平成 28 年度

交通安全環境研究所フォーラム 2016

講　　演　　概　　要

2016. 11. 24, 25

国際連合大学　ウ・タント国際会議場

独立行政法人 自動車技術総合機構

交通安全環境研究所

は じ め に

近年、自動車の自動運転技術の急速な進展、公共交通における測位衛星の利用といった事例をはじめ、陸上交通の安全性向上や地域環境の改善、地球温暖化対策等へ貢献する新技術が次々と世の中へ普及を始めております。

このような陸上交通の技術の進化に伴い、安全性・環境性能を適切に確認するためには新たな評価手法の導入が必要となるとともに、例えば、情報通信技術が多用された車両・装置に関しては、従来の安全上・環境上の対策に加え、情報セキュリティ対策を講じる必要がある等、かつては想定し得なかった新たな課題が生じてきております。

当研究所は、当機構第１期中期計画において、これら新技術や社会的要請への対応を主要業務の一つと掲げ、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を進めております。加えて、年々増加する自動車・鉄道技術の国際業務に対して、組織的に適切な対応を行うため、本年度から国際調和推進部及び鉄道認証室を設置し、国際標準化に対する技術支援や国際規格に対する適合性認証を進めております。

本年の交通安全環境研究所フォーラムでは、このような技術の進化への対応が不可欠になっているとの問題意識の下、講演においては「技術の進化に伴う新たな課題への対応」と題して、当研究所の成果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。加えて、本フォーラムのもう一つの大きなイベントであるポスターセッションにおいては、最新の研究結果を幅広くご紹介いたします。ご来場の皆様から忌憚のないご意見をいただくことにより、当研究所の活動をさらに充実・発展させ、当研究所に対する社会的な期待と信頼に応えていく所存でございます。

今後とも、皆様方のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

平成28年11月

独立行政法人自動車技術総合機構
交通安全環境研究所長　**佐　竹　克　也**

TimeTable

2016.11.24(THU)

会場：ウ・タント国際会議場

全体テーマ：技術の進化に伴う新たな課題への対応

Time	講　演　内　容
10:00～10:05	**開会の挨拶**　交通安全環境研究所長：佐竹 克也
10:05～10:20	**自動車研究部における研究の概要と方向性** 自動車研究部長：河合 英直
10:20～10:45	**講演1** [講演者]専門調査員：小澤 正弘 **ディーゼル乗用車の実路走行における排出ガス性能評価手法の検討** 従来の台上試験による排出ガス評価に加え、車載式排出ガス測定システム(PEMS)を用いた路上走行検査を導入する動きが進んでいる。その路上走行試験では様々な因子による影響を受けるため、試験毎に条件が異なり結果の評価が難しい面を有する。本講演では、路上走行試験の結果を評価する上で考慮すべき主要な影響因子を明らかにし、排出ガス評価をするための新たな手法に関する当研究所の研究について報告する。
10:45～11:10	**講演2** [講演者]研究員：奥井 伸宜 **次世代電動技術を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価できる将来HILS試験法の検討** ハイブリッド重量車は、 大容量バッテリを搭載しており、バッテリの大容量化で、補機の電動化に対する自由度が増すことが予測される。その例として、エンジンの高効率化を狙った「電動過給機」、 触媒浄化装置の早期向上を狙った「触媒昇温装置」等の次世代技術が挙げられる。 しかし、 従来HILS試験法でこれら次世代技術搭載車を評価することは困難である。 本講演では、 検討している将来HILS試験装置を用い、上記技術搭載車の評価事例を紹介する。
11:10～11:35	**講演3** [講演者]主任研究員：水嶋 教文 **冷機始動を考慮した重量車の燃料消費率試験法の検討** 2016年より順次導入される重量車の新たな排出ガス試験法（WHDC：Worldwide harmonized Heavy Duty Certification）ではコールドスタート試験を実施するため、暖機過程中における排出ガスの低減技術や暖機促進技術に対する要求が高まってくる。当研究所は、これらの技術が導入された際の燃料消費率への影響を評価する方法を検討した。本講演ではその検討成果を報告する。
11:35～13:15	**昼休み（ポスターセッション）**
13:15～14:00	**招待講演** [講演者]明治大学法科大学院教授：中山 幸二 **自動運転をめぐる法整備の動向と将来予測**
14:00～14:25	**講演4** [講演者]主席研究員：児島 亨 **自動走行システムの安全性確保に関する基礎的研究** ー故障発生時にドライバが手動操作を引き継ぐために必要な時間的余裕についてー 自動命令型操舵機能と定速走行・車間距離制御機能を組み合わせた自動走行システムを使用中に、運転操作の主体がシステムからドライバへ遷移する際に必要な時間的余裕について、一般ドライバを対象にドライビングシミュレータ実験を実施した。運転操作の主体が遷移する状況としては、ドライバにとって予測困難であり可及的速やかな対応が求められるシステムの故障発生時とした。これらの実験結果について報告する。
14:25～14:50	**講演5** [講演者]研究員：後閑 雅人 **自動運転車に求められる故障診断システムのあり方** 自動運転車では自動走行システム自身に責任があるため安全性の確保が重要であり、診断機能は必要不可欠になっている。安全性の確保のためには、従来の自己故障診断機能だけでなく、自身で自動走行を実現する機能が正常に発揮できる状態にあるかどうか、自己自動走行診断機能が必要である。本講演では自動運転車に求められる故障診断システムのあり方について紹介する。
14:50～15:15	**講演6** [講演者]主席研究員：新国 哲也 **自動車安全にかかわるセキュリティの課題** 自動車の様々な制御装置は車両ネットワークに接続され、各制御装置の連携により高度な制御が実現されている。このような状況において、車両の制御に係る信号・情報の保護は自動車の安全性に直接かかわる課題となる。本講演では、車外からの不正アクセスによる制御異常について事例を紹介しながら、セキュリティに係る審査・点検における課題を解説する。
15:15～15:55	**コーヒーブレイク（ポスターセッション）**
15:55～16:20	**講演7** [講演者]自動車認証審査部長：山﨑 孝章 **自動車認証審査部における審査の概要について** 自動車の認証審査に関しては、 安全・ 環境技術の進展が著しい中、 厳正かつ公平な審査の実施がこれまで以上に求められている。その一方で、国際基準調和や自動車認証の相互承認の観点からは、 審査を合理的に行うことも重要となっている。 このような状況を踏まえ、 本講演では、 昨今の自動車認証審査部の取組について、 最近のトピックスを交えながら概説する。
16:20～16:45	**講演8** [講演者]リコール技術検証部長：石田 勝利 **リコール技術検証業務10年の歩みとこれから求められるもの** リコール技術検証部が平成１８年に創設され、今年で１０周年を迎える。 これまでの１０年を振り返るとともに、これからの課題を考える。 法律改正当時と何が変わったのか、何に対処するべきなのか。さらに、“技術の進化”（本フォーラムのテーマ）はリコール業務とどのような関わりがあるか、技術検証の現場から考える。
16:45～16:50	**事務局　連絡**

※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。

TimeTable

2016.11.25(FRI)

会場：ウ・タント国際会議場

全体テーマ：技術の進化に伴う新たな課題への対応

Time	講　演　内　容
10:00～10:05	**事務局　挨拶**
10:05～10:20	**国際調和推進部における活動の概要と方向性** 国際調和推進部長：坂本 一朗
10:20～11:05	**招待講演1** [講演者]国土交通省自動車局 技術政策課 自動車基準協定対策官：猪股 博之 **新たな課題に対応する 国際基準調和活動の最新の動向 ー自動運転を中心にー**
11:05～11:30	**講演1** [講演者]主席研究員：関根 道昭 **自動運転に関する国際基準の 検討状況と関連課題への取組** 国連WP29に設置されているITS/ADワーキンググループでは、 自動運転の国際基準の基本的な考え方を整理するとともに、 国際道交法との整合性を図るために関係団体との連携を図っている。最近、自動運転に通信技術を利用する場合に懸念されるサイバーセキュリティや個人情報の保護に関するガイドライン案が大筋合意されたところである。 これらの活動状況について報告する。
11:30～11:55	**講演2** [講演者]主席研究員：川野 大輔 **乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法 (WLTP)フェーズ2の概要と現状について** 乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP)については、2016年1月に世界統一技術規則(GTR No.15) の修正案を検討してきたフェーズ1bの活動が終了し、引き続きフェーズ2の活動が開始された。本講演では、フェーズ2における活動の概要を紹介するとともに、 その中で最優先課題として検討されている燃料蒸発ガス試験法に関する活動状況について報告する。
11:55～13:10	**昼休み(ポスターセッション)**
13:10～13:25	**鉄道認証室における活動の概要と方向性** 鉄道認証室長：佐藤 安弘
13:25～13:50	**講演3** [講演者]主席研究員：長谷川 智紀 **鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望** 近年、欧州鉄道規格の国際規格化が様々な形で進んでおり、日本として適切に対応していく必要がある。一方で、安全性・安定性で実績ある日本の鉄道技術を国際規格に反映する取組が重要である。本講演では、鉄道の安全関連の国際規格を中心に、近年の動向、主な規格の特徴、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。
13:50～14:05	**交通システム研究部における研究の概要と方向性** 交通システム研究部長：廣瀬 道雄
14:05～14:50	**招待講演2** [講演者]千葉大学大学院工学研究科 人工システム科学専攻 電気電子系コース教授：近藤 圭一郎 **電気鉄道車両の省エネルギー化技術の 進展と新たな課題**
14:50～15:15	**講演4** [講演者]主席研究員：竹内 俊裕 **通信技術等を活用した鉄軌道・道路交通間 における安全性向上に関する取組** 鉄道と道路の接点である踏切における事故の防止や道路を共用する路面電車と自動車間の事故の防止は重要な課題の一つである。 自動車分野においては、衝突被害軽減ブレーキ等の自律検知型安全運転支援技術や、道路交通が抱える安全・環境問題への対応を目的としたITS（高度道路交通システム）技術について、開発、実用化が進められている。当研究所では、これらの安全技術やデバイスを軌道系交通システムへ活用し、道路交通との協調を図ることで、双方の安全性向上に資する研究を進めており、その現状について紹介する。
15:15～15:55	**コーヒーブレイク(ポスターセッション)**
15:55～16:20	**講演5** [講演者]主任研究員：工藤 希 **列車制御システムにおける 衛星測位利用に関する取組** 衛星測位は、良好な受信状態のもとでは、常時、位置検知が可能なシステムである。特に平成30年度から4機体制でのサービスが予定されいている準天頂衛星の活用により一層の精度向上が見込まれるため、様々な分野への展開が期待されている。一方、列車制御システムは高い安全性・信頼性を求められるため、国内においては実験等を除き衛星測位を利用したシステムの実用化には至っていない。今回、列車制御システムにおける衛星測位利用について、当研究所の取組を紹介する。
16:20～16:45	**講演6** [講演者]主席研究員：大野 寛之 **営業車両を用いた軌道状態常時 モニタリング技術の開発とその活用** 脱線に対する指標として脱線係数が用いられている(輪重Pと横圧Qの比Q/P)。脱線係数は軌道変位やレール・車輪間の接触状態によって大きく変化することから、営業線における脱線係数の常時観測が望まれていた。近年、交通安全環境研究所らにより開発された「PQモニタリング台車」により脱線係数の常時観測が実現し、様々な曲線の長期間のデータを取得できるようになった。常時モニタリングによって収集されたデータの活用により、軌道変位や車輪/レール間潤滑条件の時間変化等もとらえられるようになり、これらのデータの軌道管理への活用方策について紹介する。
16:45～16:50	**閉会の挨拶**　理事：石井 素

※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
ヘッドアップディスプレイにおける複数表示が安全運転に与える影響

※榎本 恵・関根 道昭・森田 和元（自動車研究部）、田中 健次（電気通信大学）

2
自動車の歩行者頭部保護に関する調査

※田中 良知・細川 成之・松井 靖浩（自動車研究部）

3
交通事故における車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係

※松井 靖浩・及川 昌子（自動車研究部）

4
前面衝突時における車両乗員の胸部傷害について

※細川 成之・田中 良知・松井 靖浩（自動車研究部）

5
検査標章の可読性の改善に関する調査研究

※青木 義郎・岡田 竹雄（自動車研究部）

6
NOxセンサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時におけるNOx排出量測定

※山本 敏朗・水嶋 教文・鈴木 央一（自動車研究部）

7
乗用車におけるパワートレイン技術による燃費特性の違い

※鈴木 央一・山口 恭平・水嶋 教文（自動車研究部）

8
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
ー複数車線を対象とした通過車両情報の抽出ー

※宝渦 寛之・西 孝弘（自動車研究部）、坂本 一朗（国際調和推進部）、石濱 正男（神奈川工科大学）、猿渡 克己（元（株）小野測器）

9
乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP）における自動車認証審査部の取組

※小林 一樹（自動車認証審査部）

10
RAMSの概念に基づいた軌道系交通システムの総合的な技術評価について

※林田 守正・廣瀬 道雄・大野 寛之・緒方 正剛・竹内 俊裕・工藤 希（交通システム研究部）、水間 毅（理事）

11
営業車両を活用した軌道監視事例と遠隔自動収録に向けた取組

※森 裕貴・緒方 正剛・佐藤 安弘・大野 寛之・山口 大助（交通システム研究部）、綱島 均（日本大学生産工学部）、浅野 晃（（株）京三製作所）

12
都市交通シミュレータを用いた導入効果の評価方法
ー年齢階層別AHPによる長期的な経路選択の変化ー

※工藤 希・大野 寛之（交通システム研究部）

13
鉄道車両における磁界の人体ばく露に対する磁界低減方策の検討

※長谷川 智紀・竹内 俊裕・工藤 希（交通システム研究部）、水間 毅（理事）

14
ロープウェイ搬器の支柱通過時シミュレーション

※佐藤 久雄・押立 貴志・森 裕貴・廣瀬 道雄（交通システム研究部）

※マークは、主発表者です。

目　　次

11月24日の講演（ウ・タント国際会議場）

題　　目	所　属	講演者	頁
■自動車研究部の取組			
自動車研究部における研究の概要と方向性	自動車研究部長	河合 英直	1
講演１　ディーゼル乗用車の実路走行における排出ガス性能評価手法の検討	専門調査員	小澤 正弘	3
講演２　次世代電動技術を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価できる将来 HILS 試験法の検討	研究員	奥井 伸宜	9
講演３　冷機始動を考慮した重量車の燃料消費率試験法の検討	主任研究員	水嶋 教文	15
講演４　自動走行システムの安全性確保に関する基礎的研究 －故障発生時にドライバが手動操作を引き継ぐために必要な時間的余裕について－	主席研究員	児島 亨	21
講演５　自動運転車に求められる故障診断システムのあり方	研究員	後閑 雅人	27
講演６　自動車安全にかかわるセキュリティの課題	主席研究員	新国 哲也	31
■自動車認証審査部・リコール技術検証部の取組			
講演７　自動車認証審査部における審査の概要について	自動車認証審査部長	山﨑 孝章	35
講演８　リコール技術検証業務10年の歩みとこれから求められるもの	リコール技術検証部長	石田 勝利	37

11月25日の講演（ウ・タント国際会議場）

題　　目	所　属	講演者	頁
■国際調和推進部の取組			
国際調和推進部における活動の概要と方向性	国際調和推進部長	坂本 一朗	43
講演１　自動運転に関する国際基準の検討状況と関連課題への取組	主席研究員	関根 道昭	45
講演２　乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP）フェーズ２の概要と現状について	主席研究員	川野 大輔	49
■鉄道認証室の取組			
鉄道認証室における活動の概要と方向性	鉄道認証室長	佐藤 安弘	53
講演３　鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望	主席研究員	長谷川 智紀	55
■交通システム研究部の取組			
交通システム研究部における研究の概要と方向性	交通システム研究部長	廣瀬 道雄	59
講演４　通信技術等を活用した鉄軌道・道路交通間における安全性向上に関する取組	主席研究員	竹内 俊裕	61
講演５　列車制御システムにおける衛星測位利用に関する取組	主任研究員	工藤 希	65
講演６　営業車両を用いた軌道状態常時モニタリング技術の開発とその活用	主席研究員	大野 寛之	69

ポスターセッション（２階レセプションホール）

題　　目	所　属	発表者（※主発表者）	頁
①ヘッドアップディスプレイにおける複数表示が安全運転に与える影響	自動車研究部	※ 榎本 恵	75
		関根 道昭	
		森田 和元	
	電気通信大学	田中 健次	
②自動車の歩行者頭部保護に関する調査	自動車研究部	※ 田中 良知	77
		細川 成之	
		松井 靖浩	
③交通事故における車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係	自動車研究部	※ 松井 靖浩	81
		及川 昌子	
④前面衝突時における車両乗員の胸部傷害について	自動車研究部	※ 細川 成之	83
		田中 良知	
		松井 靖浩	
⑤検査標章の可読性の改善に関する調査研究	自動車研究部	※ 青木 義郎	85
		岡田 竹雄	
⑥ NOx センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時における NOx 排出量測定	自動車研究部	※ 山本 敏朗	89
		水嶋 教文	
		鈴木 央一	
⑦乗用車におけるパワートレイン技術による燃費特性の違い	自動車研究部	※ 鈴木 央一	91
		山口 恭平	
		水嶋 教文	
⑧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 －複数車線を対象とした通過車両情報の抽出－	自動車研究部	※ 宝渦 寛之	95
		西 孝弘	
	国際調和推進部	坂本 一朗	
	神奈川工科大学	石濱 正男	
	元㈱小野測器	猿渡 克己	
⑨乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP）における自動車認証審査部の取組	自動車認証審査部	※ 小林 一樹	97
⑩ RAMS の概念に基づいた軌道系交通システムの総合的な技術評価について	交通システム研究部	※ 林田 守正	99
		廣瀬 道雄	
		大野 寛之	
		緒方 正剛	
		竹内 俊裕	
		工藤 希	
	理事	水間 毅	

題　　目	所　属	発表者（※主発表者）	頁
⑪営業車両を活用した軌道監視事例と遠隔自動収録に向けた取組	交通システム研究部	※森 裕貴	101
		緒方 正剛	
		大野 寛之	
		山口 大助	
	鉄道認証室	佐藤 安弘	
	日本大学生産工学部	綱島 均	
	㈱京三製作所	浅野 晃	
⑫都市交通シミュレータを用いた導入効果の評価方法 －年齢階層別 AHP による長期的な経路選択の変化－	交通システム研究部	※工藤 希	103
		大野 寛之	
⑬鉄道車両における磁界の人体ばく露に対する磁界低減方策の検討	交通システム研究部	※長谷川 智紀	105
		竹内 俊裕	
		工藤 希	
	理事	水間 毅	
⑭ロープウェイ搬器の支柱通過時シミュレーション	交通システム研究部	※佐藤 久雄	107
		押立 貴志	
		森 裕貴	
		廣瀬 道雄	

口 頭 発 表 11.24

自動車研究部における研究の概要と方向性

自動車研究部　　河合 英直

1. はじめに

本年 4 月に旧自動車検査独立行政法人と旧独立行政法人交通安全環境研究所が統合して独立行政法人自動車技術総合機構が発足した。これに伴い、より柔軟かつ効率的に研究を進める事を目的として、旧自動車安全研究領域と旧環境研究領域を統合し、新たに自動車研究部が発足した。自動車研究部においては、自動車の安全・環境に係る国の政策立案・基準策定支援を第一の目標として、安全分野、環境分野の課題及びその境界領域を含む新しい課題に対して柔軟かつ総合的に調査、研究を実施している。

安全分野において、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いる [1)]。この目標達成のためには、衝突安全によって車両乗員の安全を確保するのみならず、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。自動車研究部では、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、自動車の安全に係る技術行政の推進に資する調査研究を進めている。

環境分野においては、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が大きいことから、自動車に対する国の施策として厳しい排出ガス規制、高水準の燃費基準等が設けられてきた。また、いわゆるエコカー減税などにより、燃費性能に優れた車両の普及も進んでいる。近年の自動車技術の向上等に伴い、従来実施されてきた代表的な条件を定めて高い再現性のある条件で評価を行う台上試験だけでなく、より実際の走行に近い実路走行条件下における自動車の排出ガス及び燃費の評価が重要となってきており、従来の手法の高度化と同時に実路走行条件での環境性能評価（RDE: Real Driving Emissions）にも力を入れている。

さらに、新技術に対応した点検整備手法及び検査手法の改善にも取り組んでいる。

このような状況において、自動車研究部では、部内に衝突安全、予防安全、電気・電子技術、視認性・点検整備、大気環境、騒音、電動系のグループを構成し、相互に協働しながら、自動車全般に係る技術行政の推進に資する調査研究、国際基準調和活動の技術支援等に取り組んでいる。

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範囲の課題を対象とし、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調査研究を実施している。

交通弱者も念頭に衝突事故被害軽減を一層図るため、コンパティビリティ（重量や大きさの異なる自動車同士の衝突）に関する乗員保護、子供乗員保護、高齢者乗員保護、歩行者保護、自転車乗員保護等に関する調査研究を行っている。自転車乗員保護に関しては、車両と自転車との衝突実験等を行うとともにヘルメットの効果をシミュレーションにより解析している。

2. 2. 予防安全グループ

交通事故を未然に防止し、交通弱者に対する効果が期待される先進技術を用いた予防安全技術の普及を支援するため、その効果検証及び試験法の策定に関する研究、将来の自動運転車の安全な普及へとつながる要素技術の作動特性、安全な手動操作への遷移方法、自動運転車の周囲車両への情報提示のあり方等に関する研究を進めている。また、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より有効な運転支援方策に関する研究を行っている。

2. 3. 電気・電子技術グループ

将来の自動運転技術の導入を見据え、機能拡大の著しい電子制御装置に係る安全性・信頼性が確保されているか否かについての的確な評価を可能とするため、不具合検出方法、電磁両立性に関する評価方法等に関する調査研究を実施している。また、運転支援技術の普及に伴う著しい電子制御化に対応するため、車両における電子情報の安全性管理について検討を行い、新たな評価方法等について検討を実施している。

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、高度な電子制御システムが搭載された自動車に対応した自動車検査が求められており、OBD (On-board diagnostics)を活用した検査の可能性及び検査方法等について検討を実施している。

視認性に関しては、夜間歩行者の交通事故を予防することを目的とした新型自動車用灯火の有効性に関する調査や、高光度化、高誘目性化(人目をひきやすくされた状態)された自動車用灯火が歩行者や自転車の行動に与える影響を調査するなど、新技術を活用した新たな灯火等の有用性の検証及び評価法策定に関する研究を進めている。

2. 5. 大気環境グループ

実路走行条件下における評価の重要性が高まる中，排出ガスについては、車載型排出ガス分析計等による実路での様々な運転状態における有害排気物質の計測、評価手法に関する研究を実施している。また、燃費については、実使用条件を考慮した評価手法等を確立することを目的に、いわゆるカタログ燃費と実燃費の乖離につながる因子の解明や車種毎の走行状態による燃費変動等を考慮した実用燃費評価方法に関する研究に取り組んでいる。さらに、燃料タンク等から放出される燃料蒸発ガスを適正に評価できる試験法に関する研究も進めている。「次世代大型車開発・実用化促進プロジェクト」では、物流における環境負荷低減を目指して、それに資する新技術の開発、評価法の確立を進めている。高度化する環境負荷低減技術はますます複雑さを増しており，それら新技術による効果の適切な評価に取り組んでいる。

2. 6. 騒音グループ

交換用マフラーを用いた騒音測定を行い、使用過程車の実態把握及びマフラー性能等確認制度の見直しに資する研究を進めている。また、当研究所が開発した音響可視化装置を使用して実際に公道を走行する車両の騒音を測定することにより使用過程車の騒音の実態把握を行っている。

2. 7. 電動系グループ

燃料電池自動車、電気自動車等に特有のバッテリ性能劣化影響等について、安全性を確保した上で、エネルギー消費効率等の環境性能を正しく評価するため、安全、環境双方の性能評価に関する研究を行っている。燃料電池自動車の水素燃料消費率に影響を与える因子の抽出及び影響を最小化した一充填走行距離試験法を策定するための研究を進めている。大型ハイブリッド車等の燃費、排出ガスについても高精度で柔軟性を持つ新たな台上試験法を開発するための検討を行っている。

3. 外部連携

自動車研究に関する種々の課題について、東京農工大学、芝浦工業大学との連携大学院、東京工業大学、千葉大学、電気通信大学、首都大学東京、杏林大学病院等との共同研究、NHTSA(米)、EPA/NVFEL(米)、VRTC(米)、BASt(独)、TÜV(独)、IIHS(米)、Thatcham(英)等の研究機関等との連携、情報交換を進めている。

特に 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、年に数回、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を行い、詳細な議論を行っている。現在、歩行者や自転車に対する被害軽減ブレーキの性能評価法、高齢化問題、安全技術とドライバ責任との関連、情報セキュリティなどの分野で協力が進んでおり、更に協力関係が広がる見込みである。

4. まとめ

近年の自動車は、高度運転支援システムの開発、普及や排出ガス、燃費性能向上のために、新たなデバイスや複雑な制御など次々に新技術が導入されている。これら新技術の性能を公正、適切に評価することが交通事故の一層の削減につながり、大気環境のさらなる保全に貢献できると考える。今後も、自動車の安全、環境に関わる種々の課題に積極的に取り組んで行く予定である。

参考文献

1) 国土交通省 交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会、“交通事故のない社会を目指した今後の車両の安全対策のあり方について” (2016)

講演１．ディーゼル乗用車の実路走行における排出ガス性能評価手法の検討

自動車研究部　　※小澤 正弘　　山口 恭平　　水嶋 教文　　鈴木 央一

１．はじめに

自動車の排出ガス規制は、世界的に年々強化されているにもかかわらず、実路走行時の排出ガス量は必ずしも規制の強化に応じて低減されているわけではないことが報告されている[1)]。これは、近年の排出ガス低減技術により認証時の排出ガスが大幅に低減されている一方で、システム等が複雑化し環境変化の影響を受けやすくなったためと推測される。このため、実路走行時の排出ガス低減が重要な課題であり、欧米においては実路走行時の排出ガス（RDE：Real Driving Emissions ）規制の導入を前提とした実証試験が始まっている。日本においても、「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会」の中間取りまとめ[2)]において、PEMS（Portable Emission Measurement System）を用いた路上走行検査を導入することが必要であると述べられており、今後乗用車等の RDE 規制の導入が進んでいくものと考えられる。一方で、近年の技術進化により排出ガス分析計の小型化と精度向上が進み、PEMS を用いた計測自体はおおむね可能となっているものの、得られる結果は道路状況、ドライバの運転特性、ルート設定、気象条件などの様々な因子による影響を受けるため、試験毎に条件が異なり試験結果の評価が難しいという課題がある。

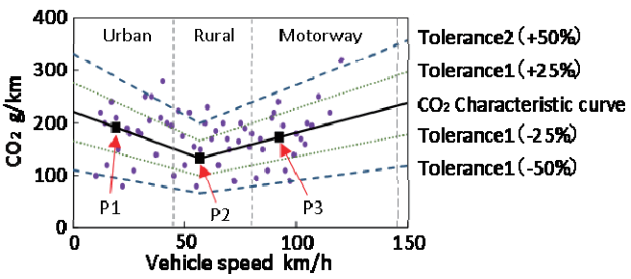
そこで本稿では、欧州における評価方法の一部を紹介しつつ、日本国内に同手法を適用した場合の課題を述べるとともに、当研究所における路上走行試験の評価手法に関する研究について報告する。

２．実路走行試験による排出ガス評価法の動向

２．１．欧州 RDE 規制動向

欧州では、ディーゼル乗用車の台上試験結果と実路走行時の NOx 排出量に乖離があることが確認され、2011 年に実路走行試験による RDE 規制の導入を決定した。2016 年には自動車メーカーに対し新型車の実路走行における NOx 排出ガス量の測定とその結果の提出を義務付けており、2017 年 9 月に導入される RDE 規制に向けた実証試験が進められている。

評価方法は、Moving Averaging Window（MAW）法と Power binning 法[2)]の 2 つが検討されているが、今後は前者に一本化される予定である。MAW 法では、乗用車等世界統一試験サイクル（WLTC：World Light-duty Test Cycles）を台上にて走行したときの CO_2 総排出重量の 1/2 を各 Window（移動平均処理を行う際の各データの平均区間を定義している）の CO_2 排出量とし、その排出量に達する 1 秒毎の Window について、平均車速と各排出ガス量を算出する。これらの算出データを図 1 に示すように車両速度と CO_2 排出率（単位距離あたりの排出量）の関係で整理し、都心部（Urban：0～45km/h）、都市間（Rural：45～80km/h）、高速（Motorway：80～145km/h）の各車速域に分類する。さらに、車両の加減速について標準的な運転時のデータを抽出するために、WLTC の Low／High／Ex-High の各フェーズにおける CO_2 排出率に応じて計算される CO_2 Characteristic curve を標準的な運転状態の基準となる CO_2 排出率とし、その基準の±25%にあたる Tolerance1 内に入るデータはすべて採択し、±50%である Tolerance2 から外れるデータは除外され、その間のデータに関しては重み付けをして採択されている。これらの処理を経て得られた Window 毎の各排出ガス量を車速域毎に平均して排出量を算出する。さらに、各 Urban、Rural、



※CO_2 Characteristic curve
（P1:Low phase×1.2、P2:High phase×1.1、P3:Ex-High phase×1.05）

Fig.1　Moving Averaging Window method

Motorway に分布するデータ数の比率や Tolerance1 内に入るデータ数の比率が一定の範囲内に入るように規定され、特殊な運転条件により CO_2 の過度な増減を伴うデータの特異点を排除し、各領域の分布を一定値内に規定することで、実路走行におけるデータの差異を少なくする工夫がなされている。この処理後に算出される実路走行試験時の排出ガス値は、シャシダイナモメータ試験（C/D 試験）時の NOx 規制値に一定の係数（CF : Conformity Factor）値を乗じた値と比較され、2017 年 9 月以降は CF 値 2.1 倍、2020 年以降は CF 値 1.5 倍までが許容値とされる予定である。

２．２．日本における実路走行試験の課題

実路走行試験の評価手法として、欧州で確立している MAW 法などを適用することが、国際基準調和の観点からも望ましいが、欧州と日本では試験法及び道路交通環境の違いがあり、そのまま適用することは難しい。具体的には、日本では WLTC の Ex-High フェーズを採用しないことが決定しており、MAW 法における CO_2 Characteristic curve を描く際には欧州と異なる手法が必要だと考えられる。また、Urban、Rural、Motorway を定義する速度についても国内と欧州では各領域の法定速度が大きく異なるため、国内の交通法規及び実態に合った見直しが必要となる。また、実路走行試験方法については、試験ルート設定、試験装置、試験実施条件などにおいて様々な課題が挙げられる[3]。当研究所では国土交通省や環境省などと連携し、実路走行検査の実施の際に考えられるこれらの課題解決に取り組んでいる。

３．実路走行試験結果の評価手法に関する研究

３．１．研究のねらい

実路走行試験では、同一ルートを走行した場合でも様々な因子による影響を受け、試験毎の結果に差異が生じ評価が難しいという課題があり、これは欧州における RDE 試験でも同様であると考えられる。そこで、本研究では、走行環境や車両条件等の因子が NOx 排出量に与える影響及びその要因を明らかにするとともに、各種影響因子による NOx 排出量の試験毎の変動を除去すること（以下、「正規化」という。）を狙いとして、実路走行の計測データを基にモード走行試験時の NOx 排出量を推定する手法の検討を行った。

３．２．実験装置及び方法

３．２．１．供試車両

実験に使用した車両の諸元を表 1 に示す。本車両は、平成 21 年規制（ポスト新長期規制）に適合した車両で、直接噴射式ターボディーゼルエンジンを搭載している。排出ガス後処理装置は、ディーゼル酸化触媒（DOC）とディーゼルパティキュレートフィルタ（DPF）が装着され、主な NOx 低減装置には、低圧経路と高圧経路の 2 系統を有する EGR システムが導入されている一方で、NOx 浄化後処理装置を持たずに規制適合していることを特徴とする。

Table1　Specification of test vehicle

Vehicle type	Passenger car
Vehicle weight	1130 kg
Engine type	Inline4 DI turbo diesel
Displacement	1498 cm^3
Compression ratio	14.8
Maximum power	77 kW / 4000 rpm
Maximum torque	250 N･m / 1500-2500 rpm
EGR system	HPL and LPL system
After treatment system	DOC, DPF

３．２．２．排出ガス計測装置

実路走行における排出ガス計測は PEMS（OBS-2200 : 堀場製作所製）を使用し、NOx、CO、CO_2、THC 濃度の計測を行った。また、排出ガス流量の計測にピトー管式流量計を用いた場合、長時間計測による流量計のドリフトや低流量域の計測精度低下などの課題が報告されている[4]ことから、本研究においては、OBD 信号から得られる吸入空気量信号（熱線式質量流量計による計測）及びカーボンバランス法に基づく燃料流量を用いて瞬時排出ガス流量を算出した。実験車両への PEMS 搭載状況を図 2 に示す。

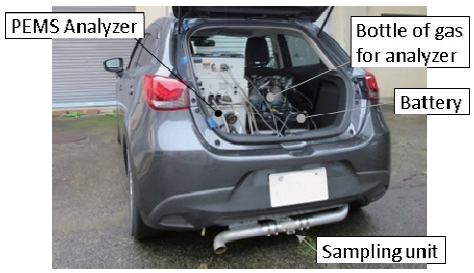


Fig.2　PEMS setup for test vehicle

３．２．３．実験及び解析方法

実路走行における排出ガス計測の際には PEMS を搭載するため車両重量の増加を伴う。本研究における実路走行試験時の各重量は、表 2 に示すように PEMS システム全体の重量として 170kg と大きな重量増加を伴っている。そのため、試験評価において排出ガス性能に対する重量増加の影響は避けられない。また、試験時は計測器の発熱により車室内の温度が上昇す

Table2　Test vehicle weight with PEMS

Vehicle curb weight	1130 kg
PEMS system weight	170 kg
Test crew(1person)	80 kg
Total test weight with PEMS	1380 kg

るため、計測器周辺の温度を許容限度内に保つ必要があり冬期を除きエアコンの使用が必至な状況となる。そこで、本研究では実路走行試験に先立ち、NOx 排出量に対して影響を与えると考えられる重量増加及びエアコン使用によるエンジン負荷増大の影響をC/D 試験にて確認した。

次に、実路走行時においては、環境条件の変化や勾配、カーブなどによる負荷の増減など、屋外特有の因子による排出ガス性能への影響が考えられる。そこで、屋外のテストコースにおいてJC08 モードの速度パターンを走行し、屋外特有の因子が排出ガス性能に及ぼす影響を確認した。

続いて、実路走行試験を実施し、排出ガス量に関する試験毎の差異について要因を分析した。そして、実路走行データを公正に評価する手法を見出すべく、実路走行データから作成した車両の速度と加速度に対する NOx 排出量マップに基づく予測計算を行い、特定のパターンを走行した場合の NOx 排出量について実路走行データを基に予測する手法の検証を行った。

３．３．実験結果及び考察

３．３．１．　車両重量とエアコン使用による影響

重量増加及びエアコン使用によるエンジン負荷増大に伴うNOx排出量への影響を把握するために、C/D 試験において各条件を変更した場合の排出ガス比較を行った。表 3 に比較を行った A～C の実験条件を示す。ここで、条件 A の重量は、当該車両の認証試験時の試験車重量とし、また、各試験における走行抵抗については、当該車両に PEMS を搭載した重量（条件 B）にて取得した実測値を使用した。この際、条件 A の試験時には、条件 B で取得した走行抵抗より、転がり抵抗に関する項のみを重量で補正した値を用いた。また、エアコンの使用条件は、室温と同じ設定温度 25℃のオート設定としている。各条件においてJC08 ホットモードを運転し、NOx 排出量と燃料消費量を計測した結果を図 3 に示す。図 3 では次項以降で比較対象とするPEMSで計測したNOx排出量も併記した。

本結果において重量増加の影響による NOx 排出量の増加は、10%となった。一方、エアコン使用による NOx 排出量の増加が 40.9%と非常に大きな影響を受けているのに対し、燃料消費量は 10.9%の増加にとどまっている。これは、試験車両の出力重量比が比較的大きい小型車であること、さらに本車両は NOx 低減の後処理装置を持たず、主に EGR で低減しているため、負荷の増大による EGR 率低下の NOx 排出量に及ぼす影響が大きく現れたためと考えられる。

以上より、PEMS 搭載による重量の増加とエアコン使用による負荷の増大により、C/D 試験における認証試験条件に対して約 55%の NOx 増加が確認され、実路走行では、これらの因子により NOx 排出量が一定量増加することが示唆される。

Table3　C/D test vehicle conditions

Conditions	A	B	C
Test set weight	1250 kg	1380 kg	1380 kg
Air conditioner	off	off	on
Number of tests	n=2	n=3	n=3

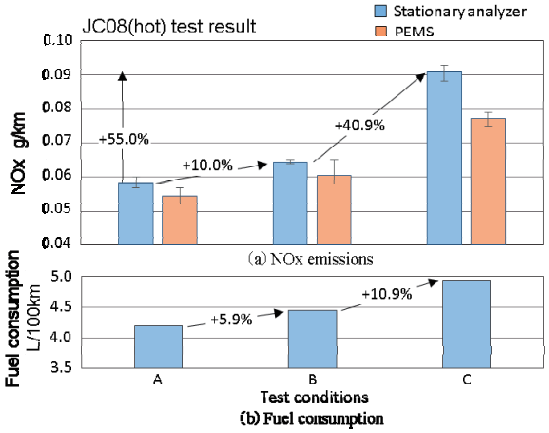


Fig.3　NOx emissions and fuel consumptions

３．３．２．　テストコースにおけるモード走行試験

屋外走行時の排出ガス性能に影響を及ぼす変動要因の確認を狙いとして、テストコースにてJC08 モードの速度パターンを適用した走行試験を行った。試験条件を表 4 に、テストコース上における JC08 モード走行時と C/D 試験時の PEMS で測定した NOx 及び CO_2 排出量の結果を比較して図 4 に示す。

テストコース上においてJC08 モードを走行した場合、C/D 試験時と比べて NOx 排出量は 6.5%高い値を示しているものの、非常に近い排出量を得られることが確認された。増加する要因としては、風やカーブの

Table4　Experimental conditions on track test

Total vehicle weight with crew	1377～1380 kg
Air conditioner	on
Test mode	JC08（hot）
Warm up condition	60 km/h×20 min
Ambient temperture	20.5～25.7 ℃
Ambient humidity(RH)	26.6～40.2 %
Ambient pressure	101.7～101.8 kPa
Number of test	n=2

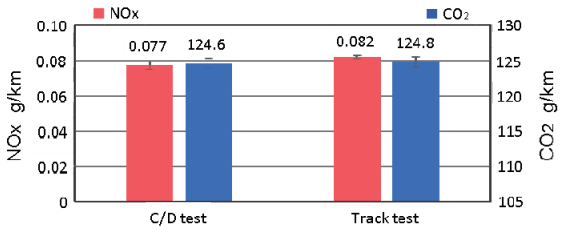


Fig.4　Comparison of emissions characteristics between C/D test and Track test

影響と運転操作の差異などの影響が考えられる。図 5 に示す NOx 排出量の時系列データにおいて、赤色で示した箇所がテストコースのカーブ部分であるが、両試験における NOx 排出特性は当該部分も含め概ね同等の排出特性を示しており、車両のコーナリング時に特に NOx 排出量が増大する様子は見られない。また、テストコース試験時の風速は約 1.5m/s 程度で、影響が小さい状況であった。このため、当試験における排出量の差は、主に運転操作の差異によるものとみられる。本車両では、C/D 試験と屋外の実走行において、同じ速度パターンで走行した場合には、NOx と CO_2 排出量において大きな差はないものといえる。

以上より本試験を実施した条件の範囲では、屋外特有の風、カーブ、日照などの外乱による NOx 排出への影響は小さく、速度パターンそのものが支配的因子であることがわかった。

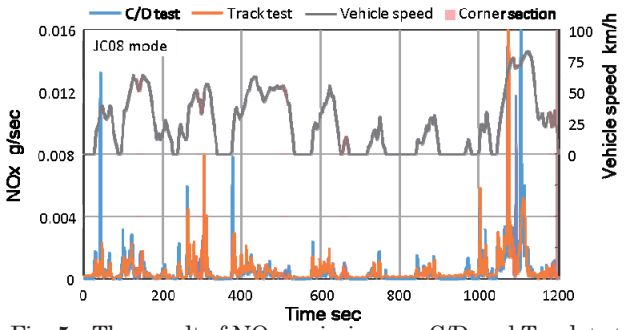


Fig. 5　The result of NOx emissions on C/D and Track test

3．3．3．　実路走行時の排出ガス特性

実路走行時における排出ガス特性を把握するために、東京都調布市から埼玉県熊谷市の間で、図 6 に示す総距離 83km の試験ルートについて往路と復路を走行して試験を実施した。試験ルートは発着点の標高差が約 10m であり、道路勾配の影響を大きく受けない設定とした。試験条件を表 5 に示す。車両の条件としてはエアコンを不使用としており、前述 C/D 試験の条件 B と同等な条件となっている。

実路走行試験で得られた単位走行あたりの平均 NOx 排出量を図 7 に示す。同一ルートを往復試験し

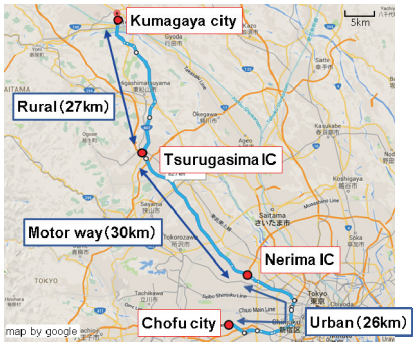


Fig.6　The route of RDE experiment

Table5　Experimental conditions of RDE test

Route	Outward	Backward
Total vehicle weight with crew	1389～1393 kg	1384～1388 kg
Air conditioner	off	off
Ambient temperture	10.4～12.5 ℃	11.1～17.3 ℃
Ambient humidity (RH)	30.2～47.5 %	37.1～60.0 %
Ambient pressure (average)	102.6 kPa	101.6 kPa

た結果、復路における NOx 排出量は往路に対して 20%以上増大しており、モード試験と比較して排出量の差異が大きいことが示された。そこで、表 6 に示す実路走行試験時の試験時間などを確認した。復路は往路と比較して試験時間が長く、停止回数も多いことから、交通状況としては若干混雑していたことが考えられるが、両者の差はそれほど大きなものではない。そこで、NOx 排出量に差異が生じた要因を確認するために車両の加減速に着目した。実路走行試験の結果を、加速（車両加速度：$\alpha \geqq 0.25$ m/s²）、定常（$-0.25 \leqq \alpha < 0.25$ m/s²）、減速（$\alpha < -0.25$ m/s²）の 3 つの領域に分類し各領域の発生頻度を整理した結果と、NOx 排出量の関係を図 8 に示す。復路は往路と比較して加速条件の発生頻度が 2.3%増加しているのに対し、加速条件下における NOx 排出量は 30.4%増加している。一方で、復路における時間頻度は、定常条件は 1.6%減少し、減速条件が 0.7%減少しているので、復路の方が短時間で減速するとともに加減速の多い走行条件であったことが推察される。

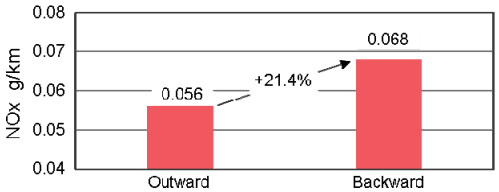


Fig.7　Total NOx emission result of RDE test

Table6　Experimental conditions of RDE test

Route	Outward	Backward
Total test duration(h:mm:ss)	2:18:00	2:21:58
Number of stop	61	64
Stop duration(mm:ss)	28:33	32:46
Average speed	36.1 km/h	35.0 km/h

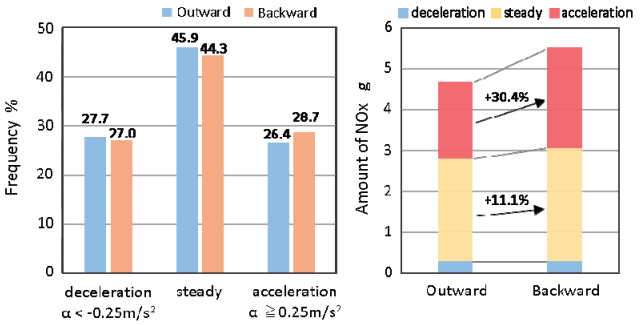


Fig. 8　The frequency and the amount of NOx on each acceleration under the RDE test

実路走行試験においては、交通環境の影響でこの程度の加減速の差は頻繁に発生し、むしろ両試験は同等の走行であったと考えられるが、このようなわずかな運転特性の違いが NOx の排出量に大きく影響してしまうことがあり、実路走行試験の評価を難しいものにしている。そこで、次項ではこれらの差異を計算により正規化し公正に評価する手法について検討した。

3．4．1．　NOx 排出量のマップ化

これまでの検討を通じて、供試車両の実路走行における NOx 排出量の差異は車両の速度と加速度の差がその主要因であると推定された。そこで、試験結果の正規化を検討するために、往路と復路のデータについて速度と加速度に対する NOx 排出量をマップ化し、図 9 に示す。マップの作成に際しては、0 から 100 km/h までの車速に対して 5km/h 毎に格子点を取り±2.5km/h の範囲で分割するとともに、-2.5 から 2.0m/s² までの加速度に対して 0.5m/s² 毎に格子点を設定して±0.25m/s² の範囲で分割し、その各格子内に入る全データについて NOx 排出量を平均した。また、車速については、10Hz で OBD 信号より取得したデータを 1 秒間で移動平均処理したものを用いた。

両マップにおいて、特に加速度の高い領域で NOx の排出量に差があるが、これは往路のデータにおいては、加速度 1.5m/s² かつ車速 40km/h の計測点が存在するが、復路ではこの計測点が存在しないなどの差に起因している。また、加速度が 0m/s² かつ車速 70km/h 付近において、復路の NOx 排出量が高くなっている。この点についてマップ作成時のデータを解析したところ、この格子点の発生事象は、1 回だけであった。このようにサンプル数の少ない格子点に関しては、マップ上の NOx 排出量に差が生じやすいことが確認された。しかし全体として、加速度が低い±0.5m/s² の領域では、良く似た排出傾向を示している。

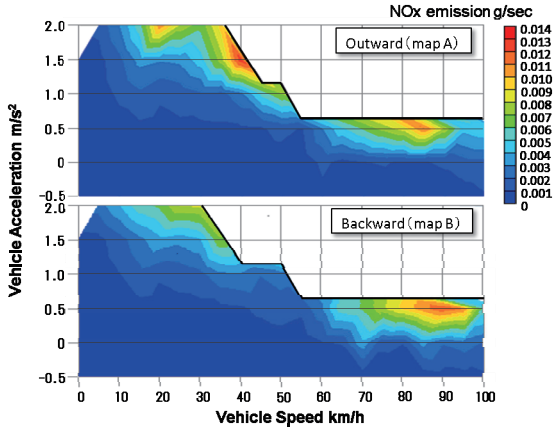


Fig.9　The map of NOx emission based on RDE data

3．4．2．マップによる NOx 排出量予測

実路走行試験の往路と復路のデータより作成した図 9 の NOx 瞬時排出量マップ A と B を用い、JC08 モード走行時の NOx 排出量についてそれぞれ予測計算を行った。計算では、JC08 モード走行時の車両速度データより速度と加速度を 10Hz で演算し、その際の瞬時 NOx 排出量をマップから読み取り、積算して総排出量を算出した。JC08 モードの比較対象は、エアコンを使用しない条件として、前述の C/D 試験における条件 B のデータとし、NOx 排出量は PEMS にて計測したものを用いた。各マップより推定した NOx 排出量と C/D 試験結果を比較し図 10 に示す。

図 10 よりマップ A で計算した NOx 排出量は非常に近い値を示しているのに対し、マップ B で計算した結果は、C/D 試験の実測値を基準とした場合、排出量が 10.3%多く見積もられた。その要因を分析するために、NOx の瞬時排出特性を図 11 に示す。

図 11 の上段において、予測計算された NOx の瞬時排出量は C/D 試験時の排出挙動を良く再現しているように見受けられる。しかし、下段に示すように JC08 モード後半の高速走行において、1080 秒付近と 1100 秒前後に両者の乖離が大きくなっていることがわかる。この時の車両速度に注目するとどちらの領域も 70km/h 付近でマップ B による NOx 予測値が多くなっており、これは前述のマップ作成の際にサンプル数が少なかった領域と合致することがわかった。

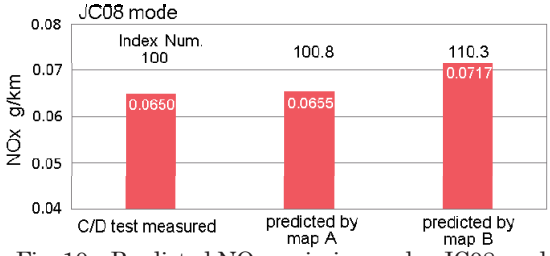


Fig. 10　Predicted NOx emission under JC08 mode

マップより予測された JC08 モード全体の NOx 瞬時排出量と C/D 試験で計測された排出量について、相関関係を図 12 に示す。いずれのマップにおいても決定係数は 0.7 以上の値が得られており、マップから予測した NOx 排出量は、異なる走行条件における NOx 排出量を推定できるレベルにあることが確認された。

以上より、実路走行試験で NOx 排出量に 2 割以上の差異が現れた両試験に対して、NOx 排出量マップを用いて同一車速パターンへの正規化を行った結果、試験毎のばらつきを低減できることが示された。しかし、サンプル数が少なく排出量が多い領域のマップをより高精度に作製する方法が必要である。

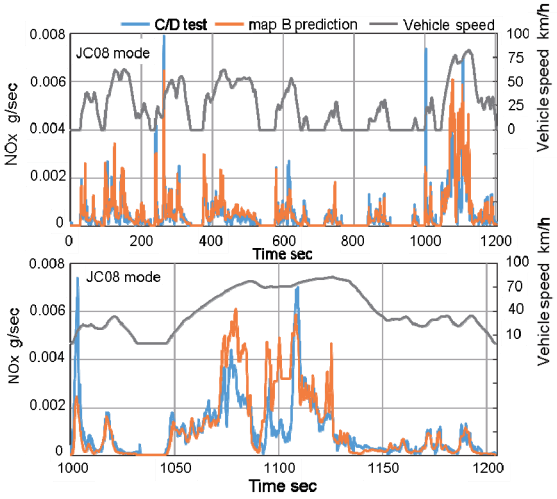


Fig.11　The result of measured and predicted NOx emission under the JC08 mode

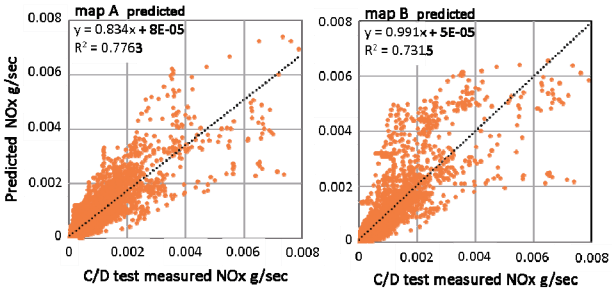


Fig.12　Correlation between the measured and predicted

3．5．まとめ

ポスト新長期規制に適合したディーゼル乗用車に PEMS を搭載して C/D 試験及び実路走行試験を行い、走行環境や車両条件等の因子が NOx 排出量に及ぼす影響を調査した結果、以下のことがわかった。

（1）実路走行試験においては、PEMS 搭載による重量の増加及びエアコン使用による負荷の増大により、NOx の排出量が増加する。このため、実路走行試験結果を評価する際は、これらの因子を考慮して CF 値などの評価基準を設定する必要がある。

（2）実路走行試験における往路と復路の NOx 排出量の差異は約 20%であったのに対し、それら実路走行試験のデータから作成した 2 種類の NOx 排出量マップを用いて予測した JC08 モード走行時の NOx 排出量の差は約 10%となり、大きく減少した。このことより、実路走行時のデータを基に特定の車速パターンでの排出量を予測する手法を構築することは、条件が様々に変化する実路走行試験の結果を公正に評価する上で有効な手段であるといえる。

ただし、本研究においては NOx 浄化後処理装置を搭載していない車両を用いて検討を行っており、NOx 浄化後処理装置を有している車両については、排出ガス浄化機能の作動条件などを考慮する必要があると考えられる。また、道路勾配や気温、湿度などの環境影響についても変化の少ない安定した条件で試験しており、これらの影響因子を反映する手法を見出すことが今後の課題となる。

4．おわりに

本研究は検討の導入段階にあり、前述のように課題が多く挙げられる。今後、欧州 RDE 規制との基準調和も踏まえつつ、より合理的な試験法を国際調和に提案すべく、研究を進める。

参考文献

1) Vicente Franco, Francisco Posada Sánchez, John German , and Peter Mock : REAL-WORLD EXHAUST EMISSIONS FROM MODERN DIESEL CARS, ICCT WHITE PAPER, Oct. 2014

2) 国土交通省・環境省 発表資料（平成28年4月21日），「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会　中間取りまとめ」
本文 p.4，参考資料 p.11-16（参照 2016.09.01）
本文：（http://www.mlit.go.jp/common/001129369.pdf）
（https://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/mat01.pdf）
資料：（http://www.mlit.go.jp/common/001129370.pdf）
（https://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/ref01.pdf）

3) 山口 恭平，「ディーゼル乗用車の実走行における排出ガス性能評価について」，交通安全環境研究所講演会 2016，p.65-80

4) 山本 敏朗ほか「車載型高機能運行記録装置を用いた重量貨物車の燃費および NOx 排出量検査」，自動車技術会論文集，Vol. 46，NO.1，p.194-195

講演２．次世代電動技術を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価できる将来 HILS 試験法の検討

自動車研究部　　奥井 伸宜

１．は じ め に

二酸化炭素排出量削減のため、ハイブリッド自動車や電気自動車を含む次世代自動車が、さらに増加すると見込まれる。一般に、ハイブリッド自動車は、車両減速時等に発生する回生可能な運動エネルギーをバッテリ等に蓄え、次の加速時にモータで走行トルクをアシストする技術を採用している。この他にも、回生したエネルギーには多様な活用方法があり、例えば、①電動過給機の駆動に使い、エンジンのトルクをアシストする、②触媒加熱ヒータで使い、排出ガス後処理装置の浄化機能向上を図る等の次世代技術が検討されている。これら次世代技術搭載ハイブリッド自動車に対する試験法を新たに検討する必要がある。

現在、ハイブリッドトラックやバス等のハイブリッド重量車の燃費・排出ガス試験法[1)]には、HILS（Hardware-In-the-Loop-Simulator：以下「従来 HILS」という。）が用いられる。従来 HILS 試験法は、机上計算で評価を行うため、上述した次世代電動技術である①または②等を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価することができない。例えば、①では、実機エンジンの過渡応答が指令通りになるとは限らずトルクの発生が実機と計算で異なる点、②では、過去の履歴の影響を受ける温度等の熱エネルギーを計算で扱うことが困難な点が課題として挙げられる。

そこで、当研究所では、次世代電動技術を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価できる新たな HILS（以下「拡張 HILS」という。）試験手法を検討している。実際に、拡張 HILS 装置を構築し、次世代電動技術である①または②を搭載したハイブリッド重量車を評価した。本講演で、以上の内容を紹介する。

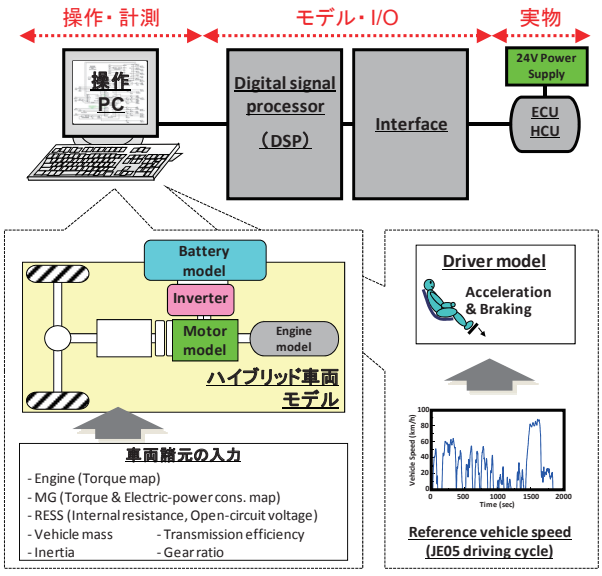


図１　従来 HILS 装置の構成

２．従来 HILS

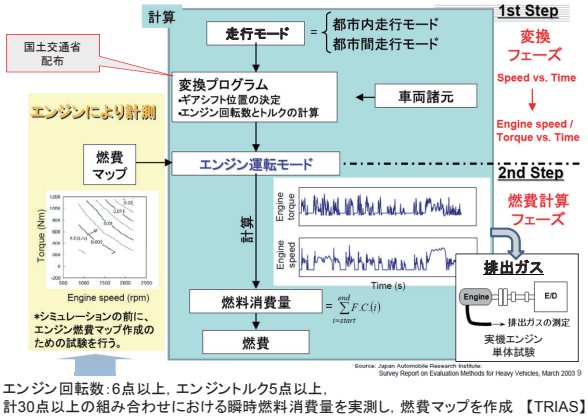
２．１．試験装置の紹介

従来 HILS 装置の構成を図１に示す。操作 PC 上で実行される HILS プログラムは、ハイブリッド車両モデル、ドライバモデル、道路状況等から構成され、実車両のエンジン制御装置（ECU）、ハイブリッド制御装置（HCU）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る。

２．２．試験手法の紹介

ハイブリッド重量車の排出ガス・燃費試験法に上述した HILS 装置を用いる方法は、2007 年３月、国土交通省より通達として出された技術指針[2)]に取り入れられ、運用されている。

まず、HILS 試験法の基となった従来重量車の排出ガス・燃費試験法を紹介する。従来重量車の燃費試験は、図２に示す「シミュレーション法」を適用し走行燃費を算出している。初めに、エンジン台上試験装置にて、エンジン暖機状態でのエンジンの全負荷トルク、摩擦トルク、燃費マップを実機エンジンから求める。次に、取得したエンジン実測データや車両諸元、



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

図２　重量車の排出ガス・燃費試験方法

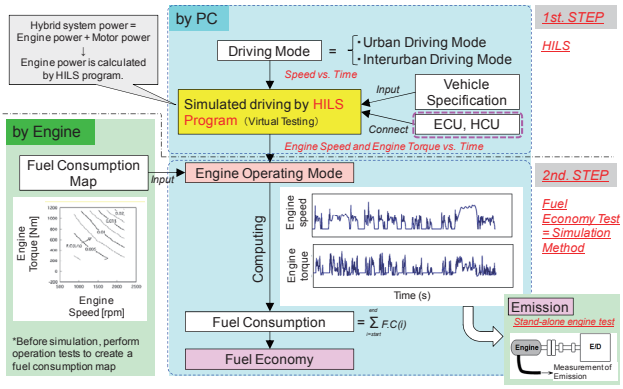


図３　ハイブリッド重量車の
排出ガス・燃費試験方法

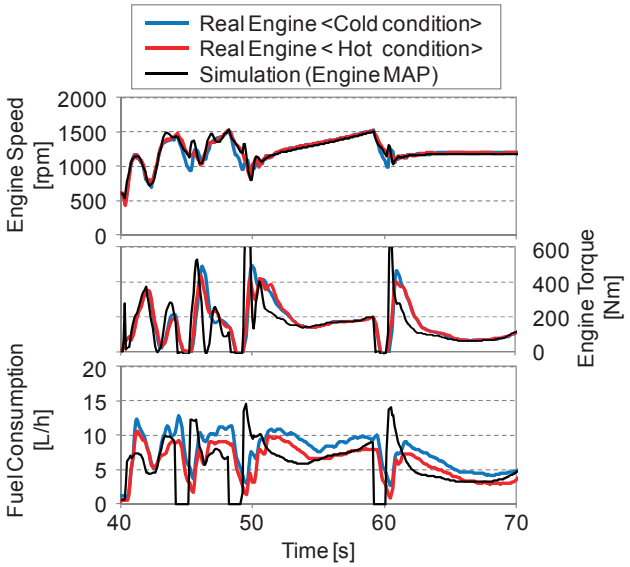


図４　JE05 モード走行時のエンジン性能及び燃費
（ディーゼル重量車）

日本の重量車用燃費・排出ガス試験モードである JE05 モード等の車速パターンを、国土交通省配布の「ディーゼル重量車用車速変換プログラム」に入力し、計算機上でエンジンの回転数及びトルクを算出し、これと実測した燃費マップを対応させ燃費を求める。排出ガス評価は、上記プログラムで算出したエンジン回転数及びトルクを設定したエンジンを台上で運転し、その時の排出ガスを測定することにより行われる。

一方、ハイブリッド車両は、エンジンに加え駆動用モータ（M/G）、バッテリ及び HCU を搭載し、車両減速時にエネルギー回生を行い、回生したエネルギーを用いて加速時等に出力の一部または全部を M/G により駆動することで燃費改善を図っている。それらを評価するにあたっては、図 3 に示す通り、シミュレーション法で用いた計算プログラムを HILS プログラムに置き換え、電気エネルギーの収支を加味したエンジン運転点（エンジンの回転数とトルク）を実時間で算出する。その後の燃費や排出ガスの評価手順は、上述したシミュレーション法と同様である。

２．３．試験手法の課題

従来 HILS 試験法に対する課題を以下に記す。

a) コールドスタート時の燃費評価が困難

b) 過渡運転時にエンジントルク応答遅れが発生

c) 熱エネルギーを活用する車両の評価が困難

上記各項目の詳細を確認する。a) については、エンジン及び M/G を含め、すべてモデル（マップ）で置き換える従来 HILS 試験法の燃費に関しては、エンジン暖機状態の燃費マップを用いて算出しており、コールドスタート時の状態の違いを反映できない。一例を図 4 に示す。ここでは、M/G の影響を取り除くためハイブリッドシステムを有さないディーゼル重量車（試験車重量：5,870kg）を想定し、JE05 モード加速走行時（40s～70s）におけるエンジン性能及び燃費を時系列で示す。燃費に着目すると、黒線で示すモデル運転時は、青線で示すコールドスタート条件における実エンジン運転時の傾向と大きく異なり、実エンジンの特性を従来 HILS で再現することは困難である。これは、次世代自動車として注目されるプラグイン方式のハイブリッド重量車の評価にも影響を与える。つまり、電気走行の一部でエンジンが始動することもあれば、ハイブリッド走行に移行してからエンジンが稼働することもあり、コールドスタート状態が一定でなくなるからである。

b) については、一般に、実機エンジン、特にターボチャージャ付エンジンでは、アクセル踏み増し時に過給機の回転上昇の遅れが発生することから、走行中の過渡応答性が課題となる。図 4 を用いて説明すると、変速後の急激なトルク上昇が必要な場面において、黒

線で示すエンジンモデルでは指令通りの急峻なトルク上昇が可能であるが、赤線で示す実エンジンではエンジントルクの応答遅れが発生しており、この様な状態を従来 HILS に基づく計算で再現することは困難である。特に、ハイブリッド重量車においては、走行に必要なトルクの内、エンジントルク遅れ分を M/G が補うことが考えられるため、上記のようなエンジンの過渡応答遅れが生じた場合、走行中のバッテリ収支が変化し、HCU の制御因子である充電状態（SOC）を変化させることになる。つまり、従来 HILS に基づく計算では、実機エンジンとは異なる運転状態における燃費を評価することになる可能性がある。

最後に c)については、例えば、車両減速時にエネルギーを駆動バッテリに回収し、回収したエネルギーを駆動軸アシストではなく、電動補機（例えば、触媒加熱ヒータ）に使用する技術や排熱回収技術が挙げられる。従来 HILS 試験法では回生エネルギーを後処理装置等の排出ガス低減デバイスに使用することは考慮されておらず、触媒温度等を含めた実際のエンジン制御を反映させることができない。

3．拡張 HILS

3．1．試験装置の構築[3)]

従来 HILS 装置及び従来エンジンベンチ等を最大限活用することを前提とし、次世代電動技術の評価に対応可能な装置を検討した。図 5 に示す通り、従来 HILS 装置の制御コンセプトは維持しつつ、エンジン部分をモデルから実機に変更した装置であり、これを「拡張 HILS」と呼ぶ。本装置の特徴は次の通りである。①車両モデルから計算される要求エンジントルク情報を動力計目標トルクとして与える。②HCU からのエンジン指令値を実機エンジンの ECU に与える。

当研究所保有 HILS 装置とエンジンベンチを用い、拡張 HILS を構築した。構築風景を図 6 に示す。これらに係る改造箇所は、制御盤側は通信ボードの増設と HILS から入力されるエンジン負荷トルクを目標トルクとしてエンジンダイナモメータを制御する簡易なプログラム修正、HILS 側はパルス入力用配線の接続やモデルの簡易変更である。

次世代電動技術搭載ハイブリッド重量車に対する

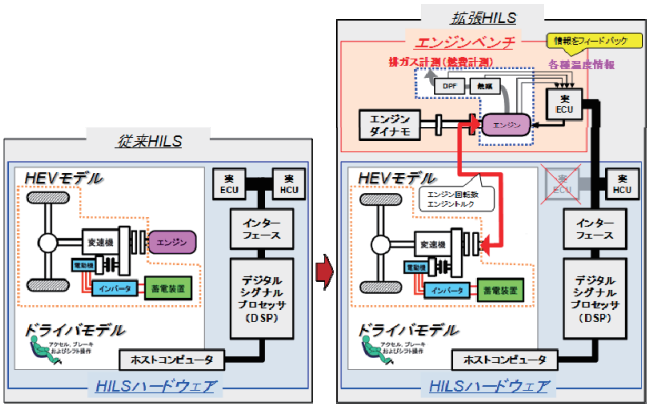


図 5　従来 HILS 及び拡張 HILS の装置概略図

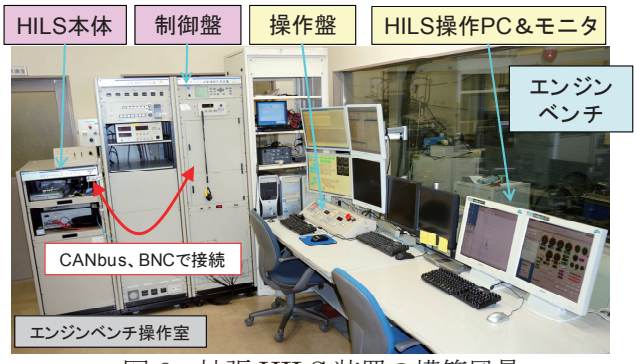


図 6　拡張 HILS 装置の構築風景

表 1　次世代電動技術搭載ハイブリッド重量車に対する各種試験法の比較

対応方法	コールドスタート（PHEVも含む）	将来HEV	試験工数	設備
従来HILS	×（bad） 物理モデルを導入し対応する策もあるが困難	×（bad） 熱エネルギーの扱いが困難	×（bad） 評価困難	×（bad） 熱変化に対応させた物理モデルが必要（大幅改造）
拡張HILS	○(good) 実機エンジンの温度情報をHILSに取り込むため，実車制御則を反映した試験が可能	○(good) 実機エンジン＋排出ガス後処理装置を使用するため，実車制御則を反映した試験が可能	○(good) ・HILSを実行しながら実機エンジンを稼働させるため，効率良く車両評価が可能 ・実機エンジンを使用するため，エンジン単体の事前評価（燃費マップ取得）が不要	○(good) 従来HILSと保有エンジンベンチを使用するため，新たな大型設備投資は不要（インターフェースの信号調整が必要）
システムベンチ法	○(good) ベンチ内に個々の実車のハイブリッドシステムを構築するため，実車相当での試験が可能	○(good) ベンチ内に個々の実車のハイブリッドシステムを構築するため，実車相当の試験が可能	×（bad） 個々の実車のハイブリッドシステムによる試験に限られる	×（bad） 評価対象車種に応じたベンチ整備（ダイナモメータの容量変更や個数変更等）が必要
シャシダイナモ試験	○(good) 実車を用いた試験を行うため，最も実走行に近い形で試験が可能	○(good) 実車を用いた試験を行うため，最も実走行に近い形で試験が可能	×（bad） 個々の実車の試験に限られる	×（bad） 高額な設備投資が必要（大型シャシダイナモメータ）

各種試験法を表 1 に整理した。その中のシステムベンチ法は、実際のエンジンやハイブリッド用電動系機器から構成するシステムをベンチ上に組上げて実験を行う手法であり、大掛かりな試験設備が必要となる。表 1 より、計算と実機を組み合わせた拡張 HILS は、次世代技術を含むハイブリッド重量車を簡便かつ高精度に評価可能とする装置であることがわかる。

3．2．評価事例

3．2．1．コールドスタート評価

拡張 HILS を用いたハイブリッド重量車（試験車重量：4,370kg）による JE05 モードを走行した場合のホット及びコールドスタート試験を比較し図 7 に示す。コールドスタート時に実機エンジンを使用することで、走行開始後からエンジンの潤滑油温度が徐々に増加している。エンジンアイドリング運転に着目すると、コールドスタート条件は走行開始後からエンジン回転数がホットスタート条件よりも高回転側で稼働し、エンジンが十分に暖機されるまでその傾向が続く。これらはコールドスタート時の一般的な現象であり、拡張 HILS 手法を適用することでコールドスタートの現象を適切に再現できたといえる。

3．2．2．過渡運転時のエンジントルク応答遅れ[4)]

図 8 に示す電動過給機（eSC、最大出力：3kW/65,000rpm）を用い大幅なエンジンダウンサイジングを行ったハイブリッドシステムを、拡張 HILS を用い評価した。負荷の変動がある場合に着目し紹介する。

図 9 に評価対象とした電動過給機搭載ハイブリッド重量車（車両総重量 25,000kg）のシステム構成図を示す。給気バイパス路付電動過給機とターボチャージャの二段過給構造から成るディーゼルエンジン（排気量 4.7L＝中型トラック相当）、M/G（定格力 112kW）と駆動用バッテリを備えたパラレルハイブリッドシステムで構成される。ハイブリッド制御方法は、車両走行トルクや SOC に合わせ任意に変化し、回生エネルギー取得機会が多い街中走行時は、M/G を使って積極的にアシストし、回生エネルギー取得機会が少ない高速走行時は、M/G を積極的に発電に使う制御である。その際エンジンは、HCU の指令により M/G が発電及び駆動を行うことで、図 10 に示すようにエネルギー効率の優れる 3 本の線上（a：エンジン最適動作線、b：エンジン全負荷トルク、c：エンジン+eSC 全負荷トルク）で稼働した。

電動過給機搭載ハイブリッド重量車の従来 HILS の計算パートから算出されるハイブリッドシステム運転状況と、拡張 HILS の実機エンジンを使用して都市間モードを走行させた際のハイブリッドシステム運転状況を比較し、図 11 に示す。図上段から車速及び道路勾配、矩形波にて表すエンジン稼働指令値（エネルギー効率の優れる上記 3 本の線を HCU が選択）、エンジントルク、M/G トルク及び燃費を示す。初めにエンジントルクに着目する。赤線で示す HILS 計算より求めたトルクは、エンジン稼働指令値が出力された瞬間の過渡応答運転においても、瞬時に目標値と一致する。しかし、実機エンジンを使った場合、エンジン回転数や負荷の変動が大きい場合には、ターボチャージャの応答遅れにより吸気圧力が瞬時に増大しないことから、トルクの上昇遅れが確認できる。特に、

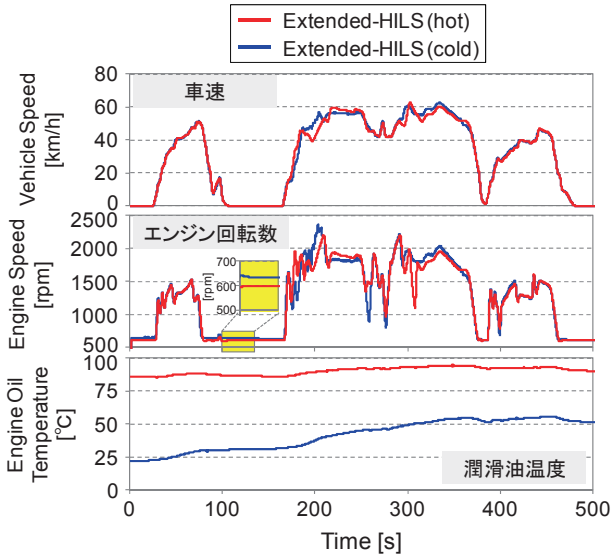


図 7　コールドスタート評価（JE05 モード）

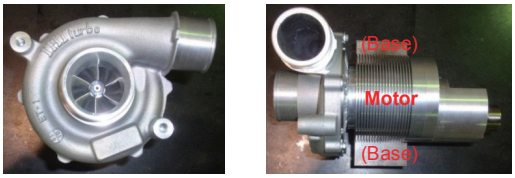


図 8　電動過給機（eSC：electric SuperCharger）

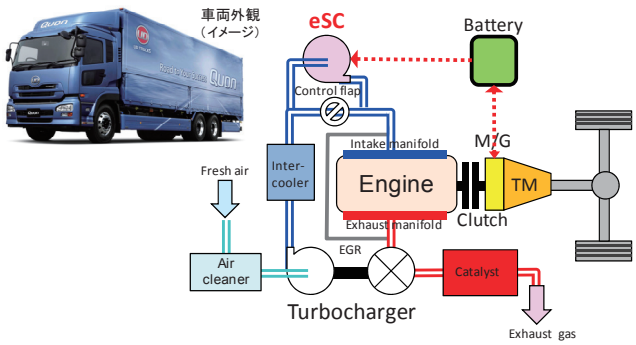


図 9　電動過給機搭載ハイブリッドシステム

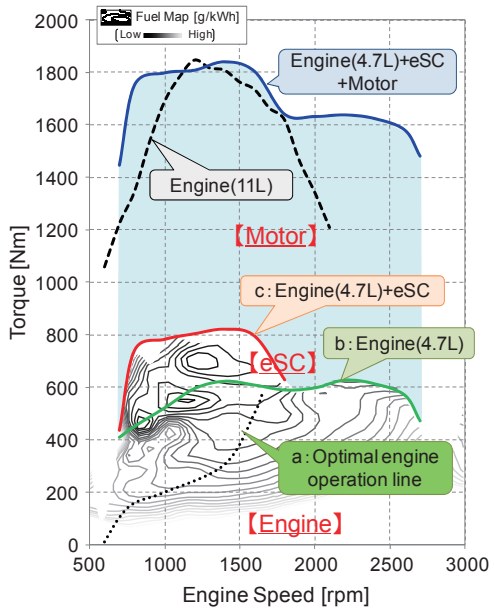


図 10　電動過給機搭載ハイブリッドシステムの
システムトルク曲線

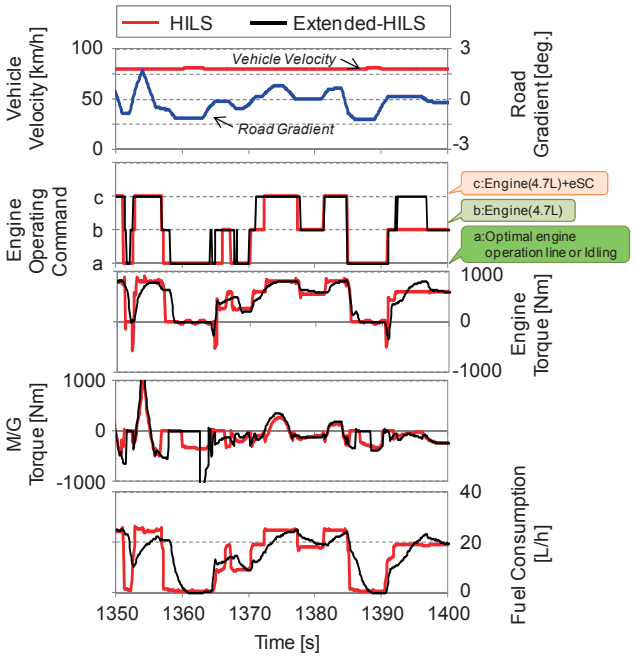


図 11　従来 HILS と拡張 HILS の走行性能の比較
（都市間モード）

1390 秒以降に着目すると、HILS 計算から算出されたエンジン稼働指令値は「b : エンジン全負荷トルク」曲線上の運転を指令しているが、拡張 HILS においてはエンジントルクの上昇遅れが影響し、「b : エンジン全負荷トルク」値よりも大きい「c : エンジン＋eSC 全負荷トルク」曲線上で運転している。これらの過渡応答によるトルク遅れは、燃費に対しても差異を生じさせる。当該車両（全積載）が都市間走行モードを走行した際の拡張 HILS の燃費は、従来 HILS に比べ、約 3.7%の悪化を示し、それが電動過給機搭載ハイブリッドシステムの実際の運転により実際に近いものと考えられる。以上のことから、電動過給機を用いるようなハイブリッド重量車の高精度評価においても、拡張 HILS 手法を適用することが必要である。

３．２．３．熱エネルギーを活用する車両の評価 [5)]

触媒加熱ヒータで排出ガス後処理装置の浄化機能を向上させる際、その温度情報が必要となる。拡張 HILS を用いた結果の一例を紹介する。

本実験には、図 12 に示す市販ディーゼル乗用車に搭載される触媒加熱ヒータ（EHC）を使用した。EHC の加熱部はコイルヒータで構成され、加熱したい触媒の前に装着される。ヒータの温度調整制御は、EHC 上流及び下流等に取り付けた熱電対の温度情報を用いて行われる。ここでは、電力消費を抑えつつ NOx を効果的に低減させるため、選択還元触媒（SCR）前の排出ガス温度が 180℃（本 SCR が NOx 浄化に必要な最低温度水準）以下であればヒータを加熱（通電あり）し、180℃以上であれば通電を停止（通電なし）させる制御を設定した。

初めに、本 EHC をハイブリッドシステムを有さないディーゼル重量車（排気量 4L、試験車重量 4,360kg）に適用し、JE05 モードをコールドスタートで走行した。結果を図 13 に示す。この時の触媒レイアウトは、排気上流側より「酸化触媒（DOC）―黒煙除去フィルタ（DPF）―尿素添加用インジェクタ―EHC―SCR―DOC」とした。図中段に示す排出ガス温度履歴は、EHC 下流及び SCR 上流の温度を示す。ヒータへの通電ありは、通電なしに比べ常に温度が高く推移している。その際、図中段に示す投入電力の履歴（Electrical Power）に着目すると、SCR 触媒温度が 180℃となるようヒータへの通電が制御され、例えば、図中緑色部

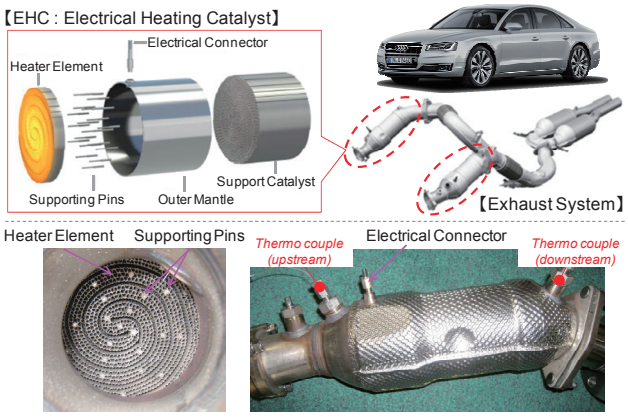


図 12　触媒加熱ヒータ
（EHC : Electrical Heating Catalyst）

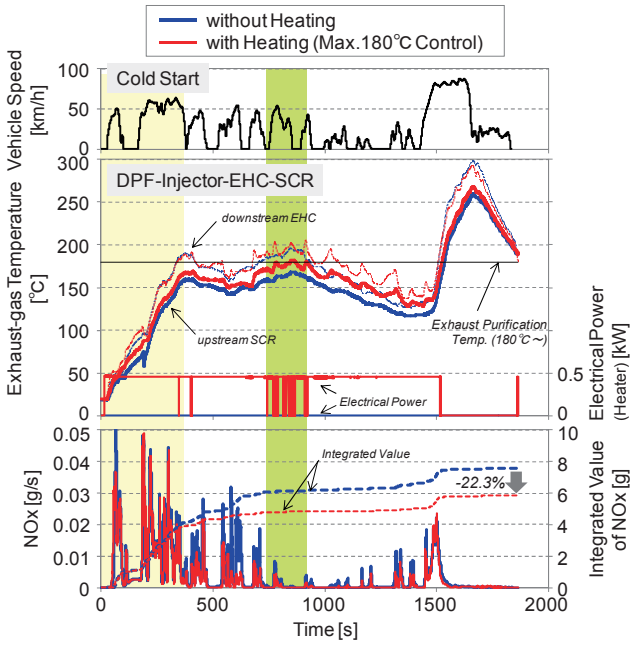


図 13　触媒加熱ヒータ搭載ディーゼル重量車の各種性能（JE05 モード）

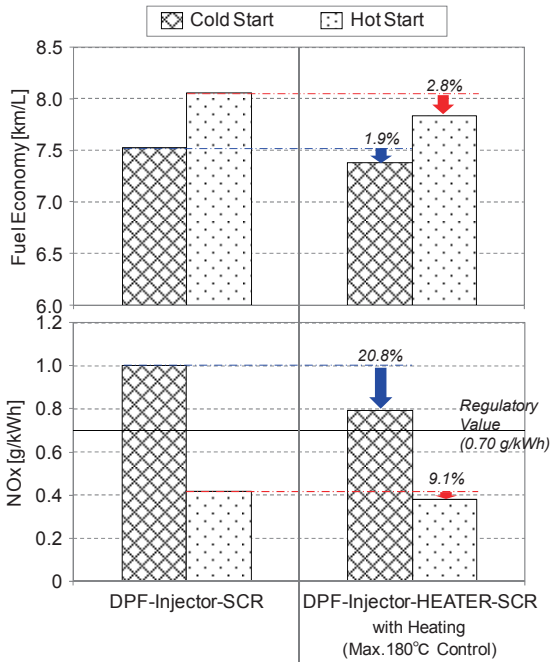


図 14　触媒加熱ヒータ搭載ハイブリッド重量車の各種性能（JE05 モード、ΔSOC=0）

で通電あり/なしを繰り返している。次に、図下段に NOx 排出率及びその積算値の履歴を示す。走行開始から 400 秒程度まで（図中の黄色部）の排出ガス温度は、両条件とも SCR の触媒活性化温度に到達するまで時間を要することから、NOx 排出率は同等の傾向であった。しかし、400 秒以降において、ヒータへの通電ありの NOx 排出率は、通電なしに比べほぼ半減し、その後も同様に推移した。モード走行後の積算 NOx 排出量は、ヒータへ通電した効果で約 22.3%低減できることが分かった。

次に、図 13 と同じ諸元でハイブリッド化した EHC 搭載ハイブリッド重量車における燃費及び NOx 排出量を図 14 に示す。図中の値は、モード走行開始と終了の充電量収支（ΔSOC）ゼロを示す。EHC を使用したことで、燃費は通電なしの場合に比べ、コールドスタートで約 1.9%、ホットスタートで約 2.8%悪化した。これは回生エネルギーの一部を EHC による触媒昇温に使用したためである。NOx 排出率は、コールドスタートで約 20.8%、ホットスタートにおいても約 9.1%の改善を示した。以上の通り、次世代電動技術である EHC の評価実験を行った。このように、従来 HILS 試験法で評価ができない次世代電動技術に拡張 HILS 手法を適用することの有効性が示された。

4．まとめ

従来 HILS 試験法では対応が難しい次世代電動技術を搭載したハイブリッド重量車を高精度に評価できる将来 HILS（拡張 HILS）試験手法を検討し、実際に装置を構築した。また、その装置の有用性を、実例を用いて紹介した。

今後は、拡張 HILS を新たな試験手法として提案するため、拡張 HILS の精度検証（例えば実車との性能比較）を行う予定である。

謝　辞

本研究は、国土交通省の「次世代大型車の新技術を活用した車両開発等に関する事業」の一環として推進した内容を含んでいる。ここに感謝の意を表する。

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，p.131-136 (2008)
2) 国土交通省：技術指針「ハードウエアインザループシミュレータシステムを用いた電気ハイブリッド重量車の燃料消費率及び排出ガスの試験法について」，国自環第 281 号
3) 小林雅行，奥井伸宜：実エンジンを用いたハイブリッド重量車モデルの評価を可能とする Extended-HILS の検討，自動車技術会学術講演会前刷集，20156280，p.1455-1460 (2015)
4) 奥井伸宜，小林雅行：電動過給機搭載大型ハイブリッドトラックの燃費改善の一検討，自動車技術会論文集，Vol.47，No.4，p.901-906 (2016)
5) 奥井伸宜，山口恭平：触媒昇温装置搭載 xEV 重量車の環境性能評価（第 1 報），自動車技術会学術講演会前刷集（2016 年 10 月 21 日に発表予定）

講演３．冷機始動を考慮した重量車の燃料消費率試験法の検討

自動車研究部　　※水嶋 教文　　山口 恭平　　川野 大輔　　鈴木 央一

１．はじめに

我が国で現在運用されている重量車の燃料消費率試験法は、図 1 に示すように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及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、車両が図 2 に示す都市内走行モードと都市間走行モードを走行した際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[1]。つまり本手法は、エンジンが暖機されていることを前提とした試験法となっている。

一方、重量車の排出ガス試験法に関しては、従来は暖機状態で JE05 モードを運転するのみであったが、平成 28 年度から順次導入される WHDC (World-wide harmonized Heavy-Duty Certification procedure)においては、過渡試験サイクルの WHTC (World-wide Harmonized Transient Cycle)を冷機状態及び暖機状態のそれぞれで運転し、得られた排出ガス値を 0.14：0.86 で加重平均することと定められている[2]。したがって、今後は冷機始動時における排出ガス対策やエンジン・後処理装置の暖機促進などの新たな技術が導入されるものと予想される。

冷機始動時における排出ガス対策技術や暖機促進技術は、場合によっては暖機過程中の燃費を悪化させる可能性がある。ところが、現在運用されている重量車の燃料消費率試験法は、暖機状態で計測したエンジンの燃費マップを用いたシミュレーション法により都市内及び都市間走行モードを走行した際の燃料消費率を計算するため、前述の新たな暖機促進技術等が導入された場合、燃料消費率への影響を評価することができない。そこで本研究では、冷機始動時における排出ガス対策やエンジン・後処理装置の暖機促進などの新たな技術が導入された場合の燃料消費率への影響を、従来のシミュレーション法を改良することで適切に評価する手法を検討したので報告する。

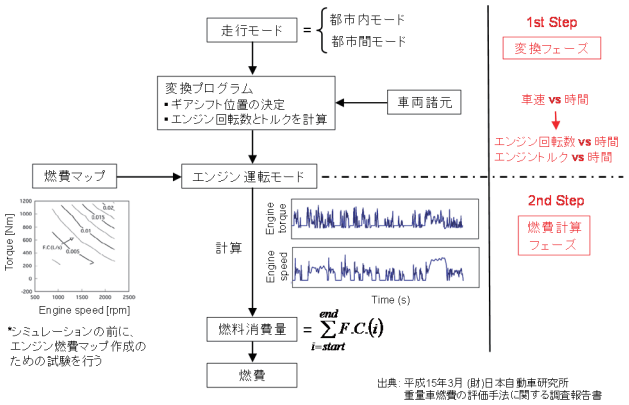


図 1　重量車の燃料消費率試験法の概要

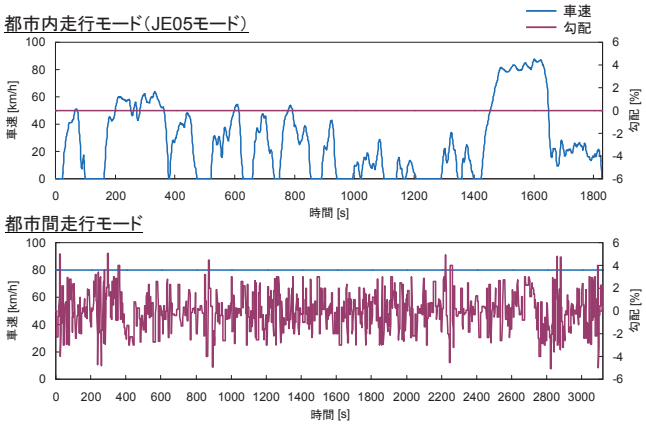


図 2　都市内及び都市間走行モード

２．方　　法

２．１．冷機始動時の燃料消費率計算方法の検討

２．１．１．エンジンシステムの暖機過程の予測

エンジンの温度分布が冷却水温度で均一であるという仮定の下、エンジンの暖機過程予測モデルを構築した。以下にその計算モデルを示す。

$$T_{w_cal} = T_{w_cal}' + \Delta T_{w_cal} \quad (1)$$

$$\Delta T_{w_cal} = \frac{\Delta Q_{in_cal} - \Delta Q_{out_cal}}{C_{eng}} \quad (2)$$

$$\Delta Q_{in_cal} = FC_{cold_cal} \cdot \rho_f \cdot H_f \left(r_{qloss} + r_{floss}\right) \Delta t \quad (3)$$

$$\Delta Q_{out_cal} = \alpha A_{eng} \left(T_{w_cal}' - T_a\right) \Delta t \quad (4)$$

ここで、T_w はエンジン冷却水温度[°C]、ΔT_w はエンジン冷却水温度の変化量[°C]、ΔQ_{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[kJ]、

ΔQ_{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[kJ]、C_{eng} はエンジンシステムの総熱容量[kJ/K]、FC_{cold} は冷機始動時における瞬時燃料消費量[mL/s]、ρ_f は燃料密度[g/cm^3]、H_f は燃料の低位発熱量[kJ/g]、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、α 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_a は周囲空気の温度[℃]、Δt は計算タイプステップ[s]、添え字$_{cal}$ は時々刻々の計算結果、'(ダッシュ)は計算のタイムステップΔt 秒前における値である。

C_{eng} 及びαA_{eng} は、任意のエンジン試験サイクル(例えばWHTC)でエンジンを冷機始動した際の計測データを以下の式に適用することで算出することが可能である。

$$C_{eng} = \frac{\Delta Q_{in} - \Delta Q_{out}}{\Delta T_w} \quad (5)$$

$$\Delta Q_{in} = FC_{cold} \cdot \rho_f \cdot H_f \left(r_{qloss} + r_{floss}\right) \Delta t \quad (6)$$

$$\Delta Q_{out} = \alpha A_{eng} (T_w - T_a) \Delta t \quad (7)$$

また、本モデルにおいては冷却損失及び機械損失による熱エネルギーは全てエンジン及び冷却水の温度上昇に用いられるものと仮定しており、冷却損失割合 r_{qloss} 及び機械損失割合 r_{floss} は、予めエンジン台上試験により取得したエンジン回転数とトルクに対するマップ情報から参照して計算に用いる。

これにより、エンジンを冷機始動させた際のエンジン冷却水温度 T_w の昇温過程(時々刻々の T_{w_cal})をシミュレーションにより予測することが可能となる。

２．１．２．冷機始動時の燃料消費量計算方法

冷機始動時の燃料消費量を計算するためには、エンジンシステム温度と燃料消費量の関係を把握する必要がある。その方法を以下に述べる。

a)　T_w に依存する補正係数を導出する方法

同一エンジン試験サイクル(例えば WHTC)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、同一時間範囲に対する冷機始動時の T_w と FC_{cold}/FC_{hot} の関係を $f(T_w) = FC_{cold}/FC_{hot}$ として予め把握し、以下の式により冷機始動時における瞬時燃料消費量の計算値 FC_{cold_cal} を算出する。

$$FC_{cold_cal} = FC_{hot_cal} \times f\left(T_{w_cal}\right) \quad (8)$$

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である。

b)　T_w 毎に燃費マップを取得する方法

低温での T_w の温度調節が可能なエンジン台上試験装置を用いて燃費マップを取得し、燃費マップを取得した T_w 間で補間することで T_w に応じた FC_{cold_cal} を得る。

２．２．検証方法

前節で示したエンジン暖機過程予測モデルに基づいて、任意の試験サイクル(例えば WHTC)における計測データから C_{eng} 及びαA_{eng} を算出し式(1)～(4)に適用することで、他の試験サイクルにおける T_w の昇温過程を予測することが可能である。

式(5)及び式(7)より、

$$\sum \Delta T_w = \frac{1}{C_{eng}} \sum \Delta Q_{in} - \frac{\alpha A_{eng}}{C_{eng}} \sum \{(T_w - T_a)\Delta t\} \quad (9)$$

であり、この式(9)より

$$T_w = \frac{1}{C_{eng}} \sum \Delta Q_{in} - \frac{\alpha A_{eng}}{C_{eng}} \sum \{(T_w - T_a)\Delta t\} + T_{w_i} \quad (10)$$

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[℃]である。

式(10)を用い、任意の試験サイクルを運転した際の T_w の計測データに対して、同時に計測したデータから算出される $\sum \Delta Q_{in}$ 及び $\sum\{(T_w - T_a)\Delta t\}$ を説明変数として重回帰分析を実施することでこれらの係数を算出し、C_{eng} 及びαA_{eng} を導出することができる。エンジンの暖機過程、つまり T_w の昇温過程をその他の様々な条件で予測するには、得られた C_{eng} 及びαA_{eng} を式(1)～(4)に適用すればよい。

冷機始動時における燃料消費率については、上記で得られた T_w に応じて a)もしくは b)の方法で FC_{cold_cal} を算出し、計算すればよい。

本検討では、図 3 に示すポスト新長期排出ガス規制に適合した排気量 3L の重量車用ディーゼルエンジン単体と、同型のエンジンを搭載した図 4 に示す車両の両方で、前節に示したエンジン暖機過程予測モデルと

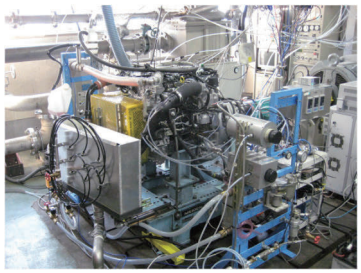


図 3　検証に用いた重量車用エンジン試験装置

図 4　検証に用いた重量車

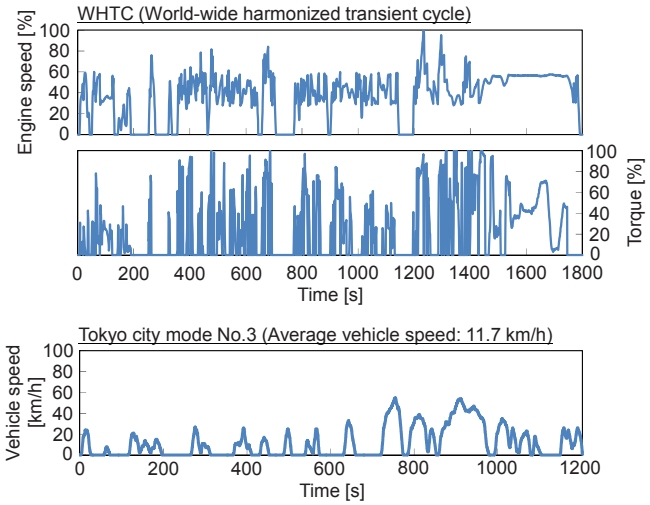


図 5　検証に用いた試験サイクル

冷機始動時の燃料消費率計算方法の有効性を検証した。検証に用いた試験サイクルは図 2 に示した JE05 モード(平均車速27.3 km/h)に加え、図5に示すWHTC、東京都モード No.3(平均車速 11.7 km/h)である。

3．結果及び考察

3．1．エンジン暖機過程予測モデルの検証

3．1．1．エンジン単体における検証

エンジン単体でWHTC(Cold)を運転した際の計測データから C_{eng} 及びαA_{eng} を算出し、同一試験サイクルでエンジンを冷機始動した際の T_w の昇温過程を予測した(T_{w_cal})。ここではモデルの検証が目的であるため、モデルに適用する瞬時燃料消費量 FC_{cold} には燃費計により計測した値を用いている。T_w との比較結果を図 6 に示す。なお、同図には運転状態がわかるよう、参考としてエンジン回転数及びトルクも示した。この結果、本エンジン暖機過程予測モデルを用いれば、一定値で求めた C_{eng} 及びαA_{eng} から T_w を高精度に予測できることを示している。本エンジン暖機過程予測モデルの狙いは、任意の試験サイクル(例えばWHTC)でエンジンを冷機始動した際の計測データから算出した C_{eng} 及びαA_{eng} を用いることで、他の試験サイクルを冷機始動条件で運転した際のエンジン冷却水温度を適切に予測することである。この有効性を検証するため、エンジン単体により半積載条件でJE05(Cold)モードを運転して計測した昇温過程におけるエンジン冷却水温度 T_w と、上記と同一の C_{eng} 及びαA_{eng} を適用して暖機過程予測モデルにより予測したエンジン冷却水温度 T_{w_cal} を比較した結果を図 7 に示す。この結果、WHTC(Cold)とは異なる試験サイクルであるにもかかわらず、JE05(Cold)モードを運転した場合においても、エンジン冷却水温度の予測結果 T_{w_cal} は計測結果 T_w と概ね一致した。

以上より、本エンジン暖機過程予測モデルを適用し、任意の試験サイクル(例えばWHTC)を冷機始動条件で運

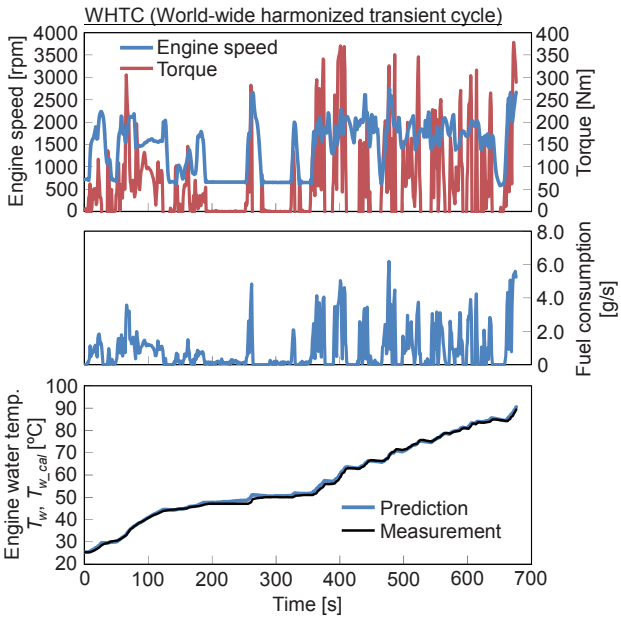


図 6　エンジン単体での WHTC(Cold)におけるエンジン冷却水温度の予測結果と計測結果の比較

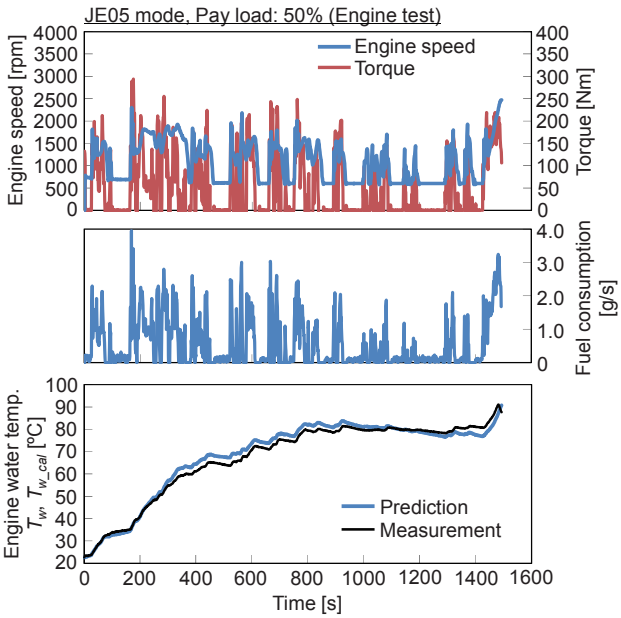


図 7　エンジン単体での JE05(Cold)モード半積載条件におけるエンジン冷却水温度の予測結果と計測結果の比較

転した際の計測データから C_{eng} 及びαA_{eng} を算出することで、他の試験サイクル(例えば JE05 モード)についても、冷機始動時におけるエンジン冷却水温度の昇温過程を予測できることが示された。

３．１．２．車両搭載状態における検証

エンジンの実使用状態を考慮するとエンジンの暖機過程は車両搭載状態で評価することが望ましい。このため、同型のエンジンを搭載した車両を用いて同様にエンジン暖機過程予測モデルを検証した。

シャシダイナモメータを用い、半積載条件で JE05(Cold)モードを走行して得られた計測データから C_{eng} 及びαA_{eng} を算出し、同一条件における T_w の昇温過程を予測した(T_{w_cal})。計測結果 T_w との比較結果を図 8 に示す。この結果、T_{w_cal} と T_w は精度よく一致し、本エンジン暖機過程予測モデルは車両搭載状態においても適用できることを確認した。

そこで、上記と同一の C_{eng} 及びαA_{eng} を用いた場合の他の試験サイクルにおける T_w の予測精度を確認するため、積載条件のみを変更して全積載条件で JE05(Cold)モードを、走行モードのみを変更して半積載条件で東京都モード No.3 (Cold)をそれぞれ運転し、エンジン暖機過程における T_{w_cal} と T_w を比較した。この結果を図 9 に示す。

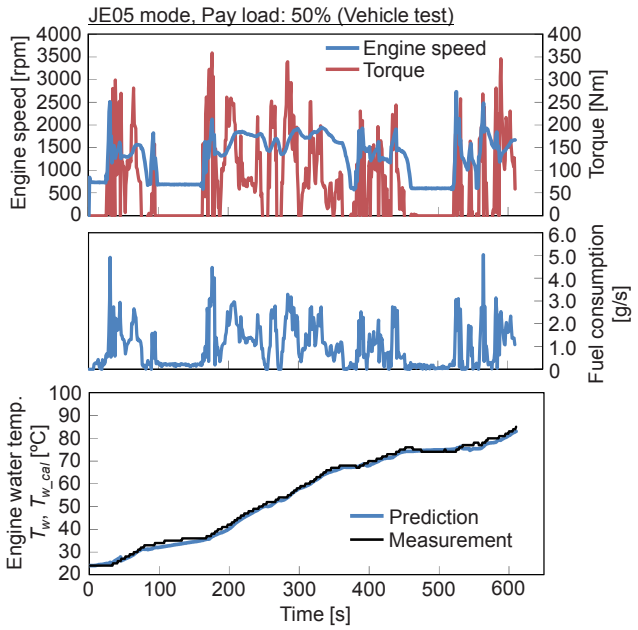


図 8　車両搭載状態での JE05(Cold)モード半積載条件におけるエンジン冷却水温度の予測結果と計測結果の比較

全積載条件での JE05(Cold)モードにおいては、図 8 に示した半積載条件での JE05(Cold)モードに対してエンジン負荷が高くなる試験サイクルであるにもかかわらず、T_{w_cal} と T_w は精度よく一致した。また、ここで示した 2 種類の走行モードを比較すると、東京都モード No.3(Cold)ではアイドル状態が多く平均車速も低いため、エンジン回転数及びトルクともに低い状態での運転が長時間続く。このため、東京都モード No.3(Cold)では JE05(Cold)モードと比較してエンジン冷却水温度の昇温に長時間を要する結果となった。さらに、エンジン暖機後の温度で T_{w_cal} は T_w に対して約 10 °C 高い結果となったが、このように速度域が全く異なる試験サイクルにおいても、T_{w_cal} と T_w は定性的に同一の傾向を示していることが確認できた。

以上より、本エンジン暖機過程予測モデルは車両搭載状態においても、ある一つの試験サイクルを冷機始動条件で運転した際の計測データから C_{eng} 及びαA_{eng} を算出することで、他の様々な試験サイクルの冷機始

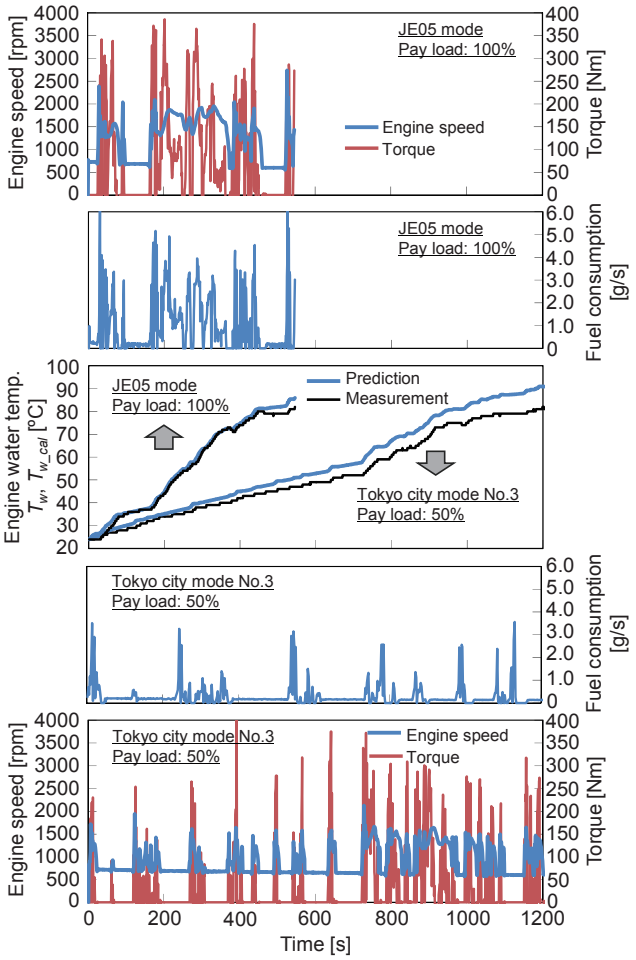


図 9　車両搭載状態での JE05(Cold)モード全積載条件と東京都モード No.3 半積載条件におけるエンジン冷却水温度の予測結果と計測結果の比較

動時におけるエンジン冷却水温度の昇温過程を概ね予測できるものといえる。

３．１．３．エンジン単体と車両搭載状態の違い

エンジン単体と車両搭載状態では、図 10 に示すように C_{eng} 及びαA_{eng} がそれぞれ大きく乖離している。エンジン単体で C_{eng} が小さい要因は、熱容量の大きいトランスミッションが接続されていないことに加え、車室内の空調に用いるヒータシステムが取り付けられておらずエンジン冷却水の循環量が車両搭載状態と比較して少ないためと考えられる。また、エンジン単体でαA_{eng} が大きい要因は、車両搭載状態ではエンジンは運転席(キャブ)の真下にあり、車両周囲の空気からある程度遮熱されている構造となっているのに対し、エンジン単体では図 3 に示すように実験室内でエンジンが露出しており、周囲の空気に対して直接的に放熱するためと考えられる。したがって、エンジン暖機過程の予測に際しては、エンジン単体で評価した場合と車両搭載状態で評価した場合で異なる C_{eng} 及び αA_{eng} となるため、実使用状態を考慮してエンジンの暖機過程を予測するためには、車両搭載状態で C_{eng} 及びαA_{eng} を導出することが望ましい。

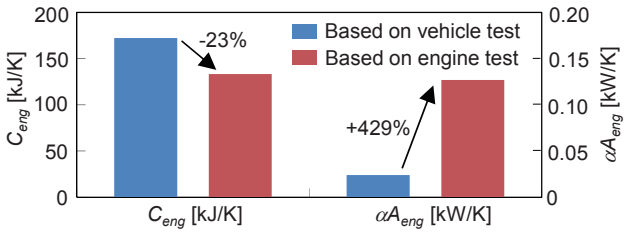


図 10　車両搭載状態とエンジン単体における C_{eng} 及び αA_{eng} の比較

３．２．冷機始動時の燃料消費量計算方法の検証

２．１．２．項で述べた方法 a)及び b)のそれぞれで冷機始動時における燃料消費量を算出した。

図 11 に方法 a)で用いた $f(T_w) = FC_{cold}/FC_{hot}$ を示す。この関数は、エンジン単体で WHTC(Cold) と WHTC(Hot)の両方を運転した結果から、WHTC(Cold)での T_w の変化量 5℃毎の時間範囲における燃料消費量と WHTC(Hot)での同一時間範囲における燃料消費量の比の平均値をとったものである。方法 a)においては、エンジン暖機過程予測モデルで計算した T_{w_cal} に対して式(8)を適用することで、冷機始動時における燃料消費量 FC_{cold_cal} を算出した。

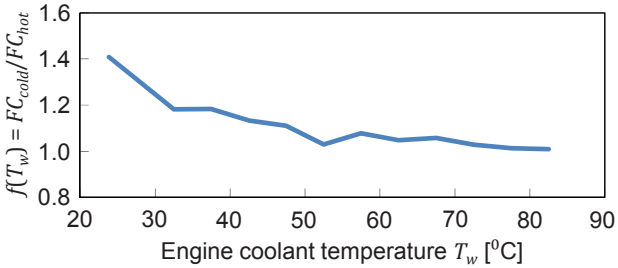


図 11　方法 a)で使用した T_w と FC_{cold}/FC_{hot} の関係

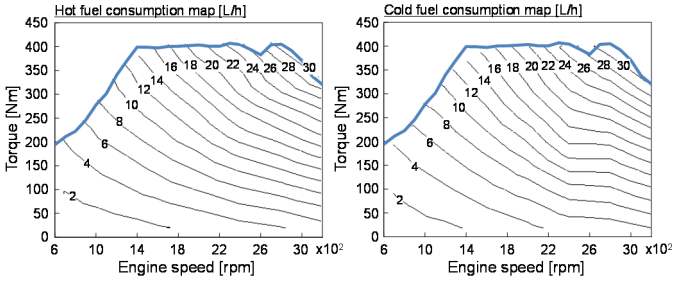


図 12　方法 b)で使用した暖機状態の燃費マップ(左)と冷機状態の燃費マップ(右)

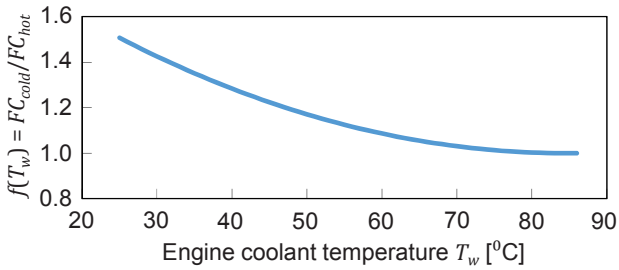


図 13　方法 a)、b)の両方で使用したアイドル運転時における T_w と FC_{cold}/FC_{hot} の関係

図 12 に方法 b)で用いた燃費マップを示す。ここで得られた結果は、T_w の目標を暖機状態、冷機状態でそれぞれ 86℃、45℃としている。方法 b)においては、従来のシミュレーション法により予め各燃費マップを適用した場合の瞬時燃料消費量をそれぞれ算出しておき、エンジン暖機過程予測モデルで予測した T_{w_cal} に応じて、それぞれの燃費マップから算出した瞬時燃料消費量を T_w で比例補間することで冷機始動時における燃料消費量 FC_{cold_cal} を算出した。

また、冷機状態のアイドル運転においてはエンジン回転数を暖機状態よりも上げているため、方法 a)及び方法 b)とも、アイドル運転時においては図 13 に示す $f(T_w) = FC_{cold}/FC_{hot}$ を適用した。これは、暖機状態におけるアイドル時の燃料消費量に対する、T_w が変化した際のアイドル時の燃料消費量の比をとったものであり、計測結果から作成した回帰曲線である。

以上で示したデータを用いて方法 a)あるいは方法 b)を適用し、冷機始動条件で試験サイクルを走行した

際の総燃料消費量を計算した結果と、暖機条件で同一試験サイクルを走行した際の総燃料消費量を計算した結果の比を図 14 に示す。同図には図 4 に示した試験車両を用いて同一条件で実測した結果も示している。この結果、方法 a)及び方法 b)とも各条件で定性的ではあるが概ね実測を再現できており、本手法の適用可能性を見出した。図 15 には代表的な車両諸元を適用して両方法で JE05 モード走行時の瞬時燃料消費量を計算した結果を示すが、赤矢印で示すように、いずれの方法においても T_w が低いほど瞬時燃料消費量が暖機状態の燃料消費量と比較して増大する傾向を模擬できている。

4．おわりに

冷機始動時における排出ガス対策やエンジン・後処理装置の暖機促進などの新たな技術が導入された場合の燃料消費率への影響を、従来のシミュレーション法を改良することで適切に評価する手法を検討し、考案した手法の適用可能性を見出した。ただし、本計算モデルにおいてはエンジンの暖機過程のみを考慮しており、車両におけるドライブトレインシステムも含めた計算モデルを検討しなければ、車両走行時の燃料消費率を計算することができない。このことは、本稿で紹介した計算結果が定量的に実測を再現できていない要因としても考えられ、計算精度を向上するためには計算モデルのさらなる改良が必要である。また、冷機始動時の燃料消費量の計算には方法 a)と方法 b)の二つを検討したが、特に方法 b)においては、適正に燃費マップを計測するため低水温の制御が可能なエンジン台上試験設備を要してしまう。このため、試験法運用の観点からもさらなる検討が必要である。

当研究所では排出ガス・燃費低減技術の動向を見ながら、重量車の燃料消費率試験法のあるべき姿を今後も継続して研究する。

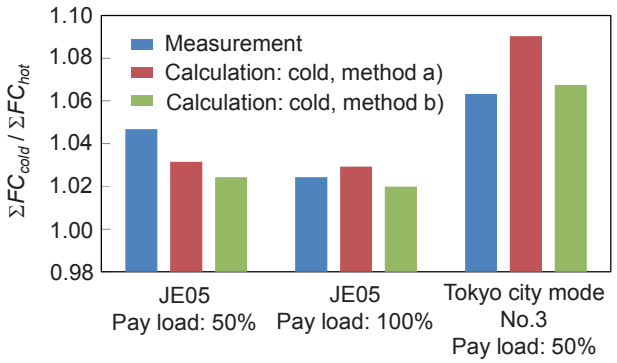


図 14　冷機始動条件の総燃料消費量と暖機条件の総燃料消費量の比

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) 鈴木、他、“次期重量車用試験サイクルの概要と排出ガス評価法としての特徴”、交通安全環境研究所フォーラム 2014 講演概要、pp.3-8 (2014)

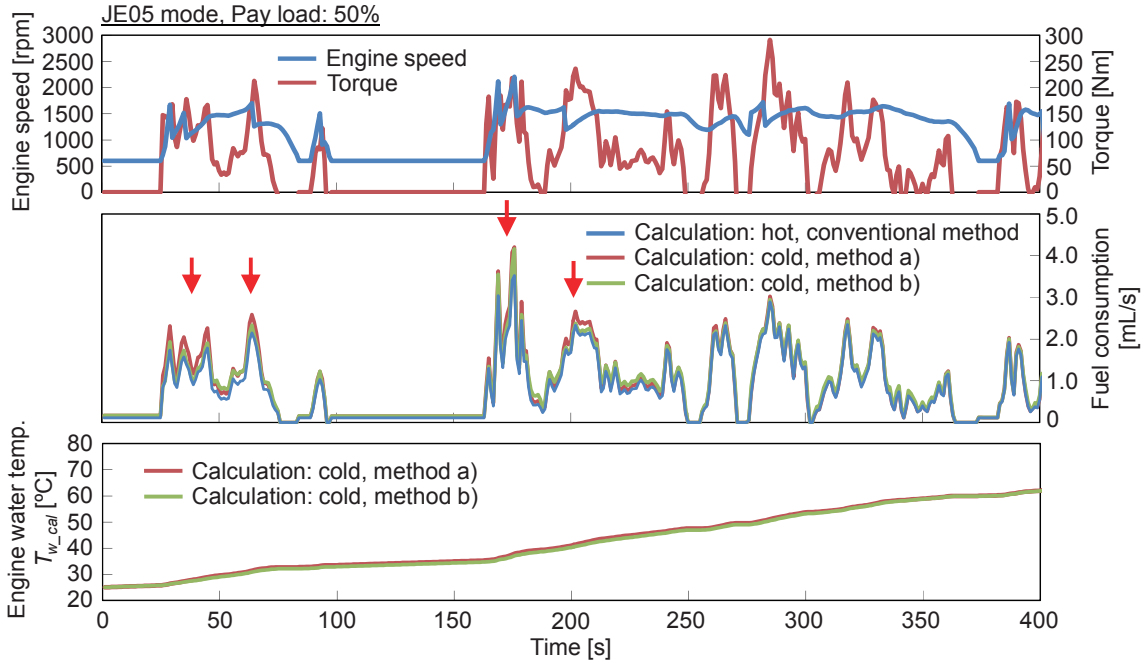


図 15　代表的な車両諸元における JE05(Cold モード)と JE05(Hot)モードの瞬時燃料消費量の計算結果

講演４．自動走行システムの安全性確保に関する基礎的研究

－故障発生時にドライバが手動操作を引き継ぐために必要な時間的余裕について－

自動車研究部　　※児島 亨　　波多野 忠

１．はじめに

自動運転（自動走行）システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減、④高齢者等の移動支援、⑤快適性の向上という効果が期待され、世界一安全な道路交通社会を目指す我が国にとって、関連技術の開発やその普及に向けた環境整備は極めて重要であり、内閣府による SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画[1]においてもさまざまな研究テーマが掲げられ、実施されている。

表 1 に上記研究開発計画における自動走行システムの定義を示す。ドライバが運転操作に介入することを想定しないレベル 4 の完全自動走行システムを別とすると、自動走行中にシステムからドライバへ運転操作の主体が遷移（transition、権限委譲とも言う）する状況が発生する。システムからドライバへ運転操作の主体を安全かつ円滑に遷移させることは、レベル 2～3 の準自動走行システムにおける重要な課題の一つである。

本研究では、直接的な運転操作からは解放されるが周辺環境やシステムの状態をドライバが常時監視することを前提とするレベル 2 の自動走行システムを対象に、システムからドライバへ運転操作の主体が遷移する際に必要な時間的余裕について、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という。）実験の結果から考察することとした。遷移が発生する状況については、ドライバにとって予測が困難であり可及的速やかな対応が求められるシステムの故障発生時とした。

表１　自動運転レベル及びそれを実現する自動走行システム・運転支援システムの定義[1]

自動運転レベル	概要	注（責任関係等）	左記を実現するシステム	
レベル 1	加速・操舵・制動のいずれかをシステム が行う状態	ドライバー責任	安全運転支援システム	
レベル 2	加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態	ドライバー責任 ※監視義務及びいつでも安全運転できる態勢	準自動走行システム	自動走行システム
レベル 3	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態	システム責任（自動走行モード中） ※特定の交通環境下での自動走行（自動走行モード） ※監視義務なし（自動走行モード：システム要請前）		
レベル 4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態	システム責任 ※全ての行程での自動走行	完全自動走行システム	

ただし、いずれのレベルにおいても、ドライバーは、いつでもシステムの制御に介入することができる。

２．実験方法

２．１．本研究で対象とする自動走行システム

本研究で対象とする自動走行システムは、高速道路の走行車線においてシステムが周辺の交通車両を監視しながら車線維持及び追越しを自動で行う自動命令型操舵機能（以下、「自動操舵」という。）に定速走行・車間距離制御装置（Adaptive Cruise Control、以下、「ACC」という。）を組み合わせたシステムとした。本システムが正常に作動している間は、ドライバによるステアリングホイール（以下、「ハンドル」という。）、アクセル及びブレーキ操作は不要であり、ドライバはハンドルから手を離した状態とした。

２．２．実験場面について

本研究ではシステムからドライバへ運転操作の主体が遷移する場面として、システムに故障が発生することによって自動操舵を継続できなくなり、ドライバに可及的速やかかつ的確なハンドル操作が求められる状況として下記の２場面を設定した。

１）カーブ走行中の故障発生（場面 1）

図 1 に実験場面の概要を示す。実験参加者は自動走行システムを使用して高速道路を走行する。第 1 車線の半径 300m の左カーブを速度 100km/h で旋回中に自動操舵の故障が発生し、音と表示による警報が行われる。故障によりカーブ走行に必要な操舵トルクが発生しなくなるため、前輪のセルフアライニングトルクによりハンドルは中立に戻ろうとする。ドライバがカ

ーブ走行を続けるためのハンドル操作を引き継がなかった場合は、車両はカーブの外側方向に車線を逸脱する。

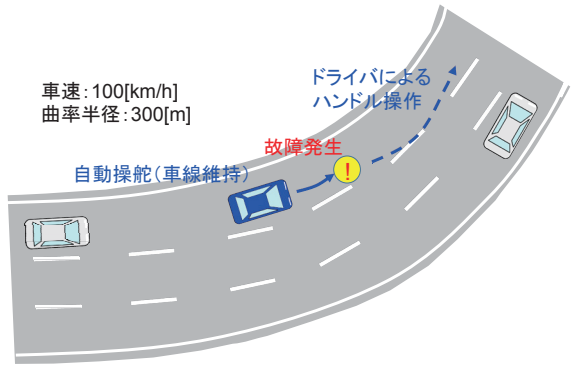


図 1　実験場面の概要（場面 1）
（カーブ走行中の故障発生）

図 2 及び表 2 は本実験場面における実験パラメータを示している。システムを停止する方法として、図 2 に示す case1 と case2 を設定した。本実験では例えば自動操舵に必要な操舵トルクを発生させるステアリング系アクチュエータ等の故障を想定しているが、故障通知の警報開始と同時に操舵トルクを 0 にする case1 に対し、case2 の場合は何らかのフェールセーフ手段により、旋回するために発生していた操舵トルクをある程度時間をかけて徐々に低下させることが可能なケースを想定している。次に、故障発生をドライバに通知するための警報を開始してからシステムを停止するまでの時間は、表 2 に示す 0 秒、2 秒、4 秒の 3 水準を設定した。この時間は故障発生時にドライバが手動操作を引き継ぐまでの時間的余裕に相当

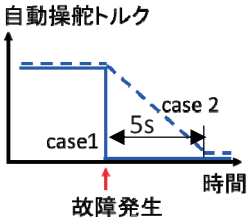


図 2　自動操舵トルクを停止する方法

表 2　実験条件一覧（場面 1）

自動操舵トルク停止方法	一定時間毎のボタン操作	故障を通知する警報開始からシステムを停止するまでの時間		
		0[s]	2[s]	4[s]
case 1	–	実施	実施	実施
	1分間隔	実施	-	-
	5分間隔	実施	-	-
case 2	–	実施*	-	-

*故障通知警報開始時より操舵トルクを徐々に減少させる

するが、今回はシステムの作動を継続することが困難な故障発生を想定し、比較的短めの設定とした。 更に、本場面では、表 2 の case 1 と 0 秒の組合せに限り、システムを継続して使用するためにシステムが正常に作動している間、定期的（1 分間隔及び 5 分間隔）にシステム起動用のボタンを操作するタスクを行うケースについても実施した。

2）車線変更中の故障発生（場面 2）

図 3 に実験場面の概要を示す。実験参加者は自動走行システムを使用して高速道路を走行する。前方車両を追い越すため、第 1 車線から第 2 車線へ車線変更している最中に自動操舵の故障が発生し、音と表示による警報が行われる。右方向へ操舵を開始し、第 1 車線から第 2 車線へ車両が横移動する間のほぼ中間地点（ハンドルの舵角は 0 度付近）で操舵トルクを 0 にするため、ドライバが車線変更を続けるためのハンドル操作を引き継がなかった場合には、車両は第 3 車線に向かって車線を逸脱する。

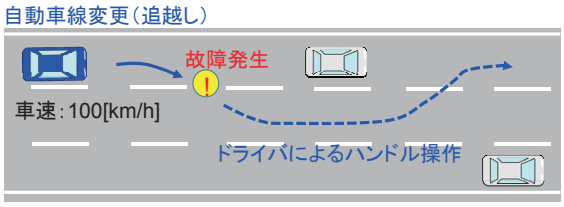


図 3　実験場面の概要（場面 2）
（車線変更中の故障発生）

図 4 及び表 3 は本実験場面における実験パラメータを示している。車線変更を開始してから終了するまでの時間（車線変更時間）については、短いほど横移動の速い車線変更となる。今回の実験では 3 秒（やや急いだ車線変更を想定）と 6 秒（通常の車線変更を想定）の 2 水準を設定した。故障発生を通知する警報を開始

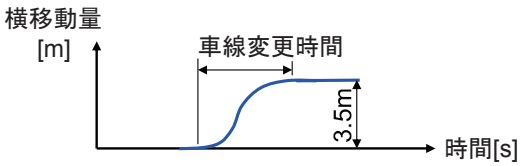


図 4　車線変更時間の定義

表 3　実験条件一覧（場面 2）

車線変更時間	故障を通知する警報開始からシステムを停止するまでの時間	
	0[s]	2[s]
3[s]	実施	-
6[s]	実施	実施

・自動操舵トルクを減少させる方法は図2に示すcase1で実施
・一定時間毎にボタンを操作するタスクは実施せず

してからシステムを停止するまでの時間については、0 秒と 2 秒の 2 水準を設定した。なお、4 秒の条件については、車線変更を開始する前に警報を開始することとなることから、設定しなかった。

2．3．その他の実験条件

表 4 及び表 5 は上記 2 つの実験場面において、故障が発生するまでの間（自動走行システムは正常作動）の走行時間、カーブ走行の回数及び追越しの回数を表したものである。故障発生までの走行時間が短い（約 4 分）シナリオは、システムの使用経験が短い状況において故障が発生した場合を想定し、カーブ走行及び追越しともに少ない回数とした。短時間のシナリオは各実験参加者の最初の実験として実施することとし、実験パラメータは、カーブ走行中の故障発生に関しては表 2 に示した組合せ中の“case1、0 秒後停止、定期的なボタン操作無し”とし、車線変更中の故障発生に関しては表 3 に示した組合せ中の“車線変更時間 3 秒、0 秒後停止”を実施することとした。一方、故障発生までの走行時間が長いシナリオ（約 25～39 分）は、システムの正常な作動を経験する時間（回数）が十分に多い状態において故障が発生した場合を想定し、カーブ走行及び追越しの回数を設定した。長時間のシナリオについては表 2 及び表 3 に示した全ての実験パラメータを実施した。長時間のシナリオを複数設定した理由は、毎回同じタイミングで故障が発生することによって、実験参加者が故障発生を待ち構えるようになることを抑制するためである。

なお、本実験ではレベル 2 の自動走行システムを対象とすること及び 1 回の走行時間が DS 実験としては比較的長いことから、実験中にドライバの前方視線や注意力を阻害することを意図するサブタスクは実施しなかった。

表 4　実験シナリオの時間及び作動回数（場面 1）

		短時間	長時間		
実験シナリオの時間（故障発生時点まで）		約4分	約25分	約30分	約35分
システムが正常に作動する間にカーブを走行する回数	半径300[m](左)	0回	5回	6回	7回
	半径500[m](左)	1回	5回	6回	7回
	半径800[m](右)	1回	10回	12回	14回
システムが正常に作動する間に追越しを実行する回数		3回	15回	18回	21回

表 5　実験シナリオの時間及び作動回数（場面 2）

		短時間	長時間		
実験シナリオの時間（故障発生時点まで）		約4分	約26分	約32分	約39分
システムが正常に作動する間にカーブを走行する回数	半径300[m](左)	0回	0回	0回	0回
	半径500[m](左)	1回	8回	10回	12回
	半径800[m](右)	1回	8回	10回	12回
システムが正常に作動する間に追越しを実行する回数		3回	24回	30回	36回

図 5 は実験に使用した Human Machine Interface（以下、「HMI」という。）である。DS の車内に設置したスピーカーからの音（故障通知の警報音は 2kHz の音を断続音形式（ピピピピ）で約 1 秒間）及びモニタ画面への表示による HMI とした。自動操舵（図中 ACSF）の故障を通知する際に、「手動でハンドル操作してください」と表示することによって、ドライバに求める手動操作がハンドル操作であることが伝わるようにした。

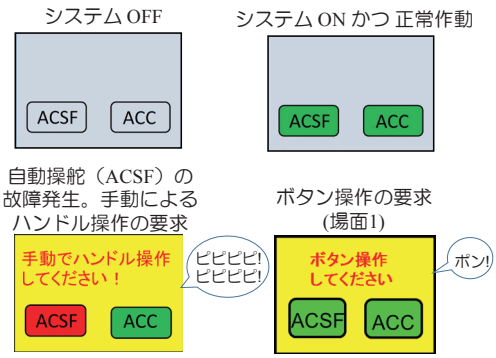


図 5　実験に使用した HMI

図 6 に DS の外観及び運転席周辺を示す。本実験に使用した DS は小型乗用車の車体を使用しており、運転席及び操作系に関しては実車と同じである。また、各種の動揺装置により、ドライバは旋回時や車線変更時の車両の運動を体感することが可能である。運転席右側のボタンを押すことにより、自動操舵と ACC が同時に起動するものとした。なお、自動走行システムを使用中は、前方の道路線形及び車線変更中の進路に合わせ、DS のハンドルが転舵する方式とした。

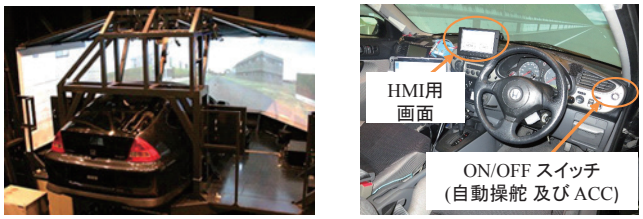


図 6　実験に使用した DS の外観及び運転席

2．4．実験参加者の構成及び手続き

実験参加者は日常的に運転を行う 20 代後半から 70 代前半の男女 30 名（男性 17 名、女性 13 名。そのうち、65 歳以上の高齢者は男性 2 名、女性 3 名）で構成した。実験参加者に対し、書面と口頭で実験内容、

進行順序及び注意事項等について説明を行った後に、実験参加者の意思により同意書へ署名してもらった。また、本実験は独立行政法人自動車技術総合機構　交通安全環境研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき事前承認を得た後に実施した。

実験前の説明では、システムの機能について説明した後、システムを使用中は、危険を回避するために手動操作が必要であるとドライバ自身が判断した場合またはシステムの異常を通知する警報があった場合を除き、ハンドルから手を離した状態とするように教示した。また、実験を開始する前の練習走行では、最初に自動走行システムを使って走行し、システムの作動を体験してもらうとともに、オーバーライドについても体験してもらった。目安となる練習時間（10 分程度）が経過した時点で、「システムの機能について理解した上で信頼して使うことができそうか？」を実験参加者に口頭で質問し、「YES」の回答が得られたら、次に DS の車両特性に慣れるための手動運転による練習を行った。なお、故障発生により運転操作の主体が遷移する場面については練習を行わなかった。

本実験では全ての実験参加者に対し、表 2 及び表 3 で示した全ての実験ケースを実施した。実験の順序は自動走行システムの使用経験が少ない状況を想定した短時間のシナリオを最初に行い、その後、長時間のシナリオに移ることとした。長時間のシナリオでは実験順序による影響を抑制するため、実験参加者毎に順序を変えて実施した。また、長時間のシナリオを 2 回実施する毎に 10～15 分程度（昼休みは 1 時間）の休憩を取ることとした。

2．5．計測するデータ及び解析方法

本実験では、運転操作に関するデータ及び車両の走行軌跡に関するデータを時系列に計測し、故障通知の警報が行われてからドライバがハンドルを握るまでの時間（以下、ハンドル反応時間とする）及び右前輪の車線逸脱量（カーブ走行の場面では第 1 車線と第 2 車線の、車線変更の場面では第 2 車線と第 3 車線の境界線に対する逸脱量）について、統計的に有意な差の有無を確認するため、有意確率を 5%または 1%として平均値の差の検定を行った。また、実験結果は実験参加者内要因として解析した。

3．実験結果

本章では長時間のシナリオで取得した実験データについて解析した結果を報告する。

3．1．カーブ走行中の故障発生

図 7 は、全実験参加者の長時間シナリオのデータを用いて、実験条件の違いによるハンドル反応時間を比較した結果である。ハンドル反応時間は平均＋標準偏差で 1.0～1.3 秒程度であり、有意確率 5%で有意な差は見られなかった。図 8 は図 7 と同じ実験条件における右前輪逸脱量最大値を比較した結果である。ドライバにとって最も時間的な余裕が少ない“case 1、0 秒後停止”の条件において、平均＋標準偏差で約 3.2m の車線逸脱となり、他の 3 つの実験条件に対し有意確率 1%で有意な差となった。残りの 3 つの実験条件間については、いずれも平均＋標準偏差では逸脱には至らず、有意確率 5%で有意な差は見られなかった。

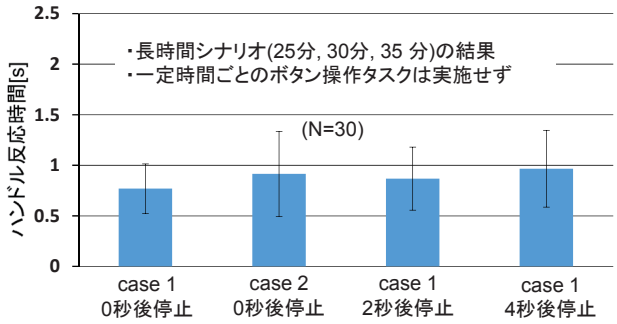


図 7　ハンドル反応時間の比較

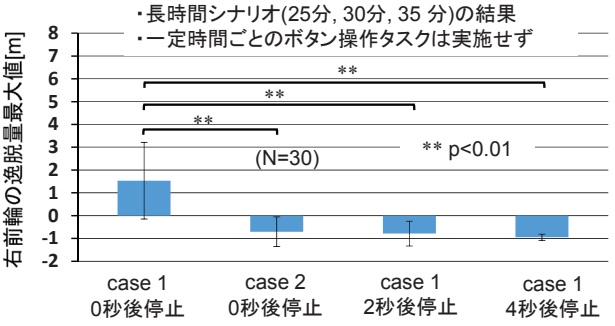


図 8　右前輪の逸脱量最大値の比較

図 9 は HMI からのボタン操作要求に従って定期的にシステム起動用の押しボタン操作を行ったケースにおいて、故障通知の警報開始後にハンドルを握るべきところを誤ってボタンを操作した（または操作しようとした）人の数を集計した結果である。1 分間隔のケースにおいては全体の 43%に相当する 13 名においてボタンの誤操作が確認された。図 10 は 1 分間隔のケースで誤操作した 13 名についてハンドル反応時間を比較した結果である。ボタン操作を行わないケースと比較して、平均＋標準偏差で 1 秒程度ハンドル反応

時間が増加しており、有意確率 5%で有意な差となった。また、図 11 は同じ 13 名について右前輪の逸脱量最大値を比較した結果である。ボタン操作を行わないケースと比較して、平均＋標準偏差で車線逸脱量が約 3m 増加しており、有意確率 5%で有意な差となった。今回の実験結果は、ドライバがシステムを継続して使用することの意思表示として単純な操作を一定の間隔で続けると、ドライバにとって無意識の行動となり、突発事象に対する状況認識を誤るリスクがあることを示唆していると考えられる。

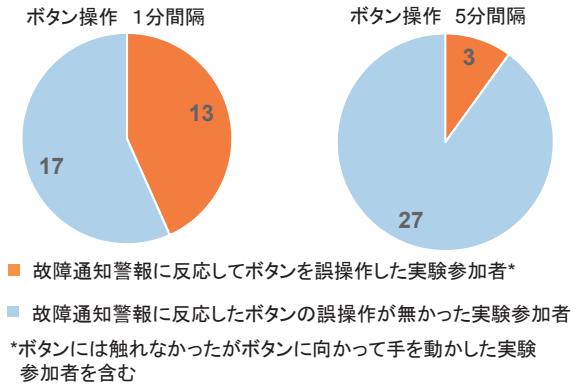


図 9　ボタンを誤操作した人数の比較

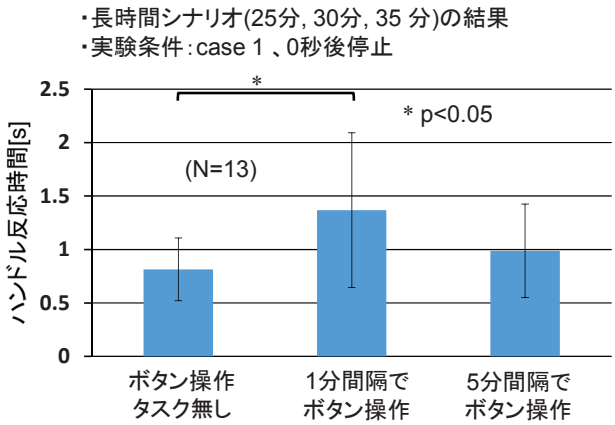


図 10　ハンドル反応時間の比較

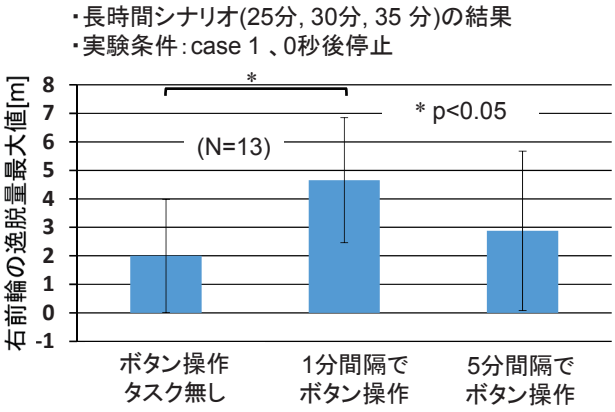


図 11　右前輪の逸脱量最大値の比較

以上の結果から、カーブ走行中の故障発生に関しては、故障通知の警報開始から 2 秒程度の間、旋回に必要なハンドル舵角が維持されることが望ましいが、それが困難な場合には、警報開始時点から自動操舵トルクを徐々に低下させる方法が、ハンドル操作を引き継ぐ際の時間的余裕を確保するために有効である。今回の実験では、警報開始から 5 秒かけて自動操舵トルクを徐々に低下させたところ、多くのドライバは車線から逸脱すること無く旋回を継続することが可能であった。なお、今回の結果は DS 実験の環境で得られたものであり、実際のシステムを使用中に故障が発生した場合のハンドル反応時間はより長くなる可能性もあると考えられる。

3．2．車線変更中の故障発生

図 12 は全実験参加者の長時間シナリオのデータを用いて、実験条件の違いによるハンドル反応時間を比較した結果である。ハンドル反応時間は平均＋標準偏差で 1.0～1.8 秒程度であるが、“車線変更時間 6 秒、2 秒後停止”の条件は他の 2 つの条件よりもハンドル反応時間がやや長く、有意確率 5%で有意な差が見られた。図 13 は図 12 と同じ実験条件における右前輪逸脱量最大値を比較した結果である。ドライバにとって最も時間的余裕が少ない“車線変更時間 3 秒、0 秒後停止”の組合せにおいて、平均＋標準偏差で約 1m の逸脱が見られた。この結果を他の 2 つのケースと比較すると、“車線変更時間 6 秒、0 秒後停止”に対しては有意確率 5%で有意な差となったが、逸脱量により大きな違いが見られる“車線変更時間 6 秒、2 秒後停止”に対しては有意確率 1%で有意な差となった。“車線変更時間 6 秒、0 秒後停止”及び“車線変更時間 6 秒、2 秒後停止”については、いずれも平均＋標準偏差で逸脱まで至らなかった。なお、“車線変更時間 6 秒、2 秒後停止”の条件では、平均＋標準偏差が負の値で絶対

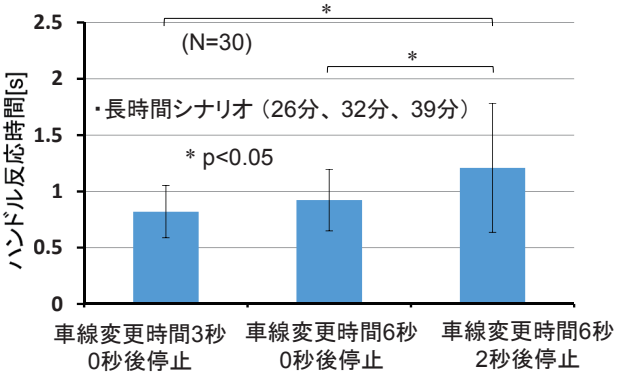


図 12　ハンドル反応時間の比較（場面 2）

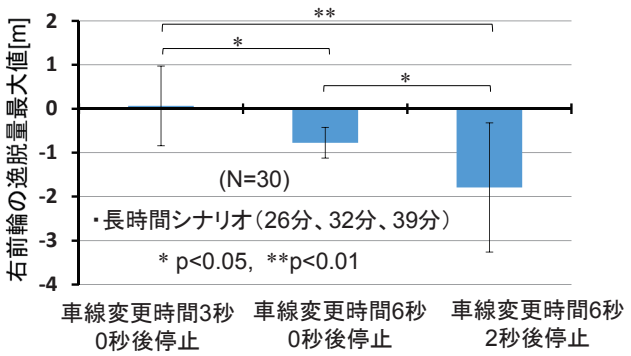


図 13　右前輪の逸脱量の比較（場面 2）

値がより大きな値となっているが、これは一部の実験参加者が警報に反応してハンドルを握った後に車線変更を中止して第 1 車線に残ったためである。

以上の結果から、車線変更中の故障発生に関しては、ハンドル反応時間の実験結果（平均値＋標準偏差で 1.0～1.8 秒程度）から、故障通知の警報開始から 2 秒程度の時間的余裕が必要であると考えられる。時間的余裕を確保するための方法として、警報開始から 2 秒程度の間、システムによる制御が継続されることが望ましいが、それが困難な場合には、システムが正常な状態における車線変更時間をある程度長めに確保する方法が、ハンドル操作を引き継ぐ際の時間的余裕を確保するために有効である。今回の実験では、車線変更時間を 6 秒に設定したところ、警報開始と同時にシステムによる制御を停止しても多くのドライバは車線から逸脱すること無くハンドル操作を引き継ぐことが可能であった。なお、今回の結果は DS 実験の環境で得られたものであり、実際のシステムを使用中に故障が発生した場合のハンドル反応時間はより長くなる可能性もあると考えられる。

4．まとめ

本研究は、DS を用いて一般のドライバを対象に、ドライバによる周辺環境及びシステムの監視が常時行われることを前提とした自動走行システム（自動運転レベル 2 に相当）を使用中に自動操舵機能の故障が発生し、手動操舵へ遷移する場面の実験を行った。ドライバにとって可及的速やかに正確なハンドル操作が求められる状況として、カーブ走行中の故障発生及び車線変更中の故障発生の 2 つの場面について実験を実施した。実験の結果から以下のことが分かった。

・ドライバがハンドルから手を離している状態で自動走行システムの故障が発生した際に、ハンドル操作を安全に引き継ぐためには、2 秒程度の時間的余裕が必要であると考えられる。

・時間的余裕を確保するための方法として、故障通知の警報開始から 2 秒程度の間、システムによる制御が継続されることが望ましい。その他の方法として、カーブ走行の場合には、警報開始後徐々に制御を停止する方法は有効である。今回の実験では、警報開始から 5 秒かけて自動操舵トルクを徐々に低下させたところ、多くのドライバは車線から逸脱すること無く旋回を継続することが可能であった。また、車線変更の場合には、システムが正常な状態における車線変更時間をある程度長めに取る方法は有効である。今回の実験では、システム正常時の車線変更時間を 6 秒に設定したところ、警報開始と同時にシステムによる制御を停止しても多くのドライバは車線から逸脱すること無く車線変更を引き継ぐことが可能であった。

・システムを継続して使用するために一定の時間間隔で単純な操作をドライバに要求する方法は、緊急時にドライバが状況認識を誤るリスクがある。

本研究は内閣府が実施する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システムに関連した平成 27 年度国土交通省受託調査「自動走行システムの安全性確保に必要な HMI の要件に係る基礎調査」によるもので、本講演は調査結果を抜粋して報告するものである。

参　考　文　献

(1) 内閣府：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画（2016）

(2) SAE：Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems、J3016-201401(2014)

講演５．自動運転車に求められる故障診断システムのあり方

自動車研究部　　※後閑 雅人　　田中 信壽　　安本 まこと

１．はじめに

政府は、中央交通安全対策会議（平成 28 年 3 月）において「第 10 次交通安全基本計画」を策定し、2020 年までに国内における交通死亡者数を2,500人以下とし、世界一安全な道路交通を実現することを目標としている。この目標を達成するための手段の一つとして、先進運転支援システム（Advanced Driver Assistance Systems。以下「ADAS」という。）の高度化と自動走行システムの実用化が検討されている。

内閣府が平成 28 年 6 月にまとめた SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の自動走行システムの研究開発計画では、自動走行システムに関して表 1 に示すレベル分けを実施している[1)]。自動走行システムによって自動走行を行う車両（以下「自動運転車」という。）は、全ての安全に関する機能が常に正常に作動している必要がある。自動走行システムが故障もしくは気象条件等外的要因によってシステムが正常に作動できない状態（これらの状態をまとめて、以下「故障等」という。）に陥った場合、自動走行システムの安全性は低下し、交通事故が発生する可能性がある。よって、自動走行システム自身が故障等を検出する機能が必要になると考えられる。このような背景を踏まえ、本調査は自動走行システムの安全性・信頼性を確保するための車両診断装置（On-Board Diagnostics。以下「OBD」という。）のあり方について検討を行った。

本調査は、まず自動走行システムの基盤となることが予想される ADAS のセンサ構成、仕様及び OBD の現状について調査を行った。次に、スキャンツールを用いて実車による OBD の状況について確認を行った。最後に、調査結果を踏まえ、自動走行システムを想定した OBD のあり方について基礎的な検討を行った。

表１　自動走行システムのレベル分け

分類	概要	責任関係等
レベル 1 単独型	加速･操舵･制動のいずれかの操作をシステムが行う	ドライバ責任
レベル 2 複合化	加速･操舵･制動のうち複数の操作をシステムが行う	ドライバ責任 ※監視義務及びいつでも安全運転できる態勢
レベル 3 高度化	加速･操舵･制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバが対応する状態	システム責任 （自動走行モード中） ※特定の交通環境下での自動走行 （自動走行モード） ※監視義務なし （自動走行モード : システム要請前） ※ドライバ操作中はドライバ責任
レベル 4 自動走行	加速･操舵･制動を全てドライバ以外が行い、ドライバが全く関与しない状態	システム責任 ※全ての行程での自動走行

２．ADAS の仕様調査

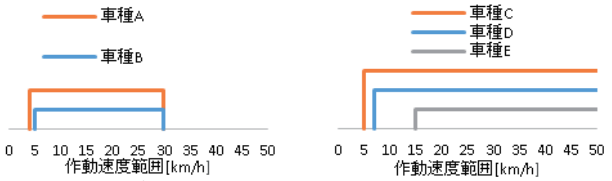
本調査では、OBD が診断する機能を明らかにするために、まず ADAS の仕様について搭載されているセンサごとに調査を行った。

運転の基本である制動･操舵･加速に大きく関わる自動ブレーキ（Autonomous Emergency Braking system。以下「AEB」という。）、車線維持支援装置（Lane Keeping Assist System。以下「LKAS」という。）及び車間制御機能付定速走行装置（Adaptive Cruise Control。以下「ACC」という。）を取り上げ、調査を実施した。調査は、各自動車メーカーのホームページをもとに、システムの作動範囲をとりまとめることによって行った。以下に、AEB についての調査結果を示す。

図 1（a）に赤外線レーザーレーダーを搭載した車両の AEB 作動速度範囲、図 1（b）にミリ波レーダーを搭載した車両の AEB 作動速度範囲を示す。赤外線

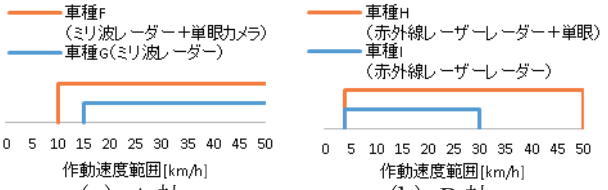
レーザーレーダー搭載車は、車速度が約 5～30km/h の範囲で AEB が作動し（図 1（a））、また、ミリ波レーダー搭載車は、車速度が約 15km/h 以上の範囲で AEB が作動する（図 1（b））仕様になっている。この作動速度範囲の違いを生む主な要因は、センサの物体検知が可能な距離である。ミリ波レーダーの周波数帯域は主に 76GHz 帯であり、100m を越えた距離まで対象物を検知することができる。一方で、赤外線レーザーレーダーは、ミリ波レーダーよりも波長（760nm 程度）が短いため対象物までの測距分解能は高いものの、測定距離が 10m 程度に限られる。センサの検知可能な距離が長くなるほど、衝突回避や被害軽減を実現するための時間的余裕が増えるため、一般的に AEB の作動速度範囲は広くなる。

本調査では、センサ単体と複数のセンサによる AEB について作動速度範囲の比較も行った。一例として図 2（a）に A 社のシステム、図 2（b）に B 社のシステムの調査結果を示す。図 2（a）に示すように、A 社のシステムでは広範囲の物体検知が可能なミリ波レーダーに、近距離の物体検知を得意とする単眼カメラを組み合わせることによって、10km/h 以上の速度で AEB を作動させることを実現している。また、図 2（b）に示すように、B 社のシステムでは赤外線レーザーレーダー（物体検知可能距離：6～8m）に、単眼カメラ（物体検知可能距離：15m 以下）を組み合わせることで、AEB の作動速度範囲の上限を 30km/h から 50km/h に拡張していた。この作動速度範囲はシステムが作動できる可能な範囲を示したものであり、センサが正常に機能していることが前提条件である。そのため、センサの故障や経年劣化等の状態を的確に判断する自己診断機能が重要となる。



（a）赤外線レーザー　（b）ミリ波レーダー

図 1　レーダー搭載車の AEB 作動範囲



（a）A 社　（b）B 社

図 2　センサの組み合わせによる AEB 作動範囲

3．ADAS における OBD の現状

3．1．OBD の概要

OBD は、元々自動車の排出ガス低減装置に関する診断を行うために、開発されたものである。近年では、自動車各部の故障診断にも使用されている。OBD は、一般にエレクトロニックコントロールユニット（Electronic Control Unit）等の機能を使い、装備の故障や制御状況を読み取ったり、部品交換後の初期設定等を行ったりすることが可能である。OBD では、故障を発見すると故障診断コード（Diagnostic Trouble Code。以下「DTC」という。）をメモリ上に記録する。この DTC は、故障原因の特定と整備方針を決めるものであり、専用のスキャンツールで読み取ることができる。OBD における DTC は 5 桁の英数字で構成され、故障の関連場所やその内容を知ることができる。また、DTC は ADAS にも対応しており、センサの故障等を診断することができる。図 3 に DTC が示す故障内容の概要を示す。

エンジンコントロールユニット（Engine Control Unit）は DTC を記憶すると同時に、その瞬間のエンジン冷却水温やエンジン回転数、負荷の状態などを記憶するようになっている。この記憶するデータをフリーズフレームデータといい、OBD には必ずこの機能を有することが求められている。記憶する項目内容はある程度規格化されているが、各社独自に診断を行っている項目もある。現在、ドイツでは既に、OBD スキャンツールを用いた自動車検査が実施されている。

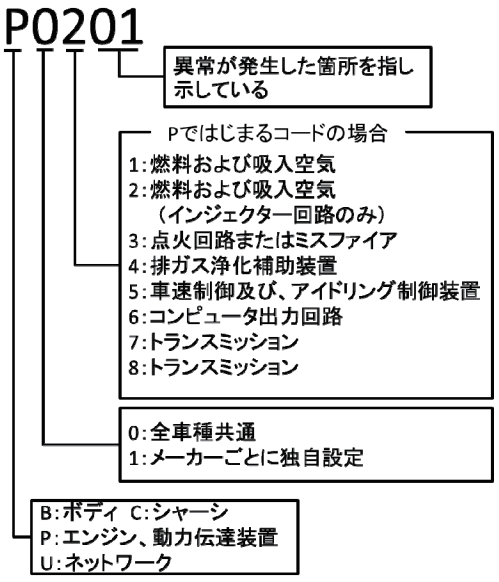
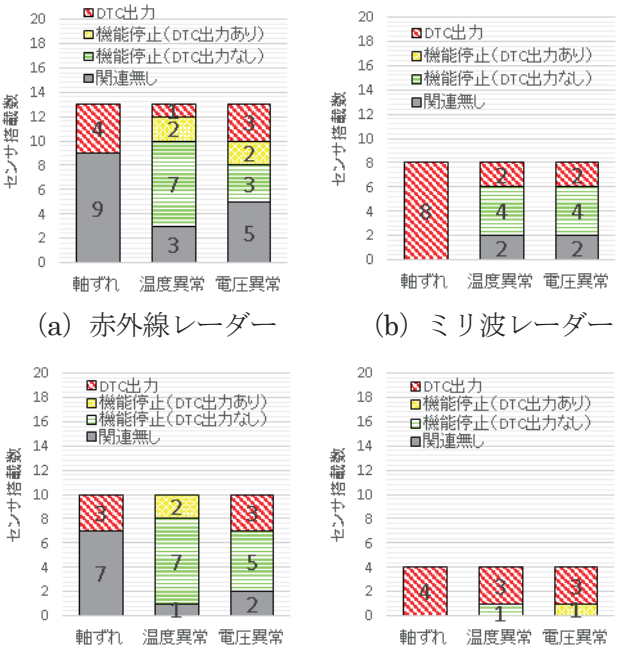


図 3　DTC が示す故障内容

３．２．自動車メーカー各社の OBD の現状分析

本調査は、OBD で出力される DTC について、各車両の整備マニュアルに記載されている情報をもとに調査を行った[2]。今回の調査では、7 社 26 車種（赤外線レーザーレーダー搭載：8 車種、ミリ波レーダー搭載：4 車種、赤外線レーザーレーダー＋単眼カメラ搭載：4 車種、ミリ波レーダー＋単眼カメラ搭載：3 車種、ステレオカメラ搭載：4 車種、単眼カメラ搭載：2 車種、赤外線レーザーレーダー＋ミリ波レーダー＋単眼カメラ搭載：1 車種）を対象としている。各自動車メーカーでは、センサが機能を果たせるかどうかを確かめるために「軸ずれ（センサの取り付け角度が一定の範囲内であるか）」、「温度異常（センサ内部の温度が可動範囲内であるか）」、「電圧異常（センサに供給されている電圧が可動範囲内であるか）」の診断項目を重要視していた。そこで、この診断項目ごとに「DTC 出力」と「機能停止」をする車種数の調査を行った。「機能停止」とは、故障ではないがシステムが正常に作動できない状態にあるため、一時的に機能を停止することを示している。その調査結果を図 4 に示す。図 4（b）及び（d）に示すように、ミリ波レーダーとステレオカメラ搭載車の全ての車種が、軸ずれの DTC 出力を行っていた。軸ずれの DTC が出力された場合は整備が必ず要求され、部品交換やエーミングの再調整が主な対処方法であった。また、図 4 に示すように、センサに関係なく半数以上の車種が温度異常と電圧異常を診断していた。温度異常では、異常を検知すると仮故障とし、機能を停止する。その後、時間をおいて再起動した際に異常があると、DTC 出力がされ、整備を要求する対応が一般的であった。

調査を実施する過程で、システムを構成する個々の装置により、故障だけでなくシステムが正常な状態であるかどうかの診断を行っていることがわかった。例えば、カメラは逆光に弱く、レーダーは電波の干渉を受けることによって正常に作動できない等が想定される。このような装置の故障ではないが、作動環境によって各装置が故障に準じるような作動不全を起こしているかどうかを診断する機能（以下「自己作動診断機能」という。）を車両は持っており、機能を停止するコード（以下「キャンセルコード等」という。）を出力する場合がある。キャンセルコード等を出力する際に、メーターパネルにも警告が表示されるシステムもある。



（a）赤外線レーダー　（b）ミリ波レーダー

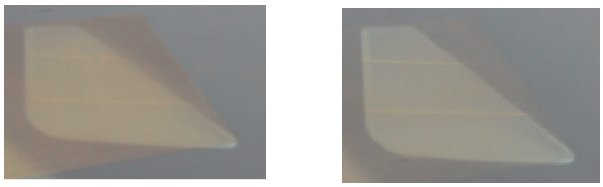
（c）単眼カメラ　（d）ステレオカメラ

図 4　センサ別 DTC 表示台数の内訳

３．３．スキャンツールによる DTC の調査

本調査は、3.2 節で調査した自己作動診断機能について実車を用いて調査を行った。調査対象は、ステレオカメラを搭載した車両 1 台とし、スキャンツールを用いて、ステレオカメラの一方が汚れた場合に行われる自己作動診断機能について調査を行った（図 5）。今回の検証では、フロントガラスを汚すことによりステレオカメラの機能不全を想定している。図 6 に車外から撮影したフロントガラスの汚れ具合を示す。この汚れは、JIS（Z 8901）試験用粉体 1 の 11 種（関東ローム）を使用し、フロントガラスに汚れが均一になるよう塗布した（図 6（a））。このようにフロントを汚すとカメラの視界確保が充分に行えず、一時的にシステムの性能を発揮することができない状況に陥ってしまう可能性がある。メーターパネルには「プレセーフ機能が現在制限されています。取扱説明書を参照」という警告が表示され、ドライバに機能が制限されていることを示していた。この状態にてスキャンツールによる自己作動診断結果を確認したところ、「マルチファンクションステレオカメラの視野は完全に制限されています」という診断が行われていることが確認された。 また、この診断項目は、最初に発生した際の総走行距離、最後に発生した際までの発生回数、最後に発生した際の総走行距離、最後に発生したイグニッション数が記録される。

図 5　スキャンツールによる自己作動診断の検証



(a) 警告表示あり　　(b) 警告表示なし

図 6 ステレオカメラ（片側）の汚れ具合

その後、本調査では、このカメラの汚れを徐々に除去し、メーターパネルに示した警告「プレセーフ機能が現在制限されています。取扱説明書を参照」が消える状態を調査した。図 6（b）に上記メッセージが出力されなくなる汚れ具合を示す。この汚れ具合では、ドライバは汚れが全くない状態と思い込んで運転をすることが想定される。この汚れによって衝突回避や被害軽減の性能が低下していると、ドライバの思い込みによる交通事故の発生が懸念される。よって、このような状態においても、通常の状態と同等の安全性能が発揮できているかどうか、実際に性能評価が必要であると考えられる。

4．自動走行システムにおける OBD のあり方

調査の結果、ADAS は OBD による自己診断機能を備えていることを確認した。この自己診断機能は装置の故障を診断するものであり、自動走行システムにおいても必要不可欠な機能であるといえる。しかし現状の OBD の診断手法だけでは、自動走行システムの診断機能の実現は難しいことが予想される。例えば、カメラを用いて車線を認識することによって車線維持支援機能を実現するシステムで、カメラの性能劣化が生じた場合（図 6（b）のようにカメラの視界確保は充分でないが、警告が表示されない状態）、このような症状が発生すると車線のエッジ抽出が困難となり車線の認識性能が低下し、かすれた車線境界線など通常時でも車線認識に高い性能が必要とされる状況で、車線認識が断続的となる可能性がある。その場合、車線維持支援機能として行われる操舵制御も断続的となり、車両の挙動にふらつきが生じることが考えられる。このような状態が、自動走行の安全性にどの程度影響を及ぼすか検証する必要がある。車両の挙動が、ドライバの運転以上にふらつく場合は、このふらつき度合いを定量的に診断、自動走行の可否を検討する必要もあると考えられる。このように自動走行システムの診断機能は、装置個々の作動状態を診断するだけではなく、その機能の性能が車両の挙動として現われるデータ（物理量）を常時計測・記録し、その変化を分析することで機能の性能状態を診断するという新たな概念の自動走行システムの診断機能（以下「自己自動走行診断機能」という。）が必要になると考えられる。

3.3 節で調査した自己作動診断機能は装置単位の診断ではあるが、装置が正常に作動していても外的要因の影響によって装置が正常に作動できない状態を診断していることが確認された。この診断は、自動走行システムの診断を行う上で、不可欠な診断項目と考えられ、自己自動走行診断機能を実現する第一歩であるといえる。現状の OBD でもこのような概念がすでに存在しており、この診断機能をさらに発展させ、装置単位ではなく自動走行の機能の診断を目指すことで自己自動走行診断機能の実現は視野に入ってくると考えられる。

5．まとめ

本調査では、自動走行システムの安全性･信頼性を確保するための OBD のあり方について検討してきた。現状では、OBD は ADAS に対する診断機能を備えており、この機能は自動走行システムにおいても必要不可欠な機能であるといえる。ただし、自動走行システムで使用するには装置単位の診断のみならず、自動走行の機能単位での診断が必要である。今後は、この機能単位で行う診断方法のシステム要件や診断項目の検討が必要であると考えられる。

参考文献

1) 内閣府政策統括官，“戦略的イノベーション創造プログラム”，自動走行研究開発計画，(2016)
2) 日本自動車整備振興会連合会，“FAINES：インターネットを活用した整備情報提供システム”

講演６．自動車安全にかかわるセキュリティの課題

自動車研究部　　※新国 哲也　　河合 英直

１．はじめに

自動車には様々な装置が搭載されている。それらを制御する各コンピュータは車両内部のネットワーク（例えば Controller Area Network: CAN）に接続され、これを介したコンピュータ同士の連携により自動車全体を統括的に制御している。近年では車両内部のネットワーク通信の高速化が進み、車両の走行・停止・転回など基本的かつ重要な機能に係る制御にも車両内部のネットワークが使用されている。

このような状況においては、車両内部のネットワーク上でやり取りされる制御信号の保全が、車両制御を確実にするための重要な要素となる。

一方で、従来はドライバが行っていた運転操作の一部を自動化する技術が提案されてきており、車載のセンサのみならず、例えば車外との通信により情報を得て交通状況を把握し、自動化技術に活用することも考えられている。

車外との通信には、悪意のあるハッキング等の不正利用のリスクを考慮しておかなければならない。このためセキュリティは自動車の安全性を確保する上で重要な課題となりつつあり、行政的な対応の在り方を検討していく事が必要である。

当研究所では、まず技術的な観点で２つのケーススタディを通して自動車セキュリティの要件について検討を開始した。また、従来型の審査・検査を含め、自動車セキュリティの確保につなげる制度的な対応についても検討を開始したので、その一部を報告する。

２．CAN の不正利用の影響例

自動車の安全性に直接的な影響を及ぼす脅威としては、主幹的な制御に係る ECU やその ECU が接続されている車両内部のネットワークの不正利用が考えられる。ステアリングやブレーキの機構にアクチュエータが使用されている自動車では、ネットワークの不正利用がドライバの操作とは関係ない車両の挙動変化につながる可能性がある。

当研究所では車両内部のネットワークの不正使用が安全性に与える影響を把握するため、車両を使った調査を行っている。図１には、車両内部のネットワークの不正利用による誤動作の例を示す。この例では、燃料残量を正しく示すはずの状況で完全な燃料切れを示した。ドライバに誤った情報を表示することは、広い意味で安全性低下につながると考えられる。

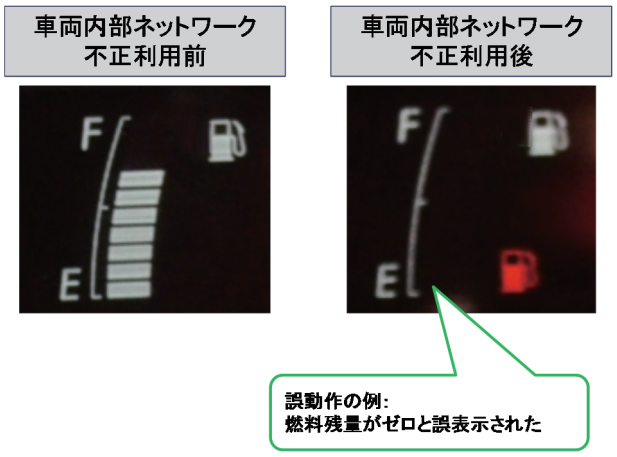


図１　車両内部のネットワークの
不正利用による誤動作の例
（燃料表示の誤動作）

３．車外との通信を使用した不正の影響例

３.１．通信を使用した不正に関するデモの概要

ここでは、2. のケースと同様に車両への挙動変化に影響を与えた別の不正アクセスのケースを説明する。無線通信を使った不正アクセスにより、多数の車両に影響を与えうる事例を示したデモンストレーションであり、以下にその内容を説明する。

このデモンストレーションは、2015 年に米国のチャーリー・ミラーにより行われ、公表された。車両の無線通信システムを利用した CAN バス（CAN の通信線）への不正アクセスであり、動画共有サイトなどを使ってデモンストレーションの内容が公表された。

３．２．無線通信システムへの不正アクセスデモンストレーション内容

攻撃対象の車両は、別のドライバによる通常の操作によりハイウェイを走行していた。チャーリー・ミラーは自宅の PC からインターネットを介して同車両にアクセスし、ドライバの操作によらず、チャーリー・ミラーの PC 操作により走行中に同車両のエンジンを停止するなどのデモンストレーションを行った。

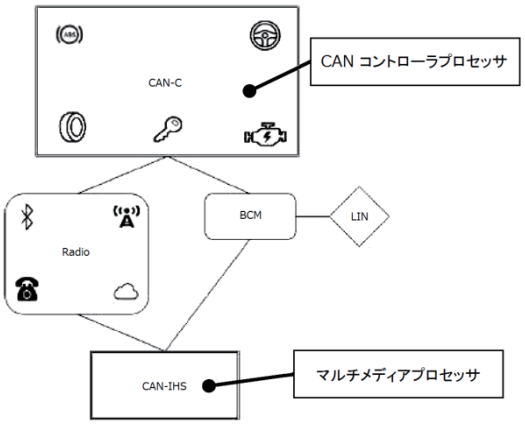


図 2 攻撃対象車の CAN バス構造
（チャーリー・ミラー報告書より抜粋）

以下には、チャーリー・ミラーの技術的な報告書[1)]から主要個所を抜粋し説明する。

CAN バスの構造は図 2 の通りである。車両の制御に係る ECU は CAN-C バス（後述の CAN-IHS バスとは別の CAN バスであり、”C”の定義についての説明は同報告書に記載なし）に、カーナビゲーションシステムなどインフォテイメント（情報と娯楽を提供する機能）系の ECU は CAN-IHS（先述の CAN-C バスとは別の CAN バスであり、”IHS”の定義についての説明は同報告書に記載なし）バスに接続されている。

以下には外部からの無線通信により CAN-C バスへの侵入が可能となった経緯について焦点を当て、チャーリー・ミラーが行った当該車両システムの解析手順に従って説明する。

３．３．対象車両の無線通信ポート

対象車両については、ナビゲーションシステムが外部との通信を行っている。外部との無線通信に関して、CAN-C を制御する CAN コントローラプロセッサには直接アクセスできないため、不正アクセスの戦略として別のポートからの侵入を試みている。まず、デフォルトゲートウェイのポートをスキャンすることで、解放されているポートとそのアプリケーションを調査した。

この中で 6667 番ポートは、通常はインターネットで使用される通信プロトコルである TCP/IP の定義として、IRC（Internet Relay Chat）server が使用するポートであり、internet を介したチャット（会話）を行う際に用いられるポートである。しかし車載システムとしてチャット機能は意味を持たないことからハッカーの目に留まることとなり、ナビゲーションシステム における 6667 番 ポートの真の役割についてさらに深く調査された。その結果、6667 番ポートは実際には D-Bus サービスに用いられていることが判明した。D-Bus サービスは、Linux OS などのプログラム間のデータのやり取りやネットワーク上の別のコンピュータ上にあるサブルーチンなどを実行することができる手段として利用されている。6667 番ポートを介せば車外から D-Bus サービスを利用できることとなるため、このポートを介した攻撃が試みられた。

３．４．不正ファームウェア（ECU 内に組み込まれるソフトウェア）による CAN バス構造の変更

ナビゲーションシステムには、マイクロコントローラーが他の電子モジュールと通信することができる高速の CAN-IHS 用ソフトウェアも含まれている。ただし、マルチメディア情報を処理するマイクロプロセッサ（以下マルチメディアプロセッサ）自体は CAN-C バスには接続されておらずマルチメディアプロセッサによる車両の制御はできない状態である。CAN-C バスの処理を行っているのは、ナビゲーションシステムに内蔵されている先述の CAN コントローラプロセッサである。D-bus により操作可能なマルチメディアプロ

セッサは、一方で CAN-C バスとの直接接続が無いため任意の信号を CAN-C バスに送信することができない。そこで CAN コントローラプロセッサを proxy（メッセージを転送する代理役）として利用することが考案された。これには車外から送られた任意のデータ（偽の CAN メッセージなど）を CAN-C バスに転送する機能を加えた不正なファームウェアを CAN コントローラプロセッサにアップロード し、同プロセッサを再起動して実行させる必要がある。先述の通り 6667 番 ポートを介して CAN コントローラプロセッサを直接操作することは不可能なため、マルチメディアプロセッサにより上記の手順を実行しなければならない。

結局このデモでは、不正なファームウェアを CAN コントローラプロセッサにアップロード し、同プロセッサを再起動する手順も発見された。

以上を整理すると、不正ファームウェアにより CAN バスの構造が変更され、外部からの無線により偽の CAN メッセージを CAN-C バスに入力することが可能となった。CAN バスの構造に着目すると、不正ファームウェア実行後では図 3 のように変化したことになる。図 3 に示した不正ファームウェア実行後の CAN バスの構造では、ゲートウェイ（CAN バス上でデータの流れを制御する仕組み）などは介さずに外部から直接 CAN-C バスに偽の CAN メッセージの入力が可能となった。

3．5．車外からの攻撃デモのケーススタディ

以上で説明したデモンストレーションを題材に、不正がなされる前の状態での潜在的な課題を抽出する。なお、ここでの検討は、独立行政法人情報処理推進機構による「自動車の情報セキュリティへの取組みガイド」[2)] を参考に行った。想定するリスクは、実際に攻撃対象の車両で発生した事象から、次の 2 つとなる。

①不正設定：メーカにより設計されたファームウェアに不正なコードが追記された

②偽メッセージ：無線を介して CAN-C バスに偽の CAN メッセージが入力された

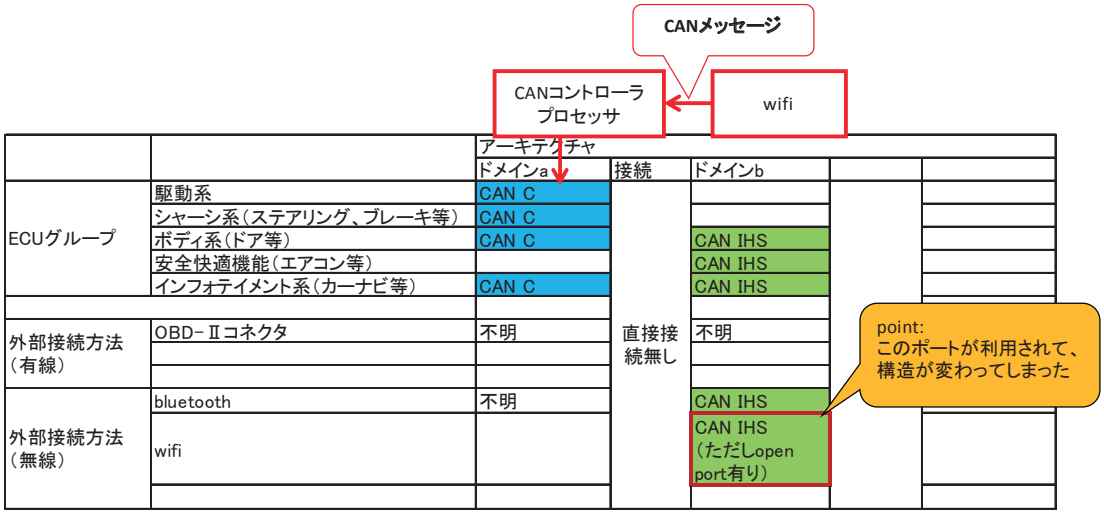


図 3　デモで使われた車両の不正ファームウェア実行後のネットワーク構造
（著者による推定を含む）

表 1　デモで使われた車両のセキュリティ対策ケーススタディ

脅威の内容	採られていた対策	採られていなかった対策	セキュリティ強化のための追加機能例
不正設定	ドメイン分割	認証機能設計	ファームウェアアップデートの認証
		アクセス制御機能設計	CAN-C バスとナビゲーションシステム間のゲートウェイ
偽メッセージ	メッセージ検証（カウンタ、チェックサム等）	認証機能設計	CAN メッセージ認証
		アクセス制御機能設計	CAN-C バスとナビゲーションシステム間のゲートウェイ

本章のケースに関して「①不正設定」の脅威に対する車両の対策はドメイン分割（ネットワークの領域分割）であったが、他にアクセス制御としてゲートウェイ 等の設置によりインフォテイメント機能を搭載したナビゲーションシステムからの CAN-C バスへのアクセスを制限しておくことや、プログラム認証（マイクロプロセッサの再立ち上げに対する権限の確認など）により、無線を介した不正ファームウェアのアップロード 及び実行は防げた可能性が考えられる。また、「②偽メッセージ」の脅威に対する車両の対策としては、メッセージ認証などにより偽の CAN メッセージによる車両の誤動作は防ぐことができると考えられる。

ここで注目したいのは、以上で説明してきたシステムにおいて、セキュリティ対策（例えばドメイン分割など）は取られていたという点である。しかし、結果として不正が成立したということから、高いスキルによる攻撃を想定した場合は、セキュリティ対策を複数、多層的に実施することが必要であると考えられる。

４．自動運転に係る課題

以上では、車両の走行や操舵といった機能に直接的な影響を与えるケースを想定して、これらの機能に係る車両内部のネットワークに対する不正に関してケーススタディを行った。これに加えて自動運転技術の進展に伴い、たとえば EDR（Event Data Recorder）といった装置により車両に保存される情報の保持が重要な課題となる。交通事故などに関連するデータ等は、原因究明及び対策の検討の観点から、事故発生後にデータの改ざんが行われないよう慎重な取り扱いが求められる。例えば暗号化技術を用いるなどにより、第三者機関が暗号鍵を管理するような手段が有用であると考えられる。

また、自動運転技術を考慮した EDR 要件については、ドライバと自動運転システムとの間のインターフェースの健全性なども記録情報として重要になる。そのため、自動運転にも対応するよう EDR 技術要件[3]が見直されることが望ましい。

５．まとめ

無線通信を使った不正アクセスのケースについて内容を説明し、対策について検討した。これらのケースでは、セキュリティ対策は取られていたものの単一的な対策にとどまっており、試行的に与えた脅威に対しては十分ではなかったことが分かった。可能な限り脅威を想定し、セキュリティ機能設計を多層的に施すことが有効である。

６．今後について

今後セキュリティ対策に係る審査・リコールの手順について検討を行うにあたり、最初のステップとして現状における車両のネットワーク構造や、それに対するセキュリティ対策の内容の把握を行うことが考えられる。なおハッカーの技術レベルは日々進化することが想定される。このため、セキュリティ対策技術に対する要件やその確認方法は適宜見直していく必要があると予想され、制度的にも課題が生じると考えられる。

また、国連の自動車基準調和世界フォーラム（UNECE／WP29）においては、自動運転に関して概念整理を行う ITS/AD（Intelligent Transport System / Automated Drive）や、ステアリングに係る自動運転の技術検討を行う ACSF（Automatically Commanded Steering Function）などのインフォーマルワーキンググループが活動している。これらの議論において、早い段階からセキュリティ対策を盛り込んだ議論を行うことが重要であると考えられる。

参考文献

1）チャーリー・ミラー, クリス・ヴァラセク” Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle”, August 10, 2015

2）独立行政法人 情報処理推進機構、「自動車の情報セキュリティへの取組みガイド」、2013 年 3 月

3）国土交通省，「J-EDR の技術要件」 http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/09/090328/01.pdf

講演７．自動車認証審査部における審査の概要について

自動車認証審査部　　山﨑 孝章

１．はじめに

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

自動車認証審査部(以下「審査部」という。)は、型式指定制度の一環として、自動車等について、安全・環境基準への適合性や燃料消費率の確認を、公正な立場で行うわが国唯一の機関である。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という目的のもと、自動車等の審査を厳正に行うことは当然であるが、あわせて、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となっている。

ここでは、この１年の動きを踏まえた審査部の取り組みを概説する。

２．自動車認証審査部の業務実績

自動車等の審査型式数（平成 27 年度。以下本項において同じ。）は、自動車にあっては 3,920 型式、自動車装置にあっては 389 型式となっている（図１）。

また、メーカーの設計・開発をより円滑に進めるため、審査業務に先立ち試験等を行う先行受託試験については、203 件の受託があった。

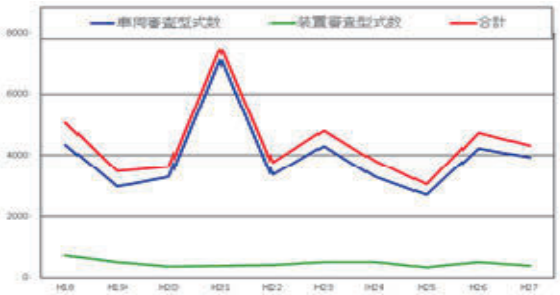


図１　審査型式数の推移

このほか、国連の「車両の型式認定相互承認協定(1958 年協定)」に基づく装置型式指定認可証（E43）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 125 件（対前年度 18 件増）となっており、積極的な利用が進んでいる。

３．審査体制の構築に係る取組

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

３．１．新たな四輪車騒音基準の導入

平成 28 年４月、四輪自動車の騒音基準に係る協定規則（UN 規則）第 51 号が新たに導入された。本規則では、これまでの加速走行騒音に代わり、市街地の走行実態を踏まえた新たな加速走行騒音試験法が導入され、新たな規制値が設けられている。これに伴い、定常走行騒音規制が廃止となった。また、近接排気騒音規制については、新車時における規制は廃止（測定のみ実施）され、使用過程車において新車時の測定値と同等の騒音値を求める相対値規制となった。

本規制は平成 28 年 10 月から新型車に適用されたが、これに先立ち、審査部では同年７月に試験規程(TRIAS）を制定するとともに、基準適合性試験に係るマニュアルの作成や職員の研修を行い、同年９月までに４件の試験を実施している（図２）。

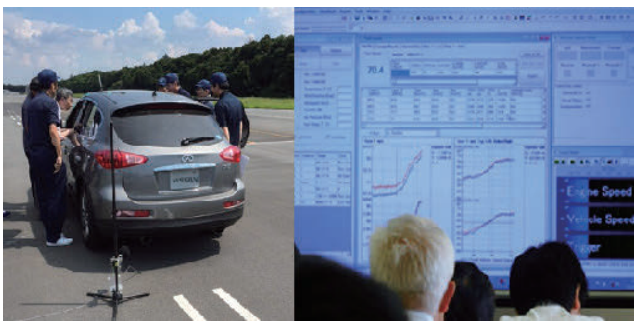


図２　UN 規則第 51 号導入に係る職員研修

３．２．電柱等との側面衝突時を模擬した乗員保護基準の導入

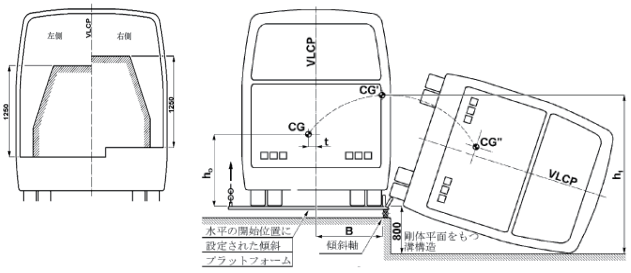
交通事故死者数の更なる削減に向け、ポールとの側面衝突時の乗員保護に係る規則（UN 規則第 135 号）が平成 27 年６月に導入された。この基準では、電柱などへの側面衝突を模擬し、試験車両を時速 32km、衝突角度 75° で直径 254mm の鋼鉄製のポールに衝突させて乗員の傷害の度合いを計測するものとなっている。平成 30 年６月から新型車に適用されるが、審査部では、平成 28 年２月に TRIAS を制定したほか、自動車試験場において、試験実施のための施設を平成 31 年度までに整備することとしている。

３．３．大型バスの車体強度に関する基準の導入

平成 28 年１月に長野県軽井沢町で発生したスキーバス事故を踏まえ、車両構造面での安全対策の強化策の１つとして、バスの車両転覆時の車体強度に係る基準（UN 規則第 66 号）が同年７月に導入された。

本基準においては、バスを対象として、車枠及び車体が転覆時でも乗客・乗員の保護に必要となる空間を確保できる強度を有していることを確認する。また、基準適合性の確認手法として、転覆試験だけではなく、衝突被害軽減関係の基準としては初めて、シミュレーションなどによる確認も認められている（図３）。

本基準は平成30年10月から新型車に適用されることとなるが、審査部では、シミュレーションに必要となる解析システムの導入を進めるとともに、具体的な審査手法の検討を進めているところである。



保護空間　　転覆試験概略図

図３　大型バス転覆試験の保護空間及び概略図

３．４．電磁両立性基準の導入

平成 23 年に国内導入された電磁両立性基準は、平成 28 年８月から新型車に適用されている。審査部では、これまでに 57 件の試験を行うとともに、装置型式指定認可証（E43）を５件発行している。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 24 年度から整備をすすめ、平成 28 年９月から本格的な運用を開始したところである（図４）。

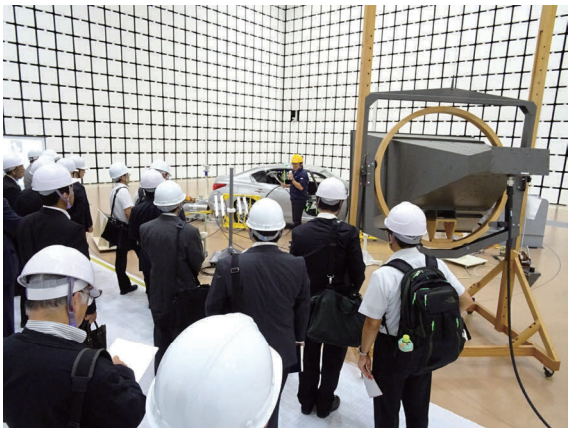


図４　電磁両立性試験のデモンストレーション

３．５．自動車の審査における不正行為への対応

平成 28 年４月、自動車審査時における燃費試験の不正行為が発覚した。これを踏まえ、国土交通省が設置したタスクフォースに当研究所も参加し、メーカーの不正行為を抑止・防止するために必要な措置について検討を行い、同年９月に「最終とりまとめ」が策定された。

最終とりまとめにおいては、メーカーが提出するデータの測定時に、抜き打ちで立ち会い等によるチェックを行うことや、不正を行ったメーカーに対し、一定期間型式指定審査を厳格化するといった審査方法の見直しが盛り込まれた。審査部としても、これらの不正行為の抑止・防止のための措置について、確実に取り組んでいくこととしている。

４．まとめ

自動運転技術等の複雑で高度な新技術の導入・普及や安全・環境基準の強化に伴い、自動車認証審査に必要となる知識・技術レベルが高まっている。また、国際化が進む自動車市場の中で、自動車基準の国際調和や国際的な車両型式認証制度（IWVTA）に基づく相互認証など、自動車審査業務の国際化の必要性も増しているところである。

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

講演８．リコール技術検証業務 10 年の歩みとこれから求められるもの

リコール技術検証部　　※石田 勝利　　田中 丈晴

１．まえがき

リコール技術検証部は、道路運送車両法等の改正に伴い、平成 18 年５月に交通安全環境研究所に設置された。改正法の下で、国土交通省からの求めに応じて、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を分析し、リコールに該当する可能性があるか、また、自動車メーカー等によるリコール内容が適切であるかについて、技術検証を行っている。本稿では、本年に当部が設立後 10 年を経過し、節目を迎えたことを機に、平成 27 年度の業務概要に加えて、これまでの歩みを振り返り、今後、当部に求められる課題について述べる。

２．設立の経緯

リコール制度では、自動車メーカー等は、その製品が道路運送車両の保安基準の規定に適合しなくなるおそれがあって、その原因が設計又は製作過程にあると認められるときに、必要な改善措置等についてあらかじめ国土交通大臣に届出ることが義務付けられている。これは、自動車メーカー等は設計・製作の状況を最も迅速かつ正確に把握できる立場にあり、一義的には自動車メーカー等がリコール実施の責務を負うことが、ユーザーの安全・安心のために適しているためである。

しかしながら、平成 16 年にリコールに係る不正行為が発覚したことを契機に、自動車メーカー等のリコール実施が迅速に行われない場合等を想定し、国土交通省において情報収集体制の強化や監査の充実を図り、その過程でリコールの疑いがある案件があった場合には、当部において専門性・透明性のある実証的な検討を行うこととされた。

このため、当部は、設立前にリコール技術検証室として２年間の準備期間が置かれ、その実施状況等を踏まえ、道路運送車両法及び独立行政法人交通安全環境研究所法の改正が行われ、平成 18 年５月に正式に設立された。

３．人員体制の強化

当部はその名が示すとおりリコールに係る技術検証を行うための組織であり、技術検証官（以下「検証官」）を中心とし、その技術検証を支える実験部隊、専門調査員とデータ・業務管理を行う者の主に４つのグループから成っている。技術検証の核となる検証官は、自動車の開発、設計、試験、品質管理等に豊富な経験と高度な知識を有する専門家である。

設立後の 10 年間の人員体制の推移を表１に示す。当初は、検証官と実験担当を基本とする 15 名程度の組織であったが、現在はほぼ倍にあたる 29 名の組織となった。

表１　技術検証部の人員体制 10 年の推移

区分	発足当初（H18-H20）	中間期（H21-H24）	後期（H25-H27）	現在（H28）
技術検証官（人）	5~6	6~8	8~10	11
技術検証実験担当（人）	4~6	5~7	5~7	5
技術アナリスト・客員調査員（人）	0	0~4	4~6	6
業務管理・データ管理（人）	5	5	5~7	7
合計（人）	15~17	17~26	24~29	29

技術検証は乗用車や大型車という対象の違いに加え、原動機、制動装置や電子制御などの自動車の構造装置に対応する必要があり、それぞれに専門性を持つ検証官をそろえるべく、人員を着実に増やしてきた。実験部隊には大きな増減はない

が、平成 23 年度より、研究官を技術アナリストとして、検証官経験者や有識者等を客員専門調査員として配置し始めた。当研究所の研究部門との連携を図り、多様な技術検証を可能とすることとし、また、例えばエアバッグリコールでは自動車技術とは違った火薬の専門知識が求められたことで、その分野の専門家からアドバイスを受けるためである。管理業務の担当者は、過去の知見の蓄積や増加する情報量に対応するために微増となっている。

この 10 年を振り替えれば、幅広い技術検証を実現するために人的な体制強化を図ってきたものと言える。これからは、高度化・複雑化する技術に対応するため、人材の育成、外部機関との連携など新たな方策も必要となっている。

４．技術検証業務の実績と業務効率化や新たな取組

当部における技術検証業務には、大きく分けて、①不具合情報を分析し、リコールの疑いのある不具合が発生しているがリコール届出がなされていない場合に、その原因が設計又は製作の過程にあるかどうかについて検証を行うこと（道路運送車両法第 63 条の２）と、②リコール届出における改善措置の内容が適切であるかどうかについて検証を行うこと（同法第 63 条の３）の２種類からなる。

技術検証を実施するうえでは業務の効率化が必須であり、また、不具合情報の分析や技術検証の過程では、不具合発生原因が整備やユーザーの使い方にあることが分かり、この知見を生かしてユーザーへの注意喚起に役立てるなど新たな取り組みを行っている。

４．１．不具合情報の分析

技術検証においては、ユーザー、他の行政機関や自動車メーカー等から提供された不具合情報を分析することは重要な業務となっている。

当部で平成 27 年度に分析した不具合情報件数は約 9,200 件に上る。内訳を表２に示す。件数は情報源により異なるが、いずれも貴重な情報となっている。警察または消防庁からの事故・火災事故情報を踏まえ、これらの事故のうち可能なものについて国土交通省に同行して調査に立ち会い、技術検証に役立てている。ユーザーや自動車メーカーからの情報は有益であるが、不具合が生じた実際の自動車や部品を見られないため、事故・火災調査において実際の自動車を確認できる機会は貴重となっている。

表２　平成 27 年度の不具合情報処理件数

	不具合情報件数
ユーザーからの不具合情報	3,080
メーカーからの事故・火災情報※	1,631
メーカーからの不具合情報※	3,621
警察からの通報	389
消費者庁からの通報	295
その他（消防等からの通報）	142
計	9,158

※印は平成27年1月～12月までの間の件数、
その他は平成27年4月～28年3月までの間の件数を示す。

この 10 年の事故・火災事故の調査実施件数を表３に示す。調査実施件数は、人的体制が充実してくるに比例して増加しており、平成 24 年度以降は、50 件前後で推移している。事故調査件数はほぼ一定となっているが、近年は火災調査件数が増加し平成 27 年度には全体の８割を占めるようになっている。

今後は、過去の大量な蓄積データをどのように分析できるか、さらには、増大する火災調査を適切に分析する能力が求められている。

表３　事故・火災車両調査件数の推移

		H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
現地車両調査件数（件）		14	17	33	37	24	40	50	47	47	56
内訳	事故	10	10	12	22	11	13	22	21	19	12
	火災	4	7	21	15	13	27	28	26	28	44

４．２．技術検証

技術検証業務の 10 年間の実績を表４に示す。この 10 年では、技術検証件数は概ね 300 件～600 件の範囲にあり、年ごとの変動が大きいことが分かる。また、技術検証がリコール等の市場措置に繋がった件数は、この 10 年で、16 件～26 件の範囲にある。

技術検証の総数に変動があるのは、事案によって困難の度合いが異なり、複雑な事案であれば一度の検証に要する時間がかかって件数が減少する

ためである。また、技術検証は国土交通省から当部への指示があり、一定の検証が終わると速やかに国土交通省に報告を行い、更なる懸念がある場合には再度の指示があるという方法でなされるため、同一事案でも複数回にわたって行われ、この回数の多寡が件数に影響するためである。

表４　技術検証件数の 10 年の推移

年度		H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
①技術検証件数（件）		382	310	408	447	532	554	364	310	532	465
技術検証結果	技術検証が市場措置につながった件数（件）	21	19	25	16	18	25	21	26	19	22
	・リコール（件）	10	10	14	13	13	11	9	16	15	14
	・改善対策（件）	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	・ｻｰﾋﾞｽｷｬﾝﾍﾟｰﾝ（件）	3	8	8	2	2	6	10	8	2	3
	・保証延長（件）	8	1	2	1	3	8	1	2	2	4
②リコール改善措置内容の妥当性検証数（件）		14	9	21	4	3	16	8	13	15	13

技術検証がリコール届出にどの程度影響したかを表５に示す。技術検証がリコール届出につながった件数とリコールの改善措置内容について技術検証した件数が、全リコール届出件数に占める割合は、5～12%の範囲にある。リコールは自動車メーカー等が速やかかつ適切に行うことが適当であるが、当部による技術検証がリコール届出に少なからず関与していることは、技術検証がリコール制度において必要不可欠の役割を果たしているためといえる。

表５　技術検証がリコール届出に影響した割合

年度	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
技術検証がリコール届出につながった件数　（件）（A）	10	10	14	13	13	11	9	16	15	14
リコール改善措置の内容に対する妥当性検証数　（件）（B）	14	9	21	4	3	16	8	13	15	13
リコール届出数　（件）（C）	300	310	295	304	320	263	308	303	355	368
技術検証が影響したリコール届出の割合　（%）（A+B）／C	8.0	6.1	11.9	5.6	5.0	10.3	5.5	9.6	8.5	7.3

４．３．技術検証実験

技術検証の過程においては、メーカーからの報告を参考にしつつ、当部においても技術検証実験を行い、事実関係を明らかにしている。この 10 年間での技術検証実験テーマ数の推移を表６に示す。毎年のテーマ数は 10 件前後となっている。

当部の設立当時は個別の技術検証を行うに必要な事項について実験を行うことが基本であったが、ここ数年では、技術的な知見の蓄積を目的とした検証実験テーマが増加している。これは、技術検証を開始してから実験内容を決め実行するのでは後手に回ることも想定され、技術検証結果を速やかに出すため、予想される事象について知見を蓄積するためである。また、検証実験のテーマとして火災関係を挙げる割合が高くなっており、これは火災事故調査が多い一方で、火災事故の原因を特定することが困難であるという実情を表している。

今後は、これまでのノウハウを体系立てて整理していく必要があるとともに、特に火災事故を適切に分析する能力が求められている。

表６　技術検証実験テーマ数の推移

		H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
検証実験テーマ数（件）		14	12	12	13	10	10	10	11	11	11
内訳	個別事案の検証	14	12	11	12	9	9	9	7	8	7
	知見の蓄積を目的	0	0	1	1	1	1	1	4	3	4
	うち、火災関係	2	0	1	1	3	1	0	1	0	3

４．４．技術検証業務の効率化

業務の実施体制に関しては、人員を増加させることによって強化してきただけでなく、業務の一層の効率化を図ることによって改善を図ってきた。設立５年経過した平成 23 年度以降、業務の効率化に向けての改善活動を実施し、平成 25 年度に、これまでの業務マニュアルを見直し高度化した技術検証関連業務マニュアルを制定し、業務の円滑化と効率化を図っている。また、平成 26 年度からは、検証事案等の関連文書のデータベース化、類似不具合検索システムの運用を進めている。設立当初は技術検証を手探り状態で行わざるを得なかったが、一定期間経過して技術検証の方策が固まってきたことで、ルール化と効率化に取り組むことが可能となったものである。

４．５．ユーザーへの注意喚起への取組

当部では設立当初から自動車リコール届出内容について毎年度分析し、また、平成 19 年度からユーザーからの不具合情報を統計分析し、平成 22 年度から自動車メーカー等からの事故・火災情報を統計分析している。これらの結果については国土交通省ホームページにより公表されている。

平成 27 年度の自動車メーカー等からの事故・火災情報 1,631 件のうち、装置名と発生原因が判明

した 631 件について装置別原因を分析すると、図１のように示される。「設計・製造」を原因とするものは少なく、「点検・整備」を原因するものが多い傾向にあるが、不具合状態のままで使用継続するなど「特殊な使用等」を原因となるもの、「社外品・後付装置」が原因とされるものが多く発生していることが分かる。

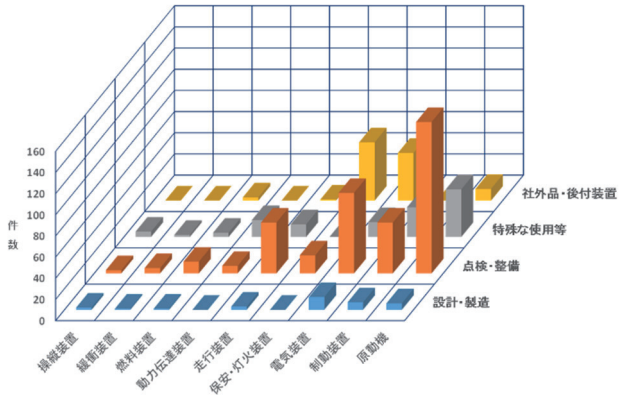


図１　27 年度事故・火災情報の
装置別・原因別分析

当部では、このようにユーザーや整備工場に起因する不具合が多いことを踏まえ、本来業務である技術検証に加えて、ユーザーや事業者、整備業者に向けて、不注意などに基づく事故や火災を未然に防止するため、国土交通省と連携し、表７のとおり注意喚起を行ってきた。平成 24 年度以降、国土交通省からの受託調査として４件実施し、調査結果の公表だけでなく、より効果的な注意喚起を目的にインターネット動画による公表も試みている。

技術検証はリコール制度の一環で行われるが、その目的は重大事故等の未然防止であることから、検証業務の副産物として明らかとなる注意喚起情報を積極的に発信していくことが当部に求められている。

表７　事故・火災事故の未然防止のための
ユーザーへの情報提供

年度	ユーザーへの注意喚起への貢献
H24	「ブレーキオーバーライド装置及び衝突被害軽減ブレーキの機能・性能に関する調査」
H25	「エンジン停止走行に繋がるおそれがある事象に関する調査」（ビデオ公開）
H26	「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」（ビデオ公開）
H27	「大型貨物自動車のブレーキ引き摺りによる車両火災に関する調査」（ビデオ公開）

５．当部に求められる今後の課題

この 10 年の変化を振り返ると、幅広い技術検証を実現するために人的な体制強化を図ってきたことが分かる。一方で、限られた人員でより有効な業務を行うために、業務の効率化に努めてきた。技術検証結果からは、技術検証が適切に行われ、自動車メーカー等のリコール届出に十分な影響を与え、リコール制度において必要不可欠となっている状況が分かる。当部の設立された目的が、リコールに係る不正行為が発覚したことを契機として、リコール制度の着実な運用を図るためであったことを考えると、その目的を十分に果たしていると考えられる。また、技術検証実験を単に個別事案の解決に向けて活用するのではなく、技術的知見を蓄積するために先行的に実施することなどにより、業務のノウハウを蓄積する動きが高まってきたことが分かる。

今後は、これまで培ってきた 10 年間のノウハウを体系的にまとめていく必要があるのは上述のとおりである。特に、技術検証、事故調査、実験などを通じて得られた火災事案に対するノウハウは他の機関にはない強みであることから、これらを活用する手段を考えていく必要がある。さらには、エアバッグリコールで装置に着目したリコールが注目され、また、完全自動運転が世界的にも注目されていく中で、これらの環境変化に対応するため、人材の育成、外部機関との連携など新たな方策が必要となっている。

自動車技術総合機構への組織統合による、研究部門、認証審査部門、検査部門等との連携がより強固となった強みを生かしながら、技術検証業務を効率的かつ効果的に実施できるよう引き続き取り組む予定である。

６．さいごに

最後に、これまでに当部に在籍した人員は延べ 70 名を超え、特に検証官は 28 名を数え、これらの方々が真摯に技術検証に尽力いただいたことが、本稿においてまとめた 10 年間の歩みとなったものであり、ここに敬意を表したい。

また、当部の努力だけではこれらの成果は得られなかったものであり、国土交通省を始め関係機関の皆様方に改めて感謝を申し上げる。

口 頭 発 表 11.25

国際調和推進部における活動の概要と方向性

国際調和推進部　　坂本 一朗

１．はじめに

自動車や自動車部品の流通の国際化はますます進展しており、安全対策、地球環境問題への対策など自動車性能に対する要求を世界規模でとらえる必要が生じている。加えて、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、自動車の装置等に関する型式認可の相互承認協定と自動車の世界統一基準を策定する協定を扱っており、我が国はこれらの協定下で国連規則（UN Regulation、以下「UN 規則」という）や、世界統一技術規則（Global Technical Regulation、以下「GTR」という）の制定、改訂作業に積極的に参加している。

交通安全環境研究所（以下「交通研」という）は、国土交通省の国際基準調和の推進を支援する立場から、WP29 の下に組織されている様々な会議に参加し、基準の原案作りや修正等の作業に関わってきた。この活動は、交通研の研究部門及び審査部門の多くの職員が携わっており、交通研の主要な業務の一つとなっている。国際基準調和の業務は年々増加していることから、様々なテーマに組織的かつ柔軟に対応できるようにするため、平成 28 年 4 月 1 日に、旧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の交通安全環境研究所として新たなスタートを迎えるに当たって、国際調和活動を専門に行う「国際調和推進部」を新設した。

以下に、国際調和推進部における活動の概要と今後の方向性について述べる。

２．国際調和推進部の体制

国際調和推進部は、部長以下 6 名の研究員と、国際調和推進部併任である、自動車研究部所属の研究員 9 名及び自動車認証審査部所属の審査官 7 名の、計 22 名で構成されている。それぞれが担当している専門分野に関する基準の会議に参加し、専門的な知見を生かして基準や審査方法等の提案を行っている。自動車の技術は常に進化しており、従来の試験法では評価できない新たな技術が出てきた場合、現行基準の改正、あるいは新基準の策定が必要となる。そのような場合、日本では、交通研において基準の策定に必要な調査を行い、得られたデータに基づいて基準案を提案するとともに、審査部門の知見に基づいて試験法案を提案している。このような技術データや知見に基づく提案によって、日本が基準策定を主導することを期待されている。

３．国際調和推進部の活動の概要

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

３．１．ＷＰ２９

WP29 傘下に設置されている ITS/AD（Intelligent Transport Systems and Automated Driving）インフ

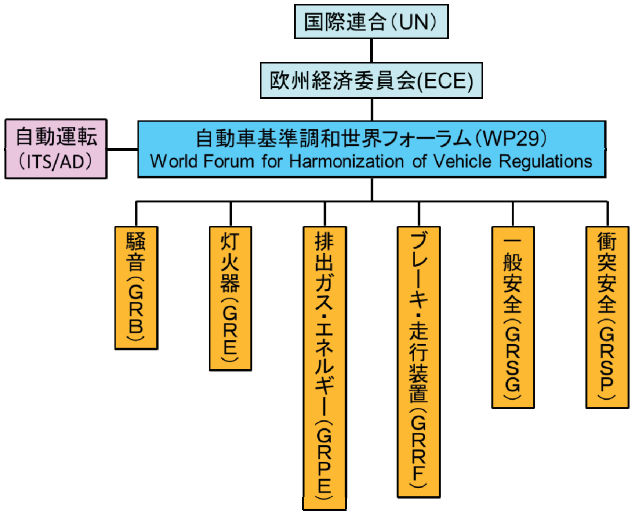


図１　自動車の国際基準調和活動を行う国連の組織

ォーマル会議は、日本と英国が共同議長を務め、交通研が事務局としてこの活動を補佐している。自動運転技術に必要とされる安全要件に関する適正な国際技術基準を早急に整備する必要があるため、自動運転の基準化に必要な定義等の検討を行っている。

３．２．騒音専門家会議（ＧＲＢ）

ハイブリッド車等の静音性対策として、音で車両の接近を知らせる車両接近通報装置のUN規則が第168回WP29（平成28年3月）において可決された。この UN 規則のためのインフォーマル会議の副議長は交通研の職員が担当しており、日本が世界に先駆けて公表したガイドラインをベースとした国連規則となるように官民が一体となって取り組んだ。

３．３．灯火器専門家会議（ＧＲＥ）

二輪車の DRL（Daytime Running Lamps）と前照灯の自動切り替え要件を追加する UN 規則 R53（二輪自動車の灯火器取付け）の改正提案を日本から行っている。交通研が実施した二輪 DRL のグレアに関するシミュレーション分析結果（第 76 回 GRE（平成 28 年 10 月）にて報告）等の調査結果に基づき、安全性及び必要性を主張しており、平成 28 年度中に R53 が改正される予定である。

３．４．排出ガス・エネルギー専門家会議（ＧＲＰＥ）

平成 26 年 3 月に成立した GTR No.15（乗用車の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP：Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure））で残された課題を解決するため、WLTP Phase1b の活動が行われた。交通研は、交通研で得られた試験結果を提出し議論に加わるとともに、インフォーマル会議の副議長として WLTP 改正案（第 169 回 WP29（平成 28 年 6 月）に提出）のとりまとめに貢献した。現在、Phase2 の活動が始まり、引き続き副議長として積極的に取り組んでいる。

３．５．ブレーキ・走行装置専門家会議（ＧＲＲＦ）

GRRF では自動運転に関係する基準の議論が急速に展開している。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 UN 規則 R79 を改正するため、自動操舵（ACSF：Automatically Commanded Steering Function）のインフォーマル会議が行われており、日本とドイツが共同議長となっている。将来の自動運転技術の道を開くための重要な課題であるため、交通研では研究部門と審査部門のそれぞれから職員が参加し、基準の提案を積極的に行っている。

３．６．一般安全専門家会議（ＧＲＳＧ）

日本から、間接視界の基準である UN 規則 R46 に、直前直左に直右及び近接後方を加えた視界の確保（ミラーでなく CMS（Camera Monitor System）、ソナー、直視でも可）の提案を行っており、日本の事故データを基に近接視界の必要性を主張している。まずは、近接後方（バックカメラ、ソナーでも可）に着目して基準化を進めることとなり、日本から基準案の提案を行っている。

３．７．衝突安全専門家会議（ＧＲＳＰ）

衝突時の乗員の被害軽減対策を強化するために、UN 規則 R94（オフセット前面衝突試験）に加え、フルフラップ試験法の導入を GRSP において検討し、日本ですでに実施している試験法をベースにして、交通研の研究部門及び審査部門の知見に基づいて検討された UN 規則案が第 167 回 WP29（平成 27 年 11 月）において可決された。

４．国際調和推進部の今後の方向性

交通安全環境研究所は、これまで、研究部門や審査部門における知見を提供することによって基準案策定に貢献するとともに、副議長や事務局を担当することにより国際会議の運営に関わってきた。今後も、従来の活動を継続して行い、国際調和担当の職員が我が国代表の一員として WP29 の各専門家会議に参加し、研究成果や認証審査の知見を活用し、我が国の先駆的な自動車技術に基づく基準・試験方法等について積極的に提案を行い、我が国自動車技術の国際標準化に貢献することとしている。

講演 1. 自動運転に関する国際基準の検討状況と関連課題への取組

国際調和推進部　　※関根 道昭　　平松 金雄　　新国 哲也

1．はじめに

自動運転技術は、自動車をより便利で快適にするだけでなく、交通事故の予防や燃費の改善等にも効果があると考えられている。また、公共交通機関の少ない地域における高齢者等の移動手段としても期待されている。そのため、世界中の自動車メーカが競って開発を進めており、一部の自動車メーカは先行して独自の自動運転車両を販売している。ところが、今年 5 月、米国において自動運転車両の事故により乗員が死亡したことを機に、自動運転の安全性に対する課題が浮上した。自動運転技術を安全に導入、普及させるためには、自動運転技術に必要とされる安全要件に関する適正な国際技術基準を早急に整備する必要がある。

自動車基準調和世界フォーラム（WP29）の中に自動運転技術を専門的に扱う ITS/AD（Intelligent Transport Systems/Automated Driving）インフォーマルグループ（以下、ITS/AD-IG）が設置されている。ITS/AD-IG は、自動運転の基準化に必要な定義や、各専門分科会（GR）が具体的な基準を検討する場合の前提条件や対象範囲等を定めている [1]。また、自動運転に通信技術を利用する場合のサイバーセキュリティや個人情報保護に関する基本的なガイドラインを策定している。さらに、自動運転技術を道路交通に関する条約に適合させるために、条約を管理する団体との調整を行っている。当研究所は ITS/AD-IG の事務局としてこれらの活動を全面的に支援している。ここでは、最近の活動状況と主な成果について報告する。

2．自動運転の定義とドライバの役割

これまでに各国の政府や業界団体等から様々な自動運転の定義が提案されている。その殆どはシステムが全く介入しない手動運転から全てをシステムが実行する完全自動運転までを数段階に分割し、各レベルの名前とシステムの役割を記述したものである。中でも米国自動車技術会（SAE）の定義 [2]は、各レベルにおけるシステムとドライバの役割分担を詳しく記述しているため、ITS/AD-IG は主に SAE の定義を参照して議論を進めている（表 1）。

SAE 定義のレベル 1 とレベル 2 は、運転の一部をシステムが代行する自動運転であり、ドライバは道路環境やシステムの状態を常に監視する必要がある。これらは現行の道路交通法にも適合するため、現時点で実現可能な自動運転とされている。

一方、レベル 3 では殆どの運転をシステムが代行するものの、道路状況の急変や故障等によりシステムの対応が難しくなった場合には、運転の主体をドライバに戻すこととされている。レベル 3 におけるドライバの役割はシステムの監視であるが、単調なモニタ作業を続けることは難しいため、ドライバの注意力や覚醒状態等を維持する対策が必要と考えられる。

表 1　米国自動車技術会（SAE）における自動運転の定義

レベル	名称	説明	操作の主体	環境の監視	万が一の備え
0	手動運転	予防安全装置がある場合でも、ドライバがすべての運転タスクを行う	ドライバ	ドライバ	ドライバ
1	運転支援	自動運転システムによる横方向か縦方向どちらかの持続的な制御	ドライバ	ドライバ	ドライバ
2	部分自動運転	自動運転システムによる横方向と縦方向の両方の持続的な制御	システム	ドライバ	ドライバ
3	条件付き自動運転	全ての運転タスクをシステムが行い、要求に応じてドライバが適切に反応	システム	システム	ドライバ
4	高度な自動運転	限定条件下で全ての運転タスクをシステムが実行。ドライバの反応を期待しない。	システム	システム	システム
5	完全自動運転	無条件で全ての運転タスクをシステムが実行。ドライバの反応を期待しない。	システム	システム	システム

また、レベル 3 以上では運転に余裕が生じ、ドライバが運転以外の作業（二次タスク）を行う可能性があるため、許容可能な二次タスクの種類や安全対策等について様々な観点から検討する必要がある。同時に道路交通法との整合性が課題になっている。

３．自動操舵機能に関するガイダンス[3)]

自動運転は自動車の基本性能である「走る」、「曲がる」、「止まる」を統合した技術である。中でも「止まる」機能は安全上最も重要であるため、自動運転の開発が活発になる前から衝突被害軽減ブレーキとして自動的に停止する機能の基準が整備されてきた。

現在、自動車の「曲がる」機能に関する自動操舵機能の基準化が検討されているが、新基準を設置するのではなく、当面の間、操舵機能の基準を定めた国連規則 No.79（R79）の中にある「高度運転者支援ステアリングシステム」（Automatically Commanded Steering Function: ACSF）という項目を修正する形で対応することになっている。現行の R79 における ACSF は自動駐車時等における自動操舵を想定しているため、速度は 10km/h 以下に制限されている。この速度制限を解除することにより、高速道路等での車線維持や車線変更、追い越し等を自動的に行う機能を搭載することが可能になる。

この基準を管理しているブレーキと走行装置の専門分科会（GRRF）は、ACSF の速度制限を解除するための条件を専門的に議論するインフォーマル会議を 2015 年 2 月に発足させ、活発に議論を進めている。この動きを受けて、ITS/AD-IG は ACSF を安全に利用するための基本的なコンセプト等をまとめたガイダンス[3)]を作成し、2015 年 6 月に WP29 を通じて公表した。次にその概要を紹介する。

３．１．ACSF の基本的なコンセプト

ACSF の使用中もドライバは運転環境の監視を継続する必要がある。ドライバの操作介入により、システムは直ちに作動を停止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「ドライバオーバーライド」という。また、システムはドライバが開始操作を行った場合に作動するように設計される必要がある。ただし、制御不能状態から復帰させる機能や衝突を回避するための機能においては、この要件を適用外としても良い。

システムは連続的に動作チェックを行い、システムの障害や不具合を記録する必要がある。また、システムの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。

３．２．ガイダンスで想定する ACSF の作動条件

ACSF の使用は、高速道路等のように中央分離帯により対向車線が分けられた複数車線の道路で、歩行者や自転車が混合しない道路に限定されている。

ドライバは、ACFS を使用する場合でも車両からの要求に応じて運転に復帰出来るように車両の動きと運転環境を監視する必要がある。さらに車両側からドライバの着座状態等を監視することにより、この機能を保証することを求めている。

３．３．現在の課題

以上のガイダンスに従い、ACSF はドライバ監視の元で使用するレベル 2 の機能として議論が進められてきた。レベル 2 の自動運転は、現行の道路交通法に適合するため早い時期に導入が可能となる。

ところが最近、欧州連合は、欧州の自動運転プロジェクト（AdaptiVe）が提案する各レベルの機能[4)]に基づき、車線変更や追い越しをシステム判断により行う ACSF の一部の機能をレベル 3 に区分するように提案している。レベル 3 においては、二次タスクの可能性や道路交通法への適合性等についても検討する必要があるため、基準化に時間を要することが予想される。当分の間、ITS/AD-IG はこの課題を集中的に議論することになっている。

４．サイバーセキュリティガイドラインの策定[5)]

自動運転車両は、車両に取り付けたセンサやカメラによって環境を認識し、状況を判断し、車両をコントロールする。これらを統合する制御ソフトウエアは不正に書き換えられないように保護される必要がある。また、より高度な制御を行うための情報を得るために、道路インフラや他車両等と通信する場合、利用者の走行ルート等の個人情報を第三者が読み取れないように保護する必要がある。

自動運転技術の進歩により、これまでインターネット等に適用されてきたサイバーセキュリティが自動車にも必要になると考えられている。ITS/AD-IG は、日独が中心となりサイバーセキュリティに関する基本ガイドラインを策定している。次に現状のガイドライン案[5)]の概要を紹介する。

４．１．一般要件

ドライバ等の利用者に関する個人データは合法的、公正かつ透明性のある方法で処理されなければならない。自動車の製造者、部品供給者、サービスプロバイダは、設計段階から個人情報の保護の仕組みを取り入れ、初期設定として最も厳しいプライバシー設定を自動的に適用しなければならない。車両に対する不正アクセスを防止するために、暗号化したデータ通信を確保しなければならない。また、サイバーセキュリティとデータ保護について、認証機関等の外部組織が単独で検証出来ることを求めている。

４．２．データ保護

利用者のプライバシーを尊重し、個人データに基づき利用者を差別しないこと、情報技術システムの完全性と信頼性を維持すること、データ処理を密かに操作しないこと、個人の移動データを保護すること、匿名化、仮名化の技術を使用することが求められている。

利用者に個人データの収集目的や処理方法等に関する総合的な情報を提供し、利用者の自発的な同意が必要とされている。個人データの収集と処理は、自動運転に関わる情報に限定し、利用者は場合によってデータ収集に関する同意を取り消す権利を有する。

４．３　安全性

自動運転車両がネットワークに接続して通信を行う場合、車両の制御に必要な情報を扱う車内の装置やシステムに影響を与えてはならず、そのためには自動運転技術のソフトウエアに対する不正な操作や、無線通信や診断ポートを経由したサイバー攻撃による不正なアクセスを排除する必要がある。また、システムの機能不全に備えて安全モードを確保する手段を備えなければならず、さらに、サイバー攻撃による不正な操作を検出した場合は、ドライバに警告を出し、車両を安全に制御しなければならないとされている。

４．４．セキュリティ

自動運転車両は、ソフトウエアの更新等により保護手段を有効な状態に保ち、暗号化キーによって適切な対策を備えなければならない。また、通信利用型自動運転車両へのリモートアクセスによるオンラインサービスを適用する場合は、強力な相互認証システムと安全な通信を確保しなければならない。

４．５．サイバーセキュリティの課題

このガイドラインは、WP29 において初めて発行されたものであり、今のところ他分野のサイバーセキュリティにも共通する一般的な内容となっている。今後は基準認証制度に適した具体的なセキュリティ対策や、型式認証や車検等の現場において運用可能な試験方法等を検討する必要があると考えられる。

５．自動運転の関連課題

５．１．道路交通に関する条約の改定状況

ITS/AD-IG が所属する国連の WP29 では自動車の安全技術向上により交通事故の削減を目指している。一方、国連の WP1（道路交通安全作業部会）では、道路交通条約等を通じて交通事故の削減を目指している。道路交通条約には、ヨーロッパの主な国が批准しているウイーン条約と、アメリカ、イギリス、日本などが批准しているジュネーブ条約がある。

これらの条約は「ドライバはいかなる時も車両を制御できなければならない」と規定しているため、自動運転技術はこの条文に抵触する可能性がある。そこで WP1 は両条約に「ドライバオーバーライドとスイッチオフが可能な場合は本条約に適合するものとみなす」という主旨の例外規則の追加を試みた。

その結果、ウイーン条約の改正案[6]は条約加盟国の承認を得て最近発行されたところである。一方、ジュネーブ条約の改正案[7]は条約加盟国の承認が得られず、否決されたところである。両条約の改正には、どちらも加盟国の 3 分の 2 以上の同意が必要であるが、無投票の国について、ウイーン条約では賛成とみなすのに対し、ジュネーブ条約では反対とみなすため、このような食い違いが生じている。そのため、自動運転技術をどうやってジュネーブ条約に適合させるかが重要な課題となっている。

５．２．二次タスクの是非

自動運転中にドライバが運転以外の作業（二次タスク）を行うことの是非に関心が高まっている。日本の道路交通法は、運転中にカーナビ等の画面を注視したり、携帯電話を手に持って使用することを禁じており、二次タスクを実質的に認めていない。

しかし、自動運転技術は様々な安全対策を重ねて進化していくと予想されるため、安全性が十分に向上した場合は、二次タスクの規制が見直される可能性がある。そのため、ITS/AD-IG は WP1 にアンバサダーを派遣して車両の技術的信頼性や安全対策等の情報を適宜提供し、WP1 が二次タスクの是非について合理的に判断出来るよう働きかけている。

５．３．関連課題の整理

ITS/AD-IG は自動運転技術の様々な関連課題を検討している。表 2 に示すように、道路交通法やセキュリティ等の関連課題に対して、具体的な検討項目を設定し、主な対策とその担当者を決めている。WP29 の対象ではない検討項目については、想定される外部の担当者を提案している[8]。この表は関連団体との情報共有に使用しており、未定の部分についても適宜、見直しを進めることになっている。

６．おわりに

ITS/AD-IG は自動運転技術の基準化を進める上で検討すべき様々な課題に取り組んでいる。自動運転の定義を明確にすることは、今後の基準化の方向性を規定するだけでなく、ドライバとシステムの役割分担を明確にし、二次タスクの是非等道路交通法のあり方にも影響を与える重要な課題である。

当研究所は ITS/AD-IG の事務局として、全ての議論や資料の作成等に携わっている。この会議に関係する諸外国の行政府や製造業界等の代表者と直接情報交換を行い、様々な立場の意見を集めることにより、公平で客観性、透明性の高い議論が展開されるように努力している。また、当研究所の知見が文書案等に反映されるようにプレゼンテーションを行ったり、直接意見を述べることもある。このような活動を通じて、自動運転の国際基準が適正かつ効率的に構築されるように今後も支援を続ける予定である。

自動運転に関わる新たな安全対策として、サイバーセキュリティガイドラインが間もなく発行される予定である。次のステップではサイバーセキュリティの具体策が求められている。当研究所は国内自動車メーカのサイバーセキュリティ対策等に関する調査を進めており、その結果に基づく認証審査や車検制度に適用可能な試験方法等を提案することにより、自動運転技術の安全な導入に貢献していく予定である。

参考文献

1) 谷口正信, “自動運転の国際基準調和活動”, 自動車技術、Vol.69, No.12, pp.12-17 (2015)
2) SAE: Taxonomy and Definition for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016 (2016)
3) WP29: Guidance to GRs concerning Automated Driving Technology, WP29-166-2 (2015)
4) AdaptiVe: Deliverable D2.1 //System Classification and Glossary (2015)
5) ITS/AD-IG: Cybersecurity and data protection, ITS/AD-09-03 (2016)
6) WP1: ウイーン条約改正案, ECE/TRANS/WP1/145 (2014)
7) WP1: Amendments to Article 8 and Article 22 of the Convention on Road Traffic (1949), ECE/TRANS/WP1/2014/4/Rev.1 (2014)
8) ITS/AD-IG: Common Understanding on Major Horizontal Issues and Legal Obstacles (ver. 2), ITS/AD-09-12 (2016)

表 2　関連課題の例と役割分担（国連資料 ITS/AD-09-12 より）

関連課題	検討項目	WP.29の対象か？	主な対策	主な担当者
道路交通法	ウイーン条約の対象内	Yes	GRRF (ACSF) へのガイダンス	WP29, WP1
	ウイーン条約の対象外	Yes/No	WP1に基づく関連するGRへのガイダンス	WP1, WP29
セキュリティ	サイバーセキュリティ	Yes	サイバーセキュリティとデータ保護に関するガイドラインの発行	ITS/AD
	データ保護	Yes		
	プライバシー保護	Yes		
	システム状態の記録	Yes	ACSF のためのデータ記録システム (DSSA), イベントデータレコーダ	ACSF (GRRF)
法的責任	製造者責任(PL)	No	未定	未定
その他	免許制度	No	未定	WP1
	保険	No	未定	未定
	教育	No	未定	未定

講演２．乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（ＷＬＴＰ）フェーズ２の概要と現状について

国際調和推進部　　※川野　大輔　　水嶋　教文　　小林　一樹

１．はじめに

自動車の排出ガスや燃費に関する技術基準の国際調和に向けた取り組みは、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、以下「WP29」という）及び WP29 傘下の排出ガス・エネルギー専門家会議（以下「GRPE」という）で進められている。特に、乗用車をはじめとする軽・中量車については、近年の車両技術の著しい向上に早急に対応するため、それぞれの国や地域が独自に排出ガス及び燃費の認証試験法を定めており、メーカーの大きな負担となっていた。このような背景から、乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure、以下「WLTP」という）が検討され、2014 年 3 月に開催された第 162 回 WP29 において、世界統一技術規則（GTR No.15）が採択された（フェーズ 1a）[1]。引き続き、これまでの残課題や電動車試験法の高度化に関する検討を行い、2016 年 1 月に開催された第 72 回 GRPE において GTR 修正案が承認され、2016 年 6 月の第 169 回 WP29 に上程された（フェーズ 1b）[2]。

現在は、新たな課題として、燃料蒸発ガス（以下「エバポ」という）低減システム、後処理技術、電動化等といった新たな環境対応技術を取り入れた車両に対応するべく、エバポ試験、低温試験、耐久試験等を取り扱うフェーズ 2 の活動が開始されており [3]、本稿では、フェーズ 2 における活動の概要を紹介するとともに、その中で最優先課題として検討されているエバポ試験法に関する活動状況について報告する。

２．WLTP フェーズ２の概要

以下に、WLTP フェーズ 2 における活動状況と各タスクフォースにおける作業内容を紹介する。

２．１．活動状況

図 1 に、WLTP フェーズ 2 開始当初の活動体制を示す。WLTP インフォーマルワーキンググループ（以下「WLTP IWG」という）とその傘下の電動車試験法サブグループ（以下「E-Lab. Sub-Group」という）のそれぞれにおける議長、副議長、テクニカルセクレタリーはスポンサー国である欧州と日本の政府関係者や技術者で構成され、WLTP IWG の副議長と E-Lab. Sub-Group の共同議長には、交通安全環境研究所の職員が就いている。

表 1 に、フェーズ 2 からの WLTP IWG の開催状況

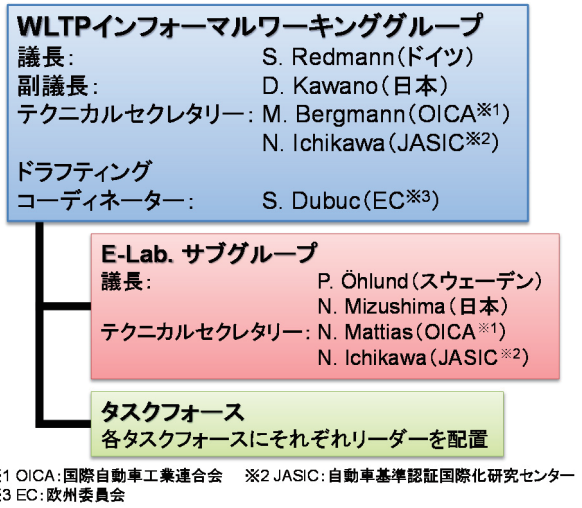


図 1　WLTP フェーズ 2 の活動体制

表 1　フェーズ 2 からの WLTP IWG の開催状況

開催回	開催期間	開催場所	主な検討内容
第 14 回	2016 年 4 月 26～28 日	フランス パリ	低温試験に対する各国のスタンスやバッテリー耐久の取り扱い等
第 15 回	2016 年 6 月 7 日	スイス ジュネーブ	各 TF における作業報告等
第 16 回	2016 年 10 月 5～7 日	オランダ ハーグ	エバポ GTR 案及び GTR 15 修正案に関する審議等

を示す。第 72 回 GRPE でフェーズ 2 の活動体制が承認された後、現在まで計 3 回開催された。会議には世界各国から専門家が集まり、参加者数は 60 名以上に上る。第 16 回 WLTP IWG では、2017 年 1 月に開催される第 74 回 GRPE に上程する予定となっているエバポ GTR 案及び GTR 15 修正案を中心に議論された。

2．2．タスクフォース

表 2 に、WLTP フェーズ 2 における 6 つのタスクフォース（以下「TF」という）と E-Lab. Sub-Group、フェーズ 1b からの残課題の作業概要を示す。なお、スケジュールについては、2017 年 1 月までをフェーズ 2a、2019 年 1 月までをフェーズ 2b とし、それぞれの TF の作業が完了する期限を記載している。

①Cycle TF では、より実走行状態を反映したギアシフトのアルゴリズムや、モード試験時の車両の走行状態のバラツキを評価するための Drive index（運転指標）の採用検討等を行っている。②Supplemental Test TF では、フェーズ 1b で考慮していなかった低温試験、高地試験、エアコン使用時の燃費・排出ガス試験等の追加的な試験方法の検討を行っている。③Evap TF は新たなエバポ試験法を検討している TF であり、これについては後述する。④Durability TF、⑤OBD TF、⑥In-service TF では、それぞれ後処理装置等の耐久性能、OBD、使用過程車の試験方法を検討している。E-Lab. Sub-Group では、①～⑥の TF の内容も含めた、ハイブリッド車・電気自動車・燃料電池車等の電動車に特化した検討を行っている。そのため、他の TF よりも上位に位置づけられており、2 人の共同議長と 2 人のテクニカルセクレタリーによって会議が運営されている。またここでは、電動車の環境性能基準の必要性を議論するために GRPE 傘下に設置された EVE（Electric Vehicles and the Environment）インフォーマルグループと連携し、車両の耐久性能の要件等についての検討も行っている。さらに、Carryover Phase1b として、未規制成分の取り扱いやラウンドロビンテスト等のフェーズ 1b からの残課題について継続して作業を行っており、特にラウンドロビンテストでは、交通安全環境研究所の試験施設を含む世界各国の研究機関で現行の WLTP に則った試験を行い、これらの試験結果から得られた知見を基に、GTR 15 の内容を修正する活動を行っている。

これらの TF のうち、①Cycle TF、③Evap TF、⑤OBD TF、及び E-Lab. Sub-Group については、日本

表 2　WLTP フェーズ 2 における作業概要

タスクフォース名	リーダー国	スケジュール
①Cycle TF（ギアシフト、運転指標等）	JPN, etc.	Phase 2b (一部 Phase 2a)
②Supplemental Test TF（追加的な試験法）	EC	Phase 2b
③Evap TF（エバポ試験法）	JPN	Phase 2a
④Durability TF（耐久試験法）	EC	Phase 2b
⑤OBD TF（OBD 試験法）	JPN	Phase 2b
⑥In service TF（使用過程車の試験法）	EC	Phase 2b
E-lab. sub-group（電動車の試験法）	EC/JPN	Phase 2b (一部 Phase 2a)
Carryover from Phase 1b（フェーズ 1b からの残課題）	―	Phase 2a (一部 Phase 2b)

がリーダー国として各 TF での活動を主導するとともに、データ提供も積極的に行っている。また、Evap TF の全作業と、Cycle TF の一部（パワーウェイトレシオの定義）、E-Lab. Sub-Group の一部（結果処理方法）、フェーズ 1b からの残課題の一部（GTR 15 附則 4「走行抵抗及びダイナモメーター設定」関連、二軸ローラーシャシダイナモ）については、フェーズ 2a で検討を終了し、その結果が試験法として GTR に反映されるよう作業を進めている。

3．エバポ試験法

エバポを含む揮発性有機化合物（以下「VOC」という）は、光化学オキシダントや PM2.5 の原因物質の一つと考えられている。自動車から排出されるエバポは、主に、給油時に燃料給油口から排出されるものと、駐車時に燃料タンクから排出されるものがある。このため、自動車の駐車時に排出されるエバポ対策の強化や給油時等に排出されるエバポ対策が必要である。エバポ試験法は、これらの自動車から排出されるエバポを測定するための試験法であり、日本では、2000 年 10 月から駐車時のエバポ試験法が導入されている。

エバポ排出量は、車両の状態や雰囲気条件により大きく変化することから、エバポ排出量を規制するためには、これらを一定の条件に合わせて評価する必要がある。そのため日本の現行試験法は、先ずキャニスタ

（燃料タンク等から放出される燃料蒸気を吸着させる装置）を 2 g 破過（キャニスタの吸着能力を超え、2 g の燃料蒸気がキャニスタを通過）させ、事前コンディショニング運転、ソーク（エンジンを停止して放置）を行い、決められた運転パターンで試験走行を実施した後にエバポの測定を行う。エバポの測定は、従来の走行直後の駐車時における車両を熱源として発生するエバポ（Hot Soak Loss、以下「HSL」という）と、一昼夜を想定した長時間の駐車時に外気を熱源として発生するエバポ（Diurnal Breathing Loss、以下「DBL」という）の 2 種類のエバポを、密閉された測定室（Sealed Housing for Evaporative Determination、以下「SHED」という）において行う。

現行試験法では DBL 試験を 1 日間としているが、環境省中央環境審議会大気・騒音振動部会自動車排出ガス専門委員会では、市場の実態や欧米の動向を踏まえ、DBL 試験日数の延長を検討している [4]。加えて、2018 年より WLTP における試験サイクル WLTC（Worldwide harmonized Light-duty driving Test Cycle）[1-2]が導入されることから、エバポ試験におけるコンディショニング運転を、現行の JC08 モードベースから WLTC ベースに変更することも検討されている。中央環境審議会は、上記のようなエバポ低減対策の強化を盛り込んだ「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第十三次答申）」を 2017 年 3 月までに示す予定である。

このような日本国内における背景に加え、新たなエバポ試験法の検討については欧州やインド、中国等の各国でも優先度が高いことから、国際調和された新たなエバポ試験法を早急に作成すべく、WLTP IWG の中でも最優先課題として挙げられている。ここでは、Evap TF における検討項目を紹介するとともに、本 TF で検討されている新たなエバポ試験法について概説する。

３．１．Evap TF における検討項目

エバポ試験法を検討するに当たって、排ガス試験法と同様に、燃料性状、測定装置等に加えて、パージサイクル、キャニスタの安定性、パーミエーション（燃料タンクや燃料配管等からの浸透による排出）を考慮するための透過係数といった項目について仕様や性能を定義する必要がある。欧州では、上記の仕様や性能を考慮した新たなエバポ試験法案が提案されており [5]、本 TF ではこれをベースに検討を進めている。

表 3　Evap TF における主な検討項目

検討項目	検討内容
Test fuel（試験燃料）	相互承認を考慮した試験燃料の性状
Equipment（試験装置）	試験装置の精度やデータ取得方法等
Purge cycle（パージサイクル）	WLTC をベースとしたサイクル（Low, Medium, High, Ex.High の組み合わせ）
Canister stabilization（キャニスタ安定化）	キャニスタの劣化方法
PF (Permeability Factor)（透過係数）	透過係数の決定方法や固定透過係数の値
Test Result（試験結果）	試験結果の計算方法
Vehicle stabilization（車両安定化）	非燃料からの炭化水素（HC）の除去方法
Sealed fuel tank system（密閉タンクシステム）	密閉タンクシステムを装着した車両の試験方法
Evap family（エバポファミリー）	エバポ試験におけるファミリー要件
Drafting（ドラフティング）	検討項目を反映した GTR の作成

表 3 に、Evap TF における主な検討項目を示す。Test fuel（試験燃料）については、各国の試験燃料であるレベル 1 燃料の上に、日本と欧州の E10 燃料（エタノール 10%混合ガソリン）の性状の共通項をベースに、相互承認を考慮したレベル 2 燃料を置くことを検討している。Purge cycle（パージサイクル）については、WLTC において速度に応じて分けられた Low（L：低速）、Medium（M：中速）、High（H：高速）、Extra High（Ex.High：超高速）それぞれのフェーズを組み合わせた運転パターンを検討している。加えて、DBL 試験を 1 日目と 2 日目のそれぞれで実施することとしており、これらの試験結果を用いたエバポ排出量の評価方法について検討している。また、近年ではパージ機会が少ないハイブリッド車等に向けて、新たなエバポ低減技術として密閉タンクシステムの導入が進んでいるが、従来のシステムとは構造が大きく異なるため、密閉タンクシステムを適切に評価できる新たな試験法も別途検討している。

その他、試験装置の精度、キャニスタの安定化の方法、透過係数の算出方法、車両の安定化方法、ファミリーの定義等についても検討している。ここで検討されたエバポ試験法については、GTR 15 とは別に、エバポ試験法に特化した新たな GTR を作成することとなっており、2017 年 1 月に開催される第 74 回 GRPE に上程できるように準備を進めているところである。

なお、本 TF では、WLTP フェーズ 2 の開始以来、現在まで計 7 回もの Face to Face 会議や Web 会議が開催されている。そのすべての会議に日本の政府関係者と技術者が参加するとともに、積極的に試験データや試験法案を提示し、日本へスムーズに導入できるエバポ試験法となるよう努めている。

3．2．エバポ試験法の概要

図 2 に、現在検討されているエバポ試験法案（密閉タンクシステムなし）の概要を示す。タンク容量の 40%まで試験燃料を満たして 23℃でのソークを 6～36 時間実施した後、事前コンディショニング運転として Class 2 及び 3 の車両（PMR：Power to Mass Ratio（定格出力と空車重量の比）が 22 W/kg 超）では WLTC の L/M/H/M の運転パターンで走行を、Class1 の車両（PMR が 22 W/kg 以下）では L/M/L の運転パターンで 2 回走行する。23℃でのソークを 12～36 時間実施した後、2g 破過したキャニスタを装着する。その後、事前コンディショニング運転と同じパターンの運転を行い、運転終了後 7 分以内に SHED に入れて HSL 試験を行う。続けて、18～22℃でのソークを 6～36 時間実施した後、2 日間 DBL 試験を行う。これらの HSL 試験、DBL 試験の結果と、あらかじめ燃料系統の劣化試験により得られた透過係数から、エバポ排出量を算出する。その際、DBL 試験については、2 日間トータルを採用する国では規制値は 2g/test とするが、2 日間のうち大きい日の結果のみを採用する国では、それぞれの国で定められた規制値を適用することとしている。

図 2　エバポ試験法案（非密閉タンクシステム）

なお、パージサイクルについては、提案されている運転パターンでのパージ量や市場の走行データが日本と欧州から提供され、これらのデータを基に市場実態を反映したパージサイクルを決定した。

4．まとめ

2016 年 1 月に WLTP フェーズ 2 の活動体制・内容が承認され、現在まで WLTP IWG や各 TF でそれぞれの課題について検討している。特に Evap TF では、フェーズ 2a での新たなエバポ試験法の GTR 策定に向け、早急に作業を進めているところである。

参考文献

1) UN/ECE/WP29 162nd session, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29/ECE-TRANS-WP29-2014-027e.doc
2) UN/ECE/WP29 169th session, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29/ECE-TRANS-WP29-2016-068e.docx
3) UN/ECE/WP29 168th session, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29/ECE-TRANS-WP29-2016-029e.docx
4) 中央環境審議会 大気・騒音振動部会 自動車排出ガス専門委員会（第 58 回）, http://www.env.go.jp/council/07air-noise/y072-58a.html
5) Review of the European Test Procedure for Evaporative Emissions: Main Issues and Proposed Solutions, http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC77061/final_evap_report_online_version.pdf

鉄道認証室における活動の概要と方向性

鉄道認証室　　佐藤 安弘

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(交通研)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 月に設置して以来、5 年が経過した。ここでは、認証機関としての活動の概要について紹介するとともに、将来の方向性について述べる。

２．鉄道認証機関の体制整備と現状

２．１．日本における認証機関の必要性

海外市場では、規格として EN 規格(欧州統一規格)または国際規格(IEC 等)に準拠することが求められ、その規格適合性判断を契約関係者以外の客観的な第三者機関にゆだねる「認証」が求められることが主流となっている。そのため日本の鉄道関連メーカーの海外展開に際しては、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、時差及び技術思想の違いによって生じる時間とコストが課題となっていた。

２．２．認証機関の体制整備

このような背景から、平成 20 年に交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会において国際規格適合性評価のあり方に関する検討の必要性について提言され、国土交通省鉄道局及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「鉄道認証機関設立検討ワーキンググループ」が設置され検討が進められた。

交通研は、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、平成 23 年 4 月に鉄道認証室を設け、ISO(国際標準化機構)及び IEC(国際電気標準会議)共通のガイダンスである当時の ISO/IEC Guide65（製品認証機関に対する一般要求事項)に基づく体制整備を行った。平成 24 年 9 月 6 日には、認定機関である独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターより、鉄道分野の認証機関として国内初の「認定」を取得した。

その後、ISO/IEC Guide65 が ISO/IEC 17065(適合性評価、製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項)に改正されたことに対応し、平成 27 年 2 月には、ISO/IEC 17065 に準拠した認証業務運営に移行した。

２．３．法人統合

平成 28 年 4 月には、旧独立行政法人交通安全環境研究所は旧自動車検査独立行政法人と統合し、独立行政法人自動車技術総合機構が発足した。「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、「交通安全環境研究所」の名称は維持されている。現在の認証業務実施体制の概要を図 1 に示す。

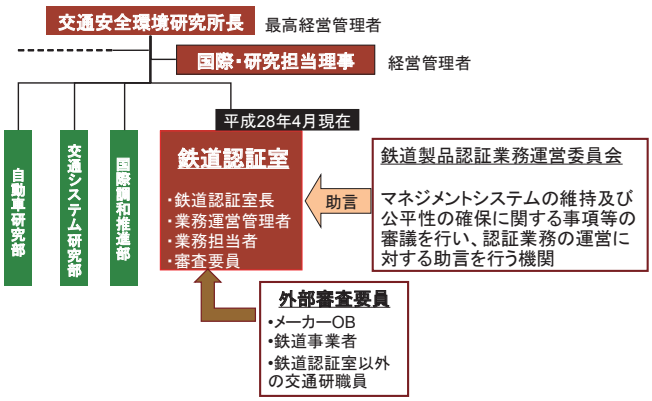


図 1　認証業務実施体制

２．４．認証対象規格と認定の取得

認証対象規格は、上記「ワーキンググループ」によって選定された海外でニーズの高い IEC 62278、IEC 62279、IEC 62280、IEC 62425 及び IEC 62236 の 5 規格である。当初、IEC 62425 を対象とする認定を取得して以来、認定機関による定期的な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。さらに、平成 28 年 9 月には、認定範囲が拡大され、IEC 62425 のほか、IEC 62279 及び IEC 62280 が認定規格として加えられたところである。現在の認証対象規格及び認定規格を表１に示す。

表１　認証対象規格及び認定規格

規格名称		規格番号	認定規格
信頼性，アベイラビリティ，保全性，安全性（RAMS）の仕様と実証		IEC 62278:2002	
通信，信号及び処理システム	信号用の安全関連電子システム	IEC 62425:2007	○
	鉄道の制御，保護システム用ソフトウェア	IEC 62279:2002	○
		IEC 62279:2015	○
	クローズドトランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-1:2002	○
	オープントランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280-2:2002	○
	トランスミッションシステムにおける安全性に関する通信	IEC 62280:2014	○
電磁両立性	通則	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 列車及び車両装置	IEC 62236-3-1:2008	
		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	

３．認証機関としての活動

３．１．認証業務

これまでの認証書の発行実績は合計 15 件となっている(表２参照)。このうち、認証が維持されているものは 13 件、認証取得者の申請により認証を終了したものは２件となっている。

３．２．広報活動

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

(1)鉄道認証情報交換会

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、関連協会及び国土交通省との情報交換会を定期的に実施している。

(2)WEB ページによる情報提供

交通研 鉄道認証室の WEB ページにおいて、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

交通研フォーラム及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２　認証書発行実績

No.	認証番号	発行年月日	認証対象製品	適用規格	備考
1	NRCC-2012-001	H24.1.25	鉄道信号用CPUボード	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
2	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	認証終了（H27.8.20）
3	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	認証終了（H27.8.20）
4	NRCC-2013-001	H25.3.29	鉄道用電子連動システム	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
5	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	
6	NRCC-2015-002	H27.5.13	列車制御システム車上装置	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
7	NRCC-2015-003	H27.5.13	列車制御システム車上装置	IEC 62279 Ed.1.0:2002	
8	NRCC-2015-004	H27.5.26	列車制御システム車上装置	IEC 62280 Ed.1.0:2014	
9	NRCC-2015-005	H27.7.24	列車検知装置	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
10	NRCC-2015-006	H27.10.9	鉄道用電子連動システム	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
11	NRCC-2016-001	H28.3.8	信号システム全体（特定路線向け）	IEC 62278 Ed.1.0:2002	
12	NRCC-2016-002	H28.3.31	列車制御システム地上装置	IEC 62425 Ed.1.0:2007	
13	NRCC-2016-003	H28.3.31	列車制御システム地上装置	IEC 62279 Ed.2.0:2015	
14	NRCC-2016-004	H28.3.31	列車制御システム地上装置	IEC 62280 Ed.1.0:2014	
15	NRCC-2016-006	H28.8.18	無線利用列車制御システム	IEC 62425 Ed.1.0:2007	

（H28.9.1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。）

４．今後の方向性

４．１．認定規格の拡充

平成 28 年 3 月に IEC 62278 を適用規格とする認証書を発行したので、この実績に基づき認定規格の拡充に向けた諸手続を行う予定としている。

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

４．２．国際通用性の強化

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範囲の拡大に努めることとする。また、外国の認証機関との連携等による、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。

交通研では、公平・中立の立場から、日本の鉄道製品・システムの認証を通じて、日本の鉄道技術の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。

講演３．鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望

鉄道認証室　　※長谷川 智紀　　渡邉 朝紀　　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、海外鉄道市場の拡大が進んでおり、日本にとっては、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。しかし、安全性、安定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多くの課題がある。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、鉄道の安全関連の国際規格を中心に、近年の動向、主な規格の特徴、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．鉄道における安全関連の国際規格[1)]

２．１．機能安全規格

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)[2)]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。

①IEC 62278[3)]：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[4)]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。

②IEC 62425[5)]：信号用安全関連電子システム
IEC 61508-2 から派生した EN 50129[6)]をベースとし、セーフティケース規格と通称される。

③IEC 62279[7)]：安全関連ソフトウェア
IEC 61508-3 から派生した EN 50128[8)]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[9)]（EN 50159[10)]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、規格適用では少なくとも上記②と③が参照される。

これら機能安全規格は、一般的に「試験」により規格適合を証明する技術仕様規格とは違い、特定製品に対する安全マネジメントのプロセスの結果である各種証拠文書が規格に適合していることを「認証」により証明する必要がある点に特徴がある。

２．２．機能安全規格の規格適合における課題

多くの産業分野と同様に、鉄道分野においても我が国の製品の品質は国際的に高い評価を受けている。また、社会インフラとしての国内鉄道システムの安全性、安定性も同様である。これは製品サプライヤの業務品質に加え、長期にわたり使用・保守を行うユーザである鉄道事業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 ISO 9001 等の品質マネジメント規格への適合性認証を取得し、維持していることが通例である。

しかし、このような取り組みがされているにもかかわらず、鉄道の機能安全規格への適合の達成については、以下の課題が指摘されている。

２．２．１．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整合性、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、基本的にこれらの観

点毎に独立した証拠文書の作成を要求するため、総文書量がおの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整合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。しかし、機能安全規格は個別製品を対象にしたものであるため、個別製品毎に体制を実現するのは困難である。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。

２．２．２．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における製品開発構想段階から、製品の使用停止と廃棄までの安全マネジメントを全て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、製品の稼働現場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る余地がある。

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る余地がある。

④O&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、後段である第 11 段階に位置する 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を全てカバーすること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

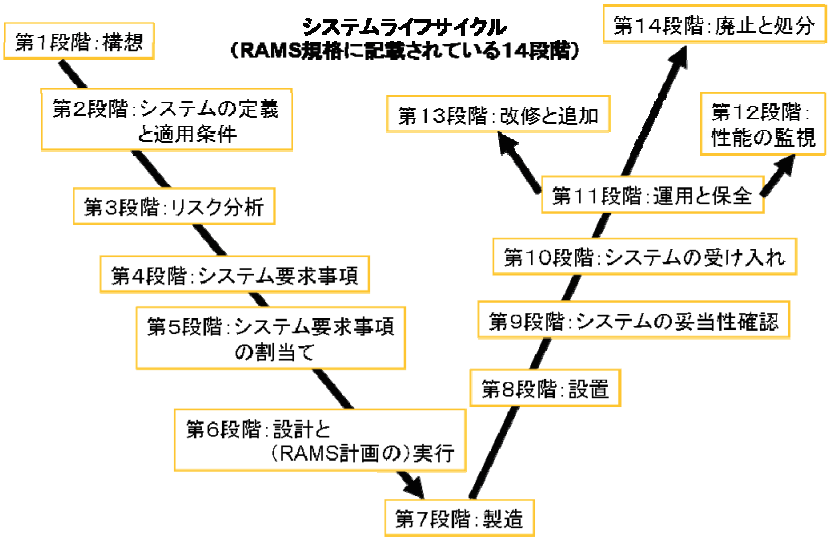


図１　RAMS ライフサイクル

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））のような定量的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、専門委員会（TC：Technical Committee）である 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。

２．２．３．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の原則を無視した適用要求の事例が見られ、証拠文書を時間軸を遡って作成するなど、規格の本来の目的と異なる形式的な運用が懸念される。

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と同様の形式的な運用を招く懸念がある。

２．３．課題への対応

上記のように鉄道における機能安全規格には、様々な課題がある。規格の修正で対応できるもの、規格の運用で対処すべきものなど、内外の鉄道事業者や鉄道関連産業にとって最も良い対処方法を継続的に模索していくことが望まれる。

３．国際規格の近年の動向

鉄道分野の国際規格は、IEC では TC9、ISO では TC269 において審議が行われている。どちらにおいても、欧州規格である EN 規格をベースとした国際規格化の提案が進められている。我が国は、安全性・安定性で実績ある日本の鉄道技術が国際規格外にならないように日本方式を国際規格へ反映する取り組みをするとともに、日本から新規格を提案し主導権を握ることを目標とし、鉄道総合技術研究所鉄道国際規格センターを中心に多くのエキスパートを国際規格審議団体へ送り込んでいるところである。

ここでは、機能安全規格に関係する規格として、ISO の鉄道品質マネジメント規格及び IEC の RAMS 規格について以下に述べる。

３．１．鉄道品質マネジメント規格

UNIFE（The European Rail industry：欧州鉄道産業連合）により、ISO 9001 の要求事項に鉄道業界特有の項目を加えた IRIS（International Railway Industry Standard：国際鉄道産業標準）が 2007 年に制定され、海外ビジネスにおいて車両メーカーは IRIS 認証取得を取引条件として要求するようになった。

2015 年の ISO/TC 269 年次総会において、UNIFE より IRIS の ISO 規格化が提案され、アドホックグループ（ISO/TC269/AG15）を設立し検討を開始した。2016 年の ISO/TC 269 年次総会において、IRIS2016 をベースとする鉄道向け品質マネジメント規格（Railway Quality Management System：RQMS）として審議することが決まった。我が国からは公平性確保要件を提案するとともに、まずは TS（Technical Standard：技術仕様書）として発行することを提案し、了承された。また、ISO/TC269/AG15 と ISO/CASCO（Committee on Conformity Assessment：適合性評価委員会）との間にリエゾンを設置することが提案され、了承された。これにより、適合性評価において、UNIFE 主導の認証スキームではなく、ISO 主導の認証スキーム作成に進むこととなる。

３．２．RAMS 規格

EN 規格をベースに 2002 年に発行された IEC 62278 は、RAM の記述が不十分であったことから、RAM を補強する追補を我が国から提案し、2012 年の IEC/TC9 の総会においてアドホックグループの設立（国際主査：日本）が認められた。その後、2014 年に追補ではなく TR（Technical Report：技術報告書）として開発することが合意され、2016 年に日本提案で推進した IEC 62278 の O&M フェーズに関する改訂を TR として発行することが国際投票にて承認された。

現在 CENELEC（欧州電気標準化委員会。同委員会の規格は「CLC」と記載。）では、IEC 62278 のベースとなった EN 50126 の改訂作業を行っている。改訂作業では、EN 50126、CLC/TR 50126-2、CLC/TR 50126-3、EN 50128 及び EN 50129 を統合[11]し、規格間の用語の違いの修正を行っている。

今後は、来年以降に想定されるCENELECからのEN 50126改訂版発行後に生じるIEC 62278改訂において、現在審議しているTRの内容を反映させる予定となっている。

4．今後の展望

我が国の鉄道業界は、鉄道事業者がインフラシステムを企画し、必要な機器・設備をメーカーに分割調達し、運営し、保守を行うという仕組みで成り立ってきた。そのため、標準化の必要性が少なく、鉄道事業者の意向に如何に対応するかがメーカーに必要とされる能力であった。

一方、海外、特に欧州では多くの国をまたいで鉄道が整備されていることもあり、共通のルール作りが必要な環境である。そのため、EU Directives（EU指令）、TSI（Technical Specification for Interoperability）といった欧州法律等による共通ルールが制定されている。これに加え、これらの欧州ルールはEN規格を参照するため、欧州域内では結果としてEN規格は強制規格となる。

このように規格に対する立場の違いがあるため、我が国と欧州各国との取り組み方に違いがでてくる。

しかし、今後TBT（Technical Barriers to Trade：貿易の技術的障害）協定やEPA（Economic Partnership Agreement：経済連携協定）交渉の結果次第では、国際規格化されていない日本の製品の活用が妨げられるおそれがあることから、少なくとも、日本の鉄道技術が国際規格外にならないよう、規格審議に対応していく必要がある。加えてメーカーは、国内向け、海外向けにかかわらず機能安全規格に代表されるマネジメントに対応できる体制を早急に構築することが、国際規格へ対応していくためには必要不可欠になると考えられる。

交通安全環境研究所は、機能安全規格に対する認証を行うことで、海外展開の一助となるよう努力をしていく所存である。

5．まとめ

鉄道の安全関連の国際規格を中心に、近年の動向、主な規格の特徴、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述べた。

今後、RAMS規格の改訂、鉄道品質マネジメントの規格化が進むにあたり、これらへ適切に対応できるか否かが海外展開の鍵になるかと思われる。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。鉄道業界の様々な立場の方々並びに関係機関のご指導、ご協力をお願いする。

参考文献

1) 田代：“鉄道分野の国際規格の動向と今後の展望”，交通安全環境研究所フォーラム 2015, pp.73-76

2) IEC 61508 series: “Functional safety of electrical /electronic/programmable electronic safety-related systems”

3) IEC 62278:2002: “Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)”

4) EN 50126-1:1999: “Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Basic requirements and generic process”

5) IEC 62425:2007: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling”

6) EN 50129:2003: “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling”

7) IEC 62279:2015: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems”

8) EN 50128:2011: “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems”

9) IEC 62280:2014: “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related communication in transmission systems”

10) EN 50159:2010: “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety-related communication in transmission systems”

11) prEN 50126-1:2012: “Railway applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS process”

交通システム研究部における研究の概要と方向性

交通システム研究部　　廣瀬 道雄

１．まえがき

交通安全環境研究所は、日々の生活や経済活動に欠かせない自動車、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実現に貢献するための取り組みを進めている。

その中で交通システム研究部では、鉄道、LRT（Light Rail Transit：次世代型路面電車システム）等の交通システムに係る安全及び安定輸送の確保に貢献するため、事故の原因究明、省コストで安全性の向上を図ることができる事故防止対策の検討、新たなシステム・車両の技術評価等を実施している。また、地域交通の維持・活性化、高齢者や交通弱者の移動の安全・安心の確保、自動車と鉄道等の技術連携など、陸上交通の総合的な安全・環境に関わる課題についても注力している。

近年、高速・大容量通信デバイス、高精度センシングデバイス、多周波衛星測位デバイス等が容易に使用できる環境が整ってきており、鉄道分野においても、こうした新たな技術を取り入れることにより省コストで安全性向上を図ることができると考えられるが、そのために必要な技術提案や検証も当研究部の重要な取り組みと位置付けている。

本稿では、交通システム研究部が実施している取り組みの概要について報告する。

２．交通システム研究部の研究

２．１．基本的研究課題

交通システム研究部では、基本的な研究課題の柱として、(1) 交通システムの安全性・信頼性評価、(2) 地方鉄道の安全性向上、(3) 公共交通の導入促進・評価、(4) 陸上交通に関する分野横断的課題、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、当研究部においても、日本の鉄道技術の国際標準化に貢献するとともに、受託研究として海外向けシステムの安全性評価に積極的に対応している。

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っている。

２．２．交通システムの安全性・信頼性評価

交通システムの安全性・信頼性評価に係わる研究については、交通システムに用いられる技術の安全性・信頼性に関し、技術評価の的確な遂行に資するよう、国内外の動向を踏まえた評価手法の研究を行っており、新たな技術の導入促進及び我が国の鉄道技術の海外展開に貢献することを目指している。

当研究所は、旧運輸省の研究所として発足し、独立行政法人への移行後も引き続き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の評価及び技術基準策定支援等に取り組んできた実績を有している。近年は無線式列車制御システムの安全性評価の実績が増えているが、情報通信セキュリティ等の新たな課題への対応も含め、新技術に則した技術評価に努めているところである。

当研究部では、今後も新たに開発されたシステム等の安全性評価を受託研究として継続的に実施することとしている。また、評価を通じて蓄積したノウハウを活用し、安全性評価や鉄道認証室が所掌する国際規格適合性認証を的確に進める上で役立てられるよう、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標準化・高度化に取り組んでいくこととしている。

２．３．地方鉄道の安全性向上

地方鉄道の安全性向上に係わる研究については、自動車分野等で急速に進展している情報通信技術、衛星測位技術、各種センサ技術等に着目し、低コストで鉄道等の安全運行、予防保全等を実現する手法を研究している。

特に鉄道車両、施設の保守管理については、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発条転てつ機の予防保全手法に関する研究などを実施している。

また、センサ技術、GPS、汎用無線等を組み合わせて、営業列車を用いた軌道状態監視システム（プローブ車両）による予防保全支援システムの構築を進めており、今後はデータの遠隔自動収録や走行音の積極的活用等の機能拡充を図ることにより、高頻度・多情報の計測データを現地に行かなくとも収集・解析できる仕組みを整えることにより、地方鉄道の保守負担を軽減しつつ安全性向上に貢献していくこととしている。

さらに、将来に向けて一層の保守負担軽減、省コスト化を図るには、軌道回路等の地上設備に頼っている列車の位置検知を車上主体に置き換え、地上設備を削減・省力化することが求められる。このため、準天頂衛星、GPS 等の衛星測位技術を活用して列車の位置検知を行う車上システムについて、安全性の観点から位置検知の精度・信頼性等に関する研究に取り組んでいる。

２．４．公共交通の導入促進・評価

公共交通の利用促進・評価に係わる研究は、LRT、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こと等を狙いとして様々な開発が進められている新型ホームドア等の評価を行っている。また、地域公共交通の整備を検討している地方自治体に対する技術的支援を行うなど、公共交通システムの普及や利用しやすい交通環境づくりに関する取り組みを実施している。

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。

特に近年は、人口減少や高齢化社会への対応が重要となってきていることから、都市交通シミュレータに階層的意思決定法（AHP：Analytic Hierarchy Process）による経路選択モデルを付加し、年齢に応じた交通行動の変化を踏まえた評価を行うための検討を進めている。

２．５．陸上交通に関する分野横断的課題

当研究部では、自動車・鉄道の双方を所管する交通安全環境研究所の特長を生かした分野横断的取り組みを進めており、従来より、バイモーダルシステム（専用軌道と一般道を乗り換えなしに直通するデュアルモードバスなど、同一の車両が異なる交通モードを直通する旅客輸送システムをいう）や隊列走行バス等の研究を行ってきた実績を有する。

分野横断的課題については、現在、道路上を運行する路面電車と自動車との接触・衝突事故の防止、及び鉄道と道路交通が交差する踏切における事故の防止を対象として、ITS（Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム）の車車間通信技術や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。

３．今後の展開

交通システム研究部では、交通システムの安全性・信頼性評価、地方鉄道の安全性向上、公共交通の導入促進・評価、陸上交通に関する分野横断的課題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長を生かした研究に積極的に取り組むとともに、引き続き優れた安全性・信頼性を誇る我が国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４．通信技術等を活用した鉄軌道・道路交通間における安全性向上に関する取組

交通システム研究部　※竹内 俊裕　廣瀬 道雄　長谷川 智紀　林田 守正　森 裕貴
山口 大助　工藤 希　伊藤 昇（客員研究員）
国際調和推進部　坂本 一朗
自動車研究部　児島 亨　松村 英樹　宝渦 寛之

１．まえがき

鉄軌道輸送において安全の確保は最大の使命であるが、近年、我が国においては、鉄道における事故件数は図１に示すように下げ止まりの傾向を見せており、さらなる安全性向上のための対策が必要とされている。

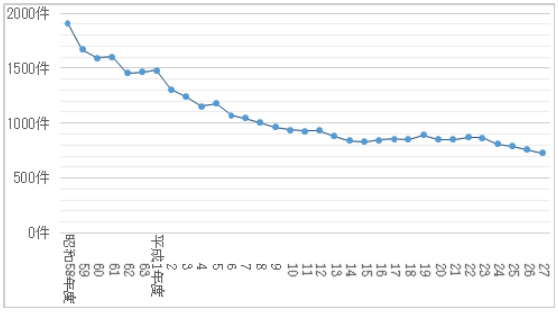


図１　鉄道運転事故件数の推移 [1)]

一方、自動車の分野においては、国土交通省自動車局が交通事故による死傷者数の削減を目的として推進している ASV 推進計画 [2)]において、衝突被害軽減ブレーキ等の自律検知型安全運転支援技術が開発・実用化され、普及が進んでいる。さらに、道路交通が抱える安全・環境問題への対応を目的とした ITS（高度道路交通システム）技術についても、開発、実用化が進められているところである。また、自動車分野に限らず、高精度なセンシングデバイスや高速・大容量な通信デバイス等が汎用技術として安価に使用できる環境が整ってきている。鉄道分野においても、こうした新たな技術を安全対策に取り入れていくことにより省コストで安全性向上を図ることができるものと考えられるが、そのためには適切な技術提案及び検証が必要となる。

このため、交通安全環境研究所においては、自動車と軌道系交通システム（鉄道、路面電車等）の双方の研究を所管している特長を生かし、このような技術の進展を背景として、これらの安全技術やデバイスを軌道系交通システムへ活用し、道路交通との協調を図ることで双方の安全性向上に資する研究を進めている。

本稿では、鉄道と道路交通が交差する踏切において、列車と自動車や歩行者が衝突する事故を防止する取り組みや、道路を共用している路面電車と自動車が衝突する事故を防止する取り組みについて述べる。

２．踏切事故防止のための取組

２．１．事故データの分析

踏切における事故は、図２に示す様に、立体交差化や踏切部の道路拡幅等の対策により年々減少しているものの、平成 27 年度においては、全鉄道運転事故 727 件のうち、約３割にあたる 236 件が依然として踏切で発生しており、踏切事故対策は鉄道の安全性を向上するうえで重要な課題となっている。

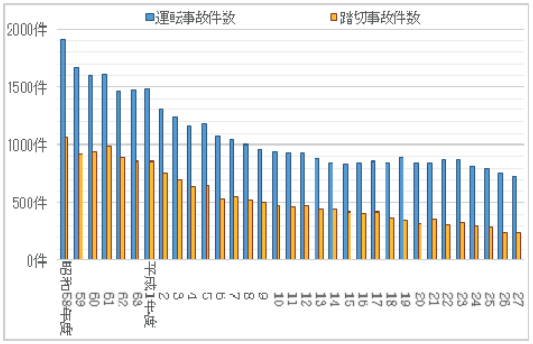


図２　鉄道運転事故件数と踏切事故件数の比較 [1)]

そこで、踏切事故防止のための取り組みを行うに際し、踏切事故の実態について分析を行った。

平成 27 年度時点の国内の踏切数は、33,432 箇所となっており、その内訳は、第１種踏切（踏切遮断機を設置し、すべての列車又は車両に対して遮断機を閉じ道路を遮断する踏切）が 29,811 箇所、第３種踏切（警報機が設置されているが、遮断機が設置されていない踏切）が 757 箇所、第４種踏切（遮断機も警報機も設置されていない踏切）が 2,864 箇所となっている。なお、第２種踏切（一部の時間帯のみ踏切保安係が遮断

機を操作する踏切）は、現在国内には存在していない。

踏切における事故実態については、原因別事故件数において、直前横断と停滞・落輪・エンストが全体の82%を占めており、関係者の年代別では、60 歳以上の高齢者が約６割を占めている。

踏切事故の防止対策として、踏切内で自動車の脱輪やエンスト等が発生して踏切が支障した場合、踏切支障押しボタン等の手動操作又は踏切障害物検知装置による自動検知により、踏切に接近する列車に危険を報知するための踏切支障報知装置がある。しかしながら、その装置が備え付けられている踏切数は、全ての鉄道事業者で 22,494 箇所、設置率は 67.3%であるのに対し、中小民鉄のみに注目すると、設置率が 35.5%まで下がり（図３）、中でも設置にコストを要する障害物検知装置の設置には難しさがうかがえる。また、高齢者が踏切を渡り切れなかったり、踏切内で転倒したりすることにより事故にあうケースも見受けられ、現状の踏切障害物検知装置では防護できないこうした事故に対しても対策が求められている。

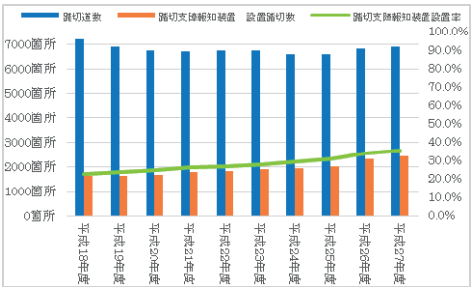


図３　中小民鉄における踏切支障報知装置設置状況 [1)]

このように踏切事故の実態を分析した結果、以下のことが可能となれば、踏切事故防止に効果があると考え、これらの機能を有する踏切事故防止支援システムを構築することとした。

①踏切へ接近する自動車に対して、踏切保安設備の動作状態を報知する。

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

また、地方鉄道にも設置できるよう、汎用技術を活用することで低コスト化を図ることとした。

２．２．踏切事故防止支援システムの概要

踏切事故防止支援システム（図４）は、３つのクライアント端末（列車、踏切、自動車）と、各クライアント端末からの情報をもとに様々な支援を行うクラウドサーバーで構成し、各装置間では汎用回線を利用して情報伝送を行うクラウド型システムとして構築した。主な機能としては、踏切へ接近する自動車に対して、踏切保安設備の動作状態を伝送し、踏切保安設備が動作中の場合は、その時の自動車の速度や踏切までの距離等の情報に基づきドライバーに情報提供や注意喚起を行う踏切接近支援機能を有している。

また、踏切への自動車や歩行者の進入を検知し、一定時間経過しても進出が検知できない場合には、踏切内停滞と認識し、接近中の列車の運転士に情報を提供するとともに、停滞している自動車や歩行者に対し、列車の到達時間に応じて情報提供や注意喚起等の支援を行う踏切停滞支援機能を有している。

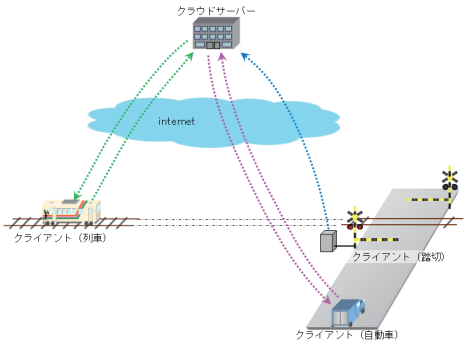


図４　踏切事故防止支援システム

本取り組みは、このような機能を有する踏切事故防止支援システムの構築を目指しており、今回、基本機能を有する試験システムを構築し、現車試験を実施したので、その結果を以下に述べる。

２．３．機能確認試験

試験システムの実車試験は、山形鉄道フラワー長井線赤湯～荒砥間および第二勧進代踏切において実施し（図５）、汎用回線を利用した通信機能の確認を中心として、踏切接近支援機能、踏切停滞支援機能の基本機能について確認した。

図５　試験車両（左）と試験を実施した踏切

（１）汎用回線を利用した通信機能は、各クライアント端末とクラウドサーバー間の情報伝送を担っている。通信機能の確認試験は、走行する列車内にクライアント端末を設置し、当研究所に設置したクラウドサーバーとの間における通信状況をモニタすることにより実施した。その結果、数レコードの伝送エラーが確認されたが、伝送エラーが連続して発生することはなく、次の伝送タイミングでは正常に伝送されており、短周期で繰り返し情報伝送を行う仕様としている

ことから、システムの動作に影響を与えるような伝送途絶や遅延の発生は見られなかった。また、誤った情報が伝送されるような事象は発生しておらず、通信機能の信頼性は確保できる見通しが得られた。

（２）踏切接近支援機能については、クライアント端末と位置検知用 GPS 受信機を搭載した自動車（図６）を踏切保安設備が動作している踏切に向かって時速 40km で走らせて検証した結果、当該自動車が踏切に到達するまでの TTC（Time To Collision 衝突予測時間）に応じて、3.7sec（約 42m）で情報提供、3.2sec（約 36m）で注意喚起の支援が行われることを確認した（図７）。

図６　GPS 受信機とクライアント端末（自動車）

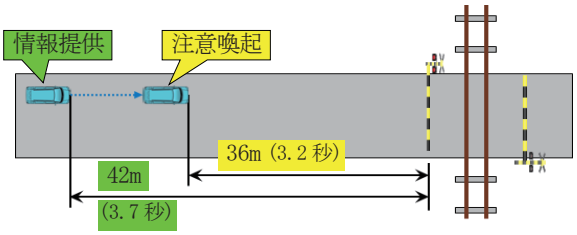


図７　支援タイミング

（３）踏切停滞支援機能については、クライアント端末（踏切）上で踏切内停滞の状態を模擬し、その情報をクラウドサーバーへ伝送し、クラウドサーバーからの指令により、列車と自動車に搭載されたクライアント端末において情報提供、注意喚起、警報の各支援が行われることを確認した（図８）。

図８　列車及び自動車に搭載したクライアント端末

上記の通り、各支援動作はクラウドサーバー経由の通信機能で実現しているが、実車試験の結果、支援に支障が生じるような応答の遅れは発生しておらず、クラウド型システムにより支援機能を実現できる見通しが得られた。

今後は、今回得られた結果をもとに、踏切内で停滞した自動車等を検知する機能の追加等を実施し、踏切事故防止支援システムの構築および実車試験による検証を進めていく予定である。

３．路面電車と自動車の衝突事故防止のための取組

３．１．背景

近年、路面電車は環境負荷の小さい公共交通機関として見直されているが、自動車と道路を共用していることから、路面電車と自動車との間の事故防止を図ることが安全を確保するうえで重要である。そのため、ASV 推進計画で検討が進められてきた通信利用型安全運転支援システムを路面電車と自動車間に活用して位置や速度等の情報を交換し、路面電車の運転士と自動車のドライバーに情報提供や注意喚起の支援を行うことにより、接触事故や衝突事故を防止することを目的として、路面電車・自動車間衝突事故防止支援システムを構築し、事故削減効果が見込まれる場面における支援について取り組んできた[3)]。当研究所は、2013 年に開催された ITS 世界会議東京 2013 において、広島地区 ITS 公道実証実験連絡協議会の一員として、東京大学、広島電鉄、マツダとともに、広島地区 ITS 共同研究体を組織し、「広島における世界初の路面電車－自動車間通信型 ASV デモ」を実施している。

３．２．これまでの取組

これまでに構築した路面電車・自動車間衝突事故防止支援システム（図９）は、処理装置を中心として、自車両の位置検知を行う GPS 受信機、自動車と通信を行う ITS 無線機とアンテナ、運転士への支援を表示と音声で行うための支援モニタと支援スピーカで構成している。

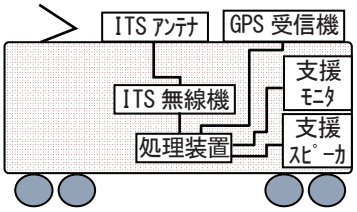
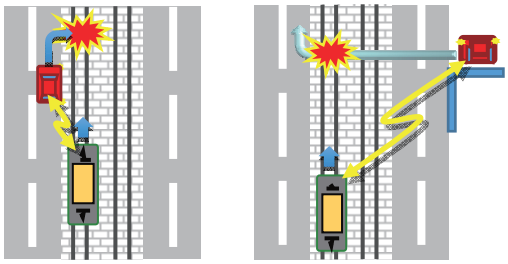


図９　システム構成

また、支援を行う場面は、路面電車事業者の意見や事故事例等から、支援による事故削減効果が見込まれる６場面を選定してシステムを構築するとともに、その中から、特に支援の有効性が高いと思われる２場面を対象に検討の深度化を図ってきた（図１０）。

これらの２場面については、実証実験や路面電車シミュレータを活用して路面電車の運転士による評価を行い、自動車と路面電車が接近して接触の可能性があるときに場面に応じた支援が確実に行われること

を確認するとともに、最適な支援タイミング等を検証し、事故防止に効果があることを確認した（図１１）。



場面１　　場面２

図１０　支援場面

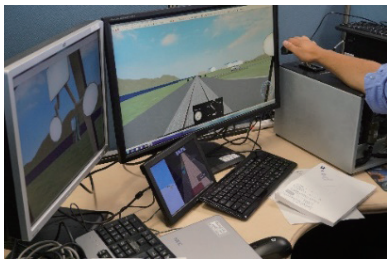
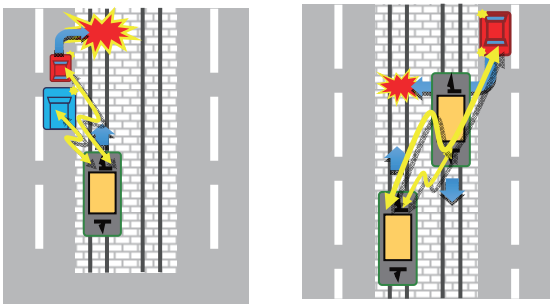


図１１　路面電車シミュレータ

３．３．現在の取組

支援により路面電車と自動車の衝突や接触事故を削減する効果が見込まれる場面は、前述の２場面以外にも考えられることから、対象場面を拡充して検討を行うこととした。その場面選定の方法として、路面電車の運転士へのヒアリングを実施した結果、図１２に示すように、大型車の陰に存在する右折待ち自動車と路面電車の接触の可能性がある場面（場面３）と対向路面電車の陰に存在する対向右折自動車と路面電車の接触の可能性がある場面（場面４）の２場面が、支援の効果が大きいとの結果が得られた。



場面３　　場面４

図１２　検討中の支援場面

路面電車・自動車間における無線通信で使用するメッセージセットについては、車車間通信の実験用に策定されたガイドライン [4]に準拠して検討を進めており、追加場面を含めた支援タイミングや支援方法については、実証実験による機能確認と路面電車シミュレータによる効果評価を通じて進めることとしている。

また、将来的に車車間通信の普及が進み、車載無線機を搭載した自動車が多数存在する環境下（図１３）において、的確に支援を行うための方法及びタイミング等に関する検討や、支援の対象となる自動車が複数存在する場合における優先順位等の検討についても進めていく予定である。

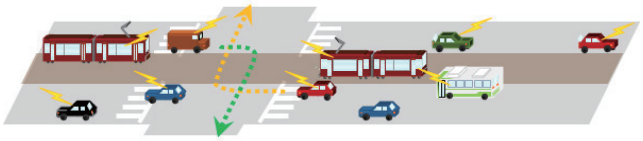


図１３　多数の環境における支援のイメージ

４．まとめ

通信技術を活用した軌道系交通システムの安全性向上に関する取り組みとして、踏切における列車と自動車・歩行者の事故防止および道路上における路面電車と自動車の事故防止への取り組みについて述べた。

踏切における列車と自動車等の事故防止については、試験システムを構築し、踏切へ接近する自動車に対して踏切保安設備の動作状況を報知する機能の確認や、踏切内で停滞した自動車の情報に基づき、列車や自動車に情報提供等の支援を行う機能の確認を現車にて実施し、支援システムの実現に向けた見通しを得た。今後は、踏切内で停滞した自動車や歩行者を検知する機能等を追加し、踏切事故防止支援システムとしての有効性を検証していく予定である。

また、路面電車と自動車の事故防止については、これまでの研究成果を基礎として、事故削減効果が期待される場面の追加や多数の自動車等が存在する環境下における支援方法等の検討を進め、今後は、実証実験や路面電車シミュレータを通して機能検証や効果評価を実施し、有効性を確認していく予定である。

参考文献

1) 国土交通省鉄道局　鉄軌道輸送の安全に関わる情報

2) 国土交通省自動車局　ＡＳＶパンフレット
http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/japanese/planning5. html

3) 長谷川、“ITS 技術を応用した鉄道の安全性向上への取り組み－車車間通信を活用した LRT の安全運転支援システム－”、平成 26 年度交通安全環境研究所講演会、pp.27-40

4) ITS 情報通信システム推進会議　700MHz 帯高度道路交通システム 実験用車車間通信メッセージガイドライン　ITS FORUM RC-013 1.0 版（平成 26 年 3 月 31 日策定）

講演５．列車制御システムにおける衛星測位利用に関する取組

交通システム研究部　　※工藤 希　　長谷川 智紀　　竹内 俊裕　　廣瀬 道雄
篠田 憲幸（客員専門調査員）

１．はじめに

鉄道ではこれまで位置検知に軌道回路及び地上子等を用いることで鉄道の安全を守ってきた。一方、衛星測位は、良好な受信状態のもとでは、常時、位置検知が可能なシステムである。特に平成 30 年度から４機体制でのサービスが予定されている準天頂衛星の活用により一層の位置検知精度向上が見込まれるため、様々な分野への展開が期待されている。

鉄道においても衛星測位を利用した位置検知が期待されるものの、このような新しい技術を鉄道の列車制御システムに適用するためには、既存システムと同等の高い安全性・信頼性を確保しなければならないという課題がある。

今回、列車制御システムにおける衛星測位利用の課題を整理し、その対策について交通研の取り組みを紹介する。

２．鉄軌道に関連する状況

鉄道は大量輸送に向いている一方、線路を始めとする設備の更新や維持管理などの固定コストが大きい。そのため、日本においては昨今の鉄道利用者の減少に鑑み、鉄道では安全を確保できる範囲で設備の省力化が望まれている。安全な列車運行のための基本的な設備である信号設備においても、地上設備を減らし車上主体のシステムが検討されている。

また、路面電車においては通常、架線に設置したトロリーコンタクタ（トロコン）にパンタグラフが接触することによって電車の位置を検知している。昨今、バッテリー技術の進展に伴い、架線からの電力供給ではなくバッテリー等で走行する架線レストラムの研究が進んでいることから、トロコンによらない位置検知を検討する必要がある。

海外では、軌道回路を用いない無線列車制御システム（CBTC：Communication Based Train Control）の導入が進んでいる。同じく無線を使った列車制御システムとして、JR 東日本の ATACS（Advanced Train Administration and Communications System）[1)]がある。どちらも連続的な位置検知と他の列車との双方向通信によって閉そくを確保するものである。

このような状況の中で、交通研では、地方鉄道を対象として低コストで導入、運用が可能な信号システムを構築することにより、地方鉄道を維持、活性化することを目標に、カーナビなどで広く使用されている衛星測位技術を使った位置検知を検討している。

３．衛星測位

３．１．衛星測位

衛星測位は、図１に示すように衛星から電波を受信し、そこから衛星までの距離（R1、R2、…）を求め、全ての距離が一致する点として現在地を計算するものである。計算には、原理的には３機、時刻の補正を含めると４機の衛星を捕捉することが必要である。

位置測位のための衛星（航法衛星）には有名なものとしてアメリカの全地球測位システム（GPS：Global Positioning System）、ロシアの GLONASS（GLObal NAvigation Satellite System）がある。それぞれ 32 機、24 機が稼働しており、これら双方の衛星を受信することができる受信機も増えている。

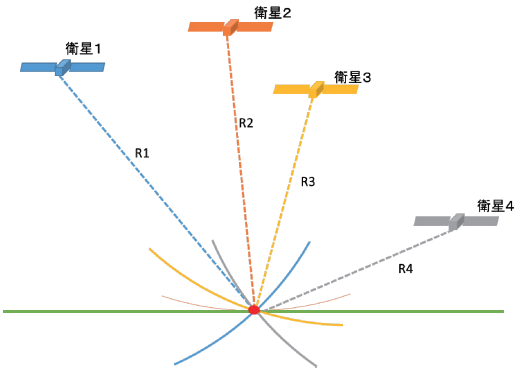


図１　衛星測位の原理

これまでの研究成果から、衛星による単独測位での精度は数十 m であることが分かっている[2]。誤差要因には、電離層を通過するときの誤差などの自然的なものと、マルチパスと言われる衛星から送信された電波が受信されるまでの間に反射することによるものがある。マルチパスの発生はその性質上、周辺環境と衛星の位置との関係によるため誤差の量が推定しづらい。マルチパスの影響を少なくするためには、建物などに遮られにくい高仰角の衛星を多く捕捉することが有効となる。そのため、日本では準天頂衛星システムが計画された。

３．２．準天頂衛星

準天頂衛星は日本の上空で衛星測位を高精度で利用するため内閣府が打ち上げる衛星で、平成 22 年に初号機である「みちびき」が打ち上げられた。内閣府によると、平成 30 年までに４機体制になる予定である。さらに、持続測位が可能となる７機体制の確立のために必要となる追加３機についても、平成 29 年度をめどに開発に着手するとのことである[3]。

準天頂衛星は上述の GPS 等の全地球航法衛星システムとは異なり、日本及びオーストラリア周辺の上下非対称の８の字の軌道をとる。準天頂衛星が３機以上の体制となれば、東京上空では常に 70 度以上の高仰角な衛星を１機は見通せるようになる。

これにより、常にマルチパスの影響を受けにくい天頂方向に衛星を１機確保できることになるため、GPS 等の衛星と合わせて測位することで精度向上が見込める。さらに、準天頂衛星は独自の補強情報をもつため、これを利用することによっても位置検知精度の向上が期待できる。また、日本独自の衛星であることから、受信した情報を安心して利用できることも利点としてあげられる。

４．鉄道における衛星測位利用

４．１．衛星測位を利用している例

鉄道における衛星測位利用の取り組みとしては、ロケーションシステム等の旅客サービス用や、保線作業用の列車位置検知・通報システムは多数実用化されている。一方、列車制御システムとしては、研究開発として平成 19 年頃から、「次世代運転管理システムに関する技術開発」や、「ATP（Automatic Train Protection）閉そくシステム」の検討がされてきているが、実験は行っているものの、国内では実用化されているものはない。

４．２．交通研でのこれまでの取組

交通研では、地方鉄道向けの省コストな列車制御システムに関する検討を進めてきている。２．で述べた ATACS など既に実用化されている無線列車制御システムも存在するが、これらのシステムは設備も比較的大規模となっている。交通研では、地方中小鉄道での活用を念頭に、可能な限り設備を軽量化する観点から、鉄道で保守するインフラをできるだけ減らし、汎用の GPS 受信機による衛星測位と汎用無線を用いたシステムを提案してきた。

さらに、衛星測位の精度向上の取り組みとして、予めわかっている沿線の障害物の位置と自列車の位置との関係から、低い仰角の衛星を測位計算に用いないようにマスクする「仰角マスク」を動的に制御し、条件のよい衛星を選択的に利用することによって精度を向上することを提案した（特許出願済）。この精度向上策は、既知の線路上のみを走行する鉄道の特性を生かした方策といえる。また、鉄道信号システムに求められる安全性の指標である SIL 4（Safety Integrity Level。４段階あり SIL ４は単位時間当たりの危険側故障確率 10^{-9}/h 以下）を確保するためには、位置検知に誤差を見込んだ余裕を持たせる必要があるが、ある路線においては±17m の検知誤差を見込めば安全に支障ない制御が可能という結果を得た[2]。

なお、衛星測位を信号設備に利用する場合、転てつ器や踏切の制御のためには、地上ー車上間の通信手段が必要となる。これまでの研究で、通信には汎用無線を想定しているが、本稿ではその信頼性については言及しない。

４．３．列車制御システムに衛星測位を利用する場合の課題

高い安全性、信頼性が求められる列車制御に衛星測位を利用する場合の課題を考える。点制御 ATS（Automatic Train Stop）相当、連続速度照査相当のそれぞれにおいて、測位の補完に必要な技術を整理したものを表１に示す。

今回、地方鉄道向けのシステムとして点制御 ATS 相当の場合を検討した。衛星測位は跨線橋など列車の上空を覆われると測位が途切れてしまうことから、衛星測位を単独で連続した位置検知は難しい。しかし、点制御 ATS 相当であれば、連続した位置検知は必要条件とはならないと考える。

衛星測位の信頼性向上の方策は、以下の二点がある。一点目は、衛星測位そのものの精度の向上である。衛星測位が何らかの原因で急に誤った測位をした場合に、安全に制御することが必要である。このため、信頼性を向上させる技術として既存研究では、２つの受信機を用いて測位し、その結果を比較して検定を行うことや、測位結果を線路上にマッチングさせるとともに、直前の測位結果と比較して連続性を確保できない場合は測位不能と判断し測位結果を採用しないなどの制御をしている。また、準天頂衛星の補完・補強情報の活用や、仰角マスクの利用も有効であると考えられる。

表１　衛星測位を利用する場合の技術的アプローチ

	点制御ATS相当	連続速度照査相当
検知	必要な地点(分岐器、信号機等)のみの点検知	常時検知(速度制限等)
技術的アプローチ	【測位の信頼性を向上させる技術】 ・ 衛星測位の精度向上 　・ 2受信機による精度検定 　・ 準天頂衛星の補完･補強情報活用 　・ 仰角マスク ・ 衛星測位を補完 　・ 地上子 　・ RFIDタグ 　・ TG　等	【衛星測位を連続的に活用する技術】 ・ 衛星測位の位置情報に加え、速度情報を活用 ・ TG ・ レーザードップラ ・ ジャイロ　等

二点目は、衛星測位以外の手段による補完である。単独測位の精度が十数 m であるため、隣接する線路との区別がつかない可能性や、位置情報を絶対位置でリセットする必要から、特定の箇所では地上子、RFID（Radio Frequency IDentification）などによる絶対位置の補正、走行中は TG（Tachogenerator：速度発電機）による補正が有効であると考えられる。

５．衛星測位による位置検知試験

５．１．試験構成

衛星測位の検討のため、試験を行った結果を紹介する。実験は、山形鉄道(株)フラワー長井線において実施した。装置構成を図２、設置状況を図３に示す。受信機には JAVAD GNSS 社 Alpha-G3T を用いた。また、絶対位置の検出の例として、工場での作業員管理などで使われているアクティブ型の RFID タグを駅や線路近傍に設置し、その受信状況を確認した。

５．２．試験結果

測位結果を図４に示す。全線にわたり衛星による測位を確認した。跨線橋などの上空が開けていない特定の箇所以外の場所においては、約３m の誤差で測定が可能であることを確認した。また、駅での測位結果の拡大図を図５に示す。本試験結果においては、受信環境が良い条件のもとでは、衛星測位のみで明確に隣の線と区別できることが確認できた。なお、凡例は「走行試験回数　アンテナの設置場所（上り方、下り方）」で示した。また、跨線橋により測位が出来ない箇所（図６）、森林等によりマルチパスの影響を受けやすい箇所（図７）においては、10m 程度の差が生じる結果となっている。

RFID タグによる位置検知については、アクティブ型の RFID タグを駅構内の４カ所に設置し、４回走行した結果、16 回中 15 回（93.8%）で停車中に１回以上、車両内で受信できることを確認した。試行回数を増やして信頼性を検討していく必要があるが、このような衛星測位を補完する機能との組合せも重要であると考えられる。

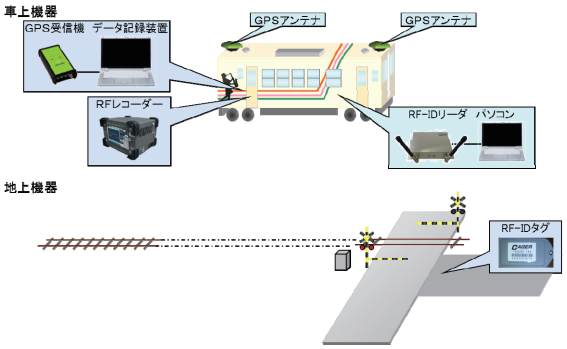


図２　装置の構成

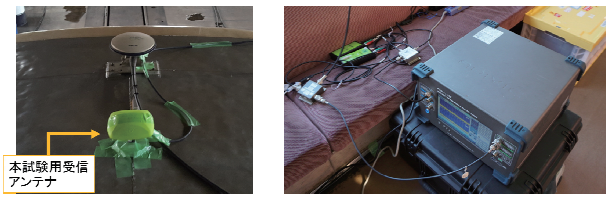


図３　車上装置の設置状況
（左：列車屋根上、右：受信機と記録装置）

５．３．試験結果のまとめ

以上より、列車制御システムとして必要な機能を整理する。点制御 ATS 相当のシステムを目指すのであれば、全線に渡る連続検知は必要条件ではない。試験結果からも、跨線橋直下などの一部区間を除けば測位誤差は3m程度であることが分かっている。そのため、測位が良好に行われると予想できる箇所を特定し、その場所で測位した情報から進路をとることができれば、安全の余裕距離を±17m よりも小さくできる可能性がある。

位置情報の正確さは、既存研究のとおり、２受信機の検定と連続性のチェックで確認することができる。

一方、衛星測位は外部からの電波を受信するため、受信機の双方が同時に誤る可能性も考えられる。また、測位精度が良くない箇所を検知範囲外とした際には、再び測位が可能であることを確認する必要があ

る。これらのためには、衛星測位を補完するシステムとして、地上子や RFID タグ、TG などを併用する必要がある。

今回、市販の RFID タグによる試験を実施し、試行回数は少ないものの、衛星測位の補完として利用できる可能性があることを確認した。地上子や TG は実績のあるシステムであるため今回は試験していないが、これらを含め信頼性やコストなどを含めた検討が今後必要である。なお、TG は連続する位置検知が可能であるが、車輪径によって誤差が蓄積するため、その管理も含めて運用方法を検討する必要がある。

図４　測位結果（全体）

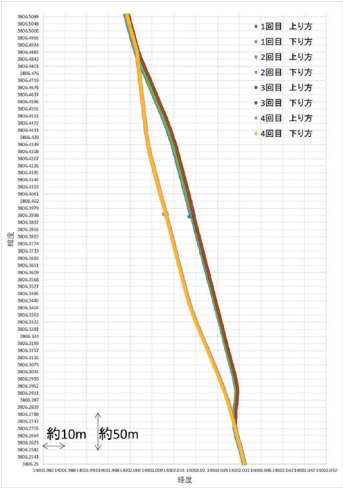


図５　測位結果（駅）

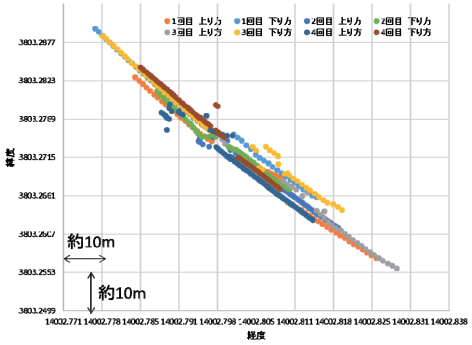


図６　測位結果（跨線橋付近）

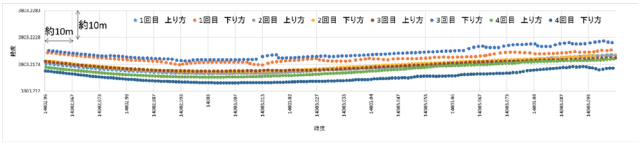


図７　測位結果（森林）

６．トロコンの代替に向けた検討

路面電車においては、架線レス車両の開発が進んでいる。その実用のためには、トロコンにより行っている列車位置検知を他の手段により行う必要がある。一方、衛星測位情報については、現時点では進路制御及び電停で待つ人向けの案内（ロケーションシステム）として利用している例がある。位置検知にはトロコンの他に軌道回路や地上子によるものもあり、一部区間で実際に利用されているが、道路に敷設するため設置及び保守コストが増える。また、トロコンは、機械的機構に起因した故障の発生も見られる。このため、新しい技術として衛星測位利用が期待されている。

路面電車特有の検討課題としては以下の二点が考えられる。一点目は、路面電車は市街地を走るため、マルチパスが多い可能性がある。この対策には、準天頂衛星の整備による精度向上又は補強情報の利用並びに上述の仰角マスクが有効と考えられる。二点目は、路面電車は鉄道に比べ電停が多く、かつ道路信号でも停車するため、停車回数が多いことである。衛星測位は停車中に位置がばらつくことが多いこともふまえ、衛星測位の補完として、鉄道と同様に RFID タグ等による絶対位置検出などの手段との併用が考えられる。また、画像解析の積極的な利用も考えられる。

７．おわりに

鉄道の列車制御システムにおける新技術への対応として、衛星測位利用の可能性について、現状の把握と、課題について述べた。今後は、衛星測位及び補完システムを用いた安全性の確保方法について検討を進めたい。

参考文献

1) 樋浦，“無線を用いた列車制御システム ATACS の概要”，電気設備学会誌，Vol. 33，No. 5，pp.326-329（2013）
2) 田中他，”鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究”，交通研フォーラム 2015 講演概要集，pp.121-124（2015）
3) 内閣府，“宇宙基本計画”，p.16（2016）

講演６．営業車両を用いた軌道状態常時モニタリング技術の開発とその活用

交通システム研究部　※大野 寛之　緒方 正剛　森 裕貴
鉄道認証室　佐藤 安弘　松本 陽（名誉研究員）
茨城大学　道辻 洋平　東京地下鉄(株)　谷本 益久
新日鐵住金(株)　品川 大輔　日鉄住金レールウェイテクノス(株)　長澤 研介

１．はじめに

鉄道車両の走行安全性に関わる指標として、脱線係数（台車先頭軸外軌車輪に加わる輪重 P と横圧 Q の比 Q／P）が用いられている。脱線係数は軌道変位やレールの支持状態、車輪／レール間の接触状態によって大きく変化することが知られている。これらの状態変化を適時適切に把握するため、営業線における脱線係数の常時観測が望まれていた。交通安全環境研究所では、台車メーカや鉄道事業者らとともに、従来とは異なる新たな測定手法を開発し、営業車両に搭載可能な軌道状態常時モニタリング技術の開発を進めてきた[1)]。実用システムとして開発された「PQ モニタリング台車」（Fig. 1）により、脱線係数の常時観測が実現し、継続的･長期的なデータ取得が可能になった。

PQ 輪軸を用いる従来の測定方法では、路線開業時や新型車両導入時などの極めて限られた機会にしか取得できなかったデータが、常時モニタリング技術により継続的に収集できるようになった。その結果得られた膨大なデータをいかに活用するかは今後の課題ではあるが、データ解析を行った一つの成果として、軌道変位や車輪／レール間の潤滑条件の時間変化を捉えることができた。これらのデータの解析手法の一例と、安全運行への活用方策について紹介する。

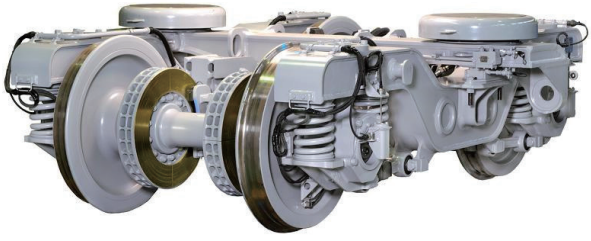


Fig.1 External view of the monitoring bogie

２．PQ モニタリング台車の概要

PQ モニタリング台車による輪重・横圧の測定方法は、従来の測定方法である PQ 輪軸を用いないことを大きな特徴とする。PQ 輪軸はセンサにひずみゲージを用いるため、PQ 輪軸にブレーキを作用させた場合には、摩擦熱により測定値が影響を受けてしまう。営業車両ではすべての輪軸にブレーキを作用させる必要があるため、営業車両を用いての脱線係数のモニタリングはできず、これまでは特別に仕立てた試運転列車でしか輪重・横圧の測定はなされなかった。

著者らは PQ 輪軸を用いて車輪のひずみを測定するのではない、新たな輪重･横圧の測定方法として、台車側に設置したセンサを用いる手法を開発した[2)]。輪重の測定には台車軸ばねのたわみ量を計測する手法を用いる(Fig.2 左)。また、横圧の測定は車輪板部の微少な変形を非接触変位計(Fig.2 右)で捕らえ、誤差の原因となる軸受部のガタによる変位等を補正し、横圧によるひずみ量を測定する方法を開発した。さらにブレーキ時の熱の影響を受けないようディスクブレーキを採用することで、PQ 輪軸を用いた場合と同等の精度で、輪重･横圧の測定が可能となった。

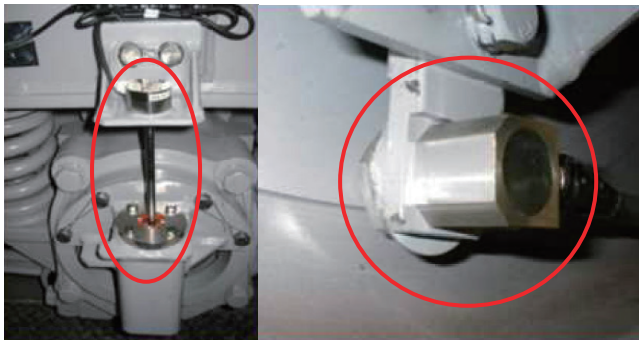


Fig.2 Sensors of PQ monitoring bogie

3．PQ モニタリング台車による測定結果

PQ モニタリング台車を装着した営業列車を導入することで、導入路線における輪重・横圧の測定は 1 日の内でも複数回行うことができるようになり、月単位、年単位ではこれまでの測定方法とは比較にならない膨大なデータを取得できることとなった。

Fig.3 に、ある路線の曲線部（R=160m，カント 125mm，スラック 13mm）で 1 ヶ月間に測定された脱線係数の抜粋を示す。各測定結果のグラフの形状はおおむね相似形だが、脱線係数の値は測定ごとに異なっていることが分かる。当該曲線部は塗油装置を用いた潤滑が行われており、また、塗油は間欠的に行われていることから、車輪／レール間の潤滑条件の違いにより脱線係数が変化したものと考えられる。

潤滑条件による脱線係数の変化とは別に、長期的な軌道条件の変化（レール摩耗による踏頂面の形状変化や軌道変位の発生等）による脱線係数の変化も考えられる。こうした変化を捉えるためには、日単位あるいは週単位の測定データを平均化し、長期的な変化のトレンドを追跡する必要がある。

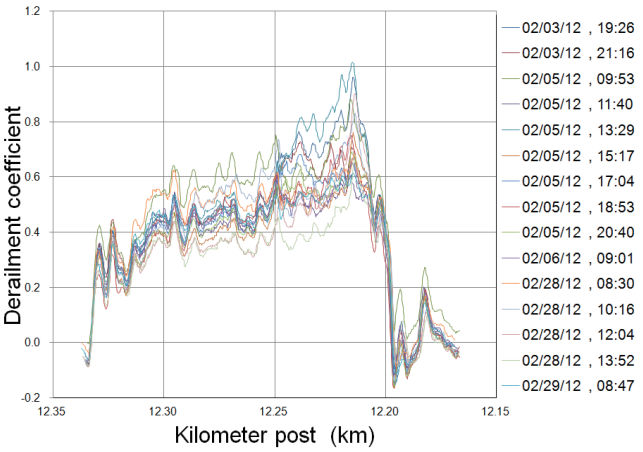


Fig.3 Measured data for derailment coefficients through a sharp curve (R=160 m)

4．測定結果の活用方策 [3)]

4．1．PQ モニタリング台車の収集データ

PQ モニタリング台車は、時刻や走行位置・速度、輪重 P（全軸：左右）、横圧 Q（車端側軸：左右）等を取得できる。先頭軸外軌の脱線係数 Q／P と同時に内軌側の横圧・輪重比 κ を営業運転中に収集できる点が大きな特徴である。κ は急曲線の場合、車輪・レール間の摩擦係数にほぼ等しくなる [4)]。

また、台車各輪の軸箱に設置した変位センサの測定値からは、軸距 1.9m の平面性変位を推定できる。ここではこれを台車平面性変位と呼ぶ。

急曲線における脱線係数の傾向や時間変化について分析するためには、曲線ごとにデータを管理することが望ましい。そこで収集データについては、事業者の持つ曲線位置や曲線半径などの情報をまとめた路線のデータベースをもとに、曲線区間ごとに切り出すこととした。データ整理の方法として、曲線入口から出口までの連続データを「波形データ」、その曲線中で脱線係数が最大となるときの瞬間値を「帳票データ」として保存し、それらを Fig.4 のように曲線ごとのフォルダに分けて管理してすることとした [4)]。

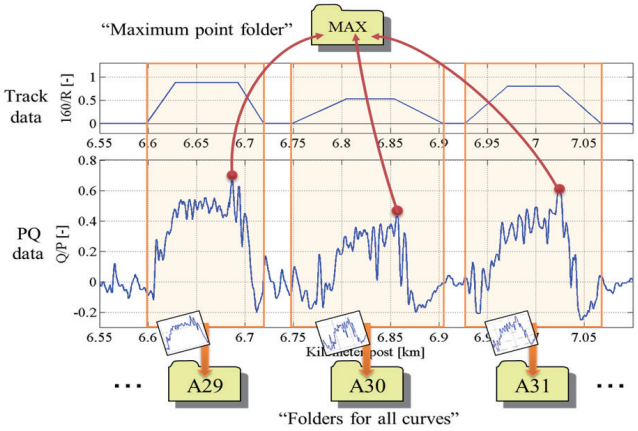


Fig.4 Image of data sorting and allocation

4．2．ツールによるデータ分析

PQ モニタリング台車を装備した営業列車を運用すると、日々大量のデータが蓄積される。これらのデータをいかに効率よく分析・表示するかが、実務面での課題となってくる。そこで著者らは数値解析ソフト MATLAB の GUI(Graphical User Interface)を用いた分析ツールを開発し、大量のデータを効率的に解決する手法の開発に取り組んだ。

分析ツールは誰にでも扱えるよう、GUI ベースのソフトウェアとして、MATLAB R2015 および MATLAB Compiler を使用して作成した。Fig.5 に分析ツールの基本画面を示す。画面はデータ入力部とデータ表示に分かれ，データ表示部は主に以下の 4 つのグラフを表示する。

①曲線半径ごとの最大脱線係数プロット
②外軌 Q／P，内軌 Q／P 波形（距離程ベース）
③その他の波形（距離程ベース）
④台車平面性変位と内軌 Q／P の関係

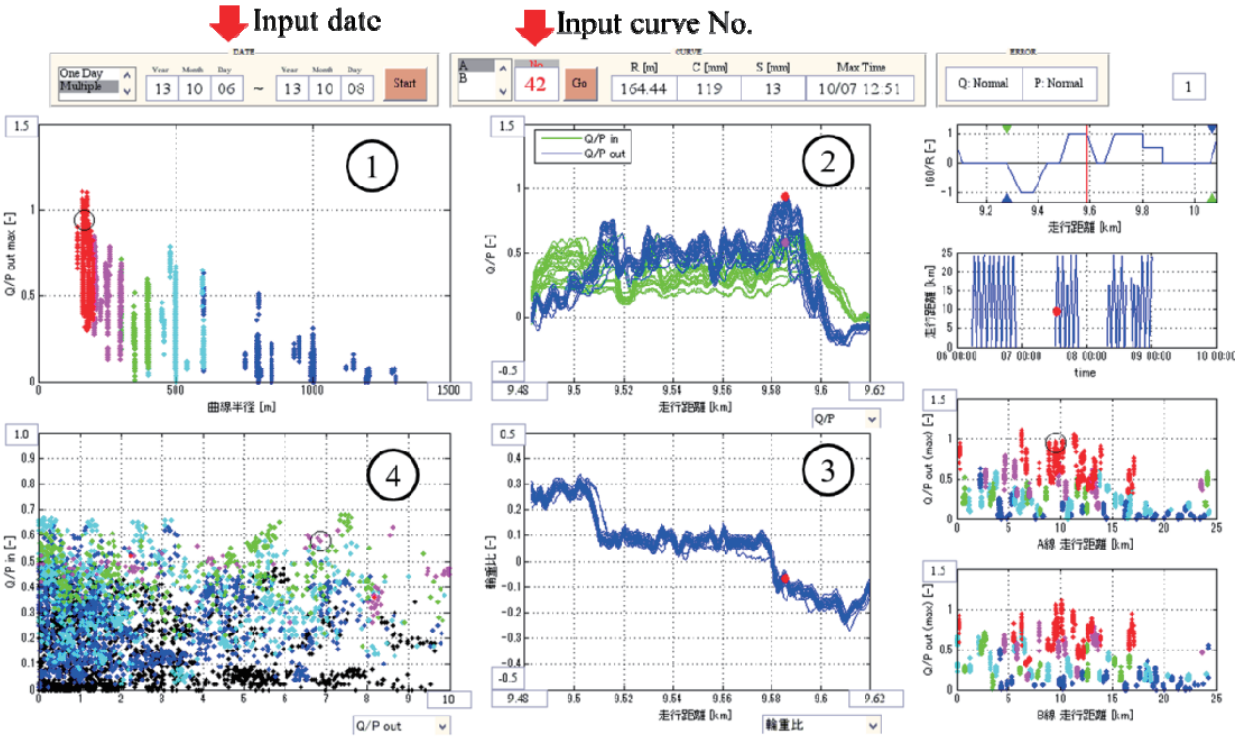


Fig.5 Display image of developed data analysis tool

①は曲線半径で整理された最大脱線係数を示している。このグラフから、脱線係数が高いデータを絞り込み、②と③のグラフで詳細を分析する。また、④のグラフから、高い Q／P の主要要因になると考えられる、内軌 Q／P と台車平面性変位のうち、どちらの影響が大きいかを大まかに把握することができる。

さらに、一つの曲線に注目し、当該曲線における最大脱線係数を日割りでプロットした結果を示すこともできる（Fig.6）。このグラフを見ると、この曲線では最大脱線係数が±0.2 程度変化していることや、月の前半に比べ後半の方が脱線係数の値が低下していることが分かる。こうした変化の原因をさらに調査するには、Fig.6 のデータを別な切り口で分析する必要がある。一例として、横軸を内軌 Q／P 最大値、縦軸を外軌 Q／P 最大値としてプロットしたグラフを Fig.7 に示す。脱線係数の高い時期を○、低い時期を●で示す。このグラフから、内軌 Q／P と外軌 Q／P は強い相関関係があることが分かる。このことから、この曲線における外軌 Q／P の変化は、内軌 Q／P の変化が原因となった可能性が考えられる。

5．測定結果の理論解析への取組

以上に示したとおり、脱線係数の変化には車輪／レール間の摩擦条件が大きく影響するものと考えられる。そこで摩擦条件の違いが脱線係数にどのような影響を与えるかを導き出すため、台上試験とシミュレーションを用いて理論的な解析 [5]を行った。

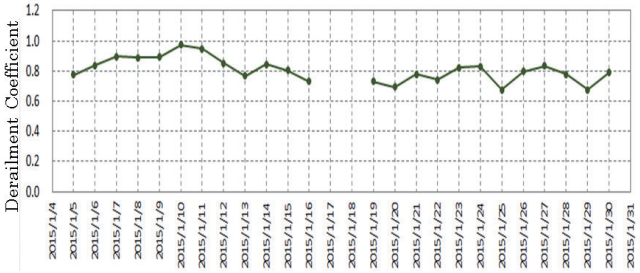


Fig.6 Daily changing of maximum Q/P in one curve

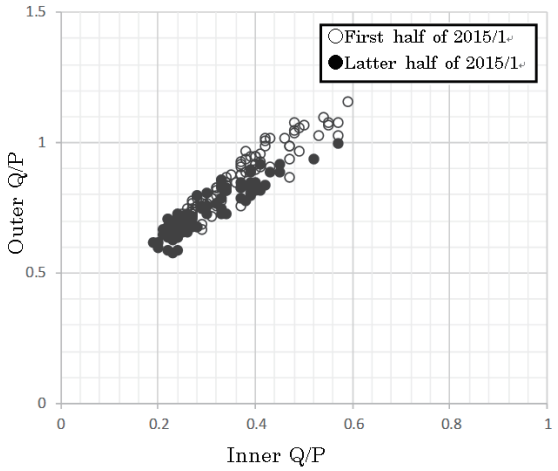


Fig.7 Inside Q/P vs outside Q/P

台上試験は交通安全環境研究所が持つ台車試験設備を用いて実施した。それぞれの車輪が乗る軌条輪円周にグリスを塗布することで車輪／レール間の摩擦係数を変化させる。それぞれの潤滑域は、先頭軸外軌フランジのど元を対象とした潤滑域、先頭軸内軌頭頂面の潤滑域、後軸内軌頭頂面を潤滑域とした。また、Table 1 に示すとおり、4 輪が乾燥状態（条件 No.1）、先頭軸外軌輪フランジ潤滑（条件 No.2；後軸はフランジ接触しないので潤滑されない）、両軸内軌輪および先頭軸外軌輪フランジ潤滑（条件 No.3；同前）、両軸内軌輪のみ潤滑（条件 No.4）の 4 条件で実験を行った。潤滑には一般的に使用されているレール塗布用のグリスを用いた。

数値解析は台上試験と同等の条件として、軌条輪回転試験装置と半車両からなる解析モデルを汎用マルチボディ・ダイナミクス解析ソフト SIMPACK RAIL Ver.9.9 を用いて構築した。数値解析においては、グリスを塗布した状態の摩擦係数を 0.1 とし、乾燥状態を 0.4 と設定している。Fig.8 に曲率（定常曲線における曲線半径の逆数）と脱線係数の関係を潤滑条件別に整理した結果を示す。図に見られるように、数値解析と実験結果は各条件においてよく一致している。

摩擦係数の値は限界脱線係数に影響することから、車輪／レール間の摩擦条件の正確な把握は極めて重要である。PQ モニタリング台車による取得データの解析を基に、車輪／レール間の適切な摩擦条件の管理を可能とするツールの開発に結びつけたい。

6．終わりに

PQ モニタリング台車を用いた軌道状態の常時モニタリングにより、これまでの測定では分からなかった軌道状態の時間変化が観測可能となった。また、常時モニタリングにより収集されたビッグデータの詳細を解析することで、新たな知見に結びつくことが期待される。今後の課題としては、常時モニタリングの対象とする路線の拡大に向け、監視・分析手法の標準化が考えられる。そのために、収集される大量のデータの中から注視すべき点を提示することや、高い脱線係数の原因推定などを表示する等、分析業務を補助するシステムを開発し実用化を図っていきたい。

参考文献

1) 大野寛之，“脱線係数の常時モニタリング・システム”，平成 18 年度交通安全環境研究所講演会講演概要集，pp.15-24（2006）
2) 大野寛之，“脱線係数常時測定可能台車の開発”，JREA，第 54 巻 11 号，pp.52-55 (2011)
3) 岩本厚 他，“PQ モニタリング台車による営業線データの報告とその活用方法について（第 4 報）”，鉄道技術連合シンポジウム（J-Rail）講演論文集，p3105（2015）
4) 松本陽，“急曲線における諸問題とその解決技術”，鉄道車両と技術，No. 173，pp. 22-32 (2011)
5) 石井翔 他，“台上試験と数値解析を活用した台車４輪の摩擦係数差が脱線係数に及ぼす影響の分析”，日本機械学会 2016 年度年次大会 DVD 講演論文集，G1800102 (2016)

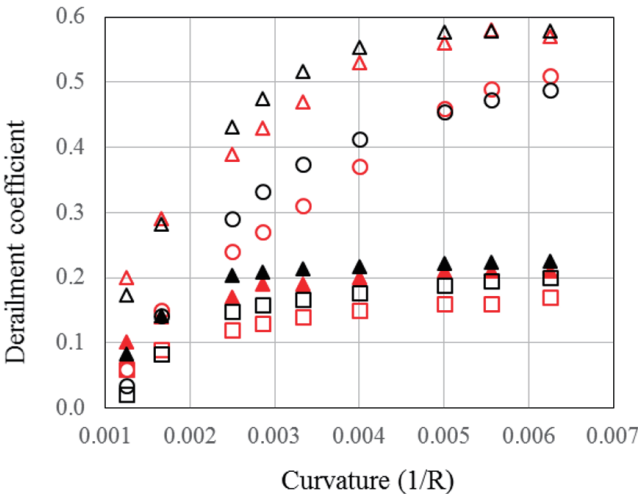


Fig.8 Comparison of derailment coefficients

Table1 Lubrication conditions and assumed value of friction coefficients

Condition	Markers (simulation)	Markers (experiment)	Leading axle		Trailing axle	
			Outside rail	Inside rail	Outside rail	Inside rail
No.1	○	○	0.4	0.4	0.4	0.4
No.2	△	△	0.1	0.4	0.4	0.4
No.3	▲	▲	0.1	0.1	0.4	0.1
No.4	□	□	0.4	0.1	0.4	0.1

ポスターセッション

①ヘッドアップディスプレイにおける複数表示が安全運転に与える影響

自動車研究部　※榎本 恵　関根 道昭　森田 和元　電気通信大学　田中 健次

1．はじめに

自動車用ヘッドアップディスプレイ（HUD）は、ウインドシールド前方に映した虚像により情報を提示する装置である[1]。既に実用化され、今後、技術開発の進展により、広範囲に数多くの情報を表示することが可能となり、運転支援システムからの情報提供や前景への重畳表示による拡張現実（Augmented Reality: AR）表示などにも活用されることが期待されている。しかし、HUD 上の広範囲に複数の情報を表示することによりドライバの負担を増加させる可能性がある。そこで、定置型ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という）実験により、HUD 上の複数情報を正確に認知できるかどうか調査するとともに、HUD が運転操作に及ぼす影響について知見を得ることとした。

2．実験方法

DS 走行中、前方スクリーンに重畳してランダムな位置に複数表示される情報の中から指定された情報を探索する課題（以下、「HUD タスク」）を実験参加者に課した。実験 1 では、HUD 上の複数情報を正確に認知できるかどうか調査するため、HUD タスクの正答率と反応時間を計測した[2]。実験 2 では、HUD タスク実施中に先行車のストップランプが点灯するときのドライバのブレーキ反応時間と視点移動を計測し、HUD の認知が運転操作に及ぼす影響を調査した[3]。

2．1．HUD タスク

視力検査で用いられる、円の一部が欠けたランドルト環を 4 つ並べた図形を 1 個の HUD 刺激とし、4 つのうち欠けていない円を 1 つ含む HUD 刺激をターゲットとして探索する。HUD 刺激は、標準ドライバのアイポイント正面を 0 度とした時、垂直方向に 5 水準（0 度、上下 3 度、上下 6 度）、水平方向に 3 水準（0 度、左右 10 度）の 15 点の中からランダムな位置に 3 個、6 個または 9 個を同時に表示した。複数の HUD 刺激の中にターゲットが 1 個有る場合と無い場合を設けた。図 1 に HUD 刺激（表示数 9 個）を示す。

2．2．実験計画と実験参加者

実験 1 では、高速道路と市街地コースを 3 回ずつ走行し、1 走行あたり 60 回の HUD タスクを行った。実験参加者は 20 歳代から 30 歳代の運転免許保有者 20 名とした。

実験 2 では高速道路を 5 回走行し、1 走行あたり HUD タスクのみの条件 18 回、HUD タスク中に先行車のストップランプが点灯する条件 36 回、先行車のストップランプが点灯するが HUD タスクを行わない条件 18 回の 3 種類、計 72 回を行った。実験参加者は、20 歳代から 40 歳代の 20 名とした。

実験 1、2 ともに HUD タスクの回数に対しターゲットあり、なしの比率は概ね 3:1 となるよう設定した。

この実験は「独立行政法人交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」（当時）に基づき、実験参加者に事前承認を得て行った。

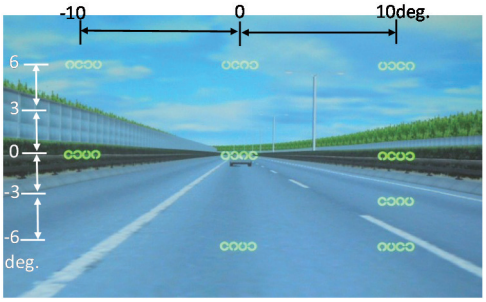


図 1　HUD 刺激（表示数 9 個）

2．3．手続き

実験参加者に HUD タスクの開始を 0.3 秒間の警告音で知らせた。実験参加者はターゲットの有無をマウスのクリックにより報告した。クリック後、図形は消去され、対応した番号が表示される。実験参加者は、ターゲットの位置の番号を口頭で回答した。HUD 刺激の表示からクリックまでの時間を HUD タスクの反応時間として記録した。実験 2 では、先行車のストップランプ点灯を認知した場合、すぐにブレーキペダルを踏むよう実験参加者に教示した。なお、実験中は運転を優先させることとし、余裕がない場合は HUD タスクができない場合があってもよいと教示した。

3．実験結果

3．1．HUD タスクの正答率と反応時間

ターゲットの有無とターゲットの位置を正しく回答できた試行の割合は、実験 1 では、7,200 件のうち 98.0%、実験 2 では HUD タスクを行った 5,400 件の

うち 96.3 %であった。正答率は高く、実験参加者は HUD タスクを正確に遂行できたと考えられる。

ターゲットの位置を正しく回答したときの HUD タスクの平均反応時間を条件別に集計した（図 2）。HUD 刺激の表示数が増えるにつれ、反応時間はほぼ線形に増加した。先行車のストップランプ点灯の可能性がある実験 2 の反応時間は実験 1 よりも長くなった。

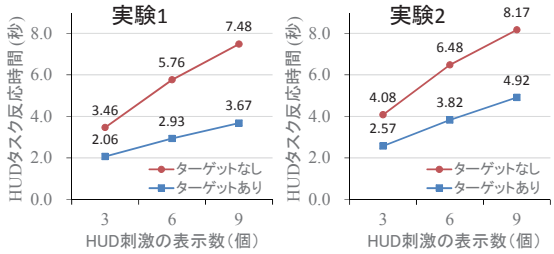


図 2　HUD タスクの反応時間

3．2．ブレーキ反応時間

実験 2 における HUD タスクありのブレーキ反応時間は平均 1.45 秒（標準偏差 0.76 秒）、HUD タスクなしの反応時間は平均 1.10 秒（同 0.34 秒）だった。従って HUD タスクにより反応時間は約 0.4 秒長くなった。これは、先行研究 [4] とほぼ同じ傾向であった。

HUD 刺激の表示数がブレーキ反応へ与える影響を調べるために、HUD タスクありのブレーキ反応時間について、ターゲットの有無と表示数による二要因分散分析を実施した。ターゲットの有無による有意差は検出されたが（$F(1,19)=6.884, p<0.05$）、表示数による有意差は認められなかった（$F(2,38)=2.438, p=0.101$）。

3．3．HUD タスク中の視点移動

ブレーキ反応における視認行動を考察するため、HUD タスク中の左目の視点移動を解析した。視点移動の一例を図 3 に示す。

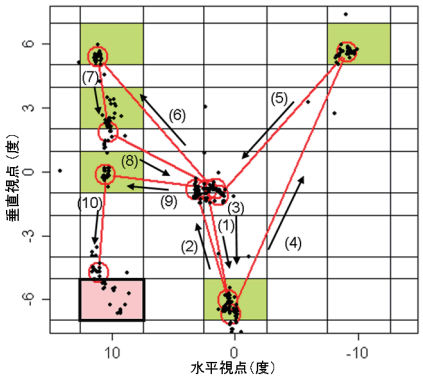


図 3　HUD タスク中の視点移動の例

これは HUD 刺激が 6 個（図中塗りつぶし）、このうちターゲットは下 6 度、左 10 度（図中ピンク塗りつぶし）に表示され、先行車のストップランプは点灯しない条件である。計測された視点を黒点で示し、視角が 2 度以内の範囲に 0.2 秒以上連続して視点がある場合、その方向を注視しているものとして、視点停留点とした（図中の円で示す）。括弧内の数字と矢印は視点移動の順番と移動方向を示す。このように実験参加者は HUD と先行車（アイポイント正面付近）を交互に観察していたため、HUD 刺激の表示数がブレーキ反応時間に影響しなかったと考えられる。

4．ま　と　め

自動車用 HUD に複数情報を表示した場合の情報の認知と運転行動への影響を DS 実験により調査した。

- 複数情報から指定の情報を探索する HUD タスクの正答率は高く、今回の実験の範囲内ではドライバは正確に HUD 上の情報を認知することができる。
- 今回の HUD タスクの反応時間は、表示数によってほぼ線形に増加した。先行車のストップランプが点灯する条件では、先行車のストップランプの認知とブレーキ操作へ注意が分割されるため、ストップランプが点灯しない実験条件よりも長くなる。
- HUD タスク中のブレーキ反応時間は HUD タスクがない場合よりも約 0.4 秒長くなる。HUD タスクが先行車の認知を遅らせたと考えられる。
- HUD 刺激の表示数はブレーキ反応時間にほとんど影響しない。表示数にかかわらず HUD と先行車を交互に観察していたためと考えられる。

参考文献

(1) 森田和元ほか：ドライバに対する適切な情報伝達方法に関する研究，交通安全環境研究所報告，14 号，p.61-82 (2009)

(2) 榎本恵ほか：ヘッドアップディスプレイを想定した重畳表示における情報の表示数と位置が安全運転に与える影響（第 1 報）―ヘッドアップディスプレイの視認性および運転操作について―，自動車技術会論文集，Vol.47，No.2，p.515-521 (2016)

(3) 榎本恵ほか：ヘッドアップディスプレイを想定した重畳表示における情報の表示数と位置が安全運転に与える影響（第 2 報）―ブレーキ操作および視点移動について―，自動車技術会論文集，Vol.47，No.2，p.523-529 (2016)

(4) 木村賢治ほか：重畳表示像が前方対象物の変化感受性に及ぼす影響調査，自動車技術会論文集，Vol.46，No. 2，p.509-514 (2015)

② 自動車の歩行者頭部保護に関する調査

自動車研究部　　※田中 良知　　細川 成之　　松井 靖浩

1．はじめに

近年、日本の交通事故死亡者は減少傾向にあり、2015 年の交通事故死亡者数は 4,117 人であった。図 1 に、2015 年の状態別交通事故死亡者とその割合を示す。歩行中死亡者の割合が最も高く 37%（1,534 人）であり、交通事故死亡者数のさらなる低減のためには、歩行中死亡者数の低減が重要であると考えられる。

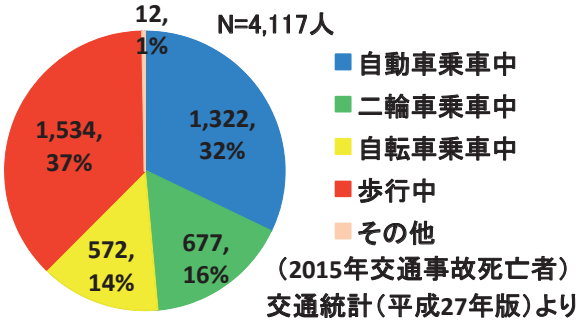


図 1　状態別交通事故の死亡者割合（2015 年）

日本においては、2005 年に歩行者頭部保護基準が導入され、これにより、歩行中死亡者数が低減していることが報告がされている [1]。一方で、歩行者保護基準の試験範囲外の領域に頭部が衝突している事例が多いことも報告されている [2]。そこで、基準の頭部保護試験範囲の拡大を検討する必要がある。

今回、歩行中死亡者数の低減を目的として、歩行者保護基準の頭部保護試験範囲の検討を実施した。まず、歩行者保護基準に適合した車両の歩行者事故状況を把握するために事故調査を実施した。頭部保護実験では、基準の頭部保護試験範囲外で加害性が高いと考えられる A ピラーの歩行者頭部加害性についての調査と、歩行者頭部保護装置として一部車種に適用されている歩行者エアバッグの性能についての調査を行った。

2．事故調査

歩行者保護基準に適合した車両の日本における歩行者事故状況の把握のため、（公財）交通事故総合分析センタのマクロ事故データを用いて、2008 年から 2012 年の 5 年間に発生した歩行者事故について調査を実施した。歩行者事故では車両前面形状の影響が大きいといわれている [3]。そのため、今回の調査では歩行者保護基準に適合し、かつ販売台数の多い普通乗用車セダン、普通乗用車ミニバン及び軽乗用車の 3 車型を対象とした。

図 2 に、歩行者死亡事故における衝突車両の危険認知速度の割合を示す。本項における図中の数字は、死亡者数とその占める割合を示す。危険認知速度は「40km/h 以下」、「40km/h 超 50km/h 以下」及び「50km/h 超」に分類した。危険認知速度とは運転手が事故の発生を予測したときの車両速度のことで、衝突速度と異なる場合が多い。衝突速度は、ブレーキ操作等により危険認知速度より低い速度となる。車両相互事故での衝突速度は危険認知速度の約 8 割といわれている [4]。歩行者保護基準の頭部保護試験は衝突速度が 40km/h の事故を想定している。そのため、危険認知速度が「40km/h 以下」の全事故及び「40km/h 超 50km/h 以下」の一部の事故が、歩行者保護基準で想定している衝突速度以下の事故と考えられる。歩行者保護基準に適合している車両の歩行者死亡事故のうち、危険認知速度が「40km/h 以下」の事故は 42%、「40km/h 超 50km/h 以下」の事故は 30%であった。

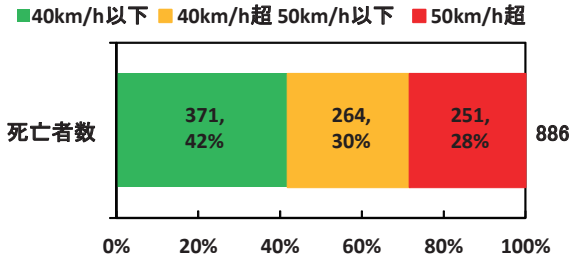


図 2　歩行者死亡事故の危険認知速度割合（2008～2012 年）

図 3 に、歩行中死亡者の損傷主部位の割合を、危険認知速度が「40km/h 以下」及び「40km/h 超 50km/h 以下」のそれぞれの場合で示す。どちらの速度域でも、「頭・顔部」の占める割合が最も高く、「40km/h 以下」で 51%、「40km/h 超 50km/h 以下」で 57%であった。

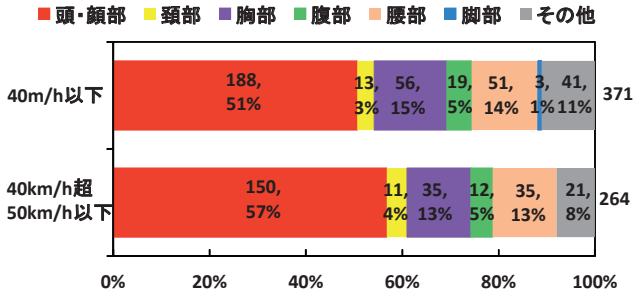


図 3　危険認知速度別での歩行中死亡者の損傷主部位割合（2008～2012 年）

図 4 に、「頭・顔部」が損傷主部位の歩行者死亡事故における加害部位の割合を、危険認知速度が「40km/h 以下」及び「40km/h 超 50km/h 以下」のそれぞれの場合で示す。どちらの速度域でも、車両外板の占める割合が最も高く、「40km/h 以下」で 55%、「40km/h 超 50km/h 以下」で 66%であった。これらの結果から、歩行者は頭部が車両外板に衝突して受傷することが多いと考えられる。したがって、車両の歩行者に対する衝突安全対策として、車両外板の対策を強化することが必要であると考えられる。

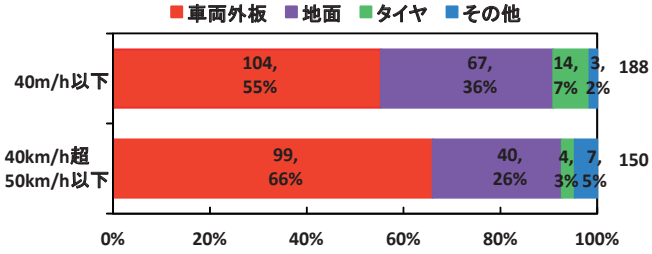


図 4　危険認知速度別での歩行者死亡事故の加害部位割合（2008～2012 年）（「頭・顔部」が損傷主部位の事故）

3．歩行者頭部保護実験

3．1．A ピラー加害性調査

A ピラーは歩行者保護基準における頭部保護試験範囲に含まれないが、事故調査の車両外板に含まれている。そこで、現行の歩行者保護基準に適合した軽乗用車を用いて、A ピラーを衝突位置として歩行者頭部保護試験と同様の実験を実施し、A ピラーの加害性を調査した。実験は、歩行者頭部インパクタを 35km/h の速度で車両に衝突させることで実施した。衝突位置は、A ピラー中央部、ラップ・アラウンド・ディスタンス（Wrap Around Distance 、以下 WAD）が 1,800 の位置とした。また、今回実験に用いた車両は A ピラーの構造が運転席側と助手席側で異なることから、それぞれについて実験を実施した。図 5 に、実験車両及び衝突位置について示す。

図 5　実験車両・実験衝突位置

図 6 に、それぞれの実験後の A ピラー変形状況を示す。変形量は助手席側の A ピラーの方が大きかった。

図 7 に、運転席側及び助手席側の A ピラーの断面を示す。運転席側の A ピラーには補強材が入っており、強度が高くなっていた。運転席側にのみ補強材が入れられているのは、日本の道路が左側通行であり、車両相互事故において運転席側に衝突する可能性が高いためと考えられる。

図 6　実験後の A ピラー変形状況

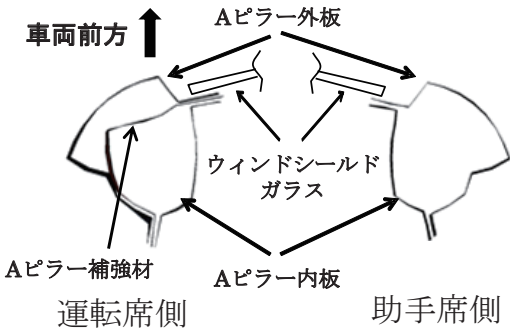


図 7　運転席側及び助手席側 A ピラー断面

図 8 に、それぞれの実験での頭部インパクタ加速度の時間履歴を示す。頭部インパクタが A ピラーと接触した時間を 0ms としている。運転席側の A ピラーに

衝突させたときの加速度の最大値の方が大きく 2,903m/s² であったのに対し、助手席側の加速度の最大値は 2,070m/s² であった。

図 9 に、それぞれの実験での頭部傷害値（Head Injury Criteria、歩行者保護基準では傷害値を計算する時間の範囲が最大で 15ms であることから、以下 HIC15 という）の値を示す。運転席側の A ピラーに衝突させたときの HIC15 の方が大きく 4,343 であった。助手席側の HIC15 は 2,613 で、運転席側の 60%であった。A ピラーの強度の違いが歩行者頭部保護性能に影響を与えることが確認できた。どちらの場合も歩行者保護基準のしきい値である 1,700 を超えており、歩行者頭部が A ピラーに衝突した場合には、40km/h 以下の衝突速度であっても死亡事故となる可能性が高いと考えられる。

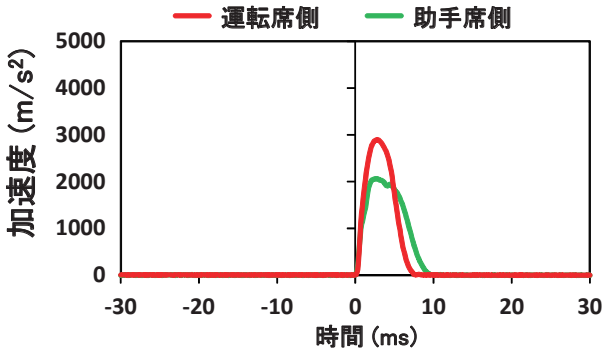


図 8　運転席側及び助手席側での頭部インパクタ加速度時間履歴

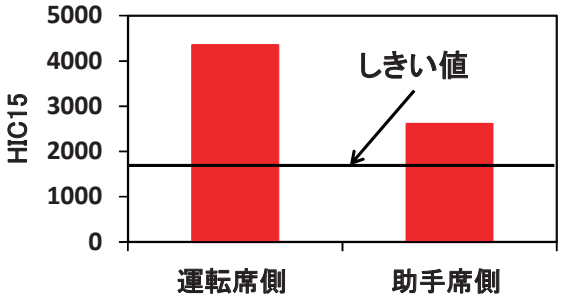


図 9　運転席側及び助手席側での HIC15 値

3．2．歩行者エアバッグ効果調査

歩行者エアバッグ搭載車両を用いて、A ピラーに対して歩行者頭部保護試験と同様の実験を実施し、歩行者エアバッグの性能を調査した。実験は歩行者エアバッグ有無の条件で行い、衝突位置は歩行者保護基準において頭部保護試験範囲で最大となる WAD2,100 の位置（A ピラー中央部より下側）とした。この歩行者エアバッグは歩行者との衝突をバンパ部で検知して展開する仕組みとなっているが、今回の調査では、歩行者エアバッグは性能を十分に発揮できるタイミングで強制的に展開させた。歩行者エアバッグ無しの条件は、歩行者エアバッグ有りの条件の実験後の車両を用いて、エアバッグをたたんで実施した。図 10 に、今回の実験車両及び衝突位置について示す。

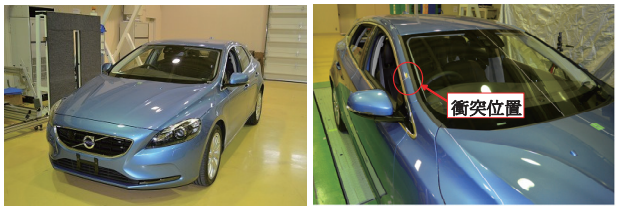


図 10　実験車両・実験衝突位置

図 11 に、歩行者エアバッグ有りの実験で歩行者頭部インパクタが最大加速度のときの写真を示す。歩行者エアバッグにより、頭部インパクタと A ピラーの衝突はなかった。

図 12 に、歩行者エアバッグ無しの実験で歩行者頭部インパクタが最大加速度のときの写真を示す。頭部インパクタは A ピラーに衝突していた。

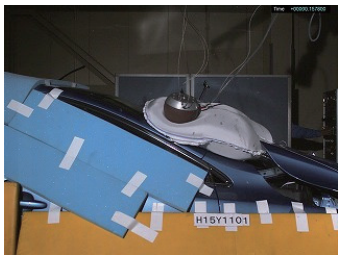


図 11　歩行者エアバッグ有り条件での頭部インパクタ最大加速度時の状況

図 12　歩行者エアバッグ無し条件での頭部インパクタ最大加速度時の状況

図 13 に歩行者エアバッグ有りの実験後の状況を示す。歩行者エアバッグは、頭部保護試験範囲で最大となる WAD2,100 までカバーしていた。

図 14 に、実験後の歩行者エアバッグに空気を充填した状況を示す。今回実験に用いた車両の歩行者エアバッグは、厚さが約 200mm であった。

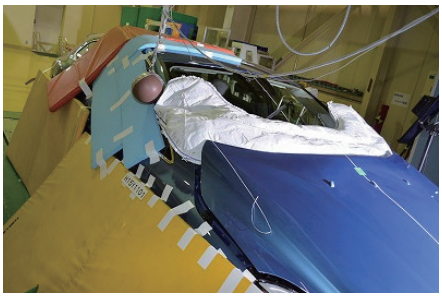


図 13　歩行者エアバッグ有り条件の実験後状況

図 14　歩行者エアバッグの空気充填状況

図 15 に、歩行者エアバッグ有無の実験での頭部インパクタ加速度の時間履歴を示す。歩行者エアバッグ無しの実験で頭部インパクタが A ピラーと接触した時間を 0ms としている。歩行者エアバッグ無しの場合、頭部加速度の最大値は 4,331m/s² であったのに対し、エアバッグ有りの場合の方が最大値は小さく 463m/s² であった。

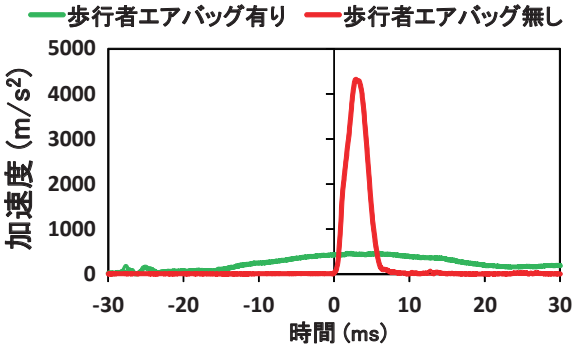


図 15　歩行者エアバッグ有無での頭部インパクタ加速度時間履歴

図 16 に、歩行者エアバッグ有無の実験での HIC15 の値を示す。HIC15 の値は、エアバッグ無しの場合は 8,009 で歩行者保護基準のしきい値である 1,700 を大きく超えていた。歩行者エアバッグ有りの場合は 189 でしきい値を大きく下回り、基準を満足していた。歩行者エアバッグは、歩行者頭部の A ピラーに対する歩行者保護に効果的であると考えられる。

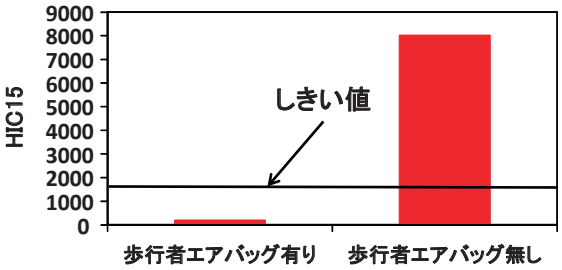


図 16　歩行者エアバッグ有無での HIC15 値

4．まとめ

事故調査により、現行の歩行者保護基準で想定している衝突速度以下でも死亡事故が多いことがわかった。この理由として、実際の事故では歩行者保護基準の頭部保護試験範囲外である A ピラー等に歩行者頭部が衝突して、歩行者の傷害が大きくなっていることが考えられる。さらなる交通事故歩行中死亡者の低減のためには、歩行者保護基準の頭部保護試験範囲の見直しの検討が必要と考えられる。

A ピラーに対する歩行者頭部保護実験の結果より、A ピラーの加害性が非常に高いことが確認できた。また、歩行者頭部と A ピラーが衝突する場合でも歩行者エアバッグにより死亡、重傷事故を防止できる可能性が高いことが確認できた。適切に作動する歩行者エアバッグの普及により、歩行中死亡者数の低減が期待できると考えられる。

参考文献

1) 国土交通省，“平成 26 年度車両安全対策検討会資料”，(2015)
2) (一財)日本自動車研究所，(公財)交通事故総合分析センタ，国土交通省，“平成 25 年度車両安全に資するための医工連携による交通事故の詳細調査分析結果報告書”，(2014)
3) 後藤陽一，“人対車両事故における車両タイプと歩行者の傷害に関する分析”，(公財)交通事故総合分析センタ平成 23 年第 13 回交通事故・調査分析研究発表会，(2011)
4) (公財)交通事故総合分析センタ、“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 交通事故における車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係

自動車研究部　　※松井 靖浩　　及川 昌子

1．はじめに

2015 年の我が国の交通事故死者数は 4,117 人であり、その中で歩行中の死者数 1,534 人（37%）、自転車乗員の死者数 572 人（14%）を合わせると交通弱者（歩行者、自転車乗員）は 51%を占める [1]。このような状況から、交通弱者への対策はきわめて重要な課題である。我が国では、車両のボンネットを対象に歩行者頭部を保護するための技術基準が 2005 年に導入された。交通事故における状態別死者数の年次推移を図 1 に示す。過去 10 年間の歩行中の死者数は 602 人減少（2,136 人（2005 年）－1,534 人（2015 年）したが、自転車乗員の死者数は 281 人の減少（853 人（2005 年）－572 人（2015 年）であった。このように、歩行者保護対策により歩行中死者数は大幅に減少してきており、更なる交通事故死者数の低減には、自転車乗員事故への対策も必要と考えられる。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。

本研究では、そのような安全装置により車両衝突速度低下時の自転車乗員の被害軽減度合いを明確にすることで、同装置の技術要件を導出するための基礎資料を作成することを目的とし、自転車乗員の重傷率・死亡率に着目し、車両衝突速度と自転車乗員被害との関係を我が国の交通事故実態に基づき調査した。ここでは、公益財団法人交通事故総合分析センターが所有するマクロデータ及びミクロデータを使用した。

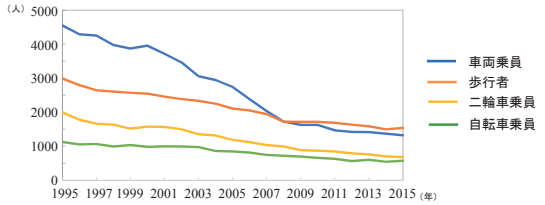


図 1　交通事故における状態別死者数の年次推移 [1]

2．マクロデータを用いた車両走行速度による重傷率・死亡率の算出

2009～2013 年のマクロ事故データを使用し、車両の各走行速度帯における自転車乗員の重傷率・死亡率を求めた。尚、本研究の重傷率は、軽傷者数、重傷者数の中で重傷者数の占める割合、死亡率は、軽傷者数、重傷者数、死者数の中で死者数の占める割合とした。

車両種類についてはセダン、ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物車の 5 車種を対象とした。マクロデータを用いて求めた車両走行速度と重傷率・死亡率との関係をそれぞれ図 2 に示す。車両走行速度の増加に伴い、自転車乗員の重傷率・死亡率は増加する傾向であった。

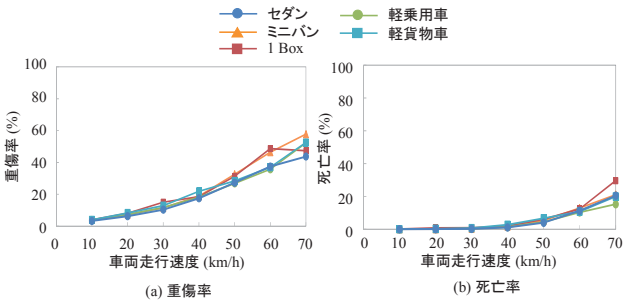


図 2　車両走行速度と重傷率、死亡率との関係

特に、重傷率は車両走行速度 50 km/h 以下、死亡率は車両走行速度 60 km/h 以下で車種に係わらずほぼ一致した。1Box 及びミニバンが車両走行速度 60 km/h の場合の重傷率、1 Box が車両走行速度 70 km/h の場合の死亡率は他の車種と比べ高い傾向を示した。自転車乗員が高速度で衝突するとカウルトップが胸部へ衝撃し、胸郭骨折の可能性が高くなることが考えられる。

３．ミクロデータを用いた車両走行速度と車両衝突速度との関係式の算出

実際の交通事故では、運転者が危険を認知しブレーキをかけることで、速度が低減した状態で自転車に衝突する。その時の車両の速度を車両衝突速度と呼称する。ミクロデータでは、車両走行速度と車両衝突速度を有する。ここでは、1993 年から 2013 年までの自転車乗員が関与した事故データを使用し、セダンのみを解析対象とした。車両走行速度と車両衝突速度との関係を傷害程度毎に図 3 に示す。車両走行速度と車両衝突速度が同じ（速度減少が無い）事例は、重傷事故の 51%（43 件/85 件）に対して、死亡事故は 63%（19 件/30 件）であり、重傷事故より高い割合を示した。車両走行速度と車両衝突速度との関係を直線近似（y=ax）したときの近似直線式を図中に表示した。本近似直線式では、車両走行速度が 0 km/h のとき車両衝突速度は 0 km/h となるように y 切片は 0 としている。このことから、死亡事故の場合には車両衝突速度はマクロデータの車両走行速度の 0.91 倍、重傷事故の場合にはマクロデータの車両走行速度の 0.77 倍であると推定された。

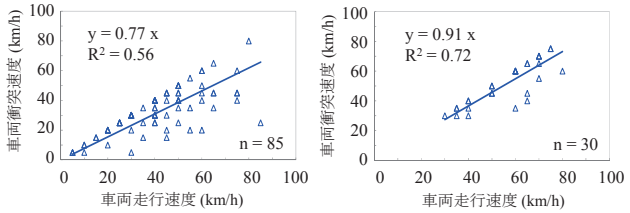


図 3　車両走行速度と車両衝突速度との関係（セダン）

４．車両衝突速度毎の重傷率・死亡率の算出

2 章では、車両走行速度と重傷率・死亡率との関係を示した。3 章の結果であるセダンの車両走行速度と車両衝突速度の近似式における回帰係数（重傷率を算出する場合には0.77、死亡率を算出する場合には0.91）を 2 章で求めた車両走行速度に適用し、セダン、ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物車の 5 車種について車両衝突速度毎の自転車乗員の重傷率・死亡率を算出した。一例として、セダンが自転車に衝突した時の車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係を図 4 に示す。一定の重傷率、死亡率に着目すると、車両走行速度と比べて車両衝突速度は低下している。5 車種についての車両衝突速度と自転車乗員の重傷率・死亡率との関係を推定したものを表 1 及び表 2 に示す。車両衝突速度 30 km/h 以下ではいずれの車種と衝突する場合においても自転車乗員の重傷率は 21%以下となり、死亡率は 1%以下となることが判明した。車両衝突速度 40km/h 以上の場合では、車両衝突速度を 10 km/h 低減させると重傷率、死亡率を低下させることが可能であることが示された。

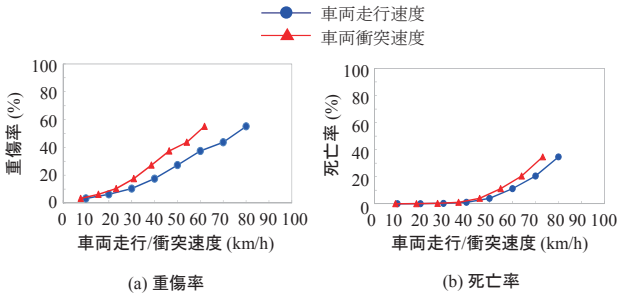


図 4　車両速度と重傷率、死亡率との関係（セダン）

表 1　車両衝突速度毎の重傷率

車両衝突速度 (km/h)	重傷率 (%)				
	セダン	ミニバン	1 Box	軽乗用車	軽貨物
10	4	5	5	5	5
20	9	10	12	10	11
30	17	18	18	18	21
40	29	35	34	28	30
50	40	52	48	43	44
60	52	-	-	-	-

表 2　車両衝突速度毎の死亡率

車両衝突速度 (km/h)	死亡率 (%)				
	セダン	ミニバン	1 Box	軽乗用車	軽貨物
10	0	0	0	0	0
20	0	0	1	0	0
30	0	1	1	1	1
40	2	3	4	3	4
50	7	9	9	7	9
60	16	18	22	13	16
70	30	40	-	25	31

５．おわりに

交通事故状況を基にセダン、ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物車を対象として、車両衝突速度が減少した場合の自転車乗員の被害状況を分析した。本分析結果より、自転車を検知し車両衝突速度を下げる自転車検知型被害軽減装置が様々な車種に装着され、実際の交通状況下において適切に作動した場合、いずれの車種においても自転車乗員の傷害レベルは車両衝突速度の低下に伴い大幅に軽減され、死亡事故件数の減少に大きく貢献できることが明確となった。

参考文献

1．公益財団法人交通事故総合分析センター、“交通統計平成 27 年版”（2016）

④ 前面衝突時における車両乗員の胸部傷害について

自動車研究部　　※細川 成之　　田中 良知　　松井 靖浩

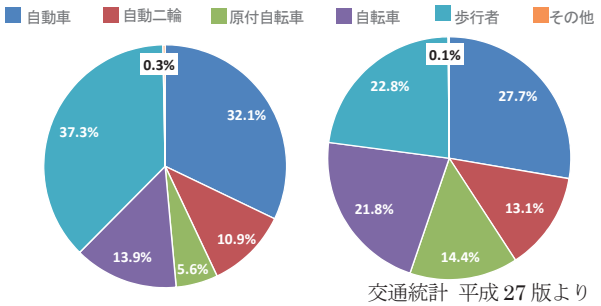
1．はじめに

近年、交通事故死亡者数は減少傾向にあるが、それでも平成 27 年中では約 54 万件の交通事故が発生し 4,117 人が亡くなっている。

平成 27 年度末に中央交通安全対策会議において平成 28 年度から 32 年度までの 5 か年を計画期間とする第 10 次交通安全基本計画が決定され、交通事故死者数を 2,500 人以下とする目標が設定された。そこで、車両乗員の安全向上をより一層図るため、前面衝突時の受傷特性について事故調査及び衝突実験により検討を行った。

2．交通事故の状況

図1に平成 27 年中の状態別死亡者及び重傷者割合を示す。自動車乗員の死亡者割合は 2 番目に高く、重傷者割合では最も高い。車両乗車中の死亡者数は、エアバッグやシートベルトなど衝突安全技術の向上等により、10 年前に比べ 446 人減少し、状態別死者数の割合でも 37%から 32%となったが、第 10 次交通安全基本計画の目標を達成するためには、これまで以上に傷害低減を図る必要がある。



交通統計 平成 27 版より

死亡者（n = 4,117）　重傷者（n = 38,957）

図1　平成 27 年中の状態別死亡者及び重傷者割合

次に、(公財)交通事故総合分析センターのマクロ事故データを用い平成 19 年から平成 23 年の 5 年間の前面衝突事故について、乗車位置と性別に着目して分析を行った。前面衝突事故は我が国において乗車中の死亡者が最も多い事故形態である[1)]。

図2に乗車位置ごとの男女別死亡者及び重傷者割合を示す。乗車位置による死亡者数は運転席と助手席とで約4:1であり、重傷者においてもほぼ同様の比率であった。また、死亡者においては、運転席の約 75%が男性であり、助手席の約 75%が女性であった。さらに助手席の死亡者においては全体の半数以上が 65 歳以上の女性であった。

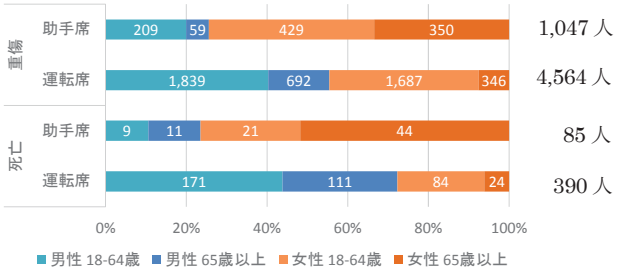


図2　乗車位置ごとの男女別死亡者及び重傷者割合
(平成 19 年～平成 23 年)

図3に死亡者の乗車位置ごとの男女別損傷主部位別割合を示す。損傷主部位は、胸部が 4 割程度と最も多くなっている。助手席の男性については腹部が最多だが母数が少ないことに留意する必要がある。

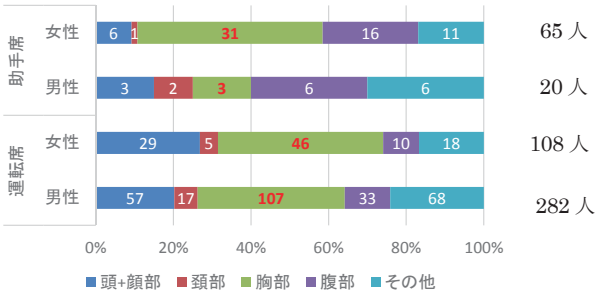


図3　乗車位置ごとの男女別損傷主部位別死亡者割合
(平成 19 年～平成 23 年)

以上の結果から、前面衝突事故において死亡重傷者数を低減させるためには、男女ともに胸部傷害対策を強化することが重要である。

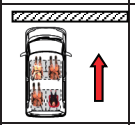
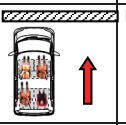
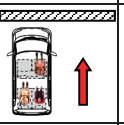
3. 実車衝突実験

3. 1.　実験条件

上記の事故調査結果から、運転席に男性ダミー、助手席には女性ダミーを搭載して衝突実験を実施した。表1に実験条件を、図4にダミーの搭載状況を示す。実験に使用した車両は、2004 年式の軽自動車である。なお、運転席及び助手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。衝突速度 55km/h の試験は、運転席乗員の挙動撮影等のため助手席ダミーは搭載していない。

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
実験重量	1,071kg	1,070kg	1,063kg	1,071kg
搭載ダミー	運転席 ： 男性ダミー(HybridIIIAM50) 助手席 ： 小柄女性ダミー(HybridIIIAF05)			

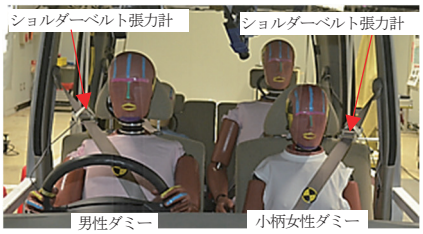
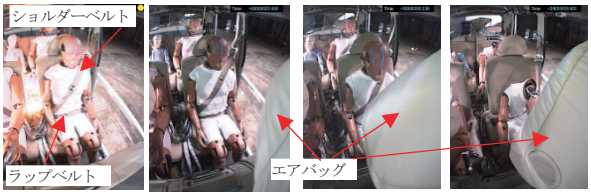


図4　ダミー搭載状況

3. 2.　実験結果

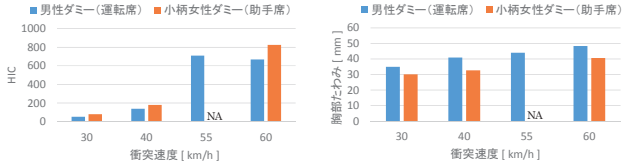
一例として、衝突速度 40km/h における助手席の小柄女性ダミーの挙動を図 5 に示す。t=25ms でショルダーベルト中央のターゲットマークが右上方に移動しているが、これはプリテンショナーが作動したことを示す。t=75ms ではショルダーベルトが上体移動を抑制する一方で胸郭を大きく変形させている。t=100ms ではダミーの上体部は最も前方に移動しエアバッグと接触した。



t = 0 ms　　t = 25 ms　　t=75 ms　　t = 100 ms

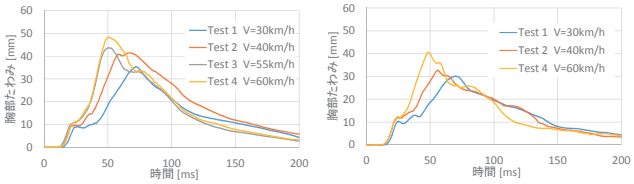
図5　ダミーの挙動（ 衝突速度 40km/h ）

評価するダミー部位及び傷害値は、死亡重傷者の主要な受傷部位である頭部及び胸部として、ダミーにより計測した HIC(頭部傷害基準:Head Injury Criterion)と胸部たわみで比較した。図 6 に各衝突速度における男性ダミーと小柄女性ダミーの傷害値を示す。また、胸部たわみの時間履歴とショルダーベルト張力の時間履歴を図 7 及び図 8 に示す。頭部傷害を評価する HIC は、男性ダミー、小柄女性ダミーのいずれにおいても低速度衝突では大きく低減した。一方で、胸部たわみは、30km/h の低速度衝突でも現行規定値(衝突速度 50km/h で 42mm)に対して、男性ダミーで約 83%、小柄女性ダミーでは約 72%程度であった。したがって、胸部は、低速度衝突においても頭部ほどの傷害低減が見込めない可能性がある。ショルダーベルト張力は、男性ダミーに比べて女性ダミーでは約 25%程度小さいが、これはダミーの上体質量が女性ダミーの方が軽いためと考えられる。また、ショルダーベルト張力の時間履歴は、胸部たわみとほぼ同様の傾向を示している。したがって、胸部たわみの軽減対策にはシートベルト張力の最大値低減を含む最適化だけでなく、乗員拘束方法について検討することが重要である。



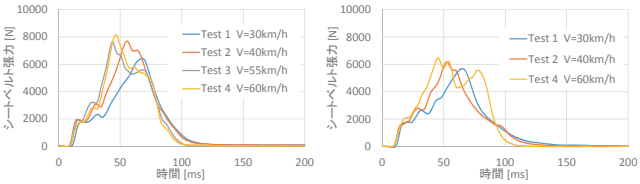
HIC　　胸部たわみ量

図 6　乗員の傷害値等比較



男性ダミー(運転席)　　小柄女性ダミー(助手席)

図 7　胸部たわみの時間履歴



男性ダミー(運転席)　　小柄女性ダミー(助手席)

図 8　ショルダーベルト張力の時間履歴

4. まとめ

車両乗車中の死亡者数は、衝突安全技術の向上により減少しているものの、交通事故死者数のなかで大きな割合を占める。今後、より一層の死傷者数の低減を図るためには、予防安全装置の普及も考慮しつつ、胸部など低速度でも大きな傷害値を示す部位の保護対策をはかる必要がある。

参考文献

1) 田中良知、衝突安全のこれまでとこれから、交通安全環境研究所講演会 2010 講演概要 pp.57-76

⑤ 検査標章の可読性の改善に関する調査研究

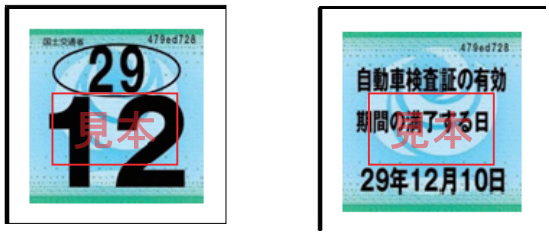
自動車研究部　　※青木 義郎　　岡田 竹雄

1．はじめに

検査標章は、道路運送車両法第 66 条に基づき、前面ガラス等に表示するものであり、有効な自動車検査証の交付を受けていない自動車の運行を防止するためのものである。その検査標章は、平成 16 年 1 月より、窓ガラス用とナンバープレート用が同一のサイズに統一され、結果的に窓ガラス用の検査標章の大きさは、従来の平成 15 年以前のものより大幅に小さくなった（図 1 参照。着色シール部分は 3cm×3cm）。この変更により、関係各署より、窓ガラスに貼付した検査標章に対して視認性が低下したとの意見が挙がっている。

こうしたことから平成 26 年度より、「検査標章の視認性向上検討会」が発足し、検査標章の改善について検討が開始された。「検査標章の視認性向上検討会」ではいくつかのデザイン改善案が提示され、その改善効果を明らかにするため、国土交通省自動車局整備課から当研究所にその評価が委託されることとなった。

この調査研究は、背景色、表示方法、フォントといった検査標章のデザインによる月や年情報の判別性の違いを明らかにし、その結果を「検査標章の視認性向上検討会」に報告し、判別性を向上させた新しい検査標章選定に活用することを目指して実施した。



（表）　　（裏）

図 1　現行の検査標章

2．実験方法

「検査標章の視認性向上検討会」では、検査標章に関して以下の 3 点のデザイン改善案が示された。

①文字の要素

②数字の表示位置による識別の要素

③台紙等の色による識別の要素

これらのデザイン改善案に対し、実際に実験用に新デザインの検査標章を作成し、実験参加者による評価を実施することとした。実験はデザイン改善案等を確認するために、以下の 3 つの実験を実施する。

・実験 1：背景色評価実験

・実験 2：年配置パターン評価実験

・実験 3：フォント評価実験

2．1．実験場所及び日時

実験は交通安全環境研究所（調布）の屋外で、実験中日影にならない場所にて実施した（図 2 参照）。実験を実施した日時は以下のとおりである。

・平成 27 年 10 月 21 日
AM10:45~PM3:30（曇り）

・平成 27 年 10 月 22 日
AM10:15~PM0:00（快晴）

図 2　実験風景

2．2．実験条件

2．2．1．実験 1（背景色評価実験）

実験 1（背景色評価実験）の実験条件を表 1 に示す。評価は実験参加者が十分遠い位置から近づき判別できる位置になった場所から検査標章までの距離を測定することにより行った（図 3 参照）。

評価に用いた検査標章は、現行検査標章よりもコントラストを向上させ月数字が判別しやすいと考えられる背景色 5 色（図 4 参照）を事前の予備実験で選定し、背景色による月数字や年数字の判別性の変化を調べることとした。また、背景色により年情報を判別させる方法についても検証するため背景色自体の判別距離も評価対象とした。

表 1　実験条件（背景色評価実験）

項目	内容
標章取付位置	フロントガラス中央
照度	昼光下
観測角度	0度（正対）
評価項目	判別距離（月数字、年数字、背景色）
計測人数	2～3名ずつ実施

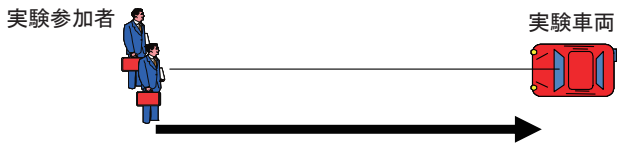


図 3　観測評価方法

図 4　背景色評価に用いた検査標章

注）HSV は色合い、鮮やかさ、明るさの三つの成分からなる色空間

2．2．2．実験 2（年配置パターン評価実験）

今回、年数字や月数字の配置位置により年情報を判別することが可能な検査標章のデザインについて評価を行うこととした。その実験条件を表 2 に示す。

検査標章の年配置パターンとして、3 種類（図 5 参照）のものを選定し評価を実施した。なお、背景色は実験 1 で最も判別性が良いものを使用することとした。また年配置位置は実験参加者に知らせず、それぞれ 4 隅の確率が偏らないようランダムに提示した。

表 2　実験条件（年配置パターン評価実験）

項目	内容
標章取付位置	フロントガラス中央
照度	昼光下
評価項目	判別距離（年または月配置位置、月数字、年数字）
計測人数	2～3名ずつ実施
文字サイズ	2パターン（100%、110%）で実施

注）文字サイズ 100%とは現行検査標章からのサイズ変更（3cm→4cm）と同じ比率で月数字を大きくしたもの。文字サイズ 100%より 110%の方が月数字は大きくなるが、その分年数字は縮小される。

2．2．3．実験 3（フォント評価実験）

実験 3（フォント評価実験）の実験条件を表 3 に示す。この実験では従来検査標章に使われてきた MS ゴシックの他、従来のフォントより判別性を向上させた UD（ユニバーサルデザイン）フォントに近いと言われているメイリオについても評価を行い、フォントによる月数字の判別性の変化を調べることとした。実験に使用した月数字のフォントを図 6 に示す。なお今回の試験では、1～12 の数字の中から数字形状より見間違いが多いと考えられる “3”、“6”、“9”、そして 2 文字使用し文字密度の高い “12” について実験することとした。

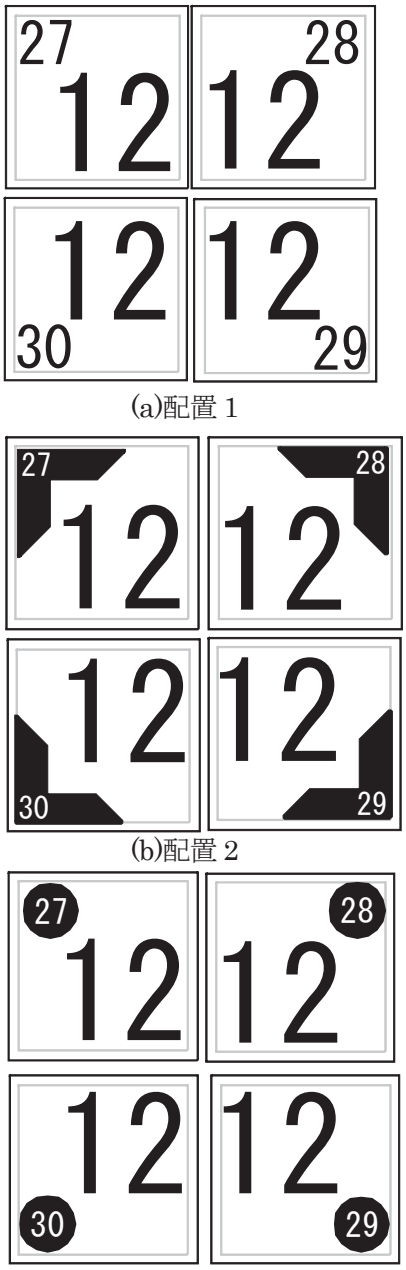


図 5　年配置パターン評価実験に用いた検査標章

表 3　実験条件（フォント評価実験）

項目	内容
標章取付位置	フロントガラス中央
照度	昼光下
観測角度	0度（正対）
評価項目	判別距離（月数字）
計測人数	3名ずつ実施

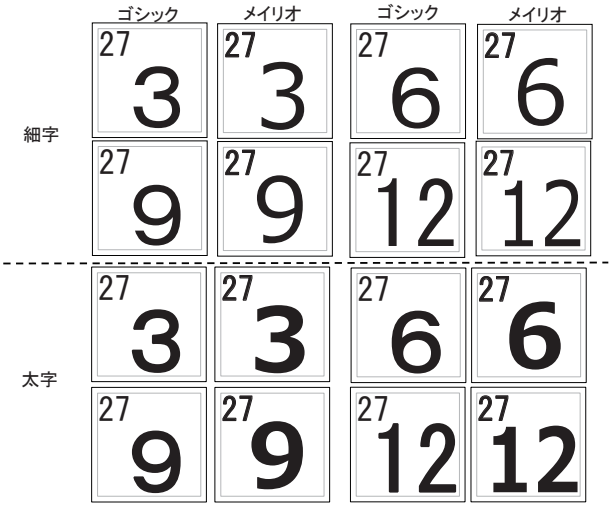


図 6　フォント評価実験に用いた検査標章

2．3．その他

実験参加者は運転免許保有者で色覚正常者 20 名。両眼視力は 1.2（平均）±0.3（標準偏差）であった。なお、実験参加者は外部から派遣されており、当研究所の「人間を対象とする実験倫理規程」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。また実験に使用した車両色は、グレー色及び白色である（図 7 参照）。実験参加者は実車両のフロントガラスに貼付させた現行検査標章及び新検査標章を指定した位置から観測し評価を行った。

図 7　実験に使用した車両

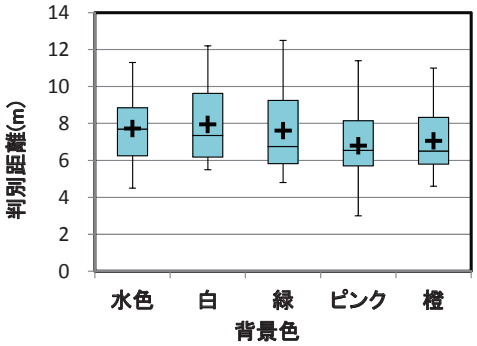
3．実験結果

3．1．背景色による判別距離の変化

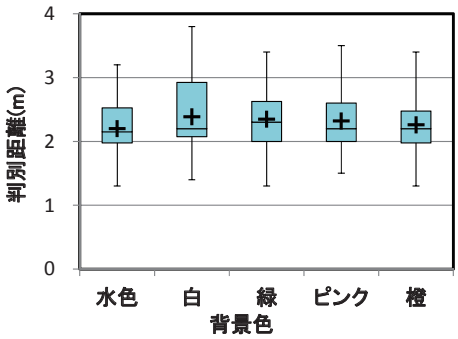
実験 1 より求められた背景色による判別距離の変化の結果を図 8 に示す。なお図中には平均値（＋印）と箱ひげ（最小値、第 1四分位点、中央値、第 3 四分位点、最大値）を記す。なお N 数は 20 である。

今回の背景色で最も月数字の判別距離が長いのは“白色”の時であり、“水色”・“緑色”もほぼ同等の距離であった（図 8 (a)参照）。年数字の判別距離はどれも特に差はない（図 8 (b)参照）。

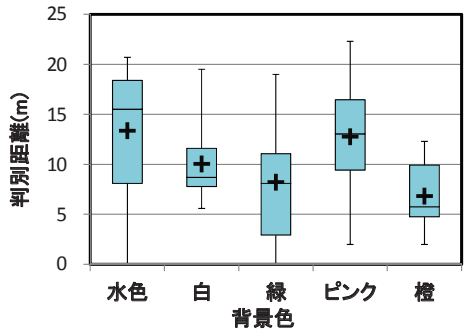
背景色が判別できる距離が最も長いのは“水色”で平均 13.4m、最も短いのは“橙色”で平均 6.8m であったが、いずれの背景色も個人差が大きいのが特徴となっている（図 8 (c)参照）。また、背景色が“緑色”と“橙色”の場合には、実験参加者の 25%以上が色判別距離 5m を下回った。



(a)月数字判別距離



(b)年数字判別距離



(c)背景色判別距離

図 8　背景色による判別距離の変化

3．2．年配置パターンによる判別距離の変化

実験 2 より求められた年表示配置パターンによる判別距離の変化を図 9（N 数は 20）に示す。

年または月表示配置位置の判別距離は配置 1、配置 3 がほぼ同等で長かった（図 9 (a)）。年数字の判別距離は配置 1 が最も長かった。また月数字サイズ拡大により年数字は逆に縮小されるため、文字サイズ 100%の方が 110%より評価は高くなった（図 9 (b)）。現行

検査標章の年数字の判別距離は平均 3m 弱（図 9(b)参照）であった。いずれの年配置パターンでも年または月表示配置位置の判別距離（図 9(a)参照）は、現行の検査標章の年数字判別距離を上回っており、年表示配置位置を年表示に活用すれば、現行検査標章よりも判別距離は改善されることが明らかになった。ただし年数字の判別距離は配置 2、配置 3 のパターンで現行検査標章よりも下回る（図 9 (b)参照）。

現行検査標章の月数字の判別距離は平均 5m 弱であった（図 9 (c)）。いずれの年配置パターンでも月数字の判別距離は現行検査標章より上回った。

3．3．フォントによる月数字の判別距離の変化

実験 3 より求められたフォントによる判別距離の変化を図 10（N 数は 20）に示す。

今回の比較したフォントで最も月数字の判別距離が長かったのは、今回選定したいずれの数字においてもメイリオの太字であった。今回の数字で判別距離が短かったのは“9”であったが、特にこの数字でのゴシックとメイリオの判別距離の差が大きく、メイリオの優位性が示された。

4．まとめ

本調査研究では、色、表示方法、フォントといった検査標章のデザインによる月や年情報の判別性の違いについて評価実験を実施した。その結果以下のことが明らかになった。

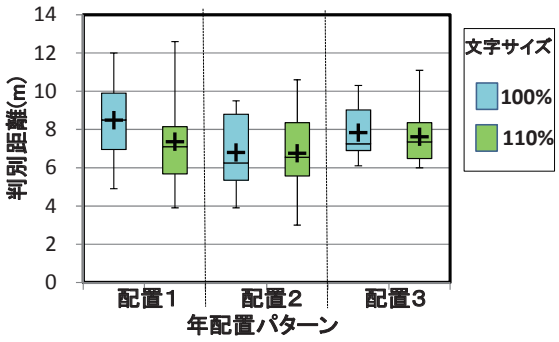
(1) 今回の背景色で最も月数字の判別距離が長いのは“白色”であり、“水色”や“緑色”もほぼ同等の距離であった。

(2) 色による判別可能な距離は個人差が大きかった。背景色が“緑色”と“橙色”の場合には、実験参加者の 25%以上が色判別距離 5m を下回った。

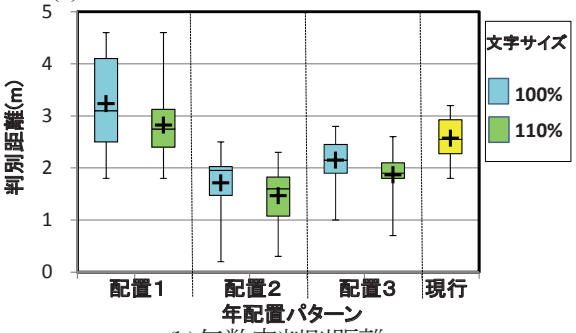
(3) 年または月表示配置位置の判別距離は配置 1、配置 3 がほぼ同等で長かった。年数字の判別距離は配置 1 が最も長かった。

(4) 今回のフォントで最も月数字の判別距離が長かったのは、今回選定したいずれの数字においてもメイリオの太字であった。

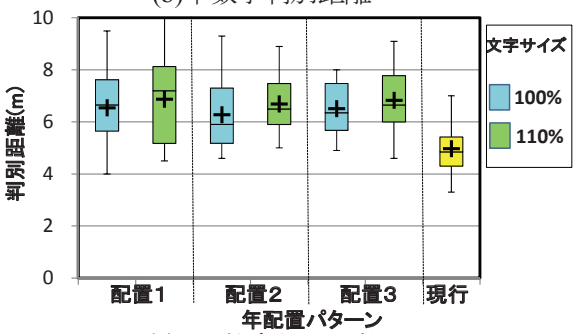
以上の結果に基づき、新しい検査標章のデザインが「検査標章の視認性向上検討会」にて選定され、提案されることとなった（図 11 参照。背景色は“白色”と“水色”の混合。年配置パターンは配置 1。フォントはメイリオ太字）。



(a) 年または月表示配置位置判別距離



(b)年数字判別距離



(c) 月数字判別距離

図 9　年配置パターンによる判別距離の変化

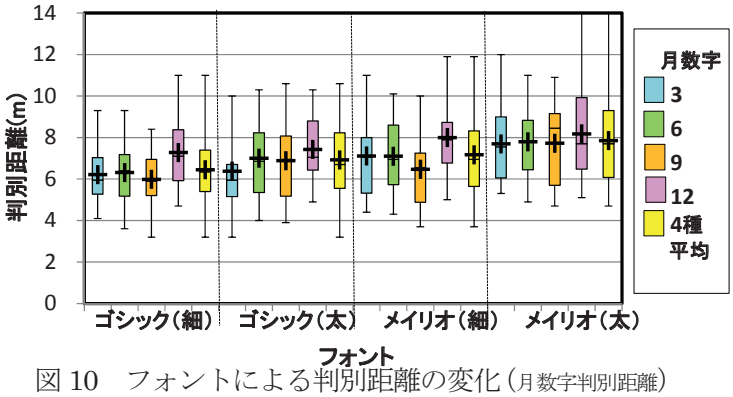


図 10　フォントによる判別距離の変化（月数字判別距離）

図 11　新しい検査評価のデザイン案

⑥ NOx センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時における NOx 排出量測定

自動車研究部　　※山本 敏朗　　水嶋 教文　　鈴木 央一

1．まえがき

車載型排出ガス計測器（PEMS: Portable Emission Measurement System）を用いる欧米の重量車排出ガス検査は、商用車を一定期間占有することや計測器搭載に伴う車両加工が必要である。本研究では、デジタル式運行記録計にNOxセンサ等の信号を収録できるセンサベースの計測システムを構築し、これを路上走行時の排出ガス検査に用いることを考えた。排気管直挿型NOxセンサは、排気管に装着するだけでNOx濃度及びO_2濃度が、またO_2濃度を用いた演算によりCO_2濃度が取得できることから、NOxセンサベースの車載計測器は従来の PEMS よりもコンパクトな装置となる。これによって、荷台への装置の設置が不要となり、排出ガスのサンプリング管を通すための荷台への穴空け等の加工を含む搭載性の課題が解決される。本研究では、この観点から、これまで、NOx センサベースの車載計測器により従来型 PEMS の代用が可能かどうかを検証するため、重量貨物車に両装置を搭載してシャシダイナモメータ試験による性能評価を行ってきた。その結果、NOx 濃度については概ね同等、また CO_2 濃度については高い精度を求めなければ使用可能との結論を得た[1)]。そこで、本報では、次の段階として、温度、湿度等の環境条件が変動する路上走行時において、両装置を搭載し、NOx 排出量等を測定、比較することにより、NOx センサベースの車載計測器の路上走行時における測定性能を検証した。

2．実験方法

試験車両は､尿素SCRシステム搭載の小型貨物車(ポスト新長期規制適合、車両総重量6.6t）を用いた。同車両に、ジルコニア式NOxセンサ（日本ガイシ製）をベースとした車載計測器と PEMS（堀場製作所製 OBS-2200 車載式排出ガス分析装置）を搭載して、都市内一般道、高速道路、郊外一般道及び首都高速道路を走行し、NOx センサの NOx 濃度測定値及び CO_2 濃度算出値を、PEMS の NOx 濃度測定値及び CO_2 濃度測定値と比較することによって、NOx センサベースの車載計測器の性能評価を行った。積載条件は、半積載とした。エンジン冷却水温度を測定し、暖機状態を把握した。

供試 NOx センサには、NH_3 を NOx として誤検知する NH_3 干渉の問題が存在する。試験車両は尿素 SCR システム搭載車であることから、NH_3 スリップの可能性があり、シャシダイナモメータ試験により、種々の走行条件において排出ガス中の NH_3 濃度をフーリエ変換赤外分光法（FTIR: Fourier Transformed Infrared Spectroscopy）ガス分析計により連続分析を行った。結果、いずれの走行条件においても NH_3 の排出は認められず、現状の試験車両においては、NOx センサ使用時の NH_3 の干渉について考慮しなくてもよいものと考えた。

3．実験結果及び考察

路上走行においては、温度、湿度等の環境条件の変動や急加速等のモード運転にはない運転条件の存在が考えられる。本報では、NOx センサベースの車載計測器が、このような路上走行条件の中で安定して性能を発揮することができるかどうかを検証した。以下に、その一例を示す。

3．1．首都高速道路走行時の NOx センサによる NOx 濃度の測定結果

図 1 に、試験車両が首都高速道路を走行したときの NOx センサによる NOx 濃度測定値と PEMS による NOx 濃度測定値を時系列で比較した結果を示す。同図より、両者はよく一致していることがわかるが、NOx 排出のない条件でNOxセンサの出力がマイナス側にシフトしている領域が観測される。排出ガス中の水分等の干渉に起因する可能性があり、今後の検討課題である。図 2 に、NOx センサの NOx 濃度測定値と PEMS の

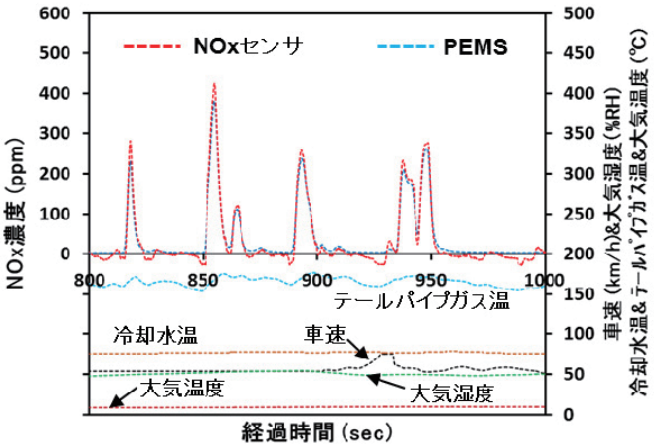


図 1　首都高速道路走行時の NOx センサによる NOx 濃度測定値の時系列変化

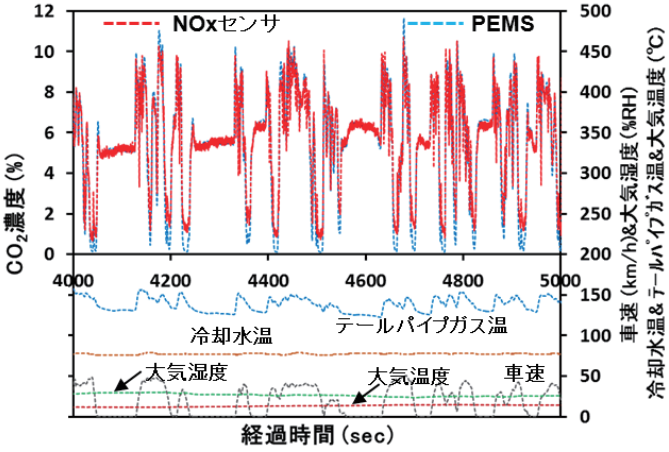


図 3　都市内一般道走行時の NOx センサによる CO_2 濃度算出値の時系列変化

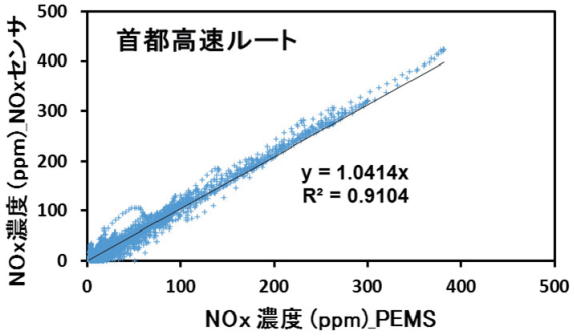


図 2　NOx センサの NOx 濃度測定値と PEMS の NOx 濃度測定値の相関

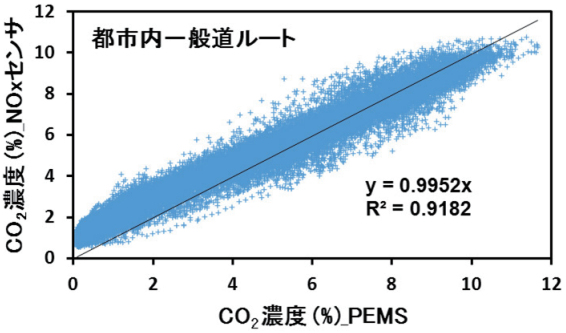


図 4　NOx センサの CO_2 濃度算出値と PEMS の CO_2 濃度測定値の相関

NOx 濃度測定値の相関を示す。両者には強い相関性が認められるものの、低濃度域のバラツキが大きい。

3．2．都市内一般道走行時の NOx センサによる CO_2 濃度の算出結果

図 3 に、試験車両が都市内一般道を走行したときの NOx センサによる CO_2 濃度算出値と PEMS による CO_2 濃度測定値を時系列で比較した結果を示す。同図より、両者は 0%近傍の低濃度域でズレが生じていることがわかる。これは、NOx センサによる CO_2 濃度算出段階のウェットベース換算においてエンジン吸入空気中の水蒸気量を考慮していないことに起因する可能性がある [1]。しかしながら、上記の領域以外では極めてよく一致していることがわかる。図 4 に、NOx センサの CO_2 濃度算出値と PEMS の CO_2 濃度測定値の相関を示す。両者には上述したように 0%近傍の低濃度域でのズレが存在し、これに起因するとみられる近似直線からの偏りがあるが、全体としては強い相関性が認められる。

4．まとめ

小型貨物車に NOx センサベースの車載計測器と PEMS を搭載し、都市内一般道、高速道路、郊外一般道及び首都高速道路を走行し、NOx センサの NOx 濃度測定値等と PEMS の NOx 濃度測定値等を比較分析し、NOx センサベースの車載計測器の路上走行時における測定性能を検証した。その結果、以下の点が明らかになった。

(1) NOx センサベースの車載計測器と PEMS の NOx 濃度測定値は概ね一致したが、NOx 排出のない条件で NOx センサの NOx 濃度出力がマイナス側にシフトしている領域が観測され、排出ガス中の水分等の干渉に起因する可能性がある。

(2) NOx センサによる CO_2 濃度算出値については、0%近傍の低濃度域で PEMS の CO_2 濃度測定値とのズレが観測される場合があった。これは、CO_2 濃度算出段階のウェットベース換算においてエンジン吸入空気中の水蒸気量を考慮していないことに起因する可能性がある。

これらについて、今後の検討課題としたい。

参考文献

1) 山本敏朗，“センサベースのポータブル排出ガス計測器による車載計測”，JSAE エンジンレビュー，Vol. 5，No. 3，pp. 12-18（2015 年 9 月）

⑦ 乗用車におけるパワートレイン技術による燃費特性の違い

自動車研究部　　※鈴木 央一　　山口 恭平　　水嶋 教文

1．はじめに

我が国において、自動車（乗用車クラス）の燃費向上を促す施策として2020年度燃費基準が策定されている。燃費がユーザーへのアピールポイントになることに加え、燃費基準達成による優遇税制等のコストメリットもあり、近年の新車の燃費向上は著しいものがある。また、欧米においても燃費や CO_2 の基準等が策定され、それらでは厳しい罰則等も定められており、世界的な燃費向上の取り組みは近年重要性を増している。

国内で全体の燃費向上の主役となっているのは、ガソリン電気ハイブリッド車（以下、「ハイブリッド車」という）で、2015 年には軽自動車を除く新車販売の約4割を占めるに至っている。それに対して、欧州では新車の約半数をディーゼル車が占め、ガソリン車においても過給機を装備したもの（以下、「ターボガソリン車」という）が主流となっている。ディーゼル車とターボガソリン車は国内では数年前までごく少数に過ぎなかったが、近年着実に数を伸ばしており、低燃費技術として今後も考慮していくべきものとなっている。一方で通常のガソリン車においても燃費性能向上が進められている。このようにパワートレインが多様化している状況において今後の技術動向を考えていくにあたっては、それらが5年程前の燃費水準からどれほど進化しているのかを把握することが有効と考えた。そこで本報告では、現在の代表的なパワートレインシステムを採用する同等クラスの車両を対象に、シャシダイナモ試験により様々な走行条件となる各種試験モードを実施し、それらの燃費性能について比較することを試みた。

本比較は、あくまでも限られた車種を対象に、各技術導入による燃費向上効果の相場観を表すものであり、数値的な差はあくまで一例である点に留意する必要がある。

2．試験車及び評価方法

2．1．試験車両

試験には表1に示す5台の車両を用いた。パワートレインの違い以外の要素を極力対等に比較するため、現行試験法での等価慣性質量が1250 kg、排気量1.5 L程度（ダウンサイジングの車両Cを除く）のワゴンあるいはハッチバック車とした。車両Aは10年程度前のガソリン車における当時の低燃費技術が導入された車両として選択したもので、2010 年度燃費基準+20%達成車となっている。車両Bは2015年登録の新しい車両で、通常のガソリン自動車ながら先進的な可変バルブ機構とアイドルストップ機構等により、2020年度燃費基準をクリアしている。車両Cは、近年普及が進むダウンサイジングのコンセプトを取り入れたターボガソリン車で、本車両のみ排気量が約1.2L となっている。車両Dはアトキンソンサイクルを用いた高効率エンジンに先進的なハイブリッド機構を組み合わせた車両で、一時的にJC08モード燃費で市販車中最高値を示した車両である。車両Eは、国内で市販される本重量区分唯一のディーゼル自動車で、2020 年度燃費基準を達成している。いずれも市販の登録車でとくに改造等は行っていない。

表1　供試車両諸元

車両ID	A（従来車）	B（新型車）	C（ターボG）	D（HEV）	E（ディーゼル）
車体形状	ハッチバック	ステーションワゴン	ハッチバック	ハッチバック	ハッチバック
パワートレインタイプ	ガソリン	ガソリン	ターボ付ガソリン	ガソリン電気ハイブリッド	ターボ付ディーゼル
エンジン排気量 L	1.5	1.5	1.2	1.5	1.5
トランスミッションタイプ	CVT	CVT	7DCT※	CVT	6AT
等価慣性質量（JC08モード） kg	1250	1250	1250	1250	1250
等価慣性質量（WLTP）	1269	1299	1329	1320	1301
アイドルストップ	なし	あり	あり	あり	あり
燃費基準達成状況	2010年+20%	2020年達成 2015年+20%	2020年達成 2015年+10%	2020年+20% 2015年+20%	2020年達成 2015年+20%

※DCT：デュアルクラッチトランスミッション

２．２．試験装置、モードについて

試験は全てシャシダイナモ上で実施しており、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示別添 42（いわゆる JC08 モード試験法）に示された性能要件を満たすシャシダイナモ、排出ガス分析装置等を用いた。評価試験サイクルには JC08 モード（冷機（C）、暖機（H））に加え、走行条件の違いによる特性を比較する目的で国際統一試験サイクル（WLTC）、東京都 No.2 モード（平均車速 8.4km/h）及び高速の米国ハイウェーモード（HWFE、平均車速 77.7km/h）を実施した。

近年の燃費改善技術の進化にはパワートレインの改善に加えて走行抵抗の低減も含まれる。そのため、各車両の燃費値だけを比較してもそれがパワートレインの改善か走行抵抗の改善か切り分けができない。そこで通常の JC08 モードに加え、車両 A の走行抵抗を各車両に設定して JC08 モードを実施し、改善要素の切り分けを試みた。

３．試験結果と評価

３．１．パワートレインと燃費

各車の JC08 モード及び WLTC の燃費（実測結果）を図 1 に示す。車両 B～E については、いずれも車両 A の燃費を明らかに上回る。近年の車両がさまざまな技術を導入して燃費が改善されていることが実測で示された結果といえる。

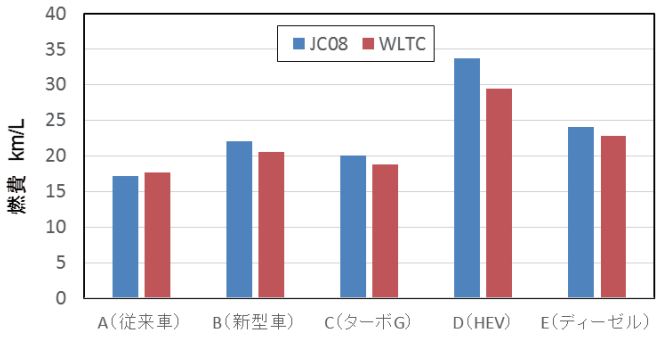


図 1　各車両の JC08 モード及び WLTC 燃費

この結果に各車の走行抵抗値を車両 A に統一して測定した結果を加味して、これらの改善効果を切り分けたものを図 2 に示す。図では比較が容易なように、車両 A の燃費を基準として比率で示した。また車両 B ではアイドルストップの効果が大きいとみられたことからアイドルストップ機能を停止した条件においても試験を行い、比較した結果、改善幅の 4 割程度がそれによるものであった。B～E のいずれの車両においても走行抵抗の改善よりもパワートレインの違いによる改善幅の方が大きい結果であった。車両 D では走行抵抗低減により 2 割近い改善を得ており、走行抵抗の低減による燃費向上の余地はまだあるといえるが、大幅な改善を図るにはパワートレインでの改善が不可欠であることを示す結果といえる。

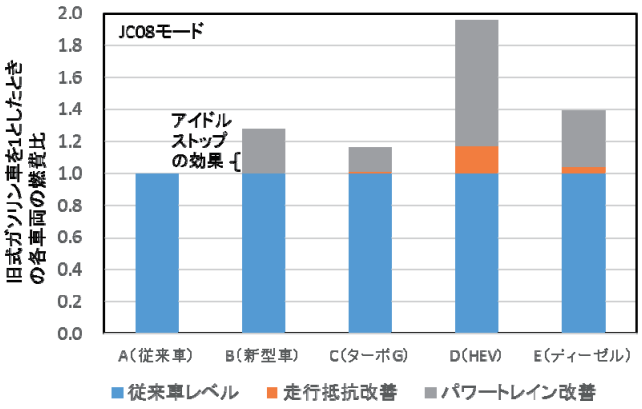


図 2　各車両の燃費改善をもたらす因子の分析

パワートレインの違いについてみると、改善効果について一般にいわれる通り「ハイブリッド＞ディーゼル＞先進ガソリン」の序列となった。ガソリン車の進化は顕著であるが、それ以外についても同様に改善していることが、相対的な序列が維持される結果につながったとみられる。

３．２．走行状態と燃費

３．２．１　WLTC 導入による影響の違い

WLTC では、最高車速が約 96km/h（エクストラハイ部分を除く）となるなど、JC08 モードとは大きく異なるものの、両モードの燃費を比較した場合、燃費値の優れる車両において JC08 モードより WLTC の燃費がやや低くなる他は概ね同等となっている[1)]。欧州で中心的な地位を占めるディーゼル車やターボガソリン車でその傾向に違いがあるのか興味のあるところである。測定結果としては、図 1 に示す通りであるが、それが従来の知見に変化をもたらすものかどうかを調査した。

国土交通省と経済産業省、資源エネルギー庁の 3 省庁が合同で開催している自動車燃費基準小委員会において、2018 年に排出ガス評価法として WLTC が導入された後の 2020 年度燃費基準の扱いについて

2015 年に検討がなされている。そのとりまとめ[2]においては、多数の現行車両において JC08 モードと WLTC それぞれの燃費を測定した相関を調査している。その結果に、今回の車両 A～E の試験結果を追加したのが図 3 である。いずれの車両においても特異な結果は見られず、他の現行車両の一般的傾向の中に包含されるものであった。つまり、ターボガソリン車やディーゼル車においても JC08 モードあるいは WLTC のいずれかで燃費のいいものは他方でもよく、その傾向に従来ガソリン車と大きな違いはないことがわかる。

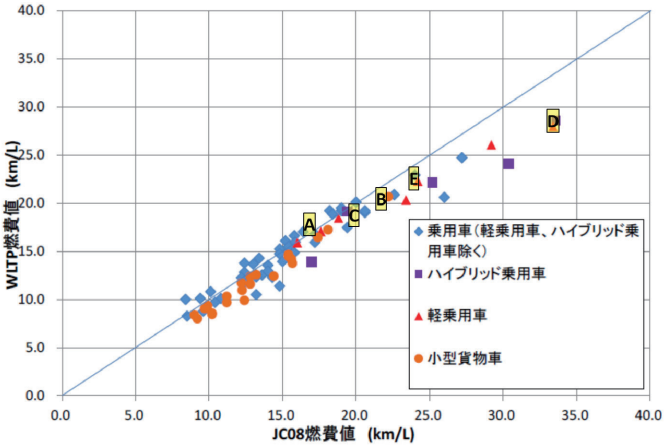


図 3　各車両の JC08 モードと WLTC の燃費相関（自動車燃費基準小委員会とりまとめ[2]に記載された図に本試験結果 A～E を追記）

3．2．2　速度と燃費の関係

次に WLTC にとどまらない様々な走行状態における各車両の燃費特性について、ここでは平均車速と燃費の関係に着目することとした。JC08 モード及び WLTP のエクストラハイ（ExH）を含めた各パートに加えて、東京都 No.2 モード及び HWFE を含めた試験結果を、平均車速と各試験モードの燃費値の関係として示したのが図 4 である。

ハイブリッド車である車両 D は平均車速 20 km/h 前後で燃費値が最大となり他と大きく異なる傾向が見られた一方で、それ以外の 4 台については、米国ハイウェーモードの燃費値が最も良いことに加え、すべてのモードで同じ序列（E→B→C→A）となった。この結果は既述の結果と同様に、パワートレインの違いによる車速に対する燃費特性の差は大きいものではないことを意味する。すなわち、一つのサイクルで良い燃費値を示すものは、概ね他の走行モード等でも良い結果となる。

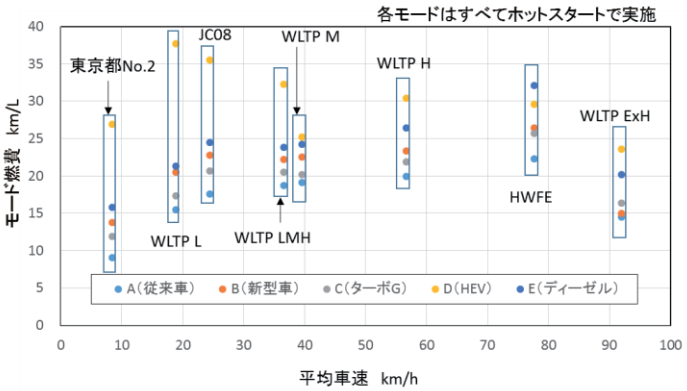


図 4　各車両の様々なモードにおける平均車速と燃費の関係

このように燃費値の序列には変化がほとんどみられないものの、相対的な差は多少変化しているケースもみられる。そこで速度による燃費影響を抽出するために、各車両の JC08 モード燃費を基準としたときのその他のモード燃費の比率を横軸平均車速で示したのが、図 5 である。図よりハイブリッド車である車両 D では JC08 モード以上の平均車速ではいずれも 1.0 未満の値となっており、高速走行で燃費が伸びないことがわかる。それ以外の車両については必ずしも顕著なものとはいえないが、車両 E では平均車速 40km/h 以下のモードではほぼ中位であるのに対して、HWFE と WLTP エクストラハイでは最上位の結果となっており、高速走行がいわば「得意」であることが示された。また、車両 B では逆に低速域では相対的に上位であるものの、高速域のモードでは車両 D に次ぐ下位となっている。これはガソリン車よりもディーゼル車

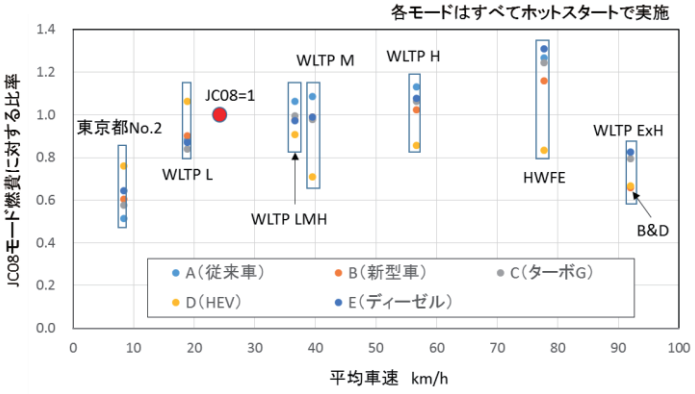


図 5　各車両の様々なモードにおける JC08 モード燃費に対する燃費割合

が相対的に高速走行に向いている可能性を示唆する一方で、車両 E がロックアップ付自動変速機（AT）であるのに対して、車両 B が無段変速機（CVT）である違いが影響している可能性もある。したがって、図 5 の結果は車両としての特性であっても、パワートレイン自体の特性を反映したものとは言い切れない面もあり、本報告の範囲では既述の通り「パワートレインの違いによる車速に対する燃費特性の差は大きいものではない」とするのが適当と考える。

4．まとめ

低燃費化が進む中、最新技術が導入されたガソリン車、ターボガソリン車、ハイブリッド車、ディーゼル車を取り上げ、それぞれの燃費性能及び車速と燃費の関係について、従来ガソリン車との比較を含めた評価試験を行った。結果を以下にまとめる。

（1）ガソリン車においても従来車から顕著な改善が見られたが、改善効果の大きい順に「ハイブリッド＞ディーゼル＞先進ガソリン」であった。

（2）これまで少数にとどまったターボガソリン車やディーゼル車においても、JC08 モードと WLTC の燃費相関は通常ガソリン車と同様で、従来の傾向を踏襲する結果であった。

（3）走行条件の違いによる燃費影響として、平均車速と燃費の関係について評価したところ、ハイブリッド車では 20km/h 前後で最大値を示し、他と異なる結果であったが、それ以外では平均車速の異なる場合でも JC08 モードの序列と同様の結果となり、影響度は大きくなかった。

以上から、今後増加が見込まれるターボガソリン車やディーゼル車については、燃費特性を従来車から大きく変化させるものではなく、それぞれ燃費向上を進める上での一つの手段として考えてほぼ問題ないことが分かった。

謝　辞

本試験結果は、資源エネルギー庁「平成 27 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（自動車単体対策に係る調査検討事業）」の中で取得したものであり、関係各位に謝意を表する。

参考文献

1) 山口 恭平，鈴木 央一，“世界統一試験サイクルにおける燃費および排出ガス性能について－車両試験結果からわかる JC08 モードとの違い－”，交通安全環境研究所フォーラム 2014 講演概要，pp.15-18（2014）

2) 自動車燃費基準小委員会とりまとめ, "燃費試験における WLTP の導入（案）", http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s304_jidoushanenpi03.html (2015)

⑧ 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

－複数車線を対象とした通過車両情報の抽出－

自動車研究部　※宝渦 寛之　西 孝弘　国際調和推進部　坂本 一朗
神奈川工科大学　石濱 正男　元（株）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[1)]。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、道路全体の平均的な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。そこで当研究所では、個々の騒音源を分離して計測し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開発を行っている。このシステムは、道路端に設置された鉛直方向に長い直線状のマイクロホンアレイとカメラ等から構成される[2)]。マイクロホンアレイにて得られた騒音情報は、カメラから得られる車両情報と組み合わせてデータとして整理する。

開発中のシステムでは、複数車線の音源定位を行うため、より高度な手法として反射波まで考慮したビームフォーミング法を採用している。この手法は、前提として反射物の位置や大きさが既知である必要があるが、本研究における反射物は一般公道を走行する車両であるため、測定は容易ではない。このため平成 27 年度の報告[2)]では、画像処理技術を用いてこれらの情報を抽出するプログラムの開発を行った。このプログラムは、カメラ前を走行する車両 1 台にしか適用することが出来ないため、車両の重なりが発生する複数車線を対象とした解析を行うことは出来ない。そこで、今回は新たにカメラを追加し、複数車線まで適用可能なようプログラムの拡張を行った。

2．複数車線を対象とした画像処理プログラム

本稿では、複数車線に対して車両情報を抽出するため、これまで使用してきた通過車両の側方に設置されたカメラに加え、マイクロホンアレイの上方にカメラを 1 台追加し、これらを組み合わせて処理を行う。上方カメラの設置高さは、マイクロホンアレイ高さである 4m 程度となるが、高さが十分ではないため、上方カメラにおいても全ての車両を重なることなく撮影することは困難である。そこで本研究では、車線境界線を利用する手法を考案した。図 1 に、上方カメラにおける通過車両が走行する車線を判別する方法を示す。ここではアルゴリズムを構築する上で、1 台の車両は、画像上で 2 本の車線境界線を遮断しないものと仮定した。車線境界線近傍には、図のような鉛直方向の特定の座標範囲を「車線スリット」として定義し、通過車両の検出画像から車線スリット上の車両範囲を抽出し、車両長を求める。また、車線スリットに加えて、水平方向の特定の座標範囲を「縦軸スリット」として定義した。本システムでは、マイクロホンアレイに挟まれた垂直断面内について、騒音源の可視化を行う。そのため、反射音の伝達経路計算を行うためには、マイクロホンアレイに挟まれた垂直断面を遮る車両断面を、時系列に求める必要がある。縦軸スリット

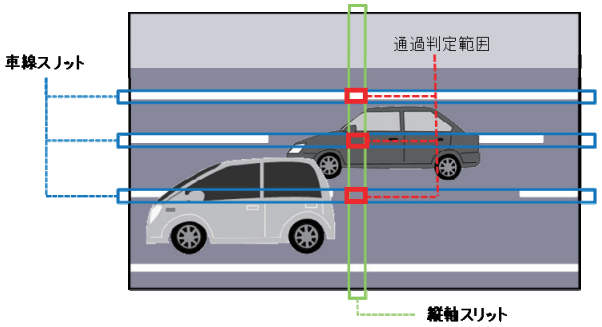


図 1　上方カメラ撮影画像における車両抽出の考え方

は、この垂直断面に相当し、本プログラムは縦軸スリット上の車両情報を時系列に出力する。

車線スリット及び縦軸スリットについて、その交差する領域を図 1 のように「通過判定範囲」として定義する。通過車両の抽出結果から、車両が通過判定範囲に占める割合を求め、縦軸スリット上を通過中の車両を判定する。図 1 の場合、中央車線を走行する車両のみ、通過中と判断される。なお、誤検出を防止するために、物体が通過判定領域の 80%以上を占める場合のみ通過中と判断することとした。車両が通過中と判定された場合、既報の方法 [2]に従って、車速、車両寸法等の導出を行う。なお車両高については、上方カメラの画像からは求めることが出来ないため、車両の重なりがない場合は側方カメラでの導出値を出力し、車両の重なりが生じた場合は車種毎の平均値を出力する。

3．テストコース試験

3．1．試験概要

拡張した画像処理プログラムの検証を目的とし、テストコース試験を実施した。カメラは Prosilica 製 GC750 C を使用し、25fps にて同期計測を行った。試験車両には、小野測器製の GPS 車速計 LC-8300 を取り付け、30、50、70km/h にて定速走行を行った。

3．2．試験結果

車両寸法及び車速を導出した結果について、表 1 に示す。車速については、一部を除き 10%程度の誤差が生じている。表中最下段のデータについては、対象動画に収録ソフトのエラーによるフレームの重複があった。そのため、実際よりも車両の通過に掛かるコマ数が多くなり、車速が遅い値となった。車両長は、車体の影やフレーム重複の影響を受けるため、誤差にばらつきがある。車両高は、誤差は 10%程度

となっている。

次に、複数車線を車両が併走して走行する場合について、車両検出の可否を検討した。ここでは、ワーストケースを想定し、3 車線道路において車両が 3 台併走した場合について検証を行った。図 2 に、通過車両の検出結果の一例を示す。図中では、設定した車線スリットと検出車両が交差する領域が、横軸方向に長い緑色の領域で示されている。この結果より、3 車線を同時に走行する車両を、それぞれ検出していることが分かる。また一連の結果では、車両が車線を交差する等の誤りもなかった。

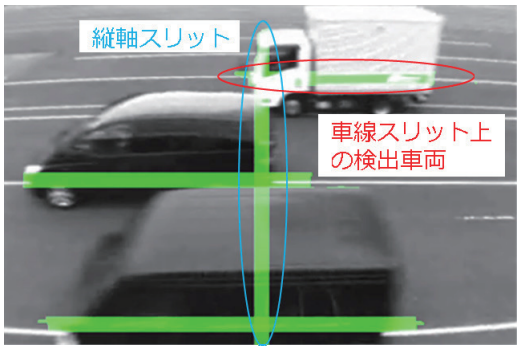


図 2　複数車線を走行する車両の検出例

4．おわりに

本稿では、これまでに作成し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、画像処理プログラムを拡張し、複数車線を走行する車両について、車両情報を抽出可能とした。今後は、公道試験等を実施して精度検証を行い、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の完成を目指したい。なお本研究は、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た。

参考文献

1)　環境省，「平成 26 年度自動車交通騒音の状況について」，http://www.env.go.jp/air/car/noise/noise_h26/index.html（2015）

2)　宝渦ほか 4 名，「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－検証試験及び通過車両情報抽出機能の追加－」，平成 27 年度交通安全環境研究所フォーラム 2015 講演概要，pp.97-100（2015）

表 1　車両寸法及び車速の導出結果

画像処理プログラムによる結果			真値			誤差（%）		
車速（km/h）	車両高（m）	車両長（m）	車速（km/h）	車両高（m）	車両長（m）	車速	車両高	車両長
29.9	1.72	2.80	30.0	1.88	3.40	0.3	8.5	17.6
47.5	1.72	2.92	50.0	1.88	3.40	5.0	8.5	14.1
63.7	1.76	2.95	70.0	1.88	3.40	9.0	6.4	13.2
28.3	1.71	3.15	30.0	1.88	3.40	5.7	9.0	7.4
48.2	1.74	3.12	50.0	1.88	3.40	3.6	7.4	8.2
69.4	1.72	1.61	70.0	1.88	3.40	0.9	8.5	52.6
30.7	1.69	2.56	30.0	1.88	3.40	2.3	10.1	24.7
51.2	1.64	2.85	50.0	1.88	3.40	2.4	12.8	16.2
41.1	1.69	1.91	70.0	1.88	3.40	41.3	10.1	43.8

⑨ 乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP)における自動車認証審査部の取組

国際調和推進部（自動車認証審査部）　　小林 一樹

1．はじめに

国連における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）[1)]を策定するためのインフォーマルグループ（作業部会）は、2009 年にスタートした。WLTP インフォーマルグループ発足当時の乗用車に関する日本の試験法は、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車など当時最新の技術を搭載した車両に対応する世界で最も進んだ試験法となっていた。そこで、日本の先端的な試験法を世界統一試験法に反映すべく、日本の産官の専門家が同インフォーマルグループに参画し、実際の自動車審査を担当する自動車認証審査官も、主要メンバーとして加わった。

WLTP はその活動の段階に応じてフェーズ 1～3 と分かれており、ベースの試験法を作成するフェーズ 1 は 2015 年に完了した。フェーズ 1 の活動は、主にガソリンおよびディーゼルエンジンを搭載した車両に関する試験法を検討した前半のフェーズ 1a(2009-2013)と、主にハイブリッド車を含む電動車を中心とした試験法を検討したフェーズ 1b(2014-2015)に分けられる。フェーズ 1a 活動は既報であるため、今回はフェーズ 1b での自動車認証審査部の役割、成果について報告する。図 1 には活動スケジュールを示した。

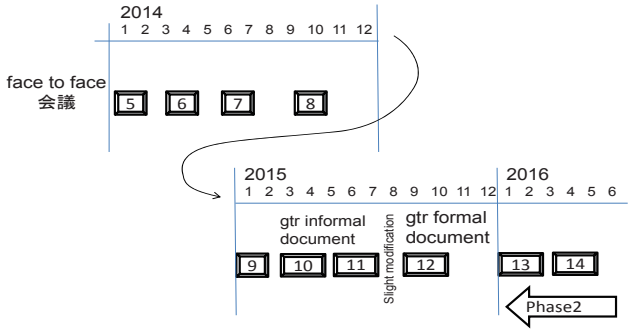


図 1　インフォーマルワーキングスケジュール

なお、WLTP への参画は、「世界的に権威ある審査機関の確立」を目指し、高い技術力に裏打ちされた国際的に発言力を有する審査機関を確立するとした自動車基準認証国際化行動計画（国土交通省、2011 年）[2)]に基づくものである。

2．WLTP フェーズ 1 b 推進体制

日本は欧州とともに、WLTP インフォーマル活動を国連自動車基準調和世界フォーラム（WP29）に共同提案したスポンサー国である。フェーズ 1b の推進体制は議長を欧州（ドイツ連邦）、副議長を日本が担当し、日欧が中心となり活動を推進することとなった。フェーズ 1 b の体制は図 2 に示すとおりである。日本の代表として、自動車認証審査官が副議長を務めた。図 3 には国連（ジュネーブ）における WLTP 会議の会議の様子を示した。

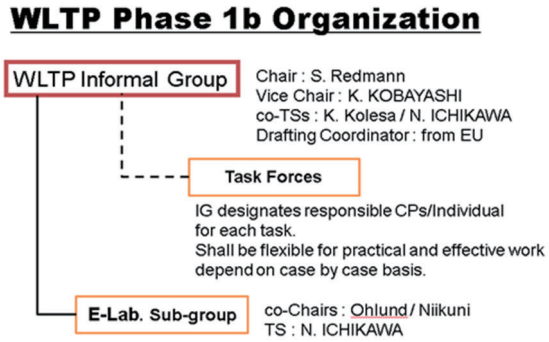


図 2 インフォーマルグループ推進体制

Vice Chair(副議長)：自動車認証審査官が担当

図 3　WLTP インフォーマル会議

3．フェーズ 1 b に反映された新試験法

3．1．走行抵抗測定の条件厳格化

自動車排出ガスおよび燃費の測定に必要となる車両の走行抵抗の取得試験は、一般に屋外の試験路で実施するため、風、温度などの影響を受け、ばら

つきが大きい。そこで、WLTP ではそれら気象条件を厳格化するとともに標準偏差による検定を規定した。ばらつきが大きい場合には試験数を増やし、測定精度を向上することとした。

3．2．ドライビングインデックス（運転指標）

自動車排出ガスおよび燃費の測定をシャシーダイナモ上で行う場合、試験モード走行時に目標走行車速に対する許容幅が図 4 のように定められている。これは、定められた目標車速を最大限に尊重して車速を制御することを基本に、試験者のヒューマンエラー等も考慮して許容幅を設けたものである。しかし、この許容幅を悪用し、加減速を緩やかにすることで燃料消費を少なくすることも出来る。

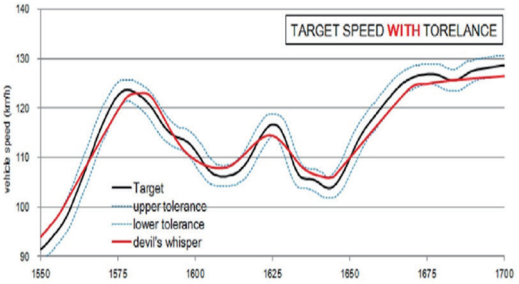


図 4　　燃費向上を狙ったモード走行の例

このような操作は、燃費測定の公平性を欠く行為であることから問題視されている。そこで目標車速と実際の車速との乖離を指標として算出する「ドライビングインデックス」が規定された。この運転指標の計算原理は米国自動車技術会の標準試験法 [3] に示されており、WLTP では、この運転指標を WLTP の車速パターンに適用する形で導入した。これにより燃費不正抑止につながると期待される。

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

図 5　　運転指標の例

3．3．電気自動車短縮試験法

電気自動車の試験について、従来、再現性に乏しく膨大な試験時間がかかっていた一充電走行距離試験法に対し、新たに計算により一充電走行距離を取得する方法を日本から提案した。具体的には、電気自動車を WLTC(Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle)で走行させ、その際の電力量消費率（Wh/km）を測定し、バッテリの放電可能な容量 Wh を電力量消費率で除して、計算で一充電走行距離を求めるという方法である。この短縮試験法は米国や、国内でも JC08 を対象にして TRIAS に採用された実績がある試験法で、試験時間が短縮できる。この試験法では、電力量消費率およびバッテリの使用可能な電力量を正確に計測することが重要である。電力量消費率を適切に測定した後、バッテリの使用可能な電力量を測定する際は一定速の走行で電力を消費し、走行終了に至るまでに放電される電力量を計測すればよい。図 6 には試験走行シーケンスの一例を示した。バッテリの充電状態を示す SOC (State of Charge)を一定速走行により低下させることで試験時間短縮となる。

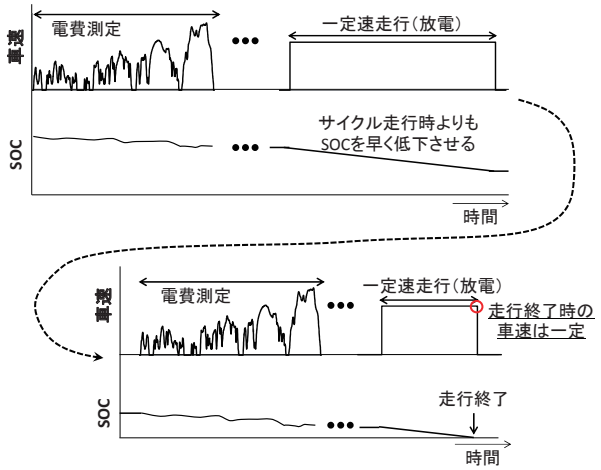


図 6　短縮試験法における試験走行シーケンス例

WLTC 走行を繰り返す必要が無いため、一定速度の状態で走行終了となることについては、試験結果のばらつきを抑える効果が期待できる。

4．まとめ

自動車認証審査官が国際調和試験法の議論に参加し、審査現場での経験を反映することにより、審査現場において基準解釈に齟齬が生じるなどの問題を事前に解消することに繋げた。今回紹介したドライビングインデックス、電気自動車短縮試験法においても、自動車研究部、自工会の協力のもと、実際の審査において検証を行うことにより、効率的かつ公正な試験法を実現した。

参考文献

1) United Nations Economic Commission for Europe, Working Party on Pollution and Energy: http://www.unece.org/trans/main/wp29
2) 自動車基準国際化ハイレベル会議 “自動車基準認証国際化行動計画”
3) SAE international, standards, Electric

⑩ RAMS の概念に基づいた軌道系交通システムの総合的な技術評価について

交通システム研究部　※林田 守正　廣瀬 道雄　大野 寛之　緒方 正剛　竹内 俊裕　工藤 希
理事　水間 毅

1．はじめに

軌道系交通システムの長期運用に関わる評価法として、国際規格 IEC 62278 で信頼性(R)、アベイラビリティ(A)、保全性(M)を安全性(S)と共に評価対象とする RAMS の概念が定義され [1]、国内外で総合的な技術評価の指標と考えられるようになった [2]。これまで第三者の立場で数多くの安全性評価を行ってきた当所でも、信頼性等の観点を含む総合的な評価手法の構築をめざしている。本報告では従来の当所の安全性評価や国際規格における技術評価の考え方を整理した上で、実際の評価事例から安全性と信頼性の観点の相違を抽出する一方、近年普及が進んでいる信頼性解析専用ソフトウェアの活用に関する検討状況について述べる。

2．総合的な技術評価に向けた考え方の整理

2．1．これまでの安全性評価の観点

わが国の鉄道の安全性は世界的にも最高水準といえる。これは様々な安全性技術により信号システム等のフェールセーフを実現している結果といえる [2]。当所の第三者安全性評価においても、国際規格の SIL (Safety Integrity Level) 等の概念を採用しつつ、安全性の担保を最重視する方針を堅持してきた。一方、危険防止のための予防保全（システム停止等）や、安全側の故障については、副次的に扱ってきた点は否めない。

2．2．国際規格の安全性と RAMS に関する考え方

IEC 62278 等の国際規格では「絶対安全は存在しない」という考え方に基づき、安全について、リスク（危害の発生確率と危害の重度の組み合わせ）の概念を経て、「受入れ不可能なリスクが無いこと」と定義している [3]。またリスク受入れの原則として ALARP (As low as Reasonably Practicable：現実的に実現可能な限り低いこと）等の考え方が示されている。このような安全性に関する考え方は、これまで「絶対安全」の考え方に基づいてきたわが国には馴染みにくいが [3]、鉄道技術の国際展開には考慮が不可欠と考えられる。

安全性だけでなくアベイラビリティ等を含めた総合的な評価要素として、RAMS が表 1 のように定義されている [1]。本報告では安全性と、アベイラビリティ形成の主な要素である信頼性の関係に注目して、当所の安全性評価事例から抽出した、安全性と信頼性の観点が相違するケースを 3 章に後述する。

表 1　RAMS の定義 [1]

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。

3．評価事例にみる安全性と信頼性の観点の相違

3．1．無線式列車制御システムの通信異常

近年、鉄道信号は従来の軌道回路による列車検知を用いたシステムに代わり、図 1 に示すような無線式列車制御システム（CBTC：Communication Based Train Control）の開発、普及が進んでいる。

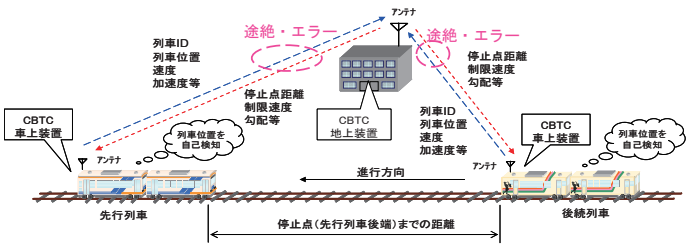


図 1　無線式列車制御装置（CBTC）の概要

CBTC では列車上で検知した位置を地上装置に無線送信することにより在線情報を管理するため、途絶、データエラー等の通信異常が発生した場合は列車位置不明となる。その観点は以下の通りとなる。

①安全性の観点：通信途絶時間、パケットエラー率等が所定の閾値を超えた場合、設計通り確実に非常ブレーキが作動すれば問題無し。

②信頼性の観点：通信途絶、通信エラー等により列車運行が停止する頻度が高すぎれば問題有り。

本評価事例では、通信途絶許容時間の妥当性について検討を重ね、実車試験による検証を行った。

3．2．制御論理部のフェールセーフと冗長性

信号保安装置等の制御論理部はフェールセーフ設計が採用されるが、評価の観点は以下の通りとなる。
①安全性の観点：錯誤動作につながるような危険側故障率が閾値以下（例えばSIL4）であれば問題無し。
②信頼性の観点：安全側/危険側故障に関わらず、誤って停止信号となる頻度が高すぎれば問題有り。

本評価事例では、危険側/安全側故障率を把握すると共に、信頼性や稼働率についても言及する。

4．信頼性解析専用ソフトウェアの活用

4．1．信頼性解析専用ソフトウェアの概要

当所ではこれまでFMEA（Failure Mode and Effects Analysis）やFTA（Fault Tree Analysis）による安全性、信頼性の解析には汎用表計算ソフトウェア等をベースとした手作りのツールを利用する手法（以下「従来手法」という）を用いてきた。一方、近年は既成の信頼性解析専用ソフトウェアを活用する手法（以下「専用ソフト手法」という）も普及している。専用ソフトの一例について個別機能と相互関連を図2に、FMEAの試行例を図3にそれぞれ示す。

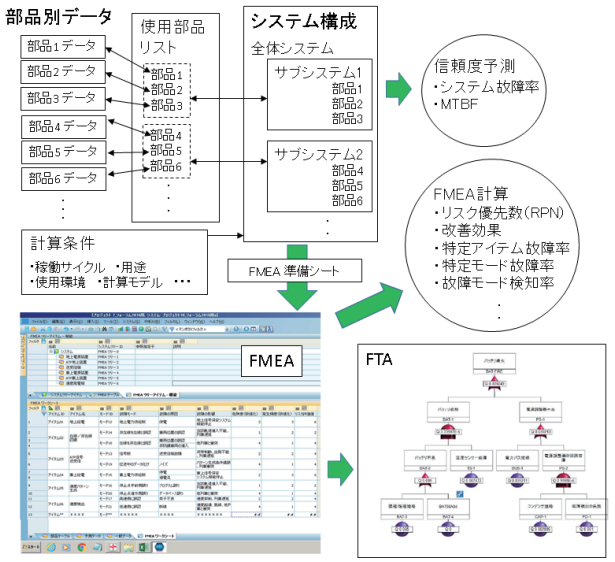


図2　専用ソフトウェアの個別機能と相互関連（例）

4．2．従来手法と専用ソフト手法の比較

専用ソフト手法の、個別部品データからシステム構成を定め、FMEA、FTAに進む過程は従来手法と同様である。従来手法の特徴である、FMEAの結果に基づいてFTAのトップ事象を選定する点は踏襲可能である。専用ソフト手法の特徴としては以下の点が挙げられる。

(1)個別部品データからFMEA、FTA等に至る手順を定型化し、個人差による結果の差異を縮小する。
(2)大量の部品データ等をデータベース化し、検索/入力作業の効率化や洩れの防止を図る。
(3)解析を階層構造（プロジェクト＞システム＞FMEA・FTA）とし、プロジェクト又はシステム単位で計算式、部品データ、使用部品リスト、システム構成等を設定/共有して、システム毎に複数のFMEA、FTAを行う。
(4)同一システム内の部品データ、使用部品リスト、システム構成を相互に関連付けして整合性を保ち、IEC 62278等で重視されるトレーサビリティを確保する。

上記のうち(1)(2)は従来手法の支援機能であると考えるが、(3)(4)は専用ソフト手法特有のアプローチであるといえる。このことを利用して、信頼性、稼働率の定量化を図り、従来の安全性に関する定量化とのバランスを考慮した評価が可能になると考える。また、今後はFTAやマルコフ解析等も含め、従来手法と専用ソフト手法の比較を深度化し、総合的な技術評価の確立に向けて、それらの得失について検討、整理を進めていく予定である。

図3　専用ソフト手法によるFMEAの試行例（一部）

5．まとめ

(1)国際規格の安全性やRAMSの考え方を整理し、評価事例から安全性/信頼性の観点の相違を抽出した。
(2)信頼性解析専用ソフトウェアを活用した信頼性、安全性の評価手法について検討した。

参考文献

1) IEC 62278 First edition 2002-09 英和対訳版
2) 平栗，″信号システムの安全性″，第22回鉄道総研講演会予稿集 p. 43-52（2009）
3) 向殿，″日本と欧米の安全・リスクの基本的な考え方について″，標準化と品質管理，p. 4-8，（2008）

⑪ 営業車両を活用した軌道監視事例と遠隔自動収録に向けた取組

交通システム研究部　※森 裕貴　緒方 正剛　大野 寛之　山口 大助
鉄道認証室　佐藤 安弘
日本大学生産工学部　綱島 均
（株）京三製作所　浅野 晃

1．はじめに

鉄道の優れた特徴である定時性、大量輸送、省エネルギー性等を実現する要素として、鉄車輪が専用軌道で支持案内されていることが挙げられる。一方、軌道で案内されているが故に、軌道異常が発生した場合は、運転士による事故回避は困難であり、脱線・転覆といった大事故へ繋がる可能性がある。そのため、小さな軌道異常を早期に発見し、軌道整備を実施することが安全上非常に重要となる。

近年、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検査頻度は著しく制限される。このような問題に対して、より高頻度に軌道検査を実施するため、営業列車等を活用して軌道状態を監視する取り組みが数多く報告[1]されている。しかしながら、測定センサの設置位置が台車や輪軸等、測定環境が苛烈であるケースが殆どであり、軌道監視システムの導入費用やメンテナンス費用に課題が残されている。

特に、施設の経年劣化が著しく、軌道監視の需要が高まっている地方鉄道では、メンテナンス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。そのため、営業車両を活用した軌道監視が可能となれば、その安全性向上に寄与すると考えられるが、コストや要員の点では、車両に大幅な改修が必要としない、専門の測定員が必要ない等、より簡便な手法であることが望ましい。

本報告では、車両に大幅な改修を必要とせずに車体動揺等を測定する装置[2]を用いて、鉄道事業者の協力のもと、営業車両により軌道整備前後の軌道監視を実施した事例を紹介するとともに、遠隔地からの軌道監視を目的とした、測定の自動収録及び測定データの遠隔転送に関する取り組みについて報告する。

2．営業車両による軌道監視

2．1．軌道状態の評価方法

地方鉄道における軌道保守計画において、軌道整備の優先順位を決定する主な評価指標として軌道変位の測定データが挙げられる。しかし、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、整備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。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。

軌道の状態監視においては、軌道変位量を推定するアプローチが主流であるが、地方鉄道を含めて軌道監視を普及するためには、コストの課題を解決することを念頭に、抜本的にアプローチを変更する必要があると考えられる。筆者らは、軌道整備直後の状態を維持するといった観点から、車体動揺の二乗平均平方根（RMS: Root Mean Square）値による評価等を提案している[2]。いずれの評価も、営業車両による繰り返しの測定で日々の変動を捉え解析することで、保守員による評価に客観性を持たせるとともに、より効率的な軌道整備に有用であることを確認している。

2．2．測定装置の構成

図１に測定装置の構成図を示す。軌道異常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、オプション機能として波状摩耗を検出するための騒音計、軌道異常箇所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）及び micro SD カードに記録される。

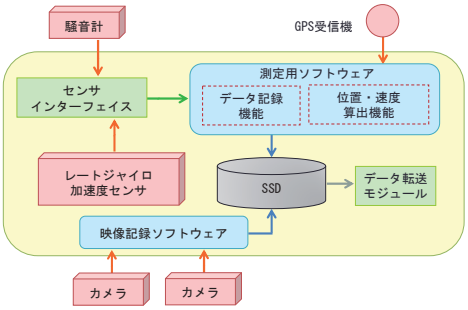


図１　測定装置の構成

３．営業路線における取り組み

３．１．軌道整備前後の軌道監視例

鉄道事業者の協力のもと、軌道整備前後に軌道監視を実施した例について紹介する。本路線では軌道検査が実施された後に、2015 年の 5 月から 6 月にかけて軌道整備が実施されている。軌道検査の結果、軌道変位の 86.3%が高低変位であったことから、車体上下加速度及び車体上下加速度 RMS 値に着目することとした。

軌道整備の実施例が比較的多い駅間について、5 月の軌道整備前後の結果を図２に示す。5 月 8 日の測定において 4500m 地点付近及び 6000m 地点で比較的大きな RMS 値が確認されているが、1 ヶ月後に RMS 値が低減していることから、グラフ上において軌道整備が実施されたと推察できる。実際に軌道整備の有無を鉄道事業者へ確認したところ、4530m～4650m 区間及び 6030m 地点を中心として高低変位の軌道整備を実施していたことが確認された。いずれの区間も軌道整備は RMS 値が 1.6m/s²～1.8m/s² を超えた場合に実施され、軌道整備後は 1.5m/s² 以下に抑えられている。この判断基準によれば、5500m付近等では 2.5m/s² を超える RMS 値が観測されており、軌道整備を実施する必要がある。

6 月の軌道整備前後の結果を図３に示す。著大な RMS 値が確認されていた 5500m 付近も軌道整備（5550m～5580m を中心）が実施され、7 月 30 日時点の測定において RMS 値が 1.0m/s² 以下に抑えられており、軌道整備の効果が確認できた。

鉄道事業者により軌道整備が必要であると判断された区間と RMS 値が著大な区間が一致したことから、車体上下加速度 RMS 値は、軌道整備を実施すべき箇所を特定するための有効な指標となることが示された。

３．２．遠隔自動収録について

前節において、RMS 値と軌道補正の間に一定の相関性が確認されているが、図３の 4600m 地点で再び RMS 値が増加していたり、5200m地点で軌道整備がなされていないにも係わらずRMS値が減少したりといったケースが確認される。現在の計測頻度では RMS 値に変化のあった日付を特定できず、変動した要因を推察することしかできないが、遠隔地において毎日軌道監視が可能となれば、より詳細な軌道診断が可能になると考える。遠隔自動収録を実現するためには、測定員が不要となる自動収録及びデータ転送の機能が必要である。自動収録については、車両からの給電をトリガーとして測定を開始し、軌道監視に必要なデータのみ転送することとした。データ転送については、将来的な普及を鑑み携帯電話回線を通じてサーバへ測定データを送信することとし、データ転送モジュールによる転送実験を開始している。

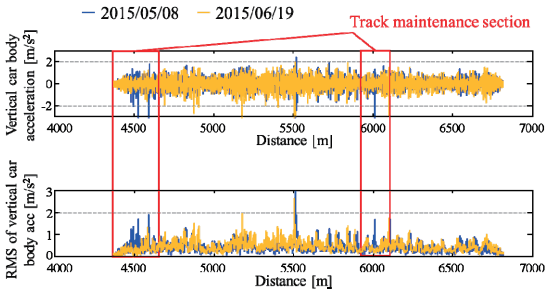


図２　５月の軌道整備前後の測定結果

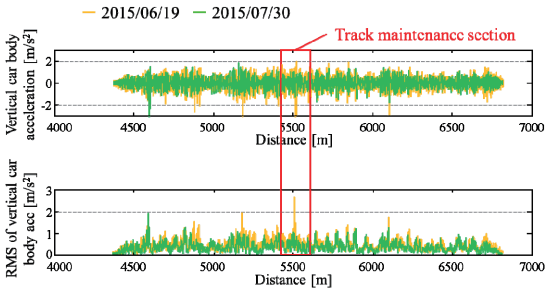


図３　６月の軌道整備前後の測定結果

４．まとめ

本報告では、車体振動加速度を活用した軌道の状態監視手法を提案し、鉄道事業者に協力頂いて軌道補修前後の軌道状態の評価を実施した。その結果、上下変位を補修する必要性について、鉄道事業者の判断と上下加速度 RMS 値の相関が確認され、軌道監視システムの有用性が示された。しかしながら、判断基準が完全に合致していない箇所も見受けられた。今後は、遠隔自動収録により高頻度の測定データを取得することで、軌道診断の精度向上を図る予定である。

参考文献

1) 古川敦，“軌道の検査・監視技術に関する最近の動向”，鉄道総研報告，Vol.28，No.6，pp.1-4，2014
2) 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

⑫ 都市交通シミュレータを用いた導入効果の評価方法

－年齢階層別 AHP による長期的な経路選択の変化－

交通システム研究部　　※工藤 希　　大野 寛之

１．はじめに

日本においては人口減少が進む中、特に地方都市においては、生活に必要な諸機能を集約した効率的で持続可能なコンパクトシティに注目が集まっている。それにあわせて都市内交通も再整備する必要があるが、鉄道や道路などのインフラは整備コストが高いため、その計画は慎重に行う必要がある。

そのため交通研では、階層的意思決定法（AHP：Analytic Hierarchy Process）による経路選択モデルを用いた都市交通シミュレータにより公共交通システムの導入効果の評価を行ってきた。今回、これまで一意であった「利用者からみた交通システムの優先度」を年齢階層別に定義することにより、将来、年齢構成比が変化した場合に選択される交通手段の変化が評価できるように改修したので紹介する。

２．都市内交通の再構築

２．１．中核市での取り組み例

人口 20 万人以上の中核市においては、コンパクトシティ化に伴う公共交通の整備にはバスよりも輸送力のある次世代路面電車（LRT : Light Rail Transit）が期待される。中核市でのコンパクトシティの一例として、富山市では富山港線を富山ライトレールとして再整備し、さらに富山地方鉄道による市内軌道の一部区間を新設して環状線を整備した。さらに、路面電車南北接続事業としてこれらを接続する計画も進んでいる[1)]。また計画段階ではあるが、沖縄本島には複数の鉄軌道が検討されている[2)]。宇都宮市でも、東西基幹交通として LRT を中心に検討を進め[3)]、営業主体となる宇都宮ライトレール株式会社が設立し、事業化に向けた検討が進んでいる。

２．２．導入効果評価の手法

新しいシステムを導入する際には、将来にわたる需要の変化を踏まえた採算性などを検討する必要がある。交通計画の需要予測には四段階推定法がよく用いられているが、同法は交通行動のうち最も重要と思われる要因を抽出するため簡単に計算できる反面、他の要因から発生する交通を考慮することができない[4)]。

交通研では様々な要因の移動を考慮するため、後述する都市交通シミュレータに AHP を組み合わせることで、新しいシステムが導入された際の利用者の経路選択の変更を考慮した評価を行っている。

３．都市交通シミュレータ

３．１．都市交通シミュレータの概要

交通研が開発している都市交通シミュレータは、交差点をノード、道路をリンクとするネットワーク上を、目的地を持った交通システム（自動車、バス又は LRT 等）が一台ずつ信号の現示及び定められた加減速度等で走行し、走行速度からエネルギー消費量や二酸化炭素排出量を算出することが可能なミクロシミュレータである。

３．２．年代別 AHP の付加

AHP は、問題要素を最終目標、評価基準及び選択されるシステムの関係で階層構造を作り、最終目標からみた評価基準の重要さ、各評価基準からみた各システムを評価し、最後にこれらを最終目標からみた各システムの評価に換算するものである。本シミュレータで用いた階層構造を図１に示す。

本システムの特徴として、図１に示す評価基準のうち旅行時間や排ガスなどの項目は、都市交通シミュレータで計算した値を用いた。これにより、渋滞などの実際の交通状態を考慮した経路選択を可能とした[5)]。

今回、図１の青色で示した利用者に関わる部分を年代別に数値化（図２、表１）し、AHP により交通システム毎の選択率を求め、これに設定した年齢構成比を乗じることによって全体の経路選択率を求めた。これにより、将来予測人口のパターンが複数ある場合な

どに容易に検討することが可能となった。

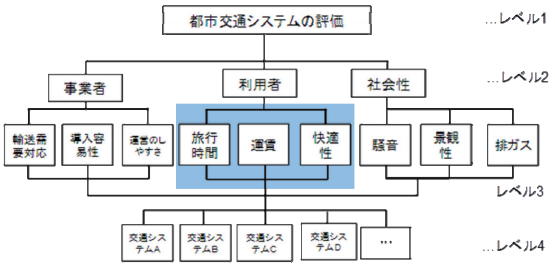


図１　階層構造

図２　年齢構成別利用者の評価基準の重み付けの例
（上：20 歳未満、下：70 歳以上）

表１　利用者の利用しやすさの評価基準例

	ルート 1	ルート 2	ルート 3	ルート 4
20 歳未満	8	4	4	4
70 歳以上	16	1	1	1

注）値が大きいほど優先したい項目。それぞれの年代で最大値を 1.0 として正規化した値を計算に用いる。

３．３．年代別 AHP を実施した例

検討した例として、駅から観光地までの移動をルート１（自動車）、ルート２（バス）、ルート３（鉄道）、ルート４（バスと鉄道乗り継ぎ）の４ルートの移動方法がある場合の経路選択例を示す。図２、表１を含む設定で計算した結果、年代別の経路選択率は図３となった。図３をみると、20 歳未満に比べ、70 歳以上ではルート１を選択する割合が高く、表１でルート１について評価基準に大きな差をつけたことが最終的な経路選択に反映されていることが分かる。また、図４に年齢構成比を乗じて全体の経路選択率を示す。このように、年齢別に評価基準を決めたところから、地域全体の各交通システムの利用人数を算出することが可能となった。なお、20 歳未満には未就学児童を含まない。今回は、自動車、バス、鉄道を用いたルートの例を紹介したが、今後は徒歩及び自転車等の他の手段前述の LRT 等の新しいシステムを含めた場合を検討していきたい。

また、このシステムの課題として、それぞれの評価基準の重要さや評価基準の値を設定しなければならず、その根拠と計算結果の妥当性を常に問われることになる。今後はアンケートなどを活用して、設定値を決める手法について検討していく必要がある。

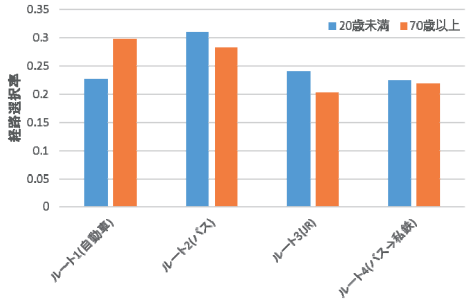


図３　経路選択の例（20 歳未満と 70 歳以上のみ）

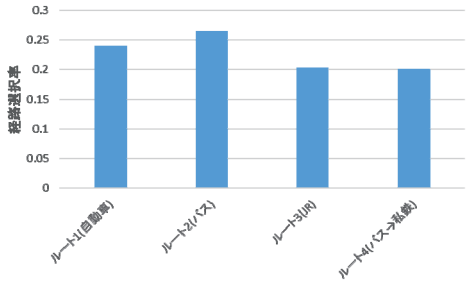


図４　全体の経路選択率の例

４．まとめ

新しい交通システムの導入効果手法として、交通研では AHP による経路選択モデルを含んだ都市交通シミュレータによる評価を実施してきた。今回、AHP に年齢別の設定をすることにより、年齢による趣向の変化や、将来の年齢構成比の変動による評価が容易となった。今後は、AHP で設定する値の根拠や妥当性の示し方について検討をすすめた上で、地域公共交通の再構築に向けて貢献していきたい。

参考文献

1)　富山市，”富山市地域公共交通総合連携計画”，p.45（2013）
2) 沖縄県，”沖縄県総合交通体系基本計画”，pp.54-55（2012）
3) 宇都宮市，”宇都宮市都市交通基本計画”，pp.8-9（2013）
4) 北村，”交通需要予測の課題：次世代手法の構築にむけて”，土木学会論文集，No. 530，IV-30，pp.17-30（1996）
5) 工藤他，”交通流シミュレータを用いた LRT 導入効果の評価について”，交通研フォーラム 2008 講演概要集，pp.149-150（2008）

⑬ 鉄道車両における磁界の人体ばく露に対する磁界低減方策の検討

交通システム研究部　※長谷川 智紀　竹内 俊裕　工藤 希
理事　水間 毅

1．はじめに

電子技術の発展に伴い、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界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、近年ではこれら電気・電子機器を多数搭載されている鉄道システムから放射される電磁界やそ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の機器から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界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 として、鉄道が技術仕様書(Technical Specifications) IEC/TS 62597 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、在来線といった鉄道車両に加え、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、基準値の定め方を鉄道電気施設とは異なるようにすべきとの意見がある。

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の調査結果を踏まえ、客室内における磁界の低減方策に関する検討を行ったので、その結果について報告する。

2．磁界の低減方策の検討対象

国内の主な鉄道車両の磁界発生傾向の調査結果[2]から、直流き電車両において比較的大きな直流磁界が計測される傾向があることが確認された車両妻部及び

フィルタリアクトルのうち、車両妻部を対象とした低減方策の検討結果を以下に示す。

3．磁界の低減方策の検討方法

車両妻部の低減方策を検討するに当たり、図１に示す“コ”の字型のシールドモデルにおいて、シールド形状を変化させてシールド効果の検討を行うこととした。図１は、モデルの断面を示しており、紙面奥行き方向に無限長のモデルが続いているものとしている。シールドモデルでは図１に示すとおり、変数としてシールド長を L1 及び L2、シールド厚を t、シールド折り曲げ角度を θ、シールドと高圧母線の距離を D とした。基本形状は、L1=50mm, L2=200mm, θ=45degree, D=20mm 及び t=3mm とし、折り曲げ角度を変化させ、高圧母線に 1000A の直流電流を流すこととした。このように様々な変数があることから、本検討では市販の電磁界解析ソフトウェアを用い検討を行った。

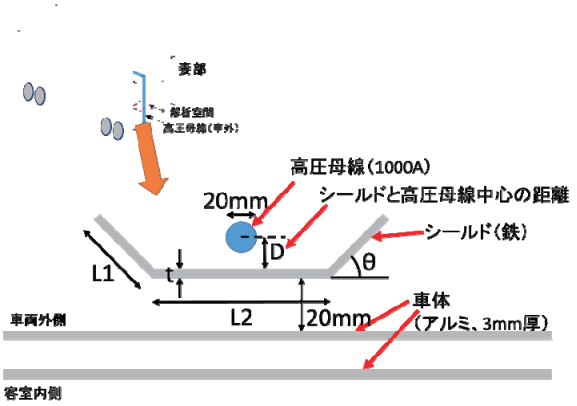


図１　車両妻部における磁界の低減方策検討時の検証モデル

4．磁界の低減方策の検討結果

図１に示すモデルにより検証を行った結果は図２に示す。折り曲げを設けることにより、シールド端部の影響が小さくなり、客室内車体壁面の磁束密度は概ねシールドなしより低くなった。一方、シールド中央付近の客室内車体壁面の磁束密度は、折り曲げ角度にかかわらずほぼ同程度であり、シールドなしに比べ 1/20 程度になった。

以上より、シールドを折り曲げることは効果があることを確認した。

5．まとめ

国内の鉄道車両内の磁界の発生傾向を把握することを目的として、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、発生傾向の把握結果を踏まえ、車両妻部における客室内の直流磁界の低減方策について、電磁界シミュレーションを用いた検討結果を示した。

今後は、測定等によりシミュレーションの妥当性を確認するとともに、シールドの質量増を最小化するための最適なシールド形状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) 長谷川他，“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”，交通安全環境研究所フォーラム 2015, pp. 57-60

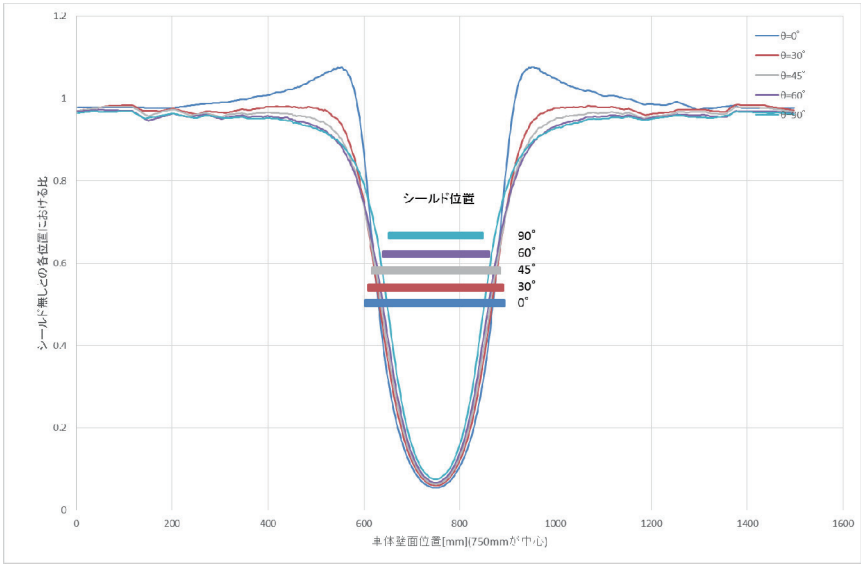


図２　シールド折り曲げ角度別の客室内車体壁面におけるシールド無しとの比

⑭ ロープウェイ搬器の支柱通過時シミュレーション

交通システム研究部　　※佐藤 久雄　　押立 貴志　　森 裕貴　　廣瀬 道雄

1．はじめに

ﾛｰﾌﾟｳｪｲ搬器（9名乗車）が上り方向に走行中、支柱通過時に大きく後方に振れ（状況を図1に示す）、搬器が支柱に衝突する事故が2015年に発生した。その際、乗客1名が負傷した。

突風が事故原因の一つとされ、当所において調査分析等を実施した。これまで、事故後に測定された風向・風速の分析結果、搬器に突風が作用した時の搬器の振れのｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ結果、突風に対する運転管理方法の検討結果等について報告[1]した。

本ﾛｰﾌﾟｳｪｲ施設の搬器には、前後方向の搬器の振れを抑えるために動揺減衰装置が装着されている。現状では、本装置の減衰力は、停留所到着時の搬器の揺れ低減、支柱通過時の搬器の乗り心地向上等を目的として設定されている。一方、支柱通過時における突風に対する安全性向上を目的として設定された場合には、支柱通過時におけるより安全な運行が期待される。

支柱通過時における突風に対する安全性向上の検討に際しては、突風が作用しない場合の支柱通過時における搬器の振れを明確にする必要があることから、本報告では、無風状態の支柱通過時における上記搬器の振れについて、基本的な挙動の検討を行う。

まず、上記搬器が支柱を通過する際の前後方向振れについて、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙの検討を行った結果について述べる。

さらに、支柱通過時において、動揺減衰装置の減衰力が搬器の振れに与える影響について、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝによる検討及び考察を行った結果について述べる。

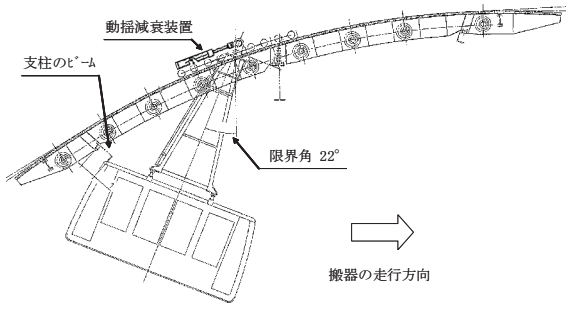


図1　搬器と支柱構造物

図2　実搬器試験状況

2．実搬器試験

当該施設において、事故搬器と反対側の搬器を用いて、走行試験等を実施した。搬器の振れを測定するために、動揺測定装置（ｼﾞｬｲﾛ）を搭載した。その試験状況を図2に示す。

2．1．試験概要

当該支柱通過時における搬器の後方最大振れ角の測定、動揺減衰装置がﾌﾘｰ及び正規の状態における自由振動波形の測定等を実施した。

2．2．最大振れ角測定結果

搬器の当該支柱通過時における後方最大振れ角の測定結果を表1に示す。

2．3．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、搬器の振れの等価振り子長さを算出した。その結果を表2に示す。

2．4．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

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 ・前寄り乗車による初期後方偏り角度(3.0deg)
2	空車	**4.2**	

※ 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、

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 ・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 ・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

により、搬器の振れの減衰比を算出した。その結果を表３に示す。

３．支柱通過時におけるｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙ

搬器が支柱通過時における前後方向の振れについて、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙの検討を行った。

３．１．ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙ

支柱通過時におけるｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙを図3に示す。搬器を1自由度の振り子とし、座標系は、振り子の支点固定座標系とする。支柱通過時における搬器の振れは、振り子の支点が支索軌道上を速度Vで移動する時の挙動として考える。

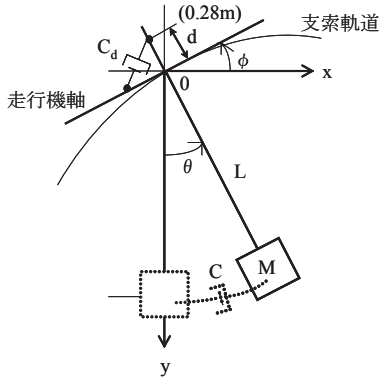


図３　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙ

この時、搬器に働く力は、「求心加速度に見合う慣性力（以後、「慣性力」という）」、重力、及び「軌道勾配変化に伴い減衰装置から搬器に働く力（以後、「減衰装置からの力」という）」である。

ここで、振り子の角変位をθ、軌道勾配をϕ、搬器の質量をM、支点からの等価振り子長さをL、搬器の振れの固有角振動数をω、等価振り子長さ位置での減衰係数をC、搬器の振れの減衰比をς、運転速度をV、支索受けｼｭｰの曲率半径をRとする。この時、支柱通過時の搬器の運動方程式は、次のように求められる。

$$ML\ddot{\theta} = M\frac{V^2}{R}\cos\phi\sin\theta - M\frac{V^2}{R}\sin\phi\cos\theta - Mg\sin\theta - CL\dot{\chi} \quad (1)$$

但し、$\chi = \theta - \phi$、$\omega = \sqrt{g/L}$、$C = 2M\omega\varsigma$　(2)

ここに、(1)式右辺の第1項が「慣性力」のｙ方向成分の寄与分、第2項が「慣性力」のｘ方向成分の寄与分、第3項が重力の寄与分、第4項が「減衰装置からの力」の寄与分である。

３．２．支索軌道の式の検討

搬器が支柱通過時における支索軌道の検討図を図4に示す。進入勾配(deg)を$\phi_1(t=t_1)$、退出勾配(deg)を

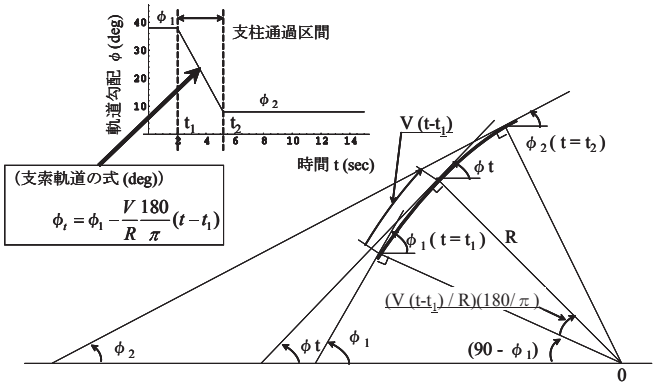


図４　支索軌道図

$\phi_2(t=t_2)$、時間tにおける軌道勾配(deg)をϕ_tとすると、支索軌道の関係式は、次のように求められる。

$$\phi_t = \phi_1 - \frac{V}{R}\frac{180}{\pi}(t - t_1) \quad (3)$$

$$\dot{\phi}_t = -\frac{V}{R}\frac{180}{\pi} \quad (4)$$

$$t_2 = t_1 + (\phi_1 - \phi_2)\frac{R}{V}\frac{\pi}{180} \quad (5)$$

支柱通過時における搬器の振れは、式(3)(4)(5)の条件で、式(1)を解くことにより求められる。本報では、式(1)は非線形の式として、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを実施した。

３．３．ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙの妥当性の検討

ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの妥当性を検証するために、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値と実測値を比較した。ｼﾐｭﾚｰﾚｰｼｮﾝに用いた数値を表4に、上り走行時における比較結果を図5に、下り走行時における比較結果を図６に示す。

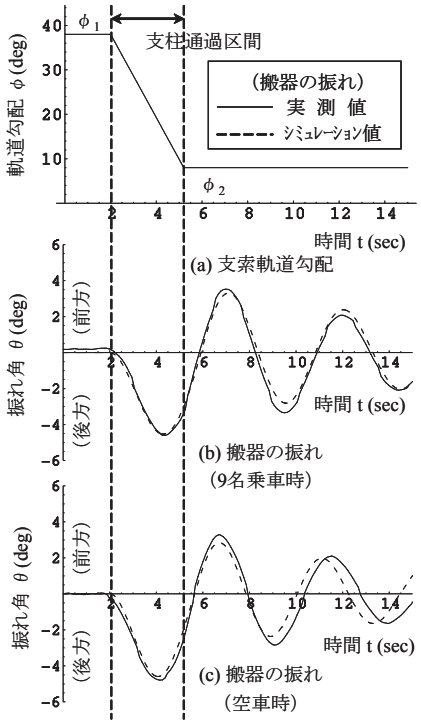


図５　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの妥当性の検討（上り走行時）

表４　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに用いた数値

項目		9名乗車	空車	備考
搬器質量 M (kg)		2665	2125	・ﾒｰｶｰ値
搬器の等価振り子長さ L (m)		6.0	4.8	・自由振動ﾃﾞｰﾀからの測定計算値
減衰比 ζ		0.052	0.058	・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 ・ζ（空車）は、ζ=C/(2mω)より算出
運転速度 V (m/s)		3.6	3.6	・事故時運転速度（本施設搬器の最高運転速度）
支索受けｼｭｰの曲率半径 R (m)		22	22	・設計値（設計図面より）
上り走行時軌道勾配	進入勾配 ϕ_1(deg)	38	38	・推定値（設計図面より）
	退出勾配 ϕ_2(deg)	8	8	・推定値（設計図面より）
下り走行時軌道勾配	進入勾配 ϕ_1(deg)	6	6	・推定値（設計図面より）
	退出勾配 ϕ_2(deg)	-36	-36	・推定値（設計図面より）

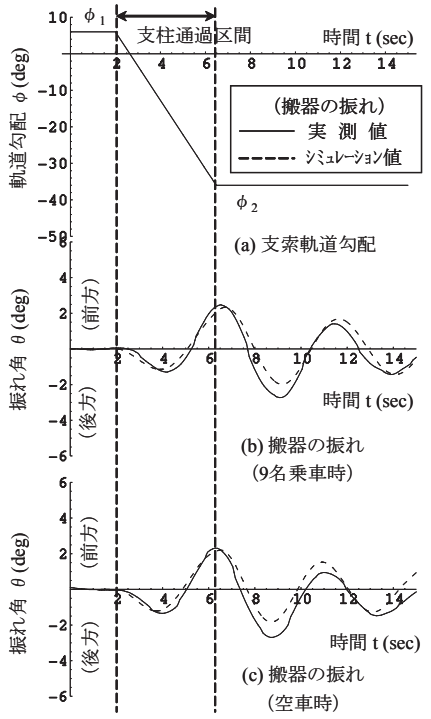


図６　ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝの妥当性の検討（下り走行時）

比較ﾃﾞｰﾀは、$t_1 = 2\text{sec}$ として、支柱進入2秒前からの15秒間とした。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝに際しては、支柱進入前は ϕ_1 一定、支柱退出後も ϕ_2 一定と仮定している。

支柱通過時のｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値は、実測値と比較的良く合っていることがわかる。支柱通過後に少し差が出ているが、これは、支柱通過後の軌道勾配が、実際は変化していることによると考えられる。

４．減衰比の搬器振れへの影響

支柱通過時における「減衰比の搬器振れへの影響」について、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより検討を実施した。

４．１．上り走行時における検討

上り・9名乗車時における「減衰比の搬器振れへの影響」の検討結果を図7に、上り・空車時における結果を図8に示す。また、減衰比と支柱通過時後方最大振れ角の関係を図９に示す。

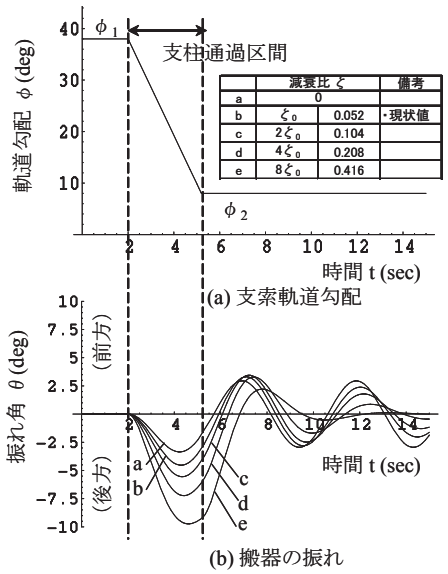


図７ 減衰比の搬器振れへの影響
（上り、９名乗車時）

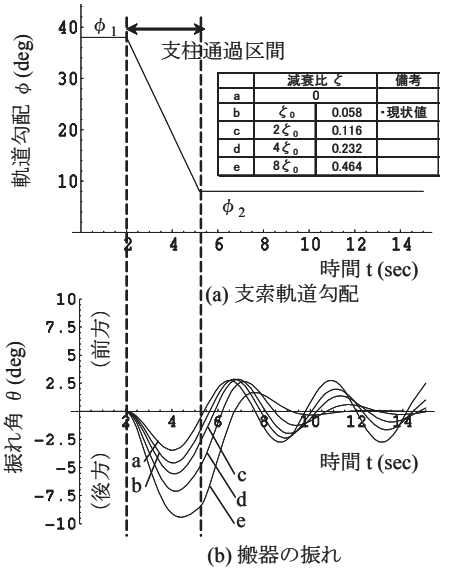


図８ 減衰比の搬器振れへの影響
（上り、空車時）

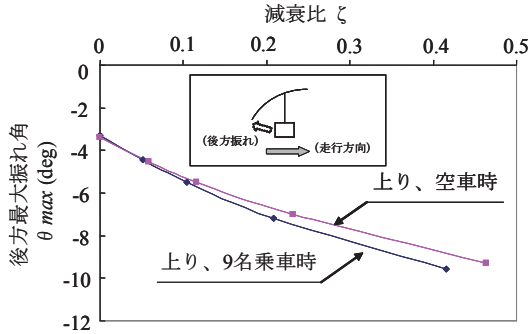


図９ 減衰比 vs 支柱通過時後方最大振れ角
（上り、９名乗車時 & 空車）

上り方向に支柱通過する際には、搬器は後方へ振れるとともに、減衰比の増大とともに、搬器の後方への振れが増大することがわかる。

これは、上り方向に支柱通過する際には、「慣性力」により搬器は後方へ振れ、さらに、減衰比の増大とともに「減衰装置からの力」が増大し、搬器の後方への振れが増大すると考えられる。

４．２．下り走行時における検討

下り・9名乗車時における「減衰比の搬器振れへの影響」の検討結果を図10に、下り・空車時における結果を図11に示す。また、減衰比と支柱通過時前方最大振れ角の関係を図12に示す。

下り方向に支柱通過する際には、支柱との接触角度の余裕の関係から、搬器の前方への振れの検討が重要となる。

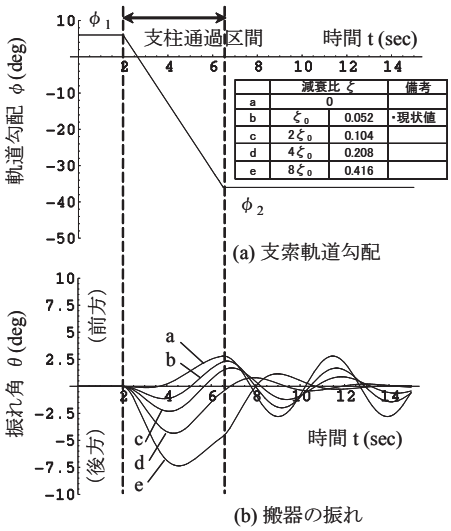


図10 減衰比の搬器振れへの影響
（下り、9名乗車時）

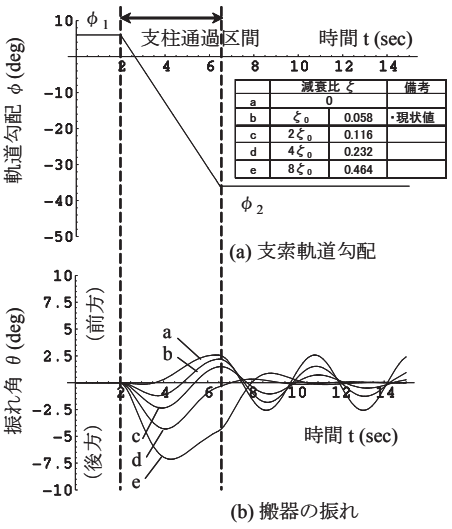


図11 減衰比の搬器振れへの影響
（下り、空車時）

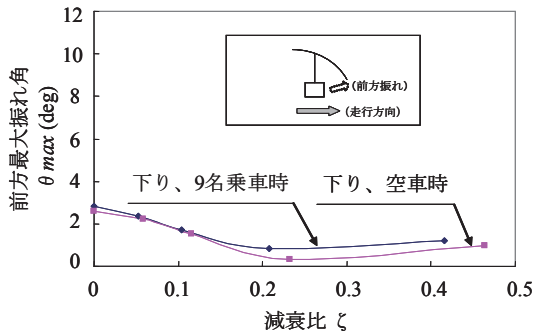


図12 減衰比 vs 支柱通過時前方最大振れ角
（下り、9名乗車時 & 空車）

下り方向に支柱通過する際には、搬器は前方へ振れるとともに、減衰比の増大とともに、搬器の前方への振れが減少することがわかる。

これは、下り方向に支柱通過する際には、「慣性力」により搬器は前方へ振れ、減衰比の増大とともに、「減衰装置からの力」が搬器の後方への振れ方向に働き増大するため、搬器の前方への振れが減少すると考えられる。

５．まとめ

ﾛｰﾌﾟｳｪｲ搬器が支柱を通過する際の搬器の振れについて、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。

（１）搬器が支柱を通過する際の前後方向振れについて、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾓﾃﾞﾙの検討を行った。支柱通過時のｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値は、実測値と良く合っていることを確認した。

（２）上り方向に支柱通過する際には、搬器は後方へ振れるとともに、減衰比の増大とともに、搬器の後方への振れも増大する。

（３）下り方向に支柱通過する際には、搬器は前方へ振れるとともに、減衰比の増大とともに、搬器の前方への振れは減少する。

今後の検討課題としては、「支柱通過時に突風が搬器に作用した場合における、減衰比と搬器振れとの関係の検討」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。

（参考文献）

（１）佐藤ほか３名、平成27年度 交通研ﾌｫｰﾗﾑ2015、2015-11、129-132

（２）塚田ほか４名、資源・素材2001（秋季大会）、2001-9 、303-306

受託・施設利用等について

■ 受託・共同研究について

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

● 実績（受託元）

関係省庁（国土交通省、環境省　等）、関係団体、民間企業　等

年間 50 件以上

■ 施設利用について

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

平成28年度 交通安全環境研究所フォーラム2016　講演概要
平成28年11月24日発行
編集兼発行人　独立行政法人 自動車技術総合機構 交通安全環境研究所
発　行　所　独立行政法人 自動車技術総合機構 交通安全環境研究所
〒182-0012　東京都調布市深大寺東町7-42-27
URL　http://www.ntsel.go.jp/

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

電話　（０４２２）４１－３２０７
FAX　（０４２２）４１－３２３３

○本冊子は、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達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。