

平成 25 年度
交通安全環境研究所フォーラム 2013
講 演 概 要

2013. 12. 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

自動車や鉄道輸送などは、わが国の国民生活や経済活動に欠かすことのできない存在であり、その安全性の確保や、それらに係る地域環境の保全、地球温暖化対応といった問題は極めて重要な社会的課題となっております。

独立行政法人交通安全環境研究所は、これらの重要な社会的課題に取り組むことで安全で環境に優しい交通社会の構築に貢献するという役割を担っており、自動車や鉄道の安全・環境基準策定を支援するための研究活動を行う一方、大量生産される自動車の安全・環境基準への適合性確認のための型式審査や、リコールに係る技術的な検証を実施しています。また、とくに近年は、当該分野における国際的な取り組みの重要性の高まりに対して迅速・的確に応えるため、自動車の国際基準認証調和活動や、鉄道認証業務による関連産業・技術の海外展開支援といったことにも積極的に取り組んでいるところです。

本フォーラムでは、グローバル化の進展、高度化する技術、一層求められてきている環境・エネルギー対策などを踏まえた当研究所の最近の研究成果などをご紹介しますとともに、外部の専門家の方々にもご講演をいただく予定になっており、今回のフォーラムの開催が、わが国の今後の交通社会のあり方を探求していく一つのきっかけになれば幸いです。また、ご来場の皆様からも、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。

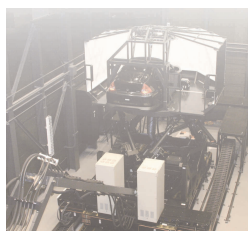
今後とも、皆様方のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

平成25年12月

独立行政法人 交通安全環境研究所
理事長 飯 村 修

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 大阪工業大学教授：大須賀 美恵子 ドライバモニタリングー ドライバ状態に応じた支援をめざしてー
【自動車安全研究領域の取り組み】	
11:10～11:30	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
11:30～11:50	■講演1 主席研究員：関根 道昭 ドライバ特性に基づく適切な安全運転支援方法に関する研究 事故統計等の分析により、事故や違反を数年以内に繰り返すドライバに特有の心理、行動特性があることが示唆された。自動車事故対策機構が提供する運転適性診断システムにより、黄色信号を減速せずに通過するドライバの心理、性格特性を見いだすことができた。このようなドライバに適した運転支援方法についても考察した。
11:50～12:10	■講演2 上席研究員：青木 義郎 高齢ドライバの視覚特性と予防安全対策の検討 交通事故に占める高齢ドライバの割合は年々増加している。また、歩行者事故も高齢歩行者の比率が高く、高齢化が進む現在の状況でその対策が望まれている。この研究では、高齢者のドライバ視覚特性について実験を行い、特に事故の起こりやすい夜間時の歩行者事故に関するリスク分析を行い、その安全対策手法について検討を行った。
12:10～13:30	昼休み（ポスターセッション）
13:30～13:50	■講演3 主席研究員：塚田 由紀 昼間点灯ランプの安全性評価について DRL（昼間点灯ランプ）は、当該車両の昼間の被視認性を確保する目的のランプで、国際基準では四輪車へDRLの装着が義務づけられている。日本においては、二輪車の視認性を阻害する恐れがあることから、DRLの装着を禁止している。DRLの禁止は、国際基準調和などの観点から話題となっている。本講演では、日本のDRLに対する対応を検討するため、まず二輪車にDRLを装着した場合の問題点を抽出するために実施した実験について報告する。
13:50～14:10	■講演4 主席研究員：児島 亨 通信利用型安全運転支援システムについて ー 先進安全自動車（ASV）推進計画における検討概要ー 通信利用型安全運転支援システムに関して、先進安全自動車（ASV）推進計画において実施されている検討の概要及び当研究所において実施した通信利用型安全運転支援システムの効果・受容性に関する評価実験の概要を紹介する。

Time	講演内容
【自動車国際調和室の取り組み】	
14:10～14:30	■講演5 自動車基準認証国際調和技术支援室長：成澤 和幸 水素・燃料電池自動車の世界統一基準について 本年6月に、国連の自動車基準調和世界フォーラム（WP29）で採択された、水素・燃料電池自動車の安全性確保のための世界統一基準（Global Technical Regulation）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】	
14:30～14:50	■講演6 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 公正かつ中立の立場での厳正な審査を行うに当たって、合理性・効率性の追求も従来にも増して求められる中で、自動車審査部は業務実施体制の強化を図るべく、様々な措置を講じている。ここでは、審査業務の現状と審査体制の整備をはじめとする自動車審査部における昨今の取り組みを概説する。
14:50～15:20	コーヒープレイク（ポスターセッション）
15:20～15:40	■講演7 リコール技術検証部長：西田 寛 リコール技術検証部における技術検証業務の概要について リコール技術検証部では、自動車ユーザー、メーカー等から国土交通省に報告された不具合、事故、火災等に関する情報を調査し、その中からリコールの疑いのある案件を抽出し、国の依頼を受けて技術的な検証を行っている。ここでは、その業務の概要を報告するとともに、乗用車を中心に特徴的な検証事例と不具合要因の傾向について紹介する。
15:40～16:20	総合質疑



Time	講演内容
10:00～10:45	■招待講演1 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 上席研究員：伊原 賢 シェール革命による自動車用エネルギーへのインパクト
【環境研究領域の取り組み】	
10:45～11:00	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：後藤 雄一
11:00～11:20	■講演1 研究員：小鹿 健一郎 電気自動車における一充電走行距離試験の時間短縮方法の検討 現在、電気自動車の一充電走行距離を測定するために約8時間（一充電走行距離200kmの車両の場合）の走行が必要である。今後も、一充電走行距離は伸びることが予想され、それに対応する試験方法を検討する必要がある。本報告では、二つの短縮方法（圧縮法と計算法）について検討し、その時間短縮効果と精度について明らかにした。
11:20～11:40	■講演2 主任研究員：水嶋 教文 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 我が国では平成18年から重量車に対する燃費基準が導入され、同時に燃料消費率試験法も運用が開始された。本講演では、国内における重量車の燃料消費率試験法について解説すると共に諸外国で検討されている試験法と比較しながら、本試験法の更なる高度化に向けた課題および交通安全環境研究所の取り組みについて述べる。
11:40～12:00	■講演3 上席研究員：鈴木 央一 高性能化しているディーゼルエンジンにおける今後の方向性について 近年のディーゼルエンジンにおいては、窒素酸化物等を低減しつつ燃費も向上するなど進歩はめざましいが、その結果非常に複雑化して開発コストが増加している。今後は単に高性能化するだけでなく安く簡単にする視点が求められる。その技術的な可能性と必要となる技術基準項目等について検討を行った。
12:00～12:20	■講演4 主席研究員：山本 敏朗 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 ー NOxセンサによる燃費およびNOx排出量測定 ー 重量貨物車の使用過程での燃費性能および排出ガス性能を検査する手法を検討するため、デジタル式運行記録計（デジタコ）にNOxセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号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た。燃費およびNOx排出量の測定において車載型排ガス計測器との性能比較を行った。
12:20～13:20	昼休み（ポスターセッション）
13:20～14:05	■招待講演2 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所長：真保 光男 より環境負荷の小さい鉄道システムを目指して
【交通システム研究領域の取り組み】	
14:05～14:20	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

Time	講演内容														
14:20~14:40	■講演5 主席研究員:長谷川 智紀 運転支援装置による省エネルギー運転、回生効果最大化への取り組み 鉄道は環境に優しく、定時性・輸送力等の面でも優れた交通機関といわれているが、少ない輸送量でも環境・エネルギー面での優位性を伸ばすことがより求められている。そこで、オンボード運転支援装置を用いて、安全性、定時性、速達性を保ちつつ力行エネルギーを最小化し、回生ブレーキを最大限有効活用するための取り組みを、東京大学、千葉大学、新京成電鉄とともに3年間にわたり行った。その成果について報告する。														
14:40~15:00	■講演6 主席研究員:大野 寛之 環境にやさしい交通システムへのモーダルシフトとシミュレーションによる効果評価に向けた取り組み 交通分野の省エネルギー化やCO₂排出削減にはモーダルシフトが有効であり、その実現に向けた取組事例を報告する。また、公共交通の輸送効率のみに留まらず、システムのライフサイクルCO₂排出量推計手法を構築し、交通システム整備に伴う排出量の変化を評価するシミュレーションを用いた手法と評価事例を報告し、今後の展開について述べる														
15:00~15:30	コーヒーブレイク(ポスターセッション)														
15:30~15:50	■講演7 研究員:森 裕貴 運転状況記録装置の国際規格化と映像型記録装置の実用化について 日本の鉄道への運転状況記録装置の設置は、JR福知山線の事故を契機に技術基準が整備され、新造車両には義務化された。装置の規格化は欧州で先行していたが、日本の技術基準が反映された国際規格が成立見込みである。また、交通研では、車両改造が不要で既存車両へ導入容易な映像型記録装置の実用化に取組んできたが、このほど具体的な導入が実現した。これらの動きについて報告する。														
【鉄道認証室の取り組み】															
15:50~16:10	■講演8 鉄道認証室長:田代 維史 鉄道の安全関連国際規格への対応と規格適合性認証について 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。これら規格の特徴は、仕様達成プロセスの正当性の証拠を求めることである。そのため通常の設計書などとは異なるため、課題が多い。本講演では、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、交通研鉄道認証室における認証機関活動について紹介する。														
16:10~16:55	総合討論 エネルギー・環境問題と日本の自動車・鉄道技術の国際的な取り組み <table><tr><td>【司会】</td><td>【パネリスト】</td></tr><tr><td>楠田 悦子:モビリティコンサルタント</td><td>●伊原 賢:独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 上席研究員</td></tr><tr><td></td><td>●真保 光男:東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所長</td></tr><tr><td></td><td>●成澤 和幸:自動車基準認証国際調和技術支援室長</td></tr><tr><td></td><td>●田代 維史:鉄道認証室長</td></tr><tr><td></td><td>●石井 素:環境研究領域 副研究領域長</td></tr><tr><td></td><td>●緒方 正剛:交通システム研究領域 副研究領域長</td></tr></table>	【司会】	【パネリスト】	楠田 悦子:モビリティコンサルタント	●伊原 賢:独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 上席研究員		●真保 光男:東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所長		●成澤 和幸:自動車基準認証国際調和技術支援室長		●田代 維史:鉄道認証室長		●石井 素:環境研究領域 副研究領域長		●緒方 正剛:交通システム研究領域 副研究領域長
【司会】	【パネリスト】														
楠田 悦子:モビリティコンサルタント	●伊原 賢:独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 上席研究員														
	●真保 光男:東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所長														
	●成澤 和幸:自動車基準認証国際調和技術支援室長														
	●田代 維史:鉄道認証室長														
	●石井 素:環境研究領域 副研究領域長														
	●緒方 正剛:交通システム研究領域 副研究領域長														
16:55~17:00	閉会挨拶 理事:水間 毅														

**1.マクロ事故分析による高齢ドライバの事故、
違反の起こしやすさの解析**

※森田 和元・関根 道昭(自動車安全研究領域)

2.軽自動車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)

3.チャイルドシート乗員の側面衝突試験法の検討

※山口 大助・田中 良知・細川 成之・松井 靖浩(自動車安全研究領域)

4.ドライバ支援のための車室内音源定位に関する検討

※山口 大助・森田 和元・関根 道昭(自動車安全研究領域)・川邊田 慶介(東京農工大学)

5.高齢歩行者における行動特性について※松井 靖浩・青木 義郎・関根 道昭・及川 昌子(自動車安全研究領域)・
水戸部 一孝(秋田大学)**6.予防安全支援システム効果評価シミュレータASSESSを
用いた出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討**※田中 信壽・波多野 忠・安本 まこと(自動車安全研究領域)・
日黒 貴之・真野 香織・古川 修(芝浦工業大学)**7.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**

※青木 義郎・松村 英樹・岡田 竹雄・岩瀬 常利(自動車安全研究領域)

**8.自動車検査の制動力測定におけるブレーキローラの
改善に関する研究**

※塚田 由紀・松島 和男・岡田 竹雄(自動車安全研究領域)

**9.エンジンオイルのメンテナンス不足が潤滑性能に
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)

10.セミトレーラーの横転抑制のための制動制御システム

※波多野 忠(自動車安全研究領域)

**11.公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか
ー(第3報)実路走行試験から燃費変動の定量的な評価ー**

※山口 恭平・鈴木 央一・酒井 克治(環境研究領域)

**12.ハイブリッドトラックの燃費向上に向けた
ハイブリッドアシスト制御の一考察**

※奥井 伸宜・小鹿 健一郎・新国 哲也・小林 雅行(環境研究領域)

13.重量車における環境性能の今後の方向性に関する調査

※小林 雅行・新国 哲也・奥井 伸宜・小鹿 健一郎(環境研究領域)

14.走行状況を考慮した電動車のCO₂排出量の評価法に関する検討

※新国 哲也・奥井 伸宜・小林 雅行・小鹿 健一郎(環境研究領域)

**15.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**※山本 敏朗・佐藤 由雄・石井 素(環境研究領域)・
堂脇 清志(東京理科大学)・伊東 明美(東京都市大学)**16.木質バイオマスから製造したFT(Fischer-Tropsch)
合成油(BTL: Biomass to Liquid)の車両適用性に関する研究**※川野 大輔・水嶋 教文・石井 素・佐藤 由雄・後藤 雄一(環境研究領域)・
岩淵 浩・松永 明彦・酒井 利夫(株)マイクロ・エナジー)**17.ポスト新長期排出ガス規制適合ディーゼル重量車の
実路走行排出ガス評価 ～軽油、FAME、およびHVOの排出ガス特性～**

※水嶋 教文・川野 大輔・石井 素・後藤 雄一(環境研究領域)・高田 寛(環境優良車普及機構)

**18.ハイブリッド車等の静音性対策のための
車両接近通報音に関する認知性調査**

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

19.マフラー性能等確認制度の試験法改定検討に向けた実態調査

※宝渦 寛之・坂本 一朗(環境研究領域)

20.スマートフォンを活用した歩車間通信のための基礎的検討※坂本 一朗・宝渦 寛之(環境研究領域)・児島 亨・松村 英樹(自動車安全研究領域)・
竹内 俊裕・長谷川 智紀(交通システム研究領域)・田中 陽一(東京農工大学)**21.営業車両を用いた軌道状態監視システムの構築**※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)**22.脱線係数観測データを活用した営業車両による軌道状態の評価**※佐藤 安弘・大野 寛之・森 裕貴(交通システム研究領域)・荻野 智久(東京地下鉄)・
道辻 洋平(茨城大学)・水野 将明(新日鐵住金)・谷本 益久(日鉄住金テクノロジー)**23.軌道系交通システムの技術に関する安全性評価手法の
国際化への対応と標準化への取り組み**※林田 守正・廣瀬 道雄・大野 寛之・長谷川 智紀・森 裕貴(交通システム研究領域)・
青木 義郎(自動車安全研究領域)・水間 毅(理事)**24.鉄道用磁界測定機による磁界の評価方法について**※長谷川 智紀・竹内 俊裕・工藤 希・森 裕貴(交通システム研究領域)・
水間 毅(理事)・齋藤 達仁(千葉大学)・山本 靖宜(日本大学)**25.車車間通信を用いた路面電車周辺の自動車に関する運転支援システム**※林田 守正・長谷川 智紀・竹内 俊裕・山口 大助・日岐 喜治(交通システム研究領域)・
坂本 一朗・川野 大輔・水嶋 教文(環境研究領域)**26.シミュレーション技術を活用した路面電車の運転速度向上の検討**

※吉永 純・青木 義郎・日岐 喜治(交通システム研究領域)

27.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

※日岐 喜治・佐藤 久雄・千島 美智男・森 裕貴(交通システム研究領域)

目 次

題 目	所 属	発表者名 (講演者)	頁
-----	-----	---------------	---

5日の講演（ウ・タント国際会議場）

■自動車安全研究領域の取り組み

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	1
講演 1 ドライバ特性に基づく適切な安全運転支援方法に関する研究	主席研究員	関根 道昭	3
講演 2 高齢ドライバの視覚特性の解析と予防安全対策の検討	上席研究員	青木 義郎	7
講演 3 昼間点灯ランプの安全性評価について	主席研究員	塚田 由紀	13
講演 4 通信利用型安全運転支援システムについて ー先進安全自動車（ASV）推進計画における検討概要ー	主席研究員	児島 亨	17

■自動車国際調和室の取り組み

講演 5 水素・燃料電池自動車の世界統一基準について	自動車基準認証国際 調和技術支援室長	成澤 和幸	23
-------------------------------	-----------------------	-------	----

■自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み

講演 6 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	27
講演 7 リコール技術検証部における技術検証業務の概要について ー平成24年度に実施した技術検証事案の分析と不具合の低減に向けた提言ー	リコール技術検証部長	西田 寛	31

題 目	所 属	発表者名 (講演者)	頁
-----	-----	---------------	---

6日の講演（ウ・タント国際会議場）

■環境研究領域の取り組み

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	後藤 雄一	35
講演 1 電気自動車における一充電走行距離試験の短縮方法の検討	研究員	小鹿健一郎	37
講演 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	主任研究員	水嶋 教文	41
講演 3 高性能化しているディーゼルエンジンにおける今後の方向性について	上席研究員	鈴木 央一	47
講演 4 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 ー NOx センサによる燃費および NOx 排出量測定ー	主席研究員	山本 敏朗	53

■交通システム研究領域の取り組み

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	59
講演 5 運転支援装置による省エネルギー運転、回生効果最大化への取り組み	主席研究員	長谷川智紀	61
講演 6 環境にやさしい交通システムへのモーダルシフトとシミュレーションによる効果評価に向けた取り組み	主席研究員	大野 寛之	65
講演 7 運転状況記録装置の国際規格化と映像型記録装置の実用化について	研究員	森 裕貴	69

■鉄道認証室の取り組み

講演 8 鉄道の安全関連国際規格への対応と規格適合性認証について	鉄道認証室長	田代 維史	73
-------------------------------------	--------	-------	----

題 目	所 属	発表者名	頁
(※主発表者)			
ポスターセッション（2階レセプションホール）			
①マクロ事故分析による高齢ドライバの事故、違反の起こしやすさの解析	自動車安全研究領域	※森田 和元 関根 道昭	79
②軽自動車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	81
③チャイルドシート乗員の側面衝突試験法の検討	自動車安全研究領域	※山口 大助 田中 良知 細川 成之 松井 靖浩	83
④ドライバ支援のための車室内音源定位に関する検討	自動車安全研究領域 元東京農工大学大学院	※山口 大助 森田 和元 関根 道昭 川邊田慶介	87
⑤高齢歩行者における行動特性について	自動車安全研究領域 秋田大学	※松井 靖浩 青木 義郎 関根 道昭 及川 昌子 水戸部一孝	89
⑥予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いた 出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討	自動車安全研究領域 芝浦工業大学	※田中 信壽 波多野 忠 安本まこと 目黒 貴之 真野 香織 古川 修	91
⑦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	自動車安全研究領域	※青木 義郎 松村 英樹 岡田 竹雄 岩瀬 常利	95

題 目	所 属	発表者名 (※主発表者)	頁
⑧自動車検査の制動力測定におけるブレーキローラの改善に関する研究	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	97
⑨エンジンオイルのメンテナンス不足が潤滑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	99
⑩セミトレーラーの横転抑制のための制動制御システム	自動車安全研究領域	※波多野 忠	101
⑪公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか ー（第3報）実路走行試験から燃費変動の定量的な評価ー	環境研究領域	※山口 恭平 鈴木 央一 酒井 克治	103
⑫ハイブリッドトラックの燃費向上に向けたハイブリッドアシスト制御の一考察	環境研究領域	※奥井 伸宜 小鹿健一郎 新国 哲也 小林 雅行	105
⑬重量車における環境性能の今後の方向性に関する調査	環境研究領域	※小林 雅行 新国 哲也 奥井 伸宜 小鹿健一郎	109
⑭走行状況を考慮した電動車のCO ₂ 排出量の評価法に関する検討	環境研究領域	※新国 哲也 奥井 伸宜 小林 雅行 小鹿健一郎	113
⑮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	環境研究領域 東京理科大学 東京都市大学	※山本 敏朗 佐藤 由雄 石井 素 堂脇 清志 伊東 明美	115
⑯木質バイオマスから製造したFT(Fischer-Tropsh)合成油(BTL : Biomass to Liquid)の車両適用性に関する研究	環境研究領域 (株)マイクロ・エナジー	※川野 大輔 水嶋 教文 石井 素 佐藤 由雄 後藤 雄一 岩渕 浩 松永 明彦 酒井 利夫	117

題 目	所 属	発表者名	頁
		(※主発表者)	
⑰ポスト新長期排出ガス規制適合ディーゼル重量車の実路走行排出ガス評価 ー軽油、FAME、および HVO の排出ガス特性ー	環境研究領域 (一財)環境優良車普及機構	※水嶋 教文 川野 大輔 石井 素 後藤 雄一 高田 寛	119
⑱ハイブリッド車等の静音性対策のための車両接近通報音に関する認知性調査	環境研究領域 自動車安全研究領域	※坂本 一郎 宝渦 寛之 関根 道昭 森田 和元	123
⑲マフラー性能等確認制度の試験法改定検討に向けた実態調査	環境研究領域	※宝渦 寛之 坂本 一郎	125
⑳スマートフォンを活用した歩車間通信のための基礎的検討	環境研究領域 自動車安全研究領域 交通システム研究領域 東京農工大学大学院	※坂本 一郎 宝渦 寛之 児島 亨 松村 英樹 竹内 俊裕 長谷川智紀 田中 陽一	127
㉑営業車両を用いた軌道状態監視システムの構築	交通システム研究領域 日本大学 京三製作所	※森 裕貴 佐藤 安弘 大野 寛之 綱島 均 浅野 晃	129
㉒脱線係数観測データを活用した営業車両による軌道状態の評価	交通システム研究領域 東京地下鉄 茨城大学 新日鐵住金 日鉄住金テクノロジー	※佐藤 安弘 大野 寛之 森 裕貴 荻野 智久 道辻 洋平 水野 将明 谷本 益久	131
㉓軌道系交通システムの技術に関する安全性評価手法の国際化への対応と標準化への取り組み	交通システム研究領域 自動車安全研究領域 理事	※林田 守正 廣瀬 道雄 大野 寛之 長谷川智紀 森 裕貴 青木 義郎 水間 毅	133

題 目	所 属	発表者名 (※主発表者)	頁
②4 鉄道用磁界測定機による磁界の評価方法について	交通システム研究領域 理事 日本大学 千葉大学	※長谷川智紀 竹内 俊裕 工藤 希 森 裕貴 水間 毅 山本 靖宜 齋藤 達仁	135
②5 車車間通信を用いた路面電車周辺の自動車に関する運転支援システム	交通システム研究領域 環境研究領域	※林田 守正 長谷川智紀 竹内 俊裕 山口 大助 日岐 喜治 坂本 一朗 川野 大輔 水嶋 教文	137
②6 シミュレーション技術を活用した路面電車の運転速度向上の検討	交通システム研究領域	※吉永 純 青木 義郎 日岐 喜治	139
②7 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	交通システム研究領域	※日岐 喜治 佐藤 久雄 千島美智男 森 裕貴	141

口 頭 発 表

自動車安全研究領域における研究の概要と方向性

自動車安全研究領域 安藤 憲一

1. はじめに

我が国の交通事故の死者数は12年連続で減少しており、平成24年は4,411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3割以下であるが、なお4,500人もの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第1位を占めている。特に65歳以上の高齢者が占める比率が依然として高い。

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

現行の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。

乗員の安全性に関する研究としては、ポール側面衝突試験の導入に関して、カーテンエアバッグの車対車側面衝突事故での効果の検証、コンパティビリティ性(大きな車と小さな車の衝突)を考慮した試験法について検討している。

チャイルドシートに関しては、側面衝突試験法について、実車衝突試験及びスレッド試験に基づいて、試験法の問題点やその改善策を提案して国際基準に盛り込んだ。

また、衝突試験においてダミーを使って計測する胸の傷害値として、現在は試験の種別によって加速度と変位が併用されているが、より人体忠実度の高い指標に一元化すべく、比較研究を行っている。

生体が受ける傷害に関する生体工学は、物理学と生物学とを融合したようなもので、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のような傷害基準を最近の医学的な見地から見直して、より多様な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な 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。

また、2013 年 10 月に東京で開催された ITS 世界会議では、ASV における様々な予防安全装置のデモ走行を行い、内外から多くの参加者が体験乗車し、また、多くのメディアでも紹介された。

急速に商品化が進んでいる先進ブレーキシステム AEB の対前方車両への追突回避については、J-NCAP や Euro-NCAP において試験の導入スケジュールが決まっており、性能評価法の早急な策定が必要となっている。

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、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。

2. 3. 電気・電子技術

最近の自動車は、エンジンやブレーキなど多くの機能がコンピュータを使ったシステムによって実現されており、安全性向上、環境対策、燃費改善、快適性の向上等が図られている。

コンピュータによる制御によって自動車の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。トラブルが極めて間欠的な事象であることも特徴である。特にソフトウェアに問題がある場合は、対応が難しくなる。

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実証実験を行ったうえで、リチウムイオン電池搭載車の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全体として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記録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。

再現実験による調査も行っており、平成 24 年度は、メンテナンス不良の事例として、水分含有などによるブレーキ液の属性の変化が制動性能に及ぼす影響(機能低下)について、再現実験を含む調査研究を行った。

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、VRTC、UTAC、BASt、TNO、TRL、TÜV 等欧米の研究機関等との情報交換を進めている。

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では 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、平成 25 年 11 月からは車線走行維持装置(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。

1. ドライバ特性に基づく適切な安全運転支援方法に関する研究

自動車安全研究領域
自動車事故対策機構
電気通信大学

※ 関根 道昭 森田 和元
阿部 拓朗
田中 健次

1. はじめに

交通事故件数は2012年において665,138件、交通事故死者数は4,411人となっており¹⁾漸減傾向にあるとはいえ、まだまだ重要な問題であることに変わりはない。これらの交通事故を更に効果的に低減させるためには、広く一般のドライバを対象として対策を講じるよりも、交通事故を起こしやすいドライバ、あるいは、発生しやすい事故類型について対策を講じる方が適切であると考えられる。

一般に、ドライバの視覚や認知の能力には個人差があるため、事故を起こしやすいドライバとそうでないドライバに分かれると考えられる。また、加齢にともなう視覚認知機能の低下も事故要因の一部であると考えられる。このため、すべての車両に同一の安全対策を適用したとしてもドライバによって事故予防効果に差が出る可能性があり、事故を起こしやすいドライバには、より踏み込んだ支援が必要と考えられる。今後、一層事故を減らしていくには、ドライバごとの特性を考慮することが必要と考える。

このようなきめの細かい対策を目指すため、本研究は交通事故統計やアンケートにより、交通事故、交通違反を繰り返すドライバの特徴を分析した事例を紹介する。更に、独立行政法人自動車事故対策機構（以下NASVA）が提供する運転適性診断システムによりドライバの視覚機能、性格特性等とドライビングシミュレータの運転傾向との相関を分析した。以上より、ドライバ特性に適した支援方法に関する考察を行った。

2. 交通事故、交通違反とドライバ特性

森田ら²⁾は交通事故統計におけるマクロ事故分析を行い、追突を起こすドライバに特徴的な傾向を確認し、他の事故タイプのドライバと比較して、追突事故を起こすドライバはそもそも違反歴が多く、信号無視、一時停止違反などを犯しやすい危険な運転を行うド

ライバであると推測した。更に、追突事故を起こすドライバが、現実には危険な運転を行っているかどうかを調べるウェブアンケートを行っている。平成22年に事故を起こしたり起こされたりしたことの無いグループ、自動車で追突事故を起こしたグループ、自動車で追突事故を起こされたグループを対象に（各グループ300名）、危険な運転を分類する質問（Driving Behavior Questionnaire: DBQ³⁾）をしたところ、追突を起こしたグループには、ミラーの確認し忘れや、横断歩行者の見落としなどの事故につながる危険性のあるエラーの経験者が多いことを示した。

森田ら⁴⁾は更に、2009年の事故・違反がどのように発生しているか事故データのマクロ分析により調査しており、過去の事故と同じ事故を再発する可能性が高いこと、並びに過去の違反と同じ違反を再発する可能性が高いことを示した。高齢者の事故の起こしやすさに関する分析は、本フォーラムのポスター発表を参照いただきたい⁵⁾。

以上の先行研究から、交通事故や交通違反を数年以内に繰り返すドライバが存在することが明らかになっている。そのため、これらのドライバの心理、行動特性を分析することが重要と考えられる。

3. 運転適性と危険運転の分析

ドライバが事故を起こす可能性がある運転を行う場合の行動特性とその背後に潜む視覚特性、性格特性との関係を把握するため、ドライバ特性のテストとドライビングシミュレータによる運転実験を実施し、両者の関係について考察した。

3. 1 運転適性診断について

ドライバ特性の測定にはNASVAが提供する運転適性診断システムを利用した⁶⁾。トラック、バス、タクシー等の運送事業者は、安全対策の一環として職業運転者（従業員）に対する教育が義務付けられており、事

故惹起運転者、初任運転者、高齢運転者に対し、国土交通大臣が認定する適性診断を受けさせる義務がある。NASVAはこの適性診断を行うPCベースのシステムを提供しており、運転者教育や安全対策ためのアドバイスをを行っている（図1）。上記以外の一般職業運転者も適性診断を受けることができ、年間40万人以上が受診している。また、全ての診断データが集約され、受診グループの特徴や運転特性の経年変化などを定量的に分析できるようになっている。

以下に主な診断項目を示す。

- 注意の配分：連続的に変化する事態に対して注意の配分・持続性を測定
- 動作の正確さ：連続して起こる複数の事態に対して的確・迅速な処理を行う能力を測定
- 判断・動作のタイミング：動作をおこすべきタイミングを判断する能力を測定
- 視覚機能：動体視力、視野の広さなどを測定
- 性格テスト：感情の安定性、協調性、気持ちのおおらかさ、他人に対する好意などを測定
- 安全運転態度：安全運転に対する考え方を測定
- 危険感受性：危険予測・判断の妥当性を測定



図1 運転適性診断システム

3. 2. ドライビングシミュレータ実験

次に、危険な運転場面を再現したシミュレータ実験について説明する。危険な運転場面として、黄色信号の交差点を通行するシナリオを用意した。交通事故の過半数が交差点付近で発生しており、信号が設置されている交差点においても事故率は高い¹⁾。その原因の1つとして、黄信号における通過・停止の判断が難しいことが考えられる。黄信号時は原則として停止線を越えて進行することができないが、安全に停止できない場合の通過は認められている。現実には十分に停止

できるタイミングの黄信号において停止線を越えた通行が行われており、このことが出会い頭事故等の原因となっていると考えられる。

そこで本実験では、黄色信号時に交差点を通過するか停止するか運転行動を観察した。また、停止することが望ましいタイミングにおいて交差点を通過した場合に注意を促すアドバイス機能の効果を検証した。アドバイスを受け入れ運転を改善する者とアドバイスを無視して運転を変えない者の性格特性は異なると予想される。

なお、本研究は当研究所における「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき、実験計画の事前審査による承認を経た上で実施したものである。

3. 2. 1. 実験環境と走行条件

実験には当研究所の定置型のドライビングシミュレータを使用した。参加者には片側2車線の市街地の直線道路を約10km運転させた。この区間に36箇所の信号交差点が存在し、青信号が12カ所、赤信号が6カ所、残りは次に示すタイミングで黄信号に変わった。参加者には左車線を車線変更せずに50km/hで走行し、黄信号の場合は通過、停止を自らの基準で判断するように指示を与えた。

3. 2. 2. 黄信号点灯タイミング

青信号が黄色信号に変わるタイミングは、自車両の停止線からの距離によって設定した。黄信号の長さを3秒間、ブレーキ反応時間を0.7秒と仮定して、表1に示した5種類の距離における運転行動を比較した。停止線からの距離が短い場合は、急ブレーキでなければ停止できないため通過する割合が高く、距離が長くなるほど停止する割合が高くなると考えられる。中間の距離では、通過と停止の判断に迷いが生じると考えられる。急ブレーキをかけなくても停止可能なタイミングである37m～63mで交差点を通過した場合に、ア

表1 黄色信号のタイミングと予想される運転

停止線からの距離 (m)	停止に必要な減速度 (m/s ²)	予想される運転行動	回数
21	4.0	大半が通過	3
37	3.5	通過が多い	4
42	3.0	通過・停止が混在	4
48	2.5	停止が多い	4
63	-	大半が停止	3

ドバイスとして「黄色信号では止まりましょう」という音声メッセージを提示した。以下では中間の距離である 37m、42m、48m の結果を説明する。

3. 2. 3. 実験手順

当研究所の外部から 30 名が実験に参加した。最初に練習走行を行ってから、走行 1（アドバイスなし）、走行 2（アドバイスあり）を連続して実施した。次に、約 1 時間かけて NASVA 式運転適性診断を行い、最後に走行 3（アドバイスなし）を実施した。走行 2 と走行 3 の間に適性診断を挿入したのは、アドバイスによる運転の変化が一定時間経過したあとも継続するか否かについて検討するためである。

3. 2. 4. 黄色信号の平均通過数

シミュレータ酔いにより実験を中断した 5 名を除く 25 名（男性 12 名、女性 13 名、平均年齢 35.7 歳、標準偏差 7.5 歳）を対象に分析を行った。アドバイスが一度も提示されなかった 5 名を除いた 20 名における黄信号の平均通過回数を図 2 に示す。走行 1 の平均通過回数は約 6 回であるが、走行 2 及び走行 3 は約 4 回に減少した。平均通過回数について分散分析を行ったところ、有意差が検出された ($F[2, 57]=5.85, p<.01$)。Ryan 法による多重比較の結果、走行 1 と走行 2、走行 1 と走行 3 の平均値間に有意差が検出された ($p<.01$)。従って、アドバイスは黄信号の通過数を減少させ、その効果が持続することが確認された。

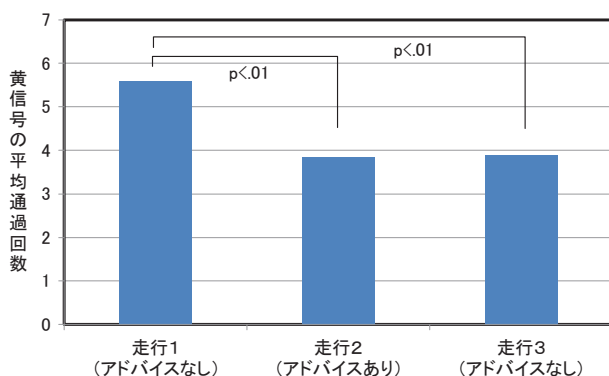


図 2 アドバイスの有無と黄色信号を通過した回数

3. 2. 5. 通過数変化の個人差

アドバイスの全体的な効果が確認されたことを踏まえ、参加者個人ごとの解析を行った。走行 1 と走行 3 の参加者別での黄信号通過回数を図 3 に示す。参加者 20 名中 14 名が、アドバイス提示後は提示前よりも黄信号での通過回数が減少したことから、大半のドライバーはアドバイスを受け入れ、運転を変化させた。し

かし、提示後は通過回数が 0～2 回まで減少した者がいる一方で、提示後も依然として 10 回以上通過している者、通過回数が変わらない者、むしろ増加した者も見られる。このことから、アドバイスが効果的に作用する者と効果が少ない者がいる可能性が示唆された。

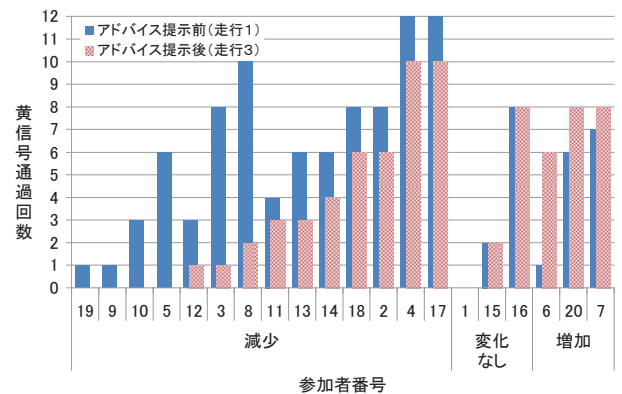


図 3 黄色信号を通過した回数（参加者別）

3. 3. 運転適性診断とアドバイスの効果

3. 3. 1. 判断・動作のタイミング

判断・動作のタイミングテストは、図 4 に示すように、画面を右側から左側へ移動する車が中央付近で覆いの後ろに隠れた後、覆いの反対側に出現するタイミングを予測する課題である。このテストは「現在の速度を維持した場合、何秒後に交差点に到達するか」というタイミングを予測する能力を調べている。

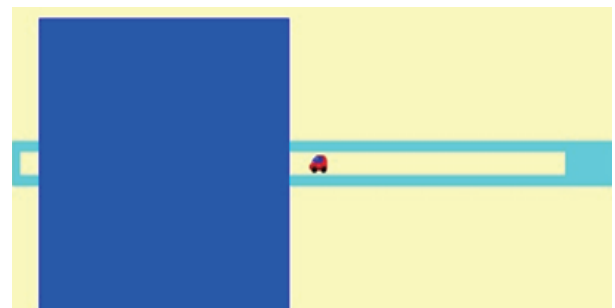


図 4 判断・動作のタイミングテスト

このテストの成績は、車が反対側に出現するタイミングを許容範囲内で正確にすべて予測できた場合を 100 点として、タイミングが早すぎたり、遅すぎたりした場合を減点して指数化される。この指数と走行 1 から走行 2 における黄信号通過回数の減少数の相関に有意傾向が検出された ($r=0.42, p<.10$)。以上の結果より、アドバイスが効果的な者はタイミング予測能

力が高い傾向があり、アドバイスを聞き入れない者はタイミング予測能力が低い傾向があることが示唆される。このような違いが生じた理由について考察する。タイミングが的確に予測できる者はアドバイスが提示された場合に「確かに停止すべきタイミングだった」と納得するため、アドバイスを素直に受け入れると考えられる。しかし、的確に予測できない者は、自分としては停止できない状況であると思い込んでいるため、アドバイスに納得できないものと考えられる。タイミング予測ができない者には、黄色信号に変わった直後に停止を促す警告を提示する方が、交差点通過の回数を減らすことができると考えられる⁷⁾。あるいは、車両を強制的に減速させるなどの介入度の高い支援をする方が効果的と考えられる。

3. 3. 2. 性格テスト

性格テストでは、参加者は 85 項目の質問に回答することになっている。例えば「見ると欲しくなって、つい買い込むくせがある」と言う質問に対し「はい」「いいえ」「どちらでもない」の三者択一で回答する。これにより、感情の安定性、協調性、気持ちのおおらかさ、他人に対する好意という 4 種類の性格尺度の参考値が得られるようになっている。

走行 3 における停止線から 37m の位置で黄信号に変わった場合の交差点通過回数と性格テストで得られた 3 種の性格特性の相関に有意差あるいは有意傾向が検出された。

○協調性指数 ($r=-0.50$, $p<.05$)

○他人に対する好意指数 ($r=-0.51$, $p<.05$)

○感情の安定性指数 ($r=-0.45$, $p<.10$)

穏やかで協調性のある人ほどアドバイスを聞き入れやすく、短気で自己中心的な人ほど聞き入れにくい傾向にあると考えられる。このような違いが生じた理由を考察する。前者は自分だけでなく他者のことも考えて行動する傾向にあるため、ルールを守ることを優先し、アドバイスを聞き入れると考えられる。しかし、後者は自分の行動を優先して行動する傾向にあるため、自分が通過できそうなら止まる必要はないと考え、アドバイスを聞き入れにくいと思われる。後者に対しては、単に「止まれ」というメッセージではなく、なぜ止まる必要があるのかを理解させるようなメッセージを提示する必要があると思われる。

4. まとめ

NASVA が提供する運転適性診断システムにより、ドライバの視覚機能、性格特性等を分析し、ドライビングシミュレータによる運転行動を分析したところ、黄色信号で減速せずに通過する傾向があるドライバは、タイミング予測能力、感情の安定性、協調性、他人に対する好意度がそれぞれ低い可能性があることが示唆された。これらのドライバは、アドバイスによって運転が改善する効果が小さいと考えられ、積極的に運転に介入する支援方法が必要であると考えられる。今後、より多くのドライバを対象に実験を行い、以上の結果を確認していくとともに、運転中のドライバに対する支援方法やドライバ特性に適した指導、教育方法などについて提案する予定である。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 24 年中の交通事故の発生状況, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001108012> (2013)
- 2) 森田和元, 関根道昭：事故類型別にみたドライバの違反歴および運転特性の特徴, 自動車技術会論文集, Vol. 43, No. 2, p. 637-642 (2012)
- 3) James Reason, Antony Manstead, Stephen Stradling, James Baxter, Karen Campbell : Errors and violations on the roads: a real distinction?, *Ergonomics*, Vol.33, Nos 10/11, p.1315-1332 (1990)
- 4) 森田和元, 関根道昭：ドライバの事故・違反歴と事故発生状況との関係, 自動車技術会論文集 Vol. 43, No. 6, p. 1327-1333 (2012)
- 5) 森田和元, 関根道昭：マクロ事故分析による高齢ドライバの事故, 違反の起こしやすさの解析, 交通安全環境研究所フォーラム 2013 講演概要, p. 79-80 (2013)
- 6) 独立行政法人自動車事故対策機構：運転者適性診断のご案内, <http://www.nasva.go.jp/fusegu/tekiseigaiyou.html>
- 7) 関根道昭, 谷川裕樹, 田中信壽, 森田和元, 曹浣豪, 戸井武司：信号見落とし防止システムが運転行動に与える影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 36-12, p. 1-4 (2012)

2. 高齢ドライバーの視覚特性の解析と予防安全対策の検討

自動車安全研究領域 ※青木義郎、森田和元、田中信壽、関根道昭

1. はじめに

近年、社会の高齢化により 65 歳以上の高齢者の免許保有者数も年々増加し続けており、2010 年には 1200 万人を突破している。一方、交通事故は 2001 年頃から減少傾向（図 1¹⁾）にあるが、高齢ドライバーによる事故は 15 年前と比べると 2.1 倍程度に上昇し現在も高止まり傾向にあり、その対策が求められている。また、高齢ドライバーによる事故は、夜間時における対歩行者事故の割合が高い（図 2²⁾）のが特徴である。これは、高齢ドライバーの歩行者の視認性が夜間において特に低下しやすいことが原因になっているものと考えられる。

特に重大事故につながりやすい夜間の高齢ドライバーの対歩行者事故低減を目指し、高齢ドライバーの夜間視認性について解析を行うとともに、年齢層などによって事故の起こりやすさがどのように変化するかを定量化し、新しい前照灯システムの効果評価を実施し、安全性向上のための対策について検討を行った。

2. 高齢ドライバーの視覚の基本特性

夜間時に高齢ドライバーによる対歩行者事故が起こりやすい要因として、視覚などの知覚特性の劣化が上げられる。加齢に伴い夜間における視力の低下やグレア感度の上昇を引き起こし、暗い路面での歩行者は認知されにくくなる³⁾。

筆者らが行った夜間時の歩行者横断を模擬した視認性評価実験³⁾では、若齢層よりも 65 歳以上の高齢層の方が、同じ視力であっても歩行者と背景とのコントラスト閾値（対象物が視認できなくなる輝度コントラストの限界値）が上昇し、歩行者をより視認しづらくなることが示された（図 3）。また、背景輝度が低くなるにつれて、若齢層よりも高齢層の方が歩行者の視認性が低下しやすいことが明らかになった。

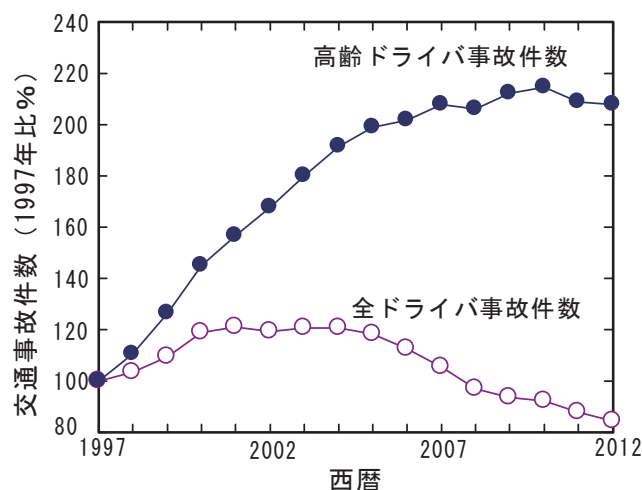


図1 高齢ドライバーの交通事故件数の推移¹⁾

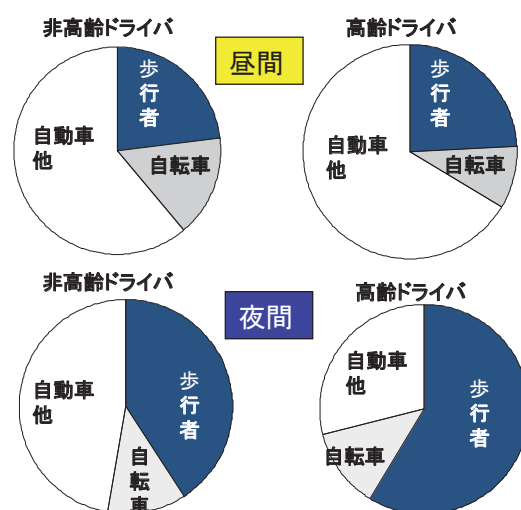


図2 自動車死亡事故の被害者の比率²⁾

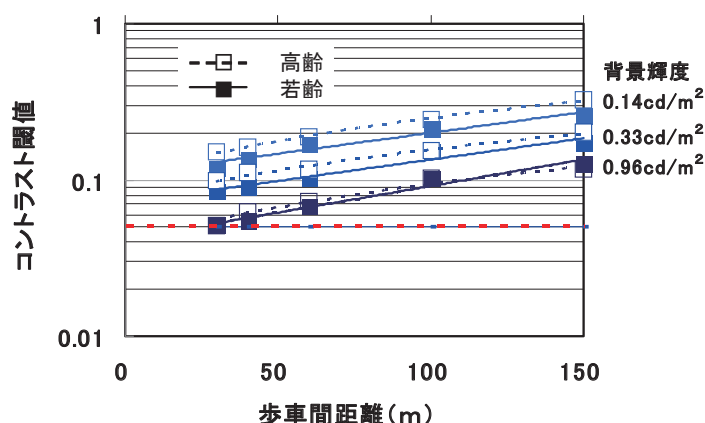
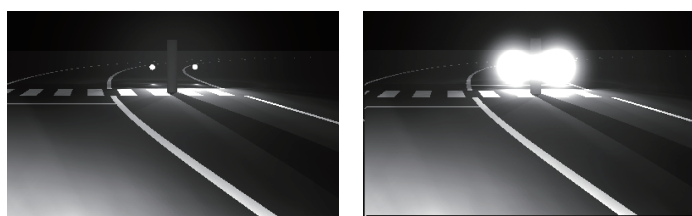


図3 背景輝度や年齢層によるコントラスト閾値の変化

さらに、高齢層は若年層に比べてまぶしさを感じやすくなる。筆者は、高齢ドライバと若年ドライバの見え方の違いを調べるため、対向車前照灯のグレア感の加齢変化をシミュレーション解析⁴⁾し、歩行者横断中のドライバ視界のCG化(図4)を行った。また、近傍に前照灯に相当するグレア光源がある場合の歩行者と背景とのコントラスト閾値の加齢変化を明らかにするため、実験参加者による視認性実験³⁾を実施した。図5に、提示した歩行者とグレア光源の状況を示す。これらにより、高齢ドライバは若年ドライバよりも眼球内光散乱によりグレア光幕(眩しい光源を見たときに光源の周りに発生する光の幕)輝度が上昇し、歩行者の被視認性が低下する(蒸発現象)ことが確認されている(図6参照。図6は、図5の実験により求められた歩行者のコントラスト閾値。歩行者への前照灯照射範囲は全身)。



(a)若年ドライバ (b)高齢ドライバ

図4 対向車前照灯を考慮したドライバ視界のシミュレーション解析

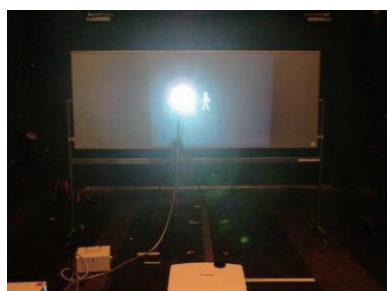


図5 対向車前照灯を考慮した歩行者被視認性評価実験

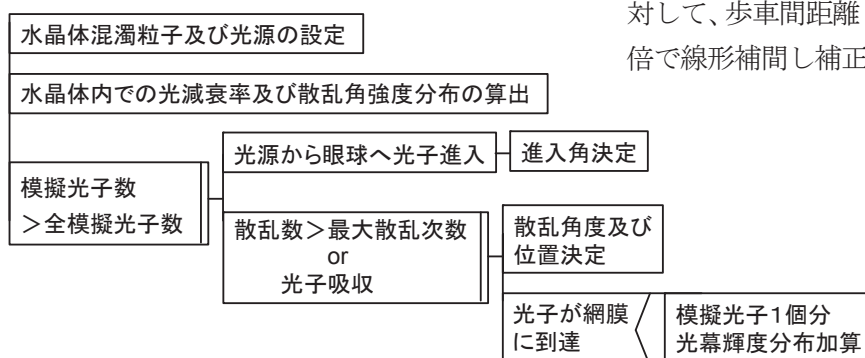


図7 水晶体内光散乱解析フローチャート

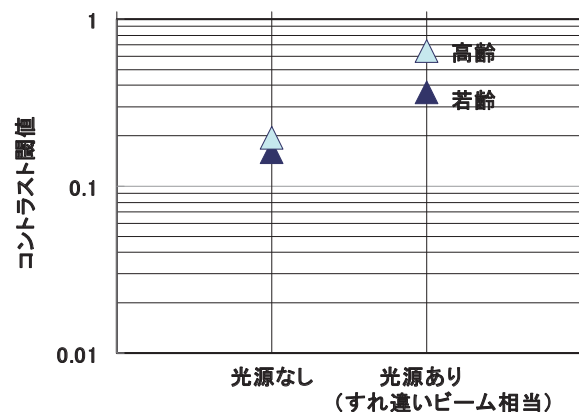


図6 対向車前照灯を考慮した歩行者コントラスト閾値 (歩車間距離は60m、歩行者と光源の距離は2m 想定)

3. 歩行者視認性の解析

これまでの実験で求められた視覚の基本特性(図6)を活用し、対向車前照灯のグレア光幕のシミュレーション解析⁴⁾(図7参照。図7の手順により、光源を見たときの水晶体内混濁粒子による光散乱とその光幕輝度を、モンテカルロ法により解析)を行い、夜間運転中での歩行者の見え方や視認距離が年齢層や前照灯などによりどのように変化するかを明らかにする。なお、高齢ドライバや若年ドライバのコントラスト閾値 E_t は、図3の実験データに基づいて、以下の式①、②で設定する。

①若齢者： $\log(E_t) = -0.971 + 0.00293R - 0.400L$

②高齢者： $\log(E_t) = -0.869 + 0.00271R - 0.480L$

R (m)：車間距離。 L ：背景輝度 (cd/m^2)

すれ違いビームについては走行ビームと比べて、歩行者への照射範囲が狭く(足元付近に集中)なるため、コントラスト閾値は図6の場合よりも上昇することが想定される。筆者は、照射範囲により模擬歩行者の被視認性がどのように変化するか評価する実験を行った。その実験結果³⁾に基づき、すれ違いビーム使用時のコントラスト閾値は、式①、②による算出値に対して、歩車間距離40mでは1.1倍、100mでは1.25倍で線形補間し補正する。

3. 1. 解析条件

シミュレーション解析により自車両側のドライバーから見たときの右側歩行者及び左側歩行者の視認性について調べる（図8参照）。道路は2車線、道路幅は7m（単車線は3.5m）とし、車両（ドライバーポイント）はそれぞれ中心線から横1.75m位置を走行する。道路形状は直線とし、視線方向は進行方向とした。

車両の前照灯は走行ビーム及びすれ違いビームとする。今回の解析では、すれ違いビームを基本とした場合と走行ビームを基本とした場合の見え方の違いを調べるため、自車が走行ビームの時は対向車も走行ビーム、自車がすれ違いビームの時は対向車もすれ違いビームとする。配光は実測値を用いた。

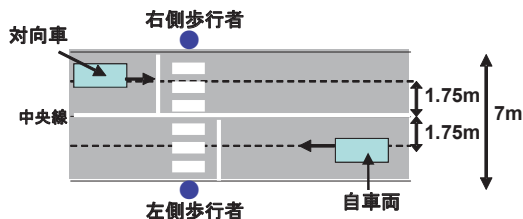


図8 道路設定条件

グレア光幕輝度に影響する水晶体の分光透過率 T や混濁粒子の粒径は年齢層によって変化するものとし、過去の実測データ^{5)~7)}に基づき設定した（式③、④、および表1）。また、若齢ドライバーは20歳、高齢ドライバーは80歳と設定した。

③20から60歳の場合： $T = 10^{-((1.00+0.02(A-32))L1(\lambda) + L2(\lambda))}$

④60歳以上の場合： $T = 10^{-((1.56+0.0667(A-60))L1(\lambda) + L2(\lambda))}$

A：年齢、 λ ：波長 $L1(\lambda)$ 、 $L2(\lambda)$ ：測定による分布

表1 水晶体光学特性

水晶体の屈折率	1.40
水晶体内の混濁粒子屈折率	1.55
混濁粒子の粒径	1 μm (20歳) ~7 μm (80歳)

3. 2. シミュレーションと観測評価結果との整合性

シミュレーションに基づく歩行者視認性の解析結果が、24年度に実施した実験参加者による観測評価実験結果と整合するかどうかの確認を行った。

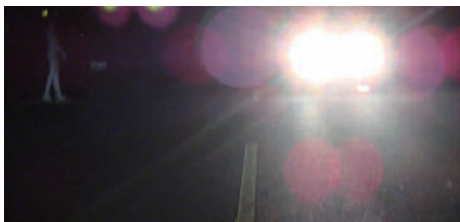


図9 実車を用いた歩行者の被視認性評価実験

表2は図6の実験結果（光源あり）とシミュレーション結果の比較であり、表3は実車を用いた歩行者の観測評価実験（図9）とシミュレーション解析の結果比較である。シミュレーション結果は観測評価結果との差が10%以内に収まることが示されている。

表2 対向車前照灯がある場合のコントラスト閾値

	若齢層	高齢層
観測評価	0.36	0.65
シミュレーション解析	0.34	0.67

※ 前照灯はすれ違いビーム相当（設置位置は歩車間距離60mで歩行者右2mを想定時）

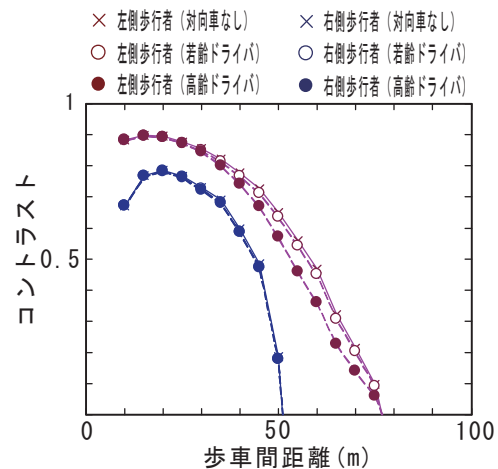
表3 実車による歩行者視認距離

	左側歩行者(m)	右側歩行者(m)
観測評価	80	60
シミュレーション解析	74	65

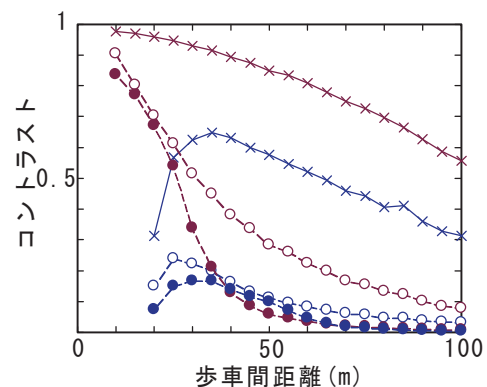
※ 自車両、対向車いずれも走行ビーム

3. 3. 解析結果

各条件下における歩行者と背景との輝度コントラストを図10に示す。



(a)すれ違いビーム使用時



(b)走行ビーム使用時

図10 歩行者と背景との輝度コントラスト

対向車が無い場合には、走行ビーム（ハイビーム）の方がすれ違いビーム（ロービーム）よりもコントラスト低下が小さいが、対向車がある場合には走行ビームの方が蒸発現象によりコントラスト低下が大きくなることが示されている。また、それは高齢ドライバーにおいて顕著に現れる。

求められたコントラストから右側歩行者の視認距離の解析を行った。その結果を図 11 に示す。

走行ビーム同士の場合、対向車前照灯による影響が大きい、すれ違いビーム同士の場合には光度が低い、ため、車間距離による視認距離の変化は小さい。このため、対向車が近い場合には、すれ違いビームの方が歩行者の視認距離が長くなりやすく、対向車が遠い場合には、走行ビームの方が視認距離は長くなりやすい。特に高齢ドライバーの場合には、対向車前照灯の光幕の影響を受けやすくなり、走行ビームよりすれ違いビームの方が歩行者の視認距離は長くなりやすい。

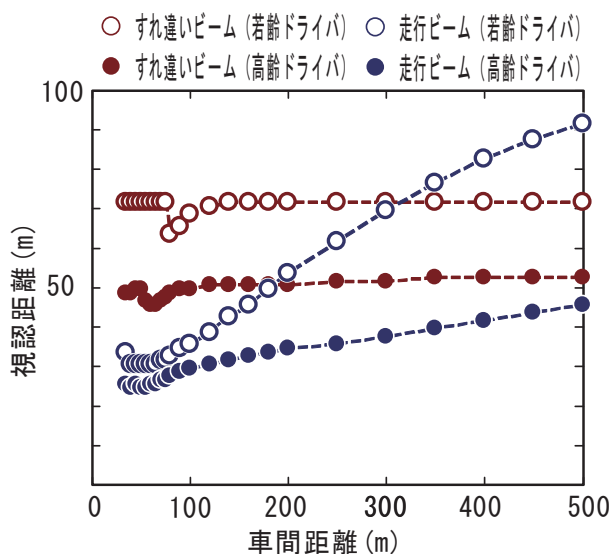


図 11 対向車前照灯を考慮した歩行者の視認距離

4. 歩行者安全性評価

茨城県警の事故調査⁸⁾によると夜間運転時の対歩行者事故のうち 9 割超がすれ違いビームを使用しており、そのうち走行ビームを使用していれば 5 割近くは回避可能という報告もなされている⁸⁾。こうしたことから各県警において走行ビームを基本とするように推奨する動きも広がりつつある。しかしながら、過去に筆者が実験参加者に実施したアンケート（図 12）では、すれ違いビームを基本と回答するドライバーが大半となっている。

また、こうした走行ビームとすれ違いビームの使い分けの問題解決のため、歩行者を視認しやすくなるように自動配光制御する ADB（可変型走行ビーム。図 13 参照）といったシステムの開発・導入も進められつつある。

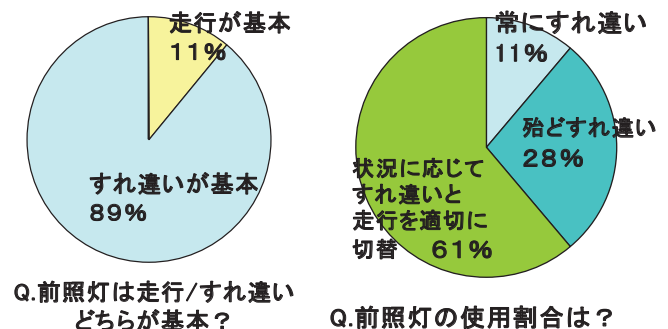


図 12 前照灯の使用状況のアンケート結果



図 13 ADB の自動配光制御

そこで、すれ違いビームと走行ビームのどちらを使用した場合に事故が起こりやすくなるのか、また、ADB により事故の改善効果があるのかをシミュレーション解析により評価することとした。

4. 1. 解析手法

当研究所で開発した予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)^{9)・11)}（図 14）のドライバモデルと環境モデルのアルゴリズムを活用し、前照灯や交通量により夜間時の横断歩行者の安全性がどのように変化するかを解析する。

シミュレーションで設定するパラメータを表 4、表 5 に示す。歩行者横断判断及び歩行者横断速度は過去に当研究所で実施した実験結果¹²⁾¹³⁾に基づいて設定した。今回の解析では、若齢歩行者だけでなく高齢歩行者もシミュレーション上で出現させるものとし、その出現比率は人口統計に基づき 76% (若齢) : 24%(高齢)とした。道路は直線単路で片側一車線 (図 8) とした。ADB の配光は、対向車にはすれ違いビーム、歩行者には走行ビームが照射されるように適切に制御するものとした。

なお、今回の解析では、前照灯などによる対歩行者の危険度の変化を定量化するため、“接近する車両のドライバが、横断開始しようとする横断歩行者を視認出来ない”かつ“接近する車両がそのまま一定速度で走行すれば横断中歩行者とその車線上で接近する”ケースを危険事象としてカウントする。歩行者横断回数に対するその比率 (以下「視認危険度」と呼ぶ) を算出し、危険度の比較を行うこととした。

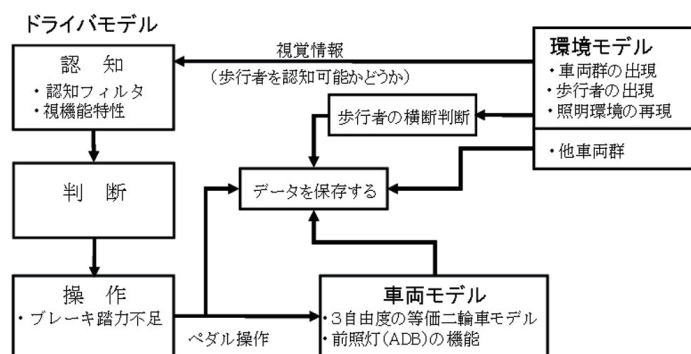


図 14 ASSESS モデル

表 4 歩行者がぎりぎり横断できる歩車間距離
(車両走行速度 40km/h 時)

配光	左側歩行者(m)				左側歩行者(m)			
	走行		すれ違い		走行		すれ違い	
	AV.	S.D.	AV.	S.D.	AV.	S.D.	AV.	S.D.
若齢歩行者	63.7	17.5	62.8	13.2	74.3	32.9	62.0	30.3
高齢歩行者	74.3	32.3	61.2	30.3	70.8	40.6	63.4	37.5

表 5 その他の設定パラメータ

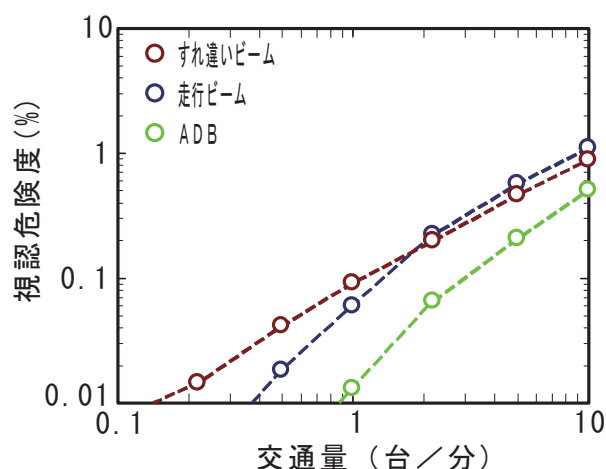
車両交通量	0.1~10台/時(両側合計)
車両速度	40km/h
歩行者横断速度	若齢歩行者2.0m/s. 高齢歩行者1.6m/s
歩行者反射率	5%

4. 2. 解析結果

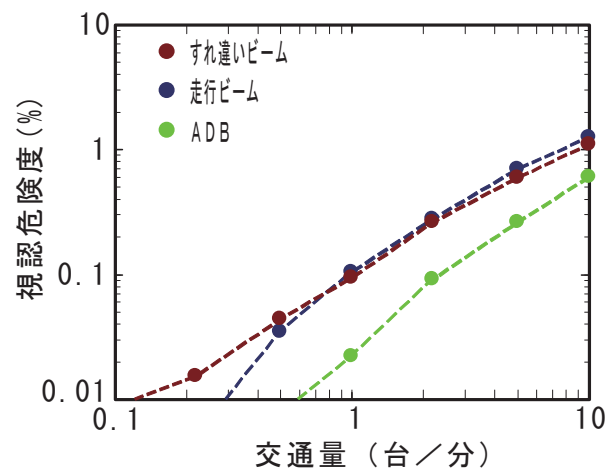
横断歩行者の視認危険度の解析結果を図 15 に示す。

今回の条件では交通量の少ない場合には、光度の低いすれ違いビームの危険度が高くなることが示されている。交通量の多い場合には、走行ビームの危険度が高くなる場合もあり、交通環境によりすれ違いビームと走行ビームのどちらが有効であるかは変化することが示された。

ADB 使用に関しては、いずれのケースでも他の前照灯と比べると視認性が向上し、危険度が低下することが明らかになった。



(a)若齢ドライバ



(b)高齢ドライバ

図 15 前照灯による歩行者視認危険度の変化

5. 最後に

高齢ドライバの夜間運転時の視認性について解析を行うとともに、ドライバの年齢層などによって対歩行者事故の起こりやすさがどのように変化するのか

を定量化し、新しい前照灯システムの効果評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 対向車が無い場合には、すれ違いビームよりも走行ビームの方が歩行者と背景の輝度コントラストは高くなるが、対向車がある場合には走行ビームの方が蒸発現象によりコントラスト低下が大きくなる。また、それは高齢ドライバにおいて顕著に現れる。
- (2) 対向車が近い場合には、すれ違いビームを使用する方が、歩行者の視認性の面で有利である。
- (3) 夜間運転時の対歩行者への危険度は、走行ビームとすれ違いビームではどちらを使用した方が小さくなるのかは交通量により変化する。ADB を使用した場合には、いずれの交通量でも高齢ドライバ、若齢ドライバに関わらず他の前照灯と比べると歩行者の視認性は向上し危険度が低下する。

今後とも高齢ドライバや夜間運転時の安全評価と事故低減の対策について検討を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 警察庁交通局：平成 24 年中の交通事故の発生状況 (2013)
- 2) 三井、高齢者の身体機能と交通死亡事故の関係、科学警察研究所報告交通編 (1995) 36-1、pp. 53-69
- 3) 青木、森田、関根、田中：対向車へのグレアを考慮した前照灯による歩行者の被視認性、自動車技術会論文集(2013)44-1、pp.131-136
- 4) 青木、グレア光幕の加齢変化を考慮した運転視覚情報のコンピュータグラフィックス、自動車技術会論文集 (2009) 40-2、pp.567-572
- 5) 草田他：レーザ散乱光による水晶体タンパク粒子径の測定、あたらしい眼科 2-5(1985)pp.725-728
- 6) 小早川ほか：有色白内障における呈色原因について、あたらしい眼科 9-6 (1992) pp.1069-1072
- 7) J.Xu、J.Pokorny、V.C.Smith：“Optical Density of the Human Lens、”J.Opt.Soc.Am.A 14-5、pp.953-960(1997)
- 8) 茨城県警察本部交通企画課、ライト切り替えによる交通事故防止(2010)
http://www.pref.ibaraki.jp/kenkei/02_koutsu/01_jikobousi/kawara/back_99.html (2010)
- 9) 森田、田中、関根、岡田：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)へのドライバのブレーキ操作モデルの組み込みについて、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 253-258 (2010)
- 10) 田中、森田、廣瀬、高木、松島：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)における車両モデルの開発、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 247-252 (2010)
- 11) 青木、関根、田中、森田、高木：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)のための交通流発生手法、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 259-264 (2010)
- 12) 青木、森田、田中、廣瀬、関根、川寄：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)のための歩行者行動特性の解析、自動車技術会論文集 Vol. 42、No. 5、pp. 1199-1204 (2011)
- 13) 青木、松井、関根、及川：高齢歩行者の横断判断特性の解析、自動車技術会秋季大会講演集(2012)

3. 昼間点灯ランプの安全性評価について

自動車安全研究領域

※塚田 由紀

1. はじめに

昼間点灯ランプ（Daytime running lamps、以下「DRL」という）とは、車両の被視認性を向上させるための昼間専用のランプのことである。現在、国連協定規則において、四輪車へのDRL装備を義務付けているものの、日本においてはDRL装備を禁止しているため、貿易等の問題から話題を呼んでいる。

日本では、二輪車の保有台数が比較的多いことから、二輪車の被視認性を向上させるため、二輪車にはイグニッションの始動と同時に前照灯が点灯することを義務付けている。この前照灯の自動点灯の義務化により、日本でも二輪車の事故防止に効果があったと報告されている¹⁾。一方で、二輪車へのDRLの装備は、四輪車同様禁止している状況にある。

二輪車の被視認性を確保する手段として、DRLの点灯も有効であると考えられるものの、二輪車に前照灯の自動点灯のみ義務化し、DRLの装備を禁止している現状は、自動車技術基準の国際調和の観点からも技術的な裏付けあるいは見直しが必要と考えられる。

そこで、二輪車にDRLを装備しても問題がないかどうかを調査することを目的に本研究を実施した。

2. 実験：二輪車DRLによる右折判断への影響

2. 1. 概要

本実験は、二輪車がDRLを点灯して走行した場合、DRLの眩しさが道路交通の安全を阻害するレベルであるかどうか調査することを目的に行った。ここで“阻害するレベル”とは、対向車線を直進している二輪車の前を横切って四輪車が右折する場合、二輪車と四輪車が衝突する可能性があるかどうか、で判断することとした。同時に、二輪車のDRLの眩しさについても評価を行った。

2. 2. 実験条件

実験は、当研究所自動車試験場のテストコース内に、模擬交差点を設置して行った。被験者車両は、全て同一型式の車（トヨタ カラ アシオ 平成22年型）と

表1 実験条件

項目	条件
天空照度	10,000lx (8,870-10,800) 2,000lx (1,872-2,110) 1,000lx (829-1,119) 0lx (0.3lx 以下)
二輪車のランプ	すれ違いビーム (LB) 既存 昼間点灯ランプ (DRL)
二輪車の速度	時速 40、60、80 Km
被験者の視点高	1,200 mm
二輪車ランプの取付高さ	LB 中心 : 873 mm DRL 中心 : 1,200 mm
二輪車ランプの光源	LB : ハロゲン (H4 バルブ) DRL : LED
被験者	20 名 (23 歳～47 歳 (平均 38 歳)、普通免許保持者)
眩しさ評価	de Boer の 9 点法 (不快グレア評価指数)

した。実験条件を表1に示す。なお、本被験者実験は当研究所の人間を対象とする実験に関する倫理規程により承認された後、実施した。

二輪車に設置したDRLは、国連協定規則 No. 87 に適合しているものを改造し、法規に定められている光度の上限である 1,200cd を有するものを用いた（中心光度は 938cd）。つまり、法規上最も明るいDRLを用いて実験した。また、DRLの中心取付け高さは被験者のアイポイントと同じ 1,200mm とし、被験者に最も眩しさを与えられ位置に設置した。

図1に、二輪車が通り過ぎる時の被験者の眼前照度の変化を示す。これは、夜間に被験者車両の運転席のアイポイント位置に照度計を設置して測定した値である。二輪車を時速 20km で走行させ、サンプリング間隔 0.5 秒で測定した。横軸は、アイポイント（ここでは照度計の位置）と二輪車との間の距離を示しており、二輪車がアイポイントを通過するとプラスの値を示すようになっている。すれ違いビーム（以下「LB」

という) は下向きに照射しているため、通り過ぎるより前に、DRLより早く眼前照度が最高値になる。最高眼前照度は、LBは $9.01lx$ であるのに対し、DRLは $19.79lx$ と約2倍の照度であった。これらの値からDRLが明るいことが分かるが、実験中には被験者は前方を見ている場合が多く、二輪車が通り過ぎる瞬間の最も明るい光を直接見ていたとはいえない。参考に、被験者のアイポイント付近から撮影した二輪車の見え方を、図2及び図3に示す。

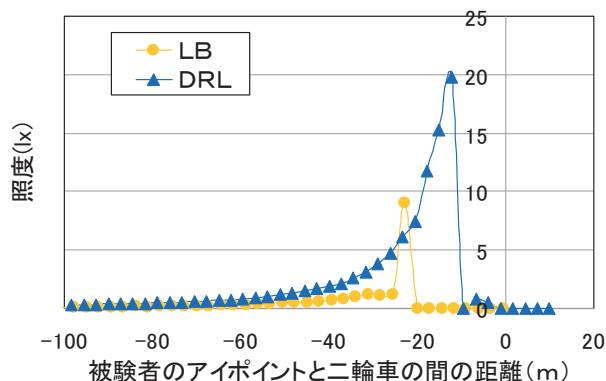


図1 二輪車が通過する時の被験者の眼前照度



図2 被験者から見た二輪車 (DRL点灯)



図3 被験者から見た二輪車 (LB点灯)

2. 3. 実験手順

被験者にはまず十分に実験手順の説明を行ったが、実験の目的については教示しなかった。次に、簡易視力測定器を用いて視力検査を行った。その後、テストコース内に移動し、以下の手順で実験を行った。

- 1) 被験者は実験車両に乗り、車両天井から吊り下げた指標の位置に目が来るようにシートを調節する。
- 2) 右折することを意識しながら、対向車線前方から近づく二輪車を観察する。
- 3) 二輪車がこれ以上近づいたら右折しない、と思う時点で手元のスイッチを押す。(実験装置では、各被験者がスイッチを押した時点の天空照度、二輪車の位置及びその時点から二輪車が交差点に入るまでの時間を計測した。)
- 4) 二輪車が通り過ぎたら、右折限界タイミングにおける二輪車ランプの眩しさについて評価する。
- 5) 実験者の合図で次の条件での試行を繰り返す。

実験者は、天空照度をモニタし、天空照度が実験条件に合うように調整しながら二輪車をスタートさせた。このため、被験者は車室内から十分に環境の明るさに順応した状態で実験を行った。また、別途、日中に各被験者の交差点通過時間を測定した。

2. 4. 実験結果の整理

結果の整理は、図4に示すように対向車と右折車が接触するであろう交差点内の領域をニアミスゾーンとし、二輪車が右折限界タイミングからこの領域に到達するまでの時間をタイムギャップとした。本研究では、タイムギャップと交差点通過時間との比率を求め、衝突余裕度として結果を整理した。

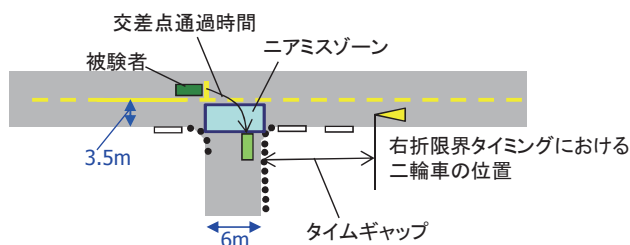


図4 実験結果の整理方法

3. 実験結果

3. 1. 眩しさ評価

LBとDRLのそれぞれに対する眩しさの評価結果(不快グレア評価指数)を図5に示す。左右の図の違いは天空照度の違いで、左が天空照度 $1,000lx$ (薄暮)、

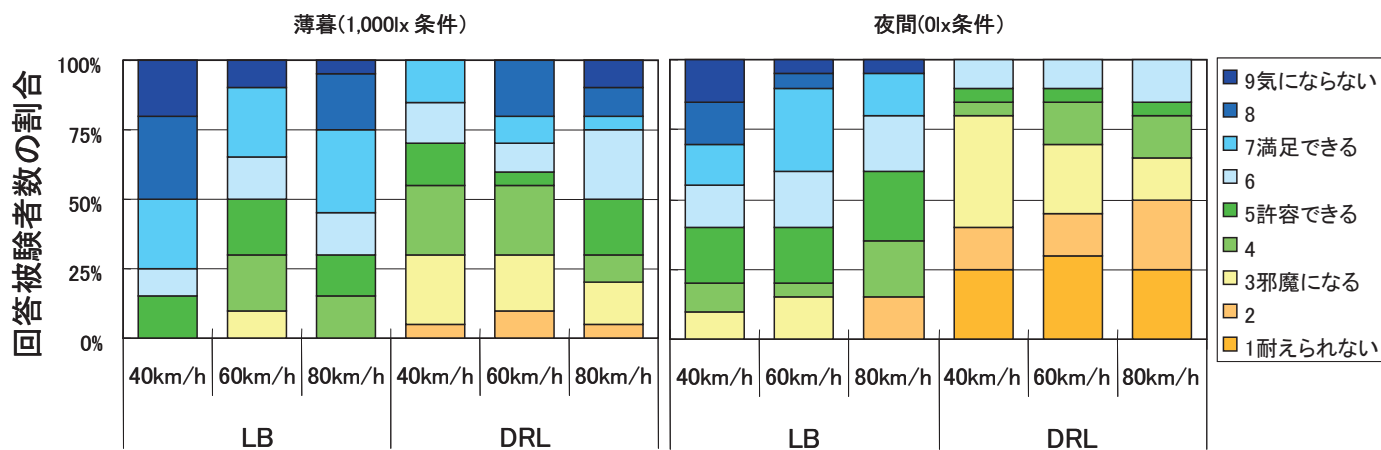


図5 眩しさ評価結果

右が 0lx（夜間）である。それぞれ横軸は被験者が観察した二輪車のランプと速度の組み合わせを示している。縦軸は、同じ不快グレア評価値で評価した割合を示し、色の違いは不快グレア評価値の違いである。

左右の図を比べると、すれ違いビーム（LB）は、対向車ドライバに眩しさを与えないように配光が下向きに調整されているため、夜間であっても眩しくて耐えられないとは評価されていない。しかし、全体の空間を照明するように配光が調整されている DRL に対しては、夜間になると「耐えられない」と評価した被験者も出現し、対向車ドライバに眩しさを与えることが分かる。

天空照度が 1,000lx の場合、DRL に対する不快グレア評価値 4 以上で評価した人が 75%程度となり、天空照度がこれ以上暗くなる場合には DRL から LB へ切り替えることが望ましいことが分かる。現在の国連協定規則においても、四輪車の場合には天空照度が 1,000lx 以下の場合には DRL から前照灯すれ違いビーム（LB）へ自動で切り替わることが義務付けられており、この規制値の妥当性も示されたといえる。

同時に実施した昼間（10,000lx）条件の結果では、DRL は LB よりも不快グレア評価値が小さい値となるものの、ほとんどの場合に眩しくて耐えられないとは評価されなかった。

3. 2. ニアミス率と衝突余裕度

各被験者に対する交差点通過時間は、平均 3.46 秒（最短 2.83 秒、最長 4.59 秒）であった。各被験者のタイムギャップと交差点通過時間を比較し、タイムギャップが交差点通過時間よりも短い場合にはニアミスをするとは仮定し、ニアミスの確率（ニアミス率）を求めた。その結果を図 6 に示す。横軸は二輪車のラン

プと速度の組み合わせを示し、縦軸はニアミス率を示している。棒の色の違いは、天空照度の違いである。二輪車の速度が速いほどタイムギャップが短い傾向がみられているため、ニアミス率も二輪車の速度が速いほど高くなることが示されている。また、ニアミス率は、天空照度の違いよりも速度の違いの方が影響を受ける傾向がみられた。なお、図中の棒グラフが欠けているように見える LB 40km/h の薄暮の条件では、ニアミス率は 0 であった。

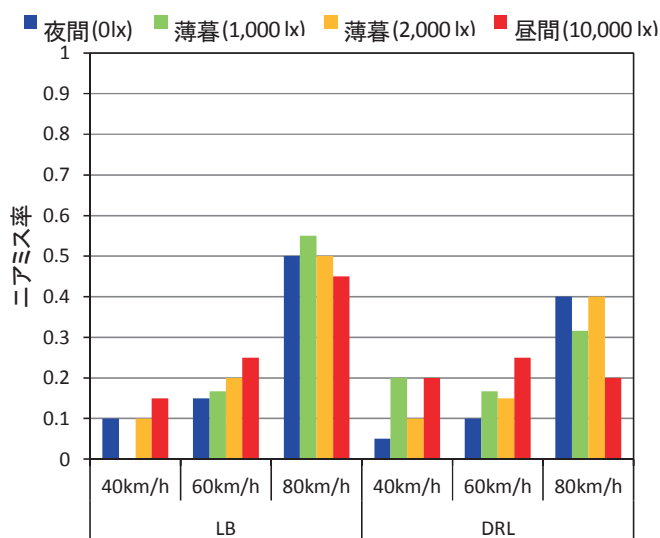


図6 ニアミス率

ニアミス率は、二輪車が LB 80km/h 走行で約 0.5 と DRL に比べても高い値を示した。この値は過去の研究報告²⁾と類似の値ではあるものの、被験者が 20 名の場合の出現確率は信頼性が高いとは言えない。また、本研究で定義したタイムギャップが交差点通過時間より短いことが、そのままニアミスを表しているともいえない。そこで本研究では、被験者ごとにタイム

ギャップを交差点通過時間で割り、その値を衝突余裕度として整理した。全被験者の衝突余裕度の平均を図7に示す。

図7より、衝突余裕度は二輪車の速度が速いほど小さくなるが、夜間のDRLを除いて天空照度による違いはあまり見られないことが分かる。有意水準5%のt検定の結果でも有意差は同様の傾向であった。DRLの場合、夜間には衝突余裕度が大きくなることが示された。

4. まとめ

模擬交差点で右折しようとする四輪ドライバが、DRLを点灯して対向車線を走行して来る二輪車の前を横切って右折する限界タイミングを測定した。その結果、天空照度が1,000lx以上の日中においては、天空照度の違い及びDRLとLBの違いに対する衝突余裕度の結果に顕著な差はみられなかった。眩しさの評価については、周辺が暗い薄暮時の方がLBもDRLも眩しいと評価する人が増えるものの、全体としては問題となるほど眩しいとは評価されなかった。ただし、夜間においてはDRLは邪魔になるほど眩しいと評価され、逆に衝突余裕度は大きくなる結果となった。

た。これは、夜間のDRLは四輪ドライバにより安全な行動をとらせることを示しているが、眩しさの影響及び本実験における想定シーン以外の場面の影響も含めて考えると、DRLを夜間に使用することは望ましいとはいえない。

これまでの研究^{2, 3)}では、天空照度が10,000lx以上の日中にはDRLは特にポジティブな効果もネガティブな効果もないとされていることを考慮すると、本研究の結果からは天空照度が1,000lx程度の薄暮時においても、二輪車に装備したDRLは強い眩しさを与えず、右折判断行動に影響を与えない、と結論できる。

参考文献

- 1) 高橋進, 2003, 「二輪車用灯火器の最新ECE規定動向及び技術動向」 ヤマハ自動車技報
- 2) 「四輪車及び二輪車前照灯の昼間点灯に関する研究」自動車基準認証国際化研究センター、平成14年度受託研究報告書
- 3) 「四輪車のDRL（昼間点灯ランプ）の効果に関する調査」自動車基準認証国際化研究センター、平成21年度受託研究報告書

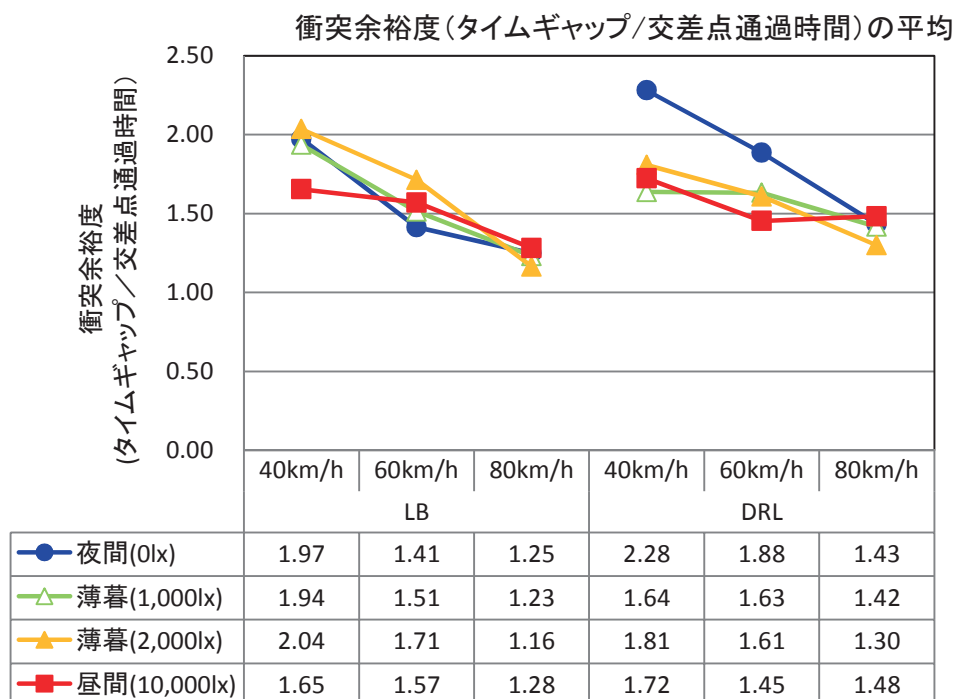


図7 衝突余裕度

4. 通信利用型安全運転支援システムについて

－先進安全自動車（ASV）推進計画における検討概要－

自動車安全研究領域 ※児島 亨 塚田 由紀

1. はじめに

交通事故を削減するための車両安全対策として、1991 年度より産学官連携の先進安全自動車（ASV）推進計画が開始され、現在第5期（2011 年度～2015 年度）に至っている。ASV とは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ことであり、ASV 推進計画では、ドライバの安全運転を支援する技術の開発・実用化・普及の促進に取り組んでいる。

安全運転を支援するシステムのうち、道路インフラや他車両との間で通信を行う通信利用型安全運転支援システムは、ドライバから見えない、または見え難い事象の情報を車載システムが入手し、注意喚起や情報提供の形でドライバに伝達することにより事故のリスクを低減させることを目的としている。

ASV 推進計画においては、第2期（1996 年度～2000 年度）で道路インフラからの情報を活用した路車間通信システムの検討に着手した。また、通信を利用して車両同士がお互いに情報を交換し合い、それぞれのドライバの安全運転を支援する車車間通信システムの検討を第3期（2001 年度～2005 年度）に着手した。現在も通信利用型安全運転支援システムに関する検討は継続しており、交通安全環境研究所（以下、当研究所）においても、課題に対する検証実験等、ASV 推進計画に資するための調査・研究を実施している。

以下、ASV 推進計画における検討概要と当研究所で行った実験の概要について紹介する。

2. ASV 推進計画における検討概要

2. 1. 第2期～第3期 ASV 推進計画

第2期では、道路インフラから提供される情報を利用する路車協調型の運転支援技術（路側情報利用型運転支援システム）について、インフラと連携した検討に着手した。この当時の路車間通信としては連続通信

を想定しており、警報や車両制御なども含めたより高度な支援に発展し得ることも視野に入れ、車載システムの機能について実証実験が行われた。^{(1)、(2)}

第3期の推進計画では、第2期に続き路側情報利用型の開発がインフラと連携して行われ、路車間通信が連続通信からスポット通信に変更になった為、より高度な支援から、主として注意喚起を想定したシステムに変更された。また、車車間通信を利用するシステムの開発に着手した。事故分析に基づいてシステムの役割やあり方を検討し、検討結果をコンセプト仕様書としてまとめるとともに、実車で車車間通信を行ってシステムの機能を確認するための検証実験を（独）北海道開発土木研究所の苫小牧寒地試験道路にて行い、実験の公開及び内外関係者と意見交換する国際シンポジウムを開催した。図1に公開実験の状況を示す。⁽¹⁾



図1 公開実験の状況（第3期）

2. 2. 第4期～第5期 ASV 推進計画

2. 2. 1. 第4期 ASV 推進計画

第4期では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を促進することを目的とした活動を行った。交通事故の実態に基づき、総合的観点からより効果的・効率的な対策を系統的に整理するため、平成17年の全国交通事故統計データ（マクロデータ）を用いて事故分析を行い、対策の方向性について整理した総合安全戦略を策定した。この中で通信利用型安全運転支援システムによってドライバを支援する場面のうち、優先的に検討を行う場面を抽出した。また、第4期では、ITS 推進協議会の大規模実証実験に参画

する形で、次の実証実験を行った。

- ①テストコースにおける電波伝搬・伝送特性実験
- ②地域公道走行実験（効果評価）
- ③公道総合実験及び公開デモ

上記①は（財）日本自動車研究所模擬市街路において車車間通信用メディアの候補である2種類の電波（700MHz 帯、5.8GHz 帯）を対象とした、電波伝搬・伝送特性の測定を総務省と共同で行った。実験の結果、通信エリア及びパケット到達率に関して、いずれのメディアも実用化を検討している支援システムを実現するための要件を満足することを確認した。図2に、1対1及びN対N通信実験結果から算出した支援システムごとの積算パケット到達率を示す。

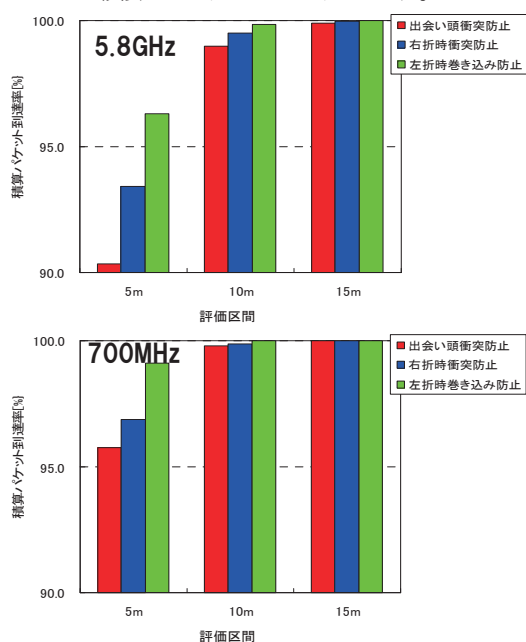


図2 支援システムごとの積算パケット到達率

上記②では、東京（神奈川）、愛知、栃木、広島 の4地域において、実用化を検討している支援システムの有効性について、実車実験を行った。図3に検証実験を行った支援システムの例として、出会い頭衝突防止システムの模式図を示す。また、実験の結果から、提供された支援をドライバが有効に利用することにより、設計の狙い通りの効果が得られる割合を推定したものを表1に示す。支援システムによって値は異なるが、0.4～0.6程度となった。

第4期の成果として、上記の検証実験の結果から抽出された技術課題を踏まえ、設計上の留意事項やユーザーへの配慮事項等についてまとめた「通信利用型実用化システム基本設計書」を策定した。

2. 2. 2. 第5期 ASV 推進計画

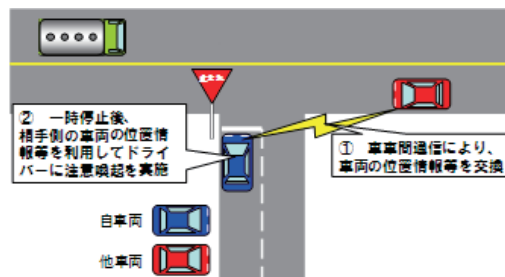


図3 検証実験を行った支援システムの例（出会い頭衝突防止システム）

表1 効果評価の結果（支援の効果が得られる割合）

システム名	支援したときの有効率を表すパラメータの推定値
右折時衝突防止システム	0.5程度
出会い頭衝突防止システム	0.4程度
左折時衝突防止システム	0.6程度
追突防止システム	0.6程度

第5期では主に以下の項目について検討を行っており、一部は実施した。

- ①次世代の通信利用型システムに関する検討
- ②歩車間通信システムに関する検討
- ③ITS 世界会議 2013 東京への参画

上記①では、第4期で検討した車車間通信による支援システムの更なる熟成や新たな支援システムの検討を行うとともに、メッセージセットを始めとする国際的に応用可能な協調システムの検討及び普及のためのシナリオ検討等を行っている。

上記②では、近年歩行者事故の対策が重要になってきていることから、歩行者事故の分析を行うとともに、歩行者と車両との間で通信を行う歩車間通信を利用した支援システムについて検討を行っている。

上記③では、2013年10月14日～18日に開催された ITS 世界会議東京において、ショーケースデモへ ASV として参加し、車車間通信及び歩車間通信を利用した計6種類の支援システムのデモを実施した。図4に ASV ショーケースデモのパフレットを示す。

3. 当研究所における実験の概要

3. 1. 実験の目的

当研究所では、ASV 推進計画における通信利用型安全運転支援システムの検討に資することを目的とし、安全運転のための支援情報を一般のドライバに提示した場合の運転行動の変化や受容性等について、ドライビングシミュレータ（以下、DS とする）を用いた実験を2008年度より実施している。図5に当研究所のDSの外観図を示す。以下、これまでに実施した実験の概要を報告する。



図4 ASVショーケースデモのパンフレット



図5 ドライビングシミュレータの外観

3. 2. HMIに関する実験（2008年度～2009年度）

ITS推進協議会大規模実証実験WGにて2007年に「インフラ協調による安全運転システムに係るHMIの配慮事項について」が作成された。これは通信利用型安全運転支援システムのHMI（Human Machine Interface）に関して配慮すべき項目をまとめたものである。本資料の検討段階において、次の2項目は実験による確認が必要な課題とされたため、当研究所で確認実験を実施した。

- ①警報、注意喚起を行う場合、音と共に視覚や触覚により情報を伝達すること。（複数の伝達手段）
- ②車車間通信の場合は他車両から、路車間通信の場合は路側機から情報を取得していることをドライバーへ提示すること。（サービスイン）

上記①については、視覚情報と聴覚情報を組み合わせた場合に、ドライバーが視覚情報を注視することにより危険回避行動が遅れてしまうような事象が無いかどうか確認することを目的とした。DS上で実験参加者に高速道路を走行させ、前走車を追従走行中に、前走

車が任意のタイミングで減速する追従走行実験及び自車が単独で走行中、前方に低速車両が出現する低速車実験を行った。ドライバーへの情報提示は、「無し」、「聴覚のみ」、「視覚+聴覚」とした。表2に情報提示の内容を示す。実験の結果、追従走行実験、低速車実験ともに、視覚情報を注視し続けることによる危険回避の遅れは確認されず、簡易な図形と文字による視覚情報を聴覚情報と組み合わせて使用することに問題は無いことを確認した。図6に実験結果の例として、追従走行実験時のブレーキ反応時間の分布を示す。

表2 情報提示の内容

情報	視覚	聴覚
注意喚起		ビピビピ 「追突注意」

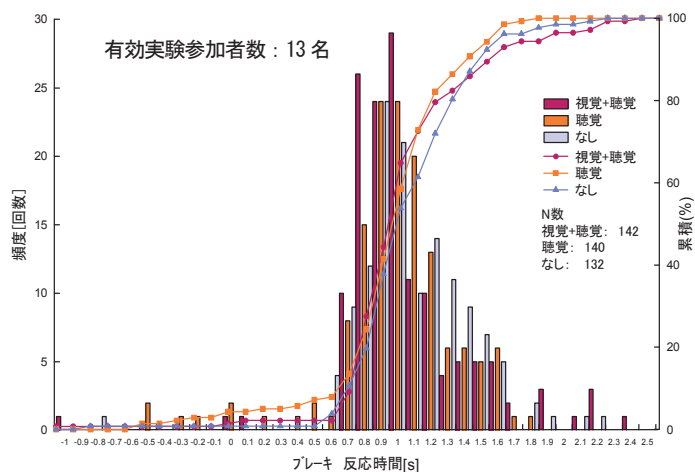


図6 実験結果の例（前走車追従実験）

上記②については、ドライバーに支援情報（他車両の接近に対する注意喚起）を提示する前に、他車両や路側機から情報を取得していることを知らせることにより、ドライバーが支援情報を得ることに對し過度に期待してしまい、期待通りに支援情報を得られなかった場合に危険な事象を誘発するようなことが無いかどうか確認することを目的とした。実験場面は、信号付交差点の右折（以下、右折実験とする）及び信号無し交差点における一時停止後の左折（以下、出会い頭実験とする）とした。図7に実験場面の例として出会い頭実験の模式図を示す。また、実験に使用したHMIの仕様を表3に示す。実験の結果、路車間通信については、右直実験及び出会い頭実験ともに、対象交差点における他車両との接近状況に関して、サービスインの

有無による有意な差は見られなかった（有意水準 5% の t 検定）。一方、車車間通信については、出会い頭実験において、サービスインを行った場合の方が、行わなかった場合よりも、対象交差点において、一時停止後に発進して交差点に進入する際に、右側から接近してくる非通信の車両との時間的な間隔がより短くなる（衝突に対するマージンが減少する）側に有意な差が見られた（有意水準 5% の t 検定）。これは接近する複数台の車両のうちの 1 台との情報交換によりサービスイン情報をドライバに提示すると、サービスインを提示している間に接近する車両全てに対して支援情報が提示されるものと誤解されやすい為であると考えられる。この結果から、車車間通信においてはサービスインの採択をより慎重に行う必要があることが分かった。車車間通信における出会い頭実験の結果の例を図 8 に示す。

3. 3. 位置精度の影響に関する実験（2010 年度）

車車間通信を用いた安全運転支援システムでは自車両及び相手車両の位置情報が重要であるが、走行環境やシステム構成の違い等により、システムが認識する位置情報に数メートル～数十メートル程度の誤差が生じる場合がある。通信利用型実用化システム基本設計書では 2010 年代前半に実用化可能な技術を用い

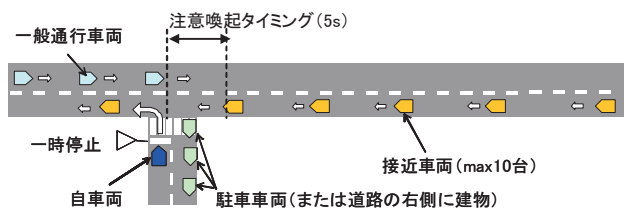


図 7 実験場面の模式図（出会い頭実験）

表 3 実験に使用した HMI の仕様

情報	視覚		聴覚	
	路車間	車車間	路車間	車車間
サービスイン	なし	ランプ点灯	ピンポーン 「ここは支援対象の交差点です」	ピンポーン 「近くの車と通信中です」
サービスアウト	なし	ランプ消灯	ピンポーン	ピンポーン
注意喚起			ビビビビ「右側からの車に注意しましょう」	
			ビビビビ「直進車に注意しましょう」	

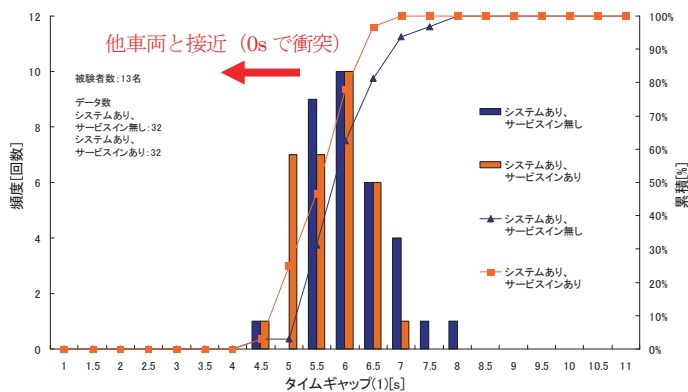


図 8 実験結果の例（車車間通信 出会い頭実験）

た位置標定方法に基づく 3 つの位置標定クラス（A～C クラス）と測位誤差の目安が定義されている。本実験では位置情報に含まれる誤差（以下、位置誤差とする）により想定される事象を DS 上で再現し、一般ドライバへ与える影響について実験による評価を行った。実験では位置標定クラスの中で位置誤差が比較的大きい B クラス（約 15m 目安）及び C クラス（約 30m 目安）同士の車両接近までを想定し、以下のケースについて、位置誤差が 0（基準）のケースと比較する形で実験参加者に支援情報を提示した。

- 位置誤差により、支援情報を提示するタイミングが基準よりも早くなるまたは遅くなるケース
- 位置誤差により、不要な支援情報がドライバへ提示されるケース

例：他車両が接近する交差点よりも 1 つ手前の交差点で支援情報が提示される。

- 位置誤差により、支援情報が提示されないケース

図 9 に実験を行った 4 種類の支援システムについて、DS のスクリーン画像の例を示す。

実験参加者は支援システム毎に設定し、日常的に運転する 15～19 名の男女とした。また、実験中及び実験終了後のアンケートにより評価を行った。

図 10 は実験中に支援情報提示タイミングの変化に気付いた人の割合を示したものである。実験に参加した人の 7 割程度以上の人々がタイミングの変化に気付いている。図 11 はタイミングの変化を正しく指摘した人のうち、タイミングの変化が気になると回答した人の割合をしめしたものである。いずれの実験においても、タイミングの変化が気になる、または少し気になると回答した人の割合は、早くなるケースの方が遅くなるケースよりも低くなっている。このことから、タイミングの変化に気付く人の割合が高い事象は

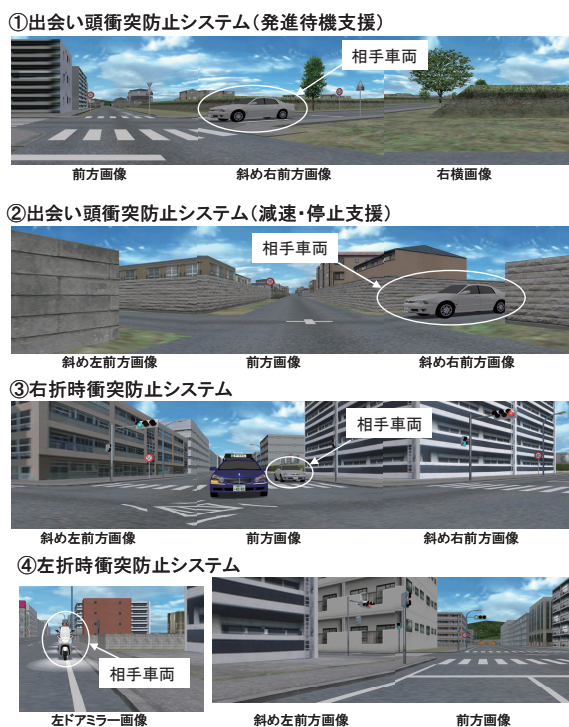


図9 DSスクリーン画像の例

ドライバにとって必ずしも受け入れ難い事象とは言えず、また、タイミングが早くなるケースの方が、遅くなるケースよりもドライバの受容性はより高いことが分かった。図12は不要な支援情報の提示（不要支援）及び支援情報の不提示（不支援）となるケースにおける実験中のアンケート結果の例として、図9の①の支援システムについて示したものである。

不要支援については、場面によって違和感を指摘する人の割合が大きく異なる結果となっており、提示された情報と実際の場面との乖離が大きい場合には大多数の人が違和感、不自然さを指摘するが、状況を理解しやすい場合には指摘する人の割合が少なくなることが分かった。一方、不支援については非通信車両だと思う人が多く、違和感を指摘する人の割合は相対

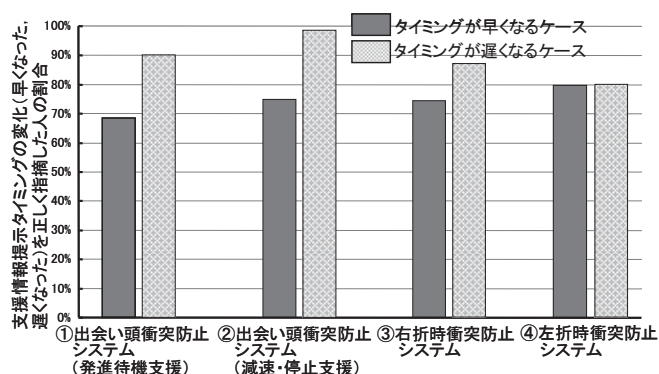


図10 実験中のアンケート結果の例
(情報提示タイミングの変化に気付いた人の割合)

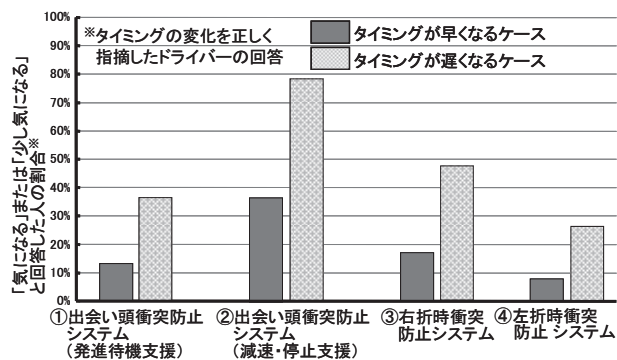


図11 実験中のアンケート結果の例
(タイミングの変化が気になると回答した人の割合)

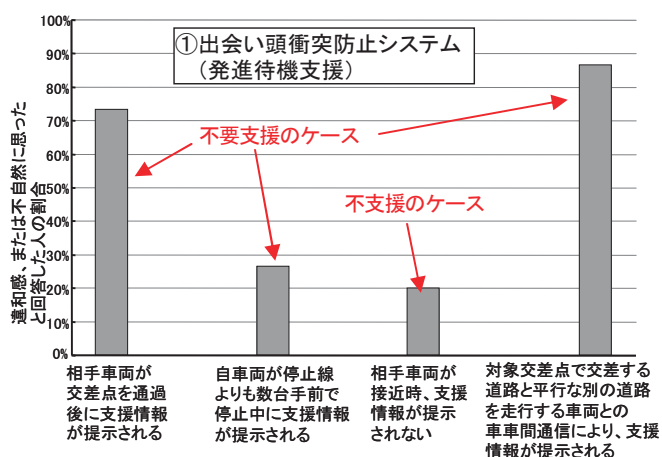


図12 実験中のアンケート結果の例
(不要支援または不支援のケース)

的に小さかった。以上を総括すると、ドライバは位置誤差による影響をある程度許容することが分かった。

3. 4. 歩車間通信の効果・受容性等に関する実験 (2011~2012 年度)

第5期 ASV 推進計画において歩車間通信システムの検討を開始したことを受け、歩行者の情報をドライバに提示することによる運転行動の変化や受容性について確認することを目的とした DS 実験を行った。

実験場面は、全部で8場面設定した。図13に抜粋を示す。ドライバへ情報提供する対象歩行者は、衝突回避が必要な歩行者（図中茶色）及び衝突回避が不要な歩行者（図中緑色）とした。また、HMI は音と表示を用いた。図14にHMI の例を示す。

2011 年度の実験では、主として衝突回避が必要な歩行者の情報をドライバに提示した場合の運転行動の変化について評価を行った。実験の結果、情報提供により衝突回避のためのブレーキ操作の開始が早くなる等の運転行動の変化が大部分の実験参加者に見られた。図15に情報提供により衝突回避のためのブレ

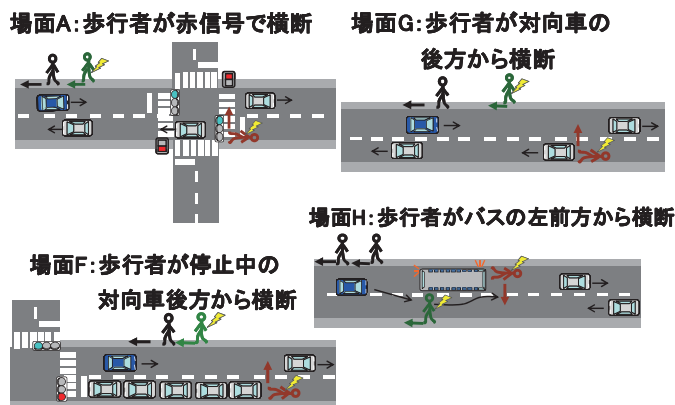


図 13 実験場面（抜粋）



「ピンポン、右に歩行者がいます」

図 14 HMI の例

ブレーキ操作開始が平均 0.9s 程度早くなった例を示す。

一方、現在の位置評定技術では、歩車間通信によって得られる自車周辺の歩行者情報のうち、衝突を回避する必要のある歩行者に限定してドライバに情報提供することは困難であることから、2012 年度の実験では、衝突の回避が必要な歩行者の情報提供に対する衝突の回避が不要な歩行者の情報提供の頻度を増やしていき、効果・受容性の変化について確認した。図 16 に実験結果の例を示す。情報提供によって衝突回避のためのブレーキ操作開始が 1s 以上早くなった人の割合をプロットしたものである。横軸の右側に行くほど、実験開始からの時間が経過しており、情報提供を経験した回数が多くなっている。横軸の「パート 2、パート 3 の 1 回目」は、衝突回避が不要な歩行者の情報提供を経験する前の結果である。「パート 3 の 2 回目（最後）」は、衝突回避が必要な歩行者の情報提供と衝突回避が不要な歩行者の情報提供を 1:3 の比率で

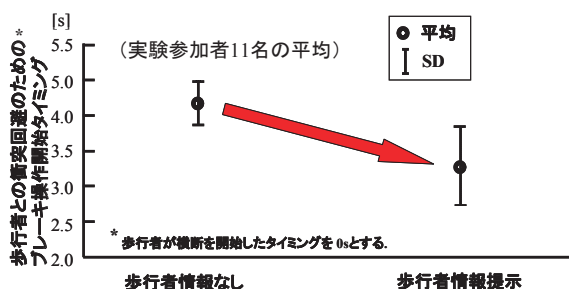


図 15 ブレーキ操作開始タイミングに関する実験結果の例（場面 A）

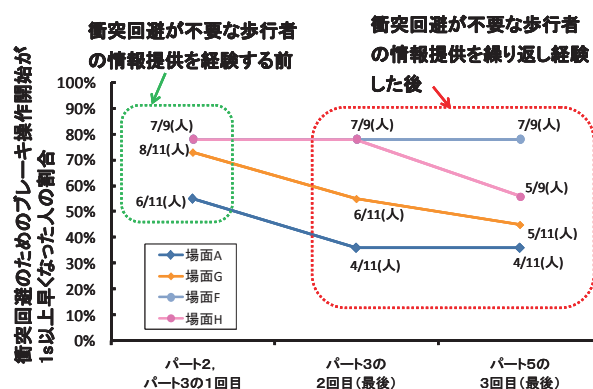


図 16 実験結果の例
(ブレーキ操作開始が 1s 以上早くなった人の割合)

行った後の結果である。同様に「パート 5 の 3 回目」は、1:6 の比率で行った後の結果である。実験場面による違いは見られるが、衝突回避が不要な歩行者の情報提供を繰り返し経験することにより、衝突回避が必要な歩行者の情報提供が行われた場合にブレーキ操作開始が早くなる人の割合が減少することが分かった。また、上記とは別に、衝突回避が不要な歩行者に対する情報提供が行われた直後に別の非通信の歩行者（衝突回避要）が横断するケースにおいて、後から出てきた歩行者と接触する事象が 1 件確認された。

これらの結果から、歩行者情報をドライバに提示することにより、より安全サイドへの運転行動の変化が期待できるが、一方で衝突回避が不要な歩行者の情報を提示することを減らすための検討が重要であることが分かった。

4. まとめ

通信利用型安全運転支援システムについて、ASV 推進計画における検討概要について紹介するとともに、当研究所で行った実験の概要について紹介した。通信利用型安全運転支援システムは、特にドライバから見えない（見え難い）場面において事故リスク低減のための重要な方策として期待されていることから、当研究所においても検討を続けていく予定である。

参考文献

- (1) 先進安全自動車推進検討会:先進安全自動車(ASV)推進計画 報告書—第3期ASV計画における活動成果について—国土交通省自動車交通局、(2006)
- (2) 先進安全自動車推進検討会:先進安全自動車(ASV)推進計画 報告書—第4期ASV計画における活動成果について—国土交通省自動車交通局、(2011)

5. 水素・燃料電池自動車の世界統一基準について

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

平成 25 (2013) 年 6 月、国連 (UN/ECE) の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) において、水素を燃料とする内燃機関自動車、燃料電池自動車 (以下「水素・燃料電池自動車」という。) の安全性に関する世界統一基準 (HFCV-GTR) が成立した。13 番目の世界統一基準 (GTR) である。

日本では、早くから水素を燃料とする燃料電池自動車 (以下「水素燃料電池自動車」という。) の開発が進んでおり、政府もその開発・普及を後押ししていた。その手段の一つとして安全基準の整備が不可欠とされていた。そこで、初めに、試験的に製作した自動車のより広範囲な公道走行を可能とするために、暫定的な要求事項を記述した「大臣認定走行を行う燃料電池自動車の安全性の確保及び環境の保全に関する技術指針」が平成 14 (2002) 年 10 月に関係機関に通達された。この技術指針に沿って製作された試作車は、国土交通省の大臣認定を受け、第三者の運行により公道を走行することが出来るようになった。しかし、あくまでも暫定的な措置であることから、早期の技術基準の確立が必要とされ、交通安全環境研究所が中核的研究機関となって基準内容の検討作業を行った。

平成 15 (2003)、16 (2004) 年度に実施したこの作業は燃料電池自動車実用化促進プロジェクトと呼ばれ、産学官の連携の下、実験データの収集や解析を行う活動を進めた。この際、技術的な将来性を考慮して圧縮水素を燃料とする自動車の安全基準完成を目標とした。様々な議論を経て、平成 17 (2005) 年 3 月、圧縮水素を燃料とする自動車の技術基準が世界に先駆けて国土交通省から公布された。

同じ頃、水素・燃料電池自動車の開発機運が世界的に高まっており、WP29 でも欧州勢が圧縮水素及び液化水素を燃料とする自動車の国際基準作りを検討し

ていた。日本としては、世界に先駆けて定めた圧縮水素を燃料とする自動車の技術基準を国際基準に反映させることにより、大量普及に資するとともに日本の自動車メーカーの国際競争力を向上することを目的に、積極的にリーダーシップを取るべく国際会議の議論に加わることにした。

2. 国連における議論の経緯

先に述べたように、日本が水素燃料電池自動車の開発を行っていた頃、時を同じくして、欧州では水素燃料電池自動車に加え水素内燃機関自動車の開発も進んでいた。このため、国際的な場でも技術基準が求められていた。

WP29 では、相互承認のための UN ECE 規則 (UN ECE Regulation : 1958 年協定) と世界統一基準 (GTR : 1998 年協定) の両者を扱っているが、先に議論が出たのは UN ECE 規則の新規作成であった。

2. 1. UN ECE 規則作成活動

WP29 傘下に組織されている排出ガスエネルギー専門家会議 (GRPE) では、平成 13 (2001) 年 1 月、内燃機関自動車の燃料供給系を水素燃料に変更した自動車の安全基準の検討を欧州の主導で開始した。具体的には既に存在する圧縮天然ガス (CNG) 自動車のための UN ECE 規則 (R110) に手を加え、水素燃料用に改変した新規規則の制定を目指した。R110 はもともとガソリン車の構造を変更して CNG 自動車にするための規則で、ガス配管部品の構造や取り付け方法を細かく規定している基準である。たとえば、高圧充填して使用する CNG 容器の取り付け方法についても、自動車の衝突試験を課して安全性を確認するのではなく、取り付け方法、取り付け強度を規定している。この基本的な考え方を変更することなく圧縮水素及

び液化水素を燃料に用いた自動車用の新規則が提案された。

平成 15 (2003) 年 5 月の GRPE でこれらの内容を議論した。この際、米国から将来技術である水素・燃料電池自動車のための基準は、米国も加われるより広い枠組みで取り扱うべきであり、世界統一基準(GTR)の作成を目指すべきとの主張を行った。また、基準のあり方についても、将来技術の進展を妨げる、設計基準主体の規則ではなく、試験法を整えた上での性能基準であるべきとの主張を行った。

日本は、水素・燃料電池自動車の安全性は部品重視ではなく、システム全体で見るべきと考えていた。そこで、1958 年協定下の新 UN ECE 規則を先に作成すること自体には反対しないが、今回提案されている内容には賛成出来ず、また、新規則ができたとしても採用はできない旨説明した。

その後、関係国の調整の結果、圧縮水素及び液化水素を燃料に用いた自動車用の新 UN ECE 規則作成作業は凍結され、世界統一基準 (GTR) 作成作業を優先して実施することになった。

2. 2. GTR 活動

2. 2. 1. GTR の基本概念

初めに全体計画を議論した。この作業に当たっては、水素・燃料電池自動車の基準を定めるに必要な項目の洗い出し、GTR 構成のあり方など基本的な事項を網羅的に検討した。その結果、図 1 に示す全体構成が定められ、作業を実行に移した。

GTR 作成のため、米国、ドイツ、日本が共同スポンサーとなり基準原案を作成するための水素・燃料電池自動車インフォーマルグループ (Hydrogen/Fuel Cell Vehicles) を立ち上げた。これは安全性に関する議論を行う SGS (Subgroup Safety) と環境性能を議論する SGE (Subgroup on the Environment) の二つで構成された。

日本としては、国際的な基準作成の場でリーダーシップを取っていくことを基本方針として、交通安全環境研究所職員が HFCV-SGS グループの議長職を勤めるとともに、日本が世界に先駆けて定めた技術基準を国際基準に反映させるよう活動していくこととした。

HFCV-SGS については、米国、独、日本により提案されたアクションプランが、平成 19 (2007) 年 6 月、WP29 で承認された。Phase1 として平成 22 (2010) 年までに GTR を成立させることを目的とし

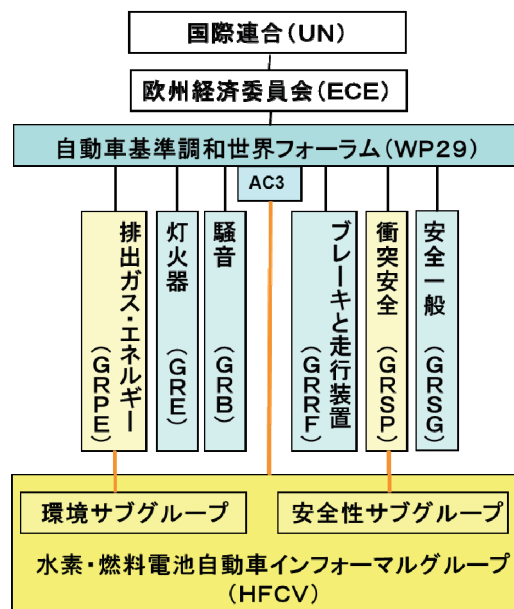
た。これにしたがって第 1 回 HFCV-SGS 会合が平成 19 年 9 月にドイツのボンで開催され活動を開始した。

HFCV-SGE については、基準の必要性も含めてインフォーマルグループで技術的な検討をすることになった。様々な調査を実施した結果、当面基準化する項目は無いとの結論に達し、平成 23 (2011) 年 11 月に報告書を WP29 に提出した。したがって今後の記述は HFCV-SGS の活動に絞る。

2. 2. 2. HFCV-SGS の活動

HFCV-SGS インフォーマルグループは国、自動車メーカー、ISO などの関係者から構成される。積極的に活動に参加した国は、スポンサーである米国、ドイツ、日本に加え、カナダ、中国、韓国であった。1998 年協定成立当初、GTR は日米欧の三極間による統一基準の意味合いが強かったが、この HFCV-GTR の活動になってから、三極以外のアジアの国が活発に参加したことが特徴的である。

当初、Phase1 は平成 22 (2010) 年までの予定であったが、技術議論の深化や様々な利害の調整に時間がかかり、数度の延長を余儀なくされた。予定より 3 年ほど遅れ GTR として成立したことは、冒頭に述べたとおりである。



HFCVはWP29/AC3に直結する組織。HFCV内に環境と安全のサブグループを設け、両サブグループはP E、SPの下に位置付けられる。

図 1 水素・燃料電池自動車インフォーマルグループの構成

3. HFCV-GTR の概要

以下に、成立した水素・燃料電池自動車の安全性に関する HFCV-GTR の内容を概説する。¹⁾ この GTR は水素を燃料とする乗用自動車に適用することとしている。また、内燃機関自動車、燃料電池自動車両者に適用できる。ただし、燃料搭載形態は、圧縮水素と液化水素の二種のみを取り扱っている。基準の主たる技術内容は、圧縮水素容器、水素安全、電気安全の三部に大別できる。液化水素自動車に関しても要件が記載されているが付属的な扱いである。これは、主として欧州がその必要性を述べたものの重要性が低いと判断されたためである。したがって、以下、圧縮水素容器、水素安全、電気安全に関する要件について概説する。

3. 1. 圧縮水素容器

最高充填圧 70MPa の使用を対象とした圧縮水素容器の要件は従来の安全性確保の考え方とは大きく異なっている。従前は落下試験、化学物質暴露試験、破裂試験など幾つかの試験を個別に行って評価していた。この GTR ではシーケンシャル試験の考え方をより積極的に取り入れている。図 2 に耐久性能試験におけるその手順を示す。15-25℃の常用温度条件以外に -40℃や+85℃の温度条件下での加圧-減圧を連続して繰り返す試験になっている。すなわち、実用状態における使用条件を可能な限り単純化して様々な試験を一連の流れの中で実施するようになっている。

図 3 には火災暴露試験の概念を示す。現在の火災暴露試験は容器全体を火災であぶり、圧力逃がし弁 (TPRD) が作動して安全に水素ガスが放出されるか見るものである。HFCV-GTR では自動車の実用状態における火災に様々な形態があることを考慮して TPRD の最も遠い場所から加熱する局所的火災暴露 (片あぶり) 試験を加えた。

3. 2. 水素安全

水素安全に関しては、日本の保安基準をベースに議論が進められた。したがって、基本の考え方は世界に先駆けて定められた日本の基準と概ね同じである。

3. 2. 1. 通常使用時

通常使用時の水素安全確保に関する主な規定は以下である。

*水素放出方向

火災状態において TPRD が作動した場合の水素放出方向が定められている。車室内等に放出してはいけ

ない、という基本概念は日本の基準とほぼ同じであるが、あらたに、車両の前方向、車両の後部あるいは側面から水平 (路面と平行) 方向に放出してはならない、という規定が加えられた。

*パージ水素濃度

燃料電池から水素を含むガスがパージされる場合は、起動時および停止時を含めた通常の運用中、任意の 3 秒間において平均濃度が 4% を超えないこと、かついかなる時点でも 8% を超えないこと、とされた。日本の基準では単に 4% を超えないこと、とされていたが、高速応答型の水素計が使えるように変更された。図 4 にパージガス水素濃度試験の概要を記す。

*水素漏れ

水素貯蔵システムから万が一水素漏れが生じた場合でも、客室内や他の密閉空間、半密閉空間に放出してはいけないことになっている。

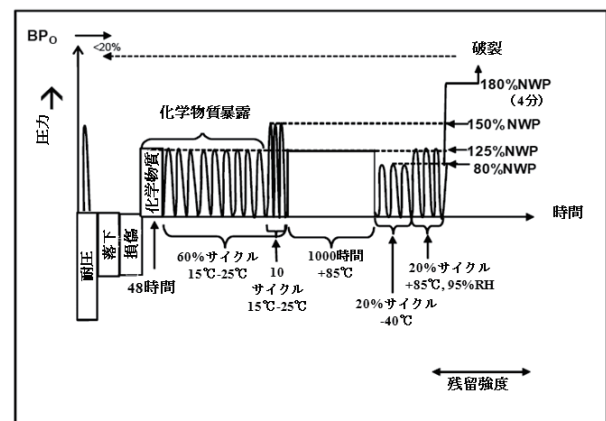


図2 圧縮水素容器の耐久性能試験の概要

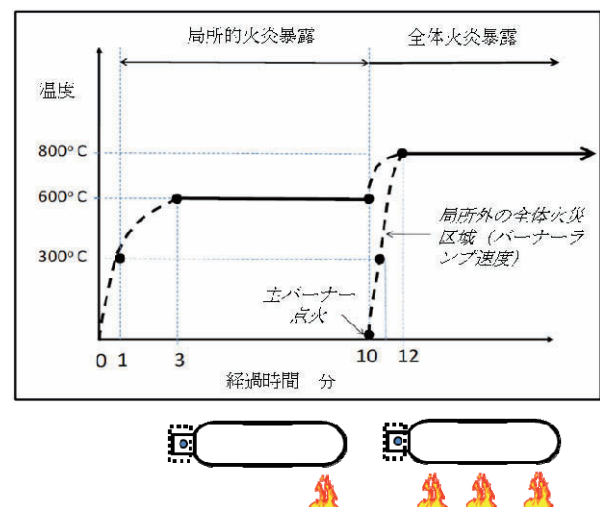
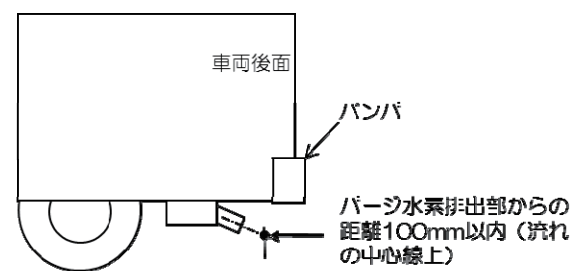


図3 火災暴露試験の概念



センサ位置

図4 パージガス試験の概要

また配管等で漏れが生じた場合、客室内の水素濃度が $2\pm 1.0\%$ で警報を発し、水素濃度が $3\pm 1.0\%$ を検知した場合、水素容器の主止弁を閉じることとなっている。日本の基準では水素濃度4%を検知した場合に、警報を発し、容器の主止弁を閉じることになっていた。ので厳しい方向になっている。

3. 2. 2. 衝突時の燃料漏れ

衝突時の燃料漏れ試験に関しても、世界に先駆けて導入した日本の知見を参考に議論が進んだ。まず、衝突試験方法については、水素・燃料電池自動車固有の方法を考案することはせずに、各国が既に実施している試験を用いることになった。すなわち乗員保護性能を確認するための前面衝突試験、オフセット衝突試験や後突燃料漏れ試験である。

衝突時の燃料漏れの許容限度は衝突後少なくとも60分間、平均118NL/分を超えないこととされた。日本の基準では131NL/分であるが、これはガソリン車の許容燃料漏れ量とエネルギー的に等価な値として定めた。HFCV-GTRでは、日本の基準の算出に用いた高位発熱量ではなく低位発熱量を用いたためより厳しい値になった。また衝突後の客室内への水素流入許容限度に関する規定が付け加えられた。なお衝突時の試験燃料として、日本の基準ではヘリウムガスを容器に充填し、衝突後の漏れ量の結果を水素に換算して評価することにしてある。これに対しHFCV-GTRでは、試験燃料としてヘリウムと水素どちらを使用しても良いことになっている。

3. 3. 電気安全

高電圧による感電保護を主たる目的とした電気安全に関しては、日本では水素燃料電池自動車のために、水素安全性基準の制定と同時に平成17(2005)年3月に定められた。その後、日本は電気自動車全般

についての電気安全基準を平成19(2007)年11月に世界に先駆け定めた。その後国際基準策定に当たり、日本の基準に準拠するようWP29の場で各国と調整を続けてきた。その結果、平成22(2010)年3月、UN ECE規則R100等が改訂され、電気安全に関する国際基準が定まった。

HFCV-GTRの電気安全要件については、直接接点の保護、間接接点の保護などR100の内容をほぼ採用している。あわせて衝突試験時の電気安全確認要件も定めてある。

ここでは細部の技術的な解説は省略するが、水素燃料電池自動車特有の課題について記す。燃料電池は水の電気分解の逆の原理で、水素と酸素を反応させ電気を作り出すとともに水を生成する。したがって原理的に高電圧と水が共存する状態となり対策が必要になる。この点が他の電気自動車の要件に付け加える事項となる。

4. 今後の課題

以上述べたように、水素・燃料電池自動車のための世界統一基準(HFCV-GTR)のPhase1作業は終了したが、残された課題が幾つかある。それらはPhase2の活動の中で解決されなければならない。

それらは、乗用車のみを対象としているHFCV-GTRの他車種への拡大、水素・燃料電池自動車独自の衝突試験方法、燃料供給口に関する要求事項、圧縮水素容器に用いる材料の試験方法や最低破裂要件の再検討等があげられている。

今後、HFCV-GTRをよりよいものとするためにさらに努力を続けていく必要がある。

最後に、このHFCV-GTRを成立させるに当たり、十年を超える活動の間、様々な場面でご協力を頂いた関係各位に深甚な謝意を表したい。

参考文献

- 1) ECE/TRANS/180/Add.13
Global technical regulation on hydrogen and fuel cell vehicles
http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html

6. 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

新たに自動車を使用するときは道路運送車両法に基づき、運輸支局等で新規検査を受けることが義務づけられている。この新規検査を効果的かつ適正に実施して、安全の確保や環境の保全を図るために、自動車及び自動車に備え付けられる装置（以下「自動車等」という。）が基準に適合しているかどうかを事前に審査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、自動車等に関し、国の行う型式指定業務の一環として、安全・環境基準への適合性、燃料消費率の確認等について、公正・中立な立場で審査を行う我が国唯一の機関である。

自動車等の審査業務は、基準不適合車を排除し、当該自動車が市場に出回ることを防止することを目的としており、厳正な審査実施は当然であるが、合理性・効率性の追求が従来にも増して求められていることから、審査部では業務実施体制の強化を図るべく、種々の取り組みを行っている。ここでは、平成 24 年度から平成 25 年度にかけて実施したものを中心に、審査部における昨今の取り組みを概説する。

2. 自動車審査部の役割及び業務実績

国においては、①安全・環境に係る基準の策定、②型式指定等による自動車等の基準への適合性の確保及び③リコール制度による基準不適合車の排除といった施策を通じて自動車等の安全の確保及び環境の保全を図っている。

交通安全環境研究所（以下「研究所」という。）は、これらの各段階において国の施策を支援する業務を行っているが、審査部では、①の段階にあつては、基準認証国際調和支援活動を通じた、審査の知見を生かした技術的支援、②の段階にあつては、自動車等の審査を通じた基準適合性審査の確実な実施に取り組むことを、主な役割としている（図 1 参照）。



図 1 審査部の役割

2. 1. 審査の意義

審査部は、前述の通り、研究所の中において審査業務を行うことをその役割としているが、その審査業務の意義は、道路運送車両法に基づく型式指定制度等に基づき、国が定める安全・環境等の基準の適合性について、様々な使用環境を想定した性能試験を実施するなど技術的な審査を行うことにより、基準不適合の自動車等が市場に出回ることを未然に防止することにある。

審査部では、これらの意義を踏まえて自動車審査業務を実施している。

2. 2. 審査業務の実績

平成 24 年度における自動車等の審査型式数は、自動車 3,295 型式、装置 500 型式である（図 2 参照）。

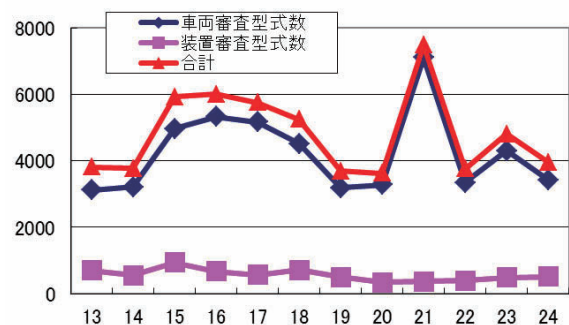


図 2 審査型式数の推移

平成 24 年度から開始している審査業務の運用の見直しを通じ、先行受託試験の受託の取り組みを進めている。その結果平成 23 年度は 84 件、平成 24 年度は 97 件の依頼があったが、平成 25 年度上半期は 95 件の依頼があり増加傾向にある。

また、日本国政府による、車両等の型式認定相互承認協定に基づく規則（以下「協定規則」という。）に基づく装置型式指定の取得（いわゆる E43 認定証の発行）を目的とした試験も増えており、これまで協定規則に基づく装置型式指定の取得の件数（突入防止装置及び大型後部反射器を除く。）は、平成 23 年度が 6 件、平成 24 年度が 21 件であるのに対して、平成 25 年度上半期は 22 件と、大幅な増加となっている。

なお、運用の見直しを開始した平成 24 年度以降平成 25 年度上半期までの 18 ヶ月間の装置型式指定の取扱件数（計 43 件）の内訳は、警音器 4 件、制動装置 6 件、乗員保護関係 2 件、外装 3 件、大型後部反射器以外の反射器類 8 件、施錠装置関係 5 件、速度計 4 件、その他 11 件となっている。

引き続き、審査部として先行受託試験を含む試験の増加及び協定規則に基づく装置指定の取得につながる試験の実施に取り組みを進めていく。

2. 3. 審査体制の構築に係る取り組み

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

昨今の基準の制定、改正に伴い、平成 24 年度及び平成 25 年度に開始した主な試験は、以下の通りである。

2. 3. 1. 協定規則に基づく二輪車騒音規制の導入

L 3 カテゴリーの二輪車を対象とする二輪車騒音規制のうち市街地騒音規制について、これまでの日本の基準では、時速 50km からの全開加速にて騒音値を計測していたが、今回調和した協定規則第 41 号第 4 改訂版に基づく二輪車騒音試験では、全開加速騒音値と定常走行騒音値とを計測した上で、実際の運転状態を念頭においた規定加速度（パースシャル加速）での騒音値を換算し、その換算騒音値が規制値に適合してい

るかを評価する方法としており、国内では平成 25 年 1 月から適用している（図 3 参照）。

この協定規則第 41 号第 4 改訂版による二輪車騒音規制は、我が国としては環境分野では初めての調和項目であることから、平成 24 年 2 月に国土交通省、環境省及び関係団体をメンバーとする国内導入 WG が設置され、審査部もこれに参画し、試験法策定への課題抽出、法規改正を行う国土交通省への技術的助言、試験法の理解促進のための熊谷自動車試験場でのデモ試験の実施（平成 24 年 12 月）、試験法マニュアルの策定などの取り組みへの協力を行った。

この取り組みを通じて、早期に審査体制を構築し、平成 25 年 2 月には協定規則第 41 号第 4 改訂版に基づく世界で初めての審査を行い、平成 25 年 9 月までに合計 6 件の試験を実施している。



図 3 二輪車騒音の基準の変更の考え方

2. 3. 2. 歩行者脚部保護性能基準の導入

我が国では、平成 17 年 10 月より、国内独自の歩行者頭部保護性能基準が適用されていたが、その後、歩行者脚部保護性能基準を含む我が国の提案を反映した新たな歩行者保護性能基準として協定規則第 127 号が新設され、国内では平成 25 年 4 月より適用している。

なお、技術基準においては、Flex-PLI と呼ばれる脚部インパクトを用いる方法も、協定規則第 127 号に認められている E-PLI と呼ばれる脚部インパクトを用いる方法と同等のものとして認められている。

この Flex-PLI を用いる試験の実施にあたっては、①目標とする測定点と実際に衝突した測定点が 10mm を超えるものでないこと、②衝突した場合のインパクト中心線が X 方向 5 度、Y 方向 2 度及び Z 方向 2 度を

超えるものでないこと、等の要件があり、インパクトを正確に測定点に衝突させることが必要である。

審査部では、平成 24 年度に歩行者脚部試験機を導入し、これまでに、衝突ずれ量及び角度公差の測定方法、具体的には①の衝突ずれ量については、塗料塗布による測定、②の角度公差については高速度カメラ又は角速度計のいずれの方法でも正確な測定が可能となるよう機器の取扱いの熟練度を高めた。

審査部として関係各方面の協力を得ながら、1 年半の取り組みを行った結果、歩行者脚部保護性能試験を支障なく実施できることを確認し、審査部施設においても平成 25 年 7 月から認証における試験を開始し、平成 25 年 9 月までに 3 件の試験を審査部施設で実施している（図 4 参照）。

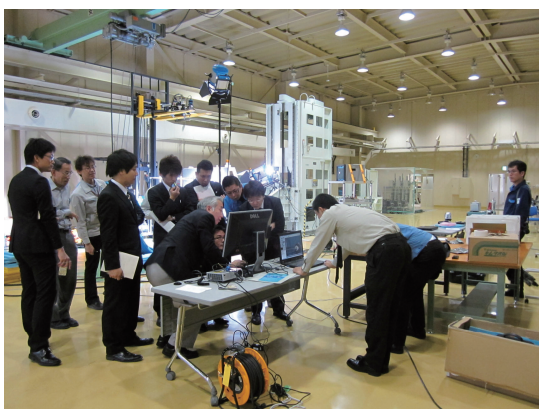


図 4 歩行者脚部試験方法の検証風景

3. 審査業務の国際化に向けた取り組み

自動車の基準調和及び相互認証の推進及び IWVTA（国際自動車型式認証）の推進などにより、ますます海外の試験機関との競争が激しくなることが予想される。

このため、審査部としては、このような自動車基準認証の国際化に伴う環境の変化に対応すべく、国際競争力の強化に取り組むこととして、審査業務の運用の改善を行っている。

3. 1. これまでの審査業務の課題

これまでの審査業務では、①担当者の慎重な解釈による影響によりスケジュール管理が難しいこと、②試験を後ろ倒ししているため、試験での不合格等が発生した場合の工程上のリカバリーが難しいこと、③試験項目の決定が遅いため、予備の車両を用意する必要があることや、短期間で試験をこなす観点で多くの試験

車両が必要となること、④審査部審査開始前に社内試験を行っても、審査項目の確定が遅く、無駄になることがあることや、試験工程前半での社内試験は試験車両のコストが高い、など申請者に対する負担感が否めないところ、この申請者の負担感の解消が課題とされていた。

3. 2. 審査業務の運用改善に向けた取り組み

これらの課題を踏まえ、①申請者が感じる負担感を解消すること、②審査部を活用することの効用を申請者が感じること、の取り組みを進めることにより、他国で取得した認定証の提出ではなく、審査部による試験及び審査の実施を促進し、もって我が国での認定証取得を促進する観点から、先行受託試験制度のさらなる活用を通じて、審査業務の運用の改善にむけた取り組みを進めている。来年度からの本格的な実施に向け、平成 24 年度から試行的に取り組んでいるところである。

具体的には、試験の実施のみを対象としていたこれまでの先行受託試験制度を変更し、①試験項目及び試験車両の決定を先行受託試験で可能とすること、②社内試験を認めることとした項目についてのデータ確認も先行受託試験において可能とすること、により、これまで本申請後の審査期間において実施していた、審査項目及び試験車両の選定、審査部試験及び社内試験を、本申請後の審査部での審査開始までに内容の精査を終えることにより、申請後は標準処理期間内に国土交通大臣への通知に至るものとした。

この結果、①申請者と調整するための十分な期間が確保でき、本省各課への確認や担当官同士での認識共有が図りやすく、より円滑な審査が実施できること、②審査項目及び試験車両が早く決まるためスケジュール管理が容易となること、③予備の試験車両を作る必要がないこと、④試験期間が長く、一台の車両で多くの試験を行うことが可能となり、車両台数を削減することが可能であること、⑤試験不合格が生じて、再試験及び設計修正による工期への悪影響が発生しないこと、⑥試験全体の状況があらかじめ確定しているため試験を無理に前倒しする必要が無く、経済的な工程後半の車両を使用することが可能であること、などの改善が図られることから、先行受託試験にかかる受託費用以上に、申請者においては型式指定申請の部署の負担感の軽減とともに、開発及び実験の部署にお

ける実務面や費用面での負担の軽減にも大きく貢献できるものと考えている。

4. 自動車基準認証の調和活動への取り組み

4. 1. 国際基準認証調和活動

国際基準認証調和活動については、審査業務から得られた知見等を活用し、我が国の国際基準認証調和活動に貢献するため、国内で実施される対応会議への継続的な参加、国土交通省への技術的な助言等を行うとともに、国連の会議にも継続的に参加し、現地での技術的な助言を行うほか、将来日本に導入が見込まれる基準に係る情報収集、他国の専門家との恒久的なネットワークの形成に努めている。

また、IWVTAについては、2016年3月での制度運用開始を目指し、関係者において精力的に作業が進められているが、審査部としても我が国唯一の試験機関として、①審査部が行う試験及び審査により日本国政府が発行するIWVTAが幅広く他の協定加盟国での受け入れられるものであること、②欧州各国にのみ有用な制度とするのではなく多くの協定加盟国にとっても有用な制度とすること、③我が国における審査業務でのIWVTAの活用にあたり我が国での制度運用に支障が生じないものとなること、等の観点で、年5回程度実施されるIWVTAインフォーマルグループ下のサブグループに参画するなど、関心を持って取り組みを進めている。

4. 2. アジア地域への支援

アジア地域における、国際的に調和のとれた基準や認証制度の導入を促進することを目的に国土交通省等が主催した平成24年及び平成25年のアジア専門家会議（マレーシア、タイ及びフィリピンで開催）に講師を派遣し、政府関係者及び業界関係者に対して、電気自動車等の感電防止装置や、速度計などの審査方法について説明及び助言を行うなどの支援を行っている（図5参照）。



図5 アジア専門家会合での説明風景

5. まとめ

近年、複雑で高度な新技術の導入、ハイブリッド車等次世代自動車の普及が進むほか、安全・環境基準の強化や国際基準調和の進展等に伴って、審査に必要な知識・技術レベルが高まっている。

このような中で、信頼性の高い審査制度の運用と確実な審査を実施し自動車の安全確保、環境保全等を実現しつつ、自動車産業の成長に貢献できる存在となることを目指す観点から、今後とも、適切な審査体制の保持・整備などを通じて、厳正な審査のなかで、合理性・効率性の追求に努める所存である。

7. リコール技術検証部における技術検証業務の概要について

— 平成 24 年度に実施した技術検証事案の分析と不具合の低減に向けた提言 —

リコール技術検証部 ※西田 寛 松村 利夫 田中 丈晴 出川 洋

1. はじめに

当部は、平成 18 年 5 月の道路運送車両法等の改正に基づき、当研究所に設置され、国土交通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、これらのメーカーが国土交通省に届け出たリコールの内容が適切か否か、同省の指示により技術的検証を行っている。加えて、場合により同省の職員に同行して、事故・火災の現地調査等も実施している。

当部では、かつて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メーカーの OB と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 24 年度は、95 事案の検証を新規に開始し、110 事案（平成 23 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、リコール及び改善届出に関連した事案が 10 事案で対象台数は 106 万台、その他の市場措置（サービスキャンペーン、保証期間の延長、市場への注意喚起）に関連した事案が 33 事案（市場措置の検討中事案を含む）、リコール届出内容が適切か否か審査に活用された事案が 8 事案であった。また、事故や火災の現地調査 50 件、検証実験 10 件の実施を通じて、メーカーから報告された技術報告の内容を確認する等の業務を行っている。

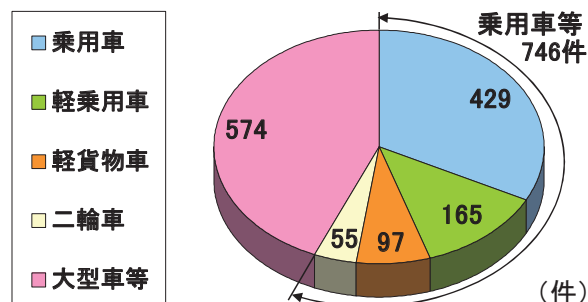
この 7 年余りの技術的検証の経験から見てきたことは、自動車の構造・装置に係る不具合は、その直接の原因は単純なものであっても、その背景には、点検・整備、使用環境及び設計・製造に係る要因が複合しているものが多く、再発防止、さらには未然防止を図って行くためには、メーカー、整備事業者、ユーザー及び行政が、それぞれの立場で、また連携して取り組むことが不可欠であるということである。

そこで、昨年及び一昨年の本フォーラムでは、ひとたび事故や火災に至ると、人的、物的被害及びそれによる社会的影響が大きいトラック・バスについて、構造・装置に起因する不具合の事例を取り上げ、要因を分析するとともに、点検・整備、使用環境、設計・製造のそれぞれの観点を含めた総合的な未然防止対策の方向性について提言してきた。今年度は、日本の保有車両数の 91% を占める乗用車、軽自動車、二輪自動車等（以下「乗用車等」という）について最近の不具合事例の分析を行い、不具合の低減に向けて対策への提言を紹介する。

2. 自動車の構造・装置に係る事故・火災の発生状況

2. 1. 事故・火災の状況

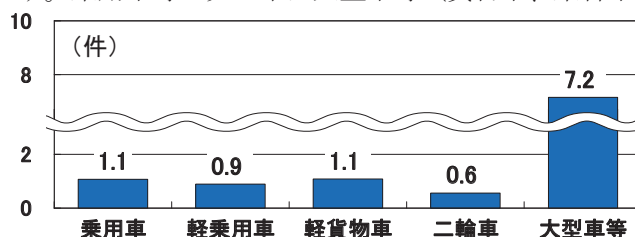
国土交通省に自動車メーカーから報告された自動車の構造・装置に起因した事故・火災情報は、平成 21 年から公表されている。平成 24 年に報告された件数を【図 1】に示す。



【図 1】平成 24 年の事故・火災の状況

総件数は 1,320 件で、乗用車等は 746 件（57%）であった。

【図 2】に 10 万台当たりの事故・火災発生状況を示す。乗用車等の発生率は大型車等（貨物車、乗合車、

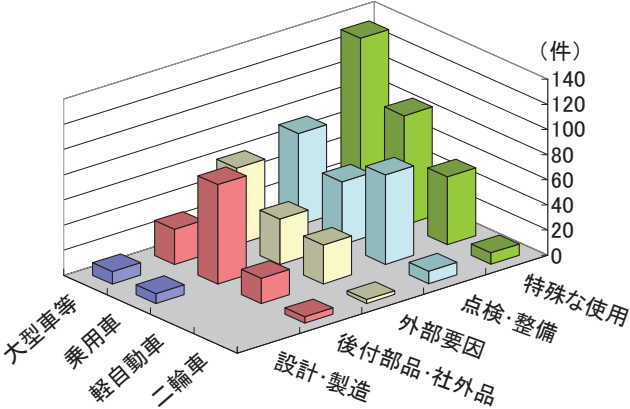


【図 2】10 万台当たりの事故火災発生状況

特殊車、特種車）に比べて相対的に低い。これは、年間の走行距離の差等が要因として考えられる。

2. 2. 事故・火災の原因別発生状況

【図3】に事故・火災の原因別の発生状況を示す。



【図3】原因別事故・火災発生状況

事故・火災情報 1,320 件のうち、ユーザー等の特殊な使用方法に起因するものが 283 件（21%）、点検・整備に起因するものが 204 件（15%）、後付部品に起因するものが 132 件（10%）であるのに対し、設計・製造に起因するものは 18 件（1%）と極めて少なく、使用が長期化する中で、適切な整備やユーザーの点検、メンテナンスが重要であることを示している。

3. 技術検証の状況

道路運送車両法では、自動車の構造・装置又は性能が保安基準に適合しなくなるおそれがある状態又は適合していない状態にあり、かつ、その原因が設計又は製作の過程にあると認められる場合に、自動車製作者等は適切に改善措置（リコール）を実施するよう定められている。当部では、リコールの疑いがある事案について、その多発性や原因、ユーザーへの予見性の有無、改善内容の妥当性等を、技術的な観点から検証している。以下に最近の技術検証の状況について紹介する。

3. 1. 新規に着手した不具合装置別検証事案数

【表1】に平成22年度～24年度の3年間に新規に着手した不具合装置別の技術検証事案数を示す。

【表1】H22～H24 年度不具合装置別新規検証事案数			
不具合装置	H22 年度	H23 年度	H24 年度
原動機	28	39	24
電気・電子装置	4	7	12
動力伝達装置	16	21	11
制動装置	24	13	11
燃料装置	7	10	10
その他	66	38	27
計	145	128	95

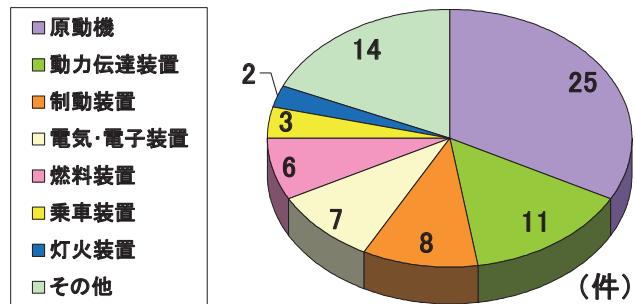
過去3年間に新規に着手した技術検証事案数は年度合計では減少傾向で、上位5装置の傾向を見ると、電気・電子装置及び燃料装置は増加傾向、その他の装置では減少傾向を示している。電気・電子装置の検証事案数は、種々の装置への電子制御技術の採用の増加に伴って急増しているものと考えられる。

3. 2. 検証を終了した事案の分析と考察（乗用車等）

乗用車等で平成24年度に技術検証を終了した（即ち、不具合事象とその原因が明確になった）事案数は76事案で、前年度より若干減少した。これらの事案について分析した結果と考察を以下に紹介する。

(1) 不具合装置別分類

【図4】に不具合装置別に分類したものを示す。

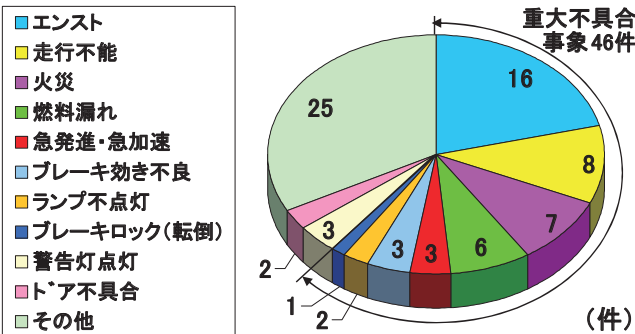


【図4】不具合装置別分類

原動機、動力伝達装置、制動装置、電気・電子装置、燃料装置での技術検証事案数が多く、この傾向は近年変わらない。これらの装置に不具合が発生した場合には他の装置に比べ重大な不具合事象に至る可能性が高いことが、検証事案数の多い理由である。

(2) 不具合事象別分類

【図5】に不具合事象別に分類したものを示す。



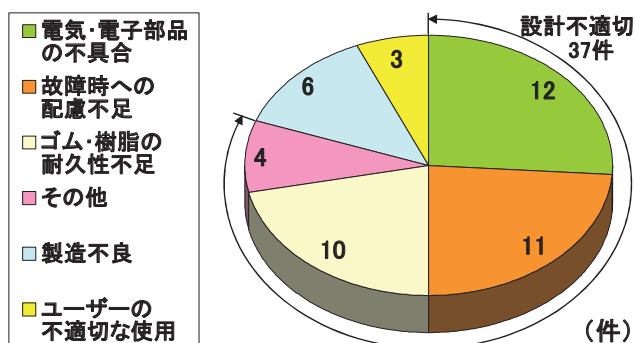
【図5】不具合事象別分類

エンスト、走行不能、火災（車両火災、部分火災）、燃料漏れ、急発進・急加速、ブレーキ効き不良、ランプ不点灯、ブレーキロック（転倒）の順となり、これらの重大不具合事象8事象で46事案、全体の61%を占める。同種の事象でも程度は様々であり、エンストでは、アイドルや信号停止の際にエンストするが再始

動は可能な事案から、走行中にエンジン本体が破損してそのまま走行不能となる事案まで含まれる。また、火災では、車両が全焼する事案や一部の部品が燃える事案がある。エンスト及び火災の一部は当然走行不能となるが、これらは走行不能事案には含めていない。

(3) 不具合の原因の分類

前項で述べた重大不具合事象について【図6】に不具合の原因を分類したものを示す。



【図6】不具合の原因別分類

製造上の問題が原因となった事案は6事案と少ない。また、不具合事象が急加速・急発進の3事案はいずれもユーザーの不適切な使用が原因であった。設計上の問題が原因となった事案は、電気・電子部品に不具合が発生した事案が12事案、設計の際に故障時への配慮が不足したものが11事案、ゴム・樹脂部品の耐久性が不足した事案が10事案、その他が4事案であり、これらは大部分が従前より繰り返されてきた不具合要因である。今後への提言も含めて次項で具体例を紹介する。

3. 3. 自動車の設計に改善の余地がある事例の紹介と自動車メーカーに向けた再発防止の提言

(1) 設計の際に故障時への配慮が不足した事例

部品の不具合や使用に伴う特性の変化、些細な整備ミスが生じた際に、重大事象に至る事例である。設計構想の段階で重大不具合に至らないような配慮が必要である。以下に代表的な事例を紹介する。

- ①AT車で前進中にRレンジ（後退レンジ）にシフトすることを防止する機構がないために、ユーザーが走行中に誤ってRレンジに変速してしまい、デフギヤを破損、走行不能に至る事例。⇒ユーザーミスを防止するため一般的となっている、走行中のRレンジへのシフトを防止する構造の取り込みが望まれる。
- ②プロペラシャフト前端のユニバーサルジョイントにガタが発生し、トランスミッションケースが破

損して前端が脱落したプロペラシャフトが後端を中心に振り回り、燃料タンクを破損して走行中に火災となる事例。⇒プロペラシャフトの脱落防止カバーを装着する等、重大な最終事象に至らないような設計上の十分な配慮が必要。また、ガタ等を許容できない設計であれば、ガタが容易に発見でき、交換ができるような設計的配慮や整備体制、ユーザー・整備業者への啓発活動も必要である。

- ③エンジンオイルの交換作業の際に溢れたエンジンオイルがオルタネータに掛かり、ブラシ内に浸入して炭化・発熱して火災に至る事例。⇒オルタネータが被油しない設計的な配慮や、被油してもブラシ内にはオイルが浸入しないようにする等、様々な整備環境を考慮した設計が望まれる。
 - ④サスペンションのフロントボールジョイントが経年使用により摩耗し、ガタが発生。踏切や路面の段差を走行した際に、ボールジョイントが外れて走行不能に至る事例。⇒ユーザーによる適切な点検整備が不可欠であることは当然であるが、ボールジョイントのガタ点検がし易い構造や、ガタが大きくなってもボールジョイントが外れにくい構造が望まれる（大部分のメーカー、ほとんどの車種は外れにくい構造を採用している）。
 - ⑤スロットルの汚れを洗浄するためにキャブクリーナを噴射すると、スロットルの下方のアイドル制御弁のコイルにキャブクリーナが浸入してコイルをショートさせ、エンストする事例。⇒正しい取扱いの注意喚起とともに、電気・電子部品に整備用の溶液や水が浸入しにくいレイアウト設計が望まれる。
 - ⑥吸気管内部の燃焼制御用のバルブを固定するねじがエンジンの振動のために緩み、ねじやバルブが脱落、エンジン内に吸入されてエンジン破損に至る事例。⇒ねじ・ボルト・ナットの締結不具合は、メーカー、装置を問わず繰り返される不具合である。設計の基本技術の伝承や不具合再発防止システムが望まれる。
- #### (2) 電気・電子部品の構造や制御が不適切、又は使用環境が不適切であった事例
- ①二輪車の転倒センサー保持ブラケットの制振構造が不適切なため、特定のエンジン回転域で共振し、転倒センサーが転倒相当の信号を発してしまい、エンストする事例。⇒性能の確認プロセスが不十

分な初歩的な見落としで、品質確認プロセスの見直しが必要。

- ②カムポジションセンサ内部のコンデンサが劣化し、高温下で正常に信号処理できなくなりエンストする事例。⇒コンデンサの仕様と使用環境の不整合が原因。部品メーカーとの間での電子部品の使用環境に関する十分な確認が望まれる。
- ③電気配線に水が浸入してショート、エンストに至る事例。⇒初歩的であるが、繰り返される事例である。防水コネクタの使用基準の見直しが必要。
- ④燃料噴射装置の瞬時的な燃圧上昇のために、フェールセーフモードに移行していまい、燃料噴射量制限の後にエンストさせてしまう事例、アイドルの学習制御が不適切なためにエンストしてしまう事例等、結果として設計者の意図とは異なる制御となった事例。⇒電子制御を採用する各社、各装置共通の課題である。設計過程でのより確実な検証やバグ検出システムの開発が望まれる。

(3) ゴム・樹脂部品の耐久性が不足した事例

部品の使用環境や周辺の構造が不適切なために、結果として他社に対して不具合発生までの寿命が相当短い事例である。市場でのゴム・樹脂部品の環境温度が設計時の想定と大きく異なり、結果として熱劣化が設計意図よりも大きく、短寿命となる事例がほとんどである。

- ①樹脂製のラジエタリザーバタンクの市場での温度が設計の想定温度より高かったため、熱劣化が早期に進行し亀裂が発生、冷却水が漏れてオーバーヒート、最悪時にはエンストに至る事例。⇒市場で樹脂部品が使用される温度の正しい見極めと使用される温度に見合う材質の選定が必要。
- ②樹脂製の吸気ダクトの市場での温度やエンジンの揺動による応力が設計の想定よりも高く、早期に劣化して亀裂が発生、吸気が漏れてエンストが発生する事例。⇒市場で樹脂部品が使用される温度条件や実車での応力の正しい見極めが必要。
- ③エンジンルーム内にレイアウトされたブレーキバキュームホースが排気系の熱により早期に劣化、亀裂が入りバキューム不足となり、ブレーキの効き不良となる事例。⇒①、②の事例と同様、樹脂・ゴム部品の使用環境と材料選定のミス。使用温度環境と材料の選定には十分な確認が必要。

- ④燃料ホースとパイプの接続方法が不適切で、ゴムの燃料ホースが経年劣化した際に燃料漏れが発生する事例。⇒ゴムが劣化しても燃料が漏れにくい接続方法を採用するメーカーがほとんどであり、最新の技術の取り込みが望まれる。

(4) その他

その他の設計要因で重大事象に至る原因は様々であるが、いくつかの事例を紹介する。

- ①エンジンオイルが劣化してエンジンが焼き付き、コンロッドがエンジン本体を突き破り、漏れたオイルで火災に至る事例。⇒特定の車種、エンジンに多発する傾向がある。エンジンオイルのメンテナンス不良との複合的な不具合であるが、エンジンオイルの劣化防止の検討が望まれる。
- ②クランクシャフトのバランサウエイトの設計が不適切なため、一部のジャーナルメタルの負荷が高くなり、メタルが焼き付きエンジン破損、最悪の場合には車両火災に至る可能性のある事例。⇒軽量化や原価低減を狙う際に起こりがちな設計ミス。各社ごとに設計基準や品質確認プロセスの見直しなどで、再発防止を図ることが必要。
- ③EGR ガスの制御弁に不要に大きい口径のバタフライバルブを採用したため、カーボンの微少な詰まりで密閉不良となり、EGR ガスが吸気に入り、エンストする事例。⇒適切なバルブのタイプやサイズの選定が望まれる。

4. まとめ

リコール技術検証部の平成 24 年度における技術検証業務の概要を報告するとともに、乗用車等の技術検証事案について代表的な事例を紹介してきた。前述したように、自動車の事故・火災につながる重大不具合を防止するためには、適切な設計・製造や適切な点検・整備、さらにはユーザーが適切に使用することが必要である。メーカーには、本稿で紹介した事例のみでなく、自社、他社の失敗事例を教訓とし、重大不具合事象に至る不具合が発生しないように配慮すると同時に、重大な不具合事象に至る前にユーザーに不具合の発生を検知させる設計に取り組んでいただきたい。また、ユーザーは、取扱い説明をよく理解した上で適切に使用することはもちろん、自動車の発信する不具合の兆候を見逃すことなく、状況に応じて適切に対処する等、メーカーとユーザーが互いの責務を果たすことにより、重大不具合の撲滅を実現したい。

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

※後藤 雄一

1. はじめに

世界的に注目される環境問題とエネルギー問題の両問題は今後の重要課題である。自動車の環境保全といった自動車利用者や国民の立場に立つ研究や審査、自動車による大気汚染等の環境基準達成¹⁾、省エネルギーやエネルギー多様化による二酸化炭素排出削減目標達成といった国の目標に直結する業務の実施が当研究所の環境分野の使命である。

環境研究領域は自動車の環境に係る技術基準案の策定等を基本として、平成 23 年度から自動車に関わる地球温暖化の防止等分野、自動車地域環境対策分野、分野横断的課題分野及び測定評価技術の高度化を重点的分野としている。

これら分野に対し基準策定等の国の環境対策に資する目的の研究に限定し、〈1〉大気汚染等の実態の把握及び分析、〈2〉環境・エネルギー対策の評価手法の開発及び効果の予測、〈3〉技術基準案の策定、国際基準調和活動、〈4〉環境・エネルギー対策実施後の効果の評価、並びに〈5〉新技術の開発及び普及促進における産学官連携の中核的役割、という〈1〉から〈5〉のサイクルによる研究目的の重点化を進めている。

2. 研究の概要

環境研究領域の研究は、特別研究、経常研究、国受託研究、競争的資金の研究、民間受託研究に分かれる。主なテーマを以下に挙げる。下線は新規課題を示す。

2. 1. 特別研究、経常研究 (H25 年度)

特別・経常研究は以下のテーマである。

- HEV, EV を含む次世代自動車に対する排出ガス・燃費試験方法に関する研究(特別研究)
- 自動車起源 VOC(Volatile Organic Compounds) 排出実態の把握と新たな試験手順の策定
- 石油代替次世代燃料の重量車への車両適用性と GHG(Greenhouse Gas)排出量の評価研究
- 電動車認証試験法の高度化に関する研究
- LCA(Life Cycle Assessment)による電気自動車の環境負荷評価方法に関する研究
- 音・IT 技術を活用した歩車間通信の研究
- 重量車の多様な燃費向上技術の導入に対応した試験法等に関する研究

- 将来 OBD(On-Board Diagnostics)の先行的課題検討に関する調査研究

2. 2. 国から委託された試験調査 (H24 年度実績)

- 次世代低公害車開発・実用化促進事業
- 尿素 SCR 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
- 騒音規制国際基準調和のための加速走行騒音試験法の導入影響調査
- 軽・中量車用国際調和試験サイクル検証業務
- 交換用マフラー騒音実態調査業務
- 電気自動車の試験法に関する調査
- ハイブリッド車の静音性対策の基準化項目の定量化に関する基礎調査
- 大型車の排出ガス国際調和基準策定調査
- 自動車排出ガス性能劣化要因分析事業
- 粒子状物質の粒子数測定法確立の調査

2. 3. 競争的資金による研究 (H24 年度実績)

- ディーゼル車の環境性能に与えるバイオマス燃料の影響実態把握と評価(IEA)
- 草木質・廃棄物系バイオマスの燃料化による汎用燃料利用技術の開発に関わる燃料利用・LCA に係る分析・評価(NEDO)

3. 研究の方向性

3. 1. 自動車に関わる地球温暖化の防止等分野

最近の異常気象にみられるように地球温暖化対策は喫緊の課題として非常に重要な課題であり、現在の環境研究領域の最重要課題と考える。大幅な CO₂ 排出量低減のためには、将来のエネルギーミックスの動向を見ながら HEV, PHEV や EV 等の電気動力車の大幅な導入が必要と考えられる。重要な部品である蓄電装置について一充電走行距離や電力量消費率の変化等から劣化評価法や LCA 評価の研究を進めている。

エネルギーの有効活用の観点からエネルギー利用の高効率化と再生エネルギーを利用した多様化が一層重要になる。福島原子力発電所の事故による原子力エネルギー見直しから従来燃料における地道な燃費低減と再生エネルギーを含めたクリーンな石油代替燃料の利用の観点が今後重要である。特に、最近、米国においてシェールガス採掘技術の革新により天然ガスの大量供給

が進められつつある。この動きは今後の世界のエネルギー供給動向に大きな影響を与え自動車用エネルギーとして重要性が増すと予想される。

カーボンニュートラルと言われるバイオマス燃料のディーゼルエンジンの研究は、低公害で CO₂ 排出量増大を実効上緩和する方策であり将来において重要性が増すと考える。特に日本の廃食用油バイオ燃料 (BDF, FAME) の現状・課題を示し、今後、その対策として HVO(水素化バイオ燃料)や BTL(バイオ合成軽油)の LCA 評価を行いつつ適用可能性調査を進めている。

また、地球温暖化物質としてディーゼル車後処理装置から出る N₂O 排出量は燃費低減による CO₂ 排出量と比べ無視できないためハイブリッド化やポスト新長期対応による排出量変化等を継続的に調査している。

次世代低公害車開発・実用化促進プロジェクト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、低環境負荷車の開発・普及を目指している。物流分野での大幅な CO₂ 排出量低減を目指して電気・プラグインハイブリッドトラック、高効率ハイブリッドトラックの開発を進めている。次世代ディーゼルエンジンのエネルギー効率評価の精緻化等も進め、公共交通と物流の CO₂ 排出量低減の両面から近未来の重要な地球温暖化対策の一つである。

3. 2. 自動車地域環境対策分野

試験法の国際化等の観点から基準・試験方法の改善等を通して、高度・複雑化する環境技術への対応、自動車に関わる地域環境保全を推進している。

乗用車等の排出ガス低減対策では、日本が推進した世界統一試験法 WLTP(Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure)の gtr (global technical regulation) 化に合わせ、今後 WLTC(Worldwide Harmonized Light Duty Test Cycle)導入に向けた JC08 モードの見直し検討が必要となる。

環境基準がほとんど未達成のオキシダントについて原因物質として VOC、NO_x が考えられ、厳しい NO_x 排出規制の中で VOC の影響寄与の評価が必要である。

ディーゼル重量車の排出ガス低減対策について、2012 年にディーゼル大型車のディフュースト戦略の有無の検証や再発防止の技術的対策について行政に迅速な具体的提案を行い、2013 年 10 月 1 日にディフュースト戦略禁止が告示改正され、社会への影響を最小限に抑えることに貢献した。

続いて高い NO_x 排出を示す新長期規制適合尿素

SCR 車がリアルワールドで多数認められ、NO_x 後処理装置の耐久性・信頼性の確保が求められた。特に、約 6 万台に上る新長期規制適合尿素 SCR 車における触媒システムの劣化に対して、HC 被毒による触媒劣化性能回復に必要な処置の提案を行い早期対策に貢献した。さらに、前段酸化触媒にも永久劣化が認められたため NO_x 排出量が増加した排出ガス性能劣化状態に至る原因の究明と後処理装置のレイアウト位置による排出ガスへの影響等の課題の解決を進めている。²⁾

リアルワールドの排出ガス性能を維持・確保するために、PEMS(車載排出ガス計測システム)の利用や使用過程車排出ガス抜き取り調査(サーベイランス)の導入が是非とも必要である。

一方、微量未規制物質等は未だその実態は明らかでない。すなわち、粒子状物質の量的低減に加え粒子数や粒子組成等の質的改善や VOC 排出量評価等、「量」から「質」が課題となる。

騒音対策について試験法の国際基準調和の観点から環境省第二次答申を踏まえ二輪や四輪の新加速走行騒音試験法が決められている。ハイブリッド車等の静音性対策について世界に先駆けたガイドライン策定に引き続き国際基準調和活動とともに技術基準化を進めている。

3. 3. 分野横断的課題分野

まちづくり等と連携した次世代交通システム(超小型車両、BRT,LRT 等)による持続可能なネットワーク化の低炭素効果評価や技術基準整備の基礎調査が必要である。ハイブリッド車等の静音性対策の発展として音・情報通信技術による情報伝達等、交通弱者の安全・安心な移動環境の研究を進める必要がある。

3. 4. 測定評価技術の高度化

3.1 から 3.3 に応えるために測定対象の時間的・空間的・量的・質的(有害な分子選択等)分解能の向上が不可欠である。今後は量だけでなく時間的・空間的・質的分解能向上が必要と考える。

4. まとめ

研究の概要と今後の方向性について示した。今後重要度を増す地球温暖化対策やエネルギー資源の節約及び多様化への重点化を進めてゆく必要がある。また自動車地域環境対策も重要性を増している。長期には分野横断的課題や測定評価技術高度化も重要である。

5. 参考文献

- 1) 中央環境審議会第 11 次答申,平成 24 年 8 月 10 日
- 2) 後処理装置検討会中間報告,平成 25 年 3 月 14 日

1. 電気自動車における一充電走行距離試験の短縮方法の検討

環境研究領域
自動車審査部

※小鹿 健一郎 新国 哲也
小林 一樹

1. はじめに

電気自動車において“一充電走行距離”はその性能を表す重要な諸元の一つである。2009 年に市場に投入された電気自動車の一充電走行距離は 160 km(三菱 i-MiEV)であったが、2013 年現在、技術の進歩により、その最長距離は 228 km(日産 LEAF)まで延伸している。これにともない一充電走行距離測定に要する時間も約 1.4 倍に増加している。今後も一充電走行距離が延伸した車両が開発されれば、さらに一充電走行距離の測定時間も長くなっていくことが予想される。上記のような技術の進歩に対応した試験方法の開発のために、本研究所では『電動車認証試験法の高度化に関する研究』に平成 24 度から取り組んでいる。

本報告では、試験時間の短縮方法を考案し、実際の車両を用いて試験法に応用した結果をもとに、その精度および短縮効果について議論する。具体的には、二つの短縮方法（圧縮法と計算法）について取り上げることとし、実際の試験法への応用例として、『“圧縮法”の現行の電気自動車試験法¹⁾（TRIAS: Test Requirements and Instructions for Automobile Standards）への応用』、および『“計算法”の現行国連の場で検討されている小型車の世界共通排出ガス試験法²⁾（WLTP: Worldwide harmonized Light-duty Test Procedure）への応用』の二つの例を紹介する。

圧縮法の TRIAS への応用では、TRIAS 中で規定された現行のテストサイクルである JC08 をベースに単位時間あたりの消費電力が大きくなるように新規テストサイクルを作成した。本方法は、テストサイクルのみを変更するため、新たな試験装置や試験設備を準備する必要が無いという長所がある。計算法の WLTP への応用では、『バッテリーの蓄電電力量』と『ある距離を走行するために消費される電力量』の関係に着目し、計算を導入することで、本来二日間必要な一充電走行距離測定を一日に短縮できる試験手順を作成した。バッテリーから消費される電力量を直接計測すると

いう現行法に無い項目を新たに導入することにより、圧縮法よりも大幅な試験時間の短縮が可能になると期待できる。

2. 現行試験手順を対象とした試験時間の短縮

2. 1. 現行試験手順について

現行の一充電走行距離および交流電力量消費率の試験は、図 1 に示すような三日間の日程で行われる。一充電走行距離は、JC08 モードを繰り返し走行し、満充電の状態から、電欠の状態まで走行した距離と定義されており、交流電力量消費率は走行後の充電において電源から消費された電力量を上記一充電走行距離で除したものである。一充電走行距離測定で用いられる JC08 モードの平均车速は 24.4 km/h であるため、200 km の一充電走行距離を有する車両を試験する場合、電欠の状態までに 8 時間以上の走行が必要になる。

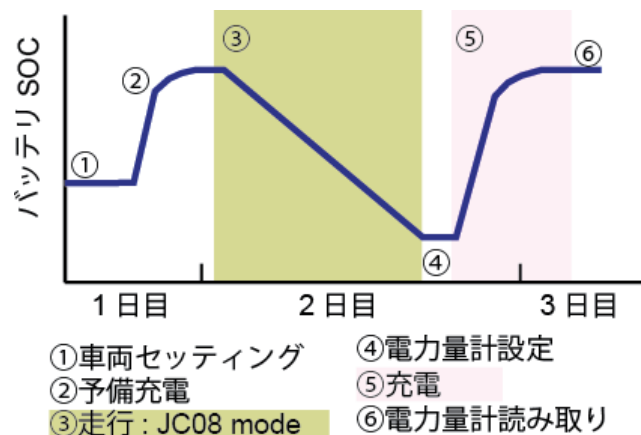


図 1 現行試験法のスケジュール

2. 2. テストサイクルの変更による試験時間の短縮

2. 2. 1. テストサイクル変更の指針

試験時間を短縮する一つの方法として、テストサイクルの変更がある。テストサイクルを変更し、単位時間に消費される電力量が増加するようにすれば、より短い時間で電欠の状態に到達すると考えられる。単位時間あたりの消費電力量を増やすためには、高速走行や急加速といったテストサイクルにおける高負荷の部分を増やす方法や、低速走行や停車（アイドル）といった低負荷の部分を減らす方法が想定される。本研究では電気自動車のアイドル時の電力消費量が、走行時の電力消費量に対して十分に小さい点に着目し、JC08 モードのアイドル区間を短くするように変更した圧縮版 JC08 モードを作成した。

2. 2. 2. 圧縮版 JC08 モード

時間あたりの消費電力量を増大させ、試験時間を短くするテストサイクルとして、圧縮版 JC08 モードを現行の JC08 モードを基に作成した（図 2）。圧縮版 JC08 モードにおける加減速の負荷は JC08 モードと同一であるため、圧縮版 JC08 モードを使用した試験においても、一充電走行距離および交流電力量消費率ともに、JC08 モードで試験したものと同等の値が得られると期待される。JC08 モードの試験時間は 1204 秒であり、その中に 11 のアイドル区間が含まれている。アイドル時間の合計は 357 秒、最小アイドル区間および最大アイドル区間のアイドル時間はそれぞれ 6 秒と 77 秒である。本研究では、上記 11 のアイドル区間をすべて 6 秒に設定し圧縮版 JC08 モードを作成した。これにより圧縮版 JC08 モードの試験時間は 913 秒となり、走行試験の時間を 24%削減できると考えられる。

【圧縮版 JC08 モード】

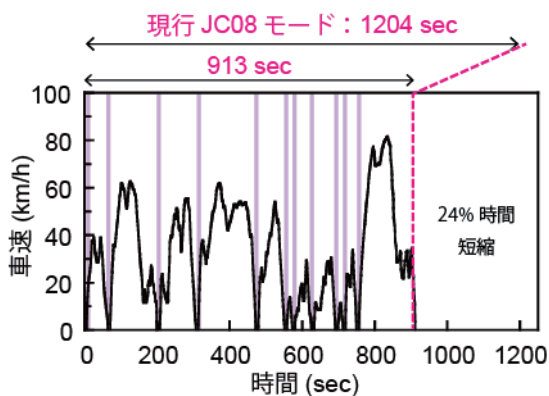


図 2 新規テストサイクル圧縮版 JC08 モード

2. 3. 一充電走行距離試験の結果

新規テストサイクルである圧縮版 JC08 モードを用いて 2 台の電気自動車の一充電走行距離測定を行った。走行試験は 1 台の車両に対し、圧縮版 JC08 モードおよび JC08 モードを用いて、それぞれ 3 回ずつ行った。試験車両 A(駆動用バッテリー総電力量 24 kWh) の場合、一充電走行距離は JC08 モードを用いた測定時 185.8 km、圧縮版 JC08 モードを用いた測定時 190.0 km であった。また、試験車両 B(駆動用バッテリー総電力量 16 kWh) の場合はそれぞれ 117.3 km、119.2 km であった（図 3）。2 つの試験車両ともに圧縮版 JC08 モードを用いて測定した距離が、JC08 モードを用いて測定した距離に対し、約 2%長い結果となった。

試験車両 A の結果に対して、各サイクルの直流電力量の解析を行った（図 4）。圧縮版 JC08 モードを走行した時の直流電力量は JC08 モードを走行した時の直流電力量に比べ、僅かに少ない結果となった。初回と最終回を除外した平均の電力量は、JC08 モード、圧縮版 JC08 モードそれぞれ、863.3 Wh, 842.9 Wh であった。この 19.4 Wh という僅かな差は圧縮版 JC08 モードを作成するにあたり削除したアイドル部分に由来し発生するものであると考えられる。JC08 モードのアイドル部分で消費される電力量とアイドル時間の関係を図 4 内に示す。上記のアイドル時間と消費電力量の関係から推定される圧縮版 JC08 モードの消費電力量減少分は 14.8 Wh は実測値の 19.4 Wh とほぼ一致した。圧縮版 JC08 モードを用いた走行試験の結果が JC08 モードを用いた走行試験の結果より僅かに延長されるのは、本来アイドルで消費されるはずの電力が走行に使われたためであると考えられる。

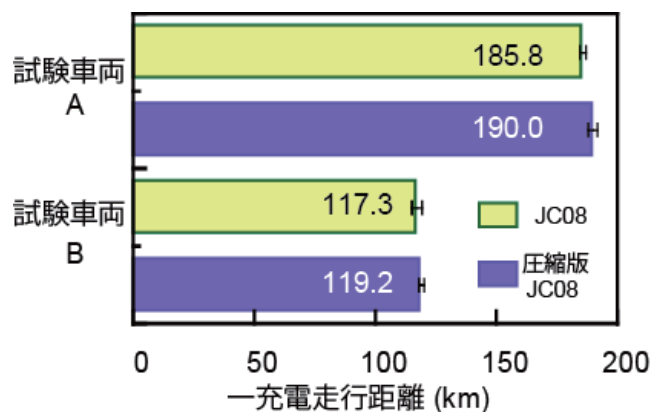


図 3 JC08 と圧縮版 JC08 の一充電走行距離比較

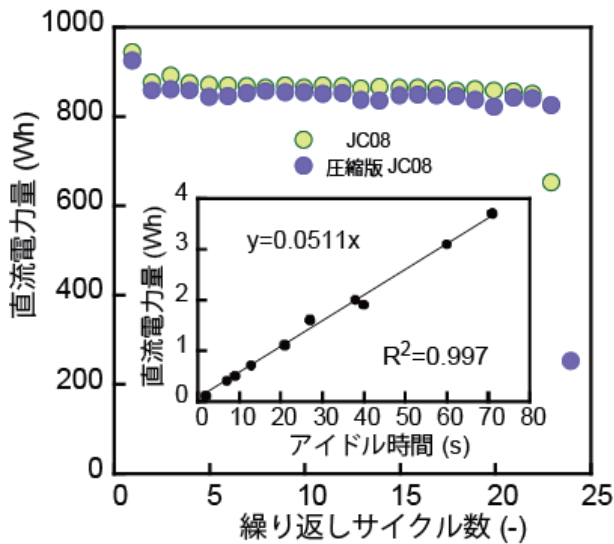


図4 サイクルごとの消費電力量

2. 4. テストサイクル評価

圧縮版 JC08 モードは以下に示す通り、試験時間の短縮に有効であることが明らかとなった。試験車両 A の場合、JC08 モードを用いたときの走行試験時間は 7 時間 35 分であり、圧縮版 JC08 モードを用いたときの走行試験時間は 5 時間 53 分であることから、約 1 時間 42 分の試験時間短縮となった。また、試験車両 B の場合は、4 時間 47 分から 3 時間 41 分へと 1 時間 06 分の試験時間短縮となった。圧縮版 JC08 モードの使用により生じた誤差は JC08 モードを用いた測定結果の 3 % 未満であった。これらの結果から圧縮版 JC08 モードは電気自動車の一充電走行距離を測定する際の試験時間短縮のためのテストサイクルとして有効であることが示された。

3. WLTP を対象とした試験時間の短縮

3. 1. WLTP の試験手順について

WLTP は国連で開発されている小型車の世界統一試験法である。WLTP が日本に導入されると電気自動車の試験期間が増加すると予測される。これは WLTP に 3 つの世界統一テストサイクル (WLTC: Worldwide harmonized Light-duty Test Cycle) ³⁾ (WLTC-LM, -LMH, -LMHexH) が存在するためであり、日本では国内の交通状況を鑑み WLTC-LM と WLTC-LMH の 2 つが主にテストサイクルとして使用されることになると想定される。二つのテストサイクルを用いて測定を行う場合、試験スケジュールは図に示すように全四日間の日程になり、現行の試験スケ

ジュールより一日延長される。

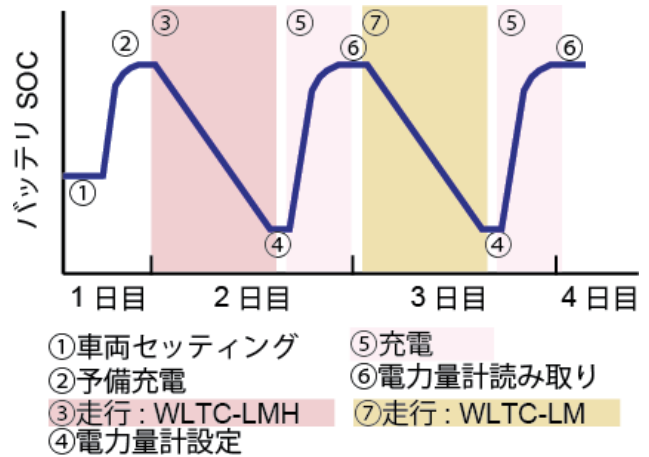


図5 WLTP での想定試験スケジュール

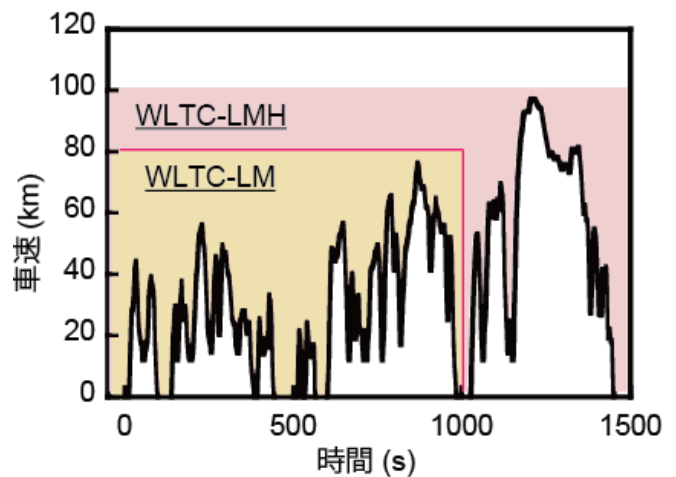


図6 WLTP におけるテストサイクル行距離

3. 2. WLTP に基づく電気自動車の一充電走行距離測定について

試験車両 A に対して、テストサイクル WLTC-LMH, WLTC-LM を用いて一充電走行距離測定を行った。試験車両 A の一充電走行距離 LMH と一充電走行距離 LM、それぞれ 149.4 km と 168.3 km であった。また、サイクル繰り返し回数および測定時間はそれぞれ 10 回、4 時間 06 分と 21 回、5 時間 57 分であった。

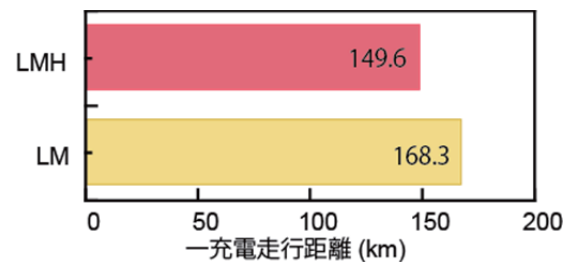


図7 テストサイクルにより異なる一充電走行距離

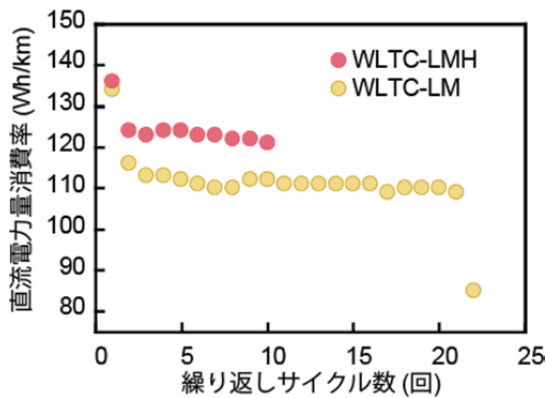


図8 サイクルごとの直流電力量消費率

3. 3. 計算法の導入による試験日程の短縮

試験時間を短縮するもう一つの方法に、計算法の導入がある。計算法は、電池使用可能エネルギー量 (UBE: Usable Battery Energy) と直流電力量消費率の関係から一充電走行距離を推定するものである (式1)。計算方法の詳細は SAEJ1634⁴⁾に記されている。

ここでは上記計算法を WLTP の試験手順に応用する方法を記述する。具体的には、一充電走行距離 LMH を実測によりもとめた後、一充電走行距離 LM を計算法により求めることとした。まず初めにテストサイクル WLTC-LMH を用いて一充電走行距離測定を行った。このとき、WLTC-LM に相当する区間の直流電力消費量および走行距離のデータを取得した。また、本一充電走行距離測定の際に消費した電力量の総和を UBE として計算に用いた。次に得られたデータをもとに WLTC-LM に相当する区間の直流電力消費率 ($ECdc_{LM}$) およびサイクルスケーリング係数 (k_{LM}) を計算により求めた。このサイクルスケーリング係数はそれぞれのサイクルに消費される直流電力量の総消費直流電力量 (=UBE) に占める割合を表している。1 サイクル目の直流電力消費率およびサイクルスケーリング係数をそれぞれ $ECdc_{LM_1}$ 、 k_{LM_1} と記述し、2 サイクル目以降の直流電力消費率の平均を $ECdc_{LM_avg}$ と記述した。

$$Range_{LM} = \frac{UBE}{k_{LM_1}ECdc_{LM_1} + (1 - k_{LM_1})ECdc_{LM_avg}} \quad (1)$$

3. 4. 計算法により求めた一充電走行距離

計算法により求めた一充電走行距離 LM は 164.9 km であった (これは実測により求めた値 168.3 km に対し誤差 2%)。計算により求められた初回および平均の直流電力消費率はそれぞれ 132.7 および 111.5

Wh/km であった。これらの値も実測の直流電力消費率とよく一致した (図8)。

表1 計算法により求めた一充電走行距離 LM

Test No.	UBE (kWh)	k_{LM_1}	ECdc _{LM} (Wh/km)		Estimated Range _{LM} (km)	Error
			first cycle	average of subsequent cycles		
n=1	18.57	0.057	135.7	112.2	163.5	
n=2	18.62	0.055	129.7	111.9	165.0	
n=3	18.57	0.056	132.5	110.5	166.2	
Average	18.59	0.056	132.7	111.5	164.9	-2.0%

3. 5. 計算法を含む試験手順の評価

計算法による一充電走行距離 LM の予測は実測に対し誤差 2%と高い精度を示した。この計算法を導入することにより4日必要な試験日程を3日に短縮できる可能性が示された。

4. まとめ

本報告では、TRIAS および WLTP における電気自動車の一充電走行距離試験の試験時間短縮に資する二つの方法について、その精度および時間短縮の効果を明らかにした。今後、上記方法をベースとした内容を一充電走行距離測定のオプションとして TRIAS や WLTP への導入を目指して、交通研としての活動を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 2012 Automobile Type Approval Handbook for Japanese Certification, http://www.jasic.org/e/08_publication/bb/20_handbook.htm
- 2) WLTP, <https://www2.unece.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=2523179>
- 3) WLTC, https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/5801079/WLTP-DHC-16-06e_rev.xlsx
- 4) SAE J1634: Battery Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure, SAE International, 2012

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

環境研究領域 ※水嶋 教文 山口 恭平 新国 哲也 鈴木 央一 後藤 雄一

1. はじめに

昨今、一般乗用車のカタログ燃費の向上は著しく、ガソリン車の場合 10 年前の燃費と比べると 2 倍ほどにまで改善されている。これは、ユーザの低燃費車に対するニーズがより強くなっていることに加え、適度な燃費基準の制定による効果が大きいためと考えられる。軽・中量車の場合、燃費基準に対する達成レベルを評価するための試験法として、一定の環境下において定められたモード(現在は JC08 モード)をシャシダイナモメータ上で走行し、計測した排出ガスからカーボンバランス法により燃料消費率を測定する方法が定められている。この方法は、自動車の燃費性能を比較するために一定の走行状態を定めて測定している一つの指標であるため、実燃費との乖離が生じている部分はあるものの^{(1), (2)}、車両を実際に走行させるため、搭載されている技術を総合的に評価することが可能である。

一方、重量車に関しても平成 18 年から世界に先駆けて燃費基準が導入され、同時に燃料消費率試験法⁽³⁾も運用が開始された。重量車は用途に応じて多数の仕様が存在し、さらに試験設備の導入に莫大なコストを要するため、乗用車と同じように燃料消費率を計測することは困難である。このため、重量車における燃料消費率試験法(以下、重量車燃費試験法)は車両シミュレーションを基本とした方法を採用している。ただし現状の試験法は、エンジンの効率および動力伝達系の仕様を除いた要素は車両区分毎で一定値であるため、それが実燃費との乖離の原因となるほか、総合的な燃費向上を一層促すためには、さらなる改善の余地があることが指摘されている⁽⁴⁾。

そこで、重量車の次期燃費基準値の策定に併せて燃費試験法についても見直し、総合的な燃料消費率の評価を目指して燃費試験法を高度化することが要求されている。本報では、現在運用中の重量車燃費試験法について解説すると共に、諸外国の動向と比較しながら、試験法の更なる高度化に向けた課題および取り組みについて述べる。

2. 日本国内の重量車燃費試験法

図1に現在運用されている重量車燃費試験法における車両シミュレーションの概要を示す。シミュレーションにおいて仮定している走行モードは都市内(JE05)モードおよび都市間(高速)モードであり、これらのモードを走行した場合の燃費を、車両区分毎に定められた割合で加重調和平均することで燃費値を計算する。シミュレーションを実施する際には、まず表1に記載する車両諸元を決定する。また、予め定常条件におけるエンジン回転数[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を作成する。ここで、全負荷エンジントルク、エンジン摩擦トルク、エンジン燃費マップはエンジン台上試験での実測により得なければならない。表1に

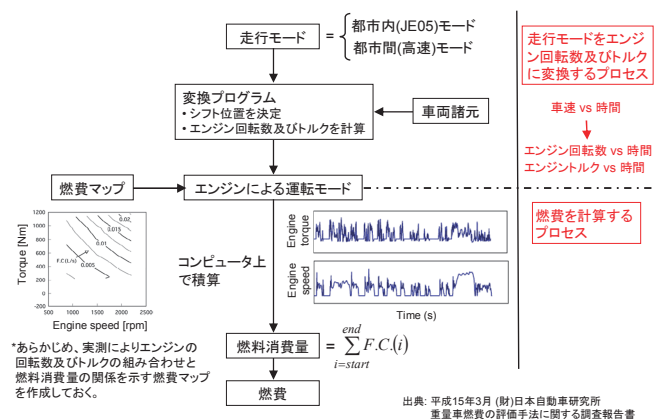


図1 重量車燃費試験法におけるシミュレーション概要

表1 燃費シミュレーションに必要な車両諸元

諸元項目		諸元設定	
① エンジン	全負荷エンジントルク	エンジン毎	実在諸元
	エンジン摩擦トルク		
	アイドリングエンジン回転数		
	最高出力エンジン回転数		
	有負荷最高エンジン回転数		
② 動力伝達系	変速機ギア段数	変速機毎	実在諸元 ※申請(届出)される全ての種類の変速機毎に燃費評価
	変速機ギア比		
	終減速機ギア比	エンジン毎 変速機毎	(平均)実在諸元 ※エンジン、変速機毎に、申請(届出)される全車両諸元に基づき計算される最高段V1000算術平均値に最も近い実在V1000値を持つ終減速機ギア比およびタイヤ動的負荷半径を諸元値として設定
	タイヤ動的負荷半径		
	③ 走行抵抗	転がり抵抗	全社共通 燃費区分毎
空気抵抗			
④ 車型	空車時車両重量	全社共通 燃費区分毎	標準諸元 ※燃費区分毎に前製造事業者等共通の一律値(登録(販売)実態を踏まえた平ボディ標準値)を標準諸元値として設定
	最大積載量		
	乗車定員		
	全高		
	全幅		

示す車両諸元に基づいて、シミュレーションにおいて JE05 モードや高速モードといった車速パターンを 1 秒毎のエンジン回転数およびトルクに変換する。その際に必要となるのが変速タイミングを定めるアルゴリズムであり、本試験法においては排出ガスの認証試験で用いられる車速変換プログラムと同様のアルゴリズムを用いている。走行モードから変換した 1 秒毎のエンジン回転数およびトルクを基に、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値[km/L]を得ることが可能となる。

表 1 に示した車両諸元のうち、③走行抵抗、④車型は車両区分毎に全社共通となっており、車両区分毎に定められた諸元値を使用することとなっている。参考としてトラクタを除く貨物自動車の標準諸元を表 2 に示す。転がり抵抗係数および空気抵抗係数は、表 2 に示す諸元値を用いて式(1)および式(2)から算出する。

$$\mu_r = 0.00513 + \frac{17.6}{W} \quad (1)$$

$$\mu_a A = 0.00299 B \cdot H - 0.000832 \quad (2)$$

(バスの場合、上記×0.680)

ここで、 μ_r ：転がり抵抗係数[N/kg]、 μ_a ：空気抵抗係数[N/(m²·(km/h)²]、 A ：前面投影面積[m²]、 W ：試験時車両重量[kg]、 B ：全幅[m]、 H ：全高[m]

試験時車両重量 W [kg]は半積載条件を仮定し、以下の式(3)または(4)により決定する。

(トラックまたはトラクタの場合)

$$W = \text{空車時車両重量} + \frac{\text{最大積載量}}{2} + 55 \quad (3)$$

(バスの場合)

$$W = \text{空車時車両重量} + \frac{\text{乗車定員} \times 55}{2} \quad (4)$$

表 2 トラクタを除く貨物自動車の車両標準諸元

No	区分		標準諸元			
	車両総重量 範囲 (t)	最大積載量 範囲 (t)	空車時 車両重量 (kg)	最大積載量 (kg)	乗車定員 (人)	全高 (m)
1	3.5<&≤7.5	≤1.5	1 957	1 490	3	1.982
2		1.5<&≤2	2 356	2 000	3	2.099
3		2<&≤3	2 652	2 995	3	2.041
4		3<	2 979	3 749	3	2.363
5	7.5<&≤8	—	3 543	4 275	2	2.454
6	8<&≤10	—	3 659	5 789	2	2.625
7	10<&≤12	—	4 048	7 483	2	2.541
8	12<&≤14	—	4 516	7 992	2	2.572
9	14<&≤16	—	5 533	8 900	2	2.745
10	16<&≤20	—	8 688	11 089	2	3.049
11	20<	—	8 765	15 530	2	2.934

表 3 各車種の都市内・都市間走行割合

種別	乗用自動車 (乗車定員11人以上)		貨物自動車			
	一般バス	路線バス	トラクタ以外		トラクタ	
GWV範囲	14 t 以下	14 t 超	20 t 以下	20 t 超	20 t 以下	20 t 超
走行割合						
上段：都市内モード	0.9	0.65	1.0	0.9	0.7	0.8
下段：都市間モード	0.1	0.35	0.0	0.1	0.3	0.2

都市内モードおよび都市間モードの走行割合は表 3 に示すとおりである。車種に応じて設定されるこれらの係数を用いて、式(5)の加重調平均を取った値を重量車モード燃費値として算出する。

$$E = \frac{1}{\alpha_u/E_u + \alpha_h/E_h} \quad (5)$$

ここで、 E ：重量車モード燃費値[km/L]、 E_u ：都市内モード燃費値[km/L]、 E_h ：都市間モード燃費値[km/L]、 α_u ：都市内走行割合、 α_h ：都市間走行割合

以上の方法で車両燃費値を算出する方法となっており、主にエンジンの効率改善が評価される仕組みとなっている。

3. 諸外国の重量車燃費試験法に関する動向

3. 1. 米国の重量車燃費試験法

米国においては、EPA (Environmental Protection Agency：環境保護庁)および NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration：運輸省道路交通安全局)が共同で重量車の燃費および GHG(Greenhouse Gas：温室効果ガス)規制を策定し、同時に燃費試験法についても定めている。重量車の中でも、ピックアップトラックを除く商用車(Vocational Vehicle)およびトラクタ(Combination Tractor)については、GEM (Greenhouse Gas Emission Model)といわれる車両シミュレーション⁽⁵⁾とエンジン台上試験で評価した燃料消費率および GHG に対して、別々に規制が課せられている。

GEM は EPA の GHG 規制および NHTSA の燃費規制への適合性を評価するために EPA によって開発されたシミュレーションツールであり、商用車およびトラクタに対して表 4 に示す 12 のサブカテゴリに区分して適用される。図 2 には GEM のユーザインターフェースを示す。ここで、ユーザがサブカテゴリを選定すると、シミュレーションに必要な項目の入力が求められ、入力後に実行することで結果が出力される。表

表 4 商用車およびトラクタのサブカテゴリ

区分	車両総重量 (lbs)	商用車	トラクタ
2b	8 501-10 000	Light Heavy-Duty Vehicle (LHDV)	
3	10 001-14 000		
4	14 001-16 000		
5	16 001-19 500		
6	19 501-26 000	Medium Heavy-Duty Vehicle (MHDV)	Day Cab - Low Roof
7	26 001-33 000		
8	33 001-	Heavy Heavy-Duty Vehicle (HHDV)	Day Cab - Mid Roof
			Day Cab - High Roof
			Day Cab - Low Roof
			Day Cab - Mid Roof
			Day Cab - High Roof
			Sleeper Cab - Low Roof
			Sleeper Cab - Mid Roof
			Sleeper Cab - High Roof

5に各サブカテゴリに対して必要な入力項目を示す。その他の項目については、サブカテゴリ毎の共通の値が用いられている。参考として、商用車で用いられている主な共通仕様を表6に示す。GEMではメーカ個別の転がり抵抗係数および空気抵抗係数(トラクタのみ)を入力諸元とすることを特徴としている。

テストサイクルおよび各サイクルの走行割合を表7に示す。ここで、CARB トランジェントとは、CARB (California Air Resources Board)がシャシダイナモ試験用に策定した Heavy-Duty Diesel Truck 用トランジェントモードである。GEM の結果は表7に示す割合に応じて加重平均を取ったものとなる。

エンジンについては前述したとおり別途台上試験

図2 GEM のユーザインターフェース

表5 各サブカテゴリで必要な入力項目

	商用車	トラクタ Class 7, 8 Day Cab	トラクタ Class 8 Sleeper Cab
空気抵抗係数	—	○	○
転がり抵抗係数(操舵輪)	○	○	○
転がり抵抗係数(駆動輪)	○	○	○
速度上限値	—	○	○
軽量化対策	—	○	○
アイドルストップ	—	—	○

表6 商用車で用いられる主な共通仕様

モデル	LHDV	MHDV	HHDV
サブカテゴリ	商用車 (Class 2b-5)	商用車 (Class 6-7)	商用車 (Class 8)
エンジン燃費マップ	7L – 200 HP	7L – 270 HP	15L – 455 HP
変速機	6速MT	6速MT	10速MT
変速機ギア比	9.01, 5.27, 3.22, 2.04, 1.36, 1.00	9.01, 5.27, 3.22, 2.04, 1.36, 1.00	14.80, 10.95, 8.09, 5.97, 4.46, 3.32, 2.45, 1.81, 1.35, 1.00
変速機伝達効率	0.92, 0.92, 0.93, 0.95, 0.95, 0.95	0.92, 0.92, 0.93, 0.95, 0.95, 0.95	0.96, 0.96, 0.96, 0.96, 0.98, 0.98, 0.98, 0.98, 0.98, 0.98
タイヤ動的負荷半径 (m)	0.378	0.389	0.489
積載量 (lbs)	5 700	11 200	15 000
総重量 (lbs)	16 000	25 150	42 000
前面投影面積 (m ²)	9.0	9.0	9.8
空気抵抗係数	0.6	0.6	0.7
終減速機ギア比	2.85	3.36	2.64

表7 GEM で計算される各テストサイクルの走行割合

テストサイクル	商用車	トラクタ Class 7, 8 Day Cab	トラクタ Class 8 Sleeper Cab
CARBトランジェント	42%	19%	5%
55 mph 定常	21%	17%	9%
65 mph 定常	37%	64%	86%

を実施し、仕事量あたりの燃料消費量および GEG 排出量を評価する。商用車用エンジンについては FTP(Federal Test Procedure) HD トランジェントテストサイクルといわれる過渡試験を、トラクタ用エンジンについては SET (Supplemental Emission Test)といわれる定常試験を実施する。図3に FTP HD ディーゼルトランジェントサイクル⁽⁶⁾を、表8に SET モードを示す。

以上、米国は車両の燃費改善技術についても評価の対象とし、車両とエンジンをそれぞれ異なる試験法により評価する方法を導入している。これはエンジンメーカと車両メーカが異なるケースの少なくない米国の事情を反映したものと考えられる。

3. 2. 欧州で検討中の重量車燃費試験法

欧州委員会は2012年1月に“Reduction and Testing of Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles – Lot 2: Development and testing of a certification procedure for CO₂ emissions and fuel consumption of HDV”(以下、Lot 2)⁽⁷⁾を公表し、検討中の試験法の考え方について詳細を明らかにした。これによると、図4に示すよう

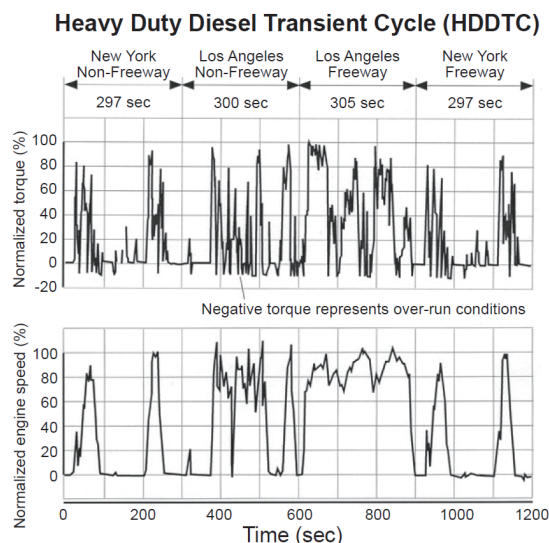


図3 FTP HD ディーゼルトランジェントサイクル

表8 SET モード

モード	時間 (s)	エンジン回転数	トルク %
1	170	アイドル(ホット)	0
2	173	A	100
3	219	B	50
4	217	B	75
5	103	A	50
6	100	A	75
7	103	A	25
8	194	B	100
9	218	B	25
10	171	C	100
11	102	C	25
12	100	C	75
13	102	C	50
14	168	アイドル	0

$$A=n_{i0}+0.25\times(n_{hi}-n_{i0})$$

$$B=n_{i0}+0.50\times(n_{hi}-n_{i0})$$

$$C=n_{i0}+0.75\times(n_{hi}-n_{i0})$$

n_{hi} : 最大出力の70%を得る回転数

n_{i0} : 最大出力の50%を得る回転数

※各モード間には20 sの移行期間があり、エンジン回転数およびトルクを線形的に変化させる

に車両の各要素を考慮した車両シミュレーションを基本とする重量車燃費試験法の導入を予定している。

エンジンについては、日本と同様にエンジン燃費マップを用いる方法としているが、定常状態により計測した値に対して過渡状態を考慮する方法を提案している。その方法の概要を図5に示す。エンジン台上試験において定常で計測したエンジン燃費マップを基にWHTC (World Harmonized Transient Cycle)を仮定して計算した燃費値と、WHTC(コールド、ホット)の過渡運転を実施して計測した燃費をコールド 14%およびホット 86%の割合で加重平均した燃費値の差異を補正係数(WHTC correction factor)とする。その補正係数を定常で計測したエンジン燃費マップに乗じること、補正後のエンジン燃費マップを得る手法を検討している。また、定常状態と過渡状態の燃費の乖離は運転状態の影響を受けることが考えられるため、WHTCのurban、rural、motorwayといったパート毎に補正係数を求め、平均車速に応じて各補正係数を使い分ける方法についても検討中である。

車両走行抵抗については実測値に基づいてシミュレーションを行うことを前提としている。走行抵抗のうち空気抵抗については、車両区分毎の標準車型を用い、ホイールトルク法で計測する方法を検討している。もし、トルクの計測に課題がある場合、惰行法を採用することも考えられる。また、転がり抵抗についてはタイヤ個別の転がり抵抗係数をタイヤ単体試験

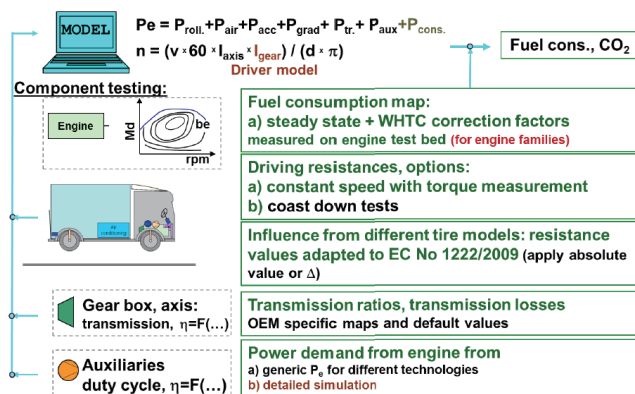


図4 欧州で検討中の重量車燃費試験法の概要

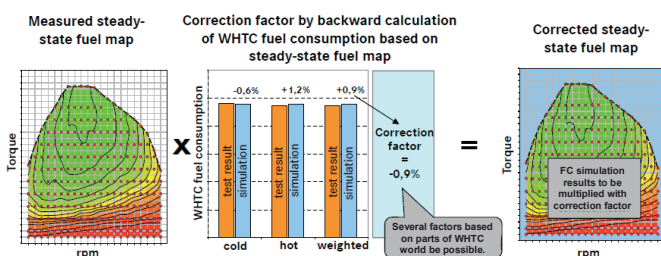


図5 エンジン燃費マップにおける過渡補正の方法

により実測することで算出する方法を提案している。

変速機については、製品個別のギア比および実測した伝達効率を適用するか、全社共通の値を適用するかを検討中である。また、シフトタイミングのモデルや補機類のモデルについても詳細は検討中である。

車両区分等についても Lot 2 の中で明らかにしている。表9に検討中の車両区分(Segmentation)を示す。車両を0~17のクラスに分類し、各クラスで5つの用途(Long haul、Regional delivery等)に分けて車両区分を定義している。ここでは、これらの車両区分毎に実態に伴った最適なテストサイクルを適用すること、また、クラス毎に標準車型(Norm body)を決定し、それぞれで空気抵抗を測定することを提案している。

以上が欧州で提案されている重量車燃費試験法の概要であるが、Lot 2 においてはいずれの項目も最終決定に至っておらず、Lot 3 のとりまとめに向けて技術的な検討を進めている最中である。

4. 重量車燃費試験法のさらなる高度化に向けた課題

米国および欧州の試験法は、日本の試験法に対して主に以下の二つの点について大きな違いがある。

- 1) 車両毎の実測値に基づいた走行抵抗値をシミュレーションに用いる。
 - 2) エンジンの過渡状態で燃費を評価する。
- 今後、国際基準調和を踏まえつつ、試験法のさらなる高度化を図るためには、これらの導入を検討することが重要な課題となる。

走行抵抗に関して、日本国内においては軽・中量車

表9 欧州で検討中の車両区分の定義

Identification of vehicle class					Segmentation (vehicle configuration and cycle allocation)					Norm body allocation			
Axes	Axe configuration	Chassis configuration	Maximum GVM [t]	Vehicle class	Long haul	Regional delivery	Urban delivery	Municipal utility	Construction	Standard body	Standard trailer	Standard semitrailer	
2	4x2	Rigid	>3.5 - 7.5	0		R	R			B0			
2	4x2	Rigid or Tractor	7.5 - 10	1		R	R	R		B1			
		Rigid or Tractor	>10 - 12	2	R	R	R			B2			
		Rigid or Tractor	>12 - 16	3		R	R			B3			
		Rigid	>16	4	R+T	R		R		B4	T1		
	4x4	Tractor	>16	5	T+S	T+S						S1	
		Rigid	7.5 - 16	6				R	R	B1			
		Rigid	>16	7					R	B5			
		Tractor	>16	8					T+S				W1?
3	6x2/2-4	Rigid	all weights	9	R+T	R		R		B6	T2		
		Tractor	all weights	10	T+S	T+S						S2	
	6x4	Rigid	all weights	11					R	B7			
		Tractor	all weights	12					R			S3	
		Rigid	all weights	13						R	W?		
		Tractor	all weights	14					R	W?			
4	8x2	Rigid	all weights	15		R				B8			
	8x4	Rigid	all weights	16					R	B9			
	8x6 & 8x8	Rigid	all weights	17					R	W?			

R = Rigid & Body

R+T = Rigid & Body & Trailer

T+S = Tractor & Semitrailer

W = no ($C_d A_{\text{ref}}$) measurement, only vehicle weight and frontal area measured

で惰行法やホイールトルク法による計測法が既に運用されているが、重量車については特に定められていない。そこで国土交通省は、重量車に対しても走行抵抗を評価できる測定方法を開発し、今後の燃費基準の見直しに反映させるための検討を行っている。

エンジン過渡状態に関して、米国においては、エンジン台上試験で図3に示すFTP HD トランジェントサイクル、あるいは図4に示すSET モードを運転して燃費を評価することで考慮している。ただし、SET モードについては、モードの移行過程のみに過渡的な変化を含んでいることになる。また、欧州においては定常状態で得られたエンジン燃費マップに、WHTC correction factor を乗じることで過渡状態を考慮している。一方、日本においては、前述したように市場実態を反映した JE05 モード等を走行した際のエンジンの運転状態を車両毎に求め、そのエンジン運転状態での燃費を定常運転で求めた燃費マップから計算する方法を採用している。このため、過渡状態の燃費性能は考慮されておらず、日本においても欧州と同様に車両シミュレーションに適用可能な方法により、エンジンの過渡状態を考慮するのが望ましい。

5. エンジン過渡状態の考慮に向けた技術的な検討

交通安全環境研究所では、現在運用されている重量車燃費シミュレーションによる燃費値と、エンジンの過渡運転により実測した燃費値との乖離について現状を把握し、重量車燃費試験法におけるエンジン過渡状態の考慮について技術的な検討を開始した。

表10に示すポスト新長期排出ガス規制適合の総排気量13 L直列6気筒ディーゼルエンジンに対して、燃費マップを用いて重量車燃費シミュレーションにより計算した燃費値と、エンジン台上試験において各種モードを過渡運転して実測した燃費値の比較を図6に示す。評価したモードは都市内(JE05)モードおよび都市間(高速)モードに加え、都市内モードの645～1410秒における市街地モードである。ここでは、同一エンジンに対して16条件の車両仕様を与えて計算および実測した。同図より、市街地モードで約5.5%、都市内モードで約2.7%、都市間モードで約1.1%、シミュレーション燃費の方が過渡運転による実測燃費と比較して高い燃費値となった。つまり、シミュレーション燃費と過渡運転による実測燃費は、エンジンの運転状態によってその乖離の程度が異なるといえる。

表10 試験エンジンの諸元

エンジンタイプ	直列6気筒ディーゼルエンジン
吸気システム	インタークーラターボチャージャ
燃料供給システム	コモンレール(最大200MPa)
総排気量 L	13
圧縮比	17.0
ボア x ストローク mm	137 x 146
最高出力 kW/rpm	279 / 1 700
最大トルク Nm/rpm	1 961 / 1 100
適合排出ガス規制	ポスト新長期排出ガス規制

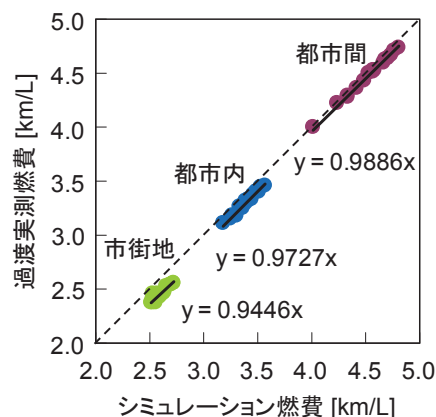


図6 シミュレーションによる燃費と過渡運転による実測燃費の比較

近年のディーゼルエンジンは、排出ガス規制の強化に伴い高過給・高 EGR システムを導入しており、定常運転におけるエンジンの運転状態と、過渡運転中の同一エンジン回転数およびトルクにおけるエンジンの運転状態は、必ずしも一致しない。これは、過渡運転時においてはターボチャージャや EGR の応答遅れによる新気導入量および EGR 率の変化、これによる燃焼悪化を補うための VGT ノズル開度、EGR バルブ開度、および燃料噴射時期等の過渡的な制御などが要因と考えられる。

このことを確認するため、エンジン回転数、トルク、過給圧力、吸入空気流量、および燃料流量の瞬時値について、定常試験データを基に JE05 モードのシミュレーションにより計算した場合と、エンジン台上試験において JE05 モードを過渡運転して実測した場合を比較した結果を図7に示す。これによると、過渡運転時においてはエンジン回転数およびトルクがシミュレーションの場合とほぼ一致しているにもかかわらず、過給圧力および吸入空気流量は定常試験データを基にシミュレーションにより計算した場合と比較して1～2秒程度の遅れが発生する結果となった。燃料流量についても、吸入空気流量の応答遅れが発生して

いるトルクの急激な立ち上がり時において、シミュレーションにより計算した場合と比較して瞬間的に増大していることが確認できる。また、これらの結果から過渡運転における EGR 率についても定常試験の場合と比較して変化していることが予測できる。エンジンにおいては過給圧力および EGR 率等の条件が異なると、筒内の燃焼状態が全く異なる現象となるため、過渡運転においてトルクが急激に変化する際に瞬間的に熱効率が悪化する運転状態となり、同一出力を維持するために燃料流量が増大したものと考えられる。

以上より、ターボチャージャを搭載した近年のディーゼルエンジンにおいては、同一のエンジン回転数およびトルクであっても定常運転と過渡運転で必ずしも同じ運転状態にはないことが確認された。また、定常運転による燃費マップを用いて計算した燃費と過渡運転による実測燃費との差異は、走行モードによって変化することが明らかとなった。したがって、日本の走行モードの場合、欧州で提案されている WHTC correction factor を導入しても実態とは異なってしまう可能性がある。今後は、他のディーゼルエンジンについても同様の試験データを取得すると共に、重量車燃費試験法において過渡状態を考慮する方法を検討し、日本の実態に即した手法を提案していきたい。

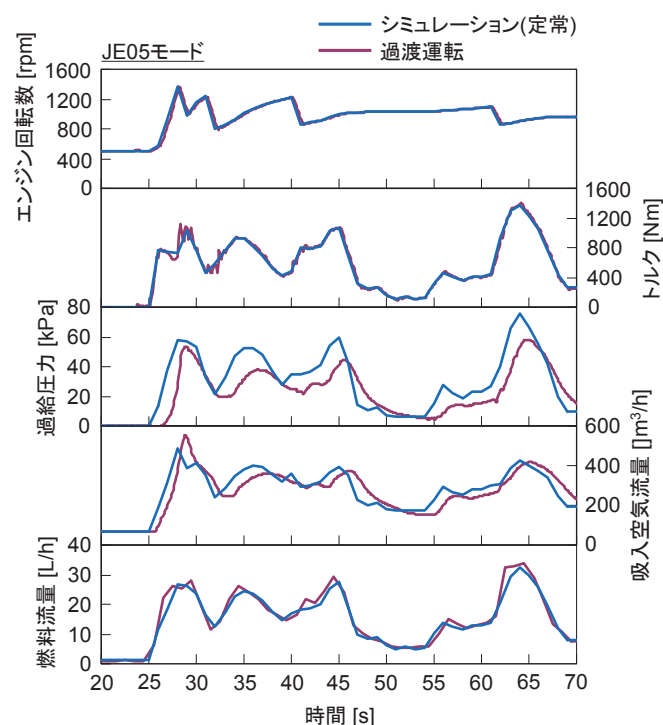


図 7 過給圧力、吸入空気流量、および燃料流量の定常試験データによる計算と過渡運転による実測の比較

6. おわりに

以上、日本、米国、および欧州における重量車燃費法の概要についてまとめ、日本の重量車燃費試験法と米国および欧州の試験法との違いについて述べた上で、日本の現行試験法に対して、国際基準調和を踏まえつつ試験法のさらなる高度化を図るための課題を考察した。日本における重量車燃費試験法では、エンジン単体での評価ではなく車両ベースで評価すること、膨大な数の車両設定に対して設備投資の少ないシミュレーションを用いること、を基本としている。したがって、今後もシミュレーションをベースとした重量車燃費試験法を運用することが求められる。エンジンの過渡状態が考慮できない点については、定常運転による燃費マップを用いた車両シミュレーションの最大の弱点であり、シミュレーションをベースとした重量車燃費試験法を今後も運用し続けるためには、この点を克服することが重要な課題となる。今後、交通安全環境研究所では、運用上実現可能かつ自動車メーカーおよびユーザにとって公平性を維持可能なものとするべく、重量車燃費試験法について検討を重ねる予定である。

参考文献

- (1) 鈴木ほか、“公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのかー(第 1 報) ユーザーの使用状況で怒りうる燃費変動の定量的な影響”、交通安全環境研究所研フォーラム 2012 講演概要、pp.3-8、(2012)
- (2) 山口ほか、“公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのかー(第 2 報) 燃費試験法における課題と改善方法について”、交通安全環境研究所研フォーラム 2012 講演概要、pp.77-78、(2012)
- (3) “燃料消費率試験(重量車)”、TRIAS 99-007-01
- (4) “総合資源エネルギー調査会長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)
- (5) 米国 EPA ホームページ、
<http://www.epa.gov/otaq/climate/gem.htm>
- (6) “Worldwide Emissions Standards -Heavy Duty and Off-Highway Vehicles-”,
<http://delphi.com/pdf/emissions/Delphi-Heavy-Duty-Emissions-Brochure-2012-2013.pdf>
- (7) “Reduction and Testing of Greenhouse Gas Emissions from Heavy Duty Vehicles - LOT 2”,
http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_2011_01_09_en.pdf

3. 高性能化しているディーゼルエンジンにおける 今後の方向性について

環境研究領域 ※鈴木 央一 水嶋 教文 山口 恭平

1. はじめに

ディーゼルエンジンは、内燃機関の中で最も高効率なだけでなく、信頼性、耐久性にも優れることから、自動車のみならず、建機、船用、発電所等大型エンジンを中心に広く用いられている。その一方で、窒素酸化物（NO_x）や粒子状物質（PM）に代表される有害成分を生成、排出することがデメリットとして挙げられた。とりわけ自動車は台数が多く、それらの環境に及ぼす寄与率が高かったため、早い段階から排出ガス規制が行われ、環境性能改善のために多くの技術開発が行われてきた。近年では、有害排出ガスの低減のみならず、さらなる高効率化、低燃費化も求められている。排出ガス低減技術の多くは、熱効率と背反することが多く、その両立は容易でない。それに対して、過給機、燃料噴射系、排気後処理装置など多くの要素技術で顕著な進化がみられ、以前は不可能と思われた排出ガス低減を達成しつつ、燃費、CO₂排出性能についても従来よりも明らかに改善されている。

そこに至る技術の変化について、一例を挙げたい。

交通研で、'00~'01 年にかけて CD3 モード（その後改良された CD34 モードを経て、現在の JC08 モードになる）について多くの車両を用いた検証試験を行った際、各種ガソリン車に加え当時最も代表的といえるディーゼル乗用車も用いたが、それに搭載されていたディーゼルエンジンの主な諸元を記載すると、

燃焼方式 : 渦流室式

吸気方式 : 自然吸気

燃料噴射系 : 分配型

後処理装置 : なし

であり、直接噴射式で過給機やコモンレール式燃料噴射系搭載が前提となっている現在のディーゼルエンジンとは、名前以外は同じところがないくらいに大きく異なっている。つまり、十数年の間に根本が変わるほどの進化をした、ということができる。その劇的な変化をもたらした要素の代表例として

●コモンレール式燃料噴射系

●可変容量型ターボチャージャー（Variable Geometry Turbocharger = VGT）

が挙げられるが、それら自体で排出ガスを削減するというより、むしろ制御の自由度を提供し、排気再循環（Exhaust gas recirculation = EGR）等と組み合わせることでトータル性能を改善させるポテンシャルがある、というものである。つまり、最新ハードウェアはそれ自体で高性能が得られるのではなく、制御自由度の中から、そのポテンシャルを最大限引き出すだけの解を見つける試験、適合工数を投入することで初めて最先端といえる性能が得られるものである。最新のハードウェアを搭載、となるとその時点でコスト増や構造の複雑化が避けられないだけでなく、信頼性の確保等のための設計、開発時の工数、費用ともに増加する。その結果、ディーゼルエンジン開発は多額の費用がかかり、自前で開発するメーカー、そしてエンジンファミリーの数はいずれも減少傾向にあり、統合化、共通化等が進んでいる。つまり、限られた少数の勝者が多量生産をすることで開発コストを回収しようとする構図となっている。

恐らく、この傾向はしばらく継続するとみられ、従来に加えて 2 段過給機や低圧 EGR、さらには可変バルブタイミング機構、排熱回生機構等も加わって、複雑化は加速していくと予想される。

そのような形で高性能化されていく過程は、ユーザーにとって悪いものではない。しかしその状態が継続すると、画一化されて選択肢が狭まり、趣向や用途の違いによる適材適所、といった多様性に対応する少量多品種化などが失われ、自動車「文化」としては貧困になる恐れがある。

そのような状況下で、今後を考えていくにあたっては、現在の「価格上昇を抑えつつ、厳しい規制を満たすためにとにかく高性能化」という視点から、「安く簡単に」する視点を、という議論も出てくる。もちろん

ん自動車メーカーにおいても、低コスト化は重要課題であり、部品供給や生産性向上など多角的にコスト削減を進めている。その結果が現在の状況になっているわけで、たやすく「安く簡単に」ができるわけではない。ただし、現在前提とされているいくつかの事項を変えていくことでその可能性が生じるのではないか、というあたりを検討した結果を報告する。

2. 「安く簡単に」で得られる燃費水準

近年燃費や CO₂ 排出性能が、とりわけ強く求められているが、ディーゼル車では同時に排出ガス規制強化が相次いでおり、それに適合させるような各種の技術開発が行われてきた。燃費と異なり排出ガス規制は強制基準であるため、譲歩できない。つまり最新のディーゼル車は、日本ではポスト新長期規制、欧州であればユーロ Vb、VI などの最新排出ガス規制を満たすものとなり、必然的に最新技術を最大限盛り込み、そのための膨大な適合作業を行ったものとなる。それに対して、排出ガス規制だけ一世代（5～7 年）前の水準として、最新といえないハードウェアで今どきの低燃費化を図るとどこまで燃費が良くできるか？ということを論ずることとする。



図1 ホンダがインド市場で市販する小型乗用車
(同社 HP より)

一つの例としてホンダがインドで市販するディーゼル乗用車「アメイズ (Amaze)」を取り上げる (図1)。本車両は、排気量 1.5L、100 馬力のエンジンを搭載した小型乗用車で、排出ガス規制としてはユーロ IV 相当である。ハードウェア構成について、得られた情報から推定すると、

- ・(前世代の) コモンレール式燃料噴射系
- ・(可変容量でない) 従来型ターボチャージャー

- ・クーラーを持たない EGR
- ・後処理装置は酸化触媒のみ

となっており、最新といわれる技術はなく、非常にシンプルである。その結果、国産車との単純な比較は妥当性を欠くかもしれないが、価格についても 100~120 万円程度 (9 月時点の 1 ルピー=約 1.5 円で計算) であり、決して高いものではない。しかしながら、その燃費性能は EU モード (ただし、最高速度 90km/h) で 25.8km/L と非常に優れており、「安く簡単に」を高次元で達成したものといっている。同等クラスの国産ガソリン車で JC08 モードにてそれに近い値を出すものもあるが、それらでは CVT、アイドルストップ、充電制御等、最先端技術を盛り込んだ結果であり、条件がかなり異なる。

以上より、フリクションに関わる基本骨格等の改善は実施していると思われるものの、一世代前のハードウェア構成であっても、燃費面のポテンシャルの差は必ずしも大きいものではなく、安く少ない制御変数で相当レベルの低燃費化が可能であることがわかる。

3. 「安く簡単に」性能向上させる可能性

3. 1. 後処理装置の性能改善によるトータルポテンシャル向上とその評価方法について

近年のガソリン車の燃費向上には目を見張るものがある。2010 年燃費基準は前倒しで達成され、2015 年燃費基準についても、ハイブリッド車以外で 20% 以上超過達成したものが少なくない。そこに至るには多くの技術開発が行われているが、大きな要素として、三元触媒の排出ガス浄化率が極めて高いため、燃焼時における NO_x 等排出ガスの生成をほぼ気にすることなく燃費向上に集中した技術開発が可能である点がある。つまり、圧倒的な浄化性能を持つ後処理装置が燃費向上に特化した技術進歩を加速させているといえる。ディーゼル車でそれを可能にすることはできるのだろうか。

新長期およびポスト新長期排出ガス規制適合の大型ディーゼル車の多くで、NO_x 浄化のために、尿素水を使用する NO_x 選択還元システム (尿素 SCR : Selective Catalytic Reduction) が採用されている。燃焼における NO_x 生成抑止は燃費の悪化を伴うことが多く、尿素 SCR のような後処理装置で NO_x を浄化できれば、燃費改善に寄与することができる。さらに尿素 SCR の NO_x 浄化率がガソリン車の三元触媒

並みになれば、NO_x 排出を気にせず燃費優先の適合が可能となり、燃費改善のみならず、適合工数の大幅な削減にもつながり、作業工数を減らしつつ燃費を良くする目的に近づくことができる。以下に、その可能性を検討する。

尿素 SCR の NO_x 浄化性能を決定する因子は数多く存在するが、その中の一つで影響度の大きなものとして排気温度が挙げられる。概ね 180℃程度以上の触媒活性温度にならないと NO_x 浄化が行えない。ただ、180℃を多少超えたとしても浄化率を維持するには、排気流量や NO_x 中 NO₂ 比率などがある範囲にないと困難で、安定した浄化性能を保つには少なくとも 200℃を上回る温度が必要となる。それに対して、JE05 モードに代表されるような都市内走行では、200℃以下で推移する時間が長く、浄化性能向上が難しい状況にある。それならば温度を維持、上昇させるが必要になるが、どの程度温度を上昇させれば将来規制をクリアしうる水準になるのか考察する。

そこを考えるにあたり、交通研で過去に尿素 SCR の環境安全性の確保等に関して、新長期規制適合の尿素 SCR システムに改造を施して将来レベルの NO_x 排出となった時も含めてアンモニア、シアン化合物等有害成分排出評価を行ったときのデータ¹⁾を基に検討する。

表 1 エンジン諸元

シリンダ配置	直列6気筒
吸気系統	ターボインタークーラ、EGR
排気量 L	9.2
最大出力 kW/rpm	250/2200
最大トルク Nm/rpm	1400/1400
燃料噴射装置	コモンレール式
後処理装置	尿素SCR

表 1 に諸元を示す車両総重量（Gross Vehicle Weight=GVW）20～25t クラスを対象とした排気量 9.2L の新長期規制適合エンジンにおいて、エンジン側の制御は変更せず尿素 SCR の NO_x 浄化率を向上させるための手法として、標準の状態に加えて以下の3通りの手法を盛り込んだ。

- ① NO_x 量に対して還元剤量の不足を解消するため
尿素水添加量増加
- ② 排気管と触媒に断熱材を巻くことで断熱を強化
- ③ 触媒温度低下を防ぐためにアイドルストップを実施

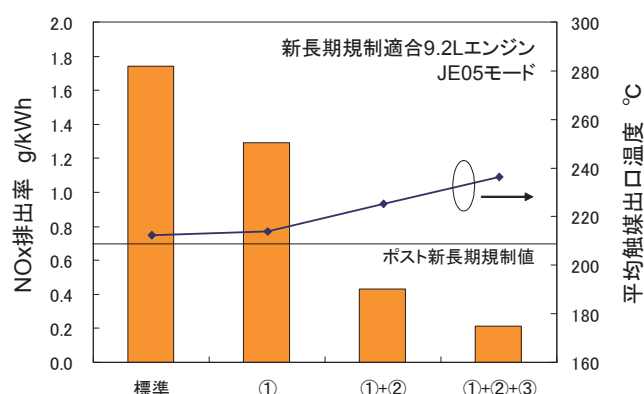


図 2 新長期規制適合尿素 SCR エンジンに各種方策を行い NO_x 浄化率向上を図った時の NO_x 排出率と平均触媒出口温度（①～③については本文参照）

図 2 は、これらを実施した場合の JE05 モードにおける NO_x 排出率と平均触媒温度の変化を示したものである。図より、上記 3 つの方策を全て実施した時には、NO_x 排出率が 0.22g/kWh と 2016 年規制並みの水準にまで低減した。その時の尿素 SCR による NO_x 浄化率は 96%以上におよんでいる。また、触媒平均温度は当然ながら上昇しているものの、その差は 25℃程度であり、高速走行時には標準状態でも平均温度が 250℃を超えることを考えると大きいとはいえない。その温度差を埋める手法を検討するにあたり、別途燃料エネルギーを使用するようでは、燃費悪化につながる。一方、有効な燃費向上策にエネルギー回生が可能で電気ハイブリッド化があるが、大型トラック等でハイブリッド化を行うとした場合、搭載バッテリーの重量がトンオーダーとなり現実的でない。そこで回生エネルギーを後処理装置の触媒昇温に用いることを考える。

上記に示される GVW25t クラスの大型トラックでは JE05 モード（半積載）試験時のエンジン仕事量は、約 14.5kWh であるのに対し、それより総重量が約 14t 重いトラクタでの JE05 モードでは 19kWh 強となった。これらの車両設定にて、同一エンジンでエンジンベンチ試験を行ったところ、触媒出口温度は平均で約 30℃変化した。このことから、エンジン仕事 4.5kWh 分の排気エネルギー量があれば、十分に目標とする温度域に達するとみなせる。また、ディーゼル燃焼でエネルギー収支を試算した例²⁾では、排気エネルギーは有効仕事よりも小さいことから、4.5kWh のエンジン仕事は排気エネルギー 3～4kWh に相当し、そのエネ

ルギーで必要な加熱を行えると判断できる。

図3は、GVW25tトラックでJE05モードシャシダイナモ試験を実施したときの仕事量について内訳を示したものである。エンジン仕事量は既述のエンジンベンチ試験の数値と同じであるのに対して、車両がダイナモローラを駆動した仕事は、タイヤを含む駆動系の損失などから、それより1割あまり減少した。そのうち制動仕事とした5.7kWhは、減速時に車両がブレーキをかけたため、ダイナモが駆動を行ったものであり、車両が減速時に回生しうるエネルギー量といえる。この値は上記触媒の加熱に必要なとした3~4kWhよりも十分に大きい。したがって、回生エネルギーを用いた後処理装置の抜本的な性能向上は、理論的には十分可能で、そのことがエンジン制御に大きな余裕をもたらし、トータルコストの改善につながりうるものといえる。

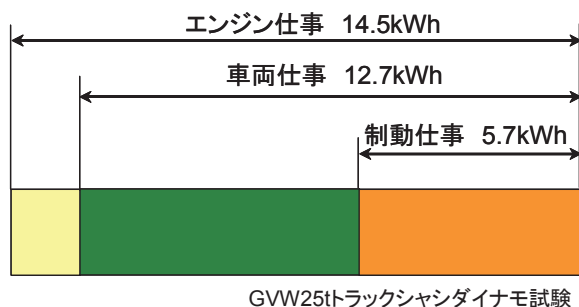


図3 JE05モードにおけるエンジン仕事と内訳

なお、現在このようなシステムを適切に評価できる試験方法は存在しない。これまで大型車用エンジンは、エンジン単体で認証試験を行い、その認証の得られたエンジンを様々な型式の車両に搭載する形態を取っていたため、車両で発生する減速時の仕事などについては考慮されなかったためである。これは欧米をはじめ世界中同様である。後述するハイブリッド車では、車両で起こる回生の評価などを考慮した試験方法が検討されているものの、それらは通常のエンジンには適用されない。しかし、今後は単にエンジン単体に止まらず、車両に搭載され、実際に運用される状態での燃費や排出ガスの評価が重要になっていくと考えられる。

表2は重量車用エンジンにおける認証試験サイクルの移り変わりについてまとめたものである。表より一つの試験サイクルは10年程も使用すると、エンジン技術と測定技術の進歩等を反映させた新たな試験

表2 重量車における認証試験サイクルの遷移

試験サイクル	運転方法	導入年
D13	定常	1994
JE05	過渡	2005
WHDC	過渡(WHTC)+定常(WHSC)	2016

サイクルへと移行しているのがわかる。これまでの考え方では、新たな試験サイクルはそれ以前のものよりも広い範囲における排出ガス性能を評価する意味合いの強いものとなっていた。しかし、国際基準調和試験サイクルWHDC (Worldwide Harmonized Heavy Duty Certification) の次を考えた場合、単にエンジン単体を対象にチェックできる範囲を広げる、という従来の意識よりも、既述のように実際の車両でどれだけ低くできるか、という視点が重要性を増していくとみられる。その場合、従来のエンジンベンチ試験で実走行を反映させた仕組みを作るのか、シャシダイナモで試験をするのか、さらに究極のリアルワールド評価として車載型排出ガス分析計 (Portable Emission Measurement System = PEMS) を用いた評価を中心にするのか、従来の手法にとらわれない議論が必要になる。このような認証試験時における評価試験方法の策定支援は、交通安全環境研究所の主たる業務であり、多岐にわたる可能性について検討し、今後活用できる知見を深めていきたい。

3. 2. 課題解決手段としてのハイブリッド化

もう一つ「安く簡単に」する方策の一つとして、「電気ハイブリッド化」を挙げたい。先に大型車では現実的でないと言ったが、乗用車クラスまで対象を広げたとしても、通常高価になりやすいディーゼルエンジンに、さらにバッテリーやモーター、インバータ等の追加コストが発生するハイブリッド化は、費用対効果の点で優れているとは言い難い。そのため、ガソリン乗用車では多く普及しているハイブリッド車が、ディーゼルではほとんど例がみられない。ただし、ハイブリッド化によるエンジン使用領域の限定が、従来の困難さを解決するブレークスルーになりうる。

その例として、表3に示すハイブリッド乗用車(車両A)と、同等重量クラスのマニュアルトランスミッション搭載車(車両B)を用いて、走行時のエンジン使用領域を比較した。

図4は車両A、BでJC08Hモードを走行した場合のエンジン回転数と負荷率の使用頻度分布を比較したものである。負荷率は汎用スキャンツールにて記録されたデータであり、プロットの総数は車種により異なる。図より、2台の車両で使用するエンジン負荷領域が大きく異なることがわかる。ハイブリッド車では、60%負荷率以上がエンジン作動時間の80%以上を占めるのに対し、MT車ではそれが1.5%でしかない。負荷率は概ね1サイクルあたりの燃料噴射量に比例するため、高負荷域での使用が多いことは、触媒温度と浄化性能の向上に直結する。

表3 エンジン使用領域比較を行う車両の諸元

	車両A	車両B
車体形状	ハッチバック	クーペ
パワートレインシステム	ガソリン電気ハイブリッド	ガソリンエンジン
エンジン排気量	1.8L	2.0L
車両重量	1,310kg	1,230kg
変速機	電子制御CVT	6速マニュアルミッション

また、図から明らかなように、シリーズハイブリッドの要素を含むハイブリッド車では、エンジン運転領域を燃費の良い限られた部分のみに限定することが可能となる。このようにして、適合を行わねばならない範囲を減らすことができれば、開発時の作業工数を大きく削減することが可能となる。

これらで示されたように、ハイブリッド化することが、後処理温度維持と適合工数の削減という、現在のディーゼルエンジンにおける根本的な課題に対する解になり得るものである。

通常エンジンの車両では、最高熱効率になる運転ポイントを使用できるケースが極めて限られたことから、熱効率の最高値よりも、部分負荷を含めてサイクル全体の燃費を良くするためにどうするか、が課題となっていた。それに対して、シリーズ的な要素を持つハイブリッド車では、エンジン使用領域が限られることから、その領域での最高熱効率が車両全体の燃費に大きく影響を与える。そのため、ガソリンエンジンにおいてもアトキンソンサイクルを用いるなど、最大トルク等他の要素を譲歩してさえも最高効率を求める方向になっている。ただ、最高熱効率では、ディーゼルエンジンは高いポテンシャルを持っており、ディーゼルハイブリッドは、単にディーゼルエンジンにおける現状の課題を解決する手段としてのみならず、性能

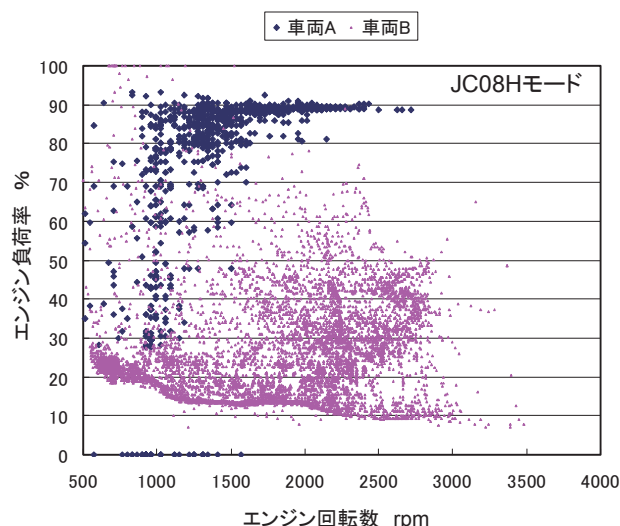


図4 車両A、BにおけるJC08モードでのエンジン使用領域の頻度分布

上の効果も高いと考えられる。

ディーゼルハイブリッド車の排出ガスや燃費を評価する場合、軽・中量車（GVW3.5t以下）では、現状で理論上問題は生じない。しかし、DPF（Diesel Particulate Filter）等の周期的制御等が加わった状態でのハイブリッド車評価は、相当煩雑になると見込まれる。さらに、プラグインハイブリッド車で、外部充電によりエンジン作動頻度が低下するような場合には、その問題がより顕著になる。外部充電が前提の場合、ディーゼルエンジンを用いるメリットが相対的に小さくなり、現実的には考えにくい。今後このような車両が登場する場合には、現実的な審査方法の検討が必要となる。

一方、エンジンベンチ試験が基本となる重量車では2016年以降に国際基準調和試験サイクル（WHDC）が導入された場合、車両の概念のないWHDCでどのように実際の走行を反映するかはまだ決められていない。それに関しては、現在国連自動車基準調和世界フォーラム（WP29）の排出ガス・エネルギー専門家会議（GRPE）傘下のHeavy Duty Hybrids Informal Group meeting（HDH）にて、HILS（Hardware In the Loop Simulation：ハードウェアを基本としたシミュレーション）法をベースに車両の概念を含めた排出ガス試験法の策定が進められている。その場には、交通安全環境研究所からも参画し、中心的役割を担って議論を行っている。

4. まとめ

ディーゼルエンジンが高度に進化している一方で、大きな課題として、構造面およびその適合について非常に複雑化している状況を示したうえで、今後より「安く簡単に」する技術的なブレークスルーの可能性と、そのような技術が導入された場合を含めた、将来見直しが必要となる技術基準項目等を検討した。

- (1) 一世代前の代表的な構成のディーゼル乗用車でも、優れた燃費性能を示す例もあることから、現状で前提とされている事項を変えることができれば、シンプルかつ低燃費なディーゼルエンジンは実現可能である。
- (2) ガソリン車では、三元触媒の浄化性能の高さから、燃焼面での NO_x 等があまり考慮されずに燃費に特化した技術開発が行われていることから、後処理装置の性能向上は、燃費改善にもつながる技術となる。
- (3) 尿素 SCR システムおよび大型トラック等のシャシダイナモ試験の結果等から、減速時のエネルギーを用いて触媒を加熱すれば、新長期規制適合エンジンで 2016 年規制並み(2 段階の改善)の NO_x 排出性能を達成しうる。
- (4) ディーゼルハイブリッドは、コスト増加につながり現状では一般的でないが、適合工数の削減や後処理装置の温度確保といった、現状の課題を解決しうるものとして、今後考慮されていくべき技術といえる。
- (5) これら进行评估する試験方法にあたっては、とくに現在エンジンベンチ上でエンジン単体の試験評価を行っている重量車において、車両トータルの制御等を反映させた試験評価方法の導入が必要になるとみられ、例えば排出ガス試験方法では従来と根本的に異なる手法が必要になる可能性もある。実環境の改善につながる手法について検討などを進めていきたい。

参考文献

- (1) 鈴木央一、石井素、“2009 年規制を視野に入れた尿素 SCR の技術的可能性と課題について”、自動車技術会論文集 Vol.39、No.2、p399～404、JSAE 20084296、(2008)
- (2) 島崎直基、港明彦、鈴木浩高、“将来ディーゼル機関の熱効率向上に向けた取り組み”、自動車技術会 2010 年春季学術講演会前刷集 No.80-10、p.19-24、(2010)

4. 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NO_x排出量検査方法に関する研究

－NO_xセンサによる燃費およびNO_x排出量測定－

環境研究領域

※山本 敏朗

堤 玲子

水嶋 教文

1. 研究の背景

今世紀に入り、我が国においては、新型自動車に対する排出ガス規制が次々と強化されてきた。それに伴ってディーゼル車には、ディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）や尿素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^{(1)、(2)}。これらの装置は、車両の運転条件や気温等の環境条件によって、その作動状態が大きく影響されるため、認証時の室内試験での排出ガス状態と実路走行時の排出ガス状態との乖離が顕在化することとなった。この状況は欧米においても同様であり、室内試験法による排出ガス規制の強化によって大気質の改善を図ってきたが、近年、その改善効果が頭打ちとなってきた。これは前述したように室内試験と実路走行時で排出ガス状態が異なること（公定試験モードを外れた走行状態（オフサイクル）での高いNO_x排出、コールドスタート時の排出量増加等）や、使用過程での排出ガス低減装置の劣化等に伴う排出量の増加に起因するものと考えられた⁽³⁾。そこで、WHTC（重量車世界統一試験サイクル）の適用による試験法の改善やディフイートストラテジー（排出ガスを悪化させるエンジン制御）の使用禁止、さらにWWH-OBD（高度な車載式故障診断システム）の導入と共に、使用過程の重量貨物車に対して実路走行時の排出ガスを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⁽⁴⁾、⁽⁵⁾の導入が検討された。

一方、我が国においても、オフサイクル対策としてディフイートストラテジーの使用禁止を定める⁽⁶⁾とともに、排気後処理装置に関する耐久試験法の見直しについても検討することとなった。また、現在、使用過程車の排出ガス性能維持方策としては、継続検査、街頭検査、OBD（乗用車には適用済み、重量貨物車にも適用予定）およびサーベイランス（公的機関によ

る使用過程車の抜き取り検査、検討段階）が実施あるいは検討されている。本研究では、特に、総走行距離が平均で60万kmを超える重量貨物車の使用過程での継続検査に注目した。本検査では、オパシメータ等を用いた粒子状物質の検査は実行されているものの、排ガス検査については有効な検査方法がないことから実行されていないのが現状である。そこで、この排ガス検査を欧米で検討されているPEMSによって行うことを考えた。ただし、既存のPEMSは、定置型排ガス分析計と比べればコンパクトではあるが、本体とバッテリーを合わせると100kg程の重量であり、設置場所が問題となる。ここで、我が国と欧米では、使用されることの多い貨物自動車の形態が異なる。即ち、我が国では箱車が多いのに対して、欧米では運転席と荷台が分離できる構造のトレーラー式車両が多い。このことから、試験実施時に、欧米ではPEMSの取り付けが容易な覆い等のない荷台の選択が可能なのに対して、我が国ではサンプリングプローブ等を通すために荷台に穴を開ける等の加工が必要となる。このことは我が国にPEMS試験法を導入するに当たっての課題となる。また、本試験を実行するには、PEMSの取り付けおよび操作を専門の技術者が行うこととなるため、試験対象の商用車を一定期間借用する必要がある。これに伴って事業者は経済的な不利益を被ることになるため、PEMS試験の導入においては何らかの対策が必要と考える。

2. 研究の目的

以上のような事情を踏まえた上で、打開策として、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NO_xセンサ信号や吸入空気量、燃料噴射量等のCAN（Controller Area Network）信号等を取り込むことにより、新たに燃費・NO_x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NO_x

排出量の測定を行って重量貨物車の使用過程での継続検査を実施する「簡易式PEMS検査」を提案する。ここで、運行記録計の装着義務は「車両総重量8 t以上または最大積載量5 t以上」のトラックに限られているが、現在、対象車両の拡大が検討されている⁽⁷⁾。また、近年の排出ガス規制の強化に伴うディーゼル車および排出ガス低減技術の高度化により、COおよびNMHC（非メタン炭化水素）の排出についてはほとんど考慮する必要はなく、NO_x排出のみに注力すればよいと考えられる。さらに、省エネ法の改正⁽⁸⁾に伴って、一定規模以上の輸送事業者および荷主に対して省エネ計画の作成、エネルギー使用量等の定期報告等が義務付けられていることから、燃費測定および燃費検査を検討することとした。

本研究で簡易型PEMSとして提案する燃費・NO_x計測機能付きデジタコの特長を以下に記す。①装置は排気管直挿型NO_xセンサとデジタコで構成され、サイズはNO_xセンサが空燃比センサ程度、またデジタコがカーオーディオ程度とコンパクトである。②装置重量は、NO_xセンサとデジタコを合わせて1 kg程度であり、100 kg超の計測器の搭載が不要となる。③水素、空気およびスパンガス（5成分混合）から成る3本のガスボンベの搭載が不要となる。④消費電力の大幅低減により大型バッテリーの搭載が不要となる。⑤NO_xセンサは排気管に取り付け、またデジタコは運転席のダッシュボードに設置するため、従来型PEMSのように荷台に設置スペースを設ける必要がない。従って、荷台等への加工は一切不要となる。⑥NO_xセンサは、尿素SCRシステム使用のセンサで代用できる。また、今後、NO_xセンサがOBDに使用される場合は、これとの併用も可能である。

本報告では、燃費・NO_x計測機能付きデジタコを構成する前段階として、NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号を測定してデータロガーに記録し、それらを基に算出した燃費およびNO_x排出量と、公定試験法による測定値あるいは従来型PEMSでの測定値との比較を行い、測定の正確さや相関性を検討した。さらに、従来型PEMS試験の課題の1つである商用車を一定期間占有することによる運送事業者への負担を解消するため、デジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考え

た。第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した。

3. 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。同表より、試験車両のNO_x低減対策がEGR（排気ガス再循環）であることから、NH₃の排出がないことがわかる。NO_xセンサは、NH₃をNO_xとして誤って検出してしまうNH₃干渉の問題⁽⁹⁾があるが、本試験車両では、このNH₃干渉を考慮する必要がない。今後、尿素SCRシステム搭載車両のようにNH₃排出の可能性がある場合は、NH₃干渉分も含めて「NO_x排出量+NH₃排出量」として評価するなどの工夫が必要であると考えられる。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。NO_x濃度および空燃比（A/F）の計測に用いたNO_xセンサの外観を、図1に示す。同センサは、ネジ部より先にあるZrO₂素子を排気管内に挿入して用い、NO

表1. 供試車両の主要諸元

車両カテゴリ	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	バンボディー
走行距離 (km)	8,725
エンジン型式	直列4気筒、インタークーラーターボ
エンジン排気量 (L)	3
エンジン最高出力 (kW/rpm)	110/2800
エンジン最大トルク (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



図1. NO_xセンサの外観

表2. 供試NO_xセンサの主要諸元

測定原理	ZrO ₂ 素子のO ₂ ポンプ機能を利用
NO _x 出力レンジ	NO: 0~1000ppm 出力: 0.31~4.8V 応答性: <400 m sec
A/F出力レンジ	A/F=13.2~17.2 出力: 2.16~2.81V O ₂ =0~18% 出力: 2.5~4.5V 応答性: <200 m sec

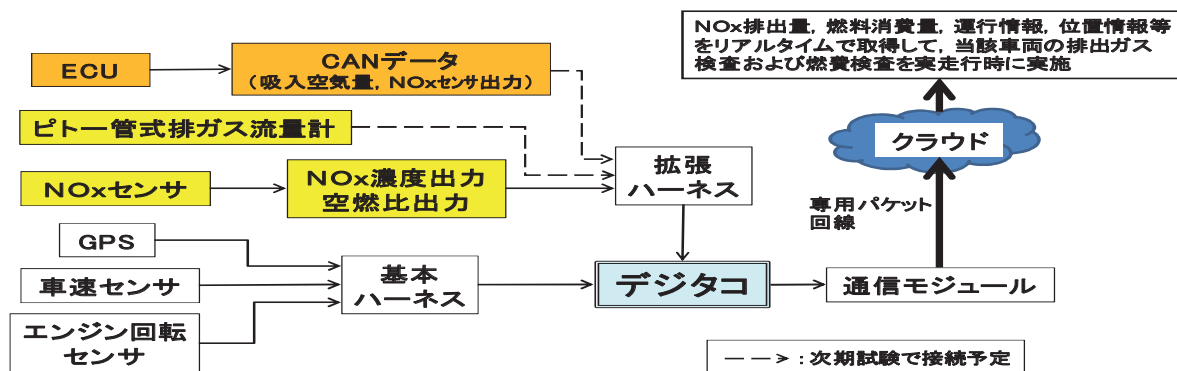


図2. 試験用デジタコの信号の入出力関係

x濃度およびA/Fに対応した電圧を出力する。供試NOxセンサの主な諸元を表2に示す。同センサで測定可能なNOx濃度の上限は、1,000ppmである。NOxセンサによるA/F値の算出には、走行試験データを基に作成した検量線を用いた。

試験に用いたデジタコ（トランストロン製DTS-C1）は、車速、エンジン回転速度およびGPSの入力に用いる基本ハーネスのみならず、入力信号の追加ができる拡張ハーネスを有する。図2に、試験用デジタコの信号の入・出力関係を示す。今回の試験では、一部の路上走行試験において、NOxセンサからのNOx濃度出力信号とA/F出力信号を拡張ハーネスを通じてデジタコに入力した。今後、CANデータの吸入空気量信号やピトー管式排ガス流量信号についても、拡張ハーネスからの入力を検討していく予定である。

本試験用デジタコには、通信モジュールが内蔵されていることから、図2に示すように拡張ハーネスへの信号入力が全てできるようになれば、試験車両とは別の場所において、実路走行時のNOx排出量および燃費データを運行情報や位置情報等とリンクさせてリアルタイムに取得できる。本試験では、遠隔地でのデータの取得とNOx排出量検査の可能性を

検討するため、実路走行時に、NOxセンサのNOx濃度出力信号をクラウドサーバーに送信してサーバー上にデータを記録した。

上記の試験装置を車載した状態を、図3に示す。この試験車両を用いたシャシダイナモメータ（CD）台上試験では、NOxセンサのNOx濃度およびA/F出力の正確さやPEMS測定値との相関を検証するため、JEO5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。また、実路走行時のNOxセンサ性能を検証するため、路上走行試験を実施した。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アップダウン道路（平均勾配：1.6%、距離：約8.75km）を、積載重量約1,500kg（分析装置の重量を含む）で往復走行し、各種データの測定を行った。

4. 実験結果および考察

4. 1. NOxセンサを用いたNOx排出量および燃費の算出における正確さ

本研究で提案する燃費・NOx計測機能付きデジタコによる「簡易式PEMS検査」において、その要

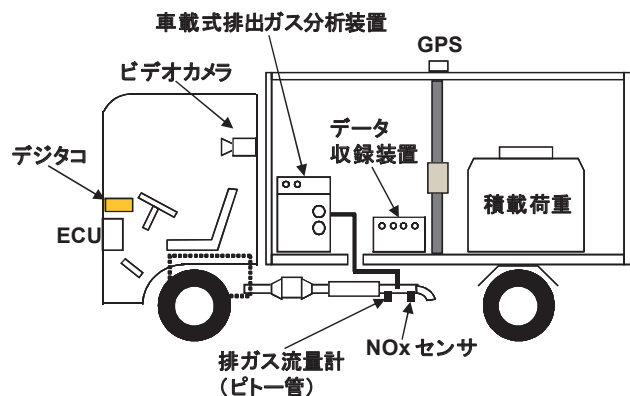


図3. 車載実験装置

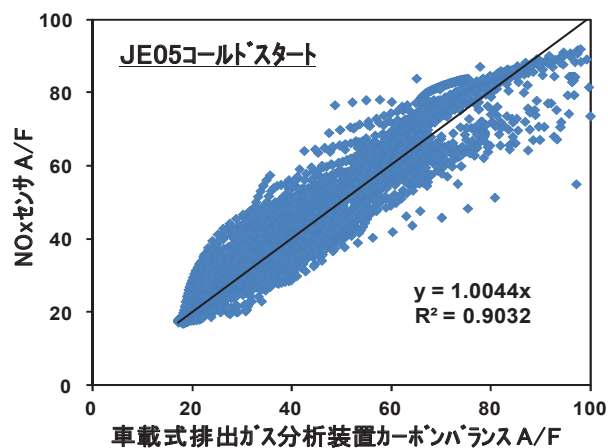


図4. NOxセンサによるA/F測定値とPEMSによるカーボンバランスA/Fの相関

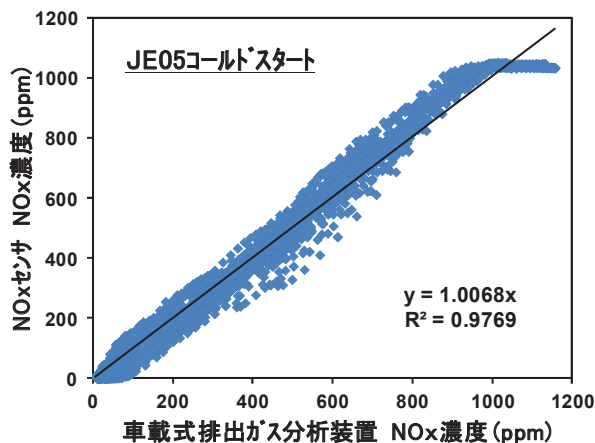
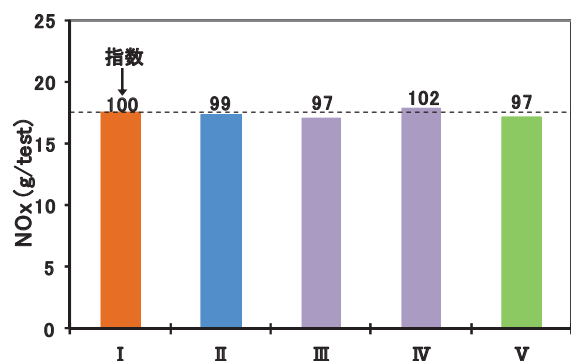


図5. NOx センサによるNOx 濃度測定値とPEMS によるNOx 濃度測定値の相関

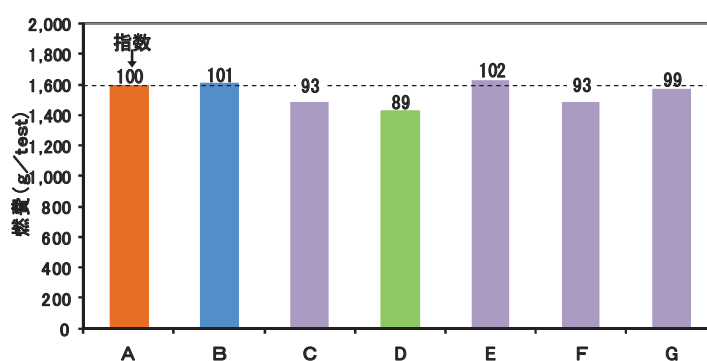
となるのはNOx センサを用いたNOx 濃度およびA/Fの計測の正確さであり、さらにNOx 排出量および燃費の算出に必要となる排出ガス流量あるいは吸入空気量の計測の正確さである。

図4に、NOx センサのA/F測定値とPEMSによるカーボンバランスA/Fの相関を示す。ここでは、モード運転時のA/F変動下での結果であることから、加減速条件などでは排ガス分析の応答時間に依存するカーボンバランスA/Fの応答性がNOx センサに比べて劣る。このことから、図中のプロットにばらつきが見られるが、両者には強い相関性が認められる。一方、NOx センサのNOx 濃度測定値とPEMSによるNOx 濃度測定値の相関を、図5に示す。モード運転時の瞬時値をプロットしているにもかかわらずばらつきも少なく、両者には極めて強い相関性が認められる。以上の結果から、NOx センサのA/F



	NOx排出量(g/test)算出方法
I	定置式排出ガス分析装置によるCVS法Bag分析
II	NOxセンサ+吸入空気量(CAN)
III	NOxセンサ+ピトー管排出ガス流量
IV	PEMS+吸入空気量(CAN)
V	PEMS+ピトー管排出ガス流量

図7. JE05 モードコールドスタート試験における各種方法によるNOx 排出量の算出



	燃費(g/test)算出方法
A	定置式排出ガス分析装置によるCVS法Bag分析におけるカーボンバランス燃費
B	吸入空気量(CAN)/NOxセンサA/F
C	(ピトー管排出ガス流量×排出ガス密度)/(1+NOxセンサA/F)
D	PEMS分析によるカーボンバランス燃費(ピトー管排出ガス流量を使用)
E	PEMS分析によるカーボンバランス燃費(カーボンバランスA/Fと吸入空気量(CAN)により排出ガス流量算出)
F	吸入空気量(CAN)/PEMS分析によるカーボンバランスA/F
G	燃料噴射量信号より算出した燃費

※排出ガス密度: 1.20kg/m³ (λ>1, 標準状態: 20°C, 1気圧)

図8. JE05 モードコールドスタート試験における各種方法による燃費の算出

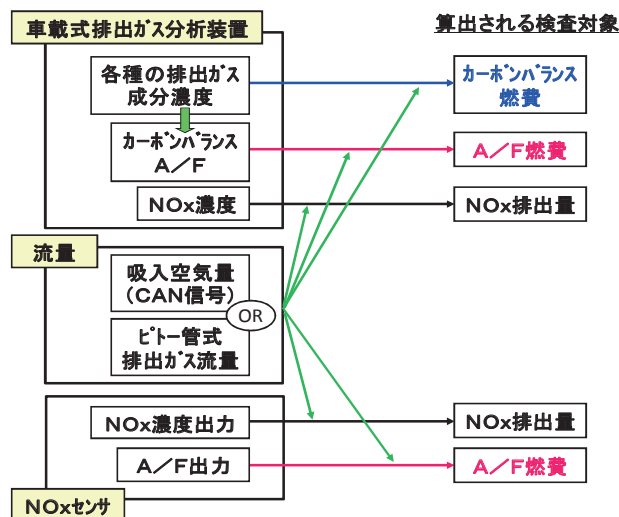


図6. NOx センサあるいはPEMSによる測定値から算出されるNOx 排出量および燃費

F測定およびNOx 濃度測定の正確さは、試験用PEMSと同等であると考えられる。

次に、供試NOx センサにより算出される燃費およびNOx 排出量の正確さの評価を他の手法による算出値と比較することによって行った。ここで、燃費は吸入空気量をA/Fで除算して得られることから、本報告では、「A/F燃費」と呼ぶこととする。従来のPEMS測定では、排出ガス中の炭素含有成分の排出量から算出される「カーボンバランス燃費」を用いていることから、両燃費値に隔たりがあるか確認する必要がある。図6に、従来のPEMS測定で得られる結果とNOx センサを用いた測定で得られる結果を整理して示す。同図に示すように、NOx 排出量および燃費は、ピトー管式流量計による排出ガス

流量あるいはCANから取得した吸入空気量のいずれかを用いて算出し、それぞれを比較して評価を行った。図7に、CD台上において、J E O 5モードコールドスタート試験を実施したときのNO_x排出量(g/test)を、I～Vの方法で算出し、それらをIの値を100とする指数で表し比較して示す。ここで、Iの方法(定置式排出ガス分析装置によるCVS法バッグ分析)は公定試験法で定められた方法であることから、Iの値を真値近傍の目標値と考えると、本研究で提案する「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」のIIの方法による算出値は、目標値と極めてよく一致していることがわかる。これに対して、従来のPEMS測定による算出値であるVの値は、Iの値を3%程下回っていることがわかる。この乖離の原因は、IVの「PEMS+CAN取得の吸入空気量」の値がIの値に近づくことから、ピトー管式流量計の測定の正確さが不十分であることに起因すると推察する。

図8は、J E O 5モードコールドスタート運転での燃料消費量(g/test)をA～Gの方法で算出し、それらをAの値を100とする指数で表し比較した結果である。本報告では、燃料消費量(g/test)を燃費(km/L)に換算する段階で用いる燃料密度(g/L)および走行距離(km/test)に含まれる誤差の影響を避けるため、燃料消費量(g/test)を燃費の評価に用いた。ここで、図中のAは、公定試験法で定められた方法(カーボンバランス法)による算出値であることから目標値であると考え、Bの「CAN取得の吸入空気量をNO_xセンサによるA/Fで除算して求めたA/F燃費」は、この値と極めてよく一致していることがわかる。一

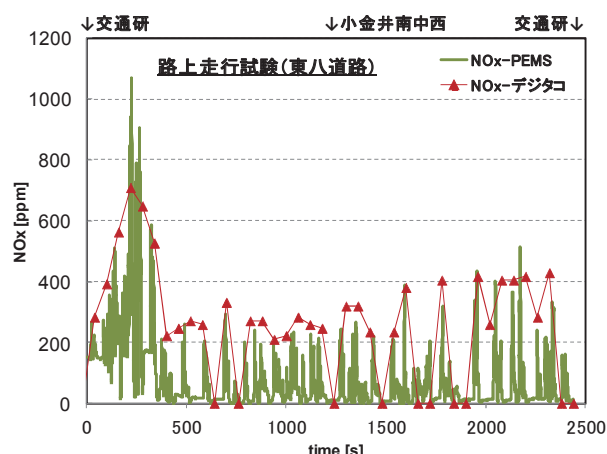


図9. NO_x センサのNO_x 濃度出力信号のクラウドサーバーへの送信試験の結果

方、Gは「CAN取得の燃料噴射量信号より算出した燃費」であり、燃料供給側からの算出値もAおよびBの値とよく一致していることがわかる。これに対して、従来のPEMS測定による算出値であるDの値は、Aの値を下回っていることがわかる。これもNO_x排出量の場合と同様に、ピトー管式流量計の測定の正確さに起因するものと考えられる。

以上より、本試験では、NO_x排出量および燃費の算出において、「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」の方法が公定試験法と同等の結果となったことから、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの有効性を示すことができたと考える。

4. 2. NO_xセンサ信号のクラウドサーバー送信による走行業務中における遠隔地検査の可能性

従来のPEMS検査では、検査のために商用車を一定期間占有するため、運送事業者には負担がかかるという問題があった。この問題を解決するため、図2で示したデジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考えた。本試験では、第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した。その結果を、図9に示す。試験は、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アップダウン道路を、半積載で往復走行した。図中のデジタコの送信データは、現状の通信プログラムの制約から、1分間に排出されたNO_x濃度の最大値を1分間隔でクラウドサーバーに送信した結果を示している。デジタコデータとPEMSデータを比較すると、排出傾向が概ね一致していることから、送信間隔の短縮や信号処理の工夫により遠隔地でのNO_x排出量の評価が可能であると考えられる。

5. 今後の課題

本報告において、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの導入により、重量貨物車の使用過程における排ガス検査の可能性を示すことができた。ただし、CAN取得の吸入空気量信号を用いることが前提となる。現在、我が国において、自動車のCAN信号の取り込みについては標準化されておらず、メーカー独自の仕様となっている。今後、CAN信号取得に関しての情報

開示や仕様の標準化等について検討していくことが重要である。

6. まとめ

デジタル式の運行記録計（デジタコ）にNO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号等を取り込むことにより、実走行時に燃費およびNO_x排出量の測定を行い、重量貨物車の使用過程での継続検査を実施する「燃費・NO_x計測機能付きデジタコによる簡易式PEMS検査」を提案した。本報告では、上記の高度化デジタコを構成する前段階として、NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号等を測定してデータロガーに記録し、それらを基に算出した燃費およびNO_x排出量から上記のコンセプトを検証し、以下の点を明らかにした。

(1) NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号を用いて計測および算出した燃費およびNO_x排出量と、公定試験法による測定値あるいは従来型PEMSでの測定値との比較を行った。その結果、NO_x排出量および燃費の算出において、「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」の方法が公定試験法と同等の結果を示し、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの有効性を実証することができた。

(2) 従来型PEMS試験の課題の1つである商用車を一定期間占有することによる運送事業者への負担の問題を解消するため、デジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考えた。第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した結果、両者の排出傾向が概ね一致したことから、今後、送信間隔の短縮や信号処理の工夫等により遠隔地でのNO_x排出量の評価が可能であると考えられた。

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、シャシダイナモメータ台上試験装置の運転等に交通安全環境研究所環境研究領域の渡辺敬太郎氏にご尽力いただいた。ここに謝辞を表す。

参考文献

- (1) 大聖泰弘：最近の自動車の排気浄化と燃焼改善に関する技術開発動向，デンソーテクニカルレビュー，Vol. 11 No. 1 (2006)
http://www.denso.co.jp/ja/aboutdenso/technology/dtr/v11_1/files/dissertation01itp6.pdf
- (2) 大聖泰弘：ディーゼル自動車の排出ガス対策技術の最新動向，平成25年度交通安全環境研究所講演会講演概要，pp. 41-62 (2013)
https://www.ntsel.go.jp/kouenkai/h25/3_daisho.pdf
- (3) Daniel Rutherford：欧米、アジア等におけるディーゼル自動車の排出ガス対策技術とその現状，平成25年度交通安全環境研究所講演会講演概要，pp. 63-74 (2013)
https://www.ntsel.go.jp/kouenkai/h25/4_rutherford.pdf
- (4) 相馬誠一，南利貴：重量車の車載型排ガス計測器に関する検討（第1報）－計測法の検討－，JARI Research Journal，第32巻 第12号 (2010. 12)
- (5) 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
- (6) 国土交通省：オフサイクルにおける排出ガス低減対策検討会 最終とりまとめ発表資料，(2012. 3. 30)
<http://www.mlit.go.jp/common/000206838.pdf>
- (7) 国土交通省：第3回「トラックにおける運行記録計の装着義務付け対象の拡大のための検討会」会議資料，(2012. 8. 9)
<http://www.mlit.go.jp/common/000221050.pdf>
- (8) 国土交通省：改正省エネ法（輸送分野）の施行に係る周知パンフレット，(2006)
<http://www.mlit.go.jp/common/000012386.pdf>
- (9) 山本敏朗，野田明，阪本高志：排出ガス対策装置の車載機能診断システム（OBD）に関する性能要件及び機能評価法の研究（第1報）－触媒劣化の検知方法に関する基礎的考察－，平成12年度（第30回）交通安全公害研究所研究発表会講演概要，pp. 93-96 (2000)

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。特に (3) は、省エネルギー化、交通渋滞緩和、排出ガス削減による大気汚染・地球温暖化の改善など、本フォーラム2日目のテーマである「エネルギー・環境問題」に関わりが深い研究となっている。

また、索道（ロープウェイ、リフト等）に関する試験研究にも継続的に取り組んでおり、索道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、ロープや握索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。

さらに、鉄道分野の国際規格に係わる取り組みとして、国際規格適合性認証（鉄道製品認証）や日本の鉄道技術の国際規格化にも注力している。

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、これまで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、日本の鉄道メーカーが海外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、このような実績において蓄積され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管理手法の研究や、トンネル、転てつ器の異常振動の検知等による予防保全手法の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 年の JR 福知山線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。

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、センサ技術、モニタリング技術といった新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。

また地方鉄道にとって、車両の改造を伴う運転状況記録装置の設置はコスト面で困難なことが多いため、当研究所では、容易に設置可能な映像型の運転状況記録装置を提案してきたが、本年度、阪堺電気軌道株式会社において実用化され、運用を開始した。映像型運転状況記録装置については、プローブ車両技術と組み合わせることにより、走行状態とリンクした軌道の状態診断を行うことも可能であり、更なる発展が見込まれる。

また、将来に向けて一層の保守負担軽減、省コスト化を図るには、軌道回路等の地上設備に頼っている列車の位置検知を車上主体に置き換え、地上設備を削減・省力化することが求められる。このため、当研究所では、準天頂衛星、GPS 等の衛星測位技術を活用した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

モータリシフトを進める上で必要な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や段差が少ないため、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といえる。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、CO₂ 排出量など環境への影響も含め定量的評価を行っている。

一方、省エネルギーの観点から、鉄道の環境面での優位性をさらに伸ばす研究として、オンボード運転支援装置を活用して安全性、定時性を保ちつつ力行エネルギーを最小化し、回生ブレーキを最大限有効活用するための取り組みを、東京大学、千葉大学、新京成電鉄とともに行った。

2. 5. 国際標準化及び国際規格適合性認証

欧州では、鉄道技術の輸出を国家戦略と位置づけ、国際標準化により、自国の技術を積極的に展開している。現在、多くの国が鉄道の整備を検討・推進しており、我が国も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、日本の鉄道システムを海外へ展開するにあたり、第三者機関から国際規格等に対する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。当研究所では、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、認証活動に取り組んでいる。

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、当研究所が有する台車試験設備、シミュレータといった研究資産と、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、安全で豊か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。

5. 運転支援装置による 省エネルギー運転、回生効果最大化への取り組み

交通システム研究領域 理事 東京大学 千葉大学 新京成電鉄	※長谷川 智紀 水間 毅 古関 隆章 近藤 圭一郎 濱崎 康宏	林田 守正 竹内俊裕 工藤 希
---	---	-----------------------

1. はじめに

鉄道は自動車等と比べて 1 人当たりの CO₂ 排出量やエネルギー消費量が格段に少なく、定時性・輸送力等の面でも優れた交通機関といわれている。

これに資する技術として、電気鉄道の場合、制動によるエネルギー回収を可能とする回生制動の有効活用が重要である。しかし、回生エネルギーの有効活用にはさまざまな技術的課題が存在している。

すなわち、直流電気鉄道の場合、制動時に、その回生電力を吸収してくれる負荷が必要であり、基本的には付近を走行中の列車が力行をしていれば、力行電力をこの回生電力で供給することが可能である。しかし、付近に力行する列車がない場合や、力行していた列車がだ行に切り替わると回生電力の行き場がなくなり、回生失効に至ることとなる。回生失効に至っても、ブレーキ力は機械ブレーキで補われ、安全を損なうことはないものの、省エネルギー性は損なわれることとなる。

そこで、安全性、定時性、速達性を保ちつつ回生ブレーキを最大限有効に働かせることにより効率的な運転を行うことを目的とし、省エネルギー運転を実施するために列車運転士を支援するオンボード運転支援装置の研究を行うこととした。研究にあたっては、鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」を活用し、平成 22 年度採択課題「持続可能な低コスト・省エネルギー鉄道のためのパワーマネジメント」において、従前と比較して 5%の省エネルギー化を目標に東京大学、千葉大学、新京成電鉄と共に 3 年間にわたり検討を行った。

本稿では、上記プロジェクトの成果について報告する。

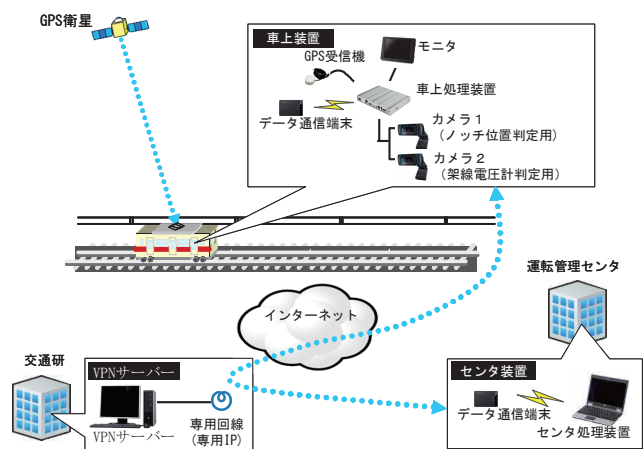


図1 オンボード運転支援装置の構成

2. オンボード運転支援装置

2. 1. 装置構成

オンボード運転支援装置の装置構成を図1に示す。本装置は、地方鉄道等のインシヤルコストやランニングコストに多く費用をかけることができない鉄道事業者でも導入を可能にするため、低コストでぎ装可能な装置にすることを目標とし、GPS 等を利用した位置検知や、簡易なカメラによるノッチ位置及び、架線電圧計の画像解析による列車運転状況の把握、公衆無線を利用した列車間での運行状況の情報伝送等の汎用技術を用いて、回生ブレーキが有効に働き、他車両で電力の消費が可能であるか否か等の解析を行い、必要な運転支援情報を運転士に伝えるものである。

ノッチや電圧計を画像解析により把握（図2）する
とした理由は、車両の電気回路に手を加えることなく
支援装置をぎ装できるようにすることにより、安全性

を損なわず、低コストで実現できるよう考慮したことによる。



図2 力行ノッチの画像解析例

また、公衆回線を用いて運行に係る情報をやり取りするため、VPN 通信による仮想的な専用回線を作り出すことにより、セキュアな通信回線を実現した。

2. 2. 支援機能

回生ブレーキを最大限有効に働かせることによる省エネルギー運転を実現するために、運転士を支援する方法として、「力行コントロール機能」と「制動コントロール機能」との2つの機能を用意することとした。

「力行コントロール機能」は、架線電圧が低下している場合において、力行することによる多くのエネルギーを消費することを避けるために、力行を解除（ノッチオフ）し、架線電圧が回復してから再力行することにより、省エネルギー運転を支援する機能である。

力行を解除するにあたっては、鉄道運行の基準となっている標準運転曲線（当該路線で用いるもっとも低い性能の車両で運行可能な運転パターン）より速く加速し、次駅までの余裕時分がある場合において実施することにより、定時性を保つこととした。力行解除の判定は、車両位置が加速区間（力行）に存在しており、その時点での架線電圧と周辺に存在する車両の状態によって機能する。本機能による運転パターンの変化

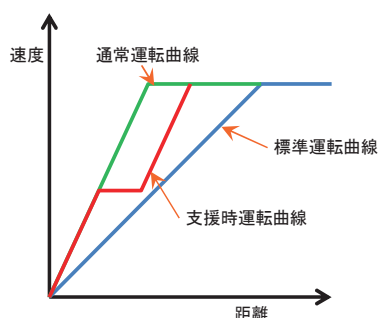


図3 力行コントロールによる運転パターンの変化

を図3に示す。

「制動コントロール機能」は、自列車が制動をかける際に、できる限り回生失効をしないように、速度、架線電圧及び次駅までの走行余裕時分等から予め計算してあるブレーキパターンのデータベースから最適のパターンを提示して、運転士に制動支援を行う機能である。本機能による運転パターンの変化を図4に示す。

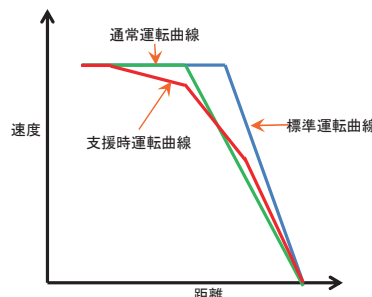


図4 制動コントロールによる運転パターンの変化

ブレーキは通常、回生失効等により予定した制動力が得られない場合、機械制動を立ち上げ制動を行う。そのため、本来得られる回生エネルギーの一部が機械制動による熱エネルギーで捨てられることになる。特に、高速域から回生電力を最大に利用（ブレーキノッチを最大）すると、列車の制動能力によっては、回生電力だけで列車の全制動力を賄いきれず、機械ブレーキの補填を始めから伴ったり、あるいは、他列車の力行電力が徐々に減少したり、自列車との距離が離れていくタイミングと重なると、架線電圧が急激に上昇して、回生失効に至る可能性も大きくなる。そこで、この状況を避けるため、高速域では、弱い制動力（ブレーキノッチを最大としない）として、速度が低下して十分回生制動が効く範囲で制動力を強めるノッチ操作を指示するブレーキパターン（ただし、駅間運転時分を一定とする）をデータベース化した。このデータベースから運転状況に沿った最適な運転パターンが選択され、運転士は、その運転指示（ノッチ）に従って運転するという支援方法である。

2. 3. 支援画面

前節の支援機能を実際の運転士への支援装置として実現するに当たり、運転士の受容性の高い支援画面にすることにより、実用化を早めることができると考え、運転士の意見を踏まえた支援画面をデザインした。

支援画面は、運行表立てに置ける大きさである10インチの画面とし、見やすくすることとした。

また、運転中に支援画面を注視することは前方監視の障害につながるため、支援情報を音声においても行うこととした。

支援画面の例を図5に示す。

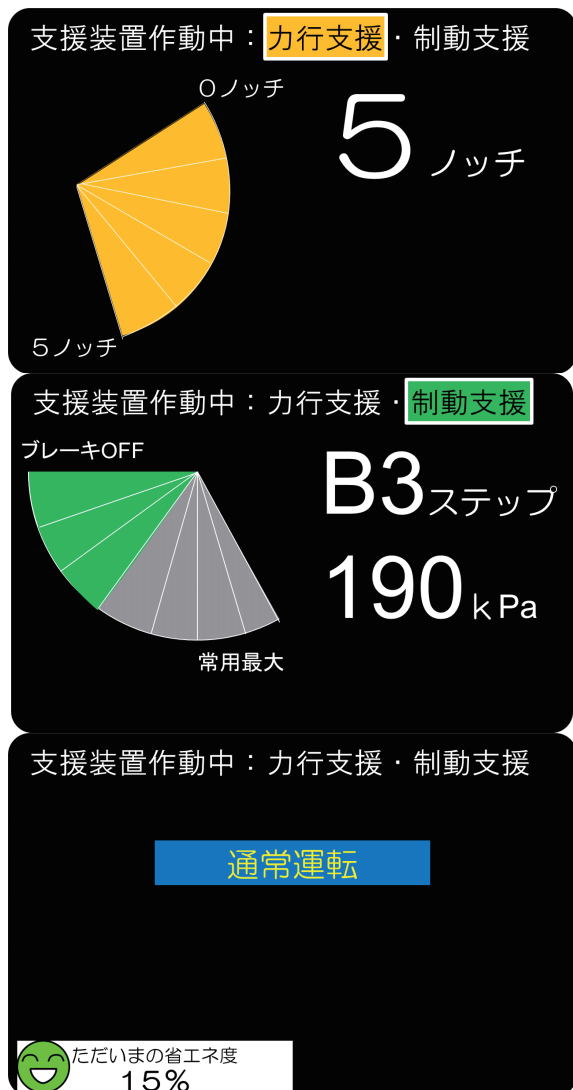


図5 運転支援画面の例

(上：力行支援時、中：制動支援時、下：次駅到着時)

支援画面は、ノッチの段数とともに、制動時においてはブレーキの直通管圧力を併せて示すこととした。また、2ハンドル仕様の運転台であったため、各々のハンドルの角度が視覚的に分かるように扇形でハンドルの方向を示すこととした。

また、次駅到着時に駅間走行結果が標準の運転曲線と走行した際と比較して、どの程度省エネルギー運転が達成できたかを以下の指標に従い計算した「省エネ度」を%表示とし、運転士に対して省エネルギー運転の度合いを示すこととした。

ここで言う「標準的な運転で使用された電力量」は

$$\text{省エネ度} = \frac{(\text{標準的な運転で使用された電力量}) - (\text{支援運転で使用された電力量})}{(\text{標準的な運転で使用された電力量})}$$

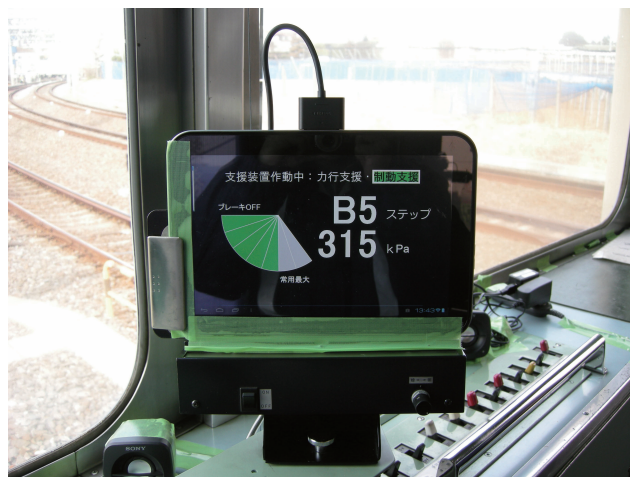


図6 運行表たてに設置した支援画面

運転士が標準運転曲線に従い運転した際の平均的な電力量である。

図6に運行表たてに設置した支援画面の状況を示す。

3. オンボード運転支援装置の営業線における動作確認及び効果評価試験

今回検討をおこなったオンボード運転支援装置は、新京成電鉄の車庫線及び営業線における試運転列車において動作確認及び効果評価を行った。

評価対象区間は、新津田沼～八柱間の上り方向に設定した。試験に用いた車両を図7に示す。

3. 1. GPSによる位置検知状況

列車位置を画面上の地図に表示する機能については、GPS受信機から出力された緯度経度情報をもと



図7 試験車両

に、路線の線形データに基づき列車位置を線路上に補正して表示するマップマッチング補正機能が設けられている。走行試験では、この補正機能により自列車の位置が正しく表示されることを確認した。

新京成電鉄の各駅は橋上駅のように上空が遮へいされている場所が多いため、停車中の測位誤差が大きくなり、結果として補正距離は大きくなっている。た

だし補正結果も良好であることから、運転支援への影響はないと考えられる。

3. 2. 画像解析による架線電圧計及び力行ノッチの認識

カメラより 15fps (1 秒間に 15 フレーム) で取り込んだ画像を解析することで架線電圧計及び力行ノッチの状況を認識する手法について、その認識状況の確認を実施した。

当初はカメラを被写体に正対して設置することができなかった影響により、認識精度が予定通り得られなかったが、台形歪み補正処理を行うことにより認識率を向上させることができた。(図 8 参照) 照度不足や外光の影響により認識率が下がることも確認されたが、認識パラメータの変更等で対応可能と考えられる。このことにより、各支援機能を行うための列車運転状況を簡易に取得可能となった。

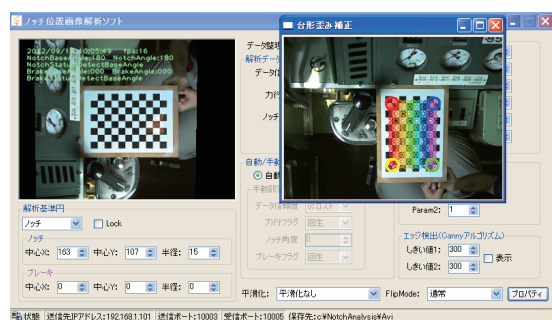


図 8 台形歪み補正処理状況 (力行ノッチ)

3. 3. 支援画面・タイミングの受容性の確認

支援情報や表示タイミングについて、試験車両を担当した 3 名の運転士に聞き取り調査を行い、その受容性について確認を行った。

図 5 の画面は、本プロジェクトの最終段階の画面である。

また、支援タイミングについては、当初、支援タイミングが遅く、駅構内でオーバーラン気味になる傾向があったため、現在位置と速度から予測して支援情報を先出しする機能を加え、運転士への聞き取り調査の結果から判断したタイミングより、2.5 秒の早く支援を行うこととした。その結果、運転士に不安感を与えず円滑に操作できるタイミングで支援を行うことが可能となった。

3. 4. 省エネ効果評価

標準運転曲線で走行した際の消費電力量を基準とし、どの程度省エネルギー効果が得られるかを検討した。

ただし、力行コントロールについては、力行中に於いて力行を解除することにより制動コントロールに用いる十分な余裕時間を確保できない場合があることが分かったことから、効果評価の対象から外すこととした。

現車試験の結果、試運転ダイヤのため前方の営業列車との間隔が狭まったことにより信号の影響を受けた箇所や、駅間が短く支援が開始できなかった箇所等一部区間において省エネ効果が得られない箇所が見受けられたが、多くの区間において 20% 程度の省エネルギー効果 (回生電力量の増加) が得られる可能性があることが確認された。

4. まとめ

今回、オンボード運転支援装置の研究を 3 年間に渡り実施し、営業線における支援装置の動作確認・効果評価を行った。その結果、当初に目標としていた動作が確認されたとともに、支援画面の運転士への受容性についても十分確保されていることが確認された。

本運転支援装置を用いることにより多くの駅間において回生電力量について約 20% の省エネルギー効果が得られる可能性があることが確認され、本プロジェクト開始当初に設定した目標である従前と比較して 5% の省エネルギー化についても達成可能であると考えている。その結果、これらの結果は、基礎的研究推進制度における事後評価においても高い評価結果を得ることができた。

今後は、本運転支援装置のモニターランを行う体制を整え、評価を引き続き実施していく必要があると考えている。

5. 謝意

本研究の実施において、東京大学、千葉大学、新京成電鉄、他多くの関係者に協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 「運輸分野における基礎的研究推進制度」により実施された研究開発課題 (平成 24 年度終了案件) に係る評価結果について

http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo17_hh_000031.html

6. 環境にやさしい交通システムへのモーダルシフトとシミュレーションによる効果評価に向けた取組み

交通システム研究領域
名古屋大学大学院

※大野寛之、工藤 希
加藤博和、森本涼子、柴原尚希、伊藤 圭

1. はじめに

都市交通分野における省エネルギー化や CO₂ 排出量削減のためには、個別交通から公共交通へのモーダルシフトが有効である。その実現に向け各地で実施されている取組み事例を取り上げ動向を報告する。

また、モーダルシフトの効果を評価するにあたっては、公共交通の輸送効率の側面とともに、システム全体のライフサイクル CO₂ 排出量の推計手法を構築し、交通システム整備に伴う CO₂ 排出量の変化を評価することも重要な視点である。このような観点から、シミュレーションを用いた効果評価手法と LRT 導入による CO₂ 排出量削減効果のケーススタディ事例を報告する。

2. モーダルシフト実現に向けた取組み

近年の都市内公共交通のトピックとしては、富山市に於ける富山ライトレール開業と、それに続く富山地方鉄道富山市内軌道線環状部の整備が上げられる。北陸新幹線開業に合わせ、両路線は JR 富山駅高架下で接続され直通運転も実施される予定であり、富山市内の公共交通ネットワーク整備が大きく進展する。

同様の動きが福井市に於いても始まっており、平成 25 年 3 月に福井鉄道が低床 LRV を導入したのを皮切りに、福井駅前の交通結節点の整備や福井鉄道とえちぜん鉄道との路線を田原町駅で接続し、相互乗り入れを行う計画となっている。

交通安全環境研究所ではこれらの地域に於いて、低床 LRV 車両が導入されるに当たり安全性評価を実施した他、新たな信号システムの安全性評価等も実施し、新しい交通システム導入の支援を行ってきた。

路面電車を巡る最新の動きとしては、札幌市に於ける路線の環状化¹⁾が注目されている。新たな軌道を敷設するに当たり、その位置を道路の中央部ではなく歩道側に振り分けるサイドリザベーション計画が提示

されている。この方式は海外では事例が見られるものの日本では初めての試みであり、新たに設置予定の停留所に於いて歩道から乗降できる利便性が、旅客にどのような影響を与えるかが注目される。

LRT だけでなく BRT(Bus Rapid Transit)の導入計画も進められている。BRT という言葉は、東日本大震災で大きな被害を受けた路線での仮復旧の手段として広く知られるようになってきたが、本来は鉄道の代替手段ではなく、都市内公共交通のメニューの一つである。新潟市では新しい公共交通として BRT の導入を目指しており、連接バス導入とバス専用レーンの整備を計画している²⁾。

上に挙げた各地の取組みは既に一部実現しているか、または実現に向けて計画が実行されつつあるものである。一方、実現までには時間が必要だと思われるものの、鉄軌道導入によるモーダルシフトへの大きな期待が寄せられている地域として沖縄本島が挙げられる。沖縄県内の軌道系交通システムは、沖縄都市モノレール(ゆいレール：路線長 12.9km)のみであり、車社会となっている沖縄では、新たな軌道系公共交通の導入機運が近年高まりつつある。

内閣府では平成 22 年度より「鉄軌道等導入可能性検討基礎調査」を開始し、平成 24 年度より「鉄軌道等導入課題検討基礎調査」を実施し、鉄軌道導入に向けた検討を進めている³⁾。沖縄県も平成 24 年 6 月に公表した「沖縄県総合交通体系基本計画」に於いて、本島を南北に走る「鉄軌道を含む新たな公共交通システムの導入」や那覇市と与那原町とを結ぶ「LRT・BRT 等」を掲げている。さらに沖縄県では上記基本計画に基づき、「鉄軌道を含む新たな公共交通システム導入促進検討業務」を進めている⁴⁾。

国や沖縄県の動きとは別に、沖縄県内の自治体でも独自に鉄軌道導入の可能性を検討しており、特に本島

南部の市や町および石垣市に於いては LRT 導入に向けた議論が進められている。

交通安全環境研究所では平成 22 年に那覇市と宜野湾市を会場として「第 4 回 LRT 国際ワークショップ」を開催し、海外有識者を交えて沖縄への LRT 導入の可能性について議論した他、平成 24 年には「第 2 回 LRT 普及促進懇話会」を那覇市で開催し、沖縄県内への LRT 導入に向けた動きを支援している。また、鉄軌道導入に向けた沖縄県の検討会や、沖縄本島南部自治体の勉強会等に職員が参加し、技術的助言等を行っている。

このように、都市内交通のモーダルシフトに向けた LRT や BRT 等の新たな公共交通システム導入の動きは全国に広まってきているが、都市の構造、道路の状況、あるいは人口の集積度や人口構成等の条件は地域により異なっている。また、かえって道路渋滞が増え CO₂ 排出量が増加したり、導入した新システムに乘客が乗らず、採算性が悪化したりという影響があり得る。そのため、新たな公共交通を導入するに当たっては、事前に導入効果を予測し評価する必要がある。以下、公共交通システムの導入効果評価手法の例について詳述する。

3. LCA (Life Cycle Assessment) を考慮した LRT 導入効果評価

モーダルシフト実現のための効果評価に当たっては、これまで、導入後の交通システムの効果評価について検討してきたが、システム全体のライフサイクルも考える必要がある。そこで今回は、交通システム整備に伴う CO₂ 排出量の変化を評価する観点から、交通流シミュレーションに、実際の交通システム整備計画に関するライフサイクル環境負荷の評価を加えた検討を行った。

ケーススタディとして LRT を導入した場合の効果を実施した。なお、ケーススタディにおいて LRT 整備前後の比較を実施しているが、推計における諸設定はあくまで仮想である。

3. 1. 評価範囲の設定

本ケーススタディでは、路線バスを新設の LRT に置き換える事業を対象として、ライフサイクルにわたる CO₂ 排出量を推計する。LRT・路線バスの各交通システムと自動車を評価範囲に含める。LRT はインフラ(軌道等の本体構造物、停留所等の付帯構造物)と

車両から構成されるシステムとし、従来運行している路線バスについては、インフラ(道路・停留所等)はすでに存在するものとして推計に加え、車両製造・更新および走行に伴う CO₂ を評価する。

ライフタイムは、LRT・路線バスいずれのシステムも 60 年とし、車両は LRT30 年、路線バス 10 年で更新されるものとする。また、LRT 整備や路線バス廃止によって交通流が変化する自動車(乗用車・トラック)については、走行起源環境負荷の変化を扱い、環境負荷の種類として CO₂ を取り上げる。本ケーススタディにおける評価範囲を図 1 に示す。本検討では LRT および路線バスのライフサイクル CO₂ を SyLC-CO₂(System Life Cycle CO₂)、自動車を含めた拡張ライフサイクル CO₂ を ELC-CO₂(Extended Life Cycle CO₂)と表記する。

推計フローを図 2 に示す⁵⁾。LRT・路線バスの走行起源以外の CO₂ 排出量は各構成要素(車両、インフラ)の CO₂ 排出原単位を用いて求める。また、LRT・路線バス・自動車の走行起源 CO₂ 排出量はシミュレーションにより求める。

3. 2. 車両及びインフラの推計方法

LRT・路線バスの構成要素である車両・インフラ(LRT のみ)それぞれの CO₂ 排出量は、製造(車両)、建設・維持補修(インフラ)の段階毎に表 1 に示す CO₂ 排出量原単位を用いて推計する。なお、LRT のインフラ維持補修は毎年行うとし、レール交換は 20 年に 1 度と仮定する。

3. 3. 車両走行段階の推計方法

本検討では当研究所で開発した都市交通シミュレータ⁷⁾を用いて、従来の路線バスや自動車および新設 LRT の車両走行の CO₂ 排出量を求める。本シミュレータは地図上に LRT 路線を設定して、道路交通(自動車、バス)の走行と並行して模擬走行することができ、LRT 導入による自動車交通への影響が計算可能である。LRT には車両の性能曲線、制限速度、曲線通過速度が与えられ、交通信号機に従いながら走行する際の力行電力、回生電力から消費エネルギー量が得られる。自動車に関しては、道路ネットワーク上をあらかじめ目的地を持った自動車が 1 台ずつ信号現示に従って走行する、車両間の追従挙動モデルに基づいたミクロ交通シミュレーションとなっている。

普通ガソリン自動車と大型・バスディーゼル自動車

を扱い、各車からの CO₂ 排出量は、走行モードにより瞬時燃料消費量を計算し、それに環境省が定める CO₂ 排出係数を乗じて算出する。

3. 4. ケーススタディの概要

ケーススタディの概要を表 2 及び図 3 に示す。LRT 導入により従来同じ区間を運行している路線バスは廃止され、利用者は全員 LRT に転換するものと想定し、専用軌道の敷設に伴って自動車が通行可能な車線は減少するものとする。またここでは並行道路を走る自動車交通からの転換は考慮しないものとする。

自動車走行状況は、国土交通省による平成 17 年度の一般道路交通量調査データに基づき、各交差点の直進右左折交通量を用いて再現する。

LRT 整備前後の環境負荷変化を推計するために、従来(自動車+路線バス)と LRT 整備(自動車+LRT)の 2 つのシナリオを設定する。シミュレーションによる推計は 1 時間を単位として行う。1 時間ごとの推計結果を足し合わせて 1 日の CO₂ 排出量を算出し、ライフタイム 60 年に換算する。

3. 4. 1 交通ネットワーク全体での推計結果

交通ネットワーク全体からの ELC-CO₂ 推計結果を図 4 に示す。SyLC-CO₂ は従来(路線バス)に比べ LRT 整備の方がインフラ起源の CO₂ 排出量が多いものの、走行起源 CO₂ 排出量が小さいため、微量ながら減少したが、周辺交通流の自動車走行起源 CO₂ 排出量は 528[kt-CO₂/60 年]増加しており、その分も含めた ELC-CO₂ は増加するという結果が得られた。すなわち、軌道を新設して道路容量が減少し、周辺道路が渋滞した分、路線バス利用者が LRT 利用へと転換するだけでは、交通ネットワーク全体として ELC-CO₂ が増加することになる。

3. 4. 2 自動車から LRT への需要転換量の影響に関する感度分析

以上より、LRT 整備に伴い CO₂ 排出量を削減するには、自動車から LRT への需要転換が必要であるということが分かる。そこで、需要転換が生じた場合の、自動車走行による CO₂ 排出量の変化について感度分析を行った。本検討では道路状況に着目し、渋滞のある上りと渋滞のない下りでは需要転換の感度がどのように異なるか考察した。考察する範囲は、図 3 に示す LRT と並行する 2km の区間で行った。シミュレーション設定条件を表 3 に示す。この条件で自動車のう

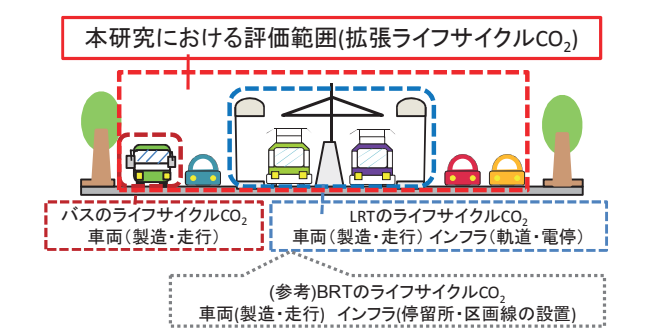


図 1 本ケーススタディにおける評価範囲の設定

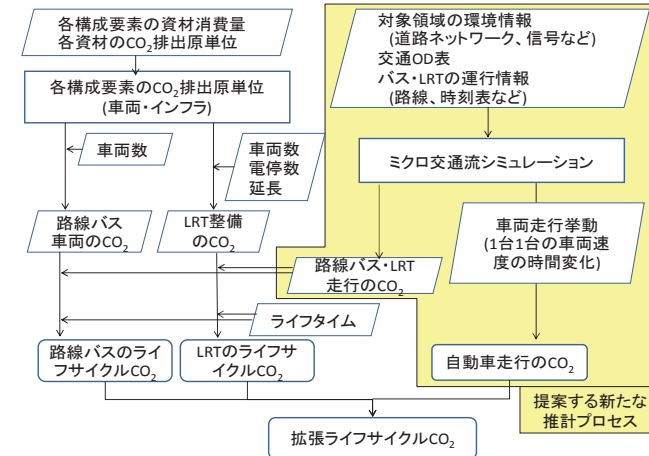


図 2 ライフサイクル CO₂ 推計フロー⑤

表 1 LRT・路線バスの CO₂ 排出原単位^⑥

システム	構成要素	段階	原単位
LRT	a)車両	製造	39.3[t-CO ₂ /編成]
		建設	1,070[t-CO ₂ /km]
	インフラ	b)軌道	14.4[t-CO ₂ /箇所]
		c)電停	4[t-CO ₂ /年]
路線バス	e)車両	製造	36.4[t-CO ₂ /台]

ち 10～50%が LRT へ転換した場合の CO₂ 排出量を推計する。

図 5 に対象区間上りの分析結果を示す。1 時間のシミュレーションにより得られた、対象区間を通過した自動車の走行により発生する CO₂ 排出量を表している。自動車需要のうち 20%が LRT に転換すると、点線で示した交通量減少分以上に CO₂ 排出量は低減していくことがわかる。この理由として、交差点で発生している渋滞が解消されて車両走行環境が改善する効果が卓越していることが考えられる。

一方、図 6 に示す同区間下りのみの分析結果では、上りに比べて CO₂ 排出量の減少の程度が小さい。これは、下りはもともと渋滞が発生しておらず、転換に

よって交通量が減少しても車両挙動が大きく変わることがないためである。

以上より、道路交通状況が需要転換量の感度分析結果にも大きく影響を及ぼすことが分かった。なお、今回は需要転換量を扱ったが、自動車交通量が従来より増加した場合等についても、感度分析によって検討することができる。

表 2 本ケーススタディで検討する路線の概要

	路線バス(従来)	LRT(計画)
車両重量[t/両(編成)]	10.7	25.0
運行本数[本/日]	450	320
表定速度[km/h]	10.2	16.8
停留所数[箇所]	50	36
路線延長[km]	14.5	14.5
輸送量[人/日]	27,000	27,000
車両数	15[台]	20[編成]
定員[人]	80	150

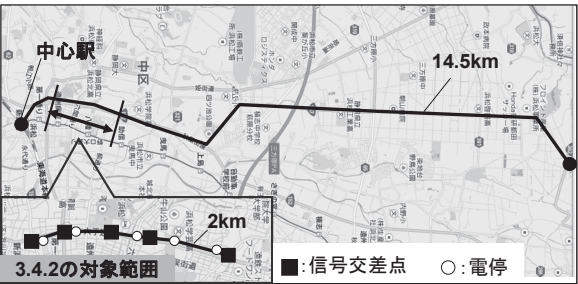


図 3 シミュレーション対象区間の概略図

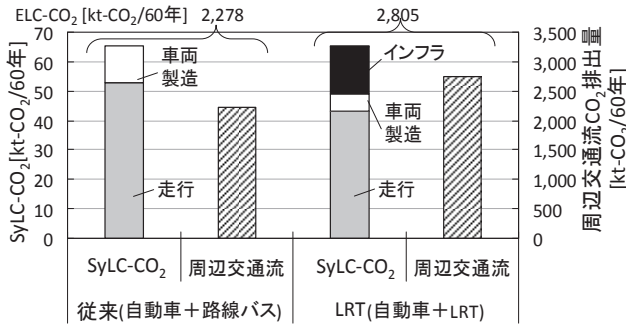


図 4 交通ネットワーク全体での CO₂ 推計結果

表 3 シミュレーション対象区間の概要

LRT 延長	2.0km
OD データ	平成 17 年道路交通センサス 主要交差点の交通量調査
交通信号	LRT に対しては PTPS を適用
計算時間	1 時間
電停数	7 箇所
シナリオ設定	従来：自動車+路線バス LRT 整備：自動車+LRT
区間内主要交差点	5 箇所

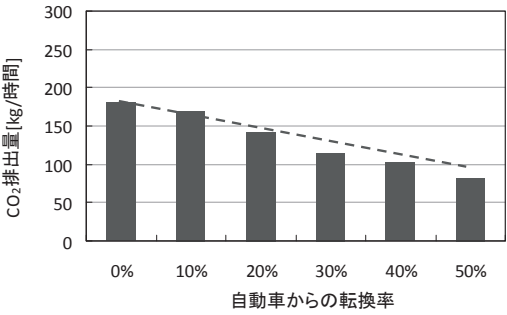


図 5 自動車からの需要転換の感度分析(上り)

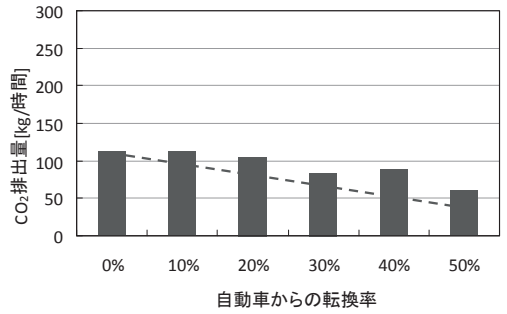


図 6 自動車からの需要転換の感度分析(下り)

4. おわりに

効果的なモーダルシフトの実現により、地域住民の満足や CO₂ 排出量削減等の結果を得るためには、都市計画から交通システムのライフサイクルまで考慮する必要がある。新しい公共交通を導入した後で、予測した効果が得られなかったという状況にならないためにも、導入効果を適切に予測・評価することは極めて重要であり、今後ともこの研究を進めていきたい。

参考文献

- 1)札幌市ホームページ
- 2)新潟市ホームページ
- 3)内閣府ホームページ
- 4)沖縄県ホームページ
- 5)森本他：マイクロ交通流シミュレーションを組み込んだ交通システム整備によるライフサイクル CO₂ 変化の推計手法，第 21 回地球環境シンポジウム講演論文集,2013.
- 6)渡辺他：LRT システム導入の環境負荷評価ー代替輸送機関との比較と環境効率の適用ー，日本 LCA 学会誌，Vol.2 No.3，pp.246-254，2006.
- 7)工藤他：軌道系交通の導入評価のための都市交通シミュレータ，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.44，CD-ROM，2011.

7. 運転状況記録装置の国際規格化と映像型記録装置の実用化について

交通システム研究領域

※森 裕貴

竹内 俊裕

吉永 純

田代 維史

1. はじめに

鉄道における運転状況記録装置の設置については、JR 福知山線の脱線事故を契機に、航空・鉄道事故調査委員会（現 運輸安全委員会）が、「列車の走行状況等を記録する装置の設置と活用」に関する建議を行ったことを踏まえ、国土交通省の「技術基準検討委員会」において、設置の義務付けが提言された。その後、国土交通省は「運転状況記録装置に係る検討会」を設置し、同装置に必要な仕様、今後追加されることが望ましい仕様を決定、平成 18 年 7 月に、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（以下「技術基準省令」という）が改正された。この技術基準省令では、新造車両は設置を義務付け、その他の車両については経過措置を設けているが、安全性向上のためにも速やかに設置されることが望ましい。

交通研では、技術基準省令で定められている同装置に必要な仕様に加え、今後望まれる仕様についても検討すべきと考え、大幅な車両改造を必要とせず既存車両への導入が容易な、映像型の運転状況記録装置（以下「映像型記録装置」という）の実用化に取り組んできたが、このほど具体的な導入が実現したので、その概要について説明する。

また、運転状況記録装置の規格化は欧州において先行していたが、日本方式の国際標準化活動に積極的に取り組んだ結果、日本の運転状況記録装置の考え方が反映された国際規格がまもなく成立する見込みである。国内外の運転状況記録装置の現状について解説するとともに、国際規格化に対する取り組みと現状について報告する。

2. 国内における運転状況記録装置について

国内では、運転状況記録装置が備えるべき要件は、技術基準省令において定められている。そのため本項では、技術基準省令およびその解釈を具体化して明示した解釈基準（以下「解釈基準」という）を概説するとともに、国内の現状や取り組みについて述べる。

2. 1. 運転状況記録装置の整備率

技術基準省令においては、一部の車両を除いた対象車両について、改正より 10 年の間（平成 28 年 6 月末）に整備率 100%とすることを定めている。図 1 に対象車両における整備率の推移を示す¹⁾。調査が開始された平成 19 年当初の整備率は 35%程度と低水準であったが、毎年 10%ほど上昇し平成 24 年末には整備率は 85%となった。この上昇率であれば容易に達成する見込みではあったが、平成 25 年末の整備率は 89%と上昇は 4%に留まり、残り車両への設置が急がれる。なお、設置が急務であった運転最高速度が 100km/h を超える車両については、改正より 5 年以内に設置するよう指導があり、既に全車に設置が完了している。

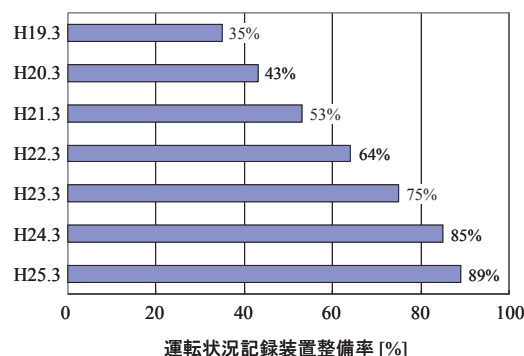


図 1 対象車両における整備率の推移

2. 2. 運転状況記録装置の種類

運転状況記録装置は設置形態により大きく 2 種類に分けられ、車両制御情報システム (TCMS: Train Control and Monitoring System) のように鉄道車両全体をモニタリングするシステムにおいて、その一部機能が運転状況記録装置の役割を担うものと、運転状況記録装置としての機能のみを有する独立型のものがある。既存車両への設置については、概ね独立型が採用されており、後述する国際規格においても対象範囲は独立型に限られている。

また、測定データの記録方法についても、常時測定データを記録する連続記録方式と、測定データの変動

をトリガとして測定範囲を決定するイベントトリガ方式の2種類に分けられる。ただし、解釈基準において、運転状況記録装置の役割は事故の原因分析に限定されており、インシデント発生状況の解明から事故の防止へ繋げるためには、極力多く可能な限り克明に記録することが必要としている。そのため、一部のイベントトリガ方式を除き、ほとんどの装置で連続記録方式が採用されている。

2. 3. 解釈基準における装置仕様

解釈基準では、測定が必要な記録項目（表1）が記載されている。従って、表1を満足するよう測定すればよく、単一装置での測定も義務付けられていないため、複数の装置を用いて記録しても良い。ただし、過去の事故原因分析の際、測定データ間の一貫性がないことが問題となった。そのため、複数の装置で測定を行う際は、各データ間の整合性に齟齬がでないように留意する必要がある。

表1 測定が必要な記録項目

記録項目	内容
列車の運転に関わる基本情報	時間、列車速度、列車位置、制御設備の操作状況、常用ブレーキ装置の操作状況
運転士の操作に関する基本情報	制御設備の操作装置の状況、常用ブレーキ装置の操作装置の状況
自動列車停止装置又は自動列車制御装置の動作	ATS または ATC の動作
運転指令と運転士等との通話記録	音声、時刻

一方、解釈基準では今後望まれる仕様（表2、3）についても同時に記載されている。保安ブレーキの動作、ドア開閉情報、前方映像などいくつかの項目が追加されるとともに、表1に含まれる項目についても適宜補正することが求められるなど、より詳細について規定されている。

現在、国内において実績のある運転状況記録装置においては、表2の望まれる記録項目を単一装置で記録できるものも実現されつつある。しかし、項目によっては車両から信号を取り出せなかったり、全項目を測定するためには大幅な車両工事が必要になったりと、いくつかの課題が残されている。なお、表3に記載されている性能項目については、必要最低限と思われる内容であり、耐性についても一般的な表現に留まっている。これは、今後の技術革新を妨げないためであり、可能な限りの性能向上をすることが推奨されている。

表2 測定が望まれる記録項目

記録項目	内容
時間	時間補正を含む
位置	位置補正を含む
速度	
常用ブレーキ装置の操作状況	各ノッチ毎の操作状況、非常ブレーキの指令元の判別
制御設備の操作状況	各ノッチ毎の操作状況
自動列車停止装置の動作	ATS 信号種別を記録 動作状況を記録
自動列車制御装置の動作	ATC 信号種別を記録 動作状況を記録
保安ブレーキの動作	動作状況を記録
BC 圧	動作状況を記録
等価ブレーキ力信号	電気車の場合、回生動作状況
主回路電流	
ドア開閉情報	ドア開閉指令及び ドア開閉ランプの点灯状況
前方映像	外部要因による事故への対応

表3 望まれる性能項目

性能項目	内容
記録時間	直近の1日分以上
停電時動作	列車分離、停電等による電源断に耐える
メモリ保持時間	電源断後5日以上保持する
最小記録間隔または最小時間分解能	0.2秒以内
耐振動性能	通常動作を保証 異常時に記録媒体を保護する
耐衝撃性能（記録媒体）	
耐水性能（記録媒体）	
耐火性能（記録媒体）	
設置位置	

3. 映像型記録装置

鉄道用の運転状況記録装置は、2. 1. で述べた通り普及が進みつつあるが、残された対象車両への設置および今後望まれる仕様を満たすためには、車両の大改造を伴わず、より安価で簡易に導入できる装置の提案が望まれている。

交通研ではこれらの課題に対して、従来の運転状況記録装置のように、車両から各種信号を取り出して記録する方式ではなく、GPS やカメラといった既存の車載機器と非接続で情報を取得する、映像型記録装置を提案している²⁾。映像型記録装置が実現すれば、既設のモニタ装置や保安装置を改良または変更する必要がなく、これに伴う装、接点構成、配線などの大幅な車両工事についても必要なくなると考えられる。

しかし、データ取得の信頼性や性能の検証が新たに必要となるなど、いくつかの課題が残されていた。そ

ここで、映像型記録装置のプロトタイプを製作し、実用に供するために下記の各種走行試験を行った。

- a) 前方画像を取得する場合、white out および夜間の視認性低下が発生するカメラ条件の確認試験
- b) GPS と補正技術による、列車速度および列車位置の算出試験
- c) カメラを用いた運転操作盤の動作識別試験
- d) カメラを用いたランプ点灯状態の識別試験

各試験の結果から、映像型記録装置については、運転状況記録装置の各種記録項目を測定するために、十分な性能や信頼性を有すると結論付けた。そして、その結果を反映した映像型記録装置が実用化され、本年度より阪堺電気軌道株式会社に導入された。設置された映像型記録装置を図2、図3に示す。

測定センサについては、前方撮影カメラ、運転台カメラ、GPS、マイクで構成される。測定が望まれる記録項目について、対応するセンサをまとめた一覧を表4に示す。表2に含まれない「運転指令と運転士等との通話記録」については、車内に設置されたマイクと運転指令の録音装置にて記録される。また、運転席には画像モニタが設置され、ドアの開閉動作（図4）など車内カメラの映像についても表示が可能である。

4. 国際規格化の動向

運転状況記録装置の規格化については、特定の車種や線区に限定されているが、イギリス（GM/RT 規則 2472:2002 年）やアメリカ（FRA 規則 49 CFR Part 229: 2005 年）が先行して、設置の義務付けや仕様を定めた規格を発行している。

鉄道網が発達し国境を跨ぐ鉄道が数多く存在する欧州においては、鉄道分野の欧州規格（EN 規格）の策定が活発であり、規格化についてのノウハウを蓄えている。近年欧州では、鉄道技術の輸出を国家戦略と位置付け、EN 規格の国際標準化により、自国の技術を積極的に展開しており、運転状況記録装置についても国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IEC）に欧州側より規格化の提案がなされた。新しい IEC 規格を制定する場合、表5の手順に従って進められる。国際規格に日本のシステムや考え方が盛り込まれない場合、開発メーカーは国際競争力を失う。また、鉄道事業者にとっても、こうした IEC 規格が JIS 化されるようなことがあれば、国内実績のある製品の調達が困難となったり、日本の実情に合わ

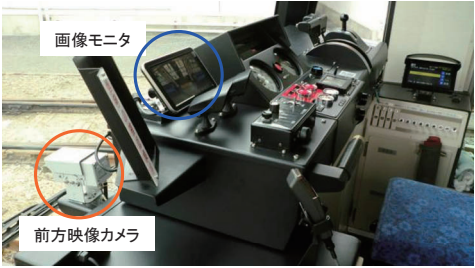


図2 設置状況（運転台周辺）



図3 設置状況（運転台後方）

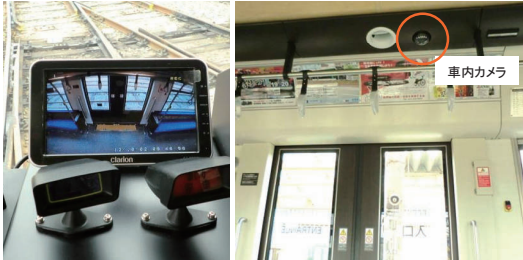


図4 車内カメラのモニタ表示

表4 記録項目に対応するセンサ

記録項目	使用センサ
時間	GPS
位置	GPS、前方撮影カメラ
速度	GPS、運転台カメラ、前方撮影カメラ
常用ブレーキ装置の操作状況	運転台カメラ
制御設備の操作状況	運転台カメラ
自動列車停止装置の動作	該当せず
自動列車制御装置の動作	該当せず
保安ブレーキの動作	運転台カメラ
BC 圧	運転台カメラ
等価ブレーキ力信号	該当せず
主回路電流	—
ドア開閉情報	車内カメラ
前方映像	前方撮影カメラ

表5 IEC 規格の制定手順

段階	制定手順	文書名
1	新業務項目（NP）の提案	New Work Item Proposal
2	作業原案（WD）の作成	Working Draft
3	委員会原案（CD）の作成	Committee Draft
4	国際規格原案（CDV）の照会及び策定	Committee Draft for Vote
5	最終国際規格案（FDIS）の策定	Final Draft International Standard
6	国際規格の発行	—

ない製品を購入せざるを得なくなったりと、新たな負担を強いられる恐れがある。

4. 1. 国際委員会の動向

日本は IEC/TC9 (鉄道用電気設備とシステムの専門委員会) の P メンバー (Participating member) であり、委員会会議への積極的参加の義務と、投票の権利を有している。そこで、国際委員会が開催されるにあたり、国内の開発メーカー、鉄道事業者、第三者機関による国内作業部会を開催、コンセンサスのとれた日本案を作成し、国際委員会に臨んでいる。

国際規格では「運転情報記録装置 (On-board Driving Data Recording System)」として審議され、IEC 62625-1 においてシステム仕様を規定し、IEC 62625-2 において要求仕様を確認するための試験方法が規定される予定である。IEC 62625-1 の審議にあたっては、欧州原案から我が国の技術基準を満たし、最低限必要な機能・仕様を定める規格案に修正する方向で国際審議を進め、多くの日本案の承認を得た最終国際規格案 (FDIS) を策定、投票のため現在回覧されている。IEC 62625-2 については、委員会原案 (CD) を日本が作成し、国際審議に取りかかり始めたところである。

4. 2. 国内外における考え方の差異

国際審議を進めるにあたり、最も難航した点は日本と海外の考え方の差異である。主な点を述べると下記の通りである。

記録方式について、日本は前述の通り連続記録方式を採用している。一方、海外の多くの国では、記憶容量の削減、記録媒体への書込頻度の削減、省電力などの理由により、イベントトリガ方式を一般的に採用している。

また、規格に記載する数値の取扱いについては、日本は技術的進歩を考慮して、同意されない数値は排除する考えであるが、欧米ではできる限り数値を規定するという考えである。

4. 3. 国際審議での議論

4. 2. で述べたように、日本の基本的なスタンスは、各国間で同意のとれない数値は削除する方針であったが、欧米の抵抗により最小限の数値は認めることとなった。国際審議において特に議論となった項目について述べる。

①最小記録間隔について、日本方式は書込頻度を抑える工夫として、最小記録間隔をそのままに、複数データを一度に書込むことで書込頻度の低減を図って

いる。しかし、その書込頻度を見て、「日本の最小記録間隔は長すぎる」との誤解を生んだが、丁寧に説明して誤解を解き、日本方式を併記することとなった。

②記録項目については、各国が現状記録している様々な項目や数値が提案されたが、「時刻および日付」「列車速度」「列車位置」「安全運行に関わる運転士の指令」「列車運転に関わる安全機能の作動状態」の5項目に集約された。安全機能として BC 圧が挙げたが、BC 圧を直接測定することは難しいため、ブレーキコマンド指令への変更を提案し、反映された。

③日本において認められている測定データの上書きと、記録媒体の取り外しについては、海外において認められていない場合が多いため、併記することとなった。ただし、日本からの提案により、故障等の場合はどのような形態でも取り外せることとした。

④事故の際に記録媒体を防護するための保護性能は、最も意見が割れた項目である。国によっては列車全体の水没などを考慮しているため、基準がまちまちであった。日本は1編成への2台設置、あるいは設置位置の工夫による防護も可能と主張したが、最終的に日本案を含めた複数案から選択する形式で決着した。

以上、個々の議論に対し日本の現状を詳細に説明し、可能な限り日本の技術も規格の中に取り入れた。

5. まとめ

本稿では、運転状況記録装置の日本国内での現状と課題について述べ、課題に対する回答として提案していた映像型記録装置が実用化されたので、その概要について紹介した。映像型記録装置については導入期間がまだ短い、今後多くの実績を積み導入各社の一助となることを期待する。

また、運転状況記録装置の規格化については、「Part1 システム仕様」の欧州原案では盛り込まれていなかった日本の仕様や考え方を数多く提案し、多くの日本案に対し承認を得ることができている。これまでの経験を活かし、「Part2 試験方法」の原案を日本から提出することでイニシアチブを握ることはできたが、今後とも各国の動向を注視しなければならない。

参考文献

- 1) 国土交通省、鉄軌道輸送の安全にかかわる情報の公表について、http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk8_000001.html
- 2) 水間毅, 山口知宏, 吉永純, 伊藤昇, 竹内俊裕, 菊池実, 運転状況記録装置 (映像型) の開発, 鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail2006) 講演論文集, pp.409-412 (2006)

8. 鉄道の安全関連国際規格への対応と規格適合性認証について

鉄道認証室

※田代 維史

1. はじめに

我が国の鉄道に関する技術標準としては、国の「鉄道に関する技術基準」、JIS（日本工業規格）、鉄道関連の各種団体規格などがあり、これらが国内における鉄道全体をカバーしてきた。各種鉄道製品のこれら標準への適合性に関しては、先ずメーカー自身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自らが製品受入れの妥当性判断を行う仕組みとなっている。

一方、近年の海外市場ではこの仕組みが日本国内と異なっている。図1の例の様に海外では、工業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、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る。このように海外鉄道市場では安全関連規格に関する認証取得が重要性を増しており、欧州鉄道メーカーは欧州域内の認証機関から認証を取得し、世界市場への製品拡販を図っている。一方国内鉄道メーカーは、上述の仕組みから日本に鉄道製品の認証機関が存在しなかったため、海外市場における応札資格条件、あるいは納入後の稼働判断条件に規格適合性認証が求められた場合、海外の認証機関に認証を依頼してきた。

しかし海外の認証機関を利用すると、鉄道安全に関わる日欧の設計思想の違いの克服、外国語での対応、地理的制約等によって、膨大な手間とコストがかかると言われている。なおかつ、安全関連規格群は製品安全性の技術的仕様の妥当性と併せて、その仕様の達成プロセスの妥当性を求めるため、規格適合性説明文書の体系が我が国の上述の妥当性判断の仕組みに対応した技術文書の体系と大きく異なっており、国内メーカーは新たな技術文書体系を構築する必要に迫られている。

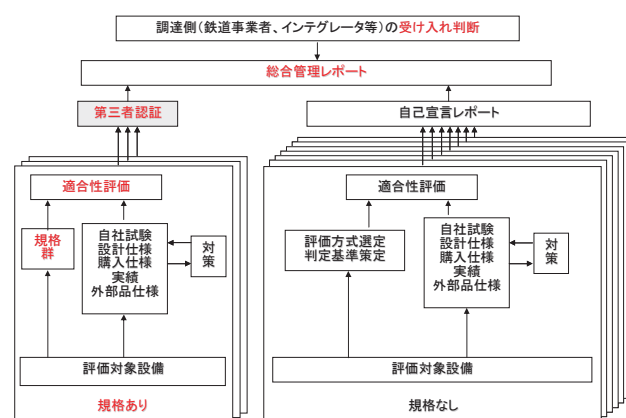


図1 海外鉄道プロジェクトの製品受入の仕組み例

このような背景のもと、交通安全環境研究所では認証機関を立ち上げ活動を開始した。

本稿では、安全関連規格の歴史、構造と特徴、説明文書の構成を述べ、交通安全環境研究所鉄道認証室の認証機関としての活動を述べる。

2. 歴史的経緯

日本の鉄道は、ダイヤ乱れの少なさや鉄道設備の信頼性の高さにおいて世界最高水準にあるが、鉄道技術の国際標準化と規格適合性認証では欧米がリードしている。

欧州では、18世紀から民間主体で認証事業が開始され、20世紀後半の欧州統合に合わせて域内規格の統一が図られた。一方、米国では第二次世界大戦後、軍事・宇宙分野で信頼性マネジメント技術が進展し、アポロ計画などの成果が得られた。この技術と欧州で生まれた設計安全性の概念が融合した結果、鉄道分野では1990年代に、R:信頼性、A:アベイラビリティ、M:保守性、S:安全性からなるRAMS性能とその達成プロセスのマネジメントを要求する通称RAMS規格と呼ばれる欧州規格EN 50126が開発され、世界標準のIEC 62278となった。

図2に安全マネジメント規格と、関係する機関群の構図を示す。安全マネジメント規格は、製品開発着手の冒頭で、目標とする SIL (Safety Integrity Level : 安全性のレベル) を宣言させ、次に SIL を達成できたマネジメントの証拠 (文書や立会い監査) を要求し、その証拠の妥当性の判断を中立・公平な第三者に委ねることを要求する。かつ、第三者性は SIL に応じて高くなる様に規定されている。この仕掛けにより、いわゆるフェイルセーフが要求される鉄道信号の様な設備の場合、外部の認証機関からの認証を取得せざるを得ない状況が作られている。安全マネジメント規格には、鉄道のような特定産業分野を対象とするのものと、分野横断的なものがあるが、いずれのものもこれまで欧州の標準化団体 CEN (欧州標準化委員会) と CENELEC (欧州電気標準化委員会) が開発と管理を行ってきた。かつ、規格を適用される製品の計画・設計・製造等の各段階で関わるシステムインテグレータやコンサルタント、認証機関や試験機関もまた欧州勢が主導権を握っている。

以上の結果、安全関連規格の開発、規格対応コンサルタントから規格適合性認証まで一貫して欧州勢が主導権を持つ構図が生まれた。

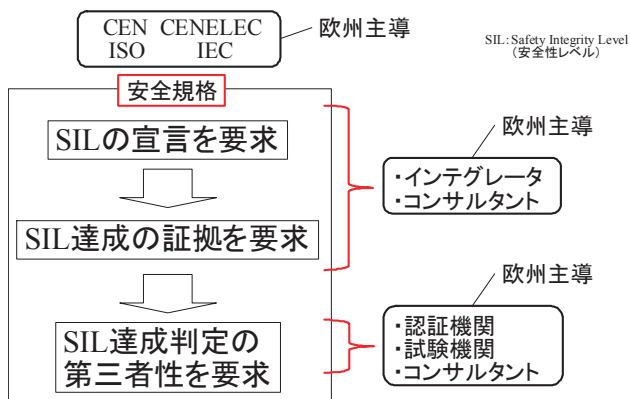


図2 安全関連規格と関連機関の構図

3. RAMS 規格の特徴

一般に規格には、特定製品の技術仕様を定め、その達成を要求するものと、目標達成業務のプロセスマネジメントを要求するものがある。RAMS 規格の特徴はこれらの要求を一体化したことと、鉄道製品の種別を限定しないことである。すなわちこの規格は、任意に選定された鉄道製品に関して、技術的 RAMS 仕様を定め達成することと、達成プロセスマネジメントの妥当性証明文書の作成を要求する (図3)。また達成プロセスは、図4に示すように製品の構想段階から、

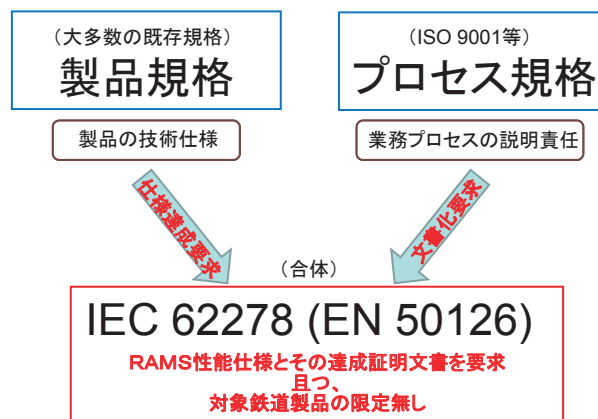


図3 RAMS 規格の要求

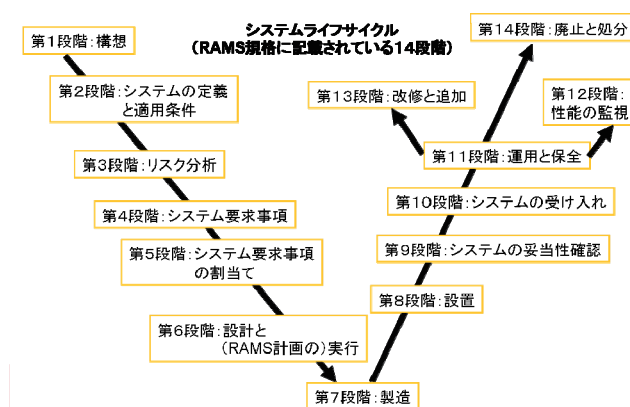


図4 システムライフサイクル

設計、製造、使用、廃棄までの全ライフサイクル段階をカバーしなければならない。メーカーは製品の RAMS 性能達成のための活動 (RAMS Activity) を各段階において規定し、実行の証拠を文書で説明しなければならない。各段階における活動とは、先ずその段階において達成されるべき要求事項を規定し、前段階からのインプット (解析結果、試験検証の結果、参考情報等) が揃っていることを確認し、要求事項を実現する業務を実行し、その結果が妥当であることの「検証」を行い、次段階へのアウトプット (次の段階へのインプット) を行うことである。

ここでいう「検証」を一般通念としてみれば、次段階に対する問題の有無を確かめることであるが、RAMS 規格はさらに念入りの検証を求める。あたかもデータ通信プロトコルの階層構造と同じ様に、14の RAMS ライフサイクル段階を上位層、中位層、下位層に分類する。通信プロトコルでいえば、例えばデータ通信を行う2台のコンピュータに組み込まれたプロトコルの各階層は、相手方の同位階層とは相互に

通信が完全に出来なければならないが、これに類似して RAMS 規格では、ライフサイクル第 2 段階（適用範囲の定義）と第 10 段階（受入れ）を上位階層の組と考え、第 2 段階で定義した仕様が満足されているかを第 10 段階で検証することを求める。中位層では第 5 段階（安全要求の配分）と第 9 段階（機能と安全性の検証）、下位層では第 6 段階（設計）と、第 7 段階（製造）のうちの出荷検査がそれぞれ検証すべき組となる。RAMS 規格では次段階へのアウトプットの検証を Verification、同階層内の組同士の検証を Validation と呼んで区別し、かつ、両方の検証を合わせて V & V (Verification and Validation) という呼称を用いることで、検証漏れは許さないという姿勢を強調している。

4. RAMS 文書

一般にマネジメント規格では、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管理することを Configuration management と呼ぶ。RAMS 規格の運用において Configuration management に対応する文書は RAMS 文書と通称される。規格本文中の RAMS support documentation や System support documentation がこれに相当するが、どのような体系の文書を作成すればよいのかを RAMS 規格自体は記述していない。RAMS 規格には単に、適切な Configuration management が達成されるべき、という記載しかない。

そこで参考となるのは IEC 61508 と EN 50129 (IEC 62425 の原案) である。前者は産業分野を問わず E/E/PES (Electric/Electronic/Programmable Electronic System ; 電気・電子・プログラマブル電子システム) 製品の安全性マネジメント規格であり、後者は鉄道において保安レベル (いわゆるフェイルセーフ) の安全に係る電子装置の安全性マネジメント規格である。これら 2 つの規格は共に RAMS 性能のうち S=安全性に重点をおいているが、RAMS 規格対応の文書体系に関する実用的例を提供している。

前者はその参考附属文書に、安全性ライフサイクルの全体をカバーする文書構造と、E/E/PES およびソフトウェアの安全性に関して記述することが望ましい情報の事例を詳細にリストアップしている。また文書の実体については、数種類の文書のセットであり、

個々の文書のタイトルの具体例を掲げている。文書セットには、対象製品のライフサイクルの全ての局面をカバーする完全セットのほか、規格を運用するユーザの立場（設計、製造、検証、保守・保全、運用）に応じたセットがあり得ることや、文書の分類の仕方は対象製品のシステム規模の大小に応じて選択してよいことを記載している。後者はさらに踏み込んで、強制力のある規格本文中に、より具体的に文書の構成を提示している。

以上 2 つの規格は RAM 性能に関する要求事項を明示的に掲げてはいないが、例えば S=安全性を、マルコフ状態遷移図を用いた危険側故障率計算により数値的に評価する場合、R=信頼性と M=保守性の数値が、安全性と相関を持つことが示される。その際、A=アベイラビリティも同時に算出される。この様にこれら 2 つの規格の対象である安全性は、もともと RAM 性能とも密接に結びついている。そのため、RAMS 文書の体系としてこれらの規格の例を参照することには合理性があるといえる。

図 5 に RAMS 文書の構成例を示す。この例では、文書全体の名称を RAMS Report とし、その下に 7 種類の文書を配列している。このうち主要な 2 つの文書、Quality Management Report と Technical RAMS Report について、それらの内部の文書の構成例を図示した。

RAMS 文書の規格のユーザにとって最大の問題は各文書の内容の記載方が判りにくいことである。この主要原因の一つは、ライフサイクルの段階毎に要求される様々な RAMS Activity と、図 5 の様な実体文書個々の内容を結びつける記述方に関するガイダンスが明示されていないことである。これに関しては、文書毎に全ての RAMS ライフサイクル段階が含まれていると考えるべきである。すなわち図 5 に示す各文書は、個々のライフサイクル段階において、ユーザがその文書のタイトルに応じて行った活動（計画、設計、レビュー、製造、検査、品質マネジメント等）を記載するということである。

もう一つの主要原因は、従来作成してきた技術文書（設計図書、検査報告等）と RAMS 文書の構成が異なり、同一事項でも各文書に記載しなければならないと、かつ、図 5 の RAMS Report 中の Traceability report の作成への対応を行わなければならないことである。RAMS 規格が要求する Traceability の基本

は、ライフサイクルの第1段階から第5段階の間に発生した要求事項が後のライフサイクル段階での検証事項と完全にリンクされていることを記述することである。上述の様に RAMS 文書体系では、同じ事項を複数の文書に記載することが生じるため、一つの事項に関してトレースすべきリンクが複数必要となる。さらに RAMS 規格は、ライフサイクルのある段階で RAMS 性能達成上の不具合が発覚した場合、その原因を最初に作り込んだ段階に戻って対策すること（フィードバック）、およびその顛末をすべて記録することを要求する。一般的に、ライフサイクル第7段階（製造）において仕様項目数が最大に達し、その後の段階では検証事項としてまとめられるため、リンク数が減じてゆく。複雑なシステム製品の場合、このリンクを管理する Traceability report 文書は巨大なものとなる。さらに、ライフサイクルの n+1 番目の段階へ後段からのフィードバックすなわち不具合対策のための仕様変更が求められたとする。この変更が複数の文書において新たな事項を生じ、あるいは既存の事項への変更も生じ、ライフサイクルの後段へも波及してゆく。そのため、特に複数チームが開発に参加する規模の製品の場合、トレーサビリティの管理は困難を極める。従ってトレーサビリティに関しては、有効で、かつ、管理可能な記録方法の工夫が必要である。

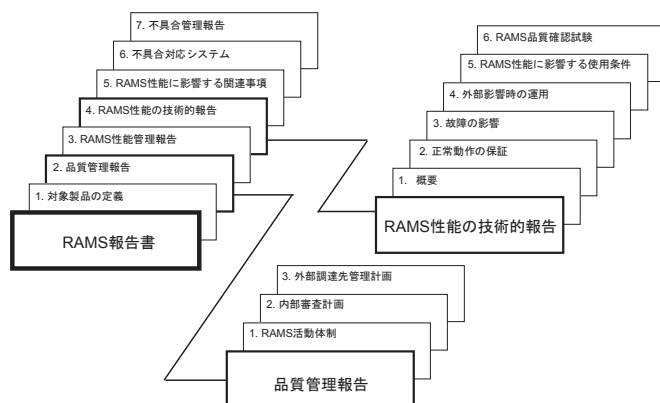


図5 RAMS 文書体系図

5. 交通安全環境研究所における規格適合性認証活動

このように海外市場向けの、安全関連規格への適合性説明文書の作成にはかなりの労力を必要とし、かつ、第1章に述べた様に、認証取得のための困難な条件があるため、これらの解決が強く望まれていた。

そのため、平成20年6月19日の交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会の提言を受け、国土交通省鉄

道局、鉄道総合技術研究所を事務局とする鉄道技術標準化調査検討会において平成22年3月、「鉄道認証機関設立検討ワーキンググループ」が設置され、交通安全環境研究所を予定認証機関として対応の検討が行われた。その結果に基づき平成23年4月、交通安全環境研究所鉄道認証室が開設された。認証対象規格は上記「ワーキンググループ」によって選定された、海外でニーズの高い5規格（表1）である。これらのうち、信号用安全関連電子装置に関する IEC 62425（通称、セーフティケース規格）に関して平成24年9月6日、交通安全環境研究所鉄道認証室は独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）認定センターより鉄道分野の製品認証機関として認定を取得した。認定後これまでに、この規格を適用した信号関連製品に対し5件の認証書を交付している。

表1 認証対象規格と認定取得規格

No.	IEC規格番号 (原案の欧州規格)	規格の概要
1	IEC 62278 (EN 50126)	対象製品種別を限定せず、対象鉄道製品のR（信頼性）、A（アベイラビリティ）、M（保守性）、S（安全）に関する目標の設定、目標達成の証拠と達成プロセスの証拠の提示をライフサイクルの各段階毎に要求
2	IEC 62425 (EN50129)	IEC 62278の考え方をベースに、安全に関係する鉄道用の装置、システムの安全性証明手続きを詳細に規定
3	IEC 62279 (EN 50128)	安全に関係する鉄道用のソフトウェアの、要求される保安度に応じて開発条件を規定
4	IEC 62280-1, 2 (EN50159-1, 2)	安全に関係する鉄道用のデータ伝送に関するシステム構成、手順を規定。IEC 62280-1は閉鎖通信系、IEC 62280-2は開放通信系が対象
5	IEC 62236-1~5 (EN 50121-1~5)	鉄道向けEMC（電磁両立性）規格

← 2012年9月
認定取得

今後は他の4規格についての認定取得を目指すと共に、交通安全環境研究所鉄道認証室の開設時に適用した、認証機関が準拠すべき規準である ISO/IEC Guide65 が昨年、ISO/IEC 17065 として国際規格となり、併せてその内容が改訂されているため、これに適合する認証業務体系への移行を進める予定である。

6. まとめ

安全関連規格の歴史、構造と特徴、説明文書の構成を述べ、交通研鉄道認証室の認証機関活動について紹介した。

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頂ければ幸いである。引き続き関係各位の御指導、ご支援をお願いしたい。

ポスターセッション

① マクロ事故分析による高齢ドライバの事故、違反の起こしやすさの解析

自動車安全研究領域

※森田 和元 関根 道昭

1. はじめに

我が国では社会全体の高齢化にともない 65 歳以上の高齢ドライバも増加している⁽¹⁾。最近では、全体の交通事故件数は漸減傾向にあるものの、その中で高齢ドライバが事故を起こす比率は徐々に高くなってきている。図 1 は自動車運転時に発生した事故に関して、全年齢層ドライバ（第 1 当事者）に対して 65 歳以上のドライバが第 1 当事者となった件数の比率を 10 年間の推移で示したものである。徐々に比率が高くなっていることがわかる。今後とも、この傾向は続くと予想されるため、高齢ドライバの事故防止のための対策が必要である。ここで、「第 1 当事者（1 当）」とは、最初に交通事故に関与した車両等（列車を含む）の運転者又は歩行者のうち、当該交通事故における過失が重い者をいい、また過失が同程度の場合には人身損傷程度が軽い者をいう。わかりやすく言えば、事故を起こした側のドライバをいう。

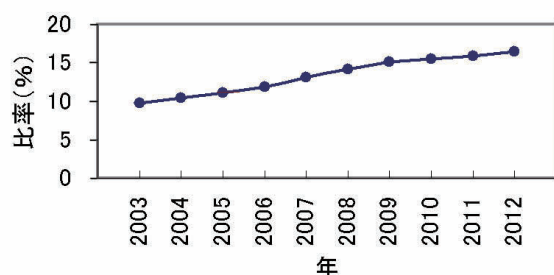


図 1 全年齢層ドライバの事故件数に対する高齢ドライバの事故件数の比率
(自動車運転時の第 1 当事者の場合)

なお、高齢ドライバに関しては、夜間の運転を控えたり、車間距離を大きくするなど慎重に運転を行う^(2,3)ために事故の危険性は少ないと考えられる一方で、身体能力、認知判断能力の低下により結果として事故を起こす可能性が高いとも言われている^(4,5)。高齢ドライバについては、運転頻度も減少すると考えられるため、事故、違反の起こしやすさを推定するためには運

転頻度を考慮した解析方法をとる必要がある。本研究では、各年齢層について共通の指標となる事故、違反件数を用いて運転頻度の影響を排除する解析方法をとることとした。この解析手法により、各年齢層間の事故、違反の起こしやすさについて比較することが可能となる。

2. 解析方法

2. 1. 解析の考え方

高齢ドライバの事故、違反の発生状況を検討するにあたり、今回、35～44 歳ドライバ群を比較の基準となるコントロール群とした。各年齢層で同じ割合で発生すると考えられる事故、違反を媒介変数としてとりあげ、その値を利用したコントロール群と解析対象年齢層群との相対的な比較により、高齢ドライバの事故、違反の発生状況を解析することとした⁽⁶⁾。すなわち、図 2 において、X をコントロール群、Y を解析対象年齢層群として、それぞれの群において媒介となる件数が同じ頻度で発生すると考える。その結果、式(1)で表現される正規化比率によって各年齢層間の事故、違反の発生しやすさを比較することが可能となる。

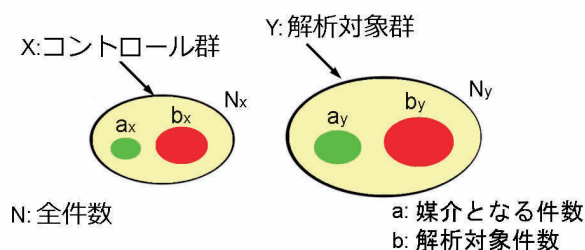


図 2 各年齢層間を比較する考え方

$$r = \frac{\frac{b_y}{b_x}}{\frac{a_y}{a_x}} \dots (1)$$

ここで、ドライバ本人に過失がない被追突事故は偶然に発生したと考えられるため、媒介変数の候補とし

て被追突事故件数を取り上げた。偶然に発生することから、各年齢層で同じ頻度で発生することが予想される。しかし、70 歳以上のドライバの場合には高齢運転者標識（高齢者マーク）が車両に表示されているため、後続車両のドライバは、先行車両のドライバが高齢であることを認識できるため、より注意して運転を行うために追突事故が起きにくくなる可能性がある。この結果、高齢ドライバに関しては追突される可能性が低くなることも考えられる。

このことを考慮して、媒介変数の別の候補として、一時停止違反についても取り上げることとした。この一時停止違反については、被追突事故のドライバについて詳細に解析した結果、年齢層にかかわらず同じ頻度で発生していることが推測されている⁽¹⁾。

2. 2. 解析対象

解析対象とした年齢層については、25-34 歳、35-44 歳、45-54 歳、55-64 歳、65-74 歳の 10 歳ごとの区切りとし、事故時の対象車種を乗用車、貨物車、特殊車とした。（公財）交通事故総合分析センターの 2009 年のデータに基づき事故、違反状況について検討した。

3. 事故、違反の起こしやすさについての結果

全事故件数を対象にして解析した結果、65-74 歳の年齢層の事故の起こしやすさについて、被追突事故件数を基にした正規化比率は 2.11、また、一時停止違反件数を基にした場合は 1.24 となり、コントロール群となる 35-44 歳の年齢層と比較して事故を起こしやすいという結果となった（図 3）。なお、35-44 歳の年齢層については、コントロール群であるので正規化比率は 1.0 の値となる。

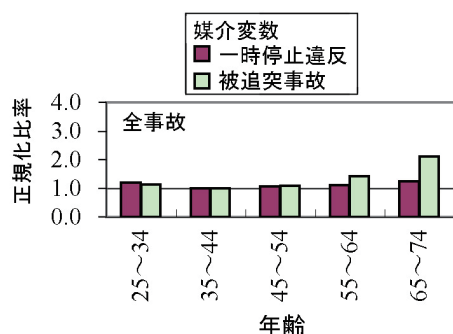


図 3 各年齢層における事故の正規化比率

一方、年齢層別の違反件数に関して同様に解析した結果を図 4 に示す。この結果をみると、65-74 歳の年齢層については被追突事故件数を基にした正規化比率は 1.29、また、一時停止違反件数を基にした場合は

0.76 となった。被追突事故件数を媒介とした場合には、高齢ドライバはやや違反を起こしやすいという結果になったものの、一時停止違反件数を基にした場合には、むしろ違反を起こしにくいという結果となった。

媒介変数として、どちらをとるのが適当であるのかについては、いまの段階では断定することができない。この点については、各年齢層ごとの走行距離などのデータがあれば、運転頻度を考慮したさらに詳細な解析を行うことが可能であると考えられる。

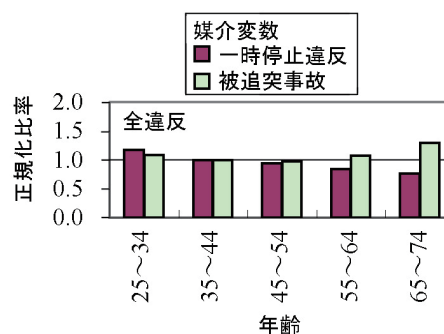


図 4 各年齢層における違反の正規化比率

参考文献

- 1) 森田和元, 関根道昭, “一時停止違反件数を媒介とした高齢ドライバの事故・違反の起こしやすさについての解析の試み”, 自動車技術会秋季学術講演会概要集, No.100-13, pp.7-10 (2013)
- 2) K. A. Braitman, A. T. McCartt, “Characteristics of older drivers who self-limit their driving”, Ann Adv Automot Med. 52, pp.245-254 (2008)
- 3) 所正文, “高齢ドライバー・激増時代”, 学文社, p.98 (2007)
- 4) H. Middleton, D. Westwood, “Specification of older driver requirements for technologies to enhance capability”, SAE Technical Paper 2001-01-3350, pp.1-8 (2001)
- 5) K. Ball, C. Owsley, M. E. Sloane, D. L. Roenker, “Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers”, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol.34, No.11, pp.3110-3123 (1993)
- 6) 森田和元, 関根道昭, “被追突事故件数を媒介とした高齢ドライバの交通事故の分析”, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.3, pp.903-908 (2013)

② 軽自動車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。一方で、車両乗車中の死亡重傷者に占めるこれらの車両の割合も多くなっている。そこで、前面衝突時における軽自動車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. 交通事故の状況

2. 1. 車種別の乗員傷害

軽自動車は国内に乗用車を普及させるために 1949 年に導入、以降その仕様は幾度か改正され、1998 年に現在の仕様であるエンジン排気量 660cc 以下、全長・全幅・全高がそれぞれ 3.4m・1.48m・2.0m 以下となった。2012 年末において軽自動車保有台数は自動車全体の約 37%となっている。軽自動車は、普通・小型乗用車と同様に道路運送車両法により、フルラップ前面衝突試験をはじめとして衝突安全性能試験が義務づけられている。しかし、乗員への傷害危険性は、より大きなサイズの自動車に比較して軽自動車では高いことが事故データにより示されている。一例として図 1 に交通事故総合分析センターデータによる車種別の前面衝突事故における運転者の死亡重傷割合を示す¹⁾。

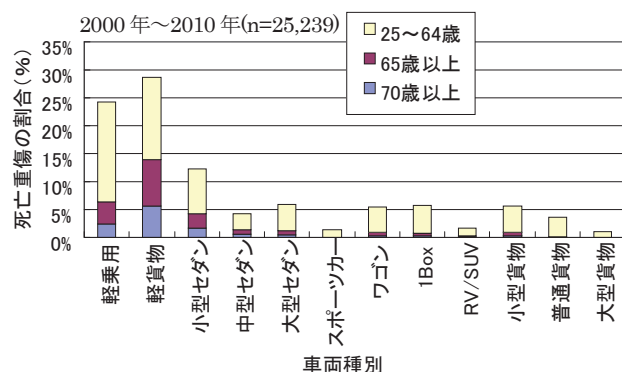


図1 車種別の死亡重傷割合

死亡重傷者の 50%以上が軽乗用車と軽貨物車となっており、特に 65 歳以上の高齢者において顕著となっている。また、小型セダンも含めると、全体に重量の軽い車両の乗員において受傷程度が重くなる傾向が見られる。

次に、図 2 に乗員の損傷主部位について示す。死亡重傷者の損傷主部位は胸部と脚部の割合が高く次いで頸部であり、特に、65 歳以上の高齢者の場合ではこの傾向が顕著であった。ただし、死亡者の損傷主部位では頭部が最も多く、次いで胸部となる²⁾。

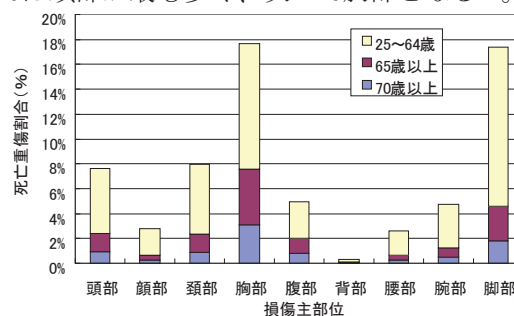


図2 運転席乗員の損傷主部位

これらの結果を総合すると、前面衝突事故においては、車両重量の軽い軽自動車において、胸部及び脚部に重い傷害を負うケースが多いといえる。

2. 2. 自動車アセスメント試験の結果

次に、自動車の衝突安全性能のポテンシャルを確認するために、日本の自動車アセスメント試験（以下、JNCAP という）で実施した 82 車種（2007 年度～2011 年度実施分）について、フルラップ前面衝突試験時の運転席ダミーの頭部傷害値と胸部傷害値を車両重量で整理した結果を図 3、図 4 に示す³⁾。

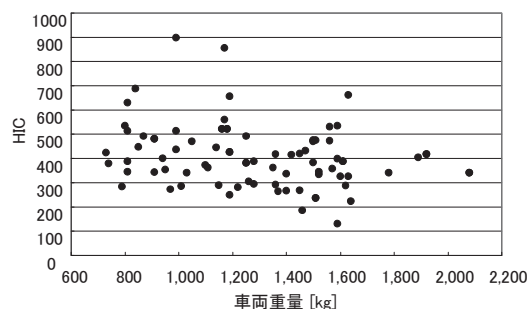


図3 運転席ダミーの頭部傷害値 (HIC)

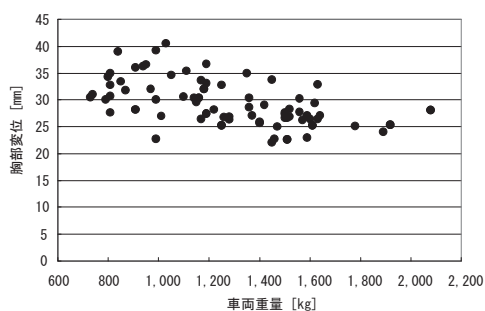


図4 運転席ダミーの胸部傷害値（胸部変位）

頭部傷害値、胸部傷害値ともに車両重量が軽い車両において傷害値が高くなる傾向がみられた。これらの試験は、自車と同等の車両同士の衝突における試験であるので、自車よりも重い車両との衝突事故においては車両重量が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⁴⁾。

そこで、軽自動車の前面衝突実験を実施し乗員傷害の特徴等について検討を行った。

3. 実車衝突実験

3. 1. 実験条件

表1に実験条件を示す。実験に使用した車両は、JNCAPでも試験を実施した2004年式の軽自動車である。傷害値計測用のダミーは運転席と後席助手席側及び後席運転席側に搭載した。今回は、男性ダミーと小柄女性ダミーの傷害値についてのみ述べる。

表1 実験条件

	Test 1	Test 2
実験形態		
衝突速度	55 km/h	
搭載ダミー	運転席：男性ダミー 後席：小柄女性ダミー 子供ダミー	運転席：小柄女性ダミー 後席：男性ダミー 子供ダミー

3. 2. 実験結果

表2にダミーの主な傷害値を示す。また、図5に実験の状況を示す。運転席においては、男性ダミーは小柄女性乗員ダミーに比べて大きな傷害値を示した。また、後席小柄女性ダミーは、最も大きな傷害値を示した。これは、軽自動車の特徴である衝突初期の高い減速度特性等⁵⁾に対して、後席シートベルトが十分に乗員拘束機能を果たしていないためと考えられる。よって、後席男性ダミーの傷害値取得とともに、今後詳細な後席乗員の傷害値発生要因の解析を行う必要がある。

また、衝突後の車両ピッチングは最大で15度であった。これは、車両重心が比較的高いことと車両前部の構造部材がノーズダイブを十分に抑制できなかったことなどが考えられる。車両着地時にダミーにかかる腰部上下方向荷重は、後席小柄ダミーで約1.5kNであった。軽自動車は他の車種に比べて衝突後のピッチングが大きくなる傾向があり、2007年度から2011年度にJNCAPで試験した軽自動車では15度以上の大きなピッチングを示した車両が13台中4台（最大で約20度）あった。現在の法規等では二次衝突時の傷害値評価はしていないが今後の事故調査次第では検討の必要があると考えられる。

表2 ダミーの傷害値

	運転者席ダミー			後席ダミー	
	男性	小柄女性	JNCAP 大型乗用車平均	男性	小柄女性
HIC15	502	466	272	N/A	1084
頭部3ms加速度 [m/s ²]	647	628	—	N/A	951
胸部変位 [mm]	44	38	25	N/A	52
胸部3ms加速度 [m/s ²]	510	598	26	N/A	677

※後席男性ダミーの計測値は得られなかった

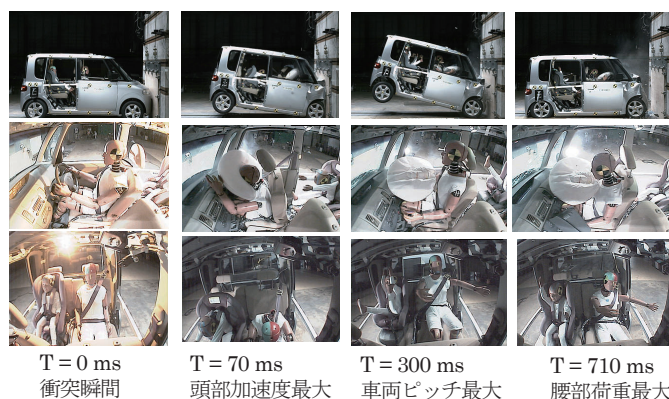


図5 実験状況

3. おわりに

軽自動車は日本の車社会になくってはならない車種として定着している。それ故に、交通事故時に大きな被害を受ける可能性を低くする努力は必要と考える。今後とも衝突安全性能等の向上のために、効果的な施策実施の検討が必要と考える。

参考文献

- 1) 交通事故例調査・分析報告書(平成23年度)、(財)交通事故総合分析センター
- 2) イタルデザインフォーメーション No.41
- 3) 自動車アセスメント試験結果資料
http://www.nasva.go.jp/mamoru/download/car_archive.html
- 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) Mizuno, K., et al. "The Crashworthiness of Minicars in Frontal Impact Tests" 23th ESV, Paper Number ,13-0255 (2013).

③ チャイルドシート乗員の側面衝突試験法の検討

自動車安全研究領域

※山口 大助

田中 良知

細川 成之

松井 靖浩

1. はじめに

日本国内では2000年（平成12年）から6歳未満の子供に対してチャイルドシート（Child Restraint Systems：年少者用補助乗車装置、以下 CRS）の着用が義務化され、CRS の使用率が増加して子供乗員の安全性は向上している。他方、CRS に着座した子供乗員が死亡や重傷に至る衝突事故も時折発生しており、その衝突形態は前面衝突と側面衝突が多い。

現在の CRS の乗員保護性能に関する基準（UN Regulation No. 44）では、CRS 乗員の安全性能確認として前面衝突試験は行われているが、側面衝突試験は行われていない。これに対して、欧州の消費者団体から側面衝突事故対策を織り込むよう要望が出され、国連欧州経済委員会傘下の自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）衝突安全分科会（GRSP）の場において議論が行われ、側面衝突試験を採り入れた CRS の新しい基準 UN Regulation No. 129（以下新基準）が合意、WP29 で採択された。日本でも新基準の導入作業が進められている。

前報¹⁾では新基準における側面衝突試験方法について解説した。この側面衝突試験ではドア部の車両内側を模擬するため、ドアパッド材と呼ばれる部材を使用することが規定されている。このドアパッド材の性能要件も併せて規定されており、これを満たすために2種類の素材を組み合わせることが知られている。本研究では特性の異なる複数の素材を組み合わせたドアパッド材を用いて側面衝突試験を行い、ドアパッド材の違いによる乗員の傷害値への影響を調べた。

新基準は CRS の種類によって Phase 1 から Phase 3 の3段階に分けて導入される。2013年7月に公布された Phase 1 は子供乗員を CRS に備えられたハーネス²⁾によって拘束するインテグラルタイプの ISOFIX 固定方式 CRS（以下 ISOFIX CRS）を対象としている。新基準の側面衝突試験方法では、ISOFIX CRS を固定する ISOFIX アンカレッジが試験時に破損することがない

よう、衝突後はドア部から遠ざかる方向（横方向）に可動する構造となっている。一方、実際の車両では ISOFIX アンカレッジは固定されている。そこで、本研究では加速式スレッド試験機¹⁾において、ISOFIX アンカレッジを固定にした条件と、ISOFIX アンカレッジを可動にした条件でそれぞれ側面衝突実験を行い、乗員の傷害値の違いを調べた。

本稿では、ドアパッド材による乗員の傷害値の違い及び ISOFIX アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いについて検討した結果を報告する。

2. ドアパッド材の違いによる比較調査

2. 1. 調査に用いたドアパッド材

新基準で定められたドアパッド材の条件を満たすため、2種類の素材を組み合わせたドアパッド材を対象に検討する。本稿では2種類の素材のうち、スレッド（台車）¹⁾のドア模擬部に直接貼り付ける素材を第1層、乗員に直接衝突（車内側に相当）する素材を第2層と呼ぶことにする。

今回ドアパッド材の組み合わせに用いた素材の仕様を表1に示す。第1層は1種類（素材 A）、第2層は4種類（素材 C、D、E、F）あり、第1層の素材 A と第2層の4種類のうちの一つを組み合わせることで4つのドアパッド材を作ることができる。以下、ドアパッド材を A+C、A+D、A+E、A+F と記す。この4種類のドアパッド材を側面衝突実験に用い、第2層の素材による乗員の傷害値の違いを調べた。図1にドアパッド材 A+C をスレッドに貼付した様子を示す。

2. 2. 半球体インパクト落下実験

新基準ではドアパッド材の性能要件について、直径150mm、重さ6kgの半球体インパクト（以下インパクト）を速度4m/sで落下させ、ドアパッド材に衝突させたときのインパクトの鉛直方向加速度で規定している。ドアパッド材 A+C、A+D、A+E、A+F の4種類について性能要件を満たしているか否かを調べるため、

表1 ドアパッド材の仕様

第1層	第2層			
素材A	素材C	素材D	素材E	素材F
ゴム・セル式発泡材 厚さ35mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm
新基準の検討に際し、欧州 の研究機関で使われている 素材	新基準の検討に際し、欧州 の研究機関で使われている 素材	素材Cと同じ材料で密度が 小さい	素材Cと同じ材料で、密度 は素材DとFの中間	素材Cと同じ材料で、密度 は素材Cに次いで大きい

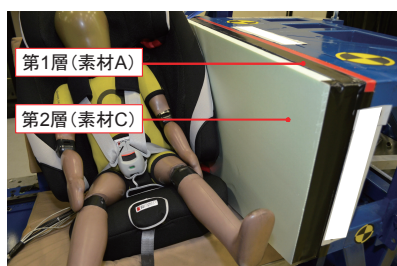


図1 ドアパッド材の一例

図2のようにインパクトを高さ816mmから落下させ、ドアパッド材（第2層が上側、第1層が下側）に衝突させてインパクトの鉛直方向加速度を測定した。

4種類のドアパッド材にインパクトを衝突させたときのインパクトの鉛直方向加速度を図3に示す。本図の横軸は時間、縦軸は加速度である。新基準ではインパクトの鉛直方向加速度が図中の灰色で示すコリドー（許容値の範囲）に収まっているとドアパッド材は性能要件を満たしていることになる。図3よりいずれのドアパッド材も性能要件を満たしていない。性能要件に最も近いものはドアパッド材A+Fで、欧州の試験機関で使用されているドアパッド材A+Cも性能要件を満たしていない。この理由として、ドアパッド材A+EとA+Fの場合は衝突によって第2層の素材が割れ、第1層での衝撃吸収量が増えたために10ms付近のコリドー上限を超え、かつ20ms付近のコリドー下限を下回ったと考えられる。また、第1層の素材Aは長期にわたって使用したものであったことから、経年劣化によって特性が変化し、ドアパッド材の性能に影響を及ぼしたものと考えられる。素材C、D、E、Fは各々の仕様から判断して実験に用いたものの、性能要件を満たさなかった。ドアパッド材の素材の選定方法は引き続き検討すべき課題であるが、本研究では4種類のドアパッド材を用いて実験することにした。

2. 3. 側面衝突実験

4種類のドアパッド材を使用して側面衝突実験を行い、ドアパッド材による乗員の傷害値の違いを調べる。この実験には加速式スレッド試験機¹⁾を用い、スレッド上のシートにはISOFIX CRS及び3歳児を模擬

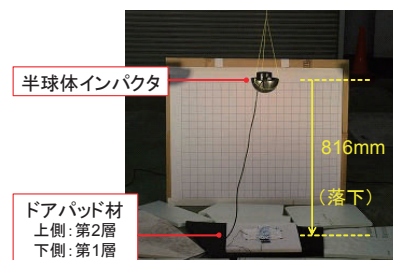


図2 半球体インパクト落下実験の様子

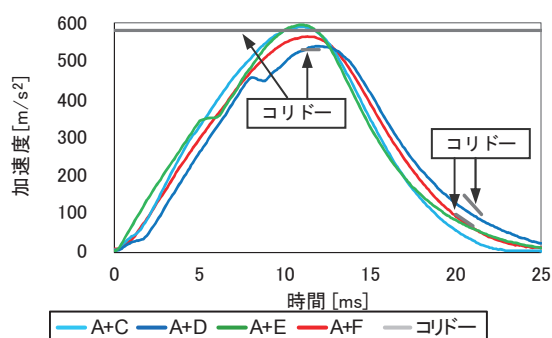


図3 半球体インパクトの鉛直方向加速度（ドアパッド材の種類）

したQ3ダミーを搭載する。

表2に4種類のドアパッド材を側面衝突実験に使用したときのダミーの各部位の最大傷害値を示す。

頭部傷害指標であるHPC15²⁾、3ms最大加速度はともにドアパッド材A+Eが最も傷害値が高く、次いでA+F、A+Dの順でA+Cが最も低い。HPC15では最大値と最小値の差は82であり、傷害基準値800の約10%であることから同等に近いレベルであるといえる。3ms最大加速度の差は49m/s²であり、傷害基準値784m/s²の約6.3%であることからほぼ同等といえる。また、4種類のドアパッド材ともに頭部3ms最大加速度は基準値784m/s²を超えている。

胸部傷害指標のうち胸たわみ²⁾でドアパッド材A+Cが最も大きく、次いでA+F、A+Eの順でA+Dが最も小さく、最大と最小の差は2.8mmである。胸部3ms最大加速度はドアパッド材A+Cが最も高く、次いでA+F、A+Dの順でA+Eが最も低い。二つの指標で値の大小をとるドアパッド材の順が異なるが、胸部3ms最大加速度の最大と最小の差は19.6m/s²と小さく、すべてのドアパッド材がほぼ同等のレベルにあることから、胸部

表2 ダミー最大傷害値（ドアパッド材の種類）

部位	傷害値	単位	ドアパッド材			
			A+C	A+D	A+E	A+F
頭部	HPC15	—	523	537	605	561
	3ms 加速度	m/s ²	798.7	802.6	847.7	818.3
胸部	胸たわみ	mm	18.9	16.1	16.9	18.3
	3ms 加速度	m/s ²	461.6	446.9	442.0	448.8
腰部	3ms 加速度	m/s ²	818.3	972.2	975.1	982.0

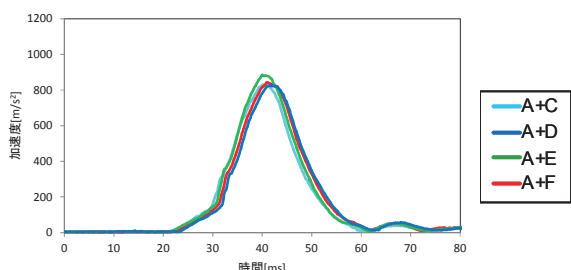


図4 頭部合成加速度（ドアパッド材の種類）

傷害の程度はドアパッド材 A+C が最も大きく、次いで A+F で、A+E と A+D はほぼ同等といえる。

腰部傷害指標である腰部3ms 最大加速度はドアパッド材 A+F が最も高く、A+D と A+E はほぼ同等で、A+C が最も低い。最大と最小の差は 163.7 m/s² であるが、ドアパッド材 A+D と A+F の差は 9.8 m/s² であり、ドアパッド材 A+C と他のドアパッド材の間に差があるといえる。半球体インパクト落下実験の結果よりドアパッド材 A+C と A+E は半球体インパクトの鉛直方向加速度がほぼ同等であることから、この腰部 3ms 加速度の差はドアパッド材の特性以外の影響によるものと考えられる。なお、腰部の傷害指標は新基準では規定されておらず、新基準による試験の結果に影響はないが、将来、腰部の傷害指標を基準に新たに導入する議論が始まれば、腰部の傷害について詳細に調査、検討する必要がある。

ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図 4 に示す。本図よりダミー各部の加速度は第 2 層の素材によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についてもほぼ同様の波形となっていることを確認している。

3. 異なる組成のドアパッド材による比較調査

4 種類のドアパッド材のうち A+C を対象に、素材 A と C を入れ替え、第 1 層を素材 C、第 2 層を素材 A としたドアパッド材（以下ドアパッド材 C+A）による乗員の傷害値の違いを調べる。

初めに、2.2 節の半球体インパクト落下実験で計測

表3 ダミー最大傷害値（組み合わせ順変更）

部位	傷害値	単位	第 1 層 A 第 2 層 C	第 1 層 C 第 2 層 A
頭部	HPC15	—	410	430
	3ms 加速度	m/s ²	718.3	741.9
胸部	胸たわみ	mm	21.3	20.0
	3ms 加速度	m/s ²	496.9	543.9
腰部	3ms 加速度	m/s ²	729.1	798.7

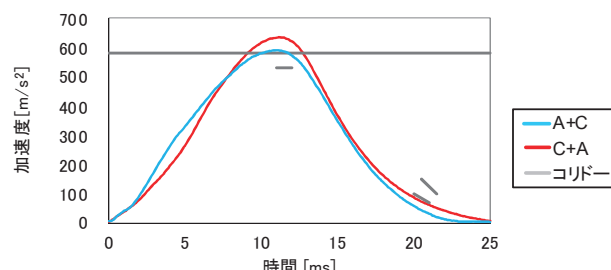


図5 半球体インパクトの鉛直方向加速度（組み合わせ順変更）

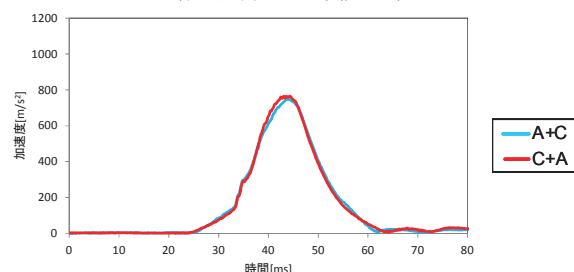


図6 頭部合成加速度（組み合わせ順変更）

したインパクトの鉛直方向加速度を図 5 に示す。加速度の最大値はドアパッド材 C+A がドアパッド材 A+C よりも高くなっているが、両者の差は小さいことが分かる。また両者ともにコリドーには収まっておらず、ドアパッド材の性能要件を満たしていない。

次に、2.3 節と同様に側面衝突実験を行ったときのダミーの各部位の最大傷害値を表 3、ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図 6 にそれぞれ示す。

表 3 より最大傷害値はドアパッド材 A+C と C+A で組み合わせの順序によらずほぼ同等であることが分かる。図 6 よりダミーの頭部加速度もドアパッド材の組み合わせの順序によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についてもほぼ同様の波形となっていることを確認している。

ドア部が CRS を介してダミーに衝突するとき、ドア部とダミーの間には素材 A、C 及び CRS のサイドシェル（乗員の頭部付近両脇のクッション）が存在する。この三つの剛性を一つの合成ばね定数に置き換えて考えると、素材 A と C の位置によらず合成ばね定数は同一となる。ドアパッド材 A+C、C+A とともに素材 A に

永久変形は見られず、Cの永久変形量はA+Cでは小さく、C+Aでは見られなかったことを観察している。よって、ドアパッド材の変形を弾性域で捉えることができ、ドアパッド材の組み合わせ順序によらず乗員の傷害値は両者でほぼ同等になったものと考えられる。

このとき、ドアパッド材C+Aでは素材Cに永久変形が見られなかったことから、同一のドアパッド材を繰り返し使える可能性があると考えられる。

4. ISOFIX アンカレッジの状態による比較調査

新基準の側面衝突試験では ISOFIX CRS をスレッド上のシートに ISOFIX アンカレッジに固定し、その ISOFIX アンカレッジは可動する構造となっており、実際の車両とは異なっている。そこで、ISOFIX アンカレッジを固定にした条件と、ISOFIX アンカレッジを可動にした条件でそれぞれ側面衝突実験を行い、ISOFIX アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いを調べた。

2.3 節と同様、ISOFIX アンカレッジ固定／可動で側面衝突実験を行ったときのダミーの各部位の最大傷害値を表4、ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図7にそれぞれ示す。表4より各傷害指標の最大傷害値は ISOFIX アンカレッジ可動／固定にかかわらず同等であることが分かる。同様に、図7よりダミーの頭部加速度は ISOFIX アンカレッジの可動／固定によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についても両者でほぼ同様の波形となっていることを確認した。このことから、新基準の側面衝突試験で ISOFIX アンカレッジを可動とすることは実際の車両での状態とは異なるが、乗員の傷害評価には問題ないと考えられる。

また、ISOFIX アンカレッジが可動の場合は CRS が大きく移動するため、CRS 側の ISOFIX 固定部に損傷は見られず、実験後の CRS の取り外しが容易であったが、ISOFIX アンカレッジ固定の場合は CRS 側の ISOFIX 固定部に損傷が見られ、実験後の取り外しが困難であった。ISOFIX アンカレッジ可動／固定での傷害値が同等であることから、ISOFIX アンカレッジを可動とする方が側面衝突試験を効率的に実施できると考えられる。

5. おわりに

本研究では新基準による側面衝突試験法に沿って、ドアパッド材による乗員の傷害値の違い及び ISOFIX

表4 ダミー最大傷害値
(ISOFIX アンカレッジ可動／固定)

部位	傷害値	単位	ISOFIX アンカレッジ	
			可動	固定
頭部	HPC15	—	523	533
	3ms 加速度	m/s ²	798.7	809.5
胸部	胸たわみ	mm	18.9	16.1
	3ms 加速度	m/s ²	461.6	469.4
腰部	3ms 加速度	m/s ²	818.3	877.1

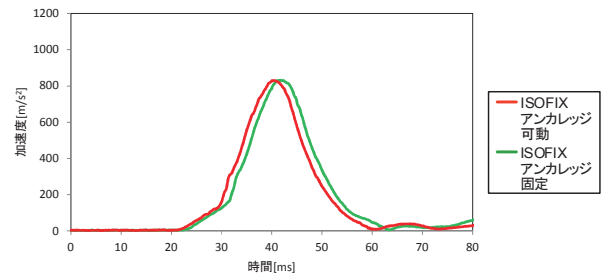


図7 頭部合成加速度
(ISOFIX アンカレッジ可動／固定)

アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いについて調べた。以下に結果をまとめる。

- (1) 4種類のドアパッド材は、素材Aの長期使用による特性の変化などにより、いずれも性能要件を満たさなかった。また、半球体インパクト落下実験の結果には差が見られたものの、側面衝突実験でのダミーの傷害値には差は見られず、ドアパッド材の選定方法は引き続き検討すべき課題となった。
- (2) 2種類の素材の組み合わせの順序を入れ替えて同様の実験を行ったところ、結果に差は見られず、同一のドアパッド材を繰り返し使える可能性を示したが、繰り返し使えるか否かの判定については今後検討すべき課題である。
- (3) ISOFIX アンカレッジを可動状態と固定状態にして側面衝突実験を行ったところ、ダミーの傷害値に差は見られず、ISOFIX アンカレッジの状態が傷害値に与える影響は小さい。

参考文献

- 1) 田中・細川・山口・松井、“チャイルドシートの側面衝突試験方法に関する調査”、交通安全環境研究所フォーラム2012講演概要、pp.119-122、(2012)
- 2) 水野幸治、“自動車の衝突安全”、名古屋大学出版会、(2012)

④ ドライバ支援のための車室内音源定位に関する検討

自動車安全研究領域

※山口 大助

森田 和元

関根 道昭

元東京農工大学大学院

川邊田慶介

1. はじめに

自動車のドライバへ警報によって注意喚起する運転支援システムの研究・開発が現在数多く進められている。自動車の安全基準及び認証の国際的な調和を目的とした国連欧州経済委員会傘下の自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）から公表されている運転支援の警報に関するガイドラインでは、危険発生が予想されることだけでなく、危険発生が予想される方向の情報もドライバに伝えるべきであると記されており、これに沿った運転支援システムが望ましい。

著者らは運転支援方法の一つとして、警報音とその音源位置を組み合わせることで危険発生の予想及び発生が予想される方向の情報をドライバに伝達する手法を検討している。例えば、図1のように、見通しの悪い交差点を左側から他車両が接近している場合は車内左側のスピーカから警報音を鳴らし、ドライバに左側から他車両が接近していることを知らせる。このように、警報音と音源位置の組み合わせによって危険発生が予想される方向の情報をドライバに伝えられれば、その方向にドライバの注意を引くことができ、事故の未然防止に寄与できると考えられる。

本研究では上述の運転支援方法の実現可能性を検討するため、自動車の車室内に配置したスピーカから数種類の警報音を鳴らしてドライバが音源位置を特定する実験を行い、その結果から、窓ガラスなどによって音が反射しやすい音環境である自動車の車室内での音源定位の正確さについて調べる。

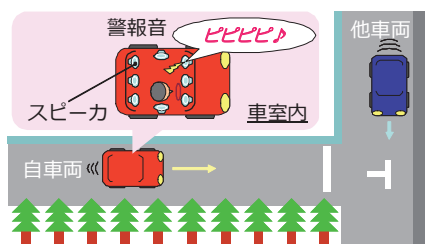


図1 警報音と音源位置による情報提供手法

2. 無響室内実験

2. 1. 実験方法

初めに、実験車両を天井及び周囲の壁に吸音材が備わった半無響室の中に定置して実験を行った¹⁾。

実験車両内部には前方に3個、後方に3個のスピーカが設置されており、各々から警報音が鳴る（図2）。

警報音は純音である1kHz、2kHzと、基音と倍音を組み合わせた複合音である1kHzと2kHzの音の組み合わせ、2kHzと4kHzの音の組み合わせ、1kHzと2kHzと4kHzの音の組み合わせの5種類を設定した。警報音の持続時間は0.5秒と1.0秒の2種類で、持続時間0.5秒は4回、1.0秒は8回音が鳴る。警報音の音圧は40dB、50dB、60dBの3種類を設定した。

実験では、被験者は運転席に座り、警報音が鳴ったらどのスピーカから音が鳴っているかを特定し、スピーカの番号を口頭で答えた。

被験者は運転免許を有する20～30代15名、65歳以上15名の計30名で外部から参加している。なお、当研究所における実験倫理規定に基づき、各被験者に対して実験前に実験の内容を説明し、文書により実験参加の同意を得てから実験を行っている。後述の実車走行実験も同様である。

2. 2. 実験結果

本節では実験データの有意差検定方法の一つである分散分析を用いた検討結果を中心に述べる。

警報音の持続時間(2水準)について分散分析を行ったところ、有意水準5%でこの要因による有意差はなしとの結果が得られた。そこで、解析を容易にするため、

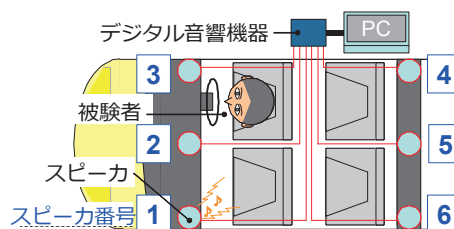


図2 実験車両内部のスピーカ配置

被験者の年齢（若年、高齢の 2 水準）、警報音の音圧（3 水準）、スピーカ位置（6 水準）、警報音の種類（5 水準）の 4 要因で分散分析を行ったところ、各要因ともに単独で有意差があった。また、被験者の年齢とスピーカ位置、被験者の年齢と警報音の種類、スピーカ位置と警報音の音圧、スピーカ位置と警報音の種類、被験者の年齢と警報音の音圧及び種類、スピーカ位置と警報音の音圧及び種類の各組み合わせにおいて交互作用があった。その他の要因の組み合わせによる交互作用はなかった。

以下に交互作用の特徴的な点を述べる。警報音の音圧とスピーカ位置に関する交互作用を図 3 に、スピーカ位置と警報音の種類に関する交互作用を図 4 にそれぞれ示す。図 3 より前方のスピーカ（1, 2, 3）では警報音の音圧による正答率の差が大きい、後方のスピーカ（4, 5, 6）では正答率の差が小さい。よって、警報音の音圧が及ぼす影響は前方のスピーカでは大きく、後方のスピーカでは小さいといえる。また、図 4 より警報音の種類についても同様のことがいえる。

3. 実車走行実験

3. 1. 実験方法

次に、テストコースを用い、実験車両の前を先行車両が 60km/h で走行し、被験者は先行車両に追従するように実験車両を運転しながら音源定位を行った。また、実験車両を停車させた状態で音源定位を行った。警報音の音圧は 60dB に設定した。その他の実験条件は無響室内実験を踏襲した。被験者は運転免許を有する 20～40 代 17 名で外部から参加している。

3. 2. 実験結果

2.2 節と同様に実験データの有意差検定方法の一つである分散分析を用いた検討結果を中心に述べる。停車中／運転中（2 水準）、スピーカ位置（6 水準）、警報音の種類（5 水準）の 3 要因で分散分析を行ったところ、各要因ともに単独で有意差があった。また、スピーカ位置と警報音の種類の組み合わせにおいて交互作用があった。その他の要因の組み合わせによる交互作用はなかった。

図 5 にスピーカ位置と警報音の種類に関する交互作用を示す。この図より、前方のスピーカ（1, 2, 3）では警報音の種類による正答率の差が大きい、後方のスピーカ（4, 5, 6）では正答率の差が小さい。よって、警報音の種類が及ぼす影響は前方のスピーカでは大

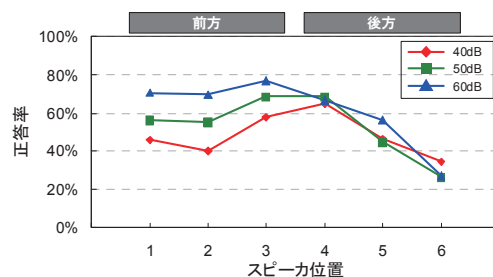


図 3 警報音の音圧とスピーカ位置に関する交互作用（無響室内実験）

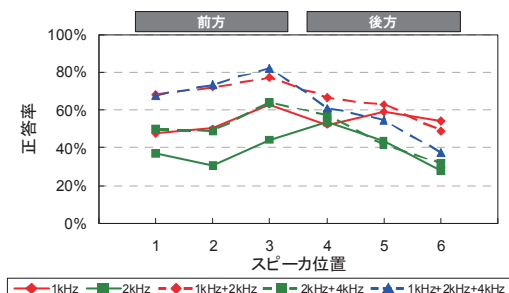


図 4 スピーカ位置と警報音の種類に関する交互作用（無響室内実験）

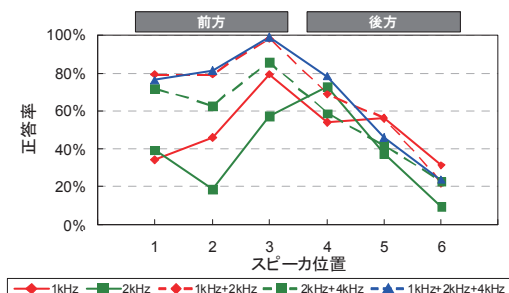


図 5 スピーカ位置と警報音の種類に関する交互作用（実車走行実験）

きく、後方のスピーカでは小さいといえる。

なお、図 4 と図 5 より、無響室内実験結果と実車走行実験結果ではほぼ同様の傾向を示しているといえる。

4. おわりに

本稿では、自動車の車室内に配置したスピーカから数種類の警報音を鳴らし、ドライバが音源位置を特定する実験の結果に対して分散分析を用いた検討結果を中心に述べた。今後より詳細に実験結果の考察と検討を行い、自動車の車室内における音源定位の正確さや適切な警報音について明らかにしたい。

参考文献

- 1) 川邊田・山口・関根・森田、“ドライバに対する聴覚支援のための車室内音源定位に関する被験者評価実験”、日本機械学会第 21 回交通・物流部門大会講演論文集、No. 12-79、pp. 191-192、(2012)

⑤ 高齢歩行者における行動特性について

自動車安全研究領域
秋田大学

※松井 靖浩
水戸部 一孝

青木 義郎 関根 道昭 及川 昌子

1. はじめに

日本における 2012 年の交通事故死亡者数（4,411 人）のうち歩行中の死亡者数は 1,634 人（37%）であり、その割合は近年高まる傾向にある¹⁾。政府は 2018 年までに交通事故死亡者数を年間 2,500 人以下とする目標を掲げており、歩行者事故への対策が重要課題となる。歩行者死亡事故の中で、特に 65 歳以上の高齢者の占める割合は 68%と高く、その対策も望まれる。歩行者死亡事故のうち 72% が道路横断中に発生しており、横断特性に基づき事故防止のための対策を講じる必要がある。

本研究では高齢歩行者の行動、心理特性を把握し、事故低減に向けた方策を提案するための基礎資料を作成することを目的とし、横断タイミング、道路利用時の心理特性から高齢歩行者の行動特性を分析する。なお、実験参加者を対象とした実験は、当研究所の倫理委員会の承認を得て遂行した。

2. 心理 - 歩行者の生活習慣と行動特性

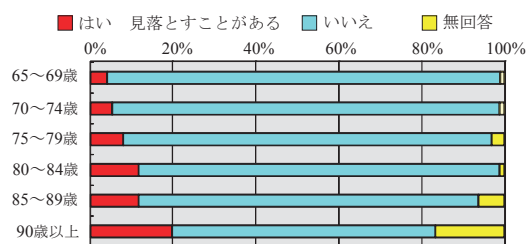
高齢歩行者の心理調査として東京都内在住の約 2,400 人の高齢者を対象にアンケートを実施し、1,343 通の回答（回収率は約 56%）を得た。年齢層を細分化し横断特性を定量的に調査した一部結果を図 1 に示す。年齢とともに接近する車両を見落とす場合が増加した。約 40～50%の高齢者は前照灯を眩しく感じる傾向があり、高齢者特有の眼球の水晶体の白濁化により眼球内への入射光が拡散することと考えられる。

3. 横断タイミング

3. 1. 実車による調査

高齢歩行者がどのようなタイミングで道路を横断するのか、ここでは実車を用いて特徴を把握する。実験参加者（高齢歩行者）が片側 1 車線、幅 7m の道路を横断するタイミングを、時間帯（昼間、夜間）や車の接近速度を変化させて調査した。20、30、40、45 km/h の所定

質問1 信号や近づいてくる車を見落とすことがありますか？



質問2 車のヘッドライトをいつもまぶしく感じますか？

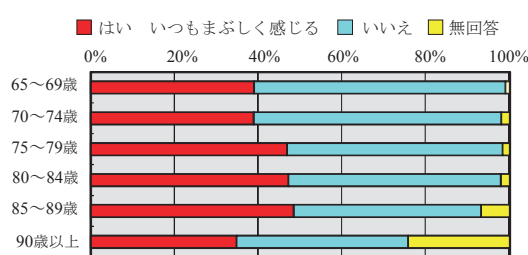


図 1 アンケート結果例

の速度で接近する車両に対し、この距離でぎりぎり横断できる（これ以上近づけば横断をあきらめる）と判断した瞬間にボタンを押し、その時の歩行者と車両との距離（以下、「歩車間距離」と呼称）を計測した。実験参加者は高齢者 19 名とし、実験の繰り返し回数は条件毎に 3 回とした。実験では、接近する車両から見て道路左側から横断を試みようとする実験参加者を左側歩行者、右側から横断を試みようとする場合を右側歩行者とし、走行車両に対して両者が同時に評価している（図 2）。

当研究所では同様の実験条件下で、20～40 代の若年者を対象とした実験を実施²⁾しており、ここでは同調査結果も合わせて示す。実験参加者がぎりぎり横断できると判断したときの歩車間距離を図 3 に示す。昼間(a)の場合、左側歩行者については高齢者、若年者共に近似する傾向を示した。一方、右側歩行者については、高速度条件（40、45 km/h）において高齢者は若年者より歩車間距離が短くなり、判断が緩慢になる傾向が示された。

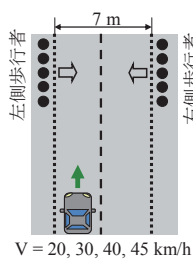


図2 横断タイミング調査状況

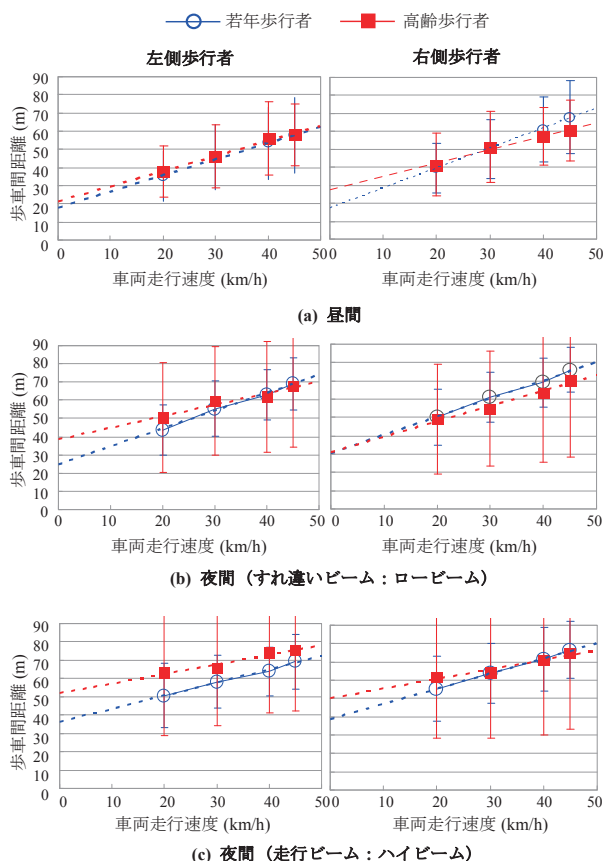


図3 車両走行速度と歩車間距離

すれ違いビーム（ロービーム）を点灯した夜間(b)の場合、左側の高齢歩行者は20 km/hにおいて若年者と比べ歩車間距離が長くなった。

走行ビーム（ハイビーム）を点灯した夜間(c)の場合、左側の高齢歩行者は各走行速度条件において若年者より歩車間距離が長くなった。さらに、右側歩行者の場合、30、40、45 km/hにおいて高齢者は若年者と近似する傾向が示された。前照灯を走行ビームにすると、高齢者は眩しさに伴い昼間や夜間すれ違いビームの車の位置よりも近くに感じる傾向（より安全となる傾向）のあることが推察される。この結果から、夜間における前照灯の走行ビーム点灯条件は、高齢者が歩車間距離を確保する有効な一手法と考える。

3. 2. 車モデルによる調査

車モデルを用いた仮想交通環境では歩行者が実際に仮想道路を横断し、車の接近速度が高齢歩行者の横断判断に及ぼす影響を調査した。実験参加者は高齢者16名、若年者8名である。仮想交通環境において、実験参加者が仮想道路を横断し車モデルと接触する場合を事故発生と仮定し、試行回数の中で事故発生した回数の割合を事故発生率と呼称する。車両走行速度と事故発生率の関係を図4に示す。若年者、高齢者ともに速度が上がるにつれて交通事故発生率が増加した。特に高齢者が右側歩行者の場合、交通事故発生率は高く、速度が40km/h及び45km/hでは発生率も45%及び55%に増加した。全事故発生件数に占める左側歩行者と右側歩行者の割合は、若年者・高齢者ともに右側歩行者の事故発生率（約75%）が左側歩行者（約25%）と比べて高いことがわかる。

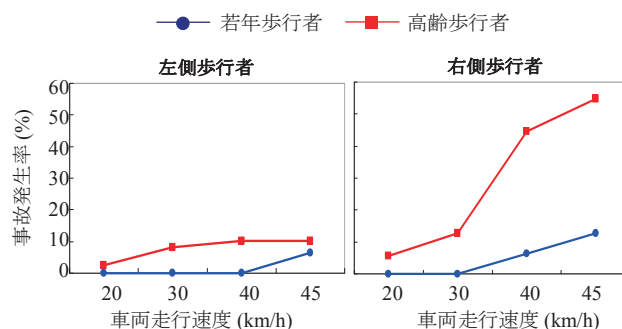


図4 車の速度に対する交通事故発生率

4. おわりに

本研究では、高齢者の心理状況を含む行動特性を把握し、事故防止のための施策を講じるための基礎データを構築することができた。導出された結果が「高齢者への教育・啓蒙活動」、「車両に求められる要件」、「交通インフラに求められる施策」へ反映され、統合的に安全対策が講じられることで、交通事故死傷者低減の目標達成が大いに期待される。

なお、実車を用いた実験を遂行するにあたり、三鷹市老人クラブ連合会にご協力いただいた。本研究は、平成23、24年度タカタ財団助成研究「死傷事故低減に向けた高齢歩行者における行動特性の究明と対策について」により実施したものである。記して謝意を表す。

参考文献

1. 交通事故総合分析センター：交通統計 平成24年版 (2013)
2. 青木ら：予防安全支援システム効果評価シミュレータのための歩行者行動特性の解析、自動車技術会論文集 Vol. 42, No. 5 (2011)

⑥ 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いた 出会い頭衝突防止支援システムの効果に関する検討

自動車安全研究領域 ※田中 信壽、波多野 忠、安本 まこと
芝浦工業大学 目黒 貴之、真野 香織、古川 修

1. はじめに

2010 年のデータでは、出会い頭による死亡事故件数は 750 件で死亡事故全体の 15.9%、同重傷事故件数は 14,250 件で重症事故全体の 28.8%、同軽傷事故件数は 178,952 件で軽傷事故全体の 26.6%であり、死亡、重症及び軽傷のいずれの事故においても出会い頭の事故は全体に対して高い割合を示している^①。このような事故実態から、交差点通過時におけるドライバの運転行動を支援することによって出会い頭事故を防止するシステムが求められており、その開発と普及が進もうとしている。現在、これを実現する有力なシステムとして注目されているのが通信利用型出会い頭衝突防止支援システムである。この支援システムは、交差点において車車間通信や路車間通信などの通信技術を用いて互いの位置情報等を共有することによって出会い頭の衝突に対する注意喚起情報や警報をドライバに提供するシステムである。

一方、この通信利用型出会い頭衝突防止支援システムに代表される予防安全運転支援システムの開発、普及促進を考えた場合、欠かすことができないプロセスが定量的な効果評価である。現在、我々はこのようなシステムの事故低減効果の評価を行うシミュレータ ASSESS (A Survey Simulator to Evaluate Safety Systems) の開発を進めている。そこで、今回我々は、対象とする事故形態を車両同士の出会い頭事故とし、この ASSESS に車車間通信を利用した出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を可能とする新機能を組み込むことによってこの効果評価を行うこととした。本報告では、まず、この出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を実現するために開発した ASSESS の新機能を示し、この機能を追加した ASSESS を用いて行った本支援システムの効果評価結果について述べる。

2. 通信利用型出会い頭衝突防止支援システム

今回、評価に用いた通信利用型出会い頭衝突防止支援システムは、以下のプロセスによって支援を行うシステムである。①自車両が、一時停止規制のある交差点に向かって進行する。②自車両が通信エリアに入り、相手車両の情報を受信可能となる。③自車両の位置、速度、ブレーキ操作などから、自車両が一時停止線付近で一旦停止したと判定したのち、受信した相手車両に関する支援を開始する。④自車両の位置、速度、ブレーキ操作、アクセル操作などから、自車両が発進したと判断できたとき、支援を終了する。なお、今回の評価では、出会い頭衝突防止支援システムの支援タイミングを交差車両の到達余裕時間（交差車両が自車との会合点に到達するまでの余裕時間）が 8 秒となった時点に設定し、例えば、「右から車が来ます」のように車両の接近方向と存在を提供するものとした。

3. ASSESS の概要

ASSESS は、評価対象とする予防安全支援システムの機能を搭載し、かつ、自律走行可能な車両（エージェント）を、計算機内に構築した仮想空間内に出現させるマルチエージェントシステムで構成されている（図1）^②。ASSESS を形成するこのマルチエージェントシステムは、交通環境を再現する環境モデル、ドライバの運転行動を模擬するドライバモデル、車両の運動を模擬する車両モデルの 3 つのプログラムとこれらを制御する統括プログラムによって構成されている。

ドライバモデルは、ドライバの運転行動である認知／判断／操作を模擬し実行するプログラムである。このドライバモデルは、まず仮想空間に構築された交通環境を三次元的に認知する。次いで、その情報をもとに運転戦略を決定し、その運転戦略に求められる運転操作量を車両モデルに出力する。



図1 ASSESSの概要

車両モデルは、ドライバモデルから入力される運転操作量（ブレーキペダル踏力等）をもとに最終的に車両の位置を算出するプログラム（等価二輪車モデル）である。

環境モデルは、各エージェントの発生スケジュールとそれら個々に搭載されるドライバモデル及び車両モデルの特性を割り当てるプログラムである。すなわち、環境モデルによって割り当てられた特性に基づいて各エージェントの運転行動と車両性能が変化し、車両の挙動に個体差が生じることとなる。

4. 評価環境

本研究では、まず、出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を行うにあたって、評価を行うべき環境（以下、評価環境）の決定と新たに ASSESS に求められるドライバモデルの機能を明らかにするために、出会い頭事故の分析を行った。

4. 1. 出会い頭衝突防止支援システムの評価環境

出会い頭事故の環境要因の分析⁽⁴⁾から出会い頭衝突防止支援システムを以下の道路環境（図2）にて評価を行うこととし、その選定理由を合わせて示す。

①優先道路と非優先道路が交差する交差点

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

②信号なし交差点

選定理由：出会い頭事故の70%以上が信号なし交差点で発生しているため。

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

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

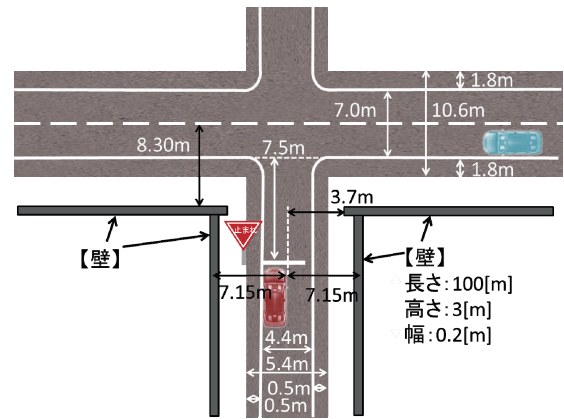


図2 評価環境

④見通しが悪い。

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

なお、今回の評価では、優先道路を走行する車両は、非優先道路を走行する車両の右側から接近するもののみとした。

4. 2. 支援が影響を及ぼすドライバの認知・判断機能

出会い頭事故の人的要因の分析⁽⁴⁾と出会い頭衝突防止支援システムの機能より、ドライバモデルの認知機能として以下の機能を新たに組み込むこととした。

①左右確認行動

理由：交差車両に対する認知エラーが生じる大きな要因は「左右確認不十分」であり、出会い頭衝突防止支援システムはこの「左右確認不十分」を防ぐ効果が予想されるため。

②視認時間

理由：本支援システムの目的は、交差車両の接近情報を事前にドライバへ提供することである。よって、この支援で影響を受けるドライバの認知・判断機能としては上記の左右確認行動に加え「ドライバが交差車両を視認するまでに要する時間（以下、視認時間）」が考えられるため。

③思い込み

理由：ドライバの左右確認行動は支援によって効果が期待されるものの、正常で正確な支援が常態化した場合に思い込みが発生し、これによって判断や行動が変化する可能性があるため。

以上、本研究では、この3つ（左右確認行動、視認時間、思い込み）のドライバの認知・判断機能に着目し、これらの定量化及びモデル化を図り ASSESS のドライバモデルに新機能として組み込むこととした。

5. 被験者実験による認知・判断機能のモデル化

上記3つのドライバの認知・判断機能のモデル化及びパラメータ値の決定にあたっては、ドライビングシミュレータを使用して、認知・判断機能に関する被験者実験を実施した。なお、実験に先だって、当研究所の人間を対象とする実験に関する倫理規定による承認を受けた。

5. 1. 左右確認行動モデル

ドライバの左右確認行動を分析する実験では、複数個(4-6個)の交差点を横断するシナリオを用意し、交差点通過時に行われる被験者の左右確認行動(首振り状態)を支援なし及び支援ありの条件で観測した。その結果、被験者の9割で、左右確認は右、左、右の順番で行われること、また、左右問わず首振りが始まると途中で止まることなく大きく最後まで振り切られることが確認された。このような統一的傾向が現れたのは、交差点横断時には、右、左の順番で交差車両が危険な対象となること、加えて、交差点の見通しが悪いためドライバは左右確認を交差点の直前で素早く行わなければならないことが要因であると考えられる。

これらの結果を踏まえ、左右確認行動のモデル化では、同時に可視判定ができる一定の視野角(以下、可視角)を設定し、この可視角の中心方向が①正面→②右端→③右端停留→④左端→⑤左端停留→⑥右端→⑦右端停留→⑧正面のプロセスで時間とともに変化することを基本とする機能を持たせることとした。可視角の大きさは、注視点が迅速に安定して見ることができると考えられている安定注視野とし、視野の中心から水平 $\pm 45^\circ$ とした。また、ドライバの首振りにあたる可視角の中心方向の振り幅は、人が首振りすることが出来る最大角度といわれている $\pm 60^\circ$ とした。可視角の中心方向の振れの周期は、実験で観測された首振りの周期の平均値を用いることとした。

5. 2. 視認時間モデル

非優先道路を走行するドライバの交差車両に対する視認時間を交差点中央から交差車両(停止状態)までの距離を変えて計測した。ドライバ(被験者)には、交差点で車両を視認した場合にパッシング操作で視認を申告させた。本実験は、支援なし及び支援ありの条件で視認時間の計測を行った。交差車両は、自車両との会合点から右側に75.4[m]、111.3[m]、147.3[m]及び219.1[m]の距離に一定の順番で現れる(自車からの視野角では、 85° 、 87° 、 88.5° 及び 89° に相当)。

視認時間のモデル化では、被験者実験で得られた距離

に対する視認時間結果に対して回帰分析を行い、その回帰直線から視認した距離に対する視認時間を推定することとした。

5. 3. 思い込みの再現

左右確認行動の被験者実験において交差点を25個に増やした場合、23個目の交差点(交差車両が出現しない交差点)では、約半数の被験者が通常の左右確認の最後の⑥、⑦の右側確認を省略し、①正面→②右端→③右端停留→④左端→⑤左端停留→⑧正面となることが確認された。これは、このような左右確認を行った被験者へのインタビューにより、それまでの支援の経験で支援が無い場合は交差車両がないことがわかるため、左右確認の最後の右側確認を省略したとのことであった。

さらに、交差道路端に到達したとほぼ同時に支援があるような交差車両が出現する交差点でも、約半数の被験者が同様に左右確認の最後の右側確認を省略し、①正面→②右端→③右端停留→④左端→⑤左端停留→⑧正面となることが確認された。これは、既に左右確認を行えるような十分視認できる状態で支援を受けた場合、支援時の交差車両の位置はこれまでの支援の経験で横断するのに十分離れた距離にいることがわかるために視認を行わなかったとのことであった。

そこで、“支援が無いということは、交差車両が存在しない”という思いこみや、既に視野が確保できている位置に到達してから支援をもらった場合“車両は十分遠くにいる”という思い込みを再現するために左右確認を開始するまでに出会い頭衝突防止支援システムの支援が無ければ左右確認の最後の右側確認を省略するアルゴリズムを実装することとした。

6. 出会い頭衝突防止支援システムの効果評価

6. 1. 効果評価の方針

本評価では、出会い頭事故が想定される交通状況を想定し、その状況で発生する衝突件数とシステムの普及率との関係を算出することで効果評価を行うこととした。

一方、本支援システムの支援タイミングの精度は各車両の位置の測位精度に依存するため各車両に搭載されているGPSの測位精度に依存する。現在、ガイドラインでは、このGPSの精度別に4つのクラスが定義されている(Sクラス:誤差0.1[m]、Aクラス:誤差5.0[m]、Bクラス:誤差15[m]、Cクラス:誤差30[m])。そこで、本評価でもこのクラス別にこの誤差の分だけ支援タイミングが遅れた場合の評価をGPSの精度による影響と

して行うこととした。

6. 2. 効果評価

今回の効果評価では、図3に示すように非優先道路を走行する車両（以下、非優先車両）に対し、優先道路を走行する交差車両（以下、交差車両）が1台右側から接近する場合を想定することとした。交差車両の初期速度は、20[km/h]～60[km/h]まで2.0[km/h]刻み、また、到達余裕時間は、10[s]～20[s]まで0.2[s]刻みとして出現パターンを網羅的に生成した。非優先車両の初期速度は40[km/h]とした。同車両のドライバモデルは、上記の認知・判断機能の新機能が搭載され、交差車両のドライバモデルは優先意識が高い状態（交差点では減速しない状態）を模擬した。

図4に本システムの普及率に対して推定される衝突発生件数を示す。なお、図中の各線はGPSに測位誤差が生じた場合に推定される衝突件数の推移を誤差が無い場合と誤差クラス毎に示したものである。これより、今回の評価環境及び評価条件では、本システムが普及するのに従って衝突発生件数がGPSの精度によらず減少することが推定された。

また、普及率が0%から100%へ変化した場合の衝突件数の推移をGPSの誤差クラス毎に比較すると、Sクラスでは誤差が無い場合と変わらず衝突件数は34件とな

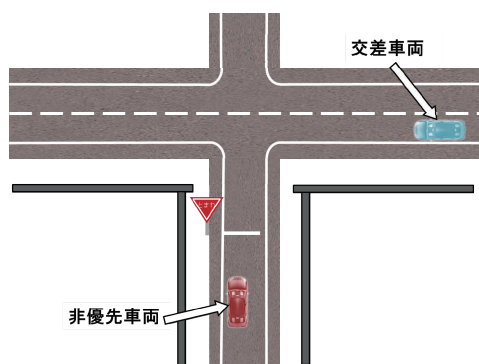


図3 評価環境

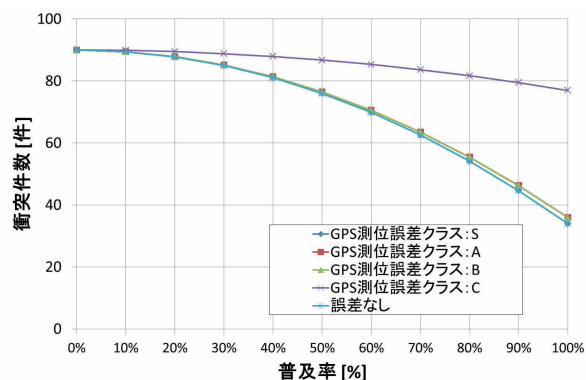


図4 評価結果

り56件(62.2%)削減されることが確認された。さらに、AクラスとBクラスでは衝突件数は36件となり54件(60%)削減されることが確認された。一方、Cクラスでは衝突件数は77件となり、削減される衝突件数が他のクラスと比較して著しく少ないことが確認された。

7. まとめ

本報告では、通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの効果評価を行うために予防安全支援システム効果評価シミュレータASSESSの新機能を開発し、ASSESSを用いて本支援システムの効果評価を行った。その結果、本支援システムが普及することによって衝突件数が約6割削減される交通環境が存在することが確認された。また、この交通環境では、GPSの精度に誤差が発生することによって衝突事故の削減数が減ることが確認される一方で、GPSの測位誤差がCクラスの場合は衝突の削減効果が著しく低下することが確認された。

今回、効果評価を実現するために新たにASSESSに組み込んだ機能は、被験者実験の結果がベースとなっている。よって、今後さらに効果評価の精度を高めるためには、この被験者実験データの拡充が課題である。また、出会い頭事故が起こる状況は、今回設定した交通環境以外にも考えられ、そのような環境での評価が必要である。また、本評価では交通流パターンを網羅的に生成して評価を行ったが、各パターンには発生頻度が存在すると考えられる。今後は、これらの点も考慮して効果評価を行う必要があると考えている。

参 考 文 献

- (1) 公益財団法人 交通事故総合分析センター編；出会い頭事故発生の特徴と要因分析、平成23年交通事故総合分析センター研究報告書(2011-10)。
- (2) 田中信壽、森田和元、青木義郎、安本まこと、廣瀬敏也；予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)を用いたブレーキアシストシステムの有効性に関する検討、自動車技術会論文集、Vol.43、No.1、pp.15-20(2012)。
- (3) 公益財団法人 交通事故総合分析センター編；特集・道路環境からみた出会い頭事故、イタルダ・インフォメーション、No.69(2007-08)。
- (4) 公益財団法人 交通事故総合分析センター編；特集・出会い頭事故における人的要因の分析、イタルダ・インフォメーション、No.56(2005-05)。

⑦ 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

自動車安全研究領域 ※青木義郎、松村英樹、岡田竹雄、岩瀬常利

1. はじめに

近年自動車において車載モニタシステム（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）の開発（図 2¹⁾）が行われている。UN/ECE の WP29 においても、これまで認められていなかったドアミラーの CMS への代替を認めるどうかの検討が始まっている。

CMS の技術が実現されてドアミラーが除去されると、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が期待できるほか、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、ドアミラーと条件が異なるため、懸念点もいくつか存在する。モニタサイズ等の条件により距離感に違いが出ると考えられるが、条件によりどの程度変化し、また何を安全基準と考えるべきか等、十分な知見が得られていない。

本研究では、CMS について走行実験を行い、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かを条件別に評価した。

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⁾。この実験により、モニタサイズが距離感に影響を及ぼすことが明らかになっている。本研究では、距離感が安全性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



図 2 ドアミラー代替 CMS

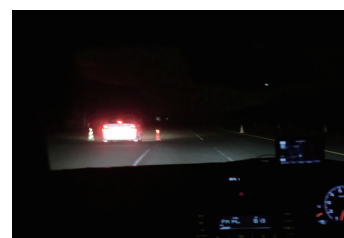
3. 実験方法

今回の研究では、実走行中の車線変更判断がモニタサイズ等の条件によりどのように変化するかを調べるため、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 9 名である。実験参加者は、当研究所実験倫理規定に基づき、実験参加の同意を得た。



(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

今回の実験では市販されているカメラとモニタを使い CMS を構築した（図 4 参照）。その仕様を表 1 に示す。モニタの設置位置はドライバから見てフェンダーミラー方向とした。カメラはドアミラー上部に取り付け、ドアミラーによる間接視界と出来るだけ差が出ないように設置した。



(a) CMS カメラ



(b) CMS モニタ

図 4 CMS 実験システム

表 1 カメラモニタシステム仕様

カメラ記録画素数	約460万
モニタ画素数	800×480
コントラスト比	500:1
モニタ輝度	1000cd/m ²

3. 2. 走行条件

実験は、2 台の車両（先行車両及び後続車両）をテストコース上（直線区間）において 1 車線分ずらした、となりの車線を追従走行させる。先行車両及び後続車両を一定速度（40km/h）、一定間隔で追従走行させる等速度実験、後続車両を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相対速度実験（相対速度は 10km/h または 20km/h。先行車は 30km/h）を実施した。

4. 実験結果

実験参加者が“ぎりぎり車線変更できると判断した時の後続車までの距離（車間距離）”の平均値を算出した。その結果を図 5、図 6 に示す。

図 5 より、昼間の場合、CMS では、モニタサイズが 7 インチの場合だけでなく 5 インチの場合においてもミラーによる場合よりも車間距離が長くなっている。昼間の場合は CMS のモニタサイズが 5 インチでもドライバはより安全な評価をする。

図 6 より、夜間の場合の後続車までの距離は、5 インチの場合においてはミラーの場合を下回っている場合がある。夜間ではモニタサイズが小さいと、後続車両が接近しているのに車線変更するような危険な判断が起こりやすいことが示された。また、昼間時と異なり夜間の場合には、相対速度が+20km/h の結果が+10km/h の場合よりも”ぎりぎり車線変更できると判断した時の後続車までの距離“が短くなるケース（7 インチ時）も見られる。このような結果になった理由としては、今回の条件においては夜間の場合、速度認知の判断力が低下しているのではないかと考えられる。

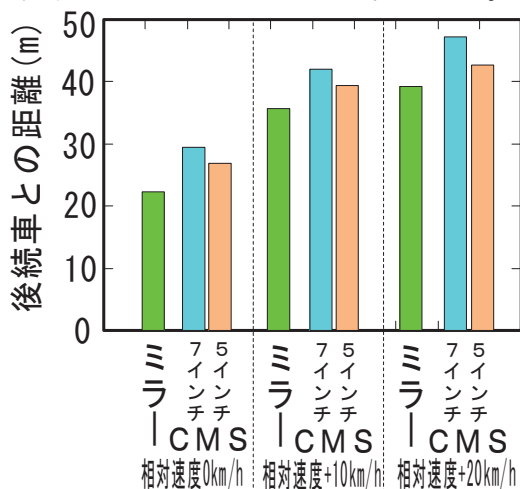


図 5 「ぎりぎり車線変更できると判断した後続車までの距離（昼間）

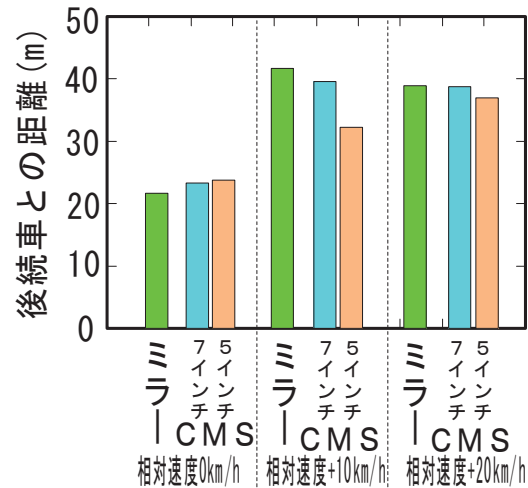


図 6 「ぎりぎり車線変更できると判断した後続車までの距離（夜間）

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) 昼間の実車走行では CMS による車線変更の判断はドアミラーよりも慎重になり、“ぎりぎり車線変更できると判断した後続車までの距離”は長くなる傾向となった。このことより、昼間に関しては CMS のモニタサイズが 5 インチでも安全サイドの評価となるものと考えられる。
- (2) 夜間では CMS のモニタサイズが小さいと危険な車線変更の判断が起こりやすくなる

今後もカメラモニタシステムについて評価実験を実施し、安全性を確保するための要件を明らかにする。

<参考文献>

- (1)東京モーターショーニュース 2011（2011）
- (2)松村英樹、青木義郎、岡田竹雄、塚田由紀：ドアミラー代替カメラ・モニタシステムの距離感に関する検討、自動車技術会秋季大会（2011）
- (3)松村 英樹、塚田 由紀、岡田 竹雄、青木 義郎：後写鏡の代替としてのカメラ・モニタシステムに関する調査、通安全環境研究所 フォーラム講演概要 196-199 (2010)

⑧ 自動車検査の制動力測定における ブレーキローラの改善に関する研究

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

自動車検査で使用しているブレーキテストの制動力測定用ローラ（以下「ブレーキローラ」という）は、タイヤとの間に一定の摩擦が生じるよう、ローラ表面に凹凸（溝）を有している。しかし、処理台数が増加するほど凸部分の表面や角部が摩耗し、摩擦係数が低下することや、この凹凸が試験車両のタイヤへ損傷を与える等の問題がおきている。

そこで、ブレーキローラの適切な交換時期を推定するため、ブレーキローラの摩耗と処理台数の関係を調査した。また、現行の溝付きブレーキローラの代替品として有望とされている摩擦係数の高いコーティングローラについて、その耐久性等を調査した。

2. 溝付きブレーキローラの摩擦係数の変化

2. 1. 概要

試験車両を用いて、処理台数の異なるブレーキローラによる制動力測定を行い、結果を比較した。同時に、測定したブレーキローラの凸部の摩耗量及び摩擦係数を測定し、これらからブレーキローラの交換時期が推定できるかどうか検討した。

2. 2. 実験条件

本調査において測定した項目を表1に示す。摩擦係数は、試験車両のタイヤに取り付けた六分力計の値から計算により求めただけでなく、当所で開発中の簡易型振り子式摩擦係数測定器を用いて測定した。

ブレーキローラの摩耗量は輪郭形状測定器を用い、ブレーキローラ表面の凸部の角が元の形状から何 mm 減っているかを測定した値とした。

試験車両は、本調査を通じて同じ車両（スズキ、ワゴンR、平成15年）を使用し、ここで報告するデータは全て同一ドライバーから得た値とした。

2. 3. 実験結果

検査処理台数に依存した摩擦係数の変化を図1に示す。この値は、試験車両のタイヤに取り付けた六分力計の値から計算により求めた摩擦係数で、横軸は検査台数、縦軸は摩擦係数を示している。図中白抜きの

表1 調査項目

	項目	計測器
ブレーキ (試験車両)	制動力	六分力計 ブレーキテスト
ブレーキ ローラ (検査機器)	摩擦係数	六分力計 簡易型振り子式摩擦係 数測定器
	摩耗量	輪郭形状測定器

記号で表したデータは、試験当日は大雪で、ブレーキローラとタイヤをブロー等で乾燥させて測定したものの、通常よりは湿った状態であったこと、外気温が0度又は5度と非常に低かった中での結果である。湿潤時には摩擦係数が低く計測されるため、この値も少なからず影響を受けていると考えられる。この図から、検査台数が増加するにつれて摩擦係数が低下する傾向がみられる。

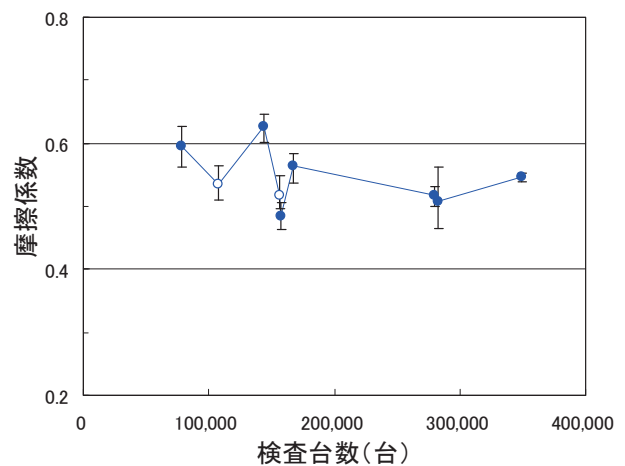


図1 検査処理台数に依存した摩擦係数の変化

図2に、振り子式摩擦係数測定器で測定した摩擦係数を示す。この値は、ローラと測定器の摩擦面（ナイロン）との間の摩擦係数であるため、図1の値とは異なるが、繰り返しの測定誤差は小さく、推定された減少傾向を示している。

次に、振り子式摩擦係数測定器による摩擦係数（図2）と、ブレーキローラ表面の凸部の摩耗量の関係を

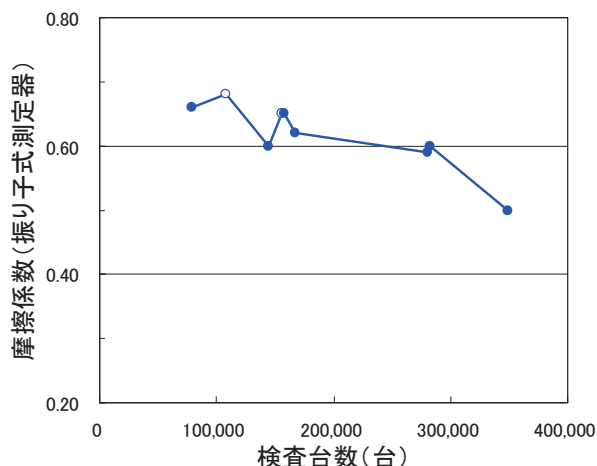


図2 振り子式摩擦係数測定器による摩擦係数の変化

図3に示す。横軸は摩耗量、縦軸は摩擦係数を示している。2つの値には相関がみられ、振り子式摩擦係数測定器による測定値で、ブレーキローラの摩耗を予測することができることを示唆している。

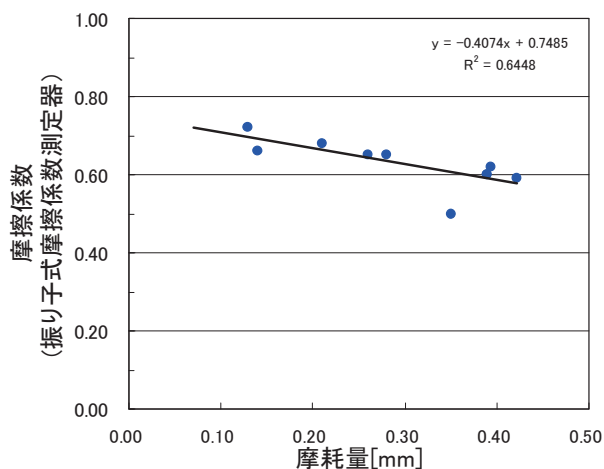


図3 摩擦係数と摩耗量の関係

3. 高摩擦コーティングローラの耐久性

3. 1. 概要

高摩擦ブレーキローラの耐久性を検討するため、30万回の繰返し耐久摩耗試験を行った。

3. 2. 実験条件

試験対象の高摩擦コーティングローラは、ボーキサイト等の小さい破片をローラ表面に付着させて固めた物を使用した。

制動力の測定には、試験車両を使用し、シリンダー型のブレーキロボットを用いて、自動でブレーキペダ

ルを毎回同じ踏力、タイミングで踏ませることで制動効率 50%相当の制動力を発生させた。これより得られた制動力を車両の軸重で割った値を最大制動効率とし、結果を整理した。

3. 3. 結果

まず、高摩擦コーティングローラの基本的性能として、最大静止摩擦係数を測定すると 0.94 であった。この値は現行の溝付きブレーキローラの最大静止摩擦係数 0.74 よりも高いが、アスファルトの最大静止摩擦係数 1.08 には及んでいない。

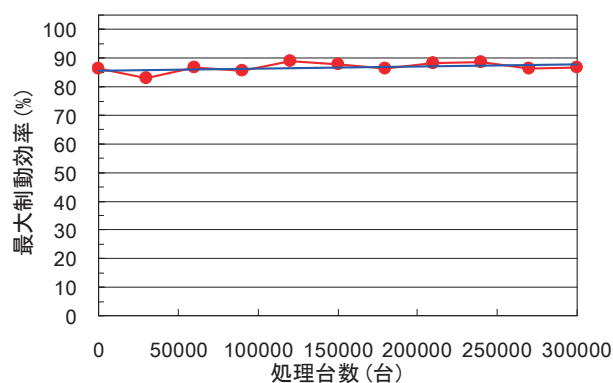


図4 処理台数に対する最大制動効率の変化

図4に30万回(処理台数で表す) 耐久性試験の結果を示す。最大制動効率は30万回繰返す間に81%～89%の間で変動した。線形近似を行うと、その傾きは 0.7×10^{-5} となり、最大制動効率は30万回の間にほぼ変化していないことになる。

試験を繰り返すと、タイヤ表面に小さい傷が広がったが、これらの傷は非常に小さく、タイヤの弾性により試験後には目立たなくなる傾向がみられた。

4. まとめ

ブレーキローラの摩耗と制動力の関係を調査した結果、検査台数が増加するほど摩擦係数が低下し、計測される制動力の値が減少することが分かった。ブレーキローラの摩耗の度合いは振り子式摩擦係数測定器を用いて定量的に計測することができ、交換時期を予測できることが示唆された。

摩擦係数の高いコーティングローラは、十分な耐久性を有していることが分かった。更に、試験車両のタイヤ損傷についても、試験後には目立たなくなる傾向がみられ、タイヤ損傷に対する問題も改善されることが示唆された。

⑨ エンジンオイルのメンテナンス不足が潤滑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、車両の高齢化が進んでく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。

今回、エンジンオイルに焦点を当てて事故事例を分析したところ、「エンジン内部でオイルの詰まりが生じ、エンジンが焼き付き、破損した」、「ピストンが焼き付き、コンロッドがシリンダーブロックを破り、火災が発生した」など、エンジンオイルのメンテナンス不足による潤滑不足が原因とみられる故障や火災が発生した事例が見受けられた。

そこで、使用過程車からエンジンオイルのメンテナンスが十分でない事例を収集したところ、エンジンオイルの循環が不十分と考えられるほどスラッジ（エンジンオイルの劣化により沈殿している不純物）が堆積している事例が認められた。このため、エンジンオイルの流量を故意に変更したときの潤滑性能について実験的に検証するとともに、エンジンオイルのメンテナンス不足状態で走行を続けたときの事象を再現する実験を実施することにより、エンジンオイルのメンテナンス不足状態で走行を続けた場合に故障や火災に至るメカニズムと危険性について再確認することができたので、その概要を報告する。

2. 使用過程車の事例収集

長期間使用された自動車を2台（表1参照）入手し、エンジンの内部状態を調査した。実験車1のオイルパン内部並びにエンジンプロック内部及びオイルストレーナの状況を図1に、実験車2のオイルパン内部並びにエンジンプロック内部及びオイルストレーナの状況を図2に示す。

実験車1は車齢9年でエンジンオイルのメンテナンスがほとんど実施されていないものと考えられ、多量のスラッジが堆積しており、スラッジによりオイル

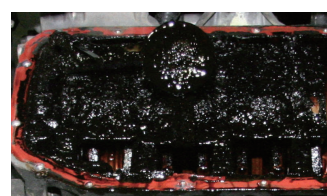
ストレーナの表面の約70%が閉塞していることがわかった。一方、実験車2は車齢12年であるにもかかわらずエンジン内部にスラッジはほとんど堆積しておらず、適切なメンテナンスが実施されていたものと考えられる。

表1 実験車の緒元

	初度登録年	車齢(年)	走行距離(km)	エンジンオイル交換時期
実験車1	H14	9	111,065	H22/4
実験車2	H8	15	108,620	H23/11



オイルパン内部

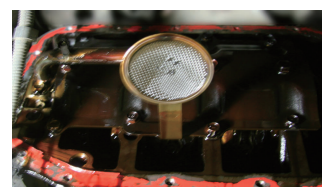


エンジンプロック内部
及びオイルストレーナ

図1 実験車1のエンジン内部



オイルパン内部



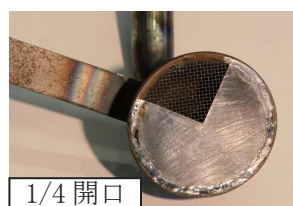
エンジンプロック内部
及びオイルストレーナ

図2 実験車2のエンジン内部

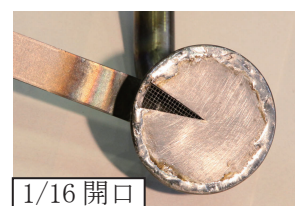
3. 再現実験

3. 1. 潤滑不良の模擬

潤滑不足になった状態を模擬する方法として、図3に示すようにオイルストレーナの開口部を薄い鉄板により塞ぐこととした。



1/4 開口



1/16 開口

図3 模擬閉塞オイルストレーナ

回収時の実験車1の潤滑状態を模擬する1/4開口とさらにスラッジが堆積した状態を模擬する1/16開口の模擬閉塞オイルストレーナを使用することとした。

測定においては、車速、油圧、油圧警告灯の状態、メタル軸受の温度、エンジンオイル温度、排気管温度、触媒温度、エンジンブロック温度、エンジンヘッドカバー温度を測定した。

3. 2. 台上走行実験

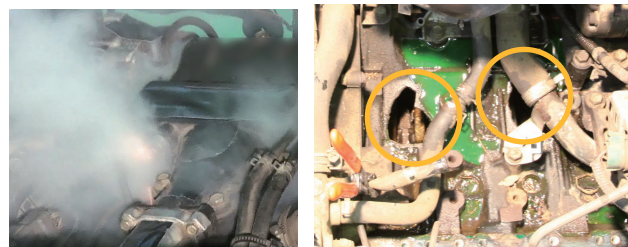
走行実験は、適切な慣性負荷を設定した高速ブレーキテスト上で実施した。

実験車1を回収した状態で走行実験を実施したところ、すぐにメタル軸受温度の異常上昇が認められたので、最初にエンジン内部の洗浄を実施したあと、潤滑不良の状態を模擬して台上走行実験を実施した。

走行実験の1例として、エンジンの内部洗浄後に新品のオイルストレーナを使用して80km/hで走行したときの測定結果を図4の左に示す。この場合には、メタル温度が130℃近くまで上昇したものの、焼き付きが発生するような兆候はみられなかった。

次に、回収状態を模擬するために1/4開口模擬閉塞オイルストレーナを使用して、20、60、80、100km/hと速度を上げながら定速走行を続ける耐久走行実験を実施した場合の測定結果を図4の右に示す。油圧は低下を続け、ほぼ0に近づいた時点で油圧警告灯が点灯した。また、メタル温度は上昇を続け、80km/h走行中に150℃に達し、100km/hに速度を上げた時点で一時的に350℃に達したものがあつた。この時点で焼き付きが発生したものとみられ、実験終了後に分解調査をしたところ、焼き付きが確認できた。

また、実験車2に1/16開口模擬閉塞オイルストレーナを使用して、極端な潤滑不足状態を再現したところ、アイドル状態で5分間暖機した後、20km/hで慣らし運転していたところ約3分でエンジン破損及び発火（すぐに自然消火した）が認められた（図5）。



発火状況

エンジン破損状況

図5 エンジン破損及び発火事例

4. あとがき

エンジンオイルの十分なメンテナンスを実施しないで走行を続けると、エンジン内にスラッジが堆積して潤滑不足になり、メタル軸受が焼き付いてエンジンが破損して走行不能になり、さらに、エンジン破損時に、高温のエンジンオイルが排気管等の高温部分に漏れた場合、発火に至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や走行距離を参考にして、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²⁾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

- (一財)自動車検査登録情報協会:わが国の自動車保有動向
- http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha09_hh_000063.html

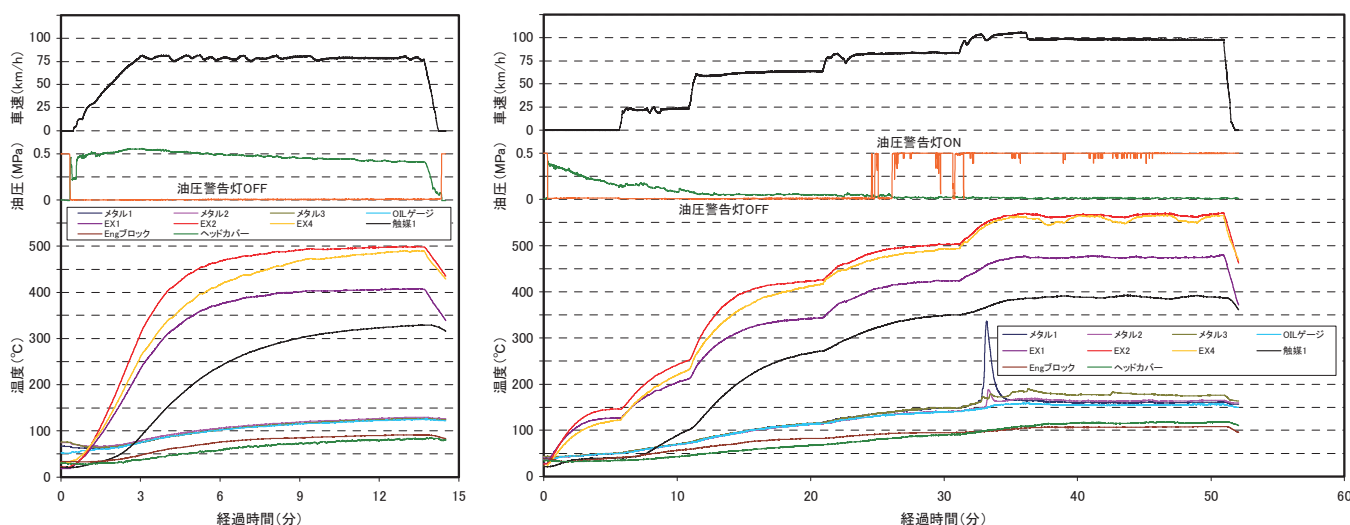


図4 実験結果例（左：1/4開口模擬閉塞ストレーナ、右：1/16開口模擬閉塞ストレーナ）

⑩ セミトレーラーの横転抑制のための制動制御システム

自動車安全研究領域

※波多野 忠

1. はじめに

加害性の大きい大型貨物自動車の横転事故防止は、車両安全対策の中では重要なもののひとつである。今回注目している国際海上コンテナセミトレーラーでの横転事故⁽¹⁾の原因をみると、道路工作物への衝突後のつまずき等とは違い操舵によるものが考えられる。これは、連結車ということと、コンテナの扉が封印されているためドライバが現場でコンテナ内部を確認することが不可能であることから、セミトレーラーの横転特性がつかみにくいことが要因と考えられる。このため、セミトレーラー用に横転抑制のための制動制御システムが市販⁽²⁾⁽³⁾されている。このシステムは、ABS 付き制動操作であり、横加速度によって作動開始条件が決定される。また、このシステムは、主に車体の前後方向速度を低下させて横転を抑制するものと考えられる。

今回新たに開発した制御システムは、低中速域限定として、トラクタ後軸及びセミトレーラー軸のタイヤをロックすることによりタイヤ横力を低減させ、横転を抑制するシステムである。本システムが作動するとタイヤロックが発生し、トレーラは曲線路外側に膨らむ可能性がある。しかし、低中速域の連結車の場合には、曲線路では、トレーラはトラクタに比べて常に内側を走行するため、曲線路外側にトレーラが走行できる空間が若干存在する。このため、本システムが作動してトレーラが曲線路外側に若干膨らんでも、低中速域限定とした場合、この空間を利用することにより、連結車は安全に停止できる可能性がある。

この制御システムについて、PC 上で走行シミュレーションを実施し、従来からあるシステムと比較検討した結果を報告する。

2. 横転抑制のための制動制御システム

今回新たに開発したシミュレーションモデルである横転抑制のための制動制御システム（以下、横転抑制システムという）の基本的な動作については、セミトレーラーの左右サスペンションのバネ変位の差を検知して、横転が始まる前にトラクタの後軸とセミト

レーラー軸のタイヤをロックさせ、その後ブレーキチャンバーの空気圧を低減させて低制動力を維持し車両が停止するまで制動を行うシステムである。横転抑制システムの作動は、セミトレーラーの左右サスペンションのバネ変位の差及びその時間微分値がそれぞれ一定値を超えた時点から始まるようにした。これについて、MATLAB Simulink 上で構築し、TruckSim を用いて走行シミュレーションを実施した。

3. 走行シミュレーション及び結果

走行シミュレーションは、初速度を一定として半径 30m の U ターン走行を模擬し、その後、徐々に初速度を上げて横転をするまで実施した。車両は、TruckSim に標準で搭載されているトラクタ 2 軸車、フラットベクトルトレーラ 2 軸車を使用し、トラクタとセミトレーラーのホイールベースを、40ft 国際海上コンテナを搭載する連結車両相当に変更したものをを用いた（トラクタ軸距；3.18m、トレーラ軸距；8.0+1.5m）。積載物は表 1 に示すとおりとし、積載物の重心位置は前方と中央と後方の三種類を設定した。晴天時と雨天時を模擬するために、走行路面の摩擦係数は 0.85、0.5 の 2 種類とした。走行速度の制御については、常に一定になるようにクローズドループ制御を用いた。

表 1 積載物の搭載条件

積載位置	前後方向 (キングピン軸 を原点; m)	左右方向 (車両中心位置 を原点; m)	上下方向 (地面を原点; m)	積載荷重 (t)
前方	4	0.15	2.65	18
中央	6	0.15	2.65	18
後方	7.5	0.15	2.65	18

また、横転抑制システムを評価するために、現状で市販されているシステムを模擬した ABS 付き制動を、作動開始点を同一にして作動させ、本システムと ABS 付き制動を比較検討した。ABS の制動制御は、TruckSim に標準で搭載されているシステムを使用した。なお、車両の操舵制御は、ドライバモデルを含めたクローズドループ制御を用いた。ドライバモデルの中のドライバ予見時間は 1.5 秒とした。

U ターン走行を模擬した結果を図 1 に示す。下図(路面摩擦係数 0.5)の中の四角枠内の注釈の「極低速の軌

跡」は、極低速(8km/h)で走行した時のトラクタ右前端部の軌跡である。また、「極低速の軌跡より2mを超えた」は、軌跡の膨らみ具合を、横転抑制システムではセミトレーラーの右後端、ABS付き制動ではセミトレーラーの右前端の軌跡を算出し、極低速の軌跡との差から膨らみ具合の最大値を算出した。道路構造令によると路肩の幅は1.8から2.5mなので、膨らみが2mを超えるものについては、その他の障害物に接触する可能性が大きくなると考えられる。このため、車両の走行軌跡の膨らみを最大2mまでとし、この時の初速度を図に示した。

横転抑制システムは、路面摩擦係数と積載方法の条件のすべてにおいて、システムが作動すると連結車両の横転特性が安全側に向上していることがわかる。図の横転時の初速度でみると、横転抑制システム有りの場合は、10 km/h 程度以上向上している。但し、路面摩擦係数が0.5の場合では、横転はしないが曲線路外側に膨らむ傾向が出る。

横転抑制システムと市販品を模擬したABS付き制動を比較すると、路面摩擦係数が0.85では横転抑制システムの方が若干安全な方向にある。しかし、路面摩擦係数が0.5では、セミトレーラーがABS付き制動より大きく膨らむ傾向のため、横転抑制システムは初速度が低い傾向になる。

図2は、横転抑制システム無し、ABS付き制動及び横転抑制システム有りの場合でのセミトレーラーの最大膨らみ量を、前述の極低速での軌跡との差から算出したものを示す。横転抑制システム無しの場合の最大膨らみ量は、曲線路最後から直線路に戻るときに発生し、セミトレーラーの右前端の軌跡の中での最大値である。図の最大膨らみ量が5m前後のものは、横転した場合である。中央積載、路面摩擦係数0.85の場合には、最大膨らみ量は横転抑制システム有り、ABS付き制動とも横転前までは1m以内に収まっている。

4. まとめ

今回新たに開発したトラクタ後軸及びセミトレーラー軸のタイヤをロックさせタイヤ横力を低減することにより横転を抑制するシステムについて、タイヤロック1回のみの制動制御アルゴリズムを構築して、PC上で走行シミュレーションを実施した。その結果、路面の摩擦係数が低い場合を除いて、車両の横転特性が安全側に向上することがわかった。なお、路面の摩

擦係数が低い場合には、車両は横転しないが、曲線路外側に大きく膨らむために使用することが困難になる場合があることがわかった。また、横転時の初速度の改善は、市販のものと比べて2km/h程度であり、顕著な改善は見られなかった。

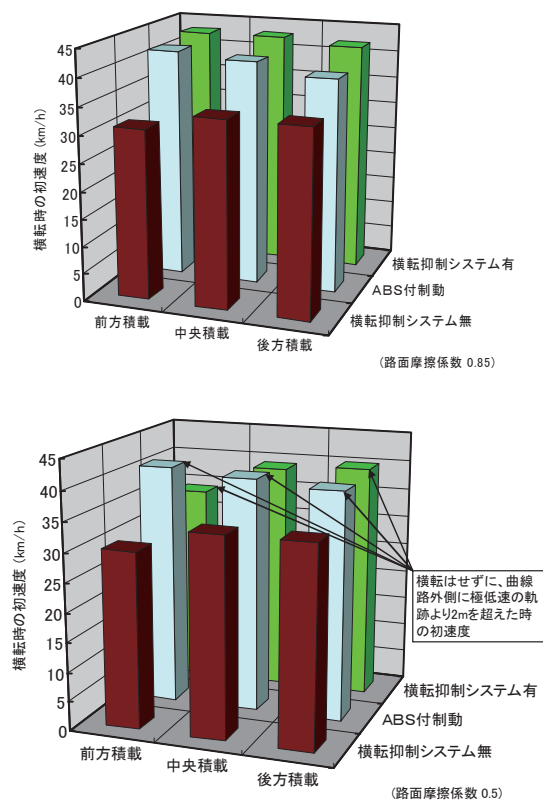


図1 Uターン走行模擬試験結果

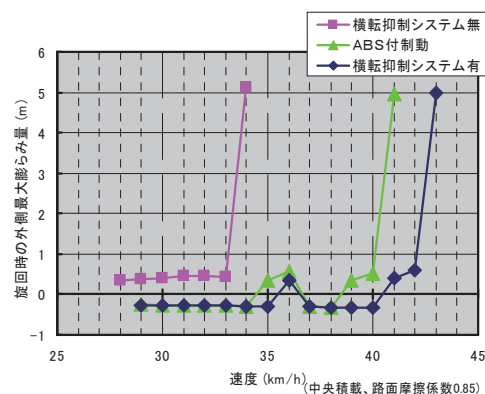


図2 セミトレーラーの旋回時最大膨らみ量

参考文献

- (1) 自動車運送事業に係る交通事故要因分析報告書(平成21年度) 社会的影響の大きい重大事故の要因分析, 国土交通省, 平成22年
- (2) WABCO, <http://www.wabco-auto.com/stability-control>
- (3) Brown T. et al.: Heavy Truck ESC Effectiveness Study Using NADS, NHTSA, November 2009

⑪ 公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか

－（第3報）実路走行試験から燃費変動の定量的な評価－

環境研究領域

※山口 恭平

鈴木 央一

酒井 克治

1. はじめに

近年、低燃費車の開発や普及が急速に進むにつれて、審査値である公表燃費値が取り上げられる機会が増加している。公表燃費値の平均は年々、向上している一方で、自動車の使用者（ユーザ）が実際に車両を使用した際の燃費（実燃費）は公表燃費値と大きく乖離しているという指摘も少なくない。自動車ユーザへ正確な情報を提供するだけでなく、CO₂排出量の直接的な低減に繋がるため、それらの乖離は解消されることが望ましい。そのような乖離を生む要因は既報^{1) 2)}で示したように多岐にわたるが、本報では自動車の使用環境の中でも「道路の混み具合」といった道路状況に着目し、複数路線における実路走行試験から、道路状況による燃費の変動を評価した。

2. 道路状況が燃費の変動に及ぼす影響

2. 1. 使用環境による燃費変動の一傾向

実路走行試験に先立ち、使用環境に起因した燃費変動の傾向を把握するため、e 燃費のデータ（2012 年）を活用し、各地方の実燃費を確認した。図1に、排気量 1.0L クラスのコンパクトカーA を対象にした各地方の平均燃費値（年間平均）の全国平均に対する比率と国内 8 地方の年間平均気温を示す。なお、2012 年式の当該車両の公表燃費値（JC08 モード）は 19.0～21.2km/L である。図1より、コンパクトカーA の全国平均燃費（14.2km/L）に対して、－19～＋7%と大きな燃費変動を示している。ただし、この変動には道路状況だけでなく気温や運転操作など多くの影響因子を含む。そこで、平均気温の近い東京都と愛媛県に着目して、それぞれの年間平均燃費と1月および7月の月平均値を比較して図2に示す。東京と愛媛は全国の中でもそれぞれ下位と上位の燃費値であったが、いずれも公表燃費には及ばず、東京においては公表燃費から 50%近い乖離が見られる。また、それぞれの年間

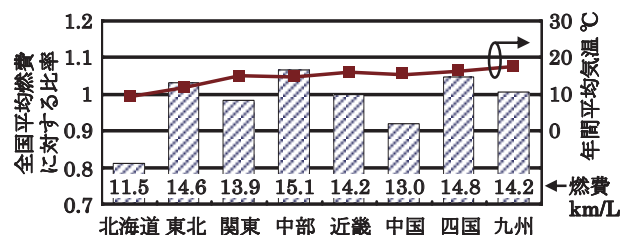


図1 コンパクトカーAの地方別年間平均燃費

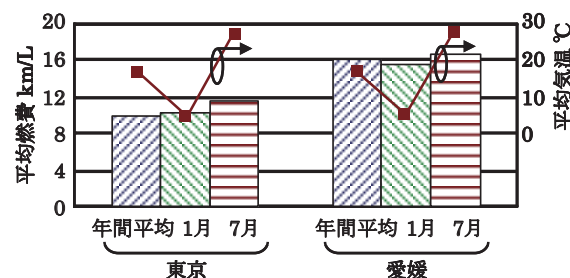


図2 東京都と愛媛県のコンパクトカーA 平均燃費

平均値は全国平均に対し、－30%、＋14%ほど異なっており、その差は大きい。平均気温が近いことから、気温の影響を受ける車両の走行抵抗やエアコンの使用状況は概ね同様と見なすことで、上述の燃費変動は道路状況と運転操作が主な要因として考えられる。

2. 2. 実路走行試験から燃費変動の評価

2. 1. 節の結果を踏まえ、気温は近いが燃費差の大きい東京と四国において実路走行試験を実施し、道路状況が燃費に及ぼす影響を評価した。試験は以下の4路線において実施した。

- ・東京1：新宿を発着点とし、都心の主要道路を走行する約 20km の路線
- ・東京2：交通安全環境研究所から新宿まで幹線道路を走行する約 13km の路線
- ・四国1：高知駅前を出発し、高知市の中心地を走行する約 5km の路線
- ・四国2：土佐市から須崎市まで郊外の幹線道路を走行する約 20km の路線

試験はコンパクトカーA（アイドリングストップ機能なし）を用いて、気温約 30℃かつ天候晴れの条件において行った。また、全試験において試験車重量は概ね等しく、エアコンの設定は同一とした。なお、実路走行試験で使用した燃費計測装置は事前にシャシダイナモ試験において精度を確認し、カーボンバランス法による燃費と同等であることを確認している。

今回の実路走行試験における燃費および当該車両を対象にしたe燃費データの全国平均燃費に対する比率、平均車速、アイドリング時間比率、アイドリングを除いた走行中の平均車速をまとめて図3に示す。都心を走行する東京1の路線ではアイドリング時間比率が50%近くを示しているように信号待ち時間が長いだけでなく、道路混雑によりアイドリングを除いた走行中の車速も低いためエンジンは熱効率の低い領域を使用することになり、燃費は悪い。一方、同じ東京においても都心と郊外を結ぶ幹線道路を走行する東京2の路線では東京1の路線に比べ大幅に燃費が良くなっている。その要因として、この路線は一度の信号待ち時間が長いいためアイドリング比率は高いが、信号待ちの頻度は少なく、信号待ちから次の信号待ちまでの間隔が長くなり、走行中は都心よりも高い車速が維持されるためと考えられる。次に、高知市の中心地を走行した四国1の路線は都心を走行する東京1と比較し、アイドリング比率が低いことに加え、都心のような道路混雑がないためアイドリングを除いた走行中の車速も10km/hほど高くなり、熱効率の高いエンジン運転領域が使用される頻度が増え、良い燃費値を示している。また、郊外の幹線道路を走行した四国2の路線ではアイドリング比率が他の路線に比べ大幅に低い。これは一度の信号待ち時間が短い上に、信号待ちの頻度が少ないためである。その結果、加減速が少なく、定常に近い状態での走行時間が長くなり、エアコンを使用しても公表燃費並の燃費値となった。以上より、今回試験した東京と四国の一般的な道路状況ではe燃費データの全国平均燃費値に対し、-27～+44%の燃費変動を生じることが明らかとなった。

ここで、今回試験した東京と四国における都市内と郊外の燃費を2:1の割合で加重調平均した値をそれぞれ算出し、各地域のe燃費データと比較した結果を図4に示す。東京の年間平均燃費との比較では差異が見られるが、試験時と同じ季節の実燃費とは東京と四国共に数%程度の差となっており、相関が見られる。

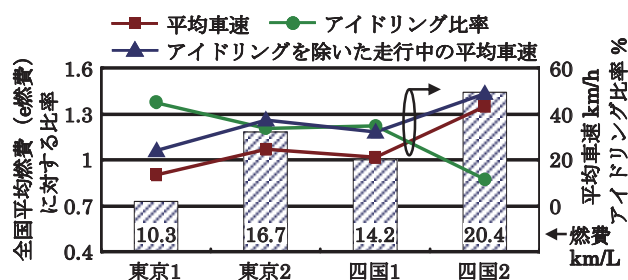


図3 燃費および平均車速、アイドリング時間比率

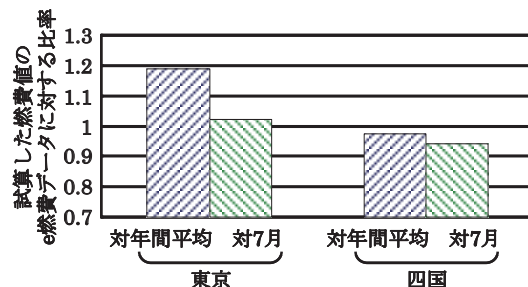


図4 試算した燃費値のe燃費データに対する比率

つまり、東京と四国の実燃費の違いは先に述べた東京と四国の都市内と郊外における道路状況が大きく影響していると言える。ただし、今回はデータが限られており、車両や地方、季節によって異なる傾向を示すことが考えられ、燃費の変動要因や変動幅を明確にするためには今後も引き続きデータを蓄積していくことが必要である。

3. まとめ

公表燃費と実燃費の乖離について、道路状況に着目し、燃費の変動に及ぼす影響を評価した。

- (1) コンパクトカーAを対象にしたe燃費データでは平均気温の近い東京都と愛媛県の平均燃費は全国平均に対しそれぞれ-30%、+14%ほど異なる。
- (2) 東京と四国の一般的な道路状況における実路走行試験から、都市内と郊外の燃費を加重調平均した値は実燃費と相関が見られ、東京と四国の実燃費の違いはそれぞれの道路状況から説明可能である。
- (3) 燃費の変動要因や変動幅を明確にするため、今後も引き続き、様々な車両や地方、季節におけるデータを蓄積していきたい。

4. 参考文献

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

⑫ ハイブリッドトラックの燃費向上に向けた ハイブリッドアシスト制御の一考察

環境研究領域

※奥井 伸宜

小鹿 健一郎

新国 哲也

小林 雅行

1. はじめに

二酸化炭素（CO₂）排出量削減のため、車両運転時の減速エネルギー等、回生可能な運動エネルギーを活用するハイブリッド車や電気自動車を含む次世代自動車の研究開発が積極的に行われている。商用車クラスにおいても、ハイブリッドトラックの市場導入が進められている⁽¹⁾。

一般的に、ハイブリッドトラックは、電動モータにて取得した減速エネルギーを、加速時に駆動力のアシストエネルギーとして利用することで燃費向上を図っている⁽²⁾。しかし、走行に必要なエンジンの仕事の一部を電動モータにより補うことから、エンジンの仕事量は減少し、排出ガス温度は低下する。このことが、排出ガス後処理装置の触媒浄化性能に影響を及ぼし、排出ガス特性を悪化させてしまうことも考えられる。

そこで、実エンジンを有する「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム⁽³⁾」を用いて様々なハイブリッドアシスト制御によるハイブリッドトラックのパワートレインシステムを仮想的に再現し、JE05 モードを走行した場合に排出ガス温度の低下を防ぎつつ燃費向上を図るハイブリッドアシスト制御について考察した。

2. ハイブリッドアシスト制御

検討するハイブリッドトラックモデルは、商用車クラスにて主流であるパラレル方式とした。パワートレイン

の構成は「エンジン⇄クラッチ⇄電動モータ⇄トランスミッション⇄車軸」とした。車両諸元は、表 1 に示す中型トラック（半積載状態：GVW 5.87t）とした。エンジンは、4.7L ディーゼルエンジン（UD トラックス）で、最高出力 158kW/2500rpm、最高トルク 628Nm/1400rpm を発生する。電動モータは、永久磁石式同期電動機（澤藤電機）で、最高出力 118kW/3300rpm、最高トルク 340Nm/0-3300rpm を発生する。駆動用バッテリーは、市販の小型ハイブリッドトラックが搭載する 1.9kWh (5.5Ah) のリチウムイオンバッテリーを想定し、バッテリーの充電状態（充電率，State Of Charge：SOC）に対する開放電圧と内部抵抗をそれぞれ考慮したモデルを使用した。駆動用バッテリーの充電は、車両減速時に発生する回生エネルギーのみとし、走行中のエンジン発電や外部給電による充電は行わない条件とした。

ハイブリッド制御は、以下に示す 3 種類とした。モデル化した各種制御ロジックは、図 1 に示すハイブリッド・パワートレイン台上試験システムに入力した。

①市販ハイブリッドトラック相当車（モデル車 A）

ハイブリッド制御のモデル化のため、シャシダイナモ試験装置にて市販のハイブリッドトラック（2010 年式、新長期排出ガス適合車両）を走行させ、ハイブリッド制御ロジックを調査した。取得した電動モータの力行/回生の電力データをもとにハイブリッド制御をモデル化し、

表 1 モデル車の車両諸元

Vehicle weight		3,790kg
Full load capacity		4,050kg
Height × Width		2.465 × 2.230m
Tire radius		0.4030m
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

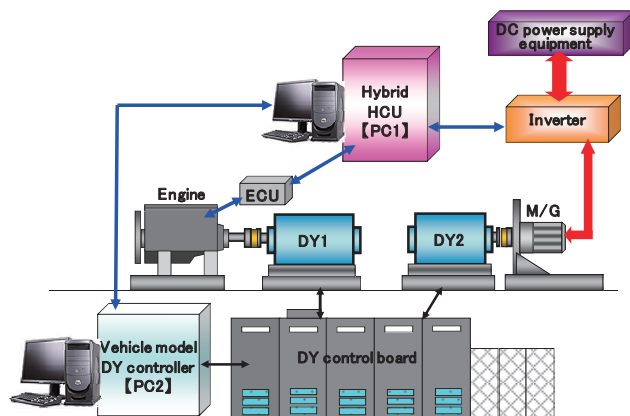


図 1 ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム

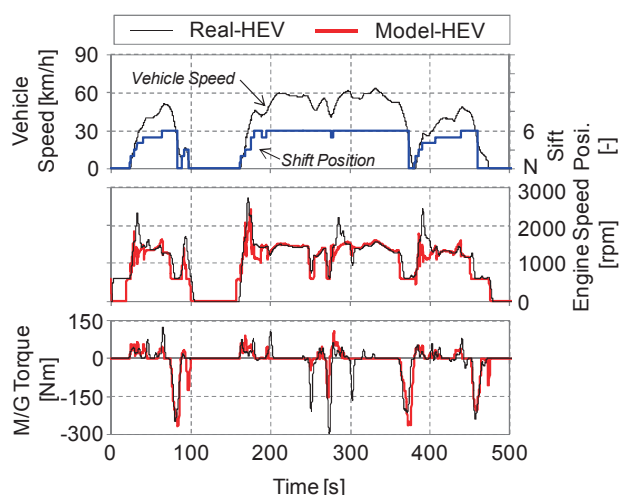


図2 ハイブリッドトラックの実車とモデル車の比較

ハイブリッド・パワートレイン台上試験システムに入力した。ここで、ハイブリッドトラックの実車両とモデル車両のエンジンおよび電動モータの駆動状態を比較した結果を図2に示す。ハイブリッド・パワートレイン台上試験システムにて構築したモデル車両のエンジン、電動モータの動作状況は、実車両とほぼ同様であった。

中型トラックの諸元に今回モデル化したハイブリッド制御ロジックを組み合せ、モデル車Aとした。

②市販ハイブリッドトラック相当車 (モデル車B)

最新の市販ハイブリッドトラックの中には、車両発進時に電動モータ単独で走行する車両が存在する(ただし、クラッチ断にてエンジンはアイドリング状態)。そこで、「1-2速ギア：電動モータ走行+3速ギア以上：ハイブリッド走行(制御ロジックはモデル車Aと同等)」から成る制御ロジックをモデル化し、モデル車Bとした。

③エンジン高効率駆動ハイブリッドトラック

(モデル車C)

エンジンの高効率化を狙い、エンジン最適効率曲線上

にてエンジンが駆動するよう電動モータにて力行/回生制御を行う⁽⁴⁾ハイブリッドトラックの登場も今後考えられる。そこで、供試エンジンの最適効率曲線を事前に調査し、この曲線上にてエンジンを稼働させるようなハイブリッド制御をモデル化し、モデル車Cとした。

3. 結果および考察

3.1 燃費

本実験では、ハイブリッド・パワートレイン台上試験システムのエンジンは実機を、その他の要素機器に関してはモデルで対応を行った。ハイブリッドトラック(モデル車A~C)の比較対象車両には、エンジンのみで運転するモデル車両を用意した。走行パターンは、日本の重量車用燃費・排出ガス試験で使われるJE05モードで、ホットスタート条件である。

JE05モード走行後のハイブリッドトラックの燃費値と燃費改善率を表2にまとめた。なお、ハイブリッドトラックの燃費値は、モード走行開始と終了時のバッテリーエネルギー差がゼロでの値である。従来ディーゼルトラックに比べ、モデル車B<A<Cの順で燃費が改善した。市販ハイブリッドトラック相当車(モデル車A、B)においては約12%、エンジン高効率駆動ハイブリッドトラック(モデル車C)においては約22%の燃費改善効果を得た。この結果を、図3に示す各種ハイブリッドトラックのエンジン回転数-トルク分布図にて考察する。3車種

表2 モデル車の燃費および燃費改善率

	Fuel Economy [km/L]	Rate of Improvement of Fuel Economy [%]
Diesel Truck	7.52	(base)
HEV Truck A	8.45	12.2
HEV Truck B	8.38	11.4
HEV Truck C	9.20	22.2

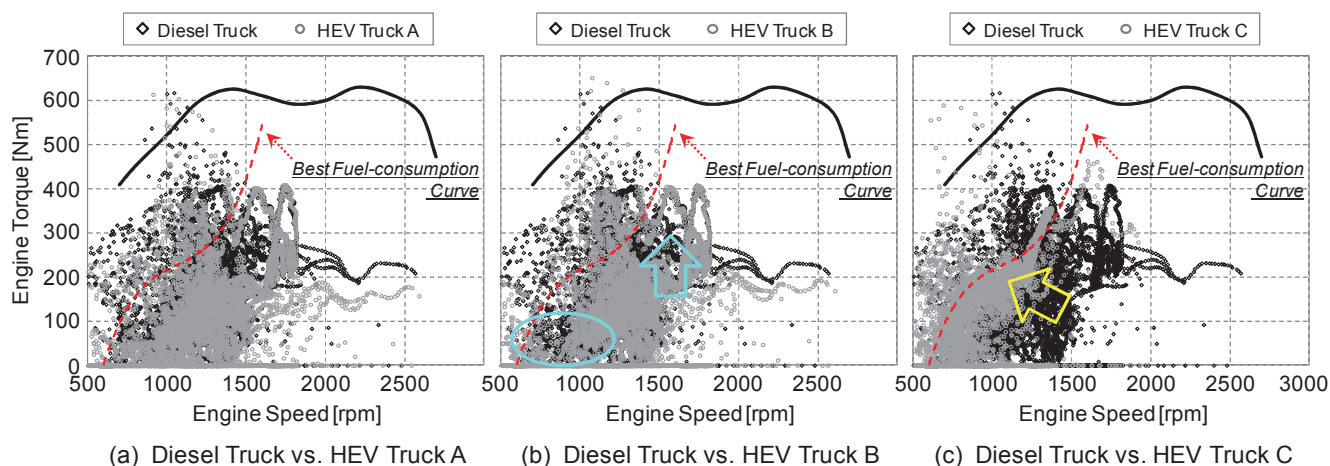


図3 各ハイブリッドトラック(モデル車)におけるエンジン回転数とトルクの比較

中一番燃費改善効果が小さいモデル車 B においては、発進時に電動モータ単独で走行することからバッテリーエネルギーを多く消費する。3 速ギア以上のハイブリッド走行時には、モード走行開始と終了時のバッテリーエネルギー差をゼロとしたため、電動モータによるアシスト量を減少させる必要があった。つまり、3 速ギア以上でモデル車 A と同様のハイブリッド制御ロジックを有するモデル車 B は、より多くのエンジン仕事量を必要とすることから、燃費改善率がモデル車 A より低下したと考えられる。一方、燃費改善効果が一番大きいモデル車 C については、図 3 の分布図から分かるように、他の車両とエンジン回転数-トルクの分布傾向が異なり、エンジン高熱効率曲線付近にて運転する。このように、エンジンの最適効率曲線上にてエンジンが駆動するよう電動モータにて制御することで、燃費が大幅に改善することが分かった。

3.2 排出ガス温度

モデル化を行ったディーゼルトラックとハイブリッドトラック（モデル車 A～C）のモード走行時の排出ガス温度を調査した。排出ガス温度の計測箇所は、図 4 に示す通りエンジン出口直下とした。

図 5 に JE05 モード走行時の排出ガス温度履歴を、表 3 に JE05 モード全体の排出ガス温度の平均値、排出ガス温度 150℃以下または 200℃以下が占める時間をモード全

時間に対する割合で算出した値を示す。平均排出ガス温度は、ディーゼルトラック>モデル車 C>A>B の順に小さくなった。ディーゼルトラックに比べ、モデル車 A、B の排出ガス温度履歴はモード全域で低くなり、平均排出ガス温度は約 10℃低下することを確認した。また、モデル車 A、B の各温度時間割合についても悪化傾向を示した。これは、モデル車 A、B が車両の駆動仕事量を単純にエンジンと電気モータとで分け合ったため、エンジンの仕事量が減少したからである。モデル車 A、B の各温度時間割合に着目すると、150℃ではモデル車 B の割合が多く、200℃においてはモデル車 A が多くなる関係であった。これは以下の理由によるものと考えられる。発進時に電動モータ単独で走行するモデル車 B においては、発進時にはエンジンがアイドル状態を保つため、排出ガス温度は発進毎に他の条件に比べ低くなる。発進後の走行においては、3.1 で述べた通り、モデル車 A に比べより多くのエンジン仕事量を必要としたからである。次に、モデル車 C に着目すると、図 3 に示した通りエンジンを低回転・高負荷領域にて使用したため、モデル車 A、B よりも排出ガス温度が常に増加した。表 3 の 200℃以下に占める温度割合に着目すると、全車両中一番小さかった。特徴的な個所として、高速走行時の排出ガス温度履歴が挙げられる。そこで JE05 モードの高速路に着目し、ディーゼルトラックとハイブリッドトラック（モデル車 A、C）のエンジン回転数、エンジントルク、電動モータトルクを時系列で図 6 に示す。モデル車 A は、時

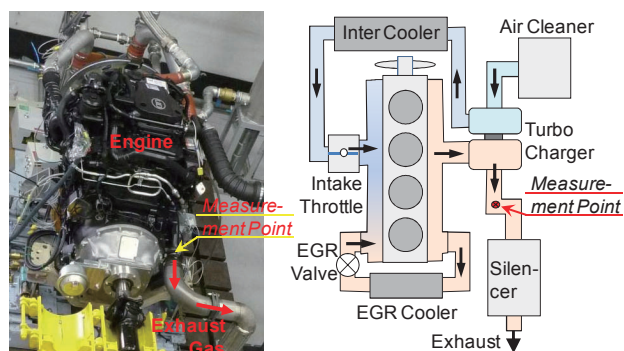


図 4 排出ガス温度計測箇所

表 3 平均排出ガス温度と JE05 モード全時間に対し 150, 200℃以下の排出ガス温度が占める時間割合

	Ex.-gas Temp. (average) [°C]	Time Rate of Ex.-gas Temp.	
		under 150°C [%]	under 200°C [%]
Diesel Truck	187.4	10.4	68.1
HEV Truck A	178.9	20.0	81.0
HEV Truck B	177.7	22.2	78.4
HEV Truck C	187.1	12.3	66.6

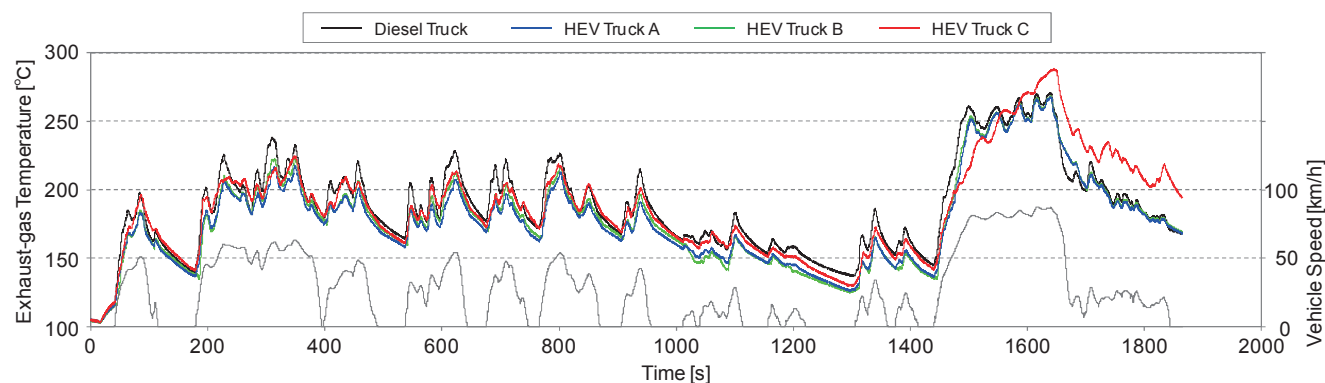


図 5 JE05 モード走行時の各モデル車における排出ガス温度の時間履歴

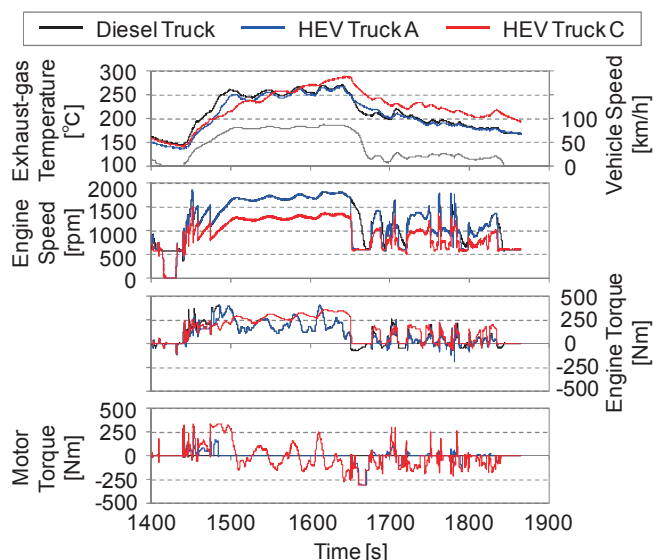


図6 各モデル車におけるエンジン、モータ、排出ガス温度の特性（JE05モード高速走行区間）

速 65km/h 以上の加速時には電動モータによるアシストを停止し、エンジン単独にて駆動した。一方、モデル車 C は、エンジン最適効率曲線上にてエンジンを運転するように電動モータによる力行/回生制御を行った。これに伴い、エンジン低回転・高トルク領域にてエンジンのトルク変動が抑えられた運転ができ、排出ガス温度が増加したと考えられる。

ここで、現状市販されているポスト新長期排出ガス規制適合車両の多くに SCR 触媒が搭載され、NO_x（窒素酸化物）の浄化を行っている。この SCR 触媒の活性化温度は約 200℃とされ、この温度域を下回ると SCR 触媒による NO_x 還元反応が十分に行われず NO_x を低減することが困難となる⁽⁵⁾。本排出ガス温度結果はエンジン出口直下のため純粋に触媒温度を示すものではないが、再度図 5 に注目すると、市販ハイブリッドトラックの制御を再現させたモデル車 A、B の排出ガス温度は、郊外路の一部や高速路を除き、多くが 200℃を下回っている。特に、発進時に電気モータ単独走行を行うモデル車 B の市街地走行では、モデル車 A の排出ガス温度よりもさらに低下している。このことから、モデル車 A と B はディーゼルトラックよりも燃費は改善するが、排出ガス特性は悪化することが懸念される。

参考として、2 章にてハイブリッド制御ロジックの調査に用いた市販ハイブリッドトラックと市販ディーゼルトラック（新長期排出ガス規制適合車両：EGR 機能付、SCR 触媒なし）で、シャシダイナモ試験装置による排出ガス試験を行った。ハイブリッドトラックの NO_x 排出量は、表 4 に示すようにコールド、ホットスタート条件と

表 4 実ハイブリッドトラックの NO_x 排出量 (JE05)

NO _x [g/kWh]	JE05 (Hot)	JE05 (Cold)
Diesel Truck	3.00	5.01
HEV Truck	3.70	5.63

もディーゼルトラックよりも悪化する傾向を確認している。更なる NO_x 低減には当該ハイブリッドトラックに SCR 触媒を搭載する方法も考えられるが、排出ガス温度低下の影響により十分に触媒が機能せず、NO_x が低減できないことが懸念される。

4. まとめ

ハイブリッド・パワートレイン台上試験システムにて、ハイブリッドトラックを仮想的に再現し、JE05 モードを走行した場合に排出ガス温度の低下を防ぎつつ燃費向上を図るハイブリッドアシスト制御について考察した。

(1) エンジン最適効率曲線上にてエンジンを運転させるハイブリッドトラックでは、ディーゼルトラックと同等の排出ガス温度で、約 22%の燃費改善効果を得た。

(2) 市販ハイブリッドトラック相当の制御を行うと、ディーゼルトラックに比べ燃費が約 12%改善した。一方、平均排出ガス温度は約 10℃低下し、排出ガス後処理装置の触媒活性化温度域への到達頻度が減少し、排出ガス後処理装置による NO_x 浄化性能が悪化すると考えられる。

今後、ハイブリッド・パワートレイン台上試験システムに排出ガス計測装置の整備を進め、各種制御を有するハイブリッドトラックの排出ガス特性を調査する。

参考文献

- (1) 鈴木孝幸：ディーゼルエンジンの徹底研究，東京，グランプリ出版，2012，p.258
- (2) 奥井伸宜，新国哲也：小型配送用ハイブリッドトラックの燃費調査および燃費改善の検討，自動車技術会 2013 秋季学術講演会 前刷集，20135787 (2013)
- (3) N.Okui, T.Niikuni, T.Kawai, M.Suzuki, H.Hiroshi, K.Maesoma: Development of Evaluation System for Exhaust Gas and Fuel Economy of Next-generation Hybrid Electric Vehicle, SAE International, 2013-01-2602 (2013)
- (4) O.Dingle, J.Ross, I.Trivic, N.Cavina, M.Rioli: Model-Based Assessment of Hybrid Powertrain Solutions, SAE International, 2011-24-0070 (2011)
- (5) S.Saito, R.Shinozaki, A.Suzuki, H.Jyoutaki, Y.Takeda: Development of Urea-SCR System for Commercial Vehicle, SAE International, 2003-01-3248 (2003)

⑬ 重量車における環境性能の今後の方向性に関する調査

環境研究領域

※小林 雅行

新国 哲也

奥井 伸宜

小鹿 健一郎

1. はじめに

トラックやバスなどこれら重量車に関して、排出ガスの低減やCO₂低減など環境性能を向上させるための研究開発が1990年頃から2010年頃の間盛んに行われ、この結果ディーゼルエンジンを用いた重量車は排出ガスのクリーン化が一層促進された。

一方、天然ガスやバイオ燃料などを利用して石油燃料の依存度低減によるエネルギーセキュリティ（以下：セキュリティ）の向上を目的とした研究や、さらなる低エミッションと低燃費を目的として進められたこれら代替燃料を用いた次世代大型車両は、国主導のプロジェクトなどにより技術開発支援が行われてきたが市場での普及は低迷している。

本研究では、代替燃料を用いた次世代大型車両の普及が低迷している要因とこれを踏まえた大型車両に関する技術研究の方向性について検討した結果を報告する。

2. 代替燃料を用いた次世代大型車の開発と見通し

2.1. 次世代大型車の開発

国土交通省、経済産業省などが行ったプロジェクトにより推進された代替燃料を用いた次世代大型車の開発について表1に示す。これまでに多種多様な燃料を用いてポスト新長期排出ガス規制を達成させるエンジン技術の開発が行われた。また、代替燃料以外の技術開発も行われ、中型車両やバスを対象としたハイブリッド車両の開

Table.1 各種技術開発とその特徴

技術開発	目的	技術や特徴
DMEトラック	低排出ガス	DME用燃料噴射システム
GTLトラック	低排出ガス	GTL対応エンジンシステム
FTDトラック(BDF)	低排出ガス	FTDニート(100%)対応エンジンシステム
CNGトラック	低排出ガス 低CO ₂ 排出 燃費向上	CNG用燃料噴射システム (ポート噴射, 筒内直接噴射)
LNGトラック	低排出ガス 低CO ₂ 排出 長距離走行	LNG用燃料供給システム
LPGトラック	低排出ガス	LPG用燃料噴射システム
水素エンジン スーパーグリーン ディーゼルエンジン (軽油エンジン)	超低排出ガス	水素用燃料噴射システム 従来軽油エンジンに各種新技術 (高圧噴射, 高圧低圧EGRなど)
ハイブリッドトラック・バス	低排出ガス 燃費向上	CNG, DME, LNG+モータシステム キャパシタ, ハイブリッド制御

発や従来ディーゼルエンジンの技術開発も行われた。

こうした代替燃料の導入や先進的なエンジン技術の開発により、これまでに排出ガスやCO₂の低減など環境性能の向上、燃料の多様化によるセキュリティの向上とこれら技術の蓄積が進んだ。当研究所ではこうした技術開発の支援業務および技術評価と並行し、次世代車両に関する技術基準策定などの業務を進めてきた。

2.2. これまでの動向と将来の見通し

前項に記したように、これまでに排出ガス低減やCO₂低減など環境性能向上技術の開発やセキュリティ向上方策について、多種多様な方法により行うことが可能であることが、エンジンや車両を製作しベンチ評価や実車走行評価により実証されてきた。こうした結果については管轄した各省庁や当研究所において報告されている。

当研究所フォーラムでの報告では、こうして開発された技術や代替燃料がどのように導入され普及していくかの見通しについても記している。2005年の報告では、CO₂排出量の削減とPM、NO_xの抜本的解決に対する代替燃料の使用方法について研究開発を進めてきたことを記し、各種燃料に対するエンジン性能や耐久性と排出ガス性能の評価考察および課題出し、燃料の規格化やインフラ整備に関する課題出しが行われ、基本技術の開発が完了したことを報告した。将来の見通しとしては大枠として世界の一次エネルギーについてバイオマスと天然ガス由来の燃料割合が増加する(図1)という予測を横目にその他の燃料種も含め広い範囲でこういったことが可能かを記した。

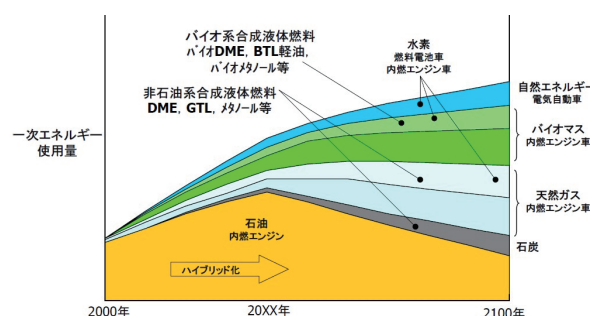


Figure.1 自動車燃料とエンジンの現状と将来
(2005年報告資料より：当研究所員が独自に作成)

2007 年の報告では、これまでの技術の実用化と普及促進を主とした新プロジェクトの中間報告と共に、代替燃料について導入分野やどういった使われ方となるかを記している。普及に関する記述では、CO₂ 低減を課題としたときに、「短中期的に石油系燃料の一部を CO₂ 排出量のより少ない特性を有する非石油系燃料により代替しつつ、長期的には「再生可能エネルギー」への転換を進め、「自然と調和した持続可能な社会」を形成していく必要がある」とした概念を説明したうえで、各種燃料の特徴と技術的課題および研究の方向性と今後の展開について記し、いずれの燃料種についても引き続き発展していくための方法を示した。

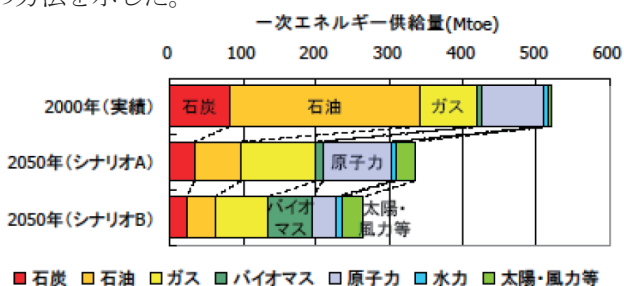


Figure.2 日本における CO₂ 排出 70%削減を可能とするエネルギー構成例¹⁾ (2007 年報告資料より)

また、この年は CO₂ 排出削減を主体に記述が進められており、日本における一次エネルギー消費量シナリオ(図 2) について紹介している。CO₂ 排出を 70%削減するためのシナリオを例として各種燃料の割合が示されている。ここでは原子力の構成比率が高めであるのが特徴的に見える。さらに、プロジェクト報告まとめにおいて、地球温暖化対策に関して気候変動に関する政府間パネル(IPCC) の最新報告があったことを記し、これまでに主として進めてきた低排出ガス技術の進展と共に燃費改善(CO₂ 低減) が重要課題であると記した。

2009 年の報告では、技術的な報告はなく図 3 に示すようなエネルギー源と燃料および動力システムの関係を示

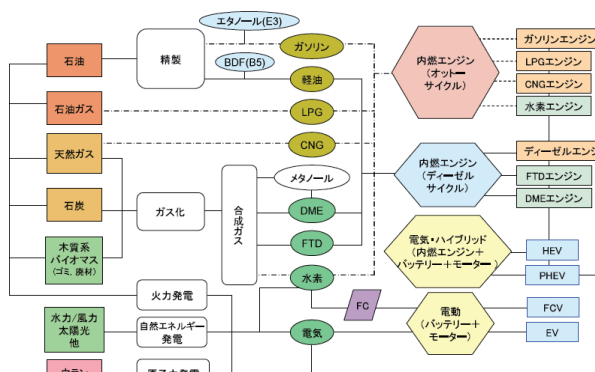


Figure.3 エネルギー資源と自動車用燃料および動力システム (2009 年報告資料より：当研究所員が独自に作成)

し、CO₂ 排出をほぼゼロとするための代替燃料の導入分野について、大型車両に限らず走行距離などの車両の特徴、排出ガスなどのエンジンの特徴を踏まえ具体的に記している。また、代替エネルギーとしては天然ガスやバイオマスからの改質で得られる燃料種が多種ありこれらを利用するときに排出される CO₂ および消費エネルギーを比較して低炭素化に対する有効性を記した (図 4)。

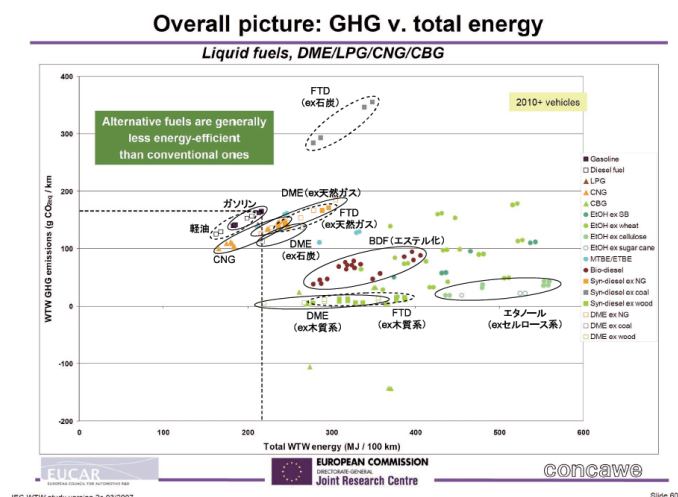


Figure.4 GHG 排出量と全エネルギー消費効率²⁾ (2009 年報告資料より)

2010 年の報告では、2009 年の報告内容にプラスして代替燃料の環境性能の実験データを用いて熱効率、PM 排出、CO₂ 排出の相対的な関係を示し (図 5)、代替燃料自動車をどういった用途で使用するべきか将来に向けた提案を行っている。

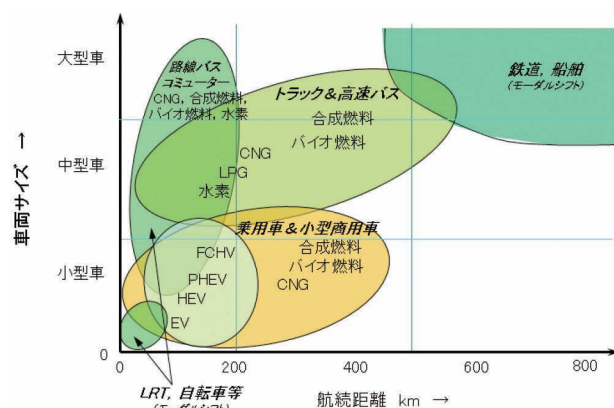


Figure.5 新燃料自動車の適用範囲 (2010 年報告資料より：当研究所員が独自に作成)

本研究所でのこれまでの報告では排出ガスや CO₂ に関する課題の提起に始まり、その対策技術の開発状況や評価の報告、さらに車両特性から実際にどういった分野(用途)で使用するべきかの考察、製造から使用までの効率の比較検討など、低炭素社会へ向けた方向性の提案を行ってきた。こうした技術動向の見通しは記述してきたが、実際の普及見通しの予測は難しい。

3. エネルギーセキュリティと総合効率

第2章では、これまでに行ってきた報告内容を参照し、次世代車両の技術開発動向や代替燃料について排出ガスやCO₂排出特性ならびに車両の適用範囲の考察や提案を述べてきた。本章ではこれまでに述べきれていないセキュリティや車両の総合効率から見える次世代車両の方向性について述べる。本調査で用いる総合効率は、Well-to-Wheel (WtW) におけるエネルギー消費率を示す。

3.1. エネルギーセキュリティ

代替燃料のこれまでの報告では、代替としての技術的方法の意味合いが強く、将来的な原油枯渇問題やオイルショックまたは震災などの非常時に対するセキュリティの意味合いは少ない。現在、自動車用燃料のほぼすべてが石油由来のガソリンと軽油であるため、石油依存度の低減はセキュリティ向上の上で喫緊の課題である。

重量車に対応する代表的な代替燃料の燃料インフラ、燃料量、車両の生産数、燃料単体および WtT の CO₂ 排出率について表 2(左)に示す。なお、各項目について記号を用いて軽油との相対関係を記した。「燃料量」については天然ガスと LPG の生産量が多い。その他の燃料の生産量はごく僅かであるが、DME、GTL、水素などは天然ガスやその他の燃料源から製造が可能であるため、燃料の多様化としては有効である。「インフラ」についてはタクシーでの利用が多い LPG が比較的多い（約 1900 箇所³⁾）。続いて天然ガスが多く（314 箇所⁴⁾）これらの利用がセキュリティに有効であるが絶対数は少ない。LPG インフラは大型車乗り入れ対応の必要箇所が多い。DME は LPG と特性が似ているとされるが、実際は LPG インフラをそのまま使用できない。GTL や BDF は軽油との混合を前提とすれば現状の軽油インフラが利用できる。

このように代替燃料に関して、多様化はこれまでも報告があったように技術的問題はおおむねクリアされてきている。一方で、生産量と供給設備数としてのセキュリティ向上の取り組みが引き続き必要である。近々の情勢としてはシェールガス革命の動向を鑑みると天然ガスの利用がセキュリティとして効果的であると考えられる。

3.2. 総合効率

代替燃料車の導入により排出ガスやセキュリティの向上が技術的に行えることは記したとおりである。しかしながら、図 4 で示したように WtW で CO₂ 排出量が軽油に対して増加する燃料を使用すると、セキュリティは向上できても低 CO₂ 化にはならない。この値は 2007 年作成であるため、最新の技術動向を踏まえて算出された 2011 年の WtW 値⁵⁾を表 2(右)に示す。バイオマス由来の BDF は WtW で CO₂ 排出を大幅に減らすことが可能である。水素も CO₂ 排出を大幅に低減可能であるが、WtT で示されるように燃料製造過程を上手に選択する必要がある。これら BDF と水素は生産量やインフラの改善によりセキュリティ向上と低 CO₂ 化の両立が可能である。天然ガスもバイオマスや水素に次いで CO₂ 排出低減に有効であり、供給量としてはセキュリティへの有効性が高く前項で記したようにインフラの改善によって低 CO₂ 化との両立が可能である。DME や GTL は製造過程においてエネルギーを多く消費し CO₂ 排出が軽油よりも増加する結果となることから、製造技術の改善またはバイオマスからの生成によりセキュリティの向上と低 CO₂ 化の両立が可能である。また、エネルギー消費が多いことからコスト高になるためコスト低減に向けた取り組みが必要である。なお、水素はエネルギー密度を考えると燃料電池の利用が想定されるがトラックでの実用化はまだ遠いとされる。

Table.2 各種代替燃料の特性比較

パ：パーム油，廃食：廃食油，天：天然ガス改質，太：太陽光水電解，相対比較：▲→△→●→○→◎ 良

燃料	燃料		生産 台数	燃料単体CO ₂ 排出率 と軽油との比			Well-To-Tankと 軽油との比			Well-To-Wheelと軽油との比 (1500cc乗用車JC08モード)					燃料	
	インフラ	量			g-CO ₂ /MJ-fuel			g-CO ₂ /MJ		g-CO ₂ /km		MJ/MJ-fuel				
軽油	◎	◎	◎	●	72.3	1.00	○	8.7	1.00	●	132.0	1.00	●	1.84	1.00	軽油
DME	▲	△	▲	△	66.3	0.92	△	17.4	2.00	△	136.4	1.03	▲	2.46	1.34	DME
GTL	▲	▲	(軽油車)	●	70.7	0.98	△	20.8	2.39	▲	149.1	1.13	▲	2.71	1.47	GTL
BDF	パ	▲	▲	▲	76.2	1.05	◎	-66.8	-7.68	◎	15.4	0.12	○	1.80	0.98	パ
	廃食	△	△	(軽油車)			◎	-74.3	-8.54	◎	3.1	0.02	○	1.68	0.91	廃食
天然ガス	CNG	●	○	○	56.4	0.78	●	11.3	1.30	○	114.4	0.87	△	2.03	1.10	CNG
	LNG	▲	○	▲			●	11.3	1.30	○	114.4	0.87	△	2.03	1.10	LNG
LPG	○	●	●	△	66.1	0.91	●	11.2	1.29	●	130.6	0.99	△	1.93	1.05	LPG
水素	天	▲	▲	▲	0	0.00	▲	108.4	12.46	○	79.1	0.60	◎	1.38	0.75	天
	太	▲	▲	▲			△	19.3	2.22	◎	14.0	0.11	◎	1.15	0.62	太

4. 普及の現状と課題

代替燃料を用いた次世代大型車の技術開発と実証評価が2010年頃までに一段落し、これまで完了している車種も含め現在これら次世代車両は普及段階にあると考えられる。2009年時点における次世代トラックの保有台数⁴⁾⁶⁾を図6に示す。なお、京都市などでBDFを用いた実証試験が実施されているトラックやバスが229台ある⁸⁾、このほかDME車など実証評価段階の車両もあるが含めていない。EV車、ハイブリッド車を除く代替燃料車はおよそ5万台ある。2009年時の全国の自家用及び営業用貨物自動車の保有台数が約236万台⁷⁾であることから2009年の普及率は約2%であり、4年後の2013年時点においても大幅に増加しているようには感じない。

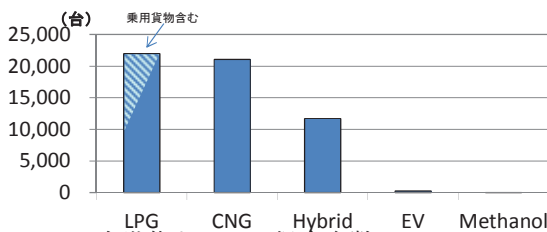


Figure.6 次世代トラック保有台数(資料4) 6)を元に作成)

代替燃料次世代トラックの普及が低迷している理由として、既述内容を含め以下の要因が考えられる。

燃料供給量が少ない、燃料が高い、インフラが少ない、航続距離が短い、燃費が悪い、車両価格が高い、である。

これらの要因により製造者、購入者が普及に対して消極的になっているものと思われる。「燃料供給量」や「燃料価格」については天然ガスやLPGは比較的安価であるがBDFは技術進歩や輸入量増加などにより生産コストの低減が課題である。このうち天然ガスは非在来型とされていたシェールガスが増産されることからその影響が期待される。「インフラ」については、天然ガスや水素スタンドを既存ガソリンスタンドとの併設が行いやすくなるなど規制緩和による建設コスト低減が課題である。「航続距離」については都市間輸送の車種で燃料タンクの増設で対応しているがコスト増加が課題である。ただし、CNGは技術的改良を含めLNG化すると同一容積で長距離化が可能である。「燃費」については、天然ガスエンジンの熱効率改善技術が向上していることからそうした技術への移行が課題である。「車両価格」については、乗用車ほどに生産台数が多くないためコスト削減が難しいという問題や、CNGタンクは海外の基準を用いると価格を抑制できるなどインフラ同様に技術基準の規制緩和が課題である。一方、規制緩和とは逆に排出ガス規制のように代替燃料の部分的導入を定めるなどセキュリティ向上

に向けた量的規定も必要である。規制緩和についてはいくつかの機関で検討を始めており、安全を維持しながらの普及促進が期待される。このほか国や各協会などでは補助金の助成により普及を促しており、既述した規制緩和と並んで普及促進が期待される。

5. まとめ

代替燃料を用いた次世代大型車両の普及低迷の要因とこれを踏まえた大型車両に関する技術研究の方向性について調査を行ない普及に対する課題をまとめ今後の方向性について検討した。

- (1) 国主導のプロジェクト等により代替燃料を用いたエンジン技術は概ね完成している。今後はさらなる熱効率向上技術の開発やコスト削減の取り組みと助成により、導入者に対して購入意欲が湧く提案が必要である。
- (2) 規制緩和や助成などにより、製造者に対して製造意欲が湧く提案が必要である。
- (3) 代替燃料増加のため、量的規定の検討が必要である。
- (4) 現状の技術レベルとセキュリティ向上および大幅なCO₂抑制のバランスを考え、短期的・中長期的に多様な代替燃料および代替燃料車両の導入促進計画が必要である。現在の技術レベルとして、短期的には天然ガスが効果的と考え、数十年先の中長期では技術向上によりバイオマス(BDF、GTL、DMEなど)や水素(EV、燃料電池)による燃料の多様化が有効であると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 2050日本低炭素社会シナリオ-温室効果ガス70%削減可能性検討-, P.6, 2007年2月, 環境省
- (2) Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, JEC WTW study version 2c 03/2007, EUCAR/JRC/CONCAWE
- (3) 日本LPガス協会ホームページ, <http://www.j-lpgas.gr.jp/kiki/unyu.html>
- (4) 日本ガス協会ホームページ, http://www.gas.or.jp/ngvj/spread/jpn_spread.html
- (5) 総合効率とGHG排出の分析報告書, 2011, 日本自動車研究所
- (6) LPガス自動車普及促進協議会ホームページ, <http://www.lpgcar.jp/guide/mumber.html>
- (7) 自動車保有台数, 2009, 自動車検査登録情報協会
- (8) 京都市ホームページ, <http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/00000000008.html>

⑭ 走行状況を考慮した電動車のCO₂排出量の評価法に関する検討

環境研究領域

※新国 哲也、奥井 伸宜、小林 雅行、小鹿 健一郎

1. はじめに

電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)は、従来の内燃機関自動車に対して高い環境性能(例えば低排出ガスや省エネルギーなど)を有する自動車として注目されてきた。これらの自動車には制動時に走行エネルギーを電力として回生し、次の走行に利用することで燃料や電力の消費を抑える技術が用いられている。燃料や電力の使用量が減ればCO₂排出量の削減につながる。

適度な加減速の頻度がある市街地走行では回生による省エネルギーの効果が高まるが、速度の変化が少ない高速道路などでは回生の頻度が低下し十分な効果が得られなくなる可能性がある。結果としてCO₂排出量は交通状況に強く影響を受けると考えられる。そこでEVとHEVを、都市内と郊外を模擬した2つの車速パターンで走行させ、車速パターンがCO₂排出量に与える影響を実験的に調査するとともに、走行状態を反映したCO₂排出量評価の方法について検討する。

2. CO₂排出量への走行状況の反映方法

都市内の走行を想定した車速のパターンと郊外の走行を想定した車速のパターンの2条件で、CO₂排出量にどの程度の差が生じるかを調査した。具体的な方法として、JC08⁽¹⁾の低速部分と高速部分を切り出して作成した2つのパターン(都市内走行模擬:図1、郊外走行模擬:図2)で実車を走行させて、CO₂排出量を比較した。

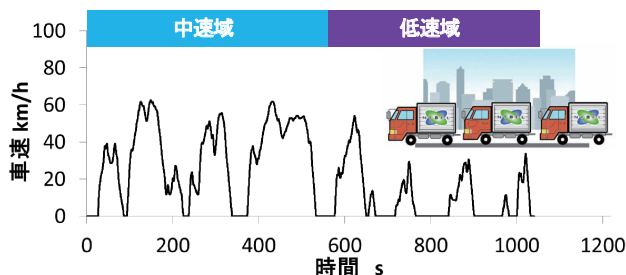


図1 都市内走行模擬パターン

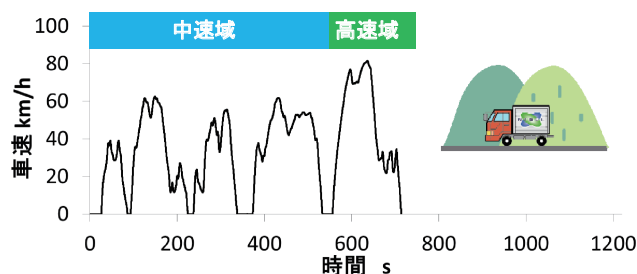


図2 郊外走行模擬パターン

3. 実験方法

実験には市販のHEVとEVを用いた(図3)。実験車はシャシーダイナモメータに設置され、HEVについては一定速走行で暖機を行った後、図1及び図2の走行模擬パターンで車両を駆動し、テールパイプからの排出ガスを計測した。EVでも条件を揃えるため一定速走行した後、同じ走行模擬パターンで車両を駆動し、駆動用バッテリー電力を計測した。EVでは駆動用バッテリーが出力した電力量と発電に関するCO₂排出係数0.55kg/kWh⁽²⁾によりCO₂排出量を算出した。(なお、この調査では充電時の電力損失等は考慮されない)

実験車(HEV)仕様

車両重量	1410kg
総排気量又は定格出力	1.79L
定員	5名



実験車(EV)仕様

車両重量	1520kg
総排気量又は定格出力	80kW
定員	5名



図3 実験車両の仕様

4. 結果

図1及び図2に示したそれぞれの走行模擬パターンでHEVおよびEV実験車を試験した結果、1kmあたりのCO₂排出量は表1に示す通りとなった。EVと比較してHEVでは、走行模擬パターンに対するCO₂排出量の変化が顕著となった。このような違いについて検討するため、走行模擬パターン別に両車両での車速とCO₂排出量の変化を比較した(図4、図5)。なおEVでは駆動用バッテリー電力を基に算出したため、電力回生が

生じる箇所で、見かけ上 CO₂ 排出量が減っている。

表 1 各走行模擬パターンでの CO₂ 排出量

	都市内走行 模擬パターン	郊外走行 模擬パターン
HEV	60.5 g/km	74.1 g/km
EV	55.8 g/km	56.6 g/km

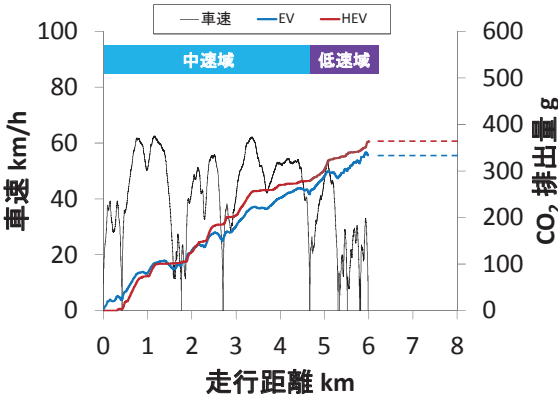


図 4 都市内走行模擬パターンでの CO₂ 排出量変化

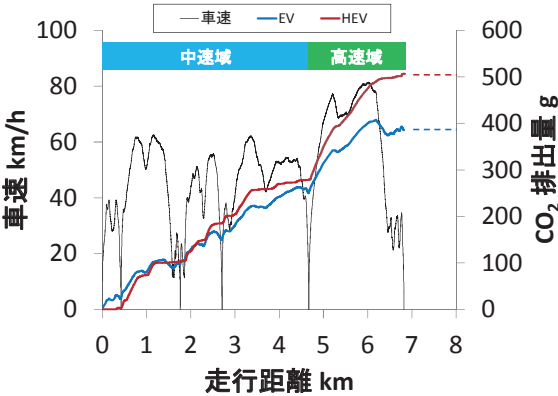


図 5 郊外走行模擬パターンでの CO₂ 排出量変化

今回の調査では EV の充電による損失は考慮されていないため、両車両での絶対値は議論せず CO₂ 排出量変化の傾向を比較する。図 4 の都市内走行模擬パターンでは両車両で大差が見られないが、図 5 の高速域で比較すると、HEV における CO₂ 排出量の増加度合いが EV に対して大きくなることが分かった。今回の HEV 実験車の駆動方式ではエンジンの動力が車軸に出力されており、高速域の加速でエンジンが作動していたため CO₂ 排出量の増加につながったと考えられる。

5. 考察

ここでは CO₂ 排出量が走行パターンにより強く影響を受けた HEV について、地域的な台数分布を考慮して CO₂ 排出量を求めるケーススタディを行った。このケーススタディでは HEV の台数分布として都道府県別 HEV の補助金申請件数⁽³⁾ (図 6) を参考にして、都市内と郊外の台数比を求めた。福岡県及びそれより人口密度の高い都府県を都市内とし、その他を郊外として

都市内と郊外の台数比を求め、表 1 の結果に対し重み付けをして CO₂ 排出量を計算した (表 2)。参考として今回の HEV 実験車で実測した JC08 の走行パターンでの CO₂ 排出量は 73.7 g/km であり、この値よりも低い結果となった。これは補助金申請件数で見た都市内の比率は郊外より低いものの全体の 40% を占めており、CO₂ 排出量が 60.5 g/km と低かった都市内走行の状況が反映されたためである。

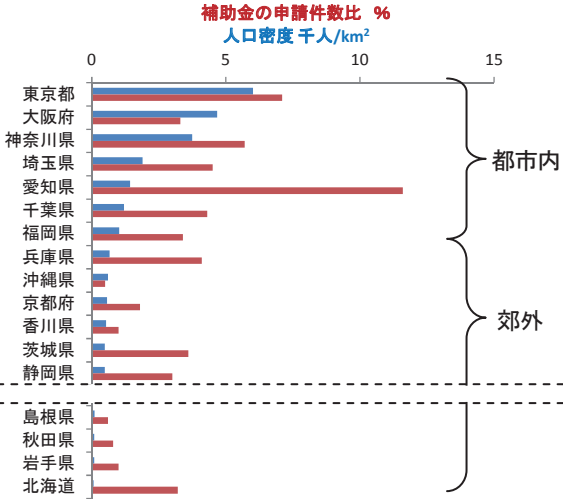


図 6 都道府県別の人口密度と HEV 補助金申請件数比の関係

表 2 台数分布を考慮した HEV の CO₂ 排出量

	図 6 による都市内 台数比	図 6 による郊外 台数比	CO ₂ g/km
HEV	40%	60%	68.7

6. まとめ

都市内と郊外を想定した 2 つの车速パターンで HEV および EV の CO₂ 排出量を実験的に比較した。今回のケースでは HEV の CO₂ 排出量は EV と比較して走行パターンに対する感度が大きいことが示され、HEV では交通状況に影響を受けやすいことが予想された。HEV には他にシリーズハイブリッドなど異なる方式があり、走行状況に対する CO₂ 排出量の感度は方式によっても変化すると考えられる。CO₂ 排出量に関しては、車両の特性と、今回のような交通特性を考慮した評価手法が議論されるべきであると考えられる。

参考文献

- (1) TRIAS 5-9-2009 軽・中量車燃料消費率試験方法 (JC08 モード燃料消費率等試験方法)
- (2) 環境省：電気事業者別の CO₂ 排出係数 (2011 年度)
- (3) 次世代自動車振興センター：都道府県別補助金交付状況 (ハイブリッド自動車)
- (4) 総務省：平成 22 年国勢調査人口等基本集計結果

⑮ 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

環境研究領域
東京理科大学
東京都市大学

※山本 敏朗
堂脇 清志
伊東 明美

佐藤 由雄 石井 素

1. まえがき

現在、燃料電池自動車（FCV）は、2015 年の実車販売を目指して車両開発、水素スタンドの整備等が進められている。FCV 用燃料の課題としては、燃料電池が水素燃料中の微量の CO、H₂S、NH₃ 等の不純物により劣化するため不純物除去が必要であること、この水素高純度化工程で使用されるエネルギーにより CO₂ 排出量が増加して使用過程での CO₂ 排出量の削減効果が低下することが挙げられる。また、バイオ水素燃料はカーボンニュートラルの特性により、CO₂ 排出抑止効果を有するが、製造時のガス中に多くの不純物が含まれるため、水素高純度化工程で使用されるエネルギー量が増加して、CO₂ 排出抑止効果を減じる可能性がある。本研究では、水素を燃料とする内燃エンジンが燃料電池とは異なり高純度の水素を必要としないことに着目し、CO、CH₄ 等を含むバイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする内燃エンジンを搭載したハイブリッドトラックを対象に、机上検討およびエンジンベンチ試験を行った。燃料製造過程から車両走行過程（Well to Wheel）までの CO₂ 削減効果、排出ガス性能、エンジン出力性能について調査および分析を行い、水素燃料車としてのポテンシャルを探った。

2. 研究方法

本研究は、以下に示す共同研究および共同試験の成果をまとめたものである。まず、東京理科大学と

表 1. 燃料電池用水素燃料規格（ISO14687-2）の抜粋

仕様	ISO-14687-2 2012年 Grade D
純度 (%)	99.97
全炭化水素 (ppm)	2
H ₂ O (ppm)	5
O ₂ (ppm)	5
He (ppm)	300
Ar, N ₂ (ppm)	100
CO ₂ (ppm)	2
CO (ppm)	0.2
S (ppm)	0.004
NH ₃ (ppm)	0.1

の共同研究により、木質バイオマスのガス化プロセスによる水素製造に関して、実証プラント（ブルーターワーガス化プラント）による運転データ⁽¹⁾を基に、Well to Tank での CO₂ 削減量等を検討した。次に、東京都市大学と共同で行った水素内燃エンジンベンチ試験によって、バイオ水素を内燃自動車用燃料としたときに、燃料組成がエンジン出力や排出ガス性能に及ぼす影響を調査した。Well to Wheel での CO₂ 削減効果の推計には、東京都市大学が開発した水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラックによる横浜市内走行試験データから算出された実用走行燃費値を用いた。

3. 考察

3. 1. FCV 用水素燃料規格と燃料製造過程での CO₂ 排出量

FCV 用の燃料仕様は、2012 年 12 月に国際規格 ISO14687-2 の発効により、国際標準化された。表 1 に、その FCV 用水素燃料規格の抜粋を示す。同表より、要求される水素の純度は 99.97%と極めて高く、不純物の CO と S については、それぞれ 0.2ppm、0.004ppm が要求され、高純度の水素精製においては、不純物除去触媒の交換頻度の増加や運用エネルギーの増加により、間接あるいは直接的に投入エネルギーの増加が懸念される。次に、上記仕様のバイオ水素を製造するときに排出される CO₂ 量を、図 1 に示す。

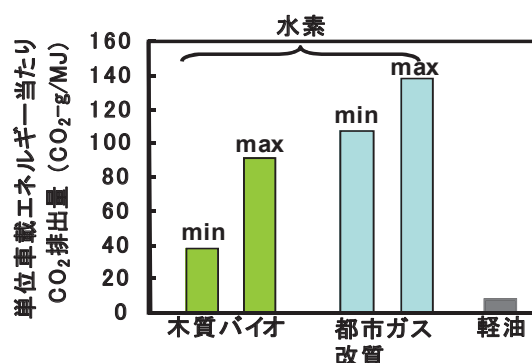


図 1. 水素製造過程での CO₂ 排出量^{(1)、(2)}

木質バイオ由来のminとmaxは、原料の輸送距離および含水率に幅を持たせて最小値と最大値を評価した結果⁽¹⁾である。現在、水素製造の主力パスである都市ガス改質も文献により値が異なるため⁽²⁾幅を持たせて示した。同図より、水素製造においては、軽油精製に比べて多くのCO₂が排出されることがわかる。

3. 2. バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする水素内燃自動車の可能性

図2に、木質バイオマス水素製造の各工程におけるCO₂排出量内訳を示す。ここでは、プラントから50km圏内で原料を確保できるとし、原料輸送距離を5kmと50kmに仮定した。同図より、原料の輸送に係るCO₂排出が製造時の排出に大きく影響することがわかる。また、プラントの運転に必要となる「所内動力」の占める割合が大きいことがわかる。この中には、生成ガス中の不純物を取り除いて水素を高純度化するPSA（圧力スイング吸着）工程が含まれ、この工程が「所内動力」でのCO₂排出の大半を占める。そこで、水素内燃エンジンがCH₄等を含むバイオ水素燃料を使用できれば、PSA工程を簡略化してCO₂排出量を抑制できる可能性がある。

図3に、バイオ水素中の主要不純物であるCH₄を10%混合調整したH₂-CH₄混合燃料を、ハイブリッドトラック用の吸気管噴射水素内燃エンジン（排気量4L、

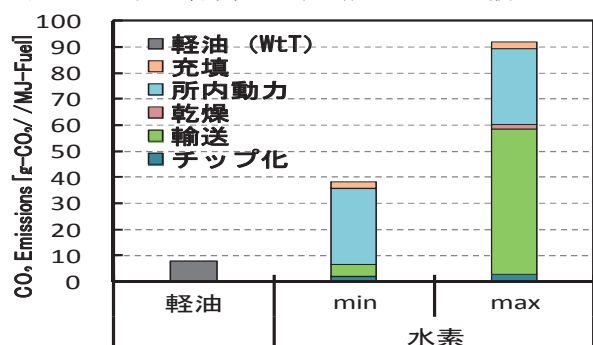


図2. 木質バイオマス水素製造の各工程におけるCO₂排出量内訳（Well to Tank ベース）

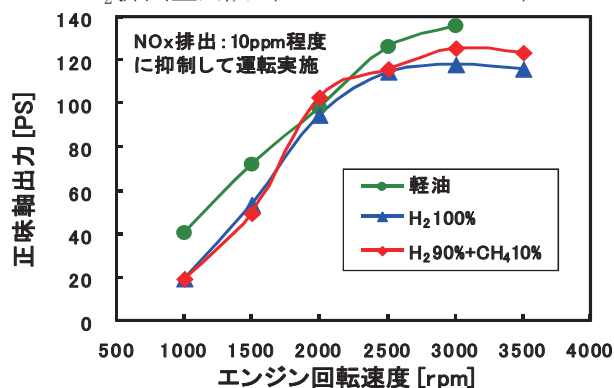


図3. H₂-CH₄混合燃料を水素内燃エンジンに用いたときのエンジン出力

4気筒過給ディーゼルエンジンを改造) に用いて、エンジン出力の変化を調べた結果を示す。同図より、CH₄10%混合燃料は、H₂100%燃料と同等の低NO_x濃度を保った上で、H₂100%燃料使用時よりも概ね高い出力が得られることがわかる。このように、バイオ水素製造過程の生成ガスが、水素内燃エンジン用の燃料として有効である可能性があることから、バイオ水素製造過程の「所内動力」を削減して製造した不純物を含む燃料を、水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック（水素内燃HV）に用いた場合の1km走行当たりのCO₂排出量を試算した。その結果を、図4に示す。「所内動力」の削減を進めることにより、CO₂排出量が低減し、特にバイオ燃料製造エネルギーが最小で「所内動力」を75%削減した場合（この条件で発電機用エンジンの作動確認済み）、軽油ディーゼルハイブリッドトラック（カタログ燃費を使用）と比べても半分以下の排出量となっていることがわかる。

4. まとめ

バイオ水素製造過程において、高純度化工程（PSA工程）でのCO₂排出量が多いことから、PSA工程を削減して製造した生成ガスを水素内燃エンジンで活用することを提案した。水素内燃エンジンベンチ試験の結果から、CH₄10%混合燃料は、H₂100%燃料と同等の低NO_x濃度を保った上で、H₂100%燃料使用時よりも概ね高い出力が得られることがわかり、燃料製造過程のCO₂削減とエンジン性能向上の可能性を示すことができた。

参考文献

- (1) 渡辺佑太郎[他]: トラックの走行時燃費を考慮したBTL燃料のLCA, 日本LCA学会論文集, Vol. 9, No. 1, pp. 20-35 (2013)
- (2) 財団法人日本自動車研究所 総合効率検討作業部会: 総合効率とGHG排出の分析 報告書, p. 60 (2011. 3)

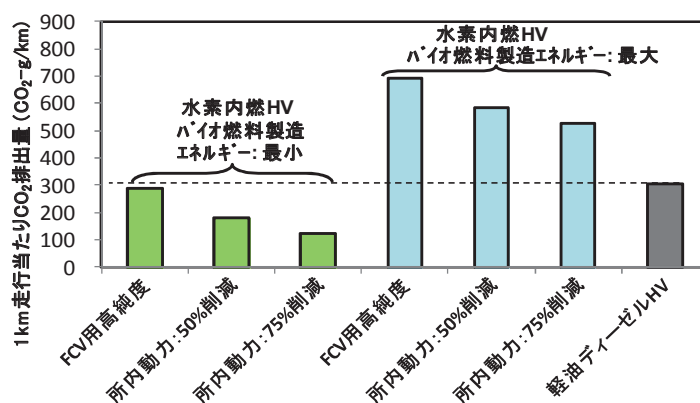


図4. 高純度化工程を削減したバイオ水素燃料を水素内燃HVに用いた場合の1km走行当たりのCO₂排出量

⑩ 木質バイオマスから製造した FT (Fischer-Tropsch) 合成油 (BTL: Biomass to Liquid) の車両適用性に関する研究

環境研究領域 ※川野 大輔 水嶋 教文 石井 素 佐藤 由雄 後藤 雄一
株式会社マイクロ・エナジー 岩渕 浩 松永 明彦 酒井 利夫

1. はじめに

再生可能エネルギーの導入量拡大は、地球温暖化対策として必須であることはいうまでもない。運輸部門において再生可能エネルギーの導入量を拡大するためには、非食用系の植物油や廃食用油を原料とした従来のバイオディーゼル燃料のみならず、木質系等のバイオマスを原料とした燃料を導入する必要がある。

このような背景から、(独)交通安全環境研究所と(株)マイクロ・エナジーは環境省が実施する地球温暖化対策技術開発・実証研究事業に採択され、平成 24 年度から 3 カ年計画で「草木質・廃棄物等系バイオマスの燃料化による汎用燃料利用技術の開発」を開始した。本プロジェクトでは、主に木質バイオマスを原料として炭化、ガス化を経て FT(Fischer-Tropsch)合成により炭化水素燃料(BTL: Biomass to Liquid)を製造する技術を開発しており、この中で当研究所は製造した燃料の車両適用性(排出ガス・燃費)の評価および原料回収および燃料製造工程を含めたライフサイクルアセスメント(LCA)を実施している。本報では、平成 24 年度に木質バイオマスを原料とする BTL の最新車両に対して国内初で実施した適用性評価を中心に、その成果を報告する。

2. BTL 製造プロセスの概要

図 1 に、本プロジェクトにおける BTL 製造プロセスの概略を示す。BTL に限らず、GTL(Gas to Liquid)および CTL(Coal to Liquid)においても式(1)に示す FT 反応により炭化水素燃料を合成している。



式(1)より、水素(H_2)と一酸化炭素(CO)を適正な比率で反応させる必要があり、バイオマスからこれらを得るためには、以下の化学反応式(2)に示すガス化反応により水素(H_2)と一酸化炭素(CO)を得なければならない。



以上がガス化および FT 合成の基本であるが、原料がバイオマスの場合には多量の水分を含んでいるため

(生木で水分率 50%以上、破碎後のチップで 30~60%程度)、原料中の水分を除去することで安定した水素(H_2)と一酸化炭素(CO)を得ることを狙いとしている。本プロジェクトにおいては、あらゆる草木質系のバイオマスを安定してガス化させるため、バイオマスの破碎、乾燥行程の後に炭化行程を導入することで、90%以上の炭素割合を有する炭化バイオマスを得ることを特徴としている。

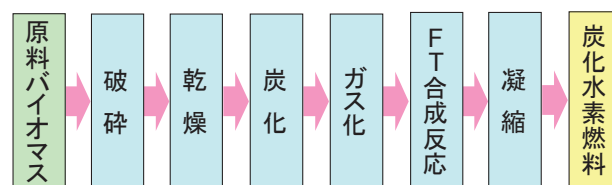


図 1 BTL 製造プロセスの概略

3. 燃料性状分析結果

燃料製造試験にて得られた 2 種のサンプル燃料について性状分析を実施した。表 1 に結果を示す。BTL_A および BTL_B の原料はそれぞれ竹および木であり、原料のみならず製造条件も変えている。両燃料とも密度、硫黄分、セタン指数、流動点、目詰まり点、10%

表 1 BTL の燃料性状分析結果

試験項目	BTL_A	BTL_B	2 号軽油 JIS 規格
密度@15℃ [g/cm ³]	0.7785	0.7973	0.86 以下
動粘度@30℃ [mm ² /S]	2.281	3.180	2.5 以上
引火点 [℃]	<2.0	<2.0	50 以上
硫黄分 [massppm]	<1	<1	10 以下
セタン価	69.5	65.7	—
セタン指数	77.0	77.0	45 以上
流動点 [℃]	-12.5	-10.0	-7.5 以下
目詰まり点 [℃]	-15	-16	-5 以下
10%残留炭素分	<0.01	<0.01	0.1 以下
蒸留性状 [℃]	初留点	73.0	72.0
	10%留点	136.5	142.0
	50%留点	264.0	299.5
	90%留点	324.0	330.0
	終点	349.5	353.5
CHO 分析 [mass%]	炭素分	85.0	85.5
	水素分	14.8	14.5
	酸素分	0.2	<0.1
低位発熱量 [kJ/kg]	43,500	43,270	—

残留炭素分、および蒸留性状(90%留出温度)について 2 号軽油の JIS 規格を満足することができた。BTL_B については上記に加えて動粘度も 2 号軽油の JIS 規格を満足できている。引火点については両 BTL で JIS 規格より大幅に低くかつ常温以下となっていることから、引火点を高めるような燃料の製造が今後の課題となる。

4. 車両適用性評価

前章で分析した燃料をディーゼル重量車に使用した際の排出ガスおよび燃費特性を、シャシダイナモ試験により評価した。図 2 に試験の様子を、表 2 に試験車両の諸元を示す。試験条件は半積載を仮定した JE05 モード試験である。

図 3 に得られた排出ガスおよび軽油換算燃費の結果を示す。同図では、BTL 混合割合 0%は軽油を示し、BTL 混合割合 100%はニート BTL を示す。CO、粒子状物質(PM)、軽油換算燃費に関しては、BTL 混合割合を増加させても軽油運転時と同等の性能を確保できている。一方、非メタン炭化水素(NMHC)および窒

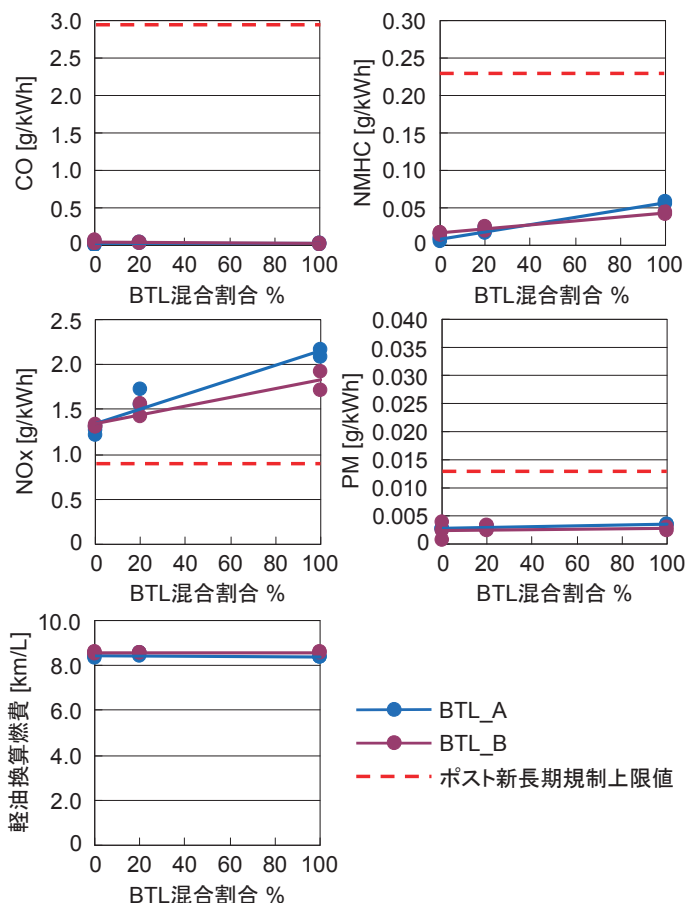


図 3 排出ガスおよび軽油換算燃費



図 2 シャシダイナモ試験の様子

表 2 試験車両の諸元

車両タイプ	カーゴトラック
車両重量	3530 kg
最大積載量	3000 kg
車両総重量	6585 kg
全長×全幅×全高	6600 mm × 2220 mm × 2450 mm
変速機	6MT
エンジンタイプ	直列 4 気筒ターボディーゼルエンジン
排気量	3 L
最高出力	110 kW / 2800 rpm
最大トルク	375 Nm / 1400~2800 rpm
後処理装置	酸化触媒、DPF
排出ガス規制適合	ポスト新長期排出ガス規制適合

素酸化物(NOx)に関しては、BTL 混合割合の増大に伴い増加する傾向が確認された。NMHC に関しては、増加してはいるものの規制レベルより十分に低い結果であるため問題ないが、NOx に関しては著しく増加する結果となった。これは、燃料の引火点が低いことから、低沸点成分の炭化水素が多いことが原因であるものと推察される。

5. おわりに

以上の評価により、今回試作した BTL については軽油と同等の燃費および NOx を除く排出ガス性能を確保できることが示された。NOx が著しく増加した要因について、本試験車両と同一のエンジンをを用いた台上実験により燃焼特性を評価することで明らかにする予定である。これにより、NOx の増加を伴わない燃料を製造するための課題を抽出する。同時に、LCA を実施することで、温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルを明らかにする。

⑰ ポスト新長期排出ガス規制適合ディーゼル重量車の 実路走行排出ガス評価 ー軽油、FAME、および HVO の排出ガス特性ー

環境研究領域

(一財)環境優良車普及機構

※水嶋 教文

高田 寛

川野 大輔

石井 素

後藤 雄一

1. はじめに

IEA (International Energy Agency : 国際エネルギー機関)によると 2009 年の FAME(Fatty Acid Methyl Ester : 脂肪酸メチルエステル)世界年間生産量は石油換算で 1 290 万 t であり、2005 年の 291 万 t に対して 4 年間で 4 倍以上も生産量が增大している。つまり、ここ数年で、欧米を中心に世界各国でバイオ燃料に対する関心が著しく高まっている。

交通安全環境研究所においてもこれまで、FAME を中心としたバイオ燃料を重量車あるいはディーゼルエンジンに適用した際の環境性能の評価および排出ガス低減技術の検討を、継続的に実施してきた⁽¹⁾。また、排出ガスの評価については、エンジン台上試験およびシャシダイナモ試験のみならず、車載式排出ガス計測システム(以下 PEMS: Portable Emission Measurement System)を用いた実路走行試験によるリアルワールドでの評価技術を開発してきた。

この評価技術を国際的なバイオ燃料研究に活用することを一つの目的とし、交通安全環境研究所は 2009 年から IEA における AMF (Advanced Motor Fuels : 自動車用先進燃料) 研究開発実施協定に参画し、国際共同研究 “Evaluation of Environmental Impact of Biodiesel Vehicle in Real Traffic Conditions” (実路走行条件における BDF 車両の環境負荷評価) を実施してきた。この研究では、エンジン台上試験やシャシダイナモ試験で示されたバイオ燃料の排出ガス特性⁽¹⁾とリアルワールドにおける排出ガス特性との差異を明らかにし、ディーゼル重量車に適用可能なバイオ燃料の方向性を検討すること、また、得られた知見を国際的に共有することを目的としている。

本プロジェクトはフェーズ 1 (2009~2011 年)とフェーズ 2 (2012~2014 年)に分れている。Phase 1 では新長期排出ガス規制適合のディーゼル重量車を用いて FAME および HVO (Hydrotreated Vegetable Oil : 水素化バイオ軽油)の実路走行排出ガス評価を実施するこ

と、Phase 2 ではポスト新長期排出ガス規制適合のディーゼル重量車を用いて FAME および HVO に加えて BTL(Biomass to Liquid)についても実路走行排出ガス評価を実施することが主な内容である。なお、現在はフェーズ 2 の実施期間中であり、フェーズ 1 の主な成果については前報⁽²⁾にて既に報告した。

本報では、フェーズ 2 で評価している、ポスト新長期排出ガス規制適合のディーゼル重量車における FAME および HVO の実路走行排出ガス特性を、軽油運転時と比較した結果について報告する。

2. 実路走行排出ガス試験の方法

2. 1. 試験車両および車載式排出ガス計測システム

本研究で使用した試験車両の諸元を表 1 に示す。本車両は最大積載量 3 t の貨物重量車であり、排気量 3 L のディーゼルエンジンを改造せずに搭載している。後処理装置には酸化触媒とディーゼルパティキュレートフィルタを備えている。

実路走行時における排出ガスの計測を実施するため、本試験車両の荷室内に PEMS を搭載した。システムの概略を図 1 に示す。PEMS には堀場製作所製 OBS-2200 を使用し、CO、CO₂、THC、NO_x を計測可

表 1 試験車両の諸元

車両タイプ	カーゴトラック
車両重量	3 530 kg
最大積載量	3 000 kg
車両総重量	6 585 kg
全長×全幅×全高	6 600 mm ×2 220 mm ×2 450 mm
変速機	6MT
エンジンタイプ	直列 4 気筒ターボディーゼルエンジン
排気量	3 L
最高出力	110 kW / 2 800 rpm
最大トルク	375 Nm / 1 400~2 800 rpm
後処理装置	酸化触媒、DPF
排出ガス規制適合	ポスト新長期排出ガス規制適合

能とした。排出ガス流量は排気管に取り付けたピトー管により計測した。排出ガスをシャシダイナモ試験時やエンジン台上試験時と同様に[g/kWh]の単位で評価するためには、エンジンの単位仕事量あたりの排出ガス重量を把握する必要がある、これには車両の走行抵抗を算出し、エンジントルクおよび仕事量を見積もらなければならない。このため、ECU からの車速、エンジン回転数信号をデータロガーに取り込んでいる。さらに、勾配抵抗を見積もるため、ジャイロセンサとハイトセンサにより道路勾配を計測した。

2. 2. 供試燃料

試験に使用した軽油、FAME、HVO の性状を表 2 に示す。本研究で使用した FAME は廃食用油を原料として製造したものである。HVO は動植物油を原料として水素化、脱酸素、異性化处理により得られる炭化水素燃料であり、密度が軽油と比べてわずかに低いものの、セタン価が十分に高く、軽油の代替となり得る燃料である。

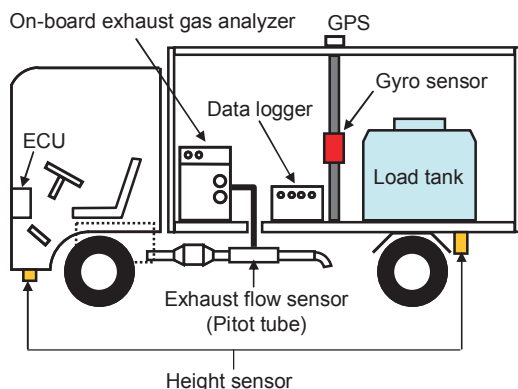


図 1 実験装置の概略

表 2 供試燃料の性状

燃料種	軽油	FAME	HVO
密度@15℃ [g/cm ³]	0.8295	0.8853	0.7798
動粘度 [mm ² /S]	3.655 (30℃)	4.605 (40℃)	3.708 (30℃)
引火点 [℃]	68.0	176.0	91.0
硫黄分 [massppm]	8	2	<1
セタン価	54.6	55.3	85.8
流動点 [℃]	-22.5	-2.5	-15.0
蒸留性状 [℃]	初留点	168.0	207.0
	10%留点	210.0	353.0
	50%留点	279.5	353.0
	90%留点	337.5	358.0
	終点	358.5	486.0
CHO 分析 [mass%]	炭素分	86.3	77.1
	水素分	13.7	12.1
	酸素分	<0.1	10.8
低位発熱量 [kJ/kg]	43 170	37 340	44 110

2. 3. 試験走行ルートおよび試験方法

図 2 に試験走行ルートを示す。本ルートは交通安全環境研究所を発着点とする約 22 km のルートであり、片側 2 車線以上の幹線路、中央線のない狭路、勾配路等の様々な道路を含んでいる。

試験は軽油、FAME、HVO、軽油と FAME の混合燃料(FAME 5%)、軽油と HVO の混合燃料(HVO 5%、7%、20%、50%)について実施した。期間は主に 8 月～12 月の日中における様々な気温、湿度環境下にて実施し、運転操作は、エコドライブ(ふんわりアクセル、早めのシフトアップによるエンジン回転数 2000 rpm 以下の維持)を意識した場合と意識しない場合の様々な加速条件下にて行った。

2. 4. エンジントルクの算出方法

エンジントルク T_e は、車両にかかる走行抵抗を計測し、以下の式を用いて見積もった。

$$T_e = \frac{r}{\eta_m \cdot \eta_f \cdot i_m \cdot i_f} (R_r + R_l + R_s + R_a) \quad (1)$$

$$R_r = \mu_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (2)$$

$$R_l = \mu_a \cdot A \cdot V^2 \quad (3)$$

$$R_s = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$R_a = (m + \Delta m) \cdot \alpha \quad (5)$$

ここで、 A ：前面投影面積[m²]、 g ：重力加速度[m/s²]、 i_f ：終減速機ギア比[-]、 i_m ：変速機ギア比、 r ：タイヤ動的負荷半径[m]、 m ：車両重量[kg]、 R_a ：加速抵抗[N]、 R_l ：空気抵抗[N]、 R_r ：転がり抵抗[N]、 R_s ：登坂抵抗[N]、 T_e ：エンジントルク[N・m]、 V ：車両速度[m/s]、 α ：車両加速度[m/s²]、 Δm ：回転部分相当重量[kg]、 η_f ：終減速機伝達効率[-]、 η_m ：変速機伝達効率[-]、 μ_a ：空気抵抗係数[N/(m²・(m/s)²)]、 μ_r ：転がり抵抗係数[N/kg]、 θ ：道路勾配[deg.]

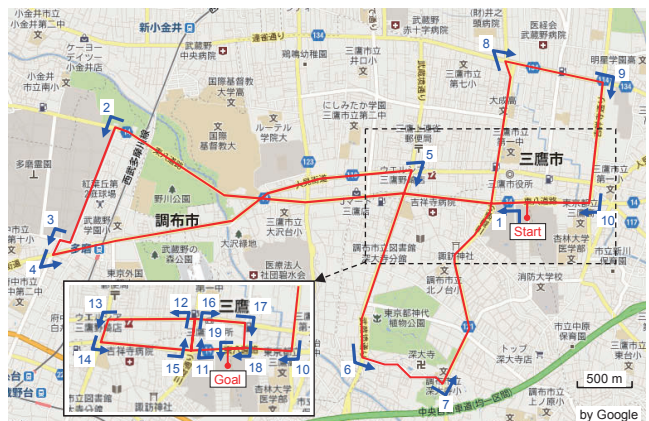


図 2 試験走行ルート

3. 実路走行排出ガス試験結果および考察

3. 1. 実路走行排出ガス特性の把握

実路走行においては、試験日および試験場所により気象条件が様々となる。また、道路の混雑状況および信号によって、加減速のタイミングおよびその大小、車速等が試験毎に異なってしまう。したがって、得られた排出ガス計測結果は毎回条件が変化するため、評価が困難である。そこで、燃料間での排出ガス特性を比較する前に、軽油運転時における実路走行での排出ガス特性のばらつきを把握した。なお、本報においては各種排出ガス成分のうち、NOx のみに着目した。

図 3 に、軽油運転時における全 NOx 排出量の計測結果を示す。同図より、試験日や運転操作によって、得られる NOx 排出量のばらつきが大きいことがわかる。このような試験日や運転操作の違いによる NOx 排出量への影響を把握し、適切に実路走行排出ガス試験結果を評価するため、NOx に影響を及ぼす代表的な因子を用いて重回帰分析を実施した。

まず、NOx 排出量に影響を及ぼすと思われる代表的な説明変数を検討する。車両の走行に係る主な説明変数として、車速、加速度、アクセル開度、エンジン回転数、エンジントルク、気象条件に係る主な説明変数として大気圧、大気温度、および湿度等が候補に挙げられる。重回帰分析を実施する際に説明変数同士に高い相関があると多重共線性が生じてしまうため、以上の候補から最も重量な説明変数のみを使用しなければならない。ここでは、排出ガス特性はエンジンの挙動のみで概ね説明できることを考え、車両の走行に係る変数のうちエンジン回転数 N_e [rpm] およびエンジントルク T_e [N・m] を使用した。また、NOx 排出量は湿度の影響を大きく受けることが知られているため、環境条件に係る変数については湿度のみを使用した。ただし、湿度については水蒸気分圧 P_w [kPa] の平均値 $\overline{P_w}$ とし、 N_e および T_e については加速時のみの平均値 $\overline{N_e}$ 、 $\overline{T_e}$ を使用した。また、各説明変数による影響は必ずし

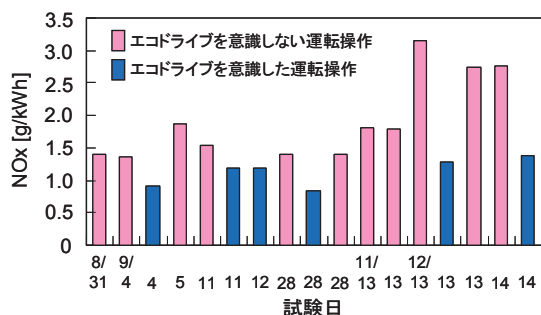


図 3 軽油運転時における全 NOx 排出量計測結果

も線形関係ではないことが予想されるため、各変数の 2 乗項も説明変数に加えた。

このように選定した変数を用いて、NOx 排出量の結果を重回帰分析すると、以下の式(6)が得られる。

$$\begin{aligned} \text{NOx}[\text{g/kWh}] = & -6.826 \times 10^{-6} \cdot \overline{N_e}^2 + 2.225 \times 10^{-2} \cdot \overline{N_e} \\ & + 4.816 \times 10^{-4} \cdot \overline{T_e}^2 - 1.034 \times 10^{-1} \cdot \overline{T_e} \\ & + 2.614 \times 10^{-1} \cdot \overline{P_w}^2 - 1.106 \times 10^0 \cdot \overline{P_w} \\ & - 1.014 \times 10^1 \end{aligned} \quad (6)$$

図 4 に、上記式から得られる NOx 排出量の予測値と試験で得られた実測値との関係を示す。参考までに説明変数に 2 乗項を含める場合と含めない場合の両方で重回帰分析をした結果についても示した。同図より、説明変数に 2 乗項を含めた場合において精度の高い重回帰分析結果が得られていることがわかる。

以上より、実路走行における NOx 排出量の変化は、エンジン回転数、エンジントルク、および水蒸気分圧といった因子の変化により概ね説明できることが示された。以降、実路走行における NOx 排出特性については、エンジン回転数、エンジントルク、および水蒸気分圧の試験毎の違いが NOx 排出量に及ぼす影響を重回帰分析により把握した上で評価する。

3. 2. FAME および HVO の排出ガス特性

FAME および HVO で実路走行排出ガス試験を実施した際の NOx 排出量の計測結果について、前節と同様に重回帰分析を実施した。ただし、ここでは燃料種の違いによる NOx 排出量への影響を評価する必要があるため、前節で使用した説明変数に加えて、燃料性状に係る説明変数を使用した。既報⁽¹⁾より、NOx 排出特性に影響を与える軽油代替燃料の性状因子として、単位体積当たりの低位発熱量 H_f [kJ/L] および燃料中の H/C 比が挙げられる。したがって、ここではこれらを

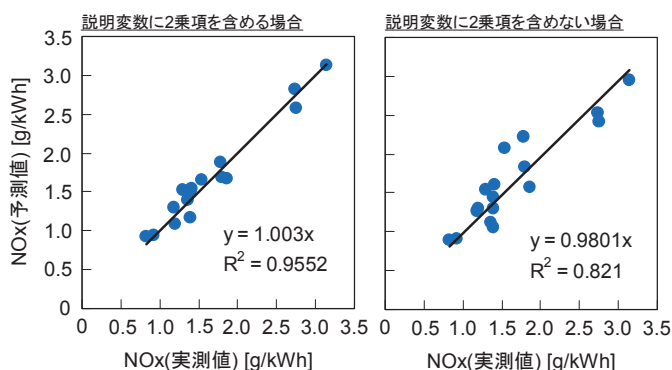


図 4 軽油運転時の NOx 予測値と実測値の関係

説明変数に加えた。

軽油、FAME、HVO での実路走行における全 80 データの NOx 排出量の結果を、以上に挙げた説明変数を用いて重回帰分析を実施した。これにより得られた予測式を式(7)に示す。

$$\begin{aligned} \text{NOx}[\text{g/kWh}] = & -5.709 \times 10^{-8} \cdot \overline{N_e}^2 + 2.216 \times 10^{-3} \cdot \overline{N_e} \\ & + 5.236 \times 10^{-4} \cdot \overline{T_e}^2 - 1.227 \times 10^{-1} \cdot \overline{T_e} \\ & + 1.660 \times 10^{-1} \cdot \overline{P_w}^2 - 7.399 \times 10^{-1} \cdot \overline{P_w} \\ & - 2.220 \times 10^{-4} \cdot H_f - 1.071 \times 10^0 \cdot H/C \\ & + 1.587 \times 10^1 \end{aligned} \quad (7)$$

また、図 5 に上記式から得られる NOx 排出量の予測値と試験で得られた実測値との関係を示す。図 4 に示した軽油のみを燃料とした場合の結果と比較して決定係数 R^2 は低いが、それでもなお式(7)は精度よく NOx 排出量を予測できている。したがって、重回帰分析により得られた式(7)は実路走行時における NOx 排出傾向を十分に捉えられていると判断できる。

式(7)を用いて、実路走行の代表的な条件として以下の A～D を想定し、完全に同一の条件下を仮定して各種燃料における NOx 排出量レベルを予測した。

- A. 夏期、エコドライブを意識しない運転操作
($\overline{P_w} = 2.5 \text{ kPa}$, $\overline{N_e} = 1650 \text{ rpm}$, $\overline{T_e} = 150 \text{ Nm}$)
- B. 夏期、エコドライブを意識した運転操作
($\overline{P_w} = 2.5 \text{ kPa}$, $\overline{N_e} = 1350 \text{ rpm}$, $\overline{T_e} = 130 \text{ Nm}$)
- C. 冬期、エコドライブを意識しない運転操作
($\overline{P_w} = 0.5 \text{ kPa}$, $\overline{N_e} = 1650 \text{ rpm}$, $\overline{T_e} = 150 \text{ Nm}$)
- D. 冬期、エコドライブを意識した運転操作
($\overline{P_w} = 0.5 \text{ kPa}$, $\overline{N_e} = 1350 \text{ rpm}$, $\overline{T_e} = 130 \text{ Nm}$)

ただし、条件 A～D の $\overline{P_w}$ 、 $\overline{N_e}$ 、および $\overline{T_e}$ の値は、各条件で図 2 に示す試験走行ルートを実際に走行した際の平均的な値である。

図 6 に、条件 A～D において各種燃料で予測した NOx 排出レベルを示す。この結果、FAME 100%においては軽油運転時と比較して明らかな NOx 排出量の増加が、HVO 100%においては軽油運転時とほぼ同等の結果が示された。また、湿度の低い冬期の運転、あるいはエコドライブを意識しない運転において、ポスト新長期排出ガス規制値上限値 0.9 g/kWh を大幅に超える NOx 排出レベルとなった。燃料間における NOx 排出量の差異については前報⁽¹⁾で述べた要因が考えられ、燃料の体積あたりの発熱量の差異、理論空燃比の差異、H/C 比の差異等によるものと考えられる。

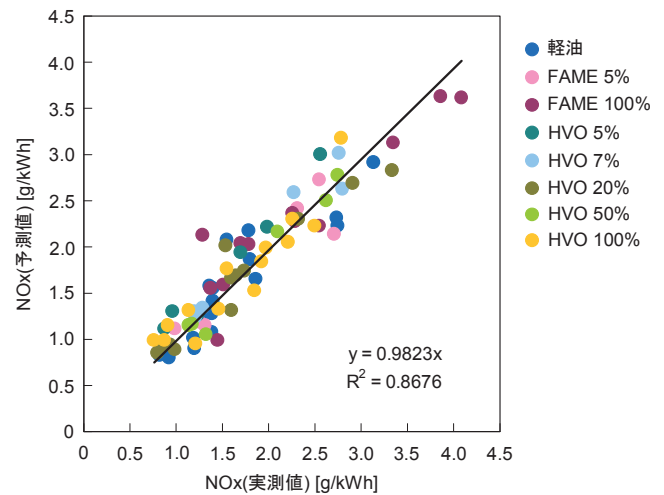


図 5 軽油、FAME、HVO 運転時の NOx 予測値と実測値の関係

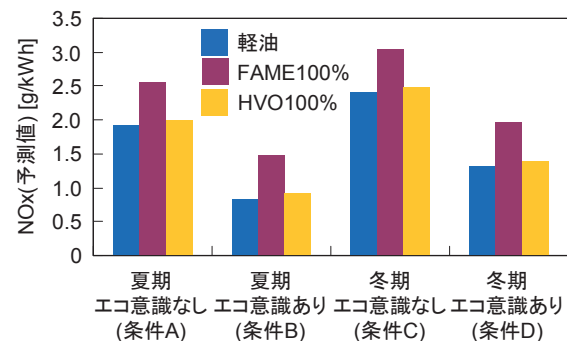


図 6 各代表条件における NOx 排出レベルの予測

4. おわりに

以上、実路走行排出ガス試験における NOx 排出特性の評価手法を述べた上で、様々な気象条件および運転操作において、軽油、FAME、および HVO を燃料として実路走行を実施した際の NOx 排出特性の実態を評価した。今後は、これらの燃料に加えて BTL についても同様に評価を実施する。

謝 辞

本研究の実施に際して、IEA-AMF 研究開発実施協定に参画しているアメリカ合衆国、ドイツ、スウェーデン、フィンランドの多大なる支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1)石井ほか、“重量車用バイオマス燃料導入に向けた交通研の取り組み”、交通研フォーラム 2012, pp.19-24
- (2)佐藤ほか、“国際エネルギー機関(IEA)における自動車用先進燃料研究の動向と交通研の取り組み”、交通研フォーラム 2011, pp.7-12

⑱ ハイブリッド車等の静音性対策のための 車両接近通報音に関する認知性調査

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、国土交通省は平成 21 年 7 月に検討会を設置し、検討会の報告を基に平成 22 年 1 月に「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ときは音で車両の接近を知らせることとしており、車両接近通報装置が満たすべき要件を示したものである。

当該ガイドラインでは、規制内容等必要な検討を行った上で、新車に可能な限り早期に車両接近通報装置の義務づけをすることとしており、国土交通省では基準化のための検討を行っているところである。

2. 車両接近通報装置の要件に関する検討

車両接近通報装置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議論されている。ここでは、各国で行った調査結果や、人間の耳の聴覚特性に関する報告¹⁾が行われ、それらを基に接近音の要件について検討が行われている。

一般に、正常な聴力を有する成人は、1kHz 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程度以上のレベルの音が存在すれば、その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ことが分かっている。従って、聴力の低下の少ない 1kHz

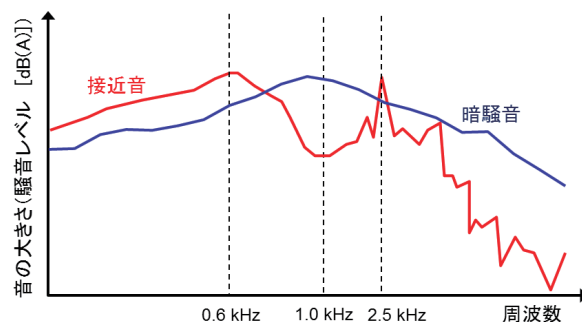


図 1 暗騒音と接近音の周波数特性のイメージ

以下の低い周波数帯域にも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、接近音が認知できるかどうかについては、暗騒音も影響する。図 1 に暗騒音の周波数特性のイメージ図を示す。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卓越したレベルでなければならぬため、暗騒音のレベルが小さい周波数で音を出せば、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 つ卓越したバンドをもつという、2 バンドのコンセプトをインフォーマル会議で主張しており、このような音であれば、オーバーオール音量(騒音レベル)と、音が聞こえる距離(認知距離)は比例関係にあるということを主張している。

本報告では、接近音の音量を規定するために、2 バンドの接近音のサンプルを試作し、オーバーオール騒音レベルと認知距離を調べることにより、日本が主張している 2 バンドコンセプトの妥当性について検証を行った結果を報告する。

3. 2バンドコンセプトの検証

まず、2 バンドを有する接近音のサンプル音を作成した。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 200 以上となる。そこで、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 500Hz 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 種類の接近音を作成した。選択した周波数のバンドは国内の自動車メーカーが作成した既存の接近音を参考にした。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 種類の接近音を作成し、それぞれの認知性を評価した。

電気自動車の先端に固定したスピーカから接近音を発音し、10km/h で接近しているときの認知距離を被験者実験により測定した。測定を行った場所は、日本自動車研究所城里テストセンターのテストコースで、暗騒音が 25dB 程度で、十分静かな場所であった。被験者に提示する暗騒音の条件を統一するために、米国運輸省の NHTSA により公表された NPRM (Notice of Rulemaking) で規定されている暗騒音をスピーカにより発音し、被験者の耳元で 55dB となるように調整した。図 2 に、NPRM で規定されている暗騒音と、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。両者がよく一致していることが分かる。実験参加者は、30 代から 60 代の健常者 12 名で、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。テストコースの車両中心線から横方向に 2m、高さ 1.2m の位置付近に被験者の耳が来るようにし、2 台のスピーカから

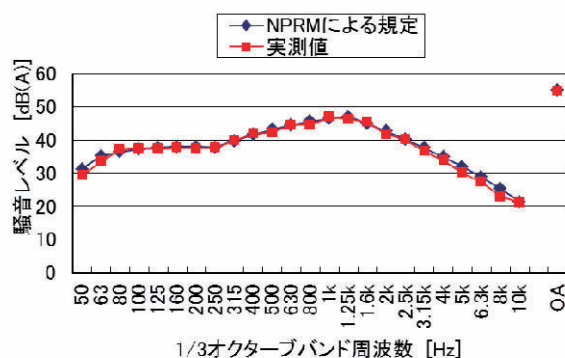


図2 被験者実験で使用した暗騒音の周波数特性



写真1 認知性試験の様子

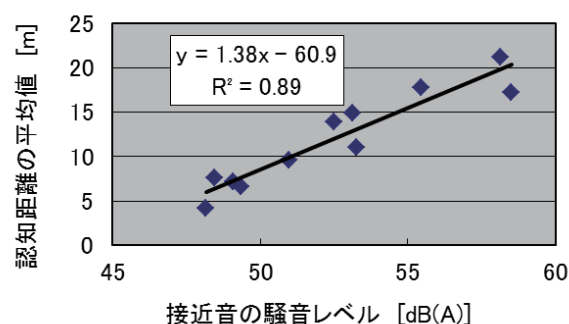


図3 接近音の騒音レベルと認知距離の関係

NPRM 規定の暗騒音を発生させ、被験者の耳の位置で 55dB となるように調整した。写真 1 に認知性試験の様子を示す。被験者はアイマスクを装着して写真中央の椅子に座り、接近音に気がいたら、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、認知距離とした。

図 3 に、今回の使用した 12 種類の接近音の認知距離の結果を示す。横軸は接近音のオーバーオールのレベル、縦軸は、12 名の認知距離の平均値である。これらの結果の一次の直線近似曲線を求めると、決定係数は 0.89 で高い相関が認められた。

4. まとめ

テストコース上において被験者実験により 2 バンドを有する接近音の認知距離を求めたところ、接近音のオーバーオールの騒音レベルと認知距離は線形の関係にあることが認められた。従って、2 バンドコンセプトに基づく接近音であれば、必要とされる認知距離が決まれば、必要とされる接近音の騒音レベルを求めることができ、音量を基準化（定量化）できると考えられる。今後、この結果を基に基準化を進めていく。

参考文献

- 1) 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)

⑬ マフラー性能等確認制度の試験法改定検討に向けた実態調査

環境研究領域

※宝渦 寛之

坂本 一朗

1. はじめに

我が国の新型二輪車の加速走行騒音試験法は、平成 25 年 1 月に、日本も参画する国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラムにおいて策定された ECE Regulation No.41 Revision 4 を国内導入する形で改訂された（以下、新試験法）。これを受け、交換用マフラーの騒音防止性能等を事前確認する目的で創設されたマフラー性能等確認制度においても、二輪車の加速走行騒音試験法の変更に向けた作業が開始される場所である。また同様に、近接排気騒音試験法についても、国際基準調和を視野に入れた見直し作業が開始される場所である。近接排気騒音試験法は、排気騒音の異常検知や路上での取締りに用いられる試験法である。日欧での試験法を比較すると、試験方法自体に大きな違いはないものの、規制値に対する考え方に大きな違いがある。図 1 に、日欧の近接排気騒音試験法の規制値に対する考え方の違いを示す。我が国の規制では、車種区分ごとに、測定された騒音レベルに対して絶対値による規制値を設けることにより実施されており（以下、絶対値規制）、新車および使用過程車の両者が規制対象となる。一方、欧州の規制では、騒音を新車時より増加させないという観点から、ECE Regulation No.41 Revision 4 にて新車の近

接排気騒音の認証値（基準値）を測定し、ECE Regulation No.92 Revision 1（交換用消音装置（二輪車））において、使用過程車の近接排気騒音を「基準値＋ばらつき許容限度幅」以下に制限する方法（以下、相対値規制）を採用している。従って、規制対象は使用過程車のみである。このような背景を踏まえ、本研究では、近接排気騒音試験の相対値規制について、加速走行騒音試験法との関係を中心に検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 近接排気騒音試験法概要

二輪車の近接排気騒音試験法は、無負荷運転にてエンジン回転数を最高出力回転数の 75%（最高出力時回転数が 5000rpm を超えるものは 50%）の回転数にて 5 秒間ほど一定に保持し、アクセルを急速に放す。その間の騒音を、マフラーの開口部の中心から排気流の方向に対して外側に 45° の方向で、開口部から 0.5m 離れた位置において測定する。なお、この近接排気騒音試験法については、平成 25 年 1 月の加速走行試験法の改定とあわせて、規定回転数の保持時間やマイクの設置位置が、国際基準調和のため微修正されている。この近接排気騒音試験法は、加速走行騒音試験とは異なり、車両を走行させる必要がなくテストコースを必要としない。

3. 調査内容

試験車両は、いずれも改造がなく法定点検を実施したものであり、各車 1 本ずつ交換用マフラーを用意した。試験は、標準マフラーと交換用マフラーを装着した状態において、新試験法、保安基準改定前の加速走行騒音試験法（以下、旧試験法）、近接排気騒音試験法をそれぞれ実施した。旧試験法および新試験法の概要については、参考文献 1) を参照されたい。また、近接排気騒音試験法は、平成 25 年 1 月の改定前の試験法にて実施した。なお、本研究において相対値規制の基準値には、標準マフラーの結果を用いた。

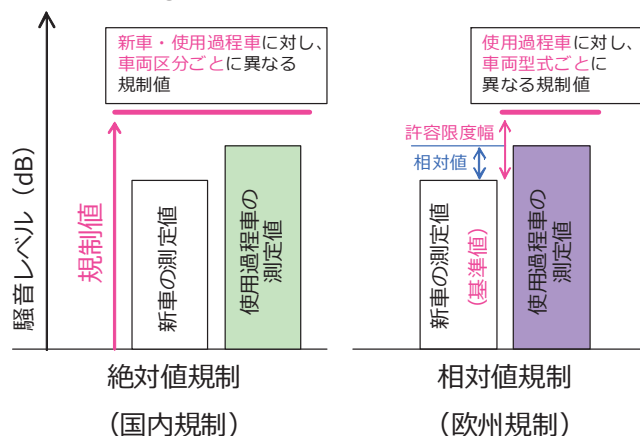


図 1 日欧の近接排気騒音試験法の規制値に対する考え方の違い

4. 調査結果

まずは、新試験法と旧試験法の結果を述べる。図2は、各試験の結果を規制値と比較するため、横軸を近接排気騒音試験の測定値から各車両の規制値を引いた値とし、縦軸を旧試験法の結果から規制値を引いた値として示したものである。一方、図3は、横軸を図2と同じとし、縦軸を新試験法の結果から規制値を引いた値として示したものである。両図ともに交換用マフラーを装着した場合の結果のみを示しており、図中の赤の破線は、絶対値規制の規制ラインを表している。なお、交換用マフラー装着時の新試験法における規制値は未定であるため、ここでは仮に新車時の規制値を用いた。旧試験法および近接排気騒音試験法では、図2より、すべての交換用マフラーについて規制値以下となり、今回用いた交換用マフラーは、現行のマフラー性能等確認制度の要件を満たしていることが確認できた。一方、新試験法は現在のマフラー性能等確認制度にて満たすべき要件とはなっていないが、図3より、4種類の交換用マフラー（C車、E車、G車、H車）が規制値を超過することがわかる。

次に、近接排気騒音試験の相対値規制について検討を行うため、図3の横軸を、近接排気騒音試験について交換用マフラーの結果から標準マフラーの結果を差し引いた値（相対値）とし、図4に示す。ここでは、相対値規制のばらつき許容限度幅を、ECE R.E.3（車両構造に関する統合決議）に記載されている5dBとした。図3の近接排気騒音試験の結果を絶対値規制で整理した場合では、近接排気騒音試験法が規制値を超えるものがないため、近接排気騒音試験の結果から新試験法の可否を推測することは出来ない。一方、図4では、近接排気騒音試験の結果を相対値にて整理することにより、近接排気騒音試験法の結果のみから、新試験法が規制値超過となる車両を2台（C車、E車）検出することができる。今回の結果から、新試験法と近接排気騒音試験法の相対値規制を組み合わせることにより、路上等における使用過程車の試験において、さらに効果的に大きな騒音を発するマフラーを検出できる可能性があることがわかった。

5. おわりに

二輪車のマフラー性能等確認制度について、その試験法の変更を検討すべく、二輪車8台について、標準マフラーと交換用マフラーを装着した状態で、加速走行騒音試験と近接排気騒音試験を実施した。その結

果、新試験法の規制値を適切に設定し、近接排気騒音試験法の相対値規制を組み合わせることによって、より効率的に大きな騒音を発するマフラーを検出できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 宝渦寛之、ほか3名、”新たな加速走行騒音試験法に向けた走行実態調査”，交通安全環境研究所フォーラム2011講演概要集，pp.17-20（2011）

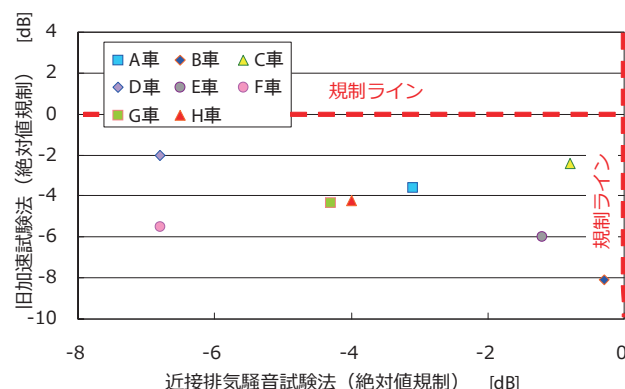


図2 近接排気騒音試験（絶対値規制）と旧試験法（絶対値規制）の結果

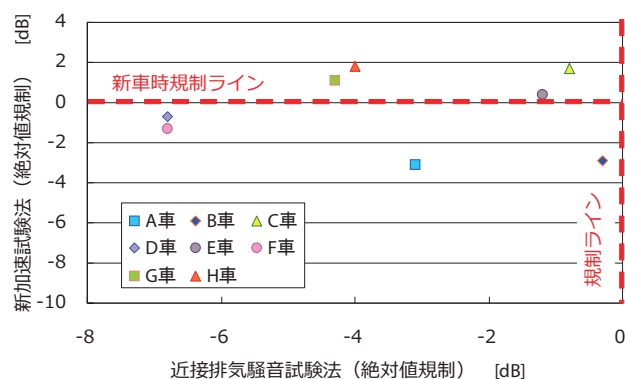


図3 近接排気騒音試験（絶対値規制）と新試験法（絶対値規制）の結果

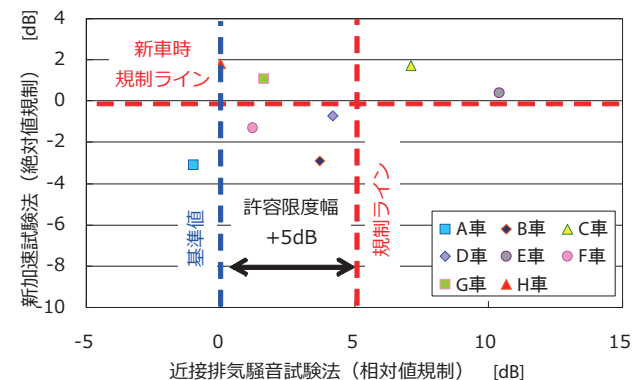


図4 近接排気騒音試験（相対値規制）と新試験法（絶対値規制）の結果

②0 スマートフォンを活用した歩車間通信のための基礎的検討

環境研究領域
自動車安全研究領域
交通システム研究領域
東京農工大学大学院

※坂本 一朗 宝渦 寛之
児島 亨 松村 英樹
竹内 俊裕 長谷川智紀
田中 陽一

1. まえがき

ハイブリッド車や電気自動車がモーターのみで低速走行している時は音が小さいため、車両の接近に気がつかず危険との意見が視覚障害者団体等から寄せられたため、国土交通省では対策のガイドラインを定め、音で接近を知らせることとした。しかし、このような電動車両は今後ますます普及することから、音によらない方法も求められている。その一つとして、ここ数年で急速に開発が進んでいる IT 技術を活用して、通信により自動車の接近を歩行者に知らせる方法が考えられる。しかし、現状の IT 技術では、視覚障害者が必要とする接近の方向や速度までを伝えることは困難とも言われている。

本研究は、IT 技術を活用した歩車間通信を用いて、歩行者と自動車の位置情報と進行方向から、歩行者、特に視覚障害者に自動車の接近を知らせることにより、人と車の安全の確保を目指すシステムのあり方を検討するとともに、実用化へ向けた課題を検討することを目的とする。本報では、通信端末として、最近急速に普及しているスマートフォンを用いて、スマートフォンのセンサで位置情報を求め、車両の接近情報を歩行者に知らせることを可能とするシステムを試作し、このシステムを用いて広島市内で検証実験を行ったので、その概要について述べる。

2. 歩車間通信の検討の進め方

IT 技術を用いた歩車間通信の第一段階として、鉄道分野ですでに検討が進められ、実用化を目指している鉄道車両位置検出技術を適用したシステムを試作し、実用化のための課題の検討を行うこととした。課題として、歩行者及び車両の位置精度、通信速度、通信できる範囲等が考えられる。第一段階として、歩行者－自動車間の通信を達成することを目標として、ス

マートフォン同士の 1 対 1 の通信を可能とし、それぞれの GPS から得た位置情報を双方に伝え、その距離によって情報を提供するシステムの設計を行う。第二段階は、スマートフォンを身につけている歩行者に電動車両が接近したときだけ音を出すようにし、車両が接近しているという情報を必要としている人だけに接近音を発するシステムの設計及び試作を行い、実際の交通環境で実用化するための課題の検討を行うこととする。

また、国土交通省で実施されている ASV（先進安全自動車）の調査において、歩車間通信によりドライバーへ歩行者の存在を知らせる検討を実施しているので、これらの結果も参考にして検討を行う。

3. 試作システムの概要

通信機能を有する携帯端末として、様々なセンサが組み込まれているスマートフォンがあり、ユーザーがそれらを活用するためのプログラムを組み込むことが出来る。そのため、スマートフォンは歩車間通信端末の有力な候補とされている。本システムは、スマートフォンに内蔵されているセンサによって、スマートフォンを携帯している歩行者及びドライバーの位置情報を高精度に求めるとともに、その情報を歩行者及びドライバーの双方に伝える通信システム（1 対 1 の通信）を試作した。図 1 にシステムの概要を示す。今回試作したシステムの主な機能は以下の通りである。

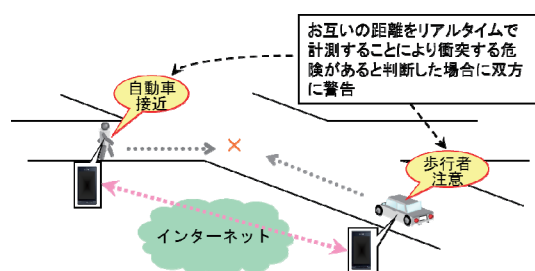


図1 試作したシステムの概要

(1) データ通信機能

携帯電話回線からインターネットを経由して、自端末の位置情報、速度情報、進行方向（方位情報）等を、相手端末と送受信する。送受信は1秒周期を基本として、500、250、100 msec を選択可能としている。

(2) 位置検知機能

端末内蔵のGPS受信機の情報を用いて、地図上に自端末と相手端末の位置を1秒周期で表示する。

(3) 端末間情報算出機能及び情報提供機能

検知した端末の位置を、地図上に設定した直近の交差点上にマップマッチング補正²⁾を行い表示する。補正によって、GPS単独の位置検出の誤差のばらつきを最小にすることを可能としている。地図上に表示された両端末間の進行方向、進行速度、距離を基に、衝突の可能性がある場合には予想時間を算出、表示するとともに、接近中の両端末間の距離に応じて、情報提供ならびに注意喚起を行う。情報提供および注意喚起は、図2に示すアルゴリズムに基づいて行っている。

4. 広島 ITS における検証実験

第20回ITS世界会議 東京2013のポストコングレスツアーの一つとして「広島における世界初の路面電車-自動車間通信型ASVデモ」を、2013年10月20日・21日に、広島地区ITS公道実証実験連絡協議会の一員として、東京大学、マツダ(株)、広島電鉄(株)及び交通研の4者共同で実施した。これは、路面電車

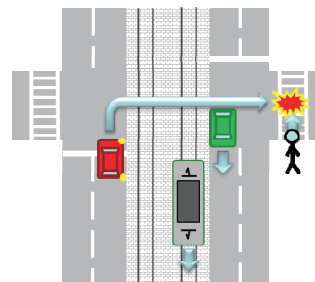


図3 広島 ITS における歩車間通信のデモシーン

と自動車が道路空間を共有する箇所において、路面電車と自動車の車車間通信によって、自動車と路面電車双方の安全性が高まるようなシステムについてデモンストレーションを行ったものである。このデモの中で、今回試作したシステムを用いて、実際の交通環境で歩行者と自動車の存在をお互いに知らせることにより、安全性が向上すると考えられるシーンの検討を行うための社会実験を行った。歩車間通信のデモシーンを図3に示す。

今回実施したデモは、信号のない交差点を、路面電車の軌道を横切って右折しようとしている自動車の前方から、路面電車と自動車が向かっており、どちらも通り過ぎるのを待って右折しようとした時に、横断歩道を渡っている歩行者がいるというシーンである。このシーンにおいて、右折車両の位置と右折のウィンカーの情報から、歩行者に対して右折車両が存在するということを知らせるとともに、右折後の横断歩道に歩行者が存在することをドライバーに情報提供を行った。

5. まとめ

今回試作したシステムを用いて実証試験を行った結果、マップマッチング補正を行っているため十分な精度で、歩行者、自動車双方に位置を知らせることができた。歩行者に対しては、スマートフォンの画面上に自動車の位置を表示したが、歩行中常に画面を見ているわけではないため、車両の接近を知らせるための情報提供方法については今後検討を行っていく。なお、今回、歩車間通信に関する実証試験の機会を与えていただくとともにご協力いただいた東京大学、マツダ(株)、広島電鉄(株)はじめ関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1)高橋信彦, ”歩行者保護を中心とした技術開発状況”, 第12回自動車安全シンポジウム, 国土交通省自動車局, (2011)
- 2)伊藤, 他, ”GPSと通信を利用した踏切衝突防止システムの開発”, 電気学会産業応用分大会, 論文集III, pp.257-260 (2007)

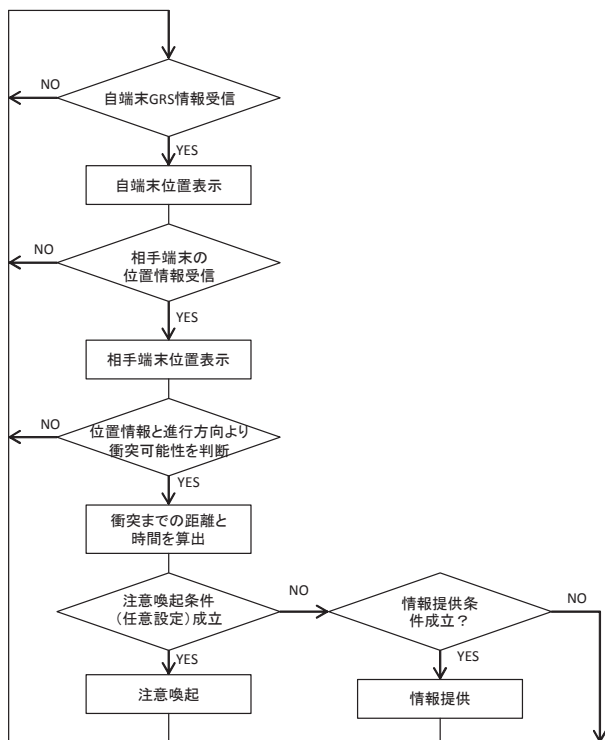


図2 情報提供・注意喚起のアルゴリズム

②① 営業車両を用いた軌道状態監視システムの構築

交通システム研究領域
日本大学
京三製作所

※森 裕貴 佐藤 安弘 大野 寛之
綱島 均
浅野 晃

1. はじめに

車輪がレールで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る。その状況を把握し、事故に至る前に補修していく軌道保守が不可欠である。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だが、導入コストや維持管理などの点から走行頻度は非常に制限される。このような課題に対して、営業車両に簡易なセンサを付加し、営業運転を行いながら軌道診断を行う方法が考えられる。我々は、車両と非接続で軌道の状態診断が行えるプローブ車両を提案¹⁾、地方鉄道向けの実用化を想定した信頼性の高い小型レール状態診断装置を日本大学、京三製作所と共同で製作した。

本稿では、小型レール状態診断装置の概要について述べ、営業車両による測定、軌道の診断、事業者へのフィードバック、軌道保守への活用までのサイクルを実現し、事業者とともに軌道状態監視システムを構築したので、その概要を紹介する。

2. 小型レール状態診断装置

2. 1. 装置構成

小型レール状態診断装置の外観を図1に、構成図を図2に示す。本装置は、軌道変位による影響を検出する3軸加速度センサおよびレートジャイロ、列車位置や速度を算出するGPS、各センサ信号を記録・解析するソフトウェア、記憶媒体（SSD）で構成される。

本装置は車両から電源を得られないことを想定し、電源駆動およびバッテリー駆動の2種類を用意しており、バッテリー駆動でも約6時間の連続計測が可能である。また、携帯回線を利用した計測データの送信機能や、騒音計を装置に取り付けて車内騒音を測定し、波状摩耗の状態を診断することも可能である。

2. 2. 軌道の診断指標

鉄道の安全を確保する上で、軌道変位を把握することは最も重要な検査項目の一つである。車体振動と軌

道変位は高い相関があるため、車体振動の大きさを測定することは、軌道状態の大まかな傾向を得るために有効である。本研究では、加速度の振幅が軌道変位の大きさと相関を持つとし、加速度のRMS（Root Mean Square）値を指標として用いる。

2. 3. 経時変化と速度補正

振動加速度RMS値は、その経時変化に着目することで、軌道保守へ活用することが可能である²⁾。ただし、振動加速度RMS値は走行速度の影響を受け、速度の増加とともに大きくなる特性を持っている。通常、運転曲線等により速度曲線はほぼ一定になるが、各走行のばらつきや運用の都合により、走行速度が異なる場合が存在する。そこで、次式により走行速度による影響を補正する。

$$A^* = A \sqrt{V_{ref}/V} \quad (1)$$

ここで、 V は走行速度、 A は振動加速度であり、 V_{ref} は基準速度（運転曲線など）である。 A^* は補正後の振動加速度であり、この値を診断に用いることで走行速度の差を考慮した統計処理を行うことができる。

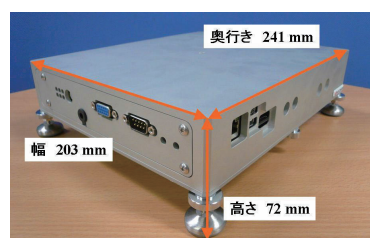


図1 小型レール状態診断装置外観

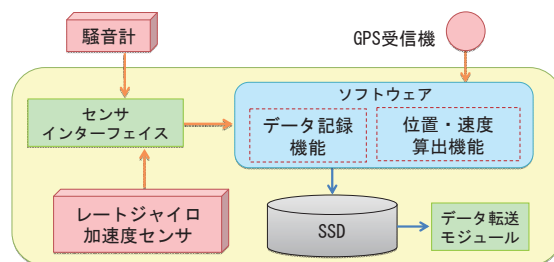


図2 小型レール状態診断装置構成

3. 軌道状態監視システム

3. 1. 概要

軌道状態監視システムの概要図を図3に示す。本システムは、小型レール状態診断装置を用いた測定部、測定データを解析する診断部、そして、診断結果を実路線へフィードバックする行程で構築される。

診断部で解析された結果は事業者のもとに転送され、事業者はこの情報を参考に保守計画を立案することが可能になる。また、軌道状態の常時監視が実現できれば、管理基準値に対して異常に大きい振動が観測された場合、緊急に軌道を点検するなどの対応が可能になる。

3. 2. 診断ソフトウェア

測定から軌道保守までを効率的に実施するためには、測定から診断までの期間短縮、視覚化による診断結果提示などソフト面でのインターフェースの整備が必要である。そこで、GUI (Graphical User Interface) を用いた軌道状態診断ソフトを製作した。

本診断ソフトは、自動的に位置情報と RMS 値を算出し、走行速度とともにグラフ化する。また、閾値により軌道状態を駅間マップに色別に表示している。さらに、過去の計測データとの経時変化を比較する機能を有している。これは、軌道状態を時系列で評価することにより、時々刻々と変化する軌道の劣化箇所（要監視区間）を把握することができ、軌道保守計画の策定に用いることが可能となる。管理基準値は鉄道事業者ごとに異なるが、各事業者の管理基準値に合わせた変更が可能となっている。

4. システム検証

小型レール状態診断装置による測定を鉄道事業者の協力を得て、2012年9月から2013年5月まで複数回に渡り実路線の営業車両で行った。図4に2013年2月までの測定結果の一例を示す。上下加速度の RMS 値にいくつかのピークがみられ、また、一部区間では経時変化が大きく、軌道の状態悪化の進行が懸念される。そこで、診断部において要監視区間を設定し、その評価結果を事業者へフィードバックした。

事業者において2013年2月～3月の期間で、要監視区間の情報を参考に、まくらぎ交換および突き固め等の軌道保守が実施された。軌道保守後の測定データを図5に示す。軌道の保守は数十 m から数百 m の距離で散発的に実施されたが、車体の上下加速度 RMS 値が効率的に低減していることがわかる。

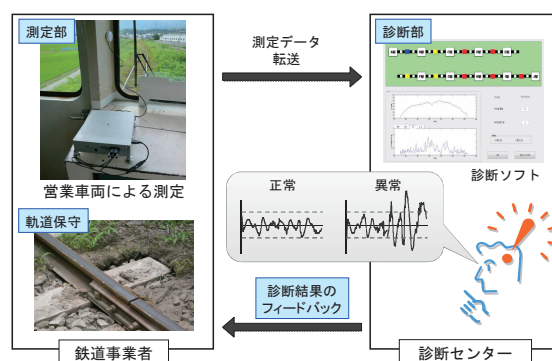


図3 軌道状態監視システム概要

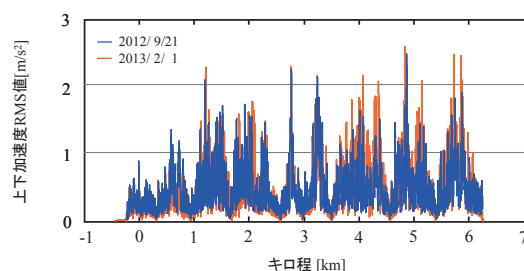


図4 測定結果の一例

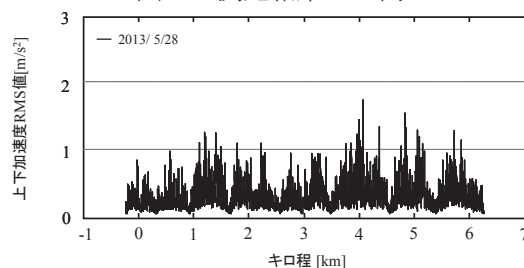


図5 軌道保守後の測定結果

5. まとめ

本稿では、地方鉄道向けの実用化を想定した、軌道状態監視システムの概要について説明した。営業車両を用い、車両の大改造を伴わない装置で構成することで、導入コストを抑えつつも高頻度な測定が可能となり、軌道保守に十分活用できるシステムとなった。

本プロジェクトの最終目的は、地方鉄道の軌道の保守管理を一元的に行うことである。現在、経営難にあえぐ地方鉄道を支援するため、経営資源を運行だけに集中させる上下分離方式が各地で採用されているが、予防保全で得られたデータをもとに、事業者間で知識や情報の共有が活発に行われれば、より効率的でより安全性の高い保守管理が可能になると考える。

参考文献

- 1) 網島均, 松本陽, 水間毅, 中村英夫, プローブ車両による軌道の状態診断, 検査技術, Vol.12, No.5, pp50-55, (2007)
- 2) 森裕貴, 大野寛之, 佐藤安弘, 竹内俊裕, 網島均, プローブ車両の現状と軌道の保守例について, 交通研フォーラム 2011 講演概要, pp.109-110, (2011)

② 脱線係数観測データを活用した営業車両による軌道状態の評価

交通システム研究領域 ※ 佐藤 安弘 大野 寛之 森 裕貴
東京地下鉄 荻野 智久 茨城大学 道辻 洋平
新日鐵住金 水野 将明 日鉄住金テクノロジー 谷本 益久

1. はじめに

従来、鉄道車両の走行安全性を評価する指標として重要な脱線係数の測定の際は、新線開業や新形式車両導入時等、特定の場面に限られていた。

脱線係数は、外軌側を示す図1のとおり、レール・車輪間に働く力のうち、横方向力である「横圧」 Q と垂直方向力である「輪重」 P との比 Q/P により求められる。

特に急曲線における乗り上がり脱線については、中目黒事故(平成 12 年)の原因調査を通じて、脱線係数がレール・車輪間の摩擦係数に依存して大きく変化することなどが指摘され、脱線係数を頻繁に観測することの重要性が増してきた。

そこで、営業車両による常時観測を可能とする新たな脱線係数測定法の研究¹⁾を進め、営業車両による測定が実現した²⁾。これらの成果を基に、脱線係数の常時観測を前提とする安全性管理方法の確立等が求められていることから、昨年は観測データの新たな分析手法について提案した³⁾。さらに、従来の軌道変位などの管理指標と関連づけができれば、データを軌道の保守に活用しやすいため有意義である。そこで、軌道の平面性変位を算出する方法等について考察したので報告する。

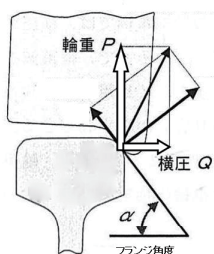


図1 レール・車輪間の力と脱線係数 Q/P

2. 常時観測に用いる脱線係数測定法¹⁾

本脱線係数測定法では、非接触センサを用い、輪重は、軸ばねたわみ量を、横圧は、車輪の曲げ変形量をそれぞれ検出することで求める。但し、軸受のガタに

よる影響を補正するなど、台車全体として測定精度を高める設計となっている。輪重測定用の磁歪式変位計及び横圧測定用の渦電流式変位計の設置位置を図2に示す。

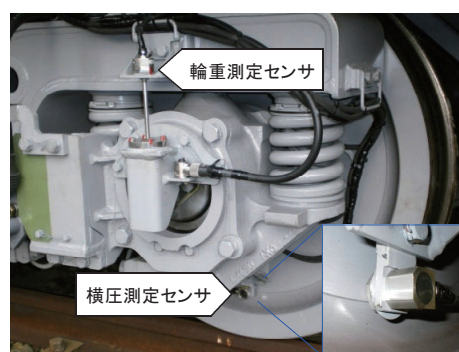


図2 脱線係数常時観測用台車及びセンサ

3. 脱線係数の常時観測により得られる情報

3. 1. 観測データ

脱線係数常時観測用台車(以下、本台車)では、安全性の評価に用いる前軸外軌側 Q/P のほか、内軌側では横圧輪重比(内軌 Q/P)を求めることができる。急曲線部における内軌 Q/P が摩擦係数に近似することから、塗油やレール表面の乾燥状態等による、レール・車輪間の摩擦係数の大小を評価することができる。また、各車輪で測定している P によって、輪重変動を評価することができる。

3. 2. 軌道変位への換算

軌道変位の整備基準値と走行安全性は必ずしも 1:1 に対応したものではないが、急曲線乗り上がり脱線には、平面性変位が大きく影響することが知られている。平面性変位は、軌道の平面に対するねじれの状態を表すものであり、軌道の長手方向に一定間隔を隔てた 2 点間の水準変位の差を意味する。また、水準変位は、軌道を構成する左右のレールの高さの差を意味する。

車輪とレールの接触点の平面座標(x - y 座標)と、軸ばねたわみによる鉛直座標(z 座標)を図3のよ

うに表す。4車輪それぞれのばねたわみは、輪重を軸ばね定数で除算して求めることができるが、本台車では、輪重を求めるため、もともと軸ばねたわみを測定している。4車輪の座標点のうち、いずれか3つの座標点(P1in, P2out, P2in)を通る平面を算出し、当該平面と残りの座標点(P1out)との距離 L は、平面性変位にほぼ等しいと考えられる。

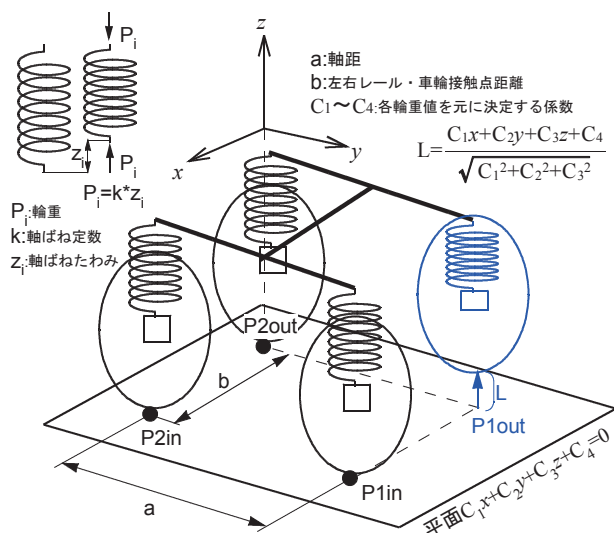


図3 軸ばねたわみによる平面性変位の算出

半径 160m の曲線区間において、昨年³⁾と同じレール交換前後のデータを用いて、平面性変位を求めた結果を図4及び図5にそれぞれ示す。

両図を比較すると、12.25km 付近に顕著な違いが見られる。この付近のレール継目から、キロポストの数字が小さくなる方向でレール交換を実施したことが確認されており、継目位置で新旧レール高さを合わせるためのレール高さ調整による影響が考えられる。さらに、両者の差分を取った図6では、平面性変位の変化箇所及び変化量が明確に示されている。

3. 3. 軌道の保守管理への活用方向性

本台車では、まず脱線係数や輪重変動を毎日把握でき、これらの値が大きくなる要注意箇所を抽出することができる。次に、昨年提案したデータの信号分解によって、摩擦係数などの要因ごとの影響を相対的に評価することができる。さらに、今回の算出法によって、平面性変位の大きな箇所、経時変化箇所及び変化量が把握できる。このようにして、脱線係数増大要因を絞り込むことができる。例えば、脱線係数の測定値が大きな箇所において、摩擦係数や平面性変位が小さい場合は、他の軌道変位、例えば通り変位の大きさを個別に確認するよう指示する等、

未然に脱線を防ぐ手順を示すことが可能となる。

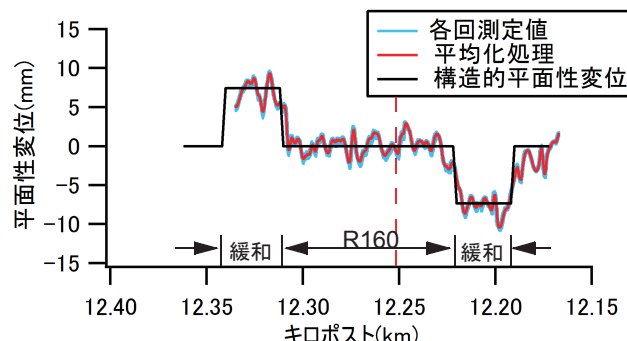


図4 平面性変位(①レール交換前)

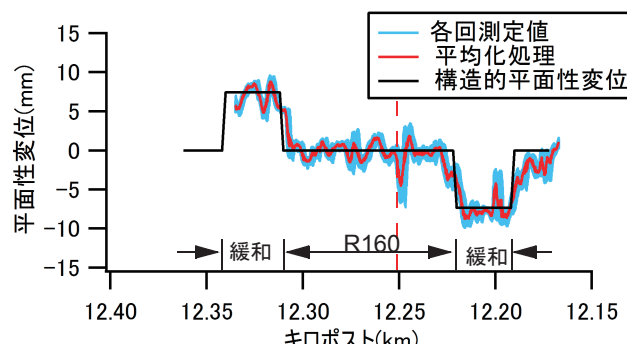


図5 平面性変位(②レール交換後)

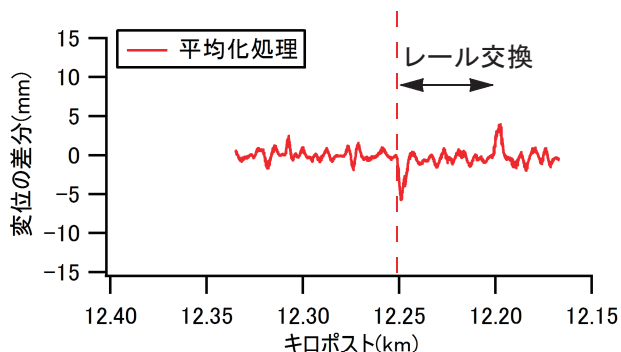


図6 平面性変位の差分(②-①)

4. まとめ

脱線係数観測データの軌道保守への活用を目標に考察を進めた結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 常時観測データを活用した平面性変位の算出手法を提案し、保守作業による影響の測定を通じて算出手法を検証した。
- (2) 昨年提案した信号分解手法とともに活用することで、脱線係数増大要因を絞り込むことができる。

今後の課題としては、軌道保守への活用のシステム化、異常警報のリアルタイム化等があげられる。

参考文献

- 1) 佐藤ほか; 交通研フォーラム 2009 講演概要, pp85-88
- 2) 佐藤ほか; 交通研フォーラム 2011 講演概要, pp107-108
- 3) 佐藤ほか; 交通研フォーラム 2012 講演概要, pp67-70

②③ 軌道系交通システムの技術に関する安全性評価手法の国際化への対応と標準化への取り組み

交通システム研究領域
自動車安全研究領域
理事

※林田 守正
青木 義郎
水間 毅

廣瀬 道雄

大野寛之

長谷川 智紀

森 裕貴

1. はじめに

軌道系交通システムの設備機器や車両に関わる安全性については、急速な国際化の流れの中で、従来わが国には馴染みが薄かったリスクの数値管理等の概念を含む国際規格に適合した評価が求められる事例が増加している。本報告では、交通安全環境研究所（以下「当所」という）が、第三者安全評価者として実施している安全性評価に関する手法の、国際規格への対応を重視した標準化に向けた取り組みについて述べる。なお、ここでは第三者安全性評価者を ISA（Independent Safety Assessor）と位置付け、それによる安全性評価を「ISA 評価」と表すこととする。

2. 最近の安全性評価の状況

図 1 に、最近（平成 20 年度以降、鉄輪車両走行試験および索道関係を除く約 50 件）の当所による ISA 評価対象システムの種別の内訳を示す。

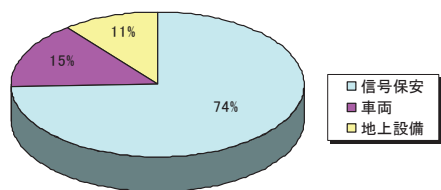


図 1 ISA 評価対象の種別（平成 20 年度以降）

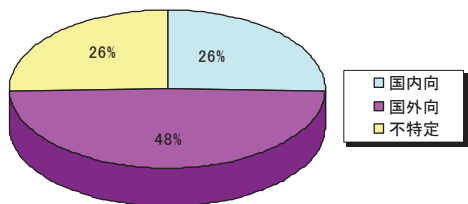


図 2 ISA 評価対象の展開先（平成 20 年度以降）

信号保安が全体の約 3/4 を占めるが、ホーム柵等の地上設備の評価例も出ている。図 2 に、評価対象事例の展開先の内訳を示す。国外向けが約半分を占め、国

内外を限定しない事例と合わせると約 3/4 が海外展開を意識したものである。本報告では、これらの ISA 評価事例をケーススタディとして検討を行った。

3. 評価手法の国際規格との整合

3. 1. 整合が必要な国際規格

鉄道に関する主要な国際規格としては、IEC（国際電気標準会議）規格、ISO（国際標準化機構）規格が挙げられる。そのうち、まず ISA 評価との整合の必要性が高い主要事項を多く含むと考えられる IEC 62278（RAMS）と IEC 62425（電子機器のセーフティケース）の 2 規格との整合について、検討することとした⁽¹⁾⁽²⁾。

3. 2. 整合に関する主な検討課題

3. 2. 1. ISA 評価の位置付け

IEC 62425 では、鉄道事業者側による安全性の承認前には、メーカー等が作成するセーフティケース等に加え、ISA 評価とその報告書が必須であると規定されている⁽²⁾。したがって海外展開事例では ISA 評価が必要条件として求められるケースが多いため、評価に当たっては ISA 評価の位置付けと役割を十分に認識する必要がある。特に報告書の記述は、ISA 評価と関連性が高いセーフティケース中の Part. 4 Technical Safety Report の記述との整合性を図る必要がある。

3. 2. 2. システムのライフサイクル段階

IEC62278 では 14 段階のシステムライフサイクルを規定し、その中で、総合セーフティケースは第 6 段階で作成すべきとされる⁽¹⁾。そのため、セーフティケースと併せて必要とされる ISA 評価においては、評価対象仕様が第 6 段階を含み、適合しているかどうかを確認し、その確認内容を報告書にも明記する必要があると考える。

3. 2. 3. SIL の概念

IEC 62425 では、リスクの数値管理の概念として、

SIL (Safety Integrity Level) を規定している⁽²⁾。これは図3に示すようなシステム要求、安全性要求の中で偶発的な故障に対する安全性の定量化を目的として、SIL1 (危険事象発生率: $10^{-6} \sim 10^{-5}/\text{hr}$) から SIL4 (同 $10^{-9} \sim 10^{-8}/\text{hr}$) を規定している。一般的に、信号保安システムの安全関連機能にはSIL4が要求される。日本の鉄道システムは実績としてSIL4より2桁以上高いレベルの安全性を実現してきたが、国際規格ではSIL算定の理論的な根拠の提示が求められるため、その対応が必要である。

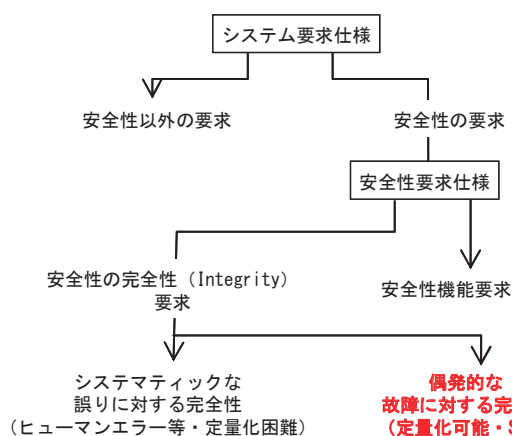


図3 システム要求仕様、安全性要求仕様と SIL⁽²⁾

4. ISA としての評価手法標準化へ向けた対応例

4. 1. 評価対象の展開先の区分

国内向けの事例では、国際規格への適合は求められず、鉄道事業者等が提示する安全性要件への適合性評価が求められるケースが多い。そのため評価手法の標準化に当たっては、完全な共通化をめざすよりも、評価対象の展開先の違いによって異なる部分を許容する方が適切と考える。ただし将来的な国際化の可能性も踏まえ、可能な限り共通化することが望ましい。

4. 2. 明確にすべき項目

4. 2. 1. 評価対象範囲

ISA 評価の内容や結果については依頼者のメーカ等に限らず、システム納入先に対しても責任が生じる可能性がある。したがって ISA 評価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 評価の対象外であり責任を負わない部分を明示する。

4. 2. 2. 用語、略語

IEC 62278 等の国際規格では、文書中の主な用語、略語の定義が明確にされている。これに倣って ISA 評価においても主要な用語、略語の定義を明確にする。

4. 2. 3. 参照資料

ISA 評価では評価の根拠となる参照資料として、前述のセーフティケース等の他、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。この場合参照資料に文書管理番号が無いと、ISA 評価完了後の資料特定が困難となり評価結果の再見が必要な場合に支障が生じると予想されるため、参照資料には全て文書管理番号が付与され、報告書に明示されることとする。

4. 3. FMEA と FTA

当所の ISA 評価では FMEA (Failure Mode Effects Analysis) および FTA (Fault Tree Analysis) を中核的な手法として用いてきた。一方、IEC 62425 では Technical Safety Report における単一異常影響 (Effects of single faults) および複合異常影響 (Effects of multiple faults) に対する安全性担保が規定され、FMEA を前者、FTA を後者の主要な解析手段として挙げている⁽²⁾。したがって FMEA、FTA による解析をこのような位置付けとするともに、FTA では図4に示すように、基本事象から頂上事象への到達を阻む制約ゲートの存在と信頼性 (SIL 等) を明確にすることで、安全性に対する評価を実施する。また、FTA は静的な事象解明には有意であるが、動的な事象解明には状態遷移図を利用した確率計算も行う。

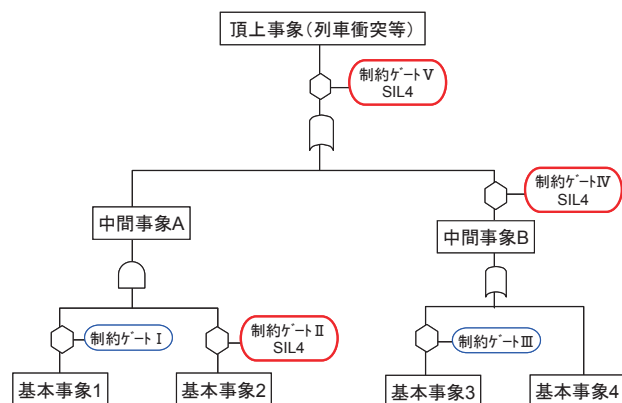


図4 FTA による複合異常影響解析と制約ゲート(模式図)

5. まとめ

当所 (交通安全環境研究所) が ISA として実施してきた安全性評価の近況をケーススタディとし、評価手法の国際規格との整合を重視した標準化への道筋と、当所の独自手法について説明した。

参考文献

- (1) INTERNATIONAL STANDARD IEC 62278 対訳版 (2002)
- (2) INTERNATIONAL STANDARD IEC 62425 (2007)

②④ 鉄道用磁界測定機による磁界の評価方法について

交通システム研究領域

※長谷川 智紀

竹内俊裕

工藤 希

森 裕貴

理事

水間 毅

日本大学

山本 靖宜

千葉大学

齋藤 達仁

1. はじめに

鉄道システムでは、変電所施設をはじめ、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)や、電磁界が人体へ与える影響(EMF)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。

このような状況のなか、経済産業省より電気設備から生じる超低周波磁界の規制として商用周波数に対し「電気設備に関する技術基準を定める省令」の改正が平成23年3月31日行われ、変電所、開閉所、変圧器、電線路等の電力設備から発生する磁界値を、人体への健康影響を考慮してICNIRP指針を参考に $200\mu\text{T}$ 以下とする規制が導入された。

これを受け、鉄道用電力設備については、国土交通省より「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が平成24年7月2日改正(平成24年8月1日施行)され、変電所、電車線、電気機器設備等において、新規に施工される施設や既存設備の改良工事の際に適用されることとなった。²⁾

このように、日本国内においても、人体に対する磁界に関し、注目されるようになった現在、鉄道においても、直流から交流まで測定可能なフラックスゲート方式の磁界測定機を用いて測定し、国際規格に準拠した磁界測定結果をどのように評価すべきかが課題となった。

そこで、本稿では鉄道車両から主に発生する直流から20kHzにおける複数の周波数からなる磁界について、磁界の評価手法を考案することを目的とし、検討を行ったので報告する。

2. ICNIRPのガイドライン

我が国では、鉄道車両から放射される磁界に対する評価方法や規制値については、現在は、特に定められていない。

そのため、一般的にはICNIRPのガイドラインの参考レベルを判断基準とすることが多い。この参考レベルのうち、交流磁界については、脳内誘導電界と中枢神経系以外の身体の組織における磁界の誘導電流を考慮し導出された値であり、2010年に改訂されたICNIRPのガイドラインの交流磁界に対する公衆ばく露の参考レベルのグラフを図1に示す。³⁾

また、ICNIRPガイドラインにおける直流磁界に対する公衆曝露の参考レベルは、 400mT とされている。⁴⁾

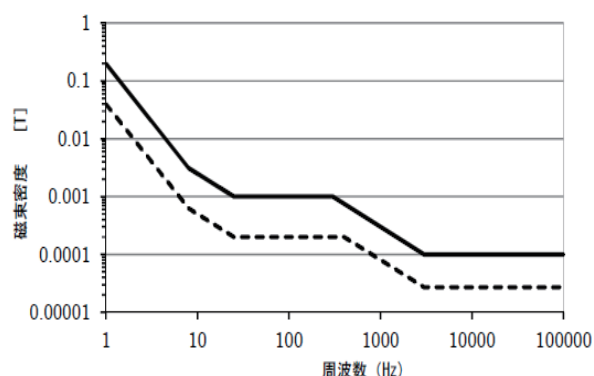


図1 交流磁界に対するICNIRPのガイドラインの参考レベル(実線:職業的曝露、点線:公衆曝露)

3. 評価方法

3. 1. 直流磁界

鉄道車両から発生する直流磁界を評価するためには、時間領域において最大値を知る必要がある。ただし、時々刻々と変化する磁界において、直流磁界をどのように抽出するかが課題となる。

そこで、本稿では、次の方法により直流磁界を抽出することとした。まず、磁界測定機から得られた時間領域の三軸の磁束密度を三軸合成する。その後、1秒の移動平均処理を行い、これを直流磁界とした(図2参照)。ただし、鉄道車両内では、力行から制動へ状

態が変化する時など、瞬時に電流の向きが変化する場合があります。この状態は三軸合成結果では確認することができないため、図3に示すように各軸において0を横切って変化しているか否かを確認し、0を横切って変化している磁界を「変動値」として評価することとした。

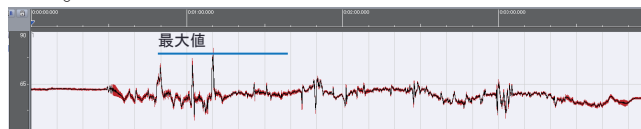


図2 直流磁界の評価方法（その1）

赤線:3軸合成後の波形、黒線:1秒移動平均後の波形



図3 直流磁界の評価方法（その2）（例：X軸）

3. 2. 交流磁界

鉄道車両から発生する交流磁界を評価するためには、周波数領域において最大値を知る必要がある。我々は、磁界測定機から得られた時間領域の磁束密度のデータをフーリエ変換し、周波数領域において解析を行うこととした。ただし、鉄道車両における磁界の評価を行う場合、時々刻々と変化し放射される磁界に対して、力行や制動といった走行状態全体をフーリエ変換すると、走行状態全体で平均化されるため、磁界の状態を正確に評価できているとは言い難い。

そこで、本稿では、次の方法により交流磁界を評価することとした。まず、第一段階として、1[sec]毎にフーリエ変換し、作成した時間・周波数・強度からなる3次元データを2次元カラーマップとする。（図4）第二段階として、第一段階で得られた3次元データをICNIRPのガイドラインにより正規化し、2次元の評価カラーマップとする。（図5）

これにより、従来から用いられるグラフによる表記では評価したいデータの一面のみを示すにとどまり評価結果の把握が困難であったが、第一段階で得られた2次元カラーマップでは鉄道車内における磁界の周波数領域の時間変化が確認できるとともに、第二段階で得られる2次元評価カラーマップでは、ICNIRPのガイドラインの参考レベルとの「余裕度」の時間変化を確認することができるようになる。

4. まとめ

本稿では、測定した磁界の評価方法について検討を行った結果について述べた。

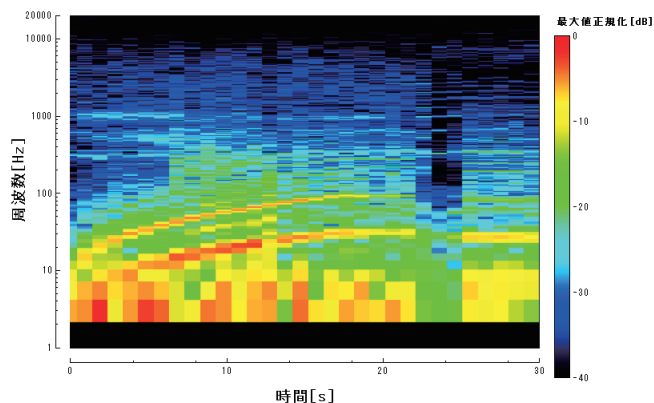


図4 力行時の磁束の変化（第一段階の処理結果）

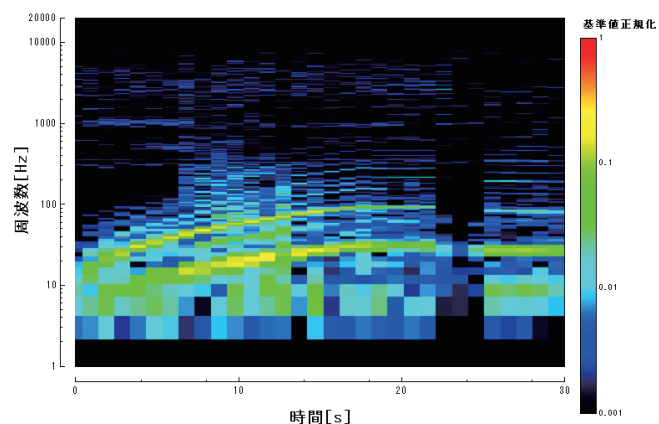


図5 力行時のガイドラインに対する余裕度の変化（第二段階の処理結果）

鉄道車両のように時間変化を伴う磁界の評価方法については現在明確には定められていない状況である。本稿で示した方法は過渡的変動に対し、ICNIRPのガイドラインで評価する方法を示したものである。

今後は、ICNIRPのガイドラインで示されている評価方法のひとつである複数周波数の磁界が発生している場合の評価方法について、検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1)経済産業省ホームページ：
http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/detail/setsubi_denjikai.html
- 2)電磁界情報センターホームページ：
http://www.jeic-emf.jp/whats_new/20120709.html
- 3)国際非電離放射線防護委員会," 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" 2010.
- 4) 国際非電離放射線防護委員会," 静磁界の曝露限度値に関するガイドライン"2009.

②⑤ 車車間通信を用いた路面電車周辺の自動車に関する運転支援システム

交通システム研究領域
環境研究領域

※林田 守正
坂本 一朗

長谷川 智紀
川野 大輔

竹内 俊裕
水嶋 教文

山口 大助

日岐 喜治

1. まえがき

国土交通省の ASV（先進安全自動車）プロジェクトは ITS（高度道路交通システム）等の先進技術を利用してドライバーの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車の技術開発、実用化、普及を促進している。当研究所は、この技術のうち通信利用型安全運転支援システムを路面電車にも展開し、自動車と路面電車間で車車間通信により位置、速度等の情報を授受し、接触や衝突を防止するための安全運転支援システム（以下「本システム」）を構築した。その仕様、および公道上の実車走行実験による機能検証について報告する。

2. 広島地区 ITS 公道実証実験について

本システムは、広島地区 ITS 公道実証実験連絡協議会が主催する世界初の路面電車－自動車間通信型 ASV デモンストレーション（デモ）の実施に合わせて開発されたものである。広島市では、路面電車が市民の足として定着しており、一日平均約 15 万人の利用がある。当研究所は、東京大学、(株)マツダ、広島電鉄(株)と共に上記協議会の一員として、700MHz 帯高度道路交通システム標準規格準拠の無線機を用いた、路面電車と自動車の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gresstツアーとして図 1 に示すようなデモを実施した⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。



図 1 路面電車と自動車の安全性向上システムデモ（イメージ）

デモにおいては、路面電車と自動車が道路空間を共有する箇所において、本システムを搭載した次世代型

路面電車（LRV）⁽³⁾と、独自の先進安全技術を盛り込んだ自動車（ASV5 対応乗用車）⁽²⁾により、双方の安全性が高まるようなシステムを提示した。

3. 支援システムのねらい

中央部分に路面電車（以下「電車」という）の併用軌道が敷設されている道路においては、図 2、図 3 に例示するような電車と自動車の接近場面が頻繁に生じる。しかし電車はハンドル操作による回避が不可能であり、また通行区分や制動能力等が自動車とは異なるため、自動車との接触や衝突等の事故につながる可能性が高まると予想される。

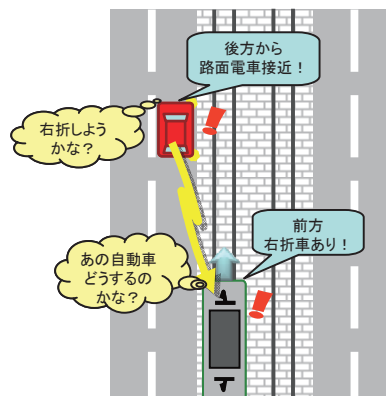


図 2 右折自動車の右後方から電車が接近する場面

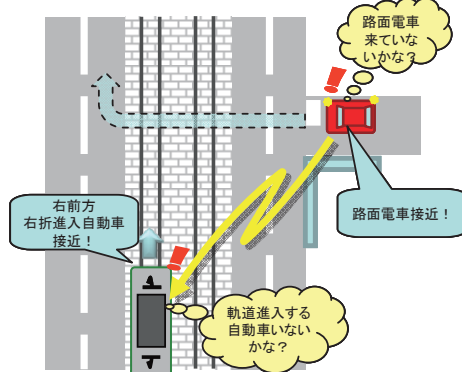


図 3 脇道から自動車が軌道を跨ぎ右折進入する場面
このような接近場面で、電車と自動車の間で無線通信による情報交換が行われ、双方の運転者に対し、相

手側車両の接近情報、注意喚起、相手車両側の検知確認等の運転支援が可能となれば、相互の安全性の向上を図ることができる考えた。

4. システムの構成と機能

本システムは、図4に示すように、無線機、GPS 測位装置、演算処理部、画面表示部等から構成される。無線機は自動車側と同一の 700MHz 帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 に準拠するもので、メッセージセットは通信利用型運転支援システムのガイドライン（国土交通省策定）をベースとする。演算処理部（専用小型設計コンピュータ）は、無線通信で得られる自動車運転情報（位置、车速、向き、ウインカ操作等）や、電車位置、電車车速等のデータを高速処理し、電車運転士向けの小型ディスプレイ上に、自動車の接近情報や注意喚起の支援情報を出力する。

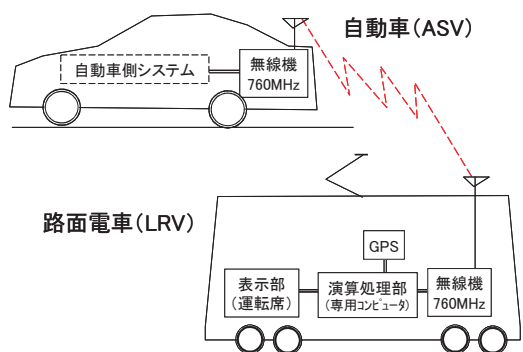


図4 車載安全運転支援システムの構成

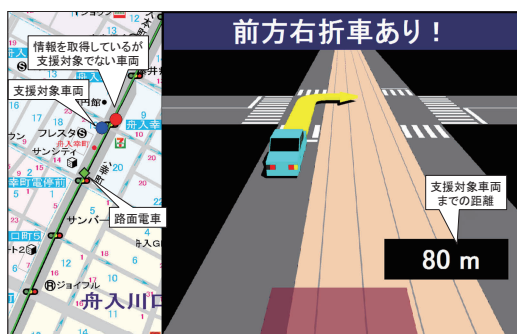


図5 前方に右折車が存在する場合の運転支援画面

電車に接近する自動車の走行状態（相対距離、進行方向、方向指示等）が予め本システムのロジックが定める条件に合致した場合に、図5に示すような場面に応じた模式的な接近画面表示と音声案内による支援機能が動作する。また自動車側にも、電車からのデータを受信して接近情報画面が運転席のヘッドアップディスプレイ上に表示され、同時に電車接近検知のデータを電車側に返信する機能を付加した⁽²⁾。

5. 公道走行実験による検証

本システムを搭載した LRV、および本システムへの対応機能を追加した先進安全自動車による公道走行実験を実施した。実験では広島電鉄江波一舟入幸町間および沿道（舟入通り等）に設定したコース上で4種類の接近場面を創出し、図6に例示するように、各場面において本システムが設計通りに機能し、安全性向上のための運転支援を自動的に行うことを確認した。



図6 実験中の接近場面における支援画面表示

6. まとめ

自動車の ITS、ASV の主要技術である車車間無線通信を路面電車にも展開し、自動車側と位置、速度等のデータを授受して安全運転を支援するシステムを構築した。その支援機能を、対応機能付自動車と共に実施した公道走行実験によって検証し、接近場面に応じて画面表示や音声による情報提供、注意喚起が自動的に行われることを確認した。なお今後の課題として、複数の通信機能搭載自動車に対応可能な支援手法（現在は1対1）、方向指示を出さずに右折する自動車への対応等が挙げられ、引き続き検討が必要と考える。最後に、御指導・御支援を頂いた広島地区 ITS 公道実証実験連絡協議会、および共同研究体を構成する東京大学、マツダ(株)、広島電鉄(株)の各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) 東京大学記者会見資料：広島における世界発の路面電車－自動車間通信型 ASV デモ（2013年9月3日）
- (2) マツダ(株)記者会見資料：マツダ、先進安全自動車「マツダ アテンザ ASV-5」の公道実証実験を開始（2013年9月3日）
- (3) 広島電鉄(株)プレスリリース：「広島における世界発の路面電車－自動車間ASVデモ」を実施します（2013年9月3日）

②⑥ シミュレーション技術を活用した路面電車の運転速度向上の検討

交通システム研究領域

※吉永 純

青木 義郎

日岐 喜治

1. はじめに

路面電車（併用軌道式）は道路上に軌道が設置されており、運転士の目視による安全確認の下、主に道路の交通信号機に従って運転される。そのため道路状況の影響を受けやすく、さらなる旅客サービス向上のためには、所要時間の短縮、速達性向上が望まれている。

そのためには交通信号機の設定を路面電車優先とすることが効果的ではあるが、渋滞の悪化等の懸念があり実現は困難である。したがって、路面電車の運転速度の向上によって改善する方法を検討した。

2. 運転速度向上のための要件調査

2. 1. 法定の最高速度の状況

路面電車の運転最高速度は、法令により、40km/h 又は敷設道路に指定された最高速度の低い方とされている。道路の最高速度は、交通状況や道幅等により指定されており、国内の路面電車の大半は最高速度が 40km/h に指定された道路に設置されている。

他方、車道が片側 2 車線以上（軌道敷を除く）の主要道路等には、最高速度が 50km/h の区間が見られる（全体の約 1 割）。この場合、周辺の自動車等より低速の 40km/h が路面電車の法定最高速度となっている。

2. 2. 速度抑制要因の調査

現状では、路面電車の走行速度が法定の最高速度に達しない状況が頻繁に生じている。そのため、その要因について、路面電車事業者 4 社を対象に、停留場間隔が比較的長い区間における速度抑制要因及び所要時分の内訳等について聞きとり調査を行った。その結果、以下が大きく影響していることが分かった（順序は多く挙げられた順序である）。

- (1) 右折車両・横断者の交通量の多さ
 - (2) 道幅が狭いことや併走車両の多さ
 - (3) 停留場間の交通信号機の変化予測が難しい
 - (4) 見通しが悪いこと
 - (5) 線路の勾配により安全上速度抑制するため
- 以上のうち(3)以外は、事故防止のための安全上必要

な措置と言える。他方、(3)の交通信号機の問題については、電停発車時等で手前の信号の状況から予測可能な場合もあるとの見解も得られた。

路面電車の所要時分の内訳は、運転時間 60%、停留場での乗降時間が 14%に対し、信号待ちは 24%、という軌道経営者（1 社）の実態調査結果が得られた。

2. 3. 路面電車の事故発生状況

社団法人日本鉄道運転協会（当時）が調査した路面電車に関する詳細な事故状況資料について調べたところ、交差点内外が判別可能な事故のうち、交差点周辺での車両との事故が 192 件、交差点以外は 38 件となり、交差点付近での事故が非常に多いと言える。

2. 4. 交差点中間部での運転速度の向上方法

以上から、交差点の信号機の変化が予測可能で安全が確認できる状況下では、交差点の中間部での運転速度を高め、交差点通過速度は現在と同程度とすることが、安全性を低下させずに交通信号機での停車時間を減らせる対策としての有効と考えられる。

しかし交差点中間部の運転速度は、現状でも安全上の上限に近いと考えられるため、今回は、近年の路面電車の性能向上を踏まえ、40km/h を超えて道路側の最高速度に従う場合を想定し、その効果や安全性等をシミュレータにより検討することとした。

最近の低床式路面電車の加減速性能では、停留場間の距離が 250m 程で 40km/h での運転が可能である。

図 1 は、実在の区間で 250m の停留場間に 4 箇所の交通信号機付きの交差点があるケースで、うち交差点 4 が交通量の多い十字路（他は交通量の少ない T 字路）であり、電停 A 発車時点で交差点 4 の交通信号機の通過可否まで予測可能な場所である。このモデルの場合、現状 40km/h の運転（桃色）に対し、道路側の法定の最高速度による場合、3km/h 程度速度が高まり（赤線（43km/h））交差点 4 は現行の速度で通過しつつ、運転所要時分を 3 秒～94 秒（交差点 4 で停車せずに通過できる場合）短縮できると考えられる。

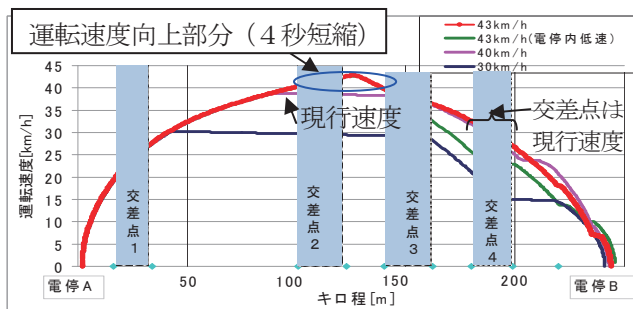


図1 最高速度向上時の運転曲線

3. シミュレータの作成

路面電車の速度が向上する場合、対向側交通が目測を誤り直前横断事故に至る懸念がある。そのため、精緻なCGによる風景や運転再現が可能なシミュレータソフトにより、一般ドライバー及び路面電車運転士による試験が可能なものを作成した。

交通信号機（歩行者用含む）の動作及び路面電車の加減速は実物と合わせるため、路面電車運転士約15名に依頼し、試走行及びアンケートを行い微修正を加えた。その結果、さまざまな安全上の試験を行うために実在の区間4カ所を含む仮想の約3kmの循環線とした。図2に画面例を示す。



図2 実物写真（左）とシミュレータ画面（右）

4. シミュレータによる横断タイミング評価実験

4. 1. 試験方法

実験参加者が運転する自動車車両（自車両）は右折待機状態で路面電車が接近するのを映像で見ながら、安全に横断できると感じる最後のタイミング（ぎりぎりの間合い）で右折を行って頂き、右折開始時の路面電車との間隔等から速度差の影響を調査する（図3）。

路面電車周辺での運転への慣れ／不慣れの影響の把握のため、近畿大学次世代基盤技術研究所の協力の下、表1に示す各属性の一般ドライバー計42名の協力を得て実施する。

他方、路面電車は自車両から157m前方に停車後、35km/h又は45km/h（速度向上時想定）で接近する。仮にタイミングを逸した場合には繰り返し行う。

また、試験ログを再生した映像により、路面電車運転士に運転を見て頂き路面電車の運転法を聴取する。

4. 2. 試験結果

自車両の右折開始から、路面電車がその場所を通過

表1 実験参加者属性〔人〕

属性	路面電車の周辺の運転		合計
	慣れている	慣れていない	
20・30代	男性 11	6	17
	女性 3	3	6
40・50代	男性 0	2	2
	女性 2	1	3
60・70代	男性 1	8	9
	女性 3	2	5

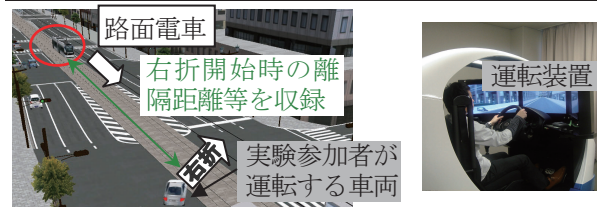


図3 試験状況

するまでの秒数（少ないほど路面電車が接近する）と、右折開始時における路面電車との離隔距離について図4に示す。「慣れている」属性では運転速度向上時に大きく時間が短縮（接近）しているが、離隔距離にはあまり変化が無い。これは、目印の地点を決めておき右折判断する方が多いためと考えられる。

「慣れていない」属性の20・30代は同様の傾向だが、40代以上の方については、時間にはあまり変化が無いものの、離隔距離は大きな変化が見られる。これは速度の推測が安定的ではないためと考えられる。実験参加者からは路面電車は大きいため目測での速度等の把握が難しい、との意見が得られている。しかし、いずれの属性の方についても比較的安全に右折できる余裕を確保して運転されていると言える。

他方、路面電車運転士によると右折待機車がいる場合、速度は上げず惰行運転を行う、との見解であった。

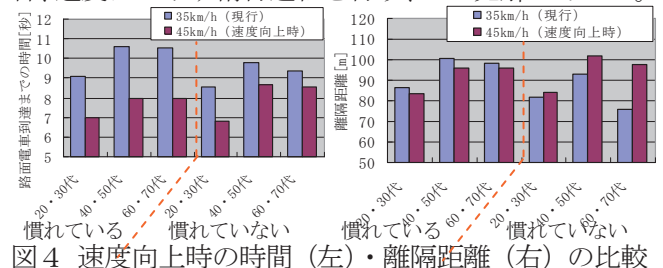


図4 速度向上時の時間（左）・離隔距離（右）の比較

5. まとめ

交差点中間部での運転速度向上を想定し、対向側の右折車の視点での比較試験を行った。試験では、速度向上した場合、右折車における余裕時間は短くなるものの、安全な範囲であることが示された。ただし、一部の方には、目測で路面電車の速度を的確に把握できない様子も見うけられた。今後は、見通しの悪い場所や、目測を誤る恐れのある天候等の異なる環境下における影響等についての研究も最高速度向上のためには必要と考えられる。

②⑦ 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

交通システム研究領域

※日岐喜治 佐藤久雄 千島美智男 森裕貴

1. はじめに

ロープウェイは、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、過去の事故と同種の原因の事故の発生が指摘されており、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。

その際、同種の事故の発生状況分析結果の特徴と

して、チェアリフトにおける線路上での乗客のいす式搬器からの落下事故(以下「線路上落下事故」という)の発生頻度が最多となっていることを明らかにした。

また前報⁽²⁾では、本事故の発生状況等に関する詳細な分析結果と事故防止のための基本的な方策について考察した結果について報告した。

本事故の再発防止のためには、取り得る対策の一層の検討が必要と考えられ、本報では、本事故に関するより具体的な再発防止対策について検討した結果について報告する。

2. 同種の事故の発生状況

1999年度から2008年度までの過去10年間に発生した全事故248件について、同種の事故の発生状況分析を実施⁽¹⁾した結果を表1に示す。同種の事故は、232件発生している。ここでの同種の事故は、「事故の主要な原因が同じで、事故の種別も同じ事故」と定義している。例えば、風が主要な原因で搬器衝突事故が複数発生している場合は、これらの事故件数を集計して、この事故の同種の事故件数としている。

表1 過去10年間(1999-2008)における同種の事故の発生状況

No.	事故の種別	原因種別 (ITTAB)	原因の内容 (ITTAB)	事故件数 ※2		事故発生頻度(%) ※3
1	搬器落下事故	Vehicles (車両) ※1	Failure of grip to clamp on haul rope (握索装置の不完全握索)	2	4	(-)
2	搬器落下事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Bad loading (passenger not paying attention) (乗車時における乗客の不注意)	2		(-)
3	搬器衝突事故	External to lift (外的要因)	Wind (風)	7	17	(-)
4	搬器衝突事故	Behavior of operator or mechanic (運転者あるいは保守係員の挙動)	Mistake in operation (運転ミス)	4		(-)
5	搬器衝突事故	Vehicles (車両) ※1	Grip slipping (握索装置の滑り)	4		(-)
6	搬器衝突事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Bad loading (passenger not paying attention) (乗車時における乗客の不注意)	2		(-)
7	人身障害事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Skier falls off chair on line (線路上でいす式搬器から落下)	60 (33)	211 (55)	24
8	人身障害事故	Accidents that injure a worker (作業員負傷の事故)	Operating personnel during operation (運転中の係員事故)	40		16
9	人身障害事故	Behavior of operator or mechanic (運転者あるいは保守係員の挙動)	Mistake in operation (運転ミス)	29		12
10	人身障害事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Skier hit by chair (いす式搬器による打撲)	26 (7)		10
11	人身障害事故	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)	22 (8)		9
12	人身障害事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Misloading (passenger fell down) (乗車時における乗客の転倒、転落)	12 (3)		5
13	人身障害事故	Behavior of passenger transported (乗客の挙動)	Bad loading (passenger not paying attention) (乗車時における乗客の不注意)	10 (3)		(-)
14	人身障害事故	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)	7 (1)		(-)
15	人身障害事故	External to lift (外的要因)	Wind (風)	3		(-)
16	人身障害事故	Vehicles (車両) ※1	Chair damage (いす式搬器の損傷)	2		(-)
合 計				232 (55)		94

※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：()内は子供の件数

※3：全事故件数(248件)に対する発生頻度(5%以上を記載)

分析結果の特徴的な点として、(1)全事故件数に対する同種の事故の発生割合が高いこと（全事故件数の約94%）、(2)人身障害事故においてその特徴が顕著に現れていること（同種の事故件数の約91%）、(3)特に、「線路上落下事故」の発生頻度が最多であること（同種の事故件数の約26%、全事故件数の約24%）、(4)その約半数が子供の事故であること（「線路上落下事故」件数の約55%）などがあげられる。

索道事故の低減のためには、この同種の事故の低減が必要であり、この中でも特に、発生頻度が最多となっている「線路上落下事故」の低減が非常に重要になると考えられる。

3. 「線路上落下事故」の発生状況

上記の10年間（1999年度から2008年度）に発生した同種の事故232件の中で、最多の発生頻度となっている「線路上落下事故」60件について、発生状況に関する詳細な分析を実施⁽²⁾した。

分析結果の特徴的な点として、(1)特殊索道の方式別割合では、固定循環式チェアリフトにおける事故が自動循環式に比べて圧倒的に多く発生しており（図1）、固定循環式における搬器種別割合では、2人乗り搬器の事故が最も多いこと（図2）、(2)セーフティバー有無による事故の割合は、セーフティバー付きの場合の方が高くなっていること（図3）、(3)事故の発生状況は、セーフティバー無しの場合、乗車中に「バランスを崩す」ことにより発生しており、セーフティバー付きの場合は、「セーフティバー下ろさず」「セーフティバー上げ時・バランス崩す」などにより発生してい

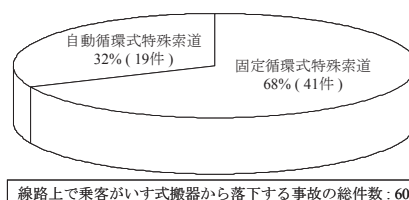


図1 「線路上落下事故」における特殊索道の方式別割合

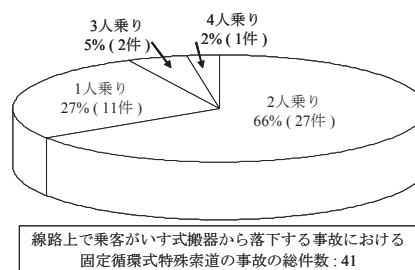


図2 「線路上落下事故」における固定循環式特殊索道の搬器種別割合

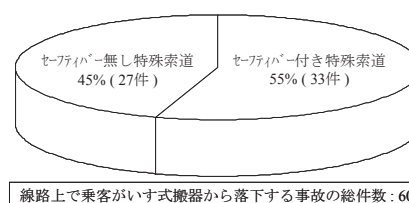


図3 「線路上落下事故」におけるセーフティバー有無の割合

ること（表2）、(4)子供の事故の割合は、セーフティバー有無を問わず高いこと（図4、図5）などがあげられる。

セーフティバー有無による事故の割合が、セーフティバー付きの場合の方が高くなっている点については、事故の発生状況に示されるように、セーフティバーの機能・操作性等

表2 「線路上落下事故」における事故の発生状況

No.	セーフティバー	事故発生場所	事故発生状況	事故件数 ※1			事故発生頻度(%) ※2
1	無	出発後	乗車後の姿勢不安定・バランス崩す	7 (4)	7 (4)	27 (15)	12
2		線路中間	線路中・バランス崩す	8 (4)	16 (9)		13
3			乗客の不注意	7 (4)			12
4			非常停止で落下	1 (1)			(-)
5		到着前	降車準備時・バランス崩す	4 (2)	4 (2)		7
6	有	出発後	セーフティバー下ろさず	4 (1)	4 (1)	33 (18)	7
7		線路中間	セーフティバー下ろさず	5 (3)	12 (6)		8
8			乗客の不注意	4			7
9			セーフティバーと座面の隙間から落下	3 (3)			5
10		到着前	セーフティバー上げ時・バランス崩す	7 (4)	17 (11)		12
11			セーフティバー上げ時・非常停止による落下	4 (3)			7
12			セーフティバー上げ気付かず・バランス崩す	3 (3)			5
13			セーフティバー早く上げ	2 (1)			(-)
14			乗客の不注意	1			(-)
合 計				60 (33)			100

※1：()内は子供の件数 ※2：線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故の全件数（60件）に対する発生頻度（5%以上を記載）

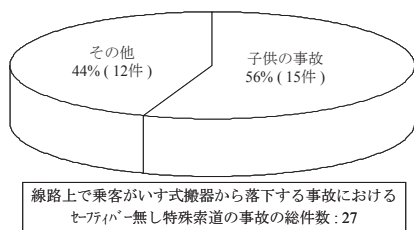


図4 「線路上落下事故」におけるセーフティバー無し特殊索道の子供の事故割合

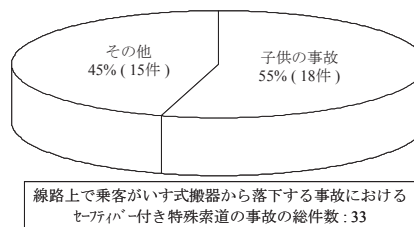


図5 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き特殊索道の子供の事故割合の向上が求められていることによると考えられる。

同種の事故の中で最多の発生頻度となっている「線路上落下事故」の再発防止のためには、取り得る対策の一層の検討が必要になるとともに、再発防止策を重点的に講じていく必要があると考えられる。

4. 「線路上落下事故」の再発防止対策

「線路上落下事故」の発生状況分析結果（表2）に基づき、ハード面およびソフト面から考えられる再発防止対策について検討を実施した結果を表3に示す。

セーフティバー無しの場合の事故は、約70%が乗車後・線路中・降車準備時において「バランスを崩す」ことによ

り発生している。ハード面からの事故防止のための方策としては、「乗客を搬器に保持できる装置の導入」、例えば、セーフティバー・専用ベスト・シートベルト等の導入が有効な方策と考えられる。

専用ベストについては、マグネティック社の「Magnetickid」のシステムがあり（図6）、フランス、アンドラ、オーストリア、スイス、アメリカの13のスキー場で導入されている⁽³⁾。このシステムでは、チェアリフトのシートの背もたれに永久磁石が埋め込まれており、子供はメタリック・プレートをついたベストを着て乗車する。乗車時に、ベストのメタリック・プレートがシートの磁石に吸着され、乗車中の子供の安全性の向上が図られている。

セーフティバー無しの場合のソフト面からの方策としては、「乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法および降車方法の啓蒙）」、「係員の対応の改善（乗車後および降車前の監視体制の徹底）」等が有効な方策と考えられる。

一方、セーフティバー付きの場合においては、出発後に「セーフティバー下ろさず」、到着前に「セーフティバー早く上げ」により事故が発生している。ハード面からの方策としては、「セーフティバーの自動開閉機構の導入」、あるいは、専用ベスト等の「乗客を搬器に保持できる装置との併用」等が有効な方策と考えられる。

セーフティバーの開閉については、国内では基本的に手動のシステムとなっており、海外の大型のリフトでは、自動のシステムも導入されている。開閉の自動化は、設備面が複雑となり、コストも高くなるため、国内での導入は進んでいない。

表3 「線路上落下事故」における事故防止のための方策例

No.	セーフティバー	事故の発生場所	事故発生状況	事故防止のための方策例	
				ハード面	ソフト面
1	無	出発後	乗車後の姿勢不安定・バランス崩す	・セーフティバー、専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹底）
2		線路中間	線路中・バランス崩す	・セーフティバー、専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹底）
3			乗客の不注意	・セーフティバー、専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹底）
4			非常停止で落下	・前後方向の動揺減衰機構の導入 ・セーフティバー、専用ベスト、シートベルト等の導入	・非常停止減速度の適切な設定と調整 ・係員の対応の改善（非常停止操作時の案内体制の徹底）
5		到着前	降車準備時・バランス崩す	・セーフティバー、専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい降車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（降車前の監視体制の徹底）
6	有	出発後	セーフティバー下ろさず	・セーフティバーの自動開閉機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティバー操作位置、操作方法の案内、啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後のセーフティバー操作の監視体制の徹底）
7		線路中間	セーフティバー下ろさず	・セーフティバーの自動開閉機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティバー操作位置、操作方法の案内、啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後のセーフティバー操作の監視体制の徹底）
8			乗客の不注意	・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹底）
9			セーフティバーと座面の隙間から落下	・小さい子供等が滑り落ちることのないセーフティバーへの構造変更 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹底）
10		到着前	セーフティバー上げ時・バランス崩す	・セーフティバーが緩やかに上がる機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・セーフティバー上昇速度の適切な設定と調整 ・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティバー操作方法の案内、啓蒙） ・係員の対応の改善（降車前のセーフティバー操作の監視体制の徹底）
11	セーフティバー上げ時・非常停止による落下		・前後方向の動揺減衰機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・非常停止減速度の適切な設定と調整 ・係員の対応の改善（非常停止操作時の案内体制の徹底）	
12	セーフティバー上げ気付かず・バランス崩し		・セーフティバーが開くことを知らせる（音、振動等）機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（セーフティバー上げ時、同乗者に声をかける操作方法の案内、啓蒙） ・係員の対応の改善（降車前のセーフティバー操作の監視体制の徹底）	
13	セーフティバー早く上げ		・セーフティバーの自動開閉機構の導入 ・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティバー操作位置、操作方法の案内、啓蒙） ・係員の対応の改善（降車前のセーフティバー操作の監視体制の徹底）	
14	乗客の不注意		・専用ベスト、シートベルト等の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しい降車方法の啓蒙） ・係員の対応の改善（降車前の監視体制の徹底）	

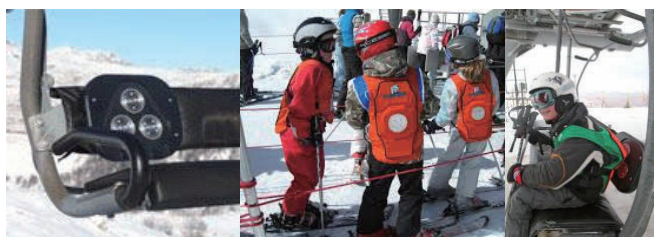


図6 専用ベスト(Magnestick kid)



図7 セーフティバーの汎用型ロック機構(Magnestick bar)

これに対し、マグネットを用いた比較的シンプルな自動ロック装置と自動開機構のシステムとして、マグネスティック社の「Magnestick bar」のシステムが開発され（図7）、フランスの6カ所のスキー場の25のリフトで導入されている⁽³⁾。このシステムでは、セーフティバーの開動作は手動であるが、閉動作完了とともにシート下のマグネット・モジュールがセーフティバーをロックするとともに、停留場到着時にはマグネット・モジュールが自動的にセーフティバーを開放するシステムである。

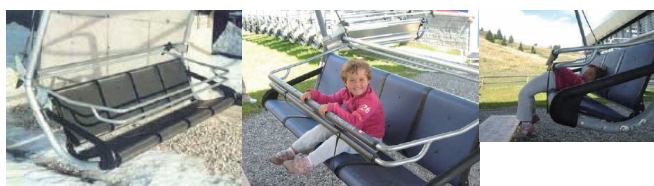
また、セーフティバー付きの場合において、線路途中で、子供が「セーフティバーとシート座面の隙間から落下」する事故が発生している。ハード面からの方策としては、「小さい子供等が滑り落ちることのないセーフティバーへの構造変更」等が有効な方策と考えられる。



(a) ライトナー社の「Kidstop」



(b) トッペルマヤ社の「Skippy」



(c) 二重構造のセーフティバー(イタリア)

図8 より安全なセーフティバーの例

これに対して、より安全なセーフティバーへの構造変更の検討がされており、図8にその例を示す。(a)はライトナー社の「Kidstop」⁽⁴⁾、(b)はトッペルマヤ社の「Skippy」⁽⁵⁾、(c)はイタリアで検討された二重構造のセーフティバーの例⁽⁶⁾である。(a)と(b)では、専用のクランプをセーフティバーに取り付け、隙間を減少させる工夫がなされている。また、(c)については、イタリアで1997年から10年間実施された安全対策のプロジェクトで使用されたものであり、子供の落下事故に対する有効性が報告されている。

また、到着前に「セーフティバー上げ時・バランス崩す」、「セーフティバー上げ時・非常停止による落下」、「セーフティバー上げ気づかず・バランス崩す」等により乗客の落下事故が発生している。ハード面からの方策としては、専用ベスト等の「乗客を搬器に保持できる装置との併用」等が有効な方策と考えられる。

セーフティバー付きの場合のソフト面からの方策としては、「乗客への注意喚起方法の改善（正しい乗車方法および降車方法の啓蒙、正しいセーフティバー操作位置、操作方法の案内、啓蒙）」、「係員の対応の改善（乗車後および降車前のセーフティバー操作の監視体制の徹底）」等が有効な方策と考えられる。

5. まとめ

索道事故の低減のためには、同種の事故の中で発生頻度が最多となっている「線路上での乗客のいす式搬器からの落下事故」の低減が非常に重要になると考えられる。

本報では、本事故に関する具体的な再発防止対策について検討した結果について報告した。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。

過去の事故を教訓として、本事故の再発防止のために一層の安全対策を講じることが期待される。

(参考文献)

- (1) 佐藤ほか2名、第19回交通・物流部門大会講演論文集、2010-12、237-240
- (2) 佐藤ほか2名、平成24年度 交通研フォーラム2012、2012-11、105-108
- (3) <http://www.magnestick.net/securite-telesiege/en/87/sommital.html>
- (4) Leitner NEWS, April 2008
- (5) <http://www.funivie.org/web/sistemi-anticaduta-per-seggiovie-la-proposta-doppelmayer/skippy-serfaus-6cld/>
- (6) ITTAB2007 Proceedings

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25年度 交通安全環境研究所フォーラム2013 講演概要

平成25年12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。