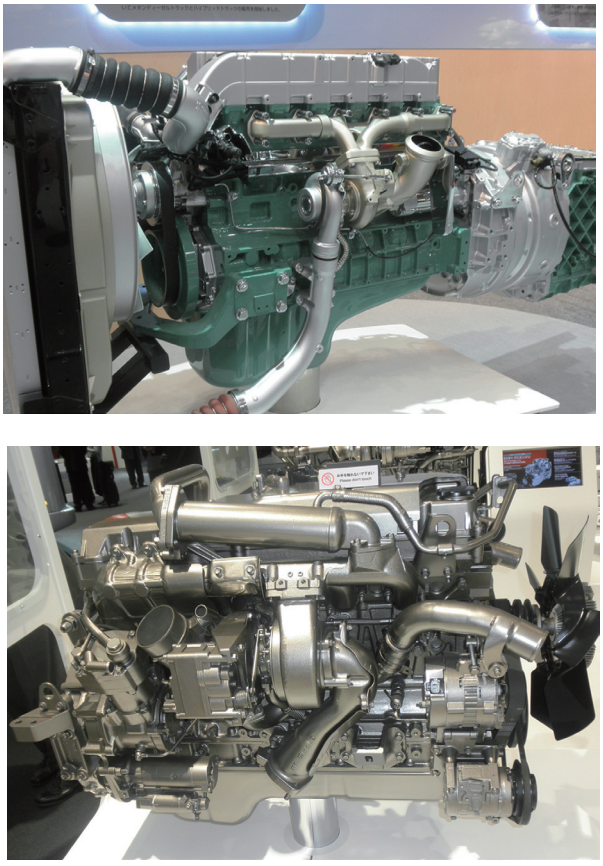


図 3　東京モーターショー2011 で展示された欧州メーカーの重量車用ディーゼルエンジン（上：EGR ラインがなく排気系がすっきりしている）と同クラスの国産エンジン（下：排気マニホールド上にはクーラーを含む EGR ラインが存在。いずれも著者撮影）

では認証試験サイクルが都市内走行を重視した JE05 モードであることもあり、すべての車両で EGR が採用され、低負荷エンジン領域での NOx 低減に寄与しており、尿素 SCR の効率が多少減じても NOx 排出増加は相対的に少ない。それに対して尿素 SCR への依存度の高い欧州車で低速の都市内走行が継続すると、旧世代の車両以上の NOx 排出となることは PEMS の測定結果をみるまでもなく、容易に想定される。

現在欧州では規制に向けたデータ取得等が行われているが、走行中低負荷が多く平均出力の低いデータは、排出ばらつきが大きいとして評価対象から排除される形で議論が進んでおり、本来的には実走行時の排出ガス性能評価に絶対のポテンシャルを持つ PEMS を用いた評価だが、そもそもの導入に至る原因の解消をもたらす試験法に仕上がるかは予断を許さないといえる。

### 3．2．日本における PEMS をとりまく状況

国内でも、欧米で導入が進められている状況を受けて PEMS に関する調査は精力的に行われている[4]が、現時点で具体的に導入のスケジュールなどは決められていない。主な課題としては、定量化にあたって排出ガス流量の測定精度が十分とはいえないこと、仕事量あたりの排出量（g/kWh）で評価される規制値と等価な評価を安定して行うための試験法が確立していないこと、そして搭載性の問題の 3 点といえる。それらの課題は欧米でも同様だが、日本では欧米よりも都市内走行頻度が高く、欧米の評価法では対象外となる走行状態が多いこと、車両の寸法的制約が顕著なことなど導入に向けて困難な点が多い。

欧米で PEMS 導入の動機となった、デフィートストラテジーや実走行での NOx 排出などについて、日本国内でも同様の排出ガス性能に関する問題が顕在化したケースはある。主なものとして、「新長期規制適合尿素 SCR 車における NOx 浄化性能劣化」の問題と「ポスト新長期規制適合車におけるデフィートストラテジー」の問題が挙げられる。しかしこれらは、いずれも車両が登場してから 2 年程度のうちに公的研究機関の調査により、原因の主たる部分とともに明らかにされている[5]、[6]。つまり、問題が拡大して、例えば環境基準達成率が低下するような深刻な状況に至る前の段階で問題が発覚し、原因究明や対策が議

論され、それに応じた対処が講じられてきた（図 4）。

それを可能にしたのは、シャシダイナモ試験による排出ガス評価が一般化していることと、その結果を認証状態と容易に比較することができる JE05 モードの存在が挙げられる。ただし、後者については今後 WHDC が導入されると従来通りにはいかなくなる恐れがあり、今後は国際的な流れである PEMS 導入という選択肢が有力になりうる。交通研では国土交通省や環境省などと連携しつつ、2 章で示したシャシダイナモを用いた試験方法による評価と、PEMS 試験法に関する調査を並行して進めることで、認証試験時と同等の環境性能維持、確保に努めていきたい。

図 4　デフィートストラテジー問題を受けてオフサイクル時の排出ガス制御等に関する調査を実施（H23 年度）

## 4．燃費試験法

### 4．1．日欧米における導入の概況

日本では 2007 年に世界に先駆けて重量車燃費試験法と燃費基準が制定された。2002 年平均燃費値から 12.2%改善という 2015 年度基準値も 2011 年度に達成され、基準策定が燃費改善を強く促し、運輸分野の $CO_2$ 低減傾向に寄与したといえる。重量車の燃費評価を行うにあたっては、型式ごとにシャシダイナモ試験による測定を行う軽・中量車に対して、型式や細かいオプション違い等が無数にある重量車に対応した評価方法として、エンジンの定常燃費マップとシミュレーションを用いた手法としており、この考え方は世界的にもスタンダードになった。しかし、重量車では小型車以上に各国の事情等が大きく異なり、各地でそれぞれ別個の手法による評価法が導入あるいは計画されているのが現状である。

米国では、GEM（GHG Emissions Model）を用いた燃費評価が 2014 年より開始されている。その概要については既報 [7] にて紹介している。日本と大きく異なる点として、日本における燃費基準は自動車メーカーを対象に車両燃費として課せられるのに対して、GEM ではエンジン、タイヤ転がり抵抗係数や空気抵抗低減技術（空気抵抗関連はトレーラーのみ）など個別に入力することで成り立っており、サプライヤーや OEM など個別の立場で改善効果をアピールできるしくみになっている。このような手法とした場合、個々の技術やその組み合わせによる改善効果の詳細を詰めるよりも、多くの技術を早期に導入することを目指すものと推測されるが、個々の技術の改善効果に関する精度向上を目指したものとして、「フェーズ 2」の導入が進められており、その詳細が 2015 年 6 月に公表されている [8]。

欧州では既報 [7] で紹介した評価法が VECTO（Vehicle Energy Consumption Calculation Tool）と名付けられた計算手法などを中心にまとめられ、2018 年頃の運用を目指して実証試験が進められている。欧州の評価法を一言でいうと、単純化や簡素化といったことをあまり考慮せず、より現実を反映することに主眼が置かれたものといえる。例えば評価試験サイクルは当該車両クラスで実際に走行したものが前提とされる。つまりカテゴリー等の数に匹敵する試験サイクルを策定することが想定されており、都市内（JE05 モード）と都市間（80km/h 定速勾配ありの都市間モード）走行の比率の変更で、カテゴリーごとの使用実態の違いを反映させようという日本の考え方（ちなみにその部分について米国も日本に近い）とは大きく異なる。なお、欧州で行われている実証試験の状況などについては web 上で公開されている [9]。

国内では 2015 年度燃費基準が目標年を迎え、次期基準の議論が近く始まると予想される。その際の評価に用いる燃費試験法について、交通研では国土交通省より「重量車燃費試験法に関する調査」を受託し、調査を進めている。本稿では現状の試験法における課題となりうる点について紹介する。

### 4．2．次期試験法に向けた検討事項など

燃費向上を図る際に、走行抵抗の多くを占める転がり抵抗と空気抵抗の低減は大きな要素であるが、現在重量車の燃費試験法では、いくつかの諸元値を入れて

算出する一定値となっている。大型車では測定が容易でないことに加え架装やオプションが様々で、公平かつ現実的な測定法の策定には障害が多いためである。しかし重要な要素として「総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会重量車判断基準小委員会・重量車燃費基準検討会最終取りまとめ(10)」の中で「今後、適切に評価できる手法の確立の可能性について引き続き検討を行うこと。」とされている。一方で、欧米の試験法がそれらをカバーし、改善を促す仕組みを導入するに至り、国内でも実測値を用いる何らかの手法の導入が今後検討される予定である。それらの試験法への反映のさせ方は各国で事情が異なり、調和は容易でないが、走行抵抗等の試験方法そのものは欧米と最大限調和させる方向で検討が進められる見込みである。

次に挙げられるのは、加速時等エンジン運転条件が大きく変動する過渡運転時の燃費についてである。

前記最終とりまとめには、過渡運転の実測と定常燃費マップに基づくシミュレーションとの整合を示すデータ（乖離は0.3%にとどまる）が示されているが、長期（'98-99）規制適合エンジンを対象に実施されたもので、半分が自然吸気式のものであった。それに対して、燃費基準の対象となる新長期（'05）規制以降のエンジンではすべてに過給機が装備されている。過給機は排気エネルギーを使って吸気を加圧するが、加速時など急激に回転や負荷が上昇する場合には、当該負荷であるべき過給圧が得られるまでに一定時間を要する「遅れ（ターボラグ）」が存在する。加速時にターボラグにより本来の過給圧力が得られない場合には、シリンダ内へ導入できる空気量が減少し、そのままでは性能低下をもたらすため、それを抑止する手段として、NOx低減のために行っている EGR を減少あるいは停止させることが行われる。その状況を解析するため、NOx 後処理装置を持たない排気量 6.4L の新長期規制適合エンジンを搭載した 4t 積載トラックにおいて、定常運転による NOx 排出マップを作成し、実走行時の NOx 排出を燃費と同様のシミュレーションにより算出できるようにした。

図 5 は、上記車両による JE05 モード試験から、最終部分における実測の NOx 排出量とシミュレーションにより求めた NOx 排出量の時間履歴を比較したものである。1500～1600 秒あたりの高速走行を継続する状況では両者はおおむね一致する。これは定常走行

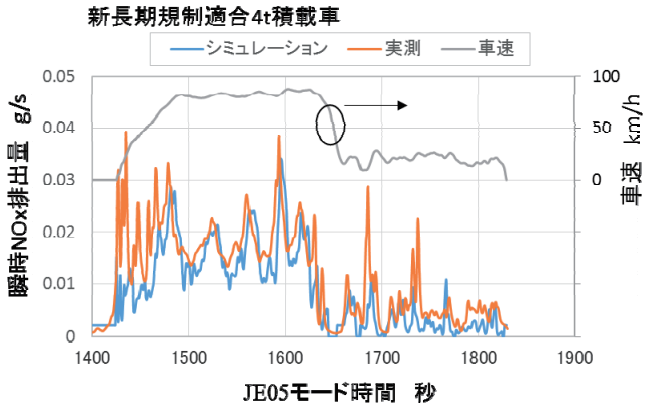



図 5　JE05 モード最終部分（1400 秒以降）における瞬時 NOx 排出量について実測結果とシミュレーションにより求めた値との比較

に近い状態ではシミュレーションにより NOx 排出量を試算できることを意味する。しかしながら加速によりエンジン回転数やトルクが大きく変動する 1420～1460 秒、1700 秒付近においては、実測値は計算値を大幅に上回り、概ね 3 倍程度に至る。定常運転では現れない NOx 増加は、前述のターボラグをカバーするための EGR 率減少によるところが大きいとみられる。この結果は、加速時には定常運転時とエンジンの運転状態が大きく異なることを示す。これらの知見から、交通研では過渡運転時の燃費特性について着目し、評価方法等について研究を実施してきた。その試験結果の一部をフォーラム 2014 で発表している(11)が、排気量 3L の過給ディーゼルエンジンにおいて、車両諸元によっては最大 4%程度計算と実測の燃費値に差が生ずる結果が得られた。これを受けて、その補正方法を合わせて提案している。なお、欧州で検討されている試験法では、当然ながら過渡運転時の燃費を得るための補正係数が取り上げられている。そこでは過渡運転による燃費のずれは確認した上で、同一カテゴリーの車両間の差は比較的小さく、エンジンごとに補正係数を求めることはせず、一律の値とすることが提案されている。

国内の次期燃費試験法で最終的に過渡運転の違いをどこまで基準に取り込むかは、燃費全体にどれほどの影響を及ぼすのか、適切に評価することが可能か、そしてその導入により全体の改善を促すことにつながるのか、といった点を考慮していく必要がある。交通研がこれまで実施してきた研究成果を活用しつつ、有識者や業界等と議論を重ねて最適解を求めていき

たい。

## 5．ま と め

重量ディーゼル車（エンジン）の国内外の基準に関する動向について以下にまとめる。

○WHDC 導入についてはすでに国内基準化が行われており、現在は並行輸入車などを対象としたシャシダイナモを用いた試験方法の検討を進めている。JE05 モードのシャシダイナモ試験法をベースに積載を全積載として、WHVC を走行することとする方向で検討中である。

○欧米では実際の走行しているときの排出ガス性能についての意識が高まっており、車載排出ガス分析計（PEMS）を用いた評価試験が米国ではすでに実施され、欧州では実施に向けたデータ取得が行われている。その背景の一つとして、欧州で都市部の $NO_2$ 濃度が排出ガス規制の強化に見合って下がっていないことがあるが、欧州車では尿素 SCR 導入により EGR を廃止するケースが多く、都市内走行では従来以上の NOx 排出になりうることが予想される。

○国内における実走行時の排出ガス性能維持について、デフィートストラテジーや触媒劣化の存在が、これまでは比較的早期に各種試験調査より明らかにされている。一方で、国際調和の視点から PEMS を用いた評価法の導入についても引き続き検討を進める。

○燃費評価法について、日本が世界に先駆けて導入した後米国が続き、欧州でも導入に向けた調査が進められている。欧米では日本のシミュレーション法をベースとしつつも走行抵抗に実測値を用いるなどより実際を反映するものとなっている。

○上記に加え、国内の燃費基準が 2015 年度に目標年を迎えることから、新たな試験法策定に向けた調査を国土交通省から受託して進めており、走行抵抗（転がり抵抗、空気抵抗）測定方法や過渡運転時の燃費補正方法などについて、より適した方法を検討していく。

## 参考文献


(1)鈴木央一ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて」交通安全環境研究所フォーラム 2014

(2)奥井伸宜ほか、「ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動」交通安全環境研究所フォーラム 2014

(3)Daniel Rutherford、「欧米、アジア等におけるディーゼル自動車の排出ガス対策とその現状」交通安全環境研究所講演会 2013、p.63-p.74

(4)相馬誠一、南利貴、「重量車の車載型排ガス計測器に関する検討（第 2 報）」自動車技術会 2011 年秋季学術講演会前刷集 No.125-11、20115578

(5)鈴木央一ほか、「使用過程尿素 SCR 車の排出ガス性能と実環境改善に向けた課題」交通安全環境研究所フォーラム 2007

(6)東京都報道資料　2011 年 6 月 : http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2011/06/20l63600.htm

(7)水嶋教文ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて」交通安全環境研究所フォーラム 2013

(8)EPA ホームページ : http://www.epa.gov/otaq/climate/gem.htm

(9)欧州委員会ホームページ : http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_co2_certification_en.pdf

(10)国土交通省ホームページ : http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/09/091110_.html

(11)水嶋教文ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第 2 報）」交通安全環境研究所フォーラム 2014

# 講演５．自動車排出粒子計測法の高度化 －PMP による活動のこれまでとこれから－

環境研究領域　　※山田 裕之　　後藤 雄一

## １. PMP の設立から PMP-PN 測定法の決定

Particulate Measurement Program (以下 PMP)は国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラムの排出ガス・エネルギー専門会合(GRPE)において 2001 年に設立されたワーキンググループである。英国、ドイツ、スウェーデン、フランス各国政府の強い協力により立ち上げられ、後に日本、韓国、スイスが加わった。この組織の目的は、従来自動車排出ガス中の粒子状物質(PM)規制に用いられてきた重量法に代わる新たな計測法の開発である。PMP の活動は当初 3 つのフェーズで計画されていた。フェーズ 1 で PM の新計測方法の調査を実施し、フェーズ 2 ではフェーズ 1 で挙げられた計測法を評価し、のちのフェーズ 3 で行われる評価試験で実施する計測方法の決定が行われた。その結果、従来の重量法の高度化および粒子個数(Particle Number: PN)測定が基となる測定法(PMP-PN 法)について、フェーズ 3 で評価を行うこととなった。

この PMP-PN 法の概要を図 1 に示す。この計測法は Volatile Particle Remover (VPR) と Particle Number Counter(PNC)の二段階に分かれる。全量希釈装置により希釈された排気エミッションは、50%カットオフ粒径($D_{50}$)が 2.5 μm の分級装置を経て VPR 部に導入される。ここでは 2 段階の希釈、加熱により不安定な揮発性粒子が除去され、PNC 部で粒子個数の計測が行われる。PNC としては凝集粒子カウンタ(Condensed Particle Counter: CPC)を用いることを想定しており、検出下限側 D50 が 23 nm となるように求めている。つまり、PMP-PN 法の測定対象は 23 nm 以上の固体粒子数ということになる。なお次章からは従来の重量法による結果を PM、PMP-PN 法による結果を PN と称する。

## ２. PMP-PN 法の評価

### 2. 1 軽量車の評価

フェーズ 3 として軽量車と重量車それぞれで評価プログラムが実施され、その中で軽量車の評価は、重量車に先駆けて実施された[1]。ここではこの軽量車の評価として実施された Inter-Laboratory Correlation Exercise (ILCE)について記す。

ILCE は、the European Commission's Joint Research Centre の Vehicle Emission Laboratory が中心となり、同研究所、Ricardo (イギリス)、AVL-MTC (スウェーデン)、RWTÜV (ドイツ)、 Aristotle University (ギリシャ)、Shell Global Solutions (イギリス)、 UTAC (フランス)、交通安全環境研究所（日本)、NMVERL（韓国）で行われた。ILCE の内容としては、PMP-PN 法に基づく統一測定器(Golden Particle Measurement System 以下 GPMS)および排出ガス基準車(Golden Vehicle 以下 GV)をすべての実施機関に巡回させ、GV の排出粒子を GPMS で測定し、その計測安定性、再現性を評価した。GV はディーゼル機関と Diesel Particulate Filter(DPF)を有し、EURO IV 規制に適合している。また、ILCE 試験を統括する管理者(Golden Engineer)が各拠点での試験方法、結果を管理した。

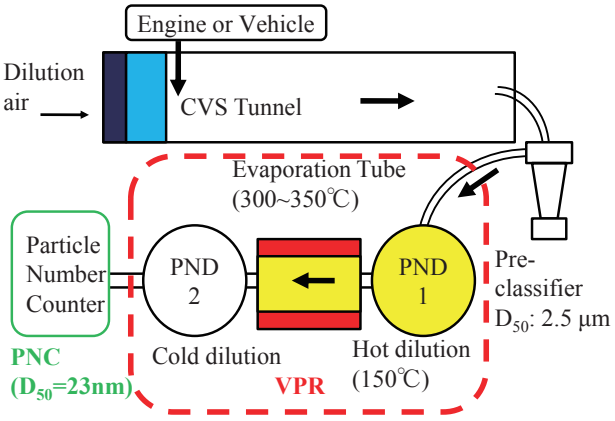



Fig. 1 Schematic graph of PMP methodology.

図 2 に各研究機関における GV からの PM および PN を示す。ILCE における主要な目的である GV からの PM および PN の計測安定性については、双方ともほぼ同等であるという結果になった。ただし ILCE の結果の中で計測安定性の比較以上に重視されたのが、図 3 に示す様々なエンジンからの PM および PN の排出実態である。これによると、PN の排出量は、PM にくらべエンジンの違いによる排出量の違いが大きい。このことにより、PMP-PN 法は従来の重量法に比べ、自動車の排気エミッション測定において感度が高いと結論付けられた。この結果を受け欧州においては 2011 年にディーゼル車に PMP-PN 法による PN 規制が導入された。その際の規制値は $6\times10^{11}$ /km であり、これは図 3 に示す試験結果において 1 台を除く DPF 付車両が達成している排出レベルであり、実質的にはディーゼル軽量車に DPF の装着を義務付けるものとなった。

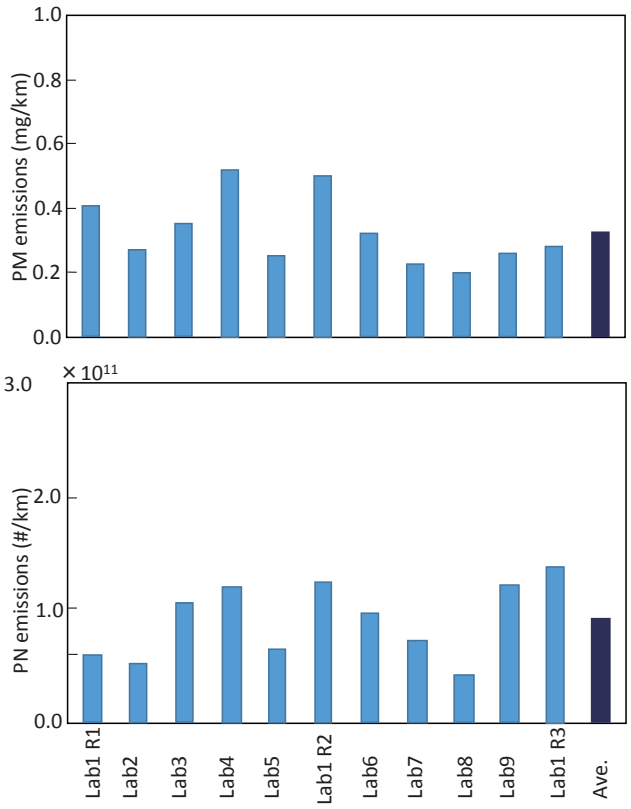



Fig.2 PM and PN emissions from GV.

## 2.2 重量車の評価

軽量車での PMP-PN 法による規制導入決定を受けて、重量車への PN 規制の可否を判断するための評価が行われた。この重量車の評価では 2 つのプログラムが並行して実施された [2]。ひとつは Validation Exercise と称され、軽量車 ILCE 同様に基準エンジン、基準計測装置を各研究機関で持ち回り評価しその試験は Golden Engineer が管理した。ただしこの Validation Exercise については、装置移動の煩雑さによる試験期間の増大を避けるために、欧州内の研究機関に限定して実施された。もうひとつの評価は基準エンジン(Validation Exercise に用いられたものとは別)のみを持ち回り、計測装置は各研究機関が用意する Round Robin Test により行われた。この Round Robin Test は欧州のみならず日本、韓国でも実施された。日本からは交通安全環境研究所、日本自動車研究所の 2 つの機関が参加した。

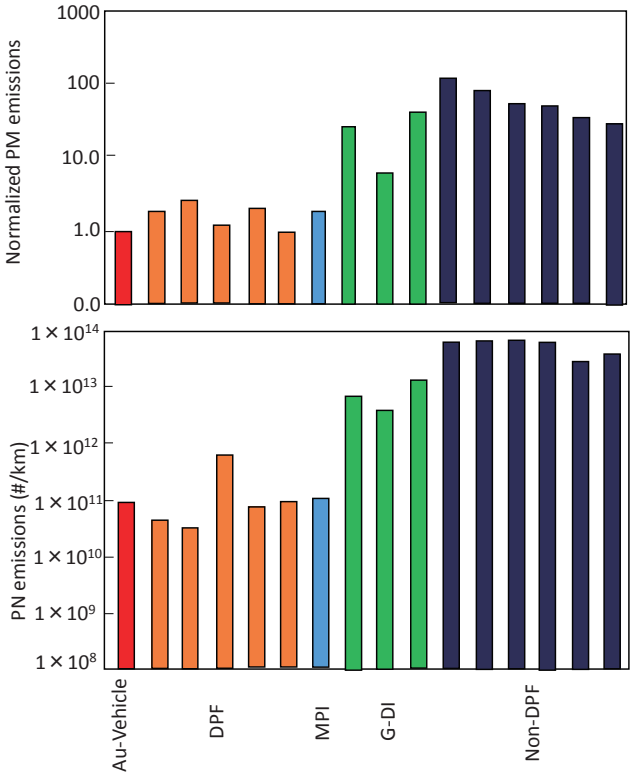



Fig.3 Comparisons of PM and PN from various type of engines. Au-vehicle: GV, DPF: DPF diesel vehicle, MPI: Multi point injection vehicle and Non-DPF: diesel vehicle without the DPF.

重量車における評価では PM および PN の計測安定性の評価に加えて、部分希釈装置と全量希釈装置の比較も行われた。得られた結論としては DPF を装着したディーゼル機関からの排気は全量希釈装置を用いた場合は、トンネル内のバックグラウンドであるトンネルブランクとほぼ同等であるのに対して、部分希釈

装置を用いた場合は全量希釈装置とくらべトンネルブランクを低く抑えることが可能であるとされた。計測再現性については PM のほうが計測再現性および計測安定性が高いとされたが、これは PM の大半を占めると思われるトンネルブランクが安定的に観測されたためではないか、とされた。このように PMP における重量車評価において PMP-PN 法による計測安定性は確認されなかったが、Round Robin Test に先駆けて交通安全環境研究所および日本自動車研究所で行われた国内ラウンドロビン試験においては PMP-PN 法の優位性を示すデータが得られている[3]。この試験においては、全量希釈装置および部分希釈装置双方を用いてエンジンからの PM および PN、つまり 4 つのデータを同時に測定した。その際に PM および PN の計測安定性についてはほぼ同等であったが、図 4 に示す様々なモードにおける全量希釈装置による結果 / 部分希釈装置の結果では PM と PN の計測安定性に明確な差が確認された。なお図中の誤差表示は 1σ を示している。この結果は、PN の計測ばらつきはエンジンのコンディショニング等の影響による実際のエンジン排気エミッションのばらつきに起因しているのに対して、PM の計測に現れるばらつきは計測法の持つばらつきであることを示唆している。これらの議論を経て欧州では 2013 年に重量車においても PN 規制が導入された。

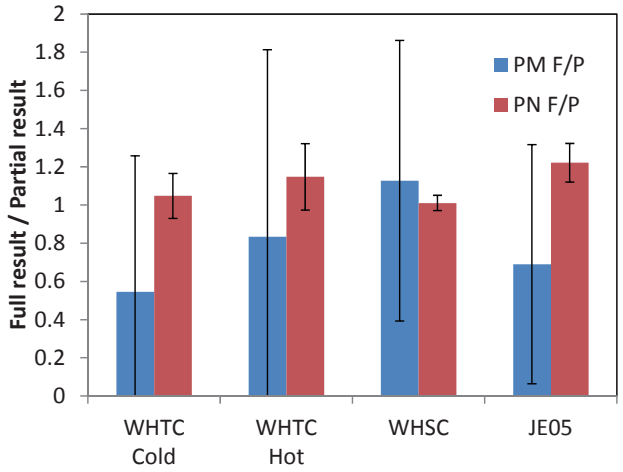



Fig. 4 PM and PN with full flow dilution system / partial flow system.

### 2.3 ガソリン直噴車からの PN

図 3 に示した ILCE の結果でもわかるように、ガソリン直噴車からの PM および PN 排出レベルは DPF ディーゼル車よりも高く、規制値を超過する場合もあった（ただし ILCE で評価されたガソリン直噴車は現在販売されていないリーンバーン式の直噴車であり、ストイキ直噴車の評価は行われていない）。そのため 2014 年から欧州ではガソリン直噴車においても PN 規制が導入された。これは、 2009 年にはすでにガソリン直噴車に PM 規制が導入されていることと整合性を保つために、PN 規制も同様にガソリン直噴車に導入されるべきである、という考えに基づくものである。この際、 European commission としては規制の整合性を保つために、ディーゼルに用いられている規制値と同値（$6\times10^{11}$ /km）での規制が検討されたが、メーカー側業界団体から、現状のガソリン直噴の技術ではこの規制の達成が厳しいこと、また、それにより通常にポート噴射型ガソリン車に比べ二酸化炭素排出に有利なガソリン直噴車を市場から締め出すことになってしまうことへの懸念が示され、その後の議論の結果、規制が導入される 2014 年から 3 年間の間に限り、限定的にガソリン直噴車の規制値を $6\times10^{12}$ /km とし、その後 2017 年からはディーゼル車と同じ $6\times10^{11}$ /km とすることとなった。

## 3. PMP-PN 法に関する研究等

### 3. 1 PN 規制値の PM 換算

そもそも PMP-PN 法開発の目的は PM 重量計測法を補完代替する計測法を開発することであった。従って現在欧州では、同じ粒子状物質に対して PM と PN という 2 つの規制がかけられていることになる。この PM と PN の値には強い相関はないものの、図 3 に示したように大まかな相関は存在する。従ってたとえば日本と欧州の PM 規制を比較する場合には、単純に PM の規制値を比較すればよいわけではなく、PN 規制値がどの程度の PM に相当するかを考慮する必要がある。図 5 にはガソリン直噴車および DPF ディーゼル車からの PN と PM の関係を示す[4]。これによると欧州のガソリン直噴車に導入されている規制値($6\times10^{12}$ /km)は PM に換算すると 1 - 4 mg/km に相当し、ディーゼル車の規制値($6\times10^{11}$ /km)は 0.3 - 0.5 mg/km に相当する。欧州の PM 規制値は日本と同様に 5 mg/km であるが、PN 規制を考慮すると日本と比べ厳しい規制が導入されているといえる。

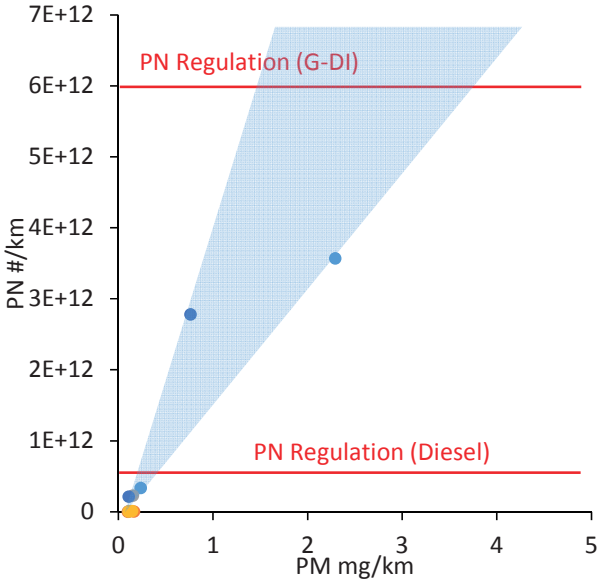



Fig. 5 PN vs. PM from various passenger cars.

### 3. 2 DPF 再生周期と PN 排出特性

DPF は捕集した粒子状物質を周期的に燃焼除去するいわゆる DPF 再生を行う必要がある。この DPF 再生が PM および PN に与える影響を調べた結果を図 6 に示す[5]。これは DPF を有する大型車をもちいて、シャーシダイナモ上で JE05 サイクルを繰り返した際の PM および PN の値を再生が発生したテストサイクルからの試験回数で示したものである。この中で赤い点が再生時の排出を表している。これによると、PM は再生時に通常の 3 倍程度の排出を示し、それ以外の条件ではほぼ一定の値を示している。一方で PN は再生時に高い値を示し、その後指数関数的に減少していくのがわかる。PN の排出が安定するは DPF 再生の発生から 10 回程度試験を繰り返した以降であった。

このような DPF の状態による排気エミッションの変化については、認証試験においても考慮されており、認証値は再生時と通常時の排出量を、再生頻度を考慮した重み付平均により算出する。ただし PN が示したような再生終了後、排出が安定するまでの変化は考慮されていない。また、図 7 には DPF 再生周期全体の平均値に対する各テストサイクルの寄与を示す。これによると平均値の 81%は再生が発生したテストが寄与し、その後の 2 サイクルと併せると全体の 99%を占める。そして、通常の認証時に行われる PN の排出が安定した状態での試験結果の平均値への寄与は皆無に近い結果となった。

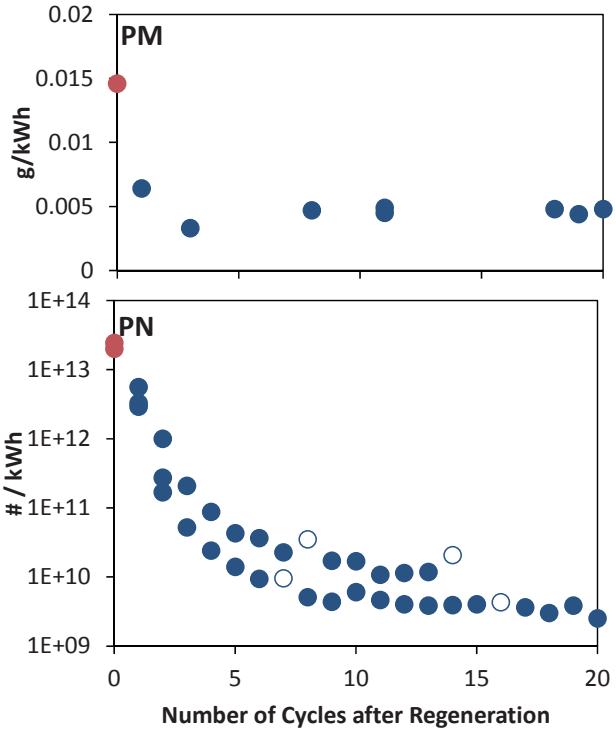



Fig. 6 PM and PN as functions of the number of cycle after the regeneration.

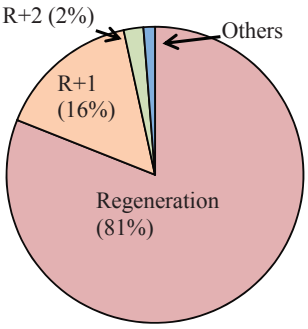



Fig. 7 Contribution of DPF regeneration to average PN.

### 3. 2 検出下限 $D_{50}$ の微小粒径側への拡大

現在の PMP-PN 法では前記のように、$D_{50}$ は 23 nm とされている。PMP-PN 法開発のひとつの要因となった、より微小な粒子ほど人体に対して高い毒性を持つ可能性を考えると、$D_{50}$ は可能な限り低く設定することが望ましい。また、ガソリン直噴車からの PN はディーゼル車からの PN に比べ粒径のピークが微小粒径側にシフトしている可能性が示唆されている。以上のことより、$D_{50}$ を 23 nm より微小粒径側に変更するべきという議論が

ある。ただし、$D_{50}$を下げることは、装置の校正等をむつかしくし、認証用装置として最も重要な装置の同等性に悪影響を与える可能性がある。そこで、$D_{50}$を下げた場合の影響について検証を行った[6]。まず$D_{50}$が2.5 nmのCPCを用いて、PMP-PN法の校正手順に則した検出効率の評価を、10 nm以下の粒子を用いて行った。その際のCPC入口における校正粒子の個数と、検出効率のCoefficient of Variant (CoV)を図8に示す。微小な粒子ほど拡散によるロスが大きいため、粒子発生装置からCPC入口までの距離は極力短くしたが、5 nmより微小な粒子を用いた校正ではCPC入口の粒子濃度は1000個/ccを下回る値となった。また、CoVは10 nmでは十分に低い値であったが、粒子濃度が低くなる5 nmより微小な粒径においては10%を超える結果となった。

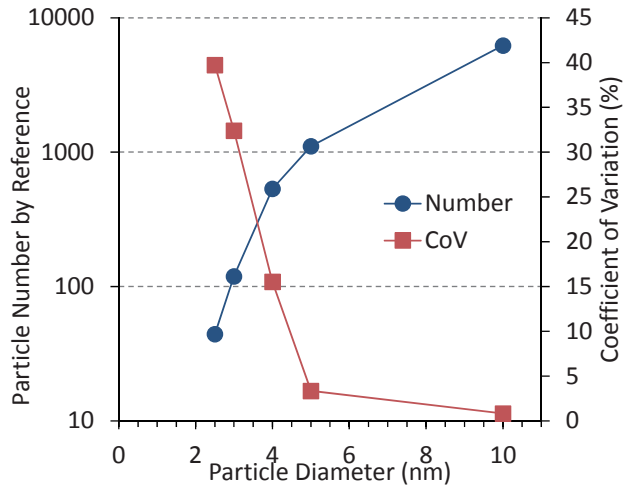



Fig. 8 The number of particles for calibration and CoV of Detection Efficiency calibrations.

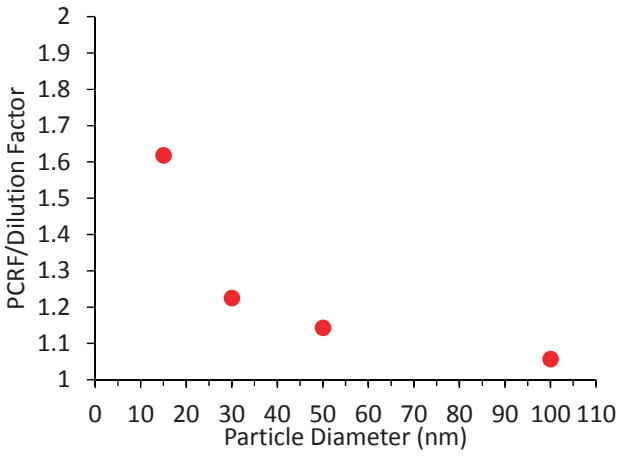



Fig. 9 Observed PCRF / Dilution Factor at 15, 30, 50 and 100 nm.

次に微小な粒子を用いて粒子損失補正係数を算出した。VPRにおける粒子損失は補正するために以下で求められるPCRF(Particle Concentration Reduction Factor)という値が用いられる。

PCRF(n) =

VPR入口の粒子濃度 / VPR出口の粒子濃度

n: 粒径

これは粒子損失を含む希釈倍率と考えることができ、PMP-PN法では30、 50 および100 nmにおいてこのPCRFを求めておき、この3つの粒径における値の平均値を用いて粒子損失を補正している。また、この値を、ガスを用いて算出した希釈倍率で割ることにより粒子損失のみの補正係数となる。この損失補正係数をPMP-PN法で求められている30、 50および100 nmに加えて15 nmで測定した結果を図9に示す。この結果によると、粒径が小さくなるほど粒子ロスが増加する傾向が確認でき、15 nmにおいてはロスが30%以上となる結果であった。この結果問題となるのは、粒径分布考慮せず補正を行っている現在のPMP-PN法の損失補正をどのように変更するべきか？という点である。まず、従来通りの3点での補正の場合は、微小粒径側で多くの損失が発生するため、過小評価につながってしまう点である。逆に15 nmの値を使うと、全体の補正係数が大きな値となってしまうため、過大評価となる可能性がある。

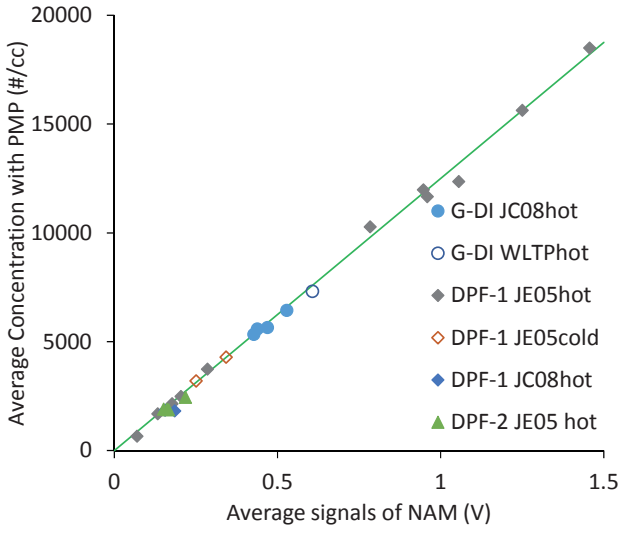



Fig. 10 PN vs PN equivalent results without VPR.

### 3. 3 PMP-PN 法装置の簡素化

欧州では Portable Emission Measurement System (PEMS)の認証試験への導入が議論されている。これは PN 測定についても検討されており、PN-PEMS 装置の開発が盛んにおこなわれている。PN-PEMS の開発において重要なのは、省スペース、省電力という点である。PMP-PN 法において電力という観点で問題となるのが、VPR である。ここではサンプリングしたガスを 300℃以上に加熱するため、消費電力が大きくなる。図 10 には様々な車両、モードを用いて測定した PN と PN-PEMS 装置の PNC 部として開発した Nano-Aerosol Monitor (NAM)による測定結果の比較を示す[7]。ここで NAM の結果は VPR を用いておらず、サンプル粒子を直接 PNC に導入している結果であり、PN は PMP-PN 法に基づき VPR を使用している。この図によると VPR の有無による測定結果の差異は確認できず、VPR を省略しても PMP-PN 法と等価な結果を得られる可能性を示唆している。

## 4．PMP の今後

ここまで示したように、PMP において従来の PM 重量法に代わる PMP-PN 法が提案され、欧州では軽量車、重量車に規制が導入された。また本稿では触れなかったが、欧州では Non Road Mobile Machinery(NRMM)への PMP-PN 法による規制の導入も決定している。このように規制への導入も終わり、本稿で述べたように問題点はあるものの、PMP 設立当初の目標はほぼ達成した。しかし PMP は解散せず、2013 年に Terms of Reference (ToR)が変更され引き続き下記のような検討がなされることになった。

・PM 測定法の高度化
・PN 測定法の高度化
　　DPF 再生時の PN 測定手法
・$D_{50}$ の 23nm 以下への引き下げ
・校正法の高度化
・Non Exhaust Pipe Emissions (NEPE)

基本的に今まで PMP が扱ってきた項目の延長であるが、全く新しい項目として NEPE が追加された。ここで NEPE として考えられているのがタイヤ、ブレーキからの粒子であり、現在は計測法、およびモードの作成に関する議論が行われている。それ以外の項目についても現在は並行して議論が行われている。

## 参考文献


1. Andersson, J., Giechaskiel, B., Munoz-Bueno, R., Dilara, P., “Particle Measurement Programme (PMP): Light-Duty Inter-Laboratory Correlation Exercise (ILCE LD)—Final Report”, GRPE-54-08-Rev.1 (2008).
2. Andersson, J., Mamakos, T., Martini, G., Giechaskiel, B., “Particle Measurement Programme (PMP) Heavy-Duty Inter-Laboratory Correlation Exercise (ILCE HD) Final Report” (2010).
3. 交通安全環境研究所、”平成 19 年度 粒子状物質計測法の高度化に係る調査報告書”(2008).
4. 交通安全環境研究所、” 平成 26 年度粒子状物質の粒子数等に係る測定法に関する調査業務報告書” (2015).
5. Yamada, H., “PN Emissions from Heavy-Duty Diesel Engine with Periodic Regenerating DPF”, SAE International Journal of Engines, 6, 1178-1189, 2013-01-1564 (2013).
6. Yamada, H., Funato, K., Sakurai, H., “Application of the PMP Methodology to the Measurement of Sub-23 nm Solid Particles: Calibration Procedures, Experimental Uncertainties, and Data Correction Methods”, Journal of Aerosol Science, 88, 58-71 (2015).
7. Yamada, H., Okuda, H., “Proposal of New Method of Particle Number Measurement for PN-PEMS”, International Journal of Engine Research (In Press)

# 講演６．自動車の騒音等の国際基準調和の概要について

環境研究領域　※坂本 一朗　宝渦 寛之
自動車安全研究領域　関根 道昭　森田 和元

## １．はじめに

自動車や自動車部品の流通の国際化はますます進展しており、安全対策、地球環境問題への対策など自動車性能に対する要求を世界規模でとらえる必要が生じている。加えて、中国、インドなどアジア諸国において自動車の普及が急速に進展していることから、日本の技術・基準をアジア諸国等と共同で国際標準化し、これらの国々の需要を取り込んでいくことが今後も我が国が継続的に成長を続けていくための原動力の一つと考えられている。具体的に、「日本再興戦略」（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）において、日本が強みを有する分野の国際標準の先導や、燃料電池自動車の普及について盛り込まれていることから、国土交通省は、アジアの新興国を含む世界各国において、安全・安心な車社会を実現するとともに、日本の企業がより活動しやすい環境を整備するため、自動車にかかる国際基準調和を積極的に推進することとしており、交通安全環境研究所（以下「交通研」という。）も国際基準調和の推進を支援するための活動を行っている。

自動車の基準の国際調和と認証の相互承認については、国際連合欧州経済委員会（UN-ECE）に設置されている自動車基準調和世界フォーラム（WP29）において審議されている。WP29 では、1958 年協定と呼ばれる、相互承認協定に基づく国際基準（以下「UN 規則」という。）に関するものと、1998 年協定と呼ばれる世界統一基準（Global Technical Regulation。以下「GTR」という。）に関するものを扱っており、日本は両協定に加盟し、基準調和のための活動に積極的に参加している。GTR は 1998 年協定に加盟している国は各国法規に取り込む必要があるため、加盟国がすべて同意できるように、各国が自由に選べる選択肢が盛り込まれることがある。一方、UN 規則は、1958 年協定に加盟している国が個々の規則ごとに採択することができるが、相互承認のため内容はそのままの形で採択する必要がある。そのため、日本のように、安全や環境に関する基準がすでに整備されている国が UN 規則を採択しようとした時、国内の基準との違いがある場合は、容易に合わせることができない。特に、騒音や排出ガス・燃費といった環境に関する基準は、道路や住居の状況、交通量などによって各国で考え方が異なるため、試験法や規制値を合わせることが難しく、UN 規則の国内導入は困難であると考えられてきた。

このような状況の中、国土交通省、環境省、自動車基準認証国際化研究センター（以下「JASIC」という。）、交通研が協力して努めた結果、四輪車の騒音に関する UN 規則である R51 の第 3 改訂版（以下「R51-03」という。）が国内導入されることとなった。

また、日本は、ハイブリッド車等の静音性に関する対策として音で車両の接近を知らせる車両接近通報装置のガイドラインを世界に先駆けて公表したが、WP29 においては、現在、このガイドラインがベースとなり新規 UN 規則が検討されている。

本報では、R51-03 の国内導入及びハイブリッド車等の静音性に関する新 UN 規則の策定の過程において、国内外において日本が行ってきた国際基準調和活動について紹介する。

## ２．自動車騒音に関する UN 規則の国内導入

### ２．１．日本における環境に関する自動車の保安基準を改正するまでの手続き

自動車の騒音については、騒音規制法第 16 条において、自動車が一定の条件で運行する場合に発生する

騒音の大きさの許容限度は環境大臣が定めることとなっており、国土交通大臣は、道路運送車両法に基づく命令で、自動車騒音に係る規制に関し必要な事項を定める場合は、環境大臣が定める許容限度が確保されるように考慮することとなっている。許容限度は、環境大臣の諮問機関である中央環境審議会（以下「中環審」という。）の答申「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について」に基づいて定められるため、UN 規則を国内導入するためには、中環審において UN 規則の導入によって日本の環境がより良くなるということが了承され、国内の試験法及び規制値を UN 規則に調和させるという答申がなされなければならない。

このように、環境に関する UN 規則の国内導入は容易ではないが、自動車騒音の主要な UN 規則である R51（四輪車の騒音）は、WP29 傘下の騒音専門家会議（以下「GRB」という。）において、試験法及び規制値の全面改正の作業が行われていたため、国土交通省は、改正後の R51 を国内に導入できるような基準とすべく、環境省及び JASIC と協力して GRB に規制値等の提案を行い、また、関係する欧州政府に働きかけを行ってきた。

## ２．２．R51（四輪車の騒音）の概要

現行の四輪車の騒音に関する UN 規則である R51 の第 2 改訂版（以下「R51-02」という。）で規定されている加速走行騒音の試験法は、日本の保安基準の加速走行騒音試験法とほとんど同じであり、どちらも ISO（国際標準化機構）の規格である ISO362 に基づいている。一例として乗用車の試験法の概要を図 1 に示す。50km/h の定常走行で、試験車両の車両中心線が図に示す基線と一致するように走行させ、車両先端が AA ラインに達した時にアクセルを全開にし、アクセル全開を保ったまま、車両後端が BB ラインに達した時にアクセルを全閉にする。その時に、基線から 7.5m、高さ 1.2m の位置に設置したマイクロホン（R51 は左右、日本は左側のみ）で測定された最大騒音レベルを求める。しかし、実走行時において、乗用車でアクセルを全開にすることはほとんど無いため、試験時と実走行時の車両状態が一致しない場合があると考えられる。図 2 は、ある乗用車で加速走行騒音の測定を行った時の速度と加速度を測定した結果で、マイクロホンの位置を 0m として、車両の位置と、速度及び加速度の関係を示したものである。-10m の AA ライ

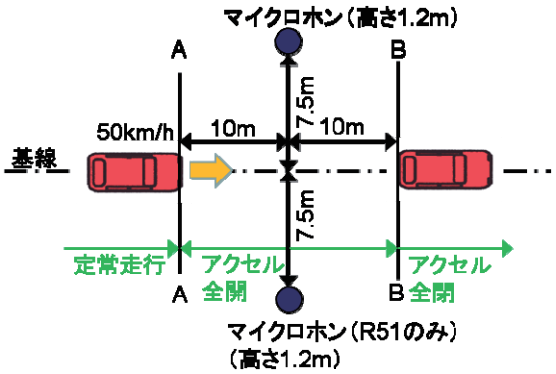



図 1　現行の加速走行試験法の測定の概要

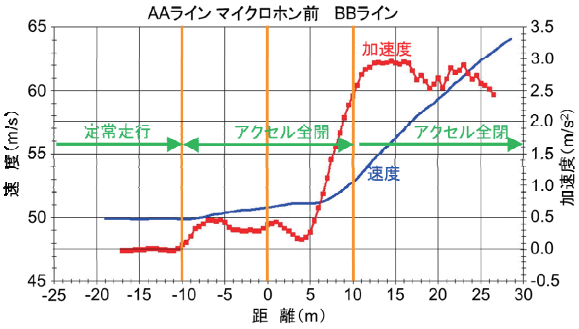



図 2　乗用車における加速走行騒音測定を行った時の速度と加速度を測定した結果(1)

ンでアクセルを全開したにもかかわらず、加速度は、マイクロホンの前を 5m 程度通過したところから上昇し始めていた。この結果は、第 38 回 GRB（2003 年 9 月）において欧州の研究機関から報告(1)されたもので、アクセル操作に対して車両の加速が遅れる場合、車両本来の加速走行騒音を評価することができないという問題点が指摘された。この指摘を受けて、GRB では R51-02 の試験法の全面的な改正に着手した。試験法の検討に当たり、日本や欧州各国から市街地における走行実態の結果が報告され、それらを基に市街地における代表的な加速度が検討され、その加速度で走行した時に発生する騒音を評価できる新たな試験法が検討された。

R51-03 改正案の新試験法は、一般的な市街地走行において発生しうる最も大きな騒音レベルを規制するという考え方に基づいて検討された手法で、日本や欧州における市街地走行の結果から、車両の PMR（power to mass ratio：車両の最高出力と重量との比（単位 kW/t））の関数として定義された、市街地走行を代表する加速度 $\alpha_{urban}$ での騒音レベル $L_{urban}$ を規制するものである。ただし、図 1 に示す AA-BB 間を $\alpha_{urban}$ の一定加速度で走行することは難しいため、

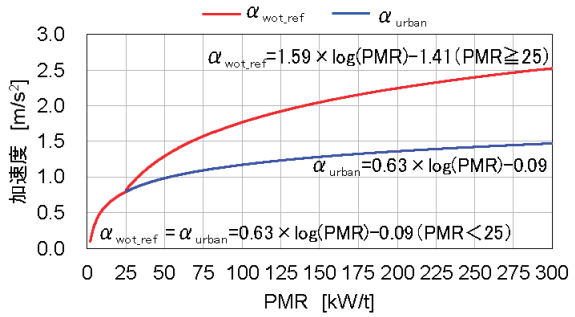



図 3　全開加速における目標加速度 $\alpha_{urban}$ 及び市街地における代表的な加速度 $\alpha_{wot_ref}$ と PMR との関係

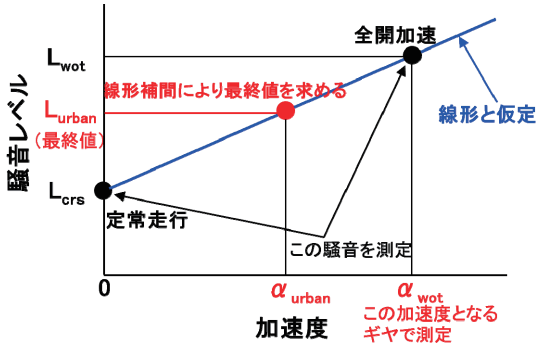



図 4　市街地における騒音レベルの求め方

$L_{urban}$ は、全開加速走行騒音と定常走行騒音の騒音レベルを測定することによって、計算で求めることとなっている。全開加速走行騒音は、マイクロホン前での速度が 50km/h となるように AA ラインでの進入速度を調節して、AA-BB 間をアクセル全開で走行した時に、左右のマイクロホンで測定される騒音レベルの最大値 $L_{wot}$ である。この時、車両の PMR の関数として定義された全開加速の目標加速度 $\alpha_{wot_ref}$ で走行するようにギヤを選択することとなっている。これによって、図 2 に示すような走行を行う車両は排除されることとなる。また、定常走行騒音は、全開加速走行騒音の測定で使用したギヤにおいて、50km/h の一定速度で AA-BB 間を走行する時にマイクロホンで測定される騒音レベルの最大値 $L_{crs}$ である。図 3 に、全開加速における目標加速度 $\alpha_{wot_ref}$ 及び市街地走行を代表する加速度 $\alpha_{urban}$ と PMR との関係を示す。市街地走行を代表する加速度 $\alpha_{urban}$ における騒音レベル $L_{urban}$ の求め方は、図 4 に示すように、加速度と騒音レベルが線形の関係にあると仮定し、加速度を 0m/s² とした定常走行騒音のレベル $L_{crs}$ と、全開加速走行騒音を測定した時の加速度 $\alpha_{wot}$（実測値）における騒音レベル $L_{wot}$ から、$\alpha_{urban}$ での騒音レベル $L_{urban}$ を線形補間によって求める。この新たな試験法は 2005 年に完成し、

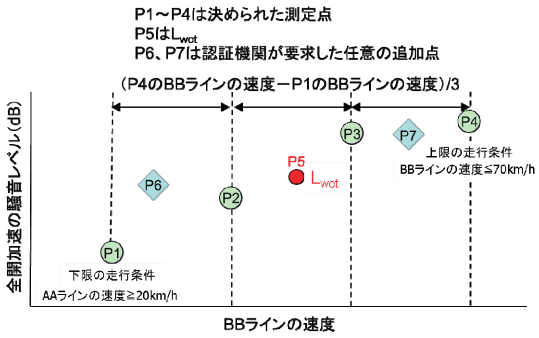



図 5　ASEP の試験法における測定点

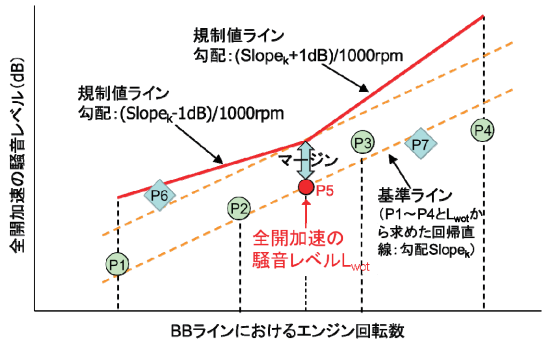



図 6　ASEP の考え方

R51-03 改正案のフォーマルドキュメント(2)に盛り込まれ、第 42 回 GRB（2005 年年 9 月）で承認された。

また、R51-03 改正案では、新試験法の規制値は満たすものの、他の走行条件では大きな騒音を発生する車両を排除するための試験法も追加されている。この試験法は、「ASEP（Additional Sound Emission Provisions）」と呼ばれており、図 5 に示すように、規定された走行条件 4 点（P1～P4）と、認証機関からの要求に応じて追加した任意の走行条件 2 点（P6、P7）について、全開加速での騒音レベルを測定し、それらのレベルがエンジン回転数に対して線形の関係にあるかを確認するものである。測定点のうち規定された走行条件 4 点とは、下限の走行条件が AA ラインで 20km/h（P1）、上限の走行条件が BB ラインで 70km/h（P4）、P1 と P4 の BB ラインにおける速度を 3 等分した速度となる走行条件（P2、P3）の計 4 点である。それ以外に、認証機関が要求した任意の追加点 2 点について、全開加速走行の騒音レベルを測定する。それらの結果について、図 6 に示すように、横軸に BB ラインでのエンジン回転数をプロットし、P1～P4 及び $L_{wot}$（P5）の 5 点の回帰直線を求め、その傾きを $Slope_k$ とし、$L_{wot}$ の騒音レベルにマージンを加えた点を基準に、1000rpm 当たり $Slope_k$±1dB のラ

インを規制値ラインとして、P1～P4 の結果及び認証機関が要求するどのような条件で測定しても規制値ライン以下の騒音レベルとなることが要求されるものである。

### ２．３．R51-03 改正案の試験法の妥当性の検証

日本における R51-03 改正案の国内導入の検討は、R51-03 改正案の新試験法が GRB で承認された後に開始されたため、まず、試験法の妥当性についての技術的な検討が、中環審大気・騒音振動部会に設置されている自動車単体騒音専門委員会（以下「自騒専」という。）において行われた。試験法の妥当性の検討のための調査は、交通研が環境省の受託調査として実施した。

乗用車 7 台、貨物自動車計 4 台について市街地走行を行い、代表的な速度及び加速度を求め、R51 改正案で規定されている $\alpha_{urban}$ と比較した。走行ルートは、平成 17 年度全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）、平成 19 年度自動車交通騒音調査結果（東京都環境局）を参考に、沿道での騒音が環境基準を超過し、日本の道路の平均的な交通量及び旅行速度である道路として国道 20 号線と国道 16 号線を選定した。時間帯による交通量の違いを考慮し、朝昼夕方のそれぞれに 1 往復を行い、停止時を除いた時の速度及び加速度の頻度分布を求めた。図 7 に市街地走行における

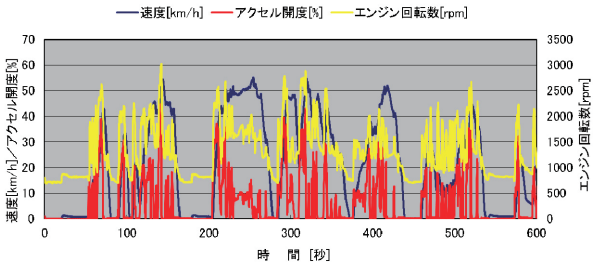



図 7　市街地走行の測定結果の一例
（乗用車（CVT 車：PMR=67.3kW/t））

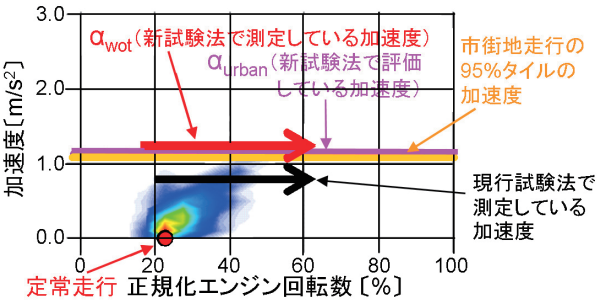



図 8　市街地走行におけるエンジン回転数及び加速度頻度分布の結果（乗用車（CVT 車：PMR=67.3kW/t））

測定結果の一例を、図 8 にエンジン回転数及び加速度頻度分布の結果を示す。この結果から、R51-03 改正案の新試験法で評価している $\alpha_{urban}$ は、日本においても代表的な走行条件であると考えられた。また、テストコースにおいて騒音測定を行い、加速度と騒音レベルとの関係を調べ、R51-03 改正案で仮定している加速度と騒音レベルの線形性が妥当であることを確認した。これらの結果は、自騒専に報告され、R51-03 改正案の妥当性の審議に活用された。

### ２．４．R51-03 改正案の規制値の議論について

GRB における R51-03 改正案の規制値の議論は、欧州委員会（EC）から第 52 回 GRB（2010 年 9 月）に提案された規制値案を基に検討が始まった。EC の規制値案は、認証試験時に R51-02 の現行の試験法と、R51-03 の新試験法の両方で測定を行い、両方の結果のデータベースを基に検討された。この 2 つの試験法による認証試験はダブルテストと呼ばれ、R51 採択国である欧州各国は 2 年間行うことが EC より義務付けられた。

日本は、国内での受け入れが可能な規制値にするために、日本における環境騒音の実態を踏まえ、確実に道路交通騒音が改善され、かつ実行可能な規制値にするため、自騒専において自動車業界等へのヒアリングを行い、日本提案をとりまとめ GRB へ提案した。またドイツや中国からも独自の提案が行われた。そのため、R51-03 改正案の規制値を検討するためのインフォーマル会議が設置され、関係各国で調整が行われることとなった。インフォーマル会議へは国土交通省、環境省及び JASIC から参加し、自騒専等における議論を踏まえた規制値等の提案を行った。

### ２．５．WP29 における R51-03 改正案の承認

R51-03 改正案の規制値検討のためのインフォーマル会議は 2014 年 2 月から 6 月までの間に 4 回開催され、日欧独中の間で合意に至り、規制値の最終案が R51-03 改正案のフォーマルドキュメントに盛り込まれた。最終案は第 60 回 GRB（2014 年 9 月）において満場一致で承認されて、WP29 へ上程されることとなった。しかし、GRB で承認された後に、中国から一部のカテゴリーの車種について規制値の追加緩和提案が提出され、第 61 回 GRB（2015 年 1 月）に中国提案を認める R51-03 改正提案が提出された。そのカテゴリーは日本で生産されている車両も該当するため、日本から改正提案に対して修正を求めた。その結

果、日本の主張が認められ、中国から提案された緩和規定が日本へ影響を及ぼさないように修正されたドキュメントがR51-03改正案の最終案としてGRBにおいて了承され、フォーマルドキュメント[3]としてWP29へ上程され、第166回WP29（2015年6月）においてR51-03が成立した。

### ２．６．中環審の答申及びR51改正案の国内導入

自騒専では、R51-03改正案の試験法の妥当性と規制値について検討を行い、また、現在日本で行われている自動車騒音規制をR51-03改正案に変更する時の問題点について審議を行った上で、「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について（第三次報告）」（平成27年6月11日）をとりまとめた。中環審大気・騒音振動部会において報告の内容が了承され、R51-03の加速走行騒音試験法を導入し、その許容限度目標値及び適用時期についても調和を図ることが適当であるとの内容を含む、「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について（第三次答申）」（平成27年7月29日）が環境大臣に対して答申された。これに基づき、環境大臣が許容限度を定め、国土交通省においてR51-03の国内導入に向けた保安基準改正作業が行われる予定である。

## ３．ハイブリッド車等の静音性対策に関する新UN規則の制定について

### ３．１．ガイドラインの策定

交通研フォーラム2014で概要を述べたように[4]、ハイブリッド車や電気自動車が低速走行時にモーターのみで走行している時は、静か過ぎて車両の接近に気がつかないため危険との指摘が、視覚障害者やユーザーから国土交通省へ寄せられた。そのため、国土交通省は、2010年1月に「ハイブリッド車の静音性対策に関するガイドライン」を公表した。このガイドラインでは、モーターのみで低速走行している時は音で車両の接近を知らせることとしており、車両接近通報装置が満たすべき要件を示したものである。

ハイブリッド車等の静音性については、米国や欧州でも問題となり、GRB傘下に基礎調査を行うインフォーマル会議が設置された。日本は、ガイドラインの公表と同時に、GRBやインフォーマル会議においてガイドラインの説明を行うとともに、ガイドラインに基づく接近音のデモを行い、理解を求めた。その結果、日本のガイドラインがほぼそのまま受け入れられる形で国際基準のガイドラインがWP29で承認された。

図9　テストコースにおける接近音の試験法の検証

図10　視覚障害者を対象とした体験会

### ３．２．GTRインフォーマル会議における活動

国際基準のガイドラインが制定されると米国が中心となってGTRのためのインフォーマル会議の設置を提案し、2012年7月に第1回会合が行われた。議長は米国が、副議長は日本から交通研が、事務局はECが担当することとなった。第1回会合において日本は、国際基準のガイドラインをベースにGTRを策定することを提案し、EC、フランス、ドイツ、国際自動車工業連合会等のサポートを得たが、米国提案と相反している部分があることから、米国の支持は得られなかった。

交通研は、国土交通省の受託調査として認知性試験等を実施し、接近音の要件であるオーバーオールの騒音レベルや1/3オクターブバンドの周波数の要件等について、第2回以降のインフォーマル会議において提案を行ってきた。また、ISOから提案されている、接近音の音量の測定方法の妥当性の検証を行った。さらに、日本の提案を基に試作した接近音を視覚障害者の方に聴いてもらう体験会を行い、GTRの基準案に対して理解を求めてきた。図9にテストコースにおける接近音の試験法の検証の様子を、図10に視覚障害者を対象とした体験会の様子を示す。日本の提案は、ECや欧州各国から受け入れられ、日本の提案をベースとしたGTR案が検討された。一方、米国は独自の基準案を検討しており、2013年1月に公表し国内外から

コメントを求めた。米国の提案は、日本の提案よりもかなり大きい音量を要求しているため、GTR 案は日本と欧州による提案と、米国提案の二つが併記される形となった。

### ３．３．UN 規則のためのインフォーマル会議の設置

GTR のインフォーマル会議のマンデート期限は 2014 年 11 月であったため、2014 年 4 月に GTR 案を一本化するためのインフォーマル会議が開かれた。しかし、米国は国内法が発効するまでコメントが出せないことから次回以降の会議の開催は延期となった。

一方、欧州では、GTR のインフォーマル会議が設置されると、GTR の成立後に欧州内で基準化を行うための準備を進めていた。しかし、GTR のインフォーマル会議が開催される目処が立たなくなったため、第 163 回 WP29（2014 年 6 月）において、GTR インフォーマル会議議長から、GTR と平行して UN 規則を検討する提案が出され、承認された。第 60 回 GRB に提案された UN 規則のためのインフォーマル会議の TOR 案が承認され、第 164 回 WP29（2014 年 11 月）において UN 規則のためのインフォーマル会議が承認された。これによって、GTR 及び UN 規則のためのインフォーマル会議が同時に設置されることとなった。インフォーマル会議の議長はドイツとフランスが、副議長は日本から交通研が、事務局は EC が担当することとなった。

### ３．４．UN 規則の制定及び国内導入

UN 規則のための第 1 回インフォーマル会議は、2014 年 12 月に東京で開催された。３．２．で述べたように、この時の GTR 案は日本と欧州による提案と、米国提案の二つが併記されていたため、日本と欧州による提案を基に UN 規則案の検討を開始した。音量や周波数については日本からの提案が盛り込まれており、論点となるところが限られていたため、2015 年 5 月韓国のソウルで開催された第 4 回インフォーマル会議において UN 規則案は了承され、フォーマルドキュメント[5]として第 62 回 GRB（2015 年 9 月）に提案された。UN 規則案は GRB で承認され、WP29 に上程された後、最速で第 168 回 WP29（2016 年 3 月）において承認される予定である。承認されれば、日本のガイドラインが発端となって新規則に至った初の UN 規則となる。

本案件は日本が世界に先駆けて公表したガイドラインを基にしているため、国土交通省は UN 規則発効後、早期の義務付けを目指している。なお、現在の UN 規則案は四輪車のみを対象としているため、日本では、電動二輪車に対して義務付けを行うかどうかを検討するための基礎調査を実施している。

## ４．まとめと今後の展開

自動車の騒音等の国際基準調和の活動として、官民が一体となって取り組んできた UN 規則の国内導入や、新規 UN 規則の作成について紹介した。今回触れなかったが、R51-03 以外に R117（タイヤ単体騒音、ウエットグリップ性能、転がり抵抗性能）についても国内導入されることが中環審の第三次答申に盛り込まれている。また、R41（二輪車の騒音）についてはすでに国内導入済みであり、四輪車及び二輪車の自動車騒音に係る型式認証試験の基準については、すべて国内導入されることとなる。なお、R51-03 の規制値は Phase1 から Phase3 まで 3 段階で強化されることとなっているが、Phase3 の規制値は今後検討されることとなっている。今後は、R41 の規制値強化を含め、規制値検討のためのデータ取りを行い、UN 規則採択国として規制値の提案を行っていく予定である。

一方、ハイブリッド車の静音性対策については、米国の国内法が発効すると GTR のインフォーマル会議が再開される予定であり、UN 規則と整合させて GTR として一本化するための議論が行われる予定である。

## 参考文献


(1) Steven, H., "Results of pass-by noise measurements carried out within the frame of a running UBA project," 38th GRB Informal Doc. No.1, 2003

(2) TRANS/WP.29/GRB/2005/5, PROPOSAL FOR DRAFT AMENDMENTS TO REGULATION No. 51, 29 July 2005

(3) ECE/TRANS/WP.29/2015/62, Proposals for the 03 series of amendments to Regulation No. 51 (Noise of M and N categories of vehicles), 10 April 2015

(4) 坂本他、ハイブリッド車等の静音性対策に関する世界統一基準のための調査研究、交通安全環境研究所フォーラム 2014　講演概要、2014 年 11 月

(5) ECE/TRANS/WP.29/GRB/2015/9, Proposal for a new Regulation concerning the approval of quiet road transport vehicles (QRTV), 23 June 2015

# 講演７．自動車基準の国際調和活動における交通安全環境研究所の役割と今後の展望

自動車基準認証国際調和技術支援室　　成澤 和幸

## １．はじめに

自動車の技術基準を国際調和する取り組みは国連の自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29、以下「WP29」という）で進められている（図１）。WP29 では、自動車の装置等に関する型式認可の相互承認協定（以下「1958 年協定」という）と自動車の世界統一基準を策定する協定（以下「1998 年協定」という）を扱っており、我が国はこれらの協定下で国連規則（UN Regulation、以下「UN-R」という）や世界技術規則（Global Technical Regulation、以下「UN-GTR」という）の制定、改訂作業に積極的に参加している。交通安全環境研究所は政府を補佐する立場から WP29 の下に組織されている様々な会議に参加し、基準の原案作りや修正等の作業に加わっている。

自動車の技術基準は、安全性に関するものと環境性能に関するものに大別される。ここでは、自動車基準の国際調和に関し、最近の動向と今後の展望について、交通安全環境研究所の役割を中心に概説する。

## ２．最近の動向

図１に示す WP29 及び WP29 傘下の各専門家会議（GRs）において交通安全環境研究所が積極的に関わっている最近の課題を主に概説する。

### ２．１．WP29

自動車に係る認証の相互承認を「装置単位」から「車両単位」へ発展させる、国際的な車両型式認証の相互承認制度（IWVTA; International Whole Vehicle Type Approval system)整備のための議論が最終段階を迎えている。基本規則である UN-R0 の骨格がほぼまとまった。ロシアの修正提案等を考慮した上で、投票にかけられる予定であり、1958 年協定の改正と合わせて 2016 年の成立を目指している。自動車審査部の業務実施に係わることから、自動車審査部職員が活動に参加した。

2014 年 11 月に開催された WP29 において、自動運転（ITS/AD; Intelligent Transport Systems/Automated Driving）インフォーマルグループを WP29 直下に立ち上げることが了承された。日本と英国が共同議長となり、自動運転に関する定義や国際基準の策定に必要な検討項目等を議論することになった。交通安全環境研究所は国土交通省を補佐するためにこの活動の事務局を務めている。

### ２．２．灯火器（GRE）

灯火器に関する相互承認のための UN-R に関しては、UN-R6（方向指示器）、UN-R7（車幅灯、尾灯、制動灯、側端灯）、UN-R48（四輪車灯火器取り付け）等、10 を超える規則が存在している。技術の進歩に従って変更が必要となる場合、一度に多くの規則を同時に改定する必要が生じる、という欠点を持つ。そこ

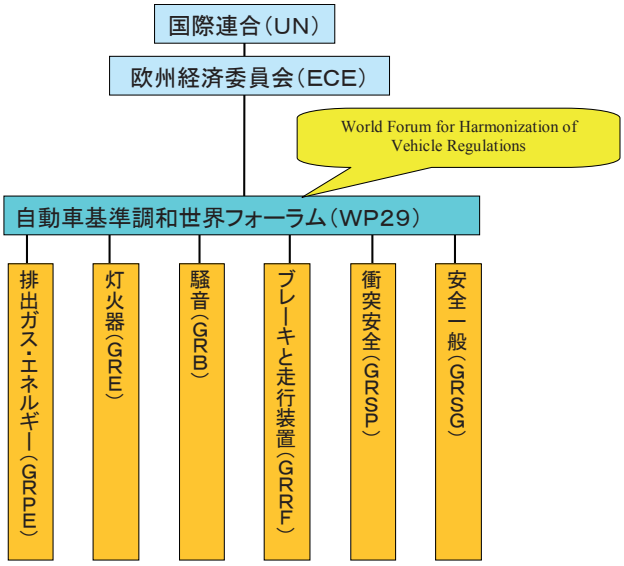



図１　自動車技術基準の国際調和活動を行う組織

で、複数の規則を統一して簡素化するための議論を行っている。現在、UN-R48 に PartⅡを設け、灯火関係部品の共通要求項目をまとめる、と言う提案がなされている。

### ２．３．ブレーキと走行装置（GRRF）

GRRF では近年自動運転に関係する基準の議論が急速に進展している。日本の提案により車線維持支援装置（LKAS; Lane Keeping Assist Systems )の基準化を検討するための ad-hoc グループの設立が認められ、交通安全環境研究所の客員研究員が共同議長を務めている。日本は、将来の技術開発を阻害しない性能基準の規則を定めるべきとの立場で望み、現在、基準案がまとまった段階である。交通安全環境研究所の試験路で認証試験の実施可能性を検証し、基準案の検討に貢献した。（図２）

一方、ドイツは自動駐車（RCP ; Remote Controlled Parking)の要件の必要性を主張し、上述の ad-hoc グループでこれを取り扱うこととした。現在、ガイドライン案を作成した段階である。これに対し、GRRF 本会議において、ガイドラインではなく、基準にすべきとの意見を持つ国があり、ドイツを中心に基準案を検討している。

このような活動を続ける中で、現在 10km/h 超での使用が禁止されている自動操舵に関する規則（UN-R79）を改定するため、日本とドイツが共同議長となり、自動操舵（ACSF; Automatically Commanded Steering Function）インフォーマルグループが設立された。先に述べた WP29 直下の ITS/AD と連携を取り、将来の自動操縦技術に道を開くための議論を開始した。重要な課題であるため、交通安全環境研究所では自動車安全研究領域と自動車審査部それぞれから職員が参加する体制を取っている。

図２　曲線路における LKAS 試験法の検討

### ２．４．衝突安全（GRSP）

衝突安全関係では、新規則の導入としてポール側面衝突の UN-GTR No.14 が 2013 年 11 月に、UN-R135 が 2014 年 11 月に成立した。さらに、既存の試験法の改良、改定について議論がなされている。

歩行者保護(Pedestrian safety）に関する UN-GTR No.9 Phase2 は活動への重要な参加国の一つである米国の研究結果、技術的検討を待っている状態で作業が停止している。しかし、停止している UN-GTR と同内容である UN-R127 は日本も賛成して既に成立しており、試験範囲の見直しが 2015 年 5 月の GRSP で合意された。ヘッドレスト(Head restraints)に関する UN-GTR No.7 Phase2 も、米国の研究結果、技術的検討を待っている状態で進捗が停止していたが、2016 年 12 月の成立に向けて議論を再開した。

シートベルトに関しては、シートベルトリマインダーについて、日本が EC 及び韓国と共同で装備義務座席および対象車種拡大の提案を行った。

チャイルドシートに関する相互承認のための新規則が UN-R129 として成立したが、ブースターシートを対象とする等の改定の議論が継続的に行われており、日本も積極的に参加している。交通安全環境研究所の職員が専門的知見を活かし発言を行っている。

前面衝突に関しては、既存のオフセット前面衝突試験法（UN-R94)での、高齢者保護の見直しと、新たに、UN-R にフルラップ前面衝突試験法を取り入れる改正に関して議論が行われてきた。日本も積極的に議論に参加し、交通安全環境研究所で実施した調査結果（図３）の報告を職員が行った。そして、女性乗員保護や、高齢者保護を念頭においた傷害値、衝突試験時のシートベルト経路の規定等の提案を行い、それらを反映させた基準が 2015 年 5 月の GRSP で合意され

図３　前面衝突模擬スレッド試験

た。

電気自動車の安全性関係では、既に成立しているUN-GTR No.13を基に燃料電池自動車の安全性基準であるUN-R134が成立した。また、二輪自動車のための電気安全性能要件がまとめられ、新UN規則として成立することになった。

また、電気自動車の安全基準を検討するUN-GTR活動（EVS; Electric Vehicle Safety)が進められている。当初、2014年にGTR案をまとめる予定であったが、作業が遅れている。交通安全環境研究所は事務局を担当するとともに、専門的な項目を議論するタスクフォースグループ（TF)のリーダーも務めている。

### ２．５．排出ガス・エネルギー（GRPE)

2014年3月にUN-GTR No.15（乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP; Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）は成立したが、幾つかの未解決の課題が残されたままになっている。これは国際調和試験サイクル（WLTC; Worldwide Light-duty Test Cycles）を欧州に導入するための期限が迫っていたため、UN-GTR成立を優先したことによる。そこで現在残された課題を解決するためのWLTP Phase1b活動を行っている。2015年末を目途に結論を出す予定である。交通安全環境研究所はこの活動に引き続き積極的に関与することとし、インフォーマルグループの副議長と電気、ハイブリッドサブグループの共同議長を務めている（図４)。未解決課題としては、試験で得られた排出ガス値の補正方法、電気自動車の走行距離の測定法がある。交通安全環境研究所で得られた試験結果を提出し議論に加わった。

WLTPについては、Phase1bが終了した後、Phase2の活動が予定されている。現在、検討すべき課題を選定する作業が続けられており、OBD(On-Board Diagnostics)、低温試験、高地試験等の課題があげられている。

二輪車等の排出ガス基準の整備を行う活動（EPPR; Environmental and Propulsion Performance Requirements of L-category vehicles）が続いている。現在、二輪車の蒸発ガス試験法についてGTR案がまとまったところである。引き続きOBDに関してもGTRの作成を目指している。

電気自動車やハイブリッド自動車などの電動車両の環境性能基準の必要性を議論するインフォーマルグループ（EVE; Electric Vehicles and the Environment）では、現状の技術状況を解説するとともに、将来のUN-GTR化を推奨する項目を記載したレファレンスガイドを完成させ2014年11月にWP29で正式承認された。現在、UN-GTR化推奨項目をさらに吟味する新たな活動に入っている。日本としては引き続き積極的に関与して行く予定である。交通安全環境研究所の職員が副議長を務めている。

粒子測定プログラム(PMP; Particle Measurement Programme）では、Phase2として粒径23nm以下の粒子の規制の必要性や測定精度を高めるための技術的検討を行っている。なお、最近、ロシアが自動車のブレーキやタイヤから発生する粉塵について基準化の可能性を検討すべきという問題提起を行ったが、実態調査等の研究から行うべきとの結論になった。

韓国から車室内の、いわゆるシックハウス症候群物質規制（VIAQ; Vehicle Interior Air Quality）の必要性について提案がなされ、実態把握を中心にインフォーマルグループ活動が開始された。ここでもロシアが車室内に回り込む排気ガスについても検討すべきとの提案を行った。

### ２．６．騒音（GRB)

加速騒音規制のための規則として二輪車用のUN-R41と乗用車用のUN-R51の二種があり、UN-R41については既に国内に取り入れられている。

乗用車用のUN-R51についても、将来の国内導入を睨んで、日本から積極的に規制値提案を行った。その結果、欧州委員会等との調整が付き、新試験法、規制値を含むUN-R51改訂案が2015年6月にWP29で承認された。これは前述したIWVTAにおける認証項目の一つであり、重要な進展である。

ハイブリッド車など静かな電動車両が視覚障害者、子供、老人等の歩行時の安全性低下につながることの懸念から、電気、ハイブリッド自動車静音性（QRTV; Quiet Road Transport Vehicles）インフォーマル会議が設置され、UN-GTRの検討を行っている。

図４　電気、ハイブリッドサブグループ会議

このインフォーマル会議の議長は米国が担当し、副議長は交通安全環境研究所の職員が務めている。日本や欧州は既に定められている、WP29 のガイドラインをベースに基準化を進める方針を取ったが、米国がこれに難色を示している。当初の予定では、2014 年 9 月までに UN-GTR 案を作成する予定であったが、活動が一次中断している状態である。

このような状況下で、欧州が、既に存在するガイドラインに近い形で 1958 年協定の下に UN-R を先に整備する、という提案を行った。日本としては、UN-GTR と UN-R の内容を整合させるべきという基本方針を取っており、仮に UN-GTR が後から成立した場合は、その内容を UN-R に反映させることを条件に、議論に参加している。現在、UN-R 案がほぼまとまった段階である。

### 2．7．安全一般（GRSG）

間接視界の現行基準である UN-R46 では光学的な後写鏡の代替として電子カメラを用いたモニタシステム（CMS; Camera Monitor Systems)を用いることが認められていない。しかし、デザイン性の向上、空気抵抗の改善、視線移動の最小化等が期待されることから、CMS の代替使用を検討するカメラモニタインフォーマルグループが設置された。交通安全環境研究所は車室内のモニタ画面の設置位置、夜間の見え方等の評価を行って議論に反映させた（図５）。現在、基準案がほぼまとまって WP29 での承認を待っている状態である。

衝突時などの緊急時に車両の現在位置を自動発信し、消防等による救助を容易にするための自動緊急連絡システム（AECS; Automatic Emergency Call Systems）の基準作成についてロシアから提案がありインフォーマルグループが立ち上げられた。発信トリガーの方法、車両からコールセンタへ送信する情報（MSD; Minimum Set of Data）の内容と取り扱い、自動緊急連絡装置の試験方法及び通信衛星の利用方法を議論している。特に、衛星測位システムや通信インフラについては国家間で差異があり、車両基準の国際調和での関係整理が課題である。

## 3．今後の展望

交通安全環境研究所は、研究成果の提供だけでなく、議長、副議長、事務局として基準作成のためのインフォーマルグループの運営に深く関わるなど様々な活動を通じ、UN-R、UN-GTR の作成あるいは改訂に積極的に協力している。引き続きこの体制を維持する。また、自動車審査における国際連携の強化のために自動車審査部職員が基準と認証の国際調和活動に継続して参画する体制を取るとともに、国際基準の試験手法等に係る知見を審査に活用していく。

自動車安全関係では、自動運転が今後の活動のキーワードになるであろう。10km/h 超での使用が禁止されている自動操舵に関する規則の改定が当面の課題であるが、今後様々な自動運転技術の基準化が図られると思われる。また、カメラモニタ、自動緊急連絡システムのように高度に電子化された機器の認証に関する議論が増えると予想される。

環境関係では、今まで主たる対象であった、エンジン燃焼に由来する排気管からの大気汚染物質だけで無く、ブレーキ粉塵、内装材からのシックハウス症候群物質など新たな有害物質が検討の対象となってきている。水素や他のガス燃料を用いた代替燃料自動車の排出ガス、燃費基準や電気自動車に関わる環境性能の議論など、従来の枠組みではとらえきれない課題が増加する気配である。

現在、日本の提案で、国際的な車両全体を対象とした型式認可の相互承認制度（IWVTA）の整備が進められている。排出ガス、燃費基準を IWVTA 認証項目として整備する活動に協力するとともに、国連の動きに対してすみやかに対応できるよう自動車審査体制の充実が望まれている。

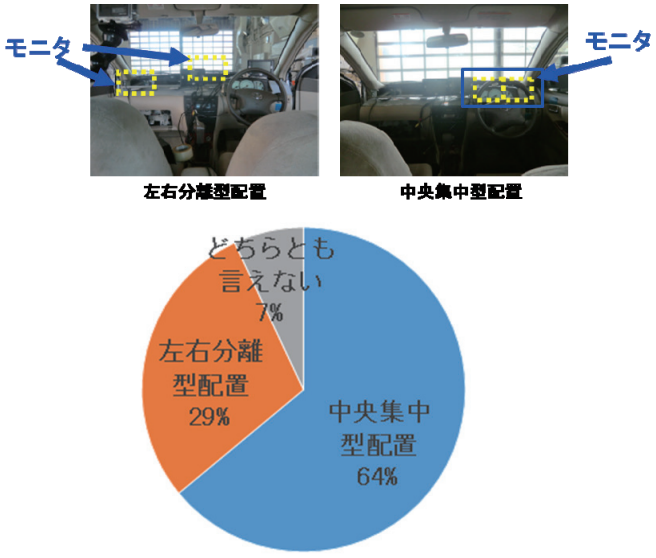



図５　カメラモニタ画面の配置に関する意見集約

# 講演８．自動車審査部における審査の概要について

自動車審査部　　佐竹　克也

## １．はじめに

自動車を購入し使用する際は、その自動車が安全・環境上の基準に適合していることを、運輸支局にて行われる検査により確認することになっています。この検査を効率的に行うため、自動車及び自動車装置（以下「自動車等」という）について、生産段階で安全・環境基準に適合していることを確認する型式指定制度が設けられています。

自動車審査部は、この型式指定制度の業務の一環として、販売が予定されている自動車について、申請により安全・環境基準の適合性の審査をサンプル車により行うわが国唯一の機関です。

審査の目的は、安全・環境基準に適合しない自動車が市場に出回ることを防止することにあり、審査の実施に当たっては、厳正かつ公正に行う必要がありますが、併せて、自動車が技術革新の進展が著しく、また国際的な流通を念頭に置いた商品であることに鑑み、合理的に行うことも重要です。

審査を合理的に実施する１つの取り組みとして、安全・環境基準や認証制度の国際調和があり、ここでは、自動車の国際基準調和に向けた取り組みに言及しつつ、昨今の自動車審査部の取り組みを概説します。

## ２．業務実績

平成２６年度に自動車審査部が行った審査業務の実績については、自動車（車両）にあっては新規申請及び変更申請合わせて３９５３型式、自動車装置にあっては新規申請及び変更申請合わせて４９３型式となっています（図１参照）。

また、メーカーの設計・開発をより円滑に進めるため、審査業務に先立ち、試験等を行う先行受託試験については、平成２６年度は２２５件（対前年度比７８件増）の受託があり、積極的な活用が進んでいます。

よく活用された試験を例示しますと、前面衝突時の乗員保護試験、灯火器取付試験、排出ガス・燃料消費率試験、騒音試験、諸元測定試験、となります。

さらに、車両等の型式認定相互承認協定（いわゆる１９５８年協定）に基づく、日本政府による装置型式指定認可証の（Ｅ４３）発行については、概ね国内で使用される突入防止装置及び大型後部反射器を除くと、平成２６年度は１０７件（対前年度比４１件増）と、積極的な利用が進んでいます。

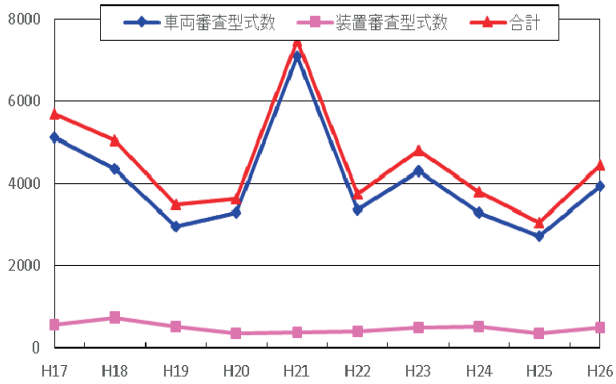



図１　審査型式数の推移

## ３．国際基準調和に向けた取り組み

国際基準調和の取り組みについては、いわゆる１９５８年協定に基づく国連協定規則（ＵＮ規則）、及び、車両等の世界的技術基準協定（いわゆる１９９８年協定）に基づく世界統一技術規則（ＧＴＲ規則）が、日本の安全・環境基準として採用された場合、自動車審査部では、基準に基づく試験の詳細な取扱いを定めた試験規程（いわゆるＴＲＩＡＳ）を定め、厳正かつ公正な業務を実施しています。

昨今の国際基準調和の取り組み状況として、ＵＮ規則・ＧＴＲ規則を直接引用することなったＴＲＩＡＳを念頭に、以下に紹介します。

### ３．１．予防安全関係

ブレーキについて、乗用車及びトラック・バスともに、平成２６年度にそれぞれＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを制定しました。平成２７年度上半期までに５４件の試験を行うとともに、装置型式指定認可証（Ｅ４３）が１５件発行されています。

大型車を対象とした衝突被害軽減ブレーキ及び車線逸脱警報装置について、平成２５年度にそれぞれＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを制定し、平成２７年度上半期までにそれぞれ５件及び７件の試験を行いました。

かじ取り装置について、平成２６年度にＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを制定しました。平成２７年度上半期までに試験の実績はありませんが、今後の実用化に向けた動きが見込まれる自動運転とも関わりのある試験であり、今後の活用が期待されます。

電磁両立性について、平成２４年度にＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを制定し、平成２７年度上半期までに３４件の試験を行うともに、装置型式指定認可証（Ｅ４３）が９件発行されています。また、自動車試験場において、試験実施のための施設を平成２７年度末までに完成させるべく整備を進めています。(図２参照)。

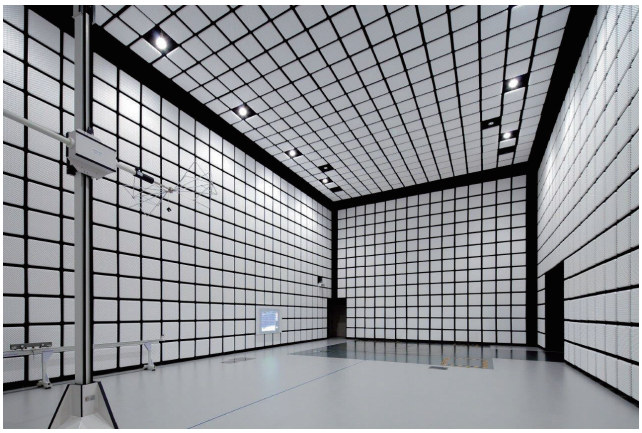


図２　電磁両立性試験施設の一例
((株)広島テクノプラザ殿の施設)

### ３．２　衝突被害軽減関係

歩行者保護について、日本提案の脚部インパクターを取り入れたＵＮ規則直接引用に係るＴＲＩＡＳを平成２６年度に制定しました。平成２７年度上半期までの試験の実績はありませんが、取り入れられたインパクターは人体忠実性のよいものであることから、今後の活用が期待されます。

水素ガス燃料装置及び水素ガス衝突燃料漏れについて、燃料電池自動車の一層の普及を念頭に、ＧＴＲ規則の直接引用に係るものとしては最初となるＴＲＩＡＳを平成２６年度に制定しました。２７年度上半期までにそれぞれ１件の試験を行っています。水素社会の実現に向けた動きに伴い、今後の活用が期待されます。

### ３．３　環境関係

騒音については、二輪車にあっては、平成２４年度にＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを制定し、平成２７年度上半期までに３５件の試験を行いました。また、四輪車にあっては、本年７月の中央環境審議会の答申等を踏まえ、ＵＮ規則の直接引用に係るＴＲＩＡＳを平成２８年に制定する方向で、調整を進めることとしています。

排出ガス・燃費関係については、規制値が関係するＵＮ規則の直接引用は行われていませんが、ＧＴＲ規則における試験走行モードについて、平成２６年度にＲＭＣ（Ramped Modal Cycle：世界統一特殊自動車排出ガス試験法における定常試験サイクル）に関するＴＲＩＡＳ、平成２７年度にＷＨＤＣ（Worldwide harmonized Heavy Duty Certification procedure：世界統一重量車排出ガス試験法）による排出ガス測定及びＷＭＴＣ（Worldwide Motorcycle emissions Test Cycle：世界統一二輪車排出ガス試験法）による燃料蒸発ガス測定に関するＴＲＩＡＳを、それぞれ制定しました。

また、ＷＬＴＰ（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure：乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法）にあっては、概ね検討が終了し、来年にもＧＴＲ規則として定められる状況にあることから、本年２月の中央環境審議会の答申等を踏まえ、排出ガス測定に係るＴＲＩＡＳを平成２８年に制定する方向で、調整を進めることとしています。

## ４．まとめ

国際基準調和活動は、認証業務において新しい基準が活用されることにより初めてその成果が上がることとなります。

自動車審査部では、国際調和された保安基準告示の公布を踏まえ、遅滞なくＴＲＩＡＳの制定を行い、新しい基準での試験をより早く、より多く行うことにより、国際基準調和活動の成果がより上がるよう、引き続き積極的な取り組みを進めてまいります。

# 講演９．リコール技術検証業務の実施状況について

リコール技術検証部　　※山﨑 孝章　　吉田 樹人　　山本 敏文　　田中 丈晴

## １．まえがき

リコール技術検証部は、平成 18 年 5 月の道路運送車両法等の改正に伴い当研究所に設置され、国土交通省からの指示により、同省がユーザー等から収集した自動車の不具合・事故に関する情報や自動車メーカー等から得た情報についてリコールに該当する可能性があるか否か、また、自動車メーカー等が同省に届け出たリコールの内容が適切か否かに関して、技術検証を行っている。加えて、場合により同省の担当官に同行して、事故・火災の現地調査等も実施している。

本稿では、昨年度に引き続き、平成 26 年度におけるリコール技術検証業務の実施状況として、事故・火災情報等の傾向について紹介するとともに、当該年度に技術検証を終了した事案に係る不具合原因の傾向及び不具合事例について、要因別に概説する。また、同年度に市場への注意喚起を行った事例として、国土交通省からの受託調査として実施した「雪道走行時の不安定挙動」につながるおそれのあるタイヤの不適切使用に関する調査結果の概要についても紹介する。

## ２．自動車不具合情報、事故・火災情報の状況

### 2. 1. 不具合情報の処理状況

自動車の構造・装置に起因する不具合の疑いがあるとして国土交通省に報告される情報には、ユーザー及びメーカーからの不具合情報のほか、メーカーからの事故・火災情報や他省庁からの情報などがあり、当部では、これらの情報について予備的な分析作業を行っている。平成 26 年度に処理を行った件数は約 9,300 件であり、前年度と比べて 6 %程度増加した。その内訳を表 1 に示す。なお、表中(※)は平成 26 年 1 月～12 月までの間の件数、その他は平成 26 年 4 月～27 年 3 月までの間の件数を表す。

表 1　平成 26 年度における不具合情報の処理件数

| | 不具合情報数 |
|---|---|
| ユーザーからの不具合情報 | 2,843 |
| メーカーからの事故・火災情報※ | 1,654 |
| メーカーからの不具合情報※ | 3,990 |
| 警察からの通報 | 312 |
| 消費者庁からの通報 | 320 |
| その他（消防等からの通報） | 171 |
| 合　計 | 9,290 |

### 2. 2. 事故・火災情報等の装置別及び原因別傾向

自動車メーカー等から報告された自動車の構造・装置に起因した事故・火災情報のうち、装置名及び原因が判明した 912 件について、装置別及び原因別に分析した結果を図 1 に示す。装置別では、原動機及び制動装置が事故・火災原因の上位を占めている。原因別では、各装置とも点検・整備が原因となることが多いが、それ以外には、原動機や制動装置では特殊な使用状況、保安・灯火装置では社外品・後付装置の使用が原因となる事例も多くみられる。全体として、点検・整備や使用状況に関連する要因が 6 割以上を占めており、これら事故・火災の未然防止のためには、ユーザーや整備事業者への注意喚起も重要であることがわかる。

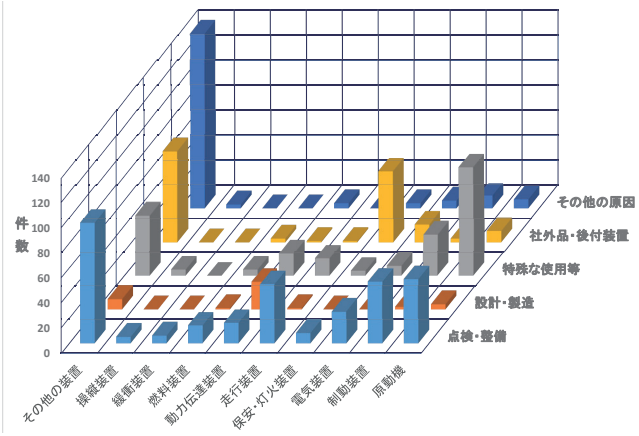



図 1　事故・火災情報の装置別及び原因別傾向

## 3．技術検証の実施状況

### 3. 1. 新規に着手した不具合装置別検証事案数

平成 22 年度から平成 26 年度の 5 年間に新規に着手した検証事案について、不具合装置別にみた検証事案数を表 2 に示す。年度合計でみると、新規に着手した技術検証事案数は 148 件であり、ここ数年の減少傾向から再び増加に転じている。装置別では、動力伝達装置の割合が増加した。また、原動機や制動装置の割合は減少しているが、これらの「走れない」「止まれない」といった事象につながる装置は、新規検証案件の 5 割強を占めている。

表 2　不具合装置別新規検証事案数の変化
（平成 22 年度～平成 26 年度）

件数（かっこ内は割合（%））

| 不具合装置 | H22 年度 | H23 年度 | H24 年度 | H25 年度 | H26 年度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原動機 | 28(19) | 39(30) | 24(25) | 16(23) | 31(20) |
| 制動装置 | 24(17) | 13(10) | 11(12) | 16(23) | 22(15) |
| 燃料装置 | 7( 5) | 10( 8) | 10(11) | 13(18) | 10( 7) |
| 動力伝達装置 | 16(11) | 21(16) | 11(12) | 8(11) | 24(16) |
| 電気・電子装置 | 4( 3) | 7( 5) | 12(13) | 2( 3) | 6( 4) |
| その他 | 66(46) | 38(30) | 27(28) | 16(23) | 55(37) |
| 計 | 145 | 128 | 95 | 71 | 148 |

### 3. 2. 検証終了事案の不具合原因の傾向

平成 26 年度に技術検証を終了した事案数は 154 事案で、内訳は乗用車 105 事案、トラック・バス 49 事案であった。このうち、不具合の発生原因が確認できなかった 2 事案を除く 152 事案について、不具合の原因傾向を検討した。具体的には、不具合原因を設計、製造、整備及び使用条件（運転操作要因や燃料品質、過積載等を含む。）に分類し、これらの複合要因とともに不具合原因の傾向を考察している。

図 2 及び図 3 に集計結果を示す。設計・製造の要因が関連している事案が、これらが複合した要因も含めると全体の 3/4 以上を占めている。当部では、リコール（設計・製造上の不具合に対する市場措置）の疑いがある不具合について検証に着手しているが、結果として整備上の問題や使用条件が原因であると判断されたものがそれぞれ 1 割程度存在していることになる。また、具体的な項目別にみると、設計要因では性能上の問題（部品、材料の特性把握が不十分など）、製造要因では作業工程上の問題（作業員のミス、製造工程が不適切など）が不具合原因となる事案が多くみられている。

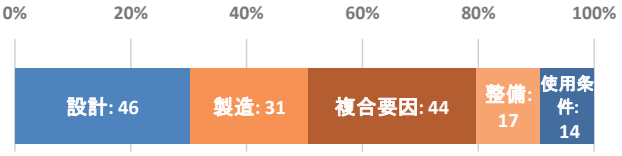



図 2　不具合要因の原因分類別の傾向

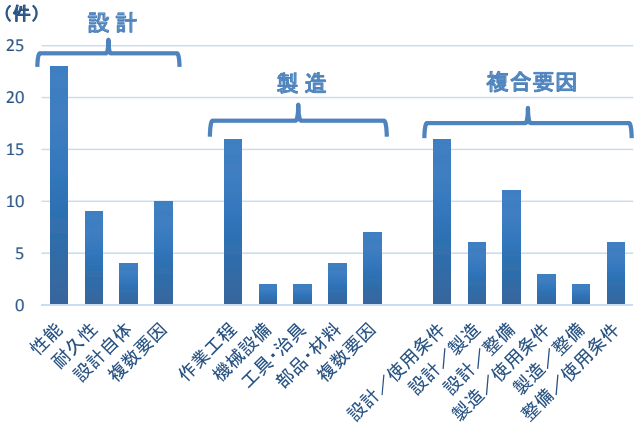



図 3　不具合要因の具体的項目別（設計・製造）・原因組み合わせ別（複合要因）の傾向

### 3. 3. 技術検証が市場措置等につながった事案

国土交通省によると、平成 26 年度のリコール届出件数は 355 件（対前年度 52 件増）、対象台数は 955 万 8,888 台（対前年度 157 万 9,249 台増）となり（いずれも速報値）、届出件数、リコール対象台数ともに過去最高となっている。このうち、技術検証がリコール及び改善届出に関連した事案数が 15 件、その他の市場措置（サービスキャンペーン、保証期間延長、市場への注意喚起）に関連した事案数が 24 件あり、関連するリコール及び改善届出の対象台数は約 84 万台であった。以下、主なものについて、前項の原因分類に沿って不具合事象の事例を紹介する。

(1) 原因が設計要因であった事案

・雨水がモーター部に侵入し、軸受の固着等が発生（エアコンの外気導入口の構造が不適切）

・自動変速機の制御システムの不具合（電源回路等の設計が不適切）

(2) 原因が製造要因であった事案

・ベアリング破損によるハンドルの不具合（ステアリングコラムの外側チューブの真円度が不適切）

・エンジンルーム内での剥離・脱落したラバーシールと触媒との接触による出火（製造時におけるラバーシールの取り付けが不適切）

(3) 原因が複合要因であった事案

・燃料噴射ポンプからの燃料漏れ（シールの製造及び形状の双方が不適切）

・ブレーキ戻り不良に伴うブレーキ引きずり及び出火（中・大型トラック及びバス：使用過程時にブレーキ・ペダルの下部に付着した泥、砂などの異物が定期点検時等に放置されることにより発生）

### 3. 4. 検証実験及び現地車両調査の実施状況

平成 26 年度の実証実験のテーマ数は 11 件（前年度と同数）であり、衝突被害軽減ブレーキの不要作動に係る再現実験、パワーステアリング失陥時の操舵力調査、大・中型車のブレーキ・ペダルに係る調査などを実施した。また、現地車両調査は 47 件（前年度と同数）実施し、国土交通省担当官に同行し技術検証に必要な資料の収集に努めた。ブレーキの引きずりによる火災事故や新技術・機構を搭載した車両の運転操作に起因する事故等の事例がみられた。

## 4．「雪道走行時の不安全挙動」につながるおそれがあるタイヤの不適切使用に関する調査

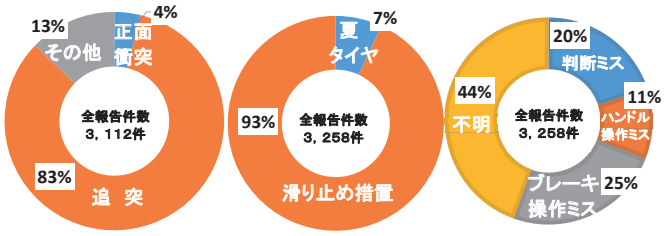
### 4. 1. 調査の背景

前項までに述べたとおり、不具合情報や技術検証事案の中には、設計・製造以外の要因が原因となる事例も数多くみられるが、この中には、ユーザーが適切に使用することで事故を未然に防ぐことができるものもあると考えられる。平成 26 年度においては、このような観点から、雪道走行時の不安全挙動につながるおそれのある事象に関する調査を国土交通省からの受託調査として実施した。

首都圏南部等の積雪があまりない地域においては、積雪時にスリップによる事故が多く発生しているほか、雪道用タイヤの不適切使用による事故事例もみられている。このような状況を踏まえ、今回の調査では、積雪時の事故データ等の分析のほか、雪道におけるタイヤの不適切使用時の挙動について、実車走行試験により確認を行い、その結果をもとに、雪道運転における注意事項や雪道用タイヤ装着における注意点の取りまとめを行った。

### 4. 2. 雪の少ない地域における積雪時の事故

（公財）交通事故総合分析センターの過去 6 年間（平成 19 年～平成 24 年）分の事故データを用いて、首都圏のうち東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県及び茨城県における積雪時の事故について解析を行った。結果を図 4 に示す。上記地域における積雪時の事故は、年間平均で約 540 件発生しており、そのうち約 8 割が追突によるものであるほか、 9 割以上が滑り止めを施していたのにもかかわらず事故を起こしている。事故原因としては、操作ミスや判断ミスが原因となった事故が半数以上となっていることから、雪道では普段の運転との感覚の違いが大きい一方で、その認識がないままハンドル操作やブレーキ操作を行うため、曲がれない・止まれないという事故を起こしていることが考えられる。




（事故形態）　（装着タイヤ）　（事故原因）

図 4　雪の少ない地域での積雪時の事故状況

また、過去に国土交通省に報告された不具合情報の事例の中には、四輪駆動（4 WD）車が 4 輪に夏タイヤを装着したままで雪道を走行し、下り坂で止まりきれずに対向車と接触事故を起こしたものや、後輪駆動（FR）車が駆動する車輪のみにスタッドレスタイヤを装着した状態で雪道を走行し、スリップして横転事故に至ったものなど、ユーザーによるスタッドレスタイヤの不適切使用に起因する事故が確認されている。

### 4. 3. 実車走行試験

上記の分析結果に基づいて、雪道における代表的なタイヤの不適切使用時の挙動を確認するため、実車走行試験を実施した。具体的には、 3 車種の試験車両（前輪駆動（FF）車、FR 車及び 4 WD 車）、3 種類の装着タイヤ条件（(a) 4 輪標準装着タイヤ、(b) 4 輪スタッドレスタイヤ、(c) 駆動輪スタッドレスタイヤ＋非駆動輪標準装着タイヤ）を用い、積雪路面条件において 6 種類の試験（直線平坦路での発進試験、直線平坦路での制動試験、直線登坂路での発進試験、直線降坂路での制動試験、低速旋回試験、高速旋回試験）を行った。

試験結果の一例として、直線平坦路での発進試験及び制動試験の結果を図５及び図６に示す。条件(c)でも条件(b)と同等の加速が可能であるが、停止時は、FF 車、FR 車とも条件(c)での停止距離が延びていることが分かる。なお、登坂路・降坂路での発進・制動試験においても同様の傾向がみられた。

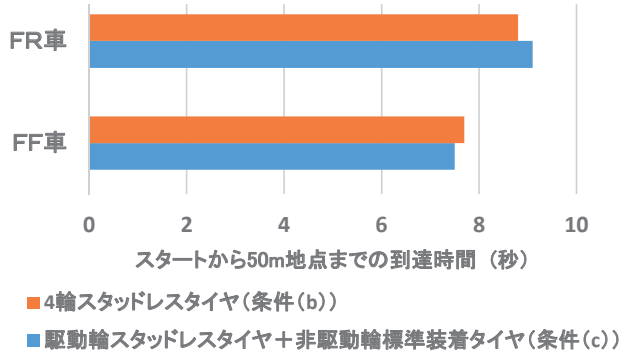



図５　直線平坦路での発進試験結果

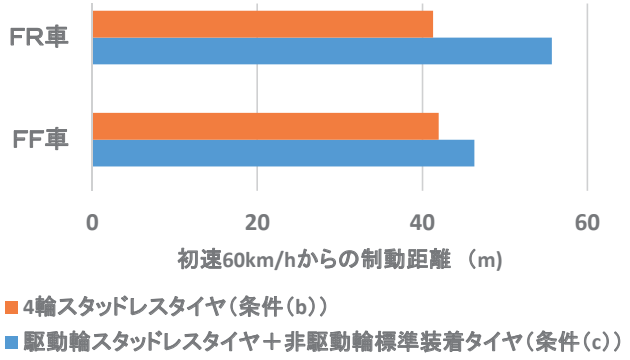



図６　直線平坦路での制動試験結果

また、旋回試験からは、以下の結果がみられた。

- 低速旋回試験（10R）では、条件(b)、(c)とも極端な差が生じなかったが、高速旋回試験（30R）では、条件(c)は条件(b)と比べてハンドル修正なしで曲がれる限界速度が 10km/h 程度低かった。
- 上記の限界速度から加速して、条件(b)と同じ速度でカーブを曲がろうとすると、FF 車は後輪がグリップしないためリヤが外に膨らみスピン状態になり、FR 車は前輪がグリップしないためにフロントが外に膨らんでカーブから外れるなど、危険な状態になることが確認された。

### 4. 4. ユーザーへの注意喚起

今回の試験結果を踏まえ、国土交通省では「積雪時の事故を防止するために！！」として、以下の点について、ユーザーに向けた注意喚起がビデオ映像とともに公表されている（www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/rcl/carsafety.html）。

(1) 雪道や凍結路を走行する際の注意点

- タイヤにタイヤチェーンなどの滑り止め装置を着けるか、スタッドレスタイヤなどの雪路用タイヤを装着しましょう。
- 制限速度にかかわらず速度を十分落とし、車間距離を十分とって運転しましょう。
- 横滑りを起こすことがありますので、ハンドルやブレーキの操作は特に慎重に。急発進、急ブレーキ、急ハンドルは絶対にやめましょう。

(2) スタッドレスタイヤを過信せず、スタッドレスタイヤを装着しても、乾燥路面と比べると非常にスリップしやすいことを十分認識した運転を行いましょう。

(3) スタッドレスタイヤは全車輪に装着することが基本。駆動輪のみに装着した場合は、車両の挙動が安定しないなど、十分な滑り止め効果が得られません。全車輪に装着しましょう。

図７　積雪時の事故防止のための注意喚起ビデオ

### ５．おわりに

本年 6 月 24 日、道路運送車両法及び自動車検査独立行政法人法の一部を改正する法律（平成 27 年法律第 44 号）が公布された。この法律は、リコールの実施に必要な報告徴収及び立入検査の対象への装置メーカー等の追加、自動車検査独立行政法人及び当研究所との統合など、リコール技術検証業務に関連する改正項目も多く盛り込まれている。リコールの迅速化を通じた自動車の使用における安全・安心の確保がこれまで以上に期待されているところであり、当部としても、今後とも、技術検証業務やこれに関連した市場への注意喚起をすすめ、より安全で環境にやさしい「くるま社会」の実現に貢献していく所存である。

# 交通システム研究領域における研究の概要と方向性

交通システム研究領域　　廣瀬 道雄

## １．まえがき

交通安全環境研究所では、日々の生活や経済活動に欠かせない自動車、鉄道等について、国の施策に直結した試験研究業務を通じて、安全で環境に優しい交通社会の構築に貢献するための取り組みを進めている。

その中で交通システム研究領域では、交通社会の安全・安心の確保及び地球環境問題の改善に貢献することを目的として、安全性の高い公共交通システムの構築及び公共交通システムの利用促進等の観点から研究に取り組んでいる。また、そこで培った知見を基盤として、我が国の鉄道システムの海外展開を支援するための活動にも力を注いでいる。

本稿では、交通システム研究領域が実施している取り組みの概要について報告する。

## ２．交通システム研究領域の研究

### ２．１．基本的視点

交通システム研究領域では、研究に対する基本的視点として、(1) 交通システムの安全・安心の確保、(2) 地方鉄道の維持・活性化、(3) 公共交通利用促進等による地球環境問題の改善、に関する研究に重点的に取り組んでいる。

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、近年、国土交通省ではこれらに加え、我が国の鉄道技術の海外展開を重要施策の一つとして位置づけており、当研究所においても、日本の鉄道技術の国際標準化への貢献に注力するとともに、所内に独立した鉄道認証室を設置して、国際規格適合性認証（鉄道製品認証）に積極的に取り組んでいるところである。

また、索道（ロープウェイ、リフト等）の試験を行うことができる我が国唯一の公的機関として、索道に関する試験研究にも継続的に取り組んでおり、握索装置（搬器をロープに固定する装置）や新型ロープの試験を実施しているほか、索道事故等のデータベース化など索道の安全に資する研究を行なっている。

### ２．２．交通システムの安全・安心の確保

交通システムの安全・安心の確保に係わる研究については、主に安全性評価技術、常時監視・モニタリング技術等に関する研究を実施している。

当研究所は、運輸省の研究所として発足し、現在も国に準ずる公的な研究所として、新しい交通システムや新技術を導入する際の安全性・信頼性の評価及び技術基準策定支援などに取り組んできた実績を有している。また、日本の鉄道メーカが海外の鉄道プロジェクトに参画する際の技術、システムの安全性評価についても多くの実績がある。

安全性評価技術に関する取り組みについては、新たに開発されたシステム技術等の安全性評価を受託研究として継続的に実施するとともに、評価を通じて蓄積したノウハウを活用し、今後の安全性評価や国際規格適合性認証を的確に進める上で役立てられるよう、日本の鉄道の安全確保の考え方に立脚しつつ、信頼性にも着目した評価手法について整理・体系化を進めている。

常時監視・モニタリング技術については、鉄道施設、車両の保守管理コストの低減が課題となっている一方で、輸送障害に対する防止対策も重要な課題となっており、検査手法や保守管理手法に関する研究が求められていることを背景として、低コスト化、高性能化が進んでいるセンサ類を活用した軌道・車両境界領域に係わる状態監視技術に関する取り組みを進めている。具体的には、脱線係数の常時モニタリング装置による軌道状態把握手法及びそこから得られる常時観測データを前提とする軌道管理手法の研究や、トングレールの異常振動の検知等による転てつ器の予防保全手法に関する研究などを実施している。

また、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の

特徴を活かしたモード横断的取り組みも進めており、道路上を運行する路面電車と自動車との衝突事故の防止、及び鉄道と道路交通の接点である踏切での事故の防止を対象として、ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の車車間通信技術やセンシング技術等を活用し、危険状態を検知してドライバー・運転士に注意喚起を行う安全運転支援システムなど、安全性向上手法の研究を進めている。

### ２．３．地方鉄道の維持・活性化

地方鉄道の維持・活性化を目的として、各種のセンサ技術や汎用技術を活用するとともに、GPS、汎用無線等の通信技術を組み合わせて、営業列車を用いた軌道状態監視システム（プローブ車両）による予防保全支援システムの構築を行うなど、地方鉄道の保守負担軽減、省コスト化に資する研究を実施している。

また、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、当研究所では、準天頂衛星、GPS 等の衛星測位技術を活用して列車の位置検知を行う車上システムについて、安全性評価のみならず位置検知の精度・信頼性等に関する研究に取り組んでいる。

### ２．４．公共交通利用促進等による地球環境問題の改善

公共交通の利用促進に関する研究は、LRT（Light Rail Transit：次世代型路面電車システム）、ゴムタイヤ式新交通システムなどの軌道系システムの評価や、省コストでホーム上の旅客の安全性を向上させる観点から新型ホームドア等の評価を行うとともに、地方自治体や一般社会への理解促進・啓発活動を行うなど、公共交通システムの普及促進に関する取り組みを実施している。

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交通システムである。そのような LRT や路線バスなどを対象に、道路交通と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、公共交通システムの導入効果や道路交通流への影響等について、$CO_2$ 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。

### ２．５．国際標準化及び国際規格適合性認証

本フォーラム２日目のテーマは「国際規格を中心とした鉄道技術の海外展開に向けた取り組み」と題し、鉄道分野における国際標準化及び認証に係る活動を中心とした報告を行うこととした。

近年、欧州では、メーカが中心となり、国際標準化を武器とした鉄道技術の海外展開を積極的に図っている。現在、東南アジアを中心として、多くの国が鉄道の整備を検討・推進しており、我が国としては、国家戦略として国際標準化に積極的に関わることが重要である。このような背景から、当研究所では、日本の鉄道技術や当研究所の知見・経験を国際規格に反映させるため、国際標準化活動に積極的に参画してきている。

本フォーラムでは、国際展開に対応した技術評価手法に関する研究について報告するとともに、鉄道車両の磁界評価法、車上電力測定法など、具体的な国際標準化案件への取り組みについても報告する。

また、鉄道分野の国際規格適合性認証に関しては、近年、海外の鉄道プロジェクトにおいて第三者機関（認証機関）による認証を要求されることが多くなり、海外展開の要件の一つとなっている状況にある。当研究所の鉄道認証室は、我が国初の鉄道分野における製品認証機関として認定を取得し、認証活動に積極的に取り組んでおり、認証書の発行実績も着実に積み重ねている。

本フォーラムでは、認証ニーズが大きい RAMS 規格（Reliability、Availability、Maintainability、Safety の頭文字で、システムの信頼性・安全性等の評価手法を定めた規格）などの安全関連国際規格の動向及び認証活動の現状・展望について報告する。

## ３．今後の展開

交通システム研究領域では、交通システムの安全・安心の確保、地方鉄道の維持・活性化、公共交通の利用促進等に関する研究を中心に取り組んでおり、これらの研究を通じて、安全で持続可能な交通社会の実現に貢献している。

これからも、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・鉄道双方の知見を有する当研究所の特性を活かした研究に積極的に取り組むとともに、引き続き国際標準化活動及び国際規格適合性認証活動を通じて、優れた安全性・信頼性を誇る我が国の鉄道システムの海外展開を支援し、グローバルな社会的貢献を果たしていきたいと考えている。

# 講演１．軌道系交通システムの国際展開に対応した技術評価手法の検討

交通システム研究領域　　※林田 守正　　廣瀬 道雄　　大野 寛之　　森 裕貴
理事　　水間 毅

## １．はじめに

日本の軌道系交通システム（鉄道等）の海外展開に際しては、国際規格に準拠した第三者安全性評価（以下「ISA（Independent Safety Assessor）評価」という）が必須とされるケースが増加している[1)]。このような状況に鑑み、国際規格の客観性や合理性と整合しつつ、これまで交通安全環境研究所（以下「当所」という）が培ってきたFMEA（Failure Mode and Effects Analysis）、FTA（Fault Tree Analysis）を中核とする手順を継承した標準的な安全性評価手法について検討した。本報ではそれを取りまとめた結果を報告し、安全性重視を堅持しつつ信頼性等も考慮した技術評価手法の確立に向けた取り組みについて述べる。

## ２．標準的な設計安全性評価手法の提示

### ２．１．FMEA と FTA の位置付け

これまでの当所の ISA 評価においては、FMEA と FTA を中核的な解析方法として活用している[2) 3)]。そこで示されている両者の関係を図１に示す。FMEA の拡張版である FMECA（Failure Mode and Effects Criteria Analysis）により、個々の要素の故障モード、故障要因、影響、対策等を検討し、影響度（危険性）、発生頻度、及びその両者で表されるリスク評価値を求める。そしてリスク評価値が大きいケース、その中でも頻度は小さいが危険性が高いケースを重点的に抽出し、FTA のトップ事象として選定する。FTA では、FMEA の結果に基づいて設定されたトップ事象からトップダウンで基本事象または非展開事象（以下「基本事象等」という）まで解析し、トップ事象に至る確率を算定する。さらに、基本事象等の中に FMEA で挙げた故障モード、対策等が漏れなく含まれていることを確認することにより FMEA の妥当性も検証する。また単一故障モードでは上位事象に至らないが複数故障モードの AND 条件により上位事象に至るような、FMEA では把握できない故障モードの影響も把握する。一方、安全性の可否の観点からは、基本事象等の発生確率に基づいてトップ事象の発生確率を計算するだけでなく、中間に介在する制約ゲートの機能の信頼性を確認することも有効である。そのため、制約ゲートの存在とその信頼性によりトップ事象の発生確率の小ささも評価する。

### ２．２．国際規格の考え方との整合

IEC 62425 では、FMEA は単一のフォールト（故障による異常状態）の影響解析、FTA は複数のフォールトの影響解析の主要な手段と位置付けられている[1)]。また、それらの手順や技法については IEC 60812 及び IEC 61025 に各々記述されている。

FMEAで故障影響のリスク（特に危険度）が高いと判断されたケースをFTAのトップ事象に選定

FMEA（FMECA）　----------►　FTA

| 要素 | 機能 | 故障モード | 故障原因 | 故障の影響 | 対策 | 危険度 | 発生頻度 | リスク評価 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 地上電源 | 地上電力供給断 | 停電 | 地上信号保安システム機能停止 | 無停電電源設置 | 2 | 3 | 6 |
| b | 在線／非在線認識 | 非在線を在線と誤認 | 車両位置の誤認 | 当該軌道進入不能→列車遅延 | 位置検知精度向上 | 1 | 2 | 2 |
| | | 在線を非在線と誤認 | 車両位置の誤認<br>非防護車両の進入 | 他列車と衝突 | SIL4装置の採用<br>位置検知精度向上 | 4 | 1 | 4 |
| c | ATP信号送受信 | 信号断 | 送受信機故障 | 非常制動、出発不能→列車遅延 | 通信系統の二重化 | 2 | 2 | 4 |
| | | 伝送中のデータ化け | ノイズ | パターン生成条件錯誤→列車衝突 | 所要SN比の確保<br>CRC検定等 | 4 | 1 | 4 |
| d | 車上電源 | 車上電力供給断 | 停電、過電流 | 車上信号保安システム機能停止 | 停電時の非常停止 | 2 | 3 | 6 |
| e | 速度パターン生成 | 停止点手前側誤り | プログラム誤り | 列車遅延 | プログラムチェック | 1 | 2 | 2 |
| | | 停止点遠方側誤り | データベース誤り | 他列車と衝突 | データベースチェック | 4 | 1 | 4 |
| f | 速度検出 | 高速側に誤認 | 素子不良 | 速度抑制→列車遅延 | 速度検出値のクロスチェック | 2 | 2 | 4 |
| | | 低速側に誤認 | 断線 | 速度超過→脱線、他列車と衝突 | 速度検出値のクロスチェック | 4 | 1 | 4 |
| ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ | | ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ | ・<br>・<br>・ |

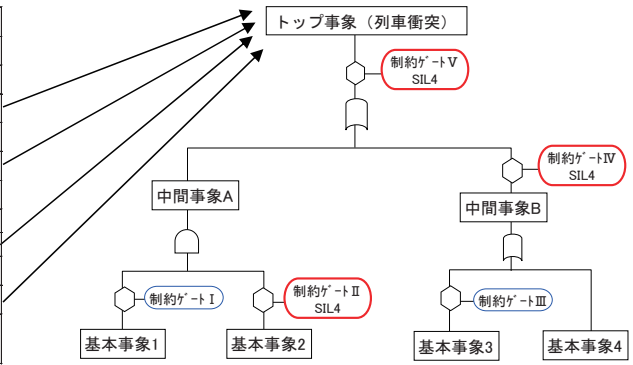



図１　FMEA（FMECA）と FTA の関係（模式図）[2)]

また状態遷移図を利用した確率計算の併用についても IEC 61025 に記述されている。そこで FMEA と FTA に関しては、これらの国際規格の記述を参照しながら、これまでの当所の手法を継承することとした。一方、IEC 62425、IEC 62278 等には安全性、ハザード、危害、重度、リスク等の一般的な用語に対しても明確な定義がなされており、また安全性を数値管理する SIL（Safety Integrity Level）や、安全性と信頼性等を一貫管理する RAMS（Reliability, Availability, Maintainability and Safety）の概念が記述されている。評価においては、これらの考え方との整合を図る。

### ２．３．標準的な設計安全性評価報告書の構成

これまでの当所における検討結果を踏まえて、標準的な安全性評価報告書の構成案を図2のような形で提案する。その主な内容は以下の通りである。

#### ２．３．１．前段の項目

(1)評価対象範囲

ISA として責任を持つ対象範囲を明確に記述する。一方、ヒューマンエラー等、評価対象外の部分についても、国際規格の"Scope"（適用範囲）等を参考にして明示する。

(2)評価参照資料

評価の根拠とする参照資料として、評価依頼者から提示された各種の技術資料の全てに文書名、文書管理番号、日付が付与されたうえで報告書に明記する。

(3)参照する国際規格

評価において参照した主な国際規格を記載し、それらの国際規格と整合する評価であることを宣言する。

(4)システム概要

評価システムの全体像が、評価時点での当事者以外の関係者、また評価後の報告書閲覧者でも把握することを可能とするため、システムの概要を記述する。

#### ２．３．２．安全性の評価結果

(1)システム構成及び個別要素の評価

システムの全体構成及び個別要素の各論的な評価結果を記述する。安全性が十分に高いと判断した根拠、更なる検討が必要とされた点、要注意な点、評価対象外ながら安全性への影響が大きい点等を述べる。

(2)FMEA による単一フォールトの影響解析

安全性への影響が予想される要素の故障モードを抽出し、各々の故障要因、影響、対策等を検討し、影響度（危険性の高さ）、発生頻度、及びその両者で表されるリスク評価値を求める。リスク評価値が許容限度を超える項目では低減対策を検討し再評価を行う。

(3)FTA による複合フォールトの影響解析

FTA では、FMEA でリスク評価値が大きいケース、特に頻度は小さいが危険度が大きいケースを抽出してトップ事象として選定する。基本事象等までの解析を行い、トップ事象発生を阻止する制約ゲートの存在とその信頼性を確認する。故障発生に時間差を含む事象等については状態遷移図等を別に作成して解析する。

(4)実機／実車試験

主にFTAの制約ゲートの機能を検証するため、実機、実車を用いた基本的な試験を行い、結果を記述する。

#### ２．３．３．結言

安全性の評価結果をとりまとめた結論を記述し、また必要に応じて次の製造段階に向けた提言を行う。

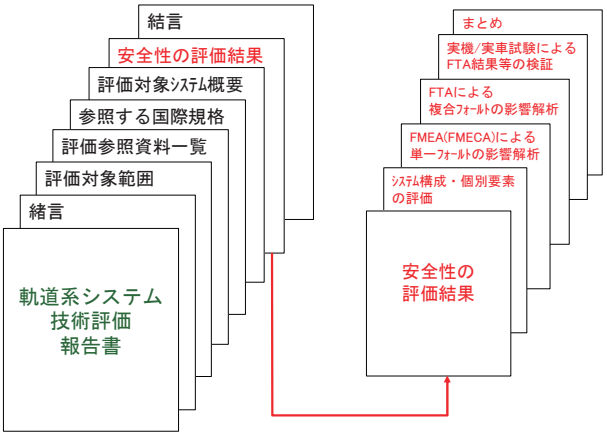



図２　標準的な設計安全性評価報告書の構成案

## ３．安全性と信頼性等について

### ３．１．RAMS の定義と相互関係

IEC 62278 によれば、RAMS（信頼性(R)、アベイラビリティ(A)、保全性(M)、安全性(S)）は表 1 及び図 3 のように示される[4)]。信頼性、保全性及び運用と保全の認識がアベイラビリティの技術的概念を形成し、それらのうち安全関連事項の認識が安全性の技術的な概念を形成するとされる[4)]。本報では主に安全性と信頼性の関係に注目し、安全性重視の方針を堅持しつつ、信頼性の向上も考慮した評価手法を検討する。

表１　RAMS の定義[4)]

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

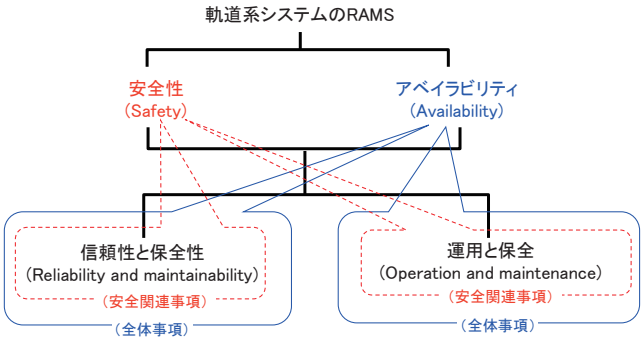



図３　鉄道の RAMS の相互関係 [4]

### ３．２．安全性と信頼性の関係

安全性と信頼性は必ずしも一致や包含関係を示すものではないとされ、両者の良否の組み合わせは表２のように示される [5]。①は本来の姿であり、②は安全性は確保されるが信頼性が低下するケース、③は信頼性は確保されるが安全性が低下するケースである。

表２　安全性／信頼性の良否の組み合わせ [5]

| | | 信頼性 | |
|---|---|---|---|
| | | 正常動作(○) | 故障・停止(×) |
| 安全性 | 安全(○) | ①機器の動作が正常、かつ人に対して安全である状態 | ②機器は故障/停止しているが人に対しては安全である状態<br>(フェールセーフ) |
| | 危険(×) | ③機器は正常であるが使用時に危険になり得る状態 | ④機器が危険な状態で故障している<br>(フェールアウト) |

出典）門田「信頼性と安全性」、p. 13、表 1. 1. 1 日科技連出版社(2012)

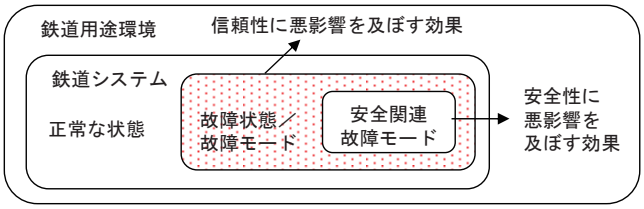



図４　システム内における故障の影響 [4]

表 2 の②④に相当する故障の影響に関しては、IEC 62278 によれば、図 4 のように整理される [4]。これについては前述のように FMEA、FTA 等で解析される。一方、③に関しては、故障を伴わないため FMEA では解析できず、評価対象外の要素やヒューマンエラーを含めて FTA により解析される部分であると考える。

### ３．３．日本の鉄道の現状

日本の鉄道等は、新幹線をはじめとして非常に高い安全性を有している。これは、故障検知による速やかな列車停止やフェールセーフが確立した信号システムの機能等によるものと考えられる。しかし一方で、近年は輸送障害が増加傾向を示し、大都市圏では運休や遅延が拡大して、信頼性（稼働率等）がやや低下しているといえる。障害には設備や車両の故障に起因する事例が少なくなく、特に障害発生時には全線で運転を停止し、復旧後に一斉に運転を再開するような手順が採られる都市部の鉄道路線においては長時間にわたり広域的な輸送影響を及ぼすこととなる [6]。したがって、故障の復旧時間を短縮することが、信頼性を含むアベイラビリティの向上に寄与するものと考える。

## ４．故障予知を活用した新たな FMEA の提案

### ４．１．従来の FMEA

従来の FMEA（または FMECA）では、故障の影響度の評価として、故障検知後に停止させる等の適切な対策を採って許容レベル以下にする手法が用いられている。許容リスクを評価する方法としては、RPN(Risk Priority Number)を用いることがある。これは、RPN=故障ﾓｰﾄﾞ発生頻度(λ)×影響度(ε)×検出度(β)と定義して、発生頻度、影響度を点数化し、RPN の値により発生するリスクが許容可能かを判断するものであり、IEC 62278 の考え方にも記されている [4] [6]。RPN による許容リスク評価例を表 3 に示す [6]。

表３　影響度と発生頻度による許容リスク評価例 [6]

| | | | 影響度 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Insignificant | Marginal | Critical | Catastrophic |
| | | | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 |
| 発生頻度 | Frequent | 6.0 | 6 | 12 | 18 | 24 |
| | Probable | 5.0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | Occasional | 4.0 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| | Remote | 3.0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| | Improbable | 2.0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | Incredible | 1.0 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| RPN=<br>発生頻度×影響度×検出度<br>（検出度=1と仮定） | 12＜RPN | 8＜RPN≦12 | 4＜RPN≦8 | RPN≦4 |
|---|---|---|---|---|
| | Intolerable | Undesirable | Tolerable | Negligible |

ここでは検出度を 1 と仮定して、RPN=λ×ε として数値化し、リスクを Negligible、Tolerable、Undesirable、Intolerable に分け、Negligible 、Tolerable を許容可能なレベル（本報では点数 8 点以下）としている。発生頻度（故障率）、影響度を表 3 のように点数化して RPN を求めた駅ホームのホームドアの扉駆動モータに関する FMEA の例を表 4 に示す。故障モード「絶縁不良」を例とすると、頻度=3、影響度=3 で RPN=9 となり、許容不可となる。

### ４．２．信頼性の指標

信頼性の指標としては、故障率（λ）、稼働率（A）等が挙げられる。故障率は平均故障間隔 MTBF（Mean Time Between Failure）の逆数として表される。

$\lambda = 1/(MTBF)$ (/h) (1)

また、稼働率は、MTBF と平均修復時間 MTTR (Mean Time to Repair) から、

$A = MTBF/(MTBF + MTTR)$ (/h) (2)

で表される。修復率を $\mu$ (=1/MTTR) と定義すると、

$A = \mu/(\lambda + \mu)$ (/h) (3)

となる。したがって、稼働率を上げるには、故障率を下げるか修復率を上げれば良いことがわかる[6]。

## 4．3．故障予知を考慮した FMEA (FMEPA)

この従来の FMEA に対して、故障予知の概念を入れた評価を試みた[6]。その一環として、FMEA の中に故障予知の因子、指標、精度を追加して、故障の影響解析を行う手法を FMEPA (Failure Mode, Effects and Protect Analysis) として提案する。表 4 の FMEA 実施の例を基にした、FMEPA による解析例を表 5 に示す。FMEPA では、故障モードと推定原因の次に、故障予知可能な因子を抽出し、予知のための検出方法を示すとともに、予知精度を評価する。予知が成功すれば、故障前の処置によって修復時間を最小化し稼働率の低下を防止することができる。例えば、動作電流の変化により「断線」が予知できれば、故障前の部品交換によりシステム停止時間を最小限に留めることが可能となる。また過熱に対しては、上限温度に達する前に電流制限等を行って動作を継続させれば、稼働率の向上につながる。ここで各故障モードの頻度 (故障率) を $\lambda_i$、予知の成功確率 (以下「予知率」という) を $\alpha_i$、予知率を考慮した頻度を $\lambda p_i$ (i=1〜4) とすると、

$\lambda p_i = (1-\alpha_i) \times \lambda_i$ (ただし $0 \leqq \alpha_i \leqq 1$) (4)

と表される。「絶縁不良」(i=2) における、予知の定量的な効果をみると、頻度は従来の 3 から $3\times(1-\alpha_2)$ に減少する。この故障モードの影響度は3であるから、

$RPN=3\times(3\times(1-\alpha_2))$ (5)

となり、$\alpha_2 \geqq 1/9$ であれば、RPN≦8 となるため、新たな故障対策を採らなくても 4.1 で前述した許容リスク内に収まることとなる。

## 5．まとめ

これまでの当所での検討に基づいた、国際規格と整合する標準的な安全性評価報告書の構成案を提案した。また安全性重視を堅持しつつ信頼性等も考慮した技術評価手法に検討の第 1 歩として、従来の FMEA に故障予知を考慮した FMEPA によるリスク評価を試みた。今後はアベイラビリティ、保全性を含めた RAMS の一貫した技術評価手法の構築に向けた取り組みを続けていく。

## 参考文献


1) IEC 62425 Edition 1.0 2007-09

2) 水間「安全技術のチェンジ」電気学会産業応用部門大会前刷集Ⅲ、pp. 143〜146 (2009)

3) 林田等、交通安全環境研究所ﾌｫｰﾗﾑ 2014 講演概要

4) IEC 62278 First edition 2002-09 英和対訳版

5) 門田「信頼性と安全性」、pp. 12-14、日科技連出版社(2012)

6) 水間他「故障検知・予知を考慮した鉄道の信頼性解析手法の検討」日本信頼性学会「信頼性」論文(投稿中)


表 4　従来の FMEA (FMECA) による RPN の算定

| アイテム | 機能 | 故障モード | 推定原因 | 故障の影響 | | 頻度 | 影響度 | RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | サブシステム | システム | | | |
| 扉駆動モータ | 扉を開閉する | 断線 | 劣化 | 扉が動かない | 乗降ができない | 2 | 2 | 4 |
| | | 絶縁不良 | 劣化 | 漏電 | 感電 | 3 | 3 | 9 |
| | | 過熱 | 過負荷 | 扉が動かない | 乗降ができない | 4 | 2 | 8 |
| | | 暴走 | フェールアウト故障 | 異常開閉 | 転落等 | 1 | 5 | 5 |
| | | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ |

表 5　故障予知を考慮した FMEPA による RPN の算定 (各故障モードの推定原因等は表 4 と同じ)

| アイテム | 機能 | 故障モード | 従来のFMEAによる評価 | | | 故障予知を考慮した評価 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 頻度 | 影響度 | PRN | 故障予知因子 | 故障予知の検出方法 | 故障の予知率 | 予知率を考慮した頻度 | 予知率を考慮したRPN |
| 扉駆動モータ | 扉を開閉する | 断線 | 2 | 2 | 4 | 電流変化 | 動作電流変化 | $\alpha_1$ | $2\times(1-\alpha_1)$ | $4\times(1-\alpha_1)$ |
| | | 絶縁不良 | 3 | 3 | 9 | 電流変化 | 絶縁抵抗変化 | $\alpha_2$ | $3\times(1-\alpha_2)$ | $9\times(1-\alpha_2)$ |
| | | 過熱 | 4 | 2 | 8 | モータ温度上昇 | 温度変化 | $\alpha_3$ | $4\times(1-\alpha_3)$ | $8\times(1-\alpha_3)$ |
| | | 暴走 | 1 | 5 | 5 | 無し | 無し | $\alpha_4$ (=0) | $1\times(1-\alpha_4)$ (= 1) | $5\times(1-\alpha_4)$ (= 5) |
| | | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ | ・<br>・ |

# 講演２．鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための磁界測定と鉄道車両における磁界の発生傾向

交通システム研究領域　　※長谷川 智紀　　竹内 俊裕　　山口 大助
工藤 希　　森 裕貴

## １．はじめに

電子機器の発展に伴い、現在では日常のあらゆるところで電気・電子機器が使われるようになった。

その結果、それらの機器が、その放射する電波雑音により他の機器に与える影響及び他の機器の放射する電磁雑音により受ける影響や、放射される電磁界が人体へ与える影響等が注目されるようになり、近年では鉄道システムから放射される電波雑音や電磁界の影響についても取り上げられるようになった。

鉄道システムでは、変電所の設備をはじめ、車両や軌道、信号システムなどにおいて非常に多くの電気・電子機器が使用され、当然のことながらこれら機器から電波雑音や電磁界が放射される。そのような環境の中、鉄道システムから放射される電磁波が他の機器へ影響を与えたり、他の機器からの影響を受けたりすることに関する共存を求める電磁両立性（EMC：Electromagnetic Compatibility）や、電磁界（EMF：Electromagnetic Field）が人体へ与える影響について、国際規格や防護指針という形で提案されてきた。

世界保健機関（WHO：World Health Organization）では、公式見解において、「高レベルの電磁界への短期的曝露については、健康への悪影響が科学的に確立されており、政策決定者は、労働者及び一般人をこれらの影響から防護するために規定された国際的なガイドラインを採用すべき」[1]と記載された。国際的なガイドラインとしては、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection）のガイドラインがある。

また、磁界測定に関する国際規格及び技術仕様書の制定の動きとしては、電力設備が国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission)の国際規格 IEC 62110[2]として、鉄道が技術仕様書(Technical Specifications) IEC/TS 62597[3]として制定されている。

こうした状況を踏まえ、日本国内においても、経済産業省が 2011 年に「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正して電力設備及び送電線下における磁界基準を定め、2010 年に発行された ICNIRP の新ガイドラインに基づいた規制を実施した。

国土交通省においても、経済産業省が実施した電磁界規制を踏まえ、鉄道の変電所等設備、き電線、配電線等の電気設備について、経済産業省と同様に磁界規制を 2012 年に実施した。

一方、鉄道車両については、国際的な技術仕様書であるIEC/TS 62597において既に測定方法が確立されているが、基準値は定められていない。これは、鉄道車両には直流、交流のき電方式別のみならず、新幹線、在来線と言った鉄道車両の他に跨座式モノレール、懸垂式モノレール及び新交通車両など車両の形態が様々であり、それぞれの車両において機器配置・配線も異なっていることから、客室内における磁界の発生傾向は一様ではなく、基準値の定め方が鉄道電気施設とは異なるためと考えられる。

そのため、国内の鉄道車両内の磁界の発生傾向を把握する必要があり、当研究所では、鉄道局の指導の下、鉄道事業者の協力を得て、様々な車両における車両内の磁界について調査を行ってきた。

そこで、本報告では、これらの鉄道車両内における磁界の発生傾向について報告する。

## ２．鉄道車両内における磁界の測定方法

鉄道車両内における磁界の測定方法は、前述の通り IEC/TS 62597 に定められている。IEC/TS 62597 における鉄道車両内における測定方法を表 1 及び表 2 に示す。

このように、2 種類のセンサと 2 種類の測定位置が規定されている。

表 1　IEC/TS 62597 に規定されている測定用プローブ

| | 要件 |
|---|---|
| 直流<br>磁界 | ・IEC 61786 に準拠したセンサ<br>・等方性 3 軸プローブ |
| 交流<br>磁界 | ・IEC 61786 に準拠したセンサ<br>・サーチコイル方式のセンサの場合<br>・3 軸プローブ<br>・サーチコイル面積は最大 100cm²<br>・測定帯域は少なくとも 5～20kHz<br>・フラックスゲート方式のセンサの場合<br>・3 軸プローブ<br>・測定帯域は少なくとも DC～20kHz |

表 2　IEC/TS 62597 に規定されている
鉄道車両内の磁界測定位置（Public Area の場合）

| | 要件 |
|---|---|
| Surface<br>Method | ・磁界発生源に一番近い面（床下機器なら床面）<br>・必要に応じて上記面から垂直に 50, 100, 150cm の位置 |
| Volume<br>Method | ・床面から高さ方向に 30, 100, 150cm の位置<br>・壁側の測定の場合壁から水平方向に 30cm（又は 30cm 以上で最小の距離） |

本報告では、フラックスゲート方式と Surface Method による磁界測定方法の組み合わせによる測定結果を示す。

鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化し、直流磁界成分と交流磁界成分が同時に放射される。そのため、直流磁界成分及び交流磁界成分を同時に測定することが望ましい。そこで、直流磁界成分及び交流磁界成分を同時に測定可能なフラックスゲート方式によるプローブを用いたることが最も適当であると判断した。

また、測定位置については、以下の点から Surface Method による測定が人体影響への正確な把握、効率性の観点において望ましいと考えた。

・鉄道からの磁界は、磁界発生源から不均一に分布するので、磁界発生源に一番近い位置で測定した結果が、その場における最大磁界と考えられ、それを測定することが重要であること

・最大磁界の結果が基準値を下回れば、その地点から離れた位置での測定は不要であること

例えば、床面から高さ方向に複数点測定する場合

図 1　当所における磁界測定システム

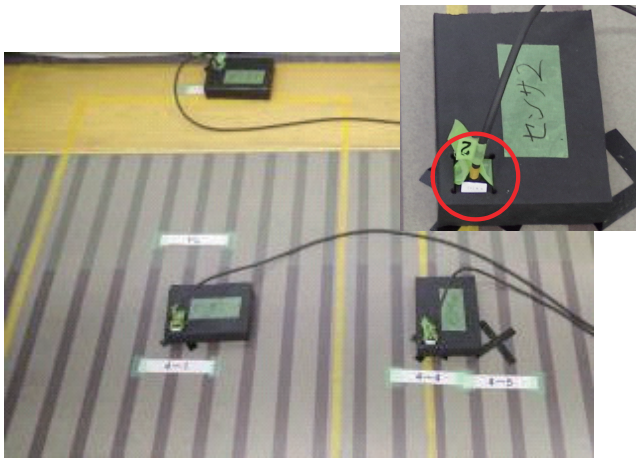


図 2　Surface Method による測定風景

は、同時に測定することが望ましく、その場合、必要な点数分のプローブが必要となる。Surface Method による測定の場合、用意された複数のプローブにより、最大磁界の位置を特定し、その位置のみを高さ方向に測定することができることから効率的に測定を行うことが可能となる。

以上の点から図 1 に示す磁界測定システムにより、図 2 に示す測定を行った。

## 3．測定条件

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

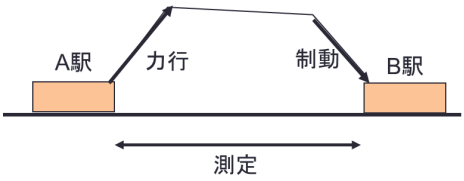
・周波数範囲　：直流～20 kHz
・サンプリング周波数　：51.2 kHz
・周波数間隔　：1.56 Hz
・周波数解析時の時間窓長　：0.64 秒
・時間窓関数　：Hanning 関数
・オーバーラップ　：0%

また、磁界測定時の車両の状態は、以下の通りである。

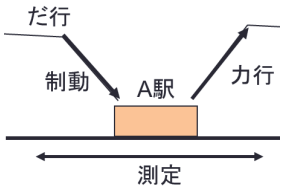
・SIV(Static InVerter)：停車時に磁界を測定

・その他：図３(a)又は(b)に示す、力行・だ行・制動をセットとした走行で磁界を測定

ただし、測定時の最高速度は測定線区の制限速度に依存するため、全ての測定が同一条件で行われたものではない。




(a)1 駅間における測定方法




(b)駅停車における測定方法

図３　走行条件

## ４．測定箇所

鉄道車両における磁界の発生傾向の検討については、大電流又は高周波電流が流れることにより、磁界が発生しやすい以下の装置・部位周辺に対象を絞り、測定を行った。

・主制御器
・主電動機
・フィルタリアクトル
・SIV（静止形インバータ）
・車両妻部
・貫通路渡り板直上
・主変圧器（交流き電の場合）

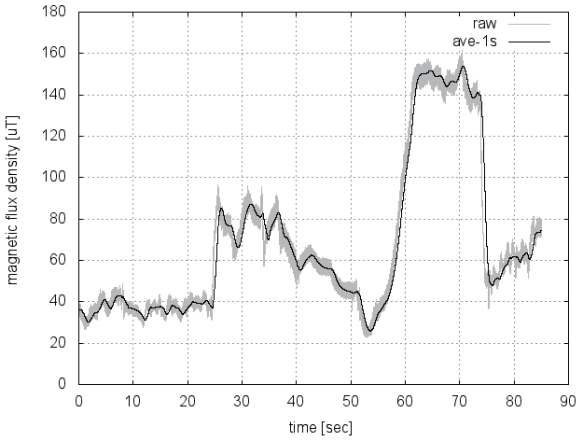
また、磁界の発生傾向を把握するに当たって、22 種類の鉄道車両において測定を行った結果を検討した。

## ５．磁界の測定及び解析結果例

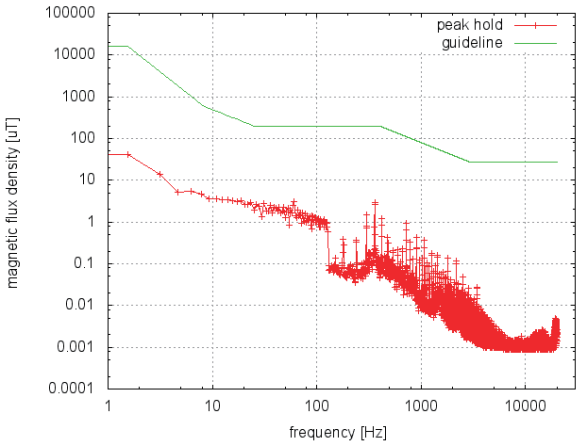
図４に測定した磁界の解析結果例を示す。

直流磁界は測定した X 軸、Y 軸、Z 軸の時間領域の磁界データを 3 軸合成し、1 秒移動平均を施して求めた。

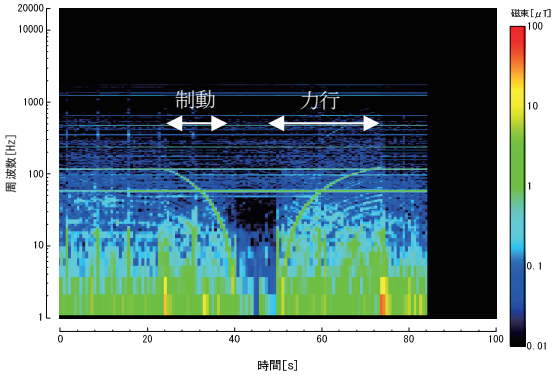
交流磁界は、X 軸、Y 軸、Z 軸の時間領域の磁界データを 3 章で示した解析条件により周波数解析し、3 軸合成して求めた。Peak Hold の結果は、各周波数の最大値を示し、カラーマップの結果は各周波数解析を時間軸に並べて、各周波数における磁束密度をカラー表示して可視化したものである。




(a)直流磁界の変化




(b)交流磁界の解析結果（Peak Hold）




(c)交流磁界の解析結果（カラーマップ）

図４　VVVF インバータ直上における磁界測定例

## ６．磁界の発生傾向について

前章の方法により解析を行った結果を踏まえ、各測定箇所における磁界の発生状況について検討を行った。その結果を次に示す。

### ６．１．主制御器

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)制御方式、CI(Converter Inverter)制御方式、サイリスタ位相制御方式について磁界発生傾向の確認を行ったところ、VVVF 制御方式及び CI 制御方式は、制御中には時間とともに周波数が変化する磁界が発生するが、サイリスタ位相制御方式は、制御中にはチョッピング周波数とともに数 Hz～1 kHz にわたる成分を持つ磁界が発生していることが確認された。

### ６．２．主電動機

誘導電動機と直流電動機について、磁界発生傾向の確認を行ったところ、主たる発生磁界は、誘導電動機が交流磁界、直流電動機が直流磁界であり、それらを制御する主制御器の方式の違いが電動機直上の磁界に影響を与えていることが確認された。

### ６．３．フィルタリアクトル

フィルタリアクトルについて、磁界発生傾向の確認を行ったところ、直流磁界を主体とした磁界が発生するとともに、主制御器から伝導される交流電流、又はパンタグラフから流入した交流電流（変電所からの交流電流：商用周波数＋その整流高調波）による交流磁界が直流磁界に重畳していることが確認された。一方、車体の材質による差異については、大きな違いは見られなかった。ただし、アルミニウムのダブルスキン構体車両内の磁界は概して低かった。

### ６．４．ＳＩＶ

SIV について、磁界発生傾向の確認を行ったところ、入力電流による直流磁界と、出力電流による電源駆動周波数（商用周波数）、チョッピング周波数及びその高調波の交流磁界が常時発生していることが確認された。

### ６．５．車両妻部

車両妻部の高圧母線ぎ装付近における磁界発生傾向について、直流き電式車両、交流き電式車両で確認を行ったところ、同等の出力を得る場合、直流き電式車両はき電電圧が低いため、供給される直流電流が多くなることから直流磁界が大きくなりやすく、一方、交流き電式車両は商用周波電流が供給されるものの、き電電圧が高いことから、電流値が直流き電式車両よりは小さく、結果的に磁界が小さくなることが確認された。ただし、商用周波数磁界については、直流車両よりも高い場合も見られた。

### ６．６．貫通路渡り板直上

貫通路渡り板直上における磁界発生傾向について、直流き電式車両、交流き電式車両で確認を行ったところ、直流き電式車両は屋根上から車両下へ向かう高圧母線がぎ装されていることから、車両妻部ほどではないが、直流磁界が確認された。一方、交流き電式車両は高圧母線に商用周波数の電流が流れていることから、商用周波数の磁界が確認された。また、主制御器から主電動機への車間渡り線がある場合は、車間渡り線から生じる主制御器の動作周波数の磁界が確認された。

### ６．７．主変圧器

主変圧器直上における磁界発生傾向の確認を行ったところ、駆動周波数である商用周波数及びその高調波の交流磁界が主に確認された。また、交流磁界は、この他の周波数に対してもレベルは低いものの全体的に分布していることが確認された。

## ７．まとめ

国内の鉄道車両内の磁界の発生傾向を把握する必要があり、当研究所では、鉄道局の指導の下、鉄道事業者の協力を得て、様々な車両の形態における鉄道車両内の磁界について調査を行ってきた。

今回、鉄道車両における発生磁界の傾向について、主制御器、主電動機、フィルタリアクトル、SIV、車両妻部、貫通路渡り板直上、主変圧器の各装置、場所において検討を行い、その概要を紹介した。

今後は、この結果を踏まえ、鉄道車両内における磁界を人体影響に対して正しく評価するための評価手法の検討を行う必要がある。

## 参考文献

1)World Health Organization ファクトシート No.322「電磁界と公衆衛生　超低周波の電界及び磁界への曝露」

2) IEC 62110 Ed. 1.0: "Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure"

3) IEC/TS 62597 Ed. 1.0: "Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure"

# 講演３．車上電力量測定法に関する考察

交通システム研究領域　　※竹内　俊裕　　長谷川　智紀　　廣瀬　道雄
理事　　水間　毅

## １．まえがき

鉄道車両の車上電力量測定法の国際標準化については、現在、IEC（International Electrotechnical Commission ： 国際電気標準会議）の国際規格作成チーム PT(Project Team) 62888 において検討が行われており、ヨーロッパは、国際列車運用における電力料金の課金を目的とした EN(European Norm) 規格 EN 50463 を原案とするヨーロッパ流の車上電力量測定法を提案している(1)。

この背景には、ヨーロッパの鉄道は、そのほとんどが上下分離方式で運用されており、列車ごとに消費電力量に応じた課金を行うシステムが採用されていることから、電力量測定に関する測定精度や測定方法等に関して、詳細に決める必要があった。

それに対し、日本国内では、これまで車内情報システムを用いた車上電力量測定が行われてきているが、一般的にこのシステムは、車載機器に流れる電流や電圧等のデータを収集して電力量を計算しており、課金が目的ではないため厳密に測定精度が要求されることもないため、このシステムによる車上電力量測定の精度については、詳細に検討されていなかった。

しかし、ヨーロッパ流の車上電力量測定法のみが国際規格として採用された場合、日本国内で利用されている車内情報システムによる電力量測定は国際規格に則った測定方法と認定されず、JIS 化等に際して課題が生じる恐れがある。

そこで、日本国内で利用されている車内情報システムによる電力量測定法と、測定器による電力量測定法を比較することにより、車内情報システムを用いた電力量測定法の精度の実状を見極め、車内情報システムによる電力量測定法を国際規格に盛り込むための基礎データとすることを目的として、実車を用いた測定を行った。本稿では、その測定結果及び考察の概要を報告する。

## ２．車上電力量測定法について

EN 50463 及び日本国内の車上電力量測定法を、測定点及び測定手段の観点から次のように整理した。

### ２．１．測定点

鉄道においては、車上で消費される電力は、パンタグラフより供給されるため、車上電力量の測定点として、測定の精度を高めるためにはパンタグラフ直下で測定することが望ましい。その方法を、ここではパンタ点測定法と称する。

一方、電力の消費先が特定されている場合、途中経路における電力消費が無視できるのであれば、消費先毎に消費電力量を測定し、その結果を合算する方法が考えられる。これを、ここでは個別測定合算法と称する。

EN 50463 においては、これら 2 つの方法のどちらも規定されており、日本国内で用いられている車内情報システムは、個別測定合算法により車上電力量を測定していることとなる。

### ２．２．測定手段

EN 50463 では、課金を目的とした電力量測定を行うことから、車上電力量測定専用の測定機器を用いて、定められた測定誤差範囲内での測定を行うこととされている。

一方、車内情報システムを用いて電力量測定を行う方法は、電力消費先である VVVF（Variable Voltage Variable Frequency ： 車両駆動モータ用インバータ装置）や SIV（Static InVerter ： 車内機器（空調・照明等）用インバータ装置）の電圧、電流のデータ等から電力量を計算して測定を行うことが一般的となっている。

このことから、車内情報システムによる電力量測定は、測定点としては個別測定合算法であり、EN 50463 に準拠していることになるものの、EN 50463 で規定

されている測定精度に対しては、車内情報システムの性能に依存している。

### 3．実態把握

日本国内で用いられている車内情報システムを利用した電力量測定の精度検証を行うため、鉄道車両におけるパンタ点、VVVF 入力部、SIV 入力部に電圧及び電流センサを設置し、計測するとともに、車内情報システムでの電力量測定結果についても同時に記録を行い、その結果を比較した。

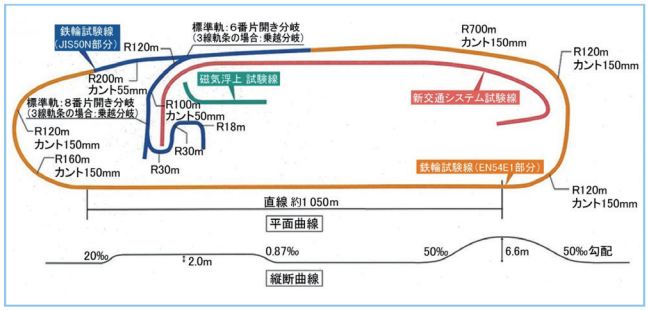
測定には広島電鉄 1000 形（表１、図１）を用い、三菱重工 MIHARA 試験センター（図２）において、他の車両の影響を受けない環境を確保して、図３に示す測定点における電圧と電流の測定を行った。測定の様子を図４に示す。

表１　1000 形車両主要諸元

| | | |
|---|---|---|
| 形　　式 | | 1000 形 |
| 車　　種 | | 低床式電動客車 |
| 軌　　間 | | 1,435mm |
| 電気方式 | | DC600V |
| 定　　員 | | 86 人（座席 33 人、立席 53 人） |
| 車両重量 | | 24.3t |
| 主要寸法 | 車　長 | 18,600mm |
| | 車　幅 | 2,496mm |
| | 車　高 | 3,645mm |
| 台　　車 | | 4 輪独立車輪台車 |
| 主電動機 | | 三相誘導電動機<br>出力 100kW×4 |
| 駆動方式 | | 直角カルダン方式 |
| 制御方式 | | VVVF インバータ制御 |
| ブレーキ方式 | | 回生・発電併用電気ブレーキ<br>ばね式油圧ディスクブレーキ<br>レールブレーキ |
| 補助電源装置 | | 静止型インバータ<br>AC220V／DC24V |
| 冷房装置 | | 屋根設置集中ユニット式 |
| 床面高さ | | 通　路：360mm |
| | | 出入口：330mm |
| 低床率 | | 100% |
| 運行速度 | | 40km/h（設計性能 80km/h） |
| 車両性能 | 加速度 | 3.5km/h/s |
| | 減速度 | 常用：4.8km/h/s<br>非常：5.2km/h/s |

（鉄道車両と技術 No.199 より抜粋）

図１　広島電鉄納入予定 1000 形




（MIHARA 試験センターパンフレット）

図２　三菱重工 MIHARA 試験センター

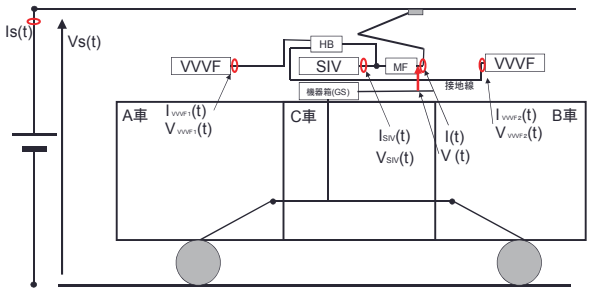



図３　測定点

図４　測定の様子

測定に用いたセンサは以下の通りである。

・パンタ点

電圧：HIOKI P9000-01　±0.5%f.s.

電流：HIOKI 3290　±1.8%rdg.

・VVVF 点・SIV 点

電圧：HIOKI 9322　±1.0%f.s.

電流：HIOKI 3290　±1.8%rdg.

データロガーには小野測器製 DS3200 を用い、サンプリング周波数 51.2Hz で記録を行った。

また、車内情報システムの測定諸元は、以下の通りである。

電圧センサ：±0.7%（定格 750V）

電流センサ：±1.0%（±1500A）

サンプリング周波数：1Hz（PC への記録周期）

符号なし 8 ビットデータとして記録

走行条件としては、ほぼ 1km の直線を、図 5 に示すように、最高速度 80km/h まで加速し、回生ブレーキを動作させて 90 秒走行させて停止させるパターンでの連続運転とした。

また、変電所の電圧は、ほぼ直流 640V で一定であった。

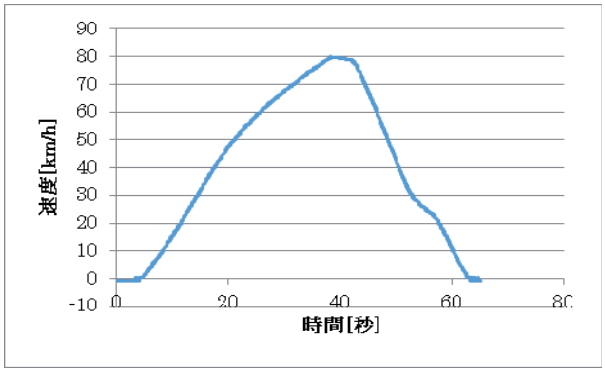
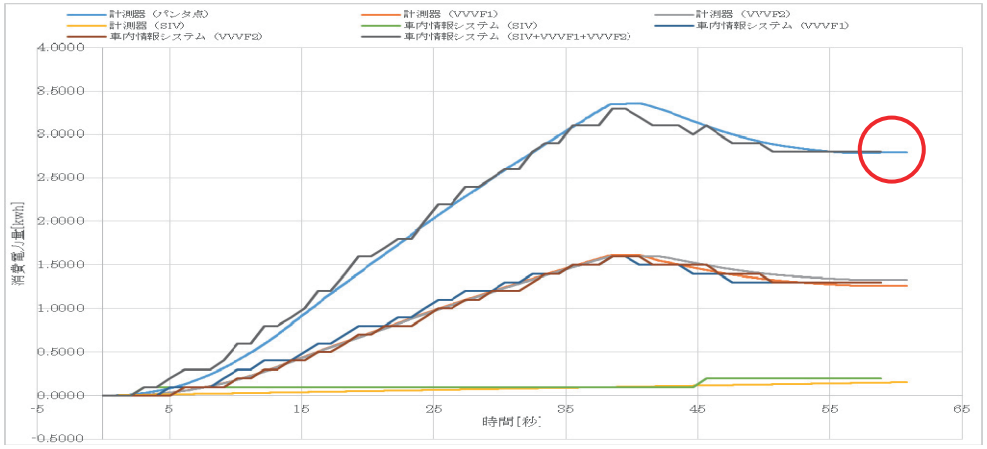
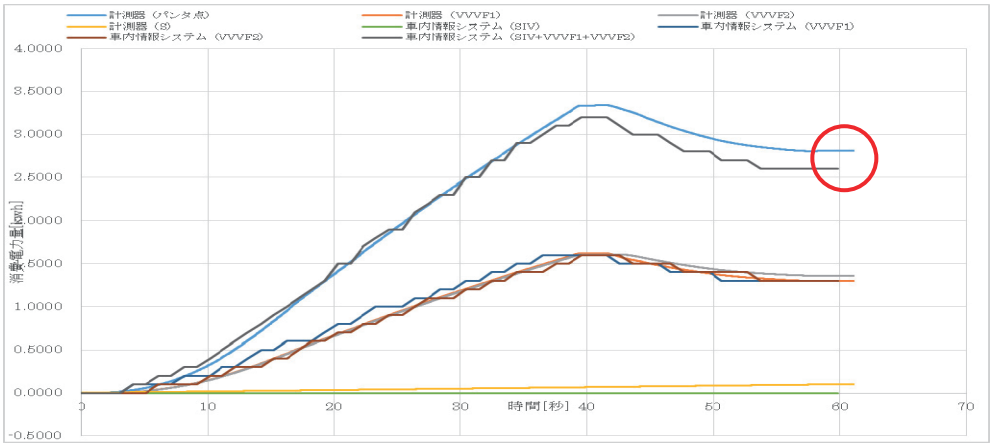



図 5　測定時の走行パターン

測定結果の一例を図 6 に示す。(a) はパンタ点における測定結果と車内情報システムによる測定結果の差が小さい例（パンタ点における測定との差が 0.1%程度)、(b) は差が大きい例（パンタ点における測定との差が 7.6%程度）である。




(a) 差が小さい例




(b) 差が大きい例

図 6　測定結果例

なお、図６に示す各時間における値は、消費電力（消費電力より回生電力が大きい場合は負となる）の積算による消費電力量であり、その時点までの電力量を示している。

また、車内情報システムの消費電力量は、以下の式により求めている。

消費電力量[kWh]＝「SIV 電力量」
＋「VVVF1 力行電力量」－「VVVF1 回生電力量」
＋「VVVF2 力行電力量」－「VVVF2 回生電力量」

## ４．測定結果に差が生じた要因について

前節のように、測定した消費電力量に差が出る場合と出ない場合が確認された。検討を行った結果、この要因については、以下の影響が考えられる。

・車内情報システムのサンプリング間隔による影響
・車内情報システムの量子化間隔による影響
・電流、電圧センサ仕様による影響

一つ目のサンプリング間隔による影響については、パンタ点電圧の大きな変動や消費先機器の頻繁な電源の入り切りがある場合には影響があると考えられるが、今回用いた走行パターンや周辺環境は、これらの影響を受けにくい条件であったため、サンプリング間隔による影響は小さいと考えられる。

二つ目の量子化間隔による影響については、車内情報システムは比較的量子化間隔が大きいことから、それによる消費電力の誤差が積み重ねられると、結果として大きな差が生じると考えられる。なお、量子化については、EN 50463 において EN 60044-8 を引用しており、規定で定められた仕様を満足するためには、16bit での量子化が必要となる。

三つ目のセンサ仕様による影響については、車両に搭載されているセンサは高負荷電流の測定を定格とする仕様となっていることから、比較的低負荷である SIV の測定に対しては誤差が大きくなるため、その誤差が蓄積されることによる影響も大きいと考えられる。

## ５．まとめ

今回、国内で用いられている車内情報システムを使用して車上電力量測定の性能の実態把握を行った。その結果、車内情報システムを用いた電力量測定においても、測定条件により、測定器によるパンタ点での測定結果とほぼ同程度となる可能性が示されたものの、場合によっては、大きな差が生じるケースがあることも確認され、車内情報システムを利用した車上電力の測定法による精度の把握ができた。

また、この差が生じる要因については、サンプリング間隔による影響、量子化間隔による影響、センサ仕様による影響が考えられ、本試験の測定環境においては、量子化間隔及びセンサ仕様の影響が大きかったものと考察した。

車内情報システムを用いた車上電力量測定法については、こうした影響を定量的に把握しておくことにより、目的に応じた有効な電力量測定が可能となると考えられる。

今回の結果を踏まえた上で、PT 62888 で検討が進められている国際規格審議案に対し、課金を目的としたヨーロッパ流の車上電力量測定法に加えて、課金を目的としない日本流の車上電力量測定法が盛り込まれるよう提案していくこととし、今後とも日本国内で用いられている車内情報システムを利用した電力量測定法が国際規格化されるよう協力していきたいと考えている。

【謝辞】本研究にご協力いただいた東京大学 古関教授、東洋電機製造株式会社、広島電鉄株式会社ならびに三菱重工業株式会社に感謝いたします。

## 参考文献

1) 古関：“車上エネルギー測定の国際規格と欧州の動向”，平成 27 年電気学会全国大会シンポジウム 5-S-26-6 (2015) (in Japanese)

# 講演４．旅客の移動利便性向上を目指す国際規格化の動き

交通システム研究領域　　※大野 寛之　　緒方 正剛　　森 裕貴

## １．はじめに

これまでの鉄道に関わる国際規格は事業者あるいはメーカ指向の、主としてハードウェアに関する部分の規格が中心であった。そのため、事業者にとっては重要ではあるものの、旅客の目にはその重要性が届かない分野の規格がほとんどであった。しかし、近年はユーザすなわち旅客指向の利便性や安全性に関わる分野についての国際規格化の動きが広がってきている。情報分野やサービス分野、ホームドアのように安全対策として直接旅客の目に触れる設備に関しても国際規格化を目指した動きが始まっている。また、それらを包括的に扱い、路線の計画段階から旅客の利便性や移動制約者の安全性等に配慮する方策等を考慮すること等についても規格あるいはガイドライン化が進められている。こうした新たな規格化の動きへの交通安全環境研究所の取り組みについて紹介を行う。

## ２．ISO/TC204/WG8(公共交通)

### ２．１．フレームワーク

高度道路交通システム（Intelligent Transport Systems：ITS）に関わる国際標準化は、電気分野以外は国際標準化機構(International Organization for Standardization：ISO)が、電気分野は国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission：IEC)及び国際電気通信連合(International Telecommunication Union：ITU)が審議している。ISOの専門委員会(Technical Committee：TC)のひとつであるTC204は、ITSの標準化を専門に行っている。ISO/TC204は1992年に設置され1993年から活動が開始された。ISO/TC204には、現在12の作業グループ(Working Group：WG)が設置されており、WG8が公共交通を取り扱っている。

日本では、ISO会員団体である日本工業標準調査会（Japanese Industrial Standards Committee：JISC）から、ISO/TC204の国内審議団体として公益社団法人自動車技術会が承認を受け、同会に設置されたITS標準化委員会（国内委員会）を中心に国際標準化活動が行われている[1)]。

ITS 標準化委員会の下に設置された技術委員会ではISO/TC204のWGにそれぞれ対応した分科会があり、WG8 に対応した公共交通分科会は、一般財団法人国土技術研究センターが事務局を務め、作業の進捗確認や情報交換を行っている。

交通安全環境研究所は、この国内委員会であるISO/TC204/WG8 公共交通分科会に委員として参加している。

### ２．２．主な規格と審議状況

ISO/TC204/WG8で審議されている規格の内、旅客の利便性に直結する規格としては、インタオペラブル運賃管理システム(Interoperable Fare Management System：IFMS：ISO 24014)、公共交通の利用者情報(ISO17185)が挙げられる。

また、国際規格化に向けた審議事項としては、モバイルプラットフォームを使った運賃支払い等が挙げられる。

#### ２．２．１．IFMS (ISO24104)

本規格は「複数事業者、複数サービスに対応する公共交通の運賃管理システムを構築するための基礎となる概念アーキテクチャ」[1)]を規定するPart 1が2007年に発行されている。

本規格 Part 2 "Recommended Business Practices for Set of Rules" および Part 3 "Interoperability within a Multi-Application Environment"は技術報告書(Technical Report：TR)として発行された。

Part 1は改訂作業が終了し、近々改訂版が発行されることになっている。日本の規格が国際規格に反映されるよう、国内委員会で議論を進め、WGでの審議に臨んでいる。

### ２．２．２．公共交通の利用者情報（ISO17185）

公共交通の事業者･利用者の双方にメリットをもたらす利用者情報についての規格である ISO17185 はそのフレームワークが Part 1 として 2014 年に発行された。より具体的なデータの取り扱いやユースケースについては、Part 2 " Data and Interface Standards Catalogue and Cross Reference"、Part 3 " Use Cases for Journey Planning Systems and Their Interoperation"として審議が進められ、Part 3 は技術報告書(TR)として発行された。

### ２．３．今後の展望

上に挙げたような、旅客サービスに直結する技術は情報通信技術に支えられており、日進月歩で技術開発は進展している。国際規格化されたフレームワークの中で、様々な技術開発が進むことが予測されるため、規格の見直しについても随時行われていくものと考えられる。また、公共交通事業者が旅客に提供するこれらのサービスに関するユーザデバイスも、IC カードから携帯情報端末へ移行しつつあるが、今後どのような形へと進化するかは予断を許さない。料金の決済方法や情報提供方法に関しては、公共交通分野だけでなく他分野でも用いられる技術であることから、他分野の規格との整合性をとりつつ、国･地域の実情をも反映させた規格の構築が重要である。

## ３．ISO/TC269(鉄道分野)

### ３．１．フレームワーク

ISO/TC269 は、国際電気標準会議(IEC)/TC9（鉄道用電気設備とシステム）の担当範囲を除く鉄道全般の国際規格を審議する ISO の専門委員会であり 2012 年に設置された。国内審議団体は公益財団法人鉄道総合技術研究所の鉄道国際規格センターが務めており、交通安全環境研究所は、いくつかの国内作業部会･準備会に委員として参加している。

### ３．２．「ジェネリック」から「鉄道プロジェクト計画」へ

### ３．２．１ 「鉄道プロジェクト計画」規格検討経緯

ISO/TC269 で審議されている規格提案の内、旅客も含め鉄道事業者や沿線住民等の幅広い利害関係者(Stakeholder)に関わる規格として、当初は「ジェネリック規格」の名称で、現在は「鉄道プロジェクト計画（Rail project planning）」と名称変更となった提案がある。本規格提案は日本発の提案として 2013 年より ISO/TC269 に設置されたアドホックグループ(Ad Hoc Group：AHG)にて検討が開始された。AHG での検討の結果、AHG から作業部会(WG)へ移行し、技術報告書(TR)の作成を目指した作業が進められている。

### ３．２．２ 「鉄道プロジェクト計画」規格提案概要

本提案が目指すものは、鉄道に関するあらゆるプロジェクトについて、鉄道システム全体とニーズに関する共通認識を標準化しようとするものである。

より具体的に言えば、鉄道プロジェクトの計画に携わる者や組織(発注者やコンサルタント等)が、プロジェクトに関係する Stakeholder の利益を最適化し、当該プロジェクトの正当性や合理性を確認するガイドラインとして用いることを目指している。その方法として、すべての Stakeholder のニーズを列挙･比較し、ニーズと要求性能の相関を明らかにし、その鉄道プロジェクトに適した候補となる鉄道システムを提案し、意思決定を支援していく(図 1)。

また、本規格提案の目指すものは、あくまでもガイドライン的な使い方をするものであり、プロセスおよび手順を策定してそれらを体系的に管理するマネジメント規格とは異なる。適用範囲としては、新たな鉄道プロジェクトだけに限らず、既存の鉄道の更新や延伸計画も含まれている。したがって、新しい鉄道プロジェクトが多数見込まれる開発途上国での適用だけでなく、すでに鉄道システムが発達している日本をはじめとする先進国でも活用が期待される。

技術的な適用範囲としては、新しい鉄道システムが開発された場合には、それを阻害しないよう製品規格の開発を制限することはないものとし、必要に応じて他の規格と同様、新しいシステムの追加を検討する。

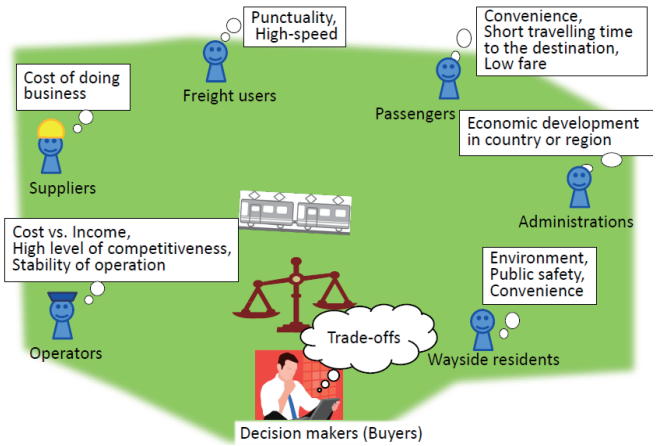



図１　鉄道プロジェクトにおける利害関係(概念図)

### ３．２．３ 「鉄道プロジェクト計画」規格審議状況

2015 年 11 月現在、本規格提案に関しては、ISO/TC269/WG3 では国際規格化を目指した TR としての発行を決定しており、Part 1 "Stakeholders and their needs/interest"と Part 2 "Conditions"について先行して審議している。その後 Part 3 として鉄道プロジェクト計画策定におけるプロセスを示すガイダンスとなる文書を開発･発行することを目指している。

## ４．日本発の新たな国際規格を目指す動き ～ ホームドア ～

### ４．１．ホームドア国際規格化の流れ

鉄道利用者の安全性に直結する設備としてホームドアがあり、日本においては大都市圏を中心に普及が進んでおり、海外においても様々な形のホームドアあるいはホームバリアシステムが使われている。

ホームドアについての記載がなされている国際規格としては、自動運転都市交通システムに関する要求事項を定めた規格である、IEC62267 "Railway applications - Automated urban guided transport (AUGT) - Safety requirements" (2009 年発行)がある。この規格では、自動運転システムの観点から、いくつかの要求事項が規定されている。

自動運転に限らず様々な軌道系交通システムに適用されるホームドアシステムに関する国際規格は現時点では無いため、各国･各メーカは事業者の要求事項に応じた様々な技術開発を行っており、そのことは開発期間の長期化や開発コストの増加につながっている。

2012 年 11 月には、欧州規格委員会(European Committee for Electrotechnical Standardization：CEN)の鉄道分野専門委員会(TC256)にホームドア規格策定に関する作業部会 (WG53)が設置され、国際規格化に向けた動きが始まった。2015 年 1 月には第 1 回 WG が開催され、同 WG には日本から 1 名のオブザーバ参加が認められた。

一方、日本においては鉄道国際規格センターがホームドアの規格化の可能性を検討するため、2010 年に国、メーカ、学識経験者、鉄道事業者、研究機関をメンバーとする「ホームドア勉強会」を設立した。

欧州での規格化の動きや国内での検討結果を受けて、2015 年 8 月に ISO/TC269 の国内委員会は、ホームドアについて国際規格として提案することを決定し、ホームドア規格準備会が発足した。現在、ISO に新規規格提案(New Work Item Proposal)を行っており、これが採択されると、国際規格化の動きが正式に始まることとなる。

### ４．２．日本からの提案の意義

先に示した IEC62267 に関しては、審議が始まった時点においては、天井高さまでのホームドアのみが審議の対象であり、日本で普及している腰高式の可動式ホーム柵(図２)は欧米からはホームドアとしての扱いを受けていなかった。審議の過程において日本側が実績を示し主張をすることにより、最終的には規格内に取り込まれることとなった。

AUGT は世界各地で導入が広がっており、日本からの輸出も多い。仮に日本で実績のあるシステムが国際規格に取り入れられなかった場合、日本製品の輸出は著しく困難になり、日本メーカは新たな開発負担を強いられることになる。そうしたことを避けるためにも、ホームドアに限らず、日本で実績のある様々なシステムを国際規格に取り込むことは、国家戦略上極めて重要である。

2015 年 3 月末時点で日本国内のホームドア（可動式ホーム柵を含む）を設置している駅の数は 615 駅に上り、2020 年までには 800 駅に設置することを目標としている [2)]。2020 年には東京オリンピック・パラリンピックの開催が予定されていることから、ホームドアが設置される数はさらに増える可能性もある。

また、日本国内ではいくつかの新しいタイプのホームドアシステムの開発が進んでおり、実用化に向けて試験的な設置も進み始めている。既に実績のあるホームドアに加え、新しいタイプのものについても国際規格に取り入れられることにより、国内のみならず海外においても普及が見込まれることになる。

図２　可動式ホーム柵

### ４．３．ホームドア国際規格化へ向けた交通安全環境研究所の役割

現在、国内メーカで開発が進んでいる新しいホームドアシステムは、列車のドア数が異なる場合にも対応可能なシステムとなっている。従来型と同様に車両ドアの位置に合わせてホームドアが横方向に開閉するものと、異なる車両ドア位置を広くカバーするように水平方向に渡したワイヤもしくはバーが上下に開閉するものとが開発されている（図３～４）。

交通安全環境研究所ではこうした新しいホームドアについて安全性評価を行っており[3)]、リスク解析等を経て、旅客の安全性のための要求事項に関する知見を得ている。

これらの成果をホームドア規格準備会で活用することで、こうした新しいタイプのホームドアも含まれる形で国際規格が成立するよう、今後とも協力していく。

図３　開発中のホームドアの例(ドア位置可変型)

図３　開発中のホームドアの例(昇降型)

### ５．おわりに

これまで述べてきたように、鉄道に関する国際規格の新しい動きとして、従来のような工業技術的な規格とは異なる、旅客サービス、利便性、車いすや視覚障害者の安全を考慮したバリアフリー等に関する規格が生まれつつある。

鉄道事業はこれからインフラ整備が進む新興国に大きな市場が広がることが予想されるとともに、先進国においても、高齢社会の安全な移動手段としてさらなるサービス向上が求められており、国際市場の拡大が予想されている。

鉄道インフラ市場が国際的に広がるだけでなく、旅客の移動も国境を越えて活発になると予測されることから、旅客サービスに直結する国際規格が整えられ、あらゆる国･地域で国際規格に則ったサービス水準が提供されることが期待される。

こうした国際規格化は、インフラ整備の主体である国や公共団体、コンサルタント、施工業者、メーカ、事業者、利用者にとって、それぞれメリットをもたらすものと考えられる。

交通安全環境研究所ではこれからも、優れた日本の鉄道技術が国際規格に取り入れられるよう、WG 等の場でこれまでの知見を活かすとともに、認証機関としての力量も高め、鉄道分野の発展に貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

1) “ITS の標準化 2014”，公益社団法人自動車技術会，2014
2) 国土交通省ホームページ
3) 森，ホームにおける安全･安心向上への取組み -新たなホーム柵の評価-，平成 26 年度交通安全環境研究所講演会講演概要，pp.57-68，2014

# 講演５．鉄道の国際規格に関する交通安全環境研究所のこれまでの関わりと今後について

交通システム研究領域　　※緒方 正剛　　田代 維史
理事　　水間 毅

## １．はじめに

現在、鉄道技術分野において、国際規格化の動きが活発になっており、特に欧州規格（European Norm：EN）の積極的な国際規格化が進められている状況にある。この流れが主流となると国際規格は、基本的に欧州規格がベースとなってしまい、日本の鉄道技術が国際的に孤立する恐れがある。仮に国際規格に日本のシステムや考え方が盛り込まれない場合には、我が国のメーカは国際競争力を失う恐れがあり、また、そのような国際規格がそのまま JIS 化された場合には、我が国の鉄道事業者が日本の実情に合わない製品やコスト高の独自製品を購入せざるを得なくなるなど、新たな負担を強いられる恐れもある。

こういう恐れに対して、日本では、国土交通省鉄道局の指導の下、公益財団法人鉄道総合技術研究所の鉄道国際規格センター（以下、「規格センター」という）をはじめ、官民が一体となって、日本の技術の国際規格化に取り組んでいる。その活動の中で、交通安全環境研究所（以下、「交通研」という）では、「自動運転都市内軌道旅客輸送システムー安全要求事項(IEC 62267)」、「都市交通システムの管理と指令（IEC 62290)」、「鉄道の運転状況記録装置（IEC 62625)」、「鉄道システムからの磁界測定法（IEC/TS 62597)」、「無線利用列車制御システム（IEC 62773)」、「鉄道の環境条件に関する要件（IEC 62498)」等に関する国際規格審議に国内主査、国際主査等の主導的立場で参画し、国際規格化に貢献するとともに、国内では、技術基準化、JIS 化等にも貢献してきている。

また今後は、鉄道製品の国際展開で重要となる日本提案の RAMS（信頼性（R)、アベイラビリティー（A)、保守性（M)、安全性（S））規格（IEC 62278）改訂審議が行われる予定であり、それらについても、交通研は積極的に関わり、鉄道の国際規格化への支援を続けていく予定である。本稿では、交通研のこれまでの国際規格への関わりと今後の方針、認証機関としての関わりについて述べる。

## ２．交通研が関わった国際規格

### ２．１．自動運転都市内軌道旅客輸送システム（AUGT）（IEC 62267）－ 安全要求事項

#### ２．１．１．概　要

専用軌道上を走行する、添乗員付き又は自走式自動列車運転を伴う AUGT（Automated Urban Guided Transport）システムの安全要求事項について規定した規格である。2009 年に規格が発行され、ハザード分析の例を示した TR（Technical Report）が 2011 年に発行されている。また、この規格は 2012 年に JIS 化（JIS E 3802:2012）されている。

#### ２．１．２．交通研の関わり

交通研は、国内主査として、安全要求事項を定めるに際して、欧州が基本としている安全の原則(ALARP (as low as reasonably practicable)、MEM(maximum entropy method)、GAMAB(globalement au moinus aussi bon)（リスクは合理的に実行可能な限り出来るだけ低くしなければならない））に対して、日本では、「省令」を基本としていることを議論し、数値のみを規定する規格とならないよう主導した。その結果、日本で普及している腰高式ホームドアの安全要求事項が、ほぼ日本のホームドアの仕様と同じ内容となった。日本の鉄道の安全確保方法を図１に示す。

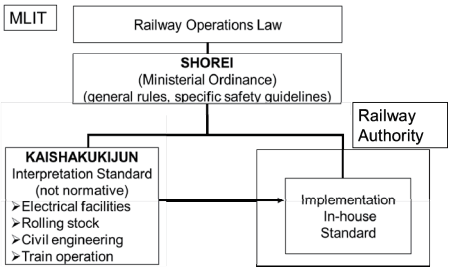



図１　日本の鉄道の安全確保方法

### ２．２．都市交通システムの管理と指令（IEC 62290）

#### ２．２．１．概　要

この規格は UGTMS（Urban Guided Transport Management and control command System）規格と呼ばれ、都市交通システムの機能、仕様、インターフェースを規定する規格で、部品レベルまでのインターフェースを合わせることにより、各国の都市交通システムを構成する部品、モジュールが共通に使用でき、互換可能なようにするものである。各パートに分かれており、現在はパート３を審議中である。

#### ２．２．２．交通研の関わり

日本では、都市鉄道においては、乗り入れ等で十分機能していることから、詳細な互換性を定める必要はないという認識の下、交通研では、当初は国内主査として、本規格の記述の詳細化を防ごうとして活動してきた。現在は、欧州側が、詳細な規格制定（機能要求仕様、システム要求仕様、インターフェース仕様等）を目論んで、議論を行っている段階である。UGTMS 規格の階層構造を図２に示す。

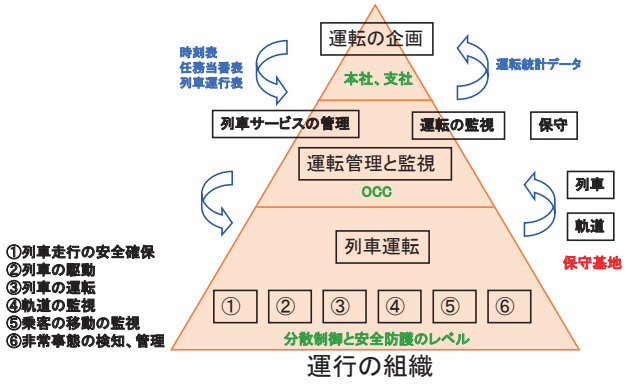



図２　UGTMS 規格の階層構造

### ２．３．鉄道の運転状況記録装置（IEC 62625）

#### ２．３．１．概　要

運転状況記録装置については、IEC に対して欧州側より 2009 年に「運転情報記録装置」として規格化の提案がなされたことから、日本側としては、省令に規定されている運転状況記録装置の機能を規格に盛り込むための対応を行っている。欧州は、専用器による測定で、運転士の挙動も監視する規格を目指していたが、日本は、あくまでも運転の状況のみを記録すべきということでモニタリングを中心とした規格を目指している。

#### ２．３．２．交通研の関わり

交通研は、副主査として、本規格を専用器による測定のみに特化させることにより、日本で主流となっている、車内情報システム等を利用した運転状況記録装置を規格対象外とすることを基本として活動し、それに成功した。また、専用器においても、日本の省令に規定されている数値以外は、極力数値化を避けるように活動しているが、どうしても、数値化を要求される場合は、日本のメーカの了解を得て、取り込むようにしている。2013 年に Part1（システム仕様）が発行され、現在は、Part2（適合性試験）の最終国際規格案が策定された段階である。

### ２．４．鉄道システムからの磁界測定法（IEC/TS 62597）

#### ２．４．１．概　要

鉄道設備に関連する磁界の測定手順を規定している規格であり、規制値については各国で定めることとしている。欧州が EN 50500 を基に国際規格化しようとしたものを、日本の磁界測定法も国際規格に反映させようとして議論がなされ、2011 年 10 月に IEC 62597 TS（Technical Specification）として発行された。

#### ２．４．２．交通研の関わり

欧州の測定法（EN 50500）は、特定メーカの機器を使用して、平均的な値を測定する測定法（Volume Method）であったが、日本では、交通研が開発した、磁気発振方式の測定器を用いて最大値を測定する測定法（Surface Method）で測定を行っていたため、交通研は、副主査として、日本の測定器、測定法を規格内に取り込むことを主導し、採用された。しかし、測定点が複数ある測定法は、規格に相応しくないとのことで、規格ではなく、TS（技術仕様書）として成立された。日本としては、この TS の JIS 化（JIS E 4018:2012）もなされており、この TS を中心とした国際規格化を今後も目指す方向である。交通研が開発し、国際規格に採用された測定器を図３に示す。

磁界センサ部　　ロガー部　　制御用 PC

図３　交通研が開発し国際規格に採用された測定器

### ２．５．無線利用列車制御システム（IEC 62773）

#### ２．５．１．概　要

無線利用列車制御システムは、移動体通信やコンピュータなどの情報通信技術の発展に伴い、従来地上設備を主体に構築されていた鉄道の信号保安システムの情報通信技術をベースとして、地上・車上で分担するシンプルなシステムとして再構築することを狙ったシステムである。CBTC（Computer Based Train Control）とも呼ばれ、欧州のメーカを中心に実績を積んでいるシステムである。日本では、鉄道事業者や信号メーカで実用化されている。本規格は、無線利用列車制御システムにおける、システムの適切な性能要求とシステム構成を定めるための手順を示すもので、日本が提案して、IEC 62773 として、2014 年 4 月に発行された。

#### ２．５．２．交通研の関わり

CBTC は、新たに鉄道を建設する日本以外の地域では、必須となっているシステムである。しかし、そのほとんどが欧州のメーカの製品であり、日本勢は苦戦をしている。そのような状況下で、本規格を成立させることにより、日本で開発、実用されている CBTC も国際規格に準拠していることを示せることを主眼として活動してきた。そのため、本規格の内容は、CBTC に関係する全ての日本メーカ、事業者の合意が得られたものとなっており、TS ではあるものの、JIS 化の議論もなされている段階である。日本で開発中の地方線区用 CBTC を図４に示す。

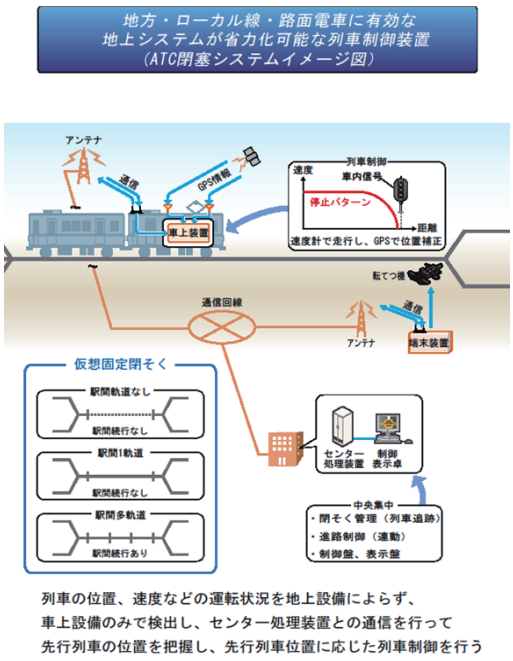



図４　日本で開発中の地方線区用 CBTC

### ２．６．鉄道の環境条件に関する要件（IEC 62498）

#### ２．６．１．概　要

車両・電力・信号設備や機器それぞれの使用環境条件を規定する規格であり、製品を設計する際の条件を統一して、標準化を図りやすくすることを目的としているものである。

#### ２．６．２．交通研の関わり

本規格については、交通研が国際主査となり、日本における設計時の環境条件を積極的に規格内に取り入れることを主眼として活動した。2010 年に規格が発行し、今後改訂の見直しが図られる予定である。国際規格審議において、日本が主査を努めることにより、日本の国際的なリーダーシップを発揮できるとともに、技術の詳細に関しても、理解を得やすくなるため、今後ともこうした国際主査での活躍を目指したい。

### ２．７．鉄道の車上エネルギー測定（IEC 62888）

#### ２．７．１．概　要

車両の消費電力量を測定し、データ処理を行うための要求事項、評価方法を定める規格で、欧州規格である EN 50463 をベースに提案された。欧州では、直通する列車に対しては、各国ごとに電力料を課金する必要があり、そのため、測定精度が高く要求される。これに対して日本は、車内情報システムを通して、簡易に測定可能であり、必ずしも、高い精度は要求されないため、日本の測定方法も規格内に記載するべく活動を行っている。

#### ２．７．２．交通研の関わり

本規格については、日本の車内情報システムによる電力量測定法を国際規格に盛り込むことを目的とし

図５　試験線での電力量の測定例

ているため、実際にデータを取得、解析した結果を示す必要がある。交通研は、国土交通省の指導の下、東京大学、広島電鉄、三菱重工の協力を得て、試験線において、専用測定器（欧州流の測定法）と車内情報システム（日本流の測定法）による電力量の測定を実施して、精度の差を明らかにして、十分規格内に盛り込めることを確認した。現在は、課金に使用する電力量測定とは別の Part として、記述される予定である。試験線における電力量の測定例を図５に示す。

## ３．RAMS(IEC 62278)について

### ３．１．日本が提案する規格の改訂の概要

鉄道システムに関して、信頼性（Reliability）、可用性（Availability）、保全性（Maintainability）、安全性（Safety）の管理指標を、ライフサイクルを通じて、経済性に照らして総合的かつ良好なバランスで維持されることを要求する規格である。

この規格は、地上と車上を問わず鉄道の構成要素となるシステムのうち、安全性に関するもの全てが対象となっており、現在、外国における鉄道の建設においては、この規格を満足することが必須となりつつある。しかし、この規格を満たすためには、どのような検証が必要か等の詳細は記述されていないため、日本のメーカにとっては、適合性を示すことが困難であった。特に、R については、検証方法が困難であった。そのため、日本側から、R に関する詳細な手順、検証方法を記す TR（Technical Report）作成の提案をしているところである。

### ３．２．交通研の認証機関としての関わり

交通研は、現在、鉄道の認証機関として活動を行っているが、認定機関である NITE（(独）製品評価技術基盤機構）から認証対象規格として認定されている規格は、IEC 62425 である。現在までに 10 件の認証を実施して、順調に日本の鉄道の海外展開への支援を行っているところである。しかし、IEC 62278 に関する認証の要望が多く寄せられており、現在、IEC 62278 の規格適合性の認証に関する検討を行っているところである。したがって、RAMS 規格の改定により、R に関する詳細な TR が発行され、それが、日本の技術が反映されているものであるならば、認証機関としても、非常に有意義なものとなる。

## ４．国際規格に対する今後の取組み

以上述べてきたように、交通研では、日本の技術を国際規格に反映させるべく支援を行ってきており、今後も、交通研の持っている知見（新しい交通システム、信号技術や鉄道からの騒音、磁界解析等）を活かした形で続けていきたい。さらに、交通研は、認証機関としての役割も有しているので、国際規格適合性に関しては、日々、研究を続けていく必要がある。したがって、日本の技術が盛り込まれている国際規格に関しては、認証は容易となると思われるので、日本の技術の国際規格化は積極的に進めてほしい。しかし、現状は、欧州からの国際規格化の動きが急で、欧州の規格を国際規格化する際に、日本の技術も盛り込むという形が主流となっている。近年は、国土交通省鉄道局の指導により、規格センターをはじめ官民一体となって、日本の独自技術を国際規格化する活動が増えてきていると同時に、日本が国際主査として、規格策定も主導している。交通研としては、こうした動きを積極的に支援するとともに、規格化された場合に、その認証を直ちに行える体制を構築して、日本の技術の国際規格化から始まるその後の認証による海外展開といった流れを導ければと考えている。そのためには、国土交通省鉄道局、規格センターとの連携をより緊密に図っていくことが重要と考えている。

## ５．まとめ

以上、交通研がこれまでに支援してきた国際規格の概要と支援方法の例を述べ、国際主査、国内主査による活動も含め、日本の鉄道技術の国際規格化に微力ながら貢献してきたことを述べた。基本的に、公正・中立な機関である交通研は、特定のメーカの技術の国際規格化の支援をするのではなく、さまざまな日本の技術の最大公約数的要素を国際規格に盛り込むことや、鉄道行政の基本となる技術基準の考え方が反映される国際規格となることを主眼として支援をしてきた。一方、近年では、新興国等における鉄道プロジェクトの積極的な獲得を目指す観点から、日本で唯一の鉄道認証機関として、国際規格適合性を評価し、日本のメーカの輸出の際に必要な認証書を発行して、海外展開の支援を行っている。今後は、日本の鉄道技術の安全に対する考え方を踏襲するとともに、日本の鉄道技術の国際規格化とそれに対する認証をセットとしたビジネスモデルを構築して、日本の鉄道の海外展開の支援をより強固に支援したいと考えている。皆様方の支援を期待している。

# 講演６．鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望

鉄道認証室　　田代 維史

## １．はじめに

近年、欧州鉄道規格の国際規格化が加速するとともに鉄道海外市場の拡大が進んでおり、国際標準化活動や規格適合性認証の重要性が高まっているが、輸送安定性、安全性で実績ある日本の鉄道技術をこの流れに整合させるには課題が多い。特に、一般的な技術仕様規格ではなく、「機能安全規格」と総称される鉄道製品規格群への適合には困難を伴う。本講演では、この種の国際規格に関するこれまでの経緯、キーとなる規格の特徴、対応する国内活動、解決すべき課題及び今後の展望について報告する。

## ２．鉄道の機能安全規格

### ２．１．「機能安全」の意味

機能安全規格において、安全とは「結果が耐えがたい事故を生じる可能性がほとんど除去された状態」であり、機能安全とは「人為的安全機能によって達成されたそのような状態」を意味する。また人為的安全機能とは、技術的安全機能と安全マネジメント機能のセットであると考えられている。

技術的安全機能は、文字通り、ハードウェア、ソフトウェア及びシステムそれぞれにおける高信頼化、フェイルセーフ化、冗長化など、既に知られた技術・手法群により達成され、機能安全規格はこれらを追認する形で要求事項に組み入れている。

一方、安全マネジメント機能は、特定の製品の安全性達成のための詳細なマネジメントプロセスを意味する。

### ２．２．鉄道の機能安全規格の体系

鉄道分野のみならず、全産業分野をカバーする機能安全規格の代表例は国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission:IEC)の規格であるIEC 61508シリーズ(電気・電子・プログラマブル電子装置の安全性)である。鉄道分野ではこの規格シリーズを参照した次の３規格が鉄道の機能安全規格として存在する。

１）IEC 62278：信頼性、アベイラビリティ、保守性、安全性の仕様と実証

IEC 61508-1 から派生した欧州規格 EN 50126 をベースとし、RAMS 規格（R：信頼性、A：アベイラビリティ、M：保守性、S：安全性）と通称される。

２）IEC 62425：信号用安全関連電子システム

IEC 61508-2 から派生した EN 50129 をベースとし、セーフティケース規格と通称される。

３）IEC 62279：安全関連ソフトウェア

IEC 61508-3 から派生した EN 50128 をベースとしている。

なお、安全関連システムに使われるデータ通信の安全性要求事項を規定した IEC 62280（EN 50159 がベース）は、これ自体は機能安全規格の構成をとっていないものの、通信を担うハードウェアとソフトウェアの安全性を要求するため、規格適用においては少なくとも上記２）と３）は参照される。

### ２．３．規格の特徴

上記２．１の通り、機能安全規格は、技術とマネジメントの組合せによって製品安全性を達成することを目標としているが、具体的な規格要求事項群の主な内容は、文書化された安全マネジメントの証拠の要求であり、技術的安全機能もまた、マネジメント対象の証拠文書群の一環に組み入れられている。従って、機能安全規格という通称の技術的イメージとは異なり、実体は ISO 9000 シリーズと同類のマネジメント規格と考えなければならない。

安全性は製品品質の一部であるから、広義には、品質マネジメント規格 ISO 9000 シリーズによりカバーされるともいえるが、同規格シリーズが主に、種々の製品を生産する事業所全体の組織行動を対象として

いるのに対して、機能安全規格は特定の製品の安全性達成のための詳細なマネジメントプロセスを対象としている。機能安全規格にはISO 9000シリーズ対応のマネジメントの考え方と手法が組み入れられているが、それらはあくまでも、安全マネジメント手法の一環という位置づけである。

### ２．４．規格適合における課題

他の多くの産業分野と同様、鉄道分野においても我が国製品の品質は国際的に高い評価を受けているといえる。かつ、社会インフラとしての国内鉄道システムの輸送安定性、安全性もまた然りである。これは、製品サプライヤと、長期に渡り製品の使用・保守・保全を行うユーザ（鉄道事業者）両者の業務品質が相まって得られた評価であり、関連事業所はいずれもISO 9001 等、品質マネジメント規格への適合性認証を取得し維持している。

このような実績があるにも関わらず、鉄道の機能安全規格への適合の達成に関して以下の課題が指摘されている。それらの内容と背景を以下に述べる。

#### ２．４．１．規格適合作業上の課題

１）証拠文書の膨大さ

妥当な安全マネジメントが実施されたことを確認するには、目標安全性の妥当性、評価の客観性、レビュー・試験・検証・承認の手順の完結性、活動プロセスの時間軸上の無矛盾、記述事項・仕様項目・文書体系のトレーサビリティの完全性、活動組織の体制の組み方を含む品質管理の十分性など、多くの観点からの評価を要する。機能安全規格は、基本的にそれらの観点毎に独立した証拠文書の作成を要求するため、総文書量が自ずと膨大になる傾向がある。また、ひとつの対象である安全マネジメント活動を複数の観点から見るため、証拠文書間での記述の重複が多発する。

２）証拠文書管理の複雑さ

製品プロジェクトの進行に伴い、多くの箇所で記載内容の変更が発生することはやむを得ない。しかし、証拠文書の記載内容は１）の通り、複数の文書間で重複していることが多い。これに加えて１）のバージョン管理も含む時間軸上の無矛盾性達成とトレーサビリティの維持が必要であり、さらに、社内部署や社外調達先など、証拠文書の記述内容に関わる部署と要員が多数であるため、全証拠文書に渡り、個々の記述事項間の齟齬を排除するには多大な困難を伴う。

３）組織上の影響

機能安全規格の要求構造から見れば、多くの企業が確立しているISO 9001認証対応と相似の体制が組まれることが理想的であるが、機能安全規格は個別製品を対象にしたものであるため、組織上、そのような体制は実現困難である。その一方、上記１）、２）への十分な対応のためには、専門的な人的経営資源の投入が求められることが多い。

#### ２．４．２．規格自体から生じる課題

１）実際の製品ライフサイクルとの乖離

機能安全規格は、製品のライフサイクルの端緒すなわち製品開発構想段階から、終末すなわち製品の使用停止と廃棄までの安全マネジメントをフルカバーするという考え方で作られている。しかしビジネス上、実際に規格対応の必要性が浮上するタイミングは、開発着手段階より後になることが多い。IEC 61508シリーズも含め、現状の機能安全規格はそのような事態への対応の考え方を提示していない。

２）実績ある製品の受容基準の曖昧さ

現状の機能安全規格は、安全性の証拠として、フィールドにおける安全な使用の実績を排除しないとしているものの、判断基準が不明瞭なため、規格適合性認証審査において恣意が入り得る。

３）証拠文書体系とその詳細度の曖昧さ

現状の機能安全規格は、記載事項を含めた安全マネジメントの証拠文書の体系及び記述内容の妥当性の判断基準が不明瞭なため、規格適合性認証審査において恣意が入り得る。

４）O&M段階の要求の曖昧さ

上記１）から３）はIEC 61508シリーズ由来の課題であるが、４）は鉄道用RAMS規格の開発において生じた課題である。鉄道製品の場合、ライフサイクルの構図上、後段に位置するO&M（O：Operation（運用）、M：Maintenance（保守））段階の長さは通常、それ以前の全段階の数倍、すなわち20年以上に及ぶ。そのため、製品のアベイラビリティは鉄道事業の経営上、安全性とともに極めて重要である。これに対して特にRAMS規格は、製品ライフサイクルのフルカバーを標榜しているものの、実態としてO&M段階に関する現在の要求事

項は曖昧である。RAMS 規格においては、アベイラビリティを中心とするRAMマネジメントに機能安全規格の安全マネジメントの仕組みを流用しているものの、安全性における SIL（Safety Integrity Level（安全性水準））のような評価指標が欠落している。

なお、この課題に関しては現在、IEC/TC9 において、日本主導で IEC 62278 の O&M 段階に関する改訂案作成作業が進行中である。この改訂の範囲は３．１．３に後述する欧州側の EN 50126 改訂案の範囲との重複が殆ど無い模様であり、近年中に両案が統合される見通しである。

### ２．４．３．規格運用の仕方から生じる課題

１）既存品への適用要求

国際規格の一般原則として、規格発行以前に開発が着手された製品は規格適用対象外とされている。機能安全規格は、時間軸に沿った安全マネジメント活動の実証を要求するものであることから、上記原則はより一層重視されるべきであるが、海外鉄道市場においてはこれを無視した適用要求の事例が見られ、機能安全規格の本来目標の形骸化が懸念される。

２）個別部品への適用要求

機能安全規格は、適用製品個々に関する安全マネジメント活動の実証を要求するが、その適用単位の規模が過度に小さくなると、適合性証明の証拠文書を単位毎に揃える作業が膨大となり、コスト合理性を欠くことになりかねない。しかし、そのような問題を無視した部品レベルへの適用要求が、これも海外市場において散見され、上記１）と同様の形骸化を招く懸念がある。

## ３．規格の動向と展望

### ３．１．これまでの経緯

#### ３．１．１．欧州における発端と課題

機能安全規格が生まれた直接的背景として、1985 年発効の欧州経済共同体（EEC：現 EU）の製造物責任指令が挙げられる。この欧州指令は、製品による事故が発生した場合の設計・製造における過失責任を緩和する条件として、State-of-the-art（一般的には「当代最高のもの」を指す言葉だが、ここでは「製品出荷時点における業界最高の安全設計技術」を指す）の投入の実証を求め、IEC 61508 シリーズはその実用解として開発されたものである。すなわちこの規格は、万が一、出荷後の経年ののち製品事故が発生した場合に、過去の出荷時点において可能な限りの安全設計への努力を払っていた、と主張できるように、メーカが予め証拠を準備するための手順を標準化したものである。なお上記の欧州指令自体は、1960 年代の米国の複数の州における消費者保護法（州法）の制定と、機械類の設計安全性の説明責任の概念を導入した、英国労働安全法の改正に関する 1972 年のローベンス委員会報告にその源を発すると言われている。

欧州の鉄道分野では 1980 年代後半より、IEC 61508 シリーズを参照しつつ、それとほぼ並走する形で２．２に挙げた規格群の開発が進められ、1999 年以降、正規の欧州規格として発効した。ただし欧州では 90 年代初頭より、各国国鉄の民営化と共に規格ドラフト段階においてビジネス適用が始まっていた。

２．４に挙げた課題はすでにこの頃から浮上し、1997 年には欧州鉄道車両メーカ団体 UNIFE より、RAMS 規格運用に関するガイドラインが発表されたものの、その有効性は評価されていない。

#### ３．１．２．日本の対応

日本国内では、欧州鉄道におけるこのような規格の動向を見て、90 年代より、規格分析、影響評価、ガイドライン作成の活動が行われていたが、2001 年に RAMS 規格が IEC 規格原案として上程され、IEC/TC9 国内委員会の下に IEC 62278 国内作業部会を設置し、公式の対応活動が開始された。

この活動の特徴は、それまで鉄道分野内の製品区分毎の協会中心に行われていた技術仕様的規格の審議とは異なり、分野横断的な審議体制が組まれたことである。これは RAMS 規格が鉄道分野の製品種別を問わず適用可能なためである。

また 2000 年代前半から RAMS 規格に加えて、その他の多数の欧州規格が IEC 規格原案として上程されてきたため、このような状況への機動的かつ効率的な国内対応体制の必要性が生じ、鉄道総合技術研究所に鉄道国際規格事務局が設置され、2000 年代後半、現在の鉄道国際規格センターへと発展した。

さらに、標準化活動と規格適合性認証活動を「車の両輪」とすべき、との認識が 2000 年代から芽生え、実際に海外鉄道ビジネスにおける日本製品の、機能安全規格への認証取得における様々な障壁の指摘が相次いだことから、約３年の準備期間ののち 2011 年、

交通安全環境研究所に鉄道認証室を設置し、２．２に挙げた４規格に鉄道 EMC 規格 IEC 62236 シリーズを対象に加えて、鉄道国際規格に関する国内初の認証活動を開始した。

また、2010 年代に入り、IEC にとどまらず、ISO における鉄道マネジメント規格の戦略的重要性に着目し、日独仏の主導で ISO 初の鉄道専門の TC（技術委員会）として ISO/TC269 を設立した。

### ３．１．３．欧州における規格改訂

ここで再度欧州に目を転じると、欧州規格団体の CENELEC（欧州電気標準化委員会）が 2008 年より機能安全３規格、EN 50126、EN 50128 及び EN 50129 の改訂に着手している。この改訂の目的のひとつは、それまでに顕在化した諸課題を解決することであり、他のひとつはこれらの規格を IEC 61508 シリーズ同様にシリーズ化して内容の整合を図ることであったと考えられる。しかし欧州各国から、規格改訂プロジェクトの所定期間内では処理不可能な大量の意見が出され、改訂は大幅な遅延を強いられている。そのため、2011 年に先行して改訂版が発効した EN 50128（IEC 62279：2015 年版）を除き、RAMS 規格とセーフティケース規格は依然として、上述の諸課題を含んだ初期の内容での運用が続いている。

### ３．２．今後の展望

これまでの経緯を概観すれば、2000 年以前は、欧州が機能安全規格を開発し、それらが含む課題を経験し始めると共に、日本も注目を始めていた年代、その後の 10 年は、日本が欧州起源の IEC 規格群に対応する審議体制の強化を図り、欧州は機能安全規格の改訂に着手した年代、2010 年代は日本が国内認証機関を設置するとともに、ISO の場における鉄道マネジメント規格の主導権獲得を図る年代と区分できる。

ただし、日欧のいずれの試みも、完成を見るには多くの課題を克服する必要がある。日本に関しては、IEC、ISO のいずれの場においても、鉄道規格の全般動向への分析力と戦略立案力を高めると共に、個々の規格に関する審議対応力の強化と継承の努力を継続する必要がある。その際には、世界における日本の鉄道技術、国内標準及び関連組織の正しいポジションを今までより一層、分析的かつ客観的に把握しておく必要がある。

人材面で見ると、これまでは日欧共に、またサプライヤ側、ユーザ側を問わず、各国国鉄の民営化以前から、数多くの技術開発の最前線で働いた経験のある技術者が主体であったが、これも日欧共にすでに世代交代が始まっており、その影響への対応が重要性を増している。また日本の場合は、複数種別の鉄道製品をプロフェッショナルにカバーする欧州のゼネラリスト的人材の確保が、標準化と認証の両面において求められる。

なお、２．４に挙げたもの以外に、他産業分野を含めた機能安全規格全般に関わる課題として、製品認証スキームのためのガイドラインを定めた、ISO/IEC 17067 が対象とするライフサイクル段階が、機能安全規格のそれと一致せず、O&M 段階が製品認証で十分にカバーされていないという課題がある。また、鉄道分野以外ではあるが、特に大規模システムに対する安全マネジメント認証の不完全性が指摘される事例が世界的に生じており、このような機能安全規格の本来目標の形骸化の懸念を、安全規格のためのガイドライン規格のレベルにおいても排除していく努力が必要である。

## ４．まとめ

特に RAMS 規格を中心とする鉄道分野の機能安全規格に関して、その経緯、課題及び動向を考察し、それらをベースに今後の展望を試みた。日本国内の対応体制はようやく形が整った段階といえる。目指す目標を他より優位に達成するためには、戦略面、人材面での課題がある。これらを克服することが 2020 年代の評価につながると考えており、交通安全環境研究所は、鉄道技術の標準化活動と認証活動の両面での努力を継続する所存である。様々な立場の方々並びに関連機関のご指導、ご協力をお願いする。

# 講演７．鉄道認証機関としての交通安全環境研究所の役割と今後の方向性

鉄道認証室　※ 佐藤 安弘　田代 維史　千島 美智男　長谷川 智紀

## １．はじめに

鉄道製品・技術の海外展開にあたっては、多くのケースにおいて国際規格への適合性に関する認証が求められる。交通安全環境研究所では、鉄道分野で国内初の国際規格適合性認証機関となる鉄道認証室を平成 23 年 4 月に設置した。平成 24 年 9 月に独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）より認証機関として認定を受けた鉄道認証室は、認定機関である NITE の審査による継続的な認定を維持しつつ活動している。ここでは、認証活動の概要について紹介するとともに、将来に向けた鉄道認証機関としての方向性について述べる。

## ２．鉄道認証機関の設立[1)]

### ２．１．日本における認証機関の必要性

従来から日本国内では、JIS（日本工業規格）や鉄道分野の団体規格があり、鉄道に関する安全性やその他の性能に関しては製品供給側が規格準拠を自己宣言し、調達側の鉄道事業者が承認することにより、事実上の規格適合性判断が行われている。しかし海外市場では、規格として EN 規格(欧州統一規格)または国際規格(IEC 等)に準拠することが求められ、その規格適合性判断を契約関係者以外の、客観的な第三者機関にゆだねる「認証」がこの判断の仕組みの主流となっている。そのため日本の鉄道関連メーカーの海外進出に際しては、製品の国際規格に対する認証取得が必須の状況になっている。鉄道製品に関する認証を行う日本の認証機関が存在しなかった当時は、日本のメーカーは主に欧州の認証機関から認証を取得せざるを得ず、言語の壁、時差および技術思想の違いによって生じる時間とコストが問題となっていた。

### ２．２．鉄道認証室設置の経緯

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において、「我が国においては製品の確認・検査は鉄道事業者が行っており、第三者認証機関は存在していないため、今後、我が国の製品の国際規格への適合性評価のあり方を検討する必要がある。」とされ、これを受けて国土交通省鉄道局および公益財団法人鉄道総合技術研究所を事務局とする「鉄道技術標準化調査検討会」において、国内に海外対応認証機関を設立するための「鉄道認証機関設立検討ワーキンググループ」が設置され、検討が行われた。また、同ワーキンググループの下に車両、地上電力設備、信号の各分野のメーカーを主体とするサブワーキンググループが設けられ、分野ごとの海外認証状況の情報収集および日本における認証の具体的な仕組みへの要求の抽出作業が行われた。交通安全環境研究所は、独立行政法人としての公平性・中立性や鉄道技術に関する安全性評価の実績等の観点から鉄道認証機関としての適格性を有するものとされた。

そして、国土交通大臣が定める交通安全環境研究所の中期目標（平成 23 年 4 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで）において、「国際規格への適合性評価（認証）を行うための体制を検討すること」が盛り込まれた。

認証機関は、ISO(国際標準化機構)および IEC(国際電気標準会議)共通のガイダンスである ISO/IEC Guide65（製品認証機関に対する一般要求事項(当時、現在は ISO/IEC 17065)）[2)]に則って、その体制整備を行う必要がある。そこで、平成 23 年 4 月に交通安全環境研究所内に鉄道認証室を設け、これを鉄道認証室長、業務運営管理者、業務担当者および審査要員により構成することとした。認証業務実施体制の概要を図 1 に示す。

図 1 に示す審査要員については、鉄道認証室に所属する職員のほかに、外部審査要員としてメーカー OB 等に委嘱を行うこととした。また、認証業務の方針に関する事項および品質システムの維持に関する事項等の審議を行い、鉄道認証室へ助言を行うため、鉄道製品認証業務運営委員会(委員長 中村英夫

日本大学教授)を設置した。

### 2．3．認証対象規格

鉄道関連メーカーが海外展開において認証を必要としている国際規格のうち、前述のサブワーキングで挙げられたニーズの高い5規格（表1）を認証対象規格として選定した。

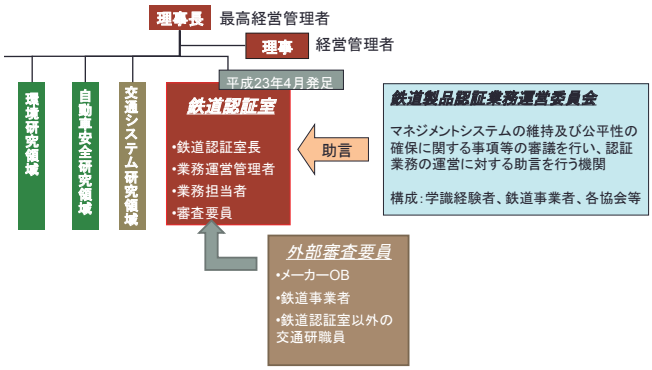



図1　認証業務実施体制

表1　認証対象規格

| | 規格番号 | 概　　要 |
|---|---|---|
| ① | IEC 62278<br>(RAMS) | 鉄道システムの安全性や信頼性に関する規格<br>(RAMS：Reliability(信頼性)、Availability(アベイラビリティ)、Maintainability(保全性)、Safety(安全性)) |
| ② | IEC 62279<br>(ソフトウェア) | 鉄道信号システムのソフトウェア<br>の安全性に関する規格 |
| ③ | IEC 62280<br>(通信) | 鉄道信号システムの通信の安全性に関する規格 |
| ④ | IEC 62425<br>(セーフティケース) | 鉄道信号システムの電子装置<br>の安全性に関する規格 |
| ⑤ | IEC 62236<br>(EMC) | 鉄道システムの電磁界に関する規格<br>(EMC：Electro-Magnetic Compatibility) |

### 2．4．認定の取得

平成23年9月より具体認証案件の審査を開始し、鉄道認証室として初めての認証を平成24年1月に行った。このような認定取得前の認証を「プレ認証」と称する。対象の国際規格は、鉄道信号システムの電子装置の安全性に関するIEC 62425（セーフティケース）であった。ISO/IEC Guide65に準拠した認証業務に関する品質ドキュメントや構築した体制およびプレ認証実績をもとに、平成24年1月にNITE認定センターへ認定申請を行い、平成24年9月6日、国内初の鉄道分野における国際規格適合性認証機関として、IEC 62425を対象とする「認定」を取得した。

## 3．現在の取り組み

### 3．1．認証業務

これまでの認証書の発行実績は合計10件となっており、最近では、IEC 62425のほかに、IEC 62279(ソフトウェア)やIEC 62280(通信)を適用規格とする認証書を発行している。認証書発行実績を表2に示す。

認証業務の品質を維持するため、「鉄道製品認証業務品質マニュアル」をはじめとする認証業務に関する品質ドキュメントに従い、前述の鉄道製品認証業務運営委員会を設置しているほか、内部監査、認証機関の要員の教育・訓練等を実施している。定期的に開催している鉄道製品認証業務運営委員会においては、各年度の活動状況や活動計画を報告するとともに、認証業務品質の適切な維持に関する事項等の審議を行っている。

表2　認証書発行実績

| 認証番号 | 発行年月日 | 認証対象製品 | 適用規格 |
|---|---|---|---|
| NRCC-2012-001 | H24.1.25 | 鉄道信号用CPUボード | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2012-002 | H24.6.25 | 無線利用列車制御システム(特定路線向け) | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2012-003 | H24.6.25 | 無線利用列車制御システム(汎用向け) | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2013-001 | H25.3.29 | 鉄道用電子連動システム | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2013-002 | H25.5.16 | 鉄道用列車位置検知システム | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2015-002 | H27.5.13 | 列車制御システム車上装置 | IEC 62425 Ed.1.0:2007 |
| NRCC-2015-003 | H27.5.13 | 列車制御システム車上装置 | IEC 62279 Ed.1.0:2002 |
| NRCC-2015-004 | H27.5.26 | 列車制御システム車上装置 | IEC 62280 Ed.1.0:2014 |

(H27.7.1現在。目標とするRAMSライフサイクルに到達する過程で段階的に行う認証の実績は含まない。)

### 3．2．ISO/IEC 17065に準拠した認証業務運営への移行

認証機関に対する要求事項は、平成24年9月にISO/IEC Guide 65(製品認証機関に対する一般要求事項)からISO/IEC 17065(適合性評価、製品、プロセスおよびサービスの認証を行う機関に対する要求事項)[3]に改正された。これに対応しISO/IEC 17065に準拠した認証業務運営に移行するため、鉄道認証業務品質マニュアル等の規程類を改正し、平成27年2月10日に施行した。改正の要点は以下の通りである。

(1)認証プロセスに関する要求事項への対応

申請の受理に先立ち「申請のレビュー」を行い、認証の実施の可否を決定して申請者に通知するプロセスを設けた。また、申請者の義務（不適切な認証

の使用の禁止、サーベイランスへの対応等）の遂行を担保するため、「認証要求事項の遵守に関する合意書」の締結を行うこととした。

(2)公平性に関する要求事項への対応

認証機関の禁止事項として、コンサルティングの提供等を明記した。また、鉄道製品認証業務運営委員会を公平性確保のための審議を行う委員会として位置づけた。

(3)要員の力量に関する要求事項への対応

審査要員に加え、認証プロセスを担う要員の力量についても管理することとした。

### ３．３．認定機関による定期検査等

認証機関としての認定の維持については、認定機関である NITE の定期検査が実施されており、当認証機関の適格性が継続的に認められてきている。

また、前述のとおり本年 2 月に ISO/IEC 17065 に準拠した認証業務運営へ移行しており、NITE による臨時検査においてその適合状況の確認が行われ、ISO/IEC 17065 に適合した認証機関として改めて認定されたところである。

### ３．４．認証対象規格の改定

IEC 62279 が改正されたとともに、IEC 62280-1 および IEC 62280-2 が IEC 62280 に統合されたことに伴う規格番号の表記の修正等に伴い、認証機関が認証業務を行う規格を改定した。但し、旧規格での認証も可能である。現在、鉄道認証室が認証を行うことのできる国際規格を表 3 に示す。

### ３．５．広報活動

鉄道認証室では、認証機関としての設立趣旨に沿った認証活動を充実させ、その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ことを目的として、広報活動にも力を注いでいる。

(1)鉄道認証情報交換会

鉄道分野の海外展開に認証を役立てていただけるよう、認証活動の状況をお知らせ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、関連協会およ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)WEB ページによる情報提供

交通安全環境研究所 鉄道認証室の WEB ページ[4]において、認証を行うことのできる国際規格、認証機関としての認定証の写し、これまでの認証実績、認証業務に関する品質ドキュメント等を公開している。

(3)その他

交通安全環境研究所フォーラムおよび講演会での報告をはじめ、国内外の鉄道技術展示会におけるパネル展示等の取り組みを行っている。

表３　現在の認証対象規格

| 規格名称 | | 規格番号 | 認定規格 |
|---|---|---|---|
| 信頼性，アベイラビリティ，保全性，安全性（RAMS）の仕様と実証 | | IEC 62278:2002 | |
| 通信，信号及び処理システム | 信号用の安全関連電子システム | IEC 62425:2007 | ○ |
| | 鉄道の制御，保護システム用ソフトウェア | IEC 62279:2002 | |
| | | IEC 62279:2015 | |
| | クローズドトランスミッションシステムにおける安全性に関する通信 | IEC 62280-1:2002 | |
| | オープントランスミッションシステムにおける安全性に関する通信 | IEC 62280-2:2002 | |
| | トランスミッションシステムにおける安全性に関する通信 | IEC 62280:2014 | |
| 電磁両立性 | 通則 | IEC 62236-1:2008 | |
| | 鉄道システム全体の外部へのエミッション | IEC 62236-2:2008 | |
| | 鉄道車両 列車及び車両 | IEC 62236-3-1:2008 | |
| | 鉄道車両 装置 | IEC 62236-3-2:2008 | |
| | 信号及び通信機器のエミッション及びイミュニティ | IEC 62236-4:2008 | |
| | 地上電源設備及び機器のエミッション及びイミュニティ | IEC 62236-5:2008 | |

## ４．今後の方向性

### ４．１．認定規格の拡充

認証機関としての認定は、対象とする国際規格ごとに与えられることとされており、現在、鉄道認証室が取得している認定規格は表 3 の○印で示す IEC 62425 のみであることから、認定規格の拡充を図っていくことが重要である。そのためには、対象とする国際規格の認証実績が必須である。

平成 27 年 5 月に IEC 62279 を適用規格とする認証書および IEC 62280 を適用規格とする認証書を発行したが、これらはプレ認証と位置づけられ、この実績に基づき認定規格の拡大に努めることとしている。また、現在認証審査を実施している IEC 62278（RAMS）については、引き続き認証審査に注力す

るとともに、認証が完了した後に、その認証実績に基づき認定規格の拡大を図ることとしている。

さらに、今後の国際規格の動向と認証ニーズを反映し、認証対象規格および認定規格のさらなる範囲拡大についても検討を行うことが必要であると考えている。

### ４．２．法人統合に伴う対応

平成 28 年 4 月には、交通安全環境研究所は自動車検査独立行政法人と統合し、独立行政法人　自動車技術総合機構となる予定であるが、交通安全環境研究所の名称は維持されることとなっている。

「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」（平成 25 年 12 月 24 日閣議決定）においては、「鉄道インフラの戦略的な海外展開等において重要な役割を引き続き担う必要がある」とされており、この趣旨に的確に対応するため、法人統合後においても鉄道分野における国際規格適合性認証機関として、公正・中立の立場から積極的かつ着実に鉄道認証業務を行っていくこととしている。

### ４．３．国際通用性の強化

平成 25 年 6 月に策定された「日本再興戦略」の知的財産戦略・標準化戦略において、「グローバルに通用する認証基盤の整備」が盛り込まれているほか、上記法人統合に関する閣議決定の趣旨からも、鉄道認証室が実施している鉄道分野の認証活動は、日本の鉄道製品・システムの海外展開を促進する国の施策を支援する観点から極めて重要なものであり、認証の実効性をより高めるため国際通用性の強化が求められている。

認定機関である NITE は、IAF（国際認定フォーラム）および PAC（太平洋認定協力機構）に加盟し、相互承認取決めに署名している。相互承認取決めは、認定された認証機関が発行する認証書が国際間取引においても有効なものとして流通し、不要な二重検査を排除することにより、円滑な貿易を促進する目的で IAF や PAC において、近年その取り組みが行われており、相互承認取決めの署名により認定の信頼性が国際的に高まり、ひいては、認定された認証機関が発行する認証書の国際的な受入れの可能性が高まる [5)]。

今後も、認定の国際通用性を活かし、認証機関として国際的な信頼を高めるための活動を実施していく必要がある。このため、認証機関に対する国際規格の要求事項を遵守し認定の維持を図ることはもちろん、引き続き認証業務を着実に進め、認証実績の拡充と認定規格の拡大に努めることとする。また、広報・情報発信活動については、以下の観点から引き続き注力していく必要があると考えている。

① 認証機関としての国際通用性を強化するため、海外鉄道関係者への認知度向上を図ること

② 認証機関としての活用促進を図るため、日本のメーカーに鉄道認証室の認証活動を周知し、より利用しやすい環境を整備すること

こうした取り組みを継続することにより、日本の鉄道分野における国際規格適合性認証機関として、鉄道インフラの戦略的な海外展開等に貢献していく。また、外国の認証機関とも連携を図り、日本のメーカーの効率よい海外展開の支援も視野に入れている。

## ５．まとめ

鉄道認証機関の設立の経緯、交通安全環境研究所鉄道認証室の認証活動の概要について紹介するとともに、将来に向けた鉄道認証機関としての方向性について述べた。

交通安全環境研究所では、公正・中立の立場から、日本の鉄道製品・システムの認証を通じて、日本の鉄道技術の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。そのためには認証の経験と実績を積み重ねることが重要であり、引き続き関係各位のご指導・ご協力をお願いしたい。

## 参考文献


1) 田代ほか，交通安全環境研究所フォーラム 2012 講演概要, pp.71-74

2) ISO/IEC Guide65:1996, "General requirements for bodies operating product certification systems”

3) ISO/IEC 17065:2012, "Conformity assessment -- Requirements for bodies certifying products, processes and services"

4) http://www.ntsel.go.jp/news/certifi/certification.html

5) http://www.nite.go.jp/iajapan/aboutus/kokusai/mla.html

# ポスターセッション

# ① 小型車両の乗員傷害の軽減について

自動車安全研究領域　　※細川 成之　　田中 良知　　松井 靖浩

## 1．はじめに

車両相互の衝突事故では、大型車両に比べて軽自動車を含む小型車両の乗員傷害がより重いことが事故調査等で報告されている[1)]。

そこで、今回は車両相互の衝突事故のうち重傷死亡者が最も多い前面衝突事故について、乗員傷害と衝突速度との関係について調査を行い、乗員被害軽減方策について検討を行った。

## 2．交通事故調査

図1に(公財)交通事故総合分析センターデータによる車種別の前面衝突事故における運転者の死亡重傷割合を示す[2)]。軽自動車や軽貨物等の小型車両において、特に高齢者で死亡重傷割合が高い傾向が見られる。

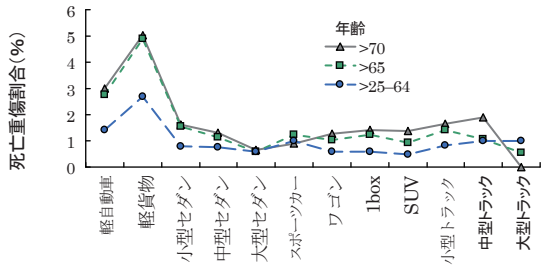



図1　車種別の死亡重傷割合

次に、車両相互の前面衝突事故について、(公財)交通事故分析センターのマクロ事故データを用いて 2007 年から 2011 年の 5 年間に発生した前面衝突事故について分析した擬似ΔV 別、損傷部位別死亡重傷者数を図2に示す。擬似ΔV については文献3を参照のこと。

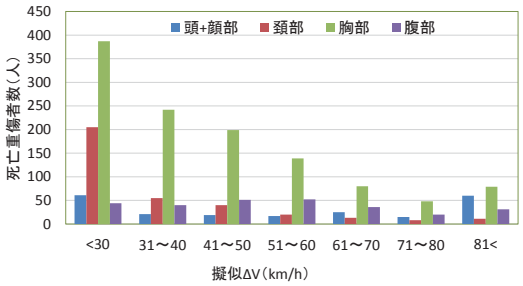



図２　擬似ΔV 別、損傷部位別死亡重傷者数

胸部傷害による死亡重傷者数が他の部位に比べてすべての速度域で多くなっており、特に低擬似ΔV になるほど顕著になっている。

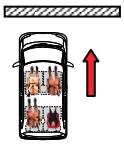
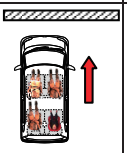
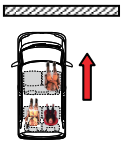
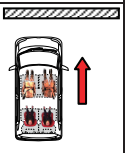
図1及び図2の結果から、乗員の死亡重傷者数を低減するためには、乗員の胸部傷害対策を強化することが有効であること考えられる。

## 3. 実車衝突実験

### 3. 1.　実験条件

交通事故調査の結果から、軽自動車を用い衝突速度 30km/h、40km/h、55km/h、60km/h における前面衝突実験を実施し運転席乗員の傷害値を比較した。表1に実験条件を示す。実験に使用した車両は、2004 年式の軽自動車である。傷害値計測用のダミーは前席と後席に搭載したが、今回は運転席に搭載した成人男性ダミーについてのみ述べる。なお、運転席には前面衝突用のエアバッグと3点式シートベルト(プリテンショナー及びフォースリミッタ機能付き)が装備されている。

表1　実験条件

| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Test 4 |
|---|---|---|---|---|
| 実験形態 |  |  |  |  |
| 衝突速度 | 30 km/h | 40 km/h | 55 km/h | 60 km/h |
| 実験時重量 | 1, 071kg | 1, 070kg | 1, 063kg | 1, 071kg |
| 運転席搭載ダミー | 成人男性ダミー | | | |

### 3. 2.　実験結果

死亡重傷者の主要な受傷部位である頭部と胸部について、ダミーにより計測した HIC(頭部傷害基準:Head Injury Criterion)と胸部変位で比較を行った。運転席乗員の傷害値を表2に、衝突速度 60km/h における各計測値を基準とした比較を図2に示す。また、頭部加速度の時間履歴を図4に、車体減速度の時間履歴を図5に、車両及び乗員挙動を図6に、胸部変位の時間履歴を図7に、そしてシートベルト張力の時間履歴を図8に示す。

表2　運転席乗員の傷害値

| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Test 4 |
|---|---|---|---|---|
| 衝突速度（km/h） | 30 | 40 | 55 | 60 |
| ＨＩＣ | 53 | 166 | 709 | 668 |
| 胸部変位（mm） | 35 | 41 | 44 | 48 |

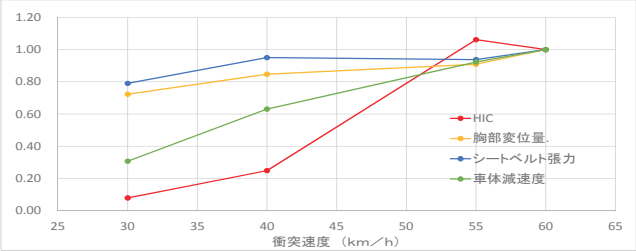



図３　運転席乗員の傷害値等比較

表2よりHICは、衝突速度が低くなるにしたがい大きく減少し、衝突速度30km/h(Test1)では衝突速度60km/h(Test4)の場合に比べて90%以上減少している。これは、図4、図5及び図6から、衝突速度40km/h以下(Test2)では車体前部での衝突エネルギー吸収構造が十分に機能したため、車体減速度の最大値が低く抑えられたことと、エアバッグが十分に機能を発揮したためと考えられる。

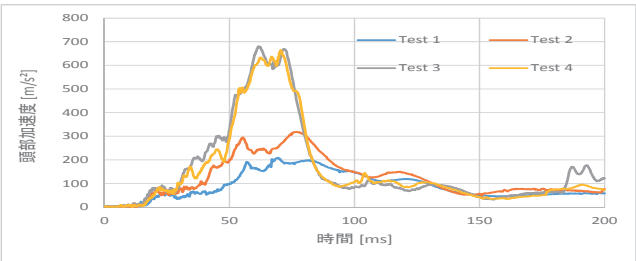



図４　頭部加速度の時間履歴

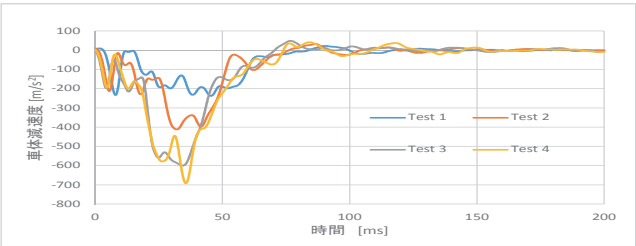



図5　車体減速度の時間履歴

Test1　Test2　Test3　Test4

図6　車両及び乗員挙動(衝突後70ms)

なお、衝突速度60km/h(Test4)のHICが55km/h(Test3)に比べて低くなっているのは図6から高速衝突時の車体のピッチング回転が大きかったためダミー頭部とエアバッグとの接触状態が変化したためと推測される。

一方で、胸部変位は、衝突速度が30km/h(Test1)の場合でも60km/h(Test4)の場合に比べて約20%程度しか低減していない。図7及び図8より胸部変位の最大値の発生時間と傾向はシートベルト張力とほぼ同様であるため、胸部変位を低減させるためにはシートベルト張力を下げることが効果的であるといえる。ただし、シートベルト張力を下げると、乗員の拘束が弱まるため、上体移動量が増加し車室内との二次衝突の危険性が高くなり、シートベルト本来の機能を果たせなくなる。したがって、低速度においても胸部変位をHICと同様に低減させるためには、高速度の衝突と低速度の衝突とでシートベルトの張力の最大値を調整するなどの対策が有効であると考えられる。

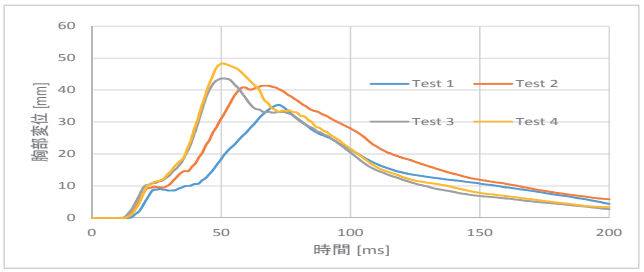



図7　胸部変位の時間履歴

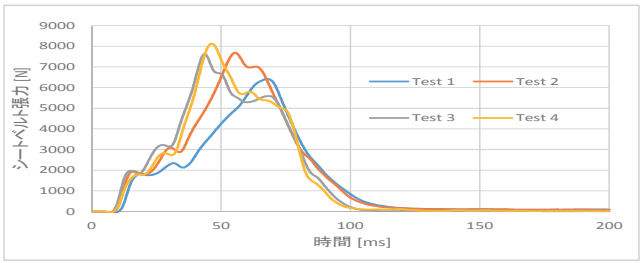



図8　シートベルト張力の時間履歴

## 4. まとめ

事故調査及び実車衝突実験により車両相互の衝突事故において、小型車の乗員の死亡重傷者数の低減のためには、低擬似ΔV における乗員の胸部傷害低減対策が重要であるとがわかった。今後は予防安全装置の普及により、衝突速度が下がる可能性が大いに期待できるが、胸部変位のように低速度でも大きな傷害値を示す部位もあるため今後とも衝突安全装置の性能向上は必要であると考えられる。

## 参考文献


1) 交通安全環境研究所フォーラム(平成25年度)、軽自動車の乗員傷害について、細川ほか
2) 交通事故例調査・分析報告書(平成23年度)，(財)交通事故総合分析センター
3) 前面及び後面衝突事故の衝突速度ΔV の推定精度向上に関する研究、(公財)交通事故総合分析センター，平成24年4月

# ② 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いた出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討（第２報）

自動車安全研究領域　※田中 信壽　　安本 まこと
元自動車安全研究領域　　波多野 忠

## １．はじめに

2014 年における出会い頭による死亡事故は 543 件発生し、死亡事故全体の 13.5%と高い割合を示している[(1)]。このような事故実態から、出会い頭事故を削減する手段として注目されている予防安全支援システムが通信利用型出会い頭衝突防止支援システムである。この支援システムは、交差点において車車間通信や路車間通信などの通信技術を用いて互いの位置情報等を共有することによって出会い頭に発生する衝突に対する注意喚起情報や警報をドライバに提供するシステムである。そこで、我々は、この通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの開発や普及促進において欠かすことができない定量的な効果評価をコンピュータシミュレーションによって実現する手法の開発を行ってきた。本手法は、これまで我々が開発を進めてきた予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS（A Survey Simulator to Evaluate Safety Systems）に対し、通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を可能とする新機能を組み込むことによって実現したものである。

これまで、本研究では、優先道路と非優先道路が交わる交差点において非優先道路を走行する車両（支援対象車）に対し、１台の車両が優先道路上を右側から接近する状況での当該支援システムの効果評価を行い、報告した[(2)]。本報告では、上記の交差点で優先道路を車両が２台走行する場合（１台目と２台目の間を、非優先道路を走行する車両が横断する場合）の当該支援システムの効果評価について報告する。

## ２．通信利用型出会い頭衝突防止支援システム

今回、評価に用いた通信利用型出会い頭衝突防止支援システムは、以下のプロセスによって支援を行うシステムである。①非優先道路を走行する車両（以下、自車両）が、一時停止規制のある交差点に向かって進行する。②自車両が通信エリアに入り、優先道路を走行する車両（以下，相手車両）の情報を受信可能となる。③自車両の位置、速度、ブレーキ操作などから、自車両が一時停止線付近で一旦停止したと判定したのち、受信した相手車両に関する支援を開始する。④自車両の位置、速度、ブレーキ操作、アクセル操作などから、自車両が発進したと判断できたとき、支援を終了する。なお、今回の評価では、出会い頭衝突防止支援システムの支援タイミングを相手車両の衝突余裕時間（相手車両が自車との衝突点に到達するまでの余裕時間）が 8 秒となった時点に設定した。

## ３．ASSESS の概要

ASSESS は、自律走行可能な車両（エージェント）を計算機内に構築した仮想空間内に出現させるマルチエージェントシステムで構成されている（図1）[(3)]。ASSESS は、このエージェントに対し評価対象とする予防安全支援システムの機能を搭載させ、その場合に発生する衝突件数やニアミス件数を算出することで効果評価を実現する。

ASSESS は、ドライバモデル、車両モデル、環境モデルの 3 つのプログラムとこれらを制御する統括プログラムによって構成されている。ドライバモデルは、ドライバの運転行動である認知／判断／操作を模擬し実行するプログラムである。このドライバモデルは、まず仮想空間に構築された交通環境を三次元的に認知し、その情報をもとに運転戦略を決定した後、その運転戦略に求められる運転操作量を車両モデルに出力する。車両モデルは、ドライバモデルから入力される運転操作量（ブレーキペダル踏力等）をもとに車両の位置を算出するプログラムである。環境モデルは、各エージェントの発生スケジュールとそれら個々に搭載されるドライバモデル及び車両モデルの特性を割り当てるプログラムである。

図１　ASSESS の概要

すなわち、環境モデルによって割り当てられた特性に基づいて各エージェントの運転行動と車両性能が変化し、車両の挙動に個体差が生じることとなる。

## ４．効果評価を行う環境

本研究では、出会い頭事故が発生しやすい交差点の環境要因の調査[4]をもとに通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの機能を考慮して図２に示す評価環境で当該支援システムの効果評価を行うこととした。この評価環境の特徴とその選定理由を以下に示す。

①優先道路と非優先道路が交差する交差点

選定理由：出会い頭衝突防止支援システムは発進待機支援であり、支援を受ける車両が走行する道路には一時停止線が存在するため。

②信号なし交差点

選定理由：出会い頭事故の 70%以上が信号なし交差点で発生しているため。

③車道幅員が 5.5[m]以上 13[m]未満と 5.5[m]未満の組み合わせの交差点

選定理由：交差点の形状が①を満たし、かつ、その中でも出会い頭事故が多く（28.1%）発生している交差点の大きさのため。

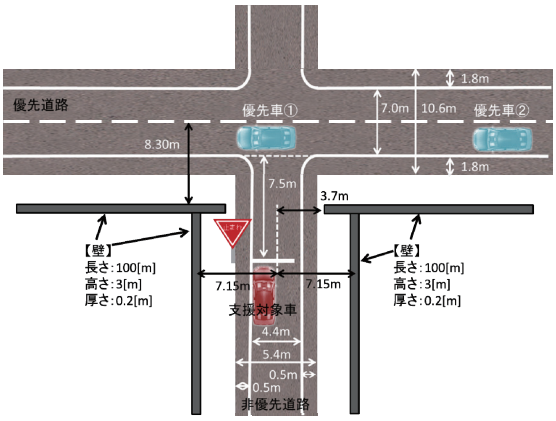



図２　評価環境

④見通しが悪い。

選定理由：環境要因として見通しの悪さが高い割合を示すと共に、出会い頭衝突防止支援システムが効果を想定している環境であるため。

なお、今回の評価では、優先道路を走行する２台の車両（以下、１台目：優先車①、２台目：優先車②）が非優先道路を走行する車両（以下、支援対象車）の右側から接近し、支援対象車は優先車①を通過させた後、優先車②の前方を横断する状況を想定することとした。

## ５．効果評価のためのドライバモデルの機能

本研究では、出会い頭事故の人的要因の調査[5]をもとに出会い頭衝突防止支援システムの機能を評価するために必要な以下のような機能を洗い出し、これらを開発してドライバモデルに搭載した。

### ５．１．左右確認機能（可視範囲の周期的な水平移動）

交差点で車両の認知エラーが生じる大きな要因は「左右確認不十分」であり、出会い頭衝突防止支援システムはこの「左右確認不十分」を防ぐ効果が期待される。そこで、ASSESS のドライバモデルにはこの左右確認機能を新たに組み込んだ。本機能は、同時に可視判定ができる一定の視野角（以下、可視角）を設定し、この可視角の中心方向を①正面→②右端→③右端停留→④左端→⑤左端停留→⑥右端→⑦右端停留→⑧正面のプロセスで時間とともに変化させることが可能である。可視角の大きさは、注視点が迅速に安定して見ることができると考えられている安定注視野とし、視野の中心から水平±45°とした。また、可視角の中心方向の振り幅は、人が首振りすることが出来る最大角度といわれている±60°とした。可視角の中心方向の振れの周期は、被験者実験で観測された首振りの周期の平均値を用いた。

### ５．２．視認時間の推定

通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの目的は、優先車の接近情報を事前にドライバ（支援対象車）へ提供することである。よって、その効果は、最終的にドライバが優先車を視認できるかどうかに反映される。即ち、ドライバが車両を認識するためには、左右確認によって優先車を可視角内に入れるだけでは不十分で、さらに、その車両を認識するのに十分な時間（以下、視認時間）可視角内に留める必要がある。また、この視認時間は、ドライバ（支援対象車）と優先車との距離に依存することが予想された。そこで、本研究では、ドライビングシミュレータを用いてこの

関係を調査する被験者実験を行い、その結果を回帰分析することによって、支援対象車と優先車との距離から視認時間を推定する回帰直線（１次式、以下、視認時間推定直線）を得て、これをドライバモデルに組み込んだ。なお、この視認時間推定直線を実験データから得る際に、本直線の定数項（以下、y 切片）の標準偏差σも合わせて得た。そこで、ドライバの注意力が低下している状態等、視認に要する時間が長くなることが想定される状況の視認時間を推定する際は、このσまたはその数倍の値を y 切片に加算して視認時間を算出することとした。

### ５．３．思い込み

上記の左右確認行動や視認時間は、優先車を視認するために必要な生体的なメカニズムを構成する要素である。一方、これら要素の能力を変化させる因子が意識、無意識を含めたドライバの認識状態である。ドライバの認識状態が 「注意が不要である」という状態であれば、左右確認行動は不十分になり、視認時間は長くなる。このドライバの認識状態の形成に大きく影響を及ぼすものの一つが過去の経験に基づく「思い込み」である。通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの利用時では、ドライバが常に正確なタイミングで適正な支援を受け続けた場合、ドライバは「次もきっと同様の支援を受けられるだろう」という思い込みが生じることが予想される。つまり、ドライバは、支援が無い場合、「接近する優先車は存在しない」、また、支援があった場合でも「接近する優先車は十分遠方にいる」と思い込み、ドライバの認識状態が「注意が不要である」という状態に向かうことが想定される。そこで、ドライバモデルでは、このようなドライバの認識状況における評価、即ち、ドライバの注意力の低下している状態での評価を実現するために、支援が無い場合、左右確認行動を行わない、もしくは、確認の一部を怠るアルゴリズム、加えて、視認時間が長くなるアルゴリズム（上述σの３倍（以下、3σ）を視認時間推定直線の y 切片に加算する）も組み込んだ。

## ６．出会い頭衝突防止支援システムの効果評価

### ６．１．効果評価の方針

本評価では、出会い頭事故が想定される交通状況を想定し、その状況で発生する衝突件数と当該支援システムの普及率との関係を算出することで通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を行うこととした。なお、普及率に対する衝突件数は、式(1)にて推定するものとした。

$$N = P*P*X_1 + P*(1-P)*X_2 + (1-P)*P*X_3 + (1-P)*(1-P)*X_4$$

$P$：普及率[%],　$N$：普及率に対する衝突件数　・・・式(1)

$X_1$：支援対象車（　搭載），優先車（　搭載）時の衝突件数

$X_2$：支援対象車（　搭載），優先車（非搭載）時の衝突件数

$X_3$：支援対象車（非搭載），優先車（　搭載）時の衝突件数

$X_4$：支援対象車（非搭載），優先車（非搭載）時の衝突件数

$X_1$は普及率 100%の場合の衝突件数、$X_4$は普及率 0%の場合の衝突件数に相当する。なお、当該支援システムは、その性質上、どちらか一方でも非搭載であると通信が成立しないため支援は受けられない。よって、$X_2$及び$X_3$は、必ず一方が非搭載の条件であるため基本として普及率 0%の場合の衝突件数に相当する。また、本評価では、その効果を明確にするために、当該支援システムがその効果を発揮することを想定している 「ドライバの注意力が低下している状態（左右確認行動 : 最後の右確認を省略、視認時間 : y 切片に 3σ を加算）」をドライバの認識状態のベースとすることとし、この状態で支援があった場合は、その効果としてドライバの注意力が通常状態に戻ることとした。一方、当該支援システムの悪影響の効果についても評価に反映させるために思い込みの発生を想定することとした。この思い込みの影響は上述のように支援のタイミングの遅れによって生じるため、この支援タイミングを決定する優先車搭載の GPS の測位誤差をパラメータとして効果評価を行うこととした。現在、ガイドライン[6]では GPS の測位精度に関し４つのクラス（S クラス : 誤差 0.1[m]、A クラス : 誤差 5.0[m]、B クラス : 誤差 15[m]、C クラス : 誤差 30[m]）が定義されており、これに加え誤差 10[m]、 35[m]、40[m]の３つの場合と合わせた７ケースをパラメータとした。また、支援対象車のドライバは、当該支援システムが自車に搭載されている場合、優先車の搭載、非搭載に係わらず思い込みを生じる可能性がある。そこで、$X_2$（支援対象車 : 搭載、優先車 : 非搭載）は、同状況で思い込みが 100%発生することを想定した衝突件数とすることとした。

今回効果評価で使用した優先車①及び優先車②と支援対象車との初期速度と初期位置の関係を以下に示す。

- 支援対象車の初期速度 40[km/h]（一時停止線で停止するので交差点への進入タイミングは常に一定）。
- 優先車①と優先車②は、同じ初期速度で支援対象車の出現と同時に出現する。

・優先車②は、初期速度を 10 ~ 60[km/h]まで 2.0[km/h]刻みとした。また、出現位置は上記範囲で初期速度を決定した後、支援対象車との衝突余裕時間が 35[s]（本条件で支援対象車との衝突の可能性がある出現タイミングを確保）となるような位置とした。
・優先車①は、支援対象車が一時停止線で必ず停止する行動を考慮して支援対象車の前方を確実に通過させるために衝突余裕時間が 10[s]となる位置に出現させた（初期速度は、優先車②と同じ）。

### ６．２．効果評価

図３に当該支援システムの普及率に対して推定される衝突発生件数の推移を示す。図中の各線は GPS に測位精度毎の同推移である。

当該支援システムが完全に普及した場合（100%）、GPS の測位誤差が 15[m]以下であれば、これが導入されない場合（0%）に発生する衝突件数を約 82%削減できる可能性が確認された。一方、測位誤差が 30[m]となると、衝突件数を 18.4%程度しか削減できないことも確認され、測位誤差が 15[m]～30[m]の間で事故の削減効果が大きく低下する可能性が示唆された。さらに、測位誤差が 15[m]以下の場合でも普及の途中段階で一時的に衝突件数が増加する可能性があることも確認された。これは、普及の途中段階では、当該支援システムを搭載する支援対象車に非搭載の優先車②が接近時する（支援は提供されない）状況が発生し、支援対象車のドライバが、支援が行われないことで「接近する優先車はいない」と思い込み、事故が発生する件数を考慮したためである。今回の評価は、上記の状況で思い込みが 100%発生することを想定しており、この想定が評価の前提であることを十分考慮する必要があるが、普及率が約 75%を越えないと当該支援システムの事故削減効果が現れない可能性が確認された。

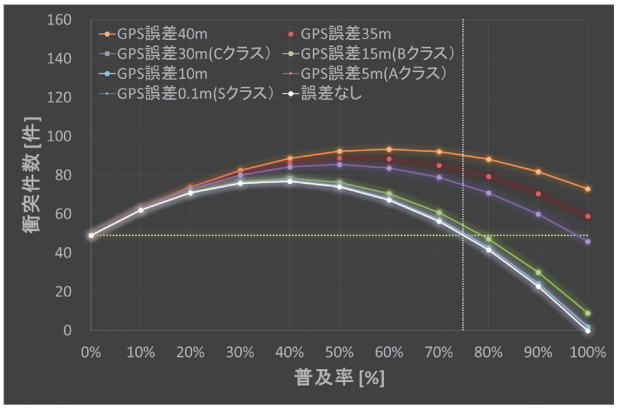



図３　評価結果

## ７．まとめ

本報告では、予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS のドライバモデルのアルゴリズム、設定及び効果評価方法を見直し、通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を行った。その結果、当該支援システムが完全に普及することによって、今回設定した評価条件においてもその有効性が確認された。特に、GPS の誤差が 15[m]以下であればその効果が顕著に表れ、10[m]以下であれば、衝突件数を数件にまで削減できる可能性があることが確認された。その一方で、思い込みの発生を前提とした場合、本評価では、GPS の測位誤差が無い場合でも普及の途中段階で一時的に衝突件数が増加する可能性があることも確認された。これは、普及時には、思い込みの発生が事故の発生に大きく影響を及ぼす可能性が示唆されたものであり、普及の途中段階では、この思い込みを発生させないための教育や何らかの支援といった工夫が重要であると考えられる。

今後、さらに評価精度を上げるためには、ドライバモデルの精緻化が必要であり、被験者実験データの拡充が必要であると。また、出会い頭事故が起こる状況は、今回設定した交通環境以外にも考えられ、そのような環境での評価が必要である。加えて、本結果は、支援の内容によって変化する可能性があり今後検証が必要である。

## 参　考　文　献

(1) 内閣府; 平成 27 年版交通安全白書.
(2) 田中信壽, 波多野忠, 安本まこと, 目黒貴之, 真野香織, 古川修; 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いた出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討, 交通安全環境研究所フォーラム 2013 講演概要, pp.91-94 (2013).
(3) 田中信壽, 森田和元, 青木義郎, 安本まこと, 廣瀬敏也; 予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)を用いたブレーキアシストシステムの有効性に関する検討, 自動車技術会論文集, Vol.43、No.1, pp.15-20(2012).
(4) 公益財団法人　交通事故総合分析センター編; 特集・道路環境からみた出会い頭事故, イタルダ・インフォメーション, No.69(2007-08).
(5) 公益財団法人 交通事故総合分析センター編; 特集・出合い頭事故における人的要因の分析, イタルダ・インフォメーション, No.56(2005-05).
(6) 国土交通省 自動車局 技術政策課; 通信利用型運転支援システムのガイドライン, (2011-03).

# ③ マクロデータによる高齢者単独事故の特徴分析

自動車安全研究領域　※森田 和元　　関根 道昭

## 1．まえがき

我が国において、総人口に占める 65 歳以上の高齢者の割合は 25%を超えるに至っており（2013 年データ）、交通安全の観点からも高齢者対策を進める必要がある。高齢者の交通事故に関しては、歩行者として死亡事故に至ることが多いことに加え、自動車運転に関してもドライバの死者数の約 40%を高齢者が占めている[1]。

この点に関し、著者らは既に高齢ドライバの問題点を明らかにしてきた[2,3]。高齢ドライバに関しては他の年齢層と比較して事故のリスクが大きく、また、事故類型別にみると単独事故を特に起こしやすいことを明らかにしている。さらに、高齢ドライバに関して発作・急病との関連で解析も行っている[4,5]。本稿では、高齢者の単独事故に関してさらに解析を進め、車種別の事故状況とその理由を考察する。

## 2. 車種別の単独事故の特徴

### 2.1 解析概要

本稿で使用したデータは、（公財）交通事故総合分析センターの 2013 年データ（23,081 件、うち死亡件数は 1,020 件）である。年齢群として 16－24 歳、25－34 歳、35－44 歳、45 歳－54 歳、55 歳－64 歳、65 歳－74 歳、75 歳以上の 7 群に分けて解析を行う。

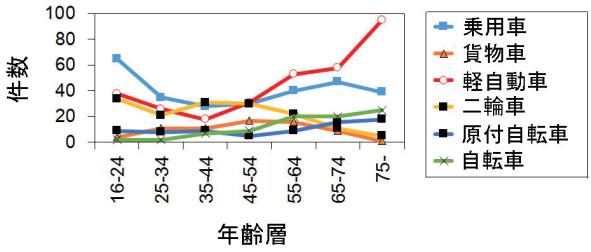



図 1　車種別の死亡単独事故件数 (2013 年)

車種別について、乗用車（大型、中型、普通）、貨物車（大型、中型、普通）、軽自動車（軽乗用車、軽貨物車）、二輪自動車、原付自転車、自転車の 6 種類に集約して、それらの死亡単独事故件数を年齢層別にみると（図 1）、高齢になるにつれて軽自動車による件数が顕著に増加する。従って、高齢ドライバに関しては、軽自動車運転時の問題を特に検討する必要があることがわかる。

### 2.2 運転頻度を考慮した軽自動車の事故の起こしやすさ

軽自動車そのものが事故を起こしやすいかどうかについて運転頻度を考慮して解析した。本稿では、運転頻度を考慮するために被追突事故件数を媒介変数として導入する。被追突については、事故類型「追突その他」、衝突部位「後面」、行動類型「駐車、停止」、かつ、その事故に関する違反のないものとする。

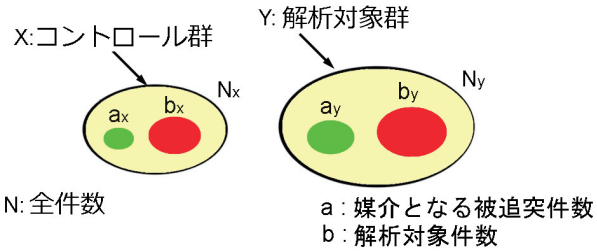



図 2　被追突件数を基にした解析方法の概念図

図 2 に示す中で、コントロール群はある年齢層（例えば 75 歳以上、以下、この年齢層を例にして説明）の乗用車が関係する事故件数、解析対象群は同年齢層の軽自動車が関係する事故件数である。今回は乗用車と比較して軽自動車の単独事故の発生しやすさについて検討することになる。

図中の $a_x$ は 75 歳以上のドライバが乗用車を運転していて追突された件数、$b_x$ は同年齢層のドライバが乗用車を運転していて単独事故を起こした件数である。解析群の $a_y$ は 75 歳以上のドライバが軽自動車を運転していて追突された件数、$b_y$ は同年齢層のドライバが軽自動車を運転していて単独事故を起こした件数である。これより、正規化比率 $r$ を以下のように求める。正規化比率が高いことは事故の発生リスクが高いことにつながる。

$$r = \frac{a_x \times b_y}{a_y \times b_x} \qquad \cdots (1)$$

各年齢層について、乗用車に対して軽自動車を運転することにより単独事故の発生リスクが大きくなるかどうかを検証すると（図 3）、高齢になるにつれて乗用車と比較して軽自動車の場合に比率が高くなり、65～74 歳の年齢層では 1.41、75 歳以上の年齢層では 1.91 となった。他の年齢層においては 1 あるいはそれ以下であるので全体に軽自動車を運転することによる単独事故の危険性は高くないものの、高齢者が軽自動車を運転する場合には高い結果となった。

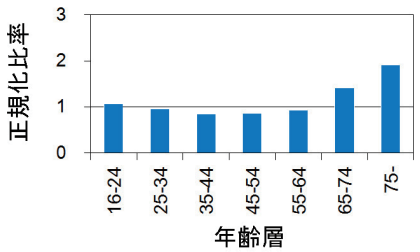



図 3　乗用車に対する軽自動車の単独事故の起こしやすさに関する正規化比率

この傾向が単独事故特有のものかあるいは他の事故類型についても成り立つのかを調査した。年齢層として 65 歳以上の高齢ドライバを取りあげて事故類型によって乗用車に対する軽自動車の事故のリスクが高くなるかどうかを検討した。事故類型の例として人対車両の事故を取ってみると、図 2 中の $a_x$ は高齢ドライバが乗用車を運転していて追突された件数、$b_x$ は高齢ドライバが乗用車を運転していて人対車両事故を起こした件数である。解析群の $a_y$ は高齢ドライバが軽自動車を運転していて追突された件数、$b_y$ は高齢ドライバが軽自動車を運転していて人対車両事故を起こした件数である。

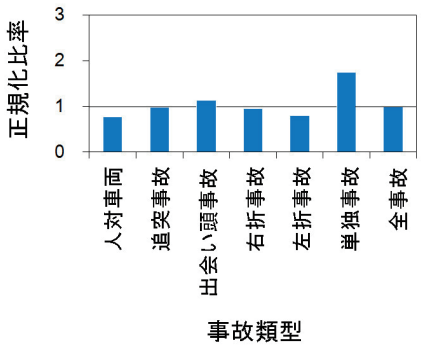



図 4　乗用車に対する軽自動車の事故類型別の事故の起こしやすさに関する正規化比率

各事故類型について正規化比率を求めたところ（図 4）、全事故類型の場合には正規化比率は 0.98 であって、高齢ドライバであっても乗用車と比較して軽自動車に乗車することが全体の事故のリスクを高めることにはならないと考えられる。他の事故類型をみても軽自動車を運転することが高いリスクにはつながらない。しかし、単独事故に関しては特に 1.74 と高い値を示し、軽自動車に高齢者が乗車した場合に単独事故のリスクが高くなると推測される。

以上のことより、一般に乗用車と比較して軽自動車が事故の危険性が高いということではなく、高齢者が軽自動車を運転するときに単独事故を起こす可能性が高くなるという限定された結果となる。高齢者は軽自動車を使用することが多く[6]、また、交通環境として他車両の少ない地域で使用しているためと推測される。

## 3. ま と め

高齢者の単独事故に関しては軽自動車運転時の件数が多い。この点に関し、運転頻度を考慮した事故の起こしやすさを解析したところ、軽自動車そのものが問題というよりは、高齢者は軽自動車を使用することが多く、また、交通環境として他車両の少ない地域で使用しているためと推測された。

## 参考文献

(1)（公財）交通事故総合分析センター：年齢層別・状態別死者数（男女計），交通事故統計年報　平成 25 年版，東京，p.226 (2014)

(2) 森田和元，関根道昭：被追突事故件数を媒介とした高齢ドライバの交通事故の分析，自動車技術会論文集，Vol.44, No.3, pp.903-908 (2013)

(3) K. Morita, M. Sekine: New trial analysis of characteristics of accidents and traffic violations by elderly drivers in Japan, SAE Int. J. Passeng. Cars-Mech. Syst., Volume 7, Issue 1, pp.1-8 (2014), doi:10.4271/2014-01-9127

(4) 森田和元，関根道昭：交通事故統計データによる高齢者の単独事故に関する分析，自動車技術会学術講演会前刷集, No.146-14, pp.5-8 (2014)

(5) 森田和元，関根道昭：高齢者の単独事故の特徴に関するマクロ分析結果，交通安全環境研究所フォーラム 2014 講演概要, pp.123-124 (2014)

(6)日本自動車工業会：軽自動車の使用実態調査報告書, pp.57-60 (2014), http://www.jama.or.jp/lib/invest_analysis/pdf/ 2013LightCars.pdf

# ④ ニアミス事象における車両対自転車の接近状況について

自動車安全研究領域　　※松井 靖浩　　及川 昌子

## 1．はじめに

2014 年の我が国の交通事故死者数は 4113 人であり、その中で歩行中の死者数は 1498 人(37%)と最も多く[1]、全死者数のうち歩行中の死者数の占める割合は近年増加の傾向にある。更に、自転車乗員の死者数は 540 人(13%)で、歩行中死者数を合わせると交通弱者（歩行者、自転車乗員）は約 50%を占める。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り、我が国では、歩行者保護対策として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。さら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必要と考えられる。しかし現在、自転車乗員保護のための車両に関する技術基準は存在しない。

他方、交通事故を大幅に減少させるためには、事故を未然に防ぐ予防安全対策の技術が必要とされる。現在、自動車に装着されたセンサーで歩行者や自転車乗員を検知し、警報やブレーキ制御をかける安全装置の普及も有望と考えられ、一部実用化されている。このような予防安全装置を開発、または保護性能を詳細に評価する場合、事故の特性を把握する必要がある。ただし、実事故からの調査可能なデータは限定されるため、実事故より多く発生するヒヤリハット（以降、ニアミスと呼称する）事例を調べることが重要と考えられる。ニアミスデータは車両に搭載したドライブレコーダより取得できる。そこで本研究では、ニアミスデータの有効性を明確にすることを第一の目的とし、車両と自転車との接近状況について、ニアミスと事故の特徴を比較する。次に、予防安全装置の開発及び保護性能評価に必要となる物理的な衝突予測時間（Time to Collision）（以降、TTC と呼称する）を明確にすることを第二の目的とした。分析では、車両前方に自転車が現れた際の「車両と自転車との距離」と「車両走行速度」を調査することで TTC を求めることとした。なお、ニアミス事象の分析では、公益社団法人自動車技術会が保有するヒヤリハットデータベースを使用した。

## 2．車両と自転車の接近状況

公益財団法人交通事故総合分析センターでは、1999 年から 2003 年に日本で発生した車両対自転車乗員の死亡事故の車両と自転車の接近状況について調査している[2]。その調査結果では、車両が直進中に自転車が道路を横断する事例が 83%（青壮年）、90%（高齢者）と大部分を占めることから、車両直進時の車両と自転車の接近状況が報告されている。そこで、ここでは車両が直進する事例に着目し、図 1 に示すように車両の移動方向に対し自転車が横断する場合について単路を (A)、交差点を(B)、車両の移動方向に対し自転車が平行に移動する場合を(C)として、接近状況を分類した。

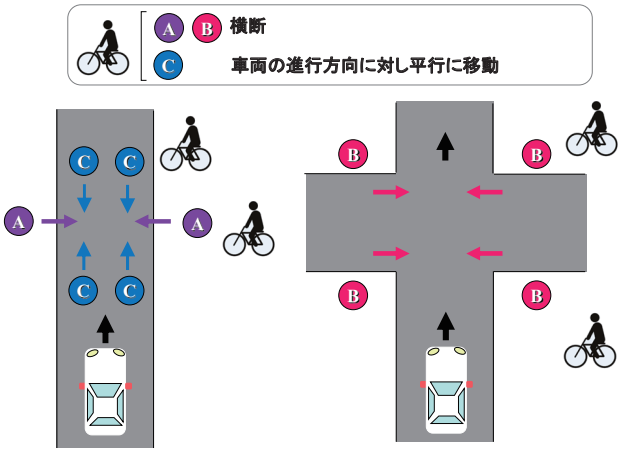



図 1　車両と自転車の接近

車両と自転車との接近状況について、自転車乗員が死亡した交通事故 2818 件[2]と、ニアミス事象 229 件を比較した結果を図 2 に示す。死亡事故・ニアミス共に、昼夜を問わず、車両が直進し前方の路上を自転車が横断する事象が最も多かった。このような結果から、ニアミスデータは事故状況を把握する上で活用可能であると考えられる。そこで次節では、車両が直進中、自転車がその車両前方から横断するニアミスデータ 166 件を使用し、両者接近時の詳細状況を把握する。

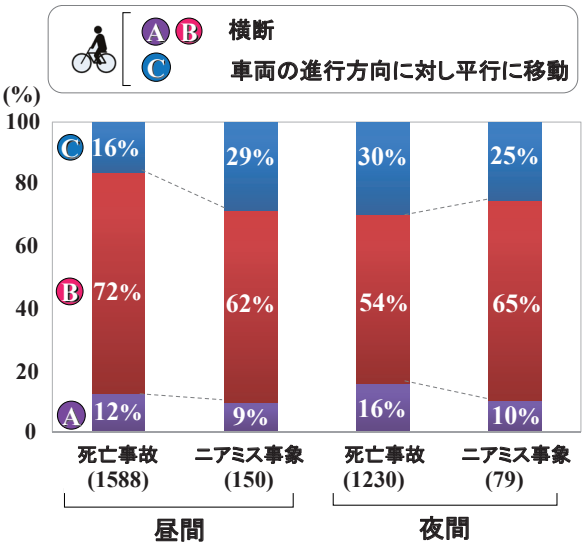



図２　死亡事故及びニアミス事象における車両と自転車の接近状況

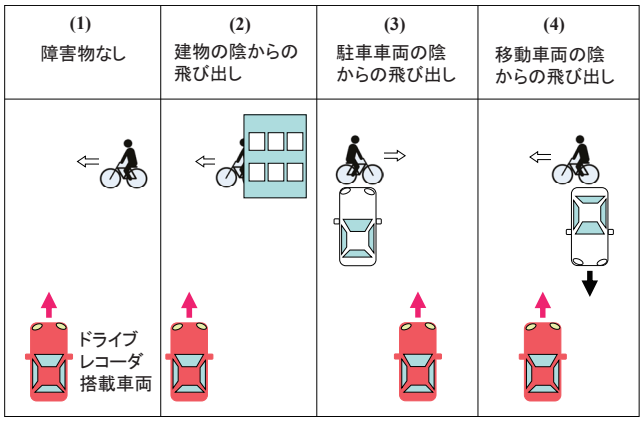
## ３．TTC の推定

公益社団法人自動車技術会が所有するヒヤリハットデータベースを使用し、自転車が現れた瞬間の自転車前輪が路面に接地した位置から車両前端までの距離（自転車と車両との距離）情報を画像から抽出した。車両走行速度は、ドライバーが急ブレーキを踏む直前の速度情報を抽出した。なお、TTC は、ドライバーが自転車に気づかずブレーキをかけない最悪の状態を想定し、車両と自転車との距離（L）、車両走行速度（V）を用いて次式より算出した。

$$TTC = L / V \quad \cdots \text{式 (1)}$$

解析対象は、車両が直進中に自転車がその車両前方を横断し、かつ、自転車前輪の距離情報が確認できる 166 件の事例とした。 ここでは、危険な接近状況を解明するため、自転車の飛び出しを表１に示す４つに区分する：(1) 障害物なし (2) 建物の陰からの飛び出し (3) 駐車車両の陰からの飛び出し (4) 移動車両の陰からの飛び出し。ニアミスデータをそれら４つに区分したときの TTC、車両と自転車との距離、車両走行速度の各平均値を図 3 に示す。TTC の平均値が最も長かった条件は、(1) 障害物なしであった（平均 3.3 秒）。この条件では、車両走行速度は速い（平均 24.7 km/h）が、自転車までの距離が長い（平均 19.5 m）状況であった。(2) 建物の陰からの飛び出し、 (4) 移動車両の陰からの飛び出しは、最も TTC の平均値が短く（平均 1.9 秒）危険な状況であることが分かった。その理由として、特に車両と自転車との距離が短いことが要因と考えられる。

表１　自転車の４つの飛び出しパターン



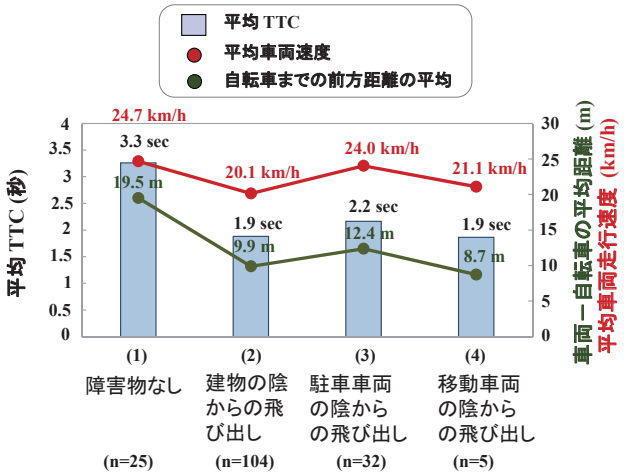




図３　自転車の４つの飛び出しパターン毎の TTC、車両速度、自転車までの前方距離

## ４．おわりに

車両と自転車との接近状況について、死亡事故とニアミスを調査した結果、いずれの事象も車両が直進し、前方を自転車が横断する事例が最も多い傾向にあった。このような結果から、ニアミスデータは事故状況を把握する上で活用可能であると考えられる。

ニアミス事象において車両が直進し自転車が横断するケースに着目し衝突予測時間（TTC）を算出した結果、建物の陰から飛び出すパターン及び移動車両の陰から飛び出すパターンにおける TTC が最も短かった（平均 1.9 秒）。本分析結果が自転車検知型被害軽減装置の開発や保護性能評価手法に反映されることが期待される。

参考文献

1.　公益財団法人交通事故総合分析センター、”2014 年版交通統計”、(2015)

2. 公益財団法人交通事故総合分析センター、”ITARDA インフォメーション”、No.53、pp.4-6 (2004)

# ⑤ドライバ異常時対応システムに関する調査

自動車安全研究領域　　※児島　亨
元自動車安全研究領域　　波多野　忠

## 1．はじめに

近年、運転中のドライバの健康異常に起因する交通事故が発生しており，社会的関心も高まっている。国土交通省が主体となり、先進安全自動車（Advanced Safety Vehicle、以下 ASV とする）に関する技術の開発及び普及について産学官連携で進めている第５期 ASV 推進計画では、突発的なドライバの異常を検知して自動車を減速・停止させるドライバ異常時対応システムの検討が行われている。

ドライバ異常時対応システムが作動した場合、例えば高速道路の本線等で車両が停止するケースも想定される。このような場合、後方を走行する車両が当該車両へ追突するなどの二次的な被害を防ぐため、システムの作動によって車両が停車することを周囲へ報知する手法や当該車両を減速させる手法等について十分に検討する必要がある。

そこで、本調査では、第５期 ASV 推進計画におけるドライバ異常時対応システムの検討に貢献することを目的とし、ドライビングシミュレータ（以下、DS とする）を用いて、一般のドライバを対象とした実験を行った。本実験では、高速道路を運転中に前方を走行する車両のドライバ異常時対応システムが作動し、周囲への報知とともに前方車両が減速・停止する場面におけるドライバの認知及び行動について評価した。

## 2．実験方法

### 2．1．実験に使用した DS 及び実験参加者の構成

図１に実験に使用した DS を示す。実際の小型乗用車の車体を使用しており、運転席及び操作系については実車と同等である。また、マルチスクリーンにより運転席に座った状態での水平方向の視野角は 216 度確保される。そのため、他車両に注意を払いながら高速道路を走行する際の運転環境を現実と近い形で再現することが可能である。

実験参加者は、日常的に運転を行う 30 代～50 代の男女とし、12 名（男性６名、女性６名）について、解析に使用可能な実験データを取得した。なお、実験は当研究所の実験倫理規程に従って行うとともに、インフォームドコンセントを実施した。

図１　実験に使用した DS

### 2．2．実験場面及び実験仕様について

本実験では、実験参加者が運転する車両（以下、自車とする）が高速道路の走行車線上を、前方を約 100km/h で走行するバスに追従しながら走行している間に、前方バスのドライバ異常時対応システムが作動し，高速道路の本線上でバスが減速・停止する。実験参加者はブレーキ操作によってバスとの衝突を回避することとした。表１に前方のバスの減速度及び報知の仕様を示す。また、図２に報知を行っている時の DS のスクリーン画像の例を示す。

表１　前方のバスの減速度及び報知の仕様

| | 前方バス減速度 [m/s$^2$] | 報知の仕様 | | | 事前報知（ハザードランプ）（3.2秒前） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ハザードランプ点滅 | 「緊急停止」表示 | 警音器 | |
| 仕様1 | 4 | × | × | × | × |
| 仕様2 | 4 | ○ | × | × | × |
| 仕様3 | 4 | ○ | × | × | ○ |
| 仕様4 | 4 | ○ | ○ | × | × |
| 仕様5 | 4 | ○ | × | ○ | × |
| 仕様6 | 2.45 | ○ | × | × | × |
| 仕様7 | 2.45→4 | ○ | × | × | × |
| 仕様8 | 1 | ○ | × | × | × |

## 3．実験結果

### 3．1．報知の方法による運転行動への影響

図３は表１の仕様１～仕様５について、前方のバスが減速を開始した後のバスと自車の接近状況を比較するため、両車の車間距離を相対速度で割った衝突予測時間（Time To Collision、以下、TTC とする）の最

図２　後方車両に対する報知の例

小値について、全実験参加者の全試行回数分の平均値と標準偏差を集計したものである。報知を行わない仕様１と何らかの報知を行った仕様２～５との間には、平均値で 0.9～1.3 秒程度の違いが見られる（仕様１に対し、有意水準 5%の t 検定で有意な差である）が、仕様２～５の間の違いは最大でも 0.4 秒程度となっている（仕様２に対し、有意水準 5%の t 検定で有意な差ではない）。標準偏差については、事前報知を行った仕様３が他の仕様よりも大きめになっている。これは、事前報知によって早めにブレーキ操作を行うことで、TTC がより大きく（衝突回避の余裕度が増加）なるケースが見られる一方で、事前報知によってブレーキ操作を開始した後、バスが減速を開始する前にブレーキ操作を一旦終了してアクセル操作に移行してしまい、バスが減速を開始した後のブレーキ操作に遅れが生じ、TTC がより小さくなる（衝突回避の余裕度が減少）ケースも一部で見られた為である。

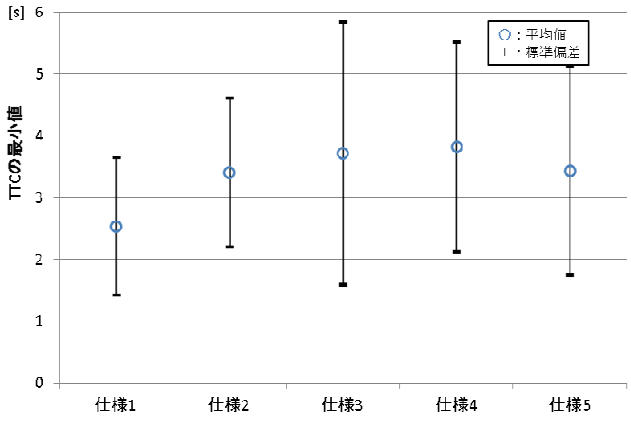



図３　TTC の最小値（全実験参加者の平均）

### ３．２．減速方法による運転行動への影響

図４は表１の仕様２及び仕様６～８について、前方のバスが減速を開始した後のバスと自車の接近状況を比較するため、３．１．と同様に TTC の最小値について、全実験参加者の全試行回数分の平均値と標準偏差を集計したものである。仕様２（減速度 4m/s²）に比べ、減速度が低い仕様６（減速度 2.45m/s²）及び仕様８（減速度 1m/s²）では、TTC の最小値の平均値がより大きい値（衝突回避の余裕度が増加）となっている（仕様２に対し、有意水準 5%の t 検定で有意な差である）。これに対し、途中で減速度を上昇させた仕様７（2.45m/s²→4m/s²）については、平均値では仕様２と大きな違いは見られない（仕様２に対し、有意水準 5%の t 検定で有意な差ではない）が、標準偏差がより大きくなっている。これは、前方のバスの減速度が途中で上昇した直後に、ドライバの対応が遅れ、バスに接近するケースが一部に見られた為である。

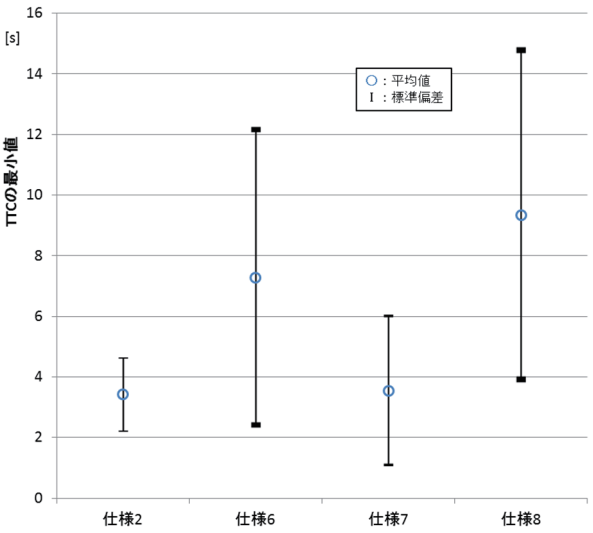



図４　TTC の最小値（全実験参加者の平均）

実験中に行ったアンケートでは、「やむを得ない場合に前方の車両が高速道路本線上で停止することを許せるか？」との質問に対し、報知を行わない仕様１を除き、各仕様とも 80%以上の回答が「許せる」、「どちらかと言えば許せる」であった（仕様１では 72%）。

## ４．まとめ

ドライバ異常時対応システムが作動した場合のドライバの認知及び行動について、一般ドライバを対象とした DS 実験を行い、以下の結果が得られた。

- ハザードランプ点滅による報知は追突の回避に有効である。
- ハザードランプに加え、文字や音による報知も行うことで、より確実な状況把握が可能になる。
- 減速度が一定の制動では、減速度の値によって追突の回避に対する余裕度が変わる。
- 途中で減速度を上昇させる減速方法は、減速度が上昇した直後に、ドライバの対応遅れによって追突の回避に対する余裕度が減少する傾向が見られる。

# ⑥ 自動運転技術の国際基準策定のための ITS/自動運転インフォーマルグループの活動概要

自動車安全研究領域　　※関根 道昭　　平松 金雄

## １．はじめに

自動運転技術の開発が世界中で加速しており、社会的関心が高まっている。国際連合欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(UN/ECE/WP29、以下WP29)の ITS/AD (Intelligent Transport Systems/Automated Driving) インフォーマルグループ（以下、ITS/AD-IG）は、自動運転の国際基準化を適正に、かつ滞り無く進めるための活発な議論を行っている。当研究所は ITS/AD-IG の事務局を担当しており、この活動を全面的に支援している。ここでは ITS/AD-IG が 2015 年 3 月に合意した今後の議案と計画を示す Terms of Reference[1]（以下、ToR）、および同年 6 月に合意した操舵機能の自動化に関するガイダンス[2]の概要について報告する。

## ２．ToR の概要

### ２．１．自動運転の共通定義の提案（目標期限 2016 年 3 月）

自動運転技術とその段階的な発展を定義するために、システムが全く介入しない手動運転と、全てをシステムが代行する完全自動運転の間に数段階の自動化レベルを想定し、各レベルの名称と支援内容が記述されている。ITS/AD-IG は様々な定義の中でも、最新の技術動向を詳細に反映している SAE（米国自動車技術会）の定義[3]に基づき議論を進めている。

各自動化レベルにおいて事故が起きた場合のドライバ責任に関心が集まっている。基本的に既存の技術に基づく低次の自動運転（SAE 定義のレベル 1 とレベル 2）では、従来通りドライバに安全監視義務があるとされる。また、高次の自動運転（同レベル 3 以上）では主要な運転操作をシステムが代行するとしてもドライバに常時の安全監視を義務づけているが、一方で自動化により生じる余裕により運転以外の作業を行う可能性が懸念されている。

そこで、手動運転と完全自動運転の中間に位置するレベル 3 の使用事例に基づき、関係する装置、機能、性能等をリストアップして、基準化が必要な要件について議論することになっている。また自動運転に必要な新しい保安装置（ドライバ監視装置、デッドマン装置、事故時の記録装置など）についても議論されている[4]。これらの結論は、自動運転システムに求められる性能やフェールセーフ機能などに大きく影響すると考えられる。

### ２．２．自動運転の国際基準の確立に関連する議論（目標期限 2016 年 3 月）

自動運転に必要な基準化項目を提案する作業が前項の共通定義の議論と平行して行われている。ITS/AD-IG は自動運転技術に係る基準改正を適切に進めるためのガイダンス案を作成し、2015 年 6 月に合意している。その概要については 3 章で説明する。

### ２．３．情報セキュリティに関するガイドライン（目標期限 2017 年 3 月）

自動運転は車両単体の制御に加えて、他車両やインフラなどとの情報通信も必要と考えられており、情報通信のセキュリティが新たな課題となる。欧州連合は、情報通信の安全性に関する eSecurity（ハッキング、なりすまし操作の防止など）、および eSafety（システム冗長性、事故時の車載システムデータの記録など）を提案しており、これらに基づいて議論を進めることになった。

### ２．４．主な関連課題と法的障壁の共通理解（目標期限 2016 年 11 月）

自動運転技術は、道路交通法などの国際法規と整合性を保つ必要がある。道路交通法に関するウイーン条約の改訂案がすでに合意されており、日本が批准しているジュネーブ条約との整合性についても改正案が提出されたところである。また、一部の参加国により、将来の完全自動運転を見据えたウイーン条約の新たな改正案が提出されており[5]、技術の進展と歩調を合わせて慎重に議論を進める必要がある。

### ２．５．その他

以上の議論の他にも完全自動運転に関連する情報交換などを行うことになっている。

## ３．自動運転技術に関する各 GR へのガイダンス

### ３．１．　背景

WP29 のブレーキと走行装置の専門部会(GRRF)は国連規則 No.79（以下、R79）として「高度運転者支援ステアリングシステム」の項目を設けており、その中に「自動命令型操舵機能（Automatically Commanded Steering Function、以下 ACSF）が含まれている。GRRF は 2015 年 4 月に、現在 10km/h 以上での使用が禁止されている ACSF を 10km/h 以上で使用可能とするための議論を専門に行うインフォーマルグループを発足させた。

ITS/AD-IG は技術進歩の緊急性を認識し、ACSF の制御を 10km/h よりも高い速度においても安全に利用する上で必要な対策をまとめたガイダンスを作成した。この文書は技術の進歩に応じて適宜見直されることを前提として 2015 年 6 月に合意された。

### ３．２．ドライバ支援の概念

WP29 の各専門部会の議論は、ウイーン条約とジュネーブ条約に適合しなければならない。そのためには、ドライバはシステム使用中にも継続的な監視を要求され、ドライバの操作によりシステムは直ちに解除されなければならない。このように、ドライバの操作をシステムの機能よりも優先させることを現状ではドライバオーバーライドと呼んでいる。また、システムはドライバがポジティブな入力を与えた場合に限り実行するように設計される必要があるとされる。

自動運転システムは、連続的に作動の整合性のチェックを行い、障害や不具合などを記録することが求められている。また、システムの作動や休止状態をドライバに適切な方法で情報提供しなければならず、機能失陥時にはドライバが要求しても作動しないこととされている。さらに、ドライバの意図はいかなる時にも反映されなければならないことになっている。

### ３．３．GRRF へのガイダンス

部分的自動運転（SAE 定義のレベル 2 相当）は、二つの進行方向が分離した複数車線の道路、および歩行者、自転車、対向車が混合しない道路に限定されている。このため、車線変更や車線維持のための新しい ACSF の開発を認める要件を定義する必要があり、車線維持操作は既存の車線維持支援システム（Lane Keeping Assist System, LKAS）における補正操舵に限定されないこととされている。

ドライバは、自動運転を使用する場合でも車両からの要求に応じて制御を行えるように車両の動きと運転環境を監視する必要があるが、車両側からドライバの活動をある程度監視することにより、この機能を保証することも考えるべきであるとされている。

システムが突発的な衝突回避のために車線変更を開始した場合であっても、ドライバがいつでもオーバーライド、あるいは中断できなければならないとされている。そのため、ドライバがシステムの働きを監視して、オーバーライドと中断を判断できるようにするための機能を保証しなければならないとされている。

なお、完全自動運転システムは現時点では対象外となっている。

### ３．４．今後の検討課題

このガイダンスは将来的な検討課題として、自動運転システムの作動を開始させるためのドライバ入力の定義、および制御モードがシステムからドライバへ遷移した場合の安全性の保証方法について問題提起している。さらに、他の車両や他の交通に対する悪影響を排除しつつ、ヒューマンマシンインタフェース、システム保全性の監視、状態記録などを含む関連技術の発展を阻害することのない適切な安全対策を講ずる必要性について述べている。

## ４．まとめ

ITS/AD-IG は自動運転の定義や国際基準化が必要な項目の整理を急速に進めており、自動運転技術に関する新たな課題に取り組んでいる。当研究所は、ACSF や情報セキュリティなどに関する技術的な研究、調査を行い、自動運転の国際基準化作業が適切に進むように支援を強化している。

## 参考文献


1. UN/ECE/WP.29: Terms of Reference of the informal working group on ITS/Automated Driving, ECE/TRANS/WP.29/1114/
2. UN/ECE/WP.29: Guidance to GRs concerning Automated Driving Technology, WP.29-166-21
3. SAE: Taxonomy and Definition for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, J3016
4. ITS Informal Group: Outline of definition of automated driving technology, ITS/AD-04-08
5. WP.1: Autonomous Driving, Informal Documents No.2 for the 70th session

# ⑦ 道路交通騒音の超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発 －検証試験および通過車両情報抽出機能の追加－

環境研究領域　※宝渦 寛之　坂本 一朗　西 孝弘
神奈川工科大学　石濱 正男
株式会社小野測器　猿渡 克己

## 1．はじめに

騒音に係る環境基準の達成率は、全体として緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の近接空間等では引き続き厳しい状況にある。現状の道路交通騒音は、マイクロホン 1 本で測定されているため、道路全体の騒音の大きさはわかっても、個々の車両が発する騒音の大きさを測定することはできない。そのため、基準超過となる場合、その要因を特定することはできない。そこで独立行政法人交通安全環境研究所では、個々の騒音源を分離して計測し音源別に系統立てて評価を行うことにより、定量的に基準超過原因を判断することが可能なシステムの研究開発を行っている。本研究は、平成 25 年度より 3 カ年の計画で、国土交通省の交通運輸技術開発推進制度にて実施しており、本稿では主に平成 26 年度の成果について報告を行う。

図 1 に、製作するシステムの概要を示す。システムは、マイクロホンアレイとカメラを用いて、自動車の騒音発生部位別に騒音を評価可能とする。これまでに筆者らが開発を行った道路交通騒音の可視化装置 [1] は、道路の片側に設置するものであったため、複数車線を対象とした測定を行うことは不得手であった。しかしここでは、複数車線での測定を想定し、道路両端にマイクロホンアレイ等を設置するシステム構成を考案した。音源探査は、マイクロホンアレイにて挟まれる垂直断面内についてのみ実施する。得られた音源情報は、別途、カメラにて撮影された画像について画像処理を行い、音源発生部位と組み合わせてデータとして扱う。

研究初年度であった平成 25 年度は、測定対象が複数車線となるために従来よりも高い精度が求められる音源探査法について、反射波まで考慮したビームフォーミング法を提案し、システムのプロトタイプ [2] を構築した。しかし、時間の制約上、製作したプロトタイプの検証は十分に行うことができなかった。また、反射波まで考慮したビームフォーミング法は、前提として反射物（ここでは通過車両）の位置や大きさが既知である必要があるが、平成 25 年度版のプロトタイプでは、計測することができないことが課題であった。本稿では、これらの問題を克服すべく、テストコース上での検証試験と、画像処理技術を用いて通過車両の長さ、高さ、車種、車速等の情報を自動で抽出を行うプログラムの開発を行ったので、その概要を述べる。

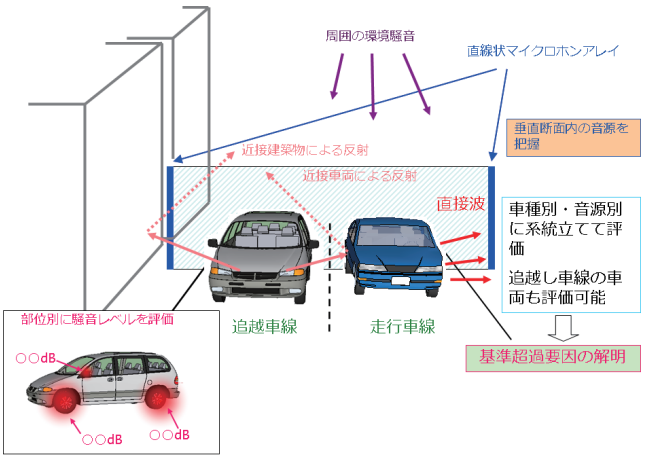



図 1　新システム概念図

## 2．テストコース試験

開発したプロトタイプについて、その性能評価を行うことを目的とし、検証試験を実施した。試験は当所が所有する自動車試験場にて実施した。

図 2 に試験の様子を示す。なお、結果の解析は、図 2 に解析対象ラインとして示すように、z=0 かつ y 軸

と平行になる直線上について時系列に実施した。x 座標は、試験条件毎に異なり、それぞれ通過車両の近傍とした。試験車両には、標準マフラーを装着した乗用車と、トラックを使用した。図 3 に、乗用車が 50km/h の一定速度にて通過した場合について、騒音源の可視化を行った結果を示す。なお、ここで示す結果は、ラインスキャンカメラで撮影した画像と音圧レベルの分布を示すコンターマップを重ね合わせたものであり、音圧レベルの高い箇所が赤色で示される。定常走行時の乗用車は、タイヤ騒音が主な音源となることが知られているが、今回の結果においても、タイヤの接地面付近が大きな音源として現れることがわかる。次に、図 4 に、トラックが 50km/h の一定速度にて通過した場合の結果を示す。トラックの場合は、乗用車とは異なりエンジンやコンテナ下の駆動系が大きな騒音源となることがわかる。これらの結果から、実際の走行車両についても、音源位置を特定可能であることが確認された。

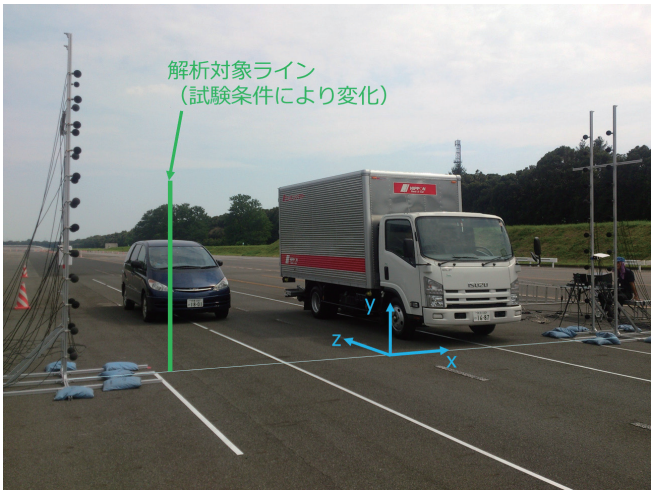



図 2　テストコース検証試験の様子

図 3　騒音源可視化結果：乗用車、50km/h

図 4　騒音源可視化結果：トラック、50km/h

## 3．画像処理技術による通過車両情報抽出

公道を走行する不特定の車両について、その寸法や車種、車速を導出すべく、画像処理プログラムの開発を行った。画像処理を行う画像は、道路端にてエリアカメラ（アライドビジョンテクノロジー社製　Prosilica GC750C）を用いて 25fps にて撮影した動画を用いた。

図 5 に、開発を行った画像処理プログラムの主な流れを示す。また図 6①～⑥に、説明のため画像処理プログラムにおける途中経過画像等を示す。まずは事前準備として、チェッカーボードと呼ばれる白黒の市松模様のパネルを撮影した画像（図 6①）を利用し、撮影画像の樽型歪みの補正、SI 単位の長さへ変換を行う。画像処理においては、はじめに車両が存在しない画像（図 6②）を、背景画像として設定する。次に解析対象となる車両が存在する画像（図 6③）に対して、背景画像との差分をとり、さらに、あらかじめ設定し

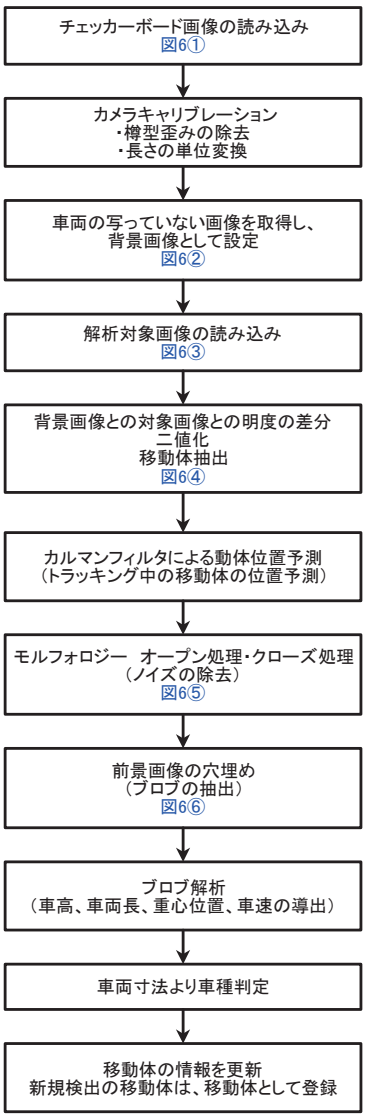



図 5　画像処理プログラムの主な流れ

図 6　画像処理プログラムにおける処理経過

た明度を閾値として二値化を行う。その結果、図 6④のように、移動体を白色、背景を黒色とする画像を得ることが出来る。抽出した移動体について、カルマンフィルタによる位置予測の範囲内に存在するものは前フレームに存在した車両として扱い、範囲外であれば新規の移動体として記録する。次に、二値化した画像（図 6④）に対して、細かなノイズを除去する目的で、モルフォロジーオープン処理とクローズ処理を実施する（図 6⑤）。この段階では、白色で示される移動体の内部に、窓等の影響による黒色の領域が残されており誤差要因となり得るため、図 6⑥のように穴埋めを行い、移動体の抽出が完了する。一般に画像処理において、このような画像内に存在する一定の値を持った塊をブロブという。このブロブについて、その重心位置および寸法（車高、車両長）を求め、それらの寸法から、さらに車種判別を行う。なお、車種区分は、音源となり得る部位（エンジン、排気管等）の配置が似通った車両を同じ区分とし、“二輪車”、“トラック”、“乗用車等”、“判定対象外”とした。“判定対象外”については、歩行者や自転車等を想定している。次に、同一ブロブの前フレームにおける重心位置と現フレームにおける重心位置の差分より、車速を求める。移動体ごとにブロブ解析の結果を保存し、現フレームの解析作業は終了となり、次のフレームの解析に移る。

作成した画像処理プログラムの精度を検証する目的で、テストコース試験と公道試験を実施した。テストコース試験においては、当所の用意した車両を対象として車速および車両寸法の導出精度の検証を行い、公道試験においては、一般の走行車両を対象として車種判別性能の精度検証を行った。まずは、テストコース試験について、結果を表 1 に示す。また、図 7、8 には、乗用車およびトラックについて走行車両の検出結果を示す。これらの図においては、検出した車両を黄色の枠にて示しているが、車両寸法とほぼ同じ大きさにて検出することができていることがわかる。また、表 1 の結果より、車両寸法および車速の誤差は、ほぼ 10%以内に収まることがわかり、良好な精度を有していることが確認された。

図 7　車両検出結果：テストコース、乗用車

図 8　車両検出結果：テストコース、トラック

表 1　車両寸法および車速の導出結果

| 車種 | 実測値 | | | 導出値 | | | 誤差(%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 車両長(m) | 車両高(m) | 車速(km/h) | 車両長(m) | 車両高(m) | 車速(km/h) | 車両長(m) | 車両高(m) | 車速(km/h) |
| トラック | 6.37 | 2.78 | 22.9 | 6.08 | 2.95 | 21.4 | 4.8 | −5.8 | 7.0 |
| | 6.37 | 2.78 | 23.3 | 6.15 | 2.72 | 23.1 | 3.6 | 2.2 | 0.9 |
| | 6.37 | 2.78 | 38.9 | 5.97 | 3.07 | 38.6 | 6.7 | −9.4 | 0.8 |
| 乗用車 | 4.75 | 1.77 | 40.9 | 4.34 | 1.55 | 41.6 | 9.4 | 14.2 | −1.7 |
| | 4.75 | 1.77 | 44.2 | 4.40 | 1.64 | 41.4 | 8.0 | 7.9 | 6.8 |

次に、公道を走行する車両に対して、画像処理プログラムを適用した結果を示す。測定対象車両は、公道を走行する一般車両であるため、それらの寸法や走行速度は不明である。また、カメラキャリブレーションのためのチェッカーボード画像を十分に撮影できなかったことから、ここでは、導出された絶対値の検討は行わず、車種判別の精度検証を主な目的とした。図9～11に検出結果の一例を示す。なお、これらの図中右に黒塗りとなっている領域が存在しているが、これは街路樹の揺らぎによる移動体の誤検出を防ぐ目的で、画像に撮影後マスキングを行ったものである。また、公道試験の結果においても、テストコース試験の結果と同様に、図中の黄色い枠が検出された車両の大きさを表す。図9～11より、いずれの結果においても、ほぼ適正な大きさで車両を抽出できていることが確認できる。目視による車種分類の結果と、開発を行った画像処理プログラムによる車種分類の結果を比較すると、101台中100台が一致し、高精度な車種分類を行うことができた。誤判定となった1台については、車両の影の影響によって車両長を実際よりも長く検出したため、“乗用車等”と分類されるべき車両を“トラック”と分類したものであった。

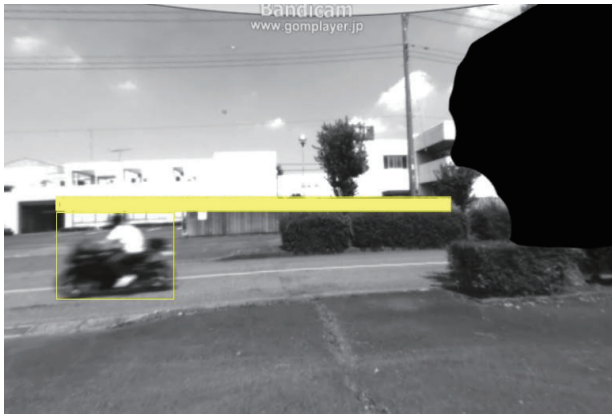



図9　車両検出結果：公道、二輪車

図10　車両検出結果：公道、乗用車

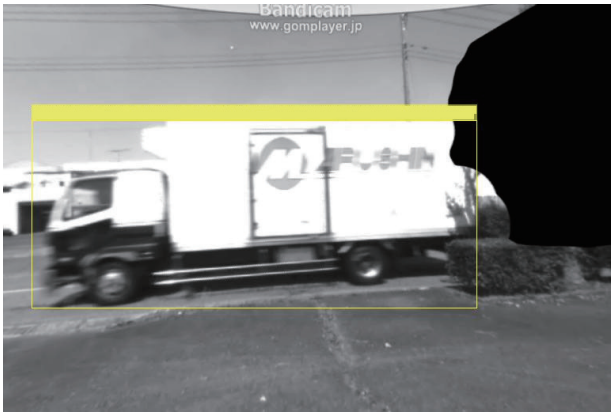



図11　車両検出結果：公道、トラック

## 6．おわりに

本稿では、これまでに作成を行った道路交通騒音に係る基準超過要因把握のためのシステムについて、その検証試験の様子と、画像処理プログラムによる通過車両情報の抽出機能を実装した様子を紹介した。ここで開発を行った画像処理プログラムは、背景差分等を組み合わせ、エリアカメラにて撮影を行った動画より、騒音を反射する車両を抽出し、その車種や寸法を導出することが可能である。これらの導出精度について検証を行った結果、車両の寸法については誤差10%程度で求めることができ、車種判定についてはほぼ100%正確に判定することが出来た。今後は、適用可能な車線数の増加を図った上で、公道での検証試験を行い、定量的に環境基準の超過要因を特定することが可能なシステムシステムの完成を目指したい。

## 参考文献

1) Hiroyuki, Houzu, et al., "Development of sound source localization system to detect noisy vehicles from traffic flow", Proceeding of inter-noise 2011, CD-ROM (2011)

2) 宝渦ほか4名、「道路交通騒音の基準超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発－プロトタイプシステムの製作－」、平成26年度交通安全環境研究所フォーラム2014講演概要、pp. 93-96

## 謝辞

本研究は、国土交通省の交通運輸分野技術開発推進制度にて実施しました。謹んでお礼申し上げます。

# ⑧ ひとの運転特性を反映させた HILS ドライバモデルの検討

環境研究領域　　※奥井 伸宜　　川野 大輔　　鈴木 央一

## 1．は じ め に

ハイブリッド重量車等の燃費は、実路走行値とカタログ値で乖離しているとユーザより指摘されている。

ハイブリッドトラックやバスなどのハイブリッド重量車の燃費・排出ガス試験法には、HILS 法 [1)]（HILS : Hardware-In-the-Loop-Simulator）が用いられている。図 1 に示す操作 PC 上で実行される HILS プログラムは、モデル化したハイブリッド車両（ハイブリッドシステム）、運転者（ドライバモデル）および道路状況等から構成され、実車両の実機 ECU（エンジン ECU、ハイブリッド ECU）と制御信号を送受信することで、机上で仮想車両が走行でき、各種評価が可能となる。ここで、このドライバモデルは、目標車速追従を第一優先として、決められた計算ロジックに従って操作を行うことから、一般的なひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われることがある。このことも、燃費が乖離する一要因になるものと考えられる。

そこで本研究は、ひとの運転特性を反映させ、より実用的な走行に近づけるドライバモデルを検討した。実際に新たなモデルを運用させ、燃費を評価した。

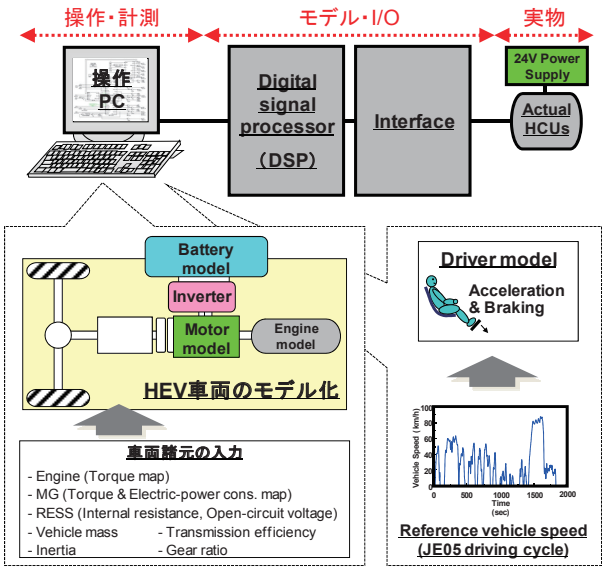



図 1　HILS 装置の概念

## 2．ドライバモデル

### 2．1．従来ドライバモデル

従来 HILS で運用されているドライバモデルの概念を図 2 に示す。基準車速、計算車速、走行抵抗、加速抵抗、タイヤ半径、減速比等から要求トルクを算出する。要求トルクとシステムの回転速度-トルク-アクセル開度マップから、駆動時のアクセル開度を予測する。そのアクセル開度を、基準車速と計算車速との差から PID（Proportional-Integral-Derivative）制御にて調整する。制動時は、車速差の PI 値と要求減速度からブレーキ操作量を決定する。これら PID 制御のゲインは任意に変更可能である。

実際の運用時には、決められたモードにおける基準車速への車速追従性を向上させるため、PID 制御の各定数を考慮する必要があり、このような微調整には多大な時間を要しているのが現状である。

### 2．2．改良ドライバモデル

ひとの曖昧な運転操作を再現するため、従来ドライバモデルで採用されているシステムの回転速度-トルク-アクセル開度マップを廃止する一方、以下のペダル操作の 3 要素 [2)]を採用した。一般にペダル操作は、①アクセルを素早く踏み込む/ゆっくり踏み込む、②アクセルを頻繁に踏んだり/戻したり、③アクセルを一定開度保持する時間が短い/長いである。さらに、

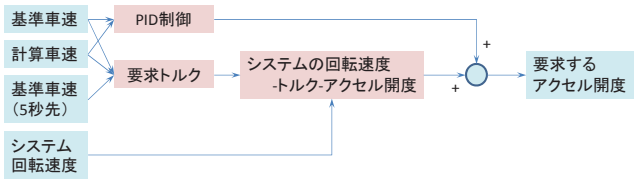



図 2　従来ドライバモデルの概念

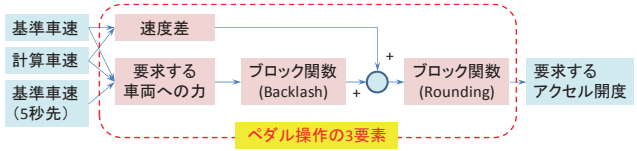



図 3　改良ドライバモデルの概念

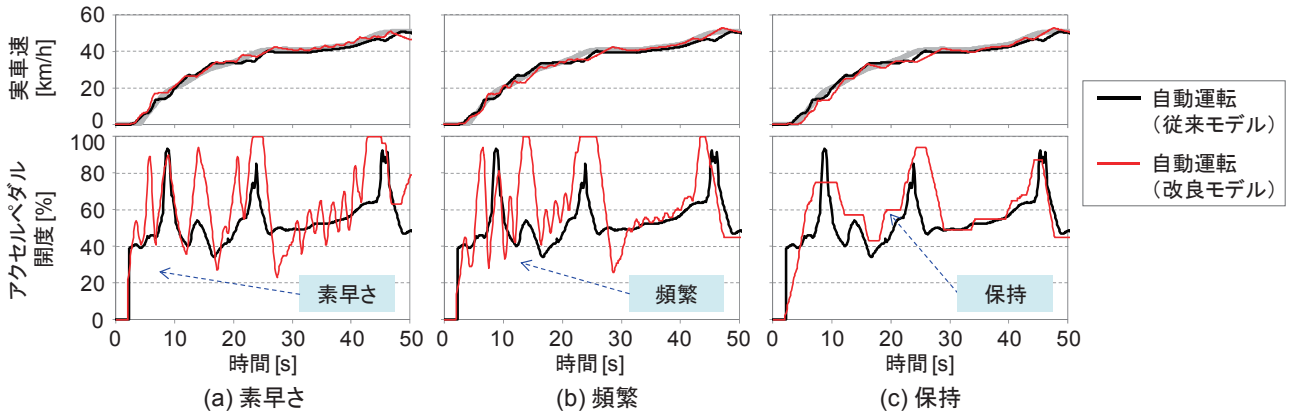



図 4　ペダル操作の 3 要素を適用したドライバモデルによる運転特性

HILS 運用を効率化するため PID 制御の各定数を廃止し、Kano らの式[3]を参考とし、ペダル操作の 3 要素を組み合わせた式(1)のアクセルモデル、式(2)のブレーキモデルを新たに定義し、HILS プログラム（MATLAB /simulink）に構築した。

$$acc = \left( \frac{F + k_2 V_{fb} + k_3}{k_1} + (V_{ref} - V_{fb})\, k_4 + \underset{\text{(Backlash, Rounding)}}{\text{Function}} \right) \quad \cdots(1)$$

$$brk = -1 \cdot \left( \frac{F + k_6 V_{fb} + k_7}{k_5} + (V_{ref} - V_{fb})\, k_8 + \underset{\text{(Backlash, Rounding)}}{\text{Function}} \right) \quad \cdots(2)$$

ただし、$acc$：アクセルペダル開度 [%]、$brk$：ブレーキペダル開度 [%]、$F$：車両への力 [N]、$V_{fb}$：実車両速度 [m/s]、$V_{ref}$：目標車両速度 [m/s]、$k_1$、…、$k_8$：ひとの運転特性に関するパラメータ、Function（Backlash、Rounding）：simulink 内ブロック

式(1)および式(2)を反映させた改良ドライバモデルの概念を図 3 に示す。ここで、Function（Backlash）にてペダル操作に対する“遊び”の空間を持たせることで「保持」を再現し、Function（Rounding）で要求するペダル開度を整数に丸めることで、微小入力信号に対する反応を排除した。実際に、ペダル操作の素早さ（式中の第一項）、頻繁（式中の第二項）、保持（式中の第三項）の各項を調整することで、図 4 に示す運転特性を任意に再現させることが可能となった。

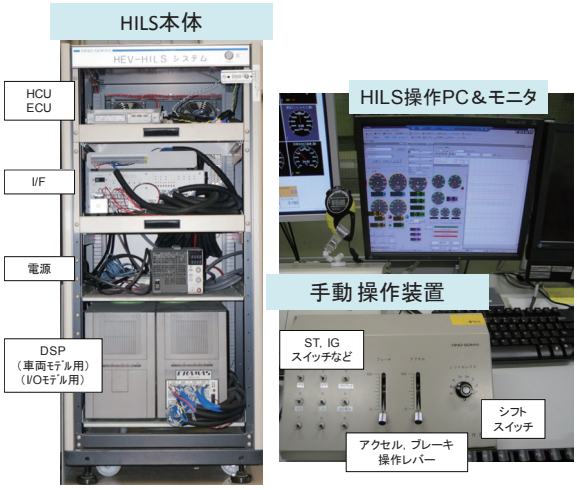



図 5　本試験に用いた HILS 装置

## 3．ドライバモデルの違いによる運転特性

HILS で小型ハイブリッドトラックのモデルを構築し、重量車の燃費・排出ガス試験に用いられる JE05 モードを走行させた。その際、従来ドライバモデルおよび改良ドライバモデルによる自動運転に加え、図 5 に示す HILS 装置に取り付けた手動操作装置（アクセルレバー、ブレーキレバーなど）を用いた手動運転（著者による運転）を行った。ここで、小型ハイブリッドトラックはパラレル方式で、4.0L ディーゼルエンジン（最大出力 110kW、最大トルク 392Nm）、電動モータ（最大出力 55kW、最大トルク 130Nm）、バッテリ（キャパシタ容量 33.5F）を搭載する。変速機は 6 段の AMT（Automated Manual Transmission）であり、車両製造メーカの制御ロジックによる自動変速が行われる。試験時の車両重量は 4370kg（半積載）に設定した。

図 6 に、JE05 モード後半部の市街地走行から高速走行におけるドライバモデルの違いによる運転特性を示す。図 6 の左側で従来ドライバモデルの違いによる自動運転（青線）と手動運転（赤線）とを比較し、同図の右側で改良ドライバモデルによる自動運転（黒線）と手動運転（赤線）とを比較する。さらに、両図の図上段より、車速度、アクセルペダル開度およびブレーキペダル開度を示す。ここで、各車速度の目標値（基準車速）と実測値（手動運転と二つの自動運転）の相関係数（$R^2$）は 0.99 以上と良好であった。

はじめに、図左側のアクセルペダル開度に着目す

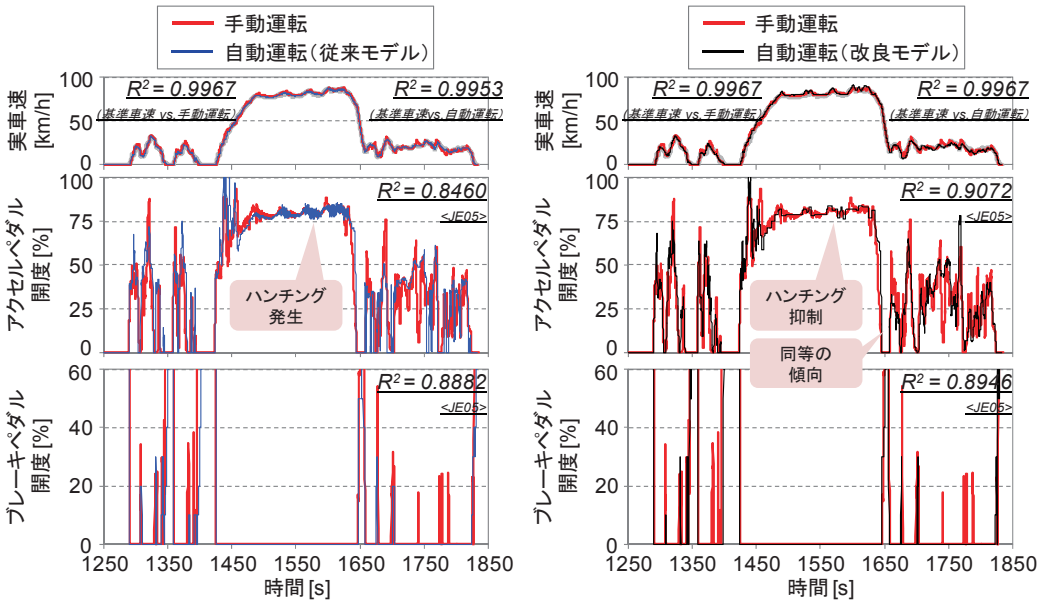



図 6　操作方法およびドライバモデルの違いによる運転特性

る。青線で示す従来ドライバモデルによる自動運転においては、PID 制御の各定数の調整を時間をかけて行ったが、市街地と高速を両立できる定数設定が困難であり、本結果は高速走行時にアクセルペダルを頻繁に踏んだり/戻したりを繰り返すハンチングが発生した。そのことも一因となりモード全体を通して、手動運転のアクセルペダル開度と比較した際の相関係数（$R^2$）は 0.8460 と低かった。また、ブレーキペダル開度については、手動運転と同等のタイミングで操作されており、手動運転のブレーキペダル開度と比較した場合、モード全体で相関係数（$R^2$）は 0.8882 であった。

次に、図右側のアクセルペダル開度に着目する。黒線で示す改良ドライバモデルによる自動運転については、従来ドライバモデルとは異なりハンチングが抑制できた。また、1650 秒以降の低速走行時においても、赤線で示す手動運転と同等の傾向を示すことを確認した。モード全体を通して、手動運転のアクセルペダル開度と比較した際の相関係数（$R^2$）は 0.9072 であり、従来ドライバモデルよりも良好であった。さらに、ブレーキペダル開度については、手動運転のブレーキペダル開度と比較した際、モード全体での相関係数（$R^2$）が 0.8946 であり、従来ドライバモデルよりも優れる傾向を示した。

以上の通り、従来ドライバモデルは目標車速追従を第一優先とするため、頻繁なアクセルペダル操作等ひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われることを確認した。一方、PID 制御項やエンジンマップ等を廃止し、ひとの運転操作を再現させた改良ドライバモデルが HILS で簡便かつ高精度に運用できることが確認できた。

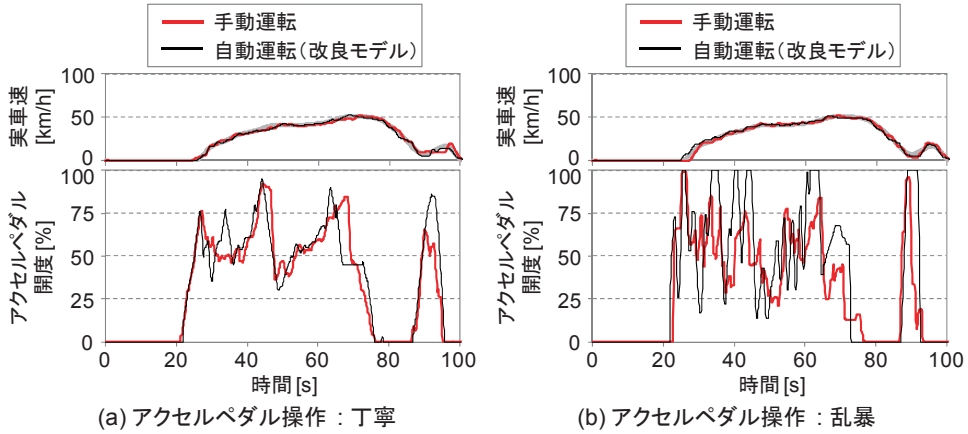
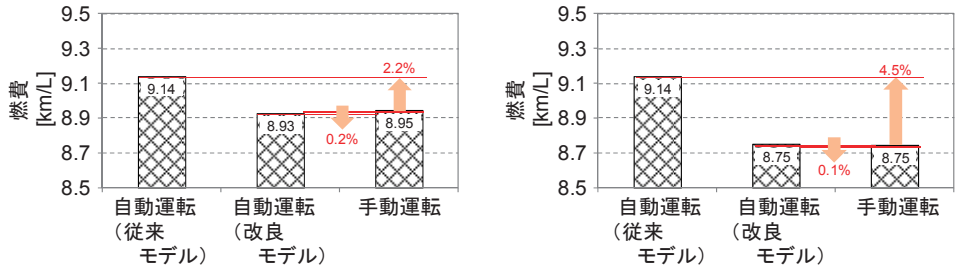



図 7　ひとの曖昧な運転操作を反映させた際の運転特性




(a) アクセルペダル操作：丁寧　　(b) アクセルペダル操作：乱暴

図 8　ひとの曖昧な運転操作による JE05 モード走行燃費比較

## 4．ひとの曖昧な運転操作の再現

上述した通り、改良ドライバモデルは、ペダル操作の素早さ、頻繁、保持の項を調整することで、ひとの運転特性を再現させることが可能である。そこで、基準車速に追従する範囲内で、著者の運転により、アクセルペダルを丁寧に操作した場合と乱暴に操作した場合による運転特性を、JE05 モード一山目（0→50→10→20→0km/h の加減速パターン）を用い比較した。図 7 に両操作の運転挙動を示す。図左側には、丁寧にアクセルペダル操作を行う設定を反映させた改良ドライバモデルによる自動運転（黒線）および手動運転（赤線）を、図右側に乱暴にアクセルペダル操作を行う設定を反映させた改良ドライバモデルによる自動運転（黒線）および手動運転（赤線）をそれぞれ比較する。両図の図上段より、車速度、アクセルペダル開度を示す。改良ドライバモデル内のパラメータを調整することで、手動運転によるひとの曖昧な運転操作を、自動運転で再現できることが分かった。

次に、この両運転状態における JE05 モード走行燃費を算出し図 8 に示す。図に示す燃費は、バッテリエネルギ収支が走行開始と終了でゼロの状態である。図左側には、丁寧にアクセルペダル操作を行う場合の自動運転および手動運転に加え、従来ドライバモデルの運転による燃費をそれぞれ示す。手動運転と改良ドライバモデルの燃費は、ほぼ同値であった。また、手動運転に比べ従来ドライバモデルの燃費は約 2.2%の差を生じ、手動運転で悪化した。さらに、図右側に、乱暴にアクセルペダル操作を行う場合の燃費を図左側と同様に示すが、手動運転と改良ドライバモデルの燃費はほぼ同値であり、手動運転に比べ従来ドライバモデルから得られた燃費は約 4.5%悪化した。

以上の通り、本実験条件下で改良ドライバモデルによる燃費は従来ドライバモデルより悪化し、ドライバの運転特性が燃費に影響を及ぼしたと考えられる。

## 5．まとめ

ひとの運転特性を反映させ、より実用的な走行に近づけるドライバモデルを検討した。実際に新たなモデルを運用させ、燃費を調査した。以下に結果を記す。

(1) 従来ドライバモデルは基準車速追従を第一優先とするため、一般的なひとの運転特性とかけ離れた運転操作が行われる場面があることが分かった。

(2) ペダル操作の 3 要素（素早さ、頻繁、保持）の導入により、ひとの曖昧な運転操作を再現できるドライバモデルを構築した。また、HILS で簡便かつ高精度に運用できることを確認した。

(3)ひとの曖昧な運転操作を再現させたドライバモデルによる燃費は、従来ドライバモデルの燃費より悪化する結果が得られており、ドライバの運転特性が燃費に影響を及ぼしたと考えられる。

## 6．今後の予定

・試験車両や走行モード条件、被験者を増やした試験を行い、改良ドライバモデル内のひとの運転特性に関するパラメータを検討する。

・コールドスタートを考慮したハイブリッド重量車の燃費評価が簡易かつ高精度に実現可能とする評価装置「拡張 HILS」[4]のドライバモデルに、改良ドライバモデルを適用し、実機エンジン駆動時の運転特性を確認する。

・HILS 試験法に、改良ドライバモデルを提案する。

## 参　考　文　献

(1) 森田賢治ほか，“HILS を用いた重量 HEV 燃費・排ガス試験法（第 3 報）-HEV モデル標準化と試験手順確立-”，自動車技術会論文集，Vol.39，No.4，pp.131-136 (2008)

(2) 岡本雅之ほか，“Just-In-Time モデリングによるドライバ挙動を包含した自動車変速制御”，計測自動制御学会産業論文集，Vol.10，No.3，pp.17-26（2011）

(3) 加納誠ほか，“ドライバ挙動モデルの開発”，第 4 回 ITS シンポジウム 2005 講演集，pp.251-256 (2005)

(4) 小林雅行ほか，“コールドスタートに対応したハイブリッド重量車燃費評価法に関する検討”，交通安全環境研究所フォーラム 2014

# ⑨ NOx センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の排出ガス診断方法の検討

環境研究領域　　※山本 敏朗　　鈴木 央一　　水嶋 教文

## 1．まえがき

ディーゼル重量車の NOx 低減技術として、尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction：選択的触媒還元) システムは、新長期規制適合車から一部の車種に導入され、ポスト新長期規制適合車では同システムが主流となっている。このような状況の中、平成 22 年度および 23 年度の環境省の調査において、新長期規制適合の尿素 SCR システム搭載車の NOx 排出量が、耐久走行距離未満であっても、新車の型式認証時に適用される規制値を大幅に超過する事例が確認され、平成 24 年 3 月の環境省自動車排出ガス専門委員会において、未燃 HC 等による触媒の被毒または触媒の性能低下が原因として考えられると報告された[1)]。このことから、現在、排出ガス低減装置の使用過程での性能維持が重要課題となっている。

ディーゼル重量車の使用過程での性能維持方策としては、断線等による排出ガス低減装置の機能不良を監視する車載式故障診断 (On-Board Diagnostic：OBD) システムの導入が平成 10 年の環境省中央環境審議会第三次答申で提言され、平成 15 年の新短期排出ガス規制から装備が義務付けられている。平成 22 年の中央環境審議会第十次答申では、各種センサ等により排出ガス低減装置の性能低下等を検出する、より高度な OBD システムの装備が求められており、平成 30 年からの導入が見込まれている。

本研究では、この高度な OBD システムを検討するに当たり、従来の OBD とは異なる考え方を導入することとした。従来の OBD の診断対象は個々の排出ガス低減装置であるが、本研究の OBD では、テールパイプの排出ガスを診断の対象とした。環境条件、走行条件等が変化する路上走行時に、適切に排出ガス状態を診断しその悪化を検知して対策できれば、エミッションの増加を抑制できると考える。また、従来の OBD では対象としなかったいくつかの排出ガス低減装置の故障が重なることによりハイエミッションとなる複合的な故障にも対応可能となり、さらにエミッションの増加を測定によって直接捉えることからより正確な OBD システムを構築できる可能性がある。本報では、第 1 段階として、NOx センサベースの車載計測器 (Sensor-based Emission Measurement System：SEMS) をテールパイプに接続して NOx および $CO_2$ 排出量を算出し、$CO_2$1kg 当たりの NOx 排出量 (g) を、「NOx 排出率 (g/kg-$CO_2$)」と定義して求め、これを用いて路上走行時の NOx 浄化性能を診断する方法を検討した。

## 2．研究方法

テールパイプに接続した NOx センサベースの SEMS によって、走行時の NOx 浄化性能をモニターできるかどうかを検討するため、中型貨物車に上記の SEMS を装着して、シャシダイナモメータによる JE05 モードおよび ECE 改変モード (欧州試験モードを基に EUDC の最高速度を 90km/h に変更したモード) 試験、さらに都内一般道路における路上走行試験を実施した。試験に用いた SEMS は、瞬時排出ガス流量を計測するためのピトー管式排出ガス流量計とジルコニア ($ZrO_2$) 式 NOx センサ (日本ガイシ製) から構成され、同センサにより NOx 濃度、$O_2$ 濃度および空燃比を計測した。また、$CO_2$ 濃度は、前報[2)] で報告したように、NOx センサから出力される $O_2$ 濃度を用いて算出した。

テールパイプでの NOx 排出状態を用いて診断する NOx 浄化性能の診断方法は、NOx 低減装置の故障時を含めた考察が必要なことから、使用過程において尿素 SCR システムに不具合が認められた大型貨物車の JE05 モードに関する試験データの解析により検討した。同データ取得のための試験は、「シャシダイナモメータによる JE05 モード排出ガス測定方法 (国自環第 280 号)」に準拠して実施され、排出ガスの規制成分は定置式排出ガス分析計 (堀場製作所 MEXA7000) で測定している。なお、対象とした尿素 SCR システムは、排気

系上流より順に、前段酸化触媒（Diesel Oxidation Catalyst：DOC）、尿素水添加装置、SCR 触媒、後段 DOC で構成されている。

## ３．実験結果および考察

### ３．１．テールパイプでの排出ガス温度および NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）を用いた NOx 浄化性能のモニター

ディーゼル車に搭載される EGR（Exhaust Gas Recirculation：排気ガス再循環）装置や尿素 SCR システムの NOx 浄化性能は、エンジン冷却水温度、排出ガス温度等に影響される。路上走行時において大気温度や湿度の不規則な変化は、エンジンの燃焼温度等を変動させ、エンジン冷却水温度や排出ガス温度等にも影響を及ぼすことが考えられる。また、渋滞時の低負荷運転状態では、排出ガス温度が低下して SCR 触媒温度が活性温度以下となり、NOx 浄化性能が不安定になることが予測される。これらのことから、路上走行時の NOx 排出性能を評価するには、エンジン冷却水温度、排出ガス温度、触媒温度等によって、排出ガス低減装置の浄化性能をモニターして、同装置の機能状態を把握することが重要であると考えられる。NOx 浄化性能モニターの一例として、図 1 に、SEMS のピトー管式排出ガス流量計の流量補正用温度センサによって測定したテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係を示す。NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）は、排気管から排出される $CO_2$1 kg 当たりの NOx 排出量(g)として定義される NOx 排出量の評価指標である。路上走行試験では、排出量の算出に必要となる瞬時排出ガス流量を高精度に測定することは困難であるが、上記の指標では、同一の瞬時排出ガス流量で分母と分子を算出するため、瞬時排出ガス流量の測定誤差が相殺されて、排出ガス流量の測定精度の影響を受けにくい利点がある。

図 1 は、車両総重量 6.6t の中型貨物車（ポスト新長期規制適合、NOx 対策：EGR 装置）に関する JE05 モードコールドスタート（JE05C）試験および ECE 改変モードホットスタート試験（ECE-H）、さらに SEMS を用いた路上走行試験（東京都道 14 号の交通安全環境研究所付近から小金井南中西交差点付近までの往復走行）のデータを用いて、0.1 秒間隔で 60 秒間の移動平均値を算出してプロットした結果である。JE05C 試験では、NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）がテールパイプでの排出ガス温度 120℃近傍で急激に減少していることから、この温度域から EGR 装置が機能していることが推

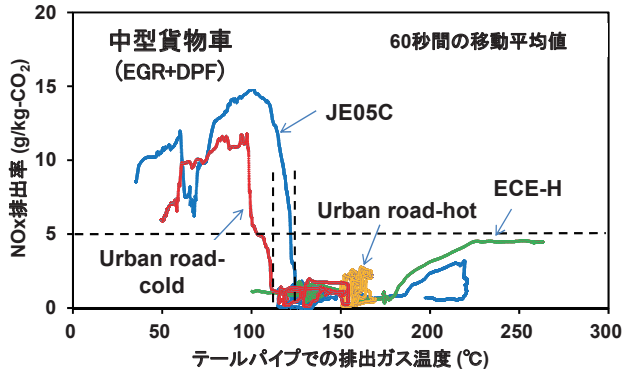



図１．テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係

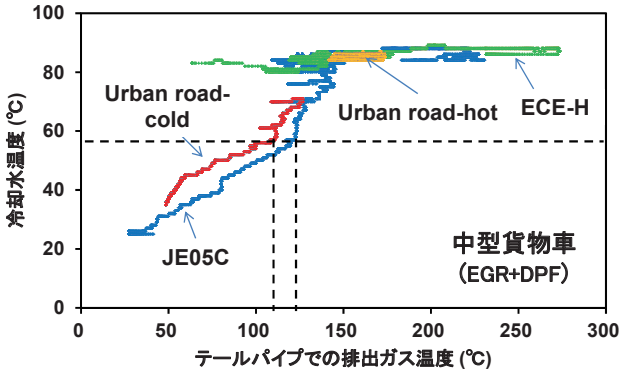



図２．テールパイプでの排出ガス温度と冷却水温度の関係

測される。また、路上走行でも暖機状態であれば NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）は JE05 走行時程度に低く抑えられて NOx 浄化性能が十分に発揮されていることがわかる。一方、コールドスタートの路上走行（Urban road-cold）では、NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）が激減する排出ガス温度が 110℃近傍と JE05C よりも 10℃ほど低温側にシフトしている。この理由を考察するため、図 2 にテールパイプでの排出ガス温度とエンジン冷却水温度の関係を示す。同図より、JE05C、Urban road-cold ともに、図 1 で NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）が激減するとき、即ち、EGR 装置が機能するときのエンジン冷却水温度は 57℃近傍で同一であることがわかる。また、両者のエンジン冷却水温度の昇温速度は異なり、路上走行時の方が速いことがわかる。これが原因となって、NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）が激減する、即ち、EGR 装置が機能するときの両者のテールパイプでの排出ガス温度に違いが生じたものと考えられる。

以上より、予め、JE05C 等の走行モードにおけるテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率(g/kg-$CO_2$)の関係を把握しておくことにより、路上走行時のテールパイプでの排出ガス温度の変化等から EGR 装置等の NOx 浄化性能のモニターが可能であると考えられる。

### ３．２．排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係を用いた尿素 SCR システムの劣化診断

テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係から走行時の NOx 浄化性能をモニターすることにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能かどうかを明らかにするために、実際に尿素 SCR システムが劣化した大型貨物車のシャシダイナモメータ試験のデータを用いて検証した。診断対象の車両は、車両総重量 25t の大型貨物車（新長期規制適合、NOx 対策：尿素 SCR）であり、21 万 km 走行時に排出ガス性能試験を実施して、NOx 排出量の増加が確認された。この原因として、SCR 触媒の HC 被毒による劣化[3)]が推測されたことから、SCR 触媒に付着した HC を除去する目的で、触媒出口ガス温度が 430℃程度となる定常高負荷運転（定格の 80%回転数、80%負荷率）を実施（以下、「触媒焼き出し」という）して NOx 浄化性能の回復を図った。この触媒焼き出し後、さらに、前段 DOC のみを新品に交換した場合および全ての触媒を新品に交換した場合において、排出ガス性能試験を実施した。これら一連の試験データは、尿素 SCR システムの種々の劣化状態における NOx 排出量を示すものであることから、本報で提案する尿素 SCR システムの劣化診断方法の検討に用いることとした。

上記の劣化状態、触媒焼き出し状態、焼き出し後に

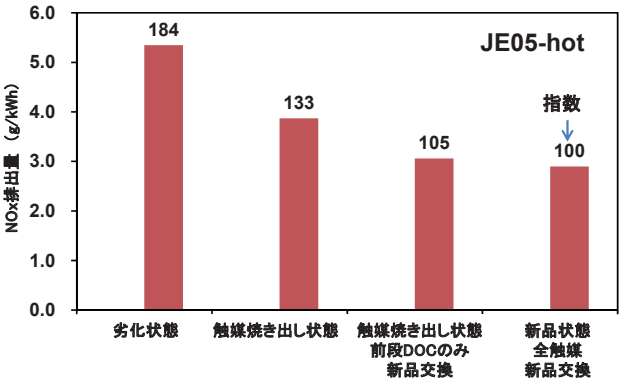



図３．尿素 SCR システムの種々の劣化状態における NOx 排出量

前段 DOC のみ新品に交換した場合、および全ての触媒を新品に交換した場合における、JE05 モードホットスタート試験での NOx 排出量を図 3 に示す。同図より、尿素 SCR システムの劣化によって新品状態の 1.8 倍の NOx 排出量となっていることがわかる。また、触媒の焼き出しによって NOx 浄化性能はある程度回復するが十分ではなく、その要因が前段 DOC の劣化であることが推察される。触媒の焼き出しによって SCR 触媒は回復するものの、前段 DOC の回復は十分でないことがわかる。

次に、この使用過程の大型貨物車の一連のデータを使って、尿素 SCR システムの種々の劣化状態がテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の

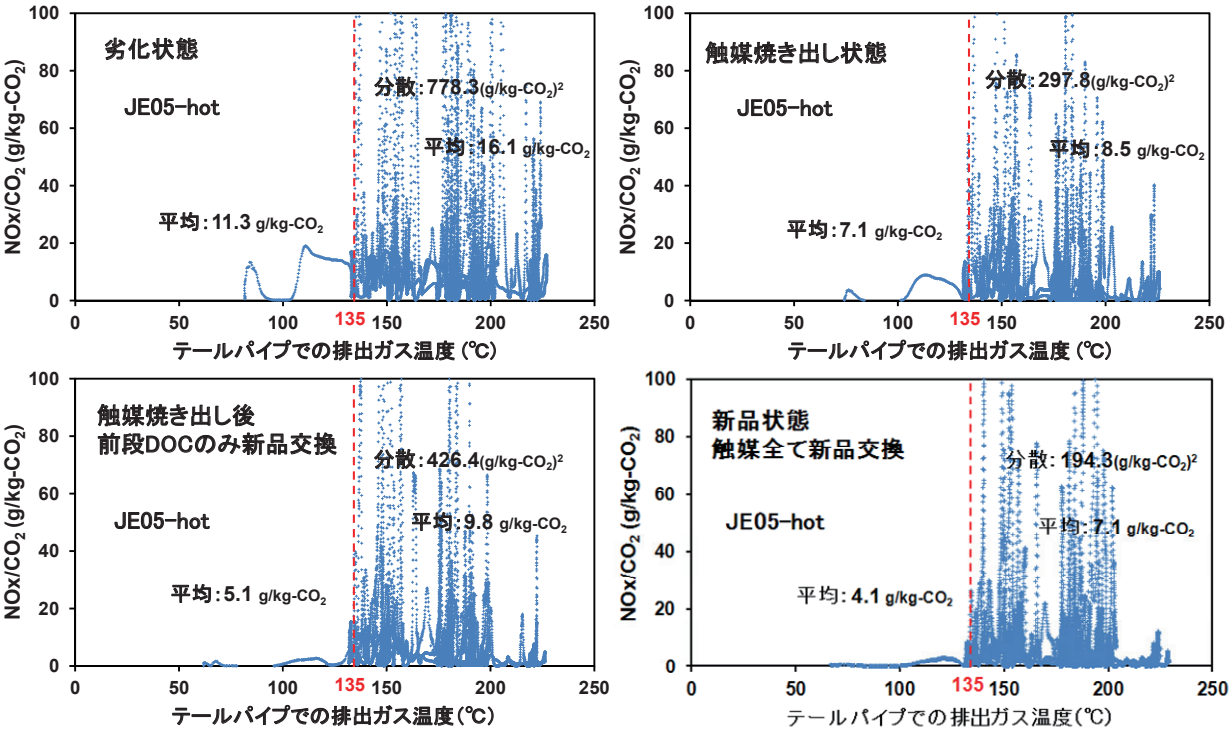



図４．尿素 SCR システムの種々の劣化状態がテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係に及ぼす影響

関係に及ぼす影響について解析した。各データは、暖機状態での JE05 モード試験によって取得した。テールパイプでの排出ガス温度は、テールパイプ直後に取り付けた熱電対による計測データを用いた。また、NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）は、定置式排出ガス分析計と希釈ガスサンプリング装置によって NOx 排出量と $CO_2$ 排出量を算出し、前者を後者で除算して求めた。これらの結果を、図 4 に示す。同図は、劣化状態、触媒焼き出し状態、触媒焼き出し後に前段 DOC のみ新品に交換した場合、および全ての触媒を新品に交換した場合のそれぞれについて、テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係を示している。いずれにおいても、排出ガス温度 135℃近傍を境に NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）が急変していることがわかる。このことから、135℃未満と以上に分けて平均値あるいは分散値を算出して図中に記した。135℃未満の NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）に着目すると、触媒の焼き出しでは新品状態と同等にはならないが、前段 DOC のみ新品と交換することによって同等となる（平均値が、新品状態 4.1g/kg-$CO_2$ に対して、触媒焼き出し 7.1g/kg-$CO_2$、触媒焼き出し後前段 DOC のみ交換 5.1g/kg-$CO_2$）。このことから、この温度領域では前段 DOC による $NO_2$ の生成が NOx 浄化性能に大きく影響していることがわかる。即ち、135℃未満のような低温度領域の NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）を観測することによって前段 DOC の劣化診断ができる可能性がある。また、排出ガス温度 135℃以上の領域に着目すると、尿素 SCR システムの劣化によって増加した NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）は、触媒の焼き出しによって新品状態のレベルまで減少し、NOx 浄化性能が回復していることが読み取れる（平均値が、新品状態 7.1g/kg-$CO_2$ に対して、劣化状態 16.1g/kg-$CO_2$、触媒焼き出し状態 8.5g/kg-$CO_2$）。即ち、135℃以上のような中温度領域以上の NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）を観測することによって、尿素 SCR システムの劣化診断が可能であると考えられる。

## 4．今後の展開

本報では、NOx センサベースの SEMS を用いて簡便に取得できるテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係を、NOx 浄化性能の診断に応用できることを示した。ただし、尿素 SCR システムの故障時あるいは劣化時に懸念される $NH_3$ スリップ量の増加に関して触れていない。供試の $ZrO_2$ 式 NOx センサは、NOx のみならず $NH_3$ も検出できることから、今後、この特性を生かした尿素 SCR システムの劣化診断について検討する予定である。

## 5．まとめ

NOx センサベースの車載計測器（SEMS：Sensor-based Emission Measurement System）をテールパイプに接続して NOx および $CO_2$ 排出量を算出し、$CO_2$1kg 当たりの NOx 排出量（g）を、「NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）」と定義して求め、これを用いて路上走行時の NOx 浄化性能を診断する方法を検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

（1）予め、JE05 等のモード走行時におけるテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係を把握しておき、その情報に路上走行時のテールパイプでの排出ガス温度等の測定値をあてはめることにより、路上走行時において EGR 装置等の NOx 浄化性能をモニターする方法を示した。

（2）テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）の関係をモニターすることにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能かどうかについて、実際に同システムが劣化した大型貨物車のシャシダイナモメータ試験のデータを用いて検証したところ、テールパイプでの排出ガス温度が低温度領域（例えば、135℃未満）の NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）を観測することにより、前段 DOC の劣化診断が可能であるとともに、テールパイプでの排出ガス温度が中温度領域以上（例えば、135℃以上）の NOx 排出率（g/kg-$CO_2$）を観測することにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能であるとの見通しを得た。

## 参考文献


1）環境省：中央環境審議会大気環境部会自動車排出ガス専門委員会（第 49 回）資料 49-4 NOx 後処理装置の耐久性・信頼性確保のための措置,（2012.3.14）
http://www.env.go.jp/council/former2013/07air/y071-49/mat04.pdf,（参照 2015.8.5）

2）山本敏朗，水嶋教文，渡辺敬太郎：NOx センサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車の NOx 排出量評価，平成 26 年度交通安全環境研究所フォーラム 2014 講演概要，pp.85-88（2014）

3）鈴木央一ほか：尿素 SCR 車の規制および未規制成分の排出特性解析，自動車技術会論文集 Vol.39, No.6，pp.161-166（2008）

# ⑩ 車検に OBD を活用する場合の効果と課題

環境研究領域　　※山口 恭平　　鈴木 央一　　山本 敏朗

## 1．はじめに

ユーザーが気づかないような排出ガス低減性能の劣化を検出し、ユーザーに警告する車載式故障診断装置（以下、「OBD（On-Board Diagnostics）」という）に関しては、欧米ではすでに車検に活用されている。車検時の排出ガス検査として、日本では昭和 45 年に、世界的にも早い段階でアイドル時の CO 濃度規制が導入された。その後、規制対象に HC の追加（昭和 50 年）や、CO 濃度の規制強化（直近では平成 10 年）は行われているものの、測定法の基本は変わっていない。欧米においても、日本と同様にアイドル時の排出ガス検査から規制が始まったが、アイドル時の検査のみでは不十分であるとして、欧州では高速アイドルを含めた 2 スピードアイドル試験、米国ではより大掛かりな簡易的にシャシダイナモ上で走行を行う IM-240 プログラムが導入された。しかし、いずれも OBD II（触媒劣化などに関する閾値診断を含む高度な OBD をいう。それに相当する日本の OBD を J-OBD II という）の導入が開始されると、車検時の排出ガス試験はそれを活用したものに置き換えられた（ただし、OBD II 非対応車のためにアイドル試験等も一部残されている）。

日本国内においても平成 20 年にガソリンおよび LPG 車に対して、J-OBD II が導入されてから 7 年が経過し、また、OBD における診断結果を読み取るスキャンツールの普及も進み、J-OBD II を活用した排出ガス検査を行う環境が整いつつあるといえる。そこで、本報では J-OBD II 導入の効果や課題などについて報告する。

## 2．効　果

ここでは、排出ガス低減性能が平成 17 年規制の 75%減を達成している J-OBD II 対応車（ガソリン車）1 台を対象に、触媒を破損させるなどして、排出ガス低減性能を悪化させた様々な状態を意図的に作り出し、排出ガス低減装置が異常であると判定する OBD 閾値の厳しさと、車検で保安基準不適合と判定するアイドル規制値の厳しさの関係を調査した。

図 1 は排出ガス低減性能を悪化させた様々な状態における JC08 モードの CO および HC の排出量と、アイドル時の CO および HC の排出濃度の関係を示したものである。なお、いずれの値も OBD 閾値あるいはアイドル規制値に対する比率で示している。その結果では、CO および HC いずれも 1:1 の関係を示す破線よりも右下にプロットされている。つまり、CO 等がさらに増加して OBD 閾値を超過してもアイドル規制値は超えない可能性があることを示唆する結果であり、OBD の方がより厳しい規制といえる。本結果が全ての排出ガス低減性能の劣化状態を代表しているとはいえないものの、欧米において車検時の排出ガス試験が OBD を活用した検査に移行した理由を支持する結果といえる。

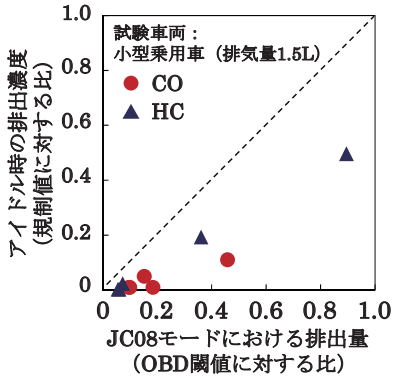



図 1　排出ガス低減性能を悪化させた状態における JC08 モードとアイドル時の排出ガス性能の比較

## 3．課　題

OBD を車検で活用する際に、課題となりうる二つの点について、これまでに調査した結果を述べる。

### 3．1．OBD コネクタ位置

OBD から故障コード等を読み出すには、車両側の OBD コネクタとスキャンツールを接続することが必要条件となる。OBD コネクタの搭載位置は、細かく

規定されておらず、現状ではかなり幅のあるものとなっている。

図 2 は、平成 22 年度に車検場および指定工場において OBD に関する調査を行った際、244 台の車両（国産車 207 台、外国車 37 台）における OBD コネクタの位置をまとめたものである。図中に示される②～⑤の位置にコネクタがある車両は、それぞれ相当数あり、統一性は見られない。なお、④が半数近くを占めたのは、調査台数に対するあるメーカの車両の割合が大きく、かつそれらの車両の大半が④に該当したためである。一方、他の国産車で④に該当した車両はむしろ少数派になるなど、メーカによる偏りも見られた。また、その他や不明の多くは外国車であり、中にはカバーが装着されていた例もあったことから、実際に車検で活用する場合には困難なケースも予想される。

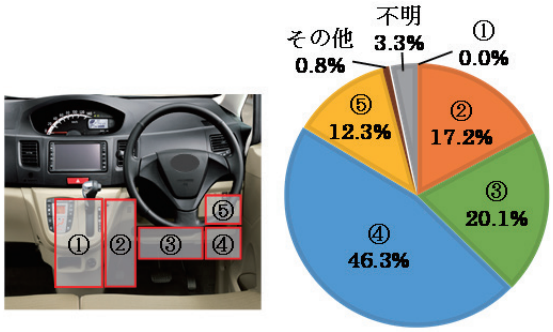



図 2　OBD コネクタの位置とその割合

### 3．2．レディネスコード（故障診断履歴情報データ）

警告灯（以下、「MIL（Malfunction Indicator Lamp）」という）が点灯していることは、排出ガス低減装置に異常があることを示す。一方で、MIL の不点灯は故障がない場合に加えて、OBD システムによる診断が実行されていない場合も含まれる。故障がある車両を確実に整備につなげることが必要であるため、MIL の不点灯に加えて、診断されたことを示すレディネスコードの確認が必要となる。その概念を図 3 に示す。外側の長方形の全体集合に対して、内側の楕円で囲まれたレディネスコードありの場合は、MIL の点灯で正常かどうかを判断できるが、レディネスコードなしの場合では異常があっても MIL は点灯しないため、MIL による判定のみでは異常な車両（図 3 の④）を検査で合格扱いにしてしまうことになる。当然、欧米においてもその点は考慮されており、レディネスコードありでないと検査で合格にはならない。そこで、レディネスコードの有無について、国内で調査を行った。その結果、車検場で調査を行った 113 台中の 19 台がレディネスコードなしであった。その約半数について、さらに調べたところ直前にレディネスコードが消去されていることが判明した。これは検査前に行われた整備の際に消去されたものと推察される。また、交通安全環境研究所においても車両 20 台を対象に、同様の調査を行ったところ、1 台のみがレディネスコードなしであり、その車両は定期点検直後であった。したがって、通常の運用下においてはほぼ確実に診断が行われる一方で、検査時にレディネスコードなしの車両に対しては点検整備記録簿等を活用し、整備の際にレディネスコードを消去したかを確認できるような手段の構築が必要になると見込まれる。

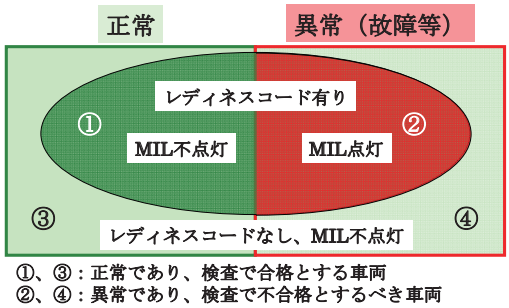



図 3　故障等の判定における
MIL とレディネスコードの関係

### 4．まとめ

J-OBD II を活用した車検を行う場合に想定される効果と課題について以下にまとめる。

・効果：今回試験を行った車両の範囲ではあるが、排出ガス低減性能の劣化が起きた場合、現行のアイドル規制値を超える前に OBD 閾値を超過することが示唆され、劣化等の早期発見が期待できる。

・課題：一つ目として OBD コネクタの位置が挙げられる。現状では統一されておらず、コネクタにカバーが装着されている例もあったことから車検で活用する場合には困難なケースも予想される。

二つ目として、検査では MIL だけでなくレディネスコードを確認する必要があるが、整備時にレディネスコードが消去されて検査時に確認できないケースがあり、対応手段の構築が必要となる。

### 5．おわりに

本試験結果の多くは、国土交通省および自動車検査独立行政法人からの受託調査で得られたものが元になっており、委託元および実施に際して協力頂いた関係各位に謝意を表する。

# ⑪ 試験時間短縮を目指した電気自動車の一充電走行距離測定法の開発

環境研究領域　※小鹿 健一郎　自動車安全研究領域　新国 哲也
自動車審査部　小林 一樹

## 1．はじめに

電気自動車において“一充電走行距離”はその性能を表す重要な諸元の一つであり、交通安全環境研究所審査事務規程別添試験規程（TRIAS）によりその測定方法が規定されている。2009 年に市場に投入された電気自動車の一充電走行距離は 160 km[1]であったが、2015 年現在、技術の進歩により、その最長距離は 280 km[2]まで延伸している。これにともない一充電走行距離測定に要する時間も約 1.7 倍に増加している。今後も一充電走行距離が延伸した車両が開発されれば、さらに測定時間も長くなっていくことが予想される。上述のように進歩する技術に対応した試験方法の開発のために、本研究所では平成 24 年度より 3 年間『電動車認証試験法の高度化に関する研究』に取り組み[3]、新試験法として試験時間短縮を目指した一充電走行距離測定法を開発した。

## 2．従来測定法の概要

従来の一充電走行距離測定法[4]は、シャシダイナモメータ上で、図 1(a)に示すように走行用バッテリ（主電池）が満充電の状態(Full)から電欠状態(Empty)まで、規定のドライビングサイクルである JC08 モード(図 1(b))を繰り返し走行し、その距離を測定するものであった。一充電走行距離測定で用いられる JC08 モードの平均車速は 24.4 km/h であるため、230 km 程度の一充電走行距離を有する車両を試験する場合、電欠の状態までに約 9.5 時間の走行が必要になる。

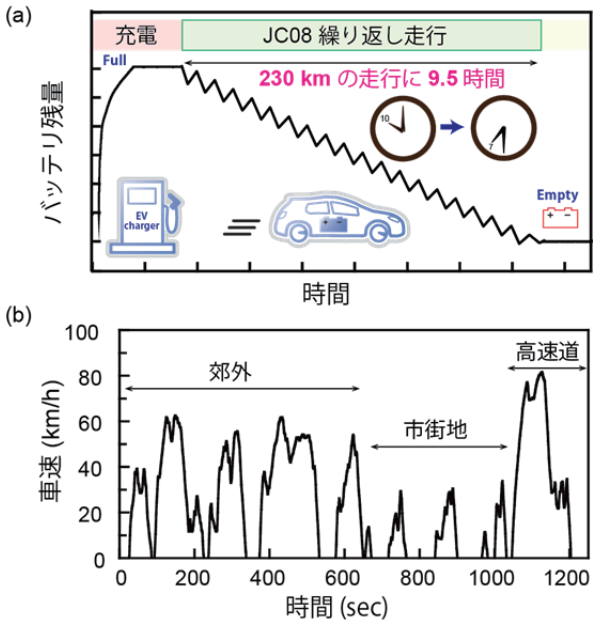



図 1 (a)従来測定法の概要、(b) JC08 モード

## 3．新測定法

### 3．1．新測定法のコンセプト

新測定法のコンセプトは図 2 に示すように 2 つの電力量の比をもとにして、計算により一充電走行距離を求めるものである。2 つの電力量とは“バッテリの使用可能な電力量（Usable Battery Energy: UBE）”と“ある距離を走行するのに必要な電力量”である。具体例を挙げて説明すると、UBE が 20 kWh であるバッテリパックを有する車両が、10 km 走行するのに、1 kWh の電力をバッテリパックから消費した（直流電力料消費率に相当）場合、一充電走行距離は 200 km と求められるというものである。本手法の開発における主要な検討事項は、計算に必要な値である UBE と直流電力量消費率をいかに短い時間で精度高く測定するかであった。[5]

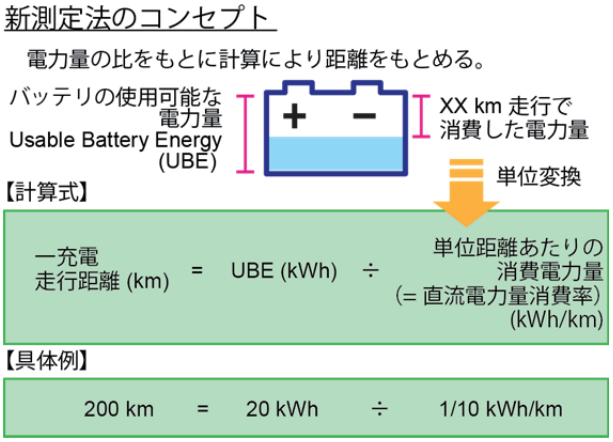



図 2 新測定法のコンセプト

### 3．2．新試験法の概略

新試験法の詳細[6]は、TRIAS 99-021-01 の 9 章 “計算法による一充電走行距離および交流電力量消費率の測定”において記述されており、ここではその概略について述べる。新試験法のテストシークエンスは図

3 に示すように、4 回の JC08 モードの繰り返し走行部および一定速（81.6 km/h）走行部を組み合わせた構成となっている。

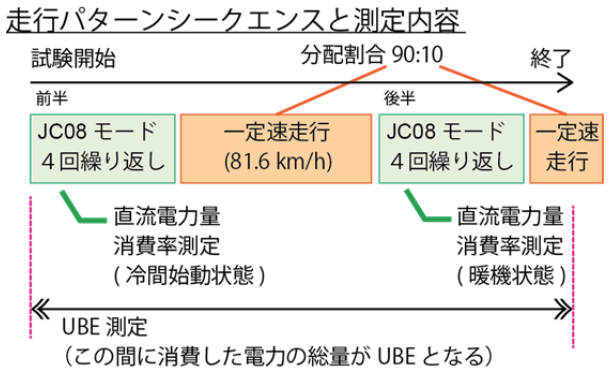



図 3 新測定法の走行パターンシークエンスと測定内容

JC08 モード走行部は直流電力量消費率の値を取得するために存在し、ここで得られた走行距離およびバッテリから消費した電力量から直流電力量消費率が決定される。一方、一定速走行部では、高速走行することによってより短い時間でバッテリに蓄えられた電力を消費できる、つまり UBE 測定のための時間を短縮する目的で存在している。一定速走行部において走行する距離は、前半と後半で90:10に分配される（※例外の規程あり）。これは冷間始動状態で直流電力量消費率が高く、暖機状態で直流電力量消費率が低いという事象に対応したものとなっている。特に初回の JC08 モード走行時の直流電力量消費率は、車両によっては回生による充電を抑制しているケースもあり、２回目以降の値と比べて大きく異なることがありうる。このため計算により一充電走行距離を求める際には、初回の直流電力量消費率は２回目から８回目の直流電力量消費率と取り扱いを分け、補正を行っている。以下に実際に用いられる計算式を記述する。

$$D = \frac{UBE}{\kappa_1 \cdot ECdc_1 + (1-\kappa_1) \cdot ECdc_{avg}}$$

| | |
|---|---|
| D | ：一充電走行距離（km） |
| $UBE$ | ：試験開始から終了までの主電池の利用可能電力量（kWh） |
| $\kappa_1$ | ：UBE に占める JC08 モード走行１回目の消費電力量の割合 |
| $ECdc_1$ | ：JC08 モード走行１回目の電力量消費率（kWh/km） |
| $ECdc_{avg}$ | ：JC08 モード走行２回目から８回目の平均電力量消費率（kWh/km） |

## ３．３．新試験法の精度および時間短縮効果

新試験法の精度の確認は、自動車メーカーの協力を得て、国内に流通している市販車両４車種を用いて行われた。従来試験法に対する新試験法の測定結果の差は 1%未満であった。また最も時間短縮効果が大きかった例では、従来試験法で約 9.5 時間かかった車両の測定時間が、新試験法では、約 4.5 時間と半分以下に短縮された。これにより、新試験法は従来試験法と同等の結果をより短時間で得られることが証明された。

## ４．おわりに

本報告では、試験時間短縮を目指し開発した一充電走行距離の新測定法について、そのコンセプト、概要および精度や時間短縮効果について、従来方法にふれつつ記述した。新試験法は 2015 年 3 月末より運用が開始され、2015 年 10 月末現在で２件の審査が新試験法により行われた（現行最長車両(280 km)の場合は約 11.5 時間から約 5 時間への短縮であった。）。また、本手法の一充電走行距離を“バッテリの使用可能な電力量”と“ある距離を走行するのに必要な電力量”の関係から計算で求めようとするコンセプトは JC08 モードを対象とした測定のみでなく、世界統一試験サイクル(WLTC: Worldwide Light-duty Test Cycle)を対象とした測定にも応用可能であることから、 小型車の世界共通排出ガス試験法 (WLTP: Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)における測定法として採用されることが決まっている。

## 参考文献


1) 三菱自動車 i-MiEV カタログ（2009）
2) 東京モーターショー2015 日産プレスリリース資料
3) 交通安全環境研究所フォーラム 2013 “電気自動車における一充電走行距離試験の短縮方法の検討” 小鹿 健一郎ほか
4) 審査事務規程別添試験規程 TRIAS 99-011-01 “一充電走行距離及び交流電力料消費率試験 (JC08 モード)”
5) 自動車技術会論文集 Vol.46, No.2, p.379-384 “電気自動車の一充電走行距離試験における時間短縮法の検討” 小鹿 健一郎ほか
6) 審査事務規程別添試験規程 TRIAS 99-021-01 “一充電走行距離及び交流電力料消費率試験 (JC08 モード計算法対応)”

# ⑫ 重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第３報）

－ エンジン暖機モデルを用いた冷機始動時の燃料消費率計算方法 －

環境研究領域　　※水嶋 教文　　山口 恭平　　川野 大輔　　鈴木 央一

## １．はじめに

我が国では、平成 18 年から世界に先駆けて重量車の燃費基準が導入され、同時に燃料消費率試験法[1](以下、「重量車燃費試験法」という)も運用が開始された。図 1 に重量車燃費試験法の概要を示す[2]。本試験法では、エンジン台上試験装置を用いて暖機定常条件で計測したエンジン回転数およびトルクに対する燃料消費量のマップ(以下、「燃費マップ」という)に基づき、車両走行時の燃料消費率を計算する方法(以下、「シミュレーション法」という)を採用している。具体的には、図 2 に示す都市内および都市間走行モードを 1 秒毎のエンジン試験サイクルに変換した後、当該試験サイクルを運転した際の瞬時燃料消費量を燃費マップから読み取り積算することで試験サイクル全体の燃料消費量および燃料消費率[km/L]を計算している。したがって、本試験法で得られた燃料消費率はエンジンが暖機状態であることを仮定した場合の値となる。

一方、平成 28 年度から導入される次期重量車排出ガス試験法の WHDC (World-wide harmonized Heavy-duty Certification procedure)は、過渡試験サイクルの WHTC (World-wide Harmonized Transient Cycle)と定常試験サイクルの WHSC (World-wide Harmonized Steady-state Cycle)の試験で構成され、WHTC の試験では冷機始動条件および暖機条件における排出ガス値を 1 : 6 で加重平均することとなっている。このように WHDC では冷機始動条件における試験が含まれることから、今後はエンジン・後処理装置の暖機促進技術の導入が進むものと予想される。

暖機促進は、機械損失の低減による燃費改善効果が見込める一方、方法によってはその過程において燃費を悪化させる場合もある。したがって、暖機促進技術の導入による燃料消費率への影響については、適切な評価方法により把握しておかなければならない。これに備えて本研究では、シミュレーション法による重量車燃費試験法において冷機始動条件の燃料消費率を評価する方法を考案し、その有効性を検証した。

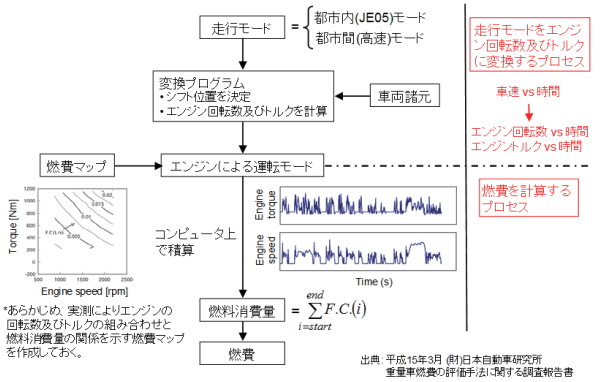



図 1　重量車燃費試験法の概要

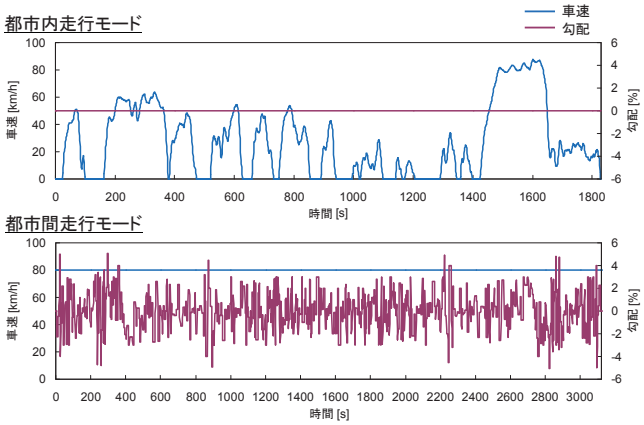



図 2　都市内走行および都市間走行モード

## ２．方　　法

### ２．１．冷機始動条件における燃費計算方法の考案

冷機始動条件における燃料消費率の計算では、

(a) エンジンシステムの昇温過程の予測

(b) エンジンシステム温度と燃料消費量の関係

の 2 点が重要なポイントとなる。

### (a)　エンジンシステムの昇温過程の予測

エンジンシステムの温度分布が冷却水温度で均一であるという仮定の下、エンジン暖機モデルを構築した。以下にその計算モデルを示す。

$$C_{eng} = \frac{\Delta Q_{in} - \Delta Q_{out}}{\Delta T_w} \tag{1}$$

ただし、

$$\Delta Q_{in} = \frac{FC_{cold} \times \rho_f \times H_f \times \left(r_{qloss} + r_{floss}\right)}{3600} \tag{2}$$

$$\Delta Q_{out} = \alpha A_{eng}(T_w - T_a) \quad (3)$$

ここで、$C_{eng}$ はエンジンシステムの総熱容量[kJ/K]、$\Delta Q_{in}$ はエンジンの燃焼によりエンジンシステムに供給される瞬時熱量[kW]、$\Delta Q_{out}$ はエンジンシステムから周囲空気に放出される瞬時熱量[kW]、$\Delta T_w$ はエンジン冷却水温度[K]の変化量[K/s]、$FC_{cold}$ は冷機始動時条件で計測した瞬時燃料消費量(15℃換算後) [L/h]、$\rho_f$ は燃料密度[g/cm$^3$]、$H_f$ は燃料の低位発熱量[kJ/kg]、$r_{qloss}$ は燃料の供給熱量に対する冷却損失割合、$r_{floss}$ は燃料の供給熱量に対する機械損失割合、$\alpha$ はエンジンシステムと周囲空気間の平均熱伝達率[kW/m$^2$K]、$A_{eng}$ はエンジンシステムの表面積[m$^2$]、$T_w$ はエンジン冷却水温度[K]、$T_a$ は周囲の空気温度[K]とする。$r_{qloss}$ および $r_{floss}$ の和は燃費マップ計測時に同時に取得したデータから算出可能である。

任意のエンジン試験サイクルでエンジンを冷機始動した際の計測データを上記計算モデルに入力することで、$C_{eng}$ および $\alpha A_{eng}$ を算出できる。これにより、以下の式を用いることで、従来のシミュレーション法でエンジンを冷機始動したと仮定した際のエンジン冷却水温度の昇温過程(時々刻々の $T_{w_cal}$)を予測することが可能となる。

$$T_{w_cal} = T_{w_cal}' + \Delta T_{w_cal} \quad (4)$$

ただし、

$$\Delta T_{w_cal} = \frac{\Delta Q_{in_cal} - \Delta Q_{out_cal}}{C_{eng}} \quad (5)$$

$$\Delta Q_{in_cal} = \frac{FC_{cold_cal}' \times \rho_f \times H_f \times (r_{qloss}' + r_{floss}')}{3600} \quad (6)$$

$$\Delta Q_{out_cal} = \alpha A_{eng}(T_{w_cal}' - T_a) \quad (7)$$

ここで、添え字 $_{cal}$ は時々刻々の計算結果、′(ダッシュ)は1秒前の時刻における計算結果である。

### (b)　エンジンシステム温度と燃料消費量の関係

エンジンシステム温度と燃料消費量の関係を把握するには、$T_w$ 毎に燃費マップを取得する方法と、$T_w$ に依存する補正係数を導出する方法が容易に考えられる。いずれの方法においても実験が必須となるが、実験工数の省力化の観点から後者の方法を検討する。

同一エンジン試験サイクルにおいて冷機始動条件で計測した $FC_{cold}$ と暖機条件で計測した $FC_{hot}$ から、同一時刻に対する冷機始動条件の $T_w$ と $FC_{cold}/FC_{hot}$ の関係を $f(T_w) = FC_{cold}/FC_{hot}$ として予め把握する。

以上の(a)および(b)で得られた $T_{w_cal}$ および $f(T_w)$ に基づき、以下の式により冷機始動条件における瞬時燃料消費量の計算値 $FC_{cold_cal}$ を算出することで、燃料消費率の算出が可能となる。

$$FC_{cold_cal} = FC_{hot_cal} \times f(T_{w_cal}) \quad (8)$$

ここで、$FC_{hot_cal}$ は従来のシミュレーション法により算出した暖機条件での瞬時燃料消費量[L/h]である。

## ２．２．冷機始動条件における燃費計算方法の手順

前節で示した冷機始動条件における燃費を実際に計算する際の手順を図3に示す。本手法は、暖機条件における燃費マップの計測に合わせて吸入空気流量、吸気温度・圧力、および排気温度・圧力を同時に計測し、これらのデータから熱損失割合マップを算出する工程(工程(i))、冷機始動条件および暖機条件における過渡試験の結果から、冷機始動条件における燃費計算に必要な $C_{eng}$、$\alpha A_{eng}$、および $f(T_w)$といったエンジンシステム固有の物理変数を算出する工程(工程(ii))、従来のシミュレーション法に対して $FC_{hot_cal}$ に $f(T_w)$を乗じ補正する工程を加えたシミュレーション(工程(iii))の3つの工程を含んだ手順となっている。

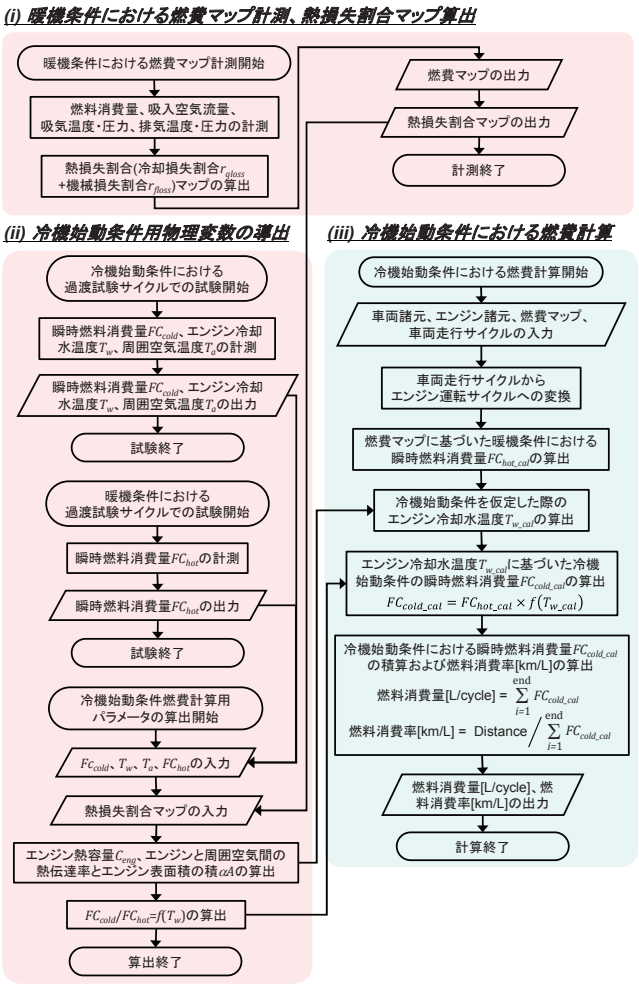



図3　冷機始動時における燃費計算方法の手順

### ２．３．冷機始動条件における燃費計算方法の検証

前節までで述べた冷機始動条件における燃費計算方法による評価精度を検証するため、様々な車両諸元を想定した冷機始動条件と暖機条件において、本方法を導入したシミュレーション法による燃料消費率の計算値(以下、計算燃料消費率)とエンジン台上試験装置による燃料消費率の実測値（以下、実測燃料消費率）を比較した。想定する車両諸元は表 1 に示す 5 仕様であり、全て同一型式のエンジンを搭載することを前提としている。なお、それぞれについて積載量を空積載、半積載、および全積載として計 15 通りの諸元を設定することで、エンジンの様々な過渡状態を想定した。評価に用いた車両走行モードは図2に示す重量車燃費試験法で定められた都市内走行モードである。

表 1　評価に用いた車両諸元

| No | 全高 [m] | 全幅 [m] | 車両重量 [kg] | 最大積載量 [kg] | 乗車定員 [人] | 変速機ギア比 1速, 2速, 3速, 4速, 5速, 6速 | 終減速機ギア比 | タイヤ動的負荷半径 [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.106 | 1.780 | 2482 | 2396 | 3 | 5.080, 2.816, 1.587, 1.000, 0.741 | 5.275 | 0.343 |
| 2 | 2.099 | 1.751 | 2356 | 2000 | 3 | 5.315, 2.908, 1.558, 1.000, 0.721 | 4.555 | 0.338 |
| 3 | 2.041 | 1.729 | 2652 | 2995 | 3 | 5.979, 3.434, 1.752, 1.000, 0.795 | 5.571 | 0.364 |
| 4 | 2.363 | 2.161 | 2979 | 3749 | 3 | 5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759 | 5.125 | 0.366 |
| 5 | 2.454 | 2.235 | 3543 | 4275 | 3 | 5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759 | 5.375 | 0.376 |

### ２．４．試験装置および方法

実験は図4に示すエンジン台上試験装置を用いて実施した。供試エンジンの諸元を表 2 に示す。本エンジンは、ポスト新長期排出ガス規制に適合した重量車に搭載されている総排気量 3.0 L の直列 4 気筒ターボディーゼルエンジンである。燃料流量の計測には容積式流量検出器(小野測器製、FP-2140H)を使用した。計測した燃料流量は、燃料流量計の直後に設けた温度センサによる燃料温度に基づき、JIS K2249-1987 付表 II 表 2B「燃料油の温度に対する容量換算係数表」を用いて燃料温度 288 K(15 ℃)における体積に換算した。

実験では、シミュレーション法に用いるための暖機定常条件における燃費マップの計測に加え、表 1 に示した車両諸元における空積載、半積載、全積載状態(車両諸元 5 通り×積載率 3 通り＝15 通り)での、冷機始動条件および暖機条件における都市内走行モードでの燃料消費率を計測した。

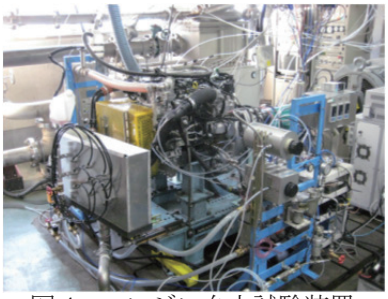


図 4　エンジン台上試験装置

表 2　供試エンジン諸元

| | |
|---|---|
| エンジンタイプ | 直列4気筒ディーゼルエンジン |
| 過給システム | ターボインタークーラ |
| 燃料供給システム | コモンレール |
| 総排気量 | 3.0 L |
| 最高出力／回転数 | 110 kW／2800 rpm |
| 最大トルク／回転数 | 375 Nm／1400-2800 rpm |
| 排出ガス規制適合 | ポスト新長期排出ガス規制適合 |

## ３．結果および考察

### ３．１．エンジンシステムの昇温過程の予測結果

２．１．節で示したエンジン暖機モデルに基づいて、任意のエンジン試験サイクルにおける計測データから $C_{eng}$ および$\alpha A_{eng}$ を算出し、都市内走行モードにおける $T_w$ の昇温過程を予測した。なお、本研究では任意のエンジン試験サイクルとしてWHTCを適用した。

式(1)および式(3)より

$$\sum \Delta T_w = \frac{1}{C_{eng}} \sum \Delta Q_{in} - \frac{\alpha A_{eng}}{C_{eng}} \sum (T_w - T_a) \quad (9)$$

であり、この式(9)より

$$T_w = \frac{1}{C_{eng}} \sum \Delta Q_{in} - \frac{\alpha A_{eng}}{C_{eng}} \sum (T_w - T_a) + T_{w_i} \quad (10)$$

を得ることができる。ここで、$T_{w_i}$ はエンジン冷却水の初期温度[K]である。

式(10)の$\sum \Delta Q_{in}$および$\sum (T_w - T_a)$を説明変数としてWHTC を運転した際の $T_w$ 計測データに対して重回帰分析を実施し、これらの係数を算出して $C_{eng}$ および$\alpha A_{eng}$ を導出した結果を表 3 に示す。また、得られた$C_{eng}$および$\alpha A_{eng}$を用い、一例として WHTC および車両諸元 No.2 半積載条件の都市内走行モードで $T_{w_cal}$ を計算した結果と実験結果 $T_w$ を図 5 に示す。WHTC においては $C_{eng}$ および$\alpha A_{eng}$ を導出するために用いた試験サイクルであるため、$T_{w_cal}$ は実験結果 $T_w$ と一致し、$T_w$ の昇温過程を適正に予測できることは図 5 からも明らかであり、当然の結果である。一方、同一の$C_{eng}$および$\alpha A_{eng}$を適用することで、これらの算出に用いた試験サイクルとは異なる試験サイクルである都市内走行モードにおいても $T_w$ の昇温過程を適正に予測できており、本計算モデルの妥当性が確認された。

表 3　$C_{eng}$ および $\alpha A_{eng}$ の導出結果

| | |
|---|---|
| エンジンシステムの総熱容量 $C_{eng}$ [kJ/K] | 133.4 |
| エンジンシステムと周囲空気間の平均熱伝達率 x エンジンシステムの表面積 $\alpha A_{eng}$ [kW/K] | 0.1269 |

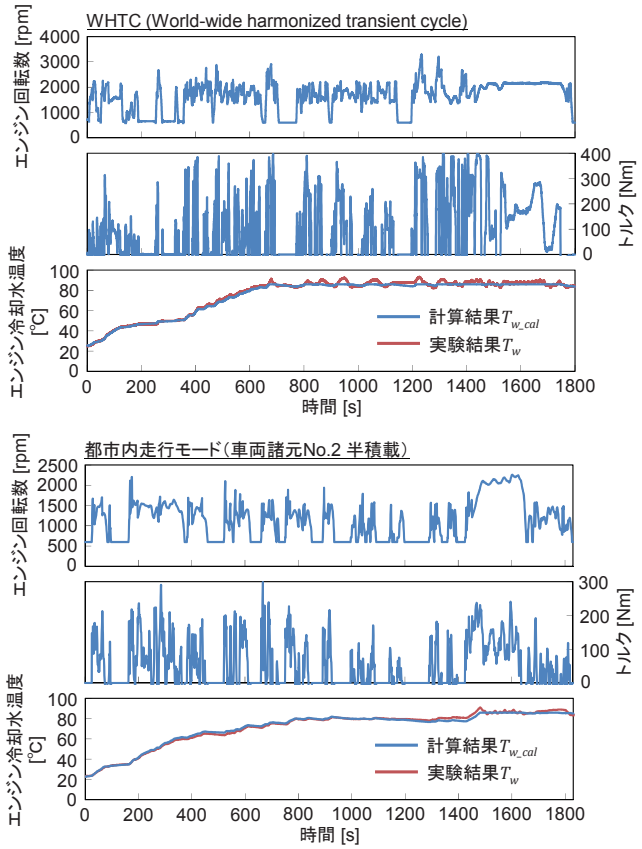



図 5　エンジン冷却水温度の計算結果と実験結果の比較

### 3．2．冷機始動条件における燃費計算結果

2．1．節(b)に記載した方法を用いて、WHTC の冷機始動条件で計測した $FC_{cold}$ と暖機条件で計測した $FC_{hot}$ から、同一時刻に対する冷機始動条件の $T_w$ と $FC_{cold}/FC_{hot}$ の関係を $f(T_w) = FC_{cold}/FC_{hot}$ として把握した結果を図 6 に示す。ここでは、$T_w$ が 5 ℃上昇するごとに計測した $FC_{cold}$ および $FC_{hot}$ を平均化し、それらの比 $FC_{cold}/FC_{hot}$ を $T_w$ の関数として導出した。この結果、$T_w$ が常温に近い条件では暖機条件と比較して最大で 1.4 倍程度、燃料消費量が増大する傾向となった。

ここで得られた $f(T_w)$ と 3．1．節で計算した $T_{w_cal}$ に基づき都市内走行モードでの冷機始動条件における燃費を計算した。図 7 に、仮定した車両の重量出力比[kg/kW](車両重量(積載含む)[kg]／エンジン最高出力[kW])に対して、暖機条件における燃費[km/L]と冷機始動条件における燃費[km/L]の比率(暖機条件燃費[km/L]／冷機始動条件燃費[km/L])をまとめた結果を示す。同図より、計算結果は実験結果と同様の傾向を示し、重量出力比の低下に伴い暖機条件燃費と冷機

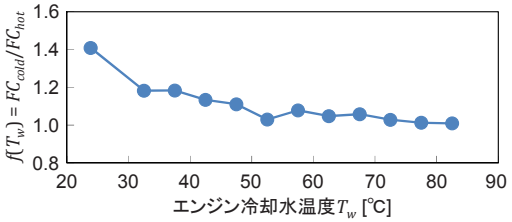



図 6　エンジン冷却水温度と $FC_{cold}/FC_{hot}$ の関係

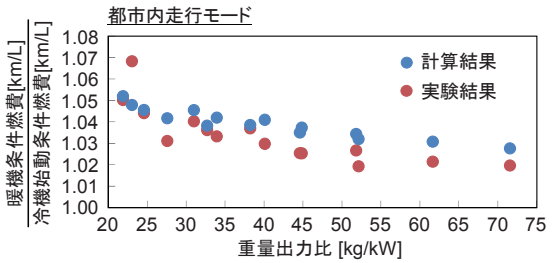



図 7　暖機条件燃費と冷機始動条件燃費の比率

始動条件燃費の差異が概して減少していることがわかる。また、計算結果と実験結果における当該比率の差異は最大でも 1%程度であり、計算結果は実験結果を模擬できていることが確認された。

## 4．おわりに

以上で述べた方法を適用することで、エンジンシステム温度の上昇過程を予測した上で、冷機始動条件における燃料消費率を計算することが可能となった。ただし、エンジンシステム温度の上昇過程の予測精度は極めて高いものの、冷機始動条件を想定した燃料消費率の補正精度には改善の余地が残されている。これは、$FC_{cold}/FC_{hot}$ を $T_w$ のみの関数として与えていることが要因であり、$T_w$ に加えて他の因子も考慮に入れることで改善できるものと考えられる。加えて、重量車燃費試験法における本方法の位置づけやあり方について議論を深め、さらに整理することが必要である。

## 謝　辞

本研究の一部は、国土交通省より受託した「重量車搭載用エンジンの燃費測定法に関する調査」において実施したものである。ここに記し、謝意を表する。

## 参考文献

1)　“総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会重量車判断基準小委員会・重量車燃費基準検討会 最終取りまとめ”、(2005)
2)　“重量車燃費の評価手法に関する調査報告書”財団法人日本自動車研究所、(2003)

# ⑬ 列車の運転状況記録装置データを活用した安全性向上方策に関する研究

交通システム研究領域　　※田中 佑輔　　廣瀬 道雄　　日岐 喜治

## 1．はじめに

日本の鉄道においては、平成 17 年 4 月の福知山線列車脱線事故を受けた技術基準の改正により、1 時間あたりの最大運行本数が往復 10 本以上の線区を走行する車両及び運転速度が 100km/h を超える車両について、平成 28 年 6 月までに運転状況記録装置を整備することが義務づけられ、現在その整備率は 97%（平成 27 年 3 月末時点）となっている[1)]。また、同事故を調査していた航空・鉄道事故調査委員会（当時。現・運輸安全委員会）の建議（平成 17 年 9 月）においては、運転状況記録装置に関し、インシデント等については、その状況を正確に把握し、分析して活用することが、事故の防止に効果的である旨が指摘されているところである[2)]。

このような状況を踏まえ、運転状況記録装置の活用状況について主要な鉄道事業者に対するヒアリングを行ったところ、ほとんどの事業者では、乗務員からの申告や車両故障等、正常ではない事象を覚知した際に利用する場合があるものの、日常的な運行データの分析利用は行っていないことが分かった。この理由としては、速度の検出精度が低い、正確な列車出発位置の特定が困難、データの回収・閲覧についての社内の理解が広がらない等の課題が多く挙げられた。

本研究においては、運転状況記録装置の活用を推進し、もって鉄道の事故防止、安全性向上に資するため、前述の課題も踏まえ、当研究所の鉄道運行安全性評価シミュレータと列車の運転状況記録装置のデータを利用し、位置誤差補正方法及び事故・インシデントの判定抽出方法並びに運転状況記録装置の活用方策に関する研究を行ったので、運転状況記録装置の国際規格化の動向等とあわせて報告する。

## 2．事故・インシデントの判定抽出方法

### 2．1．位置誤差補正方法の提案

運転状況記録装置の速度の検出精度が低いこと及び正確な列車出発位置の特定が困難であることについては、車輪の回転による速度の検出精度の問題であるため、高精度のレーザドップラ車速計及び衛星測位を利用して加速時、減速時、惰行時の運転状況記録装置（民鉄に広く普及している機種）の速度の検出精度を把握するとともに、出発位置の特定ができるかの試験を行い（図 1）、その結果から、真の走行距離を利用して運転状況記録装置のデータを補正する方法をとりまとめた。

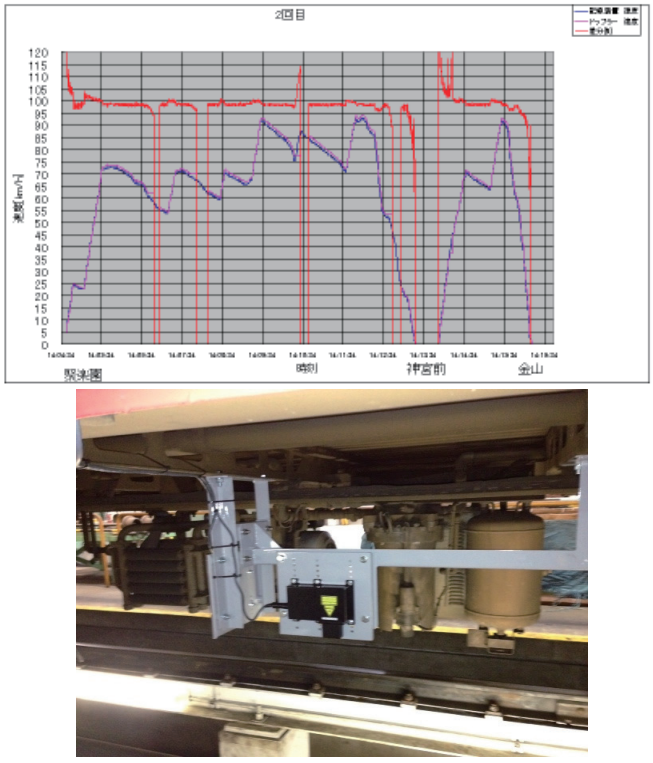



図 1　運転状況記録装置の速度精度比較試験（上：誤差状況、下：レーザドップラ車速計）

### 2．2．インシデント等の判定アルゴリズムの構築

次に、運転状況記録装置に記録されるデータのうち、列車位置、運転操作及び速度の情報から、正常ではない状況を検出するプログラムの開発を行った。

実際に生じている事故事例を参照したところ、速度制限を超えて運転されるインシデント等（保安装置が設置されていない箇所におけるもの）が発生しており、速度超過が発生する恐れがある場所において速度超過となる前に検出する方法が有用と考え、鉄道運転シミュレーション（列車運行安全性評価シミュレータ）により、起こりうる速度超過シナリオ及び検出プログラムを作成し、その検出を行う試験（図２左）によりプログラムの有効性を確認することとした。

具体的な場面については、中小民鉄事業者の協力を得て、単線の実在の鉄道線において、速度超過が生じる可能性が考えられる具体的な駅間及びシナリオ並びに警告が必要なケースと警告が必要ではないケースを検討した。

その結果、試験を行う駅間は、速度制限区間（図２右）を含むＡ駅からＢ駅までの区間とし、シナリオとして速度制限区間についての以下の①②（図３参照）のインシデントを想定することとした。

①速度制限区間に対するブレーキ遅れ（運転操作の失念を想定）

②速度制限区間に対する速度超過（所要時分短縮のための加速を想定）

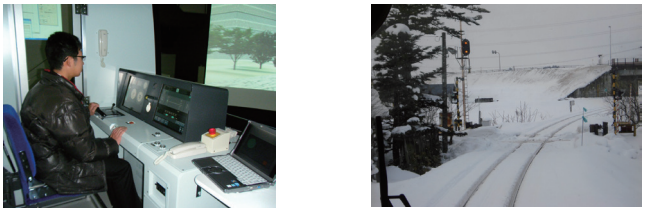


図２　中小民鉄会社を対象とした試験
（左：試験の様子、右：速度制限区間の現地写真）

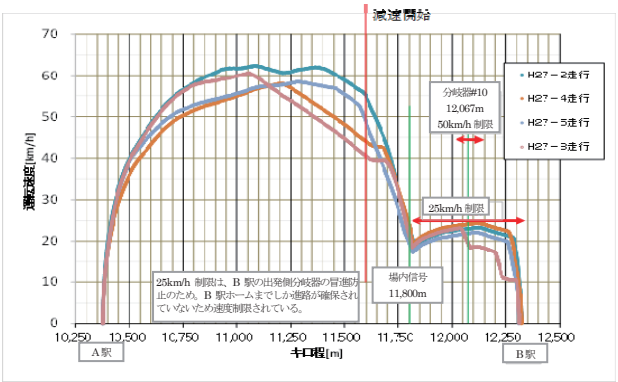



図３　インシデント等と判定すべき運転シナリオ

以上を踏まえ、列車運行安全性評価シミュレータ上に当該駅間の精緻な線路形状を作成し、運転士が駅間を走行し、インシデント等があれば警報を行うプログラムを実装した。プログラムでは、インシデント等が生じたと判定された場合には、警報を音で運転者に知らせることとした。

試験は、単線の実在の鉄道線の線路形状データをシミュレーションし、当該鉄道事業者の運転士及び運転士経験者が運転する方法で行った。

図４は、試験結果である。標準の運転に比べて、ブレーキが遅くなる場合や、速度制限区間内において再加速を行い速度超過となる場合に、事前に検出し、警報を発出することが確認できた。

アンケートは、運転後において「習熟すれば効果ありといえる　・　効果はないといえる　・　その他」の選択及び速度超過を検出するタイミングについての自由意見を聞いた。

運転士の意見から、作成したプログラムにインシデントを判定する効果があることが確認された。自由意見としては、速度超過に対する防止効果があるという結果も得られた。

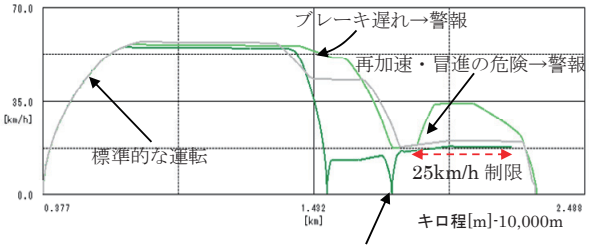



図４　運転士による運転試験結果（２ケース）

## ３．運転状況記録装置の活用方策

ブレーキを動作させる地点（ブレーキ点）は、ダイヤ計算上必要な情報であるが、基本的には運転士の操作に任されており、運転ダイヤに用いられる運転パターンとは一致しない可能性があるため、実運行を把握することが可能となれば、最適な運転曲線の作成が可能となる。

そのため、ブレーキ点の実状及び減速が必要な箇所に対するブレーキ点の位置を把握するため、運転状況記録装置のデータからブレーキ点の位置を計算するとともに、曲線や分岐器等の速度制限箇所に対して減速するためのブレーキ点については、勾配等の力学計算をシミュレータにより行い安全上の限界点を求め、現在のブレーキ点からの余裕時分を算出する手法により研究を行った。

同一車両において連続する３日間の９回の走行データを大手民鉄事業者の協力により入手し、これを研究材料として、ブレーキ点の位置抽出と、余裕時分を算出する研究を行うこととした。

### ３．１．ブレーキ点からの余裕時分の算出

図５は、ある駅間データを抽出し、誤差を補正した上で列車運行安全性評価シミュレーション上で再現を行った、列車９回分の運転曲線である。すべての列車が左から右に進行しており、途中の閉そく信号機の現示は不明であるが、出発時にダイヤ上の遅延がなく発車したことは確認している。

黄緑色のグラフは、鉄道事業者におけるダイヤ計算上の標準運転曲線であり、赤いＸ軸との平行線は速度制限区間を示している。

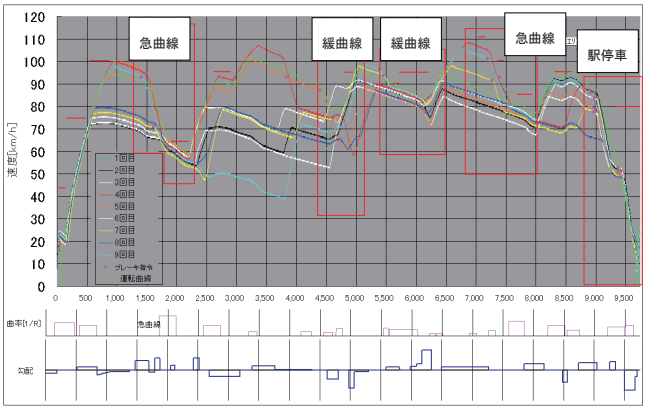



図５　標準運転曲線と運転状況記録装置データとの比較

図６は、図５のうち 2000m 付近の急曲線（25km/h 以上の減速を伴うもの）部について拡大したものである。この速度制限に対して減速するための安全上の限界は、同図中に点線で示す曲線のように車両の減速度と線路の勾配から求め、この曲線とブレーキ点（点で示している）との距離（図中の緑色の矢印の部分）を運転上の余裕と捉えることとして、余裕時分の算出を行った。

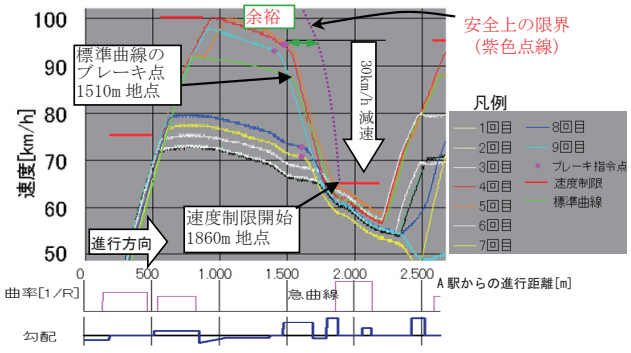



図６　急曲線部のブレーキ点及び安全上の限界、余裕時分の算出結果

### ３．２．ブレーキ操作位置のばらつきに関する分析

運転曲線について、標準運転曲線と比較してより高速な運転グループ（高速運転）と、より低速な運転グループ（低速運転）とに分けて運転速度平均を求め、それぞれのグループにおけるブレーキ点のばらつきを求めたところ、図７のようになることが分かった。

図７及び表１より、運転速度に関わらず余裕時分の平均は 6.5 秒～8.2 秒（駅停車では 5.2 秒）と、比較的長いことが分かった。ただし、短い場合は急曲線部ではなく緩曲線部に多く見られ、1.6 秒、4.5 秒と比較的短いことが分かり、ブレーキ操作を失念してしまう場合に対しては、この時間内においてブレーキの失念等について警告を示すことで正常な運転に回復させられる余地があることが分かった。

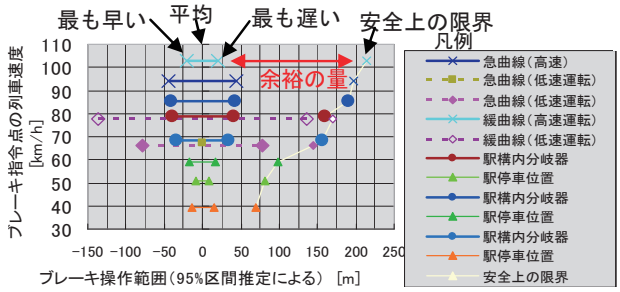



図７　減速の対象物別　運転速度別の余裕時分の比較

表１　図７の総括表

| 減速する対象 | 平均速度[km/h] | 余裕時分平均[s] | 余裕時分最短[s] |
|---|---|---|---|
| 急曲線(高速運転) | 94 | 7.6 | 5.9 |
| 急曲線(低速運転) | 66 | 6.5 | 4.5 |
| 緩曲線(高速運転) | 103 | 7.5 | 6.7 |
| 緩曲線(低速運転) | 77 | 7.9 | 1.6 |
| 駅構内分岐器 | 78 | 8.2 | 5.4 |
| 駅停車位置 | 46 | 5.2 | 4.9 |

また、図８・図９はブレーキ点のばらつきを駅分岐器部と緩曲線部とで比較したものである。緩曲線部に対してはブレーキ点のばらつきが比較的大きいことが分かり、後日の調査では、駅分岐器部や急曲線部に対してはブレーキ点を事前に決めている運転士が多いが、緩曲線部ではあまり明確ではないという意見があり、ブレーキ操作の失念・速度超過は緩曲線部でも考えられることが分かった。

以上により、これらの運転特性を考慮した、実情にあった標準運転曲線作成の可能性が示された。

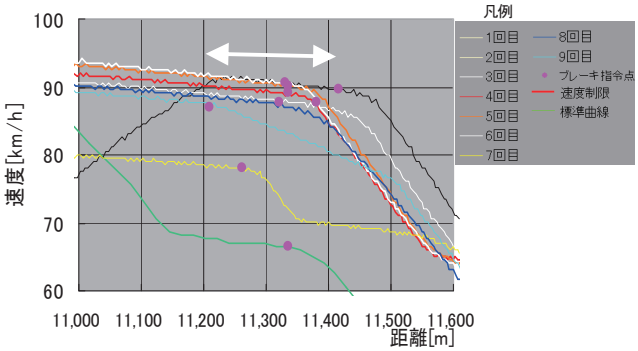



図８　駅部の分岐器に対する減速時

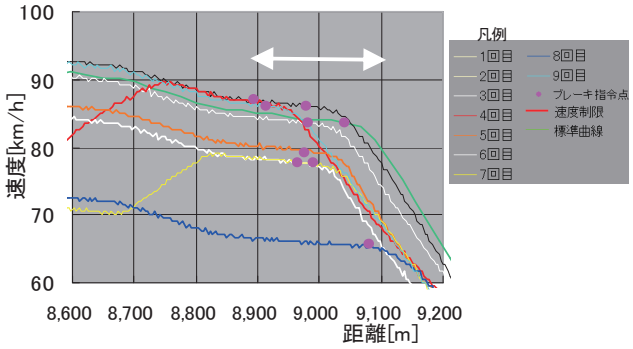



図９　緩曲線(750R)に対する減速時

## ４．運転状況記録装置の国際規格化・普及促進

### ４．１．IEC 62625 (On board driving data recording system）規格審議

運転状況記録装置の国際規格化については、欧州より「車上運転データ記録システム」として EN 規格（European Norm：欧州統一規格）をベースとした規格案が提案され、その内容は頑強な構造の専用装置を搭載することを前提とした規格及び試験方法を定めるものであったが、日本の技術基準では取り付け位置の工夫等による防護が可能であるとの主張を行った。その結果、日本の技術基準に適合した列車用運転状況記録装置の方式を含める修正案を提示し、規格案に日本の技術基準に適合した装置を反映することができた。

### ４．２．映像型運転状況記録装置の実用化

日本で普及している運転状況記録装置は、ほとんどが車両内の各機器との結線によって速度・運転操作等を数値データで記録するもの又は車内情報システムを利用して配線により数値データを記録するものである。そのため、取り付けのための設計は車種別に行わなければならず、この装置の普及の妨げとなっている。

しかし平成２６年に、周辺状況や列車位置を特定しやすい点で優れた点が評価され、交通研が技術指導した、カメラにより運転状況を記録する方式（映像型）の運転状況記録装置が軌道事業者に採用されたところである。採用された装置は本体装置及びセンサ（前方撮影カメラ、車内撮影カメラ、GPS、マイク）で構成されている。

この方式は、結線が不要であるため既存の車両への設置が容易であるという特徴があり、また、映像であるため記録される情報量が多いことから、現時点では運転状況記録装置を搭載していない（又は搭載が技術的に困難な）鉄軌道事業者に対する普及促進につながるものと考えられる。

図１０　映像型の運転状況記録装置の設置状況（上：運転台周辺、下：運転台後方）

## ５．まとめ

本稿では、列車の正確な位置把握のための位置誤差補正方法及び事故・インシデントの判定抽出方法並びに運転状況記録装置の活用方策について、運転状況記録装置の国際規格化の動向等とあわせて報告した。

運転状況記録装置の活用が進まない要因の一つである位置誤差の問題について、その補正方法を提案するとともに、運転状況記録装置のデータから正常ではない状況を検出するプログラムを開発し、シミュレーションによる試験により有効性があることを確認した。

また、運転状況記録装置のデータの具体的な活用方策として、ブレーキ点からの余裕時分を算出し、最適な標準運転曲線を作成できる可能性を提示した。

さらに、運転状況記録装置の国際規格化及び映像型運転状況記録装置の実用化についても触れた。

## ６．参考文献

1) 国土交通省鉄道局「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報（平成26年度）」平成27年7月

2) 航空・鉄道事故調査委員会「鉄道事故調査報告書　西日本旅客鉄道株式会社福知山線塚口駅～尼崎駅間列車脱線事故」別添１「西日本旅客鉄道株式会社福知山線列車脱線事故に係る建議」平成17年9月

# ⑭ 鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究

交通システム研究領域　　※田中 佑輔　　廣瀬 道雄　　竹内 俊裕　　林田 守正

## 1．はじめに

地域鉄道は、少子高齢化等を背景とした旅客減等によって厳しい経営環境に置かれており、平成 24 年度においては 76%の事業者が経常収支で赤字を計上するに至っている[1)]。これらの地域鉄道を維持していくためには、収入を確保するための施策に加え、列車運行の安全性を確保した上で、運行にかかる経費を削減する施策を行っていく必要がある。

鉄道の信号システムに用いられている軌道回路等の地上主体型列車検知装置は、維持費や設備更新費が課題であり、今後の方向性として、列車検知装置の車上化及びそのための衛星測位技術の活用が考えられる。

鉄道軌道分野での衛星測位技術の利用は、旅客サービスや保守の用途で実用化され、列車制御に用いるための研究も進められている。衛星の利用環境については、日本では GPS 衛星と互換性のある準天頂衛星が打ち上げられ、平成 29 年度に現在の 1 機体制が 4 機体制に増強される予定であるなど、各国で様々な衛星測位システムの整備が進められ、マルチ GNSS（Global Navigation Satellite System）が構築されつつある[2)]。

これらを踏まえ、本研究では、普通鉄道及び路面電車を対象として、衛星測位技術を活用した、地上施設に頼らない列車位置検知のための試験装置の構築及びその実証試験を行い、検知性能の検証を行ったので、その結果について報告する。

## 2．試験装置の構築及び試験方法

### 2．1．基本設計

普通鉄道の地域鉄道では、図 1 のとおり長大な軌道回路及びその信号ケーブルの設置や維持・点検に費用を要している。そこで、連動駅（行き違いのための分岐器のある駅を指す）間の軌道回路による位置検知を列車上での衛星測位によって代替する（連動駅場内の軌道回路は存置する）方式を検討することとする。連動駅場内と連動駅間の境界付近の位置精度及び必要な精度が得られない場合の対策が技術的課題である。

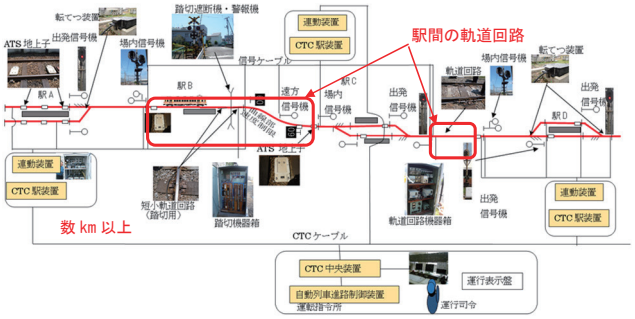



図 1　地域鉄道（普通鉄道・単線）の一般的な構成

一方、路面電車では、道路と路面を共用していることによる制約等から、一般的に軌道回路は用いられておらず、道路の交差点や分岐箇所など必要な箇所においてトロリーコンタクタ（図 2 参照、以下「トロコン」という。）による車両位置検知が用いられている。トロコンは可動部があるため故障が多く、また、メンテナンスには高所作業が必要である。これについても、位置検知を衛星測位により代替することができれば、トロコン及び付帯する信号ケーブルをなくすことができる利点がある。普通鉄道と同様、トロコンの位置の精度及び必要な精度が得られない場合の対策が技術的課題である。

したがって、衛星測位技術を活用した列車位置検知精度を確認するための試験装置を製作し、試験を実施することとした。

図 2　トロリーコンタクタ（トロコン）

### 2．2．普通鉄道用試験装置構成及び試験方法

普通鉄道用の試験装置の構成は図 3 のとおりであ

る。主な装置は、図４に示すレーザドップラ車速計、衛星測位アンテナ及び衛星測位受信機である。

２台で１組の衛星測位受信機３組計６台のそれぞれに対し、車両の前後に設置した２基のアンテナから３つに分配した衛星信号を前のアンテナの信号と後のアンテナの信号が対になるように入力する。

衛星測位受信機３組のうち、２組は同一機種で準天頂衛星を使用するものとしないもの、もう１組は異なる機種のものとして、相互に比較する。

判定ソフトにおいては、レーザドップラ車速計による速度を積分して得たキロ程を、鉄道事業者及び信号メーカから提供を受けた線形データと照合することにより真の位置を求め、これとそれぞれの衛星測位受信機による位置との誤差を計算するほか、それぞれの組の衛星測位受信機による位置の差について、２基のアンテナの設置間隔に照らして適切であるかどうかの検定を行う。

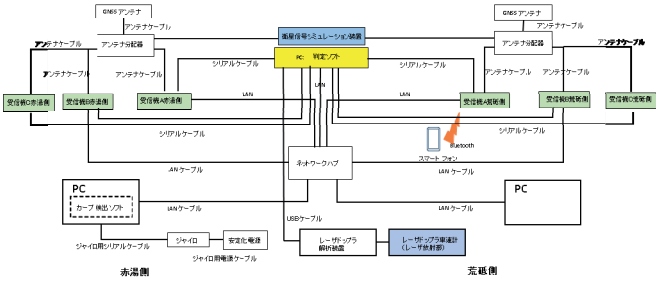



図３　単線普通鉄道用試験装置構成

図４　試験装置（左：レーザドップラ車速計（車両床下、着雪時）、右：衛星測位アンテナ）

## ２．３．路面電車用試験装置構成及び試験方法

路面電車用の試験装置の構成は、図３の試験装置に光電センサ（図５）を追加したものである。光電センサは、トロコン位置に到達した際に路面に貼り付けたマーカを検出する。

図５　光電センサ（トロコン位置検出）

## ３．中小民鉄線における実証試験結果

典型的な単線の中小民鉄線（普通鉄道、路線長 30km）において、鉄道事業者の協力を得て、列車による実証試験を行った。

実証試験は全線を２往復／１日を２日間走行し、途中の分岐器のある連動駅（２駅）について、衛星測位環境がよい場所、悪い場所における詳細な分析を行った。

この試験により判明した最も位置精度が悪い場所は、本来なら正確な衛星測位が必要な信号機付近であった。この場所での精度向上方策については、５．で述べる。

準天頂衛星の使用有無による偏差等は表１のとおりであり、準天頂衛星を使用する場合には平均値は大きく改善し、ばらつきも小さくなっている。誤差の最大値（絶対値）は 15m 程度が見られるが、橋梁の下など、誤差が大きくなることが予想される地点での瞬間的なものであり、これを除くと列車長と比較して安全上問題がない程度の高い精度が得られている。

表１　準天頂衛星使用による改善効果（単位[m]）

| | 受信機 A<br>（準天頂衛星あり） | 受信機 B<br>（準天頂衛星なし） |
|---|---|---|
| 平均 | -0.32 | -1.91 |
| 絶対値最大 | -14.97 | -15.82 |
| 標準偏差 | 1.28 | 1.33 |

技術的課題である、連動駅場内と連動駅間の境界付近（場内信号機付近）での精度に限定した分析結果は表２のとおりである。受信機Ａ（準天頂衛星あり）、受信機Ｂ（準天頂衛星なし）とも最大でも 3.5m 以内の誤差であり、一般的に軌道回路の検知誤差といわれている 5～10m よりも小さかった。

線路方向誤差が正規分布を取ると仮定して発生頻度 $10^{-8}$（一日 25 本運行で 10,000 年に一回程度発生する）での値を算出したところ、今回の実証試験の環境においては最大の位置誤差は±17m 程度となる。これを図６のように「安全上の余裕」として見込めば安全上支障の無い制御が可能と分かった。

表２　線路方向誤差（場内信号機付近）（単位[m]）

| 受信機 | 受信機 A<br>起点側 | 受信機 A<br>終点側 | 受信機 B<br>起点側 | 受信機 B<br>終点側 |
|---|---|---|---|---|
| 分散 | 0.43 | 0.42 | 0.44 | 0.42 |
| 平均値 | -1.33 | -2.64 | -1.11 | -2.37 |
| 最大誤差 | -2.05 | -3.35 | -1.85 | -3.09 |

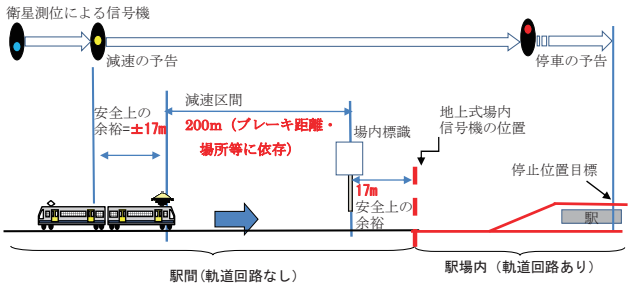



図６　境界部付近での安全上の余裕の設定例

衛星測位が利用できない場合の対策として、場内信号機付近の曲線をジャイロ装置により検知する代替補完については、ほとんどの曲線は正しく検出することができたため、ある程度の位置把握が可能と考えられる。ただし、同じ方向の曲線が連続する場合には300R の急曲線が不検知となる場合がみられた。また、今回の設定値では曲線進入から 30～50m（２秒程度）で検出する性能であり、衛星測位よりも検出精度としては劣る結果となった。

次に、衛星測位誤差により、位置が決まらない場合や、信号機の現示タイミングが遅れる場合における運転士への情報提示内容等について、環境を再現した試験（図７）を鉄道事業者の運転士に対して実施し、アンケート形式で意見を聞いたところ、走行中は安全上の問題が生じる場合に停止を指示する信号を表示し、停止している場合は衛星測位の異常を示すランプ等により表示する形が良いとの結論が得られた。

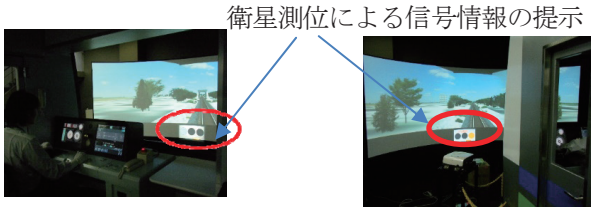



図７　運転シミュレータによる衛星測位よる信号提示試験

## ４．路面電車における実証試験結果

路面電車においても、軌道事業者の協力を得て実証試験を行った。トロコンは、図８のように周辺に建物がある場所２箇所（トロコン３機）及び建物が少ない場所１箇所（トロコン１機）の計３箇所とした。

図８　検出するトロコン及び周辺環境

試験結果では、トロコンのある場所を通過する瞬間では平均でも 3.2m 程度の距離が開いている状況であった。しかし、通過前後１秒間における検知位置を時系列で整理したところ、トロコンから 2m 以内の位置を必ず通過していることが判明した。表３のようにトロコンから 2m 以内であれば 100%トロコン位置到達と判定されたが、この 2m の誤差で路面電車における衛星測位による運行保安システムの実現が可能かどうかは今後検証する必要がある。

表３　路面電車環境による車両の到達を検知するエリアの幅について

| 真値からの距離 | 受信機 A<br>（準天頂衛星あり） |
|---|---|
| 0.5m 以内 | 52.7% |
| 1m 以内 | 65.4% |
| 1.5m 以内 | 85.2% |
| 2.0m 以内 | 100.0% |

## ５．シミュレーションによる位置精度を向上する手法の検討

実証試験の後日、走行する列車上で収録した衛星信号を衛星測位受信機に入力することで列車走行環境を再現する手法により、受信機の設定により精度向上を行う方法を検討した。

位置精度が悪化する区間（図９）について、線路周辺の遮蔽物の影響を受ける可能性のある測位衛星の方位・仰角をマスキングするためのデータ（図１０参照）を作成しておき、車上では実際の衛星配置に照らして測位に使用する衛星を判別する手法を検証したところ、精度向上効果が確認された（表４参照）。

図９　位置精度が悪化する区間

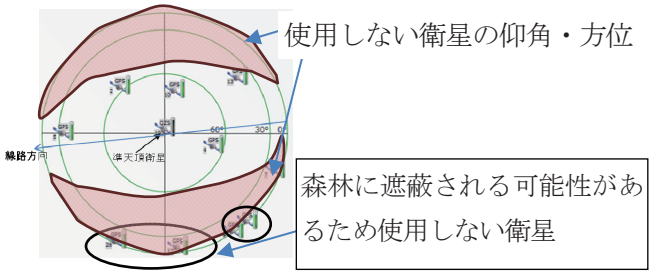



図１０　遮蔽される衛星を判別し精度向上する手法

表４　列車上で得られた線路方向誤差（駅間全体）（単位[m]）

| 長井 | 線路方向誤差（平均） | | 線路方向誤差（絶対値最大） | | 検定合格率 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 検定前 | 検定後 | 検定前 | 検定後 | |
| 受信機 A（準天頂衛星あり） | 0.247 | 0.250 | -11.766 | -9.717 | 96.5% |
| 受信機 B（準天頂衛星なし） | -1.452 | -1.447 | -13.302 | -13.302 | 96.5% |

## ６．衛星測位による代替が可能となる条件

本研究において、普通鉄道の場合の前提とした連動駅の場内のみ軌道回路を利用する方式が導入できると考えられる条件は、次のとおりである。

■衛星数を確保できる環境

軌道回路のある駅場内と駅間の軌道回路のない区間との境界付近では衛星測位が行われる必要があり、トンネル等の完全に衛星測位ができない場所や、極端に衛星測位が可能な方位・仰角が狭い場所でないことが必要である。

■駅場内での通信

連動駅において、駅装置と列車との間では通信を行うための設備の設置が必要となる。現在相当する機能がない駅については、新たに通信装置の設置が必要である。

■モニタリング期間における試験

列車上に車載装置を搭載し、モニタリングを行う期間が必要である。列車運行本数にもよるが１年程度の間で実施し、極端に位置精度が悪い場所については、場内信号機の設置場所を現在と異なる場所に変更し、衛星測位が行えるように措置する必要がある。

試験方法については、安全上速度超過による冒進の可能性があるため、線路方向の誤差の発生状況を確認する必要がある。特に標識建植予定位置において、RFID（Radio Frequency IDentifier）タグ等の試験用位置把握装置を設置し、一定期間の列車位置の精度や、データ欠落等の発生有無を把握する必要がある。

## ７．まとめ

本稿では、鉄道の列車位置検知を衛星測位技術によって行う方法について、実証試験を行った結果を報告した。

地域鉄道においては長大な線路のために地上設備が多く、点検及び保守に経費がかかっているが、駅間の軌道回路及び信号ケーブルについて、衛星測位技術を活用した位置検知への代替が見込める結果が得られた。

衛星測位による位置検知の精度については、今回の実証試験の環境においては 1 車両の長さ以下のバッファを設けることで足りる程度であることがわかった。

また、列車環境を地上で再現する機能については、ダイヤの制約を受けずに他の受信機パラメータ設定等を試験することが可能であり効率的に個別の路線への適用可能性や、個別の路線に応じたパラメータの決定が可能となる優れたものであると考えられる。この機能によって、準天頂衛星を利用した測位方法の優位性について数量的に示すことができた。

また、線路周辺の遮蔽物の状況に応じ使用できる測位衛星の方位・仰角をあらかじめ決めておく手法について、列車上での精度向上効果を確認しており、鉄道向けの精度向上方法として非常に有用であると考えている。

実証試験で得られた成果は、鉄道環境に向いた衛星受信機の構成及び設定方法に関して鉄道で必要となる技術情報としてとりまとめており、個別の路線における導入の検討や、個別適用のための試験を考える上での重要な技術要素となるものと考えている。

なお今回の試験で得られた鉄道での衛星測位の利用は、鉄道の運行制御・管理のみならず、列車の運転士支援装置としての利用への展開が考えられる。また、バスのような走行路が決まっている移動体での利用も有効と考えられる。ただし、衛星測位が不可能なトンネル走行等に対する対応については、今後も検討が必要である。

## ８．おわりに・謝辞

本研究は国土交通省総合政策局からの受託「交通分野における高度な制御・管理システムの総合的な技術開発の推進」（平成 24～26 年度）を受けて実施した。

実証試験に御協力いただいた鉄軌道事業者の方々、信号メーカの方々ほか本研究の実施にあたり御協力をいただいた全ての方々に謝意を表します。

## ９．参考文献

1) 国土交通省ホームページ「地域鉄道の現状」
http://www.mlit.go.jp/common/001018569.pdf

2) 内閣府宇宙戦略室長 小宮義則「新宇宙基本計画と準天頂衛星システム等について」平成 27 年 7 月 17 日 第 13 回 衛星測位と地理空間情報フォーラム講演資料
http://www.eiseisokui.or.jp/ja/forum/01_13.php#

# ⑮ 小型レール状態診断装置による状態監視の活用例について

交通システム研究領域　※森 裕貴　佐藤 安弘　大野 寛之
日本大学生産工学部　綱島 均　京三製作所　浅野 晃

## 1．はじめに

車輪がレールで支持案内されて走行する鉄道にとって、軌道の安全管理は重要であり、軌道の状態を常時あるいは高頻度で監視することが望ましい。そのため、軌道検測車などの検査用車両により、精密な軌道検査が可能になっているものの、コストや要員などの点から走行頻度は著しく制限される。さらに地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方、費用の確保や技術力の維持が大きな課題となっており、安全管理に係る十分な検査が行えない事業者も少なくない。

このような問題に対して、簡便な方法により軌道状態の常時監視と診断が可能になれば、より確実な軌道管理の実現が期待される。高頻度で軌道状態を監視する一つの方法として、車両に汎用センサを付加し、営業運転を行いながら軌道の状態診断を行う方法が考えられる。このような車両をプローブ車両[(1)]と呼び、このプローブ車両を実現するため、我々は車両に大幅な改修を必要とせずに軌道の状態診断の行える、小型のレール状態診断装置を開発[(2)]し、鉄道事業者の協力のもと実用に供するための走行実験を行っている。

本報告では、信頼性の高いレール状態診断装置を用いて営業車による測定を実現し、軌道管理へ活用する方法について、実際の測定例を交えて紹介する。

## 2．プローブ車両による軌道診断

### 2．1．レール状態診断装置の構成

図 1 にレール状態診断装置の構成図を示す。軌道変位を検出するための加速度センサ及びレートジャイロ、列車位置を検出するための GPS 受信機、各センサの信号を入力するセンサインタフェース、記録及び解析用ソフトウェアで構成される。また、付属機能として波状摩耗を検出するための騒音計、測定時の状況を撮影するための Web カメラを接続することも可能である。測定された計測データについては、ソリッドステートドライブ（SSD）に記録され、micro SD カード等により容易に取り出しが可能である。地上側の設備が整っていれば、携帯電話回線を通じてサーバへデータを送信することが可能なデータ転送モジュールが組み込まれている。

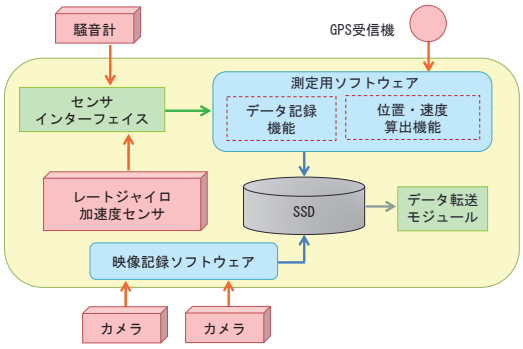



図 1　小型レール状態診断装置の構成

測定に当たっては、バッテリ駆動（DC12V、最大約 6 時間）による測定方式（図 2 左）と、車両より給電（AC 100V～200V）を受けて測定する方式（図 2 右）が選択可能である。車両より給電を受ける方式では、給電された時点で装置が起動し、自動で測定が可能である。

図 2　バッテリ方式（左）、車両給電方式（右）

### 2．2．軌道状態の評価方法

小型レール状態診断装置による軌道状態の評価方法については、加速度の二乗平均平方根値（Root Mean Square、以下 RMS 値と略記）による評価と、周波数解析（ウェーブレット変換）による評価を提案している[(3)]。いずれの評価も、営業車による繰り返し測定で日々の変動を捉え解析することで、従来のアプローチとは異なる視点で、軌道の安全管理効率の向上を実現することを目的とする。

地方鉄道における軌道保守計画において、優先順位を決定する際に評価指標とする重要なデータとして、トラ

ックマスター等による軌道変位の測定データが挙げられる。ただし、軌道変位データの測定回数が少ない（年に数回以下）事業者も多く、そのような事業者では、軌道変位測定間の保守計画の修正や、保守による改善結果の評価は保守員の主観（経験）により行われている。しかし、このような主観的な評価では、保守員の熟練度によって評価結果が左右されることが懸念される。

RMS 値による評価については、これまで実施されてきた主観的な評価と、客観的なデータを比較検討することで、保守員による評価に客観性を持たせるとともに、より効率的な軌道保守に貢献できる。実際に鉄道事業者の協力のもと、営業路線において評価を行い、軌道保守に活用した結果について報告を行っている[4]。その結果、長大な軌道全線の測定データから、軌道状態に変動があったことを把握するには、RMS 値は有用であることが示された。一方で、RMS 値のみでは周波数情報が欠如するため、変動した原因を判別することは困難である。そのため、測定された車体振動に周波数解析を実施し、分析を行った[3]。その結果、上下振動に影響を与える主な要因（軌道変位、継ぎ目、分岐器、踏切等）について、原因分離の可能性が示された。

## 3．高頻度測定による軌道の状態監視例

これまでのレール状態診断装置による測定及び評価は、バッテリ方式が中心であり、計測頻度は通常数ヶ月に１日程度であり、最短でも数週間に１日であった。そこで、本報告では鉄道事業者の協力のもと、車両給電方式による測定を約１ヶ月に渡り実施し、測定データの再現性や軌道異常の評価について確認したので、その結果について報告する。

測定試験により得られたデータから代表して、初期（1日目），中期（15 日目），後期（28 日目）に測定した車体上下加速度の RMS 値を図 3 に示す。RMS 値が 1.0m/s を超える箇所においては、事業者の把握している軌道変位が顕著である箇所、継ぎ目落ちが発生している箇所等と一致した。また、ピーク位置のキロ程（GPS 情報に路線情報を用いて補正して算出）に測定日ごとのずれは確認されず、高い再現性が確保されていることが分かる。

図 4 に軌道異常が確認されている地点の各測定日の RMS 平均値の推移を示す。RMS 値は列車速度と相関があるため、若干のばらつきがあるものの、ほぼ横ばいで推移していることが分かる。急激に軌道状態が悪化した場合は、ある日を境に、RMS 平均値が増加した状態で維持されることが予測されるため、推移を注視することで迅速な保守へ活用できると考える。

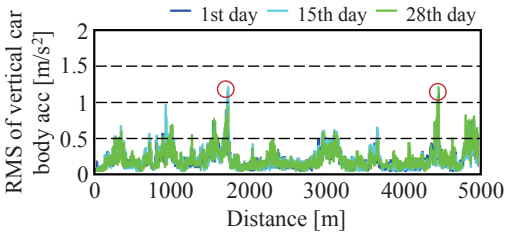



図３　車体上下加速度の RMS 値

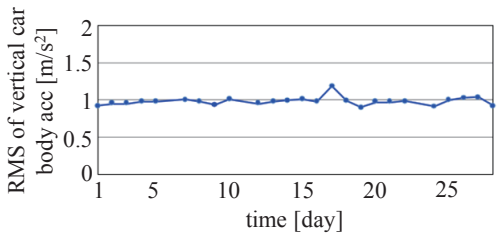



図４　RMS 平均値の推移

## 4．まとめ

本報告では、車両給電方式のレール状態診断装置で得られたデータを用いて、営業路線の状態監視を実施した例について報告を行った。プローブ車両の大きな特徴である、低コストでの高頻度測定を実現し、軌道の安全管理に活用可能な診断システムが構築されたと考える。

今後は、複数の路線で営業車による測定を実施し、評価方法の妥当性を検証するとともに、集積されたビッグデータの活用方法について提案する予定である。

## 参考文献

1) H. Tsunashima, A. Matsumoto, H. Nakamura and H. Yamashita, Fundamental Studies on Development of Probe-Vehicle System for Advanced Railway Inspection, The 13th Transportation and Logistics Conference, pp. 241-242, 2004

2) 森裕貴，佐藤安弘，大野寛之，竹内俊裕，小林尊仁，綱島均，斉藤嘉久，小型レール状態診断装置の開発，第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，No.12-79，pp. 197-200，2012

3) 荻野誠之，綱島均，柳澤一機，森裕貴，浅野晃，若井翔平，小型レール診断装置を用いた軌道状態診断システムの開発，電気学会論文誌D（産業応用部門誌），Vol.135，No.4，pp.395-402，2015

4) H. Mori, Y. Sato, H. Ohno, H. Tsunashima, Y. Saito, Development of compact size onboard device for condition monitoring of railway tracks, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics (JSME), Vol.6, No.2, pp. 142-149, 2013

# ⑯ 旅客移動の陸海をつなぐシームレス小型船の研究

交通システム研究領域　　※大野 寛之
海上技術安全研究所　　平田 宏一　　宮崎 恵子　　田中 信行

## 1．はじめに

過疎と高齢化が進む離島においては、高齢者の移動手段の維持や、地域社会の振興等が課題となっている。そこで、バスによる陸上交通と旅客船による移動をシームレス化し移動負荷を軽減することで、課題解決の一助を目指す「シームレス小型船」[1]の実験船が製作され社会実験が行われたので、これを報告する。

### 1．1．研究開発の背景

日本国内で居住者のいる離島は平成 24 年 4 月現在 305 島、居住人口は約 38 万 7 千人(平成 22 年国勢調査)であり [2]、船は離島交通において重要な手段となっている。離島の高齢者比率は 33%(平成 17 年国勢調査等)で全国平均 20%(同)に比べて高く [2]、高齢化が進んでいる。また、離島には車両を積み降し可能な専用桟橋が少なく、離島への定期航路のダイヤ数にも限りがあるため、本土での他の公共交通との接続性で劣っている。そこで本研究では、ピギーバッグ型のシームレス小型船システムを開発することを目的とした。

### 1．2．研究開発のスキームと流れ

本研究は、平成 25 年度より始まった国土交通省「交通運輸技術開発推進制度」による研究課題「離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発」として実施されている。全体統括は国立研究開発法人海上技術安全研究所が行い、交通安全環境研究所は本システムにバスを適用するための技術課題（車両選定、改造の必要性、バスの船体への固縛方法等）の検討を行った。また、動力システム及び後述する EV 充電システムについてはヤンマー(株)が開発を担当した。

開発初年度である平成 25 年度にはシステムの基本コンセプトを検討した上で基本設計を行い、艇体や原動機等の主要部分の開発を行った。平成 26 年度にはシームレス小型船をシステムとして建造し、離島と本土とを結ぶ地域交通としての社会実験を行った。3 カ年計画の最終年度である平成 27 年度には実用化に向けた検討と適用効果についての検討を進めている。

## 2．シームレス小型船の開発

### 2．1．開発コンセプト

離島内での移動～海上移動～本土での移動をシームレス化するために、陸上移動手段である小型バスを船の客室としてそのまま利用する形でピギーバック輸送することで、フェリーとは異なり乗客の乗り換えを不要とするシステム(図 1)を構築することとした。

シームレス小型船の開発コンセプト並びに特徴とは以下の通りである。

(i) 総トン数 20 トン未満の小型船舶であること
(ii) 乗下船装置を有し、旅客室を兼ねた小型バスを搭載できること
(iii) 電気自動車（EV）の搭載を想定して急速充電器等の機器が搭載されていること

図 1　シームレス小型船の基本コンセプト

### 2．2．設計概要

上記コンセプトに基づき設計・開発したシームレス小型船の外観及び機器の配置を図 2 に、主要諸元を表 1 に示す。バスについては将来的な普及予測とシステム全体の低炭素化を考慮し、小型電動バスの使用を考えており、海上移動中に船の原動機で発電された電力を充電可能なシステム構成とした。そのための充電システムとしては、日本発の電気自動車充電システムの国際規格として認定されている CHAdeMO (CHArge de Move)規格を採用した。

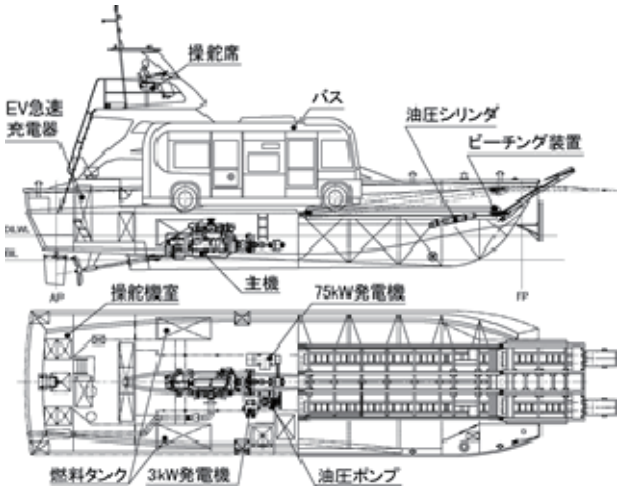



図２　シームレス小型船一般配置図

表１　シームレス小型船の主要目

| | | | |
|---|---|---|---|
| 長さ(全長) | 16.50m | 深さ(型) | 1.50m |
| 長さ(垂線間) | 14.90m | 喫水(計画) | 0.75m |
| 幅(全幅) | 4.60m | 総トン数 | 約 17 トン |

## ３．シームレス小型船実験船による各種実験

### ３．１．性能確認

上記設計に基づき建造された実験船が安全に航行できることを確認するために、搭載されるバスを含むシームレス小型船の操船性能と安全に関する各種試験を行った。本来であれば電動バスを利用しての実験を実施するところではあるが、小型電動バスは量産されておらず実験のための手配が困難であることから、車体寸法や重心高さが電動バスと大きく違わない小型ディーゼルバスを用いて実験を行った。以下に実施した主な試験内容を示す。

(1) 軽荷状態(小型バスを搭載しない状態)及び小型バス搭載時の速力試験、旋回試験、前後進試験
(2) 着離桟及び係船の動作確認のための入出港模擬試験並びに係船状態での小型バスの乗下船試験
(3) 小型バス固縛状況の確認と、車内の乗客の居住性を評価のための振動、騒音、室温等の計測
(4) 非常時を想定した脱出試験
(5) 搭載機器の動作確認として、車両の乗下船装置並びに EV 充電装置の動作確認

実験の結果、船舶としての運動性能としては、目標性能が得られることを確認した。また、着離桟及びバスの乗下船(図３)については問題なく行われ、今後は実用化に向けた省力化等の検討が進められることとなった。避難誘導については、バス車内から甲板への移動はスムースに行われた。EV への充電に関しては、定置状態でバスの替わりに乗用車タイプの EV への充電試験を行い問題なく充電できることを確認した。

### ３．２．社会実験

シームレス小型船システムのコンセプトに関する離島住民の受容性等を調査するため、広島県の大崎上島において、居住者の方に被験者として協力を頂き社会実験を行った。被験者への聞き取り調査を分析した結果、乗り換え負担の軽減、料金支払いが１回で済むこと等により、シームレス小型船システムに対して受容性が高く、被験者の約８割が利用の意向であった。

図３　桟橋におけるバスの乗下船試験

## ４．まとめ

シームレス小型船システムは旅客船としての基本性能を充足し、陸上移動も含めた旅客の乗換えに伴う身体的・心理的負担を軽減し利便性を向上させることから、地域交通機関として離島居住者の受容性が高いことが確認できた。今後は、実用化のための技術開発を進めるとともにシームレス小型船システムを離島航路へ就航させた場合の効果の評価等を実施する。実用化に向け、当研究所の知見を活用して行きたい。

## 謝　辞

本研究は、国土交通省交通運輸技術開発推進制度により実施しております。関係各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

1)宮崎・平田，“離島航路適用を目指した小型海上交通システム”，日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会講演論文集 pp.217-218，2014
2) 国土交通省国土政策局離島振興課，“離島の現状”，2012

# ⑰ ロープウェイ施設における風分析と搬器の突風応答シミュレーション

交通システム研究領域　※佐藤 久雄　押立 貴志　森 裕貴　廣瀬 道雄

## 1．はじめに

ﾛｰﾌﾟｳｪｲ施設において、搬器が支柱に衝突する事故が発生し、事故原因の一つとして、突風の発生が指摘されている。

本報告では、まず、事故概要と主な調査概要について簡単に触れ、その後、本施設において事故後に測定された風向・風速の分析結果について述べる。

さらに、搬器に突風が作用した時の搬器の振れについて、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより検討を行った結果について述べるとともに、本ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより、当該施設における突風に対する運転管理方法について検討を行った結果について述べる。

## 2．事故概要

上り搬器（定員45名）は、平成27年1月、山麓停留場を出発し、運転速度3.6m/sで運転中、第2号支柱付近にさしかかった際、搬器が大きく後方に揺れ、搬器が第2号支柱のﾋﾞｰﾑと衝突した。

上り搬器には乗客8名および乗務員1名が乗車し、下り搬器には乗客2名および乗務員1名が乗車していた。このうち上り搬器の椅子に腰掛けていた乗客1名が床面に滑り落ちて負傷（尾骨骨折）した。

事故発生は、当日15回目の運行であった。

## 3．主な調査概要

これまで現地等において、現場調査、搬器調査、関係者からの聞き取り調査、走行試験調査、ﾒｰｶｰからの提供資料による調査等を実施した。

現場の状況調査等から、乗客は搬器の前側に偏って乗車していたこと、当該支柱における搬器と支柱構造物（ﾋﾞｰﾑ）との接触限界角は22°であること（図1参照）等が明らかになった。

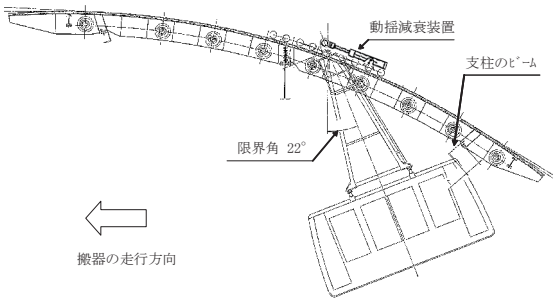



図1　搬器と支柱構造物との接触限界角

また、これまでの調査検討結果では、搬器の動揺減衰装置、緊張装置、原動装置、支索、搬器走行部、線路沿線等に異常は認められなかった。

一方、事故当時の気象状況については、近接した別区線においては、15m/s～18m/sの強風が記録されている状況であった。本施設の当該支柱には、事故当時、風速計は設置されていなかったので詳しい状況は不明であるが、一時的に強風が生じていた可能性も否定できない状況であったと考えられる。

## 4．風分析

事故後に当該支柱に設置された風向風速計により測定された風向および風速について分析を実施した。今回の分析の対象は、事故後の風向・風速ではあるが、当該支柱における基本的な風の傾向については、概略を把握できるものと考えられる。

風の測定は、搬器が当該支柱を通過する際の風向・風速の指示値を読み取ることとし、1運行内にその指示値を超える値が他の場所で指示された場合は、その指示値を1運行内の代表値とした。分析の対象時期は、測定開始後、比較的に風の強い時期を選んで実施した。

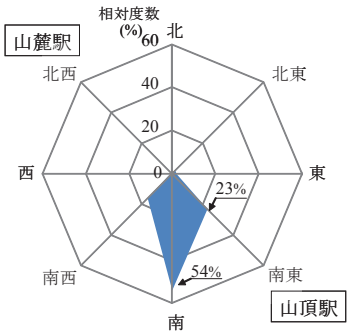



図2　2号支柱における風向分布

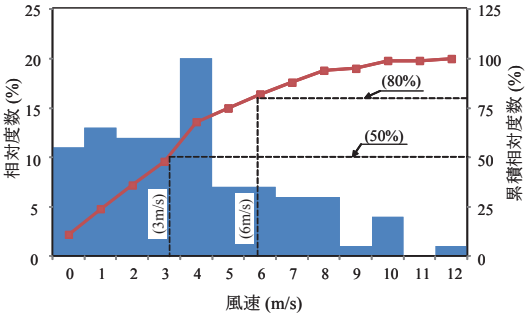



図3　2号支柱における風速分布

### ４．１．　風向分析

２号支柱における風向分析結果を図２に示す。南風が54%、南東の風が23%であり、２号支柱においては、「ほぼ山頂駅から山麓駅方向の風」が支配的であった。

### ４．２．　風速分析

２号支柱における風速分析結果を図３に示す。測定時期における最大風速は12m/sであり、測定時期の80%は6m/s以下、50%は3m/s以下であった。

## ５．突風応答ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ

静止した搬器に、正面から突風が作用した時の搬器の振れについて、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより検討を実施した。

### ５．１．　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙ

当該搬器のｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙを図４に示す。搬器を１自由度の振り子とし、角変位を$\theta$、搬器の質量を$M$、支点からの等価振り子長さを$L$、支点から動揺減衰装置までの距離を$d$、動揺減衰装置取付位置での減衰係数を$C_d$、等価振り子長さ位置での減衰係数を$C$、風外力を$F$とし、等価振り子長さ位置に作用するとする。この時、運動方程式は、次のように求められる。

$$\ddot{\theta}+2\varsigma\omega\dot{\theta}+\omega^2\theta=F/(ML) \qquad (1)$$

但し、$\omega=\sqrt{g/L}$：固有角振動数、

$\varsigma=C/(2M\omega)$：減衰比、$C=C_d(d/L)^2$　　(2)

また、風外力は、次式により与えることとした。

$$F=(1/2)\rho C_0 A U^2 \qquad (3)$$

但し、$\rho$：空気密度、$C_0$：搬器の空力抵抗係数（前後方向）、$A$：搬器の風圧面積（前後方向）、$U$：風速である。

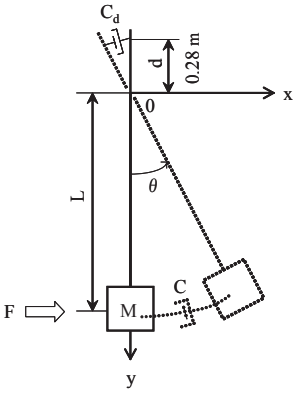



図４ ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙ

表１　走行試験による搬器後方最大振れ角測定結果

| No. | 荷重条件 | 後方最大振れ角(deg) ※ | 備考 |
|---|---|---|---|
| 1 | 9名乗車 | **7.5** | ・事故当時の前寄り乗車配置を再現 |
| 2 | 空車 | **4.2** | |
| 3 | 満車 | **4.7** | |

※ 第2号支柱通過時振れ角、運転速度：3.6m/s、
走行方向：上り、動揺減衰装置：正規状態、

表２　等価振り子長さの導出

| No. | 荷重条件 | 平均周期 T(sec) | 等価振り子長さL(m) $L=T^2g/(4\pi^2)$ | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 9名乗車 | 4.936 | **6.048** | ・動揺減衰装置：ﾌﾘｰ状態<br>・静止時自由振動ﾃﾞｰﾀ |
| 2 | 空車 | 4.404 | **4.815** | ・動揺減衰装置：ﾌﾘｰ状態<br>・走行時自由振動ﾃﾞｰﾀ |
| 3 | 満車 | 5.173 | **6.643** | ・動揺減衰装置：ﾌﾘｰ状態<br>・走行時自由振動ﾃﾞｰﾀ |

表３ 減衰比の導出

| No. | (＋側) ﾋﾟｰｸ振れ角 (deg)※ | $a_n/a_{n+m}$ (n=1, m=3の場合) | 対数減衰率 $\delta=\frac{1}{m}\cdot\ell n\frac{a_n}{a_{n+m}}$ (n=1, m=3の場合) | 減衰比 $\zeta=\delta/(2\pi)$ |
|---|---|---|---|---|
| 第1P ($a_1$) | 8.199 | 2.658 | 0.3258 | **0.0519** |
| 第2P ($a_2$) | 6.298 | | | |
| 第3P ($a_3$) | 4.628 | | | |
| 第4P ($a_4$) | 3.085 | | | |

※ 荷重条件：9名乗車時、動揺減衰装置：正規状態、
使用ﾃﾞｰﾀ：静止時減衰自由振動ﾃﾞｰﾀ

### ５．２．　実搬器試験

ｼﾞｬｲﾛを用いての実搬器試験により、搬器の当該支柱通過時における後方最大振れ角（表１に示す）、動揺減衰装置がﾌﾘｰの状態における自由振動波形等の測定を実施した。

### ５．３．　等価振り子長さの導出

搬器の動揺減衰装置がﾌﾘｰの状態において、自由振動ﾃﾞｰﾀから周期を実測することにより、等価振り子長さを算出した。その結果を表２に示す。

### ５．４．　減衰比の導出

搬器の動揺減衰装置が正規の状態において、減衰自由振動ﾃﾞｰﾀの隣り合う波形のﾋﾟｰｸ値を実測することにより、減衰比を算出した。その結果を表３に示す。

### ５．５．　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの検証

ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの妥当性を検証するために、初期変位に対する時間応答を比較した。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝで用いた数値を

表４　初期変位応答ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに用いた数値

| 項目 | 数値 | 備考 |
|---|---|---|
| 搬器質量［9名乗車時］ M (kg) | 2665 | ・ﾒｰｶｰ値 |
| 搬器の等価振り子長さ L (m) | 6.0 | ・自由振動ﾃﾞｰﾀからの測定計算値 |
| 減衰比 ζ | 0.052 | ・減衰自由振動ﾃﾞｰﾀからの測定計算値 |

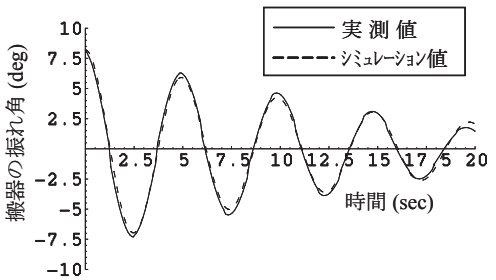



図５　初期変位応答比較（実測値とｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値）

表４に、検証結果を図５に示す。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値は、実測値と良く合っていることがわかる。

## ５．６．　突風に対する搬器の応答

まず、搬器の最大振れ角に対する突風の継続時間Δｔの影響について、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを実施した。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに用いた数値を表５に、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ結果を図6-1（9名乗車時）、図6-2（空車時）および図6-3（満車時）に示す。

表５　突風応答ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに用いた数値

| 項目 | 9名乗車 | 空車 | 満車 | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 搬器質量 M（kg） | 2665 | 2125 | 4825 | ・ﾒｰｶｰ値 |
| 搬器の等価振り子長さ L（m） | 6.0 | 4.8 | 6.6 | ・自由振動ﾃﾞｰﾀからの測定計算値 |
| 搬器の風圧中心位置 Lw（m） | ↑ | ↑ | ↑ | ・「風圧中心位置＝等価振り子長さ」とした |
| 風圧面積［前後方向］A（$m^2$） | 6.92 | 6.92 | 6.92 | ・ﾒｰｶｰ値 |
| 空力抵抗係数［前後方向］$C_0$ | 2.0 | 2.0 | 2.0 | ・ﾒｰｶｰ値、角柱相当 |
| 空気密度 ρ（$kg/m^3$） | 1.23 | 1.23 | 1.23 | ・1気圧、15°C |
| 減衰比 ζ | 0.052 | 0.058 | 0.030 | ・ζ（9名乗車時）は、減衰自由振動ﾃﾞｰﾀからの測定計算値<br>・ζ（空車、満車）は、ζ=C/(2mω)より算出 |

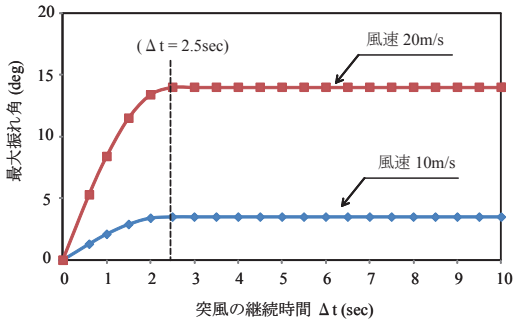



図 6-1　突風の継続時間　Δｔの影響（9名乗車時）

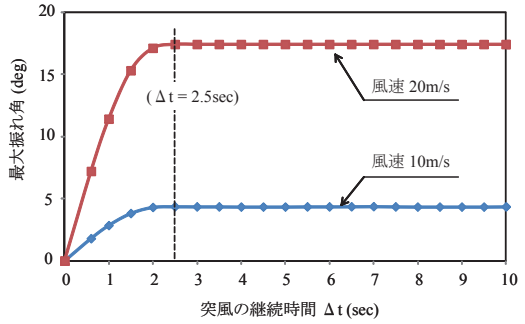



図 6-2　突風の継続時間　Δｔの影響（空車時）

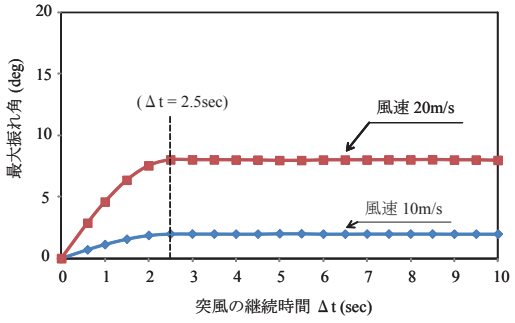



図 6-3　突風の継続時間　Δｔの影響（満車時）

本施設の搬器については、荷重条件によらず、Δｔ=2.5secを超えると搬器の最大振れ角は一定になることがわかる。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの波形例を図7-1（Δｔ=2.5secの場合）および図7-2（Δｔ=10secの場合）に示す。

また、搬器の最大振れ角に対する突風の風速の影響（Δｔ=2.5secの場合）をｼﾐｭﾚｰｼｮﾝした結果を、図8-1（9名乗車時）、図8-2（空車時）および図8-3（満車時）に示す。さらに、この結果を用いて、搬器が支柱と接触するまでの許容振れ角に対する突風の風速を求めた結果を表６に示す。

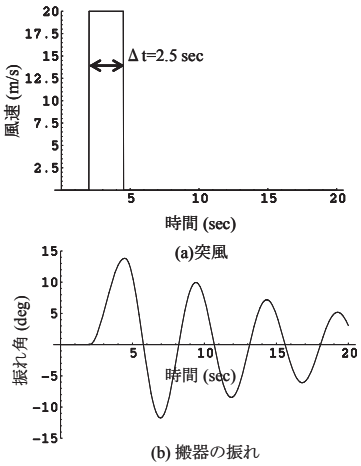



図 7-1　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ波形例
（Δｔ=2.5sec、風速 20m/s、9名乗車時）

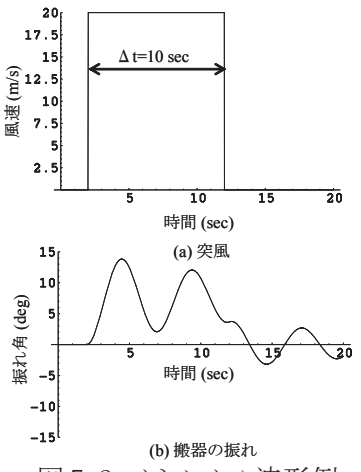



図 7-2　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ波形例
（Δｔ=10sec、風速 20m/s、9名乗車時）

表６　搬器の許容振れ角と許容風速

| No. | 荷重条件 | 搬器と支柱との限界角（deg） | 後方最大振れ角 ※（deg） | 搬器の許容振れ角（deg） | 許容振れ角時の風速（m/s） | （参考）最大振れ角（y：deg）～風速（x：m/s）の近似式 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9名乗車 | 22 | 7.5 | **14.5** | **20.3** | $y = 0.035x^2$ |
| 2 | 空車 | 22 | 4.2 | **17.8** | **20.2** | $y = 0.044x^2$ |
| 3 | 満車 | 22 | 4.7 | **17.3** | **29.4** | $y = 0.02x^2$ |

※ 第2号支柱通過時振れ角、運転速度：3.6m/s、走行方向：上り、動揺減衰装置：正規状態

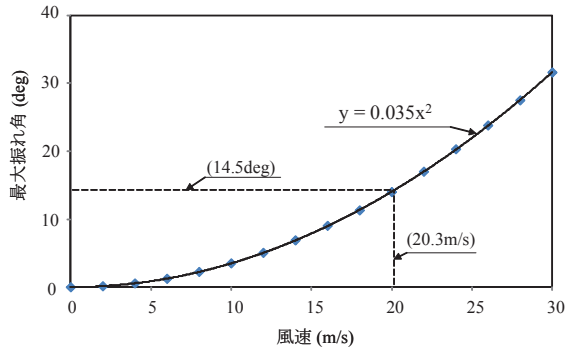



図 8-1 最大振れ角（9 名乗車時、Δ t=2.5sec）

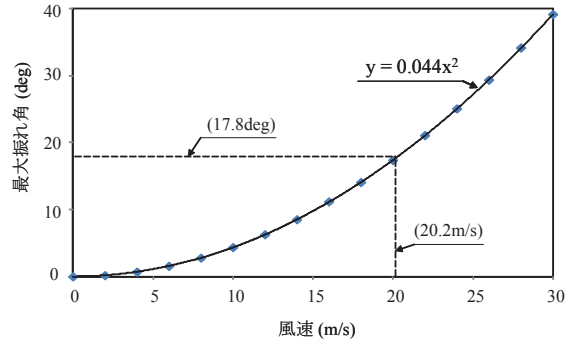



図 8-2 最大振れ角（空車時、Δ t=2.5sec）

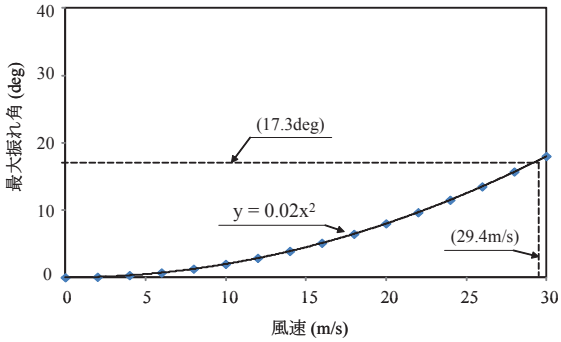



図 8-3 最大振れ角（満車時、Δ t=2.5sec）

## 6．突風に対する運転管理方法の検討

本施設における運転管理のために、当該支柱を通過する際の許容振れ角に対する突風の風速および突風の継続時間Δtに関する突風管理図をｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより求めた。その結果を図9-1（9名乗車時）、図9-2（空車時）および図9-3（満車時）に示す。

安全な突風風速は、空車条件の時に最も低くなっており、この時の風速が運転管理のための重要な指標になると考えられる。また、搬器にｳｪｲﾄを搭載することにより、安全な領域が広がることが裏付けられたと考えられる。

## 7．まとめ

ﾛｰﾌﾟｳｪｲ施設において、突風の発生が事故原因の一つとされる搬器衝突事故について、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ等により検討を実施した。主な結果は、次のとおりである。

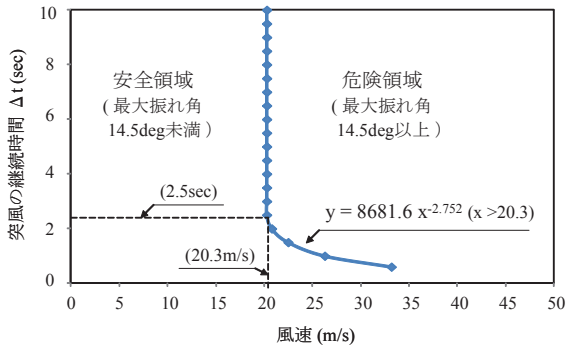



図9-1 突風管理図(9名乗車時、許容振れ角=14.5deg)

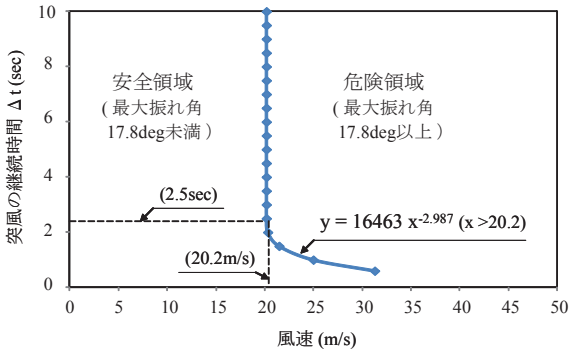



図 9-2 突風管理図（空車、許容振れ角 =17.8deg）

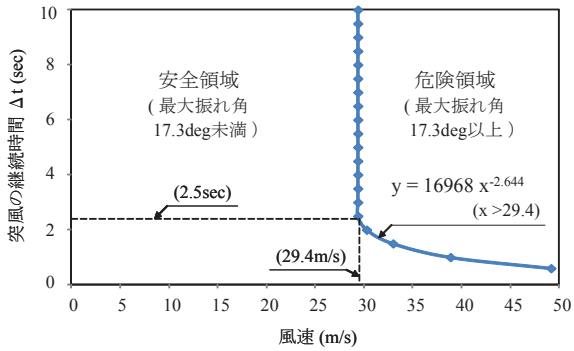



図 9-3 突風管理図（満車、許容振れ角 =17.3deg）

（1）当該支柱における風向分析を実施し、「ほぼ山頂駅から山麓駅方向の風」が支配的(77%)と認められた。
（2）突風応答ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを実施し、搬器の振れ角に対する突風の風速および継続時間の影響を把握した。
（3）当該施設における突風管理の１例を図で示した。

なお、本報告における突風の風速は、「搬器速度に対する突風の相対速度による風速」を示している。例えば、3.6m/sの速度で搬器が走行している場合に、正面から10m/sの突風が作用した時には、この搬器に対する突風の相対速度は13.6m/sとなり、この速度の突風に対する搬器振れ角が発生することになる。

今後の検討課題としては、突風が連続的に搬器に作用した場合の検討等が上げられる。

事故の再発防止のために、一層の安全対策を講じることが期待される。

# ⑱ 画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置（第２報）

交通システム研究領域　　※竹内 俊裕　　千島 美智男　　森 裕貴

## １．はじめに

索道における運転事故は、図１に示すように、2004年度～2013年度の過去10年間の調査では281件発生しており[1)]、このうち人身障害事故は全体の約87%を占めている。

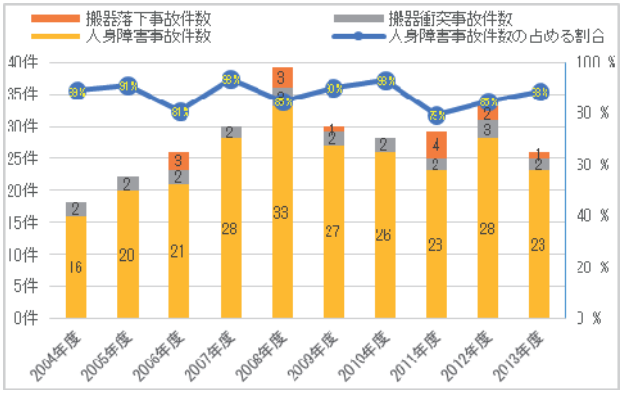



図１　索道運転事故と人身障害事故の占める割合
（2004年度～2013年度）

人身障害事故の内訳としては、線路中に搬器から落下する事故、乗車時および降車時における乗客の転倒や転落する事故等が多く、約90%がチェアリフトで発生していることから、事故防止への取組が必要とされている。特に線路中の高所から落下した場合は、重大な事故につながることから、転落防止のための対策の一つとして、セーフティバーが備え付けられている。

しかしながら、セーフティバーが正しく使用されなかったことに起因する事故も発生しているため、事故防止のためにはセーフティバーの確実な使用を利用者に注意喚起することも重要と考えられる。

このような背景から、セーフティバーの正しい使用を促進し、線路中における搬器からの落下事故を防止することを目的として、セーフティバー未使用の乗客に対し注意喚起を行うチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置（以下、本装置という）を試作した[2)]。

本装置は、セーフティバーの状態と搬器上の乗客の有無を画像解析により判別し、乗車中の搬器に対してセーフティバーが未使用の場合のみ注意喚起を行うという機能を有する。本稿では、その装置の画像解析機能を中心に、検証実験の結果について報告する。

## ２．試作装置構成

本装置は、チェアリフトを撮影するためのカメラ、注意喚起を行うためのスピーカー、各処理を行う処理装置本体、各状況を確認するためのモニターといったハードウェア、カメラからの入力画像の解析、解析結果に基づく判定、スピーカへの出力の各機能を有する専用ソフトウェアで構成される（図２）。

図２　装置構成

## ３．画像解析機能とその検証

本装置の画像解析機能の検証を行うため、索道事業者の協力のもと、スキー場に設置されているセーフティバー付クワッドリフト（全長約1700m）の停留場にカメラを設置し、搬器映像を撮影、その映像を用いて検証を行った（図３）。

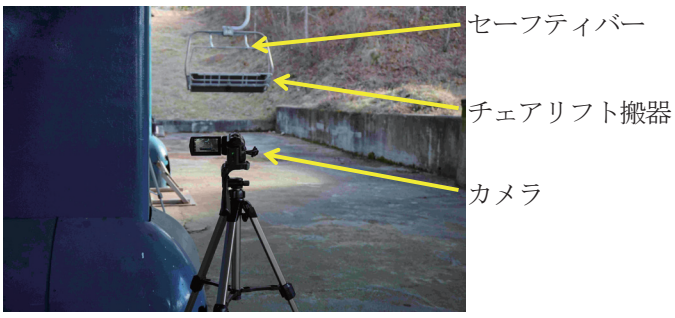



図３　搬器撮影の様子

画像解析方法について、図４にフローチャートを示す。

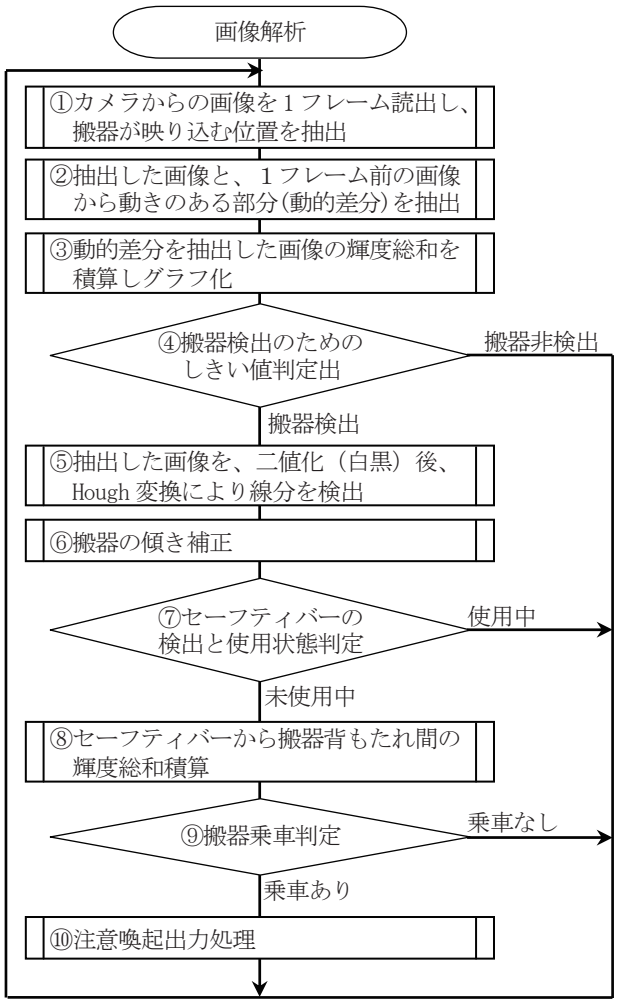



図４　画像解析フローチャート

### ３．１．画像解析機能

このフローチャートに従って画像解析機能の概要を以下に示す。

①設置されたカメラより毎秒 15 フレーム程度で入力される各フレーム画像に対し、搬器が映り込む位置（座標値）をあらかじめ設定しておき、その範囲を抽出する。

②抽出した画像と１フレーム前に抽出し保持していた画像から、動きのある部分（動的差分）を抽出する。

③動的差分を抽出した画像に対し、X座標（横ピクセル）ごとにY座標（縦ピクセル）の輝度の総和を積算しグラフ化する。

④グラフの立ち上がりが搬器左側のしきい値を上回り、かつグラフの立ち下がりが搬器右側のしきい値を下回った場合に、搬器が映っていると認識する。

⑤搬器を認識した場合は、①で抽出した画像を白黒で二値化し、Hough 変換により線分を検出する。

⑥Hough 変換による線分検出後、セーフティバーの検出を実行する前に、搬器の傾きを補正する。この補正は、搬器の片側に乗車している場合に、搬器が傾いた状態となり、正確な線分検出に影響が出ることを防止するため、その対策として実施した。

この補正は、検出された線分に傾きが確認された場合に、線分が水平になるまで画像全体を回転させる方法を採用した。

⑦傾き補正終了後に実行するセーフティバーの使用状態の検出は、セーフティバー未使用時の位置に線分が検出されるか否かで判定する。

⑧セーフティバーが未使用中と判定された場合のみ、搬器への乗客の乗車状況の検出を行う。搬器に乗客が乗車している場合、搬器背もたれの上部に乗客の上半身が映ることが想定されるため、その範囲を乗車判定対象範囲として抽出し、③で実行した輝度の総和を積算しグラフ化する。

⑨輝度総和積算グラフが乗車判定用しきい値を上回った場合に乗車と判定する。

⑩以上の処理を実行した結果、セーフティバーが未使用かつ搬器への乗車がありの場合に、注意喚起出力処理を行うこととした。

### ３．２．画像解析機能の検証

前節で示した各機能の検証結果を以下に示す。

カメラより入力された画像から、あらかじめ設定された搬器が映り込む位置（図５）を矩形抽出し、抽出した画像と１フレーム前に抽出して保持していた画像から、動的差分を抽出（図６）、輝度の総和を積算してグラフ化し、しきい値より判定を行い、搬器検出と判定されることを確認した（図７）。

図５　矩形抽出

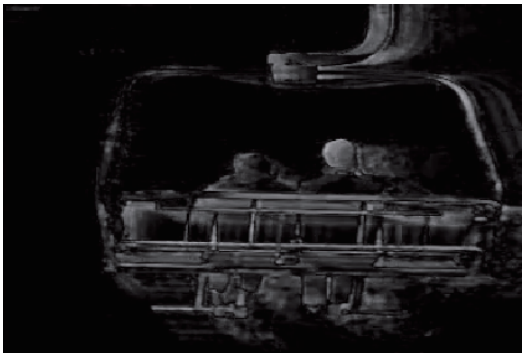


図６　動的差分抽出画像

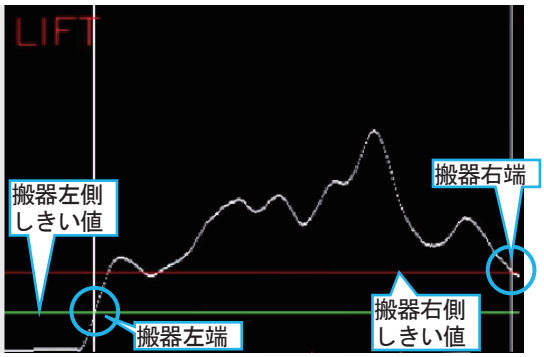



図７　輝度の総和積算グラフと搬器検出結果

このとき、図８のように搬器全体が映っていない場合は、図９のような輝度総和積算グラフとなり、搬器非検出として判定されることを確認した。

図８　搬器と認識しない場合の入力画像

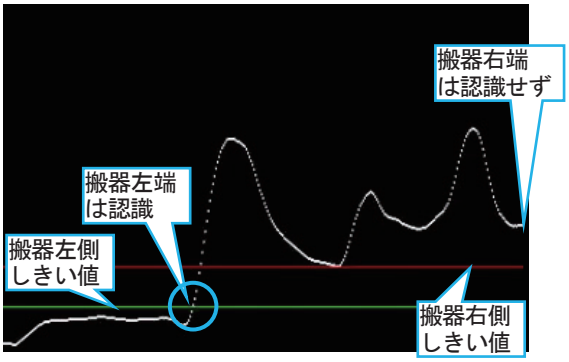



図９　搬器と認識しない場合の輝度積算グラフ

搬器検出後、白黒で二値化（図１０）し、Hough 変換により線分が検出（図１１）されることを確認した。

図１０　二値化画像

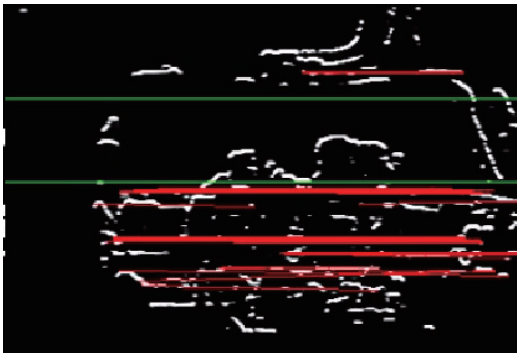


図１１　Hough 変換による線分検出

線分検出後、図１２のように傾いている搬器については、図１３のようにその傾きが補正されることを確認した。

図１２　片側乗車により傾いた搬器

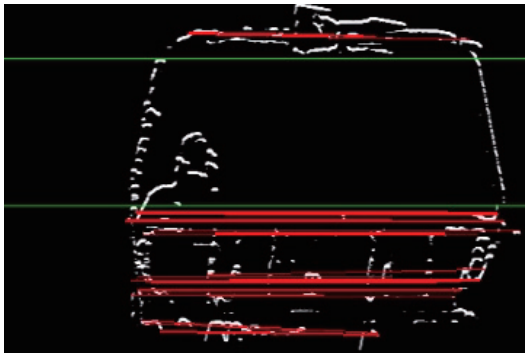


図１３　傾き補正後の画像

傾き補正後、セーフティバー未使用時に出現する線分の判定を行い、図１４のように該当する線分がない

場合はセーフティバー使用中、図１５のように該当する線分がある場合はセーフティバー未使用中と判定されることを確認した。

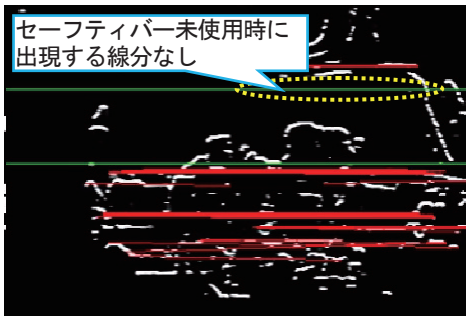



図１４　セーフティバー使用中と判定した画像

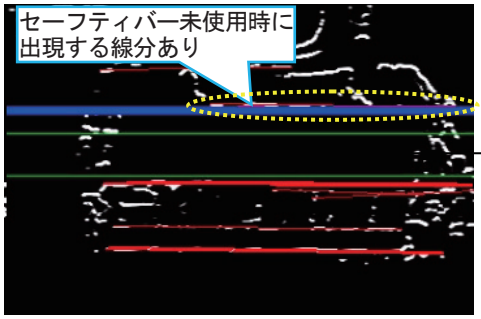



図１５　セーフティバー未使用中と判定した画像

セーフティバーが未使用状態の場合、乗客の上半身が映ることが想定される範囲（図１６）について、搬器検出と同じ方法で判定を行い、しきい値を上回った場合（図１７）に乗車あり、そうでない場合（図１８）に乗車なしと判定されることを確認した。

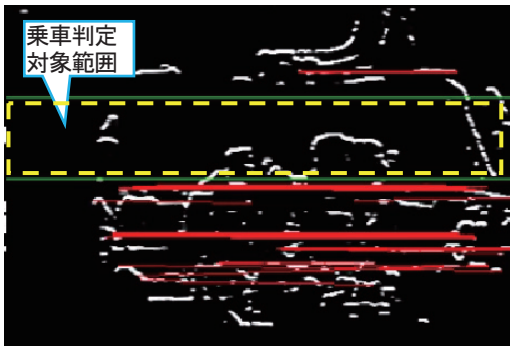



図１６　乗車中と判定された画像

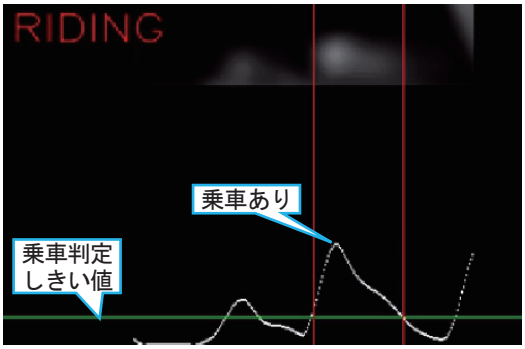



図１７　乗車ありと判定された画像

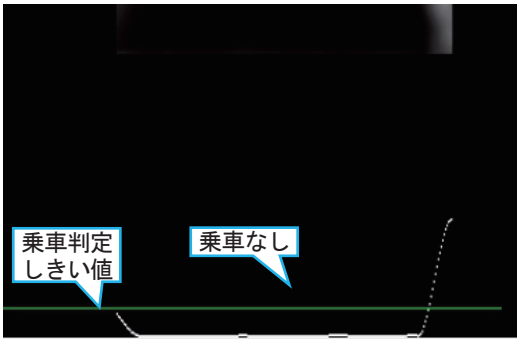



図１８　乗車なしと判定された画像

## ４．システム実用化の可能性

以上のように、撮影した画像から、搬器の有無、セーフティバーの使用状態、乗車の有無について、検出できることが確認された。その結果、これらの解析結果を組み合わせることにより、搬器乗車中でセーフティバー未使用の場合に、注意喚起が出力可能となる見通しを得た。

## ５．まとめ

索道搬器からの落下事故を防止することを目的として、試作したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置の実際の搬器映像による画像解析機能の検証結果について述べた。その結果、セーフティバー未使用の搬器に対する注意喚起出力の可能性が示された。

今後は、試作した装置を用いて、様々なタイプのチェアリフトでの試験を実施し、画像解析の弱点といわれる悪天候時や夜間も含め解析精度の検証を行い、チェアリフトセーフティバーモニタリング装置としての評価を行っていく予定である。

【謝辞】本装置の試作に際し、搬器画像の提供や搬器映像等の撮影に御協力いただいた、日本ケーブル株式会社ならびに株式会社ハンターマウンテン塩原に謝意を表します。

## 参考文献

1) 索道技術管理者研修会テキスト（平成 16 年度～平成 25 年度）財団法人日本鋼索交通協会

2) 竹内他、“画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置”、交通安全環境研究所フォーラム 2014、pp. 107-108

## 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、企画室（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、文部科学省　等）、関係団体、民間企業　等

年間６０件以上

### ■ 施設利用について

ご希望される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（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。

平成27年度 交通安全環境研究所フォーラム2015　講演概要
平成27年11月18日発行
編集兼発行人　独立行政法人　交通安全環境研究所
発　行　所　独立行政法人　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、企画室までお願い致します。

交通安全環境研究所 企画室
電話　（０４２２）４１－３２０７
FAX　（０４２２）４１－３２３３

○本冊子は、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。
○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可
本冊子はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料［A ランク］のみを用いて作製しています。