平成 26 年度

交通安全環境研究所フォーラム 2014

講　　演　　概　　要

2014. 11. 5, 6

国際連合大学　ウ・タント国際会議場

独立行政法人 交通安全環境研究所

はじめに

わが国における自動車や鉄道を取り巻く技術は、近年ますます発展、高度化しており、安全性の向上や地域環境の改善、地球温暖化対策等に貢献しています。自動車においては、予防安全技術が進化・普及する一方、将来の自動運転化等を見すえた技術開発の加速、ハイブリッド自動車等の先進環境対応自動車の一層の普及などが政府の施策として推進され、メーカー各社の取り組みも積極的に進められているところです。また、鉄道においても、公共交通機関としての安全性・利便性のさらなる向上に向けて新たな技術が開発されております。

当研究所は、これらの状況変化に的確に対応し、安全で環境に優しい交通社会を構築していくため、自動車・鉄道の安全・環境基準策定支援研究、自動車の型式指定のための基準適合審査、リコールに係る技術的な検証等を総合的に実施しております。これらにより得られた新たな技術や知見は、安心して社会に使用され利便性の向上につながっていると確信しておりますし、一方では、自動車基準等に関する国際調和活動や鉄道認証業務を通じて、当該分野におけるわが国の優れた技術の国際展開等にも貢献しているところです。

本年の交通安全環境研究所フォーラムでは、進化する自動車の環境技術、公共交通機関における高度化する技術の貢献、自動車の自動運転実現に向けた新たな取り組みといった観点から当研究所の最近の研究成果等をご紹介するとともに、関連する外部の専門家をお招きしてご講演いただくこととしており、本フォーラムが、わが国におけるこれからの交通社会のあり方や関連産業の発展等に向けての議論に貢献できれば誠に幸いと存じます。また、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26年11月

独立行政法人　交通安全環境研究所

理事長　**飯　村　　修**

Time Table 2014.11.5(Wed)

テーマ：進化する環境技術 ― 持続可能なモビリティの確保へ ―

Time	講演内容
10:00～10:10	**開会の挨拶**　理事長：飯村 修
10:10～11:10	**■招待講演** 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 教授：中村 文彦 **環境にやさしい都市交通の車両とシステムの将来像**
11:10～11:30	環境研究領域長：石井 素 **環境研究領域における研究の概要と方向性**
	【環境研究領域の取り組み】
11:30～11:55	**■講演1**　上席研究員：鈴木 央一 **次期重量車用試験サイクルの概要と排出ガス性能評価法としての特徴** 2016年以降の重量車における認証試験サイクルは、過渡試験サイクル（WHTC）を中心に、定常試験サイクル（WHSC）、オフサイクル試験（OCE）を組み合わせたものとなる。それらの概要と、現行のディーゼルエンジンにおける排出ガス性能がどのように変わるか試験、調査した結果を述べる。
11:55～12:20	**■講演2**　研究員：奥井 伸宜 **ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動** ハイブリッドシステムでは回生等による電力量の入出力があるため、従来車と異なる形で次期重量車排出ガス試験法（WHDC）を適用する必要がある。そのため国連傘下の専門家会議において、ハイブリッド重量車をWHDCにて適切に評価するための検討を行っており、その経過を報告する。
12:20～13:40	**昼休み（ポスターセッション）**
13:40～14:05	**■講演3**　研究員：山口 恭平 **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 ―** 乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP）では、コールドスタート試験のみで評価が行われ、最高速度がJC08モードよりも高いなどの特徴がある。それらの違いは排出ガスや燃費性能にどのような影響をもたらすのか、現行車両にて測定試験を行った結果から傾向などを報告する。
14:05～14:30	**■講演4**　主席研究員：新国 哲也 **乗用車等の世界統一試験法における電動車試験法検討に関して** 国連では乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法が検討されており、この試験法は将来日本の試験法として取り入れられることが決まっている。プラグインハイブリッド車や電気自動車、燃料電池車に関しては、電動車に関する専門家会議において試験法の検討が行われている。発表では同会議による試験法検討の状況について報告する。
14:30～14:55	**■講演5**　上席研究員：坂本 一朗 **ハイブリッド車等の静音性対策に関する世界統一基準のための調査研究** 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こととなっており、現在、GTRのための国連傘下の専門家会議において検討が進められているところである。本報では、専門家会議の活動内容と、日本における検討の概要について述べる。

Time	講演内容
14:55～15:25	**コーヒーブレイク（ポスターセッション）**
	【自動車国際調和室の取り組み】
15:25～15:50	**■講演6** 自動車基準認証国際調和技術支援室長：成澤 和幸 **自動車の環境性能基準に関する国際調和活動について** 自動車の環境性能基準に関し、国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）における当研究所の果たしてきた役割を概説するとともに、乗用車等の排出ガス・燃費試験法等の世界統一基準化について、最近の動向を報告する。また、新規提案されている課題についてその概要を述べる。
	【自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み】
15:50～16:10	**■講演7**　自動車審査部長：佐竹 克也 **自動車審査部における審査の概要について** 自動車の安全機能の充実や効率的なエネルギー利用などの技術の進展を踏まえつつ、高い技術力による厳正な審査と、申請者にとって利便性・合理性の高い審査を両立することが求められている。このような状況を踏まえ、ここでは、昨今の自動車審査部の取り組みについて、トピックスを交えながら概説する。
16:10～16:30	**■講演8**　リコール技術検証部長：山崎 孝章 **リコール技術検証業務の実施状況について** 平成25年度における自動車不具合情報、事故火災情報等の傾向、技術検証に係る状況や技術検証事案の分析結果について概説するとともに、同年度に行った、AT車を対象とした「エンジン停止走行」に繋がるおそれのある事象に関する調査の結果について紹介する。



Time Table 2014.11.6(Thu)

テーマ：安全な交通社会の構築に向けて ― 高度化する技術の貢献 / 自動運転実現に向けた新たな取り組み ―

― 高度化する技術の貢献 ―

10:00～10:15

交通システム研究領域長：廣瀬 道雄

交通システム研究領域における研究の概要と方向性

10:15～11:00

■招待講演1

東京大学生産技術研究所教授：須田 義大

鉄道の進化

― 高度化する技術の貢献 ―

【交通システム研究領域の取り組み】

11:00～11:25

■講演1 主席研究員：竹内 俊裕

車車間通信システムを活用した軌道系公共交通の安全性向上への取り組み

路面電車と自動車の接触・衝突事故の防止を目的として、ITS（高度道路交通システム）の先進技術を活用した路面電車・自動車間の車車間通信システムを構築し、必要な場面で運転士に注意喚起を行う安全運転支援システムの検討を進めてきた。このような通信システムを活用して安全性向上を目指す当研究所の取り組みを紹介する。

11:25～11:50

■講演2 主席研究員：吉永 純

鉄道におけるマルチGNSS測位の利活用技術

衛星測位技術を活用した列車位置検出は、鉄道運行システムの地上装置への依存を軽減し、省コスト、省メンテナンスにつながる可能性がある技術である。準天頂衛星やGPS、GLONASS等によるマルチGNSS測位及びICT技術を活用した列車位置検出精度の現状とその向上方法についての研究について述べる。

11:50～13:00 昼休み（ポスターセッション）

13:00～13:25

■講演3 主席研究員：長谷川 智紀

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への取り組み

近年、経済産業省や国土交通省では、変電所や送電線等の電力設備から放射される磁界に関する技術基準を整備し、磁界に対する社会的関心も高まってきている。当研究所では、IEC/TS 62597に準拠した鉄道の車内磁界の測定方法としてSurface Methodとフラックスゲート方式の組み合わせによる有効な測定方法を検討し、その実用性や妥当性について検証を進めてきたので報告する。

【鉄道認証室の取り組み】

13:25～13:45

■講演4 鉄道認証室長：田代 維史

鉄道の安全関連国際規格の動向と規格適合性認証

海外の鉄道市場では、RAMS規格など安全関連規格に関する認証が重要性を増している。これらの規格の特徴は、製品の技術的安全性の説明と共に、その達成プロセスの妥当性の証拠を求めることであるが課題も多い。現在、規格の改定作業が行われているため、その動向について述べるとともに、当研究所の鉄道認証室における認証活動について紹介する。

― 自動運転実現に向けた新たな取り組み ―

13:45～14:00

自動車安全研究領域長：安藤 憲一

自動車安全研究領域における研究の概要と方向性

14:00～14:45

■招待講演2 東海大学法学部教授：池田 良彦

先進技術の導入と刑事過失責任について

― ヒューマン・エラーを裁く法的視点を中心に ―

【自動車安全研究領域の取り組み】

14:45～15:10

■講演5 主席研究員：関根 道昭

自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題

自動運転は運転負担の軽減や環境改善とともに交通事故の低減を狙いとした新たな技術領域である。その前段階として、安全運転支援に関する議論が先行しており、適正な警報及び制御を行うための国際ガイドラインが発行されている。本講演では、安全運転支援のための適正な警報や制御のあり方に関するこれまでの取り組みを報告するとともに自動運転を視野に入れた現状の課題について概説する。

15:10～15:40 コーヒーブレイク（ポスターセッション）

15:40～16:05

■講演6 主席研究員：児島 亨

レーンキープアシストシステムに関する基準の国際動向

我が国は、現行の国際基準に具体的な規定が無いレーンキープアシストシステム（LKAS）について、必要な技術要件を具体的に規定するように国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）のブレーキ・走行装置分科会（GRRF）に提案した。その後、我が国を含む有志国等で構成される作業部会で審議原案を作成し、GRRFにおいて第1回の審議が行われたところである。本講演では、これまでの検討の経緯や審議原案の概要等について報告する。

16:05～16:30

■講演7 主席研究員：松井 靖浩

歩行者の傷害からみた将来の自動運転技術への期待

衝突速度と歩行者の傷害の程度との関係を把握するために、実際の交通事故状況を基に分析した結果、衝突が回避されなくても衝突直前に速度を低減させることにより歩行者の重傷率・死亡率が大幅に低下することがわかった。本講演では、これら衝突速度と歩行者の傷害の程度に関する分析結果について報告するとともに自動運転により歩行者の傷害の程度をさらに低下させる可能性が期待されるので、その概要を報告する。

16:30～16:55

■講演8 主任研究員：田中 信壽

自動ブレーキの性能及び事故低減効果の評価手法

昨年の交通事故死者数の中で最も多かった歩行者事故を削減する車両側対策として最も期待されているのが歩行者検知型の自動ブレーキ（AEB）である。このAEBを普及させるためには、その性能を適正に評価する試験法と事故低減効果を推計する評価手法が不可欠である。本講演では、現在当研究所で開発を進めているAEBの性能及び事故低減効果の評価手法について、その特徴、注意すべき評価の視点、今後の方向性などについて報告する。

16:55～17:00 **閉会の挨拶** 理事：水間 毅

Poster Title ポスタータイトル

会場 ： 2階レセプションホール

1. コールドスタートに対応した
ハイブリッド重量車燃費評価法に関する検討
※小林 雅行 ・ 奥井 伸宜(環境研究領域)

2. 重量車における燃費消費率試験法のさらなる高度化に向けて(第2報)
－ エンジンの過渡状態が燃料消費率に及ぼす影響 －
※水嶋 教文 ・ 山口 恭平 ・ 新国 哲也 ・ 鈴木 央一(環境研究領域)

3. NOxセンサベースの車載計測器による路上走行時における
重量貨物車のNOx排出量評価
※山本 敏朗 ・ 水嶋 教文 ・ 渡辺 敬太郎(環境研究領域)

4. バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする
水素内燃エンジンハイブリッドトラックの検討
－ 生成ガスの性状と燃焼・排出ガス特性、航続距離について －
※佐藤 由雄 ・ 山本 敏朗 ・ 川野 大輔(環境研究領域)
高木 靖雄(東京都市大学) ・ 堂脇 清志(東京理科大学)

5. プラグインハイブリッド車の燃費改善効果とバッテリー製造・
廃棄を考慮した総合的なCO_2の排出評価の考え方
※小鹿 健一郎 ・ 新国 哲也(環境研究領域)

6. 道路交通騒音の基準超過要因把握のための
新たな騒音源可視化装置の開発
－ プロトタイプシステムの製作 －
※宝渦 寛之 ・ 坂本 一朗 ・ 西 孝弘(環境研究領域)
石濱 正男(神奈川工科大学) ・ 猿渡 克己(小野測器)

7. 多数の列車の運転状況記録装置データの分析による
安全性向上への取り組み
※吉永 純(交通システム研究領域)

8. 海外展開を踏まえた軌道系交通システムの
安全性評価手法に関する検討
※林田 守正 ・ 廣瀬 道雄 ・ 大野 寛之 ・ 森久 至 ・ 森 裕貴(交通システム研究領域)

9. シミュレータを用いた路面電車の運行ダイヤ評価手法に関する検討
※緒方 正剛 ・ 工藤 希 ・ 日岐 喜治 ・ 廣瀬 道雄(交通システム研究領域)

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

11. 画像解析を利用したチェアリフト搬器
セーフティバーモニタリング装置
※竹内 俊裕 ・ 千島 美智男 ・ 森 裕貴(交通システム研究領域)
谷口 哲夫(自動車安全研究領域)

12. ロープウェイ・リフトにおける「脱索」インシデント対策
※佐藤 久雄 ・ 千島 美智男 ・ 日岐 喜治(交通システム研究領域)

13. 索道の安全を確保するための握索装置の試験
※日岐 喜治 ・ 千島 美智男 ・ 森 裕貴 ・ 佐藤 久雄(交通システム研究領域)

14. ブレーキのメンテナンス不足が制動性能に与える影響について
※伊藤 紳一郎 ・ 田代 綾夫 ・ 吉田 宏 ・ 松島 和男(自動車安全研究領域)

15. 小型車両の乗員傷害について
※細川 成之 ・ 田中 良知 ・ 山口 大助 ・ 松井 靖浩(自動車安全研究領域)

16. Hybrid Ⅲダミーの胸たわみ傷害値とシートベルト経路に関する調査
※田中 良知 ・ 細川 成之 ・ 山口 大助 ・ 松井 靖浩(自動車安全研究領域)
澤村 崇(自動車審査部) ・ 水野 幸治(名古屋大学)

17. 急な飛び出し車両に対するドライバの衝突回避操作の実験的検証
※森田 和元 ・ 波多野 忠 ・ 児島 亨 ・ 田中 信壽(自動車安全研究領域)
廣瀬 敏也(芝浦工業大学)

18. 高齢者の単独事故の特徴に関するマクロ分析結果
※森田 和元 ・ 関根 道昭(自動車安全研究領域)

19. 後写鏡代替としてのカメラモニタシステムの最適条件の検討
※青木 義郎 ・ 松村 英樹 ・ 松島 和男 ・ 岡田 竹雄 ・
岩瀬 常利(自動車安全研究領域)

20. 前照灯の自動点灯の効果に関する研究
※塚田 由紀 ・ 松島 和男 ・ 岡田 竹雄 ・ 岩瀬 常利(自動車安全研究領域)

21. 自動車検査のブレーキテスタの最適化に関する研究
※塚田 由紀 ・ 松島 和男 ・ 岡田 竹雄 ・ 岩瀬 常利(自動車安全研究領域)

※マークは、発表者です。

目　次

題　目	所　属	発表者名（講演者）	頁
進化する環境技術　（5日の講演（ウ・タント国際会議場））			
ー持続可能なモビリティの確保へー			
環境研究領域における研究の概要と方向性	環境研究領域長	石井　素	1
■環境研究領域の取り組み			
講演１ 次期重量車用試験サイクルの概要と排出ガス性能評価法としての特徴	上席研究員	鈴木　央一	3
講演２ ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動	研究員	奥井　伸宜	9
講演３ 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 ー車両試験結果からわかる JC08 モードとの違いー	研究員	山口　恭平	15
講演４ 乗用車等の世界統一試験法における電動車試験法検討に関して	主席研究員	新国　哲也	19
講演５ ハイブリッド車等の静音性対策に関する世界統一基準のための調査研究	上席研究員	坂本　一朗	23
■自動車国際調和室の取り組み			
講演６ 自動車の環境性能基準に関する国際調和活動について	自動車基準認証国際調和技術支援室長	成澤　和幸	29
■自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み			
講演７ 自動車審査部における審査の概要について	自動車審査部長	佐竹　克也	33
講演８ リコール技術検証業務の実施状況について	リコール技術検証部長	山﨑　孝章	35

題　目	所　属	発表者名（講演者）	頁
安全な交通社会の構築に向けて	（6日の講演（ウ・タント国際会議場））		
－高度化する技術の貢献－			
交通システム研究領域における研究の概要と方向性	交通システム研究領域長	廣瀬　道雄	39
■交通システム研究領域の取り組み			
講演１ 車車間通信システムを活用した軌道系公共交通の安全性向上への取り組み	主席研究員	竹内　俊裕	41
講演２ 鉄道におけるマルチ GNSS 測位の利活用技術	主席研究員	吉永　純	45
講演３ 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への取り組み	主席研究員	長谷川智紀	49
■鉄道認証室の取り組み			
講演４ 鉄道の安全関連国際規格の動向と規格適合性認証	鉄道認証室長	田代　維史	53
－自動運転実現に向けた新たな取り組み－			
自動車安全研究領域における研究の概要と方向性	自動車安全研究領域長	安藤　憲一	57
■自動車安全研究領域の取り組み			
講演５ 自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題	主席研究員	関根　道昭	59
講演６ レーンキープアシストシステムに関する基準の国際動向	主席研究員	児島　　亨	63
講演７ 歩行者の傷害からみた将来の自動運転技術への期待	主席研究員	松井　靖浩	67
講演８ 自動ブレーキの性能及び事故低減効果の評価手法	主任研究員	田中　信壽	71

題　目	所　属	発表者名 （※主発表者）	頁
		ポスターセッション（2階レセプションホール）	
①コールドスタートに対応したハイブリッド重量車燃費評価法に関する検討	環境研究領域	※小林　雅行 奥井　伸宜	77
②重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第２報） －エンジンの過渡状態が燃料消費率に及ぼす影響－	環境研究領域	※水嶋　教文 山口　恭平 新国　哲也 鈴木　央一	81
③ NOx センサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車の NOx 排出量評価	環境研究領域	※山本　敏朗 水嶋　教文 渡辺敬太郎	85
④バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする水素内燃エンジンハイブリッドトラックの検討 －生成ガスの性状と燃焼・排出ガス特性、航続距離について－	環境研究領域 東京都市大学 東京理科大学	※佐藤　由雄 山本　敏朗 川野　大輔 高木　靖雄 堂脇　清志	89
⑤プラグインハイブリッド車の燃費改善効果とバッテリ製造・廃棄を考慮した総合的な CO_2の排出評価の考え方	環境研究領域	※小鹿健一郎 新国　哲也	91
⑥道路交通騒音の基準超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発 －プロトタイプシステムの製作－	環境研究領域 神奈川工科大学 小野測器	※宝渦　寛之 坂本　一朗 西　　孝弘 石濱　正男 猿渡　克己	93
⑦多数の列車の運転状況記録装置データの分析による安全性向上への取り組み	交通システム研究領域	※吉永　　純	97
⑧海外展開を踏まえた軌道系交通システムの安全性評価手法に関する検討	交通システム研究領域	※林田　守正 廣瀬　道雄 大野　寛之 森久　　至 森　　裕貴	99

題　目	所　属	発表者名（※主発表者）	頁
⑨シミュレータを用いた路面電車の運行ダイヤ評価手法に関する検討	交通システム研究領域	※緒方　正剛 工藤　　希 日岐　喜治 廣瀬　道雄	103
⑩可搬型レール状態診断装置による状態監視の活用例	交通システム研究領域 日本大学 京三製作所	※森　　裕貴 大野　寛之 佐藤　安弘 綱島　　均 浅野　　晃	105
⑪画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置	交通システム研究領域 自動車安全研究領域	※竹内　俊裕 千島美智男 森　　裕貴 谷口　哲夫	107
⑫ロープウェイ・リフトにおける「脱索」インシデント対策	交通システム研究領域	※佐藤　久雄 千島美智男 日岐　喜治	109
⑬索道の安全を確保するための握索装置の試験	交通システム研究領域	※日岐　喜治 千島美智男 森　　裕貴 佐藤　久雄	113
⑭ブレーキのメンテナンス不足が制動性能に与える影響について	自動車安全研究領域	※伊藤紳一郎 田代　綾夫 吉田　　宏 松島　和男	115
⑮小型車両の乗員傷害について	自動車安全研究領域	※細川　成之 田中　良知 山口　大助 松井　靖浩	117
⑯ Hybrid Ⅲダミーの胸たわみ傷害値とシートベルト経路に関する調査	自動車安全研究領域 自動車審査部 名古屋大学	※田中　良知 細川　成之 山口　大助 松井　靖浩 澤村　　崇 水野　幸治	119

題　　目	所　属	発表者名 （※主発表者）	頁
⑰急な飛び出し車両に対するドライバの衝突回避操作の実験的検証	自動車安全研究領域	※森田　和元 波多野　忠 児島　　亨 田中　信壽	121
	芝浦工業大学	廣瀬　敏也	
⑱高齢者の単独事故の特徴に関するマクロ分析結果	自動車安全研究領域	※森田　和元 関根　道昭	123
⑲後写鏡代替としてのカメラモニタシステムの最適条件の検討	自動車安全研究領域	※青木　義郎 松村　英樹 松島　和男 岡田　竹雄 岩瀬　常利	125
⑳前照灯の自動点灯の効果に関する研究	自動車安全研究領域	※塚田　由紀 松島　和男 岡田　竹雄 岩瀬　常利	127
㉑自動車検査のブレーキテスタの最適化に関する研究	自動車安全研究領域	※塚田　由紀 松島　和男 岡田　竹雄 岩瀬　常利	129

口　頭　発　表

環境研究領域における研究の概要と方向性

環境研究領域　　※石井　　素

１．はじめに

自動車は人の移動及び物流の手段として利便性が高く主要な担い手となってきた。これまで、自動車の大気汚染及び地球温暖化物質に対する寄与は大きいとされており、これらの排出ガス、燃費といった環境性能に関しては非常に関心が高く、国の施策として厳しい排出ガス規制と高水準の燃費基準等が設けられてきた。

公平・中立な立場から陸上交通の安全確保、環境保全に関する国の施策を技術的に支援する試験、研究等の実施を主たるミッションとしている交通安全環境研究所の中で、環境研究領域においては上記のような背景のもと、以下のような課題に関する試験、研究に重点的に取り組んでいる。

・自動車の地域環境問題の改善
・地球温暖化の防止、総合環境負荷の低減、省エネルギーの推進、エネルギー多様化への対応
・陸上交通全体を研究対象としている交通研の特長を生かした分野横断的課題

また、上記の課題に共通して、近年当研究所として注力している案件が、自動車の国際基準調和活動への参画である。今回のフォーラムでは、当領域において最近取り組んできたものの中から、次期排出ガス規制で日本に導入が決まっている重量車の排出ガス試験法の他に、ハイブリッド重量車の排出ガス試験法、乗用車の排出ガス・燃費試験法、電動車両系乗用車の試験法、車両接近通報音の要件に関する５件の講演をすることとした。

２．研究の状況

２．１．自動車に関わる地域環境対策分野

自動車の排出ガス規制については、乗用車は 1970 年前後以降、重量車は 1990 年の半ばより順次規制強化されており、既に計測限界レベルとなっている。これまでは、認証時のシャシベースあるいはエンジンベースの試験での環境性能評価が主体であったが、実走行時にどのようになっているかという点に関しても今後重要になると考えて、取り組んでいる。

騒音対策についても同様で、道路沿道の基準超過要因をリアルタイムで把握するためのシステム試作を行っている。

さて、排出ガスに関する課題で、平成 24、25 年度に取り組んだ「尿素 SCR(Selective Catalytic Reduction、選択還元触媒)車の排出ガス性能の実態調査及び後処理装置の性能維持対策の検討」については、使用過程で当該後処理装置を装備した車両の排出ガスが尿素SCRシステムの劣化により規制値より相当高いレベルにある車両が存在するという状況で、国としても問題意識が強く、当研究所としても重点的に取り組んだ課題の一つである。

重量車の排出ガス中の NOx(窒素酸化物)を浄化するために尿素SCRシステムが世界に先駆けて採用されたのは新長期規制からである。この尿素SCR車において、触媒の性能低下による排出ガス性能の悪化が起こっている問題について、平成 24 年 11 月に新聞各紙で取り上げられた。それに関連して実施した調査の結果から、性能低下の原因は、触媒を昇温することで回復可能な SCR 触媒の性能低下と、それによっても回復不可能な前段酸化触媒の劣化の２つの事象が起こっていることがわかってきた。それらも含めて平成 24、25 年度に開催された排出ガス後処理装置検討会の審議を経て、以下のことが明らかになった

(ⅰ)尿素 SCR 車の性能低下を回復するために、メーカーは昇温(400℃以上40分)対策等処置を講ずることとされた。その効果を検証した結果、約３割の NOx 低減がみられ、劣化のかなりを回復することが示された。

(ⅱ)ポスト新長期適合車については、概ね良好な性能であったが、一部の車両で若干の増加傾向にある結果が得られた。

(ⅲ)前段酸化触媒の性能劣化について、燃料やオイル中の硫黄分から触媒上で生成した硫酸が、触媒担体

(アルミナ)と反応して劣化の原因となることが示された。また、この劣化の進行は200～300℃の範囲で顕著であり、高速走行車で多用する温度域と一致した。(ⅳ)後処理装置のレイアウト等が排出ガス試験に及ぼす影響については、WHDC (Worldwide Harmonized Heavy Duty Certification)導入により将来的には問題は解決される方向にある。一方、耐久試験法については、熱劣化に重点が置かれている現状から見直しも考慮すべきだが、その手法を考えるにあたっては不明な点も多く、中長期的に検討を進める必要がある。

これらの最終とりまとめについては、国土交通省及び環境省から公表[(1)]されているが、本件に関しては、引き続き耐久試験法などの検討も必要であるので継続して取り組む予定である。

この他に今後注目されそうな課題として、近年テールパイプからの排出ガス抑止が進んでいる一方で、大気に放出される揮発性有機化合物における自動車からの蒸発ガス（エバポエミッション）の影響度が高まっており、この問題についても取り組んでいる。

２．２．自動車に関わる地球温暖化の防止等

地球温暖化対策は、継続的な取組が求められる。車両単体としては、燃費を向上する努力の継続は必須であるが、その他中長期的なエネルギーセキュリティーの面も見据えながら CO_2 排出量の低減が必要となる。近年自動車分野においても充電制御など電動系の技術投入がめざましいが、今後の普及が望まれる PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle、プラグインハイブリッド車)やEV(Electric Vehicle、電気自動車)については、バッテリの劣化影響度や LCA(Life Cycle Assessment、ライフサイクルアセスメント)評価の調査、研究については継続的に取り組んでいる。また、カーボンニュートラルの特徴を有するバイオマス由来の燃料は、原料及び燃料の種類によっては低環境負荷でありかつ CO_2 排出抑制に有効である。今後ますます複雑化かつ高度化するエンジン及び排出ガス等への影響を最小限に抑制しつつ CO_2 排出抑制効果を把握するために、LCA 評価方法の検討等の調査、研究を行っている。

当研究所で平成 23 年度より取り組んでいる「次世代大型車開発･実用化促進プロジェクト」では、多様な新燃料や新動力の利用により将来のエネルギー問題に対応するため、低環境負荷車両の開発･普及を目指している。大幅な CO_2 排出量低減を目指して試作したプラグインハイブリッドトラックについては、三鷹市におけるゴミ収集事業で実証運行試験を行い、EVバスに関しては、充電時間を短縮するために構築したシステムを搭載した車両が九州地方で営業路線に供されており、実走行時の環境性能評価を予定している。高効率ハイブリッドトラックについては、新しいコンセプトの電動過給機等の開発を進めつつ、さらに高度化するシステムの評価方法を検討している。次世代ディーゼルエンジンのエネルギー収支の把握とリアルワールドにおける環境性能評価、検証方法等の検討も進めている。

２．３．分野横断的課題

HEV(Hybrid Electric Vehicle、ハイブリッド車)等電動系車両においては、自動車の駆動音のレベルが非常に低く、路上で視覚障害者が車両を認識するのが難しいという静音性の課題がある。この対策として「音及び IT 技術を活用した歩車間通信に関する研究」を他の研究領域と協力して行っている。最近急速に普及しているスマートフォンは、様々な機能を有しており、歩車間通信端末として有用である。この研究では、スマートフォンの位置情報を歩行者及びドライバーの双方に伝えるシステムを構築し、実用化のための性能要件及び課題を検討している。スマートフォンの位置情報を基に、歩行者-自動車間の距離を求め、両者の距離に応じて情報提供や警告を出すシステムを試作している。特に視覚障害者向けに、歩行者との距離が近くなると音で車両の接近を知らせる機能も付加するなど、車車間通信の研究と連携して社会実験も実施している。

３．まとめ

自動車の環境性能の飛躍的な向上に伴い、パワートレイン系には様々な技術が投入され、複雑化している。これらを搭載した車両を適切に評価し、自動車ユーザーが優れた技術の恩恵を享受できるよう、国の施策等に貢献する試験、研究等を実施する努力を継続していきたいと考えている。

参考文献

(1)「排出ガス後処理装置検討会」報告書の取りまとめについて,
http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17963
http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000117.html

１．次期重量車用試験サイクルの概要と排出ガス性能評価法としての特徴

環境研究領域　　※鈴木 央一　　山口 恭平　　石井 素
自動車基準認証国際調和技術支援室　　成澤 和幸

１．はじめに

国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）において、圧縮自己着火（ディーゼル）エンジン等を対象とした排出ガス試験法（検討を始めたときのインフォーマルグループの名前から WHDC（World-wide harmonized Heavy Duty Certification）と呼ばれることが多い）およびオフサイクル試験法（OCE：Off-Cycle Emission）が議論され、それぞれ GTR（Global technical regulation）No.4（2006 年 11 月）および No.10（2009 年 6 月）として成立、発効した。なお、GTR No.4 の正式タイトルは非常に長く略称もないことから、本稿では便宜上 WHDC と記載する。

WHDC では、排出ガス評価を行う試験サイクルとして、実走行に近い運転を表現した過渡試験サイクル WHTC（World-wide Harmonized Transient Cycle）、および WHTC と同等のエンジン運転条件で行われる定常試験サイクル WHSC（World-wide Harmonized Steady-state Cycle）が定められた。また、WHDC を補完するものとして、上記試験サイクルの条件以外での排出ガス性能確保を図るものとして、OCE が定められ、欧州では WHDC、OCE とともにユーロ VI より導入が始まっている。

国内では環境省中央環境審議会「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第十次答申、平成 22 年 7 月）[(1)]」（以下、「中環審第十次答申」という）において、2016～18 年にディーゼル重量車を対象とした排出ガス規制強化（以下、「次期規制」という）を行い、その際に評価試験方法についても現在の JE05 モードから WHTC に変更する、としている。この部分を見る限り、WHDC を国内に導入するということではなく、過渡試験サイクルで評価を行っている現状を踏襲しつつ、試験サイクルのみを変更する、という形式をとっている。一方 2011 年に、ある国内メーカーの重量車で特定条件にて排出ガス制御の無効化（デフィートストラテジー）が行われたことがあり問題となったが、定常走行後一定時間が経過した後デフィートストラテジーが作動したことなどを背景に、定常状態での排出ガス低減対策の検証を WHTC と合わせて行うこととしており、その評価方法として WHSC、OCE が導入される。したがって結果的に WHTC、WHSC、OCE の 3 種類の試験サイクルで評価試験を実施することとなり、世界統一基準を取り入れたのと同じこととなった。現在では国土交通省が WHTC 等を踏まえた国内基準の整備を進めている。

本稿では次期規制の重量車用試験サイクルとして採用された WHTC、WHSC、OCE がそれぞれどのようなものであるのか。また、現行の JE05 モードにより排出ガス認証試験が行われた実際のエンジンにおいて、これらの試験サイクルになった場合にどのような性能が発揮されるのか、これまで当研究所において実施した試験調査等の結果などから、国際統一基準導入による影響や変化についてみていくこととする。

２．試験サイクルについて

まず、各試験サイクルについて紹介し、その特徴などについて解説する。

２．１．JE05 モード

国内で初めての過渡試験サイクルとして、平成 17 年（新長期）排出ガス規制から採用され、現在に至っている。最大の特徴は、重量車用試験サイクルでは世界で唯一車速で定められていることである。その車速パターンを図 1 に示す。JE05 モードが議論された 2000 年代初頭は、都市部の環境汚染がとくに深刻化した時期だったこともあり、都市内走行に比重を置いた走行パターンとなっている。エンジン単体で行われる試験時には、当該エンジンが搭載される標準的な車両において、図 1 の車速パターンを走行した時の 1 秒ごとのエンジン回転、トルクを車速変換プログラム[(2)]により算出し、その結果を設定して試験が行われる。

同一カテゴリーの車両に搭載するエンジンであっても、例えば最大トルクが異なるものだと、同じ加速をしても余裕駆動力が異なることから、加速中のシフトアップ時期が変わるなど、実車の走行を良く反映したものとなっている。また、実車を前提とした設定となっているため、任意の車両でシャシダイナモ試験を行う場合にあっても、図１のパターンをシャシダイナモ上で走行すれば概ね対等な評価を行うことができる、という点から、使用過程車の性能検証に用いるにも好適なものである。

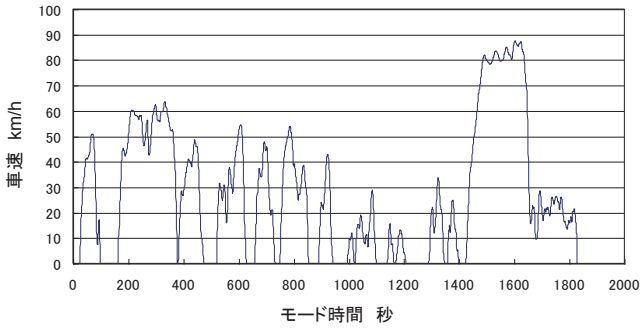


図１　JE05 モード車速パターン

２．２．WHTC

WHTC においても、当然ながら実走行を反映することが意識されており、日米欧の走行実態調査の結果から車速パターン WHVC（World-wide Harmonized Vehicle Cycle）が作成された。ただし、その後の過程は JE05 モードと大きく異なり、WHTC では WHVC を実際に走行していたときの瞬時のエンジン出力を正規化し、それに合わせた瞬時のエンジン回転数、トルクが設定される。WHVC および WHTC の正規化されたエンジン回転数とトルクの履歴を図２に示す。前記の「WHVC を実際に走行していたとき」というのは、ショートトリップ（発進してから停止するまでの一つの山）毎に地域も車両も異なって勾配があるパートも含まれ、実車で WHVC を走行しても再現することはできない。例えば後半の高速走行部分は重量の大きいトレーラートラック等で取得されたデータが採用されたとみられ、定常走行部分に対して加速部分の仕事が非常に大きく、これを他の車両で再現しようとしても事実上不可能である。

図３は、JE05 モードと WHTC におけるサイクル全体の瞬時のエンジン回転数とトルクをプロットしたもので、小型、大型エンジンそれぞれについて示し

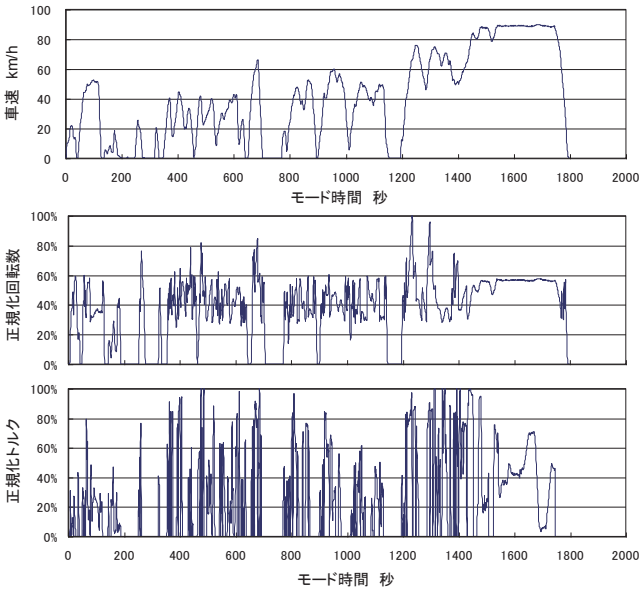


図２　WHTC のベースとなった車速パターン（WHVC）および WHTC におけるエンジン回転数とトルク割合

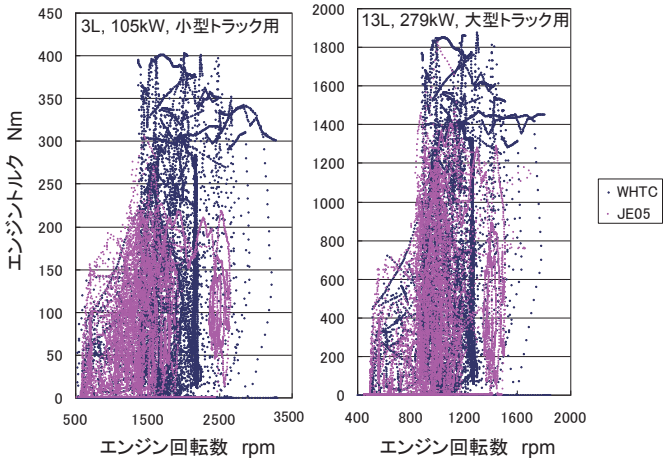


図３　WHTC と JE05 モードにおける瞬時のエンジン回転数とトルクの比較

ている。大型エンジンでは両サイクルで重なる部分が多いが、小型エンジンでは、JE05 モードで多く使用する 1400rpm 以下の領域を WHTC ではほとんど使用しないなど JE05 モードの方が低速、軽負荷側によったプロットとなっている。これは小型トラック等では重量あたりの出力（比出力）が大きく、比較的低い出力レンジで通常の走行が行えるためで、重量車を前提とした WHTC では小型トラック等については実態と合わない面があり、JE05 モードの方がより実走行を反映している。しかし世界的にはエンジンメーカーと車両メーカーが必ずしも一致しておらず、エンジンメーカーは特定の車両を前提とせず開発し、車両メーカーはいくつかの選択肢の中からエンジンを選択す

る、といったケースも多い。このような場合、車両を前提とした評価より、エンジン出力等に合わせた評価の方が現実的であり、WHTC は JE05 モードと重なる時期に検討されたものの、JE05 モードのような車両を意識した斬新な概念は取り入れられていない。

WHTC 導入で規制強化になる点として、コールドスタート（冷機）試験の実施が挙げられる。冷機時には、触媒等後処理装置が活性温度以下であることに加え、燃焼安定性確保等の観点から EGR（排気再循環：Exhaust Gas Recirculation）を停止または減少させるケースがあり、NOx 等排出が増加する傾向にある。それを加味した評価試験の方法として、冷機試験を実施後 10 分の停止状態（ソーク）を挟んで引き続き暖機状態での試験を実施し、両試験結果を荷重平均（コンバインド）した値が総合的な評価値となる。重量車では一度の運行時間が長い傾向にあり、加重平均する際の重み付けとして、冷機：暖機＝1:6 となっており、軽・中量車を対象とした JC08 モードで同 1:3 となっているのに対して冷機試験の重みは小さい。

2．3．WHSC

WHSC は WHTC と等価な定常試験サイクルとして定められたものである。一定状態で運転することは、加減速などで回転数や負荷率が時々刻々変化する過渡運転よりも一般に制御は容易である。しかしながら、さらなる排出ガス低減に向けて精密な制御が求められる場合、仮にずれても瞬時的なものであれば許容範囲でも、その状態が継続すると NOx、PM 等の大幅増加につながる可能性もある。そこで WHTC を補完する定常試験サイクルが必要とされた。

図 4 に、サイズの異なる 2 機種のエンジンにおける WHSC の試験ポイントを、JE05 モード以前に日本の認証試験サイクルとして用いられた D13 モードの試験ポイントとともに示す。プロットの大きさは重み付けに比例している（ただしアイドルは 1/2 とした。WHSC では他にモータリングが 24%の重み係数を持つ。）。それぞれ設定されるエンジン回転数は、D13 モードでは定格回転数に対する割合（ただし 1000rpm 未満となるときは 1000rpm）であるのに対し、WHSC では、全負荷トルクカーブに基づく計算から求められる。そのために、両モードで各試験ポイントの相対位置はエンジン毎に異なる。図を見ると、WHSC のほうが低負荷領域の重みが大きいことがわかる。高負荷領域については、全負荷の評価ポイントが 3 点あるものの、それ以外は高速部分も含めてほとんど測定対象外となっている。その部分に関しては、後述の OCE でカバーされる。

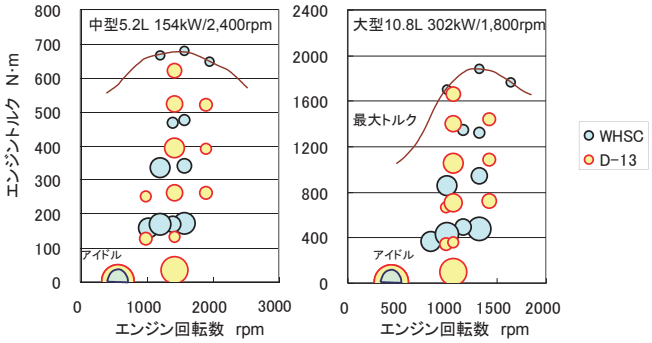


図 4　WHSC と D13 モードの測定運転条件の比較

2．4．OCE

排出ガス等評価用の試験サイクルは実走行を「代表する」ものとして作成されるが、それに含まれないような出現頻度の低い運転であっても、そこで NOx 等の排出が桁違いに増加する場合には総合的な環境負荷を評価する際に考慮することが必要になる。とりわけ排出ガス抑止制御が進むと、制御が働く条件とそうでない条件での排出量差は拡大し、過去にはそれが意図的に行われたケースもあった。そこで以前は必要性の少なかった認証試験サイクルの外の領域における性能維持検証の必要性が出てきた。このような「オフサイクル」評価試験を行うにあたっての考え方としては、一定出力以上などいくつかの条件を満たす連続的な運転において、排出ガス成分がある閾値以下であることを検証することとなっている。その評価対象となるエンジン運転領域は WNTE（World-harmonized Not-To-Exceed）領域として定義されている。

図 5 は、排気量 13L の大型エンジンにおける WNTE 領域を示した例である。図中に黄色でハッチングした部分が該当する。中速以上で、かつ最大トルクの最大値、または最大出力の 30%を超えるトルクとなるエリアが対象となる。GTR では OCE の評価に車両を用いた試験も言及されているが、本エンジンの場合、これを搭載する標準的な車両で 80km/h 一定走行をしても WNTE 領域を使うことにはならず、車両による試験は、エンジン単体試験で認証試験を行っている現行法規上の扱いもさることながら、技術的にも現実的と

はいえない。そこで、試験室内でエンジンベンチによる試験が想定されている。エンジンベンチ試験では図5 に示すように、WNTE 領域を回転数方向、トルク方向それぞれに 3 分割した 9 のエリアに分け（ただし定格回転数が 3000rpm 以上の場合は回転数方向を 4 分割した 12 エリア）、その中から選ばれた 3 エリア内において、任意に定めた回転数とトルクで表される各エリア 5 条件について定常試験を行う。これまでの認証試験では、技術基準等にしたがった手順で実施すれば、理論上常に同じ結果が得られるものとして行われてきているが、OCE では、評価対象エリアやそのエリア内の運転ポイントを選択する行為が含まれるため、試験毎に結果が異なることが想定される。

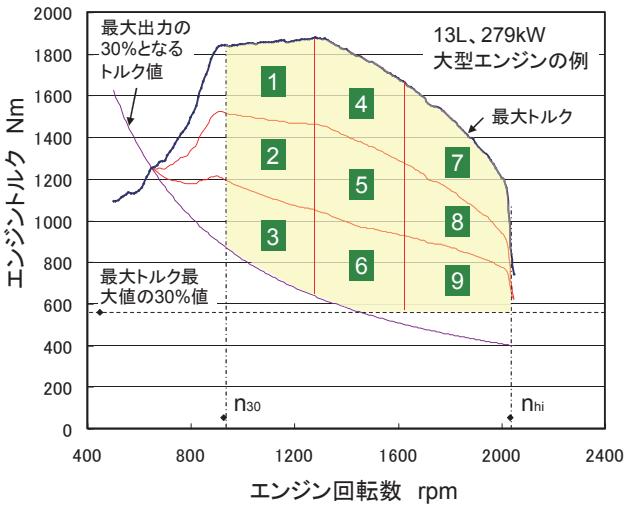


図 5　OCE 試験の対象となる WNTE 領域の例

OCE の規制値は、WHTC の規制値を元に係数を乗ずる等の処理を行ったものが GTR に記載されていて、例えば NOx に関しては、

WNTE 規制値＝WHTC 規制値×1.25＋0.1（g/kWh）

となっており、WHTC 規制値を 0.4 g/kWh とすると 0.6g/kWh となる。暖機後かつ定常試験であるものの、WHTC 規制値から桁違いに高いわけではなく、エリアによっては厳しいものとみられる。

3．現行エンジンにおける各試験サイクルでの性能の比較

試験サイクルの違いについて見てきたが、実際に現行規制に適合したエンジンシステムにおいてそれらの変更がどのような違いをもたらすことになるのか、測定試験を行った結果からみていくこととする。

3．1．比較試験に用いた供試機関

各試験サイクルの評価を行うにあたり、表 1 に示す 3 種のエンジンシステムを使用した。いずれも 2009 年（ポスト新長期）排出ガス規制に適合した重量車用ディーゼルエンジンで、排出ガス後処理装置として、粒子捕集フィルタ（DPF）および尿素水を使用する NOx 選択還元システム（尿素 SCR：Selective Catalytic Reduction）が搭載されている、異なる製造者のものである。排出ガス等の測定は、JE05 モードの試験法に準拠した装置等を用いた。

表 1　供試エンジン諸元

	エンジンA	エンジンB	エンジンC
シリンダ配置	直6	直6	直6
吸気系統	TCI＋EGR	TCI＋EGR	TCI＋EGR
排気量　L	10.8	12.9	7.5
最高出力　kW/rpm	302/1800	279/1800	199/2500
最大トルク　Nm/rpm	1814/1200	1912/1100	785/1100-2400
燃料噴射システム	Unit injector	Common rail	Common rail
後処理装置	尿素SCR+DPF	尿素SCR+DPF	尿素SCR+DPF
適合規制	ポスト新長期	ポスト新長期	ポスト新長期
主な採用車種、クラス	12～14t積載トラック、トラクタの一部	12～14t積載トラック	7～10t積載トラック、70人乗り路線バス

3．2．WHTC、WHSC と JE05 モードとの比較

図 6、7 はエンジン A～C において、WHTC（冷機(C)、暖機 (H)、コンバインド）、JE05 モード、WHSC の各試験サイクルにおける NOx および PM 排出率を比較したものである。いずれも DPF 再生等が行われていない状態のみの値である。

図 6 より、WHTC（H）では、エンジン A、B において JE05 モードよりも NOx 排出が低減する。これは WHTC（H）では JE05 モードよりも高負荷の使用頻度が高いため、触媒出口温度は WHTC（H）で平均して約 40℃も高く、尿素 SCR の NOx 浄化率がより高い状態であったと考えられる。それに対して、エンジン C は A、B よりも下のクラスの車両を対象としたものであり、図 3 で示した例ほどではないが、JE05 モードにおいて低い負荷領域を多く使用する。

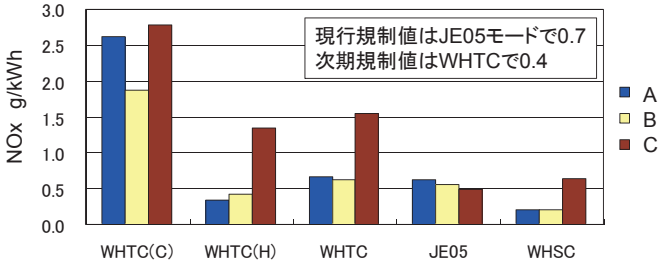


図 6　各エンジン各試験サイクルにおける NOx 排出

そのために尿素 SCR 等の適合がそれに合わせて行われたとみられ、WHTC における後処理温度の上昇が必ずしも NOx 低減につながっていない。

WHTC（C）では NOx 排出が大幅に増加するため、加重平均後の評価としては、JE05 モードを上回る値となった。次期規制における NOx 規制値レベルについて初めて言及した中環審第八次答申（平成 17 年 4 月）では、ポスト新長期規制値（0.7g/kWh）の 1/3 程度としたが、その後 WHTC の導入とともに提言された次期規制値は 0.4g/kWh である。実機試験の結果から WHTC で低い NOx 排出だったエンジン A、B でも JE05 モードから WHTC とすることで 0.1g/kWh 程度増加しており、0.7 の 1/3 程度から 0.4 への変更は、当初の考え方を踏襲した上で技術的にみて概ね妥当な水準といえる。

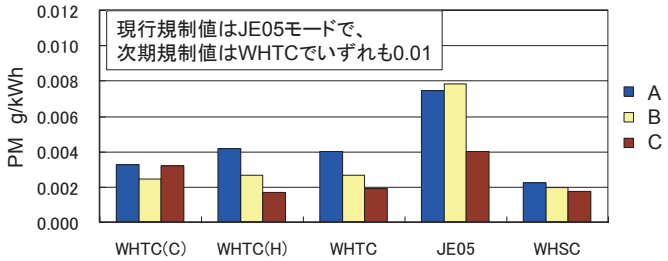


図 7　各エンジン各試験サイクルにおける PM 排出

図 7 の PM 排出について、DPF 再生を含まない結果ではあるが、いずれのエンジンにおいても十分に低い水準にある。ただ、A～C 全てにおいて JE05 モードが最も高い値となった。JE05 モードでは発進加速の頻度が高い割に全体としての仕事量が小さいため、相対的に高くなったと考えられる。なお、PM 排出については次期規制において規制値の変更はない。

WHSC においては、いずれの成分も排出量が少なく、一部のエンジンではすでに次期規制値をクリアするレベルであった。このことから適切な制御が行われれば、適合に向けた課題は少ないとみられる。

これらの結果から、次期規制で求められる排出ガス低減技術の高度化においては、WHTC で NOx 規制値をクリアできることが最重要課題となり、中でも従来の認証試験がカバーしていない冷機状態での対策が大きなウェートを占めると予想される。

3．3．OCE 試験結果

評価対象エリアやそのエリア内の運転ポイントをどこにするかが問題となるが、ここでは図 5 で示される 1～3 の 3 エリアを選択した場合を低速条件（L）、4～6 を選択した場合を中速条件（M）、7～9 を選択した場合を高速条件（H）として、それぞれ比較することとした。各エリア内における 5 箇所の測定点は、エリア中央およびエリア外周部 4 点を選択した。

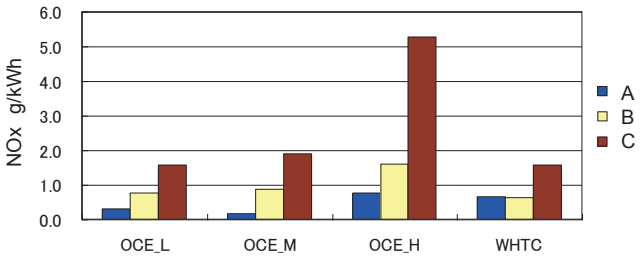


図 8　OCE の各条件における NOx 排出

図 8 に各エンジンにおける測定結果を示す。

いずれも L、M 条件では WLTC の結果をやや上回るかそれ以下の値となり、GTR で定められた WNTE 規制値は妥当な水準といえる。ただし、H 条件ではエンジン B、C で明らかに高い値となった。これは触媒などにおいては排出ガス流量が多いほど NOx 浄化に厳しい方向になることや、JE05 モードで使用頻度が低い領域であることなどが理由として考えられる。この領域は一般的に使用頻度が低いが、車両と変速機等との組み合わせによっては、道路状況等により相当頻度で使用する可能性もあり、そのような場合には、OCE 導入により対策が進み改善効果が期待できる。

4．今後課題となりうる点

2．2 項において、大型トラック等を前提とした場合、従来の JE05 モードと WHTC ではエンジン使用領域が比較的重複している旨を記載した。しかし JE05 モードの試験条件を設定するための「標準的な車両」は JE05 モード作成時の平均的な諸元となっているのに対して、現在では従来に増して低燃費が求められることや技術の進化からそれとは大きく変化している。具体的には高過給化等により、常用回転数でのトルクを高め、それに機械式自動変速機構を持つ多段トランスミッション等を組み合わせて、エンジンをより低速回転数の高負荷領域で使用する傾向にある。このような変化について、JE05 モードであれば標準的な車両の諸元変更で簡便に対応できるが、WHTC ではそうはいかない。

図 9 はエンジン A における WHTC と、当該エンジンを搭載して平成 27 年度燃費基準を達成した車両の設定とした JE05 モードにおける、試験中に使用するエンジン回転数とトルクをプロットしたものである。WHTC において 1370rpm 前後で縦にプロットが集中しているが、これは実走行において最高ギア段で車速 80～90kn/h の高速走行を行い、微妙な加減速や勾配等によりトルクが変化した状況を表している。それに対して、燃費基準達成車における JE05 モードでは、80km/h 以上の高速部分においても 1200rpm 前後で走行しており、WHTC と大きな違いがみられる。

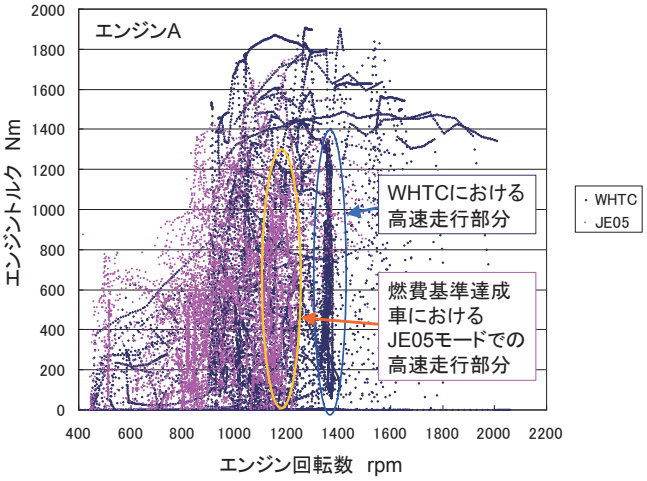


図 9　WHTC と燃費基準達成車両における JE05 モードとのエンジン使用領域の比較（エンジン A）

このような認証試験と実際の運用で想定されるエンジン使用領域の乖離は、デフィートストラテジーの有無によらず、実走行時の排出ガス性能が認証試験時より悪化する結果につながりやすい。既述の OCE はその対策の一部となるが、より有効なものとして、すでに欧米で導入が始まっている車載式排出ガス分析装置（PEMS: Portable Emission Measurement System）を用いた実車両による排出ガス評価が挙げられる。それについては、中環審第十次答申において導入に向けた検討を行っていくべき旨が記載されている。

世界統一試験サイクルの導入により、これまでは同一のエンジンであっても、仕向地ごとに適合作業などを行わねばならなかったのに対して、今後はそれが不要となり、輸出入の障壁がなくなることから、メーカー、ユーザーのコスト削減が期待される。一方で、上記のごとく日本固有の車両設定や走行環境等から離れていく面が出ざるをえない。そこをカバーするには PEMS を用いるなど、評価の複雑化についても「欧米並み」となる可能性がある。その複雑化する傾向を抑えるのではなく、必要なものとして追加しつつ、「一度で済ませる」ことで総合的な工数抑止を図るというのが、重量車用排出ガス試験の世界統一化の本質といえるだろう。

5．ま　と　め

2016 年以降に予定される次期規制で導入される国際統一試験サイクルである WHTC、WHSC、OCE について紹介するとともに、現行エンジンシステムで評価を行った場合の特徴などについて述べた。以下に概要をまとめる。

(1) WHTC は、実走行に基づくが、JE05 モードと異なり、車両で再現することはできない。JE05 モードよりも高負荷領域を多く使用するため、後処理装置を有するエンジンでは、有利に働くことがある。しかし、冷機試験が合わせて行われることから、全体としては厳しくなる傾向で、次期規制適合に向けた技術開発は WHTC における NOx 低減が主となるとみられる。

(2) WHSC は WHTC を補完する定常試験サイクルとして作成された。エンジン試験の結果、NOx、PM 排出量は全てのエンジンで WHTC を下回り、適合は比較的容易と予想される。

(3) OCE は、WHTC、WHSC でカバーしない領域も含めた性能維持を検証するものである。現行エンジンでは高速エンジン回転数で NOx 排出が増加する例がみられたが、OCE 導入により対策が講じられることになる。

(4) 今後の課題として、平成 27 年度燃費基準を達成した車両では、実走行で WHTC とは異なるエンジン運転領域を使用する傾向にあり、対策が必要となる可能性がある。欧米で実施されている車載式排出ガス分析装置（PEMS）を用いた実車両における排出ガス評価などがその候補となる。

参考文献、参照先など

(1) 環境省ホームページ：http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h2205.pdf

(2) 国交省ホームページ：http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2_osenj.htm

２．ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動

環境研究領域　　※奥井 伸宜
自動車安全研究領域　　河合 英直

１．はじめに

ハイブリッド重量車（Heavy Duty Hybrid Vehicles (HD-HV'S)）は、世界的に普及過程にあり、世界統一が図られたハイブリッド重量車の排出ガス試験法が求められている。

そこで、従来重量車の排出ガス試験法として基準調和が図られた WHDC（Worldwide harmonized Heavy Duty Certification）をハイブリッド重量車にも適用させるため、図１に示す国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（WP29）排出ガス・エネルギー専門家会議（UN/ECE/WP29/GRPE）の傘下に HD Hybrids Informal Group Meeting（HDH）が設置された。日本は、欧州連合（EU）とともに共同スポンサーとして国際調和活動を実施しており、WHDC のサイクルにてハイブリッド重量車が適切に評価可能な排出ガス試験法の成立に向け貢献できるよう努めている。

本報にて本活動および本試験法について紹介する。

２．HDH の活動状況

図２に HDH における活動のロードマップを示す。2010 年１月に開催された第 59 回 GRPE で、日本が既に採用している HILS（Hardware-In-the-Loop-Simulator）をベースとしたハイブリッド重量車の排出ガス測定法を世界統一規則(UN GTR) No.4(WHDC)に導入することが提案された。2010 年３月に開催された WP29 にて欧州委員より進め方について紹介が行われ、2010 年６月に議論を HDH で進めることが了承された。その後、日本は国土交通省を中心として、日本自動車工業会、日本自動車研究所、交通安全環境研究所等が協力し、日本としての対応方針を戦略的に議論し提案を行った。現在、本件の技術支援活動は完了しており、2014 年 11 月に WP29 にて「ハイブリッド重量車の排出ガス試験法」が採択される予定となっている。

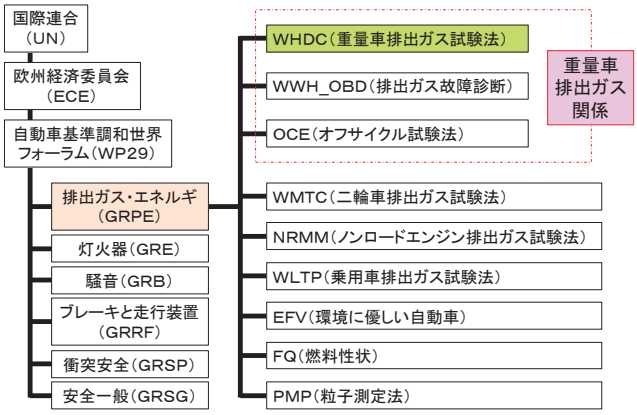


図１　自動車の国際調和活動

３．HILS 試験法（現行ハイブリッド重量車試験法）

HILS 試験法（ハイブリッド重量車の排出ガス・燃費試験法）について簡単に説明する。まず、HILS 試験法の基となった日本における従来重量車の排出ガス・燃費試験法である「シミュレーション法」から述べる。

シミュレーション法による燃費試験は、始めに、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全負荷トルク、摩擦トルク、燃費マップを予め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、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

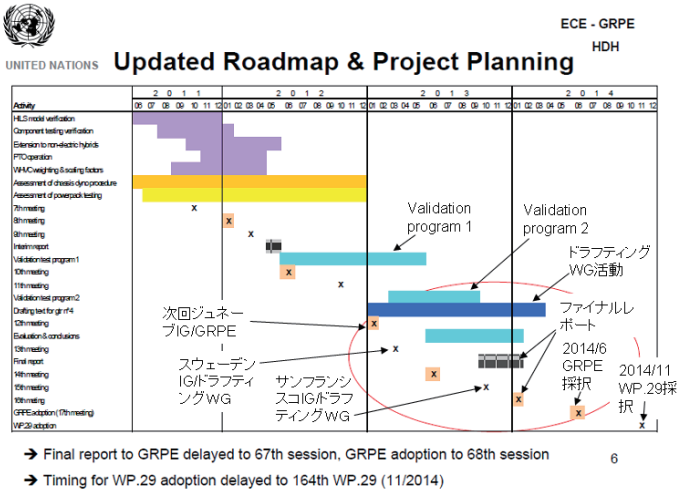


図２　HDH における活動のロードマップ

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[1]」に入力し、机上にてエンジン回転数およびトルクを算出し、実測した燃費マップに照らし合わせ燃費を算出する。排出ガスは、上記プログラムで算出したエンジン回転数およびトルクを用い、エンジン台上試験装置（エンジン単体）にて測定する。

一方、ハイブリッド車は、内燃機関に加え電動機（MG）、蓄電装置およびハイブリッド制御ユニット（HCU）を搭載し、減速時にエネルギ回生を行いつつ、回生したエネルギを用いて加速時等に出力の一部または全部を MG により駆動することで燃費改善を図っている。ハイブリッド重量車の試験には、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、車両走行時の回生エネルギを考慮した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、シミュレーション法と同様である[2]。ここで、HILS プログラムは、モデル化したハイブリ

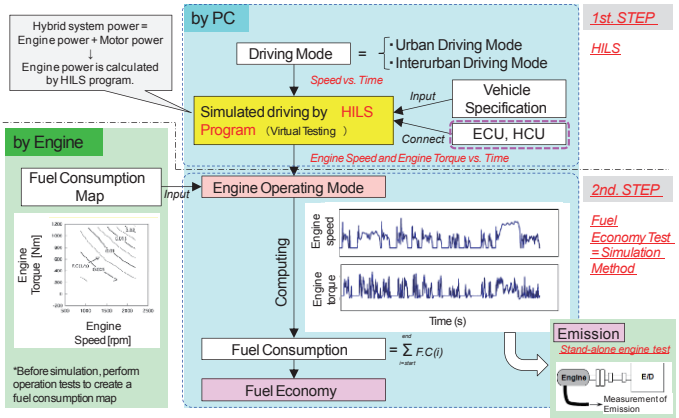


図 3　HILS 試験法の簡易フロー

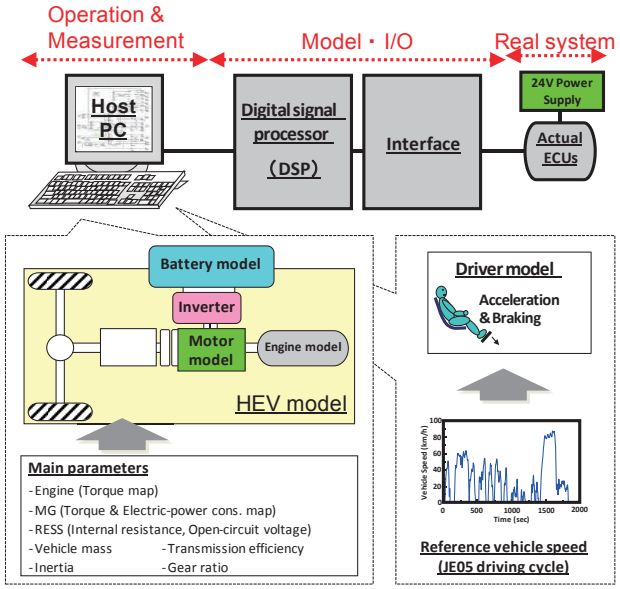


図 4　HILS 装置の概略図

ッドシステム）、運転者および道路状況等から構成され、図 4 に示す HILS 装置に組み込まれている。

4．ハイブリッド重量車に WHDC を適用する際の課題

HILS 装置を用いてハイブリッド重量車の WHDC 試験を行うに当たり、「回生エネルギの扱い」、「コールドスタートの扱い」の二点が主な課題となった。

4．1　回生エネルギの扱い

WHDC は、エンジン単体にて評価を行う WHTC（World Harmonized Transient Cycle）の過渡モードと WHSC（World Harmonized Stationary Cycle）の定常モードから構成される。図 5(a)に示す WHTC は、図 5(b)に示す車両ベースの試験サイクルである WHVC（World Harmonized Vehicle Cycle）走行を前提とし、エンジントルクカーブ毎に「時間-エンジン回転数、エンジントルク」が標準化され、規定されている。通常のエンジン試験では、減速部分は単に無負荷状態の走行となる。しかし、ハイブリッド重量車は、減速時の走行エネルギを回生し加速時に MG がエンジン出力をアシストするため、回生エネルギを考慮することが必要となるが、WHVC および WHTC の負側の負荷パターンについては、共に回生を考慮した定義はない。

このことから、エンジンの運転条件が予め規定されている WHTC でハイブリッド重量車を評価する際には、車両走行時の回生エネルギを考慮し、MG によるアシスト分の仕事を差し引いた形で、エンジンの回転数とトルクを算出する必要がある。

4．2　コールドスタートの扱い

WHDC 試験には、コールドスタートが課せられる。現在、日本の審査で採用している重量車試験法は、コールドスタート試験は考慮していない。

コールドスタート時は、エンジンの燃焼を安定させるため、排気ガス再循環装置を停止または減少させてお

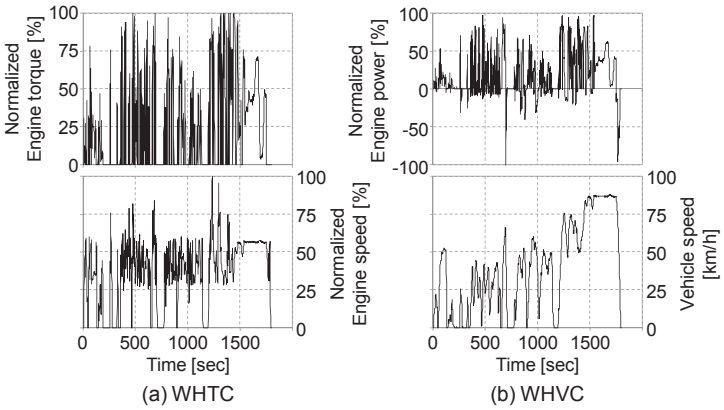


図 5　WHTC と WHVC の比較

り、窒素酸化物（NOx）等の排出ガスが増加する傾向にある。排出ガスの浄化には、排出ガス後処理装置の早期活性化が必要である。ハイブリッド重量車のコールドスタート時における対策の一例として、エンジンで走行する仕事量以上の出力を発生させて MG で強制的にバッテリを充電するといった、通常のホットスタート時とハイブリッド制御が異なる車両も考えられる。

このため、WHDC 試験に対応した HILS でのコールドスタート試験の評価手法を新たに検討する必要がある。

５．ハイブリッド重量車に WHDC を適用するための対応

５．１　回生エネルギの扱い

3 章で示したように、一般にハイブリッド重量車のパワートレインシステムに課せられる正側・負側出力は、車両重量、タイヤ径、ギア比などの車両パラメータを用い、車両速度サイクルを HILS 上で走行させることにより導出可能である。

今回、車両速度サイクルとして、WHVC の速度パターンを採用した。WHVC とは、日米欧、オーストラリアで 65 台の異なる実車両（トラック、バス）が走行した際のデータを収集し、12 個のショートトリップから成る「時間-車速、出力」に整理したモードであり、このモードを基に WHTC が作成されている。しかしながら、基となったデータはショートトリップ毎に車両などが異なるため、ある 1 台の車両で WHVC を走行したとしても WHTC と等価な出力で走行することにならない。そこで、WHVC の採用にあたり、WHTC で規定される正側出力パターンと HILS 上で WHVC を走行させた際の正側出力パターンを整合させる必要がある。このため、WHVC 走行時の正側出力パターンを整合させるには、車両重量、走行抵抗および走行路の勾配による調整が必要である。その調整手順は以下の通りである。

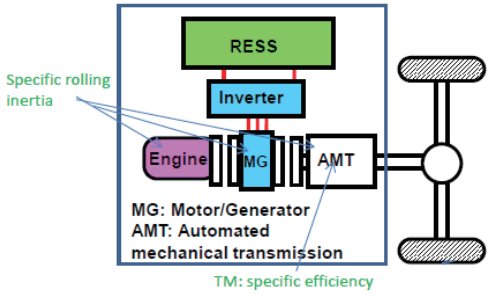


図 6　パワーパターンの定義
〈15th HDH meeting 資料より[3]〉

① 目標とする試験車両の WHTC の正側の負荷パターンは、欧州提案の計算手法を用いて求めた。その計算手法とは、代表的な従来ディーゼル車 15 台のエンジンのフルロードカーブから 15 種類の正規化されたエンジン回転数-トルクを求め、ハイブリッドシステム（エンジン＋電動モータ）の最大出力に対する割合（係数）で正側出力パターンを正規化し、それを平均化し一本化して求めたものである。ここで、従来重量車ではエンジン出力軸上に設定される WHTC の負荷パターンを、ハイブリッド重量車では車両重量、走行抵抗、勾配に置き換えて再現させるため、図 6 青枠内のパワートレインシステムを含む駆動軸上に定義した。

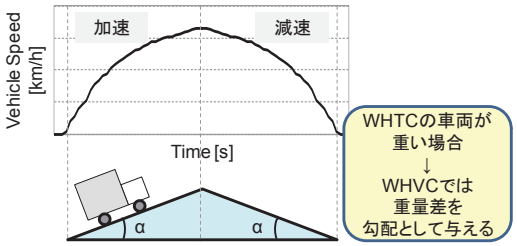


図 7　勾配の扱い（イメージ）

表 1　勾配の定義（1-90 秒の抜粋）
〈ECE-TRANS-WP. 29-GRPE-2014-11e より〉

ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2014/11

(b) WHVC vehicle schedule

P = rated power of hybrid system as specified in Annex 9 or Annex 10, respectively

Road gradient from the previous time step shall be used where a placeholder (…) is set.

Time s	Vehicle speed km/h	Road gradient per cent	Time s	Vehicle speed km/h	Road gradient per cent
1	0	+5.02E-06*p² -6.80E-03*p +0.77	46	0	↑
2	0	↑	47	0	-1,40E-06*p² +2,31E-03*p -0,81
3	0	↑	48	0	+2,22E-06*p² -2,19E-03*p -0,86
4	0	↑	49	0	+5,84E-06*p² -6,68E-03*p -0,91
5	0	↑	50	1,87	↑
6	0	↑	51	4,97	↑
7	2,35	↑	52	8,4	↑
8	5,57	↑	53	9,9	↑
9	8,18	↑	54	11,42	↑
10	9,37	↑	55	15,11	↑
11	9,86	↑	56	18,46	↑
12	10,18	↑	57	20,21	↑
13	10,38	↑	58	22,13	↑
14	10,57	↑	59	24,17	↑
15	10,95	↑	60	25,56	↑
16	11,56	↑	61	26,97	↑
17	12,22	↑	62	28,83	↑
18	12,97	↑	63	31,05	↑
19	14,33	↑	64	33,72	↑
20	16,38	↑	65	36	↑
21	18,4	↑	66	37,91	↑
22	19,86	↑	67	39,65	↑
23	20,85	↑	68	41,23	↑
24	21,52	↑	69	42,85	↑
25	21,89	↑	70	44,1	↑
26	21,98	↑	71	44,37	↑
27	21,91	+1,67E-06*p² -2,27E-03*p +0,26	72	44,3	↑
28	21,68	-1,67E-06*p² +2,27E-03*p -0,26	73	44,17	↑
29	21,21	-5,02E-06*p² +6,80E-03*p -0,77	74	44,13	↑
30	20,44	↑	75	44,17	↑
31	19,24	↑	76	44,51	+3,10E-06*p² -3,89E-03*p -0,76
32	17,57	↑	77	45,16	+3,54E-07*p² -1,10E-03*p -0,61
33	15,53	↑	78	45,64	-2,39E-06*p² +1,69E-03*p -0,47
34	13,77	↑	79	46,16	↑
35	12,95	↑	80	46,99	↑
36	12,95	↑	81	48,19	↑
37	13,35	↑	82	49,32	↑
38	13,75	↑	83	49,7	↑
39	13,82	↑	84	49,5	↑
40	13,41	↑	85	48,98	↑
41	12,26	↑	86	48,65	↑
42	9,82	↑	87	48,65	↑
43	5,96	↑	88	48,87	↑
44	2,2	↑	89	48,97	↑
45	0	↑	90	48,96	↑

② HILS プログラムに入力する車両重量や走行抵抗は、日本で導入している標準車両諸元を使用した。試験車両が WHVC を HILS 装置にて走行する際、試験車両の正側仕事を①で求めた WHTC の負荷パターンに合うよう、図 7 に示すように速度パターンの各ショートトリップに勾配を付与した。この際、負側の負荷パターン（減速エネルギ）は、正側で設定した上り勾配を反転させた勾配を各ショートトリップの減速時に下り勾配として与えることで、回生エネルギを扱えるようにした。

以上の①②対応により、ハイブリッド重量車の正側の積算仕事量が、WHTC とほぼ同等になることを確認している。複雑な本手法を UN GTR に採用するに当たり、表 1 に示す通り、各ショートトリップのハイブリッドシステム出力と勾配との関係を多項式に置き換えることで上記の計算過程を簡略化し、実用化を図った。

5．2　コールドスタートの扱い

欧州からは、車両構成要素モデルをすべて詳細温度モデルで記述する案が提案された。しかし、温度特性は車両毎に異なるため、すべての車両に適応可能な詳細温度モデルを展開することは極めて困難である。

一方、日本は、現実的に審査に使用可能な手法として、シンプルで実用的な試験方法である「予測温度方式」を提案した。この方式は、図 8 に示す通り、審査に用いる実ハイブリッド重量車走行時の排出ガス後処理装置等の時系列毎の温度プロファイルをトラックメーカ等が予め取得しておき、そのプロファイルを HILS プログラムに入力できるよう改良を施すことで、HILS 装置でコールドスタート時のエンジン運転条件を抽出する手法である。しかし、この予測温度方式を採用し排出ガス評価を行った事例はなく、実ハイブリッドシステムによる本評価手法の技術的妥当性を検証する必要がある。

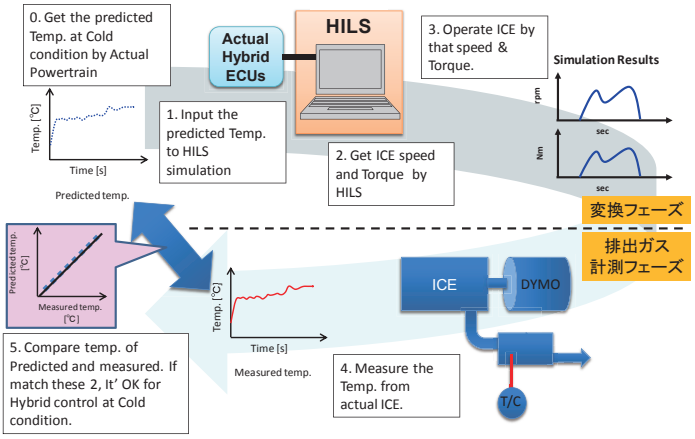


図 8　HILS 装置によるコールドスタートの評価方法

そこで、交通安全環境研究所が保有する「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム」を活用し、上記の検証を行った。

（1）ハイブリッド台上試験システムの概要

実車両を試作することなく、種々の制御手法を有するハイブリッド車両の実走行状態を再現可能な装置を考案し、新たに構築を行った。図 9 に示す「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム（明電舎：EVREVO）」は、ハイブリッドシステムの主要な要素であるエンジン、MG、インバータは実際の装置を用い、それ以外のバッテリ、動力分割伝達機構や協調ブレーキ等の要素は、操作室内の計算機（MATLAB/simulink）上にモデル化し、リアルタイムシミュレーションと組み合せることで仮想のハイブリッド車両を実験室内に再現することができる。ここで、実車両のハイブリッドシステムは、車両メーカより内容が開示されることのない実ハイブリッドコントロールユニットの制御ロジック等が重要な役割を果たしている。本試験シ

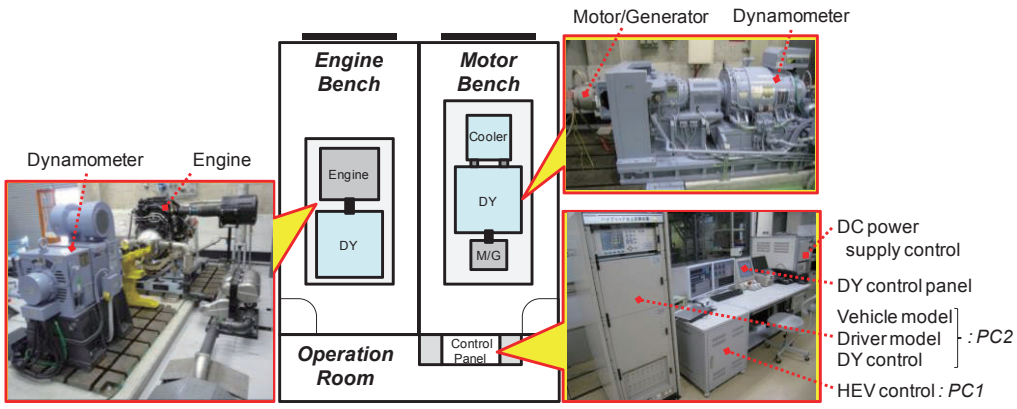


図 9　ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム

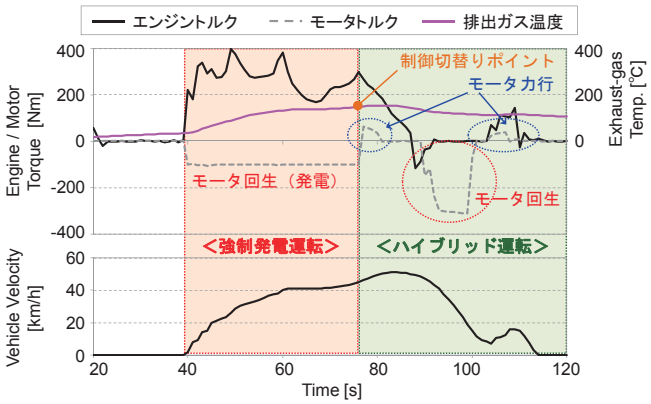


図 10　本検証に用いたハイブリッド制御による
エンジンおよび電動モータの稼働状態の一例

表 2　仮想ハイブリッド車両の諸元

Vehicle Weight		3,790 kg
Maximum Payload		4,050 kg
Height × Width		2465 × 2230 mm
Tire (radius)		403 mm
Gear Ratio	1st	6.574
	2nd	3.831
	3rd	2.274
	4th	1.385
	5th	1.000
	6th	0.729
Final-gear Ratio		4.333
Emission Devices		EGR, DPF, DOC,SCR

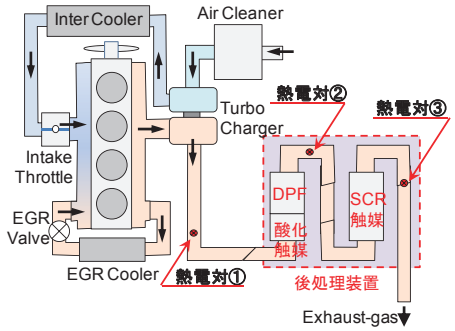


図 11　排出ガス温度の計測個所

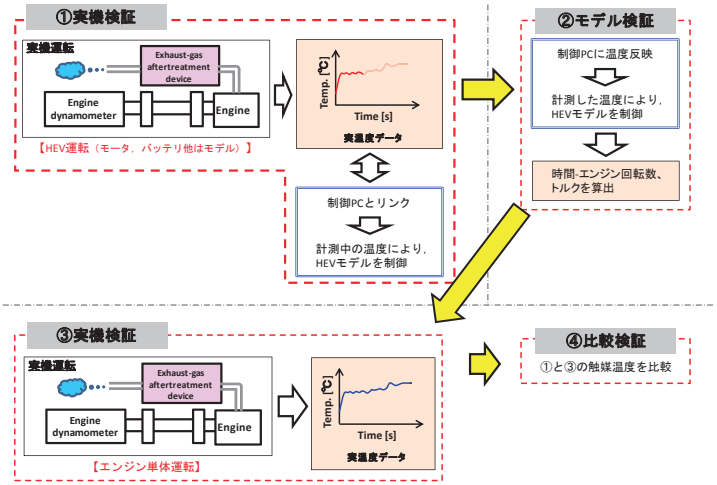


図 12 ハイブリッド台上試験システムによる検証作業

ステムにおいては、この箇所をモデルに置き換えることで様々な制御条件を任意に組み合わせることを可能としており、ハイブリッド車両の試験法検討を多角的に行うことができる。その他のシミュレーションモデルは、HILS 試験法で用いられる同様のモデルを採用している。

（2）検証作業

コールドスタート時に NOx 等の排出ガスを早期に低減させるため、コールドスタート用のハイブリッド制御を台上ハイブリッド試験システム上に構築した。制御結果を図 10 に示す。排出ガス後処理装置が機能する温度（本条件では、排出ガス温度が 180℃に到達）まで MG にて強制発電を行い（図中の 40～75 秒の領域）、エンジンに走行負荷と一定の発電負荷を加える制御である。この制御を有する仮想ハイブリッドトラック（試験時車両重量：5,870kg）の諸元を表 2 に示す。本実験の排出ガス温度計測個所は、図 11 に示す通り、ターボチャージャー出口直下（熱電対①）、後処理装置内の DPF と SCR 触媒の間（熱電対②）、SCR 触媒出口（熱電対③）とした。

検証作業は、図 12 に示す①～④の手順にて、仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）後の温度と HILS 模擬走行（エンジン単体運転）後の温度の相関性を調べた。

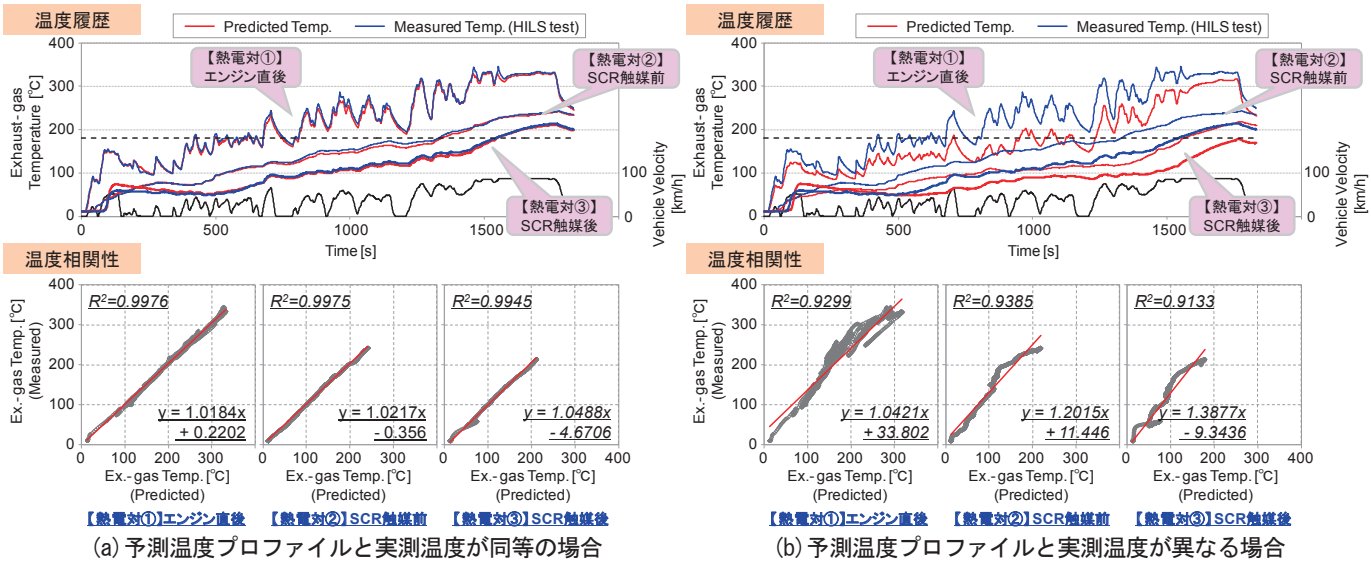
① 仮想ハイブリッド車両走行試験でハイブリッド制御の切替情報となるコンポーネント（本実験では、排出ガス後処理装置の熱電対②）の温度を実測し、予測温度パターンとする。

② HILS プログラムのインターフェースモデルに①で得た予測温度パターンを入力し、HILS 装置にて排出ガス試験サイクルである「時間-エンジン回転数、トルク」を算出する。

③ ②で算出した排出ガス試験サイクルを用いて実エンジンを単体で稼働させ、予測温度パターンで測定した同等の個所における実温度を測定する。

④ ①で抽出した温度パターンと③で実測した温度の相関性を確認する。

以上の手順により得られた検証結果を図13に示す。図 13（a）上段に示す通り、赤線の仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）の温度履歴と青線の HILS 模擬走



(a) 予測温度プロファイルと実測温度が同等の場合　　(b) 予測温度プロファイルと実測温度が異なる場合

図 13　HILS 装置によるコールドスタートの評価検証結果の一例

行（エンジン単体）時の熱電対①～③の温度履歴は、ほぼ同等の値および傾向を示した。次に、図 13（a）下段の温度相関性を確認する。図縦軸は HILS 模擬走行（エンジン単体）から得られた各測定場所における排出ガス温度、横軸は仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）から得られた排出ガス温度を示す。本実験条件における温度は、傾きがほぼ 1 の比例関係にあることに加え、R2 は 0.9955～0.9973 と非常に高い相関関係を示した。

ここで、予測温度プロファイルと実測温度が異なった場合の温度相関性を調べ、本評価手法における評価条件をさらに検討した。例えば、図 13（b）上段に示す通り、赤線の仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）時の温度履歴と青線の HILS 模擬走行（エンジン単体）時の温度履歴は、すべての計測個所において温度履歴が大きく異なる状態となっている。これは、仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）は、燃費を重視するために「発電なし」で設定したために走行中の温度上昇が遅れたが、HILS 模擬走行（エンジン単体）は、いち早く排出ガス後処理装置を機能させ排出ガスレベルを下げるために「発電あり」にて運転させており、温度上昇が早まったからである。この条件の下、図 13（b）下段の温度相関性を確認する。図縦軸は HILS 模擬走行（エンジン単体）から得られた各測定場所における排出ガス温度、横軸は仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）から得られた排出ガス温度を示す。本実験条件おいては、SCR 触媒前後の熱電対②、③では傾きが 1.2 を超えるほか、R2 は 0.9133～0.9385 と低下した。ただし 0.9 を超える R2 は、設定条件の違いと比較して必ずしも低いものではなく、相関係数のみで確認すると、審査結果が不正確となる恐れがあることが分かった。

以上、上記を含めた検証結果を数例行うことで、本評価手法の技術的妥当性を明らかとした。これら結果を HDH に提出し議論され、日本が提案するハイブリッド重量車のコールドスタート対応手法が、UN GTR に採用される運びとなった。

6．まとめ

ハイブリッド重量車は、世界的に普及過程にあり、世界統一が図られたハイブリッド重量車の排出ガス試験法が求められている。本稿では、ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動について、その概要および事例を紹介した。

今後も、ハイブリッド重量車に関する新たな課題に対応する国際調和活動やハイブリッド重量車についての WHDC の国内対応試験法の整備等の必要がある。交通安全環境研究所としても、これらに貢献できるよう取り組んで行きたいと考えている。

参　考　文　献

(1) 国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2_osenj.htm>
(2) 黒川陽弘、森田賢治：HILS 認証試験法の剛体系 HEV モデルの開発、自動車研究、Vol.33、No.7、pp.25-28 (2011)
(3) UNECE、<https://www2.unece.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=2523163>

３．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－

環境研究領域　　※山口 恭平　　鈴木 央一

１．はじめに

乗用車をはじめとする軽・中量車を対象にした排出ガスおよび燃費の認証試験方法は現在、国や地域ごとに設定されており、メーカが各国で自動車の認証を取得するためにはそれぞれの方法で試験をする必要がある。それがメーカの大きな負担となっている背景などから、試験サイクルや試験方法の国際統一化を目指し、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）において、議論が行われている。乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（以下、「WLTP（Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure）」という）については、2008年より策定に向けた活動が開始され、2014年3月に開催された第162回WP29において、WLTPの世界統一技術規則（GTR No.15）[1)]が採択された。現在、日本国内においてWLTP導入に向けた議論が進められているが、現行の道路運送車両の保安基準の細目を定める告示（平成14年国土交通省告示第619号）別添42 軽・中量車排出ガスの測定方法（以下、「現行試験法」という）により認証試験が行われた車両、つまり、現行試験法を考慮して適合された車両を対象に、WLTPを評価した際の排出ガスおよび燃費性能が明確ではない。そこで、本報では車両諸元や採用技術の異なる様々な車両を対象に測定した結果から、WLTPにおける排出ガスおよび燃費性能の傾向や現行試験法による測定結果との違いについて報告する。

２．WLTPと現行試験法の主な違い

排出ガスおよび燃費性能の評価に先立ち、本章ではWLTPと現行試験法の違いについて述べる。ここでは、主な違いとして、

・試験サイクル
・試験自動車重量
・冷機状態の影響度

を取り上げる。これらは試験結果に大きく影響しうる要素である。そこで、それぞれの詳細を以下の節で説明する。

２．１．試験サイクル

WLTPにおける試験サイクルはWLTC（Worldwide Light-duty Test Cycles）と呼ばれ、車両の最高出力と空車重量の比であるP_{mr}（Power Mass ratio）と最高速度に応じ、適用されるサイクルが異なる。車両クラスに応じた適用サイクルの一覧を図1に示す。現在、日本で認証を受けている軽・中量車では、ごく一部の軽自動車がClass 2に該当するほかは、ほぼ全ての車両がClass 3に分類される。そのClass 3においても、車両の最高速度が120 km/h未満のClass 3aとそれ以上のClass 3bに分けられ、Class 3aに該当する車両にはLow_3、$Medium_{3\text{-}1}$、$High_{3\text{-}1}$、Extra $High_3$の4フェーズ、Class 3bの車両にはLow_3、$Medium_{3\text{-}2}$、$High_{3\text{-}2}$、Extra $High_3$の4フェーズが適用される。なお、Extra $High_3$フェーズは、サイクル中の最高速度が約130 km/hに達することから、各締結国にその選択が委ねられており、日本においてはExtra Highフェーズを除いた3フェーズを対象に評価する方向で検討されている。そのため、今回の試験ではLow、Medium、Highの3フェーズを対象に評価を実施した。

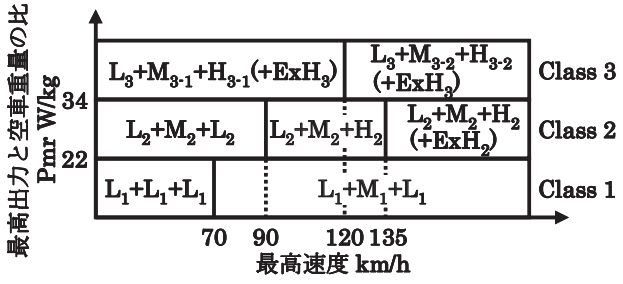
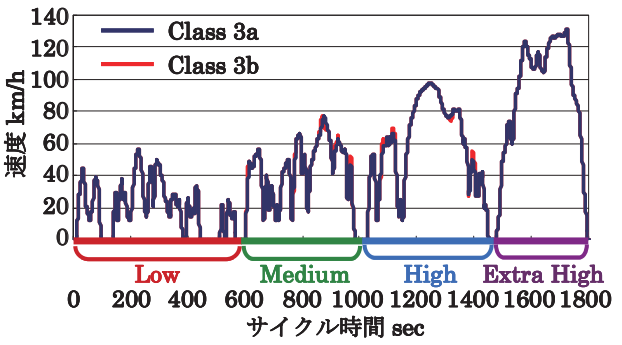
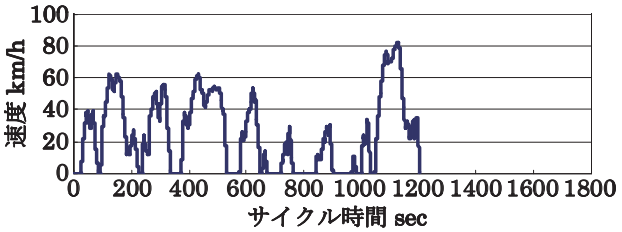


図1　WLTCの適用サイクル一覧

ここで、Class 3a と Class 3b の車速パターンを、現行試験法の試験サイクルである JC08 モードと比較して、図 2 に示す。また、それぞれの試験サイクルの特徴を表 1 に示す。JC08 モードは日本の走行実態を反映して、発進停止の多い都市内走行を中心に構成されているのに対し、WLTC は日本に比べ、郊外や高速道路での走行頻度が高い世界の実態が反映された試験サイクルである。そのため、WLTC は、JC08 モードに比べ、最高速度が高いだけでなく、高速走行する時間も長くなり、また、アイドリング時間の比率が半減することから、平均速度は 1.5 倍高くなっている。そして、JC08 モードは全体 1204 秒間に 11 のショートトリップが設定されているのに対し、WLTC では Extra High$_3$ フェーズを除いた 1477 秒間のショートトリップ数は 7 にとどまり、発進停止の頻度も少ないといった違いがある。



(a) WLTC (Class 3a、Class 3b)



(b) JC08 モード

図 2　車速パターン

表 1　試験サイクル比較

試験サイクル	JC08 モード	WLTC※	
		Class 3a	Class 3b
試験時間 sec	1204	1477	1477
走行距離 km	8.172	14.936	15.012
平均速度 km/h	24.4	36.4	36.6
最高速度 km/h	81.6	97.4	97.4
アイドリング比率 %	29.7	15.4	15.4

※ Extra High$_3$ フェーズを除く

2．2．試験自動車重量

現行試験法ではいかなる車両においても車両重量（空車重量）に乗員 2 名分相当の 110 kg を加えた試験自動車重量に応じて、定められた重量（等価慣性重量）をシャシダイナモに設定するよう決められている。一方、WLTP では車両の乗車定員や積載能力も考慮した重量を設定することになっている。そのため、大人数乗車可能な車両や最大積載量の多い貨物車においては、シャシダイナモに設定される重量が現行試験法に比べ、大幅に増加し、アクセルをより踏み込んだ走行が必要になることが想定される。参考までに、WLTP において vehicle H と定義される車両仕様（同一のパワー・ドライブトレインを搭載する車両の中でも、重量などの走行抵抗に影響する要素に関して、試験サイクルを走行するための仕事量が最大となる仕様）を対象にした試験自動車重量 TM$_H$ (Test Mass for vehicle H) の算出式を以下に示す。なお、今回の試験では TM$_H$ を WLTP の試験自動車重量として設定した。

$$TM_H = (\text{the mass in running order}) + 25\ \text{kg} + (\text{the mass of the optional equipment of vehicle H}) + (\text{the mass of representative of the vehicle load}) \quad \cdots (1)$$

the mass in running order ：
空車重量に運転手 1 名相当の 75 kg を加えた重量

25 kg ：手荷物を想定した重量

the mass of the optional equipment of vehicle H ：
空車重量に含まれないオプション装備の重量

the mass of representative of the vehicle load ：
最大許容重量から上記の 3 重量を除いた値に積載率（乗用車：15 %、貨物車：28 %）を乗じた重量

2．3．冷機状態の影響度

試験方法について、現行試験法では冷機状態から試験を開始するコールドスタート試験と暖機された状態で試験を実施するホットスタート試験を行い、重み係数（コールドスタート：0.25、ホットスタート：0.75）を用いてコンバインした値がその車両の排出ガスおよび燃費値となる。なお、排出ガス規制や燃費基準ではそのコンバイン値が対象となる。一方の WLTP はコールドスタート試験のみでの評価となる。それぞれの走行距離の違いを考慮しても、排出ガスおよび燃費の面で厳しい冷機状態の影響度が高くなるといえる。そのため、試験開始直後の冷間始動における性能が従来以上に重要となることが予想される。

3．WLTP における排出ガスおよび燃費性能

3．1．試験車両

今回の試験は、車両諸元や採用技術の異なる計 10 台のガソリンエンジン搭載車両を対象に行った。使用した車両の諸元を表 2 に、各車両に搭載されている主要燃費向上対策の一覧を表 3 に示す。

表 2　試験車両諸元

	A	B	C	D	E
登録年	H23	H26	H26	H24	H23
種別・用途	軽乗用	軽貨物	軽貨物	小型乗用	小型貨物
車体形状	SW※1	バン	キャブ※2	箱形	バン
総排気量 L	0.65	0.65	0.65	1.19	1.49
乗車定員 人	4	2(4)	2	5	2(5)
最大積載量 kg	−	350(250)	350	−	450(300)
現行試験法における試験車両重量 kg	1100	1000	810	1200	1250
WLTPにおける試験車両重量TM_H kg	1142	1185	923	1240	1406
	F	G	H	I	J
登録年	H25	H24	H26	H25	H24
種別・用途	普通乗用	小型乗用	普通乗用	普通乗用	普通乗用
車体形状	箱形	SW※1	SW※1	箱形	箱形
総排気量 L	1.59	1.79	1.99	2.49	3.49
乗車定員 人	5	7	5	5	5
最大積載量 kg	−	−	−	−	−
現行試験法における試験車両重量 kg	1580	1460	1640	1760	1860
WLTPにおける試験車両重量TM_H kg	1642	1554	1688	1865	2053

※1 SW：ステーションワゴン、※2 キャブ：キャブオーバ

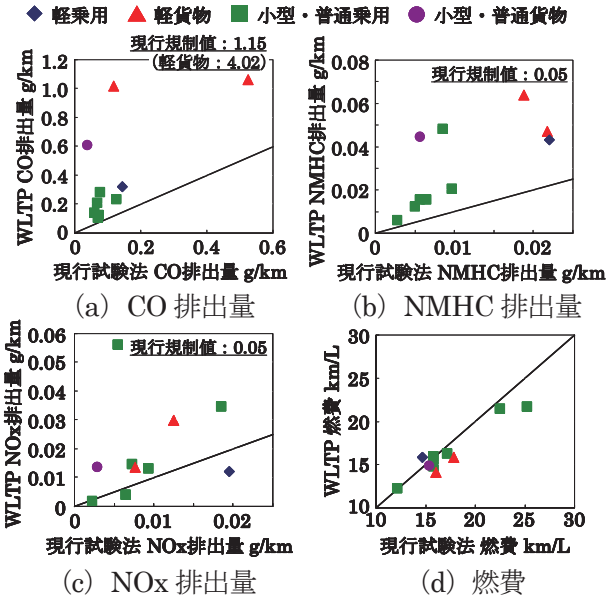
表 3　主要燃費向上対策

	A	B	C	D	E
アイドリングストップ				○	
筒内直接燃料噴射				○	
可変バルブタイミング			○	○	○
充電制御				○	
ハイブリッドシステム					
自動無段変速機				○	
過給ダウンサイジング				○	
	F	G	H	I	J
アイドリングストップ	○		○	○	○
筒内直接燃料噴射	○		○	○	○
可変バルブタイミング	○	○	○	○	○
充電制御	○	○	○		○
ハイブリッドシステム				○	
自動無段変速機		○	○	○	
過給ダウンサイジング	○				

3．2．排出ガスおよび燃費性能の傾向と比較

10 台の試験車両における WLTP と現行試験法による排出ガスおよび燃費性能の相関を図 3 に示す。なお、現行試験法による測定結果はコールドスタート試験とホットスタート試験の結果をコンバインした値を記載し、また、WLTP と現行試験法の値が 1：1 となる直線を図中に黒線で示した。

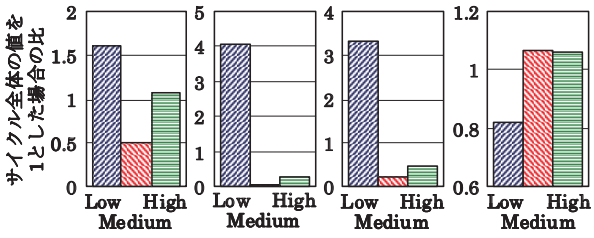
はじめに、排出ガス性能について述べる。図 3 より、多くの車両において、各排出ガス成分の排出量は現行試験法の値に比べ、増加しており、一部の車両では現在の排出ガス規制値（平均基準値）を超過する結果となった。これは 2 章で挙げた 3 要素の影響と考えられる。そこで、各要素の影響を解析するため、車両 B と F を対象に、WLTC の各フェーズにおける排出量と燃費のサイクル全体値に対する比率を算出し、図 4、5 に示した。車両 B と F 共に、多くは試験開始直後の Low フェーズにおける排出であることから、現行試験法に比べ、冷機状態の影響度が大幅に高まり、サイクル全体の排出量は増加傾向を示したと考えられる。また、サイクル全体の排出量に大きく影響する Low フェーズに関して、試験開始直後のアイドリング時間に着目すると、JC08 モードでは 26 秒であるのに対し、WLTC では 11 秒と大幅に短くなっている。そのため、走行開始時点では触媒が活性化しておらず、浄化性能を十分に発揮出来ない状態であることが推察され、試



(a) CO 排出量　(b) NMHC 排出量

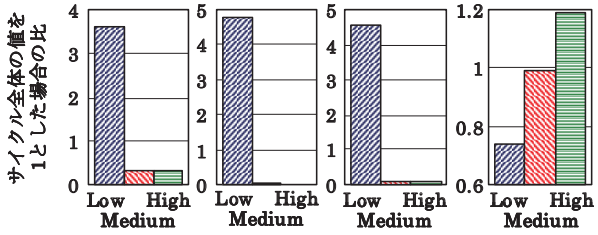
(c) NOx 排出量　(d) 燃費

図 3　排出ガスおよび燃費性能



(a) CO (b) NMHC (c) NOx (d) 燃費

図 4　WLTC フェーズ毎の排出量と燃費（車両 B）



(a) CO (b) NMHC (c) NOx (d) 燃費

図 5　WLTC フェーズ毎の排出量と燃費（車両 F）

験開始直後の排出量増加に繋がることが予想される。ここで、その傾向が顕著に見られた例として、車両 E の WLTP と現行試験法（コールドスタート試験）の希釈 THC 濃度履歴を図 6 に示す。いずれのサイクルも最初の発進後、40 km/h 程度まで加速する点では類似しているが、WLTP のみ大幅に高い濃度の排出が見られることから、試験開始直後のアイドリング時間が大きく影響しているといえる。ただし、貨物車である車両 E は試験自動車重量が現行試験法に比べ大幅に増加することも、影響していると考えられる。以上の結果から、WLTP では冷間始動における排出ガス対策が極めて重要になるといえる。ここまで、試験開始直後の排出ガス性能について述べたが、図 4 に示す車両 B の CO 排出では、触媒が十分に活性化していることが想像される High フェーズにおいても排出量が多い。これは、現行の JC08 モードよりも高い速度を、試験自動車重量が大幅に増加する貨物車で走行したため、エンジン回転数や負荷が高くなり、触媒保護等を目的とした空燃比のエンリッチ制御が行われたことが要因と推察される。ただし、小型・普通乗用車では、図 5 の車両 F のように High フェーズにおいてもエンリッチ制御に起因した CO 排出の増加は見られないことから、P_{mr} が低い軽乗用車や試験自動車重量が増加する貨物車の一部において生じることが予想される。貨物車等では、最新の排出ガス対策や燃費向上技術が真っ先に採用されることが少ないこともあり、今後は対策の導入が必要になる可能性がある。

続いて、燃費性能に着目すると、図 3 より、排出ガス性能とは異なって、現行試験法に近い燃費値を示す車両が多い。WLTP では冷機状態の影響度が高まり、燃費悪化に繋がる一方で、サイクルの平均速度が高くなり燃費は改善され、それぞれの影響が相殺された結果と考えられる。しかし、軽貨物車や燃費が 20 km/L を超えるような低燃費車では悪化傾向を示している。多くの車両は、図 5 の車両 F のように、加減速が少なく、高速走行を行う High フェーズでは Low、Medium フェーズに比べ低燃費となるが、軽貨物車では High フェーズにおいて、JC08 モードよりも大幅に高いエンジン回転数で走行することに加え、上述のエンリッチ制御が行われるため、High フェーズの燃費が改善されず、サイクル全体の燃費は現行試験法の値に比べ、悪化したことが図 4 より推察される。また、燃費が 20 km/L を超えるような車両はアイドリングストップ機能やハイブリッドシステムが搭載されており、WLTC においてアイドリング時間が減少することや最高速度が高くなることが燃費の悪化に影響したと考えられる。特に、ハイブリッド車では冷機状態における燃費の悪化割合が大きいことや高速走行時に燃費が向上しない測定例[2]があり、今後は上記の要因も考慮した開発が進められると予想される。

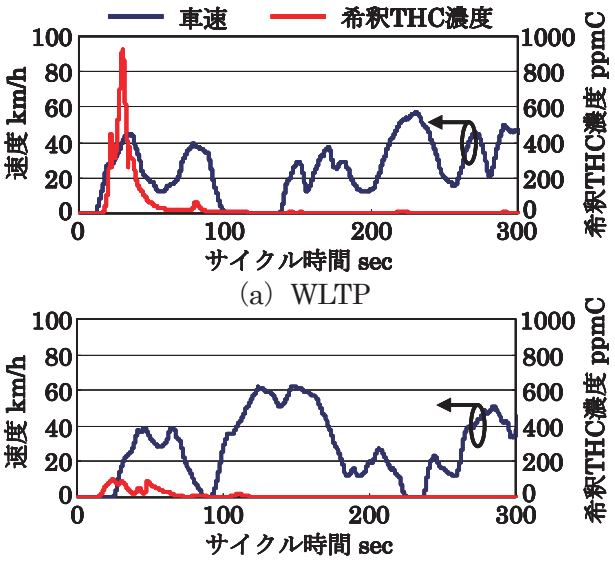


図 6　試験開始直後の希釈 THC※ 濃度履歴（車両 E）
※ Total HydroCarbons

4．まとめ

乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法（WLTP）について、その特徴を紹介するとともに様々な車両で評価した結果から得られた傾向等を以下にまとめる。

(1) WLTP と現行試験法の主な違いとして、試験サイクル、試験自動車重量、冷機状態の影響度が挙げられ、それらは試験結果に大きく影響する。

(2) WLTP の排出ガス性能は現行試験法に比べ、概ね排出増加傾向を示す。WLTP では試験開始直後の排出がサイクル全体の値に大きく影響するため、冷間始動時の排出ガス対策が極めて重要になる。また、一部の車両では高速走行やそこに至る加速でのエンリッチ制御による CO 排出が課題となる。

(3) WLTP と現行試験法の燃費は近い値を示す車両が多い。しかし、軽貨物車や低燃費車の一部では悪化傾向を示す。

5．参考文献

1) UN-GTR No.15、“Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure”

2) 鈴木他、“公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか（第 1 報）”、交通安全環境研究所フォーラム 2012

４．乗用車等の世界統一試験法における電動車試験法検討に関して

環境研究領域　　※新国 哲也　　小鹿 健一郎　　奥井 伸宜
自動車審査部　　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) は、昨年 11 月の WP29(自動車基準調和世界フォーラム)において GTR(Global Technical Regulation)としての承認を得たことで基本部分は完成した [(1)]。現在は電動車試験法の高度化に関する検討および ICE(Internal Combustion Engine) 車の残課題に取り組んでおり、2016 年の GTR 修正案の完成を目指し活動を行っている（＝フェーズ 1b、参考として WLTP 全体としては、低温下試験法等の検討を行うフェーズ 2、排出ガス規制値や試験用燃料規定等の検討を行うフェーズ 3 が今後予定されている)。

電動車試験法に関するフェーズ 1b での活動状況として、①プラグインハイブリッド車については、走行実態を反映して外部電力利用の走行割合を考慮する方法等に関する検討、②電気自動車については、試験時間を短縮するための試験方法の検討、③燃料電池車については試験法自体の検討等が行われている。電動車試験法を検討する専門家会議 (e-Lab)は主に欧州と日本のメーカを含む技術者で構成され、交通安全環境研究所（以下交通研）をはじめとする研究機関およびメーカより提供される実験データ等を基に議論を進めている (詳細は 4 章を参照)。

交通安全環境研究所は WLTP インフォーマルワーキンググループの副議長および e-Lab サブワーキンググループの共同議長の要職に当研究所の人材を充て、将来日本に導入される WLTP が公平な試験法となるよう検討段階から深く関与している。ここでは、フェーズ 1b の検討内容について紹介し (3 章)、また従来の試験法との違いについて実車のデータを用いながら解説する (4 章)。

２．電動車試験法検討の状況

WLTP の検討におけるフェーズ 1b の課題は 60 件程度あり、その中の電動車に関する 12 件の課題について e-Lab グループで検討中である。主課題の詳細は、表１に示す通りである（ただし誤記修正等の比較的小さい課題は除いた)。また図１にはフェーズ 1b における WLTP インフォーマルワーキングの活動スケジュールを示す。

表１　電動車に関する主な課題（フェーズ 1b)

電動車の車種	課題の内容
HEV, PHEV	REESS※ charge balance correction：バッテリ等の充電量に関する補正法の規定 ※REESS=Rechargeable Electric Energy Storage System
PHEV	Utility Factor：算出方法の規定
PHEV, EV	Phase specific calculation：各フェーズの燃費、電費、レンジの取得方法の規定
EV	Shorten test procedure：試験時間短縮の試験方法の規定
FCV	Test procedure：試験法の規定
PHEV, EV	Mode switch：試験における、power mode 等運転モードの設定に関する規定
EV	Cycle modification：出力や最高速度に制限がある EV に対する reference cycle の規定
HEV, PHEV, EV	Combined approach：同一型式の車で option 等による重量増減を補正する方法の規定

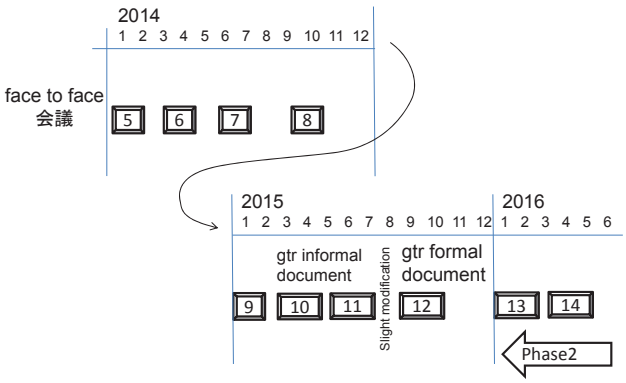


図 1 インフォーマルワーキングのスケジュール

電動車は市場に投入されてからの歴史が浅く、最新技術が採用されていることもあり、ICE と比較して試験法が十分に確立している状況ではない。最新車両の技術については、研究機関のみならず各メーカの協力も仰ぎながら検討を行っている。以下には電動車の種類別に検討状況の解説を行う。

3．各車両別の検討状況

3．1 ハイブリッド車試験法

ハイブリッド車の試験においては、車載されている大型バッテリによる充放電電力量に関して CO_2 排出量や燃費を補正する RCB(REESS Charge Balance)補正が、公平性を確保する上で特に重要な項目となる。具体的に、通常の試験においては走行パターン(WLTP の場合は図 2 に示す WLTC:Worldwide Light-duty Test Cycle) で試験車両を走行させて排出ガスや燃費を計測する。この際、電力が走行に使用

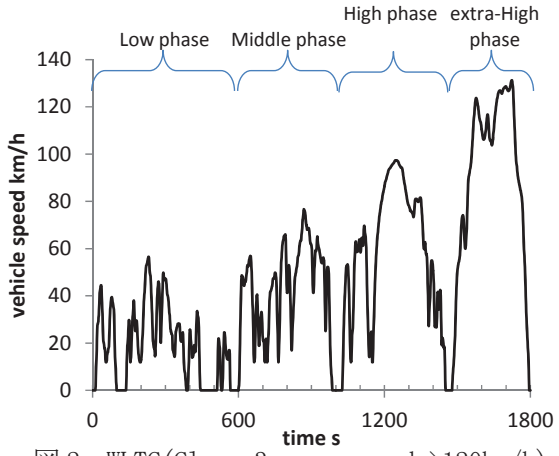


図 2　WLTC(Class 3, max speed >120km/h)

されれば、結果として燃料消費量が減少する。逆に走行とともにバッテリへの充電が行われれば、燃料消費量は増加する。このようにハイブリッド車ではバッテリの電力量の収支が燃費の計測結果に大きく影響する。そこでバッテリ SOC(State of Charge)の走行試験前後の変化（ΔSOC）について、ΔSOC が 0 の場合の CO_2 排出量や燃費を取得するため、RCB 補正が行われる。

日本の現在の試験法(TRIAS)では、RCB 補正は駆動用の大型バッテリのみが対象となっている。これに対し WLTP においては、補機バッテリも含むすべての車載のバッテリを対象とするように決定された。回生による電力が補機バッテリにも充電されるシステムでは、補機バッテリの充放電が燃費の計測結果に大きく影響することが考えられる。WLTP は既にこの点を考慮した試験法となっている。

3．2 プラグインハイブリッド車試験法

プラグインハイブリッド車の試験法は、2009 年に日本が世界に先駆けて試験法を確立した。WLTP にも基本的に日本の試験法が反映されている。試験スケジュールの一例を図 3 に示す。外部充電電力を消費しながら走行する CD（Charge Depleting）試験に関しては、車両をいったん充電した後にソークし、Cold 状態で走行を開始する。外部充電電力を消費した後、バッテリの充電量を一定の範囲内に保つ CS（Charge Sustaining）状態に移行するまで繰り返し走行を行う。図 3 では CD 試験に続けて CS 試験を行う場合の例を示しており、電力量消費率の計算のための充電電力量の計測は、CD 試験後に完全な CS 状態からの充電電力量を計測する。

CD-CS の複合燃費の取得に用いる Utility Factor（UF）については、各国個別の値を使用することで合意されている。なお日本における UF は TRIAS に既に規定されている。（ただし、国内では省エネ法の 2020 年度燃費基準の Corporate Average

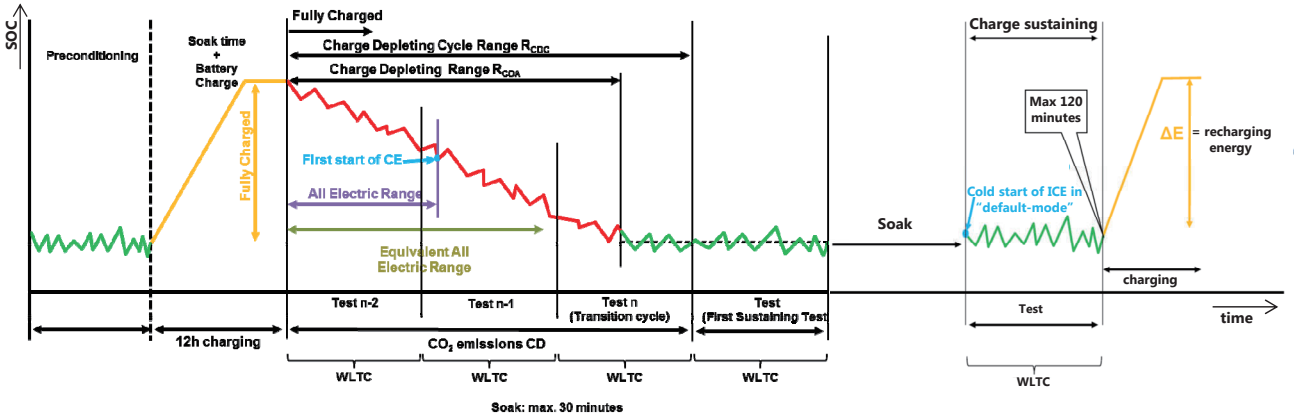


図 3　プラグインハイブリッド車の試験スケジュール
（CD 試験に続けて CS 試験を行う場合）

Fuel Economy の達成判断に PHEV を考慮する際の複合燃費計算のみに UF を使用することとしており、カタログに表記する燃費の計算には使用しない。）

３．３ 電気自動車試験法

電気自動車に関する試験法について、図 4 に示す試験スケジュールに沿って説明する。充電終了後に走行を行い、break off（車速パターンと実速度がかい離し、許容範囲を逸脱してから 4 秒以上経過した状態）で走行終了とする。走行開始から走行終了となるまでの距離を計測し、これを一充電走行距離（AER：All Electric Range）とする。走行試験後に再度充電を行い、この際充電に使用された交流電力量を記録する。これを一充電走行距離で除した値を電力量消費率とする。なお以上の試験手順は TRIAS と同様である。

<電気自動車の試験時間短縮のための方法>

日本からは、試験時間を短縮するための方法を提案しており、現在審議中である。短縮試験法とは、一充電走行距離の取得に計算を用いる方法で、上記の試験法よりも試験時間を短縮し試験工数を低減できるとともに、試験結果のばらつきを抑える効果が期待できる（後述）。具体的には、電気自動車を WLTC で走行させ、その際の電力量消費率（電費 Wh/km）を測定し、バッテリの放電可能な容量 Wh を電費で除して一充電走行距離を求めるという方法である。このような方法は SAE（米国自動車技術会）の標準試験法[(2)]としても存在し、現在国内でも JC08 を対象にして TRIAS に取り入れる準備を行っている。短縮試験法では、電費およびバッテリの使用可能な電力量を計測することが重要である。電費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（WLTC で繰り返し走行する必要はないので）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 5 には試験走行シーケンスの一例を示した。

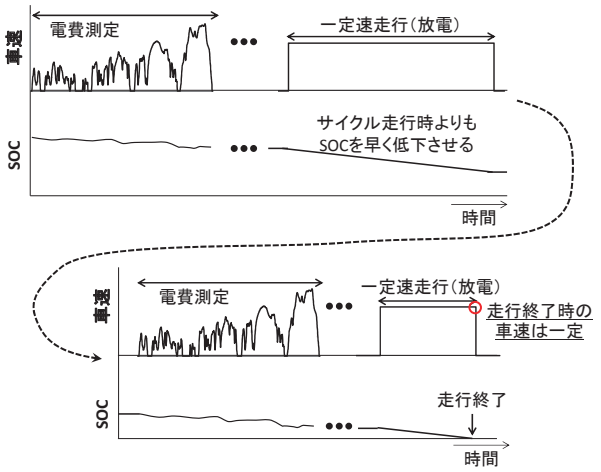


図 5　短縮試験法における試験走行シーケンス例

先に触れたように、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。電気自動車においては、電力を使い切る間際の走行状態で一充電走行距離の測定結果がばらつくことがある。図 6、図 7 にはその一例を示す。両図ともに同一の実験車で条件を揃えた走行実験において、満充電から続けて 9 回 WLTC で走行した後の 10 回目のサイクルにおける車両の速度変化を示した。なお試験サイクルは extra-High phase を除いた WLTC である。図 6 では High phase の車速パターン（図中の reference speed）を追従し、このサイクルを完走した。この時は結果的に次の 11 回目のサイクルで走行終了となった。一方、

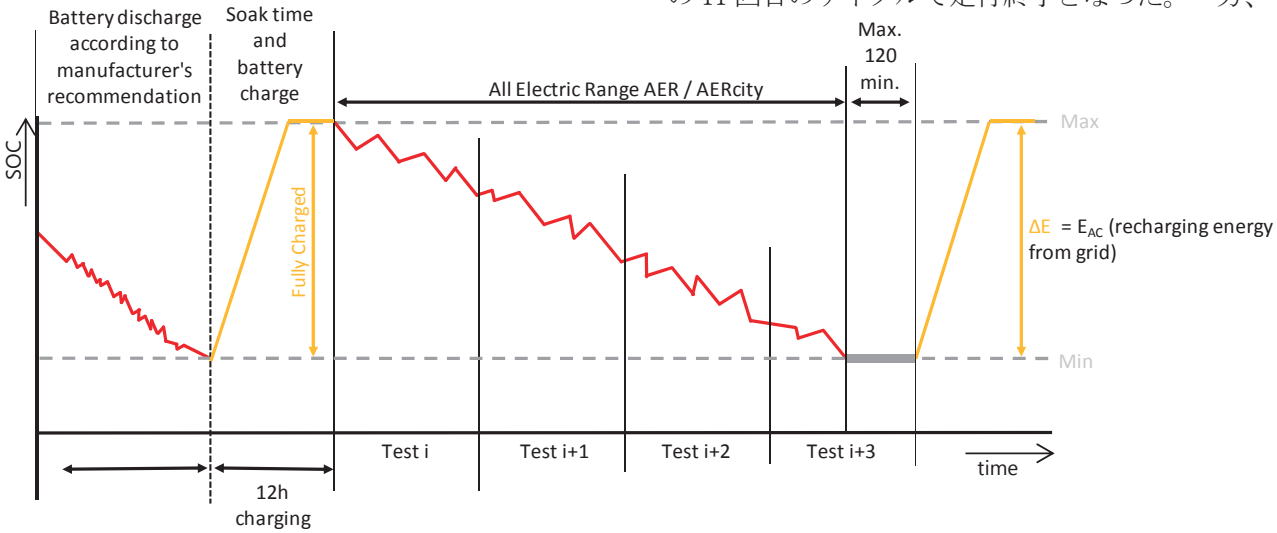


図 4　電気自動車の試験スケジュール

図 7 においては図 6 と同一条件にもかかわらず、10 回目のサイクルを完走できなかった。結果として、図 6 の場合は一充電走行距離が 149.2km、図 7 の場合は 157.1km となり、無視できない差を生じた。

このようなばらつきの原因の一つとして、試験は規定された車速パターンからの許容誤差範囲内で実験車を運転するものの、この範囲内でアクセルやブレーキの操作に多少の自由度があり、これが結果に影響することが考えられる。実際の試験では人間が操作を行うため、運転者により結果が異なる可能性が出てくる。図 5 のように一定速度で走行終了とすることで、アクセル、ブレーキ操作の自由度を抑えることにより、試験者によらず、より均一の結果を得ることが期待される。

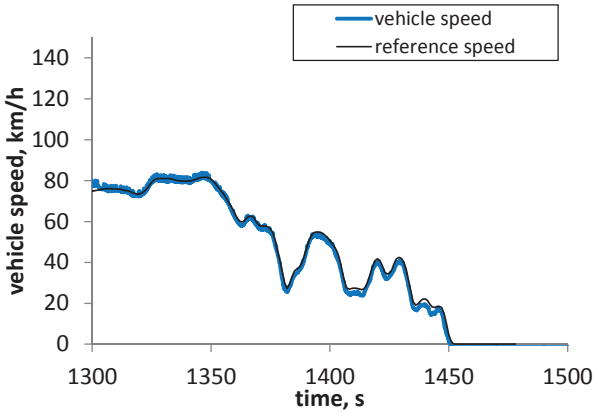


図 6　電力使い切り間際の走行（追従できた例）

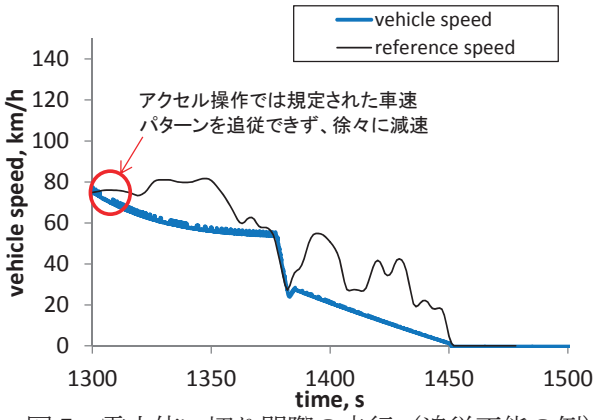


図 7　電力使い切り間際の走行（追従不能の例）

3．4 燃料電池車試験法

燃料電池車の試験法は、今後欧州と日本の双方から提案される予定である。燃料電池車については、水素消費率（距離に対する水素の使用量）についての試験法を GTR に記載することが想定されている。

4．実車を使った WLTP の試行

参考のため交通研で WLTC と JC08 のサイクルで試験を行った際の結果について説明する。試験車両の仕様は図 8 に示すものである。試験サイクルは、交通研が WLTP 検討用に計測を行った 2012 年当時のサイクル（現在のサイクルよりも加速度が高いパターンが含まれている）である。計算式は 2014 年 5 月時点での WLTP GTR に記載されたものを用いた。結果を表 2 に示す。WLTC では JC08 に対し車速及び加速度が高いため燃料の消費が増えた。電力消費についても同様で等価 EV レンジは短くなった。CD レンジについては、本試験車において JC08 では CD モードではエンジン ON とならず電力で専ら走行するのに対し、WLTC ではエンジン ON となり、燃料と電力を併用するため、等価 EV レンジよりも CD レンジが伸びる結果となった。



車両重量	1410kg
総排気量	1.79L
モータ定格出力	18kW
バッテリ	4.4kWh
定員	5 名

図 8　PHEV 試験車及び諸元

表 2　JC08 と WLTC による各種値の違い

	JC08（カタログ値）	WLTC
CS 燃費	31.6 km/L	24.6 km/L
CD レンジ	26.4 km	26.0 km
等価 EV レンジ	26.4 km	16.9 km

5．今後の展望

プラグインハイブリッド車、電気自動車については表 1 の課題の検討を進め、draft 文書の作成を行う予定である。また燃料電池車については、試験法の骨子を今年中にまとめ、今年度末には案を作成し draft 文書化を進める。

6．まとめ

WLTP における e-Lab 会議の活動を電動車の種類別に紹介した。交通安全環境研究所では引き続き WLTP 会議および e-Lab 会議に積極的に関わり、公平性の高い国際試験法の成立を目指し活動を行う。

参考文献

(1)United Nations Economic Commission for Europe, Working Party on Pollutant and Energy: http://www.unece.org/trans/main/wp29

(2)SAE international, standards, Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure（J1634）

５．ハイブリッド車等の静音性対策に関する世界統一基準のための調査研究

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

１．まえがき

ハイブリッド車及び電気自動車等は、低炭素社会を進める上で、普及促進を図ることとされており、近年急増傾向にあり、今後さらに増加が見込まれる。一方、これらの自動車は、モーターのみで走行している時は、構造的に従来のエンジン音及び排気系の音が発生しないため、車両の接近に気付かず危険を感じるとの意見が、視覚障害者団体やユーザー等から国土交通省に寄せられた。そのため、国土交通省は、モーターのみで低速走行を行うハイブリッド車等が備えるべき車両接近通報装置（以下「AVAS」（Acoustic Vehicle Alerting System）という）の要件を定めた「ハイブリッド車等の静音性に関するガイドライン」[1]（以下、「ガイドライン」という。）を、世界に先駆けて公表した。ガイドラインでは、規制内容等の必要な検討を行った上で、新車に可能な限り早期に AVAS の義務付けを行うこととしている。AVAS の基準化については、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）における騒音専門家会議（GRB）及びその下に設置された GTR（世界統一基準）のためのインフォーマル会議で作業が行われている。

本報告では、GTR に向けて日本で行ってきた調査研究の概要と、インフォーマル会議における日本の活動の概要について述べる。

２．基準化に当たっての基本方針

国土交通省は、ハイブリッド車等の静音性対策を検討するに当たって検討委員会を設置し、公開で検討を行った。検討委員会の委員は、視覚障害に関する専門家、人間工学に関する専門家といった学識経験者の他、視覚障害者団体、消費者団体等の委員から構成され、様々な立場からの意見を踏まえて報告書がまとめられた。国土交通省は、報告書において提言された対策の普及を図るため、AVAS の要件を定めたガイドラインを公表し、GRB の場において日本のガイドラインについて繰り返し説明を行うとともに、ガイドラインに基づく接近音のデモを行った。その結果、日本のガイドラインは、GRB へ参加している各国の政府代表の支持を得ることができ、2011 年 3 月の WP29 において、日本のガイドラインをベースにした「国際基準のガイドライン」が承認された。そのため国土交通省は、基準化に当たっては国際基準のガイドラインをベースにすることを基本方針としている。

３．基準化のための調査内容及び結果

ガイドラインでは、車両接近通報音（以下「接近音」という）の音量や周波数特性等について、定量的な規定はされていないため、接近音の要件を定量的に規定する必要がある。ここでは、音量と周波数特性を規定するための調査内容とその結果について述べる。

３．１．接近音として必要とされる認知性の要件

ガイドラインでは、接近音の音量に関して、「内燃機関のみを原動機とする車両が時速 20km で走行する際に発する走行音の大きさを超えない程度のもの」と記載されており、上限についてのみ定性的に規定されている。しかし、接近音の基準化のためには、車両の接近を認知できるための必要最小限の音量を規定する必要があり、そのためには、まず、接近音に必要とされる認知性の要件を定める必要がある。

米国では、2013 年 1 月に NHTSA（National Highway Traffic Safety Administration）からハイブリッド車等の最小騒音規定に関する NPRM（Noticed of proposed rulemaking）（以下「NPRM」という。）が公表された。これには、接近音の要件として、8 つの 1/3 オクターブバンド中心周波数帯域における最低騒音レベルを規定している。さらに、騒音レベルを規

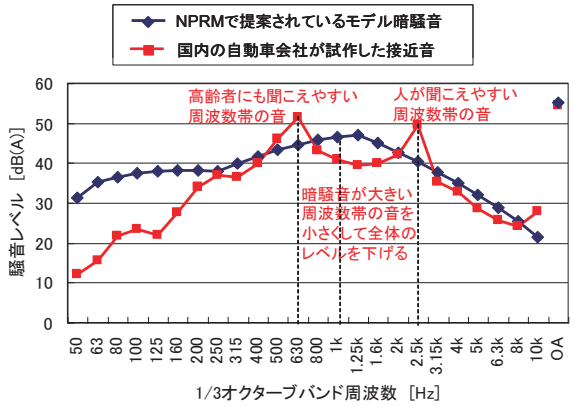


図 1　国産乗用車に搭載されている接近音と NPRM で提案されているモデル暗騒音の 1/3 オクターブ周波数分析結果

定するために、モデル暗騒音を提案しており、接近音はモデル暗騒音の中でも聞こえる必要があるとされている。また、最低騒音レベルを検討するに当たって、時速 10km/h の車両における安全上必要な認知距離は、停止距離の観点から 5m としている [4]。

そこで、接近音として必要とされる要件は、NPRM で提案されているモデル暗騒音の中で、10km/h で走行している車両から発生される接近音が 5m 以上手前で認知できることとして、音量や周波数特性を定量化することとした。

3．2．接近音の周波数特性の検討

図 1 に、NPRM で提案されているモデル暗騒音と、国内の自動車会社が試作した接近音の、1/3 オクターブバンドの周波数特性を示す。

一般に、正常な聴力を有する成人は、2kHz から 5kHz までの音に対しては感度が良い。従って、この周波数帯域にある音は認知されやすいと考えられる。一方、高齢者は、2kHz 以上の音に対する聴力が低下する傾向にある。従って、聴力の低下の少ない 1kHz 以下の低い周波数帯域に、ある程度以上のレベルの音が存在すれば、高齢者にとってもその音は認知されやすいと考えられる。また、接近音が認知されるためには暗騒音よりも大きいレベルでなければならない。一般に、暗騒音は 1kHz 前後のレベルが大きい。接近音が認知されるためには暗騒音のレベルよりも大きいレベルでなければならないため、暗騒音のレベルが小さい周波数帯域の音を出せば、必要以上に大きな音を出す必要がなく、環境騒音の悪化を回避できると考えられる。この考えに基づき、日本は、1/3 オクターブバンドで 1.25kHz 以上と、800Hz 以下のそれぞれに、少なくとも 1 つの卓越したバンドを有することという「2 バンドコンセプト」を接近音の周波数特性の要件としている。図 1 に示す自動車会社が試作した接近音はその典型的な例で、2.5kHz と 630Hz に卓越したバンドを有しており、それ以外のバンドのレベルは小さくなるように設計されている。現在、国内で市販されているハイブリッド車等に搭載されている接近音は、2 バンドコンセプトに基づいている。

3．3．接近音の音量の検討

前述の通り、時速 10km/h で走行している車両から発生される接近音は 5m 以上手前で認知できることとした。そこで、2 バンドコンセプトに基づく接近音のサンプルをいくつか試作し、認知性試験によって、音量の検討を行った。

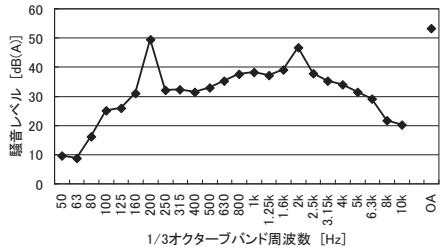
3．3．1．接近音のサンプルの概要

可聴域の周波数帯において、1.25kHz 以上と 800Hz 以下から、それぞれ一つの 1/3 オクターブバンドを選ぶとその組み合わせは数多くあるため、今回は 1.25kHz 以上からは 2kHz と 5kHz の 2 つを、また、800Hz 以下からは 200Hz と 800Hz の 2 つを選び、その組み合わせとして、200Hz＋2kHz、200Hz＋5kHz、800Hz＋2kHz、800Hz＋5kHz の 4 種類の接近音のサンプルを作成した。選択した周波数のバンドは、国内で市販されている自動車に搭載されている接近音を参考にした。図 2 に接近音のサンプルの周波数特性を示す。接近音の音量は、2 バンドのレベルがほぼ同じレベルになるようにした上で、オーバーオールの音量を 46dB(A)、52dB(A)、58dB(A)を目標に調節した。周波数が 4 種類、音量が 3 種類で、計 12 種類の接近音のサンプルを作成し、それぞれの認知性を評価した。また、比較のために、10km/h 走行時における接近音の要件として NPRM で提案されている 8 バンドのレベルを満たす接近音（以下「NPRM 接近音」という）についても評価を行った。図 3 にその周波数特性を示す。

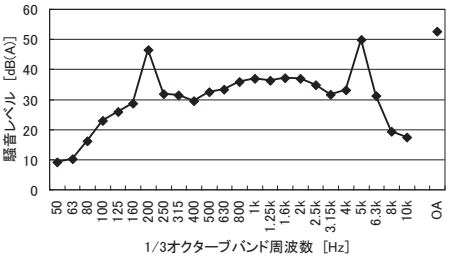
3．3．2．テストコースにおける認知性試験

暗騒音が 30dB(A)以下の十分に静かなテストコース（日本自動車研究所城里テストセンターNV・多用途路）において、認知性試験を行った。

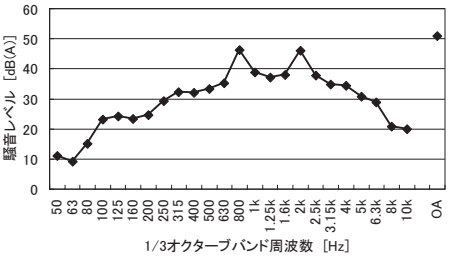
走行時の騒音が小さい電気自動車の前端に小型スピーカを取り付け、スピーカから接近音のサンプルを発生させた。この車両を、テストコースの車両中心線上を、接近音を発生させながら 10km/h の速度で走行



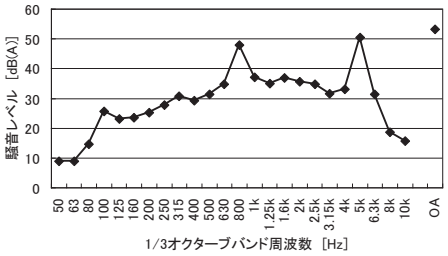
(a)　200Hz-2kHz



(b)　200Hz-5kHz



(c)　800Hz-2kHz



(d)　800Hz-5kHz

図 2　認知性試験で使用した接近音の
サンプルの周波数特性

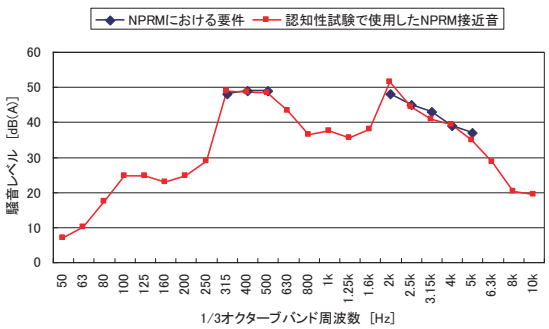


図 3　NPRM における接近音の要件と認知性試験で
使用した NPRM 接近音の周波数特性の比較



図 4　認知性試験の様子

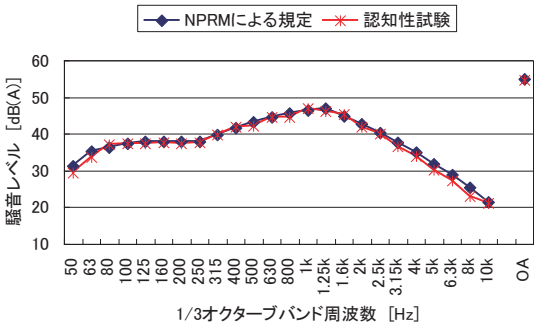


図 5　認知性試験で使用した NPRM 暗騒音の
周波数特性と NPRM における規定との比較

させた。図 4 に認知性試験の様子を示す。参加者の耳の位置が、車両走行線から 2m、高さ 1.2m となるようにし、参加者に提示する暗騒音の条件を統一するため、スピーカから NPRM で提案されているモデル暗騒音を発音し、被験者の耳元で 55dB となるように調整した。図 5 に NPRM で規定されているモデル暗騒音の周波数特性と、認知性試験の時にスピーカから発生させた暗騒音の周波数特性を比較した結果を示す。両者はよく一致していることが分かる。認知性試験の参加者は、20 歳代から 50 歳代の健常者 16 名（平均年齢 40.3 歳）で、交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程に基づいて実施した。参加者はアイマスクを装着して椅子に座り、接近音に気がついたら手元のスイッチを押してもらい、そのときの被験者と車両との距離を求め、それを認知距離とした。

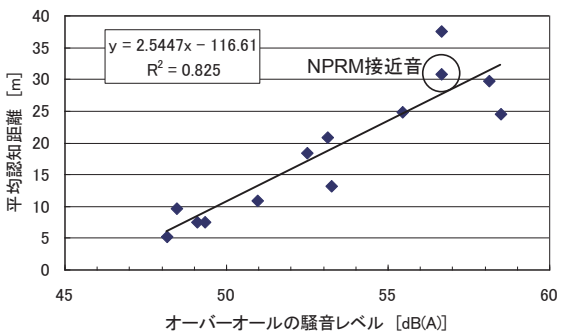


図 6　接近音のサンプルのオーバーオールの
騒音レベルと平均認知距離との関係

図 6 に、今回用いた 12 種類の接近音のサンプル及び NPRM 接近音について、16 名の平均認知距離を示す。2 バンドの接近音のサンプルにおける平均認知距離は 58dB(A)で約 30m、52dB(A)で約 15m、46dB(A)で約 7m であった。NPRM 接近音における平均認知距離は約 30m であった。接近音のサンプル及び NPRM 接近音の平均認知距離とオーバーオールの騒音レベルの関係は、図 6 に示すように、ほぼ比例関係にあることがわかった。本実験で使用した 2 バンドコンセプトに基づく接近音のサンプルでは、ほとんどの条件で 5m 以上の認知距離が確保されており、騒音レベルが 52dB(A)を超える場合の認知距離は 10m 以上であった。

３．３．３．リアルワールドに近い暗騒音環境下における認知性試験

テストコースでの認知性試験は、暗騒音が非常に小さい場所において、NPRM のモデル暗騒音をスピーカから発生させることによる人工的に統制した環境において、2 バンドのサンプル音の認知性の特性を把握することを目的として行った。しかし、リアルワールドでは暗騒音は時々刻々と変化しているため、リアルワールドにより近い環境における認知距離を測定するための試験を行った。実施場所は、交通安全環境研究所構内の直線路で、敷地外の片側 2 車線の幹線道路からの道路交通騒音が届く位置で行った。なお、研究所内の機器動作音等が時折届くことがあった。

認知性試験の参加者は、所外から募集した 20 歳代から 40 歳代の一般参加者 30 名（平均年齢 33.4 歳）及び視覚障害者 3 名（20 歳代、30 歳代、40 歳代）である。試験に用いた電気自動車及び発音システムは、前項のテストコースで使用したものと同一である。ただし、接近音のサンプルは、1.25kHz 以上からは 2kHz と 5kHz の 2 つを、また、800Hz 以下からは 500Hz と 800Hz の 2 つを選んだ。前項のテストコースでの試験では低い周波数帯から 200Hz を選択したが、この周波数帯は NPRM 接近音には含まれていないため、本実験では 200Hz の代わりに 500Hz を使用した。認知性試験は、図 7 に示すように、10 名の実験参加者に対して同時に測定を行った。参加者は 1m 間隔で一列に並んで立ち、参加者の列から 2m 離れた走行線に車両中心が来るように電気自動車を走行させた。速度は 10km/h とした。図 8 に認知性試験の様子を示す。参加者には、目を閉じて接近音に気がついたら手元のスイッチを押してもらった。手元のスイッチを押すと、その信号が車上へ送信され、参加者と車両との距離が計測される。また、試験中の暗騒音を、参加者の列の両端から 1m 離れた位置に設置したマイクロホンによって測定した。図 9 に、暗騒音の測定結果の一例を示す。この間の騒音レベルの平均は、入口側 51.8dB(A)、出口側 54.6dB(A)で、両者に約 3dB(A)の差があった。

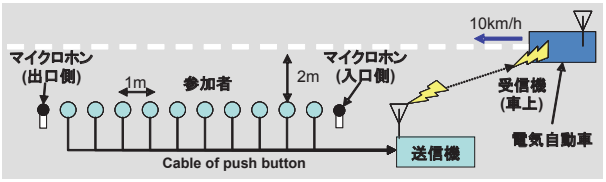


図 7　認知性試験の概要



図 8　認知性試験の様子

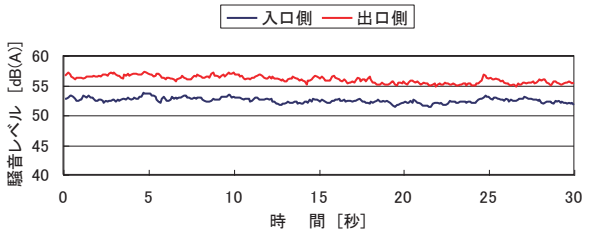
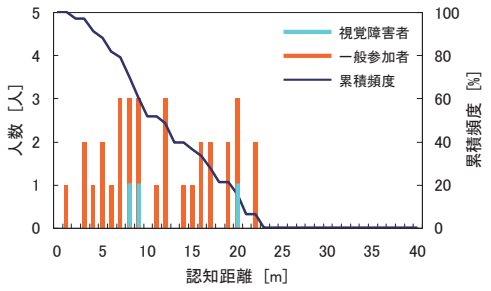


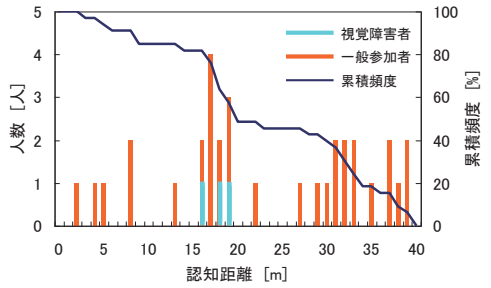
図 9　暗騒音の騒音レベルの変化の一例

接近音のサンプルの音量は、オーバーオールの騒音レベルが 52dB(A)のものだけを用いた。比較のため接近音が無いときの認知距離も調べた。

前項では、平均認知距離を求め、認知距離が 5m 以上あることを確認したが、ばらつきを考慮すると 5m 未満の認知距離の結果があると考えられる。そこで、認知距離の頻度を求めた。図 10 に、参加者 33 名の認知距離の分布を、800Hz+2kHz と 500Hz+5Hz について示したものである。認知距離の件数を計数する際に、小数点以下は四捨五入した。いずれの条件においても視覚障害者と一般参加者の認知距離に違いは認められなかった。次に、認知距離の累積頻度を求めた。その結果を図 11 に示す。2 バンドの接近音のサンプ



(a)　800Hz-2kHz



(b)　500Hz-5kHz

図 10　認知距離の人数と累積頻度

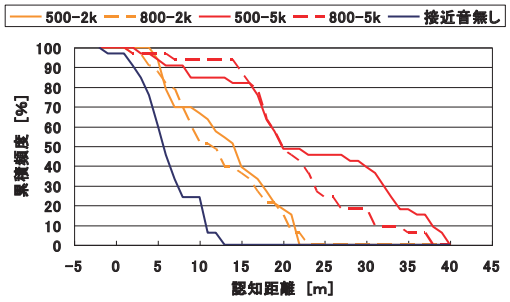


図 11　接近音のサンプル及び接近音が無い場合の累積頻度の比較

ルでは 5m の位置において、ほとんどの条件で 90%以上の参加者が反応した。一方、通報音がない場合は約 60%であったため、接近音の付加によって認知距離が改善されたことが示された。

上記の結果を基に、GTR のためのインフォーマル会議において、接近音の周波数特性については、1/3 オクターブバンドの 800Hz 以下と、1.25kHz 以上のそれぞれに 1 つ以上卓越したバンドを持つことを日本から提案している。音量については、米国や欧州の提案も考慮に入れて検討を行っている。

4．視覚障害者のための体験会の実施

上記で述べた認知性試験の結果を基に、ハイブリッド車や電気自動車を市販している日本の自動車メーカー4 社が、それぞれ独自の接近音の試作を行った。周波数特性は日本の提案に基づいており、音量は認知性試験の結果を参考にして各社が設定した。

視覚障害者の方々に、日本で検討を行っている接近音の要件について理解を深めてもらうため、試作した接近音を聞いてもらう体験会を実施した。体験会の実施場所は、暗騒音が比較的静か（暗騒音のレベル：45～48dB(A)）である海上技術安全研究所の敷地内で行った。体験会には、視覚障害者 14 名および付添人（健常者）6 名、計 20 名が参加した（平均年齢 63.4 歳、標準偏差 7.4 歳）。視覚障害者のうち、全盲の者は 10 名、弱視の者は 4 名であった。図 12 に示すように、参加者には、直線路おいて車両走行中心線から 2m離れた位置に、車両走行中心線側を向いて、1m 間隔で 5 名ずつ、2 列に並んで立ってもらった。車両は参加者の列から外側に 50m 離れた位置からスタートし、参加者列の中心を走行して、列を通り抜けた後さらに 50m 走行した。走行条件は以下の通りである。図 13 に体験会の様子を示す。

(1) ハイブリッド車及び電気自動車 4 台が、接近音ありで、10km/h の定常走行で走行（通過条件）
(2) 接近音無しで(1)の通過条件で走行
(3) ハイブリッド車及び電気自動車 4 台が、接近音ありで、参加者の手前の停止線で一旦停止し、数秒後に再度発進（停止条件）
(4) 接近音無しで(3)の停止条件で走行

上記の走行を各々往復で行った後、接近音について

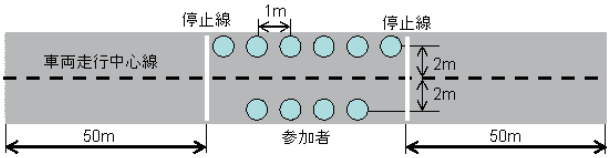


図 12　体験会の配置概要図



図 13　体験会の様子

表１　印象評価の結果

	走行条件	接近音の有無	分かったと回答			分からなかったと回答		①②③の合計	④⑤の合計	①②③の合計人数の割合
			①	②	③	④	⑤			
視覚障害者（14名）	通過条件	無し	1	2	7	4	0	10	4	71.4
		あり	1	1	10	2	0	12	2	85.7
	停止条件	無し	0	0	3	8	3	3	11	21.4
		あり	0	1	11	2	0	12	2	85.7
健常者（6名）	通過条件	無し	4	0	2	0	0	6	0	100.0
		あり	3	1	2	0	0	6	0	100.0
	停止条件	無し	0	2	2	2	0	4	2	66.7
		あり	1	3	2	0	0	6	0	100.0

の印象評価について、①とてもよく分かった、②よく分かった、③まあまあ分かった、④ほとんど分からなかった、⑤全く分からなかった、の選択肢から選んでもらった。予め上記の選択肢を参加者に伝え、個々の車両の音の評価ではなく、走行パターンごとの車両の接近に対する印象を評価するように指示した。

印象評価の結果を表１に示す。停止条件の接近音無しの結果のみ、３名の視覚障害者が全く分からないと回答した。その他の条件では、全く分からないと回答した人はいなかった。印象評価において、分かったと回答（選択肢の①、②または③と回答）した人の比率は、通過条件で接近音無しの場合は 71.4%であったが、接近音ありでは 85.7%となった。また、停止条件では、21.4%が 85.7%となった。従って、接近音を付加することにより、視覚障害者の 85%が車両の接近が分かったと回答し、接近音による認知性の向上が確認された。

５．GTR のためのインフォーマル会議の活動

2012 年６月の WP29 では、日欧米が共同スポンサーとして世界統一基準（GTR）のためのインフォーマル会議を設置することが承認され、米国が議長、日本が副議長、EC が事務局を担当することとなった。最初のインフォーマル会議は 2012 年７月に行われ、日本から、GTR の検討に当たっては、国際基準のガイドラインをベースとすべきとの提案を行った。この提案に対して、ガイドラインでは発音を一停止するためのスイッチ（ポーズスイッチ）の装着を認めているが、米国提案の NPRM ではその記載がないため米国の支持は得られなかったが、European Commission（EC）、ドイツ、フランス、世界自動車工業会（OICA）の代表から賛同を得た。また、これまで述べてきた調査結果をインフォーマル会議で報告し、接近音の要件について日本提案を主張しているところである。しかし、接近音の周波数特性について日本と EC は２バンド以上を主張しているが、NPRM では、図３に示すように８バンドを要求しており、両者の間で妥協案を見つけることは難しい状況となっている。また、日本と欧州においても、２バンドのレベルの要件について一部異なる主張をしている。このような状況において、調査結果の技術的なデータに基づき、日本の主張を行っている。

５．まとめ

ハイブリッド車等が低速でモーターのみで走行している時は、静かすぎて接近に気が付かないため、自動車から音を出して接近を知らせることとなり、車両接近通報装置の基準化を行うに当たって、接近音として必要な要件を検討した。ある程度の暗騒音の中でも聞こえやすく、高齢者の聴覚特性も考慮して、日本は２バンドのコンセプトを提案している。また、音量については、安全上必要な要件を満たしつつ、大きすぎない音量を検討しているところである。

現在、世界統一基準を目指して GTR のためのインフォーマル会議において日欧米を中心に議論を行っている。自動車から音を出すことについて、各国の考え方は価値観や文化観によって異なるため、統一の基準を作ることは容易ではない。日本として譲れないところは主張をしつつ、各国が受け入れ可能な GTR を目指して、日本の関係団体をはじめ、欧米等関係各国と協力していくつもりである。

参考文献

1) ハイブリッド車等の静音性に関する対策のガイドライン、国土交通省ホームページ、http://www.mlit.go.jp/common/000057788.pdf

2) T. Tabata, et al., Development of Nissan Approaching Vehicle Sound for Pedestrians Vehicle Performance Engineering Department, Proceedings of inter-noise 2011, (2011-8)

3) JASIC, Status Report on Activities in Japan regarding the Guideline on Measures against Quietness issue of HV, etc., 8th QRTV Informal meeting, QRTV-08-02, (2011-8)

4) National Highway Traffic Safety Administration, Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles, http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Quiet_Vehicles_NPRM.pdf, (2013)

６．自動車の環境性能基準に関する国際調和活動について

自動車基準認証国際調和技術支援室　　※成澤　和幸

１．はじめに

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

自動車の技術基準は、安全性に関するものと環境性能に関するものに大別される。ここでは、環境性能に関わる基準について、今までに成立した新規則あるいは改訂の内容、現在進められている活動の状況、さらにこれからの展望について、交通安全環境研究所の役割に焦点を絞り概説する。なお、WP29 で扱っている環境性能に関する自動車の技術基準は排出ガス・エネルギー専門家会議（以下「GRPE」という）関係と騒音専門家会議（以下「GRB」という）関係に分けられる。そこで本稿ではこれらを分けて記述することとする。

２．排出ガス・エネルギー（ＧＲＰＥ）関係

２．１．これまでの活動の概要

ここでは、現時点までに、規則の制定あるいは改定に至った活動についてその概要を述べる。

２．１．１．ＵＮ－Ｒ

型式認可の相互承認のための UN-R に関しては、古くから活動を続けている粒子測定プログラム（PMP; Particle Measurement Programme ）がある。交通安全環境研究所は試験データを提出するなど技術的に貢献をしてきた。その結果、中・軽量車のための排出ガス測定基準を定める UN-R83 及び重量車のための排出ガス測定基準を定める UN-R49 の改訂がなされ、それぞれ 2009 年 2 月、2011 年 6 月に発効し、粒子個数濃度（PN; Particle Number）規制が盛り込まれた。

日本は 1998 年に 1958 年協定に加盟して以来、乗用車の制動装置、警音器等の 54 の UN-R を採用している。しかし、様々な課題があるため排出ガス性能に関する UN-R は採用するに至っていない。したがって UN-R83 と UN-R 49 の改訂作業に貢献したものの日本では基準として適用されていない。

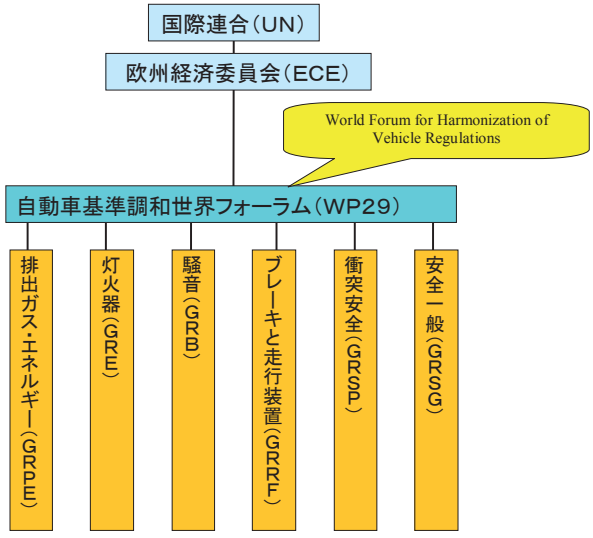


図１　自動車技術基準の国際調和活動を行う組織

２．１．２．UN－GTR

1999 年に 1998 協定に加盟して以来、日本は UN-GTR の作成に積極的に関与してきた。UN-GTR No.2（二輪車排出ガス試験法（WMTC; Worldwide harmonized Motorcycle emissions Certification /Test procedure））は 2005 年 6 月に成立したが、試験サイクルの作成にあたっては日本の走行実態が反映されるよう努めた。その後、改訂作業として規制値を盛り込んだ際には、交通安全環境研究所が中心となってデータをまとめ、国連の場に提出し、日本の規制値が世界統一規制値となった。

UN-GTR No.4（重量車排出ガス試験法（WHDC; Worldwide Heavy Duty Certification Procedure））と UN-GTR No.5（ディーゼル重量車車載式故障診断（WWH-OBD; World- Wide Harmonized On-board Diagnostic Systems））は 2006 年 11 月に成立した。交通安全環境研究所は重量車用エンジンの排出ガス試験結果を提出して、UN-GTR No.4 制定の議論に参加するとともに、UN-GTR No.5 については職員が議長を務めた。UN-GTR No.10（重量車オフサイクル試験法（OCE; Off Cycle Emissions））と UN-GTR No.11（ノンロードエンジン排出ガス試験法（NRMM; Non-Road Mobile Machinery））は 2009 年 6 月に成立し、これらの規則についても交通安全環境研究所の職員が議論に参加した。

2014 年 3 月に UN-GTR No.15（乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP; Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)）が Phase1 として成立した。この活動について、当初から交通安全環境研究所は積極的に関与し、試験サイクル作成サブグループ（DHC; Development of the Harmonized driving Cycle）の議長及び電気自動車やハイブリッド自動車の測定法を議論するサブグループ（E-lab; Lab process Electrified vehicle）のリーダーを務めるとともに実験データを提出してきた。様々な議論を経て UN-GTR No.15 で定められた国際調和試験サイクル（WLTC; Worldwide Light-duty Test Cycles）の一例を図２示す。

ハイブリッド重量車試験法（HDH; Heavy Duty Hybrids）については 2010 年 5 月に活動が開始された。ここでは、自動車審査部で用いているハードウェアインザループシミュレータ（HILS; Hardware In the Loop Simulator）法（国自環 281 号）をベースにこれを UN-GTR に取り入れる事を目的としたため、交通安全環境研究所で得られた試験データを提出することにより議論に参加した。その結果、2014 年 6 月に UN-GTR No.4 の改訂案が完成した。現在、11 月の WP29 における正式承認を待っている段階である。

２．２．現在の主な活動

２．２．１．WLTP　Phase１b

本年 3 月に UN-GTR No.15 は成立したが、幾つかの未解決の課題が残されたままになっている。これは国際調和試験サイクル（WLTC）を欧州に導入するための期限が迫っていたことから、UN-GTR 成立を優先したことによる。そこで現在残された課題を解決するための活動を行っている。これを WLTP Phase1b と呼んでいる。2015 年末を目途に結論を出すべく活動をしている。交通安全環境研究所はこの活動に引き続き積極的に関与することとし、WLTP インフォーマルグループの副議長を務めるとともに、E-lab サブグループの共同議長を務めている。未解決課題としては、試験で得られた排出ガス値の補正方法、電気自動車の走行距離の測定法がある。交通安全環境研究所で得られた試験結果を提出し議論に加わっている。

２．２．２．EVE

電気自動車やハイブリッド自動車などの電動車両に関する国際的な基準整備の必要性が高まったことから、WP29 では、電動車両の環境性能基準の必要性を議論するインフォーマルグループ（EVE; Electric Vehicles and the Environment ）の設立を決めた。

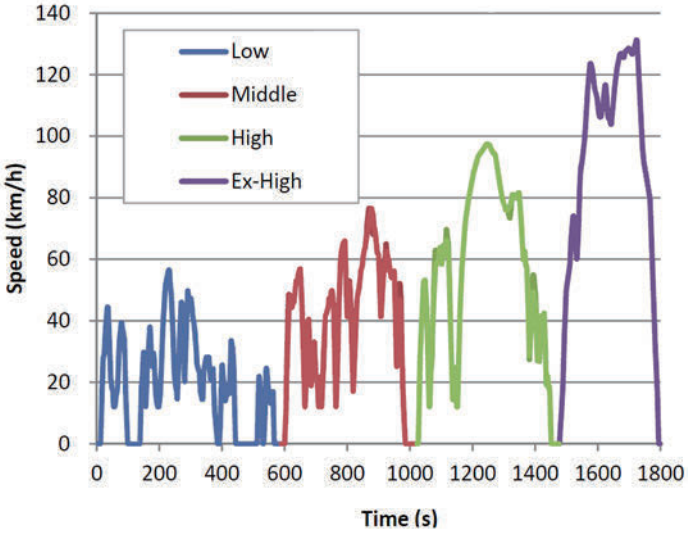


図２　国際調和試験サイクル（WLTC）の一例

2012 年 6 月に第 1 回会合が開催され、議論を重ねた結果、現状の技術状況を解説するとともに、将来の UN-GTR 化を推奨する項目を記載したレファレンスガイドを完成させた。これが 2014 年 6 月の GRPE で了承された。11 月の WP29 で正式承認される予定である。現在、UN-GTR 化推奨項目をさらに吟味して、具体的な作業に入るかどうかを審議するための、新たな活動に入る準備をしている。日本としては引き続き積極的に関与して行く予定である。

２．２．３．ＥＰＰＲ

欧州には、モペッドと呼ばれる小型、低速の二輪車から小型の四輪車までを包含する L カテゴリーと呼ばれる車両区分がある。欧州委員会は、これらの排出ガス規制を強化する計画を立て、これに併せて、国際基準の整備を提案した（EPPR; Environmental and Propulsion Performance Requirements of L-category vehicles ）。日本も二輪車の排出ガス規制の強化を予定していたため、この機会に基準の国際統一化を図るべく活動に参加した。UN-R、UN-GTR 両者の改訂あるいは新規作成を目標としている。日本は UN-GTR に係わる議論を優先すべきと主張し、現在その方針で作業をしている。交通安全環境研究所は二輪車の燃料蒸発試験に関し燃料性状の影響について検討した結果をまとめ会議に提出した。

２．２．４．その他

粒子測定プログラム（PMP）については、粒径 23nm 以下の粒子の規制の必要性や測定精度を高めるための技術的検討に関する Phase2 の活動を実施しており、引き続き交通安全環境研究所の専門家が参画している。なお、最近、ロシアが自動車のブレーキやタイヤから発生する粉塵について基準化の可能性を検討すべきという問題提起を行った。このグループで議論を進めるという方針は定められたが、直ぐに基準化を検討するには不明確な点が多々あるとの意見が出て、実態調査等の研究から行うべきとの結論になった。

２．３．今後議論される課題

WLTP については、Phase1b が終了した後、Phase2、Phase3 の活動が残されている。課題の詳細は今後の議論に委ねられるが、低温試験、高地試験、試験燃料性状、規制値等の課題が残っている。

韓国から車室内の、いわゆるシックハウス症候群物質規制（VIAQ; Vehicle Indoor Air Quality）の必要性について提案がなされた。国際的な統一基準を定めるには時期尚早との意見が出され、これもまず実態把握を進めることで合意した。

先に述べたように日本は排出ガス性能に関する UN-R は採用するに至っていない。一方で、日本の提案により、国際的な車両全体を対象とした型式認可（IWVTA; International Vehicle Type Approval system ）による相互承認制度の整備が進められている。したがって、IWVTA に適した排出ガス性能に関する UN-R の改訂作業に、今後加わっていく必要があるものと考えられる。

３．騒音（ＧＲＢ）関係

３．１．今までの活動の概要

３．１．１．ＵＮ－Ｒ

2008 年 12 月に環境省の中央環境審議会より、国内の加速走行騒音規制の見直しが答申された。この際、可能な範囲で国際的な基準調和を図る方針が示された。加速騒音規制のための規則として二輪車用の UN-R41 と乗用車用の UN-R51 の二種がある。UN-R41 については新試験法と規制値、さらに回転数の高い加速領域等で騒音が急激に増加する車両を規制するための追加試験法（ASEP; Additional Sound Emission Provisions）を含む改訂案が提示されていた。交通安全環境研究所ではこの試験法の妥当性を確認する試験を実施し、結果を環境省に提出した。その結果、UN-R41 改訂案に日本も賛成し WP29 で採択され 2012 年 4 月より発効した。

UN-R51 についても、同様の議論がなされており、交通安全環境研究所で市街地走行を行い試験法の妥当性を確認し、環境省に報告した。なお、UN-R51 では、規制値の提案がなされていなかったため、将来の国内導入を睨んで、日本から積極的に規制値提案を行った。その結果、欧州委員会等との調整が付き、新試験法、規制値を含む UN-R51 改訂案がまとまったところである。

３．１．２．ＵＮ－ＧＴＲ

2008 年 2 月の GRB において、全米盲人協会から、ハイブリッド車など静かな電動車両が盲人、子供、老人等の歩行時の安全性低下につながることを懸念するとのプレゼンテーションが行われた。WP29 で取り扱いが議論された結果、これは自動車の安全性に係わる課題であるが、音の専門家が集まる GRB で扱うのが合理的と判断された。

安全基準に係わることであるが、環境技術の進化に伴い生じた課題であるため、関連した話題としてここで紹介する。

日本では、国連で問題提起される前から、静かな電動車両に対する安全性低下の懸念が指摘されていた。このため、国土交通省は検討委員会を設置し、2010年1月に、世界に先駆けて「ハイブリッド車等の静音性に関するガイドライン」を公表した。このガイドラインでは、モーターのみで低速走行している時は音で車両の接近を知らせることとし、車両接近通報装置が満たすべき要件を示した。この指針の策定にあたっては交通安全環境研究所でこの装置の体験会を実施するなど技術面で貢献した。

このような背景の下に、2010年2月に、GRBの傘下に電気、ハイブリッド自動車静音性（QRTV; Quiet Road Transport Vehicles）インフォーマル会議が設置され、国際基準の検討が始まった。

日本は、日本の定めたガイドラインを国際標準とするべく紹介に努めるとともに、日本の自動車メーカーが試作したガイドラインに基づく車両接近通報装置のデモンストレーションを国連の構内で実施した。その結果、日本のガイドラインとほぼ同様の内容で、国際的なガイドラインが2011年3月にWP29で承認された。

一方、米国は自動車の静音性対策の基準化を目指しており、UN-GTR の作成を望んだ。日本も最終的には基準化が必要との立場だったことから、ハイブリッド自動車静音性（QRTV）インフォーマル会議を改組して、2012年7月よりUN-GTR作成のための活動に入った。このインフォーマル会議の議長は米国が担当し、副議長は交通安全環境研究所の職員が務めることになった。日本や欧州は既に定められている、WP29のガイドラインをベースに基準化を進める方針を取ったが、米国がこれに難色を示し、合意を目指して細部の議論を続けていくことになった。

3．2．現在の主な活動

UN-R については、意見のまとまった UN-R51 改訂案の審議を待っているところであり、現在の主な議論は電気、ハイブリッド自動車静音性に関するものである。

先に述べた、QRTV インフォーマルグループで UN-GTR のための議論を引き続き行っている。その中で、日本、欧州と米国との意見の乖離が未だに埋まっていない。日本は、聞こえやすさを確保しつつ、うるささを感じさせない車両接近通報音として、1250Hz以上と、800Hz以下のそれぞれに、少なくとも1つ卓越したバンドをもつ、2バンドのコンセプトを主張している。一方、米国は8バンドでの規定を主張しており、平行線のままである。当初の予定では、2014年9月までにUN-GTR案を作成する予定であったが進展を見ていない。このような状況下で、欧州が、既に存在するガイドラインに近い形で1958年協定の下にUN-Rを先に整備する、という提案を行った。日本としては、UN-GTR と UN-R の内容を整合させるべきという基本方針を取っており、仮に UN-GTR が後から成立した場合は、その内容を UN-R に反映させることを条件に、議論に参加する方針である。

3．3．今後議論される課題

日本は二輪車騒音に関する UN-R41 の国内取り入れを決め、乗用車に関しても UN-R51 を取り入れることを前提に改定を目指している。この UN-R51 をさらに改定する内容として、ISO で規格化されている室内試験（Indoor test）の基準化が提案される可能性がある。国内取り入れに問題が生じ無いように対応していく必要がある。また、UN-R28 の見直し提案として、警音器の車両試験方法と判定値の改訂が議論される予定である。

4．まとめ

交通安全環境研究所は、研究成果の提供だけでなく、議長や副議長として基準作成のためのインフォーマルグループの運営に深く関わるなど様々な活動を通じ、UN-R、UN-GTR の作成あるいは改訂に積極的に協力してきた。

現在、日本の提案で、国際的な車両全体を対象とした型式認可（IWVTA）の相互承認制度の整備が進められている。騒音関係の基準については既にこのための作業に着手しているが、今後は、排出ガス関連の基準について、成立した UN-GTR の内容が UN-R の改正において適切に反映され真に国際調和された基準として成立するように、力を入れていくことが重要になると考えられる。

UN-GTR の作成、改定に関しては、引き続き交通安全環境研究所の研究成果を会議の場に提出しつつ、議長等の役職を担ってインフォーマルグループの運営に関与していく予定である。

7．自動車審査部における審査の概要について

自動車審査部長　佐竹　克也

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として、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下、厳正に実施している。

一方、昨今、燃料電池自動車や自動走行システムなどの次世代の自動車やインフラの取り組みがなされているが、審査部の業務実施に当たっては、技術開発による産業振興が円滑に図られるよう、また、商品としての自動車の国際的な流通を阻害しないように合理的に取り組むことも重要である。

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．自動車審査部の業務実績

平成 25 年度の自動車等の審査型式数は、自動車にあっては 2701 型式、自動車装置にあっては 338 型式である（図１参照)。

また、メーカーの設計・開発をより円滑に進めるため、審査業務に先立ち試験等を行う先行受託試験については、平成 25 年度は 147 件(対前年度 63 件増)の受託があり、積極的な利用が進んでいる。

さらに、国連協定規則に基づく、日本政府による装置型式指定の認定証（E43）発行については、平成 25 年度は 66 件(対前年度 45 件増)と、積極的な利用が進んでいる。

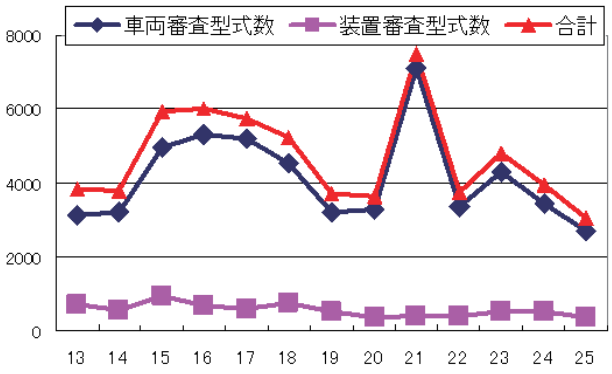


図１　審査型式数の推移

3．昨今のトピックス

3．1．燃料電池自動車

地球温暖化が年々深刻化する中で、次世代自動車として、水素ガスを燃料とする燃料電池自動車が注目されており、我が国においても、実用化に向けた開発が進められている。

水素ガスを燃料とする燃料電池自動車に係る基準については、平成 25 年 6 月の国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）第 160 回会合において、「水素及び燃料電池自動車に関する世界統一技術基準(HFCV-GTR)」が採択され、平成 26 年 2 月には、わが国の自動車安全・環境基準に、衝突試験後の車室内の水素濃度やガス容器の車両への固定状態等の要件が追加された。

審査部では、基準が定められたことを受け、法規の詳細な解釈及び試験方法について、マニュアルの作成を行うなど基準適合性試験を円滑に行うための調整を進めており、こうした取り組みを通じて、燃料電池自動車の実用化を推進している。

3．2．燃費性能の改善

燃料資源の有効活用や地球温暖化の防止の観点から、ガソリンや軽油を燃料とする自動車の燃費性能の改善は重要な取り組みである。

そのため、審査部では、審査業務の一環として燃料消費率の測定を行っており、その結果については、

国土交通省から広く公表されるとともに、エコカー減税（自動車取得税・自動車重量税）やグリーン化特例（自動車税）の取扱いにも活用されている。

特に、近年は、ユーザーの燃費に対する関心の高まりもあり、燃費の改善が進んでいる（図２参照）。

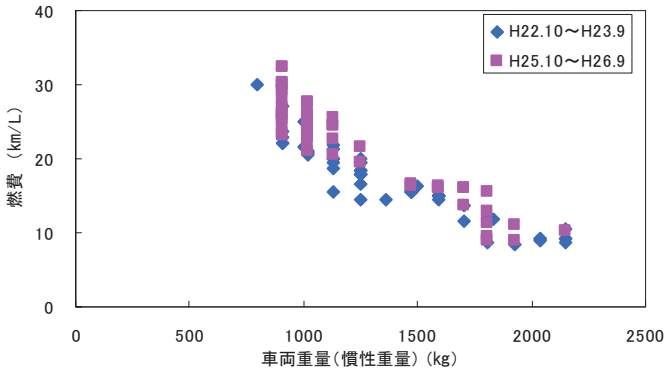


図２　ガソリン乗用車の燃費改善状況

このような燃費を取り巻く状況を踏まえ、燃料消費率の測定に当たっては、厳正かつ公正な実施が何よりも重要であり、こうした取り組みを通じて、燃費性能の高い自動車の普及を推進する。

３．３.車線逸脱警報装置

次世代インフラとして、自動運転システムや安全運転支援装置が注目されているが、これらに関連して、昨今審査を開始した装置として「車線逸脱警報装置」がある。

この装置は、車線を正確に検知し、逸脱しそうな場合に、音やランプによりドライバーに警報するもので、道路端のガードレールや防音壁への衝突防止に非常に有用なものであり、大型トラック・バスを対象に平成 27 年 8 月の義務付けが予定されている。審査部では、この装置に関する試験を順次実施しているところである（図３参照）。



図３　車線逸脱警報装置の試験

安全運転を支援する装置としては、その他に「被害軽減ブレーキ」などがあるが、こうした装置の着実な普及が、さらに高度な次世代インフラの実用化に寄与することを期待している。

４．まとめ

近年の複雑で高度な新技術の導入、燃料電池自動車等の革新的技術の普及、さらに、安全・環境基準の強化に伴い、審査に必要となる知識・技術レベルが高まっている。

また、グローバル化が進展する国際自動車市場の中で、自動車の基準調和、IWVTA（国際的な車両型式認証制度）等相互認証など、自動車審査業務の国際化の必要性も益々高まっている。

このような中で、審査部は、信頼性の高い審査制度の運用と確実な業務の実施により、自動車の安全確保、環境保全等を実現しつつ、自動車産業の成長にも十分貢献できるよう、今後とも、適切な審査体制の保持・整備を通じて、厳正な審査のなかで、合理性・効率性を追求していく所存である。

８．リコール技術検証業務の実施状況について

リコール技術検証部　　※山﨑 孝章　　大矢 純　　田中 丈晴　　山崎 明男

１．まえがき

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

当部では、自動車メーカーで設計・開発に長く携わり高度な知識及び豊富な経験を有する技術者のＯＢや当研究所の研究領域で長く研究に従事してきた研究者のＯＢを技術検証官として採用し、当研究所内の各研究領域及び自動車審査部との連携の下に技術検証を実施している。平成 25 年度は、71 事案の検証を新規に開始し、98 事案（平成 25 年度以前の開始事案等を含む。）の検証を終了した。このうち、リコール等の市場措置に関連した事案数が 32 件であった。また、リコール届出内容の妥当性に関して検証した事案が 13 件あるほか、事故や火災の現地見分調査 47 件、検証実験 11 件の実施を通じて、メーカーから示される技術報告の内容を確認する等の業務を行っている。

ここでは、平成 25 年度におけるリコール技術検証業務の実施状況として、事故・火災情報等の傾向について紹介するとともに、当該年度に技術検証を終了した事案に係る不具合原因の傾向及び不具合事例について、要因別に概説する。また、同年度に市場への注意喚起を行った事例として、国土交通省からの受託調査として実施した、オートマチック車を対象とした「エンジン停止走行」に繋がるおそれのある事象に関する調査の結果概要についても紹介する。

２．自動車不具合情報、事故・火災情報の状況

２．１．不具合情報の処理状況

自動車の構造・装置に起因する不具合の疑いがあるとして国土交通省に報告される情報は、ユーザー及びメーカーからの不具合情報のほか、メーカーからの事故・火災情報や他省庁からの情報などがあり、当部では、これらの情報について予備的な分析作業を行っている。平成 25 年度に処理を行った件数は約 8,500 件であり、その内訳は表１のとおりであった。

表１　平成 25 年度における不具合情報の処理件数

（件）

	不具合情報数
ユーザーからの不具合情報	2,757
メーカーからの事故・火災情報※	1,527
メーカーからの不具合情報※	3,527
警察からの通報	278
消費者庁からの通報	291
その他（消防等からの通報）	111
計	8,491

注）（※）は平成 25 年１月～12 月までの間の件数、その他は平成 25 年４月～26 年３月までの間の件数を表す。

２．２．事故・火災情報等の装置別及び原因別傾向

自動車メーカー等から報告された自動車の構造・装置に起因した事故・火災情報のうち、装置名及び原因が判明した 802 件について、装置別及び原因別に分析した結果を図１に示す。装置別では、原動機、制動装置、電気装置で事故・火災が多く発生していることが分かる。また、原因別では、各装置とも点検・整備が原因となることが多いが、原動機や制動装置では特殊な使用状況、保安・灯火装置では社外品・後付装置の使用が原因となる事例も多くみられる。全体として、点検・整備や使用状況に関連する要因が７割以上を占めており、これら事故・火災の未然防止のためには、ユーザーや整備事業者への注意喚起も重要であることがわかる。

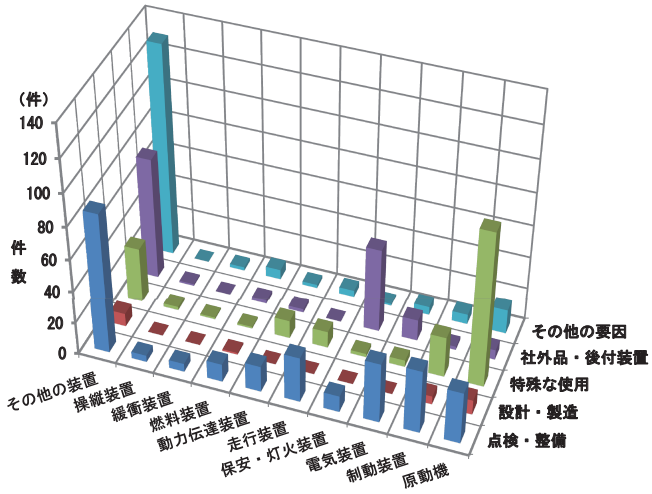


図１　事故・火災情報の装置別及び原因別傾向

３．技術検証の実施状況

３．１．新規に着手した不具合装置別検証事案数

平成 23 年度から平成 25 年度の３年間に新規に着手した検証事案について、不具合装置別にみた検証事案数を表２に示す。年度合計でみると、新規に着手した技術検証事案数は減少傾向にあるが、装置別では制動装置、燃料装置のように増加しているものもみられる。電気・電子装置については、ここ数年増加傾向にあったものの、平成 25 年度には２件にとどまっている。また、原動機や制動装置については、過去３年間でも常に上位を占めているが、この傾向は平成 25 年の事故・火災情報の装置別傾向とも類似している。

表２　不具合装置別新規検証事案数の変化
（平成 23 年度～平成 25 年度）

（件）

不具合装置	H23年度	H24年度	H25年度
原動機	39	24	16
制動装置	13	11	16
燃料装置	10	10	13
動力伝達装置	21	11	8
電気･電子装置	7	12	2
その他	38	27	16
計	128	95	71

３．２．検証終了事案の不具合原因の傾向

平成 25 年度に技術検証を終了した事案数は 98 事案で、内訳は乗用車 63 事案、トラック・バス 35 事案であった。このうち、不具合の発生原因が確認できなかった３事案を除く 95 事案について、不具合の原因傾向を検討した。方法として、原因を「設計」、「製造」、運転操作要因や外的要因（燃料品質、過積載等）を含む「使用条件」と「整備」の４つの要因に分類し、原因が３つ以上の要因によるとされた事案（２件）を除き、これらの要因の組み合わせ傾向を考察した。

図２に集計結果を示す。全体として、設計・製造の要因によるとされる事案が全体の８割程度を占めている。当部では、リコール（設計・製造上の不具合に対する市場措置）の疑いがある不具合について検証に着手しているが、結果として整備上の問題や使用条件が原因であると判断されたものがそれぞれ１割程度存在していることとなる。また、設計・製造要因が他の要因と組み合わさって不具合が発生したと考えられる事案が２割強と多くみられる。なお、車種別でみると、乗用車の場合は設計単独要因の事案がトラック・バスと比べて多く、トラック・バスの場合は設計要因と使用条件（燃料品質や過積載）との組み合わせによる事案が多くみられる。

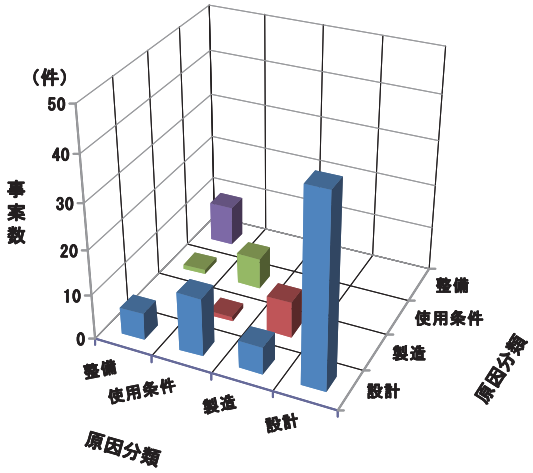


図２　終了事案の原因組み合わせ別の傾向

３．３．技術検証が市場措置に繋がった事案

国土交通省によると、平成 25 年度のリコール届出件数は 303 件、対象台数は 797 万 8,639 台となり（いずれも速報値）、リコール対象台数は過去 10 年で最高となっている。このうち、技術検証がリコール及び改善届出に関連した事案数が 18 件、その他の市場措置（サービスキャンペーン、保証期間延長、市場への注意喚起）に関連した事案数が 14 件であった。上記のリコール及び改善届出の対象台数は 327 万台となり、平成 25 年度のリコール届出対象台数（798 万台）の約 41％を占めている。以下、リコール届出事案のうち主

なものについて、前項の原因組み合わせに沿って不具合事象の事例を紹介する。

①原因が設計要因のみであった事案

- ハーネスコネクタ腐食が原因でショートや焼損に至るもの
- 自動変速機の不具合
- アクセルワークユニット不具合によりエンジン不調が発生するもの
- 発電機と燃料パイプ部のプロテクタが破損するもの
- 触媒装置が破損するもの
- プロペラシャフトが脱落するもの

②設計と製造の要因が組み合わさったもの

- クランク角センサー故障で走行中にエンジンが停止し再始動不能となるもの
- プライミングポンプ亀裂により燃料漏れを発生するもの

③設計と使用条件の要因が組み合わさったもの

- 高重心で厳しい旋回走行時にスタビリンカアームが亀裂・折損するもの
- エアインテークダクト固定用クリップの設計問題（使用環境）によりクリップに亀裂が入りダクト脱落に至るもの

３．４．検証実験及び現地車両調査の実施状況

平成 25 年度の検証実験テーマ数は 11 件（対前年度１件増）で、中型トラックを対象とした制動力アシスト作動条件の検証実験、AT シフトレバー高温高湿耐久試験、油脂類の焼損痕調査などを実施した。また、現地見分調査は 47 件（対前年度３件減）実施し、国土交通省担当官に同行し、技術検証に必要な資料の収集に努めた。最近の傾向として、ブレーキが効かなかったとする事象、従来からのシフト誤操作による事故や新システム関連での操作上の問題が窺われる。

４．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

４．１．調査の背景

前項までに述べたとおり、不具合情報や技術検証事案の中には、設計・製造以外の要因が原因となる事例も数多くみられるが、この中には、ユーザーが適切に使用することで事故を未然に防ぐことができるものもあると考えられる。平成 25 年度においては、このような観点から、オートマチック車を対象としたエンジン停止状態での走行（以下「エンジン停止走行」という。）に繋がるおそれのある事象に関する調査を国土交通省の受託調査として実施した。具体的には、急な下り坂などでのエンストからエンジン停止走行となり、ブレーキの効きが悪くなったりハンドル操作がしにくくなったりして事故等に至ったとする情報が国土交通省に多く寄せられている状況を踏まえ、過去の不具合情報等の収集、代表的な事象の再現実験による確認及び運転時における注意点等の取りまとめを行った。

４．２．エンジン停止走行に起因する不具合

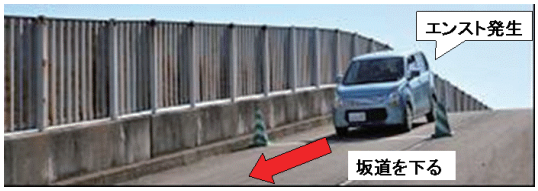
平成 23 年から平成 25 年までの間に自動車メーカーから国土交通省に報告された事故・火災等情報のうち、エンジン停止走行が起因となる事例は 111 件（ブレーキ倍力装置又はパワーステアリングに失陥があったとする報告（1,315 件）の８％）であった。また、エンジン停止走行の多く（73%）は下り坂で発生しているが、具体的状況としては、下り坂途中で駐車後の降坂時、下り坂上方にある駐車場からの出庫時の降坂時、下り坂で一旦後退後に前進する際、下り坂で対向車に道を譲るため一旦停止後の降坂時などに多く報告されている。発生原因としては、エンジンを始動させずに進行したもの（36%）や後退レンジで前進したもの（27%）などが多い。

４．３．再現試験

７台の試験車両（軽自動車３台、ワゴン車２台、セダン２台）選定し、勾配 12%以上の下り坂を後退レンジで前進した時、及び上り坂を前進レンジで後退した時の車両挙動に係る試験を行った（図３）。

その結果、下り坂を後退レンジで前進した場合、ブレーキをオフにしてから約４～６秒、走行距離約５～14mでエンストすることが、また、上り坂を前進レンジで後退した場合においても、同様の時間及び走行距離でエンストすることが分かった。

下り坂での試験結果の一例として、通常状態、エンスト直後にブレーキを一度踏んだ場合及びエンスト後に数度ブレーキを踏み倍力装置の機能を失陥させた状態でブレーキを踏んだ場合における制動距離を比較したグラフを図４に示す。縦軸は、制動距離を正常時における同じ踏力での制動距離の倍率で表した



下り坂（後退レンジで前進）



上り坂（前進レンジで後退）

図３　エンジン停止走行に係る再現試験の状況

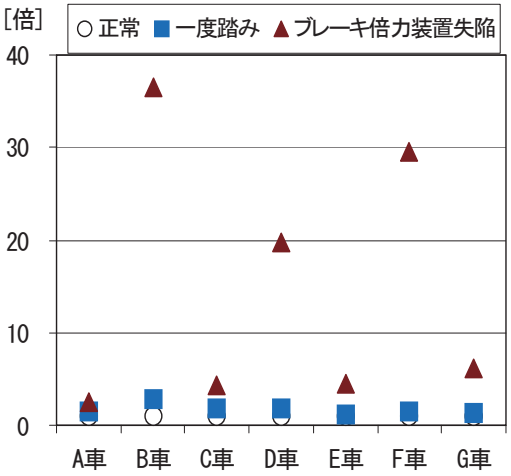


図４　制動距離の比較結果

ものである。車両により差異が認められるが、すべての車両で、エンスト直後にブレーキを一度踏む範囲では、正常時との制動距離の差が小さいことが分かる。

また、操舵性能に関しては、パワーアシストが失陥する車両と失陥しない車両があったが、失陥する車両は、正常時の約２～３倍の操舵トルクを必要とすることが分かった。

４．４．　ユーザーへの注意喚起

今回の試験結果から、事故防止のためのユーザーへの注意事項を以下のように整理した。

・　後退レンジで前進して坂を下る又は前進レンジで後退して坂を下るとエンストが起きる。→上り坂や下り坂で発進するときは、動き出す前に進行方向とシフトレンジ位置があっているかを確認すること。

・　プッシュ式スタート装置装着車においては、ブレーキペダルを踏まずにプッシュボタンを押す等始動操作が正しくなく、エンジンがかかっていないことがある。→エンジンが始動していることを、メータパネル内の警告灯、エンジン回転計で確認すること。

・　エンスト時にブレーキペダルの踏み直しを数回行うと、ブレーキ倍力装置のアシスト力が減少して、ブレーキペダルが硬くなり効きにくく、通常と同じ距離で停止するために必要な踏力が増加する。→ブレーキペダルを一度で踏み停止すること。ブレーキペダルが硬くなっても、故障ではないのでいつも以上の強い力で踏むこと。

・　エンスト時、パワーステアリングはアシスト力が減って必要な操舵力が大きくなり、ハンドルが重く切りにくくなる。→ハンドルはいつも以上の強い力で操舵する。

これらの調査結果及び注意事項は、国土交通省のHP（www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/rcl/index）等を通じて公表され、「オートマ車での誤った操作によるエンストに注意！！」としてビデオ映像とともにユーザーに向けての注意喚起が行われている。

５．まとめ

リコール技術検証部の平成 25 年度における技術検証業務の概要について概説するとともに、同年度に行った、オートマチック車を対象とした「エンジン停止走行」に繋がるおそれのある事象に関する調査の結果について紹介してきた。

これまで８年余りの技術的検証の経験からみえてきたことは、自動車の構造・装置に係る不具合は、その直接の原因は単純なものであっても、その背景には、点検・整備、使用環境及び設計・製造に係る要因が複合しているものが多く、再発防止、さらには未然防止を図っていくためには、メーカー、整備事業者、ユーザー及び行政が、それぞれの立場で、また連携して取り組むことが不可欠ということである。当部としても、このような観点のもと、技術検証業務やこれに関連した市場への注意喚起をすすめ、重大不具合の撲滅に貢献していく所存である。

交通システム研究領域における研究の概要と方向性

交通システム研究領域　　※廣瀬 道雄

１．まえがき

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

その中で交通システム研究領域では、交通社会の安全・安心の確保及び地球環境問題の改善に貢献することを目的として、安全性の高い公共交通システムの構築及び公共交通システムの利用促進等の観点から研究に取り組んでいる。本稿では、交通システム研究領域が実施している研究の概要について報告する。

２．交通システム研究領域の研究

２．１．基本的視点

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

これらは国土交通省における鉄道分野の主要施策に対応しているものであるが、近年、国土交通省ではこれらに加え、我が国の鉄道技術の海外展開を重要施策の一つとして位置づけており、当研究所においても、日本の鉄道技術の国際規格化に注力するとともに、鉄道認証室を設置して、国際規格適合性認証（鉄道製品認証）に積極的に取り組んでいるところである。

また、索道（ロープウェイ、リフト等）の試験を行うことができる我が国唯一の公的機関として、索道に関する試験研究にも継続的に取り組んでおり、握索装置（搬器をロープに固定する装置）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実施している。

２．２．交通システムの安全・安心の確保

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

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

安全性評価技術に関する取り組みについては、新たに開発されたシステム等の安全性評価を受託研究として継続的に実施するとともに、評価を通じて蓄積したノウハウを活用し、今後の安全性評価や国際規格適合性認証を円滑、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た評価手法について整理・体系化を進めている。

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

どを実施している。

シミュレーション技術については、鉄道の運転状況を模擬することができる鉄道安全性評価シミュレータにより、運転状況記録装置から得られる実運行データ及び路線線形、運行ダイヤに関する情報をもとにインシデント事象を抽出し、安全運行に役立てるための研究を進めている。運転状況記録装置は、平成 17 年に発生した JR 福知山線列車脱線事故を契機に設置が義務付けられ、現在、普及は進んできているが、そこで蓄積されるデータをいかに活用するかが課題であることから、データの有効活用に向けて貢献していきたいと考えている。

また、自動車・鉄道の双方を所管する当研究所の特徴を活かしたモード横断的取り組みも進めており、昨年度は、路面電車と自動車間の事故防止を目指して、東京大学、マツダ、広島電鉄とともに、車車間通信を活用した安全運転支援システムを構築し、第 20 回 ITS 世界会議東京 2013 のポストコングレスツアーとして、広島において公道での実証実験を行った。

２．３．地方鉄道の維持・活性化

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

また、将来に向けて一層の保守負担軽減、省コスト化を図るには、軌道回路等の地上設備に頼っている列車の位置検知を車上主体に置き換え、地上設備を削減・省力化することが求められる。このため、当研究所では、国土交通省からの受託研究として、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の精度・信頼性等に関する研究にも取り組んでいる。

２．４．公共交通利用促進等による地球環境問題の改善

公共交通の利用促進に関する研究は、LRT 等の軌道系システムやデュアルモードシステムなどの交通システム、及びそれを補完する輸送機関について評価を行うとともに、地方自治体や広く一般社会への理解促進・啓発活動を行うなど、公共交通システムの普及促進に関する取り組みを実施している。

LRT は、省エネルギー性が高く、乗降における上下移動が少ないため、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、デュアルモードシステムなどを対象に、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、公共交通優先信号を導入した場合の定時性確保に対する効果及び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。

また、公共交通においては、利便性が高く安定した運行ダイヤの確保は重要な課題であることから、鉄道、路面電車のダイヤを対象として、シミュレーション技術を活用し、運行乱れ時における利用者への影響も考慮した運行ダイヤ評価手法の研究に取り組んでいる。

２．５．国際標準化及び国際規格適合性認証

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

また、日本の鉄道技術を海外へ展開するにあたり、第三者機関（認証機関）による国際規格適合性認証を要求されることが多くなり、近年、海外展開の要件の一つとなっている。当研究所の鉄道認証室は、我が国初の鉄道分野における製品認証機関として認定を取得し、認証活動に積極的に取り組んでおり、認証書の発行実績も増えてきている。

３．今後の展開

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

これからも、当研究所が有する研究資産と、安全性評価技術、シミュレーション技術など、これまで培ってきた技術力を最大限活用し、安全で安心な国民生活に結びつく研究に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

１．車車間通信システムを活用した軌道系公共交通の安全性向上への取り組み

交通システム研究領域　　※竹内 俊裕　　長谷川 智紀　　山口 大助
環境研究領域　　坂本 一朗

１．まえがき

自動車分野における安全性向上については、国土交通省自動車局が交通事故死傷者数削減を目的として推進しているＡＳＶ推進計画において、衝突被害軽減ブレーキやレーンキープアシストシステム等の自律検知型安全運転支援システムの開発・実用化を推進しており、普及が進んできている。しかし、平成 25 年における交通事故の被害者数は、死亡者が約 4400 人、負傷者が約 78 万人となっており [1]、依然として深刻な状況にある。そのため、見通しの悪い交差点での出会い頭事故等、自律検知型システムで防ぐことのできない事故に対して、車車間通信等を利用して情報提供や注意喚起を行う通信利用型安全運転支援システムの実用化に向けた検討も進められているところである。

一方、鉄道分野においては、列車の運転保安に直結する列車位置検知は、実績のある軌道回路が引き続き主要な方式となっているが、運行管理や保守管理などの業務を対象に GPS 等による新たな位置検知技術が取り入れられてきている状況にある。また近年では、地上～車上間の無線通信システムに基づく新たな方式の運転保安装置も実用化されている。

このように、自動車、鉄道のそれぞれの分野において、通信技術を効果的に活用することにより安全を確保するための研究開発、実用化が進められている状況にある。

そのような状況の中、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徴を活かし、通信技術を活用して、双方の交通モードにかかわる事故を防止し、安全性を向上するための研究を進めている。本稿では、そのような当研究所の取り組みの一端を紹介する。

２．通信を活用した安全性向上への取り組み

２．１．通信を活用した鉄道での取り組み

自動車と鉄道の接触点となる踏切では、表１に示すように、鉄道事故全体の約４割に上る事故が発生しており、鉄道の安全にとって踏切事故防止対策は重要な課題となっている。

表１　鉄道事故件数における踏切事故件数 [2]

	鉄道事故件数	踏切事故件数
平成 18 年度	849	367
平成 19 年度	892	350
平成 20 年度	849	312
平成 21 年度	851	353
平成 22 年度	872	301
平成 23 年度	867	329
平成 24 年度	811	294

そのため、当研究所では、図１のように、踏切内で立ち往生した自動車と列車の衝突を防止することを目的とした双方向衝突防止システムを構築し、評価実験を行ってきた。

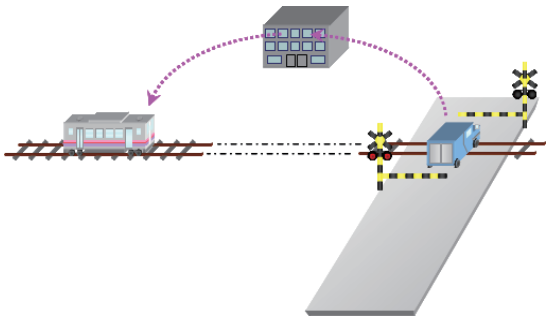


図１　双方向衝突防止システムイメージ図

このシステムは、自動車が踏切内で立ち往生した状態を、自動車に搭載した装置（実用時にはカーナビゲーションシステムに組み込む形態を想定）により検出し、汎用通信を利用してインターネット経由で鉄道の運行管理センタに伝送する。情報を受け取った運行管理センタは、踏切に接近しつつある列車に対して、汎用通信を利用してインターネット経由

で情報を伝送する。さらに、その情報を受信した列車の車上処理装置は、ＧＰＳにより検知した列車の位置に基づき、踏切までの距離と到達時間を運転曲線から算出し、衝突までの余裕時分に応じて、運転士に対し注意喚起や警報を出力するものである。また、ＧＰＳによる列車の位置情報は、車上処理装置から運行管理センタに伝送され、運行管理センタでも注意喚起等の情報を出力するとともに、さらにその情報を自動車の車載装置に伝送し、自動車側でも状況が把握できるシステムとしている。

評価実験は、自動車の車載装置を模擬する模擬ナビゲーション装置と鉄道の運行管理センタを模擬するセンタ処理装置を製作し、車上処理装置を実際の列車に設置して実施した。その際、踏切に自動車が立ち往生している状態は、踏切近くに駐車した自動車の位置を踏切上にマップマッチング補正することで模擬した（図２）。また、運転士に提示する情報は、列車が踏切に到達するまでの余裕時分が１～３分の場合は注意喚起、１分未満の場合は警報を出力するように設定した。

実験の結果を図３に示す。まず、自動車に設置した模擬ナビゲーション装置が踏切内での立ち往生を検知し、携帯回線でセンタ処理装置に伝送する（①）。センタ処理装置は、受信した情報を接近中の列車の車上処理装置に伝送する（②）。情報を受信した車上処理装置は、現在位置と当該踏切までの距離から余裕時分を算出し、１～３分の場合は運転士に注意喚起を出力する（③）と同時に、その情報をセンタ処理装置へ伝送する（④）。情報を受信したセンタ処理装置は、画面上に注意喚起を表示するとともに、自動車の模擬ナビゲーション装置にも注意喚起の情報を伝送する（⑤）。その後、列車が進行し、余裕時分が１分未満となったところで、注意喚起から警報に出力が切り替わることを確認した。

評価実験により、自動車の立ち往生の検知状況、汎用通信による通信状況、到達までの余裕時分に応じた注意喚起と警報の出力状況および各装置間における情報の同期等について検証を行い、本システムが踏切における自動車と列車の衝突事故を防止できる可能性があることを確認した。

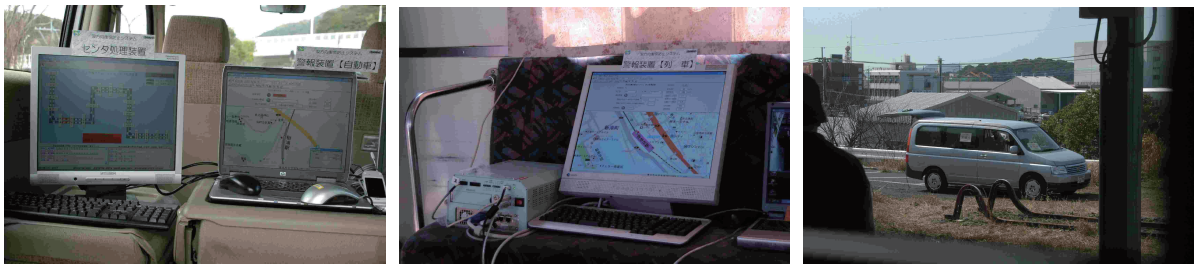


図２　模擬ナビゲーション装置とセンタ処理装置（左）、車上処理装置（中）、立ち往生を模擬した自動車（右）

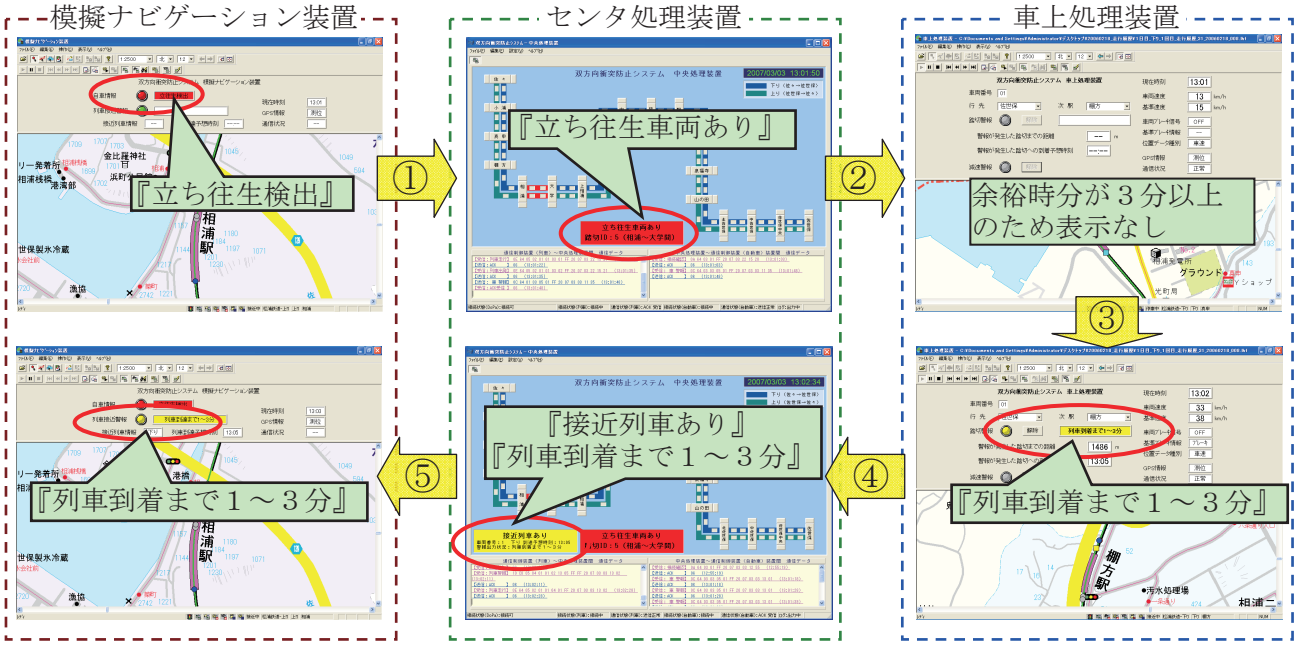


図３　双方向衝突防止システムの実験結果

２．２．通信を活用した路面電車での取り組み

近年、路面電車は、環境負荷が少なく大量輸送が可能という点から見直されてきているが、自動車と道路を共有することから、自動車と接触する事故が多く、年間 60～90 件程度の道路障害事故が発生しており、その半数以上が交差点において発生している[3]。そこで、ITS 技術を活用し、路面電車と自動車の双方の安全性を高め、道路を共用する両者が共存できる交通社会を構築することを目的として、東京大学、マツダ(株)、広島電鉄(株)、当研究所による広島地区ＩＴＳ共同研究体を組織し、第５期ＡＳＶ推進計画で実用化の検討が進められている通信利用型安全運転支援システムを活用して、路面電車と自動車の双方へ支援するシステムを構築し、公道での実証実験を実施してきた。

その集大成として、2013 年 10 月に開催された ITS 世界会議東京 2013 のポストコングレスツアーにおいて、世界初の路面電車・自動車間通信による安全運転支援システムを公開し、実証実験を行うとともに、このような取り組みを世界に発信した。

具体的な実施内容は以下の通りである。

構築した路面電車・自動車間通信による安全運転支援システムは、見通しの悪い路地から軌道敷を横断して右折する自動車と接近する路面電車が接触する可能性がある場面（図４(1)）や、交差点で右折待ちをしている自動車と後方から接近する路面電車が接触する可能性がある場面（図４(2)）を支援対象場面とした。支援は自動車のドライバーと路面電車の運転士双方に行い、両者に相手の情報を伝え、接近の警報を出すことで、支援をより効果的なものとした。路面電車側での支援の流れとしては、GPS により検出した位置、進行方向、速度と車車間通信で受信した自動車の位置、進行方向、速度、ウィンカー情報から、支援の必要があると判断した場合に、運転席に設置した支援モニタにより、場面に応じた画面表示と音声メッセージで注意喚起を行うこととした[4]。

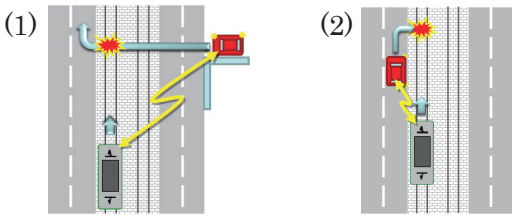


図４　運転支援を実施した場面

実証実験では、自動車、路面電車それぞれの情報が通信システムにより確実に伝送されることや、両者が接近し接触の可能性があると判断した場合に、ドライバーと運転士に場面に応じた支援が行われることを検証し、自動車と路面電車の接触事故の防止に効果があることを確認した。

２．３．通信を活用した歩行者と自動車間の取り組み

自動車と他のモードとの間の安全性の向上については、鉄道や路面電車との事故の防止に加え、歩行者事故の防止も取り組むべき課題の一つとなっている。

近年普及が進んでいるハイブリッド車や電気自動車は、低速でのモーター走行において、一般のエンジン車に比べ走行音が小さく、車両の接近に気がつきにくいとの指摘が、視覚障害者団体や一部の専門家から寄せられている。そのため、国土交通省では「ハイブリッド車等の静音性に関する対策」のガイドラインを定め、当面の対策として、自動車から注意を促すための音を出すこととなった。しかしながら、電動車両は今後も増加傾向にあり、全ての電動車両から音を出すことになると、新たな騒音源となる可能性がある。そこで、ＩＴ技術を活用し、視覚障害者と自動車の安全性を確保するために歩車間通信を活用した研究に取り組んでいる。歩車間通信については、2011 年度から実施されている第５期 ASV[5]でも検討が進められているが、ASV では自動車のドライバーへ歩行者の存在を知らせることを目的としているのに対し、本研究では、歩行者に自動車の接近を知らせることを目的とした検討を進めている（図５）。

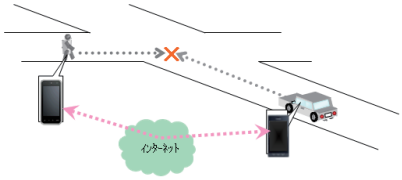


図５　歩車間通信システムイメージ図

検討中の歩車間通信システムは、普及が進んでいるスマートホンを活用し、自動車と歩行者双方で位置情報や進行方向、速度等を伝送し、自身の端末の情報と伝送された相手端末の情報から、単路で対向している場合等、接触の可能性がある場面において、衝突予測時間（TTC：Time To Collision）に応

じて情報提供や注意喚起を出力することとし、出力するタイミングや提供方法についても検討を進めているところである。今後、試作、評価実験を行い、歩車間通信の性能等について検証を行うこととしている。さらに、このシステムを路面電車にも適用可能か、検討を行っている。

３．今後の展望

３．１．踏切事故防止への取り組み

これまで述べたように、当研究所では、通信技術を利用して自動車と鉄道、路面電車、さらに歩行者との接触事故を防止することを目的とした取り組みを行ってきている。

今後は、これらにより培った知見を活用し、特に鉄道分野では、鉄道事故の約４割を占める踏切事故の防止に向けた研究をさらに進展させていきたいと考えている。踏切の事故防止対策は、鉄道事業者が踏切保安設備の高度化（１種踏切化、遮断時間の適切化）や踏切障害物検知装置の設置を進めており効果を上げているが、事故の態様により依然として接触・衝突に至るケースが認められる。そのことから、一層の安全性向上を図るためには、新たな踏切事故防止対策が求められている状況にある。そのため、２．１で述べた双方向衝突防止システムをベースに、地方鉄道での活用も視野に入れ、より低コストで、踏切に接近する自動車に対し列車の接近を知らせることができるシステムの検討を行うこととしている。

通常、踏切保安設備の制御は、列車の接近を検知して踏切警報機、遮断機を動作させ、列車の通過完了を検知してそれぞれの動作を終了させる。そのため、本システムは、列車の接近を検知した際に落下するリレーを用いて、踏切に接近する自動車に対して列車の接近情報を提供する（図６）。

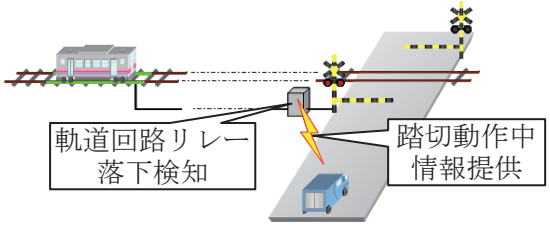


図６　踏切動作状態の伝送イメージ

自動車の車載装置をカーナビゲーションシステムに組み込めば、列車の接近情報をその HMI（Human Machine Interface）を通してドライバーに報知することができ、今までは目視のみで安全確認を行っていたドライバーに対し、新たな安全運転支援を行うことが可能となる。

さらに、踏切保安設備が動作中であるにも関わらず自動車が踏切内に進入した場合は、ドライバーが正常な運転ができない状態となっていることが想定されるため、自動車の自位置（踏切内）を列車に通信することにより、接触事故の防止や被害の軽減につながるものと考える。

なお、このシステムは、踏切内に進入した自動車の検知だけでなく、悪天候等で視界不良の状態で、踏切から線路へ誤進入してしまった自動車や、遮断機が降りるまでに渡りきれず、踏切内に取り残されてしまった歩行者等を検知することに応用することもできると思われる（図７）。

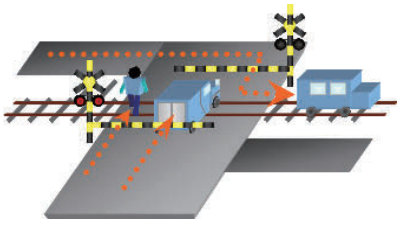


図７　システム応用例

４．まとめ

通信技術を利用した、自動車と鉄道、路面電車、歩行者との間の安全性向上への取り組みについて紹介した。

特に踏切事故の防止は、鉄道の安全対策の中で依然として重要な課題となっていることから、さらなる安全性向上に貢献できる研究に継続的に注力していきたいと考えている。

参考文献

1) 警察庁「平成 25 年中の 30 日以内交通事故死者の状況」

2) 国土交通省鉄道局「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報」(平成 18 年度～平成 24 年度)

3) 平成 24 年度軌道事業者道路障害事故の場所別割合、公益財団法人鉄道総合技術研究所作成の「鉄道安全データベース」より

4) 長谷川智紀、“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 年度交通研講演会、pp.27-40

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

２．鉄道におけるマルチ GNSS 測位の利活用技術

交通システム研究領域　　※吉永　純　　廣瀬　道雄　　林田　守正　　日岐　喜治

１．はじめに

鉄道分野において衛星測位の利用は、旅客サービス用途、運転補助用途、保守・保線用途等で実用化されており、列車制御に用いる研究も進められている。

海外では、省メンテナンス化を狙って駅間の部分には軌道回路を設置せず、無線通信と GPS(Global Positioning System)で列車位置を取得する方式が実用化されており、さまざまな衛星測位の利用法が拡がっていくと考えられる。

衛星測位は、GPS 以外にもさまざまシステムがある。日本では GPS 衛星と互換性があり、日本上空の高仰角に配置される軌道を持つ「準天頂衛星」(以下「QZS」(Quasi-Zenith Satellites System)という。）を平成 22 年に打ち上げており、平成 30 年度には４機、将来は７機体制となる予定である。また、ガリレオ(欧州)、北斗（中国)、GLONASS（ロシア）等の衛星測位システム（マルチ GNSS（Global Navigation Satellite System)）が構築されつつある。

GPS とは信号の搬送方法や、時間の定義に差異があるが、１台の衛星測位受信機（以下「受信機」という）により複数のシステムを統合的に利用できる、マルチ GNSS 受信機では、短時間で高精度の位置情報を取得できる等の利点があり、現状ではスマートフォンへの組み込みや、測量での利用等が進められており、受信機のマルチ GNSS 化は急激に進むと思われる。

本稿では、鉄道における衛星測位をマルチ GNSS で利活用する効果に関する試験等の結果を報告する。

２．マルチＧＮＳＳによる効果

衛星測位は、基本的には人工衛星（位置は既知）からの信号を受信した際に、その衛星との距離を把握し、自位置の座標（X,Y,Z)及び時計の誤差(t)を特定する技術である。この４つの変数を算出するために、最低４機の人工衛星から信号を受信する必要がある。

一般的に、地上には遮蔽物が多いため、地平線に近い低仰角の衛星の信号は遮蔽や、回折波による劣化（マルチパスと呼ぶ）の影響を受ける。利用できる人工衛星の母数が多く、かつ、天球上で衛星が偏在しない場合(偏在の度合いは HDOP(Horizontal Dilution of Precision)という指標値で示される）の方が位置検知精度が高くなる。そのため、利用可能な衛星が多くなるマルチ GNSS では、GPS のみより位置検知精度等が向上すると考えられる。

鉄道での衛星測位の利用形態は、静止中と移動中の状態の２つが考えられるが、それぞれの利用例として以下のものが考えられる。

(1)静止中に測位を行う用途

車庫内における列車起動時の位置測定、停車駅での番線検知、線路位置・設備の位置測定など

(2)移動中に測位を行う用途

走行中の自列車位置把握、曲線等の速度チェック、閉そく境界検知など

２．１．静止中の測位に対する効果

高精度の受信機には、設定した仰角以下の衛星を使わない機能があり、高度角マスクと呼ばれている。

図１は、高度角マスクの設定値別に D-GPS 方式で測位できた時間割合（FIX 率）を示したデータである。

駅部や、線路近くに３階建以上の建物がある場合、45 度程度の遮蔽物となるが、45 度では GPS 衛星のみ（青色）は FIX 率が大幅に低下するが、マルチ GNSS 測位（赤、緑、紫色）では 80%以上である。QZS は今後運用数が増えるため、さらに測位率（測位演算結果が得られた時間割合）が高まり、現在測位が難しい環境でも今後は衛星測位が利用できる可能性がある。

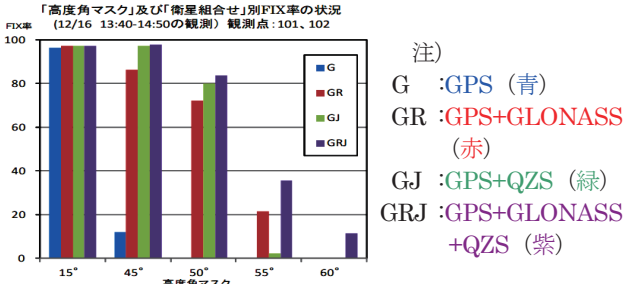


図１　高度角マスク設定による FIX 率の変化　※

※「準天頂衛星を利用する GNSS 実験観測及び技術指針の検討報告書」（平成 24 年 国土地理院）より抜粋

測位精度に関しても、QZS の L1-SAIF(補強信号)を利用する測位方式ではGPSの対流圏遅延誤差を軽減できるため、QZS の仕様上 2.60m（95%値）以内の測位精度が保障されており、一般的に 10m 程度とされている一般的な GPS と比べて、高い精度が期待できる。

２．２．移動中の測位に対する効果

鉄道の走行中には、周辺の建物や樹木等の影響により利用可能な衛星数が増減する。図２は、３．２に後述する車庫線内の走行試験（10 回）時の、GPS（青）、QZS（桃色）の可視衛星数を重ね合わせたものであるが、300m 付近で最小の場合には 1 機まで減っている様子がみられる。この周辺は、建物により仰角が 40 度程度まで絞られる環境である。

可視衛星数の増減時には、測位誤差の増大、測位不能が生じるため、マルチ GNSS により仰角の高い衛星が確保されることにより、測位精度の改善や、測位率が高まることが期待できる。

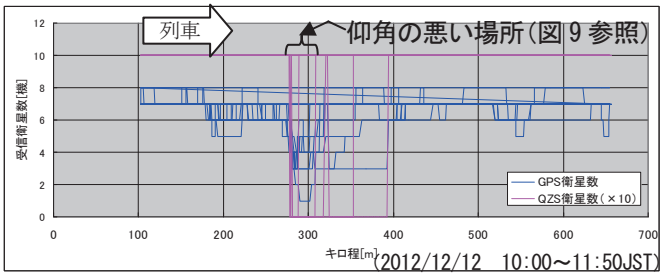


図２　走行中の GPS・QZS 可視衛星数の推移

また、QZS の後継機では、短いメッセージの放送機能（災害・危機管理通報）が搭載される予定であり、この利用による防災機能の向上等が考えられる。

３．衛星測位試験

当研究所では、鉄道分野への衛星測位技術の適用を念頭に、営業路線を用いた衛星測位精度等について検証試験を実施してきている。ここでは、その試験手法及び結果の概要について述べることとしたい。

３．１．試験装置

衛星測位精度を検証するシステムの基本構成を図３に示す。走行中の列車の位置をレーザドップラ車速計により正確に把握し、その位置と、衛星測位位置を比較することで誤差量を把握する仕組みとしている。

列車の位置は、精度の高いレーザドップラ方式の車速計（主な仕様は表１）を試験用に設置し、これを真値として走行開始地点（座標は既知）からの進行距離[m]を求める。進行距離は緯度・経度で示される座標系と相互に変換する必要があるため、線路の位置の衛星測量結果を信号機器メーカから提供頂き、この線形データを参照して変換することとした。

誤差は、線路方向成分、枕木方向成分に分けて解析を行う。受信機はアンテナ（前後２組）を分配し、複数の機種により測位を行うこととし、L1 信号（GPS のうち最も早く民間用に公開された信号。図５参照）により 5Hz 又は 10Hz で測位を行う。

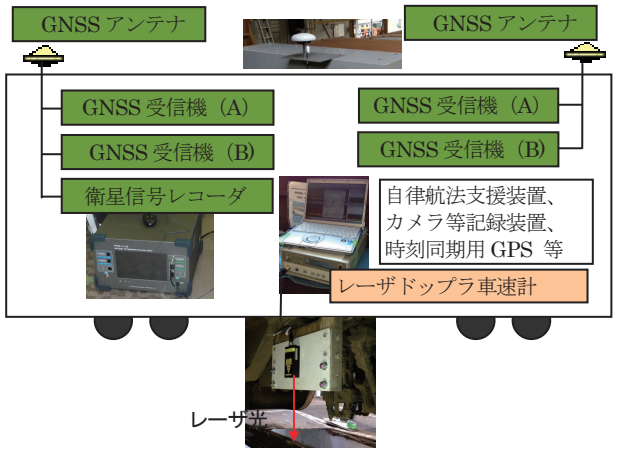


図３　試験装置の基本構成

表１　レーザドップラ車速計の主な仕様及び設定

項目	仕様
構成	アクト電子製 1521T 及び 2521T
測定方法	レーザドップラ方式　後方散乱差動形
使用レーザ出力	20mW 最大　　780nm（クラス 3B）
測定可能距離	700±100mm（路面電車用は 400±50mm）
測定速度範囲	−210～＋156km/h
測定確度	±0.2%以内又は±0.1m/min 以内
最小分解能	0.001km/h
サンプリングレート	2ms
出力レート	2ms～（今回は 10ms に設定）
データ補間機能	信号欠落時に、速度・距離を直前値で補間する（今回は 10 秒間に設定）。

試験装置の衛星信号レコーダは、列車上の試験環境を後日再現するために用いるものである。

受信機のログによっても測位結果の分析等は可能であるが、この試験方式では受信機の特性の影響を受けており、また、他の設定を行った場合や他の受信機機種の場合の測位結果を知ることはできない。

衛星信号レコーダは、図４のように生の電波を列車上で収録し、後日、再生装置としてマルチパス等のノイズ発生等を列車外で何度でも再現することにより、さまざまな解析を可能とする装置である。

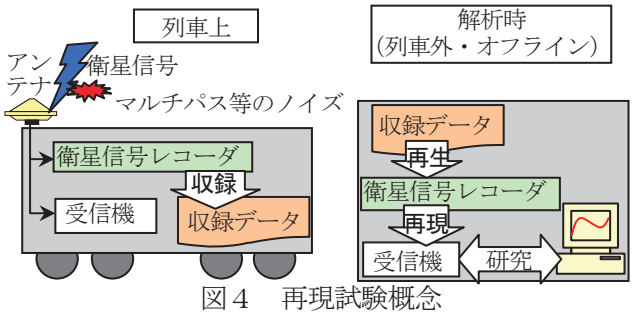


図４　再現試験概念

本試験では、日本上空での利用可能衛星数の多い点や受信機の入手のしやすさから、GPS、GLONASS、QZS の L1 信号を利用している。GPS と QZS は図５(緑色部)のように同一周波数であるので、中心周波数±5MHz 程度を収録すれば再現可能である。図６に、衛星信号レコーダで把握した、GPS の L1 信号付近から GLONASS の L1 信号付近の電波強度を示す。

しかし、GLONASS の L1 信号はやや周波数が高く、衛星毎に中心周波数が異なる方式（周波数分割方式）であることから、GPS と同時に収録するために、今回は 1.569～1.615GHz(46MHz 幅)の周波数範囲を記録する。

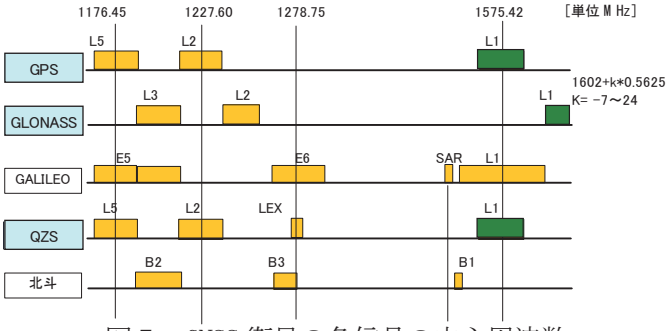


図５　GNSS 衛星の各信号の中心周波数

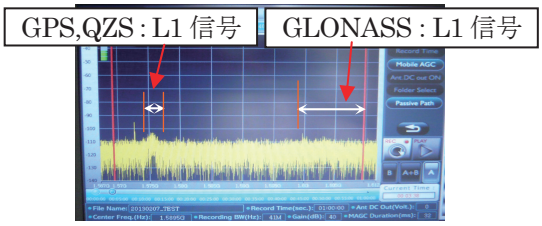


図６　周波数別の信号強度

３．２．静止中の測位試験

図７は、鉄道車庫内の建物周辺の線路上で、静止状態でのマルチ GNSS 測位の効果の比較のために列車屋根上アンテナで衛星測位を行った（1422 秒間＝7110 エポック）際の測位座標のプロット及び収録場所の周辺写真である。

図中、緑で示された GLONASS 及び GPS のハイブリット測位の結果が他の測位方式よりばらつきが小さく、位置精度が良い結果が得られた（表２参照）。準天頂衛星の補正情報を利用した測位結果は、GPS 単独の測位結果よりややよい測位精度といえる。

３．３．移動状態での測位試験

図８は、衛星配置シミュレーションによる GPS 及び QZS と、GLONASS のうち、仰角 30 度以上の衛星数の推移を作画したものである。

GPS 及び QZS と GLONASS の数が同数で、日中のうちで比較的 HDOP の悪い時間帯(GPS・QZS=2.46、GLONASS=2.5)に、極力定速で車庫内の線路（図２と同

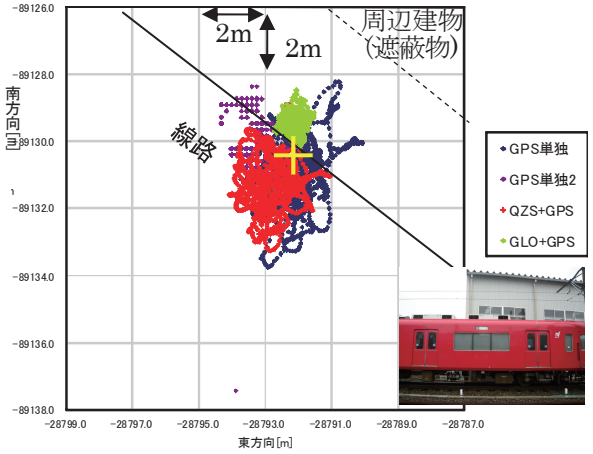


図７　測位プロット(2013/2/5　10:16:26～10:40:08)

表２　静止中の観測状況

	GPS 単独	QZS+GPS	GPS 単独 2	GLO+GPS
標準偏差[m]（東）	1.01	0.78	0.70	0.25
標準偏差[m]（北）	0.61	0.56	0.48	0.20
平均衛星数[機]	—	—	12.1	17.9
平均 HDOP	1.08	1.09	0.99	0.70

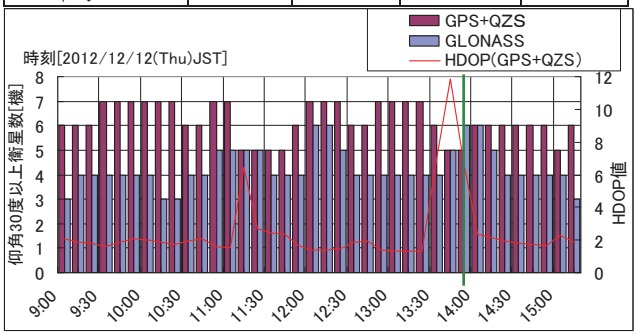


図８　衛星数の変動状況

一の線路）を移動しながらマルチ GNSS 測位を行う試験を行った。なお受信機は列車内では３機種を用いたが、今回のオフラインでの解析では、比較のため全て同じ機種（JAVAD ALPHA G3T）を使用した。

図９は、図２の仰角の悪い場所付近を 241m 地点の踏切から撮影した写真である。線路右側の 12m高の建物により仰角が 35 度程度に遮られている。また上空に配管も存在している。

また図１０は、図１１に測位結果を示している走行試験時の衛星配置である。QZS は 77 度と高仰角であるが、GPS 衛星は 30 度以上の仰角には４機、GLONASS 衛星も同じく４機という比較的衛星数が少なく、測位上は不利な環境といえる。



図９　仰角の悪い箇所の状況

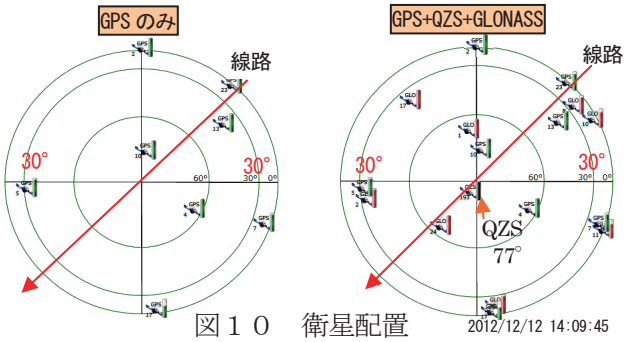


図１０　衛星配置

図１１は、同一の受信機を用いて、さまざまな測位方法で衛星測位演算を行い、その軌跡をプロットしたものである。特に、青、緑で表される GPS のみや、GLONASS のみの測位では、線路北側の建物等の影響を受け、左右に大きく動いている様子が読み取れる。

図１２は、レーザドップラ車速計の出力値と対比して線路方向の誤差状況を示したものである。進行方向に遅れる側（プラス値）に誤差が生じる傾向があり、表３にも示すように、GPS、QZS を組み合わせ、高度角マスクを30度に設定した場合に誤差が少なくなった。

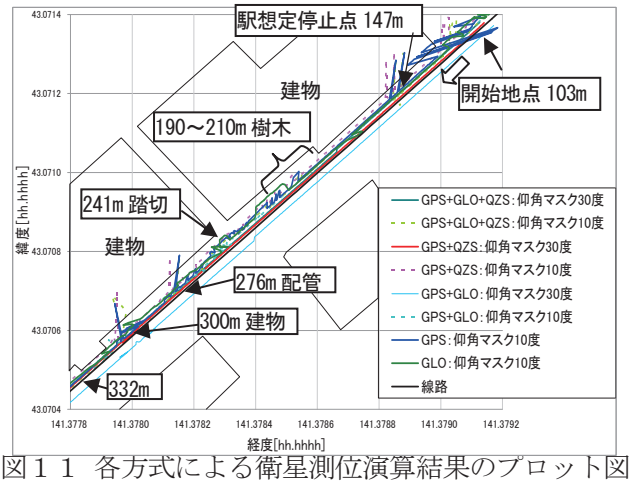


図１１　各方式による衛星測位演算結果のプロット図

図 12 中の HDOP 値（GPS＋QZS＋GLONASS）は、GPS の HDOP 値と比較してやや悪いが、遮蔽物のある場所

表３　測位状況の集計結果

GNSS測位方式	高度角マスク[度]	可視衛星数[機]	線路方向誤差平均[m]	枕木方向誤差平均[m]
GPS+QZS+GLONASS	10	5～8	1.83	1.97
GPS+QZS+GLONASS	30	4～6	1.40	−0.99
GPS+GLONASS	10	6～8	1.58	1.57
GPS+GLONASS	30	5～8	1.83	7.06
GPS+QZS	10	3～8	1.40	−1.77
GPS+QZS	30	4～5	0.42	−0.63
GPS	10	3～8	2.45	1.82
GLONASS	10	5～8	1.84	−2.04

でも安定しており、測位精度もよい。これは、大きな誤差は衛星数が何らかの理由で増減する際に瞬間的に発生する傾向があるため、多少 HDOP 値が悪くても HDOP や衛星数が安定した衛星の組み合わせとなる場合の方が測位精度が高いことを示している。そのため、衛星の母数が多く、かつ周辺の建物等の影響を受ける衛星が排除される、GPS と高仰角の QZS を使う設定の場合に精度が良くなったと考えられる。

4．まとめ

再現実験が難しい、鉄道での衛星測位試験を短時間に容易に再現可能な試験装置を作成し、これによって列車の真の位置を計測しながら、GPS、QZS 等を組み合わせたさまざまな衛星測位方法の比較を行った。

その結果、マルチ GNSS 測位により利用可能な衛星数を増やし、かつ低い仰角の衛星は除外する場合に精度が高いことが分かった。

今回紹介したものは短時間での事例だが、同様の傾向は他の路線でも得られている。そのため、今後は移動体における QZS の効果等について一般的な傾向を掴むための試験を行っていきたい。

最後に、本研究についてご支援・ご協力頂きました国土交通省総合政策局をはじめとする関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

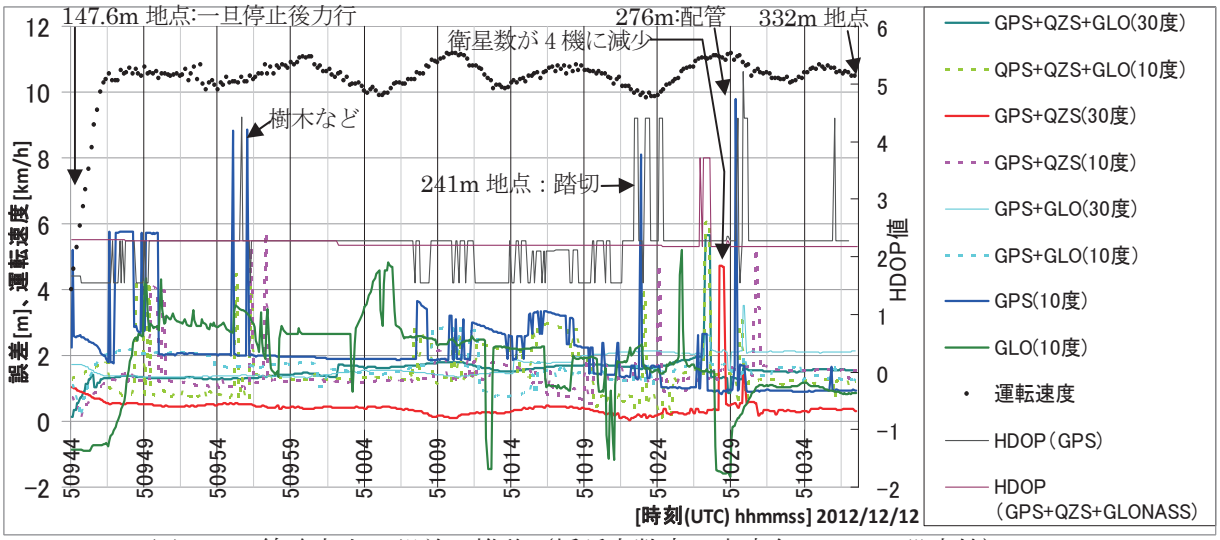


図１２　線路方向の誤差の推移（括弧内数字は高度角マスクの設定値）

３．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への取り組み

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

１．はじめに

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

その結果、それらの機器から放射される電波雑音が他の機器に与える影響および他の機器から受ける影響や、放射される電磁界が人体へ与える影響等が注目されるようになり、近年では鉄道システムから放射される電波雑音や電磁界の影響についても取り上げられるようになった。

鉄道システムでは、変電所の設備をはじめ、車両や軌道、信号システム等あらゆるところで電気・電子機器が使用され、当然のことながらこれら機器から電波雑音や電磁界が放射される。そのような環境の中、鉄道システムから放射される電波雑音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電磁両立性（EMC：Electromagnetic Compatibility）や、電磁界（EMF：Electromagnetic Field）が人体へ与える影響について、国際規格や防護指針という形で提案されてきた。

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

また、磁界測定に関する国際規格及び技術仕様書の制定の動きとしては、電力設備としてIEC 62110[2]、鉄道としてIEC/TS 62597[3]が制定されている。

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年に電力設備及び送電線下における磁界基準を2010年に発行されたICNIRP新基準に基づいて「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正して規制を実施した。

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実施した。

一方、鉄道車両における磁界については、既に規制済みの電気設備と異なり、走行に伴い発生する磁界の周波数が変動する。また、鉄道車両はき電方式（交流や直流）の違いをはじめ、駆動制御方式等も各社で独自に開発してきたことから、現状では様々な形式があり、磁界の発生状況も全て異なる。

そこで、本報告では、鉄道車両における発生磁界の人体曝露評価のための磁界測定方法に関する当所の取り組みについて報告する。

２．ICNIRPのガイドラインとは

国際的な電磁界の人体曝露に関するガイドラインとしては、先に述べたICNIRPのガイドラインがある。本ガイドラインは「時間変化する電界、磁界及び電磁界による曝露を制限するためのガイドライン（300GHzまで）」[4]及び、その1～100kHzまでについて改訂を行った「ICNIRP声明 時間変化する電界および磁界へのばく露制限に関するガイドライン（1 Hzから100 kHzまで）」[5]及び「静磁界の曝露限度値に関するガイドライン」[6]から構成される。

鉄道車両から主に発生する磁界は静磁界～20kHzと言われており、図１及び表１にこれらのガイドラインにおける参考レベルと限度値を示す。ここで言う参

考レベルとは、ICNIRP では「確立された健康影響と直接的に関連づけられる物理量に基づくばく露の制限値」として定められた基本制限（EMF においては身体内電界強度）に対し、身体内電界強度は評価が困難であることから、安全係数を加えた外部の電界、磁界、接触電流の実効値およびピーク値により定めたものを参考レベルとしている。参考レベル以下であれば問題無く、参考レベルを超えたとしても基本制限を超えなければよいとされている。

これらのガイドラインでは、測定方法については記載がされていない。鉄道車両における磁界の測定方法については、後述する IEC/TS 62597 において規定されている。

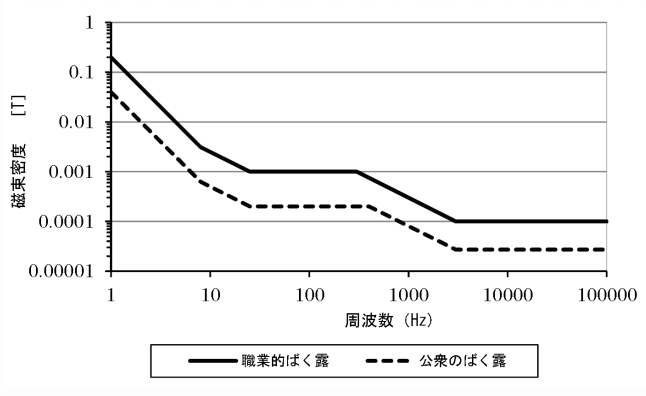


図１ 1～100kHz における ICNIRP ガイドラインの参考レベル（抜粋）[7]

表１ 静磁界の ICNIRP ガイドラインのばく露限度値（抜粋）[8]

曝露の特性	磁束密度
職業的曝露 [b]	
頭部および躯体部の曝露	2T
四肢の曝露 [c]	8T
一般公衆曝露 [d]	
身体の任意の部分の曝露	400mT

３．IEC/TS 62597 とは

IEC/TS 62597 は、2011 年に制定された技術仕様書である。本技術仕様書は、測定器及び測定位置等が統一されていないため、国際規格として発行はせず、技術仕様書としてメンテナンスサイクルの間に再度検討を行うこととなった。技術仕様書のメンテナンスサイクルは最大３年であり、最長有効期間は６年となる。

IEC/TS 62597 における鉄道車両内における測定方法を表２及び表３に示す。

このように、２種類のセンサと２種類の測定位置が規定されている。これらを統一し、国際規格として定めるためには、国内の意見の統一が必要となる。

表２ IEC/TS 62597 に規定されている測定用プローブ

	要件
DC	・IEC 61786 に準拠したセンサ ・等方性３軸プローブ
AC	・IEC 61786 に準拠したセンサ ・サーチコイル方式のセンサの場合 ・３軸プローブ ・サーチコイル面積は最大 100cm^2 ・測定帯域は少なくとも 5～20kHz ・フラックスゲート方式のセンサの場合 ・３軸プローブ ・測定帯域は少なくとも DC～20kHz

表３ IEC/TS 62597 に規定されている鉄道車両内の磁界測定位置（Public Area の場合）

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

４．当所における磁界測定のセンサ及び方法について

当所がこれまで鉄道車両内外での磁界測定を行ってきた結果、フラックスゲート方式と Surface Method による測定の組み合わせが効率的と考え、測定システムを構築した。以下に、その理由について述べる。

４．１．フラックスゲート方式の採用について

鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化することから、磁界の DC 成分及び AC 成分の測定条件を同一にするには、DC 成分及び AC 成分を同時に測定することが望ましい。表２に示す要件を満たし、DC 成分、AC 成分を同時に測定する場合、AC 成分の測定にサーチコイルを選択すると、DC 成分を測定するために別途 DC 成分用のプローブを用意する必要がある。また、プローブを２種類用いることから、計測に必要なチャンネル数が倍となる。

一方、DC 成分及び AC 成分を同時に測定可能なフラックスゲート方式によるプローブを用いた場合、１つのプローブで必要な測定が可能となるため、チャンネル数も１プローブ分を確保すれば良いことになる。

また、測定時のプローブの設置の工数の削減にもつながる。

以上の理由から、フラックスゲート方式による測定が現実的であると考え、図２に示す磁界測定システムにより測定を行っている。

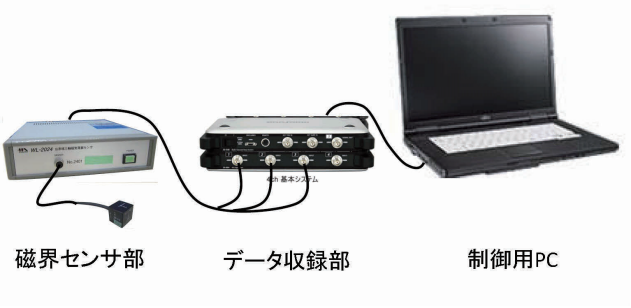


図２　当所における磁界測定システム

４．２．Surface Method による測定について

測定位置については、表３に示す通り、IEC/TS 62597 では Surface Method と Volume Method の２通りの方法が示されている。

当所では、以下の点から Surface Method による測定が効率性の観点において望ましいと考えている。

・磁界発生源に一番近い位置で測定した結果が、その場における最大磁界と考えられること
・最大磁界の結果が基準値を下回れば、その地点から離れた位置での測定は不要であること

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

５．評価方法の検討

ICNIRP のガイドラインには、評価方法として下式が示されている。本方法は、複数周波数からなる磁界に対する同時曝露の評価方法であり、基準となる値との正規化値を求め、その和が１以下であることを求めている。

$$\sum_{j=1\mathrm{Hz}}^{10\mathrm{MHz}} \frac{H_j}{H_{R,j}} \leq 1 \qquad \text{（式１）}$$

H_jは周波数 j の時の磁界強度、$H_{R,j}$は周波数 j の時の ICNIRP ガイドラインにおける参考レベルである。

本方法は、正弦波の複数周波数からなることが条件となっているため、非正弦波を仮定とした磁界に対しては評価結果が過大になる可能性がある。また、測定された磁界のスペクトル成分が限られている場合は問題にはならないが、広帯域に広がる磁界のスペクトルに対しては、前述と同様に評価結果が過大になる可能性がある。そのため、本方法を用いる場合、フーリエ変換を行う評価時間を規定し、スペクトルの幅を定める必要がある。

一方、IEC/TS 62597 には、以下の評価方法が規定されている。

・DC 成分では、3 軸合成した結果を用いる
・AC 成分では、周波数領域で評価する場合は基準値により正規化し、10%以上を加算する

AC 成分の評価方法については、ICNIRP のガイドラインと同様の方法を採るが、加算対象のスペクトルを基準値の 10%以上としていることから、ノイズ等の無用な加算が除かれる。ただし、評価時間の規定が無いことから 10%以上の周波数が連続にある場合などの対応方法が不明確である。

また、AC 成分の 3 軸合成は、時間領域または周波数領域において実施することとなっているが、時間領域における 3 軸合成は、正確な周波数解析ができない可能性がある。

これらのことから、当所では以下に示す条件設定が評価を行う上で必要と考えている。

・評価時間の規定
・評価対象レベルの規定
・AC 成分の 3 軸合成方法の規定

加えて、鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化することから、測定した全時間をフーリエ変換することや、ピークホールドした結果を評価する方法をとることにより、過小評価や過大評価を行う可能性がある。そのため、磁界の評価は時間毎に評価する必要があると考え、図３に示す、１秒毎に基準値の 10%以上の値を式１で加算し、それを時間変化として示す方法を検討した。

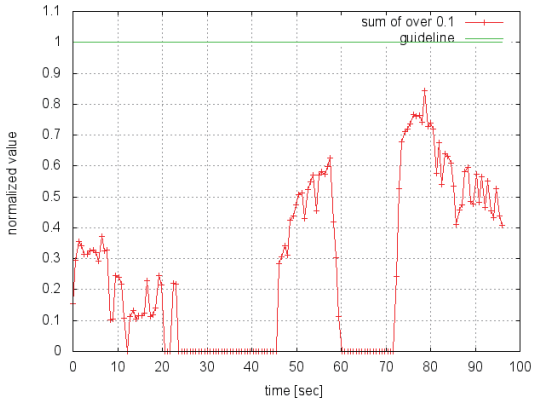


図３　加算結果の時間変化

６．測定事例

４章で示した測定方法を用いて測定した事例を以下に示す。

図４はフラックスゲート方式、サーチコイル方式、及びホール素子方式による測定状況である。フラックスゲート方式では、このプローブのみで DC 成分、AC 成分を１つのセンサで測定できるが、サーチコイル方式は DC 成分を測定できないので、DC 成分測定用としてホール素子方式等他の方式による同時測定が必要となる。

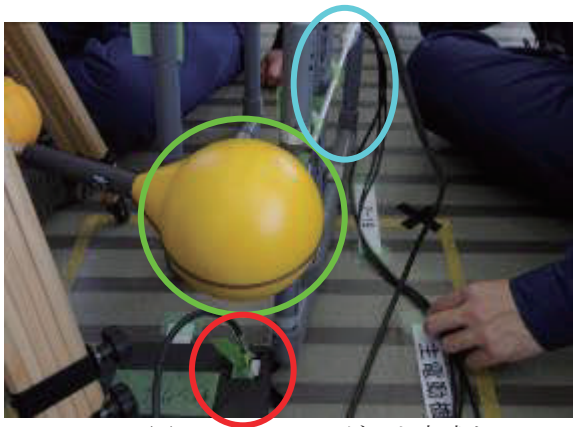


図４　フラックスゲート方式と
サーチコイル方式及びホール素子による測定状況
（赤：フラックスゲート方式、緑：サーチコイル方式、
水色：ホール素子方式）

また、Surface Method を用いることにより、図５に示すように、先に、床面を複数点測定し、その後、磁界強度が高い位置において高さ方向の測定を行うことが可能となり、4.2 節で述べたように測定工数の削減を図りつつ、必要箇所の測定データを確実に取得できる測定方法を実現している。

７．おわりに

鉄道車両内における磁界の人体曝露を評価するための磁界測定に関する検討を行った結果について述

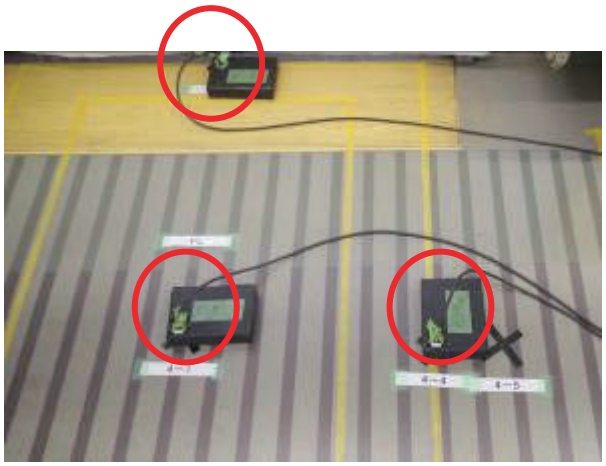


図５　Surface Method 床面測定状況
（赤丸の位置にフラックスゲート方式プローブを配置）

べた。技術仕様書として発行している IEC/TS 62597 のメンテナンスサイクルに入ることから、これらの結果を踏まえ、実態に即した測定方法が国際規格に反映されるよう検討の深度化を図り、鉄道車両の磁界測定法の国際規格化に貢献していきたいと考えている。

参考文献

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

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

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

4)ICNIRP: " Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.

5) ICNIRP: "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz) ", Health Physics 99(6):818-836; 2010.

6) ICNIRP: "Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields", Health Physics 96(4):504-514; 2009.

7) ICNIRP: "ICNIRP 声明　時間変化する電界および磁界へのばく露制限に関するガイドライン", Health Physics Society; 2010

8) ICNIRP: "静磁界の曝露限度値に関するガイドライン", Health Physics Society; 2009

４．鉄道の安全関連国際規格の動向と規格適合性認証

鉄道認証室　　※田代 維史　千島 美智男　長谷川 智紀　足立 雅和

１．はじめに

鉄道の安全性達成を図るため、日本では、鉄道技術導入の初期から一貫して、鉄道事業者とメーカによる危険源の分析、排除の努力がなされてきた。これらの安全活動は、国の「鉄道に関する技術基準」や JIS（日本工業規格）・鉄道関連の各種団体規格などのもとで実践されている。各種鉄道製品のこれら基準・規格類への適合性に関しては、メーカが製品の技術文書中で規格準拠を宣言し、製品を受領する鉄道事業者が製品受入れの妥当性判断を行う仕組みとなっている。

他方、近年の海外鉄道市場では、安全性達成の実証への考え方が、上記の日本のそれとは大きく異なってきている。すなわち、機能安全規格と呼ばれる規格群の要求に準拠し、安全性に関する技術と業務プロセスの証拠を文書で揃えることが重視される様になってきた。図１の例の様に、規格が存在する製品の場合、規格適合性評価に基づく第三者認証が受入れ条件として重視される。特に鉄道運行の安全に直接関わる製品の場合、この条件は必須とされ、RAMS 規格など、機能安全規格への適合性認証が、製品受入上の重要性を増している。しかし認証対応文書の構成は複雑であり、言語の壁も加わって、日本の海外進出に対する課題が多い。

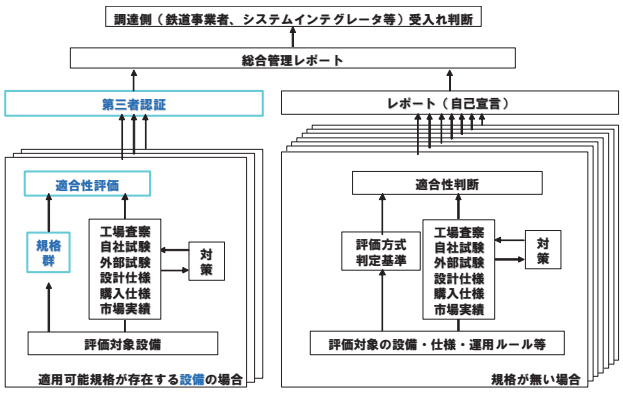


図１　海外鉄道プロジェクトの製品受入の仕組み例

本稿では、このような規格の成立過程、規格の構造と特徴、必要な文書の構成を述べるとともに、2012 年 9 月に認証機関として認定を受けた交通安全環境研究所鉄道認証室における認証機関活動について紹介する。

２．安全関連国規格の成立過程

安全関連規格の発端として、米国における 1960 年代の消費者保護法制定の動きと、軍事・宇宙分野における工程管理技術ならびに、信頼性マネジメント技術の進展があげられる。続いて 1970 年代には、英国において、労働安全法の改正を契機に安全規格ビジネス戦略が開始され、BS 5750（後の ISO 9000）が発行された。これらを背景に 1980 年代には鉄道分野を対象とする RAMS 規格（R：信頼性、A：アベイラビリティ、M：保守性、S：安全性）の開発が英国で開始された。同時期に当時の EEC（欧州経済共同体）において、責任緩和条項"State-of-the-art Defense"が盛り込まれた製造物責任指令が施行された。これに呼応して 1990 年代にドイツで DIN IEC 65A が発行され、これが後の機能安全規格 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）の原型となった。

鉄道分野の RAMS 規格は、安全性に関して IEC 61508-1 の影響を受けつつ、更に鉄道事業のニーズであるアベイラビリティを達成目標に加え、1999 年に EN 50126 として発行された。

RAMS 規格は、鉄道製品の RAMS 性能とその達成プロセスのマネジメントを要求する規格であり、2002 年には、国際標準の IEC 62278 となった。また IEC 61508-2 は鉄道信号用安全関連電子装置規格 EN 50129（IEC 62425）の、また IEC 61508-3 は鉄道用安全関連ソフトウェア規格 EN 50128（IEC 62279）のベースとなり、RAMS 規格シリーズと呼ばれる規格群を生み出した。

3．安全関連国際規格の構造と特徴

「機能安全」とは、なんらかの人為的メカニズムすなわち、なんらかの機能によって安全性の達成を図るという概念である。さらに機能安全規格では、機能の意味を広くとらえ、安全のための技術的メカニズムと、人的な組織メカニズムが揃って初めて、安全性のための機能が達成されると考える。

技術的メカニズムは、様々なリスク解析手法や具体的な高安全回路、高安全システム、冗長化など、機能安全規格群の成立以前から知られた技術・手法群からなるが、機能安全規格ではこれら技術的メカニズムに、工程管理や信頼性マネジメント技術など、以下の様な組織メカニズムの手法が合体している。

すなわち機能安全規格は、対象製品の、構想段階から廃棄までの全ライフサイクルを図 2 の様な段階に区分し、段階毎に設定した技術的及び組織的な目標群の達成の検証（Verification）と、ライフサイクル前半の段階で設定したマクロな目標の達成の確認（Validation）を後半の段階において要求する。これらは、安全性に関わる全ての要件の取りこぼしを防ぐための、検証活動の必須のセットであり、そのことを強調するため、「V&V」と呼ばれている。またこれらの要求に従った活動のフローは、図 3 の様に描かれ、その形状から V スキームと呼ばれている。

機能安全規格において、この V スキームの実行を十分にマネジメントし、その証拠を文書化するための基本概念は、経営工学で用いられる PDCA（Plan、Do、Check、Action）であり、ライフサイクル全体から、部分的な段階に至るまで、様々なレベルで重層的に



図 2　RAMS 規格におけるライフサイクル

PDCA サイクルを循環させる必要がある。

4．RAMS 規格対応文書の構成

RAMS 規格は、目標達成の証拠を提示するため、製品の機能・性能の規定、製品化過程の状況記録、修正管理、および要求事項との整合の検証を、技術的および管理上の各側面から文書化し、適切に管理することを要求している。しかし RAMS 規格は必要な文書群の具体的構成・書式・記述事項を提示していない。

そこで以下に、その様な文書の作成に必要な、主要な視点を挙げる。

(1) 安全性分析：対象製品に関わる危険源の抽出、事故・故障の被害の甚大さ、その発生頻度、対策手

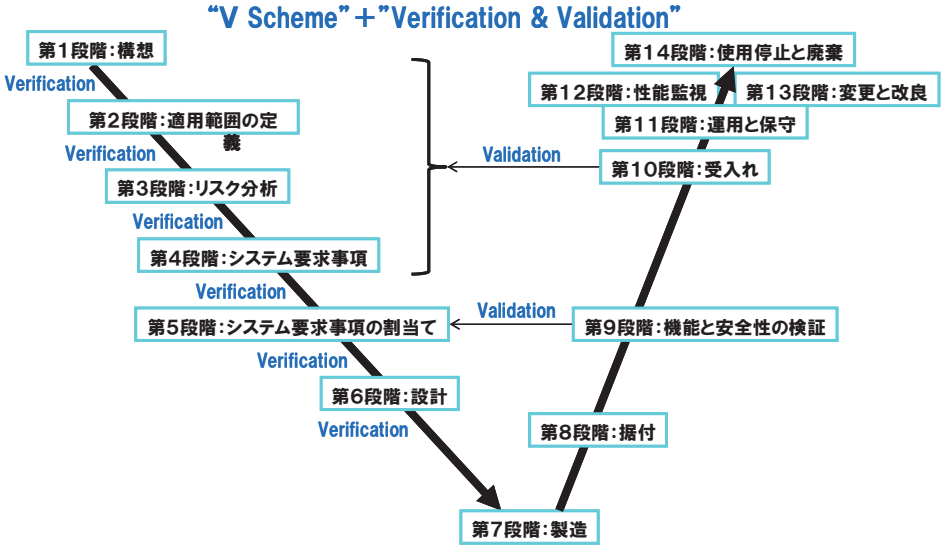


図 3　RAMS 規格の V スキーム

段の選定と効果の評価・影響を、FMEA や FTA 手法などにより分析し、安全性水準の目標設定の根拠を揃えると共に、製品に組み込む安全性達成のための技術仕様や、限定条件を抽出する。

(2) RAM 分析：対象製品の部品・構成要素の、信頼性データや、故障からの修復の効率などのデータを収集し、ライフサイクルを通じたアベイラビリティの予測を行うと共に、製品に組み込む RAM 性能達成のための技術仕様や、限定条件を抽出する。

(3) RAMS 目標設定：製品の用途に応じた安全性水準 SIL（Safety Integrity Level）の目標設定と、妥当な RAM 性能目標を、上記(1)、(2)の結果を元に設定する。

(4) 要求仕様設定：製品の本来機能に必要な技術的仕様事項と、上記(1)～(3)から導かれる RAMS 性能のための技術的仕様事項を合わせて、全体の要求仕様群として確定させる。

(5) 技術的達成手段：上記(4)の要求仕様を全て達成するために適用する基本的技術群の妥当性を、個々の技術毎に説明する。

(6) 要求仕様完遂の証拠：前章で述べた V&V の原則を元に、各ライフサイクル段階毎の技術的結果の検証の証拠を記録し文書化する。

(7) PDCA とトレーサビリティ：上記(1)～(7)の各活動を、立案、実行、検証、改善の順に従って実施し記録する。この記録の順序が、バージョン管理などの側面において、文書のトレーサビリティを保証する。

(8) 品質保証：製造工場全体の ISO 9001 対応活動の一環として、対象製品でも同等の品質保証活動が行われたことの証拠を文書化する。

(9) 人的組織：RAMS 規格では、目標安全性水準が高いほど、プロジェクトマネージャ、設計者、試験者、検証者、出荷審査者相互の、より高い独立性・客観性を要求するため、これに対応した組織構造を決定する。

(10) 文書体系管理：上記(1)～(9)に関する文書群は、製品の RAMS 品質の安定性と、それを支えるマネジメントの安定性の証拠となるが、文書群の内容・構成が複雑となるため、十分な管理体制を要する。

次に、RAMS 規格対応文書の構成例を図 4 に示す。この例では、安全性達成に関わる活動の証拠を「セーフティケース」文書群、RAM 性能目標達成に関わる活動の証拠を「RAM マネジメント」文書群として分けたうえ、これらの前に、対象製品の定義および全ての目標及び活動の品質マネジメントの証拠文書を、また最後に、技術的不具合事象の記録と、トレーサビリティ確保の証拠を添付した構成としている。また、これらの文書が、ライフサイクル段階の進行に沿って記述する内容の例を図 5 に示す。前述した様にこれらの内容はいずれも、PDCA と V&V の両原則に沿って計画・実行・検証がなされたという証拠を含むことが求められる。

5．認証機関活動

交通安全環境研究所では、2011 年 4 月に、鉄道分野で国内初の規格適合性認証機関となる鉄道認証室

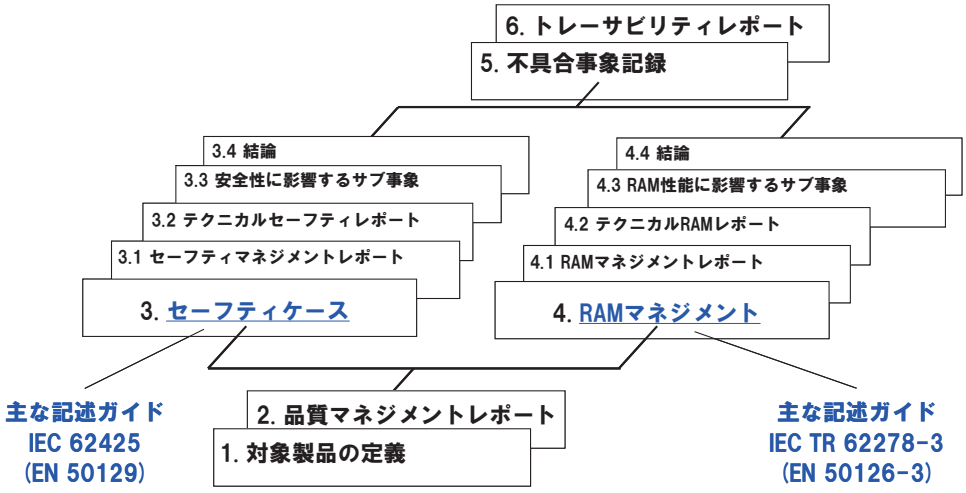


図 4　RAMS 規格対応文書の構成例

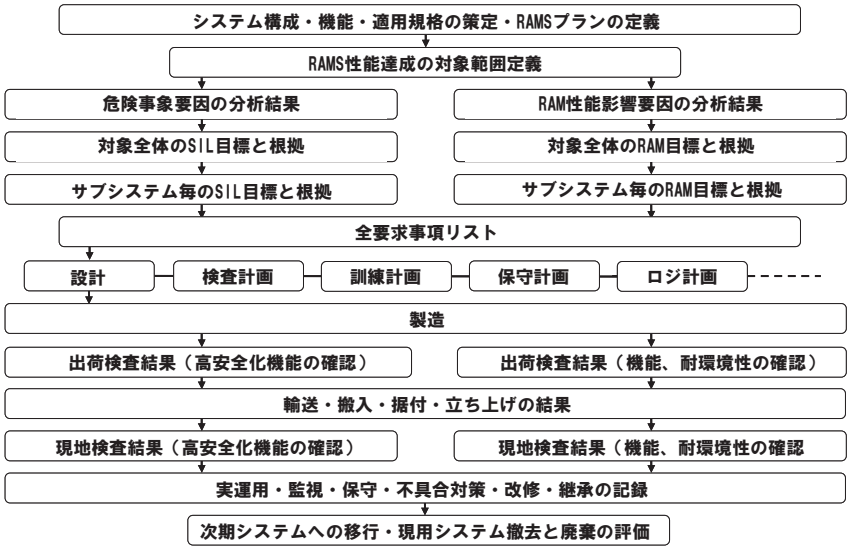


図５　RAMS 規格対応文書の内容例

を設置し、同年 9 月より具体認証案件の審査を開始した。

鉄道認証室の設置の主な目的は、海外市場向けに、RAMS 規格などに対する各種鉄道製品の適合性認証を、日本語文書を主体として、日本の鉄道技術の実績を背景に行うことであり、日本語で作成された文書の認証審査を、言語、翻訳時間、および技術理解の各障壁を低くして行える効果が期待されている。

2012 年 9 月には、認証機関に関する要求事項を規定した ISO/IEC Guide 65 への適合を、独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）から認定され、2013 年には初回の定期検査を経ている。

なお、認定時の審査対象規格は IEC 62425 であり、現在、この規格に対する認証書には認証機関マークと認定機関マークの両方を付すことが出来る。認証審査活動開始以来、審査対象規格の種別は、認証審査案件数、対象製品種別数と共に徐々に増加しているため、未認定の規格種別については、認証書の交付次第、認定取得を進める予定である。

一方、認証機関に関する要求事項を規定した ISO/IEC Guide 65 が国際標準である ISO/IEC 17065 に移行し、認証機関の品質マネジメントへの要求が強化されたことに対応し、認証活動の品質に関する内部諸規定を改訂し、同標準への対応完了期限である 2015 年 9 月までに移行を完了すべく、現在準備を進めている。

また、先に述べた設立主旨に沿った認証活動を拡充するためには広報活動も重要である。すでに、Web ページによる情報提供を行っているが、今後、講演、寄稿や各種イベントにおける広報活動も強化していく予定である。

６．まとめ

RAMS 規格について、成立の歴史的背景、その構造と特徴および必要な文書の構成を述べるとともに、交通安全環境研究所鉄道認証室の活動について報告した。

交通安全環境研究所では、公正・中立の立場から国際規格適合性認証を実施することを通じて、日本の鉄道システムの海外展開や鉄道技術の維持・発展に貢献していきたいと考えており、当研究所の認証システムをご活用いただければ幸いである。引き続き関係各位の御指導、御支援をお願いしたい。

参考文献

1) ISO/IEC Guide65:1996, "General requirement for bodies operating product certification systems"
2) ISO/IEC 17065:2012, "Conformity assessment -- Requirements for bodies certifying products, processes and services"

自動車安全研究領域における研究の概要と方向性

自動車安全研究領域　　安藤　憲一

１．はじめに

我が国の交通事故の死者数は 13 年連続で減少しており、平成 25 年は 4,373 人と昭和 26 年以降で最低を記録した。これはピーク時である昭和 45 年の死者数 16,765 人の約 1/4 であるが、なお年間 4,000 人以上が犠牲になっている。また、歩行中の死者数が相対的に増える傾向にあり、平成 20 年以降は乗車中の死者数を抜いて最も大きな比率を占めている。特に 65 歳以上の高齢者が占める割合が高い。

第 9 次交通安全基本計画では、「平成 27 年までに 24 時間死者数を 3,000 人以下とし、世界一安全な道路交通を実現する」との目標が定められ、また、国土交通省でも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提示したが、これらの目標の達成のためには、様々な安全技術の開発と普及が不可欠である。

安全な車とは、事故を起こしにくい車、事故が発生した時に乗員や歩行者などの被害の程度が低い、保護性能の高い車のことをいう。国土交通省は自動車の安全基準を定めることで安全な車の普及を目指しているが、当研究所における最も重要な研究目的が、安全基準作成の支援である。

安全基準は一般的に評価法と基準値で構成されるが、コアとなる安全性能の評価法(試験法)を作ることが最も重要である。

２．安全研究

２．１．衝突安全

車両乗員の衝突安全基準では、乗用車の前面衝突試験、側面衝突試験、スレッド試験等に関して法令上の定めがある。平均的な体格の男性ダミーや子供ダミーを用いてバリア衝突試験などが行われているが、今後は、交通事故の多様な実態を踏まえた安全性能評価について検討する必要がある。

このため、交通事故の調査解析、実車衝突実験、スレッド実験等の衝突実験、コンポーネント実験、シミュレーション解析等を行っている。事故解析については、ITARDA(交通事故総合分析センター)の事故データを用いたマクロ統計分析のほかドライブレコーダの記録動画を用いた詳細な分析を行っている。

試験法に関しては、我が国のフルラップ前面衝突試験では、乗員の胸部傷害の評価を加速度で行ってきたが、胸部加速度よりも胸たわみの方が乗員の受ける傷害を正確に反映していると判断された。ただし、胸たわみは試験時の条件の影響を受け易いことが実験で認められ、特に影響の大きいベルト装着条件(ベルトパス)については明文規定の必要性が認められた。これは WP29 においても提案し、採択されている。

その他、衝突安全関連では、増加傾向にある軽自動車など小型自動車の衝突安全に関する研究、P ダミーや World SID ダミーの開発、Thor ダミーなど人体フィデリティの高いダミーや傷害指標の導入に向けた作業が続いている。

生体が受ける傷害に関する生体工学は、衝突安全の基礎となる重要な分野であるため、継続的に研究に取り組んでおり、頭部、胸部、脚部と段階的に安全性を計量する傷害指標が作られ、基準に採用されている。今後は、従来から使われている HIC(Head Injury Criterion)のような傷害基準を最近の医学的な見地から見直して、高齢者など現在のダミーが再現できない損傷を再現できるようにしたいと考えている。

２．２．予防安全

予防安全装置に関しては、被験者を使った DS 実験、シミュレーション等を行い、予防安全装置の導入効果の評価や安全上の副作用の有無を確認している。

予防安全装置は、ドライバの運転支援、自動ブレーキなど機能が多様であり、ドライバの反応など操作のばらつきが非常に大きいため、システムの技術評価だけでは安全性の効果の計量が難しくなる。

2011 年からスタートした国土交通省の第 5 期先進安全自動車(ASV)計画において、当研究所は事務局として全体の企画・運営を行うとともに、プロジェクト推進に必要となるDS実験やシミュレーション構築等の研究成果をASVに提供している。

普及が進んでいる自動ブレーキシステム(AEB)の対前方車両への追突回避については、J-NCAP やEuro−NCAPにおいて今年から導入されている。

当研究所ではAEBによる歩行者の衝突回避について、性能評価法の開発に取り組んでいる。AEB の評価試験のためには、できるだけ交通の現場に近い条件とすることが大切であり、評価試験の全体的なシナリオだけでなく、歩行者ダミーのような評価試験のツール類についても人体忠実度の担保がポイントとなる。AEBの評価については、BASt(ドイツ連邦道路交通研究所)や Thatcham(英国保険協会の研究所)などEuro-NCAPの中核的な専門機関との研究協力、情報交換を実施している。また、AEB の不要作動問題にも取り組んでいる。

２．３．電気・電子技術

最近の自動車はコンピュータによる制御によって性能は大きく向上したものの、その一方で、システムがハード、ソフトともに複雑・高度化し、かつ、ブラックボックス化しているため、問題が発生した場合、早急な原因の究明や対応が難しくなっている。当研究所では、ソフトウェアの変更などによる電子制御システムの性能の変化を再現して検証する手法の開発に取り組んでいる。ソフトウェアに問題のある場合、実験室の中で、仮想的に作り出した道路環境でシステムの作動を多面的に検証して、ソフトウェアの不具合による現象を再現することに成功した。

また、環境対策として今後普及が期待されるEVやHEV で使われるリチウムイオン電池については、航空機に発生したトラブルもあって社会的な関心を呼んだ。当研究所ではリチウムイオン電池について、セル単体だけでなくセル集合体についても熱暴走やその連鎖的な事象について実証実験を行いリスクを分析している。

２．４．点検・整備

近年、自動車の買い替え期間が延びたために使用過程車は老朽化が進んでいる。長期使用による構造・装置の劣化と適切な保守管理を怠ったことが原因と見られる深刻な事例が報告されている。設計寿命を超えて使用される車両も増加傾向にあると想定され、安全の確保における点検や整備の重要性は高まっている。

使用過程にある車両の状態を調べるため、当研究所では整備工場などでの点検整備状況をデータベース化し、科学的で多面的なミクロ、マクロ分析を行っている。自動車の長期使用と安全リスクとの関係を分析し、適切な保守管理手法について調査している。

平成 25 年度は車輪脱落や火災にもつながるホイールベアリングの劣化について、再現実験による調査研究を行った。

３．外部連携・国際調和活動

研究成果は、行政に活用されるとともに、自動車技術会、日本機械学会、Stapp Car Crash Conference、ESV (Enhanced Safety Vehicle Conference) 、SAE、iCrash など内外の学会等で発表されている。

また、限られた資源で効率的な研究を行うため、内外の大学や研究機関との連携を強めている。NHTSA(米)、VRTC(米)、UTAC(仏)、BASt(独)、TÜV(独)、TNO(蘭)、TRL(英)、Thatcham(英)等の研究機関等との情報交換を進めている。

特にBAStとは2014年1月に覚書を締結し、安全研究の幅広いテーマについて協力することとした。現在、対自転車の自動ブレーキ性能評価法、高齢化問題、安全技術とドライバ責任との関連などの分野で協力が進んでおり、更に分野が広がる見込みである。

基準の国際調和については、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(UN/ECE/WP29)の専門家会議に職員を派遣し、各国の専門家との情報交換を図りながら国際調和基準の作成を行っている。

WP29 の中で自動車安全研究領域が担当する委員会はGRRF(ブレーキと走行装置)、GRSP(衝突安全(バッテリー安全を含む))、GRE(灯火器)、GRSG(一般安全)、ITS インフォーマル(情報、HMI)である。

なお、国際調和活動も予防安全装置の基準に関するものが増えてきており、昨年 11 月からはレーンキープアシストシステム(LKAS)をテーマとするアドホック会議が立ち上がり、基準作成の準備作業が進んでいる。また、カメラモニターシステムや緊急時通報システム(E-CALL)に関しても基準化作業がスタートした。

5．自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題

自動車安全研究領域　　※関根 道昭　　平松 金雄

1．はじめに

最近、自動車が前方の障害物との衝突を予測して制動制御を行う衝突被害軽減ブレーキが急速に普及している。これをきっかけに、運転の電子制御が一般ユーザにも認知されるようになりつつあり、今後、操舵制御を加えた自動運転技術の開発が急速に進むと予想される。

自動運転技術は運転負担の軽減や環境改善とともに交通事故の低減を狙いとした新たな技術領域である。その前段階として、安全運転支援に関する適正な警報及び制御を行うための 2 つの国際ガイドラインが発行されている。ここでは、これらの国際ガイドラインの基本的な考え方と概要を紹介するとともに、将来の自動運転技術の発展を視野に入れた現状の課題について概説する。

2．運転支援技術と自動運転

国土交通省は、先進安全自動車（ASV: Advanced Safety Vehicle）として、先進技術を利用してドライバの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車の開発・実用化・普及を行っている[1]。衝突被害軽減ブレーキは ASV プロジェクトの成果の一つであり、最近では先進ブレーキシステムとして多くの乗用車に搭載されるようになっている。この他にも、一定速で走行する機能を有し、車間距離を制御する装置（ACC: Adaptive Cruise Control）や走行車線の中央付近を維持するよう操作力を制御する装置（LKAS: Lane Keeping Assist System)などが実用化されている。ACC と LKAS を組み合わせるとドライバの運転操作の負担は格段に小さくなると思われる。

図 1 に示すように、運転へのシステムの介入度が高くなると、ドライバはシステムの操作やシステムの管理のみを行えばよいため、運転への介入度が小さくなる。運転の自動化は全く新しい技術として一足飛びに実現されるのではなく、運転支援の高度化を通じて段階的、連続的に移行するものと考えられる。

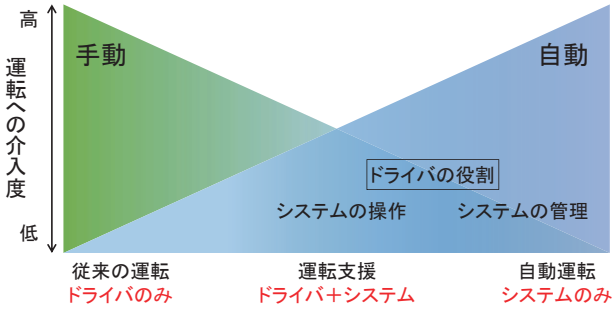


図 1　ドライバとシステムの関係

3．運転支援とドライバ・インザループの原則

ASV の基本理念の一つに「ドライバ支援の原則」がある。これは、安全な運転をすべき主体者はドライバであり、ASV 技術はドライバを側面から支援するという原則である。そのため、ASV はシステムが車両周辺の状況を監視し、安全上の問題を検知した場合、問題の緊急度に応じて情報提供、注意喚起、警報をドライバに与えることとなっている。これらの情報を受けたドライバは自ら車両を操作し、安全な状態に回復させる必要がある。ここにおいてドライバは安全システムの一部として位置づけられており、運転支援システムを使用するドライバの責任が明示されている。これを「ドライバ・インザループの原則[2]」という（図 2）。

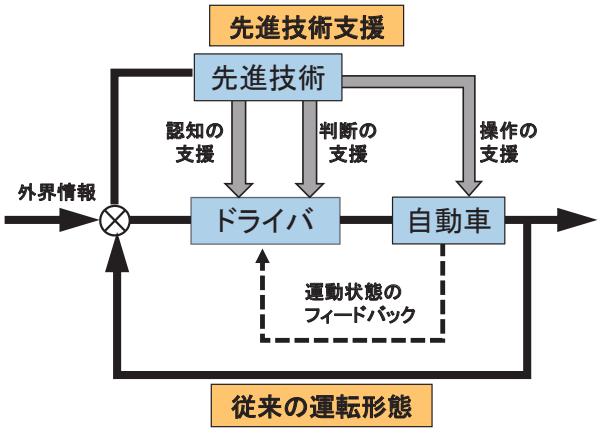


図 2　ドライバ・インザループの原則

（参考文献 2 の図を日本語訳）

4．運転支援技術の国際基準調和活動

運転支援技術は日本だけでなく欧米においても開発が進んでいる。例えば、欧州では自動車の先進制御技術を産官学の連合体により国際共同開発するHAVEit、interactIVe プロジェクトなどが実施されてきており、現在も AdaptIVe[3]などが継続中である。将来このような技術の国際化が急速に進むと考えられるため、新技術の安全性に関する国際的な基準を検討する必要があると考えられる。

運転支援技術の性能や安全性を評価する場合、各種の部品を統合した車両システム全体として捉える必要がある。自動車安全基準の国際調和を司る国際連合欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）は、衝突安全、ブレーキ、ランプなど個別技術の基準調和を扱う専門部会を設けている。しかし、専門部会が複数の部品やシステムを統合的に制御する横断的な技術を扱うのは難しいため、2002 年に先進安全技術の将来的な国際調和の方向性を企画する ITS インフォーマルグループ（ITS: Intelligent Transport Systems、以下 ITS-IG）が発足した。ITS-IG は日本と英国が共同議長を務めている。さらに、IHRA-ITS (International Harmonised Research Activity-ITS)がサポートのための調査、研究を行っている。前項で説明した「ドライバ・インザループ」の原則は、これらの国際組織において共有された概念である。なお、当研究所は 2011 年度より ITS-IG の事務局も務めており、IHRA-ITS のメンバーとしても活動を行っている。

5．運転支援とヒューマンマシンインターフェース

ITS-IG は、運転支援について危険対象までの緊急度に応じ、情報提供、警報、制御の三段階に区分している。日本の ASV における支援の最終段階は「警報」であったが、ITS-IG はシステムが車両を「制御」する段階を含むため ASV よりも踏み込んだ支援を想定している。いずれにしても、車両とドライバ間の積極的な情報交換が想定されており、この種の先進技術を効果的に運用するためには、システムが適切なヒューマンマシンインターフェース（HMI）を備える必要がある。この思想に基づき、ITS-IG はまず警報の HMI の基本設計を定めた警報ガイドライン[4]を発行し、次に制御における HMI の基本原則を定めた制御プリンシプル[5]を発行した。以下にその概要を示す。

5．1．警報ガイドライン[4]

警報はドライバに対し注意を促したり、危険回避の指示をしたりする重要なものである。特にドライバが危険事象を見過ごしたときに発せられる緊急警報は安全上極めて重要と位置付けられる。加えて、緊急警報はそれが何であるか瞬時に認識できるものでなければならず、国際間、地域間で共通したルール作りが重要となる。

このような考えに基づき、2011 年に緊急警報のあり方を定めた警報ガイドラインが制定された。警報ガイドラインは計 8 項目より構成される。

1. 緊急警報は運転環境において簡単に識別できること
2. 緊急警報は自動車におけるその他のメッセージと区別されること
3. 緊急警報は危険対象の位置を示す空間的な手がかりを提供すること
4. 緊急警報は危険対象が近くにあることをドライバに知らせること
5. 緊急警報はドライバからタイムリーな反応や判断を引き出すこと
6. 複数の警報には優先順位を付けること
7. 誤警報／迷惑警報率が低いこと
8. 緊急警報のシステム状態と性能低下は表示されること

5．2．制御プリンシプル[5]

技術の進化により自動車の運転は容易になる一方で、ドライバとシステムの役割分担のあり方が重要な課題として浮かび上がってきた。役割分担のあり方が適正に配慮されない場合には、便利なはずのシステムが逆に負の効果をもたらす可能性が危惧されている。したがって、先進技術の適正な発展のためには人間特性に配慮した設計が重要となり、地域間、国家間で共通したルール作りが重要である。このような背景に基づき、国際的な共通認識に立った基本原則としての制御プリンシプルが 2014 年に発行された。

制御プリンシプルは 4 つの大項目と 12 の小項目から構成される。

５．２．１．大項目１：制御に関する項目

① システムの作動は通常運転状況で衝突の回避が可能な時は常に簡単にオーバーライド（システムが行う制御へのドライバによる強制介入）ができること

② 衝突が切迫していると判断された場合、システムは衝突の回避及び/又は被害軽減を目的とした作動をすることができること

５．２．２．大項目２：操作に関する項目

③ 通常運転状況で車両を操作するシステムでは、ドライバはシステムを手動で ON から OFF に切り替えると共に OFF 状態を維持する手段を有すること

④ 危険な運転状況で車両を操作するシステムでは、システムの初期設定は ON であること

５．２．３．大項目３：表示に関する項目

⑤ システムが能動的に車両の速度及び/又は経路を制御している場合、それらを知らせる明確なフィードバックをドライバに与えること

⑥ システム動作が異常な場合又は故障した場合、ドライバにその状態を通知すること

⑦ ドライバはシステムの正常な動作が保証されない場合、その状態を通知されること

⑧ ドライバはシステムからドライバへの制御の移行を通知されること

５．２．４．大項目４：その他補足事項

⑨ システムが前後左右方向の車両挙動を自動的に制御する場合、ドライバの課題はシステム動作の監視である。この場合においてドライバが車両、道路及び交通状況に対して注意力を維持できるよう適切な調整が考慮されること

⑩ ドライバは一般的な使用に先立ち、システムの適切な使用について通知されること

⑪ ドライバへの通知にシンボルを用いるとき、可能な限り標準的なシンボルを用いること

⑫ システムの作動が他の道路利用者に対し表示されること

６．自動運転技術の国際化に向けた課題

６．１．自動化レベルの国際調和

自動運転技術を開発する国や団体は、手動運転から完全自動運転までをシステムの介入度に応じて 4 段階から 5 段階に分類している[6]。各レベルの名称と支援内容は国と団体によって少しずつ異なるが、多くが表 1 のようなレベル区分を含んでいる。レベル 0 からレベル 3 までの定義は国際的にほぼ共通しているが、国際自動車工業連合会(OICA)は、使用事例や無人運転の可否などに応じてレベル 4 以上を細分化している[7]。

ここで、各レベルにおいて万が一事故が起こった場合の責任がドライバとシステムのどちらにあるか確認しておく必要がある。レベル 2 までは現在実用化されている個別支援の組み合わせであり、従来通りドライバが責任を負うことになると思われる。しかし、レベル 3 以上は、システムの制御や動作が複雑になるため、作動状況や性能限界などをドライバが常時正確に把握することは難しく、事故時の責任問題について見解が分かれると予想される。

表 1　運転の自動化レベル

レベル	主な名称	主な内容
0	手動運転、支援なし	従来の運転に相当
1	個別支援、特定機能の自動化	ACC、LKAS など、特定の条件で作動し、ステアリング操作、制動操作など個別システムによる支援
2	システム統合、半自動運転、複合支援	レベル 1 における個別のシステムを複数同時作動させることにより実現される前後左右方向の自動制御
3	進化したシステム、限定的自動運転、条件付き自動運転	レベル 2 の個別システムの動作を電子制御により統合し、より高度な運転が実現される状態
4	完全自動運転	ドライバが何もしなくても目的地まで移動可能

自動化技術の適正で円滑な発展のためには、各レベルの支援内容を共通化し、システム作動中に問題が生じた場合の責任の所在について国際的な共通認識を作る必要があると考えられる。この結論は、システムに要求される性能やフェールセーフ機構などに影響を与えるため、今後の技術開発のロードマップを策定する上で重要な課題であると言える。

また、道路状況の変化などによりシステムが正常に作動しなくなった場合は、手動運転に切り替える必要が生じる。このとき、適切なタイミングと方法により運転の主権をシステムからドライバへ移行させる必要がある。そのため、システムを使用中のドライバの行動や意識状態などを踏まえた HMI を設計する必要がある。自動運転システムの HMI を標準化するために、ISO TC204/WG14 や ISO TC22/SC13/WG8 などが作業を開始している。

６．２．新たな自動車の定義

情報技術企業により全く新しいタイプの自動運転技術が開発されている例もある。各種のセンサやカメラ、車車間、路車間等の通信技術を利用した斬新な方法で自動運転が実現される可能性がある。この車両が従来の自動車とは異なるユニークな構造や HMI 等を備えている場合には、従来の自動車技術の枠組みにおいて特徴づけることが難しいと考えられる。これらの技術について WP29 がどのように扱うか、前もって検討を進めておく必要がある。

６．３．ウイーン条約、ジュネーブ条約との整合性

これまで見てきたような技術論だけでなく、ウイーン条約やジュネーブ条約などの国際道路交通の発達及び安全を促進する「道路交通に関する条約」との整合性を考える必要がある。例えば、欧州の多くの国が批准しているウイーン条約（日本は未批准）の第 8 条 5 項及び第 13 条 1 項は、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。この条約が発行した 1968 年当時、電子制御が運転に介入する可能性は想定されておらず、運転の全責任はドライバが負っていた。現在の運転支援技術において、システムの制御がドライバの操作よりも優先された場合、現行の条文に抵触する可能性が出てきた。

このような状況を受け、2014 年 3 月の国連道路交通安全作業部会（WP1）において、次の場合は前述の条項に適合するという改正案が採択された[8]。

- ブレーキアシストに代表される車両の国際法（1958 年、1998 年協定）が採択済みの装置で、オーバーライドやスイッチオフが出来ない装置についても、装置の介在により危険な運転状況において車両制御を維持することを助けるもの
- 車両の国際法に適合しない（未採択の）支援システムについては、オーバーライドとスイッチオフが可能なもの

以上の改正は運転支援の高度化や自動運転技術の発展を促進させると予想される。日本が批准しているジュネーブ条約（1949 年発行）も同様の文言を含んでおり、これらの国際法との整合性について議論を進める必要がある。

７．まとめ

運転の自動化は従来開発されてきた運転支援システムの延長線上に実現される技術であり、その進歩は段階的に進むと考えられる。高度化した運転支援システムにおいても、ある程度の段階まではドライバが安全管理義務を負うことになると予想される。当面の間、運転支援システムにおける警報ガイドライン、制御プリンシプルに基づいた HMI を設計することが技術の適正な発展のために必要である。運転支援システムの誤作動や作動停止時には、ドライバによる手動運転に切り替える必要があり、自動運転から手動運転に戻すタイミングや制御主権の移行手続きになどついて解明していく必要がある。

参考文献

1. 国土交通省：第 5 期 ASV 推進計画パンフレット
2. ITS Informal Group: Report of Two Years Activities in WP29/ITS Informal Group、国連文書番号 ITS-14-3
3. AdaptIVe: http://www.adaptive-ip.eu/
4. ITS Informal Group: 警報ガイドライン、国連文書番号 ECE/TRANS/WP.29/1091/Add.1
5. ITS Informal Group: 制御プリンシプル、国連文書番号 ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3
6. WP29: Autonomous Vehicles and WP29、国連文書番号 ITS-23-03
7. OICA: Automated Driving, definition for levels of automation、国連文書番号 No. WP.29-162-20
8. WP1: ウイーン条約改正案、国連文書番号 ECE/TRANS/WP.1/145

６．レーンキープアシストシステムに関する基準の国際動向

自動車安全研究領域　※児島 亨　自動車審査部　伊原 徹
芝浦工業大学　廣瀬 敏也（客員研究員）

１．はじめに

高速道路等において、ドライバの車線維持走行を支援するため、ステアリング装置を制御するレーンキープアシストシステム（Lane Keeping Assistance System、以下 LKAS とする）があるが、現行の国際基準には技術要件に関する具体的な規定が無い。我が国は、LKAS に関して必要な技術要件を具体的に規定するように国連自動車基準調和世界フォーラム（WP29）のブレーキ・走行装置分科会（GRRF）に提案した。その結果、有志国及び産業界により構成される専門家会議及び条文ドラフト作成会議が GRRF 配下に設置され、これらの会議における審議により作成された基準ドラフトが 2014 年 9 月開催の第 78 回 GRRF にインフォーマルドキュメントとして提出されたところである。

本稿ではこれまでの検討内容やドラフトの概要等について報告するとともに、当研究所で検討した LKAS の試験法について概要を報告する。なお、市場には、ブレーキ制御を用いたシステムも存在するが、今回の基準提案はステアリング制御によるシステムを対象としている。

２．LKAS の基準提案の経緯

２．１．LKAS の概要

図１に LKAS のシステム構成の例[1]を示す。カメラで前方の白線を検出し、道路形状を推定する。前方の道路形状と車両の速度や操舵角等の情報から推定した前方の自車位置とを比較し、必要に応じ電動パワーステアリングに操舵トルクを発生させ、車線維持支援の制御を行う。また、スイッチ等によりドライバは任意にシステムを ON/OFF することが可能である。メーター内の表示部分には、システムの状態（ON/OFF 及び ON の場合の作動可否等）を表示する。なお、制御中にドライバによる操舵をシステムが検出した場合には、制御を中止してドライバの操舵を優先する。

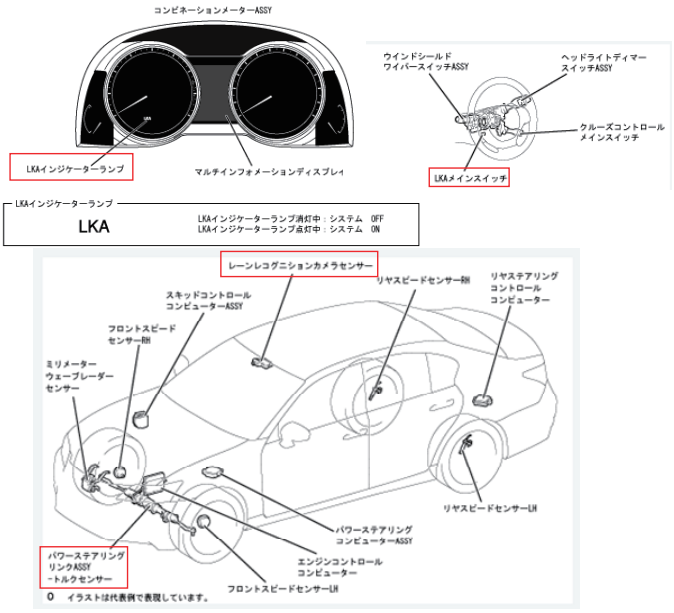


図１　LKAS のシステム構成の例[1]

２．２．ステアリング装置の基準における定義

現行のステアリング装置の国際基準（国連規則 No.79、以下、R79 とする）では、図２に示す様に、ステアリング装置を用いた運転支援システム又は操舵機能が定義されている。

Automatically Commanded Steering Function は、継続的にステアリング制御を行う機能として定義されており、車速 10km/h 以下で使用することが認められている。具体例として駐車支援システムがある。

Corrective Steering Function は、一時的なステアリング制御を行う機能として定義されており、車速の制限は無い。具体例として LKAS がある。

上記２つのステアリング制御による機能を包含した、ドライバの操舵を支援するシステムとして、Advanced Driver Assistance Steering System が定

義されている。これらのシステムでは、ドライバが常に車両を主体的にコントロールする責任を有することを前提としている。

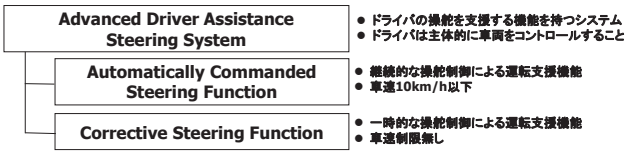


図２　R79 における操舵支援機能の分類

２．３．LKAS 基準提案の目的及び方法

LKAS は比較的新しいシステムであり、現在までのところ、他の予防安全システムと比べて十分に普及しているとは言い難く、今後、技術的に発展していく可能性の高いシステムであると考えられる。このことから、LKAS に関する個別の数値規定や性能規定を設けるのは時期尚早であると考えられる。しかしながら、自動車メーカー各社が独自の LKAS を市場に投入し、さまざまなシステムが市場で混在することにより、円滑な交通流に悪影響を及ぼしたり、ドライバの混乱を招いたりする可能性もある。そこで、安全性を担保するために最低限必要な LKAS の技術要件について規定するために、基準提案が行われることとなった。

また、現行の R79 では LKAS に関する具体的な規定は無いものの、Corrective Steering Function の例として LKAS を想定していることから、基準提案の方法としては、新たに LKAS の基準を策定することには拘らず、R79 の改正も含め、関係国と協議して決めることとなった。

２．４．LKAS の基準の候補となる項目の整理

LKAS の技術要件について、有志国及び産業界との専門家会議（Ad-hoc 会議）にて協議するための準備として、我が国において候補となる項目を整理した。LKAS の定義及びスコープ（対象車両）の他、技術的な要件として 16 項目が抽出された。16 項目のそれぞれについて、国内ガイドライン（車線維持支援装置の技術指針）、ISO（ドラフト）、車線逸脱警報（Lane Departure Warning System、以下 LDWS とする）の基準（R130）及び ITS ガイドラインの関連部分を参照又は引用しながら、具体的な要件の案が作成された。表 1 に、各項目と参照又は引用したドキュメントとの関係を示す。

２．５．専門家会議の概要

2013 年 11 月 19～20 日に、LKAS の技術要件について協議するための Ad-hoc 会議が、欧州自動車工業会事務所（パリ）にて開催された。会議は、スウェーデンと日本が共同議長を務め、スウェーデン、日本、欧州コミッション、ドイツ、オランダ、韓国及びスペインの関係者並びに欧州自動車工業会及び欧州部品工業会が参加した。

表１　LKAS の技術要件を検討するために参照又は引用したドキュメント

項目	技術的な要件を検討する上で参照または引用したドキュメント等				
				ITSガイドライン	
	国内ガイドライン	ISO（ドラフト）	LDWS基準（R130）	警報ガイドライン	制御プリンシプルガイドライン
作動速度	○	○	○		
システムの作動によって発生する加速度	○	○			
道路形状		○	○		
レーンマーキング		○	○		
性能（車線逸脱量）		○			
機能限界（作動が不可能な場合のドライバへの告知）	○			○	○
制御終了（突然終了することによるドライバの混乱防止）	○	○			
ハンドル手離し検出時の警報	○	○			○
オーバーライド（ドライバのステアリング操作優先）	○	○			○
不作動が許容される条件（ドライバの車線変更の意思を検出時）		○	○		
ドライバがON/OFFを選択可能な手段	○	○		○	
故障時の警報	○				
機能や使用方法のドライバへの周知	○				
フェールセーフ	○	○			
複合電子車両制御システムの安全性			○		
EMC（R10の適用）			○		

基準提案の進め方に関する出席者の大方の意見は、LKAS として新たな基準を策定するよりも、現行の R79 には規定が無いが、LKAS として規定すべき項目の有無を検討し、該当する項目を R79 の改正案として GRRF に提案するのが望ましい、というものであった。そこで、表 1 の各項目について、現行の R79 で規定されるか否かを審議した。

Ad-hoc 会議の審議結果は 2014 年 2 月の第 76 回 GRRF にて議長（スウェーデン）より報告された。GRRF での審議の結果、R79 の改正提案を 2014 年 9 月の第 78 回 GRRF にインフォーマルドキュメントとして提出するため、条文ドラフト作成会議（Small Drafting Group、以下、SDG とする）を 2014 年 5 月に開催することが GRRF で承認された。

２．６．SDG に向けた国内での検討及び SDG の概要

SDG の準備として、現行の R79 では規定されない項目のうち、改正ドラフトに入れるべき項目について国内で関係者と協議した結果、以下が合意された。

・LKAS の定義
・過大な制御介入の抑止及びスムーズな制御終了
・機能限界による作動不可時の警報
・ドライバがシステムを ON/OFF 可能な手段の設定
・ドライバがハンドルから手を離している時の警報

上記５項目に対する条文の案を日本が作成した。

SDG は 2014 年 5 月 26～27 日にフランス自動車工業会事務所（パリ）で開催され、スェーデンと日本が共同議長を務め、スウェーデン、日本、欧州コミッション、ドイツ及びオランダの関係者並びに欧州自動車工業会及び欧州部品工業会が参加した。SDG では日本が作成した条文案を基に協議が行われ、修正した条文をインフォーマルドキュメントとして第 78 回 GRRF に提出することが合意された。以下に各項目に対する SDG での主な論点を示す。

・LKAS の定義
LDWS と区別するため、LKAS は車両横方向の動きに影響を及ぼすシステムであることを明記する。

・過大な制御介入の抑止及びスムーズな制御終了
定性的な要件に加え、制御介入時にドライバによる操舵が行われた場合の操舵力上限値を規定（R79 の通常時操舵力規定を引用）する。

・機能限界による作動不可時の警報
作動不可となるケースとして悪天候を例示する。

・ドライバがシステムを ON/OFF 可能な手段の設定
任意要件とするが、明確化のため、規定する。

・ドライバがハンドルから手を離している時の警報
本項目の目的は、ドライバの不注意な状態を検出して警報することにあるため、ハンドル手離しの検出を不注意な状態を検出する手段として例示する。ドライバの不注意を検出した場合には、注意を呼び起こすための効果的な警報を行うことを規定する。なお、警報時にシステムの作動を解除するか又は継続するかについては規定しない。

3．LKAS の試験法についての検討

今回の R79 の改正提案には試験法は含まれていないが、今後、審査等で LKAS の機能及び性能を実車で確認する場合も想定されることから、事前検討として当研究所において試験法についての検討を行い、実車で妥当性を検証した。以下、概要を報告する。

3．1．試験法を検討した項目について

表 1 で示した各項目の中から、EMC 等を除き、LKAS の機能及び性能に関する項目を選定し、実車で確認するための試験法を机上で検討した。

選定した項目について試験手順を机上で検討した結果、制御終了（唐突に終了しないこと）については、内部の制御信号を採取しないと厳密な制御終了タイミングの判別が困難であり、また、制御終了が唐突であるか否かの判定基準を定めることも困難であることから、現時点では試験は困難であると判断した。その他の項目については、試験手順の案を作成し、実車で検証することとした。図 3 に机上検討の例として、LKAS の制御によって発生する横加速度及び車線逸脱量を直線路で確認する試験手順の概要を示す。

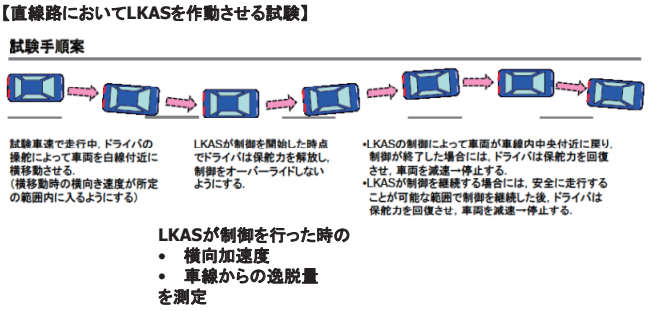


図３　試験手順の検討例

3．2．実車による検証

実車での検証に使用した車両は図４に示す２台（日本車１台、欧州車１台）とした。データの計測は、高精度 GPS、加速度センサ、操舵力計、ポテンショメータ及び小型カメラを車載し、物理量及び前輪タイヤ付近の画像をデータロガーで時系列に収録した。検証は当研究所の自動車試験場（熊谷市）で行った。



図４　実車検証に供試した車両

表２に実車で検証した項目の一覧を示す。直線路で確認する項目については、試験場周回路の直線区間で実施した。また、曲線路で確認する項目については、

表２　実車で検証した項目

試験名	走行路		試験条件 車速 [km/h]	逸脱方向	横向き速度 [m/s]	確認する項目	備考
性能確認試験	直線路		65	右	0.1～0.8	・制御によって発生する横加速度 ・車線からの逸脱量（外側前輪）	0.1～0.8m/sはLDWSの基準より引用 1～2m/sはやや速い横移動を想定 2～3m/sは速い横移動を想定
					1～2		
					2～3		
				左	0.1～0.8		
					1～2		
					2～3		
			80	右	0.1～0.8		
					1～2		
					2～3		
				左	0.1～0.8		
					1～2		
					2～3		
			100	右	0.1～0.8		
				左	0.1～0.8		
	曲線路	定常R	65	右	－		
		クロソイド	65	右	－		
作動速度確認試験	直線路		0→80→0	－	－	作動開始速度，作動終了速度	
機能限界確認試験	直線路		65	－	－	インジケータの状態，警報音の有無	曲線路での機能確認試験については，曲線路の性能確認試験の中で実施
			80	－	－		
ハンドル手離し試験	直線路		80	－	－	インジケータの状態，警報音の有無	
オーバーライド試験	直線路		80	右	－	オーバーライド時の操舵力	
				左	－		
ON/OFFスイッチ確認試験	直線路		0	－	－	インジケータの状態	
			40	－	－		
			65	－	－		
カメラ部遮蔽試験	直線路		80	－	－	インジケータの状態	

周回路の曲線部分（曲率半径がほぼ一定）及びクロソイド曲線（曲率半径が奥へ行く程小さくなる）の２通りを実施した。クロソイド曲線については、周回路内側の白線が引かれていないエリアに、白色の樹脂製プレートを路面に並べ簡易的に作成した。

３．３．検証結果及び課題について

実車で検証した結果の一例として、直線路においてLKASを作動させた場合の、制御により発生した横向加速度の計測値（最大値）を図５に示す。試験条件として、ドライバの操舵で車両を横移動させる際の横向速度を３条件設定したところ、供試車両２台とも、横向速度が最も低い条件（0.1～0.8m/s、LDWSの試験条件より引用）では、LKASの制御により発生する横向加速度は計測可能であった。一方、横向速度が高い条件（1～2m/s及び2～3m/s）では、車両を横移動させる際のドライバの操舵力がより大きく、操舵速度も高くなることにより、制御がオーバーライドされるため、制御により発生する横向加速度及び制御中の車両軌跡は計測不可能であった。ただし、直線路においては、上記の横向速度が高い条件は、危険回避等、ドライバが意図して操舵を行う状況であり、LKASによる車線維持支援の効果が期待される場面ではないことから、実車で試験を行う必要性は無いと考えられる。

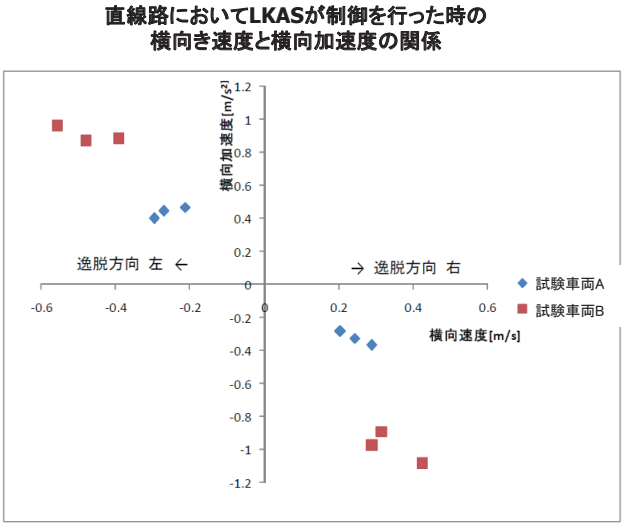


図５　実車検証結果の例

その他の項目については、曲線路でLKASを作動させる試験を除き、機能や作動の状況を確認するために必要なデータを計測可能であることを確認した。

曲線路での検証については、試験場周回路の曲線部及びクロソイド曲線ともに、曲率半径が小さかったため、LKASを作動させることができなかった。曲線路については、実車による試験実施の必要性についての議論は必要であるが、樹脂製プレートを用いる等の簡易な方法により、試験場内にLKASが作動可能な、比較的曲率半径の大きい曲線を作成できるか否かについて、引き続き検討を行う予定である。

４．まとめ及び今後の動向について

LKASの安全性を担保するために最低限必要な項目について、国際基準に規定することを、国連自動車基準調和世界フォーラム（WP29）のブレーキ・走行装置分科会（GRRF）に我が国から提案し、有志国及び産業界による専門家会議（Ad-hoc会議）及び条文ドラフト作成会議（Small Drafting Group）がGRRFの配下で開催されることとなった。これらの会議での審議の結果、ステアリング装置の基準であるR79に、LKASの技術要件を追加することで意見が一致した。関係者で合意したドラフトは、2014年９月開催の第78回GRRFにインフォーマルドキュメントとして提出された。今後はGRRFでの審議を経て必要な修正を行い、GRRFでの合意とWP29での採択を目指す。

また、LKASの改正提案とは別に、R79で定義されているAutomatically Commanded Steering Functionについて、高速道路での使用を前提として設計された一部のシステムを対象に、「車速10km/h以下」の規定を適用除外とする改正提案のインフォーマルドキュメントが第78回GRRFに提出される予定である。本改正提案がWP29で採択された場合は、実質的に高速道路における自動操舵がある程度可能となることから、我が国はGRRFでの審議や専門家会議等に積極的に参加する予定である。当研究所としても、自動操舵システムの安全性を担保するために必要な技術要件等について、検討を行っていく予定である。

なお、本稿で報告したLKASの試験法については、平成２５年度国土交通省受託調査「平成２５年度　車線逸脱防止システムの　国際基準に関する調査」(2)において実施した内容からの抜粋である。

参　考　文　献

(1) 電子技術マニュアル　品番SC20M0J、トヨタ自動車（株）サービス技術部、(2012)
(2) 平成２５年度国土交通省受託調査報告書－平成２５年度　車線逸脱防止システムの　国際基準に関する調査－（独）交通安全環境研究所、(2013)

7．歩行者の傷害からみた将来の自動運転技術への期待

自動車安全研究領域　　※松井 靖浩　　及川 昌子　　安藤 憲一

1．はじめに

日本の交通事故における負傷者数781,494人(2013年)の中で歩行者の占める割合は 8%である[1]。一方、死亡者数 4,373 人（2013 年）の中で歩行者の占める割合は、約 36%と最も高い[1]。死傷者（軽傷・重傷・死亡）数の中で死亡者数の占める割合を死亡率とすると、歩行者は車両乗車中を含む他の状態と比べて最も死亡率が高い[1]。政府は2018年までに交通事故死亡者数を年間2,500人以下とする目標[2]をかかげている。その目標達成のためには、交通弱者である歩行者事故への対策が極めて重要な課題となる。

歩行者が車両に衝突すると、車両のボンネットを含む加害部位に歩行者の頭部が衝突し死亡に至る場合が多い。歩行者の死亡低減を目指した車両側の衝突安全対策として、日本では 2005 年に車両のボンネットを対象とした歩行者頭部保護基準が世界に先駆け施行された。

一方、車両の衝突速度を低くすることで、歩行者の傷害程度を軽減できると考えられる。最近では車両に搭載されたセンサが前方の歩行者を検知し、警報やブレーキ制御をかける歩行者検知型被害軽減装置の普及も歩行者事故対策として有望視されている。

近年、ステレオカメラによる歩行者検知型被害軽減装置が開発され、既に一部実用化[3] [4]されている。同装置は、歩行者を検知し自動ブレーキが正しく作動した場合、衝突速度を減少させるシステムとなる。さらに日本では 2020 年を目標として、センサ等を利用した車両制御による自動運転技術の試用開始を目指している[5]。自動運転技術が確立した場合、歩行者との衝突を回避することが可能であると考えられる。しかし、実際の車両と歩行者との接触環境の中で、衝突までの時間が極端に短い場合（例えば歩行者の物陰からの飛び出し）、悪天候により制動制御が不十分な場合など、歩行者との衝突を完全に回避することが困難な場面も存在することが考えられる。本研究では、歩行者検知型被害軽減装置や自動運転技術により車両の衝突速度が低下したときの歩行者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、歩行者の重傷率・死亡率に着目し、車両衝突速度と歩行者被害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(ITARDA)が所有するマクロデータ及びミクロデータを使用した。車両の速度情報は、マクロデータでは車両走行速度のみが登録されている。一方、ミクロデータでは、車両走行速度に加え衝突速度が推定されている。そこで、本研究では 1．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、2．ミクロデータを用いた車両の走行速度と衝突速度の関係式の算出、3．車両衝突速度毎の重傷率・死亡率の算出、の手順を経て分析した。

2．マクロデータを用いた車両走行速度による重傷率・死亡率の算出

2009 年のマクロ事故データを使用した。歩行者交通事故における車両の各走行速度帯の重傷率・死亡率を次式より求めた。

$$\text{重傷率 (\%)} = \frac{\text{重傷者数}}{\text{軽傷者数＋重傷者数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{死亡率 (\%)} = \frac{\text{死亡者数}}{\text{軽傷者数＋重傷者数＋死亡者数}} \times 100 \quad (2)$$

なお、各速度帯における重傷率・死亡率を算出する際の分母に相当する数が 10 件未満の場合、解析から除外することとした。車両種類についてはセダン、ミニバン、1Box (Box van)、軽乗用車、軽貨物の 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・死亡率の関係をそれぞれ図 1 に示す。車両走行速度の増加に伴い、歩行者の重傷率・死亡率は増加する傾向であった。特に、重傷率は車種に係わらずほぼ一致した。一方、走行速度 60 km/h のときの 1Box の値を除き、死亡率は車種に係わらずほぼ一致した。文献[6]では、1Box が歩行者に衝突する衝撃シミュレーションが実施され、歩行者が高速度で衝突するとカウルトップが胸部へ衝撃し、胸郭骨折の可能性は高くなることが示されている。胸郭内には内臓器もあることから、実際の事故では 1Box が高速度で歩行者へ衝突すると死亡率が上昇してしまう可能性が示唆された。

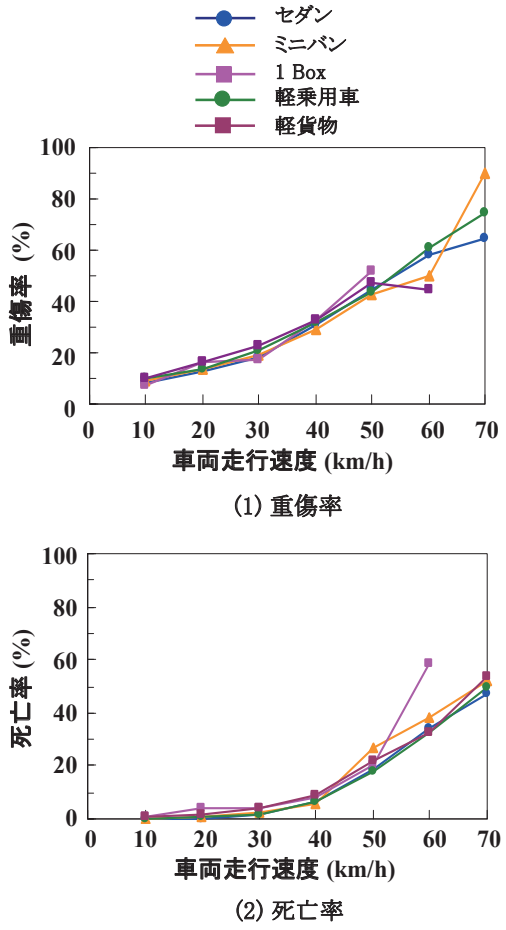


図 1　車両走行速度と重傷率、死亡率の関係

3．ミクロデータを用いた車両の走行速度と衝突速度の関係式の算出

ミクロデータはデータ数が限定されるため 1993 年から 2010 年までの全歩行者事故データを使用し、セダンのみを解析対象とした。ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物のデータ数は少なく、解析から除外することとした。

ミクロデータを用いて求めた走行速度と衝突速度の関係を傷害程度毎に図 2 に示す。走行速度と衝突速度の分布を直線近似（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、走行速度が 0 km/h のとき衝突速度は 0 km/h となるように y 切片は 0 としている。死亡（0.95）の回帰係数は大きいことから、車両はほとんど減速せずに歩行者へ衝突し、その結果歩行者が死亡に至ったことが推察される。軽傷と重傷、重傷と死亡の回帰係数の差の検定を行った結果を表 1 に示す。軽傷（0.75）と重傷（0.89）の回帰係数は有意に異なる（P=0.004）が、重傷（0.89）と死亡（0.95）の回帰係数に有意な差はない（P=0.180）ことが判明した。

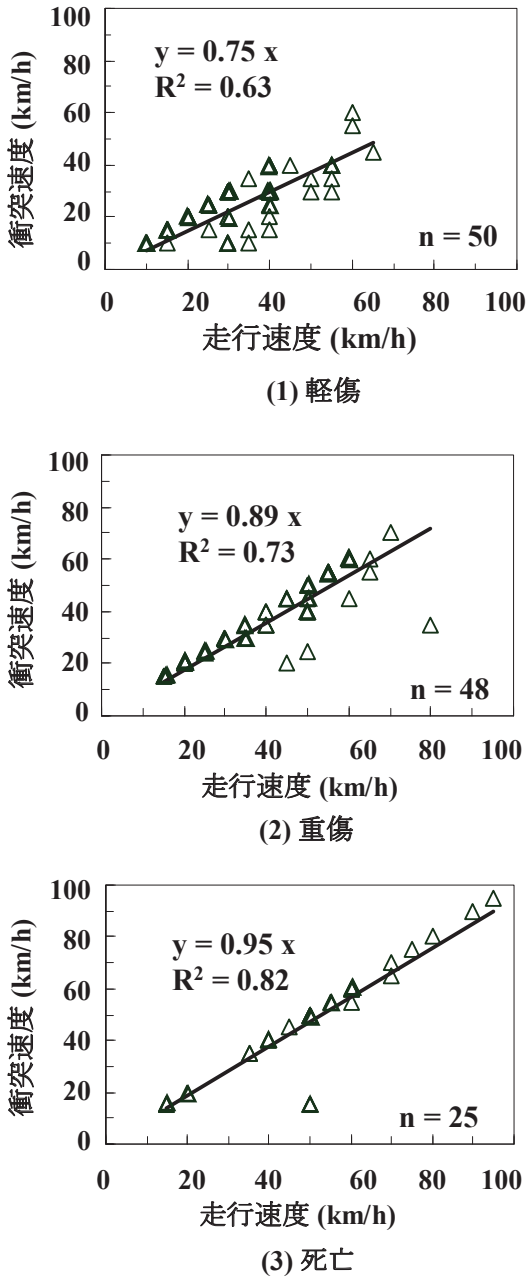
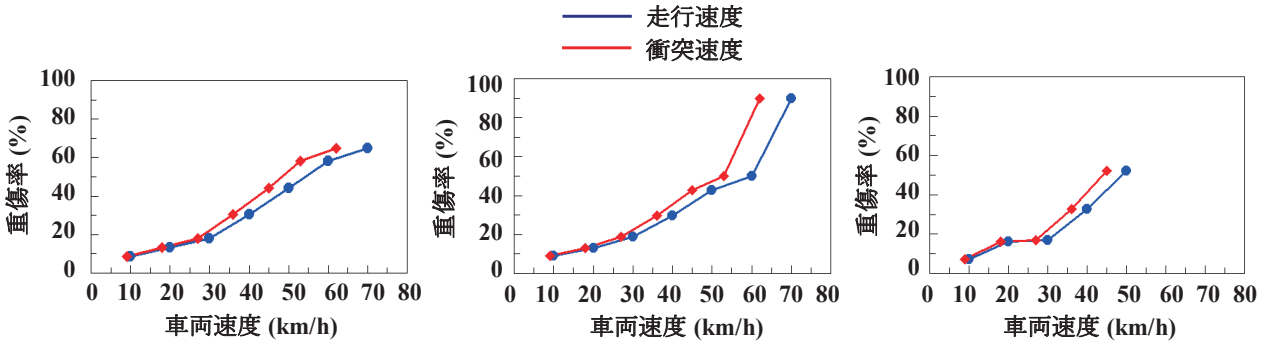
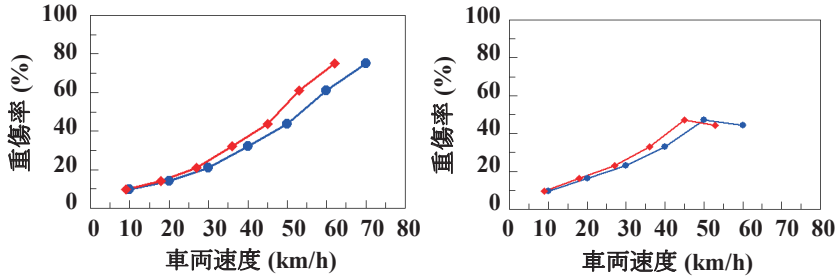


図 2　セダンにおける走行速度と衝突速度の関係

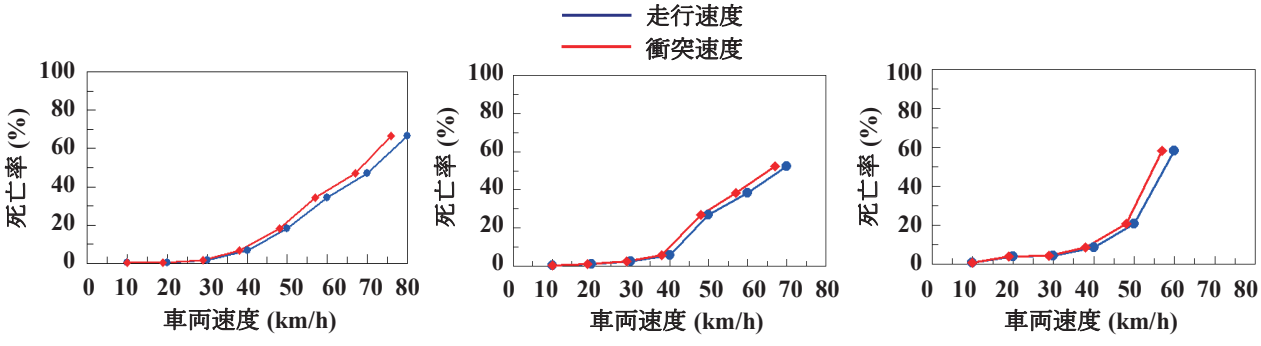


(a) セダン　(b) ミニバン　(c) 1 Box

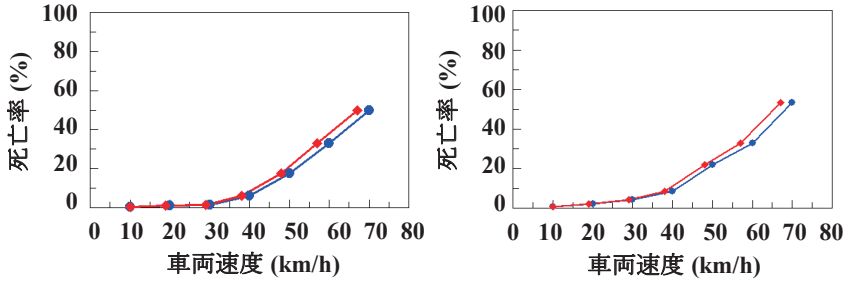


(d) 軽乗用車　(e) 軽貨物

(1) 重傷率



(a) セダン　(b) ミニバン　(c) 1 Box



(d) 軽乗用車　(e) 軽貨物

(2) 死亡率

図３　車両速度と重傷率、死亡率の関係

表 1　傷害間（軽傷と重傷、重傷と死亡）の回帰係数の差の検定結果

検定対象となる2群	軽傷と重傷の差		重傷と死亡の差	
	軽傷	重傷	重傷	死亡
平均直線回帰係数	0.7496	0.8929	0.8929	0.9484
直線回帰係数の標準偏差	0.0274	0.0251	0.0251	0.0344
事例数	50	48	48	25
p値	0.004**		0.180	

** 1%有意

表 2　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	9	9	8	10	11
20	14	14	16	16	18
30	23	23	23	25	27
40	37	36	42	38	40
50	53	47	57	55	45
60	63	80	-	71	-

表 3　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	1	0	1
20	0	1	4	1	2
30	3	3	5	2	5
40	9	10	11	9	12
50	22	30	31	22	25
60	38	42	-	38	-

4．車両衝突速度毎の重傷率・死亡率の算出

3 章の結果であるセダンの車両走行速度と衝突速度の近似式を 2 章の走行速度に適用し、セダン、ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物の 5 車種について衝突速度毎の歩行者の重傷率・死亡率を算出した。算出した衝突速度と歩行者の重傷率・死亡率の関係をそれぞれ図 3、表 2 及び表 3 に示す。5 車種の重傷率に着目すると、衝突速度 40 km/h では 36%～42%となるが、衝突速度が 30 km/h の場合には 23%～27%へと低下することが判明した。死亡率に着目すると、衝突速度 40 km/h では 9%～12%であるが、衝突速度が 30 km/h の場合には 2%～5%へと低下することが判明した。この結果より、衝突速度を 10 km/h 低減させただけでも重傷率・死亡率が大幅に低下可能なことが示された。また、衝突速度を 30 km/h 以下にすると、死亡率は 5%以下に抑えられることが実際の交通事故の状況より明確になった。

5．おわりに

本研究では実際の交通事故状況を基にセダン、ミニバン、1Box、軽乗用車、軽貨物の 5 車種を対象として、衝突速度が減少した場合の歩行者被害状況を分析した。その結果、いずれの車種についても 40 km/h 以上の衝突速度を 10 km/h 低減させただけでも重傷率・死亡率が大幅に低下することが判明した。さらに、衝突速度が 30 km/h 以下になると、重傷率は 27%以下、死亡率は 5%以下であった。本研究結果より、歩行者を検知し衝突速度を下げる歩行者検知型被害軽減装置及び自動運転技術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、歩行者の傷害レベルは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。

なお、本研究は公益財団法人交通事故総合分析センターの人体傷害分科会の活動として遂行したものである。本研究をまとめるにあたり、茨城キリスト教大学土井努先生、元公益財団法人交通事故総合分析センター伊藤正廣氏、公益社団法人自動車技術会の歩行者事故予防安全システムのあり方に関する研究会よりそれぞれ助言を得た。記して関係者に謝意を表する。

参考文献

1. 公益財団法人交通事故総合分析センター : 交通統計 平成 25 年版 (2014)

2. 内閣府 : 平成 21 年交通安全白書 (2009)

3. 柴田英司 : 新開発ステレオカメラによる運転支援システム「EyeSight」の開発　自動車技術 Vol.63、 No.2 pp.93-98 (2009)

4.　葛巻清吾 : 安全への取り組み　自動車技術、Vol.63 No.12 pp.11-16 (2009)

4. http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html

5. 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 (2014)

6. 松井靖浩、高橋国夫、西本雄俊、水野幸治、一杉正仁、中根大祐、和波真吾 : 有限要素解析を用いた歩行者事故における車体前面形状が胸部傷害に及ぼす影響　自動車技術会論文集、Vol. 41、No. 5、 pp. 1017-1022 (2010)

８．自動ブレーキの性能及び事故低減効果の評価手法

自動車安全研究領域　　※田中 信壽　　安藤 憲一

１．はじめに

現在、自動運転車両は、世界中で盛んに研究開発されている。もちろん自動運転車両といっても自動車であることには変わりはないので“走る”“曲がる”“止まる”といった機能を有していなければならない。この“止まる”機能として用いられるのが“自動ブレーキ”である。自動ブレーキは“止まる”ための機能であるという面では従来のブレーキ装置となんら変わりはない。ただし、大きく異なるのは、周囲の状況を認知し、その状況に応じた制動力を判断してブレーキ装置を操作するといった機能を有していなければならないという点である。即ち、自動ブレーキには、ドライバがブレーキを操作するために行う認知・判断・操作をドライバと同等若しくはそれ以上に安全に行うことを可能とするシステムが求められる。

２．自動ブレーキの特徴

自動ブレーキには、ドライバが行うブレーキ操作を模擬する機能が求められることから、まず重要となる装置がドライバの“目”に相当するセンサである。現在、自動ブレーキで採用されているセンサは、主としてカメラ（単眼及び複眼）、ミリ波レーダ及び赤外線レーザーレーダなどであり、いずれのセンサも対象物への測距機能を有しているが、それぞれのセンサの特徴に応じてメリットデメリットが存在している。

カメラの最も大きなメリットは、対象物体が何であるか特定できる点である。対象物が車両であるのか歩行者であるのか又はガードレールであるのかが判別できれば、より状況に合わせた制動を行うことができる。また、最近では、導入コストが下がっている点もメリットと言える。デメリットとしては、人の目と同様に逆光、対向車のライトや雨天による視界不良といった状況では機能が低下する点が挙げられる。

ミリ波レーダの最大の特徴は、100[m]以上先の対象物までセンシングが可能な点である。即ち、制動距離に比して遠方までセンシングが可能であるということは、自車の速度が高い領域でも自動ブレーキを実現できるという可能性を生むため、このメリットは非常に大きい。また、昼夜天候の影響など視界の状況に左右され難い特徴もメリットと言える。デメリットとしてしては、対象物がなんであるかを判定しにくい点とシステムが比較的高価である点が挙げられる。

一方、赤外線レーザーレーダのメリットは、安価な装置で測距機能を実現できる点にある。デメリットとしては、センシングが可能な距離が比較的短い点で、これによって自動ブレーキは低速域のみでの作動に限られてしまう点が挙げられる。

３．自動ブレーキの現状

現在、これらセンサを有する自動ブレーキは、機能を限定する形で既に市場に投入され始めている。そのシステムの代表例が AEB（Autonomous Emergency Braking system）である。この AEB は、衝突の危険性があり、ドライバでは対処が困難であるような状況のみに限って作動する自動ブレーキである。表１に既に、市場に投入されている AEB の例を示す。本表に示すように AEB は、既にほとんどの自動車メーカによって市場投入がなされており、自動車において不可欠な装備となりつつある。

AEB に関する法規制は、大型車のカテゴリで進められており、EU では既に 2013 年 11 月から新型の大型商用車に対して装着が義務付けられている。また、2015 年 11 月からは継続生産車に対しても装着が義務付けられる。一方、日本では、新型の大型トラック及びバスに対して 2014 年 11 月から装着が義務付けられ、継続生産車に対しても 2017 年 9 月から順次装着が義務付けられる。

その一方で、普通乗用車のカテゴリでは法規制の動きはないが、自動車アセスメントによって標準化が図られようとしている。欧州における自動車アセスメントである Euro-NCAP では、2014 年より、低速域（20km/h 以下）での作動を対象とした AEB City

表１　AEB の市場概況

メーカ	AEB の呼称	センサタイプ	特徴の一例*
スバル	EyeSight ver.3	ステレオカメラ	前方車両との速度差が約 50km/h（歩行者の場合は約 35km/h）以下なら衝突回避又は被害軽減
	トマールレーダー	レーザーレーダ	約 4km/h～約 30km/h で衝突回避（相対速度 20km/h 以下で可能）又は被害軽減
トヨタ	衝突回避支援型プリクラッシュセーフティシステム	ミリ波レーダー・ステレオカメラフュージョン方式	相対速度 40km/h まで衝突回避又は被害軽減
	プリクラッシュセーフティシステム	ミリ波レーダ	先行車 20km/h、自車 50km/h の場合、最大 30km/h 程度減速し、衝突回避又は被害軽減
マツダ	SCBS	レーザーレーダ	約4～30km/h で衝突回避又は被害軽減
	SBS	ミリ波レーダ	約 15km/h 以上で走行中に衝突回避又は被害軽減
ホンダ	CMBS	ミリ波レーダ	約 5km/h 以上（相対速度 5km/h 以上）で衝突回避又は被害軽減
	シティブレーキアクティブシステム	レーザーレーダ	約 5km/h～約 30km/h で衝突回避又は被害軽減
日産	エマージェンシーブレーキ	カメラ	約 10～80km/h で衝突回避又は被害軽減
三菱	e-Assist	ミリ波レーダ	先行車との相対速度 30km/h 以下で、衝突を回避
スズキ	レーダーブレーキサポート	レーザーレーダ	約 5km/h～約 30km/h で衝突回避（15km/h 以下で可能）又は被害軽減
ダイハツ	スマートアシスト	レーザーレーダ	約 4km/h～約 30km/h で衝突回避（相対速度 20km/h 以下で可能）又は被害軽減

＊当研究所にて各社公開情報をもとに整理。上表内の記載条件でも作動しない場合があると表記されているものもある。

System と高速度域（50～80km/h 以上）での作動を対象とした AEB Inter-Urban System の評価を開始しており、2016 年からは歩行者への衝突回避・被害軽減を対象とした AEB Pedestrian System の評価も開始する予定である。一方、日本の自動車アセスメントである J-NCAP でもほぼ同様のスケジュールで評価を行うことが計画されている。

4．AEB の効果評価

現在、我々は、歩行者事故の低減を目指し AEB Pedestrian System に対する効果評価手法の開発を進めている。上記の自動車アセスメントに代表される評価は、あくまで AEB が衝突を回避することが可能な条件、即ち、性能を評価するものである。しかし、AEB の評価として最終的に求められるのは、そのような性能を有する AEB がどの程度事故を削減できるのかといった事故削減効果である。そこで、我々は、まず、AEB の性能を的確に評価することが出来る手法を開発し、次いで、その性能評価によって得られた結果から AEB の事故削減効果を導出する手法を開発することを目指している[1)]。

本研究では、以下の３つの課題について、研究を進めている。

【１】AEB の性能評価手法の開発

【２】AEB の試験装置の開発

【３】AEB の効果評価手法の開発

課題【１】の AEB の性能評価手法の開発では、AEB の性能評価を行う上で適切な条件を明らかにするために、歩行者事故の事故状況に関する分析を行った。図１～３は、それぞれ、昼夜別、事故状況別そして危険認知速度別の歩行者の死傷者数（2010 年～2012 年）を示したものである。これらの分析結果より、性能評価では以下のような条件を想定した試験環境で実施することが重要であるという結論を得た。

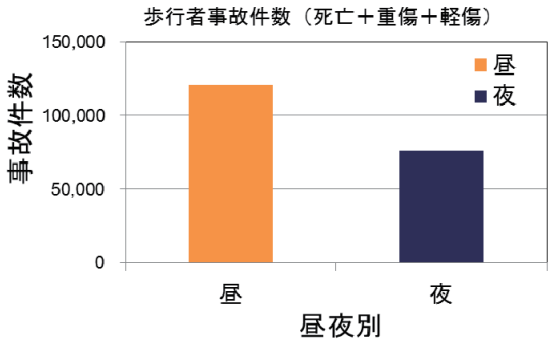


図１　昼夜別歩行者死傷者数

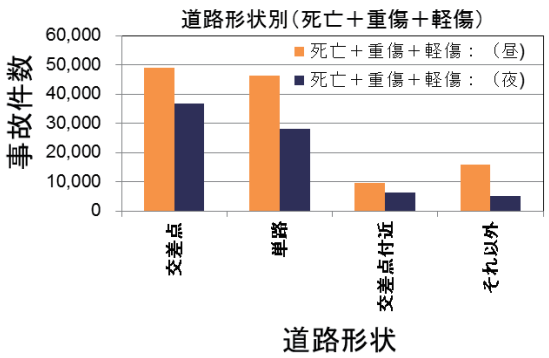


図２　道路形状別歩行者死傷者数

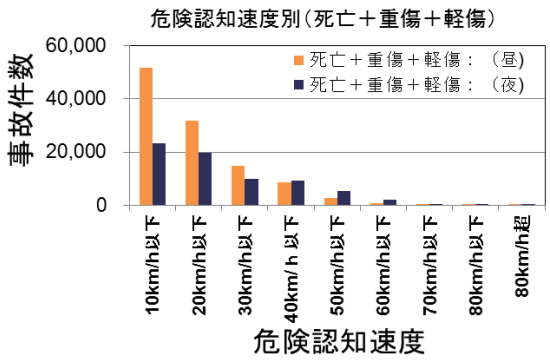


図３　危険認知速度別歩行者死傷者数



図４　歩行者ダミーの設置状態

・昼間を想定する。
・交差点における歩行者の横断行動若しくは単路における歩行者の横断行動を想定する。
・車両速度が 40km/h 以下の場合を中心に行う。

現在、本研究における AEB の性能評価では、図４に示すように走行車線上に歩行者ダミーを設置し、AEB 搭載の試験車両をこの歩行者ダミーに対して等速度で接近させ、衝突回避の可否、衝突が発生した場合はその衝突速度を計測する試験方法を検討している。本試験で重要となってくるのが、歩行者ダミーの実際の歩行者に対する同等性である。つまり、歩行者ダミーは、AEB の各種センサの検出量に対して歩行者と同等の特性を有していなければならない。

そこで、課題【２】の AEB の試験装置の開発では、歩行者ダミーのミリ波レーダに対する反射特性の設計を試みている。この歩行者ダミーの設計では、実際に人体のミリ波レーダに対する反射特性を計測し、このデータと整合がとれるような歩行者ダミーの開発を目指している（図５）。

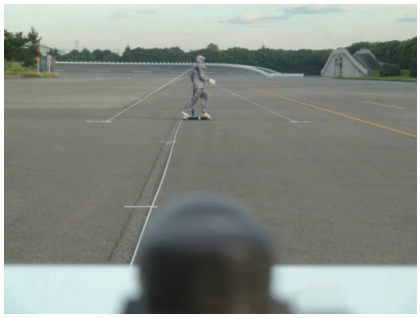


図５　歩行者ダミーのミリ波レーダ反射特性の計測

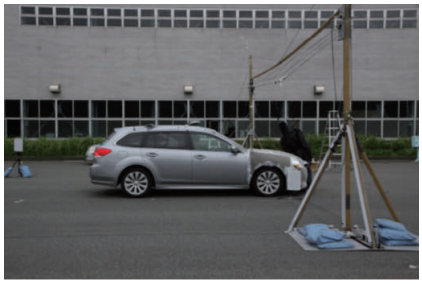


図６　歩行者ダミーの道路横断模擬装置

さらに本試験装置の開発では、歩行者ダミーを走行車線上に静止させるだけでなく、図６に示すように道路横断を模擬させる装置の開発も進めている。

課題【３】の AEB の効果評価手法の開発では、性能評価によって得られる試験車両の衝突回避の可否と衝突した場合の衝突速度から効果評価を実現する手法の開発を進めている。

図７に、図４の試験装置を使用し、上述の試験方法（試験車両速度：5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80[km/h]）にて実施した性能評価の結果を示す。試験車両として、センサの異なる AEB を搭載した２車種（車両 A：カメラ、ミリ波レーダ及び赤外線レーダの複合システム、車両 B：カメラ）を用意した。

図７において衝突速度 0[km/h]は、衝突を回避したことを示している。また、本研究では、歩行者事故において衝突速度（10[km/h]毎）と傷害の程度との関係を分析し、その結果、頭部と胸部において AIS(Abbreviated Injury Scale)≥4 という重篤な傷害を発生する確率は、衝突速度が 30[km/h]と 40[km/h]との間で大きく減少することが明らかとなった [2]。そこで、40[km/h]未満で衝突した場合を低リスク衝突（“Minor collision”）、40[km/h]以上で衝突した場合を高リスク衝突（“Severe collision”）と定義し、衝突回避（“Avoidance”）とともに３つに場合分けを行い、多項ロジスティック回帰分析を用いて AEB の性能を評価する手法を開発した。図８(a)及び(b)に、それぞれ多項ロジスティック回帰分析によって得られた試験車両 A 及び B の衝突回避確率、低リスク衝突発生確率及び高リスク衝突発生確率を示す。

次いで、本研究では、これら AEB の性能が反映された確率曲線を歩行者事故の死者数に乗じることで、AEB が導入された際に衝突事象（死亡事象）が回避

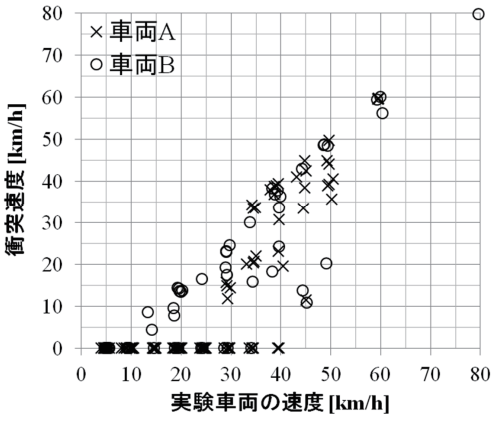
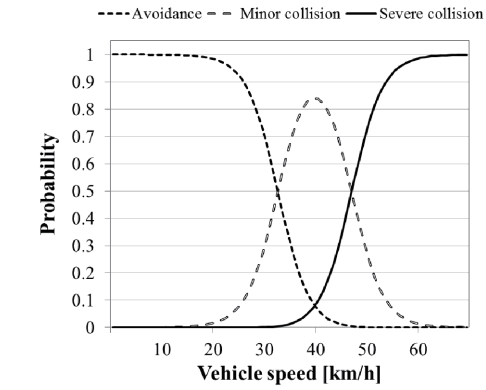
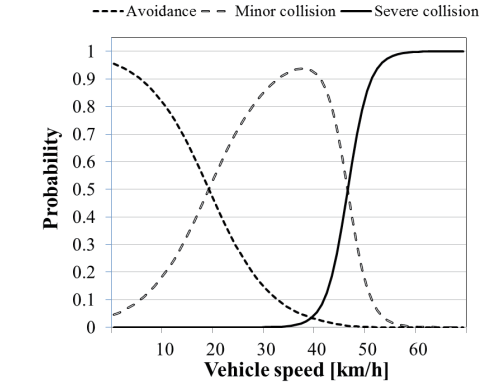


図７　性能評価結果

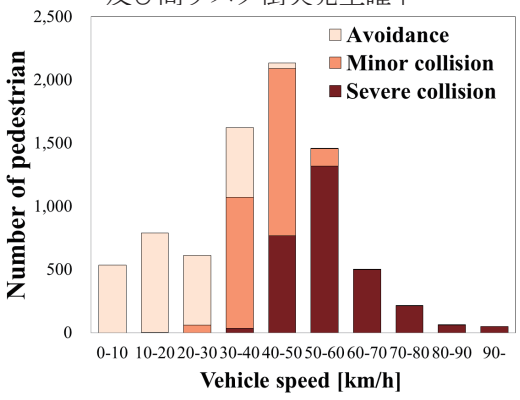


(a) 試験車両 A

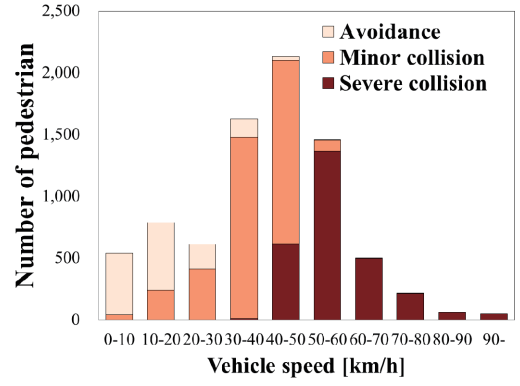


(b) 試験車両 B

図８　衝突回避確率、低リスク衝突発生確率及び高リスク衝突発生確率



(a) 試験車両 A



(b) 試験車両 B

図９　AEB による死者数の削減効果

される人数（“Avoidance”）、死亡事象から低リスク衝突事象となる人数（“Minor collision”）及び死亡事象から高リスク衝突事象となる人数（“Severe collision”）をそれぞれ推定する手法を AEB の効果評価手法として開発した。図９(a)及び(b)に、それぞれ試験車両 A 及び B の性能を有する車両が 100%普及した場合に本手法で推定される上記それぞれの推定人数を示す。これらより AEB が普及することによって、低速度域では衝突が回避されるケースが増え死者数を純減させることができる可能性や高速度域で衝突が発生し死亡事故となったケースでも低リスク衝突事象となることで死亡事故にまで至らない可能性があることが確認された。

５．まとめ

AEB は既に普及期を迎えており、今後、搭載車両は増加してくることが予想される。ただし、図９の(a)と(b)に示すように特性設計を含む AEB の性能は異なっているのが現状である。これは、AEB の性能と事故削減効果の関連性が不明確であることが原因の一つであると考えられる。そこで、本研究ではこの点を明らかにすることを目指し、AEB の性能（図８）から死者数の削減数（図９）や被害が軽減される可能性がある人数（図９）を推定するような手法を開発した。これによって、車両 A の AEB は車両 B の AEB と比較して死者数を削減でき、被害が軽減できる可能性が高いという結論を得ることが可能となった。

ただし、これはあくまで今回の試験方法に基づく評価であり、この試験方法がどの程度事故実態を反映したものになっているかが重要となる。そこで、本研究では、今後、さらに試験条件の吟味を行うとともに、それを実現する試験装置の開発にも注力していきたいと考えている。また、効果評価の推定手法に関しても事故の発生状況と衝突回避・被害軽減性能との関連性を精査し、より精度の高い推定手法の開発に注力していく予定である。

参　考　文　献

1)安藤憲一、田中信壽：衝突回避・被害軽減ブレーキの性能評価と効果推定に関する検討（第１報）～（第４報），自動車技術会学術講演会，学術講演会前刷集

2)松井 靖浩、 及川 昌子、 安藤 憲一、 土井 努: 交通事故からみた車両衝突速度と歩行者被害の関係，自動車技術会春季学術講演会，学術講演会前刷集，No.72-14, pp19-22 (2014)

ポスターセッション

① コールドスタートに対応した ハイブリッド重量車燃費評価法に関する検討

環境研究領域　　※小林 雅行　　奥井 伸宜

1．はじめに

車両の動力源にエンジンとモータなどを組み合わせたハイブリット技術が燃料消費率（以下、燃費）の向上手法として注目を集めている。2015 年度の重量車燃費基準の達成のためにもトラックやバスなどの重量車においてもハイブリッド技術の適用が期待される。燃費向上が求められているのと同様に排出ガス規制も強化されており、重量車の排出ガス評価については、エンジン冷機時から計測を開始するコールドスタート時の評価も予定されている。

一方、ハイブリッド重量車における燃費評価手法には HILS 法[1]（HILS : Hardware-In-the-Loop Simulator）が用いられているが、本手法ではエンジン暖機時の燃費マップを用いるなどの理由でコールドスタートの計測に対応していない。このため、将来的にコールドスタートを適用する場合の燃費評価が課題となる。

本研究では、従来の HILS 法に用いられている HILS を最大限活用し、ハイブリッド重量車向けのコールドスタートを考慮した燃費評価を簡易かつ高精度に実現可能な評価装置を検討した。

2．評価手法と課題

現在の HILS 法や、燃費、排出ガス計測に利用されるシステムベンチ法およびシャシダイナモ試験手法を用いる場合の対応方法および課題を整理した。

2．1．HILS 法

現在の HILS 法によるハイブリッド重量車の燃費算出手順は、始めにエンジンベンチにて定常運転（エンジンや後処理装置などが暖機状態）により各種運転ポイントの燃費を計測する。次に、この燃費値を燃費マップとして HILS モデルに書き込む。最後に、HILS モデル上の仮想車両を走行させ、この時にエンジン単体の運転ポイントと燃費マップから燃費を算出する。

このように、現在の HILS 法では暖機条件の燃費マップを利用しているため、コールド状態の燃費を正しく反映できない。なお、温度毎の燃費マップを作成することは技術面、工数面で現実的ではないと考える。

2．2．システムベンチ法

システムベンチ法[2]とは、概略するとエンジン単体のベンチに実機のハイブリッドシステムを組み合わせた計測手法である。実機エンジンを用いるため、コールドスタートに対応することが可能であるが、多種多様な車種毎のハイブリッドシステムをすべて実機で構築する必要があるなど評価手法としては対応が困難であると考えられる。

2．3．シャシダイナモ試験

乗用車の燃費、排出ガス評価に用いられている手法である。実車両を用いてシャシダイナモメータ上を走行するため、コールドスタートも含め最も実路走行に近い形で試験が可能である。しかしながら、重量車については、車型が多くこれらすべての車両を製作して評価することとなり現実的ではない。

3．対応手法の検討

上述のシステムベンチ法やシャシダイナモ試験でハイブリッド重量車のコールドスタートの燃費評価を行うには対応が困難である。そこで、本研究では従来の HILS 法に用いられている HILS を活用する。

HILS では、エンジンモデル部分はトルクマップや燃費マップを用いて再現される。このエンジンモデル部分を実機に置き換えることで、課題としているコールドスタートの燃費評価が行えると考えた。

また、この手法ではトルクマップや燃費マップを取得するための事前の試験が不要となるほか、実機エンジンの運転に従来のエンジンベンチを利用できるため新たな設備も不要である。さらに、エンジンベンチ

表１　ハイブリッド重量車燃費評価手法の比較

対応方法	コールドスタート試験	試験精度	試験工数	設備
従来HILS	× 対応策なし （モデル改良で対応する策もあるが難航中）	×	ー	× ・HILSモデルの大幅な改良が必要 ・個々の車両に対応させたモデルが必要
拡張HILS	○ 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コールドスタート試験が可能	○ ・実機エンジンを使用するため，実車制御則を反映した試験が可能で，試験精度も良い	◎ ・HILSを実行しながらエンジンテストを同時に行うため，複数台におよぶ車両の評価が可能 ・エンジン冷却水を強制的に循環させれば，一日に複数回，コールド試験が可能	◎ 現行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）
ｼｽﾃﾑﾍﾞﾝﾁ法	○ 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，実車相当でのコールドスタート試験が可能	○ 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，実車相当の試験精度が確保可能	△ 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ため，重量車の車種に応じたシステム構築が必要	△ 保有エンジンベンチを使用するが，個々の実車のハイブリッドシステムをベンチ内に構築する必要がある
ｼｬｼﾀﾞｲﾅﾓ試験	○ 実車を用いた試験を行うため，最も実走行に近い形での試験が可能	◎ 実車を用いた試験を行うため，最も実走行に近い試験精度が確保可能	× ・個々の実車の試験に限られる ・実車と設備の確保が必要	× 高額な設備投資が必要 （大型シャシダイナモメータ）

では後処理装置も設置されることから、排出ガスの評価も同時に行え、評価工数が削減できる。

ここで、2 章および本章で検討したそれぞれの手法とコールドスタートへの対応および各種要件に対する適用度を表 1 に示す。このように、HILS と実機エンジンを組み合わせる手法は、その他の手法に対して比較的簡易に製作が行え、コールドスタート評価への対応のみならず試験精度も高まると考えられる。

4．拡張 HILS の構築

この、HILS と実機エンジンを組み合わせた手法を、従来の HILS に対してエンジン部分を拡張させることから、拡張 HILS とした。以下に、システム構築内容を述べる。

4．1．システム構成

拡張 HILS のシステム構成を図 1 に示す。本手法では、従来 HILS のハイブリッド車両モデル内にあるエンジンモデル部と実機エンジンとの情報を相互に入出力することで従来 HILS と同等の構成にすることが可能と考えシステムを構築した。HILS とエンジンダイナモメータ制御盤との間において CAN 通信を用いて各種信号を送受信させる。この他、フライホイールリングギアから取得される回転信号をパルス用のボードへ入力し、エンジン回転として認識させた。

本手法で用いた HILS とエンジンベンチの仕様を表 2 に示す。本 HILS は、HILS 法で使用されている装置である。エンジンベンチは、トラックメーカーで用いられている一般的な仕様である。実機エンジンは日野自動車製 N04C を用いた。これらに係る改造箇所は、制御盤側は CAN 通信用ボードの増設と次項で説明す

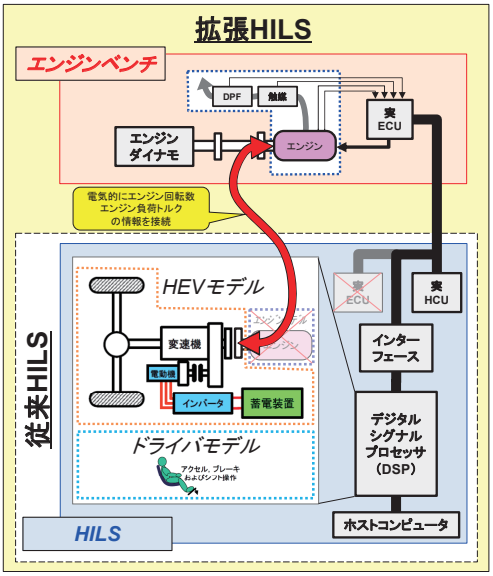


図１　拡張 HILS のシステム構成

表 2 拡張 HILS の各種仕様

名称		仕様	
DSP 1 （I/Oﾓﾃﾞﾙ）	CPU	GHz	2
	ADIOﾎﾞｰﾄﾞ	枚	2
	COREﾎﾞｰﾄﾞ(ﾊﾟﾙｽ用)	枚	2
	CANﾎﾞｰﾄﾞ(2ch)	枚	1
	ｼｪｱｰﾄﾞﾒﾓﾘﾎﾞｰﾄﾞ	枚	1
DSP 2 （車両ﾓﾃﾞﾙ）	CPU	GHz	2
	ｼｪｱｰﾄﾞﾒﾓﾘﾎﾞｰﾄﾞ	枚	1
OS	Linux PRO		
ソフトウェア	CRAMAS、Simulink		
擬似負荷ﾎﾞｰﾄﾞ	小野測器製		
通信仕様 （①HILS⇒制御盤、 ②制御盤⇒HILS）	CAN 2.0A/B，J1939, 10msec周期		
	① ｴﾝｼﾞﾝ負荷ﾄﾙｸ、① ｱｸｾﾙ開度、 ② ｴﾝｼﾞﾝ回転数、② ｴﾝｼﾞﾝﾄﾙｸ		
制御盤	FAMS-8000		
車両ﾓﾃﾞﾙ	JARIﾓﾃﾞﾙのT/M仕様と ENG仕様を変更（Hino Dutro相当）		
実機ｴﾝｼﾞﾝ	Hino N04C-TM 4.0L ﾃﾞｨｰｾﾞﾙｴﾝｼﾞﾝ		

る 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（以下、ダイナモ）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。

4．2．モデル構成

HILS モデルの構成概要を図 2 に示す。図では、エンジンをコントロールするドライバモデルからのアクセル信号と、エンジン回転が車速へ変換される信号の流れを示している。なお、本 HILS では、ドライバモデルに JE05 モードの目標車速が与えられ、この車速に追従するようにアクセル操作が行われて仮想車両が走行する仕様となっている。

仮想車両の走行に必要なエンジン回転は、従来 HILS ではエンジンモデル（トルクマップ）から得られるエンジントルクと、車両側からエンジンに掛るエンジン負荷トルクを用いて算出される。拡張 HILS に

おけるエンジン回転は、図中の破線で囲まれたエンジン回転を算出するモデル部を実機で再現する。具体的には、ダイナモ上において実エンジントルクとダイナモに発生させたエンジン負荷トルクを用い、これらのトルク差で生じる変位がエンジン回転となる。演算に使用する実際のエンジントルクの制御は、モデル内のアクセル開度情報をエンジンコントロールユニット(ECU)に入力して行い、エンジン負荷トルクの制御は、モデル内で算出された値を制御盤へ入力してダイナモを制御する。

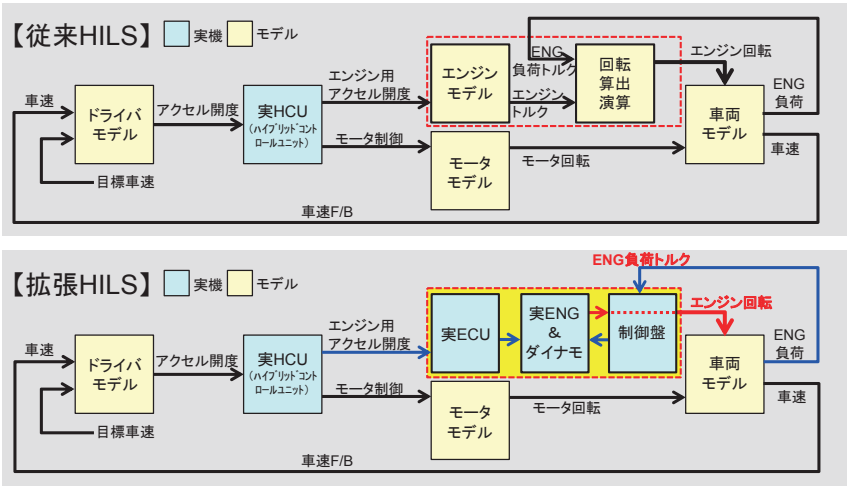


図 2　HILS モデルの構成概要

5．拡張 HILS の検証

拡張 HILS を実際に作動させて、モデル内算出データの推移および実機エンジンの挙動を評価した。

5．1．エンジン回転信号評価

本装置は HILS モデルへ入力するエンジン回転信号に、CAN 信号とパルス信号の両方が使用できる。本装置に最も有効な信号を選定するため、エンジン回転信号の応答速度や周期が HILS モデルの演算に対してどのように影響を及ぼすかを検討した結果、最終的にパルス信号方式が有効であると判断し、本装置に用いる方式として選定した。以下に検討結果を示す。

運転条件には、図 3 に示す JE05 モード開始直後の加速部分を用いた。CAN 信号を用いた場合、ダイナモを制御するエンジン負荷トルクの値がハンチングを起こし、この影響でエンジン回転も不安定となり運転の継続ができなかった。これに対しパルス入力の場合、エンジン負荷トルクおよびエンジン回転挙動を共に従来 HILS とほぼ同等に再現することができた。

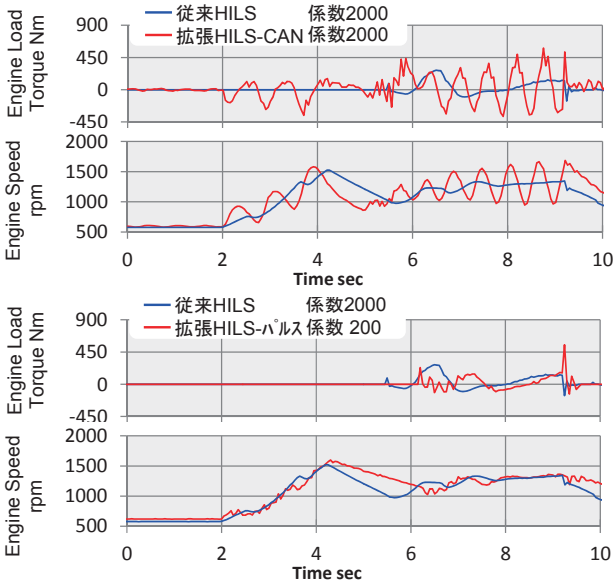


図 3　エンジン回転信号形式の影響

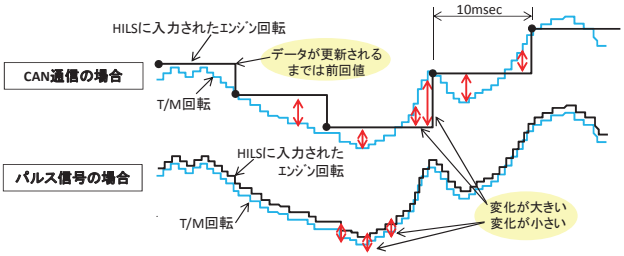


図 4　CAN 信号とパルス信号による演算違い

CAN 信号を用いた場合にエンジン負荷トルクがハンチングした理由は、CAN を用いた場合のエンジン回転信号の遅れが 10msec 前後あり、データ更新周期については 10msec 間隔のため、エンジン負荷トルク演算に用いる同回転とトランスミッション（T/M）回転に時間的ずれが生じ、さらに、図 4 の解説図のように比較参照値の差が実際の挙動に対して拡大や正負が反転することが影響していたためであると考える。

パルス信号による今回の結果は、暫定的にエンジン負荷トルク演算部に含まれるねじり剛性係数（図 3 の「係数」）を減少させることを組み合わせることで実現させている。この係数は車両モデルのクラッチ部に影響する定数で、本設定は負荷変動が増大した瞬間に若干のクラッチ滑りが発生する。この現象を利用してハンチング挙動を緩衝させる役割を持たせた。ただし、従来 HILS と異なる車両設定となるため改善が必要である。一方、CAN 通信の場合は、ねじり剛性係数を変更させてもハンチング挙動を抑えられなかった。

5．2．JE05 モード評価

前項の検証で得られた設定を用いて、JE05 モード走行の検証を行った。比較条件として、従来 HILS（全

てモデル）に対して、拡張 HILS コールドスタート、拡張 HILS 暖機の条件を用いた。図 5 に示す比較データは、市街地走行部と呼ばれる 0 から 650 秒のうち 385 秒までを抜粋した。以下に運転条件を記す。エンジン最大出力 110kW、エンジン最大トルク 392Nm、モータ最大出力 55kw、モータ最大トルク 130Nm、バッテリ（キャパシタ）容量 33.5F、車両重量 4370kg（半積）、Start SOC（State of charge）60%である。

全体的に見ると、拡張 HILS のコールドスタート、暖機条件ともに従来 HILS とほぼ同等の挙動を示している。エンジン回転やエンジントルクについてもモードを通して大きなハンチングもなく動作している。局所的な部分は、エンジントルクの挙動が従来 HILS と実機エンジンとで異なっているが、これはモデルと実機の応答の違いと考える。

コールドスタート条件に注目すると、暖機されるまでエンジン回転が不安定である。エンジン回転の立ち上がり位置が異なる箇所がある。SOC の推移が他の条件と異なっているのが確認できる。これらは、冷機時のエンジン挙動が HILS に反映されたほか、それに応じてハイブリッド制御が適切に作動したものと考えられ、コールドスタートに対する挙動を捉えることが出来ていると考える。

このように、拡張 HILS は、従来 HILS と同等の挙動を再現することが可能であり、冷機時の挙動も適切に捉えていることから、コールドスタートの燃費評価として高い精度を持った装置と考えられる。

6．まとめ

コールドスタートを考慮したハイブリッド重量車の燃費評価を、簡易かつ高精度に実現可能な評価装置を検討し以下の知見を得た。

(1) 従来 HILS を活用した拡張 HILS は、簡易に構築でき、コールドスタート評価が可能であると考える。

(2) 異なるエンジン運転条件において、エンジン挙動やハイブリッド制御に違いが表れており、精度の高い評価装置として利用が可能であると考える。

(3) ねじり剛性係数の変更で対応したエンジン負荷トルク演算のハンチングの対策や定数マッチングをすることで今後、より精度の高い演算や運転が可能であると考える。

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) 森田賢治ほか, 重量 HEV 排出ガス試験法に関する検討 –システムベンチ法-, 自動車技術会論文集 Vol.36, No.4, p.87-92 (2005)

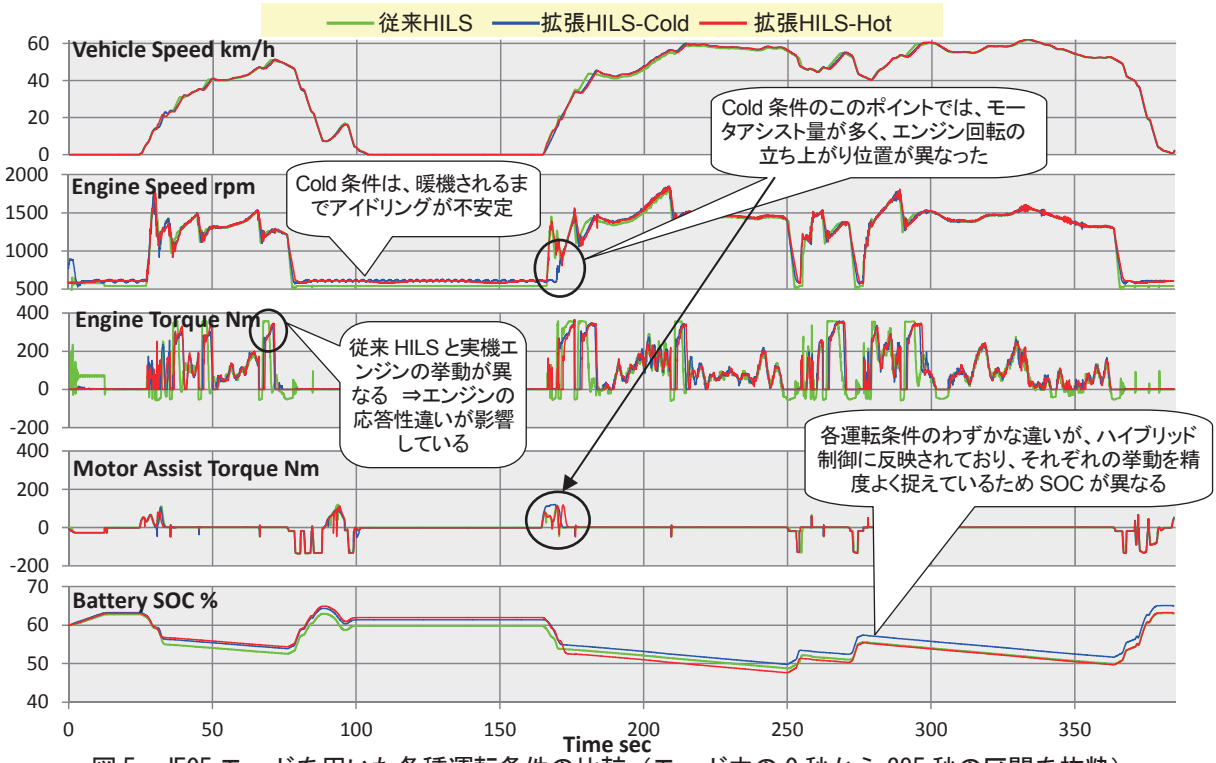


図 5　JE05 モードを用いた各種運転条件の比較（モード中の 0 秒から 385 秒の区間を抜粋）

② 重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第２報）

－ エンジンの過渡状態が燃料消費率に及ぼす影響 －

環境研究領域　※水嶋 教文　山口 恭平　新国 哲也　鈴木 央一

１．はじめに

我が国では、平成 18 年から世界に先駆けて重量車の燃費基準が導入され、同時に燃料消費率試験法[1),2)](以下、重量車燃費試験法)も運用が開始された。図 1 に重量車燃費試験法の概要を示す。本試験法では、エンジン台上試験装置を用いて定常状態で計測したエンジン回転数[rpm]およびトルク[N·m]の組み合わせと燃料消費量[L/h]の関係を示すエンジン燃費マップに基づき、燃費計算プログラムによりモード走行時の燃料消費率(以下、燃費)を計算する方法(以下、シミュレーション法)を採用している。燃費計算プログラムは、都市内走行モードおよび都市間走行モードの車速パターンを1秒毎のエンジン回転数およびトルクに変換するプロセスと、これにより得られたエンジン回転数およびトルクの条件における瞬時燃料消費量を燃費マップから読み取り、これを積算することでモード全体の燃料消費量および燃費[km/L]を計算するプロセスに分かれている。

本試験法は、図 2 に示すようにシミュレーション法による燃費計算値と、車両ベースで実測した過渡状態における燃費計測値が概ね同等であるという前提の基、運用が開始された[2)]。ただし、図 2 の結果は表 1 に示す諸元の供試車両およびエンジンを用いて評価したものであり、中には現行規制で存在しない自然吸気(NA)エンジンのものも含まれている[3)]。

図 3 に、表 1 に示した供試エンジンと平成 26 年時

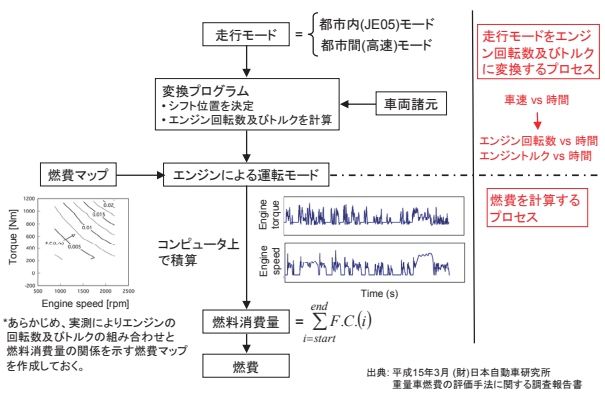


図 1　重量車燃費試験法におけるシミュレーション概要

点で市販されているエンジンに対して、総排気量と最大トルクおよび最高出力の関係を整理した。この結果、平成 26 年時点で市販されているエンジンは表 1 に記載の供試エンジンと比較して、同一排気量での最大トルクおよび最高出力が向上し、エンジンによっては最大トルクが2倍程度となっているケースも存在する。これは、近年の重量車用ディーゼルエンジンは燃費および排出ガス対策のために高過給化されていることに起因し、重量車燃費試験法の運用が開始された平成 18 年とはエンジンを取り巻く状況が大きく変化していることを意味している。

一般的に、ターボチャージャを搭載した過給エンジンの過渡運転時においてアクセルを踏み込んだ際の運転状態は、過給の応答遅れにより、定常状態におけ

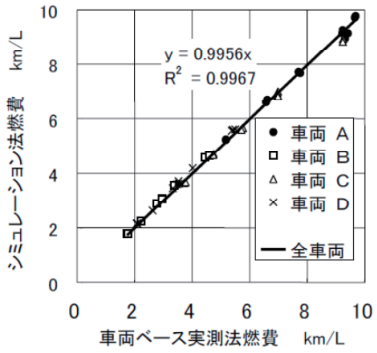


図 2　シミュレーション法による燃費計算精度[3)]

表 1　図 2 の評価に使用した供試車両の諸元[3)]

供試車両		A	B	C	D
車体	全長 mm	4690	11990	8490	7890
	全幅 mm	1695	2490	2260	2490
	全高 mm	1990	2950	2500	2800
	車両重量 kg	2140	8590	3770	6640
	定員 人	2	3	2	2
	最大積載量 kg	2000	11250	3750	12000
	車両総重量 kg	4250	19950	7630	18750
供試エンジン		a	b	c	d
エンジン	シリンダ数・配置	直列4気筒	V型8気筒	直列6気筒	直列6気筒
	種類	DI, NA	DI, NA	DI, TI	DI, TI
	圧縮比	18.4	17.3	17.5	16.0
	総排気量 cc	4104	21205	7127	10520
	最高出力 PS / rpm	125 / 3200	400 / 2200	220 / 2700	300 / 2150
	最大トルク kgm / rpm	29.5 / 2000	142 / 1400	66.0 / 1700	110 / 1100
変速機	変速比 1速	5.339	6.326	6.120	6.523
	2速	2.792	4.139	3.948	4.159
	3速	1.593	2.326	2.580	2.700
	4速	1.000	1.480	1.540	1.625
	5速	0.788	1.000	1.000	1.000
	6速	-	0.731	0.763	0.692
	最終減速比	4.625	5.571	3.900	5.250

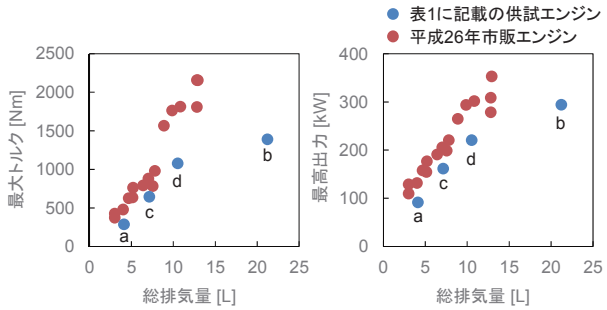


図 3　ディーゼルエンジンの総排気量と最大トルクおよび最高出力の関係

る同一エンジン回転数および同一トルク時の運転状態よりも新気量が不足しやすいなど異なる状態にある。つまり、近年の高過給エンジンの場合は従来のものと比較して、シミュレーション法による燃費計算値(以下、燃費計算値)と過渡状態で実測した燃費計測値(以下、燃費計測値)が乖離しやすい環境にあると考えられる。

そこで本研究では、前報にて国内の試験法と諸外国の試験法を比較することで課題を明らかにするとともに、本報にて最新型のエンジンを用い、燃費計算値と燃費計測値をそれぞれ評価し、エンジンの過渡状態が燃費に及ぼす影響を明らかにした。さらに、シミュレーション法において過渡状態の燃費を適正に評価する方法を検討した。

2．方　　法

2．1．評価方法

エンジンの様々な過渡状態を想定し、燃費計算値と燃費計測値を比較した。想定する車両諸元は表 2 に示す 5 仕様であり、全て同一型式のエンジンを搭載することを前提としている。なお、それぞれについて積載量を空積載、半積載、および全積載として計 15 通りの諸元を設定することで、エンジンの様々な過渡状態を想定した。これらの諸元に対して、図 4 に示す重量

表 2　評価に用いた車両諸元

No	全高 [m]	全幅 [m]	車両重量 [kg]	最大積載量 [kg]	乗車定員 [人]	変速機ギア比 1速, 2速, 3速, 4速, 5速, 6速	終減速機ギア比	タイヤ動的負荷半径 [m]
1	2.106	1.780	2482	2396	3	5.080, 2.816, 1.587, 1.000, 0.741	5.275	0.343
2	2.099	1.751	2356	2000	3	5.315, 2.908, 1.558, 1.000, 0.721	4.555	0.338
3	2.041	1.729	2652	2995	3	5.979, 3.434, 1.752, 1.000, 0.795	5.571	0.364
4	2.363	2.161	2979	3749	3	5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759	5.125	0.366
5	2.454	2.235	3543	4275	3	5.979, 3.434, 1.862, 1.297, 1.000, 0.759	5.375	0.376

車燃費試験法で定められた都市内走行モードおよび都市間走行モードの燃費を、シミュレーション法による計算とエンジン台上試験装置での過渡運転による計測の両方で評価し、比較を行った。

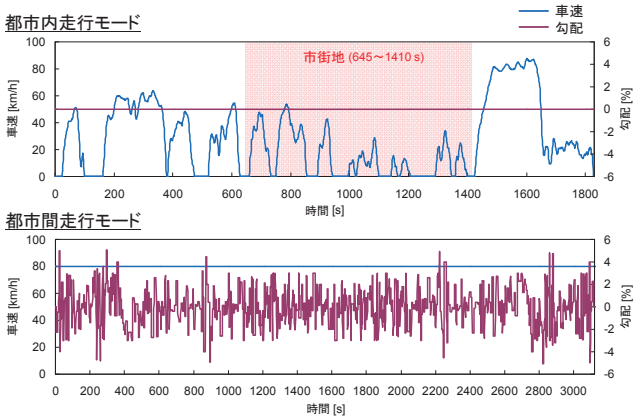


図 4　都市内走行モードおよび都市間走行モード

2．2．実験装置および方法

実験は図 5 に示すエンジン台上試験装置を用いて実施した。供試エンジンの諸元を表 3 に示す。本エンジンは、ポスト新長期排出ガス規制に適合した総排気量 3.0 L の量産型直列 4 気筒ターボディーゼルエンジンである。燃料流量の計測には容積式流量検出器(小野測器製、FP-2140H)を使用した。計測した燃料流量は、燃料流量計の直後に設けた温度センサによる燃料温度に基づき、JIS K2249-1987 付表 II 表 2B「燃料油の温度に対する容量換算係数表」を用いて燃料温度 288 K(15 ℃)における体積に換算した後、同温度における燃料密度を乗じ、質量ベースで評価を実施した。

実験では、シミュレーション法での燃費計算に用いるための定常状態における燃費マップの計測に加え、表 2 に示した車両諸元における空積載、半積載、全積

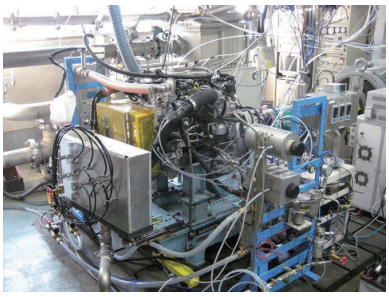


図 5　エンジン台上試験装置

表 3　供試エンジン諸元

エンジンタイプ	直列 4 気筒ディーゼルエンジン
過給システム	ターボインタークーラ
燃料供給システム	コモンレール
総排気量	3.0 L
最高出力／回転数	110 kW／2800 rpm
最大トルク／回転数	375 Nm／1400-2800 rpm
排出ガス規制適合	ポスト新長期排出ガス規制適合

載状態(車両諸元 5 通り×積載率 3 通り＝15 通り)での、都市内走行モードおよび都市間走行モードにおける燃費計測を行った。

3．結果および考察

以上で述べた各種車両諸元で都市内走行モードおよび都市間走行モードの運転を仮定した際の、燃費計算値と燃費計測値を比較した結果を図 6 に示す。ここでは、都市内走行モードの 645～1410 秒における市街地走行モードについても同様に評価を実施した。市街地走行モードは、低速での加減速が多く、エンジンの過渡的な変化が全体に及ぼす影響が大きくなる。なお、燃費計算プログラムにおける試験サイクルは、エンジンを過渡運転した際に計測されたエンジン回転数およびトルクを読み込ませたものを用い、エンジン台上試験装置の制御性の影響による影響を排除した。

同図に示すとおり、設定する車両重量が重くなるにつれて、都市内走行モードおよび市街地走行モードにおける燃費計算値と燃費計測値の乖離が大きくなる傾向となった。図 7 に一例として、同一車両(車両 No.5)における積載量の違い(空積載と全積載)が、都市内走行モードにおける試験サイクルに及ぼす影響を示すが、重量が増加することにより特にトルクの変動幅が著しく増加していることがわかる。つまり、本供試エンジンでは、車両重量を重く設定して都市内走行モードや市街地走行モードのように加減速の多い走行モードを運転した場合、エンジンの試験サイクルの過渡的な変化が大きいため、燃費計算値と燃費計測値の乖離が大きくなり、燃費計測値が計算値より最大で 6%程度高くなることが明らかとなった。

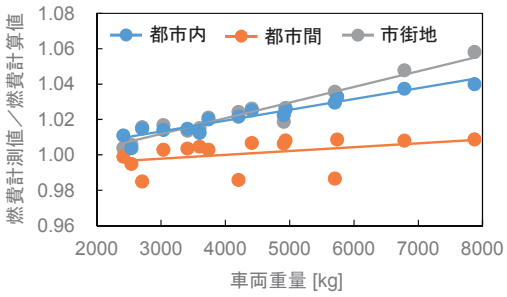


図 6　車両重量と燃費計測値／燃費計算値の関係

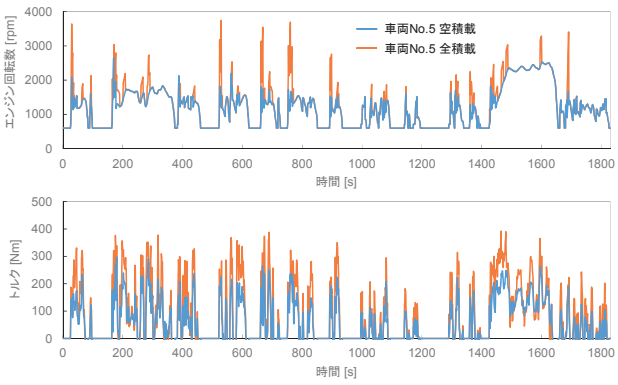


図 7　車両重量の違いによる都市内走行モードの試験サイクルに及ぼす影響

一方、都市間走行モードにおいては、燃費計算値と燃費計測値は概ね同等の結果となった。これは、都市間走行モードではエンジン回転数が概ね一定であり、トルクのみの変動であるため、全体に占める影響度は小さいためである。

4．エンジン過渡状態における燃費計算方法の検討

燃費計算値と燃費計測値が異なる評価結果となることは概ね予想できることであり、欧州でもその補正方法が検討されている[4]。以下にその手順を過渡補正方法 1 として示す。

【過渡補正方法 1】

① WHTC(World Harmonized Transient Cycle)をエンジンで実際に運転した際の燃費計測結果と、シミュレーション法による燃費計算結果を用い、Urban、Rural、Motorway のパート毎に燃費計測結果／燃費計算結果を WHTC correction factor(以下、WCF)として算出する。

② Urban、Rural、Motorway のパート毎に平均正出力も同時に算出し、WCF を平均正出力の関数として導出する。

③ ②で得られた関数を用いて、都市内、都市間、および市街地走行モードといった燃費試験サイクルの平均正出力に応じた WCF を算出し(図 8 参照)、燃費計算値に乗じる。

一方、当研究所では、より高精度な過渡補正方法を構築することを目指し、欧州とは異なる方法を検討している。その方法を以下の過渡補正方法2 として示す。

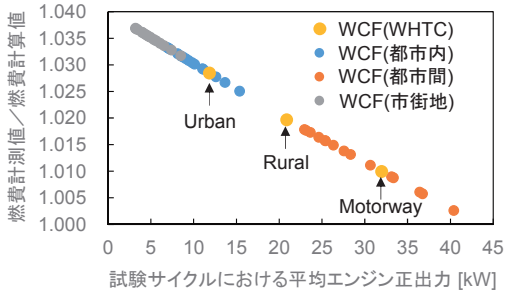


図 8　各種車両諸元および走行モードにおける WCF の算出結果

【過渡補正方法 2】

① WHTC をエンジンで実際に運転した際に ECU(Engine Control Unit)から取得した瞬時燃料消費量の計測結果と、ECU の燃料消費量から作成したエンジン燃費マップを用いてシミュレーション法により計算した瞬時燃料消費量の算出結果の比率から、統計処理により補正係数の関数 CF = $f(N_e, T_e, dN_e/dt, dT_e/dt)$を導出する。ここで、$N_e$はエンジン回転数[rpm]、$T_e$はトルク[Nm]、$t$は時間[s]である。なお、シミュレーション法で瞬時燃料消費量を算出する際にはエンジンの慣性モーメントによる過渡影響の補正も行う。

② シミュレーション法による瞬時燃料消費量に①で得られた関数で求めた CF を乗じ、過渡状態を考慮した瞬時燃料消費量を算出する。

③ ②で得られた補正後の瞬時燃料消費量を積算し、燃費を算出する。

図 9 に過渡補正方法 2 の①で得られた CF の算出式により算出した過渡補正係数と、瞬時燃料消費量の計測値と計算値の比率を比較した結果を示す。この結果、過渡補正係数の算出結果と瞬時燃料消費量の計測値／計算値とがほぼ 1:1 の関係にあるので、本手法は概ね妥当であることが確認できる。しかしながら、決定係数 R^2 は 0.691 と強い相関があるとはいい難く、本手法については改善の余地を残している。

図 10 に、各種車両諸元および走行モードにおいて、上述した2種類の過渡補正方法を適用した際の燃費計測値と燃費計算値の比較を示す。なお、同図において、参考としてエンジン慣性モーメント分のみを補正した場合の燃費計測値と燃費計算値の比較も示した。本結果より、過渡補正方法 2 の方が各種車両諸元および走行モードで計測値／計算値が概ね1に近い水準で推移しており、過渡補正方法 1 よりも高精度に補正可能であることが確認できた。ただし、車両重量が比較的

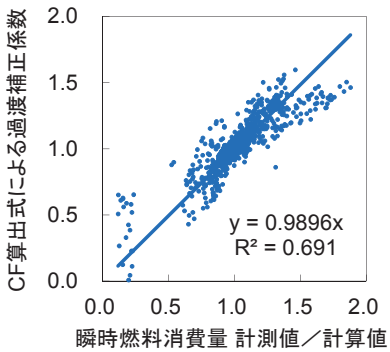


図 9　過渡補正方法 2 における補正係数の予測精度

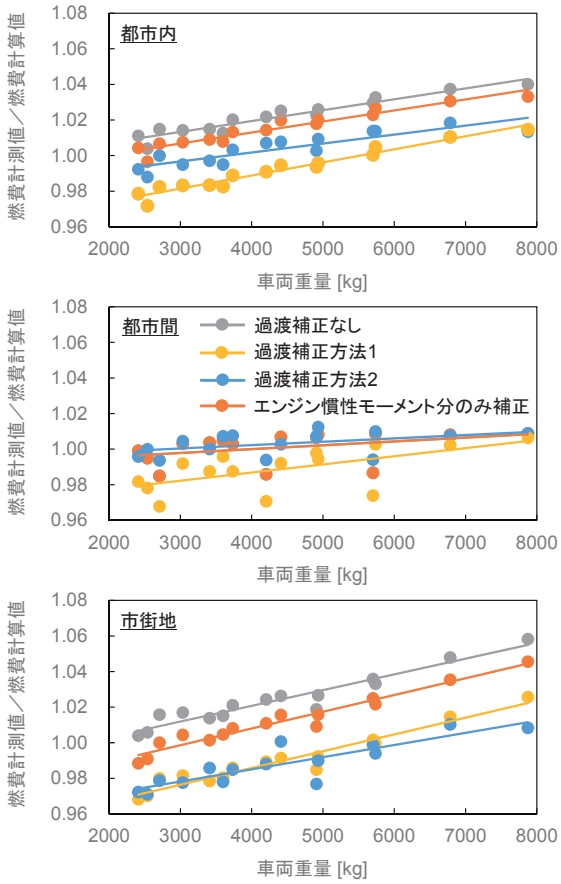


図 10　各種車両諸元および走行モードにおける過渡補正方法 1 および 2 の適用効果

軽量な条件における市街地走行モードでは、補正をすることで燃料消費量を過小評価する結果となってしまっている。これに関しては今後原因を明らかにし、改善策を検討する予定である。

5．おわりに

重量車燃費試験法に対して、より精度の高い過渡補正方法を検討した。今後は、本手法のさらなる改善および他のエンジン機種に対する本手法の適用性を評価するとともに、試験法として運用する際の課題を明らかにし、課題解決に向けて取り組む予定である。

参考文献

(1) “燃料消費率試験(重量車)”、TRIAS 99-007-01

(2) “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)

(3) “重量車燃費の評価手法に関する調査報告書” 一般財団法人日本自動車研究所、(2003)

(4) Development and validation of a methodology for monitoring and certification of greenhouse gas emissions from heavy duty vehicles through vehicle simulation, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/final_report_co2_hdv_en.pdf

③ ＮＯｘセンサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車のＮＯｘ排出量評価

環境研究領域　　※山本 敏朗　　水嶋 教文　　渡辺 敬太郎

１．まえがき

排出ガス規制の強化に伴い、ディーゼル車には尿素ＳＣＲシステム等の排気後処理装置や高度な電子制御装置が搭載された。これらの装置は、運転条件や気温等の環境条件により作動状態が影響され、認証試験時と路上走行時で排出ガス性能が異なる可能性がある。このことから、現在、路上走行時の排出ガス性能評価が重要となっている。欧米では、車載型排ガス計測器（ＰＥＭＳ：Portable Emission Measurement System）で測定する排出ガス試験法を導入して対策しているが、我が国ではＰＥＭＳ搭載時に車両加工が必要となる等の問題[1)]があり、同試験法の導入は困難である。この問題の解決策として、本研究では、運送事業用貨物車への導入が進むデジタル式の運行記録計（デジタコ）に排気管直挿型ＮＯｘセンサの信号や吸入空気量、燃料噴射量等のＣＡＮ（Controller Area Network）からの信号等を取り込むことにより、新たに燃費・ＮＯｘ計測機能付きデジタコを構成し、これを簡易型ＰＥＭＳとして用いて実走行時に燃費およびＮＯｘ排出量の測定を行い、これらのデータを基に重量貨物車の実用性能を評価する試験を提案した。

前報[1)]において、上記コンセプトに従い、ＮＯｘセンサ、デジタコおよびピトー管式排ガス流量計を組み合わせた計測器（ＳＥＭＳ：Sensor-based Emission Measurement System）を構築し、同装置が従来型ＰＥＭＳと同等以上の測定性能を有することを示した。本報では、このＳＥＭＳ等を用いて、シャシダイナモメータ（ＣＤ）台上試験および路上走行試験を実施してＮＯｘ排出量データ等を収集し、これを基に重量貨物車のＮＯｘ排出実態を評価する方法を検討した。

表１．供試車両の主要諸元

車両ｶﾃｺﾞﾘ	小型貨物車
年式	2012
車両総重量(kg)	6,585
最大積載量(kg)	3,000
車体形状	ﾊﾞﾝﾎﾞﾃﾞｨｰ
走行距離(km)	8,725
ｴﾝｼﾞﾝ型式	直列4気筒，ｲﾝﾀｰｸｰﾗｰﾀｰﾎﾞ
ｴﾝｼﾞﾝ排気量(L)	3
ｴﾝｼﾞﾝ最高出力(kW/rpm)	110/2800
ｴﾝｼﾞﾝ最大ﾄﾙｸ(Nm/rpm)	375/1400～2800
排出ガス対策	EGR，DOC+DPF
適合排出ガス規制	平成22年規制

２．実験方法

本試験では、試験車両のＣＡＮに接続して、車速、エンジン回転速度、吸入空気量および燃料噴射量の各信号を取得した。試験車両の主な諸元を表１に示す。試験車両の荷台には、計測データの比較に用いる従来型ＰＥＭＳ（堀場製作所製ＯＢＳ－２２００車載式排出ガス分析装置）を搭載し、同装置付属のピトー管式排ガス流量計により瞬時排出ガス流量を計測した。ジルコニア式ＮＯｘセンサ[2)]（日本ガイシ製）を用いて、ＮＯｘ濃度、O_2濃度および空燃比（Ａ／Ｆ）を計測した。供試車両を用いたＣＤ台上試験では、ＮＯｘ排出量評価方法を検討するため、ＪＥ０５モードあるいはＥＣＥモードを運転して各種データを測定した。なお、モード試験前の暖機運転は、簡易暖機条件（２０分間の６０km/h 定常運転後、１０分間のソーク）で行った。さらに、上記評価方法が実路走行時に適用可能かどうかを検証するため、路上走行試験（東京都道１４号（東八道路）の交通安全環境研究所付近から小金井南中西交差点付近までの往復走行）を実施した。

３．実験結果および考察

３．１．ＮＯｘセンサのO_2濃度測定値を用いた排出ガス中のCO_2濃度算出

本報では、ＮＯｘ排出量の評価指標として、欧州で実路走行時の排出ガス評価法として提案されているウィンドウ平均法[3)]に従って、排気管から排出される

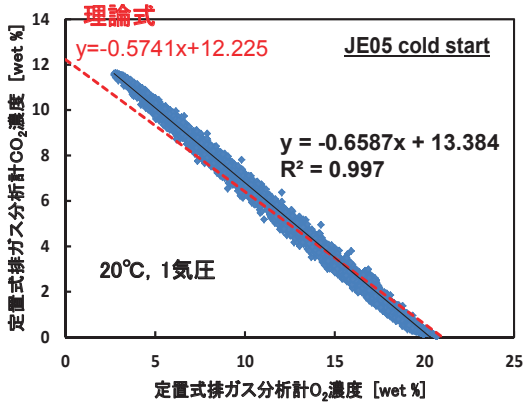


図１．ディーゼル排出ガス中のＯ$_2$濃度とＣＯ$_2$濃度の関係

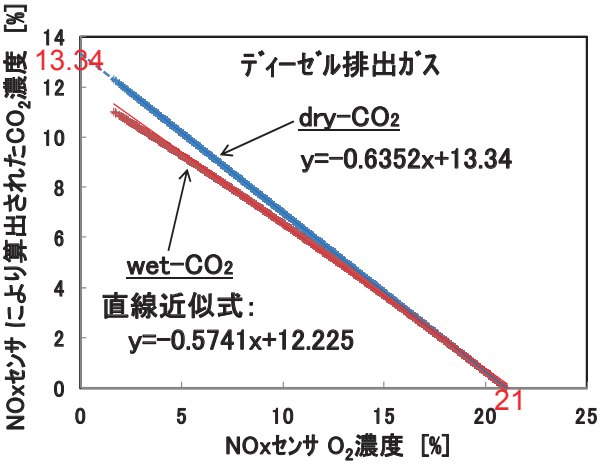


図２．ＮＯｘセンサのＯ$_2$濃度測定値を用いたＣＯ$_2$濃度算出

ＣＯ$_2$１kg当たりのＮＯｘ排出量（g）を、「ＮＯｘ排出率（g/kg)」と定義して用いることとした[4]。路上走行試験では、排出量の換算に必要となる瞬時排出ガス流量を高精度に測定することは困難であるが、上記の指標では、同一の瞬時排出ガス流量で分母と分子を算出するため、瞬時排出ガス流量の測定誤差が相殺されて、排出ガス流量の測定精度の影響を受けにくい利点がある。

ＳＥＭＳを用いた試験において、ＮＯｘ排出率（g/kg）を導入するため、ＮＯｘセンサを用いたＣＯ$_2$濃度の算出方法について検討した。ディーゼルエンジンでは、吸入空気中に噴射された軽油のほとんどが完全燃焼した後に排出されていると考えられる。図１は、供試車両を用いてＪＥ０５モードコールドスタート試験を実施し、そのときの排出ガス中のＯ$_2$濃度とＣＯ$_2$濃度を定置式排出ガス分析計で連続測定し、それらを露点計で測定した水蒸気濃度によってｗｅｔ状態に換算して散布図にプロットした結果である。Ｏ$_2$濃度とＣＯ$_2$濃度の間には極めて高い直線性が認められる。ＣＯ$_2$濃度がゼロのときは，燃料カット制御状態等が想定され、そのときのＯ$_2$濃度は、空気中の濃度である２１%近傍となる。また、Ｏ$_2$濃度がゼロのときは、空気過剰率λが１であり、そのときのＣＯ$_2$濃度は燃料のH/Ｃより求められる。このように、排出ガス中のＯ$_2$濃度とＣＯ$_2$濃度の間には、図１に示す関係が一般的に成立しているものと考えられる[5]。

次に、この関係を使って排出ガス中のＣＯ$_2$濃度を算出する方法を考察した。図２に、ＮＯｘセンサによって測定したＯ$_2$濃度とそのＯ$_2$濃度から算出されるＣＯ$_2$濃度の関係（一次式をプロットした結果）を示す。図中のｘ軸の切片座標は、上述したように（２１，０）となる。また、ｙ軸の切片は、以下の式でλ＝１のときであり、燃料のH／Ｃに依存する。

ＣＯ$_2$濃度（%）＝１００／（４．７６・λ＋H／Ｃ・（１．１９・λ＋０．２５））

従って、供試燃料では、H／Ｃ＝１．９０であることから、ｙ軸の切片座標は、（０，１３．３４）となる。ｘ軸の切片とｙ軸の切片を結ぶ直線（ｙ＝－０．６３５２ｘ＋１３．３４）が水蒸気を含まないｄｒｙ状態でのＯ$_2$濃度とＣＯ$_2$濃度の関係を表すと考えられる。この関係を、水蒸気を含むｗｅｔ状態の関係に変換して一次式で近似すると、ｙ＝－０．５７４１ｘ＋１２．２２５となる。この関係を用いて、ＮＯｘセンサのＯ$_2$濃度測定値からＣＯ$_2$濃度を算出し、ＰＥＭＳによるＣＯ$_2$濃度測定値と比較した結果を、図３に

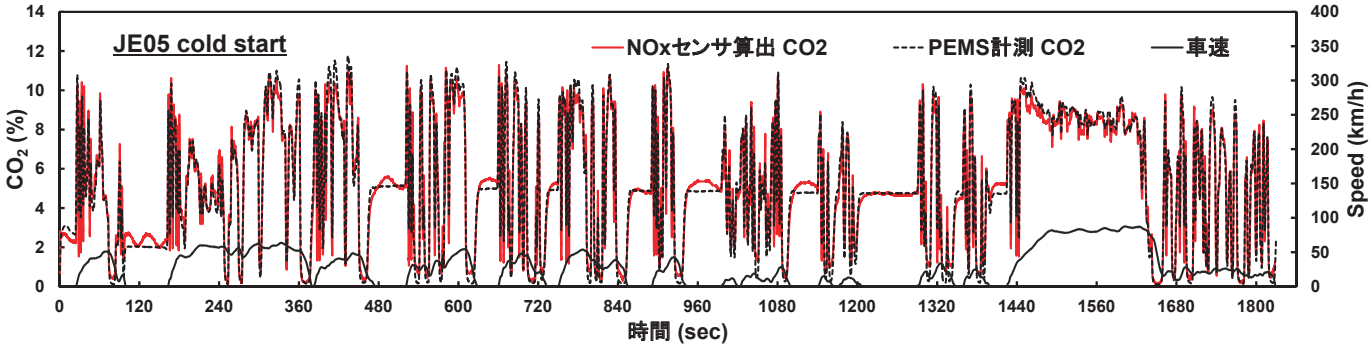


図３．ＮＯｘセンサにより算出されたＣＯ$_2$濃度とＰＥＭＳ計測のＣＯ$_2$濃度の比較

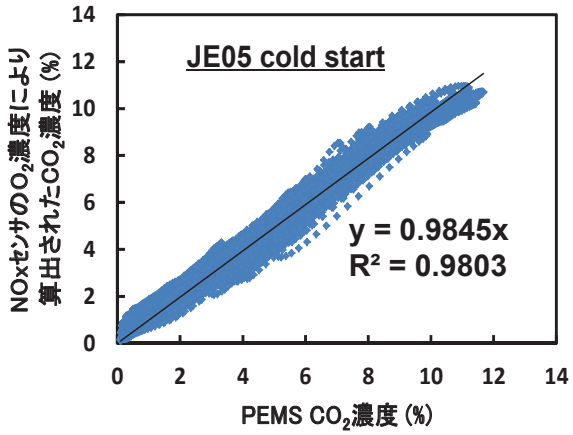


図４．ＮＯｘセンサによるＣＯ$_2$濃度算出法の正確さ

示す。同図は、ＪＥ０５モードコールドスタート試験の結果を時系列にプロットしたものであり、両者はアイドリング状態を除き概ね一致している。ここでアイドリング状態は、燃料カット制御状態直後であることが多く、ＮＯｘセンサに取り込まれた被測定ガス中に多くのＯ$_2$が存在してＯ$_2$のポンピング除去に負荷がかかり、ＮＯｘセンサＯ$_2$濃度の計測に不具合が生じた可能性がある。また、両者の相関を図４に示す。同図より、両者には強い相関関係が認められる。

以上より、ディーゼル車においては、ＮＯｘセンサのＯ$_2$濃度測定値を用いて排出ガスのＣＯ$_2$濃度の算出が可能であると考えられる。

３．２．ＮＯｘセンサを用いたＮＯｘ排出量評価方法の検討

ＮＯｘ排出率（g/kg）によるＮＯｘ排出量評価の有効性を検証した。先ず、ＮＯｘ排出量（g/test）およびＣＯ$_2$排出量（g/test）を算出するには、ＮＯｘ濃度およびＣＯ$_2$濃度に瞬時排出ガス流量を乗算する必要がある。本試験において、瞬時排出ガス流量は、ピトー管式排ガス流量計の測定値、あるいは吸入吸気量（ＣＡＮ）とＡ／Ｆ（混合ガス中の空気と燃料の重量比）を用いた算出値により取得している。図５は、ＣＤ台上試験における、各種モード走行時の総排出ガス流量を縦軸に、吸入空気量（ＣＡＮ）を横軸に、上記の２つの方法で測定および算出した値をプロットした結果である。同図より、いずれのモード走行においても、ピトー管式排ガス流量計の測定値は吸入吸気量（ＣＡＮ）とＡ／Ｆを用いた算出値よりも小さく、両者の値は乖離していることがわかる。これは、ピトー管式排ガス流量計の低流量域における測定精度の低下が主な原因と考えられる。

次に、ピトー管式排ガス流量計による測定値、あるいは吸入吸気量（ＣＡＮ）とＡ／Ｆを用いた排出ガス流量算出値を用いて、各種モード走行時のＮＯｘ排出率（g/kg）をそれぞれ算出して比較し、瞬時排出ガス流量の測定精度の影響を考察した。これらのＮＯｘ排出率（g/kg）と、それぞれのエンジン仕事量ベースのＮＯｘ排出量（g/kWh）との関係を、図６に示す。図中のⅡ、Ⅲ、ⅣおよびⅤのプロットにおけるＮＯｘ排出率（g/kg）は、図中の表に示す方法でＮＯｘ濃度、ＣＯ$_2$濃度および瞬時排出ガス流量をそれぞれ取得し、それらを基にしてＮＯｘ排出量（g/test）およびＣＯ$_2$排出量（g/test）を算出し、さらにＮＯｘ排出量（g/test）をＣＯ$_2$排出量（g/test）で除算して求

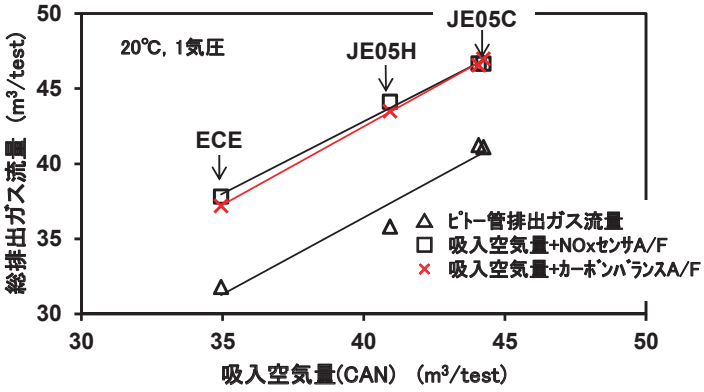
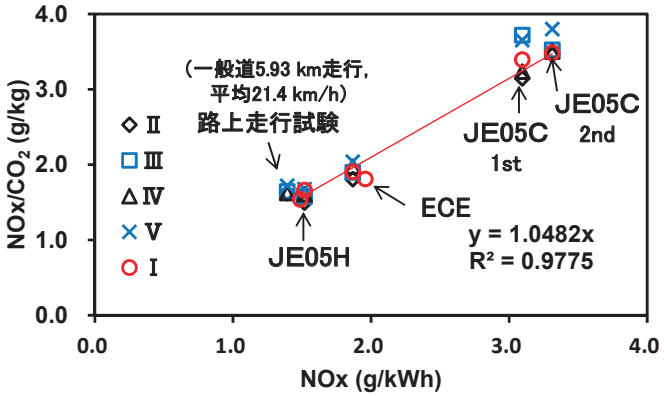


図５．各種モード走行時の総排出ガス流量における吸入空気量およびＡ／Ｆからの算出値とピトー管式排ガス流量計による測定値の比較



	NOx, CO_2濃度および排出ガス流量取得方法
Ⅰ	定置式排出ｶﾞｽ分析装置によるCVS法Bag分析
Ⅱ	NOxｾﾝｻ＋吸入空気量(CAN)，NOxｾﾝｻA/F
Ⅲ	NOxｾﾝｻ＋ﾋﾟﾄｰ管排出ｶﾞｽ流量
Ⅳ	PEMS＋吸入空気量(CAN)，NOxｾﾝｻA/F
Ⅴ	PEMS＋ﾋﾟﾄｰ管排出ｶﾞｽ流量

図６．各種モード走行時のＮＯｘ排出率(g/kg)とエンジン仕事量ベースのＮＯｘ排出量(g/kWh)の関係

めた。すなわち、ＮＯｘ濃度およびCO_2濃度の測定はＮＯｘセンサあるいはＰＥＭＳを、また瞬時排出ガス流量はピトー管式排ガス流量計あるいは吸入吸気量（ＣＡＮ）とＡ／Ｆを用いた算出方法により取得している。同図より、図５で示したピトー管式排ガス流量値と吸入吸気量（ＣＡＮ）とＡ／Ｆを用いた排出ガス流量算出値の乖離が、ＮＯｘ排出率（g/kg）の算出において、分母、分子に同じ瞬時排出ガス流量値を用いて演算することにより測定誤差が相殺されて、同一のモード走行ではⅡ、Ⅲ、ⅣおよびⅤのいずれのプロットも概ね一致していることがわかる。また、図６より、ＮＯｘ排出率（g/kg）とエンジン仕事量ベースのＮＯｘ排出量（g/kWh）との間には、極めて強い相関関係が認められることから、ＮＯｘ排出率（g/kg）は、ＮＯｘ排出量評価の有効な指標であることがわかる。さらに、この相関関係が路上走行時においても成立しているかを確認するため、路上走行試験データ（一般道走行、走行距離５．９３㎞、平均車速２１．４㎞/h）によりＮＯｘ排出率（g/kg）を算出して、図６中にプロットして示す。ＪＥ０５モードホットスタート（ＪＥ０５Ｈ）近傍にプロットが集中していることから、測定誤差の相殺効果も、またエンジン仕事量ベースのＮＯｘ排出量（g/kWh）との相関関係も共に認められ、路上走行時においてもＮＯｘ排出率（g/kg）は有効な指標であることがわかる。

４．まとめ

ＮＯｘセンサ、デジタコおよびピトー管式排ガス流用計を組み合わせた計測器（ＳＥＭＳ：Sensor-based Emission Measurement System）等を用いて、シャシダイナモメータ台上試験および路上走行試験を実施し、これらの試験で収集したＮＯｘ排出量データ等を基にして重量貨物車のＮＯｘ排出実態を評価する方法について検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

（１）重量貨物車のＮＯｘ排出量の評価指標として、排気管から排出される$CO_2$１kg当たりのＮＯｘ排出量（g）を、「ＮＯｘ排出率（g/kg）」と定義して用いることを提案した。本指標を用いるときに必要となるCO_2濃度を、ＮＯｘセンサのO_2濃度から算出する方法を明らかにし、ＮＯｘセンサと排出ガス流量計のみでＮＯｘ排出率（g/kg）の算出が可能であることを示した。

（２）本研究で提案する$CO_2$１kg 当たりのＮＯｘ排出量（g）を示す「ＮＯｘ排出率（g/kg）」は、排出量の換算に必要となる瞬時排出ガス流量の測定誤差を相殺できることから、瞬時排出ガス流量の計測方法に依存しないという利点を有すると共に、エンジン仕事量ベースのＮＯｘ排出量（g/kWh）との間には、極めて強い相関関係が認められることから、ディーゼル車のＮＯｘ排出量評価の指標として極めて有用であると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、試験用デジタコのデータ収録プログラムの改造およびセッティング等において株式会社トランストロンの倉地晶氏、桂剛氏、塚本恒久氏および村瀬勇樹氏、試験車の運転において株式会社プラウドの宮本文昭氏、データ処理および解析に元交通安全環境研究所環境研究領域の堤玲子氏にご尽力いただいた。ここに謝辞を表する。

参考文献

１）山本敏朗，堤玲子，水嶋教文：高度化したデジタコを用いた重量貨物車の使用過程での燃費およびＮＯｘ排出量検査方法に関する研究－ＮＯｘセンサによる燃費およびＮＯｘ排出量測定－，平成 25 年度交通安全環境研究所フォーラム 2013 講演概要, pp. 53-58 (2013)

２）井内穣，木原信隆：厚膜ジルコニアＮＯｘセンサを使用した直挿型ＮＯｘ計 MEXA-120 NOx，HORIBA Technical Reports No. 15, pp. 47-51 (1997. 9)
http://www.horiba.com/jp/publications/readout/article/nox-nox-mexa-120nox-1338/

３）相馬誠一，南利貴：重量車の車載型排ガス計測器に関する検討（第２報）－実路試験評価法の検討－，JARI Research Journal, (2012. 2)
http://www.jari.or.jp/resource/pdf/JRJ/JRJ20120201_q.pdf

４）山本敏朗，堤玲子，岩田恒夫，小川恭弘，加藤裕：尿素ＳＣＲシステム搭載貨物車の路上走行時におけるＮＯｘ，NH_3およびN_2Oの排出挙動，自動車技術会論文集，Vol. 44, No. 6, pp. 1489-1496, (2013)

５）Robin Vermeulen, Willar Vonk, Thomas Lvens, Norbert Ligterink: The Netherlands In-Service Testing Program for Heavy-Duty Vehicle Emissions 2012, TNO report TNO 2013 R10960, pp. 28-30 (2013)

④ バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする水素内燃エンジンハイブリッドトラックの検討

－生成ガスの性状と燃焼・排出ガス特性、航続距離について－

環境研究領域　※佐藤 由雄　山本 敏朗　川野 大輔
東京都市大学　高木 靖雄
東京理科大学　堂脇 清志

１．まえがき

地表生態系のエネルギー循環の中で社会的生活（資源の採取、流通、消費、廃棄のサイクル）を営むためには、資源の大量消費を止め、バイオマスなどの再生可能エネルギーを利用していく必要がある。

前報[1)]では、間伐材などの木質系バイオマスを熱分解・ガス化して高純度水素（H_2と称す）を製造するプラントにおいて、高純度化工程を経ないガス（生成ガスと称す）を内燃エンジン搭載のハイブリッドトラックに使用することを提案し、Well to Wheel ベースのCO_2 排出量を軽油トラックの半分以下に削減できる可能性を示した。

本報では、前報に続く可能性調査の一環として、これまでに国内のプラントで製造された生成ガスの性状と内燃エンジン適用時の燃焼・排出ガス特性について調査した。その結果をもとに、生成ガスを既存のH_2 内燃エンジン搭載のハイブリッドトラックに適用した場合の航続距離等を試算し、同トラックを実用する際の運用条件について検討した。

２．調査研究方法

本調査研究は、東京都市大学、東京理科大学及び交通安全環境研究所による共同研究として行われた。プラントと生成ガスの性状については、東京理科大学と共同で公表資料と聴き取りにより調査した。生成ガスの燃焼・排出ガス特性は東京都市大学で実施したエンジン試験結果をもとに検討した。また、既存の H_2 内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック（東京都市大学が開発）の公道走行試験の公表データ[2)]をもとに航続距離等を試算した。

３．調査結果及び考察

３．１．生成ガスの成分と発熱量

国内で開発、実証運転された木質系バイオマスを原料とし熱分解・ガス化により電気、熱、水素等のエネルギーを製造するプラントを網羅的に調査[3)]し、その中の生成ガスの成分、発熱量等の一例を表１に示す。生成ガス中には可燃成分として H_2（11～45%）以外に CO（11～26%）と少量の CH_4（3～7%）が含まれている。CO_2 も 20%程度含まれているが、発熱量としては H_2(10.8MJ/Nm^3)に近いケース 3 や 4 の例もある。

３．２．エンジン適用時の燃焼・排出ガス特性

H_2 を主成分とする生成ガスによる内燃エンジンの運転可能性を調べた。現時点では生成ガスの入手が難しいため、今回は表１の「ケース 3」と「ケース 4」の例を参考に成分調整したガス[H_2 : 50%、CO : 20%]に、実験の都合上、CO_2 に代えて N_2（比熱比 κ は 8%程高い）を 30%添加して生成ガスの可燃成分割合と発熱量をおおまかに模擬したガス（低位発熱量：11.3 MJ/Nm^3、水素リッチガスと称す）を試験用の SI エンジン（4 気筒、総排気量 2.4L、圧縮比 14：1）に供給し、燃焼・排出ガス基本特性について H_2 と比較した。

回転速度 2500rpm で点火時期を適正化（MBT 運転）した結果を図１に示す。水素リッチガスでは点火時期を H_2 よりやや早めに設定すれば空気過剰率 λ ：1～3 の幅広い運転範囲で H_2 運転時と同等の熱効率が得られる。また、NOx は λ ：2 以上の希薄燃焼運転領域で

表１　プラントと生成ガスの性状の一例

バイオマスエネルギー製造プラント		ケース１	ケース２	ケース３	ケース４	（参考）燃料電池自動車用水素燃料規格（抜粋）
設置目的		発電実証	発電実証	熱供給、水素製造	発電実証	－
原料		木質チップ	木屑	木質チップ	木質チップ	化石燃料、副生ガス、バイオマスなど
含水率	wt%	15以下	13.3以下	10以下	50以下	－
原料処理量（設計値または実証値）	kg／時	200	255	35.3	60	－
	トン／日	3	－	0.48～0.72	1	－
ガス化炉形式		ダウンドラフト	外熱式多筒型キルン	浮遊外熱式	熱媒体加熱改質	－
生成ガス成分（平均値）						
H_2	Vol.%	11.0	30.1	33	45	99.97%
CO	Vol.%	23.9	26.0	25	11	0.2 ppm
CH_4	Vol.%	3.4	2.5	7	7	全炭化水素 2 ppm
CO_2	Vol.%	－	17.9	17	24	2 ppm
N_2	Vol.%	－	17.9	－	－	100 ppm
H_2O	Vol.%	－	－	－	－	5 ppm
その他	Vol.%	－	5.6	－	13	－
生成ガス発熱量（低位）	MJ／Nm^3	6.2	7.5	11.6	11	(10.8)
生成ガス発生量	Nm^3／kg	－	－	0.66	1.4	－
備考		－	－	－	－	ISO14687-2、2012年、GradeD

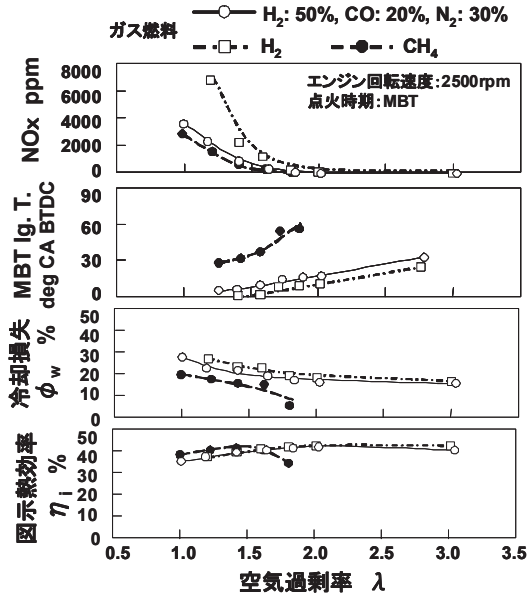


図１ 各ガス燃料の燃焼・排出ガスの基本特性

はH_2と同じほぼゼロ、λ：2 以下ではH_2の 50%程度まで低減する水素リッチガスの特性が示された。参考として高純度CH_4の試験結果も示したが、λ：1.7 近傍で熱効率が悪化した。

３．３．生成ガスを燃料とするトラックの運用条件

既存の H_2 内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック（2 トン積）を、登別市及び室蘭市内で食料品の宅配便（1 日あたり 21～33 ヶ所に配送）として公道走行試験を実施した時のデータ[2)]から走行燃費を算出し、それをもとに生成ガスを模擬した水素リッチガスを同トラックに適用した場合の運用条件を検討した。

３．３．１．航続距離

3.2.節の結果から水素リッチガスの熱効率はH_2と同等とし航続距離（残量が 5%時点の走行距離と定義）を算出した。結果は図２に示すように 80～120km と試算され、上記のトラックの 1 日の走行距離の最大値

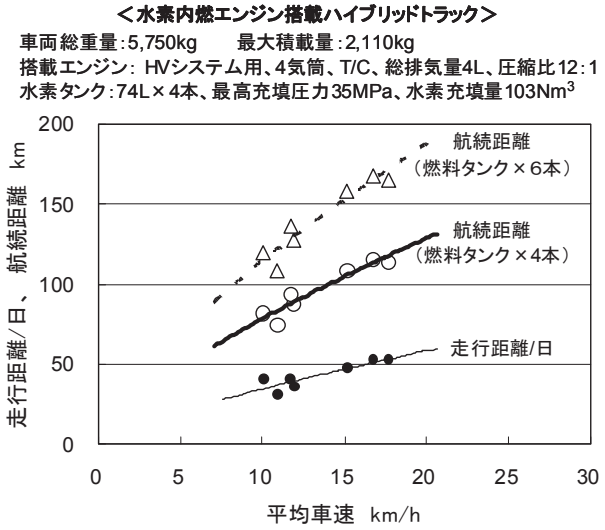


図２ 生成ガス適用時の航続距離の試算結果

53km[2)]を十分にカバーできる。燃料タンクを 4 本から 6 本に増やした場合（燃費低下を 3%と仮定）は 120～170km まで延長できる。

３．３．２．充填頻度と充填台数

表２に充填頻度の試算結果を示す。現状では 2 日に 1 回充填する必要がある。燃料タンクが 6 本の場合は 3 日に 1 回で済む。また、表 1 のプラント「ケース 4」では原料 1 トン／日から生成ガスが 1,400 Nm^3 製造でき、1 日にトラック 14 台に充填できると試算された。

表２ 宅配用トラックの充填頻度と充填台数の試算例

水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック(2トン積み)[2)]		本	合成ガス充填量(タンク残量5%時)	走行試験データ[2)](最大値)		一充填で走行可能な日数(最大値)	プラント生成ガス発生量(原料1トンあたり)	充填可能なトラック台数(最大値)
				走行距離	燃料消費量			
			Nm^3	km/日	Nm^3/日	日	Nm^3/日	台/日
燃料タンク搭載数	既存	4	98	53.0	45.0	2.2	1,400	14.3
	増加	6	147			3.3		9.5

４．まとめ

木質系バイオマスの熱分解・ガス化により製造される（高純度化工程を削減した）生成ガスの性状と発熱量をおおまかに模擬した水素リッチガスを既存の H_2 内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック（2 トン積）に適用した場合の運用条件について検討した。

（1） 航続距離は 120km、燃料充填は 2 日に 1 回と試算され、都市内の宅配用トラックとして運用するには十分といえる。

（2） 木質系バイオマスの処理量が 1 トン／日規模のプラントの場合、1 日あたり 14 台に充填できる。

なお、一般的にプラント規模を拡大すればガス化効率が向上しそれに伴う充填台数の増加が期待できる。

今後の検討課題は、ガス化工程におけるタールや微量成分等の調査、生成ガス中の CO の水素化等である。

参考文献

1）山本敏朗他 4 名、バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラックの検討、平成 25 年度交通安全環境研究所「フォーラム 2013」講演概要集、pp.115-116 (2013.12.5)

2）東京都市大学・室蘭工業大学、遠隔に立地する大学の教育・研究活動の連携－水素エネルギー研究協力を契機に－、平成 22 年度戦略的大学連携支援事業活動報告書、pp.46-49、pp.179-183、pp.269-270 (アクセス日 2014.8.5)、
http://www.tmrenkei.jp/report/22/index.html#page=1

3）例えば、NEDO、バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第 3 版）、pp.35-38、p.65、p.73、pp.90-91、pp.132-146 (アクセス日 2014.8.7)、
http://www.nedo.go.jp/content/100079692.pdf

⑤ プラグインハイブリッド車の燃費改善効果とバッテリ製造・廃棄を考慮した総合的な CO_2 の排出評価の考え方

環境研究領域　　※小鹿 健一郎　　新国 哲也

1．はじめに

近年、自動車の環境適合性をライフサイクル全体で総合的に評価することが求められている。本研究では、総合的な評価法の一つとして、“新しい自動車部品（または技術）の導入による燃費改善効果”をもとに、その部品を追加したことによる製造・廃棄にかかる CO_2 排出量の評価を行うという手法について提案する。ここでは、自動車の電動化を推進し、走行時の CO_2 排出量の削減に大きく貢献しているリチウムイオン電池を対象に本手法のケーススタディーを行った。

2．本評価手法の考え方

車載用の高性能リチウムイオン電池は、その製造過程で、クリーンルームなどの特別な設備や高純度の化合物が必要になるため、多くの CO_2 を排出しているのではないかと指摘されているが、その CO_2 排出量について正確なことはわかっていない。これは、実際の CO_2 排出量を知るために、歩留まりや製造工程など、企業秘密に該当する情報が必要となるためである。このため、メーカー各社の独自のノウハウにより製造されるリチウムイオン電池は、正確な CO_2 排出量を知ることが難しい自動車部品の一つであること

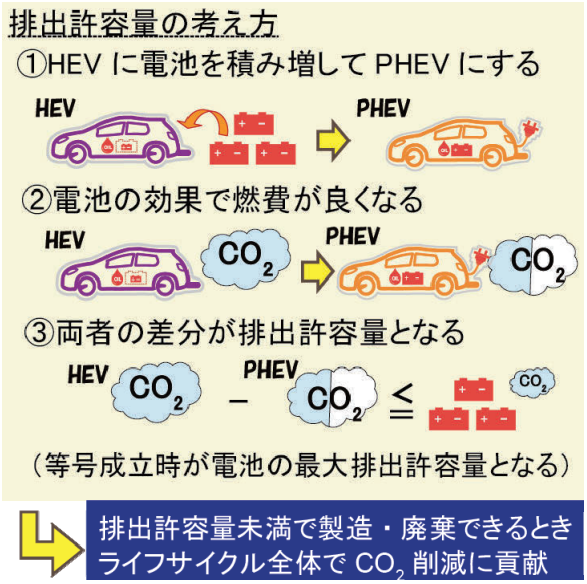


図 1 “排出許容量”の考え方と総合評価への展開

が知られている。[1)-3)] 一方、自動車使用時の CO_2 排出削減量は実車の燃費改善効果をもとに見積もることが可能である。3 章においてハイブリッド車（HEV）を想定し、バッテリを積み増して外部電力を利用（すなわち PHEV（プラグインハイブリッド車）化）した際の燃費改善効果をもとに、自動車のライフサイクル全体で評価しても総合的に CO_2 排出量削減となるバッテリの製造・廃棄にかかる CO_2 排出量の上限値（“許容量”）の試算を行う（図 1）。

3．バッテリパック由来の排出許容量の試算

本ケーススタディーでは HEV ドライバーのうち PHEV に乗り換えることで CO_2 排出量が期待される 4 割のドライバーが HEV から PHEV に乗り換え、10 年使用したケースを想定して、バッテリパック由来の排出許容量を算出することとした。

3．1．HEV および PHEV の仕様の設定

対象とする HEV および PHEV の仕様について表 1 のように設定した。本ケーススタディーでは電池の積載量増加による CO_2 増加量と外部給電機能の追加による CO_2 削減量をもとに許容量を算出するので、表 1 に示した内容以外はすべて同等という設定にした。

表 1 対象とする車両の仕様設定

	HEV	PHEV
パック電力量	1.3 kWh	4.4 kWh
パック重量	23 kg	76 kg
車両重量	1477 kg	1530 kg

3．2．単位走行距離あたりの CO_2 排出量の試算

HEV および PHEV の単位走行距離あたりの CO_2 排出量を試算するために台上試験を行った(供試車両は PHEV のみ)。PHEV については TRIAS（審査事務規定別添試験規定）に記載された方法により、EV 走行距離、EV 走行時の電力量消費率、チャージサステイニング（CS）状態における燃費値を取得した。HEV についてもその燃費値の取得が必要であるが、HEV 燃費値は PHEV の燃費測定条件に変更を加えて取得することとした（表 1 に示す内容以外の仕様を

HEV、PHEV で揃えるため)。具体的には、台上試験装置の負荷設定を車重 1530 kg から 1477 kg へ変更し、CS 状態で走行した時の燃費を HEV の燃費とした。

3．3．一日平均トリップ長分布を考慮した PHEV の CO_2 削減量の試算

前節で取得した値をもとに HEV から PHEV に乗り換えることで削減される車両 1 台当たりの CO_2 排出量について試算した。試算結果と一日の平均トリップ長（以下トリップ長という）の関係について図 2 に示す。また図 2 には、削減量の平均値の試算のために、ユーティリティーファクター（以下 UF という）[注1)]（縦軸右）を同時に記載した。

削減される CO_2 排出量は、トリップ長 26.4 km まで急激に増加し（最大削減量 2.44 t-CO_2）、その後緩やかに減少した。これは、トリップ長 0–26.4 km では、PHEV は EV 走行をしており、HEV に比べ約 14% 排出を抑えることができるためである[注1)]。一方、26.4 km 以降では、両車両ともハイブリッド走行しているものの PHEV の方が電池の積載量増加により車両重量が重く、PHEV は HEV に比べ約 2%増しで CO_2 を排出しているため、削減量が徐々に減少することとなった。

続いて、UF とトリップ長の関係をもとに、HEV から PHEV へ乗り換えることで CO_2 排出削減が期待されるドライバーを、削減量が大きい方から 4 割選択し、乗り換えによる削減量の平均値を試算した。削減量が大きい方から 4 割のドライバーはトリップ長が 20–80 km のドライバーで（図 2）、その削減量平均は 2.24 t-CO_2 であった。これにより、上位 4 割のドライバーが乗り換えた場合でも最大削減量の約 9 割以上の CO_2 排出削減が期待できると試算された。

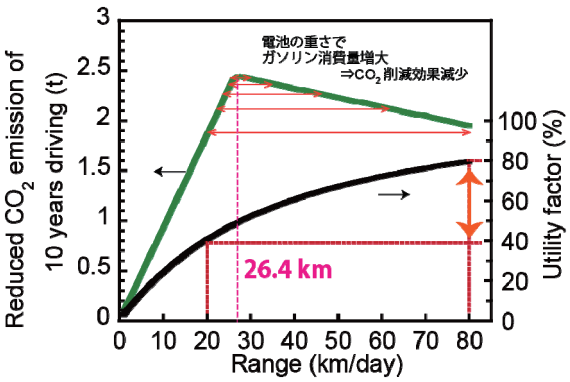


図 2　削減される CO_2 排出量および UF とトリップ長の関係

3．4．バッテリパック由来の排出許容量への換算

前節で試算した値をもとに、バッテリパック由来の排出許容量を試算した。今回のケーススタディーでは、増加したパック重量を 53 kg と設定しているため、単位重量あたりの排出許容量は 42.2 kg-CO_2/kg-pack と試算された（図 3）。（ただし、これは電力の排出原単位 0.55 kg-CO_2/kWh で計算した時の結果であり、電力ミックスの変更などにより原単位が変更になれば結果も変化する。）バッテリパックの製造・廃棄にかかる CO_2 排出が上記の値以下であれば、PHEV に乗り換えることで自動車のライフサイクル全体を通して CO_2 排出削減をしていることとなる。

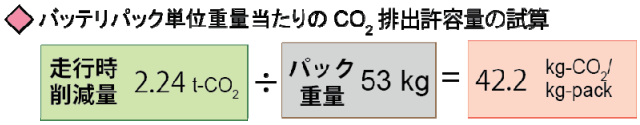


図 3　許容量試算の計算式

4．まとめ

本報告では、PHEV の燃費改善効果とバッテリ製造・廃棄を考慮した総合的な CO_2 の排出評価の考え方の一例として、バッテリパック単位重量当たりの CO_2 排出許容量を試算した。今後、バッテリパックの製造・廃棄にかかる CO_2 を調査し、ライフサイクル全体を通して、HEV から PHEV への乗り換えがどの程度 CO_2 排出削減に貢献するか等の検証を進めていく予定である。

注 1）国内のトリップ長の分布をもとに作成された累積相対度数

注 2）EV 走行由来の CO_2 排出とは充電（＝発電所での発電）に由来する CO_2 排出のことを指している。境界条件をライフサイクル全体と設定していることにより算出されるものであり、車両テールパイプから CO_2 が排出されているということではない。

参考文献

1)『電気自動車の電池　製造・廃棄時の CO_2 減量が必要』日本経済新聞 2011, 10, 04, 29P

2) Beattie, P., Henry, C., and Bradburn, J., SAE Technical Paper 2011-01-1258, 2011

3) 小鹿健一郎, 新国哲也 “『CO_2 排出量からみた環境対応自動車の駆動エネルギー源別サステイナビリティ評価(1),(2)” 第 11 回 GSC シンポジウム

⑥ 道路交通騒音の基準超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発

－プロトタイプシステムの製作－

環境研究領域　※宝渦 寛之　坂本 一朗　西 孝弘
神奈川工科大学　石濱 正男
株式会社小野測器　猿渡 克己

1．はじめに

騒音に係る環境基準の達成率は、全体として緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の近接空間等では引き続き厳しい状況にある。現状の環境騒音は、図１に示す通り、マイクロホン １ 本で測定されているため、道路全体の騒音レベルはわかっても、個々の車両が発する騒音レベルを測定することはできない。そのため、基準超過となる要因までは把握することはできない。そこで本研究では、個々の騒音源を分離して計測し音源別に系統立てて評価を行うことが可能なシステムの構築を行うことを目的とする。このように音源別に寄与率の評価を行うことにより、対策すべき優先順位をつけることが可能となる。

図２に、製作するシステムの概要を示す。システムは、マイクロホンアレイとカメラを用いて、自動車の騒音発生部位別に騒音を評価可能とする。これまでに筆者らが開発を行った道路交通騒音の可視化装置 [1)] は、道路の片側に設置するのみであったため、複数車線を対象とした測定を行うことは不得手であった。しかしここでは、はじめから複数車線での測定を想定しシステム構成を考案した。音源探査は、マイクロホンアレイにて挟まれる垂直断面内についてのみ実施し、その評価を行う。得られた音源情報は、別途、カメラにて撮影された画像より、画像処理を行い、音源発生部位と組み合わせてデータを扱う予定である。



図１　道路交通騒音の測定の様子

本稿では、まずは、従来よりも高い精度が求められる音源探査法について検討を行ったので、その結果について述べる。また、開発の第一段階としてプロトタイプシステムを構築し、低速走行を行う車両を対象とした検証試験を行ったので、その結果を紹介する。

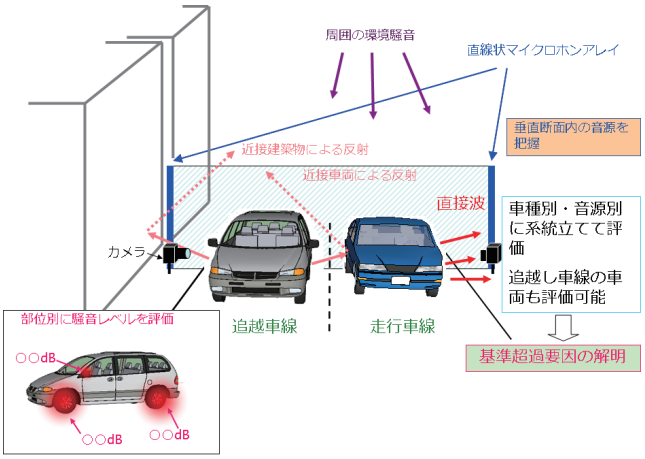


図２　システム概念図

2．反射波を考慮した音源探査法

本研究では、音源位置特定精度を向上すべく、従来は音源からの直接波のみ考慮されていた手法を拡張し、地面や車などの障害物による反射を考慮したビームフォーミング法を採用した。

従来のビームフォーミング法は、扱う信号をすべて直接波と仮定して計算を行うが、本研究では、二回反

射による伝播まで考慮して計算を行うことに特徴がある。図 3 に、位置 S にある音源から観測点 M までの直接波と地面による反射波の伝播の様子を模式的に示す。このとき、音源からパルス波が発生したと仮定すると、各マイクロホン（図 3 の M1～4）における観測信号は、図 4 のようになる。各マイクロホンにおいて、音源から直接到達するパルス波と地面によって反射して到達するパルス波が到達経路長の差に応じて、それぞれ時差をもって観測される。この場合、直接波のみを考慮する従来のビームフォーミング法による信号処理を模式的に示したのが、図 5 の上の図である。音源位置から各マイクロホンまでの距離に基づき信号処理を行うと、目的の信号を元の信号の 4 倍の大きさにて信号を観測することができる。一方、図のように反射波まで考慮して信号処理を行うと、目的の信号を、元の信号の 8 倍の大きさにて信号を観測することができる。なお、S の位置に音源が存在しない場合、図 5 の下の図のように信号が重なり合わず強調された信号として観測することができない。このように、加味する伝達経路の数が増えると、より S/N の高い計測を行うことができる。なお、ここでは説明のために一回の反射までの扱いとしたが、多数回の反射であっても、計算は複雑にはなるものの、同じ原理が成り立つ。

本研究では、二回の反射までを考慮したビームフォーミング法を用い、伝達経路は虚像法によって求めた。このような反射を考慮したビームフォーミング法を実行するにあたっては、反射物の位置と断面形状は既知であることを前提とする。また本研究では、音の反射は完全反射と仮定しており、回折や距離減衰は考慮していない。

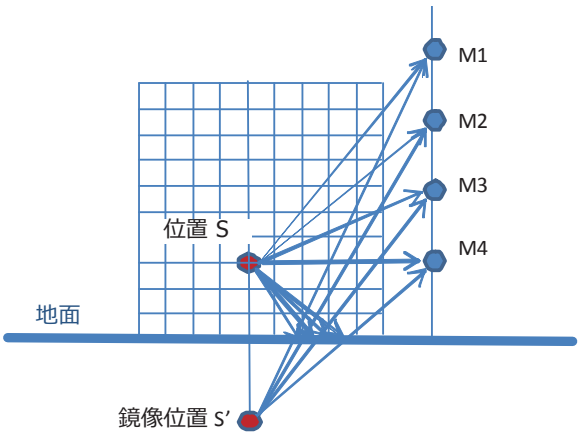


図 3　位置 S からの音の伝播模式図

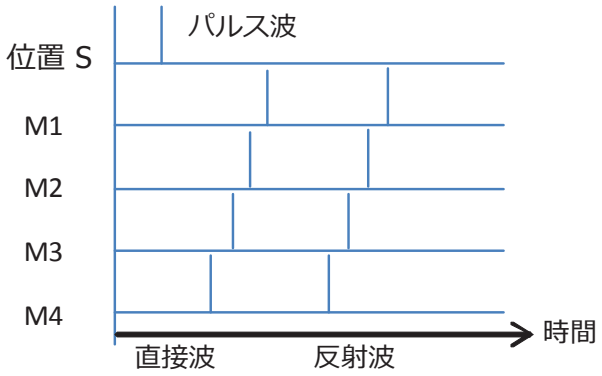


図 4　発生パルス波と各点における観測信号

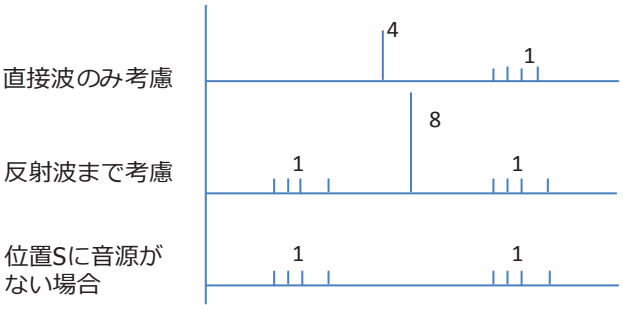


図 5　各条件における信号処理結果の模式図
（図中の数字は、信号の相対的な大きさを示す）

3．スピーカー試験

実際の環境下において、反射波まで考慮したビームフォーミング法の有効性を検証すべく、スピーカーを用いた基礎試験を実施した。図 6 にスピーカー試験の様子を示す。実験では、0.12m 間隔にマイクロホンを直線状に 16 本配置したマイクロホンアレイを 2 つ用意し、x=0.0m の地点と x=2.5m の位置にそれぞれ設置した。2 つのマイクロホンアレイの間に、反射物（幅 0.9m×高さ 0.3m）と音源となる小型スピーカーを設置し、スピーカーからはトーンバースト音を発生させた。音源探査は、マイクロホンアレイにて囲まれる垂直断面内について実施した。

本試験は、スピーカー位置を変えて複数の条件について実施したが、ここでは紙面の都合上、スピーカーを反射物に接するように設置した場合のみについて、結果を示す。図 7 は直接波のみを考慮した場合の結果であり、図 8 は反射波まで考慮した場合の結果である。いずれの結果も、同一の測定データからそれぞれ解析を行っており、得られた騒音レベルの分布をコンターマップ（赤色が最も高い値）として示している。直接波のみ考慮した場合は、障害物の壁面や地面によ

る反射の影響で、実際の音源とは異なる位置が騒音の大きな位置として現れている。一方、反射を考慮した場合の解析結果においては、スピーカー設置位置を正確に音源として捉えており、音源の存在しない領域ではより騒音レベルが小さい値として示されている。従って、反射波まで考慮したビームフォーミング法は、従来手法よりも音源探査の空間分解能が高いことが判明した。

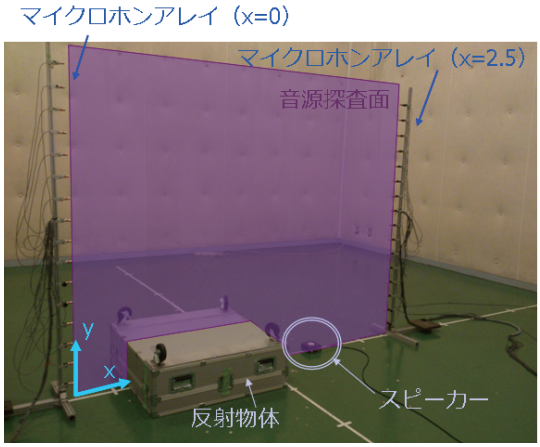


図 6　スピーカー試験の様子

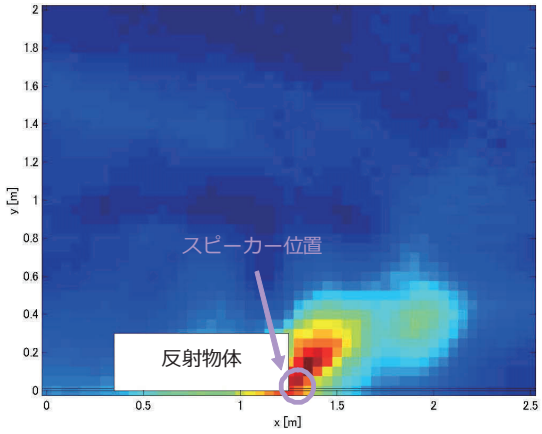


図 7　音源探査結果（直接波のみ考慮）

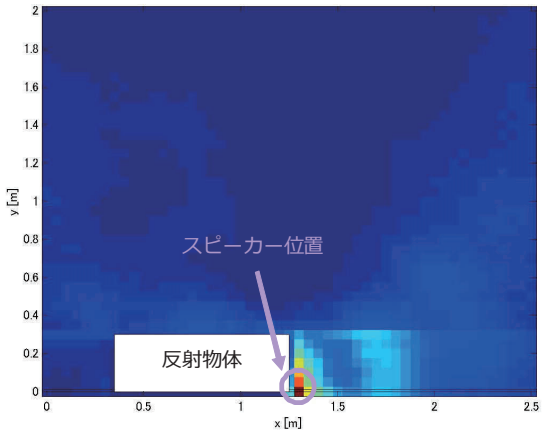


図 8　音源探査結果（二回反射まで考慮）

4．システム構成

図 9 に製作したプロトタイプシステムの構成図を示し、表 1 に使用した機器の一覧を示す。システムは、マイクロホンアレイ、ラインスキャンカメラ、データ収録装置、計測用パソコンから構成され、それぞれ一式ずつ道路の両端に設置を行う。本システムでは、離れた地点に設置されたマイクロホンアレイにて得られたデータについて信号処理を行うことから、高精度に同期して計測を行うため、GPS モジュールから GPS 信号を取得して用いた。結果の解析は測定終了後に実施することができ、反射波まで考慮したビームフォーミング法のみ実装した。

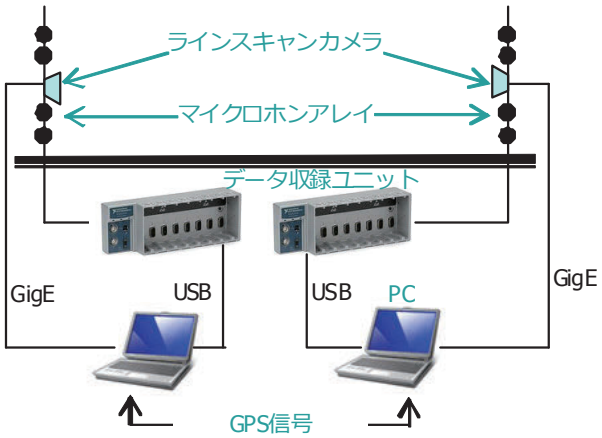


図 9　システム構成図

表 1　構成機器一覧

品名	メーカー	型番
マイクロホン	小野測器	MI-1433
プリアンプ	小野測器	MI-3111
データ計測ユニット	ナショナルインスツルメンツ	NI cDAQ-9178 NI 9234
カメラ（ラインスキャンカメラ）	e2v	AViiVA EM1
GPSモジュール	古野電気	高性能GPSモジュール

5．走行試験

5．1　実験概要

製作したプロトタイプシステムの検証を行うべく、低速走行時の車両を対象に、試験を実施した。図 10 に走行試験の様子を示す。マイクロホンアレイは、片側 12 本のマイクロホンを 0.15m 間隔にて配置したものを、道路の両側に 1 本ずつ設置した。音源探査は、車両中心線から 1m の位置に設定した解析対象ライン上について、40msec ごとに行った。試験は、改造のない標準的な乗用車 1 台が、10km/h にて走行する場合について実施した。実験は、独立行政法人交通安全環境研究所の敷地内にて行い、暗騒音は 48dB 程度であった。

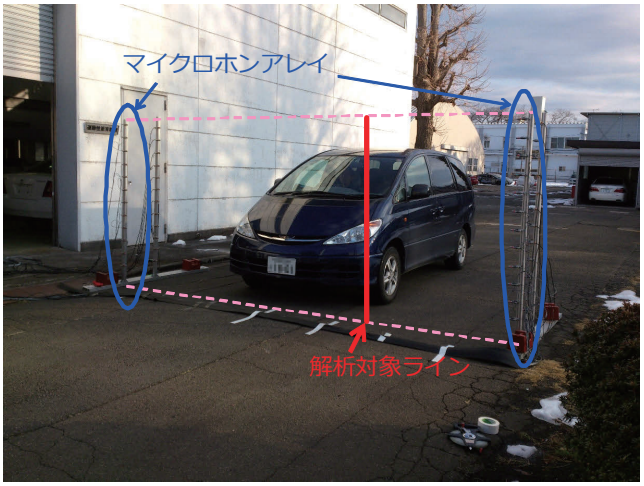


図 10　走行試験の様子

5．2　実験結果

反射波まで考慮したビームフォーミング法を実施するためには、反射物の位置と断面寸法が既知である必要がある。しかし、これらは今後のシステム改良において取り組む予定であるため、本稿では、車両諸元に記載の寸法を用いて解析を行った。結果を図 11 に示す。この結果は、図 10 の解析対象ライン上における音源分布の時間履歴とラインスキャンカメラでの撮影画像を時系列に並べた画像を重ね合わせた図である。音源分布は、騒音レベルのコンターマップで示した。図中の横軸は時間、縦軸は高さを表す。図より、高い騒音レベルとなっているのは、車両前後の地面周辺であることがわかる。これは、タイヤ騒音によるものであり、タイヤ騒音がタイヤ前後に放出されるため、車両通過前後にも音源として現れていると考えられる。本研究では、無指向性のマイクロホンを直線状のマイクロホンアレイとして用いているため、2 つのマイクロホンアレイで挟む断面の外からの音も混入し、S/N が低下したと考えられる。本研究では、音源別に騒音を捉えて評価することを目的としているため、今後、時間分解能（図 11 の横軸方向の分解能）を向上させる必要がある。

6．おわりに

音源の位置特定精度を向上すべく、二回反射まで考慮したビームフォーミング法を採用し、地面や車などによる反射を考慮した、道路交通騒音を対象とした騒音源の可視化装置のプロトタイプを製作し検証を行った。反射まで考慮したビームフォーミング法については、スピーカー試験により従来手法との比較を行い、空間分解能が向上することを示した。また、プロトタイプシステムについて検証試験を行った結果、時間分解能について、さらなる改善が必要であることがわかった。

今後は、まずは、二回反射まで考慮したビームフォーミング法の前提となる反射物の寸法や位置について、画像処理により情報を取得できるよう、システム改造を行う予定である。

参考文献

1)　Hiroyuki, Houzu, et al., "Development of sound source localization system to detect noisy vehicles from traffic flow", Proceeding of inter-noise 2011, CD-ROM (2011)

謝辞

本研究は、国土交通省の交通運輸分野技術開発推進制度にて実施しました。謹んでお礼申し上げます。

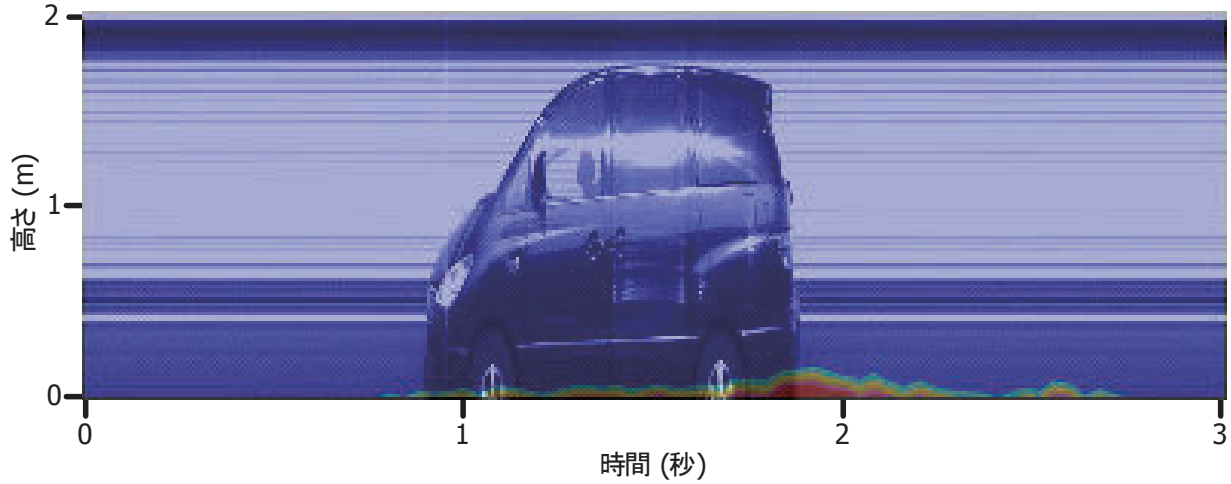


図 11　走行試験結果（二回反射まで考慮したビームフォーミング法）

⑦ 多数の列車の運転状況記録装置データの分析による安全性向上への取り組み

交通システム研究領域　　※吉永　純

1．はじめに

平成 18 年の技術基準改正により、一定要件に該当する列車には運転状況記録装置(以下「記録装置」という。）の搭載が義務づけられた。しかし、事故や故障等の場合以外の利用はまだ限られている。

航空・鉄道事故調査委員会（当時）が発出した建議（平成 19 年 6 月）では、事故等以外の事象についても鉄道事業者等が必要な分析を行い事業者間で活用すべき旨が指摘されるなど、日常運行データを安全性向上につなげることが期待されている。しかし、普及している記録装置は、映像ではなく速度やブレーキ操作等の数字の羅列を記録するもののため、人間にとって解釈が困難なことから、有用な情報は可視化することが必要と考えられる。

本稿は、記録装置の運行データから、実際の運行におけるブレーキ操作タイミングや余裕時分を推定する取り組みについて述べるものである。

2．研究の方法

2．1．研究の方法

急曲線部や分岐部は、曲線半径や車種等に応じて相応の速度制限が設定され、速度制限標識が設けられる。運転士は標識に頼らずとも、位置・車種別の速度に十分習熟しているが、ブレーキ操作遅れも散見され、また、平成 17 年に生じた事故を受け、曲線部の制限速度より手前の直線部の速度が高く脱線の恐れがある箇所には保安装置を整備するなど、重要な箇所では保安装置によるバックアップも進められている。

現状では、ブレーキ動作の遅れが何らかの状況下で生じ想定より速く列車が進行した場合、保安装置があっても対処しきれずに速度超過となる可能性は残っている。

実際の運転状況と、想定とが乖離している場合にこうした可能性が高まることから、事故やインシデントの無い通常の運転データを記録装置から取り出し、曲線部や分岐器部等の速度制限部の手前の区間が、どのように運行され、余裕がどの程度あるかを、同一の区間の複数の列車のブレーキ操作の位置、そのばらつき及びダイヤ計算上の速度曲線（以下「標準曲線」という。）と比較することにより分析する。

2．2．研究に利用する実験データについて

次の方式の一般的な記録装置のデータを利用する。

（1）　各データは、200ms 毎の常時記録方式

（2）　時計誤差は生じるが、誤差は把握可能

（3）　運行速度は、0.5km/h 刻み(四捨五入)

（4）　加減速操作の時刻は、操作された時刻を記録

なお車種によって車輪径の誤差等が考えられるため、同一車両の、連続する日時のデータを利用する。

記録装置上の時刻をもとに快速運転を行う列車（上り 9 本）から同一の駅間（3 駅間：A 駅→B 駅、B 駅→C 駅、C 駅→D 駅）をソフトウェアによって抽出するため、解析するデータは 9 本× 3 駅間の 2 7 区間となる。なお、運転士が同一の場合も含まれている。

3．データ解析

3．1．運行状況の確認

はじめに駅発車時の遅延時分と、次駅までの所要時分の長短を調査した。その結果、駅発車は全列車が定刻だが、所要時分には長短の差があり（表 1）、運転士の運転傾向の差が現れている可能性がある。

そのため、本稿の運転曲線を示す図では、同表の色彩により所要時分別に塗り分けて作画している。

表 1　駅間所要時分の長短

区間	30秒～15秒早着（赤系色）	～0秒(定刻)（灰色系）	～15秒遅延（黄系色）	～30秒遅延（青系色）
A～B駅[該当の試番]	2列車[4,5回目]	1列車[6回目]	3列車[1,2,7回目]	3列車[3,8,9回目]
B～C駅[該当の試番]	2列車[4,5回目]	4列車[2,3,7,9回目]	3列車[1,6,8回目]	0列車
C～D駅[該当の試番]	2列車[4,5回目]	5列車[2,3,6,7,9回目]	2列車[1,8回目]	0列車

3．2．曲線部の減速操作

鉄道の運転では、運転操作が少ないことが省エネ・乗り心地の点で望ましいため、小刻みなブレーキ力の調整は駅部を除き通常見られない。そのため、ブレーキを動作させた位置は、速度制限に向け減速した位置

（「ブレーキ指令点」とする。）と考えることができる。

図１は、25km/h 以上の大幅な減速が必要な、A駅→B駅間の急曲線部(360R。保安装置整備済み）付近の運転曲線と、ブレーキ指令点を示したものである。

標準曲線（緑色）では 1,500m 付近で約 85km/h から減速しているが、記録装置のデータではより速い運転（高速運転）と、より低速の運転（低速運転）の２グループに分かれている実態が見られる。またブレーキ指令点は、速度に応じて前後に移動している。

車両の減速性能及び勾配や走行抵抗による速度変化分を考慮し、非常ブレーキで速度制限まで減速可能な距離（「安全上の限界」と呼ぶ。）を求めたところ、同図中の紫色点線の位置となった。高速運転の場合、ブレーキ指令点からの距離では 180m、時間では７秒（空走時間は非考慮）程度の余裕であると分かった。

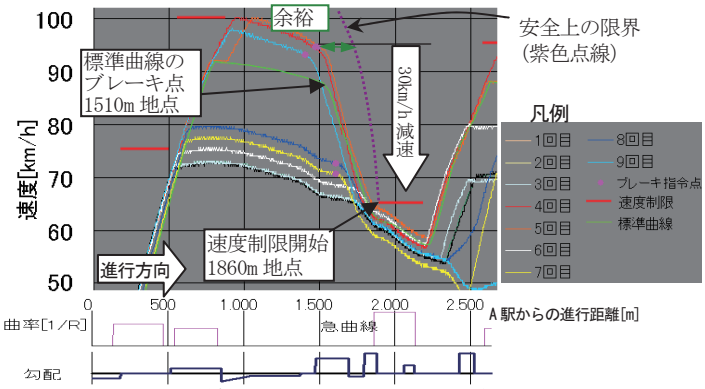


図１　急曲線に対するブレーキ指令点の分布状況

他方、図２はA駅→B駅間の比較的緩い曲線部(600R)である。標準曲線は 90km/h から減速しているが、図１と同様、低速運転・高速運転のグループに分かれ、ブレーキ指令点はまちまちとなっている。

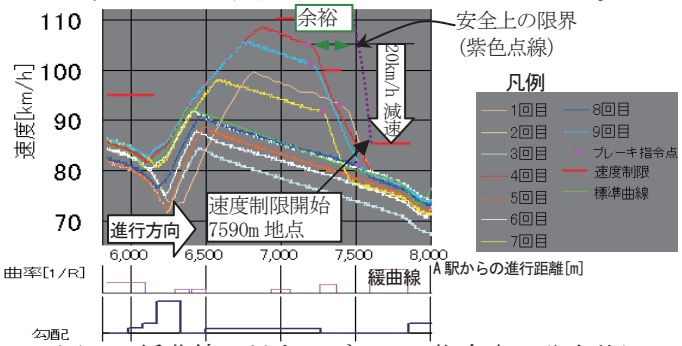


図２　緩曲線に対するブレーキ指令点の分布状況

３．３．分岐器部の減速操作

次に、駅場内の分岐器に向けて減速する際のブレーキ指令点の位置について調査した。その結果、曲線に対する場合と違いどの速度でも 200m以内にブレーキ指令点が集中しており、位置のばらつきが小さい特徴があることが分かった（後述の図３参照）。

３．４．減速操作の余裕時分の分析

曲線に対するブレーキ指令点は速度により変わる傾向があるため、ブレーキ遅れ等が生じる素地があると思われる。そこで、速度制限箇所毎に安全上の限界と、ブレーキ指令点からの余裕時分を計算した。

ただし、今回サンプル数が少ないため、統計処理(95%区間推定）を行い通常運行時のブレーキ指令点の最大・最小の範囲を算出した。図３は、ブレーキ指令点の平均を 0m として、安全上の限界（白線）を示したものである。表２は、安全上の限界に至るまでの運転操作の余裕時分と、その最短の場合（最も遅いブレーキ指令点からの残り時間）を算出したものである。

表２から余裕は平均 5～8 秒程である。速度制限のある付近は特に高い注意力をもって運転されているが、万一のブレーキ操作の遅延時には、低速で運転されているグループの方が、その後、対処できる余裕時分がほとんど無い（表２塗色部分）状況と言える。

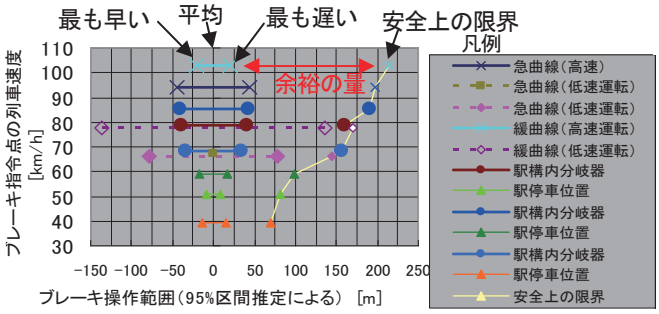


図３　ブレーキ指令点の変動範囲と余裕距離

表２　ブレーキ指令点からの余裕時間

減速する対象	平均速度[km/h]	余裕時分平均[s]	余裕時分最短[s]
急曲線(高速運転)	94	7.6	5.9
急曲線(低速運転)	66	6.5	4.5
緩曲線(高速運転)	103	7.5	6.7
緩曲線(低速運転)	77	7.9	1.6
駅構内分岐器	78	8.2	5.4
駅停車位置	46	5.2	4.9

４．まとめ

実運行では、定時運行時でも標準曲線より速い運転や、逆に低速でのこぎり状の運転も見られ、個人差と考えられる。ブレーキ失念時には 5～8 秒程度の余裕時分があるが、低速で運転するグループの方が曲線部で速度超過に至るまでの時間が短く、余裕が少ない状況で運転されていると分かった。

今回は運転士５名分の比較的少ないデータのため、データを増やすことで実運行の状況を精度高く把握できると考えられる。それにより、標準曲線の変更や、保安性を高めるべき曲線部の抽出など、実運行を踏まえた対策が可能となると考えられることから、データの精度向上について取り組んで参りたい。

⑧ 海外展開を踏まえた軌道系交通システムの安全性評価手法に関する検討

交通システム研究領域　　※林田 守正　　廣瀬 道雄　　大野 寛之　　森久 至　　森 裕貴

1．はじめに

海外展開を視野に入れた鉄道等の軌道系交通システムの安全性については、リスク数値管理やRAMS（後述）等の概念を含んだ国際規格とも整合する客観的な第三者評価が求められている。本報告では、交通安全環境研究所（以下「当研究所」という）が実施している安全性評価事例をモデルケースとした、国際的にも受容される標準的な評価手法の提示に向けた検討状況について述べる。なお、本報告では第三者安全性評価者をISA（Independent Safety Assessor）、ISAによる安全性評価をISA評価と表すこととする。

2．安全性評価手法標準化の検討対象とモデル

当所では様々な軌道系交通システムに関するISA評価を行っており、そのうち図1に示すような、索道関係等を除く事例の設計安全性を本検討の対象と位置づけている。過半を占める信号保安システムの場合は制御出力までが評価範囲であるが、近年行っている新方式ホームドアやブレーキシステム等では、動作部分も含めたシステム全体が評価対象となる。

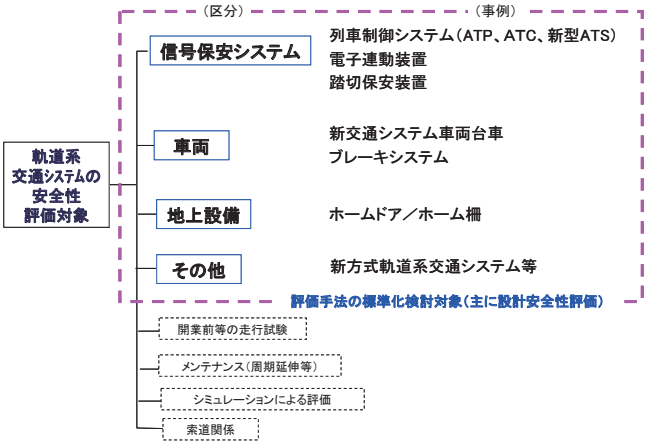


図1　安全性評価手法の標準化検討の対象

また評価事例の約3/4が海外展開を意識したものである一方、国内のニーズに基づいて開発され、先ずは国内での実用化を図る事例もある。特に後者の事例では将来的な海外展開に向けての課題が多いと考えられる。当所では、これらのISA評価事例をモデルとして安全性評価手法の標準化に関する検討を行った。

3．評価手法の国際規格との整合

3．1．整合／参考の対象とする国際規格

鉄道に関する主要な国際規格としては、表1に示すようなIEC（国際電気標準会議）規格や、ISO（国際標準化機構）規格が挙げられる。そのうち、まずISA評価手法として国際的に必要とされる可能性が高いIEC 62425（信号保安用電子機器のセーフティケース）およびIEC 62278（RAMS）の2規格との整合について、検討することとした[(1)(2)]。ただしそれ以外の規格も参照し、特に都市鉄道の評価については、検討継続中ではあるが、IEC 62267やIEC 62290に記述される用語、定義等も参照することとした。

表1　整合／参考の対象とする国際規格の例[(1)(2)]

規格番号	規格の題目
IEC61508-1～7	安全に関連する電気/電子/ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾏﾌﾞﾙ電子装置（全産業）
IEC 62278	鉄道におけるRAMS
IEC 62425	鉄道信号用安全関連電子装置の安全性証明（セーフティケース）
IEC 62279	鉄道信号システムのソフトウェアの安全性
IEC 62280	鉄道信号システムの通信の安全性
IEC 62236	鉄道システムのEMC
IEC62267	AUGT 無人運転の安全性要件
IEC62290	UGTMS 輸送システムの管理と指令
IEC 62247	車両と列車検知システムの共存性

3．2．国際規格の主要な概念の整理

3．2．1．IEC 62425におけるISA評価の要求

軌道系システムの海外展開事例では、導入先の事業者側からISA評価が必要とされるケースが増加している。その根拠として、例えばIEC 62425では、メーカ等が作成するセーフティケース等に加え、ISA評価（および報告書）が必須であるとしている[(1)]。その位置付

けを図 2 に示す。IEC 62425 に規定される ISA 評価範囲は、品質や安全のマネジメント体制にも及ぶ広汎なもの（広義の ISA 評価）である。これに対し、本報告における安全性評価手法標準化の検討範囲は、当所がこれまで主に行ってきた、Technical safety report に該当する安全関連の技術評価（狭義の ISA 評価）に限定する。そして ISA としての評価の実施や報告書の作成に際しては、IEC 62425 等における規定を十分に理解して認識し、可能な限り整合を図っていく必要がある。

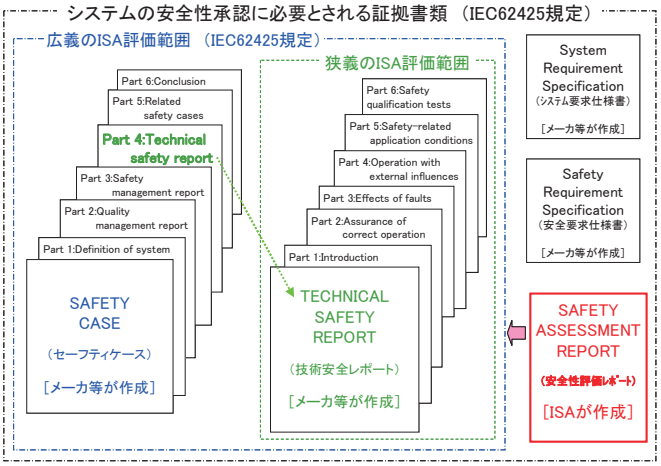


図 2　IEC 62425 に規定される ISA 評価の位置付け[1]

3．2．2．RAMS の相互関係

IEC 62278 においては RAMS の構成要素として、安全性（Safety）と共に信頼性（Reliability）、アベイラビリティ（Availability）、保全性（Maintainability）について記述されている。また RAMS の管理プロセスが規定され、IEC 62425 でも参照されている。RAMS の各要素の相互関係は図 3 のように示されている。

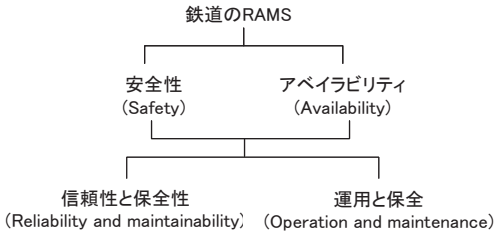


図 3　鉄道における RAMS の相互関係[2]

特に安全性はアベイラビリティの影響要因の一部（安全性関連）を共有し、密接な関連を有するとされる[2]。またアベイラビリティの低下は安全性低下の遠因になることも予想される。したがって評価に当たっては、単に安全か否かの判断だけでなく、アベイラビリティとの両立や相反にも考慮する必要がある。

3．3．具体的な検討例

3．3．1．評価対象範囲の明確化

評価対象範囲は、ISA 評価の大前提となる事項である。ISA として責任を持つ対象範囲を明確にし、併せて、ヒューマンエラー等、ISA 評価の対象外の部分については、国際規格における"Scope"等の記述を参考にして明示することにより、評価対象範囲に関して依頼側と齟齬を来さないよう留意する必要がある。

3．3．2．参照資料の明記

ISA 評価では評価の根拠となる参照資料として、評価対象システムに関する各種の技術資料が提示される。ISA 評価完了後の資料特定や履歴管理を可能とするため、全ての参照資料には各々文書名、文書管理番号、日付が付与されることとし、報告書に明記して、各文書との関連がわかるようにする必要がある。

3．3．3．用語、略語の定義

安全、エラー等の、一般的な安全性関連用語の意味は自明と扱われがちであるが、実態は曖昧であったり、海外とは認識が異なったりするケースが多い。一方 IEC 62425 等の国際規格では表 2 に例示するように、用語、略語の意味が具体的に定義されている[1][2]。

表 2　安全関係の主要用語の定義（例）[1][2]

用語		IEC62425 （セーフティケース）	IEC62278 （RAMS）	
英文	和文	英文	英文	和訳
safety	安全	freedom from unacceptable levels of risk of harm	freedom from unacceptable risk of harm	許容できない危害が発生するリスクが無いこと。
risk	危険度 リスク	the combination of the frequency, or probability, and the consequence of a specified hazardous event	probable rate of occurrence of a hazard causing harm and degree of severity of the harm	ハザードの発生確率及び発生する危害の重度。
error	誤り エラー	a deviation from the intended design which could result in unintended system behaviour or failure	–	–
failure	故障	a deviation from the specified performance of a system	–	–
fault	欠陥	an abnormal condition that could lead to an error in system NOTE a fault can be random or systematic	–	–
hazard	潜在危険 ハザード	a condition that could lead to an accident	Physical situation with a potential for human injury and/or damage to environment	人的傷害及び／又は環境ダメージを起こし得る物理的状況。
reliability	信頼性 信頼度	the ability of an item to perform a required function under given conditions for a given period of time	probability that an item can perform a required function under given conditions for a given time interval (t1,t2)	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

したがって国際規格における安全性関連の主要用語の定義を原文（英語等）で把握し、報告書にも明示すると共に、評価文中で適確に使用して、評価結果の解釈に齟齬をきたさないよう注意する。また評価対象システム特有の用語、略語の定義についても確認のうえ、報告書に明記する。

３．４．FMEA および FTA について

３．４．１．当所の FMEA／FTA の方針と特徴

当所の ISA 評価では FMEA（または FMECA）と FTA を中核的な手法として用いており、特に重大な危険事象の発生頻度は十分に低いことを確認するよう留意している[(3)]。従来は、その評価基準を、日本の鉄道の安全性と同程度以上としていたが、近年は国際規格を意識して数値化（例えば 10^{-9}/h 以下）している。また FMEA の結果を踏まえて FTA のトップ事象を決定し、さらに両者の結果の整合性を確認している[(3)]。なお安全性評価においては、トップ事象に至る確率が十分に小さいことを明確にすれば十分であるため、主に制約ゲートの存在とその信頼性（SIL(Safety Integrity Level)等）を明確にすることが効率的であると考える。さらに、制約ゲートの確からしさを実車試験等により検証している。また FTA では把握しきれない、動的な事象解明には、状態遷移図を利用した確率計算も併用している。

３．４．２．FMEA／FTA の例（昇降式ホームドア）

乗降客が多い駅では、ホームからの転落や接触事故の防止のため、ホームドアが普及しつつあるが、ドア数が異なる車両への対応やコスト低減のため、軽量構造の昇降式ホームドアが新たに開発された。その試作例を図 4 に、一般化した想定機能を表 3 にそれぞれ示す[(4)]。FMEA、FTA の一例して、昇降式ホームドアをモデルケースとした解析について記述する。まず、昇降式ホームドア特有の構成部品について、その故障モードと影響解析を FMEA として行うこととする。



図 4　昇降式ﾎｰﾑﾄﾞｱの試作例（左:ﾛｰﾌﾟ式　右:ﾊﾞｰ式）

表 3　昇降式ホームドアの想定機能

項　目	昇降式ホームドア	左右開閉式ホームドア（従来型）
スクリーンの開閉方向	上下方向	水平方向
スクリーンの構成	水平に並行する複数のロープ、バー等	板状のドア
スクリーンの動き	支柱に支持・案内されロープ／バーの間隔や重なりを変えながら昇降	戸袋に支持・案内され左右にスライド
支持案内支柱の伸縮	機種によって有り	無し
動力源	モータ	モータ
人・物体の近接検知	有り	無し
ドア挟み込み検知	有り	有り
線路側取り残し検知	有り	有り
スクリーン開閉操作	列車到着／出発検知と連動した自動開閉または乗務員等による手動操作（切替）	列車到着検知等と連動した自動開閉または乗務員等による手動操作（切替）
開閉制御モード(1)	一斉または個別（切替）	一斉または個別（切替）
開閉制御モード(2)	自動または手動（切替）	自動または手動（切替）
停車直前／発車直後の開閉	機種によって有り（自動モード）	無し（開閉は停車中に限定）

表 4 に、このような考え方に基づいて行った FMEA の例を示す。電源断、モータ故障、部材破損、操作盤スイッチ故障がスクリーンの落下／降下を引き起こし、センサ類の故障が荷物や人を巻き込んだスクリーンの上昇に繋がること等が予測できる。表 4 の FMEA の結果を考慮すると、昇降式ホームドアに特有な危険事象（ハザード）の例として、以下のような事象が予測される。

・降下するスクリーンが旅客に接触または衝突
・荷物立掛け、旅客もたれ掛かりの状態でｽｸﾘｰﾝ上昇
・通過列車を停車と誤認してスクリーン上昇

表 4　昇降式ホームドアに関する FMEA の例（一部）

No	ブロック	故障モード	故障発生タイミング	故障の影響	想定されるハザード	対策	危険度	発生頻度	ﾘｽｸ評価
1	モータ電源	電源供給断	閉状態以外	スクリーンが不意に降下する	上方から旅客に衝突	位置保持機構または無停電電源を備える	4	2	8
2	モータシステム	モータ本体または制御機器の故障により軸トルクが喪失	開状態	スクリーンが不意に降下する	上方から旅客に衝突	実績がある製品を使用 位置保持機構を備える 一定時間内に完了しない場合は警報出力（降下が正常時より遅くなる場合）	8	1	8
3			閉状態	開動作できない	車両ドア開の遅れ		1	2	2
4			開動作中	開動作が停止し降下に転じる	上方から旅客に衝突		4	1	4
5			開動作中	重力により降下する（正常時より速くなるか遅くなる）	上方から旅客に衝突、又は旅客の転落、触車		8	1	8
6	昇降機構	ロープ／バー／支柱昇降用ワイヤの破断	閉状態以外	スクリーン／支柱の全体又は一部が落下する	上方から旅客に衝突	十分な強度設計および点検整備	4	1	4
7		ロープ／バー／支柱昇降用釣合機構の破損					4	1	4
8	スクリーン構成	ロープ／バーの破断	全状態	破断したロープ／バーが落下、飛散する	旅客に当たる	十分な強度設計および点検整備	4	1	4
9		ロープ／バーのホルダーからの外れ	全状態	外れたロープ／バーが落下、飛散する	旅客に当たる		4	1	4
10	操作盤（一斉／個別）	開閉スイッチ故障（誤って閉指令）	開状態	乗降中にスクリーンが降下する	上方から旅客に衝突	実績がある製品を使用 ノイズ対策	2	2	4
11		開閉スイッチ故障（誤って開指令）	閉状態	列車が到着していないのにスクリーンが上昇する	旅客の転落、触車		8	1	8
12		モード切替スイッチ故障（誤って手動モード）	開状態	発車後も閉動作しない	旅客の転落、触車		8	1	8
13	列車到着／出発検知センサ	列車が到着したのに到着していないと誤検知（センサ正面の障害物等による検知妨害）	閉状態	ドアが開かない（自動開閉モードの場合）	車両ドア開の遅れ	センサへの付着物、水溜まりを回避する構造、取付	1	3	3
14		ケーブルのコネクタ外れ	閉状態	ドアが開かない（自動開閉モードの場合）	車両ドア開の遅れ	コネクタ外れの検知	1	2	2
15		列車が到着していないのに到着したと誤検知	閉状態	スクリーンが上昇する（自動開閉モードの場合）	旅客の転落、触車	鳥等による誤検知の防止検討 実績がある製品を使用 ノイズ対策	8	1	8
16		列車が発車していないのに発車したと誤検知	閉状態	スクリーンが降下する（自動開閉モードの場合）	上方から旅客に接触		2	2	4
17	近接物検知ｾﾝｻ	近接物が無いのに近接物有りと判断	開動作中	開動作が中断する	車両ドア開の遅れ	実績がある製品を使用 ノイズ対策	1	2	2
18			開動作中	開動作が中断する	旅客の転落、触車		8	1	8
19		近接物が有るのに近接物無しと判断	閉状態	人が近付いても警告されない	旅客や荷物を引っ掛けたまま上昇	自己診断機能により検出	2	2	4
20			開動作中	人が近付いても警告されない			2	2	4
21			開動作中	人が直下に来ても閉動作を停止しない	上方から旅客に接触		2	2	4

（危険度：1,2,3,8　発生頻度：1,2,3　許容リスク：8以下）

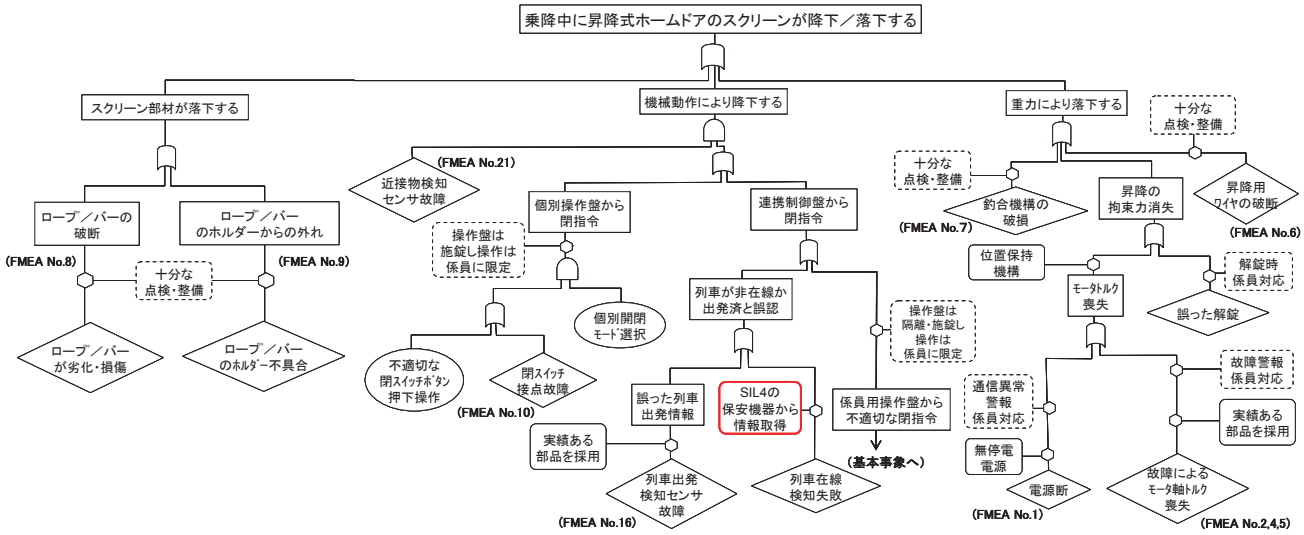


図 5　昇降式ホームドアに関する FTA の例（一部）

図 5 に、上記の FMEA の結果とハザード予測に基づいた FTA の一例を示す。トップ事象の一つとして、昇降式特有の危険事象である、乗降中にスクリーンが不意に落下／降下して旅客に接触または衝突する事象を設定し、中間事象を経て、基本事象とそれらの発生確率までを解析する。制約ゲートにはシステムによる防護と運用による防止があり、前者は故障確率の同定、後者は事業者側との協議によるルール化が重要である。またホームドアの開閉動作が正常でも旅客の不適切な行動によって生じるハザードも存在するため、例えば旅客の故意による危険行動に対しては防護の対象外とする等の整理が必要である。

3．4．3．FMEA／FTA の国際規格との整合

IEC 62425 では、Technical Safety Report の"Effects of faults"において FMEA と FTA の活用が推奨され、前者は単一欠陥の検出、後者は複合欠陥の影響の解析手段として挙げられている [(1)]。また FMEA、FTA の手順の主要段階や技法は IEC 60812、IEC 61025 に記述され、状態遷移図を利用した確率計算の併用についても IEC 61025 において記述されている [(5)(6)]。そこで FMEA、FTA に関しては、これらの国際規格の記述を考慮しながら、これまでの手法を継承する。国際規格の FMEA、FTA に関する記述は概ね緩やかな指針であるため、整合は比較的容易であると考えるが、FMEA におけるリスクの定量評価や FTA における制約ゲートの表現方法等については検討を加える必要がある。

3．5．標準的な安全性評価報告書の構成

以上の検討結果に基づいて、表 5 のような ISA としての安全性評価報告書の構成の一例を考えた。各部の詳細については今後検討を続け、最終的にはマニュアル化に繋げていく予定である。

表 5　安全性評価報告書の基本構成例

番号	項目
1	序文
2	評価対象範囲
3	参照資料リスト
4	用語、略語の定義
5	参照する国際規格
6	評価対象システムの概要
7	技術的な要点の抽出と評価
8	FMEAによる単一フォールトの影響解析
9	FTAによる複合フォールトの影響解析
10	実機・実車試験によるFTA等の検証
11	結論

4．まとめ

当所の ISA としての安全性評価事例をモデルケースとして、整合、参照すべき国際規格と主な概念を念頭においた標準化への具体的な取組みを整理した。また当所がこれまで中核的に用いてきた FMEA、FTA の手法の特徴と実例について述べ、国際規格との整合性と、安全性評価報告書の構成に関する方向性を示した。

参考文献

(1) IEC 62425 Edition 1.0 2007-09
(2) IEC 62278 First edition 2002-09 英和対訳版
(3) 水間「安全技術のチェンジ」平成 21 年電気学会産業応用部門大会前刷集Ⅲ pp. 143～146（2009）
(4) 森「ホームにおける安全・安心向上への取組み」平成 26 年度交通安全環境研究所講演会講演概要
(5) IEC 60812 Second edition 2006-01 英和対訳版
(6) IEC 61025 Edition 2.0 2006-12

⑨ シミュレータを用いた路面電車の運行ダイヤ評価手法に関する検討

交通システム研究領域　　※緒方 正剛　　工藤　希　　日岐 喜治　　廣瀬 道雄

1．はじめに

公共交通において、利便性が高く安定した運行ダイヤの確保は重要な課題であり、道路交通と混在する路面電車においては、道路交通信号など道路交通環境が移動時間に与える影響を考慮したダイヤの評価が必要である。本報告では、路面電車の運行ダイヤを対象に、シミュレーション技術を活用し、利用者への影響を指標とした運行ダイヤ評価手法について述べる。

2．都市交通シミュレータ

2．1．都市交通シミュレータの概要

交通研では、都市交通シミュレータによってLRT(Light Rail Transit)導入によるCO_2削減効果等の定量的評価を行ってきた。表１に都市交通シミュレータの概要を示す。

都市交通シミュレータは、地図上を自動車、バス、鉄道車両、LRV(Light Rail Vehicle：低床式路面電車)等が路線、時刻表、目的地、信号（鉄道信号、道路交通信号）等に応じて走行するもので、走行と同時に消費エネルギー、CO_2排出量等を計算する。さらに、住宅地図を採用することで交差点の右左折等の細かな挙動も再現できるものとしている。

表１　都市交通シミュレータの概要

	機　能	設定するパラメータ
道 路	交差点をノードとするネットワークを構成	シミュレーション対象領域
信 号	信号に従った自動車交通の再現	サイクル長 オフセット 青矢現示に対応
自動車	１台ずつルートを想定して走行 前方を走る自動車の速度に応じた走行 同方向他車線に対応 旅行時間・燃費・環境負荷等の計算	発生点から消滅点までの交通 OD 表 車間距離 車線数 大型・小型車に分けてパラメータを設定
他交通	LRT と同時走行 超小型モビリティの走行 バスの同時走行	路線及び車両パラメータ 路線、時刻表、バス停

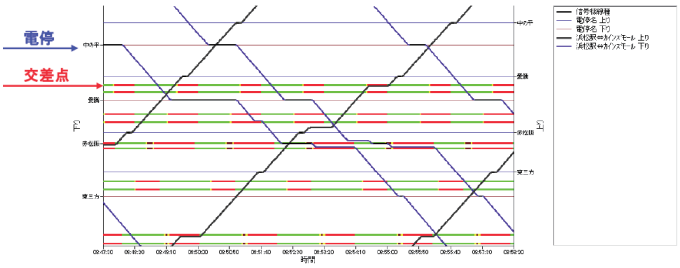


図１　路面電車のダイヤと道路信号現示の例

特に自動車交通については、車両毎に信号と前方の車両の位置を確認しながら自車両の速度を調整して走行するプログラムとしている[1)]。

2．2．ダイヤと道路信号現示の表示

都市交通シミュレータ上での路面電車のダイヤと道路信号現示の例を図１に示す。縦軸を距離、横軸を時間とし、路面電車のダイヤと共に、進行方向の信号現示を確認することができる。これにより、路線バスやLRT（路面電車を含む）において、道路信号による移動時間のばらつきについて確認するとともに、信号階梯が運行ダイヤに与える影響についてダイヤ上で検討することが可能となる。その結果、電停での停車時間と信号階梯とのタイミングや優先信号などを調整することで、ダンゴ運転の解消による安定した運行計画を提示することができ、利用者への利便性の向上に繋がる可能性があることを確認した。

3．輸送影響評価シミュレータ

3．1．輸送影響評価シミュレータの概要

輸送影響評価シミュレータは、運休・遅延発生時における利用者への影響度を算定し、運行ダイヤの評価を行うことを目的としている。鉄道用に構築したシミュレータをもとに、交差点での停車時分など路面電車特有の運行特性を組み入れ、路面電車におけるダイヤの評価への適用を図った。

利用者影響度を評価する式として、以下の式を輸送影響評価シミュレータに盛り込んでいる。

＜利用者影響度算出式＞

一人あたりの利用者影響度＝α×(現在までの遅延時間＋到着遅れ予定時間)＋β×混雑率＋φ×現在の停車位置＋γ×電停での待ち時間

車両あたりの影響度＝1/人数×Σ(一人あたりの利用者影響度)

（α、β、φ、γ：路線毎に異なる係数で、各パラメータの次元を合わせるための係数）

3．2．ダイヤの評価

このシミュレータでは、運行している車両に運休・遅延が発生した際の運転整理などについて、利用者への影響度を定量化し、ダイヤの線に対して色彩の変化を表現することで、利用者への影響度の視点から評価を行うことができる。

この輸送影響評価シミュレータにおいて、車両の遅延によって利用者影響度が変化した例を図２に示す。

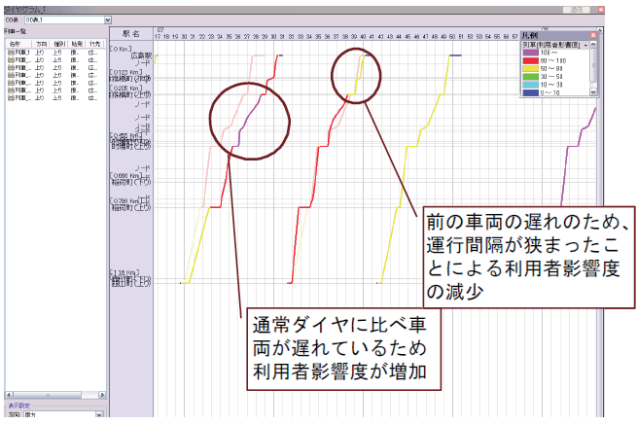


図２　遅延している車両の利用者影響度の例

この図では、先行車両に遅延が発生することにより利用者への影響度が増加している。しかし後続車両は、先行車両の遅延のために運行間隔が狭まり、利用者への影響度が減少していることがダイヤ上で確認できる。

次に、輸送影響評価シミュレータを用いた車両の増発による影響度低下の例を図３に示す。

左の図では、運行している車両が遅延することにより、利用者への影響度が増加しているが、右図のように車両を１本増発することにより、影響度が低下していることが確認できる。

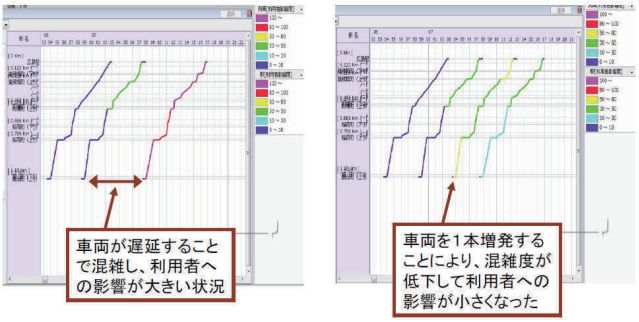


図３　車両の増発による利用者影響度低下の例

これらから本シミュレータは、ダイヤ乱れが発生した場合のダイヤ変更の効果に対する評価やダイヤが乱れた際に利用者への影響が少ない設定ダイヤについての評価が、路面電車の利用者への影響度の視点から行えることが確認された。

4．まとめ

都市交通シミュレータを用いて、道路交通信号による移動時間のばらつきについて確認し、信号階梯が運行ダイヤに与える影響を解析することが可能となり、電停での停車時間と信号階梯とのタイミングや優先信号を調整することにより運行時間の短縮を図ったり、ダンゴ運転の解消による安定した運行計画を提示することができ、利用者への利便性の向上に繋がる可能性があることが確認された。

また、輸送影響評価シミュレータに利用者影響度を評価する式を盛り込み、路面電車用に交差点での停車時分などを考慮し、ダイヤに遅延などが発生した場合の利用者への輸送影響の評価手法を検討した。その結果、本シミュレータは、利用者への影響度の視点から、ダイヤ乱れが発生した場合のダイヤ変更の効果に対する評価やダイヤ乱れの際に利用者への影響が少ない設定ダイヤについての評価が可能であり、設定ダイヤの最適化の検討に適用できることが確認された。

参考文献

1)工藤・佐藤・水間・中村：「総合交通シミュレータを用いた京都市内における LRT の有用性評価」，交通・リニアドライブ合同研究会資料，TER-07-31/LD-07-27 (2007)

⑩ 可搬型レール状態診断装置による状態監視の活用例

交通システム研究領域　※森 裕貴　大野 寛之　佐藤 安弘
日本大学生産工学部　綱島 均　京三製作所　浅野 晃

1．はじめに

車輪がレールで支持案内されて走行する鉄道にとって、軌道の安全管理は重要であり、軌道の状態を常時あるいは高頻度で監視することが望ましい。そのため、軌道検測車などの検査用車両により、精密な軌道検査が可能になっているものの、コストや要員などの点から走行頻度は非常に制限される。さらに地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方、費用の確保や技術力の維持が難しく、十分な検査が行えない事業者も少なくない。

このような問題に対して、簡便な方法により軌道状態の常時監視と診断が可能になれば、より確実な予防保全の実現が期待できる。高頻度で軌道状態を監視する一つの方法として、車両に安価な汎用センサを付加し、営業運転を行いながら軌道の状態診断を行う方法が考えられる。このような車両をプローブ車両[1]と呼び、このプローブ車両を実現するため、我々は車両と非接続で軌道の状態診断の行える、可搬型のレール状態診断装置を開発[2]し、鉄道事業者協力のもと実用に供するための走行実験を行なっている。

本報告では、信頼性の高いレール状態診断装置を用いて高頻度の測定を実現し、軌道管理へ活用する方法について、実際の測定例を交えて紹介する。

2．プローブ車両による軌道の調査

2．1．レール状態診断装置の構成

図１にレール状態診断装置の構成図を示す。軌道変位を検出するための加速度センサ及びレートジャイロ、列車位置を検出するための GPS 受信機、各センサの信号を入力するセンサインタフェース、記録及び解析用ソフトウェアで構成される。また、付属機能として波状摩耗を検出するための騒音計、測定時の状況を撮影するための Web カメラを接続することも可能である。測定された計測データについては、ソリッドステートドライブ（SSD）に記録され、地上側の設備が整っていれば、携帯電話回線を通じてサーバへデータを送信すること

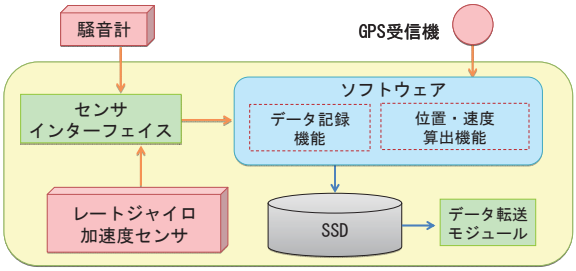


図１　レール状態診断装置の構成

が可能なデータ転送モジュールが組み込まれている。

位置推定・マップ表示ソフトによる列車位置の特定機能で、GPS 情報による位置情報に基づき、路線上の列車位置をマップマッチング[3]により精度良く求め、軌道に異常があったと判定した地点を特定する。

2．2．軌道異常の発見

プローブ車両は、GPS 情報及び、加速度の二乗平均平方根値（Root Mean Square，以下 RMS 値と略記）を求めることで、路線の中で加速度振動が強くでている区間を特定することができる。従来、車体加速度の振幅値を軌道整備基準として用いることが提案されているが、RMS 値を利用することで、長大な軌道全線の測定データから、よりスムーズに異常箇所を特定することが可能である。また、車体加速度については、台車構造の違いにより同一軌道上を走行した場合でも、測定データに差がでることを確認している。プローブ車両では、実軌道の状態を調査した上で、測定車両ごとに適切な RMS 値を設定し、軌道整備の基準としている。

図２に車体加速度の RMS 値により発見された浮き枕木の発生区間の様子を示す。このような浮き枕木を放置すると、車両が通過する際レールの沈下によりたわみが



図２　浮き枕木発生区間

発生し、輪重変動が大きくなるなど、安全上大きな問題が発生する。そのため、特に大きなRMS値が検出された区間については、浮き枕木等により異常が発生している可能性が高いと判断し、事業者の協力の下、異常と思われる箇所の保守を適宜行い、その後で改めてプローブデータを収集し、RMS値が低減することを確認、軌道保守の効果を検証している。

3．離散ウェーブレット変換による評価

RMS値を中心とした軌道診断を長期に渡って実施した結果、緊急性の高い軌道異常を効率よく整備することが可能になるなど、一定の成果を事業者へフィードバックすることができた。しかし、RMS値による評価では、周波数情報が欠落するため、原因別の詳細な診断が難しいといった課題や、トンネル等のGPS受信が困難である区間を持つ路線における、軌道異常箇所の特定が困難といった課題が残されていた。

そこで、測定された車体加速度に対して、離散ウェーブレット変換を適用し、より詳細な解析を可能とした。図３に車体加速度RMS値、車体上下加速度の原波形と離散ウェーブレット変換によって、各周波数成分に分解（d_1～d_6, a）した結果を示す。RMS値が最も大きく出ている3200m～3250mの地点については、d_6成分（1.28 - 0.64Hz）周辺の振幅が大きく出ており、これまでの調査からこの周波数帯には、高低狂いの影響が強く出ていると考えられる。また、RMS値でピークが確認できる3100m地点では、分岐器を通過しているため、d_6成分より高周波の成分に影響が出たと考えられる。一方、d_1～d_4成分（2.56 - 41.0Hz）では、一定の間隔で特徴的なインパルス状のピークが表れていることがわかる。この間隔とレール長さがほぼ等しいことから、実軌道のレール継ぎ目を検出できる可能性が示され、離散ウェーブレット変換により、これまで以上に詳細な軌道状態診断の可能性が示された。

4．まとめ

プローブ車両による軌道診断について、レール状態診断装置で得られたデータを用いて、実軌道の評価を行った。これまでのRMS値による評価に加えて、離散ウェーブレット変換による評価を実施することで、軌道異常の原因別に詳細診断が実施可能となり、レール継ぎ目等の目標物を車体振動から検出することで、軌道異常の発生箇所をより正確に特定することが可能になると考えられるので、引き続き検証を進めたい。

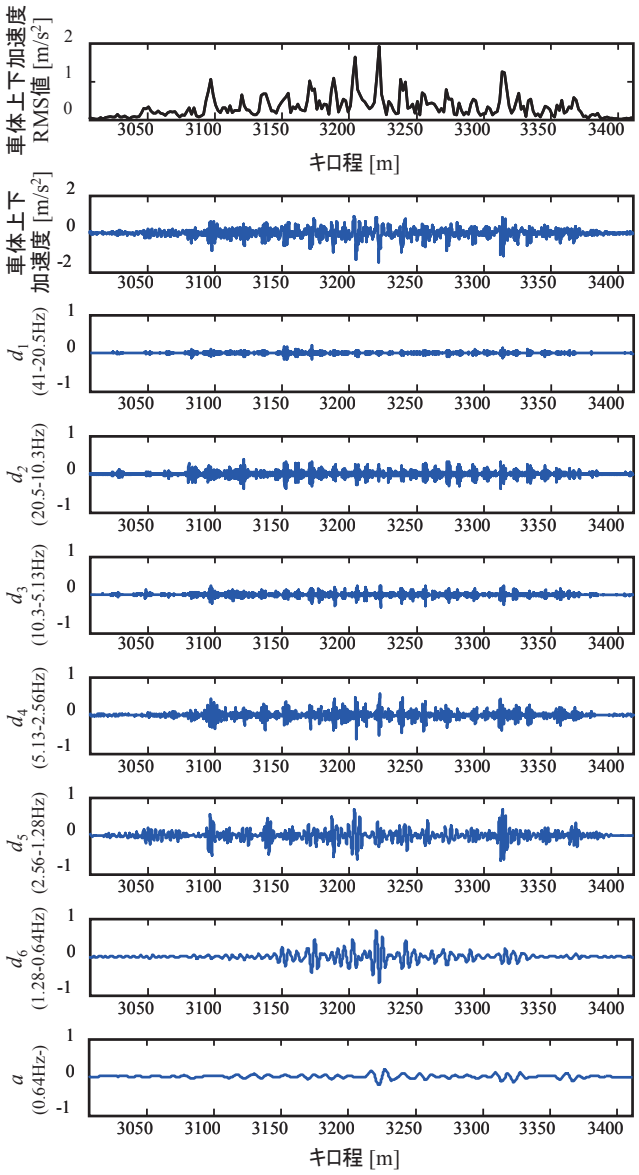


図３　車体上下加速度結果

参考文献

1) H. Tsunashima, A. Matsumoto, H. Nakamura and H. Yamashita: Fundamental Studies on Development of Probe-Vehicle System for Advanced Railway Inspection, The 13th Transportation and Logistics Conference pp. 241-242, 2004

2) 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

3) 小島崇，綱島均，松本陽，水間毅，車上測定データによる軌道の異常検出（第２報，プローブシステムの開発と検証），日本機械学会論文集（C編），Vol. 754, No. 75, pp.1798-1805，2009

⑪ 画像解析を利用したチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置

交通システム研究領域　　※竹内　俊裕　　千島　美智男　　森　裕貴
自動車安全研究領域　　谷口　哲夫

１．まえがき

索道における事故は、過去 10 年間（1999 年度～2008 年度）の調査では 248 件発生しており、このうち人身傷害事故は全体の 91%を占めている[1]。人身傷害事故の内訳としては、線路中において搬器から落下する事故の発生頻度が最も高く、方式別では固定循環式チェアリフト、搬器別では２人乗り搬器の事故が最も多く発生していた。セーフティバーが使用されていなかったことに起因する事故も多く発生しており、再発防止のためにはセーフティバーの確実な使用を利用者に注意喚起することが重要と考えられる。

このような背景から、セーフティバーの正しい使用を促進し、落下事故を防止することを目的として、セーフティバーの状態を画像解析により検出し、未使用の乗客に対し注意喚起を行う、チェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置（以下、本装置という）を試作し、評価試験を行うこととした。

当研究所では、従来より、地方鉄道を対象として、低コストで効果的な保守管理を行うための鉄道用予防保全システム[2]の研究に取り組んでおり、踏切遮断機の開閉動作状態を画像解析により検出する手法についても研究を進めてきた経緯がある。セーフティバーの状態を検出する画像解析手法にはその知見を活用し、具体的な検討を進めることとした。

２．装置構成

本装置は、チェアリフトを撮影するためのカメラ、注意喚起を行うためのスピーカー、入出力制御や画像解析を行う処理装置とモニターで構成される（図１）。

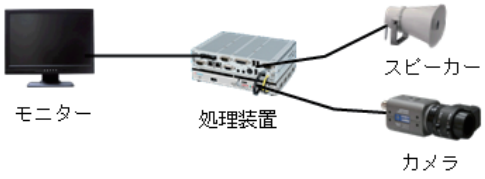


図１　装置構成

３．主な機能

本装置の主な機能は、以下の通りである。

①乗車場付近の支柱等に設置されたカメラにより、チェアリフトを後方から動画撮影し、処理装置へ入力する。

②入力された動画の各フレーム画像から、チェアリフト搬器を抽出し、乗車の有無を解析する。

③乗車中のチェアリフト搬器を対象として、セーフティバーを抽出し、その使用／未使用状態を解析する。

④解析により、乗車中かつセーフティバーが未使用と判断した場合に、スピーカーより音声メッセージを再生し、乗客に対し注意喚起を行う。

⑤注意喚起を行ったときの画像や解析結果等の情報を保存する。

本装置の処理アルゴリズムを図２に示す。

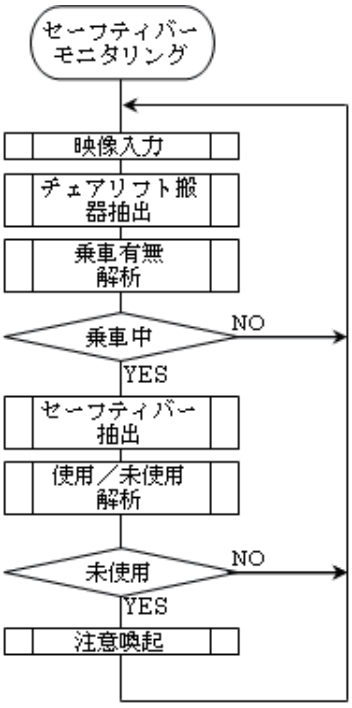


図２　判定アルゴリズム

4．解析方法

搬器の乗客の有無やセーフティバーの使用／未使用を解析する方法として、エッジ検出、矩形検出、パターンマッチング等の方法が考えられるが、スキー場を想定した場合、背景は白系、緑系、茶系のいずれかが主となることが想定されるため、コントラストの差分で判定する方法を用いて評価試験をすることとした。また、試作では、コントラスト比を高めるため、試験的に搬器の座面やセーフティバーへのマーキングを検討している（図３）。

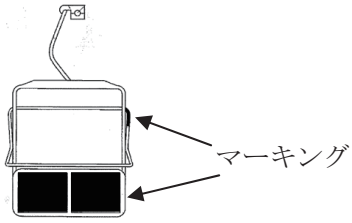


図３　マーキング

まず、入力された映像から搬器を抽出する。抽出方法は、支柱等に設置されたカメラの画角から、搬器が映る部分を特定し、そのエリアを矩形抽出する（図４）。

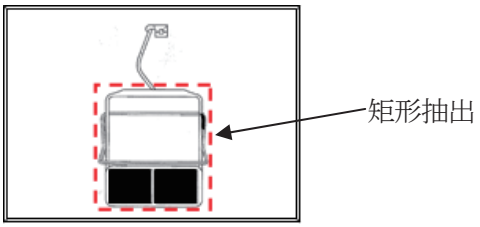


図４　矩形抽出

矩形抽出した画像は、輝度成分に基づき白黒変換し、画像をメッシュ状に細分化したうえで、X座標（横ピクセル）ごとにY座標（縦ピクセル）の輝度の総和を積算する（図５）。

これにより、コントラストをパターン化し、パターンを解析することにより各フレーム画像に対して搬器の有無を判定する（図６）。

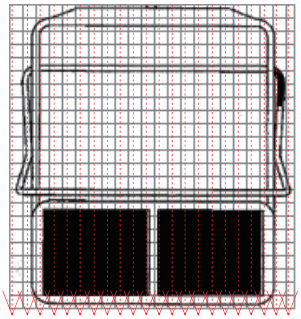


図５　輝度成分積算

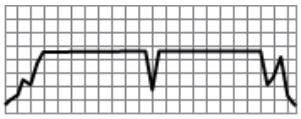


図６　搬器検出時に想定されるパターン

搬器に乗客が乗車中の場合には、図７のように乗客の上半身の輝度が加わったパターン、セーフティバー未使用時の場合には、図８のようなパターンとなることから、パターンを解析することで乗車の有無やセーフティバーの使用の有無を判定する。

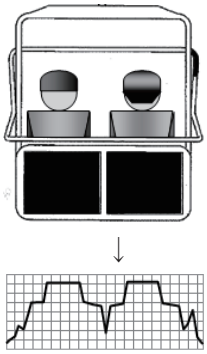


図７　乗車中搬器画像に想定されるパターン

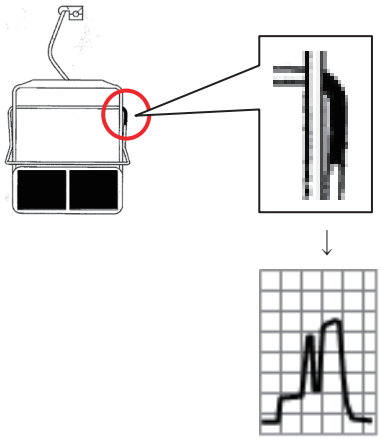


図８　セーフティバー画像に想定されるパターン

5．まとめ

索道搬器からの落下事故を防止することを目的として、現在、検討を進めているチェアリフト搬器セーフティバーモニタリング装置の概要を述べた。

今後、試作した装置を用いて、パラメータ調整のための予備試験を行ったうえで、実際のチェアリフトを用いた評価試験を行うこととしている。

参考文献

1）日岐他、“チェアリフトにおけるいす式搬器からの落下事故の再発防止対策”、平成 26 年度交通研講演会、pp.141-144

2）工藤他、“鉄道用予防保全システムを目指して”、フォーラム 2012、pp.63-66

⑫ ロープウェイ・リフトにおける「脱索」インシデント対策

交通システム研究領域　　※佐藤久雄　千島美智男　日岐喜治

1．はじめに

ロープウェイ・リフトは、架空したロープに搬器を吊して旅客を運搬する輸送システムである。急勾配に強いことや支柱間の線路長を長く設定できることなどの理由により、山間部の観光地やスキー場での旅客の輸送用に多く使用されている。

ロープウェイ・リフトは法令上「索道」と呼ばれており、その種類としては、乗客が乗る搬器の形状により、閉鎖式の搬器を使用する普通索道と、いす式の搬器を使用する特殊索道に分類されている。普通索道としては、交走式のロープウェイやゴンドラリフトなど、特殊索道としては、チェアリフトや滑走式のリフトがあげられる。

索道においては、近年、過去の事故やインシデントと同種の原因の事故やインシデントの発生が指摘されており、事故の再発防止のための早急な対応が望まれている。

この状況に鑑み、既報[(1)]において、過去10年間（1999年度から2008年度）に発生した事故について、事故原因分析、同種の事故の発生状況分析等を実施した結果について報告した。

さらに、同種の事故の中で発生頻度が最も高くなっている「線路中での乗客のいす式搬器からの落下事故」について、詳細な発生状況分析を実施した結果について報告[(2)]するとともに、本事故の再発防止対策について考察した結果について報告[(3)]した。

またインシデントについては、過去8年間（2001年度から2008年度）に発生したインシデントについて、原因分析、同種のインシデントの発生状況分析等を実施した結果について報告[(4)]した。

その際、同種のインシデントの発生状況分析結果の特徴として、「脱索」インシデントの発生頻度が最も高くなっていることを明らかにした。

索道における脱索は、大きな事故に結びつく可能性が高く、「脱索」インシデントに対し取り得る対策の一層の検討が必要と考えられる。

本報では、「脱索」インシデントに関するより具体的な再発防止対策について考察した結果について報告する。

表１　過去８年間（2001-2008）における同種のインシデントの発生状況

No.	ｲﾝｼﾃﾞﾝﾄの種別	原因種別 (ITTAB)	原因の内容 (ITTAB)	ｲﾝｼﾃﾞﾝﾄ件数		ｲﾝｼﾃﾞﾝﾄ発生頻度(%) ※2
1	脱索	External to lift （外的要因）	Wind （風）	5	15	9
2	脱索	Behavior of passenger transported （乗客の挙動）	Bad unloading (passenger not paying attention) （降車時における乗客の不注意）	4		7
3	脱索	Behavior of passenger transported （乗客の挙動）	Bad unloading (passenger fell down) （降車時における乗客の転倒、転落）	3		5
4	脱索	Line equipment （線路上構造物）	Line sheave damage/failure （線路上の索輪の損傷／故障）	3		5
5	握放索不完全	Behavior of operator or mechanic （運転者あるいは保守係員の挙動）	Bad maintenance（整備不良）	2	2	(-)
6	施設障害	Line equipment （線路上構造物）	Damage/failure of structure (includes towers) （構造物の損傷／故障（支柱を含む））	2	4	(-)
7	施設障害	Line equipment （線路上構造物）	Sheave train damage/failure（滑車の損傷／故障）	2		(-)
8	搬器故障	Vehicles（車両）※1	Grip （握索装置）	5	7	9
9	搬器故障	Vehicles（車両）※1	Hanger assembly damage or failure （ﾊﾝｶﾞｰの損傷／故障）	2		(-)
10	搬器逆走	Mechanical components （機械部品）	Brake damage or failure（制動装置の損傷／故障）	3	3	5
合　計				31		55

※1：搬器にハンガーおよび握索装置（あるいは接続装置）を取り付けた状態をいう。
※2：全ｲﾝｼﾃﾞﾝﾄ件数（56件）に対する発生頻度　（ 5%以上を記載 ）

２．同種のインシデントの発生状況分析結果

2001年度から2008年度までの過去8年間に発生した全インシデント56件について、同種のインシデントの発生状況分析を実施[4]した結果を表1に示す。同種のインシデントは、31件発生している。ここでの同種のインシデントは、「主要な原因が同じで、種別も同じインシデント」と定義している。例えば、「風が主要な原因」で「脱索」インシデントが複数発生している場合は、これらのインシデント件数を集計して、このインシデントの同種のインシデント件数としている。

分析結果の特徴的な点として、

(1)同種のインシデントが繰り返し発生していること（8年間に2件以上発生した同種のインシデント（31件）は全インシデント件数（56件）の約55%)、

(2)「脱索」インシデントにおいてその特徴が顕著に現れていること（同種のインシデント件数の約48%)、

(3)「脱索」インシデントは「外的要因（風)」に起因するものが最も多いこと

などがあげられる。

索道における事故防止のためのインシデントの低減には、この同種のインシデントの低減が重要になると考えられ、特に、発生頻度が最も高くなっている「脱索」インシデントの再発防止が非常に重要になると考えられる。

３．「脱索」インシデントの再発防止対策

分析結果に示されるように、索道におけるインシデントにおいては、同種のインシデントの発生件数が高く、特に、「脱索」インシデントにおいてその特徴が顕著に現れている。索道における脱索は、搬器落下事故や搬器衝突事故といった大きな事故に結びつく可能性が高く、事故防止のためには、この同種のインシデント、特に「脱索」インシデントの再発防止が非常に重要になると考えられ、ハード面およびソフト面から安全対策を重点的に講じていく必要がある。

脱索に関する同種のインシデントの発生状況分析結果に基づき、ハード面およびソフト面から考えられる脱索防止のための方策について考察した結果を表2に示す。

３．１．『風』に起因する「脱索」インシデントに対する方策例

『風』に起因する脱索については、風により搬器が大きく振られて支柱構造物と接触し、脱索が発生している。このことから、ハード面からの脱索防止のための方策としては、「防風ネットなどの防風設備の設置」、「搬器の動揺減衰装置の導入」、「脱索事前検知装置の設置」、「脱索防止装置の設置」などが有効と考えられる。

脱索事前検知装置については、E. Fuchsの研究[5]やH. Peiyuanらの研究[6]などがある。E. Fuchsの研

表2　脱索防止のための方策例

No.	ｲﾝｼﾃﾞﾝﾄの種別	原因の内容 (ITTAB)	脱索防止のための方策例	
			ﾊｰﾄﾞ面	ｿﾌﾄ面
1	脱索	Wind （風）	・防風ﾈｯﾄなどの防風設備の設置 ・搬器の動揺減衰装置の導入 ・脱索事前検知装置の設置 ・脱索防止装置の設置など	・風特性および搬器の特性を考慮した適切な運転限界風速の設定 ・強風時の運行監視体制の強化など
2	脱索	Bad unloading (passenger not paying attention) （降車時における乗客の不注意）	・搬器の動揺減衰装置の導入 ・脱索事前検知装置の設置 ・脱索防止装置の設置など	・係員の対応の改善（降車時の監視体制の徹底） ・乗客への注意喚起方法の改善（正しい降車方法の啓蒙） ・係員教育の充実（降車時の安全運行についての意識の徹底）など
3	脱索	Bad unloading (passenger fell down) （降車時における乗客の転倒、転落）	・搬器の動揺減衰装置の導入 ・脱索事前検知装置の設置 ・脱索防止装置の設置など	・係員の対応の改善（降車時の監視体制の徹底） ・乗客への注意喚起方法の改善（正しい降車方法の啓蒙） ・係員教育の充実（降車時の安全運行についての意識の徹底）など
4	脱索	Line sheave damage/failure （線路上の索輪の損傷／故障）	・索輪の材質および形状の変更・強化（摩耗および劣化進行の少ない索輪部品への材質変更および肉厚を上げるなどの形状変更）など	・線路上の索輪の整備・点検体制の強化（索輪のｺﾞﾑﾗｲﾅｰの摩耗・劣化進行に伴う索輪の損壊、索輪のﾗｲﾅｰ交換時の索輪脱着不良などに対する管理体制の強化）など

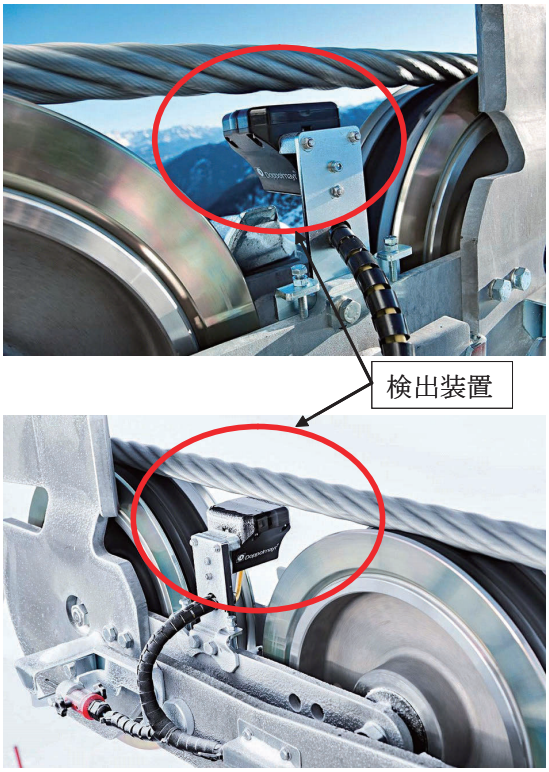
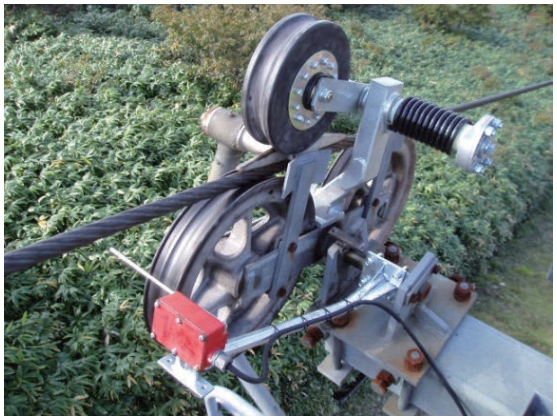
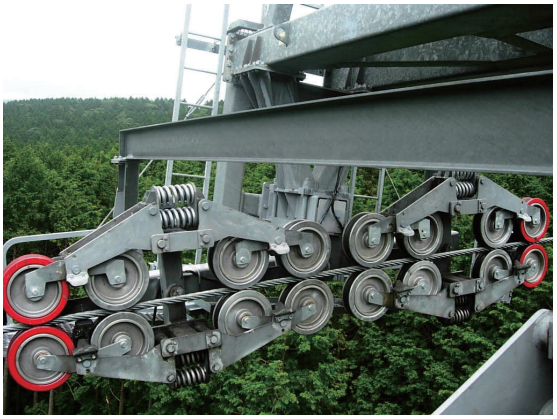


図1　ロープ位置検出装置

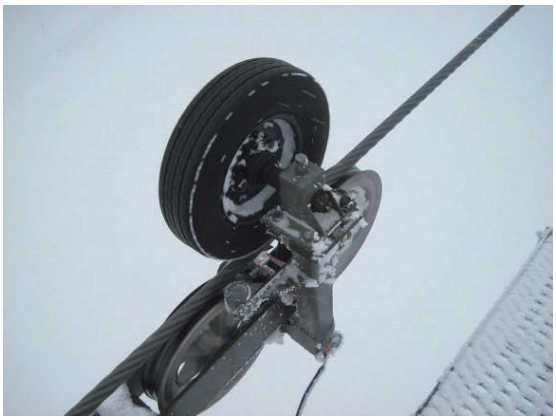


（写真提供：安全索道（株））



（写真提供：日本ケーブル（株））

図2　脱索防止装置（タイプA）



（写真提供：安全索道（株））

図3　脱索防止装置（タイプB）

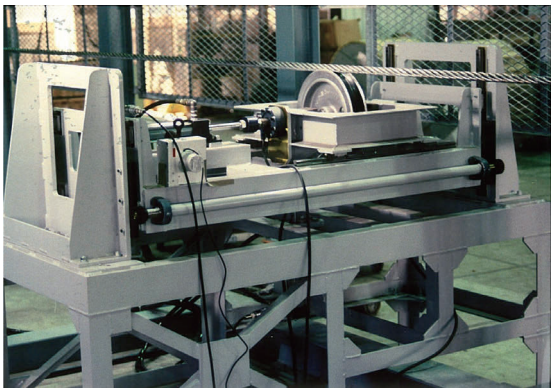


図4　脱索実験装置

究成果は、ロープ位置検出装置として実用化（図1）[7]され、国内では4基のフニテル（複式単線自動循環式普通索道）の施設に導入実績がある。本装置は、索輪上のワイヤロープの位置をセンサにより検出し、ワイヤロープが正常な位置から大きく外れた場合に脱索が発生する予兆として信号を出力する。システムは減速または停止され、安全な運行が保持される。

脱索防止装置の例を図2および図3に示す。図2は、バネ付き索輪方式（タイプA）の脱索防止装置であり、索輪の押しつけ力はバネ力により調整する。また、図3は、ゴムタイヤ方式（タイプB）の脱索防止装置であり、ゴムタイヤの押しつけ力は、タイヤ空気圧を調整して行う。

この二つの脱索防止装置の機能については、交通安全環境研究所に設置されている脱索実験装置（図4）を用いて機能試験を実施[8]し（図5および図6）、高い脱索防止機能を有していることを確認している。

また、ソフト面からの方策としては、「風特性および搬器の特性を考慮した適切な運転限界風速の設定」、「強風時の運行監視体制の強化」などが有効と考えられる。

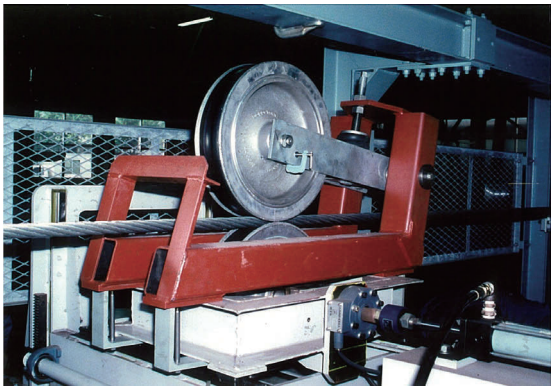


図５　脱索防止装置の機能試験（タイプＡ）

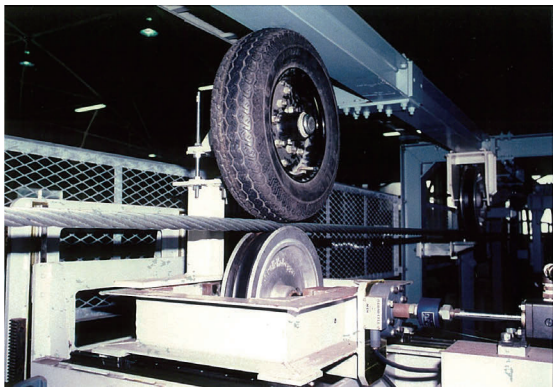


図６　脱索防止装置の機能試験（タイプＢ）

３．２．　『降車時における乗客の不注意』、あるいは、『降車時における乗客の転倒、転落』に起因する「脱索」インシデントに対する方策例

『降車時における乗客の不注意』、あるいは、『降車時における乗客の転倒、転落』に起因する脱索については、降車時に搬器を後方に強く押すなどの乗客の不注意、あるいは、乗客の転倒、転落に起因して、搬器が大きく振られて支柱構造物と接触し、脱索が発生している。このことから、ハード面からの脱索防止のための方策としては、「搬器の動揺減衰装置の導入」、「脱索事前検知装置の設置」、「脱索防止装置の設置」などが有効と考えられる。

また、ソフト面からの方策としては、「係員の対応の改善（降車時の監視体制の徹底）」、「乗客への注意喚起方法の改善（正しい降車方法の啓蒙）」、「係員教育の充実（降車時の安全運行についての意識の徹底）」などが有効と考えられる。

さらに、乗客への注意喚起方法については、最近増加の傾向にある海外（アジア、欧米、オーストラリアなど）からの乗客に対して、複数の言語での適切な対応を考慮する必要があると考えられる。

３．３．　『線路上の索輪の損傷／故障』に起因する「脱索」インシデントに対する方策例

『線路上の索輪の損傷／故障』に起因する脱索については、索輪の損傷／故障により搬器の円滑な支柱通過が阻害され、脱索が発生している。ハード面からの脱索防止のための方策としては、「索輪の材質および形状の変更・強化（摩耗および劣化進行の少ない索輪部品への材質変更および肉厚を上げるなどの形状変更）」などが有効と考えられ、ソフト面からの方策としては、「線路上の索輪の整備・点検体制の強化（索輪のゴムライナーの摩耗・劣化進行に伴う索輪の損壊、索輪のライナー交換時の索輪脱着不良などに対する管理体制の強化）」などが有効と考えられる。

４．まとめ

索道における事故防止のためのインシデントの低減には、同種のインシデントの中で発生頻度が最も高くなっている「脱索」インシデントの低減が非常に重要になると考えられる。

本報では、「脱索」インシデントに関する再発防止対策について考察した結果を報告した。海外における安全装置を含め、安全対策の導入に際しては、システムの安全に関する検証も必要になると考えられる。

過去のインシデントを教訓として、索道事故の再発防止のためのインシデントの低減に向けて、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2名、第19回交通・物流部門大会講演論文集、No.10-54(2010-12)、237-240
(2)佐藤ほか2名、第22回交通・物流部門大会講演論文集、No.13-63(2013-12)、159-162
(3)日岐ほか3名、平成25年度　交通研ﾌｫｰﾗﾑ2013、2013-12、141-144
(4)佐藤ほか2名、第20回交通・物流部門大会講演論文集、No.11-59(2011-12)、225-228
(5)E.Fuchs,OITAF 8th INTERNATIONAL CONGRESS,(1999-5),163-176
(6)H.Peiyuan et al.,OITAF 8th INTERNATIONAL CONGRESS,(1999-5),277-282
(7)http://www.doppelmayr.com/en/products/comfort-solutions-and-options/rpd-rope-position-detection/
(8)谷口ほか2名、平成元年度（第19回）交通研発表会講演概要、1989-12、47-50

⑬ 索道の安全を確保するための握索装置の試験

交通システム研究領域　※日岐 喜治　　千島 美智男　　森 裕貴　　佐藤久雄

１．はじめに

(独)交通安全環境研究所（以下「交通研」という）は、我が国唯一の索道試験機関である。

ロープウェイ、リフトにおいて、ロープをつかむ索道用握索装置（以下「握索装置」という）は、安全上極めて重要な装置であり、交通研では、握索装置の索道技術基準省令及び索道施設設計標準・管理標準への適合性について試験を実施している。本報告では、握索装置試験の概要を述べるとともに、これまでの試験の実施状況を示し、年度別及び種類別推移などから近年の特徴を分析する。

２．握索装置試験の概要

２．１．交通研の役割

交通研では、握索装置の試験基準（FAS02-2007）に従い、製作者・使用者以外の「第三者機関」として、公正中立な立場から握索装置の機能や安全性を確認するための試験を実施している。試験実施概要を図１に示す。

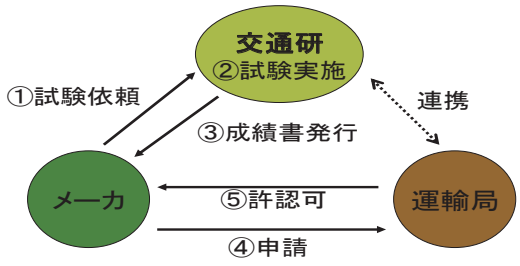


図１　試験実施概要

２．２．検査・試験方法[1)]と判定について

握索装置の試験は、主として2.2.1.～2.2.3.に示す方法により行い、判定基準に適合した握索装置を合格とする。ただし、外観検査、形状及び寸法検査、機能検査のいずれかの検査により不合格となった握索装置は、耐滑動力試験、耐荷重試験などを行わず不合格とする。

２．２．１．外観検査・形状及び寸法検査・機能検査

外観検査は、各部の状態を目視により行い、ひび、きず、まくれの有無を調べる。

形状及び寸法検査は、組立寸法及び部品の寸法を計測し、図面との相違の有無を調べる。

機能検査は、使用する索条の公称径相当の場合と公称径の5%減相当の場合について動作を確認する。ただし、自動循環式索道において索条の接合部を握索する握索装置については、使用する索条の公称径相当の場合と公称径の 5%減相当及び 15%増相当の場合について動作を確認し、確実に握索できるものであるかを調べる。形状及び寸法検査の状況を図２に示す。添付図面に寸法の許容差が明示されていない場合は、ＪＩＳ等を適用する。



図２　形状及び寸法検査の状況

２．２．２．耐滑動力試験

握索装置は、運転による衝撃や勾配による力を受けても、滑ることなく確実に索条を掴んでいることが求められる。このため、耐滑動力試験により、握索装置が索条方向に作用する力に対して十分耐えられるものであることを確認している。索条を水平又は路線の最急こう配以上の状態で保持し、この索条に切断荷重

の 1/5 の張力を与えた後に、握索装置を索条に装着し、索条に平行な力を握索装置に作用させて耐滑動力を測定することにより行う。耐滑動力は、握索装置が 150mmの距離を滑動する間に生じた最大値をとる。判定基準は、耐滑動力の値が、基準滑動力の 3 倍以上であることである。耐滑動力試験の状況を図 3 に示す。握索装置を索条に装着した状況を左図に示し、外力の作用部の拡大図を右図に示す。

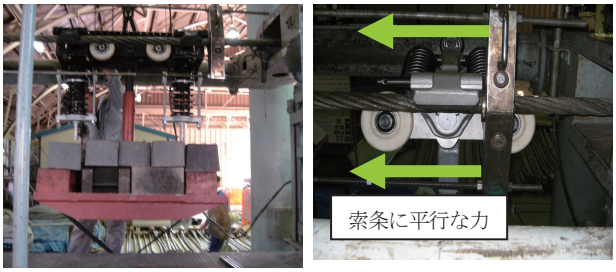


図 3　耐滑動力試験の状況

2．2．3．耐荷重試験

耐荷重試験では、握索装置が、搬器、乗客等により生じる荷重に対して十分耐えられるものであることを確認している。予めばね等の外力が作用しない状態でひずみゲージを貼り、索条の公称径と同じ直径の丸鋼に握索装置を装着し、総重量の 3 倍の荷重を作用させたときの応力を測定する。判定基準は、その材料の降伏点又はこれに相当する応力を超えないこと、及び、握索装置各部に握索装置の機能に支障を及ぼすような変形、目視で確認できるひび、きず、まくれなどがないことによる。

耐荷重試験の状況を図 4 に示す。左図は丸鋼を握った状態の握索装置及び荷重装置である。右図はその背面であり、中央部の 2 本のコイルばねが、握索力の発生源である。

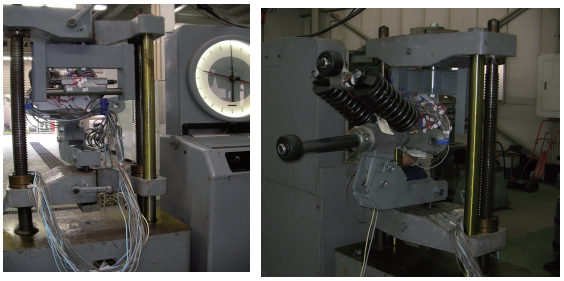


図 4　耐荷重試験の状況

3．試験の実施状況と種類別推移

握索装置試験の種類別件数の推移を図 5 に示す。ここで普通索道とは、扉を有する閉鎖式の搬器を使用して旅客又は旅客と貨物を運送する索道をいい、特殊索道とは、外部に開放された座席で構成されるいす式の搬器を使用して旅客を運送する索道をいう。

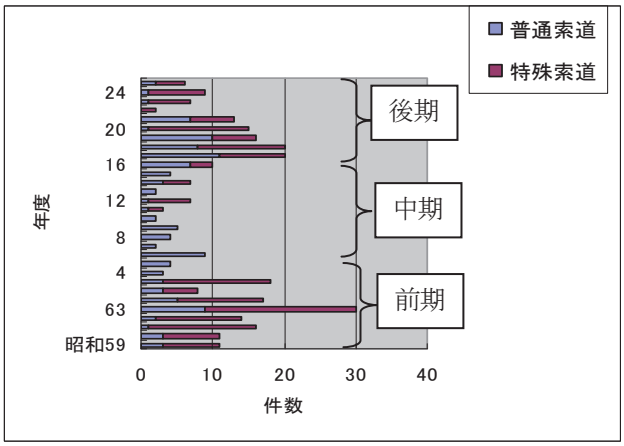


図 5　握索装置試験の種類別件数の推移

昭和 59 年度から平成 25 年度の 30 年間における握索装置試験の件数は 295 件となっており、種類別内訳は、普通索道が 117 件(40%)、特殊索道が 178 件(60%)であった。本稿ではこれを 10 年ごとに区切り、前期、中期、後期と称することとするが、試験件数の推移では、前期及び後期に対して中期の件数は顕著に低くなっていることが分かった。中期の試験件数が少ない理由は、景気の後退が考えられ、後期の特殊索道を主とする増加は、握索装置の更新によるものが多い。

握索装置試験は、ロープウェイ、リフトの新設や老朽更新、輸送力増強等による架替えに伴い需要が発生するものであり、上記の傾向は、経済状況の変化によるレジャー人口の動向やそれに伴う観光地の設備投資の動向が反映されているものと考えられる。

4．まとめ

索道の技術基準については、平成 9 年に、いわゆる仕様基準から機能要件を規定する基準(性能基準)へと大幅な改正が行われた。この結果、新しい機種の導入が容易になり、6 人乗り特殊索道や、複式単線自動循環式普通索道の導入が進んだ。交通研においては、このような索道技術の動向に対応し、握索装置試験の実施や索道の安全データベースの整備などを通じて、索道の安全確保に貢献する取り組みに引き続き努力していきたいと考えている。

参考文献

1）握索装置の試験基準 FAS 02-2007 日本鋼索交通協会（平成 19 年 4 月）PP.4 より抜粋整理

⑭ ブレーキのメンテナンス不足が制動性能に与える影響について

自動車安全研究領域　　※伊藤 紳一郎　　田代 綾夫　　吉田 宏　　松島 和男

1．まえがき

近年、自動車の使用期間が延びる傾向が顕著[1)]であり、長期間に渡って自動車を使用し続けると各部品の劣化が進行することは回避しがたく、適切なメンテナンスを実施しなければ、いずれは故障に至り、場合によっては、重大な事故に至る可能性がある。

平成23年度に発生した整備不良が原因とされる交通事故では、制動装置不良が14％とタイヤ不良に次いで多い[2)]。また、車検整備で入庫した車両において、ブレーキ関係の部位で整備が必要とされる割合は車齢とともに増加しており、一方、車検期間の途中における定期点検の実施率は車齢とともに低下している。

そこで、ブレーキのメンテナンス不足による様々な安全上の課題を実証的に分析することとし、使用過程車におけるブレーキ装置の不具合事例を収集分析するとともに不具合が発生した場合のブレーキ性能に与える影響について検討を実施したので、その概要を報告する。

2．使用過程車における事例分析

使用過程車からブレーキフルード及びブレーキ部品を回収して劣化事例の分析を実施した。

回収したブレーキフルードとその沸点の測定例を図１に示す。ブレーキフルードは空気中の水分を吸収しやすい性質を持っており、今回の実験で使用した新品のブレーキフルード(DOT3、沸点 248℃)に水を加えていくと図２に示すように沸点が低下する。ブレーキの使用頻度にもよるが、長期間ブレーキフルードを交換しない場合沸点が低下し、長い坂道等でブレーキを使用し続けた場合に、ブレーキフルードの温度が沸点を超えて気泡が発生し、ブレーキが効かなくなるベーパーロック現象が発生する可能性も想定される。

また、回収したブレーキ部品のうちホイール・シリンダにスラッジが堆積した事例を図３に、ブレーキホースに亀裂や破断が発生した事例を図４に示す。

ホイール・シリンダにスラッジが堆積する原因にはブレーキフルード自体の劣化やホイール・シリンダのカップやブーツの劣化が想定され、そのまま走行を続けると液漏れ発生の恐れが想定される。

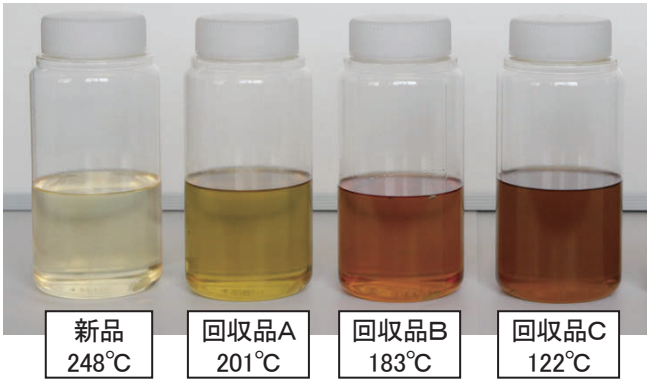


図１　回収したブレーキフルードとその沸点

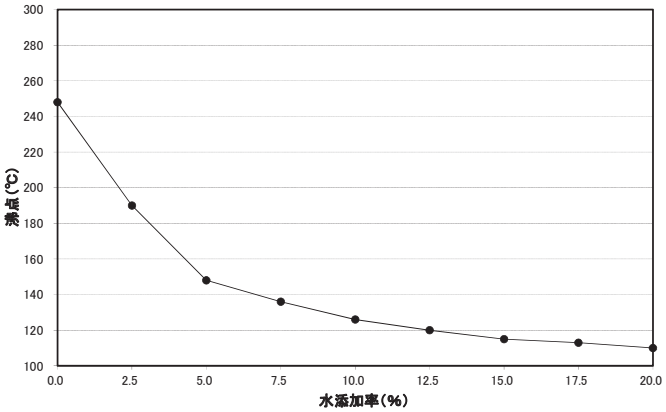


図２　使用したブレーキフルードの水分添加率と沸点の関係

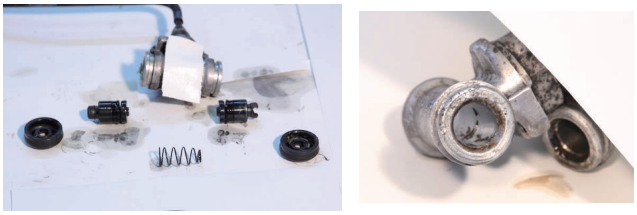


図３　黒色のスラッジが堆積したホイール・シリンダ

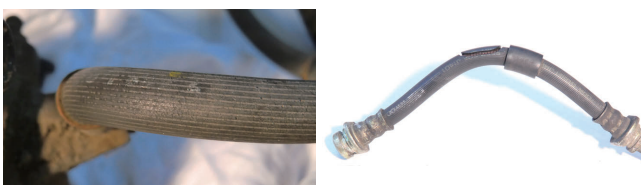


図４　亀裂(左)及び破断(右)が発生したブレーキホース

ブレーキホースの亀裂や破断はゴム部品の劣化が原因と考えられ、破断は液漏れに直結する。

3．再現実験

再現実験にあたっては、小型乗用車に液圧計、熱電対温度計、踏力計、車速計を取り付けて、テストコース走行実験又は適切な負荷を設定した台上走行実験を実施した。液圧センサ及び熱電対の取付状況を図５に示す。

3．1．液漏れがブレーキ性能に与える影響

テストコースにおいて、初速度 50km/h 及び 100km/h から踏力 50N 及び 80N でブレーキをかけたときの正常時及び１系統失陥発生直後の停止距離の測定値を図６に示す。この条件では最大で 60%程度停止距離が延びたことがわかる。これは、左前輪と右後輪に接続された配管が完全に破断した直後で、右前輪と左後輪には正常にブレーキ力が伝達される状態を模擬しており、このあと何回かブレーキ操作を繰り返すと完全にブレーキが効かなくなるので注意が必要である。

3．2．ベーパーロック現象の再現実験

20%の水を混入して沸点が約 110℃となったブレーキフルードを充填させた実験車をニュートラルギアに設定し、高速ブレーキテスタのローラを時速 60km/h で回転させた状態で、踏力約 30N の比較的軽いブレーキをかけ、ディスクパッドの温度が約 600℃になったら制動を休止するということを繰り返して、ブレーキフルードの温度を上げていった。これは、エンジンブレーキを使わないで長い下り坂を降りる状態を模擬したものである。

ベーパーロック現象が発生する直前からの測定結果を図７に示す。950 秒頃のブレーキペダルを離したときに右前輪でベーパーロック現象が発生したとみられ、その後の制動時に右前輪の液圧が０となっている。また、左前輪も 1300 秒頃にベーパーロック現象が発生したとみられる。ベーパーロック現象が発生するとブレーキペダルが急に軽くなったと感じられた。

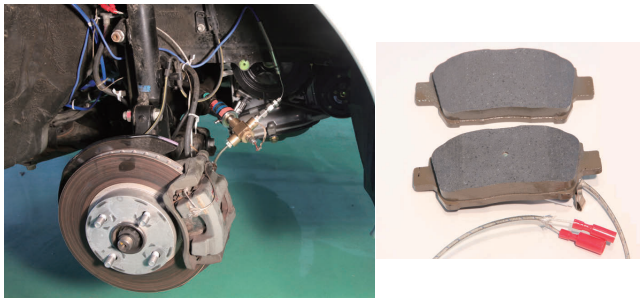


図５　液圧センサ及び熱電対の取付状況

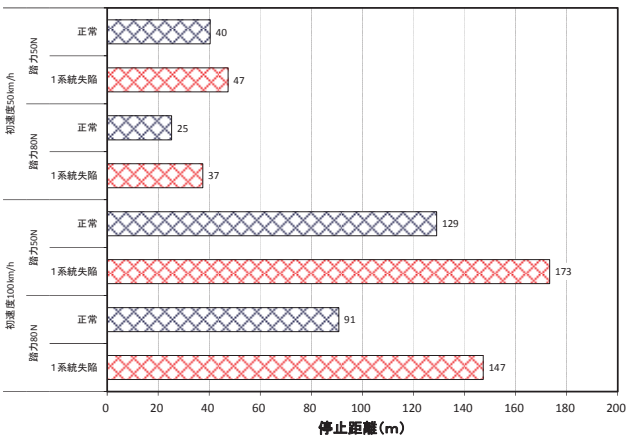


図６　停止距離測定結果

4．あとがき

ブレーキの十分なメンテナンスを実施しないで走行を続けると、ブレーキフルードやブレーキ部品の劣化が進行して停止距離が延び、最悪の場合にはブレーキが効かなくなる可能性があることがわかった。

このため、メーカーが車両毎に推奨する交換時期を参考にして、整備工場等で適切なメンテナンスを実施することが必要である。詳細については、国土交通省報道発表資料[3]を参照されたい。

最後に、本研究を実施するに当たり、協力を頂いた関係者の皆様に感謝致します。

参考文献

(1)(一財)自動車検査登録情報協会:わが国の自動車保有動向（昭和 51 年～平成 25 年）
(2)(公財)交通事故総合分析センター:交通事故データからみた自動車の点検整備に関する調査分析報告書(平成 24年度)
(3)http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha09_hh_000087.html

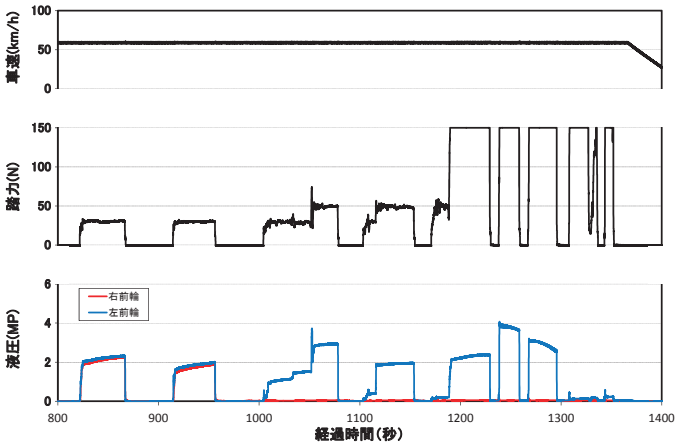


図７　ベーパーロック発生時の測定結果

⑮ 小型車両の乗員傷害について

自動車安全研究領域　　※細川 成之　田中 良知　山口 大助　松井 靖浩

1．はじめに

日本において軽自動車は維持管理費が比較的安いことや環境負荷が低い等により、近年販売台数を伸ばしている。(一社)日本自動車工業会資料によると 2013 年では、軽乗用車は生産台数全体の約 30%であり、次いで小型乗用車が約 26%、軽トラックは約 7.5%とトラック生産台数全体の約半数を占めるに至っている[1)]。

また、(一財)自動車検査登録情報協会の自動車保有台数統計データ[2)]によると図1に示すように乗用小型車の保有数が減少傾向にあるのに対して、乗用軽四輪車は増加傾向にある。また、2008 年以降では、乗用軽四輪車は乗用普通車を抜いて車種別では乗用小型車に次ぐ保有台数となっている。

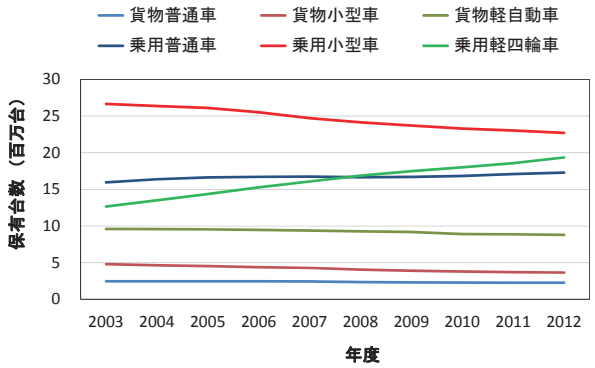


図1　自動車保有台数の推移

そこで、小型車両とりわけ軽自動車の乗員の傷害特性について、交通事故調査と実車衝突実験により検討を行ったので、その結果について報告する。

2．交通事故調査

自動車の死亡事故における乗員の致死率は、前面衝突が最も高い[3)]。そこで、車両対車両の前面衝突事故について、(公財)交通事故分析センターのマクロ事故データを用いて以下に示す条件で分析を行った。

1)2007 年から 2011 年の 5 年間に発生した前面衝突事故、2)前席乗員の傷害程度及び損傷部位、3)車両重量は 2.5t 未満、4)前席エアバッグを装備した乗用車、5)乗員はシートベルトを装着、6)多重衝突は除外とした。

図2に車両重量別、損傷部位別死亡重傷者数を示す。死亡重傷者数は車両が軽いほど多く、乗員の損傷部位は胸部が最も多くなっている。Evans 等[4)]の研究により自車よりも重い車両との衝突事故においては軽い車両の乗員の傷害値がより高くなることが知られているが、胸部傷害が多い理由については、エアバッグやシートベルト等の乗員保護装置との関係について詳細に検討する必要がある。

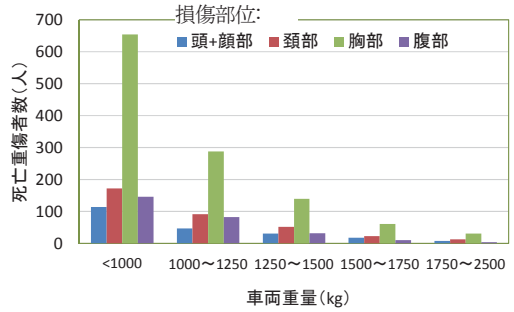


図２　車両重量別、損傷部位別死亡重傷者数

次に、擬似ΔV 別、損傷部位別死亡重傷率を図3に示す。死亡重傷率は、死傷者数(死亡、重傷、軽傷)に対する死亡重傷者の割合で算出した。擬似ΔV とは、衝突の厳しさを示す指標として交通事故総合分析センターがマクロ事故データから算出し、衝突前後の車両の速度変化を表す[5)]。車両相互の正面衝突事故の場合は、自車の重量を M_1、危険認知速度を V_1、相手車の重量を M_2、危険認知速度を V_2 としたときに、自車の擬似 ΔV_1 は、

擬似 $\Delta V_1 = ((M_2 \ / \ (M_1+M_2)) \times (V_1+V_2))$

で表せる。擬似ΔV が高いほど死亡重傷率も高くなる傾向にあるが、特に、胸部傷害による死亡重傷率は他の部位に比べて全体的に高い傾向がみられた。また、40km/h 以下の低擬似ΔVにおいても比較的高い死亡重傷率であった。また、頭部傷害による死亡重傷率は 60km/h 以下では大きく低減しているのに対して、胸部傷害の場合は低擬似ΔV 衝突における死亡重傷率の低減は小さい。交通事故における死亡重傷者数を減らすためには、低擬似ΔV衝突における胸部傷害による死亡重傷率を下げる方策が必要と考えられる。

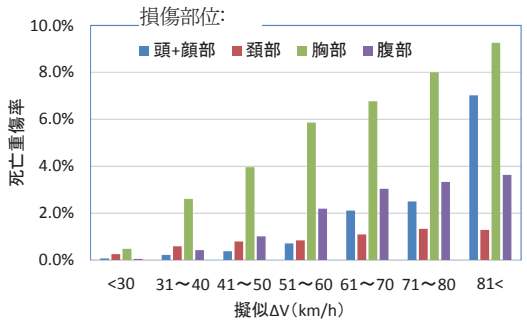


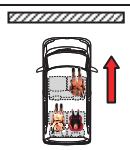
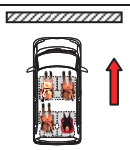
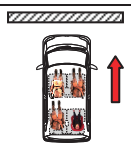
図３　擬似ΔＶ別、損傷部位別死亡重傷率

3. 実車衝突実験

3. 1.　実験条件

上記の交通事故調査の結果から、軽自動車を用い、衝突速度を 55km/h、40km/h 及び 30km/h として前面衝突実験を実施し前席乗員の傷害値について比較した。表1に実験条件を示す。実験に使用した車両は、2004 年式の軽自動車である。傷害値計測用のダミーは前席と後席に搭載したが、今回は運転席に搭載した成人男性ダミー（HybridIII）の傷害値についてのみ述べる。なお、運転席には衝突時の乗員保護装置として、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ルリミッタ機能付き）が装備されている。

表1　実験条件

	Test 1	Test 2	Test 3
実験形態			
衝突速度	55 km/h	40 km/h	30 km/h
ダミー	運転席：男性ダミー 助手席：なし 後　席：女性ダミー等	運転席：男性ダミー 助手席：女性ダミー 後　席：男性ダミー等	運転席：男性ダミー 助手席：女性ダミー 後　席：男性ダミー等

3. 2.　実験結果

成人男性ダミーで計測した、頭部傷害値（HIC）と胸部変位を表2に示す。また、頭部加速度、胸部変位の時間履歴を図4、図5に示す。なお、現行の国内法規における傷害基準では、頭部傷害値はフルラップ衝突試験及びオフセット衝突試験で 1000 以下、胸部変位はオフセット衝突試験で 50mm以下である。頭部傷害値は、頭部加速度とその持続時間から計算される値である。

頭部加速度は、衝突速度が 55km/h（Test1）では加速度に急峻な上昇がみられるが、低い速度では大きなピークが見られなくなっている。その結果として、頭部傷害値は衝突速度が55km/h の場合の 709 に比べて 30km/h の場合では 53 と大きく低減している。これに対して、胸部変位では、55km/h の場合の 44mm に比べて 30km/h では 35mm と 20%程度しか低減していない。この結果より、胸部変位についてはより低減させる方策が必要であるといえる。

表2　運転席乗員の傷害値

	衝突速度		
	55 km/h	40 km/h	30 km/h
頭部傷害値（ＨＩＣ）	709	166	53
胸部変位（mm）	44	41	35

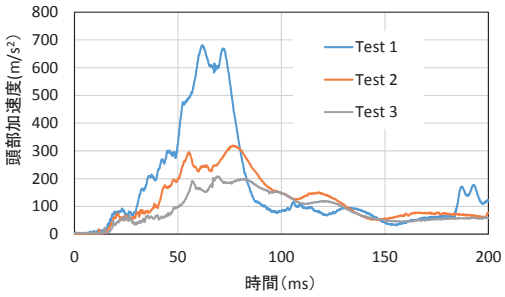


図４　頭部加速度の時間履歴

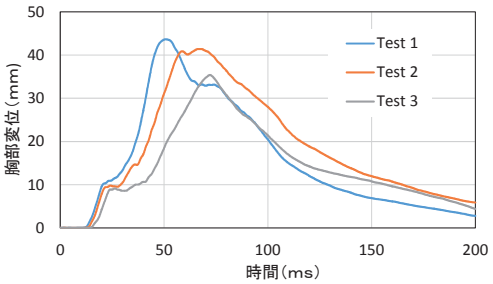


図5　胸部変位の時間履歴

4. おわりに

自動車保有台数統計からもわかるとおり、自動車はこらからも小型・軽量化の傾向が高まる可能性が高い。一方で、小型車両は今回実施した事故調査では低擬似ΔＶ においても死亡重傷率が高い傾向にある。そこで、今後は本報で報告した事故調査及び実車試験の結果を詳細に分析し、車両の衝突安全及び予防安全技術により小型車両の重傷死亡者低減のための技術的方策について検討を行う必要があると考える。

参考文献

1）（一社）日本自動車工業会、データベース、
http://jamaserv.jama.or.jp/newdb/index.html
2）（一財）自動車検査登録情報協会，自動車保有車両数データ、
http://www.airia.or.jp/number/index.html
3）安全・円滑・快適な道路交通を目指して、全日本交通安全協会、平成 19 年 10 月
4）Evans, L., Waseilewsk, P., Serious or fatal driver injury rate versus car mass in head-on crashes between cars of similar mass, Accident analysis and prevention, Vol. 19, No. 2, 1987.
5）前面及び後面衝突事故の衝突速度ΔＶの推定精度向上に関する研究、（公財）交通事故総合分析センター，平成 24 年 4 月

⑯ Hybrid III ダミーの胸たわみ傷害値とシートベルト経路に関する調査

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

1．はじめに

日本のオフセット前面衝突基準において、胸部傷害の評価指標としてたわみ量（胸部肋骨と背骨の間の相対変位量）が使用されている。現在の基準において使用されている Hybrid III ダミーでは胸部たわみ量を1ヶ所の変位計で計測している。事故調査において、前面衝突事故時に高齢者の胸部受傷が多く、シートベルトがその加害原因の一つとして考えられることが報告されている[1)]。その理由として、シートベルトの着用は乗員の安全性向上に必要であるが、前面衝突事故時にシートベルトが乗員胸部を拘束するため、その経路に沿って胸部へ過大な力が発生することが考えられる。このため、シートベルト経路とダミー胸部変位計の位置が離れた場合に胸部たわみ量の計測に影響を与える可能性が考えられる。今回、シートベルト経路を変更した条件でコンピュータシミュレーション及びスレッド実験を実施し、シートベルト経路の違いが胸部たわみ量に与える影響について調査した。さらに、シミュレーションにより人体の胸部受傷の可能性について調査した。

2．コンピュータシミュレーション

2．1．シミュレーション条件

シミュレーションにおけるシートベルト経路条件として、ダミーモデルの場合を図1に、人体モデルの場合を図2に示す。今回、シートベルト経路の違いによる影響の調査を目的としているため、エアバッグの影響の無い後席乗員をモデルとした。また、衝突速度は 50km/h とし、フルラップ前面衝突を模擬したシミュレーションを実施した。シートベルト経路は、肩の中心を通る経路を標準とし、ベルトが肩部で首に接触する経路を上側、左腕上部を通る経路を下側とした。シートベルト経路の違いを明確にするため、シミュレーションではダミー中心部を通るシートベルト中心位置の間隔を、実験で可能な範囲より広く設定した。

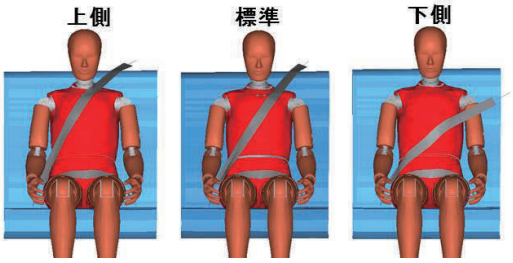


図1　ダミーモデルシートベルト経路条件

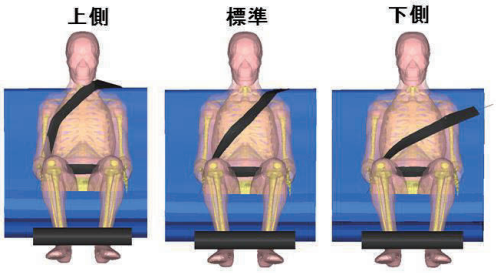


図2　人体モデルシートベルト経路条件

2．2．シミュレーション結果

ダミーモデルでの胸部たわみ量計測値の時間履歴図を図3に示す。胸部たわみ量計測値は標準の場合が最も大きく、上側及び下側のどちらも胸部たわみ量計測値は小さくなった。その差は大きく、シートベルト経路の違いが胸部たわみ量計測値に大きな影響を与えることが確認できた。

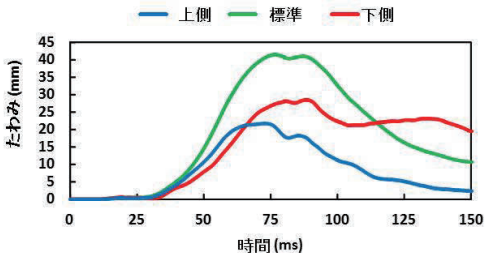


図3　胸部たわみ量計測値時間履歴図

胸部たわみ量がほぼ最大となる 80ms でのシートベルト経路違いにおける胸部の歪みについて、ダミーモデルの場合を図4に、人体モデルの場合を図5に示

す。どちらの場合も、シートベルトの通る側に大きな歪みが発生し、最大歪みの場所は異なるが、最大歪みの大きさには差は見られなかった。実際の乗員において、シートベルト経路に違いがある場合、受傷部位はシートベルト経路で決まるが、胸部傷害を受ける可能性はほぼ同程度で差が無いと考えられる。

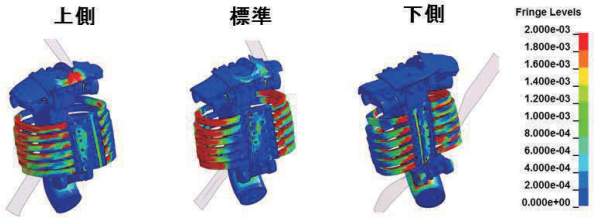


図４　ダミーモデル胸部ひずみ

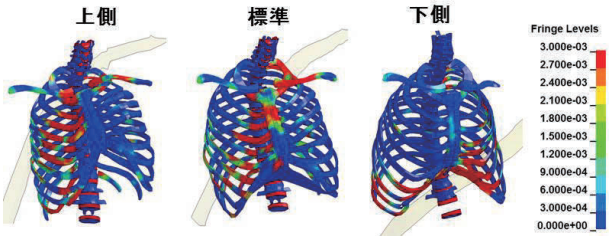


図５　人体モデル胸部ひずみ

３．スレッド実験

３．１．実験条件

実験の状況を図６に示す。スレッド試験機に搭載できるように改造した車体に、運転席シート、インストルメントパネル、ステアリング及びシートベルトを取り付け、運転席に Hybrid III ダミーを搭載して、衝突速度 50km/h のフルラップ前面衝突試験を模擬したスレッド実験を実施した。

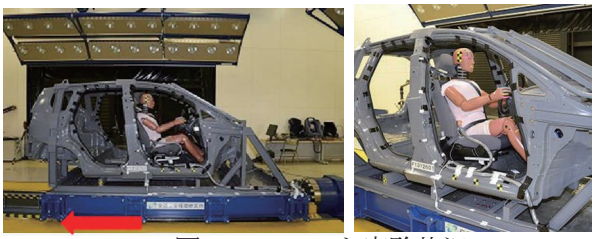


図６　スレッド実験状況

実験のシートベルト経路条件を図７に示す。肩部アンカー位置が最上端の設定で、シートベルトが肩部中心付近を通る経路を標準とし、ベルトが肩部で首に接触する経路を上側、ベルトが肩部外側を通り、かつダミー中心で顎から 230mm 下部にある胸部変位計直上を通る経路を下側とした 3 種類のシートベルト経路で実験を実施した。実験は、シートベルトが肩部を拘束できる範囲の経路で実施したため、ダミー中心部を通るシートベルト中心位置の間隔はシミュレーションと比べ小さい。

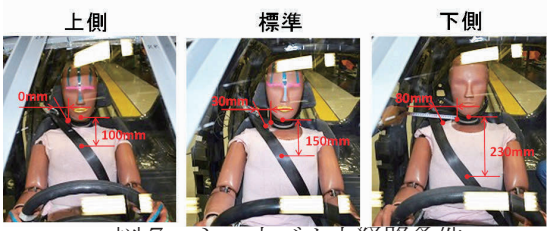


図７　シートベルト経路条件

３．２．実験結果

胸部たわみ量計測値の時間履歴の比較を図８に示す。胸部たわみ量計測値はシートベルト経路の違いにより差が見られ、シートベルトが胸部変位計の上を通る下側が、最もたわみ量が大きく、標準が二番目で、上側が最も小さかった。ベルト経路間の距離は上側と標準の間が下側と標準の間より小さいにも関わらず、最大胸部たわみ量計測値は下側と標準の差より上側と標準の差の方が大きかった。実験において、シートベルト経路の違いが胸部たわみ量計測値に大きな影響を与え、経路によっては胸部たわみ量が小さく計測されることがあることが確認できた。

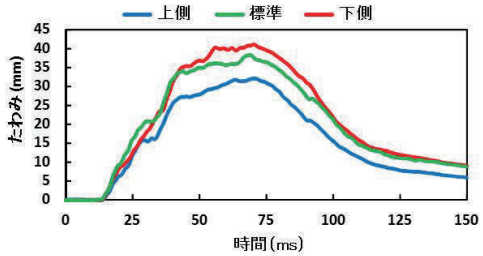


図８　胸部たわみ量時間履歴図

４．まとめ

今回の調査より、シートベルトの経路の違いが、前面衝突基準に使用されている Hybrid III ダミーの胸部たわみ量計測値に大きな影響を与えることが確認できた。

従前の前面衝突基準のダミー搭載方法にシートベルト経路の規定はなく、本調査の結果を用いて当研究所が中心となってシートベルト装着方法を明文化した基準改正案を作成し、前面衝突国際基準改正の検討をしているインフォーマル会議に提案して合意を得た。本内容を織り込んだ前面衝突基準改正案は 2014 年 12 月の国連 GRSP 本会議に提案予定である。

参考文献

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

⑰ 急な飛び出し車両に対するドライバの衝突回避操作の実験的検証

自動車安全研究領域　　※森田 和元　　波多野 忠　　児島 亨　　田中 信壽
芝浦工業大学　　廣瀬 敏也（客員研究員）

1．はじめに

ドライバに対して運転支援を行うさまざまなシステムが開発されており、衝突直前には車両側から強制的に操作介入が行われるようになってきている。その操作介入のタイミングについて、ドライバの通常の回避操作よりも早いタイミングで介入する場合には、ドライバの操作の妨げや意図と反する動きとなる可能性がある。従って、ドライバの行動に期待していては事故が防げないと判断されるぎりぎりのタイミングで介入することが望ましい。この介入タイミングについて検討するためには、緊急時にドライバがどのような行動をとるのかの基本的なデータが必要となる。今回、横方向から突然飛び出す車両に対してドライバの回避行動についてのデータを得ることとした。

2．実験概要

テストコースにおいて被験者に小型乗用車を約40km/h の速度で運転させ、停車車両の陰から不意に発泡スチロール製の模擬台車が出現する状況を設定した（図１）[1, 2]。実験車両と模擬台車の遭遇状況を実験車両側（図２左図）と逆方向側（図２右図）とで示す。模擬台車は 6～8km/h の速度で実験車両が走行する車線に出現した。被験者に対して模擬台車の出現は予告しておらず、また、模擬台車はテント内に隠してあるため事前にその存在を知ることはできなかった。

58 名の被験者により実験を行ったものの、そのうち計測不備の事例が 2 件あり、56 件が解析対象となった。56 名の中には 65 歳以上の高齢ドライバ 15 名も含まれ、平均年齢は 46.5 歳（標準偏差(SD)は 17.5 歳）であった。

3．実験結果

3．1　実験結果概要

模擬台車出現時の TTC (Time To Collision) については、56 件全体の平均は 1.11 秒（SD=0.19 秒）であり、衝突なしの場合（24 件）は平均 1.25 秒（SD=0.13 秒）、衝突ありの場合（32 件）は平均 1.00 秒（SD=0.16 秒）であった。ここで、TTC とは、実験車両前端から模擬台車走行車線までの距離（正確には模擬台車の車幅を考慮した台車手前までの距離）を模擬台車出現時の実験車両速度で除した値である。この TTC の値が小さい場合には衝突を回避する余裕が少ないことになる。

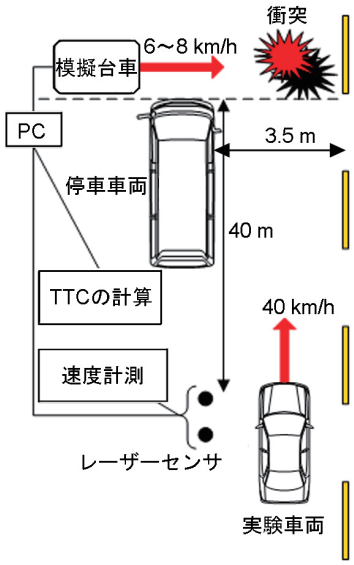


図１　実験レイアウト

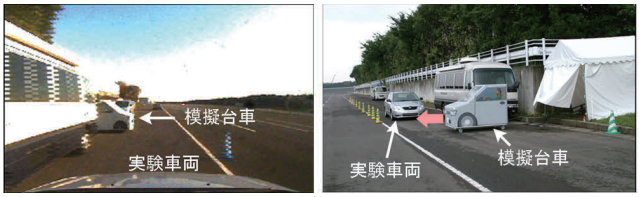


図２　実験車両と模擬台車の遭遇状況

この 56 件の事例のうち、模擬台車出現にもかかわらずアクセルペダルを踏み続けた例が 1 件、アクセルペダルを離したものの衝突に至るまでブレーキペダルを踏まなかったものが 1 件あり、ブレーキペダルを踏下したものは 54 件であった。また、ハンドル操作とブレーキ操作を比較した場合、ほとんどの被験者はハンドル操作を行うものの限定的な操作に留まっており、衝突を回避するのは主にブレーキ操作によるものであることがわかった。

3．2　反応時間

衝突回避に影響するブレーキ操作について検討を行った。ブレーキ踏下を行った 54 件の事例のうち、3 件については模擬台車出現時にアクセルペダルを離している状態であった。これら 3 件を除外した 51 件について、模擬台車出現時点から被験者がブレーキを踏むまでの反応時間について求めた。反応時間の頻度分布を図 3 に示す。全体 51 件では平均 0.45 秒（SD=0.09 秒）であり、衝突なしの場合には平均 0.40 秒（SD=0.08 秒）、衝突ありの場合には平均 0.48 秒（SD=0.09 秒）であった。

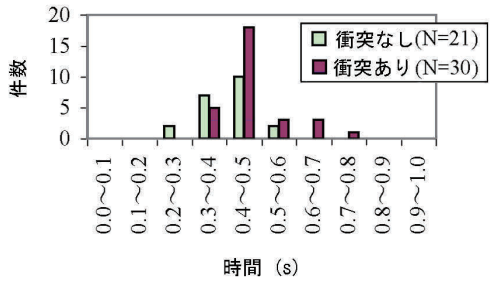


図３　反応時間の頻度分布

３．３　速度と相対距離の関係

51 件のうちブレーキは踏んだものの主にハンドル操作により衝突を回避したものが 1 件あるため、この事例を除外した 50 件について、ブレーキを踏んだ後の平均減速度を求めると 6.9m/s^2 (SD=1.6m/s^2)となった。

ここで、衝突の有無を決定する物理的な指標は、模擬台車出現時の実験車両速度と、実験車両－模擬台車間距離である。一方、衝突有無に影響を与える人的な要因として、被験者ごとの反応時間と平均減速度がある。早く強くブレーキ操作ができる被験者であれば衝突を避けることができる場合であっても、そうでない被験者であれば衝突に至ることが考えられる。この点に関し、衝突有無別に模擬台車出現時の模擬台車までの距離（縦軸）と実験車両速度（横軸）をとり図示すると図 4 となる。同じ速度であっても相対距離が長い場合には衝突しない事例が多くなることがわかる。前述のブレーキの反応時間と平均減速度を基にして、下記式により初期速度に対する停止可能距離を求めて同図中に太線で示す。

$$L = v_0\delta + \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{\alpha}$$

ここで、L: 停止距離 (m)、δ: ブレーキ反応時間 (s)、α: 平均減速度 (m/ s^2)、v_0: 実験車両の初期速度 (m/s) である。

この線は被験者の平均を示すものであり、平均的なドライバであれば、線よりも上にある距離では模擬台車が出現した場合には衝突を回避することができ、下にある距離では模擬台車が出現した場合には衝突に至ると考えることができる。しかし、実際には被験者によるばらつきがあるため線よりも上であっても衝突する場合、逆に線よりも下であっても衝突しない場合が生じた。実際の支援システムを考慮する場合には、これらのばらつきも考慮する必要がある。

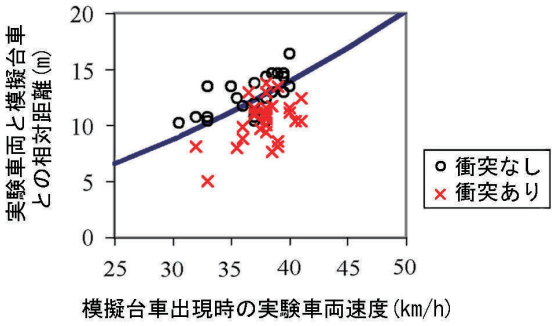


図４　衝突有無別の実験車両速度と相対距離

４．ま　と　め

実車を使用して横方向から不意に車両が出現するという実験を行った結果、56 名の被験者のうち，2 名については衝突回避操作を行うことができなかった。従って、これらのドライバの事故を回避するためにはなんらかの車両側からの衝突回避支援システムが有効である。また、今回の実験条件下では、平均として、危険に気がついてから 0.45 秒後にブレーキペダルを踏下し、その後平均減速度 6.9m/ s^2 で車両を減速することができると考えられるものの、そのような反応ができないドライバも存在する。従って、支援システムを考える場合には、ドライバによるこれらの値のばらつきも考慮する必要がある。

参考文献

(1) Toshiya Hirose et al., "A study on the effect of Brake Assist Systems (BAS)", SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 1(1), pp.729-735 (2009)

(2) 森田和元，廣瀬敏也，波多野忠，児島亨，田中信壽，"横方向からの飛び出し車両に対するドライバの衝突回避操作に関する実車実験結果"，日本機械学会論文集（C 編）79 巻，807 号, pp.4311-4320 (2013)

⑱ 高齢者の単独事故の特徴に関するマクロ分析結果

自動車安全研究領域　　※森田 和元　　関根 道昭

1．はじめに

一般に、高齢ドライバは慎重に運転を行うために交通事故の危険性は少ないと考えられる一方で、身体能力、認知能力の低下により、結果として事故を起こしやすいとも言われている[1]。この点に関し、著者らは運転頻度を考慮した事故の起こしやすさについて解析を行ってきており、高齢ドライバは他の年齢層と比較して事故を起こしやすいという結果を得ている[2,3]。また、個別の事故類型に関しては、とくに単独事故を起こしやすいことを明らかにしている。

単独事故以外に関しては、事故を起こされた側の第２当事者（２当）の回避行動も関係しており、２当が事故を避ける行動を適切にとれば事故につながる可能性が低くなる。このことより、純粋に高齢ドライバの事故の特徴を扱うためには２当の存在しない単独事故について解析することが適当であるといえる。また、一般に単独事故に関しては事故時の致死率が高いことが明らかにされており[4]、その事故を低減することは死亡事故低減にもつながる。今回は、高齢者の単独事故に焦点を絞ってマクロ分析を行うこととした。

2．解析内容

2．1　解析年齢

年齢層として、16～24 歳、25～34 歳、35～44 歳、45～54 歳、55～64 歳、65～74 歳、75 歳以上の年齢層の７種類とした。（公財）交通事故総合分析センター（ITARDA）の 2012 年のデータを使用し、年齢不詳のものを除いたデータを解析対象とした。

2．2　解析対象

今回解析対象とした単独事故は 25,520 件、全ての事故類型（全事故類型）は 647,900 件となった。

交通事故に関与した車両等の当事者別に関して、乗用車（大型、中型、普通）、貨物車（大型、中型、普通）、軽自動車（乗用車、貨物車）、自動二輪車、原付自転車及び自転車の６種類をとり解析を行った。今回、高齢者の交通事故に関する特徴をみるために二輪車、自転車まで含めることとした。当事者別の事故件数に関し、全事故類型（図１上図）と単独事故（図１下図）に示す。全事故類型では全年齢層で乗用車、軽自動車の件数が多いことがわかる。単独事故については全年齢層で乗用車の件数が多いものの、高齢者になると軽自動車の件数が増加していることがわかる。

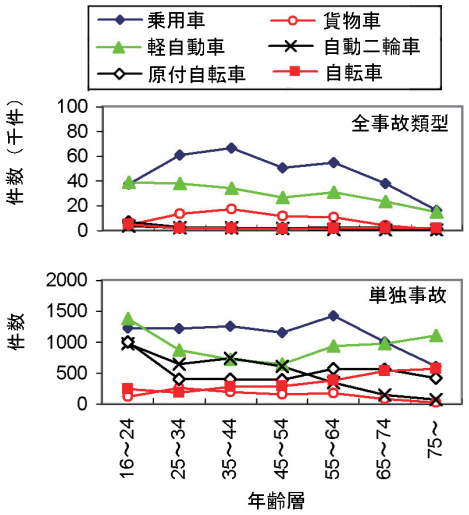


図１　当事者別にみた全事故類型と単独事故の件数（2012 年）

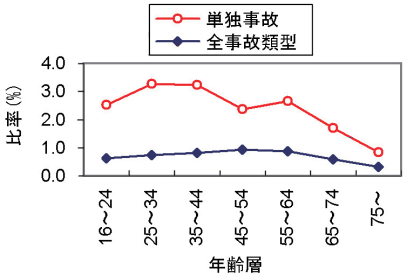


図２　各年齢層における事故件数に占める酒気帯び・飲酒事故件数の比率（2012 年）

2．3　酒気帯び・飲酒

全事故類型及び単独事故に関し、各年齢層においてそれぞれの事故件数に占める酒気帯び・飲酒事故件数の比率を図２に示す。全事故類型と比較して単独事故の場合には、酒気帯び・飲酒事故の比率が高くなるものの、この傾向は全年齢層について認められ、高齢者

の飲酒運転が特に問題であるとは考えられない。逆に、若年者層にこの比率が高い傾向が表れている。

２．４　発作急病

てんかん，心臓麻痺，脳血管障害などの発作急病が事故原因となったものに関して集計すると、2012 年の全事故類型件数のうち 279 件となった。また、単独事故に関してはこのうち 64 件であった。各年齢層における単独事故の発作急病の件数（図３左軸）と全事故類型の発作急病の件数（図３右軸）を示す。

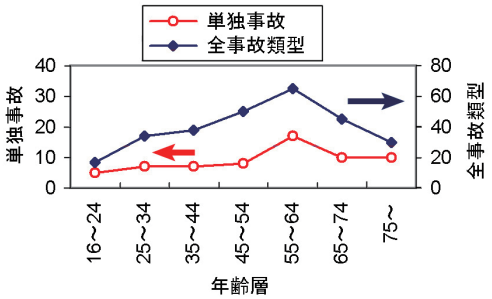


図３　全事故類型と単独事故における発作急病の件数（2012 年）

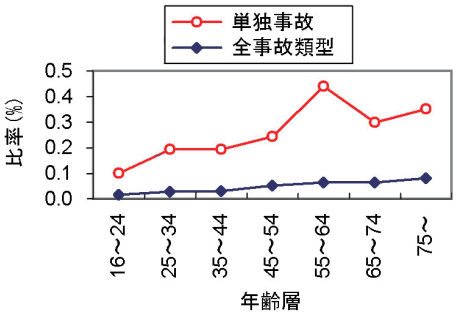


図４　各年齢層における発作急病の件数の比率（2012 年）

また、各年齢層における単独事故件数及び全事故類型件数それぞれに占める発作急病の件数の比率を図４に示す。全事故類型の場合には発作急病の事故の比率は 0.1%以下の値であるが、年齢の増加とともにその比率は高まり、高齢者に発作急病が多いことがわかる。また、単独事故に限定すると、年齢の増加とともにその比率が増加し 0.5%程度まで上昇するようになる。発作急病に関して高齢者の単独事故の検討をさらに進めることとした。

２．５　発作急病（2010 年～2013 年）の解析

発作急病に関する単独事故について詳細に解析するため、2010 年～2013 年の 4 年間のデータを集計することによりサンプルサイズを大きくした。4 年間の単独事故（108,923 件）の中で発作急病が事故原因となったものは 281 件であった。また、単独事故の死亡重傷事故（29,755 件）のうち発作急病が事故原因となったものは 126 件であった。

各年齢層において、全単独事故のうち発作急病が事故原因であった比率と、単独の死亡重傷事故のうち発作急病が事故原因であった比率を図５に示す。年齢が高くなるほど死亡重傷事故の場合の比率が高く、発作急病が重大な事故につながりやすいことが理解される。

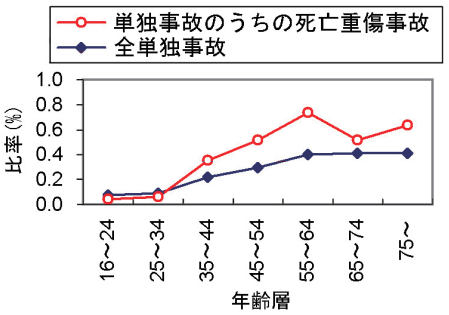


図５　単独事故件数に占める発作急病の比率（2010 年～2013 年）

３．ま　と　め

高齢者の単独事故に関してその特徴を解析した。その結果、発作急病の件数は多くはないものの、高齢になるにつれて比率が増大し、かつ、死亡重傷事故につながりやすい傾向があることがわかった。発作急病に関しては日頃の健康管理が重要であることは言うまでもないが、車両側においても、ドライバの運転状態を監視するドライバモニタリング装置や異常時に車両を減速・停止させて被害を軽減するシステムなどの開発が望まれる。

参考文献

(1) H. Middleton, D. Westwood, "Specification of older driver requirements for technologies to enhance capability", SAE Technical Paper 2001-01-3350, pp.1-8 (2001)

(2) K. Morita, M. Sekine, "Characteristics of accidents and violations caused by elderly drivers in Japan", SAE Int. J. Trans. Safety 1(2), pp.219-225 (2013)

(3) K. Morita, M. Sekine, "New trial analysis of characteristics of accidents and traffic violations by elderly drivers in Japan", SAE Int. J. Psseng. Cars-Mech. Syst., 7(1), pp.439-446 (2014)

(4) 勝岡秀明, "自動車の車両単独事故における発生状況の分析", （公財）交通事故総合分析センター, 第 11 回交通事故調査・分析研究発表会資料, pp.27-42 (2008)

⑲ 後写鏡代替としてのカメラモニタシステムの最適条件の検討

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

1．はじめに

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

CMS が実現されてドアミラーが除去されると、視線移動量の抑制による脇見運転事故の低減や、車両接近警報信号をモニタ上に表示させる認知支援技術との融合により急な車線変更による追突事故、左折時巻き込み事故などの低減も期待できる。また、デザインの自由度や空力特性の改善も可能になる。その一方、CMS の使用に関しては、懸念点もいくつか存在する。CMS の性能や機能により安全性がどのように変化し、性能要件をどのように定めるべきか等、十分な知見が得られていない。

本研究では、CMS 性能要件の中で特にモニタ配置について知見を得るため、昼及び夜に実車走行による評価実験を行い、CMS のモニタ配置条件による見え方の変化について評価を実施した。

2．ドアミラーの代替としての CMS

ドアミラーと異なり CMS の場合、視覚情報がカメラとモニタを通して表示されるため、その見え方はハードの仕様や性能に依存することとなる。当研究所ではこれまで、ドアミラーの代替としての CMS の課題点の抽出を行い、視認性や距離感についての評価実験を実施し、ドアミラーと比較した[2)]。本研究では、さらに CMS の設定条件が見え方にどう影響するのか、また、夜間と昼間では評価結果に違いが生じるのかを評価することとした。



図1 従来のモニタシステム[1)]

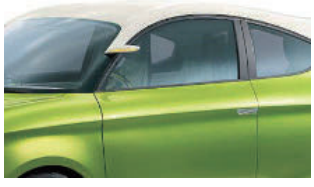


図2 ドアミラー代替 CMS

3．実験方法

今回の研究では、モニタの配置位置等により CMS の見え方がどのように変化するのかを調べるため、実車走行による評価実験を実施した。

実験は当研究所自動車試験場のテストコースで昼間及び夜間において実施した。その実験状況を図3に示す。実験参加者は昼間の条件で7名、夜間条件で7名、合計 14 名である。当研究所実験倫理規程に基づき、実験参加の同意を得た上で実験を行った。



(a) 昼間実験



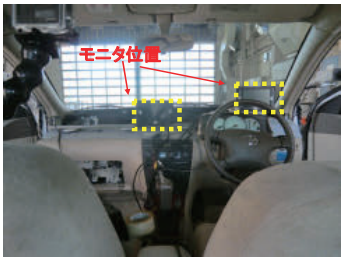
(b) 夜間実験

図3　走行実験状況

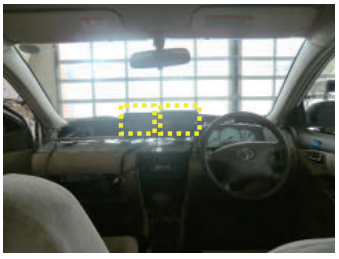
3．1．実験システム

今回の実験ではモニタの配置位置によってドライバの評価がどのように変わるかを調べるために、2種類の設置パターンで実験を実施した（図4参照）。一つはドライバから見てモニタをフェンダーミラー方向に設置する左右分離型配置、もう一つはモニタをダッシュボード上中央に 2 台集める中央集中型配置である。カメラはドアミラー上部に近接して取り付け(図5)、ドアミラーと CMS の視野範囲は、出来るだけ一致するように実験参加者ごとに調整した。CMS はドアミラーの場合と同様に車体側面部をモニタ上に表示させた（図6）。

今回の実験では夜間低照度用のカメラを用い CMS を構築した。CMS の仕様を表1に示す。



(a)左右分離型配置



(b)中央集中型配置

図4　CMS 試験システムのモニタ設置位置



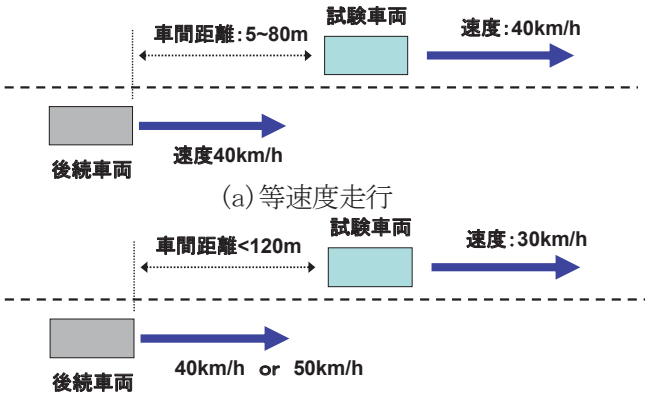

図 5　CMS カメラ設置位置　図 6　CMS モニタ画像

表 1　CMS 仕様

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

3．2．走行条件

実験は、2 台の車両をテストコース上（直線区間）において 1 車線分ずらして追従走行させて行う。走行パターンは（先行車両及び後続車両を一定速度、一定間隔で追従走行させる）等速度走行、（後続車両が先行車両よりも速い速度で走行させ車両間隔が接近していく）後続車両接近走行の 2 種類である。その走行パターンを図 7 に示す。実験参加者は先行車両を運転し、後続車両の位置を CMS で確認し、車線変更が可能かどうかの判断を行う。実験走行は左右のレーンも変えて行い、実験参加者一人あたりの全走行時間は 1 時間程度であった。



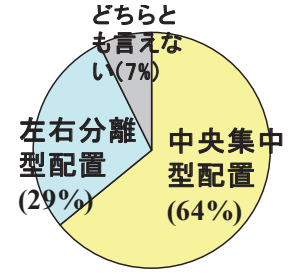
(a) 等速度走行

(b) 後続車接近走行

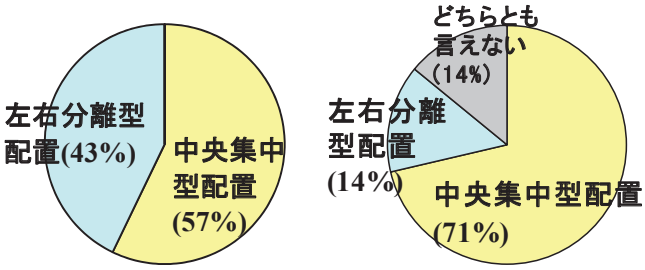
図 7　実験走行パターン

4. 実験結果

すべての実験走行が終了した後に、モニタ配置に関する評価について実験参加者に対しアンケートを実施した。その結果を図 8 に示す。なおアンケートでは、2 種類の実験走行パターンに対して総合的な評価を実験参加者に求めた。図 8 より、モニタの配置は左右分離型配置よりも、中央に 2 台集中して配置した中央集中型配置の方が良いという実験参加者の数が多いことが明らかになった。また、特に夜間の場合にその傾向は顕著となった。さらに、中央集中型配置が良いという理由として、“中央の方が視線移動しやすい”、“ 中央の方が右も左も目に入るので距離の感覚がつかみやすい” といった意見が実験参加者から出された。中央集中型配置は、視線方向の異なる 2 つの画像を同時観測することにより、疑似的な両眼視差が形成され距離感がつかみやすくなるのではないかと推測される。



(a) 昼及び夜間



(b)昼間　　(c)夜間

図 8　モニタ配置位置の評価
（どちらのモニタ配置が良かったか？）

5. 最後に

本研究では実験参加者による評価実験により、後続車に対する車線変更の判断がドアミラーと比べてどのように変化するのかを条件別に調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

1) モニタを中央に集めた方が、ドライバの視線移動量を抑えることができる。
2) モニタを中央に集めた方が、視差の異なる左右の画像が同時に見えるので、ドライバは遠近感がわかりやすくなる。
3) 車体側面部を表示させた場合には、モニタ 2 台を左右に分散させるよりも、中央に集めた方が見えやすいというドライバが多くなる。

今後、CMS の必要要件についてさらに調査を実施する予定である。

参考文献

(1) 東京モーターショーニュース 2011(2011)
(2) 青木ほか：ドアミラー代替としてのカメラ・モニタシステムの走行時認知判断特性、フォーラム 2013（2013）

⑳ 前照灯の自動点灯の効果に関する研究

自動車安全研究領域　　※塚田 由紀　　松島 和男　　岡田 竹雄　　岩瀬 常利

１．はじめに

欧州では、昼間点灯ランプ（DRL：Daytime Running Lamp）の装備を義務化し、同時に、薄暮時に DRL から車両が走行するのに必要なすれ違いビームに自動で切り替わることを要件としている。一方、日本では DRL の装備を禁止しており、前照灯の自動点灯についての要件はない。前照灯の点灯タイミングはドライバに任されているものの、薄暮時の安全性向上のため前照灯の早めの点灯が呼びかけられている。

本研究では、前照灯自動点灯の効果を推定するため、まず日本の交通における四輪車の前照灯の点灯タイミングを定点観測により調査した。次に、前照灯点灯による視認性の改善に係る調査を通じて、事故低減効果を把握し、前照灯自動点灯の効果について検討した。

２．前照灯の点灯タイミング実態調査

比較的交通量の多い都内において、定点観測を行い、前照灯の点灯タイミングの実態調査を行った。

２．１．調査方法

国道 20 号線の新宿南口付近、環状六号線中目黒付近において、上下線および内回り外回り線のそれぞれの道路に向かってビデオカメラを設置し撮影した。同時に、ビデオカメラの近傍に照度計（コニカミノルタ CL-500A）を設置し、天空照度を計測した。

撮影したビデオ画像から、通過する車両について、すれ違いビーム、車幅灯（以下「スモールランプ」という）、前部霧灯（以下「フォグランプ」という）の３種類の灯火の点灯有無を数えた。その後、天空照度及び時間に区切って、各灯火の点灯車両が通過車両全体に占める割合を求めた。スモールランプはスモールランプのみ点灯している車両を数え、すれ違いビームとスモールランプを一緒に点灯している車両は「すれ違いビーム」としてカウントした。また、フォグランプについては、フォグランプ単独で点灯している車両はほとんどみられなかったため、カウント数に含めなかった。

２．２．調査結果

図１に国道 20 号線新宿南口付近の下り線（車両の走行方向は東から西）における観測結果を示す。横軸は天空照度を、縦軸は点灯車両の割合を示している。5 分間に片側で約 100 台の車両が通過しており、観測中に通過した全車両台数は、上り線が 2338 台、下り線が 1989 台であった。

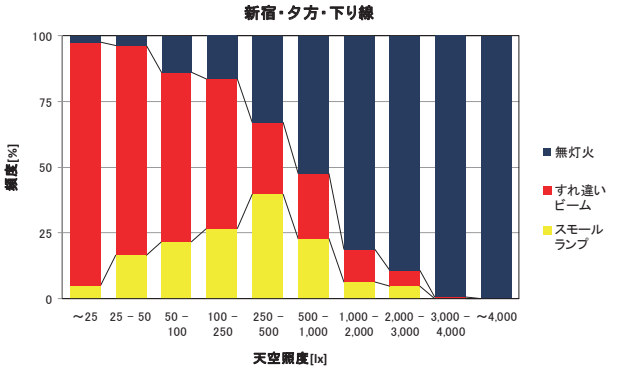


図１　点灯ﾀｲﾐﾝｸﾞ（国道 20 号新宿南口付近下り線）

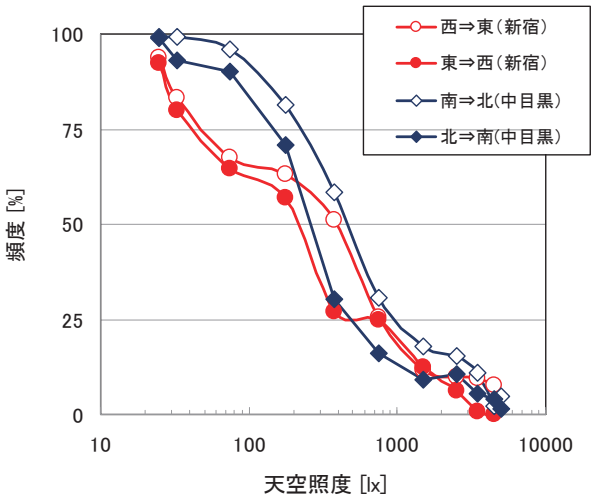


図２　点灯タイミング
（国道20号新宿南口付近及び環状六号線中目黒付近）

各地点での観測データについて、照度範囲の中央値を横軸にしてデータをプロットしたものを図２に示す。この図は、すれ違いビームを点灯した車両の割合を示している。天空照度が低い場合の違いを明確に示すため、天空照度（横軸）を対数表示で表し

た。天空照度が低い場合、中目黒付近より新宿南口付近の方が前照灯の点灯頻度が低いことが分かる。これは、新宿周辺は商業ビル施設が多く、看板等の明かりにより全体が明るかったため、と考えられる。

自動車灯火の国際基準・UN 規則では、天空照度が 1,000[lx]以下で前照灯が自動点灯することとなっている。観測結果では、夕方は天空照度が 1,000[lx]で 14～26%の車両がすれ違いビームを点灯していた。UN 規則に従うと、天空照度 1,000[lx]で前照灯が点灯することになり、現在の状況では少なくとも 75%の無灯火あるいはスモールランプのみ点灯している車両のすれ違いビームを点灯させることになる。天空照度の変化を時間に直して解析すると、UN 規則で前照灯の点灯が定められている天空照度 1,000[lx]から、約 80%の車両が前照灯を点灯させた 100[lx]までは、時刻では 17:07 から 17:26 までの約 20 分間である。つまり、UN 規則を適用した前照灯の自動点灯の導入は、全車両が現状より 20 分程度早く前照灯を点灯することを意味する。逆に、事故低減効果があると期待されるのは、この 20 分間であるといえる。

3．前照灯点灯における視認性の改善効果

薄暮時に前照灯を点灯することにより、車両の被視認性が向上するか、またドライバからの視認性向上に効果があるかを検証することを目的に被験者実験を行った。

3．1．実験条件

自動車試験場のテストコース内に、テント及びフェンスを用いて模擬市街路を設置した。10 名の被験者が、先導車両に続いて自車を運転し、一定速度ですれ違いながら、対向車の視認性、標識、白線の見やすさを評価させた。評価は、「とても見やすい」「見やすい」「やや見やすい」「ふつう」「やや見えにくい」「見えにくい」「とても見えにくい」の 7 段階とした。

3．2．実験結果

対向車の見え方評価結果を図 3 に示す。横軸は天空照度で縦軸が評価結果である。棒グラフの色の違いは、被験者の車両及び対向車両の前照灯が点灯していたか（ON）いなかったか（OFF）を示している。ただし、本実験条件では、対向車の前照灯が点灯している場合、自車両も前照灯が点灯している。図中の誤差棒は標準偏差の値を示している。なお、天空照

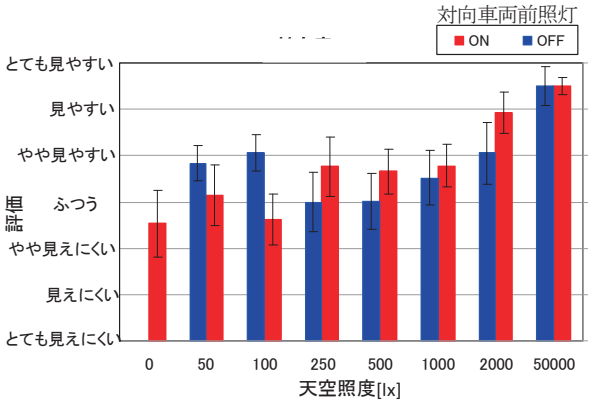


図 3　対向車の見え方評価結果

度が 0[lx]の時に対向車が前照灯消灯（OFF）している条件は、現実的にはあり得ないので、実験条件に含めなかった。この図より、天空照度が 50,000[lx]以上の条件では、前照灯の ON、OFF に係らず被験者は同様に「見やすい」と評価した。天空照度が低くなると、前照灯を消灯（OFF）している条件より点灯（ON）している方が「見やすい」という評価が多いことが分かる。

天空照度が 2,000[lx]以下になると、前照灯の点灯により対向車は「見やすい」という評価が多くなり、視認性が向上する傾向が示された。しかし、100[lx]以下になると、その傾向が逆転し、対向車の視認性評価は悪くなる傾向が見られた。これは、対向車の前照灯が煩わしく感じられたためと考えられる。

なお、同時に行った標識や白線の見え方評価の結果も同様の傾向を示した。

4．考察とまとめ

定点観測の結果から、UN 規則で導入している前照灯の自動点灯要件に従うと、全体的に約 20 分早く前照灯を点灯させることになることが分かった。

視認性評価実験からは、前照灯の自動点灯により天空照度 1,000[lx]以下で対向車両の見え方は改善されることが分かった。

前照灯の自動点灯の効果があると想定される事故件数は、時間帯別事故発生率からみると約 3.3%であり（警視庁 HP, 事故発生件数の時間構成率（平成 24 年）から計算）、そのうち対象事故類型では約 60%となる。つまり、前照灯の自動点灯は事故件数全体の 2.0%に対して効果を与えるといえる。ただし、四輪車の前照灯点灯による二輪車の被視認性の低下等ネガティブな要素についても検討が必要である。

㉑ 自動車検査のブレーキテスタの最適化に関する研究

自動車安全研究領域　　※塚田 由紀　　松島 和男　　岡田 竹雄　　岩瀬 常利

1．はじめに

自動車の制動力については、保安基準において制動停止距離等の基準が定められており、自動車の継続検査では定置式の制動力試験機（以下「ブレーキテスタ」という）を用いて各車輪に発生する制動力を測定し、前後輪における制動力の和が車両重量の50%を超えるかどうかによって基準適合性判断をしている。

本研究では、ブレーキテスタにおける制動力測定が、より保安基準における停止距離の測定に近い条件となるよう、制動力測定用ローラ（以下「ブレーキローラ」という）の表面形状、径、周速度、位置について調査し、今後の検査機器の仕様に反映していくことを目的としている。本稿では、このうち、ブレーキローラの位置による影響について報告する。

2．ブレーキローラの位置

タイヤとブレーキローラとの位置関係によって、制動力の測定値に違いが出ると考えられる。また、ブレーキローラとそれ以外のローラ（フリーローラ）との間隔（ローラピッチ）によっても、制動力の測定値が変化すると予測される。そこで、タイヤとブレーキローラとの位置関係やローラピッチによる測定値の違いを明らかにし、ブレーキテスタとして最適なブレーキローラの位置関係を求める。

2．1．調査方法

本調査は、当研究所内に設置されている試験用ブレーキテスタのローラ位置を可変できるように改造して行った。本調査に使用したブレーキテスタを図１に示す。

制動力は、本実験用に試作したシリンダー型のブレーキロボット（図２）を用いて、ブレーキペダルを毎回同じ踏力、タイミングで踏ませることで発生させた。

制動力を測定するために、試験車両に六分力計（キスラー社製 RoaDyn P625）を装着し、タイヤにかかる力を測定した。六分力計を取り付けて測定している実験風景を図３に示す。

本報告書では、結果は全て同一車両によるものであるが、継続検査と同じ車両重量比で比較検討するため、六分力計で測定された車輪トルクを制動力に換算し、この制動力を軸重で割った制動効率（%）で結果を整理することとした。

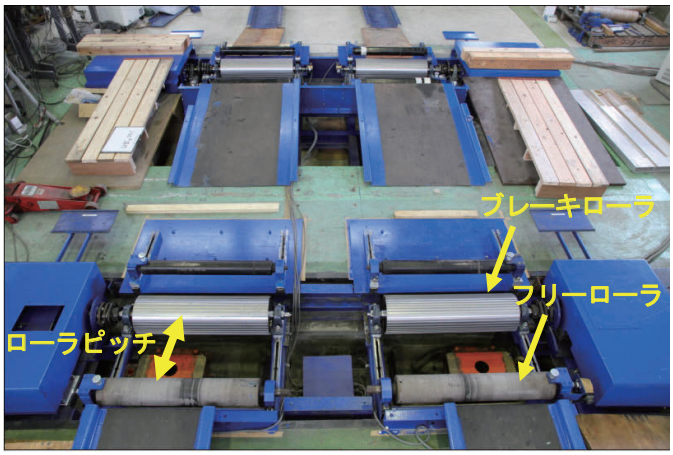


図１　調査に使用したブレーキテスタ



図２　ブレーキロボット



図３　実験風景

２．２．実験結果

ローラピッチを-480,-430,-380,-330,0,330,380,430,480[mm]と変えて測定した制動効率の結果を図４に示す。ここで負の値はブレーキローラがフリーローラよりも後方に位置し、0 はフリーローラをタイヤの前後から押しつけてタイヤがブレーキローラの直上に来るように設定したことを示す。図４(a)はタイヤ周速度が 2 [km/h]、(b)は 4 [km/h]のときの結果である。制動はタイヤの動きを止めようとするため、進行方向と逆方向に制動力が働く。したがって、タイヤに接触するブレーキローラが後方に設置されている方(図中マイナス）がブレーキローラにかかる力は大きくなる。一方、ブレーキローラがフリーローラの前方にあるとき（図中プラス）は、後方にあるフリーローラに、より大きな力が加わるため、前方のブレーキローラにかかる荷重が減少して計測値は小さくなる。これらの傾向は図４のローラピッチ430,380,330[mm] の場合の値が、-330,-380,-430,-480[mm]の場合の値より小さいことからわかる。

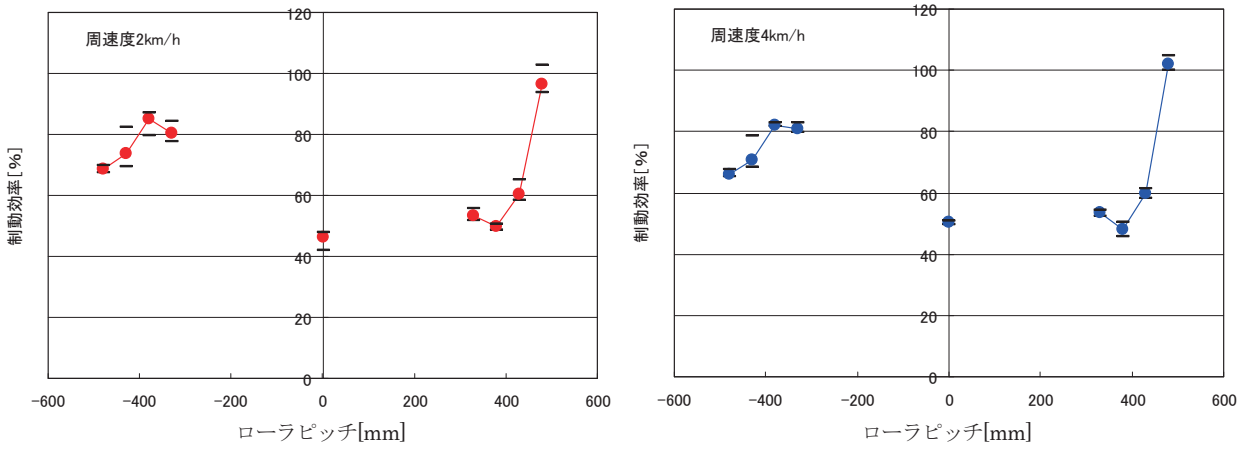
しかしながら、ローラピッチが 480[mm]の場合、ブレーキローラとフリーローラの間隔が大きいため、ローラ間にタイヤが食い込む力が加わり計測値が大きくなったと考えられる。

３．考察とまとめ

ブレーキローラの位置については、一般的にはブレーキローラがフリーローラよりも後方に設置される方が、計測される制動力の値が大きくなることが分かった。

しかし、図４のようにブレーキローラを前方、後方それぞれに設置した場合に、その位置に依存して計測される制動力が変動し、前後それぞれにピークがあることが示された。これは、ローラピッチの大きさによって、ブレーキローラとフリーローラの間にタイヤが食い込む力が加わり、計測値に影響を与えたためと考えられる。よって、ローラピッチは、計測車両のタイヤ径によって変動させることが望ましいことが分かった。

タイヤとブレーキローラとの位置関係やローラピッチについての適切な値を求めるため、タイヤ径の異なる車両を使用したデータを収集するなどし、今後更に検討することとしたい。



(a) 周速度 2km/h　　(b) 周速度 4km/h

図４　ブレーキピッチと制動効率との関係

受託・施設利用等について

■ 受託・共同研究について

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

● 実績（受託元）

関係省庁（国土交通省、環境省、文部科学省　等）、関係団体、民間企業　等

年間６０件以上

■ 施設利用について

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

平成26年度 交通安全環境研究所フォーラム2014　講演概要
平成26年11月５日発行
編集兼発行人　独立行政法人　交通安全環境研究所
発　行　所　独立行政法人　交通安全環境研究所
〒182-0012　東京都調布市深大寺東町7-42-27
URL　http://www.ntsel.go.jp/

本書についてのお問い合わせは、企画室までお願い致します。

交通安全環境研究所 企画室
電話　（０４２２）４１－３２０７
FAX　（０４２２）４１－３２３３

○本冊子は、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。
○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可
本冊子はグリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料［A ランク］のみを用いて作製しています。