

平成 24 年度
交通安全環境研究所フォーラム 2012
講 演 概 要

2012. 11. 6, 7
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における安全性の確保、地域環境の改善、地球温暖化対応等の諸問題は、将来に向けての継続的な取り組みが求められる極めて重要な社会的課題です。

独立行政法人交通安全環境研究所は、この重要な陸上交通分野の安全、環境、エネルギーに係る研究等を実施しています。研究活動を通じ、行政の施策への支援を目的として、安全・環境に関する基準の策定と国際調和活動に貢献するほか、自動車等の型式審査を通じて、安全と環境基準への適合性の確認、ならびにリコールに関する技術検証機能の強化にも取り組んでいます。

本フォーラムでは、その研究成果をご紹介する予定としており、今回のフォーラムの開催が、今後、市民、行政、産業界等が一体となって利便性・経済性の観点も含めた交通社会全体のあり方を探求していく上で、一つのきっかけとなれればと考えております。

また、来場された皆様から忌憚のないご意見をいただくことにより、今後の当研究所の活動をさらに充実し、当研究所に対する社会的な信頼と期待に的確かつタイムリーに応える所存でございます。

今後とも、皆様のご理解、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

平成24年11月

独立行政法人 交通安全環境研究所

理事長 飯 村 修

2012.11.6(Tue)

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 (一財)日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 国際情勢分析グループマネージャー：久谷 一朗 国内外エネルギー情勢と日本における 自動車用エネルギーの将来
【環境研究領域の取り組み】	
11:10~11:25	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
11:25~11:45	■講演1 上席研究員：鈴木 央一 公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか —(第1報)ユーザーの使用状況で起こりうる燃費変動の定量的な影響— 実際にユーザーが使用している時の燃費は、一般に公表されている燃費審査値よりも低いケースが多い。その差を生む原因として、気温などの環境条件の違い、エアコン使用など燃費試験で考慮されない事項と、短距離、高速走行など使い方による燃費変動幅について調査を行った。いくつかの車型について試験を行った結果、それらが重複した条件では実燃費に近いとみられるレベルとなり、現実はその影響が大きく作用していることを示した。
11:45~12:05	■講演2 主席研究員：新国 哲也 電気自動車の環境性能とその試験法の課題について 量産型の電気自動車が発売されてから3年が経過し、電気自動車は私たちの生活により身近な存在となった。その一方で、東日本大震災の影響などにより原発を含めた電源構成に関する議論が高まっている。そのような状況の中、電気自動車の環境性能に対する見方も変化しつつある。本講演では、電気自動車の環境性能について概括し、また現状の電気自動車試験法の課題と改善策案について説明する。
12:05~13:40	【昼休み】(ポスターセッション)
13:40~14:00	■講演3 研究員：水嶋 教文 超小型車の導入に向けた課題とその解決への提案 国土交通省は、2012年6月に超小型車の導入に向けたガイドラインを発表した。超小型車は、環境負荷の小さい新たなモビリティとして注目されているが、安全性の確保や交通流悪化の抑制が課題として挙げられる。本講演では、導入に向けた課題の解決策を提案すると共に、それが交通流および環境負荷へ及ぼす影響を交通流シミュレーションにより解析したので、結果を紹介する。
14:00~14:20	■講演4 上席研究員：石井 素 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 平成20年度~23年度に実施した、環境省研究プロジェクト「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その評価に関する研究」において、バイオディーゼル燃料使用時の排出ガスの実態調査およびその対策を検討した。本講演では、その成果を報告するとともに、国内におけるバイオマス燃料導入に向けた今後の方向性について、交通研の考えを述べる。
14:20~14:35	■総合質疑■

審査・リコール・国際調和関連

Time	講演内容
【自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み】	
14:35~14:55	■講演5 自動車審査部長：小田 曜作 自動車審査部における審査の概要について 高い技術力による厳正な審査と、申請者にとって利便性・合理性の高い審査を両立することが、従来にも増して強く求められている中で、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取り組みについて概説する。
14:55~15:15	■講演6 リコール技術検証部長：岩田 剛和 トラック・バスの構造・装置に係る最近の不具合・事故の要因及び対策に関する考察 —特に使用環境に係る要因に着目して— 昨年度の本フォーラムでは、トラック・バスの構造・装置に係る不具合・事故には点検整備、使用環境及び設計・製造の各要因が複雑に絡みあっていることをリコール技術検証の経験から分析し、これらの要因に対する対策を総合的な観点から提案した。今年度は、このうち特に使用環境に係る要因に着目し、より掘り下げた分析と対策に関する考察を試み、その内容を報告する。
15:15~15:45	【コーヒーブレイク】(ポスターセッション)
【自動車国際調和室の取り組み】	
15:45~16:05	■講演7 上席研究員：坂本 一朗 自動車騒音に関する基準の国際調和 自動車騒音に関する基準の国際調和が進展している。二輪車の騒音規制については、環境省中環審よりECE規則の国内導入の答申が出された。四輪車の騒音規制に関しても、日本が積極的に国際統一規制値を提案している。また、日本のガイドラインをベースに「静かな車」対策の世界統一基準化も検討されている。本講演では、自動車の騒音に関する国際基準調和の活動について述べる。
16:05~16:20	■総合質疑■



Time Table

2日目テーマ：交通における新技術の導入と安全性確保への取り組み

2012.11.7(Wed)

Time	講演内容
10:00~10:45	■招待講演1 東京工業大学准教授：實吉 敬二 ステレオカメラによる交通環境認識と歩行者の検出
【自動車安全研究領域の取り組み】	
10:45~11:00	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
11:00~11:20	■講演1 主席研究員：関根 道昭 歩行者事故予防に向けた高齢者の行動特性と 道路横断タイミングに関する基礎調査 近年、高齢者の交通事故の割合が増えており、道路横断中に事故に遭うケースが目立っているため、高齢者の行動特性、歩行速度、実車を使った道路横断時の判断や動作などの調査・実験を行っている。調査結果に基づき事故予防のための車両から見た安全対策等について報告する。
11:20~11:40	■講演2 主席研究員：児島 亨 通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を 提示した場合のドライバの運転行動に関する研究 第5期先進安全自動車（ASV）推進計画において、歩行者事故の分析及び対策検討が行われており、対策の一つとして、歩車間通信に関する検討が行われている。本研究では一般ドライバが運転する車両が歩行者と接近または衝突する可能性のある交通場面において、歩行者の情報をドライバに提示した場合の運転行動について評価するため、ドライビングシミュレータを用いた実験を行った。実験の結果から、歩行者の情報を提示することによって期待される効果及び今後の課題等について報告する。
11:40~12:00	■講演3 研究員：田中 信壽 衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの性能評価と 効果推定に関する検討 交通事故死者数全体に占める歩行中の死者数の割合は、自動車乗車中のそれを抜き最も大きな割合を占めるに至っており、歩行者保護はさらなる死亡事故削減を目指す上で重要な課題となっている。本研究では、予防安全技術の一つとして歩行者事故の防止や衝突時の被害軽減が期待される、衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの性能定義のあり方と、効果評価手法を実際にシステムが搭載された車両を用いた実験により検討した。本報告では、実験によって明らかとなった衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの特性を紹介するとともに、この特性の実態を反映させた新たな性能定義と効果評価手法について提案する。
12:00~12:20	■講演4 主席研究員：松井 靖浩 車両衝突時の歩行者被害について 歩行者を検知し、緊急ブレーキにより衝突速度を下げるなどの予防安全システムが開発されている。自動ブレーキが作動した場合、衝突速度は低下するが装置普及のためには、衝突速度の低下が歩行者の被害軽減に及ぼす影響を精度良く把握する必要がある。ここでは、歩行者モデルを50歳代の男性平均身長として、セダン・軽乗用車・SUVの車両を対象に衝突速度を20・30・40・50km/hと変化させた場合の有限要素解析を行い、歩行者の頭部/胸部傷害リスクを予測している。調査結果から、車両衝突速度低減による歩行者被害軽減状況について報告する。
12:20~12:35	■総合質疑■
12:35~13:50	【昼休み】（ポスターセッション）

Time	講演内容
13:50~14:35	■招待講演2 東日本旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 電気ネットワーク部 課長：馬場 裕一 無線を用いた新しい列車制御システムATACSの 安全確保の考え方について
【交通システム研究領域の取り組み】	
14:35~14:50	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
14:50~15:10	■講演5 主席研究員：吉永 純 運転状況記録装置を活用した運転状況分析による 安全性向上への取り組み 鉄道の運転状況記録装置のデータを分析することによって、車両故障、運転曲線等を把握することができる。データを活用するための簡易な分析方法を提示するとともに、当研究所の列車運行システム安全性評価シミュレータを用いた運転状況等の再現および安全性向上に資する取り組みについて報告する。
15:10~15:30	■講演6 研究員：工藤 希 鉄道用予防保全システムを目指して —画像処理技術を用いた地上設備の状態判断— 地方鉄道の保守コスト低減を目的として、営業車両にて地上設備（地上信号機の現示状況、踏切遮断かんの開動作状況、発条転つ機の転換動作状況など）を監視し、経年劣化を検出することで予防保全に活用可能なシステムを開発した。これを用いて、実際に営業路線で実験を行った結果と、今後の方向性について報告する。
15:30~16:00	【コーヒープレイク】（ポスターセッション）
16:00~16:20	■講演7 上席研究員：佐藤 安弘 営業車両による脱線係数観測データの活用について 鉄道の走行安全性を評価する指標として重要な脱線係数は、近年、営業車両によって常時観測することができるようになった。営業車両で日々取得されたデータを軌道の保守などへ活用することを目標に、新たなデータ分析手法や従来の保守管理との関係等について考察したので報告する。
【鉄道認証室の取り組み】	
16:20~16:40	■講演8 鉄道認証室長：田代 維史 鉄道の安全関連国際規格に対する認証と 交通研の果たす役割 鉄道業界では国内メーカーの国際展開が進展しているが、海外の鉄道プロジェクトでは、国際規格等への準拠とともに、第三者機関による認証を求められることが多く、鉄道分野の国際規格適合性に関する認証機関が必要とされている。今回交通研では、国際規格IEC 62425（安全関連電子システム）について、独立行政法人製品評価技術基盤機構から日本初の鉄道分野の製品認証機関として認定を取得した。認証活動の現状と今後の課題について報告する。
16:40~16:55	■総合質疑■
16:55~17:00	閉会の挨拶 理事：水間 毅

Poster Title

ポスタータイトル 会場:2階レセプションホール

1.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ー

※山口 恭平・鈴木 央一・酒井 克治(環境研究領域)

2.尿素SCRシステム搭載貨物車の路上走行時における NOx、NH₃およびN₂Oの排出挙動

※山本 敏朗・堤 玲子(環境研究領域)・岩田 恒夫・小川 恭弘(岩田電業)
加藤 裕(日本MKS)

3.電気自動車の間接的なCO₂排出と 環境影響評価の考え方

※小鹿 健一郎・奥井 伸宜・新国 哲也(環境研究領域)

4.ハイブリッド車の排出ガス・燃費評価のための 試験システム開発

※奥井 伸宜・新国 哲也(環境研究領域)・河合 英直(自動車安全研究領域)
鈴木 雅彦・高畑 洋(明電舎)・前嶋 康祐(小野測器)

5.次世代バイオマス燃料自動車のLCA ー木質バイオマスを原料とするガス化合成燃料の事例分析ー

※佐藤 由雄・川野 大輔・石井 素(環境研究領域)
渡辺 佑太郎(東京理科大学大学院)・小井土 賢二・堂脇 清志(東京理科大学)

6.ガソリン乗用車から排出されるVOCの 排出経路の実態把握

※山田 裕之(環境研究領域)

7.市街地における自動車単体騒音の実態について

※宝渦 寛之・坂本 一郎・熊澤 保子(環境研究領域)

8.マフラー性能等確認制度の導入効果について

※宝渦 寛之・坂本 一郎・田中 丈晴・村上 孝行(環境研究領域)

9.交通システムの車両・設備に関わる 安全性評価の標準化について

※林田 守正・廣瀬 道雄・吉永 純・長谷川 智紀・工藤 希(交通システム研究領域)

10.小型レール状態診断装置の開発

※森 裕貴・竹内 俊裕・佐藤 安弘・大野 寛之(交通システム研究領域)
網島 均(日本大学)・齊藤 嘉久(京三製作所)

11.ロープウェイ・リフトにおける事故分析と対策 ーいすゞ搬器からの落下事故対策ー

※佐藤 久雄・千島 美智男・日岐 喜治(交通システム研究領域)

12.省エネルギー運転、回生効果最大化のための オンボード運転支援装置の開発(第2報) ー営業線における動作確認試験についてー

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

13.モーダルシフト促進に向けた公共交通利便性向上 のための技術的検討

※大野 寛之・林田 守正・吉永 純・工藤 希(交通システム研究領域)

14.鉄道用磁界測定器の開発

※長谷川 智紀・竹内 俊裕・工藤 希・林田 守正(交通システム研究領域)
水間 毅(理事)・山本 靖宜(日本大学)・竹内 信次郎(羽野製作所)
星 靖洋(小野測器)

15.高齢ドライバーの歩行者被視認性とその改善

※青木 義郎(交通システム研究領域)
森田 和元・関根 道昭・田中 信壽(自動車安全研究領域)

16.チャイルドシートの側面衝突試験方法に関する調査

※田中 良知・細川 成之・山口 大助・松井 靖浩(自動車安全研究領域)

17.実車側面衝突実験時のチャイルドシートに搭載された 子供乗員の挙動に関する調査

※細川 成之・田中 良知・松井 靖浩(自動車安全研究領域)

18.先進緊急ブレーキシステム(AEBS)のための 模擬前方車両の妥当性に関する研究

ー実車両とソフトターゲットの電波反射特性の測定についてー

※廣瀬 敏也・松村 英樹・児島 亨・波多野 忠(自動車安全研究領域)

19.自動車信号灯火のSun Road Impact試験方法の開発

※塚田 由紀(自動車安全研究領域)

20.カント路を用いたコンテナセミトレーラの 横転検知手法の可能性

※波多野 忠・児島 亨・廣瀬 敏也(自動車安全研究領域)

21.リチウムイオン電池の安全性評価試験における 発生事象について

※松村 英樹・松島 和男(自動車安全研究領域)

※マークは、発表者です。

目 次

題 目	所 属	発表者名 (講演者)	頁
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	1
講演 1 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起こりうる燃費変動の定量的な影響ー	上席研究員	鈴木 央一	3
講演 2 電気自動車の環境性能とその試験法の課題について	主席研究員	新国 哲也	9
講演 3 超小型車の導入に向けた課題とその解決への提案	研究員	水嶋 教文	13
講演 4 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	上席研究員	石井 素	19
自動車審査部・リコール技術検証部の取り組み			
講演 5 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	小田 曜作	25
講演 6 トラック・バスの構造・装置に係る最近の不具合・事故の要因及び 対策に関する考察 ー特に使用環境に係る要因に着目してー	リコール技術検証部長	岩田 剛和	29
自動車国際調和室の取り組み			
講演 7 自動車騒音に関する基準の国際調和	上席研究員	坂本 一朗	33

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

7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	37
講演 1 歩行者事故予防に向けた高齢者の行動特性と道路横断タイミングに関する基礎調査	主席研究員	関根 道昭	39
講演 2 通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバの運転行動に関する研究	主席研究員	児島 亨	43
講演 3 衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの性能評価と効果推定に関する検討	研究員	田中 信壽	49
講演 4 車両衝突時の歩行者被害について	主席研究員	松井 靖浩	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	57
講演 5 運転状況記録装置を活用した運転状況分析による安全性向上への取り組み	主席研究員	吉永 純	59
講演 6 鉄道用予防保全システムを目指して —画像処理技術を用いた地上設備の状態判断—	研究員	工藤 希	63
講演 7 営業車両による脱線係数観測データの活用について	上席研究員	佐藤 安弘	67

■鉄道認証室の取り組み

講演 8 鉄道の安全関連国際規格に対する認証と交通研の果たす役割	鉄道認証室長	田代 維史	71
-------------------------------------	--------	-------	----

題 目	所 属	発表者名 (※主発表者)	頁
ポスターセッション（2階レセプションホール）			
①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ー	環境研究領域	※山口 恭平 鈴木 央一 酒井 克治	77
②尿素 SCR システム搭載貨物車の路上走行時における NO _x 、NH ₃ および N ₂ O の排出挙動	環境研究領域 岩田電業 日本MKS	※山本 敏朗 堤 玲子 岩田 恒夫 小川 恭弘 加藤 裕	79
③電気自動車の間接的な CO ₂ 排出と環境影響評価の考え方	環境研究領域	※小鹿健一郎 奥井 伸宜 新国 哲也	83
④ハイブリッド車の排出ガス・燃費評価のための試験システム開発	環境研究領域 自動車安全研究領域 明電舎 小野測器	※奥井 伸宜 新国 哲也 河合 英直 鈴木 雅彦 高畑 洋 前嶋 康祐	85
⑤次世代バイオマス燃料自動車の LCA ー木質バイオマスを原料とするガス化合成燃料の事例分析ー	環境研究領域 東京理科大学大学院 東京理科大学	※佐藤 由雄 川野 大輔 石井 素 渡辺佑太郎 小井土賢二 堂脇 清志	89
⑥ガソリン乗用車から排出される VOC の排出経路の実態把握	環境研究領域	※山田 裕之	93
⑦市街地における自動車単体騒音の実態について	環境研究領域	※宝渦 寛之 坂本 一朗 熊澤 保子	95
⑧マフラー性能等確認制度の導入効果について	環境研究領域	※宝渦 寛之 坂本 一朗 田中 丈晴 村上 孝行	97

題 目	所 属	発表者名 (※主発表者)	頁
⑨交通システムの車両・設備に関わる安全性評価の標準化について	交通システム研究領域	※林田 守正 廣瀬 道雄 吉永 純 長谷川智紀 工藤 希	99
⑩小型レール状態診断装置の開発	交通システム研究領域 日本大学 京三製作所	※森 裕貴 竹内 俊裕 佐藤 安弘 大野 寛之 綱島 均 齊藤 嘉久	103
⑪ロープウェイ・リフトにおける事故分析と対策 —いす式搬器からの落下事故対策—	交通システム研究領域	※佐藤 久雄 千島美智男 日岐 喜治	105
⑫省エネルギー運転、回生効果最大化のためのオンボード運転支援装置の開発（第2報） —営業線における動作確認試験について—	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 竹内 俊裕 工藤 希 林田 守正 水間 毅 古関 隆章 近藤圭一郎 濱崎 康宏	109
⑬モーダルシフト促進に向けた公共交通利便性向上のための技術的検討	交通システム研究領域	※大野 寛之 林田 守正 吉永 純 工藤 希	111
⑭鉄道用磁界測定器の開発	交通システム研究領域 理事 日本大学 羽野製作所 小野測器	※長谷川智紀 竹内 俊裕 工藤 希 林田 守正 水間 毅 山本 靖宜 竹内信次郎 星 靖洋	113

題 目	所 属	発表者名 (※主発表者)	頁
⑮高齢ドライバの歩行者被視認性とその改善	交通システム研究領域 自動車安全研究領域	※青木 義郎 森田 和元 関根 道昭 田中 信壽	115
⑯チャイルドシートの側面衝突試験方法に関する調査	自動車安全研究領域	※田中 良知 細川 成之 山口 大助 松井 靖浩	119
⑰実車側面衝突実験時のチャイルドシートに搭載された子供乗員の挙動に関する調査	自動車安全研究領域	※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩	123
⑱先進緊急ブレーキシステム（AEBS）のための模擬前方車両の妥当性に関する研究 ー実車両とソフトターゲットの電波反射特性の測定についてー	自動車安全研究領域	※廣瀬 敏也 松村 英樹 児島 亨 波多野 忠	125
⑲自動車信号灯火の Sun Road Impact 試験方法の開発	自動車安全研究領域	※塚田 由紀	129
⑳カント路を用いたコンテナセミトレーラの横転検知手法の可能性	自動車安全研究領域	※波多野 忠 児島 亨 廣瀬 敏也	131
㉑リチウムイオン電池の安全性評価試験における発生事象について	自動車安全研究領域	※松村 英樹 松島 和男	135

口 頭 発 表

環境研究領域における研究の概要と方向性

環境研究領域長

※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⁾、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中心として、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、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（H24年度）

特別・経常研究は7件に重点化を進めた。

- 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 排出実態の把握と新たな試験手順の策定
- 低燃費車に対応した燃費試験法の高度化研究
- 石油代替しうる次世代燃料の重量車への車両適用性と GHG 排出量の評価に関する調査研究
- 電動車認証試験法の高度化に関する研究
- LCA 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

2. 2. 国から委託された試験調査（H23年度実績）

「横断的プロジェクト」として、

- 次世代低公害車開発・実用化促進事業
主な試験調査として
- ポスト新長期規制適合車におけるオフサイクル試験時の排出ガス実態調査
- 騒音規制国際基準調和のための規制値及び導入影響調査
- 新たな試験サイクル有効性確認調査(WLTP)
- 自動車から排出される N₂O に関する調査
- OBD を活用した検査の高度化に関する調査
- 大型ハイブリッド車試験サイクルの課題明確化と対応方針立案のための試験研究
- ハイブリッド車等の静音性に関する対策の基準化に向けた調査
- 電気自動車バッテリー性能劣化に関する調査
- 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
- 新燃料の安全性・低公害性評価事業

2. 3. 競争的資金による研究（H23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)
- 超高感度分光法によるニトロ化合物リアルタイム検出器の開発（環境省）

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

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重要課題と考える。大幅な CO₂ 排出量低減のためには、将来的なエネルギーミックスの動向を見ながら電気動力を加えた車の大量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 LCA 評価やその劣化による車両性能への影響を知るために一充電走行距離や電力量消費率の変化等からその評価法を求める必要がある。

エネルギーの有効活用の観点からエネルギー利用の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。とくに、福島原子力発電所の事故により原子力エネルギーの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、カーボンニュートラルと言われるバイオマス燃料

についてLCA（ライフサイクルアセスメント）評価を
行いつつその利用を進める必要がある。

バイオマス燃料によるディーゼルエンジンの研究
は、低公害を維持しつつCO₂排出量増大を実効上緩和
する方策であり今後更に重要性が増すと考える。特に
日本では利用されている廃食用油バイオ燃料（BDF、
FAME）の現状・課題を明らかにするとともに、対策と
してHVO（水素化バイオ燃料）やBTL（バイオ合成軽油）
の可能性調査を進める必要がある。

また、地球温暖化物質としてCO₂以外にN₂Oやメタ
ンにも以前から注目しており、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
期対応による変化等について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、低環境負荷車両の開発・普及を
目指している。IPSハイブリッドバスだけではなく、
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、次世代バイオディーゼルエンジンの開発
を行う。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と考える。多様
なエネルギー源を追求する中で、LCAの観点から将来
の自動車エネルギーを検討する必要がある。

3. 2. 自動車地域環境対策分野

渋滞交差点等の局所的な環境基準未達成地域を中
心とした地域環境課題の解決、高度・複雑化する環境
規制や環境技術への対応、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自動車による環境
汚染の防止に貢献している。ディーゼル重量車の排出
ガス低減対策の中でNO_x後処理装置の耐久性・信頼性
確保やオフサイクルにおける排出ガス低減対策が求
められている。特にエンジンの電子制御化によりJE05
モードで排出ガス許容限度以下としつつ、実走行を含
むJE05モード外で燃費を改善する半面、排出ガスを
増大させる車両例が昨年認められた¹⁾。このような制
御をディフューストストラテジーとして定義し、その有
無の検証や再発防止のための技術的対策について行政
に迅速な具体的提案を行い、社会への影響を最小限
に抑えることに貢献した。今後はフォローアップと後
処理装置のレイアウト位置による温度変化により排
出ガスへの影響等の課題解決を進める必要がある。

乗用車等の排出ガス低減対策では、世界統一試験法
WLTPの検討に合わせ、現行JC08モードを見直し日本
提案のWLTC導入検討を加速する研究が必要である。

ほとんど環境基準が未達成のオキシダントについ
ては、原因物質としてVOC、NO_xが関与していると考え
られ、生成機構を考慮した対策が必要である。

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へ、自動車からのVOC排出量
評価等、微量未規制物質中の有害物質低減による改善
へと今後は「量」から「質」に課題が移ると考える。

騒音対策についても、現行の加速走行騒音試験法で
は試験時アクセル操作に対して加速が遅れる車両が
現れたため、環境省の第二次答申を踏まえた新たな加
速走行騒音試験法が必要である。ハイブリッド車等の
静音性対策については世界に先駆けたガイドライン
の策定に引き続き技術基準化を進めつつある。

3. 3. 分野横断的課題分野

地域交通の持続可能なネットワーク化のために、ま
ちづくり等のインフラ設計と連携した次世代交通シ
ステム（超小型車両、BRT、LRT等）による低炭素交通
システムの持続可能なネットワーク化の効果評価や
技術基準整備のため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
な移動環境づくりのため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に應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。排出ガス関連では粒
子状物質や微量未規制物質の高分解能測定技術の開
発が必要である。

4. まとめ

環境研究領域における研究の概要について述べ、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。また残された自動車地
域環境対策への対応も必要である。基盤技術として測
定評価技術の高度化が不可欠である。

5. 参考文献

1) 中央環境審議会、今後の自動車排出ガス低減対策
のあり方について（第11次答申）平成24年8月10日

1. 公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか

—（第1報）ユーザーの使用状況で起こりうる燃費変動の定量的な影響—

環境研究領域

※鈴木 央一

山口 恭平

酒井 克治

1. はじめに

自動車のユーザーへの情報提供および CO₂ 低減の観点からも、10-15 モードあるいは JC08 モードの燃料消費率審査値（燃費値）の重要性は従来に増して高まっている。とりわけ近年では、環境意識の高まりなどから、燃費値がアピールポイントになり、電気ハイブリッド車等低燃費車の急速な普及が進んでいる。しかしながら、燃費値が大幅な向上を続ける一方で、実際にユーザーが当該車両を運用するときの燃費（実燃費）が、燃費値と大きく乖離しているという指摘は多い。実燃費は、運用状況に大きく依存することから、様々な使用方法によりばらつきが生ずることは当然想定されるものの、「乖離がある」とされる場合には、ほぼ確実に燃費値よりも悪い側に変動している。燃費評価に用いられる JC08 モード、10-15 モードは、いずれも当時の走行実態をベースに代表的なものとして採用されており、燃費測定時に現実に即した走行をしているにも関わらず、そのような事象が生ずる原因はどこにあるのだろうか。

この差が生ずる原因をみていくにあたり

- ・気象など環境の違い
- ・走行状態の違い
- ・エアコン使用

などユーザーが直接経験する要素を中心に、燃費への影響を実証および考察した。この他の燃費の評価法に関する原因について第2報で扱うこととする。

2. 実燃費と燃費値の乖離はどの程度か

燃費値は国が公表しているが、実燃費は同様の形で公表されたものはない。ここでは、実燃費の例として「e 燃費」のデータを用いることにした。e 燃費は満タン法ベースの燃費をユーザより得ているものである。協力しているユーザーは燃費に関心の高い人が多い

と予想され、全体をどれだけ代表できているか、という課題はあるものの、1ヶ月あたり数万件のデータがあり、一定の代表性はあるものと判断した。

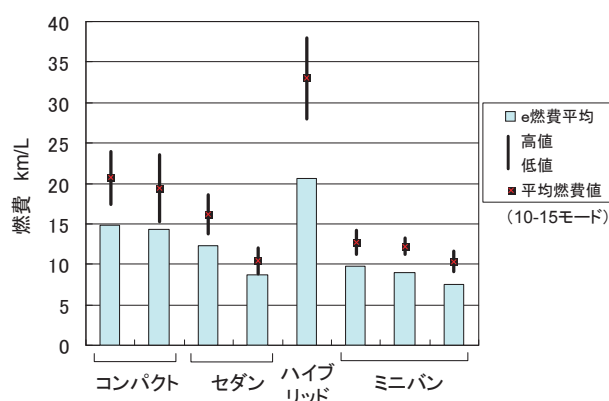


図1 10-15 モード燃費値と実燃費の比較

図1は、e 燃費（2010年版）からユーザーデータのとくに多い代表的な車種において平均燃費値と実燃費を比較したものである。「平均燃費値」とは当該車種で年式や排気量等により、異なる燃費値があるものについてはそれらを平均したものである。この図より、実燃費は平均燃費値のざっと 25%程度低い値となっているが、ハイブリッド車では 30%を超える乖離がみられる一方、燃費 10km/L 程度の車両では差が小さい傾向にある。つまり、モード燃費向上を目的とした改善策が実燃費に十分反映されていない。したがって、乖離原因を解明することは、モード燃費向上を実燃費向上、さらには日本の CO₂ 低減に直接的につなげるためにも重要である。

ちなみに、米国では同種の問題は比較的小さいとされている。その理由として、米国では実燃費を意識した「ラベル燃費」が公表されていることが大きいとみられる。ラベル燃費では、高速急加速サイクル (US06

モード) やエアコン使用サイクル (SC03 モード) 等を含む様々な走行での燃費を、複雑な補正や重み付け等の計算をして実燃費を表現しうるものとしている。

3. 差を生む原因の定量的影響

3. 1. 環境の違いによる燃費への影響

気象などの影響は、ユーザーの努力で改善できる裁量の余地が小さいことから、あまり着目されにくいですが、その影響は小さくない。

まず気温に着目する。認証試験では、標準状態として気温 20℃での走行抵抗が設定される。気温の違いは走行抵抗に大きく影響し、試験法の補正に基づく、1℃で 1%近く変化する。夏と冬では大きな気温差があり、当然実燃費に影響する。

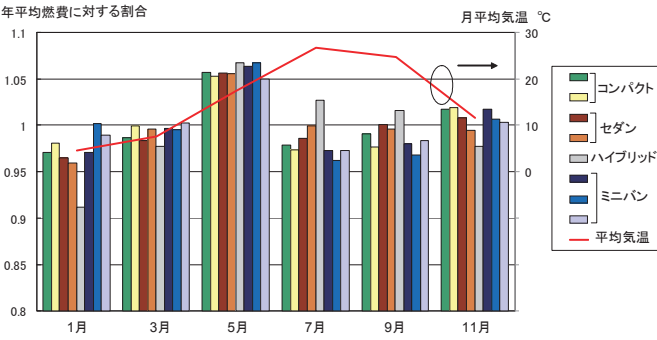


図2 月平均気温と燃費の関係 (e 燃費データより)

図2は、図1と同じ車種を対象に、2010年の奇数月におけるe燃費データによる月平均燃費の通年平均に対する割合と、国内10都市の月平均気温を示したものである。この図から、平均気温と燃費に相関があることがわかる。1月と5月を比較すると、平均気温が14℃ほど高くなる結果、燃費も7~13%ほどよくなっている。気温の上昇による暖機時間の短縮や、走行抵抗の減少が少なからず寄与していると予想される。この関係からいけば7月にはさらに3~4%程度改善してしかるべきだが、返って悪化する。この理由の多くは後述するエアコン使用によると推察される。つまり、標準状態とされている気温20℃はエアコンを必要としない範囲で最も高い水準であることがポイントとなる。本来であれば気温20℃を超える、標準状態よりも燃費に有利な状況は少なからず存在するものの、そこではエアコン使用がほぼ必須となるため、ユーザーが燃費値を実感しにくい結果につながっている。

次に、天候の違いとして降雨を挙げる。雨天時には、

晴天時と比較して路面、およびタイヤ温度が大幅に低下し、走行抵抗が増加する。過去に交通研で測定した例¹⁾では、気温25℃程度やや濡れた路面で走行抵抗を測定したところ、同等気温で曇天時の乾いた路面の時よりタイヤ表面温度が16℃低下するなどして、15%転がり抵抗が増加する結果が得られた。その燃費影響は、当該試験を実施した後述表1のD車における10-15モード燃費で4%以上に及んだ。路面が冠水あるいは積雪状態であれば、その差はさらに広がると推測される。これも、燃費試験法では考慮されない実燃費低下原因の一つといえる。

3. 2. 走行状態による燃費の違い

2011年より燃費評価に用いられることとなったJC08モード燃費では、冷機状態から始める試験(JC08Cモード)と暖機後から始める試験(JC08Hモード)それぞれの燃費を、1:3で加重調和平均した値が燃費値として採用される。暖機前の状態は暖機後よりも燃費が悪いことから、暖機後のみで行われる10-15モード燃費よりも低い値となることが多い。

そこで走行状態のうち、短距離走行時の燃費を考慮するには、モード全体の燃費値よりもJC08Cモードのみの燃費をみていくことが有効といえる。

その対局ともいえるべき高速走行を代表するものとして、米国のハイウェイモード(平均車速77.7km/h、最高車速96.4km/h)を用いて、走行状態の違いによる各車の燃費をみていくこととする。以後については、シャシダイナモ試験の結果が中心となる。

表1に試験に使用した車両の諸元を示す。通常のガソリン車であるA~Hは排気量と重量の小さいもの順としている。H1、H2はハイブリッド車で、エンジ

表1 試験車両諸元

記号	A	B	C	D	E
登録年	H20	H15	H23	H20	H24
排気量 L	1.0	1.4	1.5	1.8	1.8
車両重量 kg	990	1060	1090	1260	1320
変速機	CVT	4AT	CVT	CVT	CVT
車体形状	2box	2box	2box	2box	セダン
10-15燃費値	22.0	16.4	18.2	16.8	17.0
JC08燃費値	—	—	—	—	15.8
その他特徴	アイドルストップ				
記号	F	G	H	H1	H2
登録年	H22	H22	H19	H22	H24
排気量 L	2.0	2.4	3.0	1.8	3.5
車両重量 kg	1610	1850	1890	1310	1860
変速機	CVT	CVT	5AT	CVT	7AT
車体形状	ミニバン	ミニバン	ミニバン	ハッチバック	セダン
10-15燃費値	13.2	11.6	9.8	38.0	19.0
JC08燃費値	12.0	11.2	9.0	32.6	15.6
その他特徴	可変気筒 ハイブリッド ハイブリッド				

ンサイズの異なるものを選択した。なお、A、F、G、H1 については、図 1 に含まれるユーザーの多い車種であり、代表性を確保することに留意した。

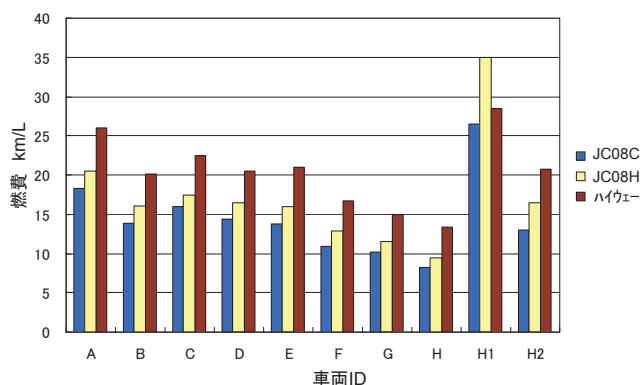


図 3 各車の JC08C、JC08H、ハイウェイモードの燃費比較

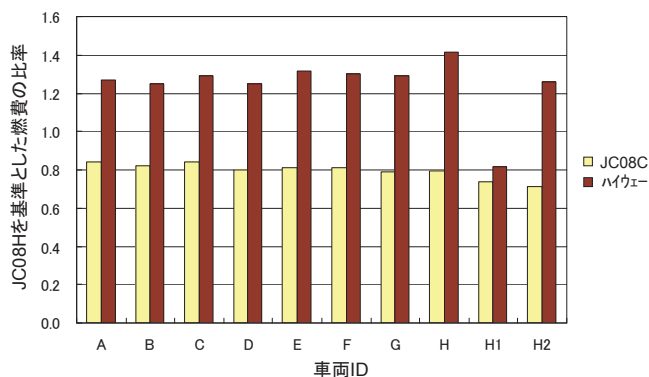


図 4 各車の JC08C、ハイウェイモード燃費の JC08H を基準としたときの割合

図 3 は、各車の JC08C、JC08H、ハイウェイの各モード燃費を、図 4 は JC08H を基準としたときの他 2 モードの比率を示す。図 4 より、ハイブリッド車以外では、JC08C では JC08H から 2 割程度の悪化、ハイウェイモードでは逆に 2～4 割ほど値がよくなる傾向は共通しており、車種間の差は比較的小さい。一方、H1、H2 車では、JC08C で JC08H から 2 割以上も燃費悪化しており他の車種よりも悪化幅が大きい。一般にハイブリッド車では、エネルギー回生が行えるため、減速頻度の高い都市内走行に向くと考えられるが、冷機状態からの短距離走行では、絶対値的には依然としてよい値であるものの、優位さは小さくなる。これが、表 1 でハイブリッド車では JC08 モード燃費値が 10-15 モード燃費値と比較して減少割合が大きいことの主な理由といえる。高速走行燃費は、ハイブリッド車でも H1 車と H2 車で大きな傾向の違いが生

じた。H2 車では他の車両と類似の傾向であるのに対し、H1 では逆に JC08H よりも 2 割ほど悪化する結果となった。H1 車の欧州での燃費値は、25.6km/L で国内と大きく異なる。これは欧州モードでは暖機後の都市内走行を表現する JC08H に相当する走行が含まれないため値が伸びないことが、この結果から理解できる。だからといって H2 車では高速走行で燃費が良くなっており、高速走行における H1 車の燃費悪化がハイブリッド固有のものともいえない。その違いを生む理由をみていくこととする。

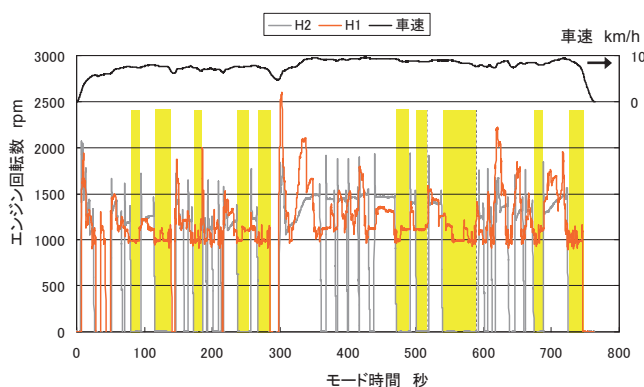


図 5 H1 車と H2 車のハイウェイモードにおけるエンジン回転数履歴比較

図 5 は、ハイウェイモードにおける H1 車と H2 車のエンジン回転数履歴を比較したものである。大排気量のエンジンで走行燃費向上を図る方策の一つとして、ダウンスピーディングが挙げられる。変速機との適合で、エンジン効率のよい低速回転高負荷を使用することで燃費改善を図るものである。ただし H1 車においては、無段変速機の制御等により巡航状態ではむしろ通常の自動変速機をもつ H2 車よりも低速エンジン回転を使用しており、そこで H2 車に有利さは見いだせない。

むしろ両者の最大の違いはエンジン作動頻度といえる。H1 車ではモード時間の約 92% でエンジンが作動するのに対し、H2 車では約 53% に止まる。図中黄色のハッチングした部分は、H1 車ではエンジン作動させている状況ながら、H2 車でエンジン停止している状態が 5 秒以上継続した部分を示している。そこでは概ね巡航状態で走行しており、H2 車ではモーター単独で走行しているのに対し、H1 車ではエンジンを作動させて走行していることになる。しかし、諸元上のモーター出力は H1 車が上回っており、その違いがモーターの能力的余裕によるものとはいえず、エンジ

ンとの統合制御上の理由である。つまり排気量の大きいH2車では、高速走行時に走行と充電を同時にできる余裕のあることが、それを可能にしたと考えられる。近年燃費向上方策の一つとして「ダウンサイジング」が取り上げられる。ダウンサイジングでは、走行状態でのエンジン平均有効圧（排気量あたりのトルクに相当）を高めることで効率向上を図っているが、ハイブリッド車では相対的に大きな排気量で、高速走行時にエンジンの制御自由度を拡大する余裕が高速燃費向上につながっており、ダウンサイジングが必ずしもいいとは限らない。H1車において、2009年モデルにて排気量を拡大した技術的な背景を示すデータといえる。

3. 3. エアコン使用による影響

エアコンの使用による燃費悪化は、多くのユーザーに認識されている。デンソー資料²⁾によると、日本全国の自動車が消費する燃料の約1割がエアコンによるとされている。これは、運輸分野の自動車以外の鉄道・海運・航空3部門合計のエネルギー消費に近い非常に大きなものであるが、現在そこに評価のメスが入っておらず、今後の改善に向けて評価法を考慮していくことが望まれる。まず、エアコン使用による燃費影響がどれほどかみていくこととする。

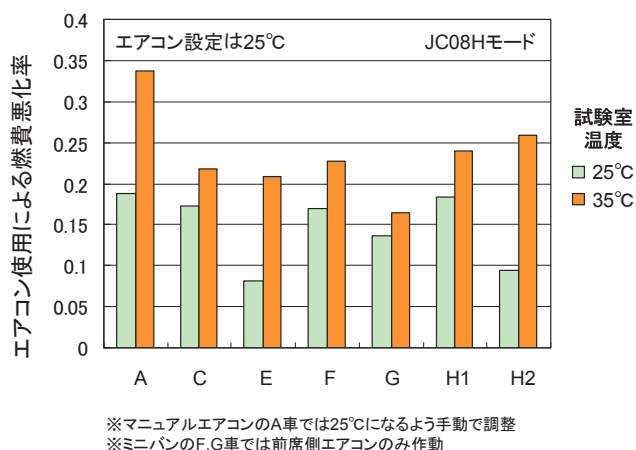


図6 エアコン使用による燃費悪化率（JC08H）

図6は、試験室温度25℃および35℃環境で、車内25℃設定でエアコンを使用したときの、エアコン不使用時に対する燃費悪化率を示したものである。試験室25℃では、概ね8～20%の燃費悪化がみられる。同35℃では当然ながらそれよりも悪化するが、僅差の場合もあれば2倍以上も異なる車両もあり、25℃時との

相関は低い。つまり、一つの状態で示される結果を用いて、他を類推することが困難であるため、エアコン使用時の客観的な燃費評価は容易でない。そのようなことから、ユーザーが悪化幅をイメージしにくい状況となっている。

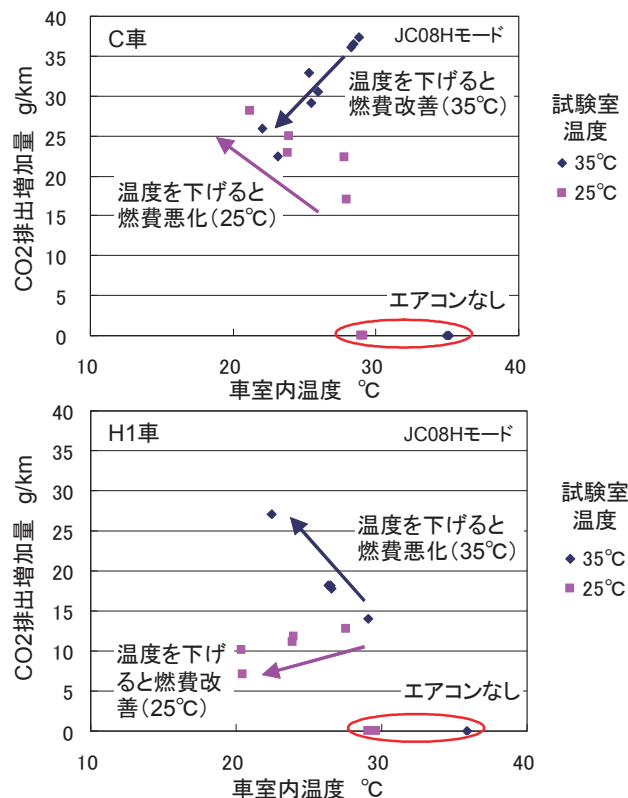


図7 エアコン設定温度を変化させたときの車室内温度とCO₂排出増加（＝燃費悪化）量の関係

図7はC車とH1車において、25℃および35℃の試験室でオートエアコンの設定温度を変化させたときの車室内温度とCO₂増加量の関係を比較したものである。C車では試験室35℃、H1車では同25℃の条件では、設定温度を下げて冷房を強めた場合にCO₂増加量が減少、すなわち燃費が良くなっていることがわかる。自動車用エアコンでは、温度差が小さい状態で車室内温度を精度よく制御しようとする場合、冷気と暖気を混合して送風するケースがあり、設定温度が高い場合に送風ブロアーの作動負荷がかえって高まることもある。そのために、家庭用エアコンとは異なり、自動車用エアコンでは設定温度と燃料消費に相関がみられないケースが少なくない。その結果、省燃費を意図して、「高い設定温度で我慢」してもそれが報われないケースが多いとみられ、ユーザーの不満を高めている可能性がある。

3. 4. 複合的な影響がみられる場合の燃費

これまでエアコン、冷機時などについてそれぞれ燃費影響をみてきた。だが、それらが単独で作用する場合では、依然として燃費値と実燃費の差を十分説明できているとはいえない。これは現実には、それらが同時に作用することが少なくないためと考えられる。そこで、いくつかの車種につき、不利な要素が重なる環境下で燃費評価を行った。

図 8 は、各車様々な条件下で JC08C モードを行った時の燃費を示す。一部の試験は設備の関係で限られた車両のみで実施している。-5 および 35℃でエアコンありの冷機状態では、当然ながら燃費は標準よりも大幅に悪化し、H1 車でも 20km/L を下回るなど、実燃費の平均的水準をも下回るものとなる。-5℃時のデータは H1 車のみだが、「エアコン」とは暖房を意味しており、冷房時のようなコンプレッサーを作動させるものでないことから、エアコン有無の燃費差は小さい (-5℃条件の JC08H で約 4%)。にもかかわらず、25℃時よりも 30%以上も悪化しており、気温の低下による走行抵抗増加分から推定されるよりも悪化幅は大きい。これは、タイヤやオイル等の温度が上昇しにくいなど暖機に時間がかかるためと考えられる。図に記載したとおり、e 燃費データで 1 月の北海道で

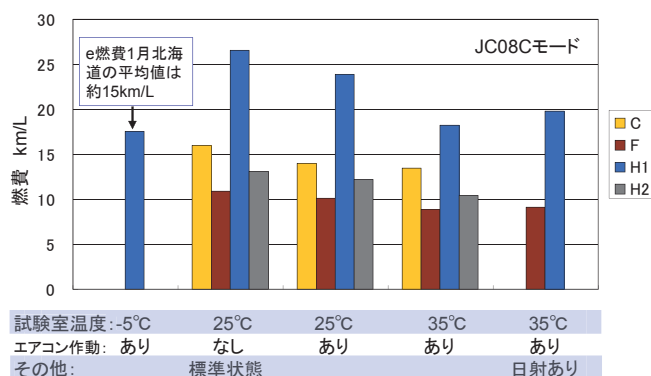


図 8 複合影響がある場合の各車燃費 (JC08C)

H1 車は約 15km/L の平均燃費となっている。この値は、本試験結果に降積雪や路面凍結等の影響を考慮すれば十分想定される水準で、試験結果にそれらを加味した補正を行うことで実燃費を推測しうることを示している。また、日射あり条件ではエアコン負荷が増加するものの、燃費悪化はみられない。これは既述のように冷房量と燃費悪化が比例しない場合があることに加え、日射により各部温度が上昇し車両自体の燃

費が向上したためで、無視しても影響は小さい。このような複合要因で燃費が大幅に悪化した状態を考慮しながら、他の条件を組み合わせることで、実燃費に近い代表燃費値を把握できる可能性がある。

3. 5. 試験データから求める代表燃費値

これまでの試験結果から、実燃費を意識した代表燃費値を試算、予測する手法を検討することとする。前項では、不利な要素が重なる環境下での燃費を示したが、実走行では、条件的にこれより有利な状況も少なくない一方で、雨天や渋滞、勾配などカバーされていない不利な要素もある。全体として、それらを過小でも過大でもなく入れ込むことが必要となる。

基本として、JC08C、JC08H、ハイウェーモード燃費を加重調和平均することとし、それぞれ実際に使用される状況を考慮したいくつかの仮定を設定する。

まず JC08C については、夏季を表現するものとして試験室 35℃時にエアコン 25℃設定で使用したときの値を用いることとする。冬季には冷機時の影響が大きい、それをカバーする各車のデータがないことと、本評価では高速走行も含む反面「チョイ乗り」をカバーしないことから、通常の JC08 モード燃費を求める際と異なり、重み係数を全体の半分に高めることとして対応する。

次に JC08H では、認証試験と同様の試験室 25℃でエアコンなしの値を用いることとするが、冬季の走行抵抗が 20%程も増加した場合に想定される燃費変化として、0.9 を乗ずる補正を行う。

ハイウェーモードでは、重み係数を 1/10 とし、試験室 25℃でエアコンあり (25℃設定) の値を用いる。これは、高速走行時には、エアコンを止めて窓を開けても、空気抵抗のみならず騒音も大きくなるため、季節によらずエアコンを使用することが一般的と考えられるためである。

そして最後に、試験法でカバーされない雨天や渋滞、勾配、さらには補機類のエネルギー消費などの影響を反映させるために、0.92 を乗ずることとする。

代表燃費 F とした場合、上記は下式で表される。

$$F = \frac{10 \times 0.92}{5/F_C + 4/(F_H \times 0.9) + 1/F_{HW}}$$

F_C : 試験室35℃エアコン25℃設定でのJC08C燃費

F_H : 認証試験と同条件でのJC08H燃費

F_{HW} : 試験室25℃エアコン25℃設定での米国ハイウェーモード燃費

この式を用いて、図8でデータを取得した4車種について代表燃費値を算出し、様々な燃費と比較することとした。

図9は、試算した代表燃費値が、10-15モード、JC08モードおよびe燃費データ（'11年版）による実燃費に対して、どれだけの割合となったかを示したものである。各モード燃費値との比較の際、C車はJC08モード燃費値が公表されていないため、実測値とした。代表燃費値は車種によりモード燃費値に対する比率は異なり、モード燃費値に単に定数を乗じたのとは大きく異なる値である。しかし、実燃費データとはほぼ等しく、高い相関を示した。最も差が生じたのは実燃費より1.5%ほど良く出たH1車であるが、試験車がラインナップ中燃費の最も良いものであったことを考慮すると、むしろ妥当な結果といえる。

この計算のために採用した重み係数や補正係数などは、結果に合わせた部分があり、妥当性の十分な検証はできていない。とりわけ補機損失等を含めて一定値とした補正係数は、今後の燃費改善を促すためには、電装品等補機や車室内断熱等も含めたエネルギー消費を抑制することが重要で、それが反映されるものとしていくべき、などの改善すべき点がある。しかし、4車種とはいえ、コンパクトカー、ミニバン、2種のハイブリッド車という異なる車種で、同一手法にて高い相関が得られたことも事実で、実燃費を推測していくためには、これらの条件を考慮していくことの有効性は示されたと考えられる。

4. ま と め

実際に車を運用する際の「実燃費」が燃費の審査値と乖離がみられる点について以下にまとめる。

- (1) 気温や天候などは、燃費を10%以上も変化させる因子であるが、燃費審査の際の標準状態は（公平性や再現性確保の観点から結果的に）燃費に有利な条件で行われているため、ユーザーが燃費審査値を実感しにくい一因となっている。
- (2) エアコン（冷房）使用時の燃費影響は、車室内外の気温差が小さい状態では8~20%程度だが、気温差の大きい場合の悪化幅は車種により異なり、一部の結果で全体を類推できない。また、冷房設定温度を下げると燃費が良くなるケースが存在し、ユーザーにその影響がわかりにくい状態にある。
- (3) 実燃費が公表燃費値よりも大幅に低いケースで

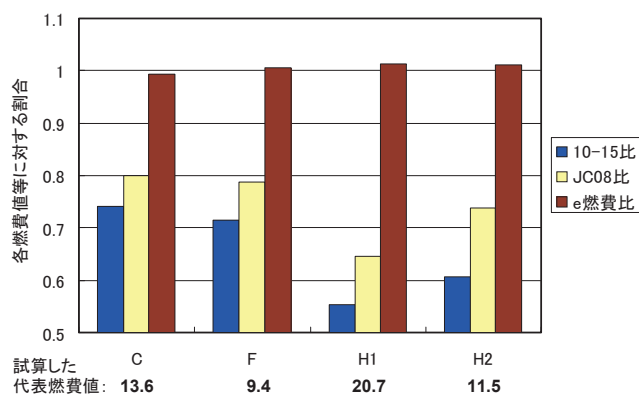


図9 試算した代表燃費値のモード燃費値、実燃費に対する割合

は、気象、未暖機、エアコン使用などの悪化要素が複数影響している可能性が高く、実燃費を把握するためには、そのような観点の評価が有効となる。

- (4) そこでJC08C（35℃試験室エアコンあり）、JC08H（試験法通り）、ハイウェー（25℃試験室エアコンあり）各モード燃費の加重調和平均に、天候等を加味した補正を行い、代表燃費値を試算した。その結果、異なる4車種で実燃費と高い相関がみられ、なお検証、改善は必要ながら試験的な実燃費把握の可能性を示すことができた。
- (5) ハイブリッド車では、冷機状態での燃費が相対的に悪く「チョイ乗り」に向かない。高速走行ではJC08モードよりも燃費が悪化したものがある一方、大排気量のものでは逆に改善するなど、組合せや制御方法等で異なる特性が示された。

5. 謝 辞

試験実施、解析にあたっては、当所技術職員、自動車、計測器メーカーの関係各位に加え、派遣職員宮本文昭氏、2010年度インターンシップ学生堀内康孝君に協力をいただいた。また、データの一部は、住友スリーエム株式会社受託試験のデータを同社了承の上で使用した。ここに謝意を表する。

6. 参考文献

- (1) 鈴木ほか、「モード走行におけるタイヤ損失特性の評価方法について（第2報）」、自動車技術会2010年秋季学術講演会、JSAE 20105793
- (2) 杉 光，山中康司，「熱システムの現状と将来動向」，デンソーテクニカルレビューVol.10 No.1

2. 電気自動車の環境性能とその試験法の課題について

環境研究領域
審査部

※新国 哲也 奥井 伸宜 小鹿 健一郎
小林 一樹 室岡 絢司 鈴木 延昌

1. はじめに

これまで自動車における環境対策は、主に排出ガスの浄化に重点が置かれてきた。図1にはガソリンエンジン車に対する排出ガスの規制値の推移と様々な排出ガス浄化技術の例を示したが、昭和48年度の排出ガス規制のスタート以来、燃焼の改善と後処理技術の向上が続けられてきた。一方で電気自動車は燃料を使用する内燃機関を搭載した自動車とは異なり、直接的な排出ガスを出さない自動車であり、従来の自動車が抱えてきた課題に対し根本的な対策を打ったという点で画期的である。

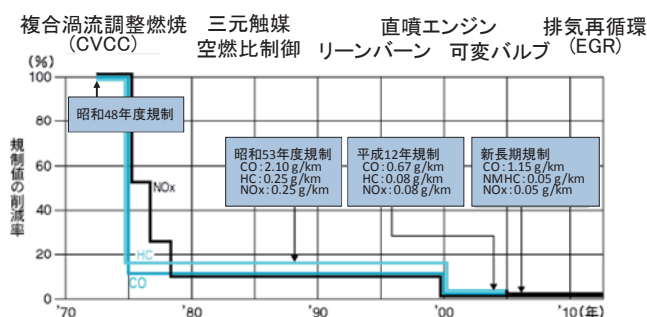


図1 ガソリンエンジンにおける排出ガス規制と対応技術⁽¹⁾

また地球温暖化対策の観点では、自動車の排出する温暖化に寄与するCO₂等のGreen House Gas (GHG)の低減に関する技術が注目されている。自動車単独の取組みとして減速時の運動エネルギーを回生電力として回収する技術など電力消費を抑制し、効率を高める方策がとられている。また電気自動車自体はCO₂を排出しないが、充電に必要な電力を供給する発電所にはCO₂を排出する火力発電所が含まれている。したがって電源構成に占める火力発電所の比率を下げることで併せて電気自動車を普及させれば、CO₂排出量削減という効果も期待できる。

このように従来の内燃機関自動車に置き換わる形

で電気自動車が普及すれば、自動車による環境負荷の低減が期待されるが、電気自動車の普及には幾つかの課題があると思われる。本稿では課題の一つと考えられる電気自動車の性能評価に関する試験法について解説し、それに関連する課題の整理と対応策の検討についてまとめる。

2. 電気自動車の性能表示

2. 1. 一充電走行距離

電気自動車の主要な性能として、一充電走行距離と電力量消費率の2つがある。

一充電走行距離は自動車に搭載される二次電池の容量に依存する。二次電池は、ガソリン等の従来燃料に比べてエネルギー密度が低いことに加え、コストなどの問題により搭載可能な容量には限りがあるため、内燃機関自動車が一回の給油で走行できる距離と比べると電気自動車の一充電走行距離は極端に短いのが現状である。ユーザーにはドライブ中に充電電力がなくなることに対する不安感があると考えられ、特に一充電走行距離に関心が集まるとと思われる。

図2には、日本における普通乗用車のユーザーアンケート⁽²⁾による一日当たりの走行距離の頻度分布を示した。ちなみに図2の統計データはプラグインハイブリッド車の複合燃料消費率を計算するためのユーティリティ・ファクターの元データである⁽³⁾。図2から平日、休日共に一日あたり100km程度までの頻度が高いことが分かる。この図に現在発売中および今後発売予定の電気自動車の一充電走行距離を重ねて示した。一充電走行距離に対しては日常のデイトリップをカバーする程度の距離を確保する方向と、休日などにみられる長距離移動についてもある程度カバーしようとする方向の2つの方向性が見られる。ユーザーが各自の用途に合わせて電気自動車を選択する際に、一充電走行距離はより所となると考えられる。

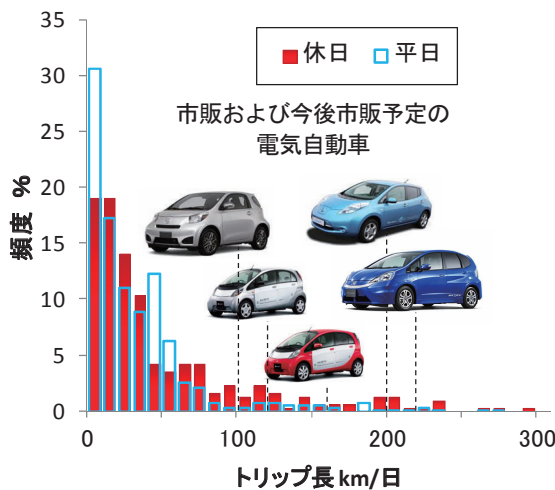


図2 日本でのトリップ長の分布と各電気自動車の一充電走行距離
(各車の一充電走行距離は、カタログやプレスリリース等の公表資料を参考とした)

2. 2. 電力量消費率（電費）

電力量消費率は電気自動車の環境性能を評価する指標であり、内燃機関自動車の燃費に対応する指標である。内燃機関自動車においては、燃費の公表目的は「自動車の燃費性能に関する評価を実施し、その結果を公表することにより、自動車の燃費性能に対する一般消費者の関心と理解を深め、もって一般消費者の選択を通じ燃費性能の高い自動車の普及を促進すること」⁽⁴⁾にある。電気自動車における電費の公表についても同じ効果を期待できると考えられる。電費は走行コストに係わるため一般消費者（ユーザー）にとって関心の高い指標となるが、環境負荷低減の政策的観点からも重要な数値となる。

3. 試験方法の実際

3. 1. 電気自動車の試験方法

電気自動車の一充電走行距離と電費の測定における試験条件は日本の市場で平均的な走行を反映していることが前提となっており、満充電状態から完全放電状態に至るまでに走行できる距離を一充電走行距離としている。また電費は、完全放電状態から満充電状態にするのに必要な交流電源からの充電電力量を測定し、一充電走行距離で除した値としている。

日本の市場で平均的な走行は、乗用車の場合は JC08 の車速パターンで代表することになっているため、これを使用して満充電状態から JC08 の車速パターンで繰り返し走行を行い、電欠で走行不能になるまで走行した時のシャシーダイナモでの走行距離を一充電走

行距離とする。試験の走行は図3に示した JC08 のコース条件で走行し、JC08 ホットで規定されているプリコンディショニングとしての高速走行は除外して走行する。

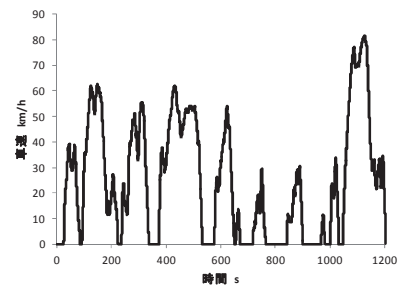


図3 JC08 コースの車速パターン

例として交通安全環境研究所で実験車として使用している電気自動車（表1）の一充電走行距離の測定結果について示す。この実験車は現在約 10,000km の走行をしており、一充電走行距離は 120km 程度となっている。図4には距離に対する、二次電池からの積算放電電力量の実測結果を示す。実測では JC08 の車速パターンで 14 回走行し、15 回目の途中で停止した。

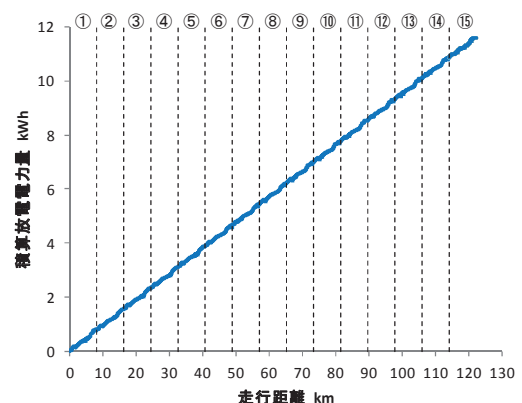


図4 走行距離に対する積算放電電力量

電費は、図4に示した走行による完全放電後に商用電源からの充電電力量を計測し、その値を一充電走行距離で除した値となる。充電は AC200V で行い、充電電力は交流電力計（日置電気製パワーハイテスタ 3332）を用いて計測を行った。実験車の 3 年間の使用、10,000km の総走行距離での一充電走行距離および電費は表1に示す通りである。

表1 実験車の一充電走行距離および電費

	諸元値	測定値※
一充電走行距離 km	160 _(10・15 モード)	122 _(JC08 モード)
電費 Wh/km	125 _(AC100V 充電)	120.5 _(AC200V 充電)

※ただし、3 年間使用、10,000km 走行での状態

3. 2. 審査試験上の課題

一充電走行距離を計測する際には、電気自動車を満充電にした後に JC08 の車速パターンを繰り返し、完全放電するまで走行する。JC08 の車速パターンで走行した際に使用される電力量は、電気自動車の二次電池の容量に比べて小さいため、試験で二次電池を放電するのにかかる時間は相当に長くなる。JC08 の車速パターンでは一回走行の距離は約 8.2km であり、走行の時間はおよそ 20 分である。例えば JC08 の車速パターンで計測した一充電走行距離が 160km の電気自動車の場合、繰り返し走行の回数は 20 回ほどになり、走行時間では約 7 時間となる。実際の試験では、繰り返し走行の間に計測器調整などの時間が必要となるため、実際には 7 時間以上になる。

また長時間にわたり車速パターンを正確にトレースして走行し続けることは困難である。TRIAS の規定では JC08 の車速パターンと走行速度の差は±2km/h 以内、追従時間については±1 秒以内としている。ただしこれらの許容範囲を逸脱して電気自動車を運転してしまった場合でも、1 回の JC08 モード走行の中で 4 秒以内の逸脱が 1 回以内であれば許容としている。審査においてはロボットを使用することは除外していないが、実際には使用されていない。設定の難しさなどの課題があるためと考えられる。現状では人間が数人で交代しながら走行し続ける状況となっている。7 時間に渡り、JC08 の速度パターンで 160km 走行すれば発進・停止の繰り返し回数が 220 回となり、エラー無く走行することは実行上非常に難しい。

以上のような課題は、今後電気自動車の技術開発が進み、更に一充電走行距離が延伸すると一層顕在化すると考えられる。

4. 試験時間短縮方法とその課題

試験の効率化を図るために、より試験時間を短縮する方法を検討することが重要である。試験時間の短縮化については、実車走行により計測を行う現行の方法において物理的に放電にかかる時間を短くする手法や、二次電池のみを対象にして容量から推定する手法などが考えられる。図 5 にはこれらの手法に関する時間短縮効果のイメージを表した。実車走行による方法では、計測手法は従来通りであり、現行の方法から移行しやすいメリットがある。例えば SAE では高速モードを取り入れた高負荷パターンを試験時間短縮のオ

プションとして示している⁽⁵⁾。一方二次電池のみの場合は、従来とは異なる計測手法や計測結果から一充電走行距離を推定することが必要で、現行の方法からの移行には多くの課題があると考えられる。

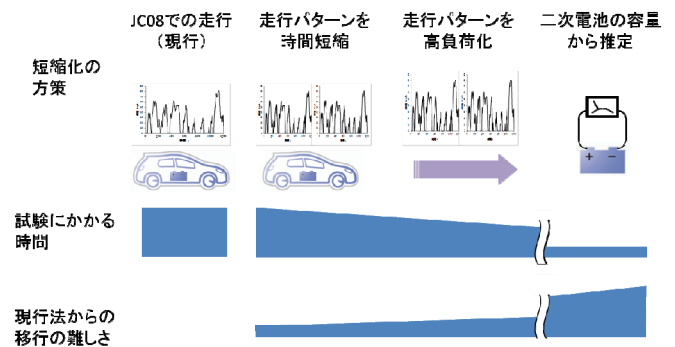


図5 試験時間の短縮化の方法

試験時間を短くする上記の中から走行パターンを時間短縮する方法と二次電池の容量から推定する方法について内容と予想される課題について述べる。

<走行パターンを時間短縮する方法>

まず実車走行による計測として、現行法とかい離の少ない JC08 の車速パターンを短縮化する方法について検討する。JC08 の車速パターンでは、走行はもちろんであるが、停車についても市場のデータを基に定められている。走行と停車の両方で市場の走行条件を反映した速度パターンとなっている。内燃機関の自動車であれば停車中はエンジンのアイドリングが行われている。アイドリング時は一般に内燃機関の出力としては低い。排出ガスの浄化のための触媒装置においては、適正に触媒反応が進行する温度よりも下がり、排出ガスの浄化性能が低下して排出ガスの悪化が起こる可能性がある。停車時間を置くことは排出ガスの浄化性能を確認する上で重要な条件となる。しかし電気自動車の場合はこのような装置は存在しないことから、停車中の電力量消費が走行時に比べ小さく無視できる場合に限り停車時間を圧縮して車速パターンを短縮する方法が考えられる。図 6 には停車時間を圧縮した JC08 の車速パターンを示した。この場合は 1/4 程度の時間が短縮される。

圧縮した JC08 車速パターンによる試験の問題点は、停車中の電気自動車の補機類による電力消費が考慮されないという点であり、この影響度合いについて検討する必要がある。また停車中は二次電池の充放電電圧が低く発熱量が小さいため温度が低下することも考えられる。この影響についても検討が必要である。

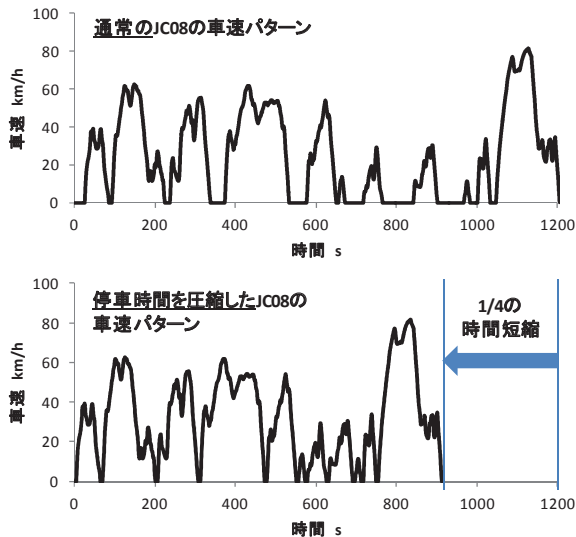


図6 圧縮した JC08 車速パターンのイメージ

<二次電池の容量から推定する方法>

2 つ目は二次電池の容量から一充電走行距離を算出する方法である。

例えば電気自動車を JC08 で 1 回走行し、その際に使用した電力量を測定し、二次電池容量を JC08 の 1 回の走行で使用する電力量で除した値に JC08 一回走行での走行距離 8.2km をかけて一充電走行距離を求めることが考えられる。これは JC08 一回の走行で済むため大幅な試験時間の短縮となるが、この場合には二次電池容量の定義の仕方が課題となる。一般的に二次電池の容量は一定電流で放電した際に取り出せる電力量で表示される。二次電池の特性として、放電電流を変化させると、取り出せる電力量（容量）は変化する。したがって、二次電池の一般的な手法としての一定放電電流により計測した容量と、JC08 の走行により放電した時の容量では異なる可能性が考えられる。二次電池容量から一充電走行距離を計算する場合には、二次電池の容量の定義を検討する必要がある。

また若干ではあるが、電気自動車であってもコールドスタートの影響があり、コールドスタートで試験を行うと使用電力量の若干の増加が見られる。具体的に当研究所で所有する表 1 の電気自動車では、1 日程度のソーク後に JC08 を 1 回走行した時に二次電池から放電される電力量と、JC08 を繰り返して走行した後に JC08 を 1 回走行した時の二次電池から放電される電力量とでは、前者の方が 2% 程度高くなる傾向がある。どのような状態で JC08 走行分の使用電力量を計測するかという定義も必要である。

5. 電動大型車の試験法の課題

以上では乗用車の電気自動車を中心に説明してきたが、今後は路線バスなど比較的短い距離を走行する大型車において電動化が進むことが考えられる。しかし、電動大型車の一充電走行距離と電費の計測方法は公式には決まっておらず、今後検討していく必要がある。参考として、交通安全環境研究所でも「次世代大型低公害車の新技術を活用した車両開発」の取組みとして高電圧を使用した電気バス（外観を図 7 に示す）の開発とその試験法の検討に携わっているが、この車両については暫定的に TRIAS に規定されている JE05 モード⁽⁶⁾を用いて計測し、一充電走行距離は 30km となっている。



図7 実証試験中の電気路線バス
(三菱重工業株式会社様提供の写真)

6. まとめ

電気自動車の一充電走行距離や電費などの性能評価法について現状を解説し、課題の整理とその改善方法について述べた。今後は、電気自動車の特性を踏まえ、実車の実験を行いながら、効率的かつ合理的な試験法の提案を行う。

参考文献

- (1) 一般社団法人日本自動車工業会 HP
<http://www.jama.or.jp/lib/jamareport/092/01.html>
- (2) 財団法人石油産業活性化センター 自動車の使用実態調査報告書 PEC-1997-TA22
- (3) 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)
- (4) 自動車の燃費性能の評価及び公表に関する実施要領 (平成十六年国土交通省告示第六十一号)
- (5) SAE J1634: BEV Test Procedure
- (6) TRIAS 5-8-2010 重量車燃料消費率試験方法

3. 超小型車の導入に向けた課題とその解決への提案

環境研究領域

交通システム研究領域

※水嶋 教文 新国 哲也

工藤 希 大野 寛之

1. 超小型車の導入に向けた課題

日本国内における乗用車の平均乗車人数は1.3人と少なく、公共交通機関と比較してエネルギー効率が極めて低い。運輸部門における温室効果ガス排出量を削減するためには、ユーザは公共交通機関の積極的な利用に加え、低炭素な移動手段を選択しなければならない。しかしながら公共交通が十分に整備されていない地域において、自家用乗用車は移動手段として不可欠である。特に少子高齢化社会を迎える日本では、高齢者にやさしいモビリティ⁽¹⁾の確保が急務である。

国土交通省は平成24年5月に超小型車の認定制度を導入する計画を発表した。超小型車とは、道路運送車両法で定める軽自動車と第一種原動機付自転車(4輪)(以下、ミニカー)の間に位置付けられ、図1に示す2人乗り程度の小型の車両のことをいう。このような超小型車を導入した場合、誰もが容易に想像できるのが安全性の問題である。図2に、既存の軽自動車とミニカーについて、対乗用車の衝突事故データから人的被害の割合を分析した一例を示す⁽²⁾。本データより、ミニカーにおいては軽自動車の場合よりも衝突事故時における死亡・重傷の割合が高いことが一目瞭然である。ミニカーについては軽自動車や普通車とは異なり衝突安全基準が設けられておらず、かつ車両が軽量であるためにこのような状況となっていることが推測される。

以上より、超小型車の導入に際しても同様の問題が想定され、安全性の確保については重要な課題としてあげられる。ただし、軽自動車のように安全性を確保するために車両を強固に設計すると、車両重量が増大



図1 超小型車の例 (東京モーターショー2011 より)

するため、本来有する超小型車の利点が損なわれてしまう。ここでは、従来の軽自動車とは異なる考え方の安全基準を適用することが求められる。

2. 被害軽減のための最高速度の抑制

衝突時における運動エネルギーを軽減できれば同時に被害も軽減できるため、本検討では、超小型車の安全性確保の手段として最高速度の抑制に着目した。衝突時の速度の低下による人的被害の軽減については図2からも明らかである。一方で、速度の遅い車両が従来の交通環境下を走行することで、交通流を阻害し、他の車両の利便性の低下、渋滞による燃費の悪化、同時に、交通環境全体でのCO₂排出量の増大等が懸念される。そこで本報では、新たに自動車の燃料消費量、CO₂排出量等の詳細な計算方法を反映した交通流シミュレーションを用いることで、超小型車に設けられた最高速度制限が、従来の交通環境下における交通流に及ぼす影響を解析した。さらに、これに伴う平均速度、旅行時間、燃料消費量、およびCO₂排出量への影響を評価することで、超小型車に対する最高速度抑制の可能性について考察した。

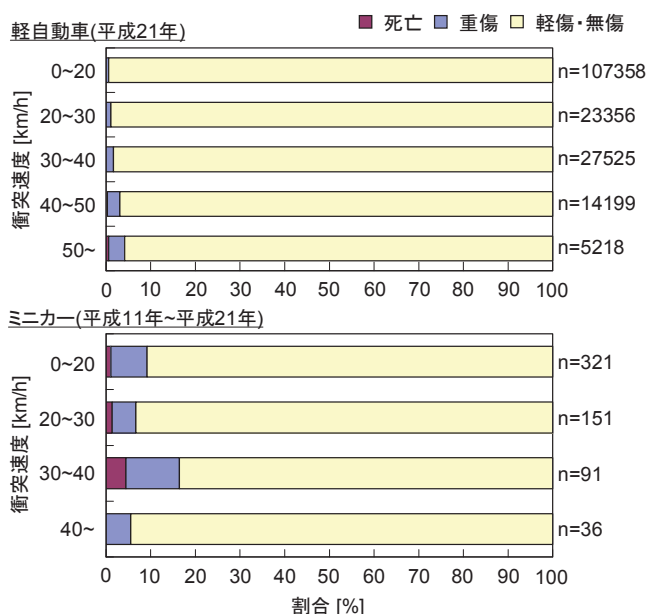


図2 対乗用車の衝突事故における人的被害の割合

3. 交通流シミュレーションの方法

本検討においては、旅客輸送の一部を従来の乗用車から超小型車に置き換えた際の交通流への影響を評価する目的から、交通安全環境研究所が開発した都市交通シミュレータ⁽³⁾を活用し、車両一台一台の挙動を模擬するミクロシミュレーション(離散モデル)にて取り扱った。以下に、今回新たに導入した燃料消費量、CO₂排出量等の計算方法、および計算条件を示す。

3. 1. 燃料(電力)消費量・CO₂排出量の計算方法

燃料消費量は、自動車のタイヤが路面になす仕事率を、原動機効率 および駆動系動力伝達効率で除することによって得ることが可能である。

自動車のタイヤが路面になす仕事率 P [kW]は、以下に示す式(1)で説明される。

$$P = \frac{F \cdot dx/dt}{1000} = \frac{F \cdot V}{1000} \quad (1)$$

ここで、 F は走行に必要な駆動力[N]、 dx は距離の変化量[m]、 dt は時間の変化量[s]である。

走行に必要な駆動力 F [N]は、以下に示す運動方程式(2)で表される。

$$F = R_r + R_l + R_s + R_a \quad (2)$$

ただし、 R_r は転がり抵抗[N]、 R_l は空気抵抗[N]、 R_s は登坂抵抗[N]、 R_a は加速抵抗[N]であり、以下の式により算出される。

$$R_r = \mu_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (3)$$

$$R_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2 \quad (4)$$

$$R_s = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (5)$$

$$R_a = (m + \Delta m) \cdot \alpha \quad (6)$$

ここで、 μ_r は転がり抵抗係数、 m は車両重量[kg]、 g は重力加速度[m/s²]、 θ は道路勾配[rad]、 ρ は空気密度[kg/m³]、 C_d は空気抵抗係数、 A は車両前面投影面積[m²]、 Δm は回転部分相当重量[kg]である。つまり、道路勾配を0 rad (平坦路)と仮定すると、仕事率 P [kW]は速度 V [m/s]と加速度 α [m/s²]の関数となる。これに対して式(7)を用いることで、速度 V 、加速度 α に対する瞬時燃料消費率 $fc_{v\alpha}$ [L/s]、あるいは瞬時電力消費量 $ec_{v\alpha}$ [kWh/s]を算出することが可能である。

$$fc_{v\alpha} = \frac{P}{\eta_d \cdot \eta_{th} \cdot d_{fe}} \quad , \quad ec_{v\alpha} = \frac{P}{\eta_d \cdot \eta_{mi} \times 3600} \quad (7)$$

ここで、 η_d は駆動系伝達効率、 η_{th} はエンジン熱効率、 d_{fe} は燃料エネルギー密度[kJ/L]、 η_{mi} はモーターインバータ効率である。

原動機の効率を算出するためには原動機の回転数およびトルクに対する運転領域を選定し、運転領域に応じた効率を与えなければならない。運転領域の選定には、タイヤ径および動力伝達装置のギア比を考慮する必要がある。特に、原動機がエンジンの場合は変速機を用いているため、運転条件に応じたギア位置を選定する必要がある。変速機に無段変速機(CVT)を用いている車両に対してはギア比を自在に選定できるものと仮定し、同一出力条件でエンジン熱効率が最大となるエンジン運転領域とした。有段変速機(MT、AT、AMT)を用いている車両に対しては、各ギア位置における駆動力余裕率(= 最大駆動力/必要駆動力)を算出し、文献⁽⁴⁾と同様の方法でギア位置を選定した。図3に、本計算に用いた各種原動機の効率を示す。詳細については、既報⁽⁵⁾を参照のこと。

本交通流シミュレーションでは、車種ごとに上述の計算式により算出した速度と加速度に対応する瞬時

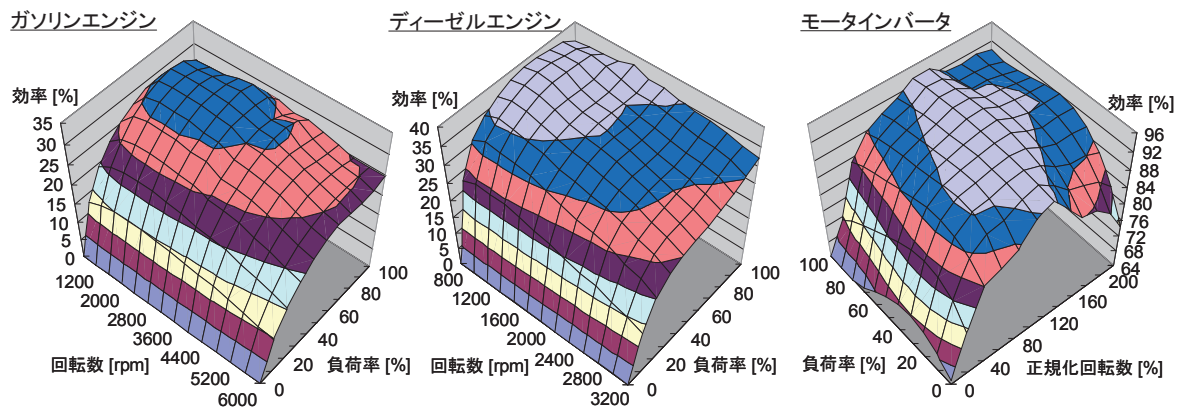


図3 瞬時燃料・電力消費量の算出に使用した各種原動機の効率データ

燃料消費量または瞬時電力消費量のテーブルを参照し、それを時間で積分することで、燃料あるいは電力の消費量を計算する方法とした。

さらに、上記の方法で算出したガソリン、軽油、電力消費量に対して、CO₂ 排出係数を乗ずることでCO₂ 排出量を算出した。本検討においては、環境省が定めるCO₂ 排出係数⁽⁶⁾を使用し、以下のように定めた。ただし、電力については平成24年1月に公表された平成22年度の値であり、総合エネルギー統計における外部用発電と自家用発電を合計した排出係数の直近5ヵ年平均を算出した代替値を使用した。

- ガソリン： 2.322 kg/L
- 軽油： 2.624 kg/L
- 電力： 0.559 kg/kWh (平成22年度代替値)

3. 2. シミュレーション条件

超小型車の利活用場面の一つに観光地の周遊が想定されているため、京都市を対象にシミュレーションを実施した。対象地域と道路の制限速度を図4に示す(破線内)。本地域は、南北に走る堀川通(片側2~4車線)と烏丸通(片側2~3車線)、および北部エリアを東西に走る今出川通(片側2車線)を中心とした領域である。

設定した交通量データは、今出川通、堀川通および烏丸通近辺の交通量調査データと、平成17年度交通センサスデータに基づいて決定した。いずれのデータとも平日の通勤ラッシュ時を対象としている。

表1には本シミュレーションで設定した車種の仕様を示す。超小型車に対してはガソリンエンジンの場合と電気自動車の場合の両方を想定し、普通車からの転

換率を0%、1%、5%、10%、20%、50%とすることで台数を決定した。超小型車の最高速度は20 km/h、30 km/h、40 km/h、50 km/h、60 km/hの5ケースでシミュレーションを実施した。各車両の速度および加速度は、自車の速度、前方車両の速度、前方車両との車間距離に応じて計算する追従モデルを導入しているため、速度の遅い超小型車が前方を走行している場合は、後続車両の速度および加速度にも影響を及ぼすことになる。

図5に、各車両の仕様に基づいて算出した瞬時燃料あるいは電力消費量を示す。

表 1 各種車両の仕様

車両区分	超小型車		普通車 (乗用車)	大型車 (貨物車)	バス
原動機区分	ガソリン	電気	ガソリン	ディーゼル	ディーゼル
全長 [m]	2.500	2.500	4.610	6.510	10.510
全幅 [m]	1.300	1.300	1.695	2.185	2.490
重量 [kg]	470	470	1345	4660	10290
乗員(55 kg) [人]	2	2	2	1	38
エンジン排気量	250		1997	4009	7545
モータ					
最高出力 [kW] /最大トルク [kW]		12/57			
動力伝達装置	CVT		CVT	MT	MT
ギア比					
1 速				5.979	3.487
2 速				3.434	1.864
3 速				1.862	1.409
4 速				1.297	1.000
5 速				1.000	0.750
6 速				0.759	0.652
最終減速比	—	13.4	—	4.1	6.166
タイヤ直径 [m]	—	0.466	—	0.726	0.9655
転がり抵抗係数	0.01	0.01	0.01	0.00886	0.00655
空気抵抗係数	0.362	0.362	0.362	0.6146	0.4205



図 4 シミュレーションの対象地域詳細(京都市)

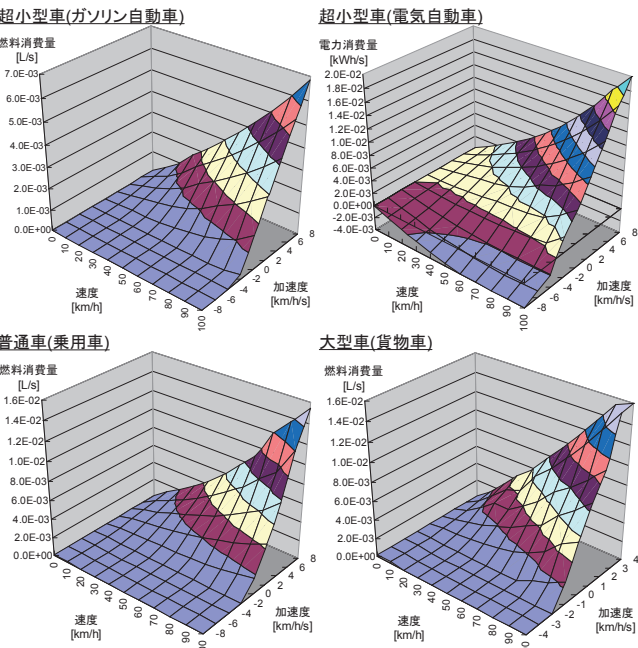


図 5 交通流シミュレーションで使した瞬時燃料消費量および瞬時電力消費量

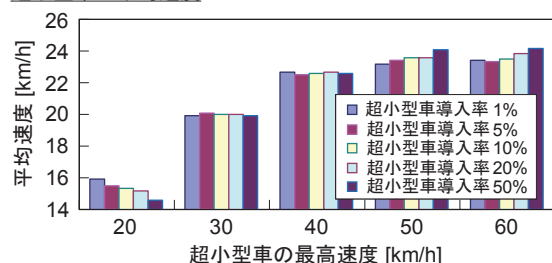
4. 交通流シミュレーション結果および考察

4. 1. 超小型車の導入が平均速度へ及ぼす影響

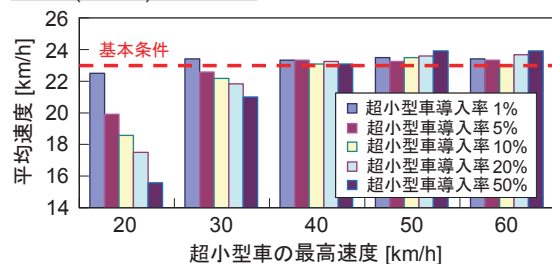
最高速度が異なる超小型車を導入率1%、5%、10%、20%、50%の各ケースで導入した際の各車種の平均速度の解析結果を図6に示す。

本対象地域においては、道路の制限速度が最大で50 km/hであるため、超小型車の最高速度が50 km/hの場合と60 km/hの場合ではほぼ同一の結果が得られた。超小型車の平均速度は最高速度が低下するほど低下し、導入率の違いによる影響は最高速度20 km/hの場合を除き、大きくはない。最高速度20 km/hにおいては、導入率の増加とともに平均速度が低下する結果となった。また、超小型車の最高速度が20 km/hおよび30 km/hの場合、最高速度の低下とともに普通車(乗用車)と大型車(貨物車)の平均速度は低下し、超小型車の導入率が高い条件ほどその傾向は顕著に現れた。最高速度が道路の制限速度のみに依存している普通車(乗用車)および大型車(貨物車)においては、周囲の走行車両によって速度が変化する。このため、最高速度が20 km/hおよび30 km/hの超小型車が導入された場合は導入率が高いほど平均速度も低下する結果となった。

超小型車の平均速度



普通車(乗用車)の平均速度



大型車(貨物車)の平均速度

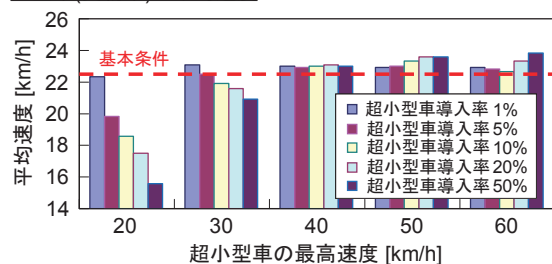


図6 超小型車を導入した際の各車種平均速度の変化

4. 2. 超小型車の導入が平均旅行時間へ及ぼす影響

前節で解析した平均速度を元に、京都駅～金閣寺間 8.8 kmのルートを走行したと仮定した際の平均旅行時間を算出した結果を図7に示す。

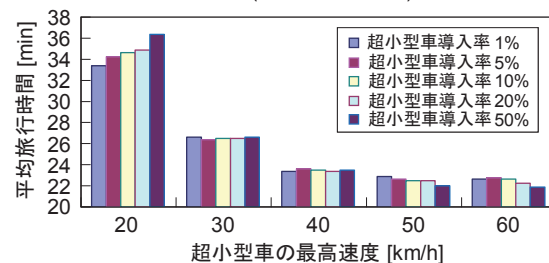
超小型車の平均旅行時間については、最高速度20 km/hおよび30 km/hで旅行時間が悪化していることが明らかである。特に最高速度20 km/hにおいては基本条件での平均速度の約1.5倍に増加した。最高速度30 km/hにおいては基本条件での平均速度の1.2倍程度となった。このような速度の遅い超小型車が多く導入されることで、普通車(乗用車)および大型車(貨物車)の交通流も阻害される。超小型車の最高速度が20 km/hおよび30 km/hの場合、導入率の上昇に伴い普通車(乗用車)および大型車(貨物車)においても旅行時間が増大することが確認された。超小型車の最高速度が40 km/h以上の場合、いずれに車種に対しても導入率の増大による旅行時間の悪化は確認されなかった。

4. 3. 燃料消費量および電力消費量の評価

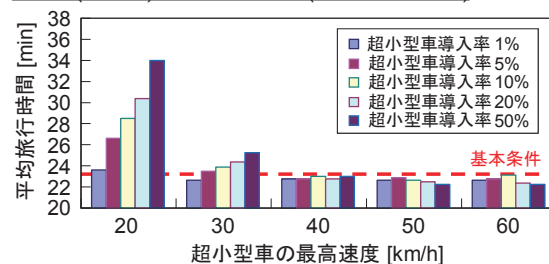
(1) 超小型車がガソリン自動車の場合

超小型車の原動機がガソリンエンジンであると仮

超小型車の平均旅行時間(京都駅～金閣寺)



普通車(乗用車)の平均旅行時間(京都駅～金閣寺)



大型車(貨物車)の平均旅行時間(京都駅～金閣寺)

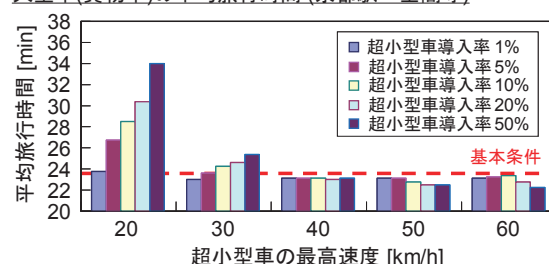


図7 超小型車を導入した際の各車種の京都駅～金閣寺間平均旅行時間の変化

定した場合の各車種の平均燃費の結果を図8に示す。

超小型車については最高速度が低くなるほど燃費性能が向上する結果が得られた。これは、走行速度の低い方が走行に必要なエネルギーを抑制できるためである。また、最高速度20 km/h～40 km/hの場合は導入率の増加によりわずかに燃費性能が改善できている。これは、道路占有面積が減少し(渋滞が短くなり)、よりアイドル運転が減少したためと推測される。

普通車(乗用車)の平均燃費においては、超小型車の最高速度が20 km/hで大幅な悪化に繋がっている。周囲に速度の遅い超小型車が走行している場合、普通車も平均速度が低下する。ガソリン自動車においては、速度の低い条件でエンジンの効率が悪化するため、燃費の悪化を招いてしまう。また、自車の経路上に超小型車が出現、消滅を繰り返すと、無駄な加減速が発生するため、エネルギー消費量が増大する。これらの要因により、最高速度が20 km/hの超小型車が導入された場合には、普通車(乗用車)の燃費が著しく悪化したものと考えられる。一方、超小型車の最高速度が30 km/hおよび40 km/hにおいては燃費の優れた速度で安定して走行することが可能となり、超小型車の導入率

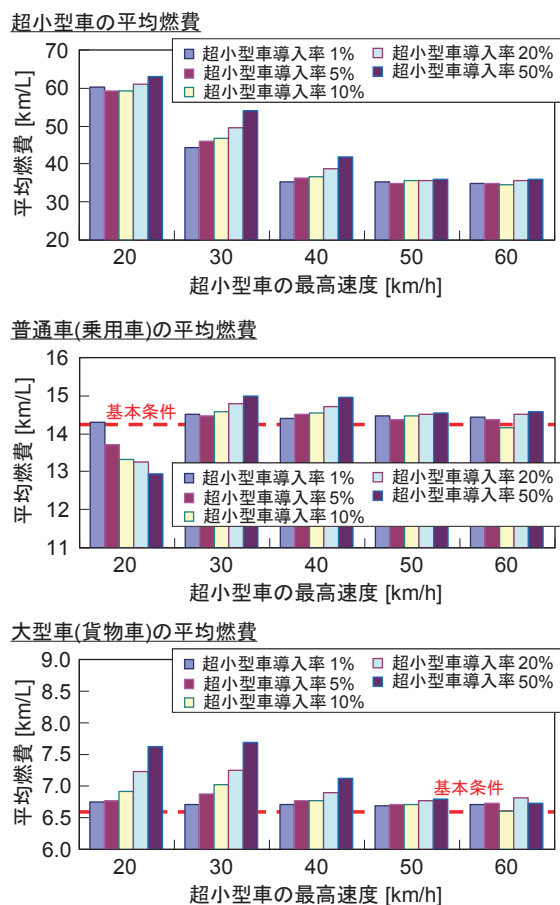


図8 超小型車を導入した際の各車種平均燃費の変化

の増加により燃費が改善したものと考えられる。

大型車(貨物車)においては、最高速度20 km/h～40 km/hの超小型車を導入した場合、導入率の増大とともに平均燃費が改善する結果となった。これらの理由は普通車(乗用車)の場合と同様であると考えられる。ただし、ディーゼル自動車の場合は、エンジンの運転領域が低負荷域の場合でもガソリンエンジンほどの効率の悪化はないため、超小型車の最高速度が20 km/hの場合においても導入率の増大とともに平均燃費が改善する結果となった。

(2) 超小型車が電気自動車の場合

超小型車が電気自動車の場合の電力消費量(電費)を図9に示す。交通流、平均速度、平均旅行時間および他の車種の平均燃費等への影響は前項と同様のため、ここでは超小型車の電費の解析結果のみを示す。

図8に示したガソリン自動車の場合と同様に、超小型車の最高速度の低下とともに平均電費が向上する結果となった。これは、走行速度が低い条件では走行に必要なエネルギーを抑制できるためである。また、超小型車の導入率の違いによる電費への影響はガソリン自動車の場合と比較して小さい。これは、電気自動車の場合、車両の停止時にモータも停止するため無駄なエネルギー消費がないことと、原動機であるモータの効率は運転領域の違いによる影響がガソリンエンジンと比較して小さいことに起因する。

4. 4. CO₂排出量の評価

図10にガソリン自動車の場合、電気自動車の場合のそれぞれにおける超小型車のCO₂ 排出量の解析結果を示す。ただし、電気自動車の場合は実際には走行時にCO₂ 排出されないが、消費した電力量に応じてCO₂ を排出したものと見なした。

同図より、電気自動車はガソリン自動車と比較して全体的に低いCO₂ 排出量となっていることがわかる。

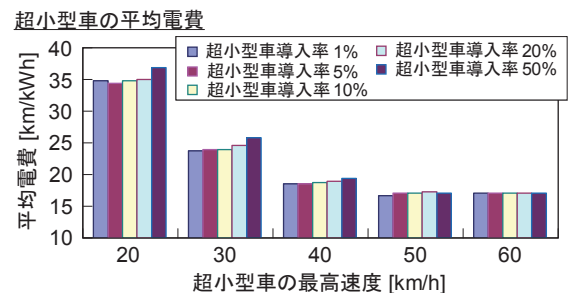


図9 超小型車を導入した際の超小型車の平均電費の変化

これは、個々の車両にエンジンを搭載するよりも、国内の電源構成により得られる電力を使用した方がCO₂排出量が低減できることを意味している。最高速度の違いに対するCO₂排出量への影響は、燃費あるいは電費の結果からも明らかであり、最高速度が低くなるにつれてより走行抵抗の少ない条件で走行可能となるためにCO₂排出量も低減した。

これらの超小型車を導入した際の全車両のCO₂排出量削減効果を図11に示す。なお、ここでは超小型車を導入していない基本条件におけるCO₂排出量を100%としている。同図より、超小型車の最高速度がいずれの場合においても、超小型車の導入率の上昇に伴いCO₂排出量削減効果が得られる結果となった。そ

の効果は、超小型車が電気自動車の場合の方が、ガソリン自動車の場合よりもわずかに大きい。例えば、超小型車導入率20%では、ガソリン自動車の場合、約10%前後、電気自動車の場合、約15%前後のCO₂排出量削減効果が見込める。これは、前述したとおり電力のCO₂排出係数が0.559 g/kWhでの結果であり、電源構成に占める原子力発電の割合によって変化する。概算としては、CO₂排出係数0.8 g/kWh程度でガソリン自動車の場合と同程度のCO₂削減効果となることが予想される。

5. 超小型車の最高速度抑制の可能性

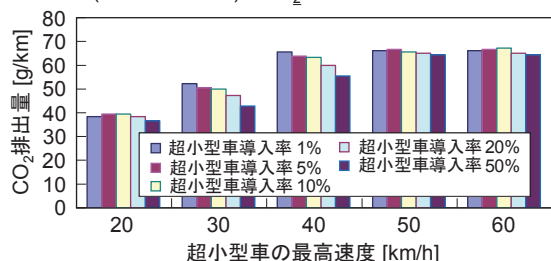
交通流シミュレーションにより、超小型車の最高速度を40 km/h程度とすることで、他の車両の交通流(平均速度、旅行時間)および燃費の悪化を抑制しつつ、CO₂排出量を抑制可能であることが示された。ただし、本交通流シミュレーションではドライバの個々の運転特性や車両性能の違いを考慮できていない。これらの因子による交通流への影響、例えば、前方車両に対するあおりやそれに伴う無駄な加減速等により、渋滞や燃費悪化を引き起こすことも考えられる。

以上より、本検討結果は定性的な結果として捉える必要があるものの、安全性の確保を狙いとした超小型車の最高速度抑制については、一つの方策として検討に値することを見出した。

参考文献

- (1)「高齢者にやさしい自動車開発委員会」報告書、高齢者にやさしい自動車開発委員会、2011年2月
- (2)「超小型自動車の安全性評価に係る調査」報告書、国土交通省自動車局 技術企画課、2011年3月
- (3) 工藤 希、佐藤 安弘、水間毅、“軌道系交通の導入評価のための都市交通シミュレータ”、第44回土木計画学研究発表会・講演集、No.292、2011
- (4) 新・道路運送車両の保安基準(省令・告示全条文)、交文社、別添41
- (5) 水嶋 教文、工藤 希、新国 哲也、大野 寛之、“自動車の燃費計算を反映した交通流シミュレーションによる超小型車の最高速度に関する研究”、第46回土木計画学研究発表会・講演集、2011
- (6)「平成22年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)」、環境省ホームページ、2012年1月、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702>

超小型車(ガソリン自動車)のCO₂排出量



超小型車(電気自動車)のCO₂排出量

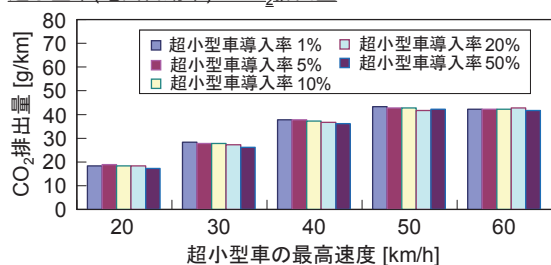
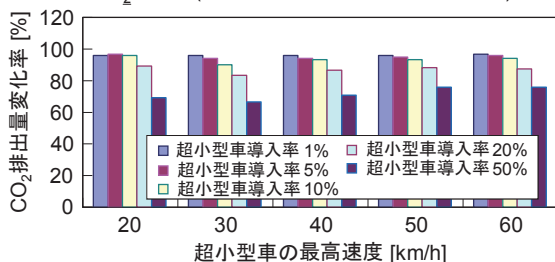


図10 超小型車のCO₂排出量解析結果

全車両のCO₂排出量(超小型車がガソリン自動車の場合)



全車両のCO₂排出量(超小型車が電気自動車の場合)

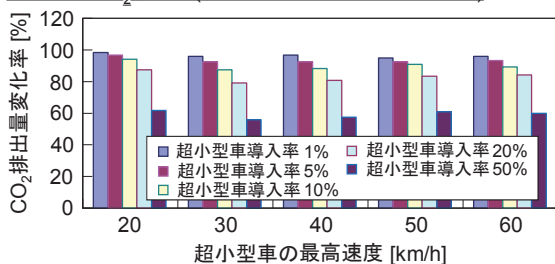


図11 全車両のCO₂排出量削減効果(基本条件 = 100%)

4. 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

環境研究領域 ※石井 素 水嶋 教文 川野 大輔 佐藤 由雄 阪本 高志 後藤 雄一

1. はじめに

温室効果ガス排出量の削減およびエネルギーの確保を狙いとして、バイオディーゼル燃料、特に脂肪酸メチルエステル(Fatty Acid Methyl Ester、以下 FAME)の利用が世界的に加速しつつある。IEA によると 2009 年の FAME 世界年間生産量は石油換算で 1290 万 t であり、2005 年の 291 万 t に対して 4 年間で 4 倍以上も生産量が増大している。例えば欧米諸国では、広大な農地を利用して菜種、大豆等を栽培し、搾取したバージンオイルから FAME を大量に生産している。

日本国内においては、地方自治体や事業者により回収された廃食用油が FAME に転換され、利用されている。(株)富士経済の調査⁽¹⁾によると、国内の FAME 製造事業者は 400～500 社あり、2009 年における年間総生産量は約 14000 kL である。国内の年間軽油消費量約 4000 万 kL と比べるとその普及量はわずかである。一方、国内の廃食用油の発生量は推計で年間約 40～50 万 kL 程度といわれており、その約半分は既に工業用や飼料用に再利用されている。このため、FAME に利用可能な廃食用油の潜在量は約 20 万 kL 程度である。利用可能な廃食用油 20 万 kL 全てを FAME として利用した場合、軽油の年間消費量に対してわずか 0.5% を代替することになる。

以上のように、国内の FAME は生産量が少ないものの多くの事業者が参入しているため、環境負荷の観点から適正な使用を推進する必要がある。交通安全環境研究所では、環境省公害防止等試験研究費による委託事業「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その評価に関する研究」(平成 20 年度～平成 23 年度)を中心として、FAME をディーゼル重量車に適用した際の排出ガス性能、およびバイオディーゼル燃料の今後の可能性について、調査、検討を実施したのでその成果を報告する。

2. 国内における FAME 使用実態の調査

平成 21 年 2 月に施行された改正揮発油品確法によると、軽油に FAME を混合する場合、軽油への FAME 混合割合が 5 mass%以下に規制されている。一方、軽

油に混合せずに FAME100%(ニート)として走行することも可能である。交通安全環境研究所では自動車検査証備考欄に「廃食用油燃料併用」等が記載された車両の使用者(4651 件)に対し、アンケート調査票を郵送し、FAME 使用実態を調査した。この結果、図 1 に示すとおり軽油と混合せず FAME100%で使用しているケースがほとんどであり、軽油と混合している例は極めて少なかった。

3. FAME 使用時の排出ガス性能の実態

3. 1. シャンダイナモ試験概要

新短期排出ガス規制、新長期排出ガス規制、ポスト新長期排出ガス規制に適合した各種重量車に廃食用油から製造した FAME を使用した際の排出ガス性能への影響を、シャンダイナモ試験により評価した。試験条件は JE05 排出ガス試験モードである。

試験車両の諸元を表 1 に示す。車両 A および B は後処理装置に酸化触媒(DOC)のみを搭載した新短期規制適合車である。また、車両 C、D および E は後処理装置に DOC とディーゼルパティキュレートフィルタ(DPF)を搭載した新長期規制適合車であり、車両 F は同じく新長期規制適合車であるが、DPF を搭載せずに尿素 SCR システムを搭載している。車両 F は後処理装置に DOC と DPF を搭載し、NO_x 低減対策として二段過給との併用による大量排気再循環(EGR)を導入したポスト新長期規制適合車である。

3. 2. シャンダイナモ試験結果

新短期規制適合車における NO_x および PM の排出量を図 2 に、新長期およびポスト新長規制適合車にお

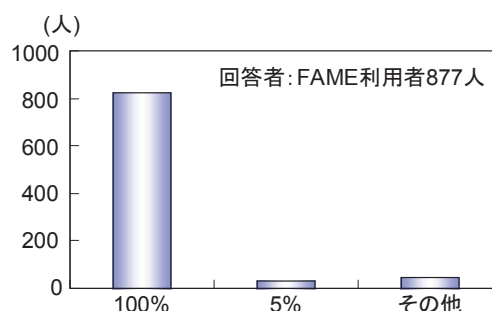


図 1 軽油への FAME 混合割合のアンケート調査結果

表2 試験車両諸元

車両	A 塵芥車	B バス	C 塵芥車	D バス	E トラック	F バス	G トラック
車両タイプ							
最大積載量 or 乗車定員	2000 kg	78人	2000 kg	74人	3000 kg	75人	3000 kg
車両総重量	6365 kg	14360 kg	6445 kg	14410 kg	6260 kg	15545 kg	6585 kg
全長	5340 mm	10920 mm	4310 mm	10290 mm	6510 mm	10990 mm	6600 mm
全幅	1850 mm	2500 mm	1840 mm	2490 mm	2185 mm	2490 mm	2220 mm
全高	2290 mm	2930 mm	2310 mm	3180 mm	3045 mm	2990 mm	2450 mm
エンジン タイプ	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル	直噴ターボ ディーゼル
総排気量	4.89 L	7.79 L	4.89 L	7.79 L	4.01 L	9.20 L	3.00 L
最大出力	103 kW / 2700 rpm	191 kW / 2700 rpm	110 kW / 2700 rpm	191 kW / 2400 rpm	100 kW / 2500 rpm	220 kW / 2200 rpm	110 kW / 2800 rpm
最大トルク	412 Nm / 1600 rpm	745 Nm / 1400 rpm	441 Nm / 1600 rpm	761 Nm / 1450-2200 rpm	392 Nm / 1600 rpm	1324 Nm / 1400 rpm	375 Nm / 1400-2800 rpm
変速機	4速AT	5速AT	4速AT	5速AT	6速MT	5速AT	6速MT
後処理装置	DOC	DOC	DOC, DPF	DOC, DPF	DOC, DPF	DOC, 尿素SCR	DOC, DPF
排出ガス規 制	新短期規制 (平成15年)	新短期規制 (平成16年)	新長期規制 (平成17年)	新長期規制 (平成17年)	新長期規制 (平成17年)	新長期規制 (平成17年)	ポスト新長期規制 (平成22年)

ける NOx および PM の排出量を図 3 に示す。いずれの図とも、FAME 混合割合とは軽油に対する FAME の質量混合割合を示し、0%は軽油を、100%は FAME である。

新短期規制適合車においては、NOx 排出量が 2 台とも規制値以上となった。本来、新短期規制においてはエンジンダイナモで D13 モードといわれる定常試験を実施する。本試験では、シャシダイナモにおいて過渡条件である JE05 モード試験を実施したため、NOx 排出量が増大した。また、車両 B においては FAME 混合割合の増加に伴い NOx 排出量が増大する傾向を示した。PM については規制値よりも十分に低く、かつ FAME 混合割合の増加に伴っていずれの車両においても減少した。これは、含酸素および芳香族非含有といった FAME の特性によるものである。

新長期およびポスト新長期規制適合車においては、いずれの車両とも FAME 混合割合の増加に伴い NOx が増大した。軽油(FAME 混合割合 0%)に対する増加率は新短期規制適合車の場合よりも高い。特に、尿素 SCR システムを搭載した車両 F では増加率が著しく高い結果を示した。PM については、DPF を搭載している車両の場合は FAME 混合割合に対して概ね一定であり、規制値に対して十分に低い値を示した。DPF を搭載していない車両 F については、新短期規制適合車と同様に、FAME 混合割合の増加に伴い減少した。

次章以降において、本結果の要因を各種実験結果により解析するとともに、排出ガス悪化を抑制可能なバイオディーゼル燃料の方向性について検討した。

JE05モード(新短期排出ガス規制適合車)

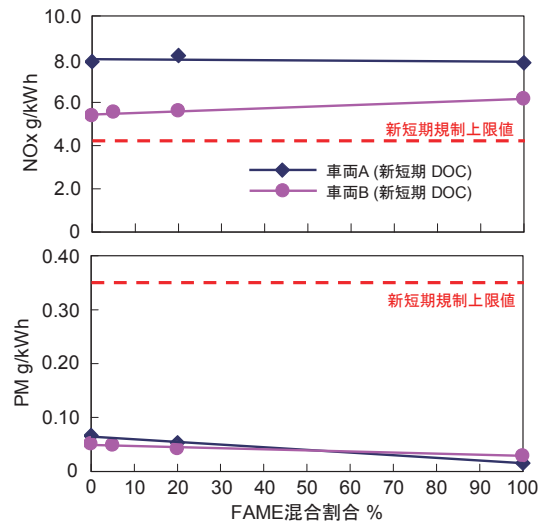


図2 新短期規制適合車における JE05 モード NOx および PM 排出量

JE05モード(新長期、ポスト新長期排出ガス規制適合車)

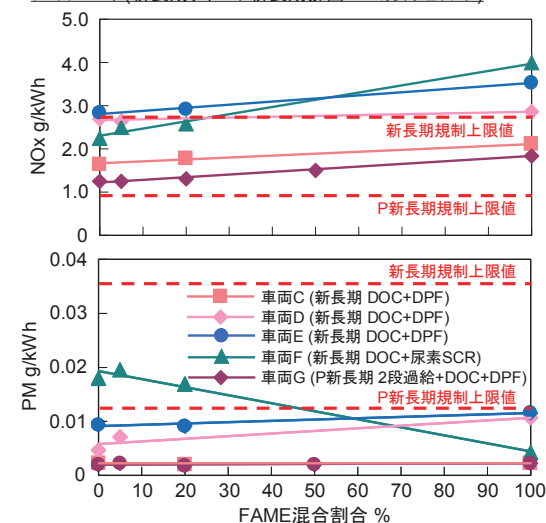


図3 新長期・ポスト新長期規制適合車における JE05 モード NOx および PM 排出量

4. FAMEにおけるNO_x増大要因

4. 1. 尿素SCR搭載車におけるNO_x増大要因

前章で確認された尿素 SCR システム搭載車における NO_x 増大の要因を詳細に把握するため、図 4 に示す尿素 SCR システムを搭載したエンジン台上試験装置により実験を実施した⁽²⁾。エンジンは連続再生式 DPF を装着した重量車用ターボインタークーラー付き直列 4 気筒ディーゼルエンジンであり、総排気量 4009 cm³ である。これに対して、交通安全環境研究所において尿素 SCR システムを後付している。

本試験装置による JE05 モード排出ガス試験を実施し、軽油に対する FAME 混合割合の違いが JE05 排出ガス試験モードにおける NO_x 排出量への影響を評価した。その結果を図 5 に示す。同図には、尿素 SCR 触媒入口における NO_x 排出量とテールパイプにおける NO_x 排出量とから算出される尿素 SCR 触媒における NO_x 浄化率も同時に示している。本結果より、FAME 混合割合の増加に伴い、NO_x 浄化率が悪化していることが確認できる。

この要因を解析した結果、FAME 混合割合の増加に伴う SCR 触媒入口の NO₂/NO_x 比の低下があげられた。SCR 触媒における反応を総括反応式で表現すると以下に示す式(1)で表され、NO と NO₂ の比率が 1 : 1、

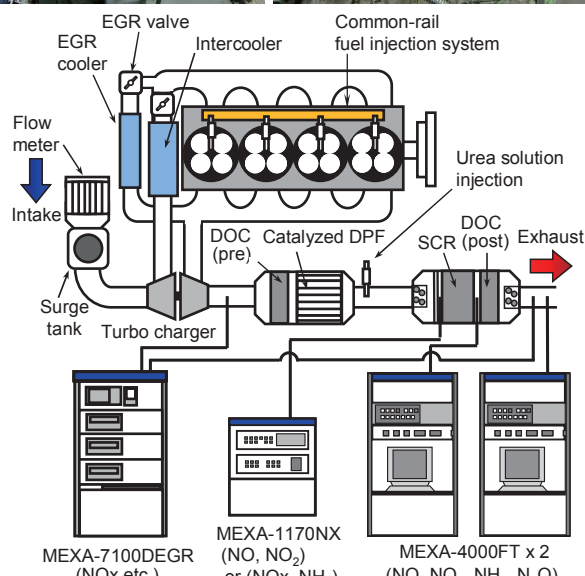
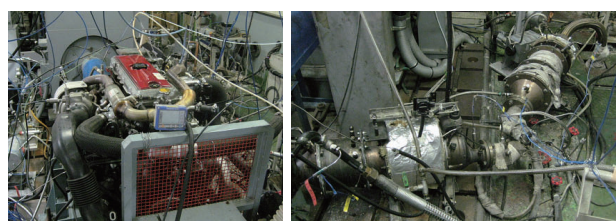


図 4 尿素 SCR システムを搭載したエンジン試験装置 (左写真：エンジン、右写真：後処理システム)

つまり NO₂/NO_x 比が 0.5 となることで、高い NO_x 浄化率が得られることが知られている。



図 6 に、軽油運転時において、異なる酸化力の DOC および DPF を搭載することで JE05 モード平均の SCR 入口 NO₂/NO_x 比を変化させた際の NO_x 浄化率の関係を示す。同時に、本試験における FAME 運転時の結果も重ねている。本結果より、FAME 混合割合の増加に伴い、SCR 入口 NO₂/NO_x 比が低下し、NO_x 浄化率が悪化していることが確認できた。

FAME 混合割合の増加に伴い SCR 入口 NO₂/NO_x 比が低下する要因については、SCR 入口(エンジンアウト)NO_x が増加すること、排気温度低下による DOC の酸化力低下により SCR 入口 NO₂ が低下すること、FAME 使用時に増加する排気中の有機性可溶成分(SOF)により DOC および DPF が被毒すること、など様々な要因が考えられる。

以上より、尿素 SCR 触媒搭載車における NO_x 排出量の大幅な増大は、他の車両と同様にエンジンアウトでの NO_x 増加に加えて、SCR 触媒における NO_x 浄化率の悪化が主要因であることを明らかにした。

4. 2. NO_x触媒非搭載車におけるNO_x増大要因

尿素 SCR 触媒搭載車のみならず、その他の新長期・ポスト新長期規制適合車においても FAME 混合割合の増加に伴い NO_x 排出量が増大したため、その要因について述べる。

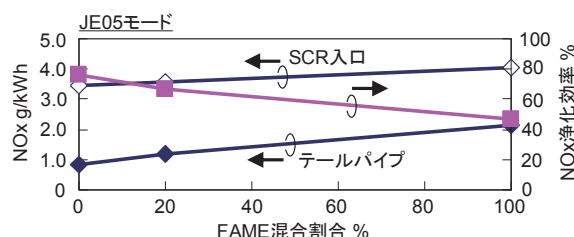


図 5 SCR 入口、テールパイプにおける NO_x 排出量と SCR 触媒の NO_x 浄化率

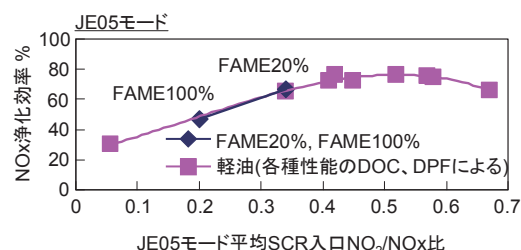


図 6 JE05 モード平均の SCR 入口 NO₂/NO_x 比と SCR 触媒の NO_x 浄化率の関係

FAME 使用時におけるエンジンからの NOx 排出量が増大する要因は、大きく二つが考えられる。一つは燃料噴霧中における局所空気過剰率(実空燃比/理論空燃比)の変化、もう一つは EGR 率、燃料噴射圧力等のエンジン燃焼制御状態の変化である。両者とも、FAME が含酸素燃料であることに起因して生じる現象である。

図 7 および図 8 に、燃料噴霧中における空気過剰率を推計するために実施した⁽³⁾噴霧観察実験の装置および観察結果を示す。さらに、これらの結果に基づいて推計した燃料噴霧中における局所空気過剰率の結果を図 9 に示す。図 9 より、FAME においては噴霧中における空気過剰率が全般的に高く、軽油の場合と比べ

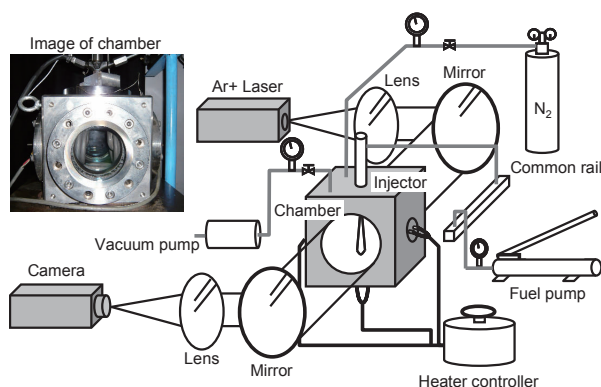


図 7 噴霧観察実験装置

ノズル噴孔径 0.20 mm 燃料噴射圧力 80 MPa
霧囲気圧力 3.2 MPa 定容容器壁温 350 deg.C

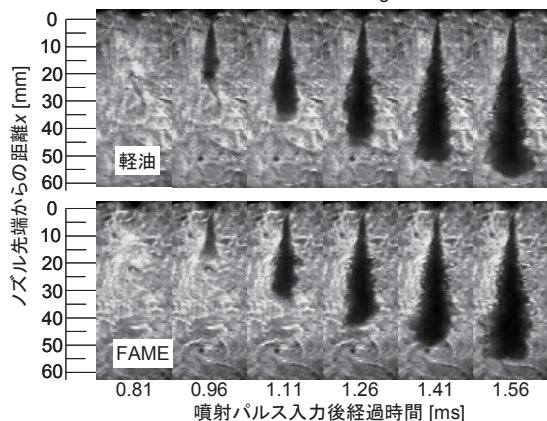


図 8 軽油および BDF(FAME)の噴霧観察画像

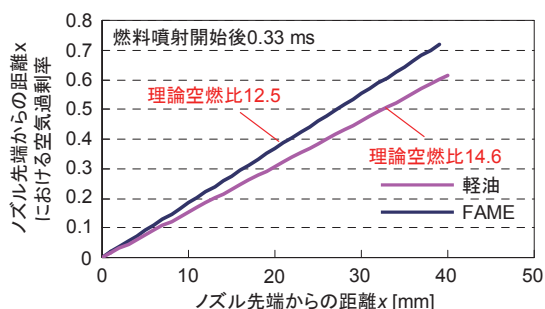


図 9 噴霧中における空気過剰率の推計結果

て両論混合比(空気過剰率 1)に近い値となっていることが確認できた。これは、FAME が含酸素燃料であるため、理論空燃比が軽油の場合と比較して低いことが原因である。このような空気過剰率の変化は、一般的に NOx 増大を招く混合条件への変化であるため、FAME 使用時の NOx 増大要因の一つと考えられる。

もう一つの要因である、エンジン燃料制御状態の変化を確認するためにエンジン台上実験を実施した⁽⁴⁾。図 10 に使用した量産エンジンの外観を示す。エンジンは、総排気量 4009 cm³の重量車用ターボインタークーラー付き直列 4 気筒ディーゼルエンジンである。本エンジンに対して FAME を使用した際のエンジン燃焼制御状態の変化を図 11 に示す。なお、比較のため、同図には軽油およびパラフィン系炭化水素燃料を使用した際の結果についても示した。FAME は前述した

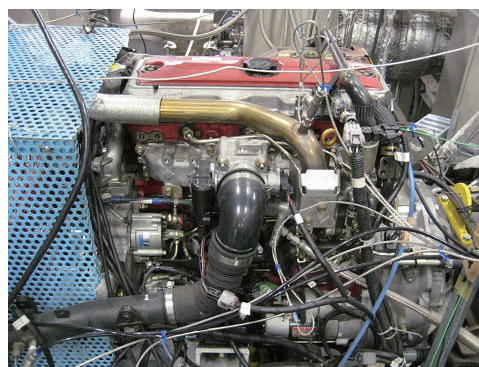


図 10 エンジン台上実験装置

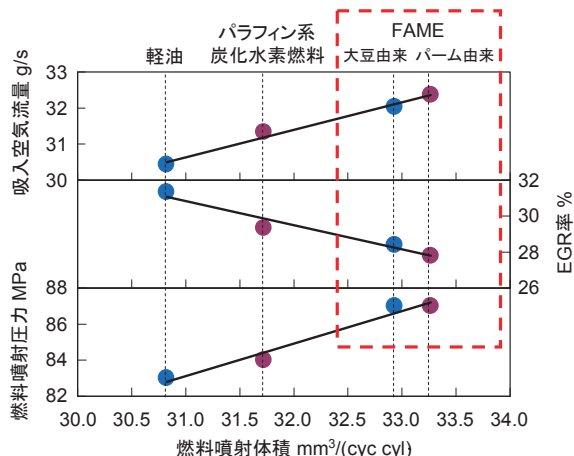
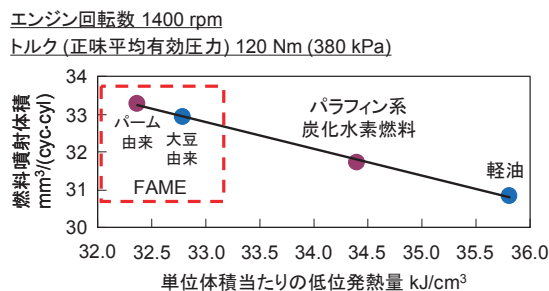


図 11 燃料の違いによるエンジン燃焼制御状態の変化

とおり含酸素燃料であるため、軽油や一般的な炭化水素燃料と比較して低位発熱量[kJ/kg]が低い。これに起因して単位体積当たりの低位発熱量[kJ/cm³]も低くなるため、トルク一定運転条件の下では同図上段に示すように燃料噴射体積が増大する。一般的なディーゼルエンジンは、燃料噴射体積に応じて燃焼制御状態を定めているため、燃料噴射体積が増大すると同図下段に示すように EGR 率や燃料噴射圧力が変化する。FAME の場合はトルク一定条件下において燃料噴射体積が増大することから、低 EGR 率および高燃料噴射圧力となる。これは、NO_x がより生成されやすい燃焼制御状態であることが知られており、FAME 使用時における NO_x 増大のもう一つの要因である。

5. NO_x 増大を抑制可能なバイオディーゼル燃料

FAME 使用時における NO_x 増大を抑制するためには二通りの方法が考えられる。一つは、燃料側で対策することで、エンジンの設計変更や改造を伴わずに NO_x 増大を抑制する方法、もう一つは FAME の性状に適したエンジンの設計や燃焼制御を導入することで NO_x 増大を抑制する方法である。しかしながら、前述したとおり日本国内における FAME の市場は極めて小さいため、軽油との併用が想定される。このため、後者は適切な方法とは言い難く、前者の燃料側での対策が重要となる。

前章で述べたとおり、FAME 使用時におけるエンジンからの NO_x 排出量が増大する要因は、FAME が含酸素燃料であることに起因している。したがって、非含酸素燃料とすることで、NO_x 排出量が増大するといった問題を避けられるものと推測される。

昨今、非含酸素燃料のバイオディーゼル燃料としては以下の二つが将来的に有望視されている。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水素化バイオ軽油(Hydrotreated Vegetable Oil、以下 HVO)と、あらゆるバイオマス資源からガス化・FT 合成により得られる Biomass to Liquid (以下 BTL)である。いずれも、非含酸素のパラフィン系炭化水素燃料であり、高セタン価、優れた低温流動性といった特徴を有している。HVO については、過去に交通安全環境研究所が中核的研究機関として行った国土交通省の次世代低公害車開発・実用化促進事業において、トヨタ自動車他と東京都環境局および交通局の協力の下で実証運行試験を実施し⁽⁶⁾、現在は IEA-AMF 協定

の枠組みで実路走行条件における排出ガスの評価を実施している⁽⁶⁾。

5. 1. HVOの排出ガス特性

図 10 で示したエンジン台上実験装置において、FAME、HVO、および軽油を使用して JE05 モード排出ガス試験を実施し、エンジン出口において NO_x 排出量を計測した。結果を図 12 に示す。FAME については大豆油由来のものとパーム油由来のものをを用いた。両者は着火性および燃料中の H/C 比の異なる燃料である。軽油と HVO については同じ炭化水素燃料ではあるが、HVO はパラフィンを主成分としているため着火性が高く、燃料中の H/C 比も軽油と比べて高い。同図は、FAME および炭化水素燃料それぞれにおいて、着火性および H/C 比の違いによる影響を明確化するため、大豆油由来の FAME にはパーム油由来の FAME と同等の着火性となるよう、また、軽油には HVO と同等の着火性となるよう、着火性向上剤 Di-tert-butyl Peroxide (C₈H₁₈O₂)を 0.8 vol.%添加した結果も示している。この結果、HVO について、以下の NO_x 排出特性を明らかにした。

- 1) 非含酸素燃料であるため、FAME のような NO_x 排出量の増大は確認されず、軽油運転時と同等の NO_x 排出量が得られる。
- 2) HVO と同等の着火性にした軽油においては、従来の軽油と比較して若干の NO_x 排出量の増加が確認されたにもかかわらず、HVO では NO_x 排出量増大を抑制できる。
- 3) 2)の要因としては HVO が高 H/C 比であることが考えられる。高 H/C 比の場合、燃焼生成ガス中における水分の割合が高くなるために火炎温度が

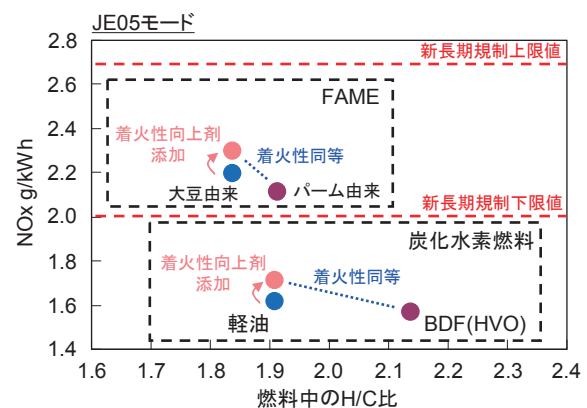


図 12 BDF(FAME)、軽油との比較による BDF(HVO)の NO_x 排出特性

低下する。これによって、NO_x 増大が抑制できたものと推察される。

以上の特性は HVO のみならず、同じパラフィン系炭化水素燃料である BTL に対しても同様に得られるものと予測される。

5. 2. 最新車両へのHVOの適用性

以上で明らかとなった排出ガス特性を、実車両でも確認するべく、HVO を用いたシャシダイナモによる JE05 モード排出ガス試験を実施した。使用した車両は表 2 に記載の車両 E および G である。図 13 に NO_x および PM 排出量の結果を示す。軽油に対する HVO の混合割合を増加させても、FAME の場合のような NO_x 排出量の増大は確認されず、軽油(HVO 混合割合 0%)の場合と同等の NO_x 排出レベルとなっていることがわかる。これは新長期規制適合の車両 E およびポスト新長期規制適合の車両 G の両者とも確認できる結果である。(いずれの車両とも NO_x 排出量が規制値をわずかに超えているが、これは試験方法および条件が認証試験時と異なるためである。) PM 排出量については、DPF を搭載しているために BDF 混合割合によらず十分に低い値を示している。

本結果より、HVO に関しては最新車両に適用しても軽油の場合と同等の排出ガス性能が得られることを確認した。

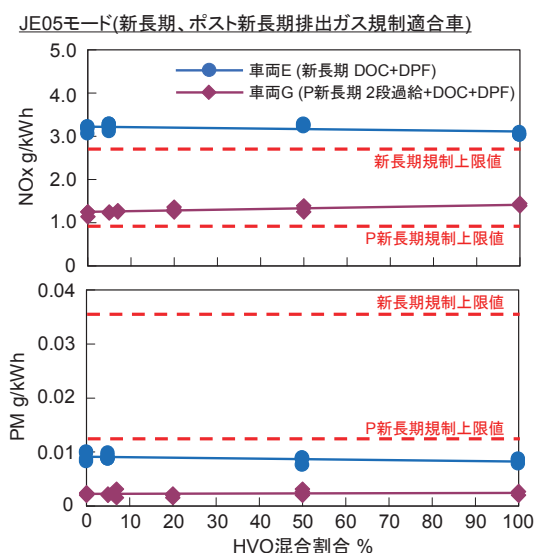


図 13 最新車両に BDF(HVO)を使用した際の JE05 モード NO_x および PM 排出量

6. おわりに

現在国内で使用されている FAME の排出ガス性能の実態を把握すると共に、FAME 使用時に NO_x 排出量が増大する要因について、体系的に実験、解析し、明らかにした。また、NO_x 排出量増大の抑制に資するバイオディーゼル燃料の可能性についても述べた。今後は、最新の排出ガス規制に適合した車両に対して、軽油と同様に利用可能な HVO がバイオディーゼル燃料として普及することに期待したい。さらに、動植物油のみならずあらゆるバイオマス資源を有効に利用するという観点から、BTL についても今後の技術開発の動向を把握し、HVO と同様に最新車両への適用性を評価する必要がある。

一方で、これらのバイオマス燃料には温室効果ガスの削減効果が求められる。このため、交通安全環境研究所においては、最新車両への適用性を評価するのみならず、ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果を評価し、普及を推進すべきバイオマス燃料を適正に見極める予定である。

参考文献

- (1)「化石燃料市場とその代替新燃料市場の調査結果」、(株)富士経済ホームページ、2010 年 2 月、<https://www.fuji-keizai.co.jp/market/10016.html>
- (2)水嶋ほか、“バイオディーゼル燃料が尿素 SCR システムの NO_x 浄化特性に及ぼす影響”、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp.333-338、2010 年 3 月
- (3)石井ほか、“バイオディーゼル機関の NO_x 排出抑制に関する研究—燃料噴射特性が噴霧中の空気導入量に与える影響—”、自動車技術会 第 22 回内燃機関シンポジウム 講演論文集、講演 No.41、pp.237-242、2011 年 11 月
- (4)水嶋ほか、“バイオマス由来ディーゼル代替燃料使用時の NO_x 排出特性に関する一考察”、自動車技術会論文集、Vol.43、No.4、pp.849-854、2012 年 7 月
- (5)石井、“次世代合成燃料自動車開発・実用化プロジェクト”、自動車技術、Vol.65、No.11、pp.49-55、2011 年 11 月
- (6)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同行と交通研の取り組み”、交通安全環境研究所フォーラム 2011 講演概要、pp.7-12、2011 年 11 月

5. 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

※小田 曜作

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、自動車等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。

自動車審査部は、自動車及び装置に関し、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、燃料消費量の確認等について、公正・中立な立場で審査を行う我が国唯一の機関である。

審査の過程において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する厳正な審査と申請者にとって利便性・合理性の高い審査を両立することが従来にも増して求められている中で、自動車審査部では業務実施体制の強化を図るべく、各種の取り組みを行っている。ここでは、23 年度に実施したものを中心に記載する。

1. 1. 自動車審査部の役割

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の安全性確保及び環境の保全を図っている。

交通安全環境研究所では、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、自動車審査部は、①の段階においては、基準認証国際調和支援活動を通じて、審査の知見を生かした技術的支援及び新たな国際認証枠組みの検討支援に取り組み、②の段階においては、自動車の審査を通じて基準適合性審査の確実な実施に取り組むことを、その役割としている。

1. 2. 組織運営

審査業務に関する基本的な方針の検討を行うとともに、業務運営に係る総合調整を行うため、審査運営会議を開催し、審査業務実行状況の把握、審査業務関連の規程制定、業務評価に係る指標の検討、ユーザーニーズに対応した業務改善方策等の策定を行っている。

また、基準の強化、新技術の導入等に対応しつつ自動車等の審査を機動的かつ効率的に実施するため、前年に引き続きスタッフ制のもとで審査の専門分野ごとにグループを編成する体制とし、組織運営の効率化の観点から、基準の新設等による業務量の拡大、新規業務の追加等に応じて適宜柔軟にグループの改編を行っている。

2. 自動車等の審査業務

平成 23 年度における自動車等の審査件数は、自動車 4,304 型式、装置 499 型式である。

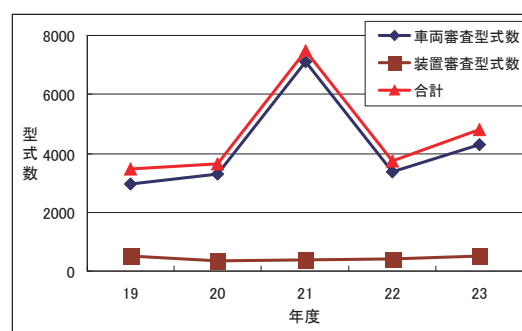


表 1 審査件数の推移

ハイブリッド自動車等の高電圧蓄電池を動力源とした乗用の車両に対しては、平成 24 年 7 月 1 日より通常使用時と衝突時における乗車人員の感電保護基準が適用となり、当該基準の基準適用日前対応としての申請が平成 22 年度後半から増えているところである。

さらに、後部突入防止装置(RUP)についても、車両総重量が 3.5t を超えるものについて装置の義務化がなされたことに伴い、装置申請が平成 24 年度に入り大量に行われたことから、関係団体等との調整を図りつつ効率的な審査に努め、平成 24 年 6 月中に審査を完了するとともに、その後もさらなる対応に向けた各種の変更申請に対応を続けているところである。

また、平成 25 年 1 月 1 日から規制が適用される後部反射器の取付要件への対応や、横滑り防止装置(ESC)、ブレーキアシスト(BAS)の基準適用日前の対応として、これらの基準に対応した装置を装備する車両の申請が増えているところである。

2. 1. 型式指定制度

自動車の型式指定は、自動車メーカー等による国土交通省への申請により、自動車の構造、装置及び性能が保安基準に適合し、かつ、自動車が均一性を有するものであるかどうかを判定し、その自動車の型式を指定する制度である。

装置についても、同様の型式指定制度があり、型式について指定を受けた装置は、自動車型式指定において、保安基準に適合しているものと見なしている。また、58 協定(自動車の装置ごとの安全・環境に関する基準の統一及び相互承認の実施を図ることを目的として、1958 年、国連において採択された協定)に基づく認可証を有する装置については、装置型式指定を受けたものと見なしている。

自動車審査部では、これらの型式指定制度において、国土交通省の依頼に基づき自動車及び装置が保安基準に適合するかの審査を行っている。



図1 型式指定制度の概要

2. 2. 自動車審査の流れ

自動車の型式審査においては、あらかじめ審査部と申請者との間で実施するミーティングにおいて、申請内容の把握し、その内容を元に審査項目を選定

し、その後、試験及び書面審査を実施し、基準適合性の判断するものとなっている。

2. 3. 確実な審査の実施

確実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、必要に応じて職員の研修、審査手法の確立、施設の整備等の措置により、審査体制の整備を行うこととしている。

2. 3. 1. 職員の採用・育成

審査を確実かつ効率的に実施するためには、審査能力の向上は不可欠である。このため、職員の専門性の向上と担当分野の拡大を目的とする研修を行うとともに、審査業務に必要な知識の習得及び各職員の担当する審査項目や範囲をグループ横断的に認定・管理することを目的として、平成 18 年 4 月より「自動車審査試験実施能力認定制度」を導入し、平成 23 年 4 月からこれをさらに改善した新たな認定制度の運用を開始した。

平成 23 年度末現在、新たな認定制度に基づく認定を 77 件与え、管理を行っている。研修の具体的な内容としては側面衝突試験、座席取り付け、突入防止装置、ダミー校正等に関する研修を実施した。

また、平成 19 年度から技術者を、長期に渡って審査業務に携わることを前提としたプロパー職員として雇用(中途採用)しており、平成 23 年度には 2 名のプロパー職員を採用するなどし、これまで 12 名のプロパー職員を配置している。これらのプロパー職員は、専門知識及び開発現場等での経験を活かし、審査業務において個人として活躍するとともに組織全体の技術力の底上げにつながっている。

その他、語学力の習得を目的とする英語研修の実施や審査部へ新規に配属された職員等に対する研修用「審査マニュアル」の見直しを行い、審査部業務の全体概要が容易に理解できるよう、工夫して研修を実施した。

2. 3. 2. 審査手法の確立

新しく導入・改正された基準に対する審査を実施するためには、審査手法の確立が必要となる。そのため適宜行われる基準の改正に対応した取り組みを実施している。

新たに採択された通常使用時と衝突時における乗車人員の感電保護基準については、基準解説書の

策定及び実車試験に使用する試験車両の選定手法を確立した。また、歩行者保護基準については、自動車審査部保有設備での検証実験等を通じ、基準解説書の策定を行った。



図2 審査手法検討の様子

RUP についても、短期間に膨大な申請が集中することが見込まれたため、同一型式の考え方を整理するなど効率的な審査手法の確立を行っている。

採択が予定されている協定規則 13 号(トラック・バス・トレーラの制動装置)では、①アンチロックブレーキシステム及び②カーブを走行時にバランスを崩して横転することを抑制すること等を目的とした電子式車両姿勢制御装置 (EVSC)、③トラクタ及びトレーラの電気伝達式制動装置のそれぞれに対する試験要件等が制定される。

このうち、EVSC についてはシミュレーションデータによる認証が行われることから、すでに実施されている乗用車 ESC(横滑り防止装置)におけるシミュレーションデータによる認証の経験を生かし、国際会議等への参加を通じ、基準策定に向けた技術的な提案を行うとともに、1 年以上をかけて R13 試験実施マニュアルを策定し、高度な制御技術を備えた自動車に対する試験を効率的かつ適正に実施するための審査体制を整備した。

また自動車のタイヤ空気圧を常時監視する想定であるタイヤ空気圧警報システム(TPMS)にかかる規則を日本も採択することとしたことから、試験実施マニュアル、試験車両の選定・試験機器の検討を通じて審査体制を確立し、運用開始に備えている。

2. 3. 3. 施設整備等

新たに制定された歩行者保護基準の実車試験を可能とするよう、熊谷第二試験場既設の歩行者頭部保護試験機を脚部保護試験機に対応させ、試験に使用する脚部インパクト及びインパクトの検定設備の拡充を図っている。また施設の維持管理として、排

出ガス試験、乗員保護試験、騒音試験、ブレーキ試験等に係る試験機器の定期点検整備、機器等の校正を適宜、実施している。

2. 3. 4. 新技術への対応

電気自動車の一充電走行距離の試験は、満充電から電欠まで走りきることを確認するため 10~12 時間を要するという試験上の課題があるなかで、研究領域と改善案を検討した結果、一部手順の省略などにより試験時間の短縮を図ることについて実現可能性があることが判明したことから、今後試験法への反映を検討する。

このように、基準策定支援研究を行う研究部門との連携を図り新技術への対応を行っている。

2. 3. 5. 自動車試験場の人員の活用

自動車試験場の技術補助員(契約職員)の採用により、自動車試験場の試験実施能力の強化を図っており、灯火器、運行記録計等の装置の審査や燃費・ガス関係の試験等を自動車試験場において審査業務が行えるよう体制を整備し、試験を実施するなど、効率的な業務の実施に努めている。

2. 3. 6. 海外の審査機関との連携・協力

国際基準として導入された基準の審査方法等についての情報提供・収集、解釈の確認等を行うため、VCA、TUV-SUD等の外国試験機関との会合を設け、連携・協力できる関係を構築している。

2. 4. 審査の合理化と申請者の利便性向上

審査方法の合理化として、平成 18 年度に創設した「先行受託試験(車両の型式指定申請等(本申請)に先立って、技術基準に規定する試験を行い、当該試験データを本申請時の審査に活用できるようにする制度)」を活用し、型式指定等の申請スケジュールに縛られない、開発スケジュールに合わせた柔軟な試験スケジュールでの試験実施を行うとともに、複数の試験を同一の試験車で実施することによる試験車両数の削減や、審査業務量の平準化を行った。平成 23 年度の実績は 84 件(試験実績 239 件)となっている。

また、申請者への利便性向上としては、申請者ニーズを踏まえて、審査・試験スケジュールのより柔軟な対応、試験作業環境の改善を目的とした空調設備の整備等を実施した。

2. 5. 審査業務の国際化への対応

2. 5. 1. 国際基準認証調和活動

認証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、J A S I C 国内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っており、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実施するほか、将来日本に導入さ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。特に G R P E / W L T P インフォーマル会議に参加し、E V / H E V 系車両の排ガス、燃費、エネルギー消費について試験法検討グループの議長として審査官が参画し、議論をリードしている。また、その過程で研究領域の協力を得て検証試験等を実施し、議論に反映している。

2. 5. 2. アジア諸国への支援

国際的に調和のとれた基準や認証制度の導入をアジア諸国において促進することを目的に国土交通省等が主催した平成 23 年及び 24 年のアジア専門家会議（マレーシアで開催）に講師を派遣し、政府関係者及び業界関係者に対して、通常使用時と衝突時における乗車人員の感電保護試験及び衝突時の乗員保護試験の審査方法について講演を行うなどの支援を行っている。



図 3 2011 年の専門家会議の様相

また、来日したアジア諸国の審査機関等に対して、試験場の施設・設備見学を受け入れるとともに、審査方法を説明する等、当該審査機関等の審査能力向上に貢献している。

3. 今後の自動車審査部について

3. 1. 第 3 期中期計画

平成 23 年度からの 5 カ年の中期目標を達成するために、第 3 期中期計画を定めた。自動車審査部においては、自動車に係る国民の安全・安心の確保及び環境の保全に引き続き貢献すること、高度化・

複雑化する自動車の新技術等や新たな国際枠組みに確実に対応し、我が国技術の海外展開支援等の観点から企業がより国際的な活動をしやすい環境を作り出していくため、業務実施体制の更なる強化を進めることとしている。

自動車審査部においては、中期計画に規定した事項を着実に実施していく所存である。

3. 2. 自動車基準認証国際化行動計画

国土交通省において、今後も我が国自動車メーカー等が世界で活躍できるようにするためには日本の基準を国際標準化することが重要であるとの認識のもと、昨年 6 月、今後の国際化戦略が「自動車基準認証国際化行動計画」として取りまとめられた。

この中で、自動車審査部には、高い技術力に裏打ちされた国際的に発言力を有する審査機関としてリーダーシップを発揮していくことが期待されており、そのために、①基準策定活動との連携強化、②審査官の専門性の深化等による組織の技術力の強化・蓄積、③多国間認証に対応した基準・認証制度の整備、④申請関係窓口の一本化等による高い利便性の実現、⑤人的、技術的、制度的、経営的観点からの持続可能性の確保が重要であるとされている。

自動車審査部としても、あるべき審査機関の確立に向けて取り組みを進めている。

4. 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、技術職員の育成・配置、技術力の強化・蓄積、研究部門及びリコール技術検証部門との連携強化等に努めるとともに、審査の合理化、申請者の利便性向上に努めて参りたい。

6. トラック・バスの構造・装置に係る最近の不具合・事故の 要因及び対策に関する考察

－特に使用環境に係る要因に着目して－

リコール技術検証部

※岩田 剛和

山崎 明男

岩井 章

川上 剛

小溝 幸夫

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どうか、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どうか、同省の指示により技術的検証を行っている。加えて、同省の職員に同行して、事故・火災の現地調査等を行うこともある。

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技術者 OB を採用し、さらに当研究所の研究領域で長く研究に従事してきた研究者 OB を加えて、技術検証官として配置しており、平成 23 年度はこれまでで最多となる延べ 554 件の検証を行っている。このうち、リコール届出につながった、又はリコール届出内容が適切かどうかの審査に活用された事案が 27 事案あった。また、事故や火災の現地調査も 40 件実施している。

この 6 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、その直接の原因はシンプルなものであっても、その背景には、点検・整備、使用環境及び設計・製造に係る要因が複合しているものが多く、再発防止、さらには未然防止を図っていくためには、自動車メーカー、整備事業者、使用者及び行政が、それぞれの立場で、また連携して対策に取り組むことが不可欠である、ということである。

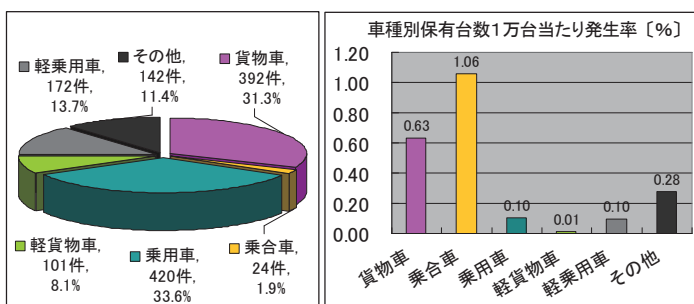
そこで、昨年度の本フォーラムでは、ひとたび事故や火災に至ると人的・物的被害、及びそれによる社会的影響が大きいトラック・バスについて、構造・装置に起因する不具合の事例を取り上げ、要因を分析するとともに、点検・整備、使用環境、設計・製造のそれぞれの観点を含めた総合的な未然防止対策の方向性について考察を行った。

今年度は、これを踏まえ、特に使用環境に係る要因に着目し、最近の不具合事例についてより掘り下げた分析を行い、対策についての考察を試みたので、その内容を報告する。

2. トラック・バスの構造・装置に係る不具合の発生状況

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不具合による事故・火災情報は、平成 21 年分から公表されており、平成 23 年に報告された件数は 1,251 件で、うちトラック（貨物車）は 392 件（31%）、バス（乗合車）は 24 件（2%）を占め、トラック・バスの事故・火災情報の報告件数は、その保有台数に比して多くなっている。また、トラック・バスの事故・火災情報について自動車メーカーから報告された原因をみると、特定できなかったもの、調査中のもの、現車が確認できなかったもの及びその他を合わせて 199 件（48%）あるが、それ以外では、点検整備によるものが 110 件（26%）で最も多いほか、特殊な使用等によるものが 40 件（10%）、外部要因によるものが 30 件（7%）、社外品・後付品によるものが 23 件（6%）あり、これら使用環境に係るものも少なくない。（図 1）



※自検協資料より作成
「その他」の発生率については、保有台数に原動機付自転車、小型特殊を含まない

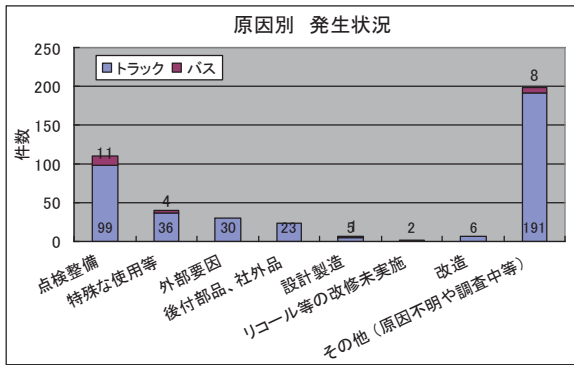


図1 事故・火災の発生状況

2. 2. 技術検証の状況

トラック・バスについて、当部が平成23年度及び24年9月までに技術検証や事故・火災調査を終了した事案のうち、原因が特定できなかったもの、改造によるもの及び操縦ミスによるものを除くと、約6割は設計に、約4割は使用環境（積載状況、使用年数、運転方法等）に、約4割は点検・整備に要因があり、かつ、昨年度の本フォーラムでも発表したとおり、これらの要因のうち2つ又は全てが複合的に関わっていたものが4割あった。（図2）

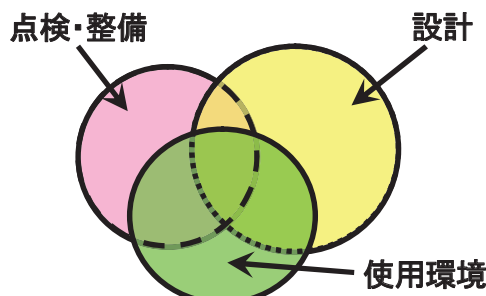


図2 不具合の要因（イメージ）

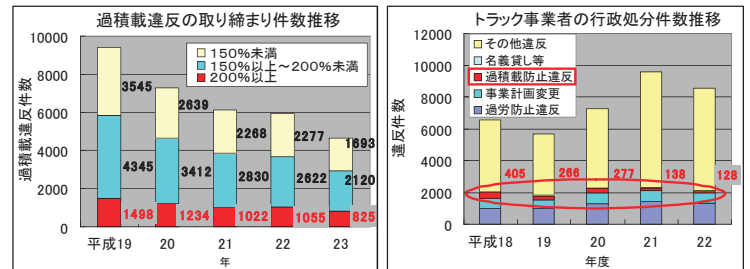
特に、使用環境に係る要因があった事案は、最終事象が火災、タイヤの脱落又は衝突事故等、当事者の車両の損害はもちろん、乗員や周囲の交通の安全にも大きな影響を及ぼす事象に至るおそれが高いものとなっている。

3. 技術検証事案の具体例における使用環境に係る不具合・事故の要因と対策

このため、使用環境に係る不具合・事故の主な要因として、過積載及び使用の長期化を取り上げ、上記の事案の具体例から対策について考察を行った。また、その他使用方法等に起因する近年の特徴的な不具合・事故についても同様な考察を行った。

3. 1. 過積載

過積載に係る道路交通法違反取締り件数は近年減少傾向にあるが、平成23年中は4,638件あり、過積載に係る貨物自動車運送事業法違反による行政処分件数も同様に減少傾向にあるが、平成22年度は128件あった（図3）。

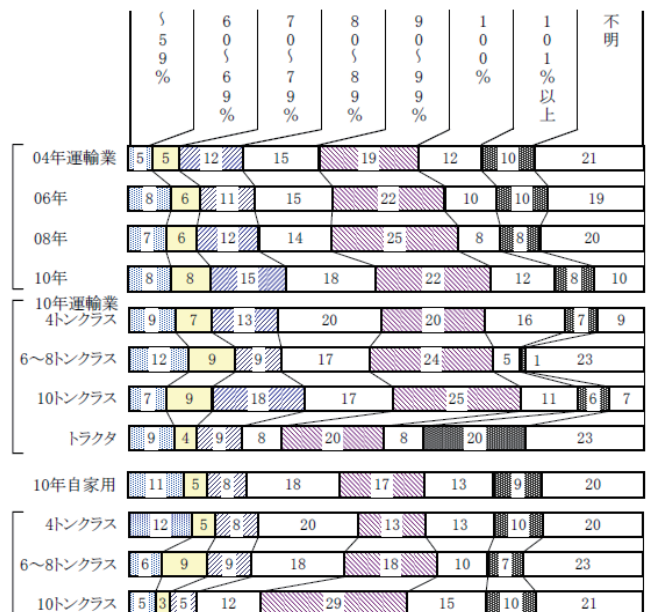


※警察庁資料より作成

※国土交通省資料より作成

図3 過積載に係る取締り件数、行政処分件数

また、市場における普通トラックの積載率の実態調査によると、平成22年度は通常積載率が100%を超える車両数の割合が運輸業で8%、自家用で9%あり、特に運輸業のトラクタでは20%に達していた。このように依然として市場の一部では過積載が行われている状況にある（図4）。



注）2010年度普通トラック市場動向調査（一般社団法人日本自動車工業会）より

図4 トラックの積載率の状況

一方、当部の技術検証事案の中で不具合の直接的な要因が過積載であると分析したものには、次のような例があった。

・デッドアクスルのブレーキフランジ周辺の溶接部又はチューブ溶接部が亀裂を起し、タイヤの脱落又

はスピンドル部変形によるブレーキの引きずりもしくはダブルタイヤの相互干渉による火災に至るおそれがある。

- ・エアサス車のスタビリンカーアーム又はトルクロッドブラケットが亀裂を起こして折損し、走行不能又は走行安定性の喪失に至るおそれがある。

- ・トラニオンサドルのブッシュ及びシャフトが摩耗してガタが生じ、トラニオンサドルが亀裂を起こして折損し、車体が傾いて走行不能になるおそれがある。

- ・フレームのたわみによりプロペラシャフトの交角が大きくなり、回転曲げモーメントが増大して溶接部が亀裂を起こして折損し、プロペラシャフトが脱落して走行不能となる。さらには、脱落したプロペラシャフトに後続車が衝突するおそれがある。

これらの不具合を起こしている車両は、深煽り架装車、バルク架装車及び長尺ダンプ架装車に多い傾向があり、一部の積載物では過積載になりやすく、重心が高いことと相まって、カーブ通過時及び右左折時等のロール角が大きくなり、過大な負荷が繰り返され各部位にかかることで寿命が短くなって不具合につながると考えられる。積載率自体も120%を超えるような過積載が目立つ。また、不具合を起こしている車両の駆動方式は6×2（前1軸・後2軸の3軸車で後前軸駆動）が多い。この方式は車両重量が軽く、かつ、積載量が多くとれることから、一般的な駆動方式となっているが、重量物運送用ダンプ架装車などで採用される6×4（後2軸駆動）よりも後後軸（デッドアクスル）及びその周辺部位の強度が大幅な過積載に対してやや弱くなっていることが考えられる。

このような過積載に伴う不具合・事故を防止するためには、

- ・行政がユーザーに対する指導・監督を行うとともに、取締りを強化すること
- ・架装形態や積載物の特性に応じた適切な最大積載量とすること
- ・運送事業者の経営トップ自ら「運輸安全マネジメント」を推進し、運転者に過積載をさせない等の輸送の安全確保に向けた取組みを徹底すること
- ・荷主や事業発注者が、ユーザーに対して、過積載をさせないよう目視等により指導するとともに、過積載にならないよう運送依頼や事業発注をすること
- ・自動車メーカーとしても、市場における使用実態を常に把握し、適切に設計基準に反映させること、過

積載が常態化しているユーザーに対しては、ディーラー等を通じ過積載に起因する危険な不具合・事故について具体例とともに説得力のある注意喚起を行うこと、必要に応じて架装形態の制限をすること、また、万一大幅な過積載により不具合が起こる場合であっても、火災又は重要な走行装置等の折損もしくは脱落などの危険な最終事象に至る前の予見的な事象をユーザーが運転中又は点検・整備時に明確に検知できるような設計とすること、さらに、これらの関係者が協議会等で情報を共有し、より一層連携した取り組みを行うこと

が求められるであろう。また、これらの不具合の発生状況については、要因が複合しうることも念頭におきつつ、引き続き注視していく必要がある。

3. 2. 使用の長期化

乗用車、トラック・バスとも使用の長期化が進んでいるが、平均使用年数は、トラックは平成10年が9.5年、バスが12.5年であったのに対し、平成23年はそれぞれ13.0年、17.4年となっている。特に車齢が20年以上の長期使用車の割合は、普通トラックについては、15.3%、トレーラ（積載量5t以上）に至っては29.5%に達している（図5）。

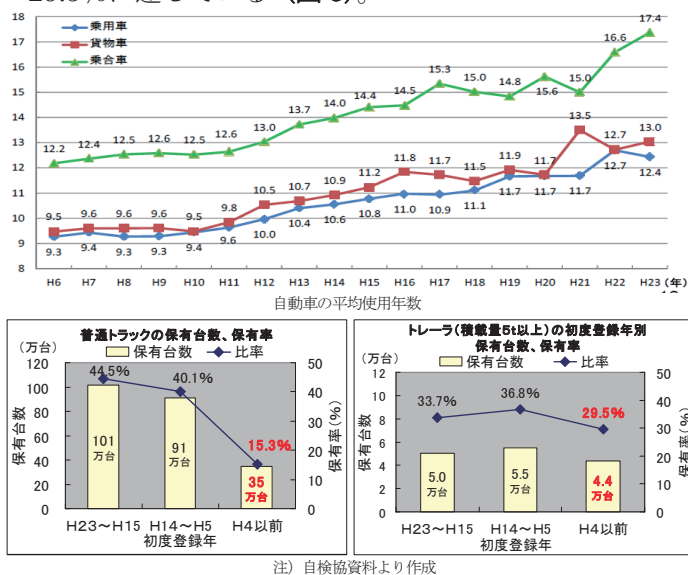


図5 トラック・バス、トレーラの使用の長期化

このうち、トレーラの使用の長期化に伴う不具合・事故が近年顕著となっており、当部の技術検証事案でも、カーブ通過時及び右左折時等のロール等により繰り返し曲げモーメントがかかり、従来10年程度であれば強度が確保できたものが、10～20年を超える使用の長期化により、アクスルのスピンドル部のインナーベアリング側端部又はハブのフランジ根元部が亀

裂を起こして折損し、タイヤの脱落に至るおそれがある例があった。

これらについては、ユーザー又は整備事業者がきめ細かな点検により微小な亀裂の段階で発見することが重要であるが、カラーチェックなど実際には確実な適用が難しい点検方法もある。トレーラメーカーとしても、市場における使用の長期化を踏まえて設計基準に反映させること、それでもなおアクスルやハブなどの重要部位が、想定される使用期間の中で有限寿命と判断される場合には、容易な点検・整備の方法を示し、確実な実施を促すこと、必要に応じて寿命を開示して定期交換されるようにすること、また、過積載のケースと同様、万一不具合が起こる場合であっても、危険な最終事象に至る前の予見的な事象を明確に検知できるような設計とすることが求められるであろう。

3. 3. その他使用環境等に起因する不具合

事故・火災調査において、積載物の一部とみられる木くずなどの可燃物がエンジンの排気系の高温部に付着して発火したと考えられる例が複数あった。特に中・小型トラックにおいて、積み下ろし等を繰り返す間にこれらの可燃物がキャブと荷台の間に落下、堆積し、排気マニホールドとヒートプロテクタの隙間などに入り込んだものと考えられる。今後このような火災事例についてユーザーに周知し、これら可燃物の適切な清掃を促すとともに、自動車メーカーとしても清掃方法を明確化し、あわせて、清掃しやすい、またこれらの可燃物が堆積・入り込みにくい構造としていくことが必要と考えられる。

また、たばこ等の外部火種を吸気ダクトから吸い込んだことによる火災と考えられる例も複数あった。以前のトラックは、吸気ダクトをキャブ左側後部に設置したものが多かったが、近年のトラックでは、排出ガス・燃費対策の一環としてエンジンに過給器を装着し、最適なレイアウトとするためにキャブ右側（運転者席側）後部に吸気ダクトを設置したものが多くなっている。現在、吸気ダクトには異物侵入防止のための網が装着され、網目も細くなっているが、何らかの要因でたばこの吸殻の先端部等が入り込みエレメントに付着、発火する可能性がある。このような火災事例についてもユーザーに周知し、注意喚起していくとともに、吸気ダクトについて、火種を吸い込み難い構造及びより適切なレイアウトの検討が望まれる。

4. おわりに

以上述べてきたように、使用環境に係る不具合・事故を防止するためには、ユーザーによる使用実態をメーカーが常にきめ細かく把握し、それを踏まえて設計基準に反映させていくことが重要であるが、一方で、大幅な過積載、使用の長期化等の使用実態の変化、及び一部の特定の使用条件まで全てを設計でカバーしようとすることは車両重量、燃費及び価格等の面から現実には困難な点も多い。メーカー、整備事業者及び行政によるユーザーへの情報提供、注意喚起及び指導により、ユーザーによる適切な使用及び点検・整備とメーカーによる適切な設計との役割分担について、ユーザーが納得できるようなコンセンサスを形成していくことが不可欠であろう。また、それでも発生しうる厳しい使用環境に起因する不具合に対しては、繰り返しになるが、危険な最終事象に至る前の予見的な事象をユーザーが運転中又は点検・整備時に明確に検知できるような設計、さらには寿命の開示などについて、自動車メーカー等として、また業界横断的に取り組むべきであると考ええる。

当部では、技術検証の結果をもとに、自動車の不具合を防止するため、点検・整備の充実や使用環境の適正化に係るユーザーへの幅広い対策となるものについて、国土交通省を通じ、ホームページ等で注意喚起を図ってきた。現在、より効率的、効果的な技術検証を進めるため、検証に係る各種情報やノウハウのデータベース化等の活動を行っているところであるが、今後とも、国土交通省にユーザーから寄せられた不具合情報、及び自動車メーカー等から報告された自動車の不具合による事故・火災情報等を常時把握し、技術検証事案の適時的確な抽出、効率的な検証に取り組み、不具合の原因・メカニズムの解明、並びに多発性、予見性、最終事象の危険性及び対策の効果の分析を行うとともに、一旦技術検証を終了した事案についても、その後の不具合の発生状況によっては早急に検証を再開する等により、リコール等の措置のほか、点検・整備の充実及び使用環境の適正化も含めた効果的な対策の迅速な実施につながるよう努めていきたい。このため、技術検証で得られた知見については、本フォーラムを始め、様々な機会に自動車メーカー、整備事業者、ユーザー、行政などの関係者に積極的にフィードバックしていきたい。

7. 自動車騒音に関する基準の国際調和

自動車基準認証国調和技術支援室

※坂本 一朗 成澤 和幸

1. はじめに

自動車や自動車部品の流通の国際化はますます進展しており、安全対策、地球環境問題など自動車性能の要求を地球規模でとらえる必要が生じている。加えて、中国、インドなどアジア諸国において自動車の普及が急速に進展していることから、日本の技術・基準をアジア諸国等と共同で国際標準化することが日本政府の新成長戦略の一環として位置づけられている。

一方、電子制御技術の多方面への導入など、自動車技術の高度化に伴い、技術基準に求められる内容が複雑になっている。これに対応するには専門的知識が豊富な人材を投入するのが望ましい。

このような背景から、3研究領域の研究員と、自動車審査部の審査官から構成される自動車基準認証国際調和技術支援室を設置し、自動車基準と認証における国際調和活動を支援するための活動を実施している。

活動の一つとして、図1に示すジュネーブの国連欧州本部で開催される会議に参加し、日本代表である国土交通省に対し、室員が技術的な補佐を行うことによって、国際基準調和の支援を行っている。主な会議内容としては、58年協定と呼ばれる、相互承認協定に基づく国際基準（ECE規則）の作成、修正に関するものと、98年協定と呼ばれる世界統一基準（Global Technical Regulation - gtr）作成に関するものがある。gtrは98年協定に加盟している国は必ず従う必要があるが、加盟国がすべて同意できるように、各国が自由に選べる選択肢が盛り込まれていることもある。一方、ECE規則は、安全や環境に関わる120を超える規則があり、58年協定に加盟している国は、個々の規則ごとに採択することができるが、相互承認のため内容はそのままの形で採択する必要がある。

日本のように、自動車が大量に普及している国では、安全や環境に関する基準がすでに整備されている

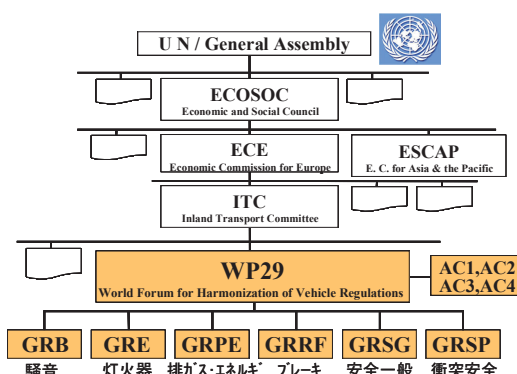


図1 自動車の国際基準を担当する国連の組織

場合がある。そこで、国際基準を採択する場合、国内の基準を国際基準に合わせる必要がある。両者の基準に違いが無い場合、あるいは違いがあっても合わせることが可能な場合は比較的容易に導入することができる。しかし、基準の多くは、試験法や規制値が異なり、容易に合わせることができない。特に、国の地域性や国民性、文化の影響を受ける騒音に関するECE規則については、日本での採択は難しいと言われていた。しかし、ここ数年で、自動車の国際基準調和の重要性が急激に高まっており、自動車騒音についても、ECE規則の国内採択が求められている。そのため、国土交通省、環境省、自動車工業会、交通安全環境研究所等が協力して、自動車騒音に関するECE規則の国内採択の実現に向けた活動を行っているので、その内容を紹介する。

2. 自動車騒音に関するECE規則

自動車騒音に関するECE規則は図1で示すGRB（騒音専門家会議）で扱われており、主なものとして以下が挙げられる。

- ・R51（四輪車の騒音）
- ・R41（二輪車の騒音）
- ・R59（交換用マフラー（四輪車））

- ・R92（交換用マフラー（二輪車））
- ・R28（警告器）
- ・R117（タイヤ騒音）

上記以外にも、R9（騒音（三輪車））、R63（騒音（モペット））などがあるが、現在、自動車騒音の最も主要な R51 改正のための議論を行っており、日本としては、改正後の ECE 規則を国内採択できる形にするため、積極的に提案を行っている。

3. 現行の自動車騒音試験法の問題点

図 2 に騒音試験法の一例として、乗用車の加速走行騒音試験法の概要を示す。50km/h の一定速度で、車両先端が加速開始位置の AA 点に達したときにアクセルを全開にし、アクセル全開の状態を保ったままで、車両後端が BB 点に達した時にアクセルを全閉にする。その時に、車両中心線から 7.5m、高さ 1.2m の位置に設置したマイクロホンで測定された最大騒音レベルを求める。しかし、実走行時において、乗用車や二輪車でアクセルを全開にすることはほとんど無いいため、試験時と実走行時の車両状態が一致しない場合があると考えられる。

図 3 は、ある乗用車で加速走行騒音試験を行ったときの結果で、マイクロホンの位置を 0m として、車両の位置と、その時の速度及び加速度の関係を示したものである。-10m の AA 点でアクセルを全開にしたにもかかわらず、加速度は、マイク前を 5m 程度通過したところから上昇し始めていた。この結果は第 38 回 GRB（平成 15 年 9 月）に提出され、アクセル操作に対して車両の加速が遅れる場合、車両本来の加速走行騒音を評価することができないという問題点が指摘された。自動車がこのように作り込まれていると、加速走行騒音の規制値を強化してもその効果が期待できず、実際に市街地を走行しているときに発生する騒音を評価できる試験法が必要とされた。そのため、GRB において R51 及び R41 の試験法改正の検討が開始された。

4. 自動車騒音に関する国際基準調和へ向けた活動

図 3 に示す結果は、欧州の試験機関が測定した欧州車の結果の一例であるが、日本も欧州も加速走行騒音試験法は ISO362 に基づく全開加速で評価することになっており、車両の運転方法はほぼ同じであるため、日本においても同様な車両が存在する可能性があり、

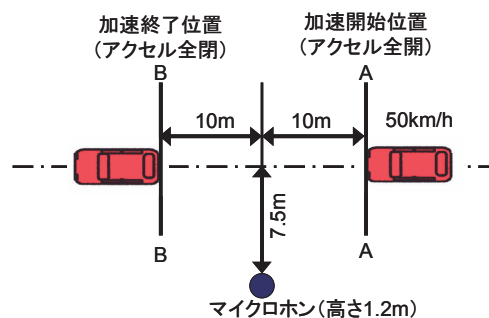


図 2 現行の加速走行試験法の測定概要

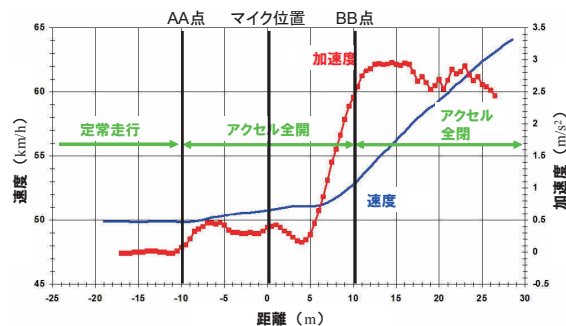


図 3 加速走行試験時の速度および加速度変化³⁾

また、現行の試験法ではそのような車両を判断することができない。

そこで、中央環境審議会（中環審）が平成 20 年 12 月に答申した「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について（中間答申）」では、今後検討を進めていく課題として加速走行騒音規制の見直しを挙げており、さらに、WP29 において騒音試験方法の見直し作業が行われていることから、可能な範囲で国際的な基準調和を図ることとされた。これを受けて、騒音に関する主要な国際基準である、R41、R51、R117 の国内採択へ向けた活動が本格的に開始した。

GRB では、R41 及び R51 の全面改定作業を行っているが、二輪車の騒音試験法である R41 の改正案 R41-04 は、ECE/TRANS/WP.29/2011/62 として、すでに試験法及び規制値がまとまっており、WP29 において承認されている。一方、R51 の改正案 R51-03 は、試験法が決まっているものの、規制値については欧州内でもまとまっておらず、現在も議論が行われているところである。

ここでは、R41、R51 国内採択するために、日本として行ってきた活動について述べる。

4. 1. R41（二輪車の騒音）の採択へ向けた活動

R41-04 は、GRB 傘下のインフォーマル会議において技術的な検討が行われ、そこでの検討結果をまとめ

たものが平成 21 年 6 月に GRB へ提案 (ECE/TRANS/WP29/GRB/2009/3) された。この段階で、試験法及び規制値がほぼ固まったことになるため、日本が R41-04 を採択するためには、この試験法と規制値が日本国内においても妥当であることを示す必要がある。

R41-04 の試験法は、市街地を走行しているときに発生する最大の騒音レベルを評価する手法で、多くの二輪車の市街地走行の結果から、車両の PMR (power mass ratio : 車両の最高出力と重量の比 (kW/t)) の関数として定義された代表的な加速度 α_{urban} での騒音レベルを規制する。ただし、図 2 に示す AA-BB 間を α_{urban} の加速度一定で走行することは難しいため、全開加速と定常走行時の騒音レベルを測定することによって計算で求める。この手法では、全開加速走行時の加速度も PMR の関数として定義されており、その加速度を達成する条件での走行が求められているため、図 3 に示すような車両は排除されることとなる。試験法の考え方を図 4 に示す。

環境省は、R41-04 の国内採択の妥当性の検討を開始し、検討に必要な技術データを収集するための調査は当研究所が実施した。複数台の二輪車で市街地走行を行い、代表的な加速度を求め、 α_{urban} と比較するとともに、テストコースにおいて、現行の TRIAS に基づく騒音測定と、R41-04 に基づく騒音測定を実施した²⁾。これらの結果に基づき、中環審騒音振動部会自動車単体騒音専門委員会において妥当性の検討を行った。この検討は、平成 21 年 6 月に開催された第 7 回専門委員会から始まり、平成 24 年 2 月の第 12 回まで約 3 年間に及んだ。当研究所の調査結果より、TRIAS は現在の国内の走行実態と乖離する一方、R41-04 の試験法では、市街地走行で使用頻度の高い走行実態をより反映していることが専門委員会において確認された。この結果は、平成 24 年 4 月 19 日

に中環審から答申された「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について (第二次答申)」に記載され、同答申により二輪車の加速走行騒音低減対策として、R41-04 を導入し、現行加速走行試験法及び定常走行騒音規制を廃止することとされた。

4. 2. R51 (四輪車の騒音) の採択へ向けた活動

R51-03 は、試験法については平成 17 年に既に決まっていたため、その妥当性の検証については、R41-04 の検討と同時に、R41 と同様に市街地走行を行い (当研究所が実施)、その結果を基に自動車単体騒音専門委員会において行われた。委員会において試験法の妥当性の検討が行われている。

また、R51-03 は、規制値が決まっておらず、日本国内の実態に合わせた規制値の提案が可能であるため、委員会において規制値案が検討され、第 54 回 GRB (平成 23 年 9 月) においては、車両のカテゴリー区分について提案を行った。第 55 回 GRB (平成 24 年 2 月) で規制値案を提案するとともに、日本と EU の車両データを基に規制値案により現行車が淘汰される状況も示した。第 54 回 GRB で規制値を提案したドイツ提案に対し、日本提案は共通点が多いことから両者をまとめた妥協案を出すように GRB 議長からコメントがあった。そのため、日本の環境省とドイツ運輸省で直接交渉を行い、第 56 回 GRB (同年 9 月) において、規制値の改正提案を公式文書として行った。ただし、欧州内では欧州委員会 (EC) 提案を基に審議中でありドイツは明確なスタンスを示すことができなかったため、日本単独の提案となった。表 1 に、EC、ドイツ、日本提案を比較した表を示す。なお、日本提案は Stage 3 開始時点での騒音低減対策技術や騒音対策とトレードオフ関係にある排出ガス対策、燃費対策等の規制動向の見通しが困難であることから、Stage 3 の規制値は [] 付きとして Stage 2 の前に再度議論する提案としており、その困難性について技術面から補足する説明を当研究所から行った。

R51-03 の規制値については、現在、EU 内での審議を待っているところである。EU 内での審議結果を反映した EC 改正提案が出ると、原則として EU 加盟国はすべてこれに賛成するため、EC 改正提案で決まると考えられる。日本としては、日本提案も考慮するように EU の関係者に申し入れを行っていくこととしている。

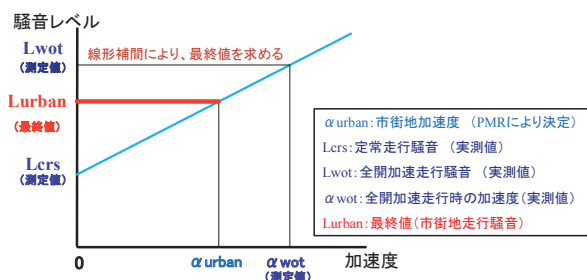


図 4 R41-04 の試験法の考え方

5. ハイブリッド車等の静音性対策に関する活動

5. 1. 日本のガイドラインを国際基準のガイドラインへ

日本では、平成 21 年 4 月より、エコカー補助金が導入され、これをきっかけにハイブリッド車が急増した。その一方で、ハイブリッド車が低速でモーターのみで走行している時は、音が小さいために車両の接近に気付きにくく危険という意見が、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。このガイドラインは日本が世界に先駆けて導入したものである。

WP29 及び GRB に対しては、全米盲人協会 (NFB: National Federation of Blind) が同様の問題を提起し、2010 年 2 月に GRB の傘下に QRTV (Quiet Road Transport Vehicles) インフォーマル会議が設置され、検討が始まった。日本は、第 1 回 (平成 22 年 2 月)、第 2 回 (同 5 月)、第 3 回 (同 7 月) のインフォーマル会議において、日本のガイドラインについて説明を行うとともに、第 3 回では、自動車メーカーが試作したガイドラインに基づく接近音の実演を実施した。同様の実演を、第 52 回 GRB (同 9 月) において国連の構内で行い、多くの GRB 参加者に日本のガイドラインに対する理解を得た。第 4 回インフォーマル会議 (同 9 月) では、日本のガイドラインをベースに国際基準のガイドラインを検討することが決まった。平成 22 年 12 月に日本から国際基準のガイドライン案を GRB に提案し、第 53 回 GRB (平成 23 年 2 月) 及び第 154 回 WP29 (同 3 月) において、日本のガイドラインをほぼそのままの形で国際基準のガイドライン案としたものが、賛成多数で承認された。このように、日本のガイドラインが公表されてから 1 年余りで国際基準のガイドラインとすることができた。

5. 2. ガイドラインから基準化へ

日本と米国では静音性対策の基準化を目指しており、国際統一基準 (gtr) を提案する公式文書 ECE/TRANS/WP.29/2012/60 が米国から WP29 に提出され、6 月の第 157 回 WP29 において承認された。



図 5 国連構内で行われた実演の様子

この提案では、日米欧が共同スポンサーとして GTR を検討するための GTR-QRTV インフォーマル会議を設置し、米国が議長、日本が副議長、EC が事務局を担当することとされた。

第 1 回 GTR-QRTV インフォーマル会議は、平成 24 年 7 月 18 日から米国運輸省の NHTSA で開催された。会議は、GTR 提案の TOR のレビューから始まり、NHTSA でこれまでに実施された調査結果の報告が行われた。会議の最後に日本から GTR-QRTV のコンセプトとして、国際基準のガイドライン及び QRTV の勧告をベースとした検討を行っていく提案をした。これに対して、EC、独、仏、OICA 等のサポートを得たが、米国提案と相反している部分があることから米国の支持は得られなかった。今後、基準化へ向けた具体的な検討を行っていく。

6. まとめ

自動車騒音の国際基準調和活動はここ 2~3 年で非常に活発に行われている。本稿では、その概要を紹介した。国際基準調和は、国土交通省をはじめ、環境省、関連する業界団体等が一体となって初めて実現するものである。今後も、交通安全環境研究所として国際基準調和活動に積極的に協力をし、その役割を果たして行きたい。

参考文献

- (1) Steven, H., "Results of pass-by noise measurements carried out within the frame of a running UBA project," 38th GRB Informal Doc. No.1, 2003
- (2) 宝渦他、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、pp.17-20

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継続して減少しており、平成 23 年は 4,611 人と過去最低を記録したものの、いまだに 5,000 近い人が犠牲になっている。特に歩行者が相対的に増える傾向にあり、平成 20 年以降は乗車中の死者数を抜いて最大の割合を占めている。

昨年 3 月に作成された政府の第 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た。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、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。

交通研の最も重要な研究目的が、自動車の安全基準作成の支援である。基準の作成をとおして安全な車の普及を目指している。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が低い車のことをいう。

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。

大人乗員の安全性に関する調査としては、カーテンエアバッグの車対車側面衝突事故での効果について調査を

行った。この調査結果は、UN/ECE/WP29/GRSP でのポール側面衝突試験の導入に関する検討に活用されている。

前面衝突試験に関しては、コンパティビリティ性(大きな車と小さな車の衝突)を考慮した試験方法の改正案が議論されており、日本が提案した試験方法も案の一つとして検討されている。

子供乗員の安全性に関する調査としては、幼児専用車(幼稚園バス)の安全性に関する研究を実施した。シートベルトの装備やシートの改善、プロテクタの追加による安全性向上の可能性を検討し、幾つかの対策オプションを作成して国に提案している。

チャイルドシートに関しては、これから導入される予定の側面衝突試験方法について研究を行った。実車衝突試験及びスレッド試験に基づいて、試験方法の問題点やその改善案の提案を行っている。

人体の傷害の評価については、頭部、胸部、脚部を中心に安全性が議論されてきたが、腹部についても傷害指標の研究を進めている。

2.2 予防安全

予防安全研究においては、予防安全装置を評価するため、被験者を使った DS 実験、シミュレーション等を行い、効果の評価や安全上の副作用の有無を確認している。

予防安全システムは、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。

なお、先進ブレーキシステム AEBS については、昨年より試験に用いる模擬障害物(ターゲット)の評価法について研究を進めてきたが、昨今欧米を中心に標準タ

ーゲットの作成が急ピッチで行われているため、欧米の関係者と連絡をとりつつ研究を進めている。

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高度な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。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、現象が極めて間欠的な事象であることが多く、早急な原因の究明や対応が難しくなっている。「自動車の電子制御の進展が安全性・信頼性に及ぼす影響に関する研究」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検証する手法について研究している。

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安全上の懸念も指摘されていることから、リチウムイオン電池搭載車のリスクを分析し、安全性基準について研究している。

2.4 点検・整備

近年、自動車を買替えるまでの期間は伸びる傾向にあり、使用過程車の車齢は増加している。この結果、設計寿命を超えて使用される車両も増加傾向にあると考えられ、長期使用による構造・装置の劣化と適切なメンテナンス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。

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、マクロ分析をすることで、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。また、個別研究としてはオイルのメンテナンス不良による火災事故やエンジン破損の発生メカニズムを再現実験した。

3 国際連携・国際調和活動

限られた資源で効率的な研究を行うため、国際的な連携を強めている。NHTSA、VRTC、UTAC、BAST、TNO等欧米の研究機関等との情報交換を進めている。

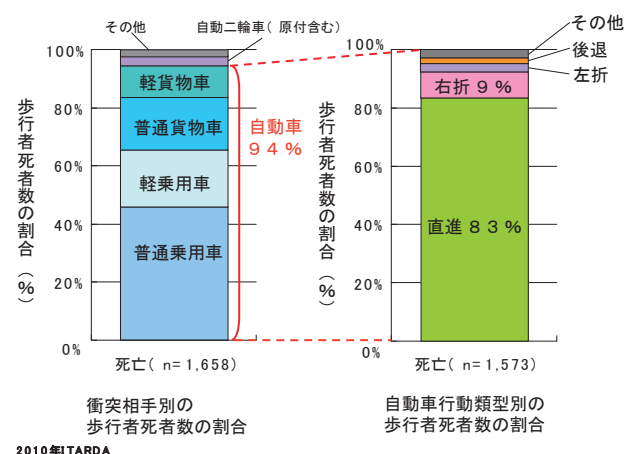
また、子供乗員の安全性に関する国際会議への企画・参加、SAE、ESV、iCrash等で研究成果の発表や意見交換を行っている。

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の中で担当する委員会はGRRF(ブレーキと走行装置)、GRSP(衝突安全)、GRE(灯火器)、GRSG(一般安全)、ITSインフォーマル(情報、MHI)である。

4 歩行者保護の視点

フォーラム2012では歩行者安全を中心にとりあげたが、これは交通事故の死者数が減少傾向を続ける中で、歩行者の死者数が相対的に増える傾向にあり、平成20年以降は乗車中の死者数を抜いて最大の割合を占めているためである。特に65歳以上の高齢者が犠牲になることが多く、高齢歩行者は全事故死者の約25%を占めて事故死者の4人に1人を占めている。更に高齢歩行者の96%が車との衝突であり、今後社会全体として高齢化が急速に進むことを考えると、早急な対策が必要になる。



また、上図に示すとおり歩行者死者の大多数が直進中の自動車との衝突によるものであり、また、事故の中には居眠り運転等による暴走が原因のものも見受けられ、車両側で対策する必要があると考えられるものも多い。

交通研では、道路横断の判断といった歩行者の行動特性の分析、GPSを利用した情報支援やカメラと連動した自動ブレーキシステムのような事故防止技術の評価、そして事故による人体傷害の発生メカニズムの解明など、歩行者事故を発生から結果まで総合的に捉えて研究している。そして、歩行者という交通弱者の視点で自動車の安全技術の評価する手法の開発に取り組んでいる。

歩行者事故防止技術は国際的にも注目されている。Euro-NCAPにおいても数年以内にアセスメントの対象になる予定であり、制度が整いつつある。

1. 歩行者事故予防に向けた高齢者の行動特性と道路横断タイミングに関する基礎調査

自動車安全研究領域
交通システム研究領域
秋田大学

※関根 道昭
青木 義郎
水戸部 一孝

松井 靖浩 及川 昌子

1. はじめに

自動車事故に関し政府は 2018 年を目処に交通事故死者数を 2,500 人以下とする目標を掲げ、安全対策の推進を図っている。交通事故を事故類型別にみると、歩行者の死亡事故は死亡事故全体の約 37% を占めている^①。そのため、歩行者の死亡事故について交通事故総合分析センター（ITARDA）等により調査が実施されている^② ③。歩行者死亡事故のうち高齢歩行者（65 歳以上）は 70%と高い割合を占めている^④。そのため、高齢歩行者の事故予防対策が重要である。歩行者事故のうち、72%は道路横断中に起こっており（2011 年、図 1）、単路（横断歩道外）を横断中のケースが最も多く約 50%を占めている^①。

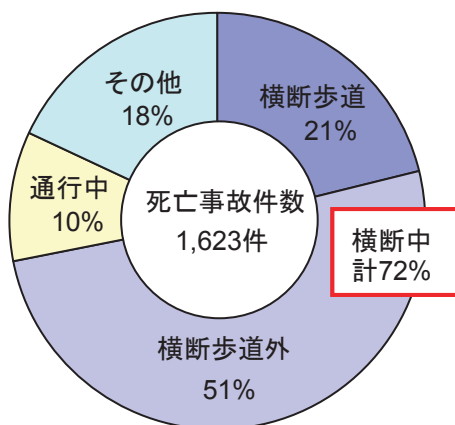


図1 歩行者死亡事故の行動別割合^① (2011 年)

このような事故を予防するには、歩行者が道路を横断する条件を調査し、歩行者事故の発生を予測することが重要である。本研究は、高齢歩行者の横断事故の予防を目指して、高齢者の生活様式、行動特性、歩行速度などについて調査した結果を報告する。また、道路横断時の判断に関する実車実験に基づき、車両側から見た安全対策等について報告する。

2. 歩行者の生活習慣と意識調査

高齢者及び比較対照群の若年者を対象に生活習慣、横断歩道のない道路を日常的に横断する機会の有無、横断する場合の動機などについてアンケート調査を行った。また、地域間の違いを検討するために、公共交通が発達している東京都と自家用車の利用頻度が高い秋田県のケースを比較した。

調査対象者の人数は、東京都在住の高齢者は男性 11 名、女性 7 名（平均年齢 75.4 歳）、若年者は男性 2 名、女性 8 名（同 33.5 歳）であった。秋田県在住の高齢者は男性 8 名、女性 8 名（同 66.8 歳）、若年者は男性 16 名、女性 1 名（同 22.5 歳）であった。

以下に主な調査結果を示す。

2. 1 就業・通学時間

東京都の高齢者の就業時間は週に 3 日以上、1 日～2 日、未就業がそれぞれ約 30%程度であったが、秋田県の高齢者は 4 分の 3 が未就業であった。若年者は東京都と秋田のいずれも、週に 3 日以上が 100%に近かった。高齢者の場合は地域によらず仕事や就学による外出頻度は低下することがわかった。

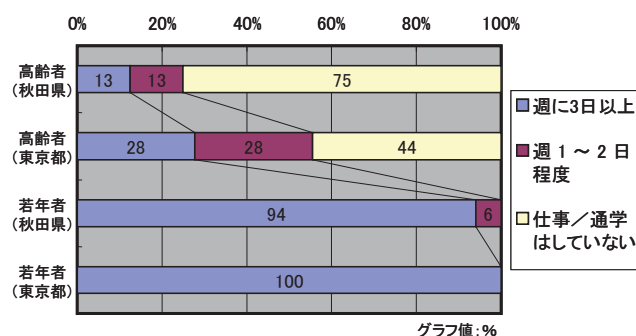


図2 就業／通学時間

2. 2 調査項目2：外出目的（複数回答可）

若年者の外出目的は大半が仕事、買い物であるのに対し、高齢者ではこれらに加えて習い事や散歩など多岐にわたっている。就業・就学中の若年者の場合、毎日ほぼ同じルートを通行すると思われるが、高齢者は目的に応じて通行する道路が様々であり、車両と接近する条件が変化すると推察される。

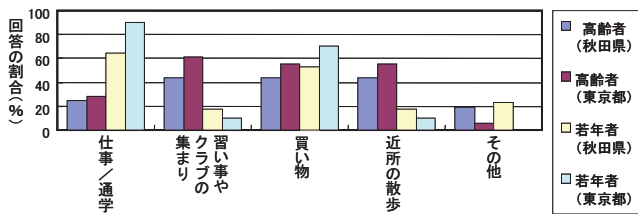


図3 外出目的（複数回答可）

2. 3 横断歩道外を横断する頻度

横断歩道が無い道路を横断する機会について、「かなりある」と「たまにある」をあわせると、すべてのグループにおいて8割を超えた。特に秋田県の高齢者は全員、横断歩道が無い道路を横断する機会があると答えており、高い割合であった。

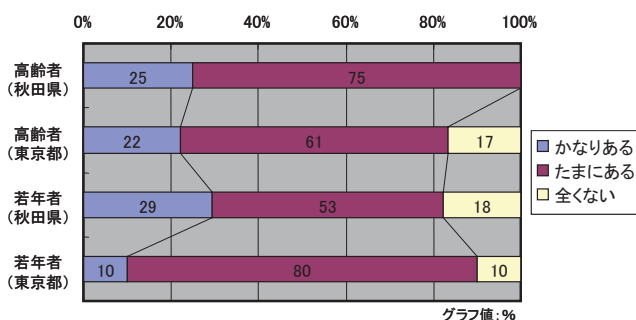


図4 横断歩道外を横断する頻度

2. 4 横断歩道外を横断する道路の条件

横断歩道外でも、車が来なければ横断すると答えた割合はすべてのグループにおいて4割前後であった。また、高齢者、若年者とも横断歩道外を渡るのは比較的近所の通りなれた道が多く、秋田県の高齢者はこの傾向が顕著であった。近所のよく知った道であれば、交通量なども熟知しており、事故の可能性が低いと考えて横断するものと思われる。

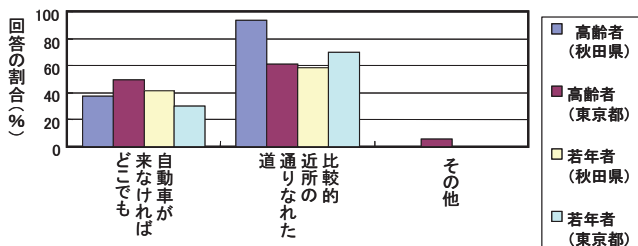


図5 横断歩道外を横断する道路条件（複数回答可）

2. 5 横断歩道外を横断した理由

すべてのグループにおいて「自動車がこないで問題なかった」という回答が多かった。また、目的地への近道として横断歩道のないところの横断は、秋田県

の高齢者が顕著に高く、それ以外のグループはほぼ同率である。また、全グループにおいて「信号機や横断歩道までは遠かったから」という回答も目立つことから、いずれのグループも車が来ない限りはできるだけ近いルートを選択したいという要求があることが認められた。

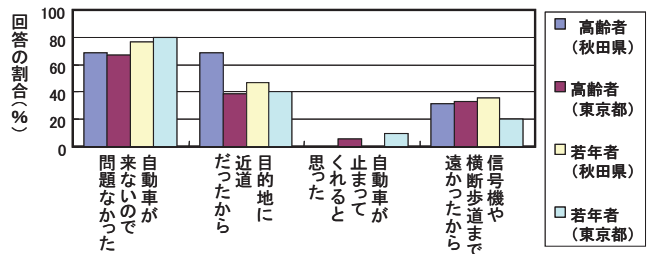


図6 横断歩道外を横断した理由（複数回答可）

2. 6 アンケート調査のまとめ

本調査の範囲では、高齢者は外出目的が多様であり、若年者よりも活動範囲が多岐にわたるため、目的に応じて毎日異なる道路を歩行しており、近所のよく知った道で車が少ない場合には、横断歩道のないところを渡る習慣があることも示唆された。

3. 実車による横断タイミングの実態調査

我々は高齢者が事故に遭遇しやすくなる要因の一つとして、接近車両に対する認知能力の変化を予想しており、高齢者は接近車両までの距離や速度を誤認識しやすくなると考えている。そこで、車両の速度や距離が、高齢歩行者の横断判断に及ぼす影響を調べる実験を行った。なお、本実験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。

3. 1 実験方法

実験参加者は合計19名（男性12名、女性7名）、平均年齢は75.2歳（標準偏差6.2歳）であった。実験は東京都内の自動車教習所で実施した。車道幅7m、長さ150m程度の見通しの良い2車線の直線コースの片側車線を車両が走行した。実験は2011年10月下旬の14時から16時に行い、天候は快晴であった。直線コースの両側に5名ずつ整列した実験参加者が車両を同時に観測し、これ以上近づけば横断できないと判断した瞬間に手元のボタンを押した。その時点における歩行者と車までの距離を以後「歩車間距離」と呼称する。



図7 実験の状況

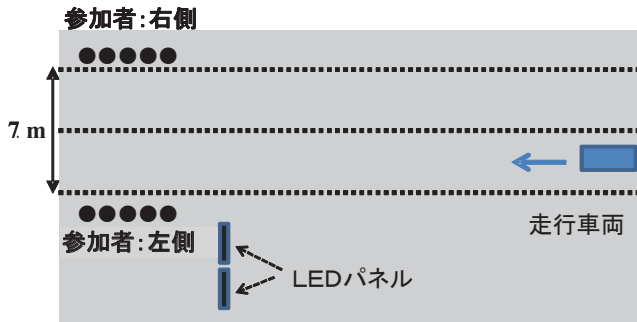


図8 実験の概要

走行コースの横に設置した LED パネル上のランプ点灯により、誰がいつボタンを押したか表示した。これを走行車両上のビデオカメラで撮影し、後からランプ点灯の様子を解析した。車両はシルバー色の普通乗用車（2003 年式トヨタ製マーク II）を使用した。車両の速度は 20, 30, 40, 45 km/h の 4 条件とし、実験参加者に車速は一定であることを教示した。歩車間距離は、車速計による速度の積算により算出した。参加者が観察位置を交代することにより、車の接近方向を逆転させた（図 8）。実験の繰り返し回数は条件毎に 3 回とした。実験参加者 19 名に対して車両走行速度 4 種類、歩行者配置 2 種類（左、右）、繰り返し回数 3 回とし、計 456 件のデータを取得した。

3. 2 高齢歩行者の横断判断

車速と歩車間距離の平均値の関係を図 9 に示す。歩車間距離は、歩行者が車両を右側に観察する場合よりも左側に観察する方が長くなる傾向にある。左から接近する車両は奥側の車線を走行するため、手前側を走行する右から近づく車両よりも歩行者から離れているため、早めに横断を断念するものと思われる。また、歩車間距離は速度によって変化したため、歩行者は距離と速度の両方を考慮して判断していると推測される。

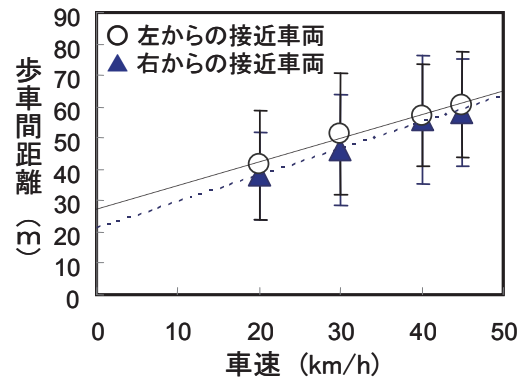


図9 高齢者における歩車間距離の結果

4. 横断歩行時間の調査

車両までの距離や速度は正しく認識できても、歩行速度が低下している場合は、横断途中で事故に遭遇する可能性がある。そこで、第 3 章の横断タイミング実験に参加した高齢者の歩行速度を同じ自動車学校教習コースにおいて調査した。

表 1 に平均歩行時間を示す。立ち止まった状態から歩行を開始し、7 m を歩行するのに要する時間は約 5.5 秒であった。また、すでに歩いている途中の 7 m 区間を通過する場合にかかる時間は約 4.7 秒であり、二つの条件間に 0.8 秒間の差があった。

表 1 7m 道路を横断するための歩行時間

回数	停止状態からの歩行		歩行中の 7m	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
1 回目	5.43	0.62	4.67	0.50
2 回目	5.52	0.50	4.68	0.45
平均	5.48	0.57	4.68	0.47

(単位は秒)

比較のため、当研究所の屋内で若年者 10 名（男性 2 名、女性 8 名、平均年齢 33.6 歳）を対象に測定した 7m の歩行時間は、平均 5.45 秒（標準偏差 0.47 秒）であり、高齢者とはほぼ同じであった。今回の実験に参加した高齢者は、若年者とはほぼ同じ身体能力を保持していると考えられる。

5. 横断タイミングと横断歩行時間の関係

今回の高齢者における 7m の歩行時間は平均 5.5 秒であり、この時間までに車が到達するか否かを検討した。車両が右から来る場合は、手前車線を車が通過するため歩行者は道路の半分を渡れば安全である。しかし、車両が左から来る場合は奥側車線を通過するた

め、歩行者は道路を2車線とも渡り終える必要があり、横断には7メートルの歩行時間全体が必要である。そこで、図9における車両が左から接近する場合の歩車間距離を車速で割ることにより、車が目前に到達するまでの予測時間を求めた。同じ実験を若年者について行った実験結果⁽⁴⁾とあわせて図10に示した。

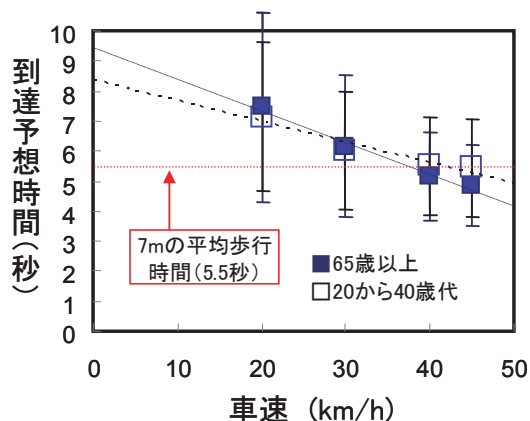


図10 予想到達時間 車両を左手に観察する場合
(若年者の結果⁽⁴⁾との比較)

車速 40km/h 以上では、車両が歩行者の目前に到達する時間が、高齢者が 7m の歩行に要する 5.5 秒間よりも短くなるため、危険であることがわかった。若年者⁽⁴⁾では車速が 40km/h 以上において、高齢者よりも長い到達時間で横断を断念していることから、若年者の方が衝突事故に遭遇しにくいと考えられる。

今回の実験では横断を断念する間際のタイミングを調べたが、現実にはもっと余裕がある時点で横断が開始されるため、事故にいたる可能性は低いと思われる。また、横断を開始した後で危険に気づいた場合には、適切な回避行動がとられるはずであるが、危険回避行動に年齢差が生じる可能性は残っている。

6. 結 論

高齢歩行者の事故を予防するという観点から、高齢者の行動様式、横断時の意識調査を行ったところ、本調査の範囲では、高齢者は外出目的が多様であり、若年者よりも活動範囲が多岐にわたるため、目的に応じて毎日異なる道路を歩行しており、近所をよく知った道で車が少ない場合には、横断歩道のないところを渡る習慣があることも示唆された。今後は、横断時のヒヤリハット体験と高齢者の認知、身体機能との相関について対象者を増やして調査を行う予定である。

また、実車を用いて横断タイミングを調査したとこ

ろ、次の結果が得られた。これらは高齢者と若年者に共通する特性である。

- (1) 歩行者が横断を断念する歩車間距離は、車が手前車線を右から接近する場合よりも、奥側車線を左から接近する場合のほうが長くなる。
- (2) 歩車間距離は車速が増すに従い長くなる。
- (3) 車両到達予想時間は、車速が増すに従い短くなる。時速 40km/h 以上の場合、歩行者は奥側車線の左から接近する車両に衝突する可能性がある。

近年、画像処理やレーダなどを用いて、歩行者を検知する装置が開発されているが、車両進行方向に対して右側から横断する歩行者への対策を強化することが重要であることが示唆された。

また、夜間に右側から横断する歩行者の交通事故が多発しており、その原因に右側歩行者に対する前照灯の配光が影響しているという指摘がある⁽⁵⁾。本研究の結果から、右側歩行者は車両到達時間を誤認する可能性があることがわかったため、夜間に同様の横断判断実験を行い、前照灯の照らし方と歩行者側の認知判断の傾向などについて総合的に考察する予定である。

7. 謝 辞

本研究の実施において、三鷹市老人クラブ連合会及び尾久自動車学校（東京都小金井市）にご協力いただいた。また、本研究は平成 23 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。ここに記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 財団法人交通事故総合分析センター：交通統計 平成 23 年版 (2012)
- (2) ITARDA INFORMATION, 87, p. 1-12 (2011)
- (3) ITARDA INFORMATION, 83, p. 1-12 (2010)
- (4) 青木義郎, 森田和元, 田中信壽, 廣瀬敏也, 関根道昭, 川寄修男：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, p. 1199-1204 (2011)
- (5) 青木義郎, 森田和元, 関根道昭, 田中信壽：高齢ドライバの歩行者視認性とその改善, 交通安全環境研究所フォーラム 2012 講演概要, p. 115-118 (2012)

2. 通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバの運転行動に関する研究

自動車安全研究領域 ※児島 亨 山口 大助 波多野 忠

1. はじめに

年間約 80 万件という高い水準で発生し続けている交通事故を削減するための車両安全対策として、国による先進安全自動車（ASV）推進計画が実施されており、2006 年度～2010 年度にかけて実施された第 4 期 ASV 推進計画では自律検知型運転支援システムの本格普及及び通信利用型運転支援システムの実用化に向けた取り組みが行われた⁽¹⁾。これらの取り組みにより、車両単独事故及び車両対車両事故のより一層の削減が見込まれる。一方で、交通事故死者数の約 1／3 が歩行中の事故によるものであることから、歩行者事故の削減に向けた取り組みが必要とされており⁽²⁾、2011 年度より開始された第 5 期 ASV 推進計画において、歩行者と自動車の間で通信を行うことにより歩行者の存在をドライバーに提示する歩車間通信システムの技術的可能性について検討が行われている。

本研究では、一般のドライバーが運転する自動車（以下、自車とする）と歩行者が接近または衝突する可能性のある場面をドライビングシミュレータ（以下、DS とする）上で再現し、歩車間通信により歩行者の情報をドライバーに提示した場合に、運転行動の変化（例えば歩行者との衝突を回避するための行動がより早く適切に行われる等）について評価するとともに、衝突する可能性の無い歩行者の情報が提示された場合のドライバーの受容性についても評価を行った。以下、実験内容及び実験結果について報告する。

2. 実験内容

2. 1. 本実験における歩行者の定義

本研究では、実験中に DS のスクリーン上に出現させる歩行者として、以下の 3 種類を定義した。

＜実験対象歩行者＞

自車に接近し、ドライバーが衝突を回避する必要のある歩行者。歩行者が通信機を持っている場合には

ドライバーへ情報が提示される。

＜ダミー歩行者＞

歩道上または自車から見て道路右端を歩行し、ドライバーが衝突を回避する必要の無い歩行者。通信機を持たず、ドライバーへの情報提示は行わない。

＜通信対象歩行者＞

ダミー歩行者と同一の軌跡上を歩行し、通信機を持つ歩行者。ドライバーは衝突を回避する必要は無いが、一定の範囲内に存在する場合に情報提示される。

2. 2. 実験を実施した交通場面

本研究では、走行中の自動車と歩行者が接近または衝突する可能性のある交通場面の中から、実事故とドライブレコーダのニアミスデータを比較した文献⁽³⁾、⁽⁴⁾を参考にし、件数が比較的多く、DS 上での再現が可能な、図 1 に示す A～H を実験の対象場面とした。なお、A～H のうち、B～D については、歩行者が道路交通法に従って歩行するケースである。

場面 A は自車が信号のある交差点を直進中に、交差点出口の横断歩道において、向かって右側から歩行者が信号無視して横断するケースである。対向車の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面 B は自車が信号のある交差点を対向直進車と衝突しないようにして右折する際に、向かって右側から歩行者が青信号で横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つか、ドライバーが判断できるタイミングとした。

場面 C は自車が信号のある交差点を左折する際に、向かって左側から歩行者が青信号で横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つか、ドライバー

が判断できるタイミングとした。

場面Dは自車が信号及び横断歩道の無い、見通しの悪い交差点を直進する際に、向かって左側から歩行者が横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つが、ドライバーが判断できるタイミングとした。

場面Eは自車が歩道及びセンターラインの無い道路を直進中に、左前方を自車と同方向に歩行者が歩行し、ドライバーは歩行者の右横を通過するケースである。歩行者の出現は、自車が対向車とすれ違うために道路左側に寄っている最中に歩行者の後方に追いつくタイミングとした。

場面Fは自車が信号のある交差点を左折した後の直進中に、信号待ちで停車中の対向車の車列後方を、向かって右側から歩行者が横断するケースである。車列の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面Gは自車が直線道路を走行中に、向かって右側から歩行者が横断するケースである。対向車の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面Hは自車が左前方に停車中のバスを追い越す際に、向かって左側から歩行者が横断するケースである。停車車両の前方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

各場面において、歩行者の情報を提示された後にドライバーが衝突を回避する際の緊急性は、A～Fについては通常の運転行動で衝突を回避可能とし、GとHについては緊急時の対応（急制動）を行わなければ衝突を回避できないようにした。

2. 3. 実験場面と提示する情報の種類

表1に実験時にドライバーへ提示した歩行者情報の種類と実験場面との関係を示す。表中の情報提供1は歩行者の存在情報のみを提示し、情報提供2は歩行者の方向及び存在情報を提示するものである。いずれも情報を受けた後の判断はドライバーに任せる。これに対し、警報は直ちに歩行者との衝突を回避するための対応をシステムがドライバーへ促すものである。

2. 4. 提示する情報の種類と歩行者の関係

表2にドライバーへ提示する情報の種類と該当す

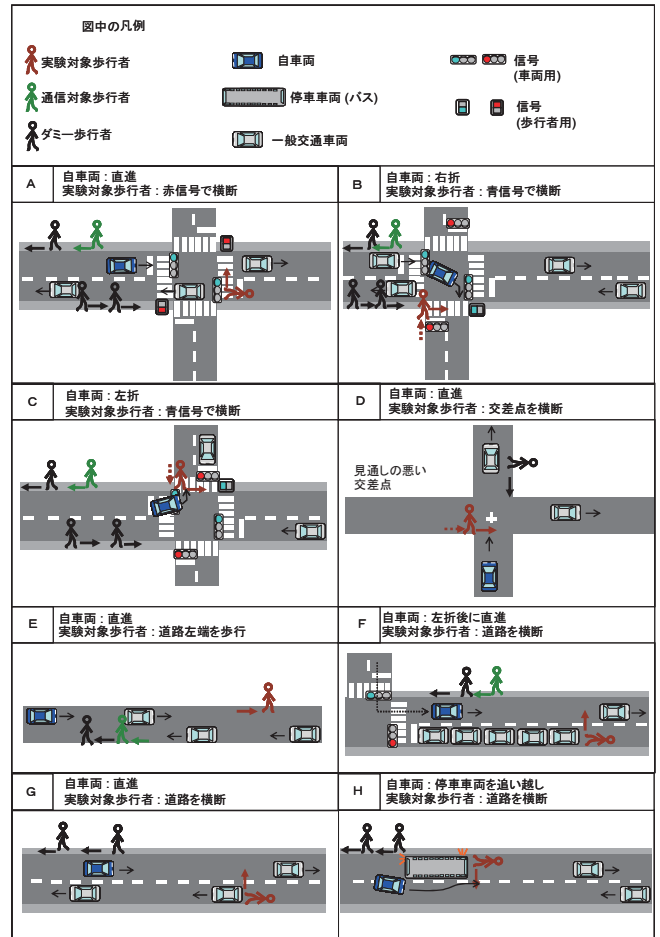


図1 実験を実施した交通場面

表1 実験場面と情報の種類の関係

実験場面	ドライバーへ提示する情報の種類		
	情報提供1 ^{*)}	情報提供2 ^{*)}	警報
A	○	○	×
B	○	○	×
C	○	○	×
D	○	○	×
E	○	○	×
F	○	○	×
G	×	×	○
H	×	×	○

^{*)} 自車の近くに存在する歩行者の存在情報のみドライバーへ提示

^{*)} 自車の近くに存在する歩行者の存在情報及び方向をへ提示

る歩行者との関係を示す。実験対象歩行者については3種類の情報全てを実験対象としたが、通信対象歩行者については情報提供1のみを実験対象とした。

表2 情報の種類と歩行者の種類の関係

ドライバーへ提示する情報の種類	対象とする歩行者		
	実験対象歩行者	通信対象歩行者	ダミー歩行者
情報提供1	○	○	×
情報提供2	○	×	×
警報	○	×	×

2. 5. 情報提示のタイミング

表3に歩行者の情報を提示するタイミングを決めるための判定方法と閾値の関係を示す。実験対象歩行者に対する判定方法は、歩行者との相対速度が比較的

大きい場面 A 及び D~H については、自車と歩行者間の距離を自車速度で除した衝突予測時間 (Time To Collision, 以下, TTC とする) を用いた。これに対し、交差点手前での減速により歩行者との相対速度が小さくなりやすい場面 B 及び C については自車と歩行者間の距離を用いた。また、通信対象歩行者に対する判定方法は、全て TTC による判定を用いた。なお、TTC による判定を用いる場合の閾値は、情報提供を対象とした場面 A 及び D~F については 7 秒とし、警報を対象とした場面 G 及び H については 4 秒とした。

表 3 情報提示タイミングの判定方法と閾値

実験場面	実験対象歩行者		通信対象歩行者	
	判定方法	閾値	判定方法	閾値
A	TTC	7s	TTC	7s
B	距離	min. 20m, max. 30m *	TTC	7s
C	距離	min. 20m, max. 30m *	TTC	7s
D	TTC	7s	TTC	7s
E	TTC	7s	TTC	7s
F	TTC	7s	TTC	7s
G	TTC	4s	-	-
H	TTC	4s	-	-

* 実験場面における自車両の速度による

2. 6. 実験に用いた Human Machine Interface

図 2 に実験に使用した Human Machine Interface (以下, HMI とする) を示す。ドライバーへの伝達手段は運転席から視認可能なカーナビ用モニタ画面への表示及びスピーカーからの音とした。また、情報の種類(情報提供または警報)によって色や音を使い分けた。

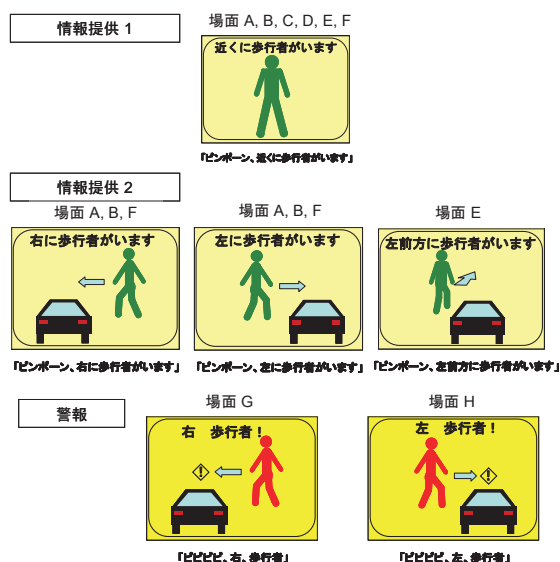


図 2 実験に用いた HMI

2. 7. 実験装置

図 3 に実験に使用した DS の外観図を示す。ドライバーは実際の車両の運転席に着座して運転操作を行う。水平方向の視野角が 216 度確保される為、実際の運転時と近似した視界環境を再現可能である。また、複数の動揺装置により車両運動を模擬している。図 4 に実験に用いたスクリーン画像の例を示す。

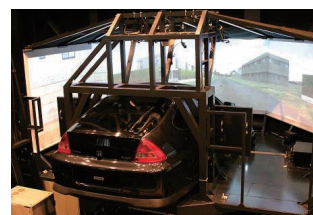


図 3 ドライビングシミュレータ



図 4 スクリーン画像の例

2. 8. 実験による確認項目

本実験では下記の二つを実験項目とした。

- ① 支援情報の効果及び受容性について確認する実験
- ② 支援情報への依存の影響について確認する実験

上記①は支援情報による効果及び不要な情報提供が行われた場合の受容性を確認するための実験として実施した。また、上記②は支援情報への依存による影響について確認するための実験として実施した。

2. 9. 実験試行回数と情報提示の頻度

実験に参加したドライバーが普段の運転時以上に歩行者に警戒することを避けるため、各場面において実験対象歩行者が出現しないケースも設定した。

支援の効果及び受容性について確認する実験では、最初に歩車間通信システム無しのパートとして、各場面を 4 回ずつ試行し、このうちの 1 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。次に歩車間通信システムありのパートとして、該当する場面に対し情報提供 1、情報提供 2 及び警報の実験を各 8 回ずつ実施し、8 回のうちの 2 回を実験対象歩行者が出現するケースとし、歩行者の情報が提示されるのは、この 2 回のうちの 1 回とした。なお、情報提供 1、情報提供 2 及び警報の実験は、実験パートを分けて実施した。

支援情報への依存の影響について確認する実験では、最初に歩車間通信システム無しのパートとして、各場面を 4 回ずつ試行し、このうちの 1 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。次に歩車間通信システムありのパートとして、A~F の各場面を 17 回ずつ試行し、このうちの 5 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。歩行者の情報が提示されるのはこの 5 回のうちの 3 回とした。なお、情報が提示されないケースは、全 17 回のうちの最後の 2 回とした。本実験については情報提供 2 のみを対象とした。

2. 10. 実験参加者の構成

表4に実験参加者、実験場面及び実験項目について示す。実験参加者は日常的に運転を行う30代～40代を中心とした男女とし、実験場面及び確認内容によって三つのグループを構成した。また、全ての参加者に対し、グループ内の全ての実験ケースを実施し、実験参加者内要因として結果を比較できるようにした。

なお、実験を開始する前に実験参加者よりインフォームドコンセントを受領した。

表4 実験参加者のグループ

グループ	実験場面								実験目的
	A	B	C	D	E	F	G	H	
グループ1 (11名)	○	○	○				○		効果及び受容性の評価
グループ2 (10名)				○	○	○		○	効果及び受容性の評価
グループ3 (10名)	○	○	○	○	○	○			情報提供に対する依存の影響確認

2. 11. 実験参加者への実験前の教示内容

実験参加者に対し、歩行者の情報が提示されるのは、歩行者が通信機を持っている場合のみであること及び衝突を回避する必要の無い歩行者からも情報が提示される場合があることを教示した。また、情報が提示された後の対応として、情報提供の実験ではドライバーの判断に任されること、警報の実験では直ちに歩行者との衝突回避が求められることを教示した。

2. 12. 評価方法

評価は計測データ及びアンケートにより行った。

計測データによる評価では、自車が停止して歩行者が横断するのを待った回数（場面B～D）、自車と歩行者が最接近した時の距離（以下、最小距離とする）（場面A～F）及び歩行者が横断を開始した時点からドライバーがブレーキ操作を開始するまでの時間（以下、ブレーキ反応時間とする）（場面A及びF）を評価指標とし、歩行者情報の有無による比較を行った。また、衝突の回避が不要な歩行者から情報提供が行われるケースでは、情報に反応してアクセルOFFまたはブレーキ操作を行った人の数を場面毎にカウントした。

アンケートでは、歩行者との衝突回避に役立つか、不要な情報提供を許容するか等について確認した。

3. 実験結果

3. 1. 支援の効果、受容性等について確認する実験

3. 1. 1. 情報提供による運転行動の変化

図5は場面Aにおけるブレーキ反応時間について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に対し、情報提供1または情報提供2が行われた場合には

ブレーキ反応時間の平均値が0.8～0.9s程度短縮されており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。一方、情報提供1と情報提供2との比較では、有意な差は見られなかった。なお、場面Fにおいても、情報提供1または情報提供2が行われた場合には、平均値で0.7～1s程度短縮される傾向が見られた。

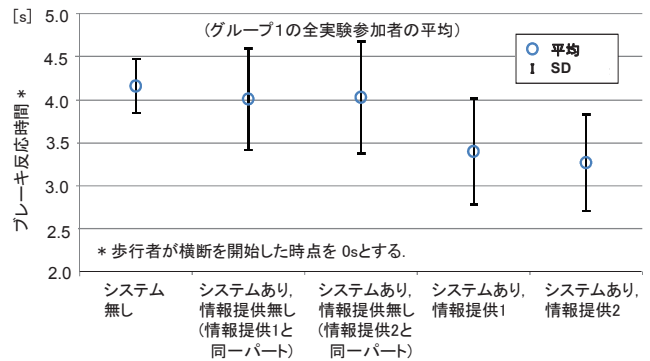


図5 場面Aにおけるブレーキ反応時間の比較

図6は場面Cにおいて、自車が停止して実験対象歩行者を先に横断させた人の数を示したものである。歩車間通信システム無しの場合には全ての実験参加者において自車が先に通過したが、情報提供1または情報提供2が行われた場合には大多数の実験参加者が先に歩行者を横断させており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。一方、情報提供1と情報提供2との比較では、有意な差は見られなかった。なお、場面Dにおいても、情報提供1または情報提供2が行われた場合には、歩行者を先に横断させる人の数が増える傾向が見られた。これに対し、場面Bについては有意な差は見られなかった。この理由として、場面Bでは交差点を右折時に対向直進車にも注意を払う必要があり、情報提供の有無によらず、より慎重な運転行動を取る人が多かった為であると考えられる。

場面Eについては、情報提供1及び情報提供2ともに明確な運転行動の違いが見られなかった。この理由は、前方車両との車間距離を長めにとって走行する人が多く、比較的早い時点で道路左端の実験対象歩行者を目視できた為であると考えられる。

図7は衝突の回避が不要な通信対象歩行者からの情報提供に反応してアクセルOFFまたはブレーキ操作を行った人の数を場面毎に表したものである。反応した人の数が比較的多いのは場面Dと場面Fであった。場面Dでは見通しの悪い交差点において情報提供の後に歩行者が横断する場面の後に再度情報提供が行われた為、駐車車両の陰等から別の歩行者が出てくるこ

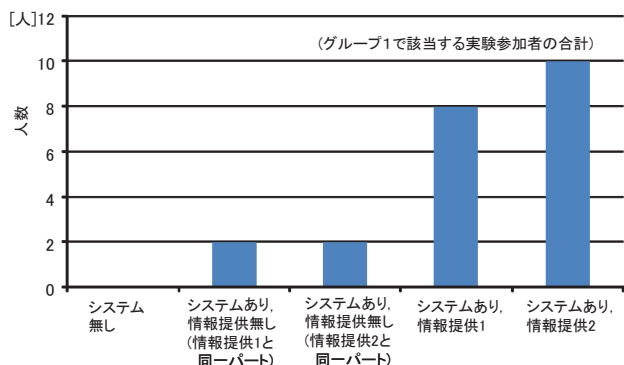


図6 場面Cにおいて自転車が停止して歩行者を先に横断させた人の数

とを想定し、反応したものと考えられる。また、場面Fの場合は、停車中の対向車の車列の間から歩行者が横断してくることを想定し、反応したものと考えられる。これらの結果から、歩行者が車道に出てくることをドライバーが警戒しやすい場面では不要な情報提供に反応する人の数がより多くなることが分かった。

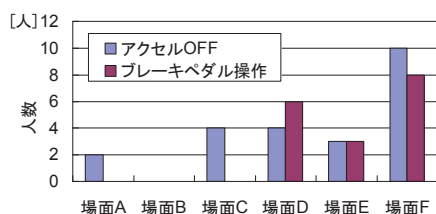


図7 衝突の回避が不要な歩行者からの情報提供に反応した人の数

図8～図10はグループ1の実験参加者に対し実施したアンケート結果の抜粋を示したものである。図8、9より「情報提供が歩行者との衝突回避に役立ったか？」に対し、「とても役に立った」と「どちらかという役に立った」を合わせると、情報提供1の場合には45%であったが、情報提供2の場合には82%となっており、主観的な評価としては情報提供2の方が高いことが分かった。また、図10より「衝突の回避が不要な歩行者から情報提供される場合があることをどう思うか？」については、「全く気にならない」、「気にはなるが、やむを得ない」及び「気にはなるが、ごく稀にそのようなことがあるのはやむを得ない」までを許容と見なすと、6割程度の人が許容した。なお、許容する人の割合は、不要な情報提供が行われる頻度によって変わることも考えられる。

3. 1. 2. 警報による運転行動の変化

図11は場面Gにおけるブレーキ反応時間について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に

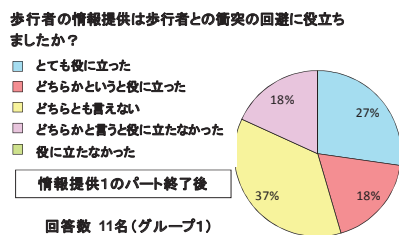


図8 情報提供1に対するアンケート結果

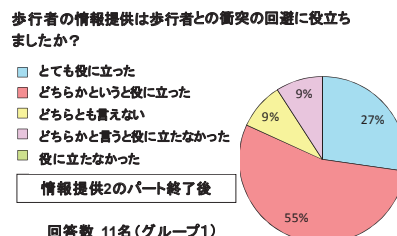


図9 情報提供2に対するアンケート結果

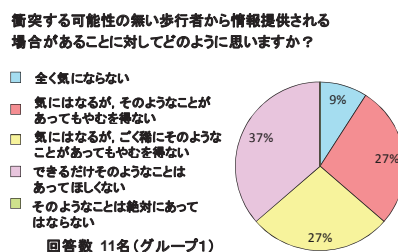


図10 不要な情報提供に対するアンケート結果

対し、警報が発せられた場合にはブレーキ反応時間の平均値が1.2s程度短縮されており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。

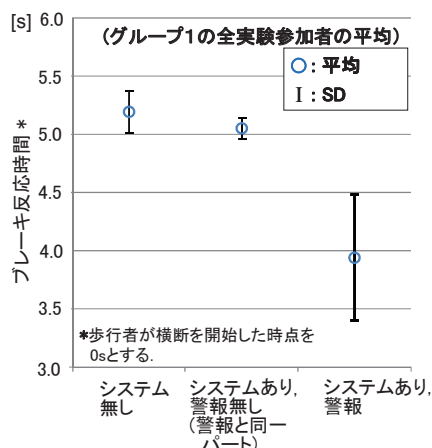


図11 場面Gにおけるブレーキ反応時間の比較

また、図12は場面Gにおける自転車と実験対象歩行者との最小距離について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に、警報が行われた場合には最小距離の平均値が7m程度増加しており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。なお、場面Hにおいても、ブレーキ反応時間及び最小距離に

ついて、歩車間通信システム無しの場合と警報が行われた場合とで、いずれも有意な差が見られた。

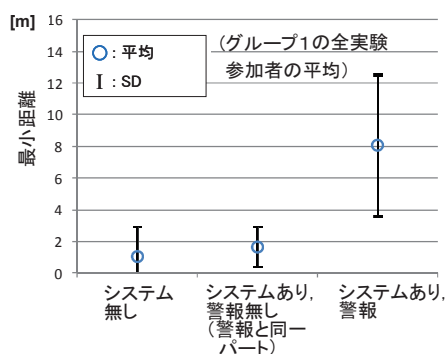


図 1 2 場面 G における最小距離の比較

3. 2. 支援情報への依存の影響

図 13 はグループ 3 で実験対象歩行者から情報提供 2 が提示されるケースを 3 回行った後に情報提示を行わないケースを続けて 2 回行った場合に、歩行者と衝突した人の数及び運転行動に変化が見られた人の数を示したものである。衝突は場面 C の 1 名のみである。また、運転行動の変化としては、衝突回避の方法がブレーキ操作主体からハンドル操作主体に変化 (場面 A)、右折時に交差点で停止せず対向直進車両の前を右折 (場面 B) 及び見通しの悪い交差点をブレーキ操作無しで通過 (場面 D) が観測された。いずれも情報提供を行わないケースで「横断歩行者はいないであろう」との思い込みがあったものと考えられる。

図 14 は場面 C で実験対象歩行者との衝突が見られた実験参加者について、最小距離を実験のケースごとにプロットしたものである。情報提供が行われた 3 回についてはいずれも十分な距離が確保されていることから、情報提供が行われないケースの 1 回目 (図の赤丸) では、「横断歩行者はいないであろう」との思い込みがあったものと考えられる。但し、同ケースの 2 回目では問題無く対応できていることから、依存の影響は一時的なものと考えられる。

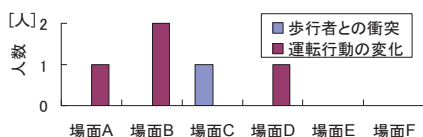


図 1 3 情報提供に対する依存の影響が現れたと推定される人の数 (場面毎)

4. まとめ

歩車間通信により歩行者の情報を一般ドライバーに提示した場合の効果や受容性等について確認するため、30 代～40 代を中心に日常的に運転を行う人を

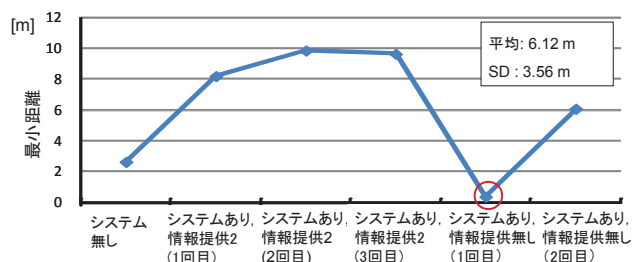


図 1 4 場面 C において依存の影響が現れたと推定される実験参加者の最小距離の推移

対象とした実験を DS で行い、以下の知見を得た。

- (1) ドライバーが歩行者の接近を目視することが困難な場面において、情報の提示により、衝突を回避するための対応がより早く適切に行われるようになった。
- (2) 歩行者の存在のみ提示する方法 (情報提供 1) と、存在と方向を提示する方法 (情報提供 2) では、運転行動に明確な違いは見られなかったが、アンケートでは情報提供 2 の方が役立つと評価する人が多かった。
- (3) ドライバーが歩行者の接近を警戒しやすい場面で不要な情報提供が行われるとアクセル OFF またはブレーキ操作する人の数が多くなった。なお、アンケートでは、6 割程度の人が必要ない情報提供を許容した。
- (4) 衝突の回避が必要な歩行者からの情報提供を繰り返して経験すると、情報への依存による影響と推定される歩行者との衝突及び運転行動の変化が一部で見られたが、大多数の人については影響が無かった。

今後の課題として、情報提供の頻度等の諸条件をより幅広く設定した確認が必要であると考えられる。

なお、本研究は国土交通省の受託調査「平成 23 年度通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバーの運転行動に関する調査」として実施した。

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 報告書一第 4 期 ASV 計画における活動成果について一国土交通省自動車交通局, (2011)
- (2) 中央交通安全対策会議: 第 9 次交通安全基本計画, p. 14, 内閣府, (2011)
- (3) 松井靖浩: ドライブレコーダデータにおける車両と歩行者のニアミス状況の特徴, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 10-10, p. 15-20 (2010)
- (4) Yasuhiro Matsui: CAR-TO-PEDESTRIAN CONTACT SITUATIONS IN NEAR-MISS INCIDENTS AND REAL- WORLD ACCIDENTS IN JAPAN, ESV 2011, paper number No. 11-0164

3. 衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの性能評価と効果推定に関する検討

自動車安全研究領域

※田中 信壽 安藤 憲一

1. はじめに

近年、交通事故死者数全体に占める歩行中の死者数の割合は、自動車乗車中のそれを抜き最も大きな割合を占めるに至っており、車両の安全技術による歩行者保護の拡充はさらなる死亡事故削減を目指す上で重要な課題となっている。そこで、この課題を解決する技術の一つとして注目されているのが、歩行者事故の防止や事故発生時の被害軽減が期待される衝突回避・被害軽減ブレーキシステム（以下、Collision Avoidance and Mitigation System (CAMS) と称す。）である。本研究では、この CAMS の性能定義のあり方と効果評価手法を、実際に CAMS が搭載された車両を用いた実験により検討した。本報告では、本実験によって明らかとなった CAMS の特性を示すとともに、この特性の実態を反映させた新たな性能定義と効果評価手法について提案する。

2. 実験概要

本研究で行った実験の概要を図 1 に示す。本実験では、CAMS が搭載された実験車両を等速度で歩行者ダミーに接近させ、CAMS の作動状況を検証した。実験車両には GPS 速度計と加速度計を搭載し、これによって車両の速度、減速度を計測した。実験車両と歩行者ダミーとの衝突判定は、歩行者ダミーの設置位置を車両の先端が通過したかどうかで判断した。

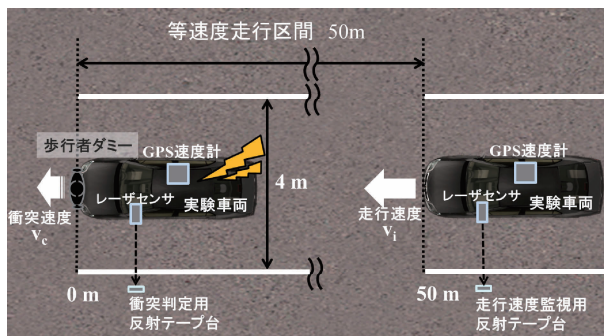


図1 実験の概要



図2 歩行者ダミーの設置状態

また、衝突速度は、この通過時の車両の速度とした。実験車両を運転するドライバは、等速度を維持するためのアクセル操作と直進走行を維持するためのハンドル操作を行うが、ブレーキ操作は一切行わない。また、等速度走行区間は、歩行者ダミーから50[m]の区間とした。使用したコースの道路幅は、4.0[m]である。車両の設定速度は、5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80[km/h]とした。

図2に示すように、歩行者ダミーは、FRP製の支柱で支えられた横棒（FRP製）から吊り下げるかたちで設置した。歩行者ダミーの身長は170[cm]とした。歩行者ダミーは、タイツの中にポリウレタン製のスポンジやポリエチレン製のパイプを詰めることによって人型（脚、胴、腕から手の指まで作られている）を形成した。そして、この人型の上にポリエステル製のジャケットを着せ、特殊樹脂製のサイズ25[cm]のシューズを履かせた。

実験車両は、障害物を検知するセンサシステムの異なる CAMS が搭載された2車種（車両A：カメラを使用するシステム、車両B：カメラ、レーダ及びレーザを使用する複合システム）を用意した。

3. 結果

3. 1. 車両速度と衝突回避能力の関係

図3に、実験車両の衝突回避能力を示す結果として実験車両の速度に対する衝突の有無を示す。実験は昼間、乾燥路面で行い、歩行者ダミーには、黒い服を着せ、車両の中央位置に横向きに設置した。

図中(a)が車両A、(b)が車両Bの結果である。このように車両A,B共に、車両速度が同一の場合でも衝突が発生したり、回避したりする場合が確認された。また、車両AとBを比較した場合、車両Aでは約15[km/h]～約35[km/h]でこのような衝突回避能力の不安定な状態が確認されたのに対し、車両Bでは約30[km/h]～約40[km/h]でこのような状態が確認された。即ち、車両Bは、車両Aよりも低速域(約30[km/h]以下)で安定的に衝突を回避可能であり、衝突回避の不安定さが現れる速度域も狭く、衝突が回避できた限界車両速度も高いと言える。

3. 2. 車両速度と衝突被害軽減能力の関係

図4に実験車両が歩行者ダミーと衝突した際の実験車両の速度に対する衝突速度を示す。

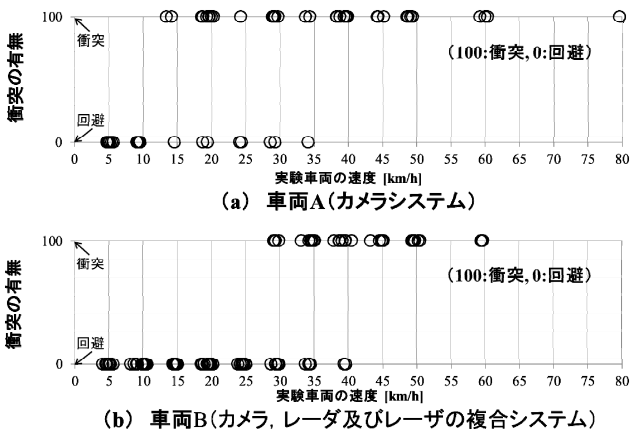


図3 車両速度に対する衝突の有無

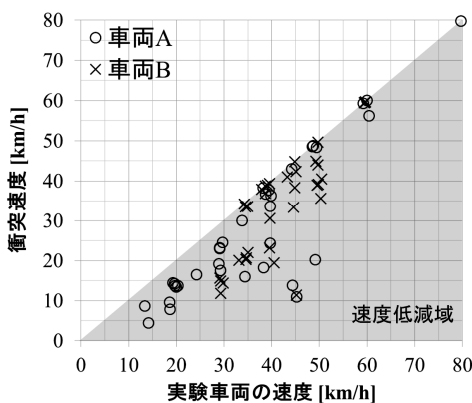


図4 車両速度に対する衝突速度

本図では、衝突は発生したものの CAMS の作動によって減速された場合、図中の灰色部分にプロットされることになる。車両速度が高くなるにつれて減速効果が低くなることが確認されたが、車両速度が45[km/h]付近でも車両A,B共に7割程度速度を低減できる可能性があることが確認された。

4. 考察

4. 1 衝突回避能力の性能定義

図3に示すとおり、CAMSが搭載された車両の衝突回避能力は、不確実性を伴った確率的事象として現れることが確認された。そこで、この実験結果(図3)をもとに、各車両の車両速度に対する衝突確率をロジスティック回帰分析によって推定した。この車両速度 x を説明変数とする衝突確率 $p(x)$ は、以下のよう示される。

$$p_{\theta}(c=1|x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x)}$$

ここで、 c は結果を表し、衝突=1,回避=0の2値をとる。 $\theta = (\beta_0, \beta_1)$ はモデルのパラメータであり、実験結果より推定される。衝突確率は $p(x)$ 、その排反事象である $1-p(x)$ がCAMSの衝突回避確率と考えることができる。図5に車両A及びBの車両速度に対する衝突確率の推定結果を示す。これより、車両Bの衝突確率は、車両Aと比較して低速域(約30[km/h]以下)で低い状態が維持され、その後、より急峻に増加する傾向が確認された。また、車両A及びB共に45[km/h]付近で衝突確率が100%に近づく傾向が推定され、これ以上の速度域では両車両共にほぼ衝突は回避できなくなると考えられる。

本研究では、衝突確率が50%を越える車両速度(以下、「50%衝突確率車両速度」と称す)をCAMSの性能を評価する一つの指標として定義することとした。

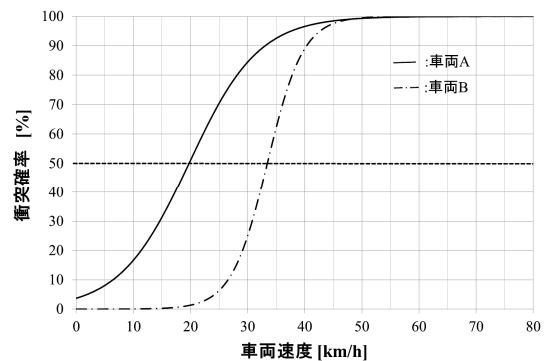


図5 車両速度に対する衝突確率

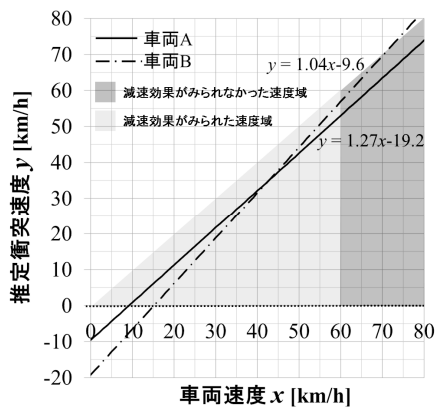


図6 車両速度に対する推定衝突速度

即ち、50%衝突確率車両速度を越える車両速度では衝突を回避することが困難になると考えられる。実験車両の50%衝突確率車両速度は、車両Aでは19.8[km/h]、車両Bでは33.5[km/h]であった。これにより、車両Bは、車両Aと比較して、高い速度域まで衝突を回避できる可能性が高いと判断される。

4. 2. 衝突被害軽減能力の性能定義

図4に示すように、CAMSは衝突が発生した場合でも、車両を減速させることによって衝突速度の低減を図り、衝突被害を軽減させることができる可能性が確認された。そこで、この実験結果(図4)をもとに、回帰分析(一次)を用い車両速度に対する衝突速度を推定した。図6に車両A及びBの車両速度に対する衝突速度の推定結果を示す。

実際、CAMSによる減速が難しい高い速度域(約60[km/h]以上)における車両速度と衝突速度の関係は、図中においてほぼ $y = x$ の直線上に現れるが、CAMSによる減速が期待できる速度域では、この回帰直線にその減速傾向が現れると考えられる。特に、推定衝突速度が0となる車両速度(以下、「回避限界速度」と称す)は、CAMSによる速度低減量が大きいほど高くなる傾向が現れる。そこで、本研究では、この回避限界速度を、衝突被害軽減能力を評価する一つの指標として定義することとした。実験車両の回避限界速度は、車両Aでは9.2[km/h]、車両Bでは15.1[km/h]であった。これにより、車両Bは、車両Aと比較して、CAMSによる減速が期待できる速度域では減速効果が高いと考えられる。

4. 3. 効果評価

本研究では、CAMSの衝突回避能力の性能定義を行う上で、衝突確率を実験データに基づいてロジスティック回帰分析によって推定した。

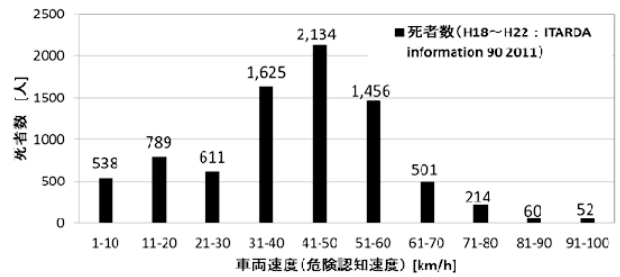


図7 車両速度別の歩行中の死者数

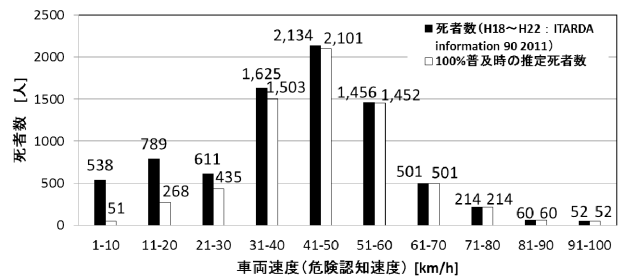


図8 車両Aの効果評価

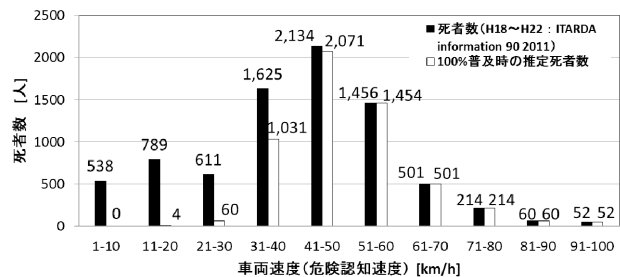


図9 車両Bの効果評価

一方、このような性能を有したCAMSが普及した場合どの程度の事故を減らすことができるかを明らかにすることがCAMSの効果評価となる。(財)交通事故総合分析センターでは、H18~H22の5年間の第一当事者が四輪車の事故における死者数(第一当事者の死者を含む)で状態が歩行中の死者数を車両速度(危険認知速度)別にまとめている(図7)②。そこで、車両速度毎に得られる衝突確率をこのデータに乗じることによってCAMSが100%普及した場合の死者数を効果評価として推定することとした。図8及び9に、それぞれ車両AとBの効果評価(100%普及時に推定される死者数)の結果を示す。

図7に示すように、(財)交通事故総合分析センターのデータによると5年間の死者数は、車両速度が0~100[km/h]では7,980名であった。これに対し、図8に示すように、車両Aが100%普及した場合には死者数は、1,343名減の6,637名にまで低減することができると思定された。一方、車両Bが100%普及した場合には死者数は2,533名減の5,447名にまで低減す

ることができる」と推定された。また、車両 B の特徴としては、低速域（約 30[km/h]以下）で大きく死者数を低減する効果が期待され、車両 A と比較して 690 名もの死者数を低減することができる」と推定された。

5. まとめ

本研究では、まず CAMS の衝突回避能力及び被害軽減能力の実態を把握するために、CAMS が搭載された実際の車両を用いて確認実験を行った。その結果、CAMS の衝突回避能力は不確実性を伴う確率的な事象として現れ、衝突回避能力の再現性を前提とした評価が困難であることが確認された。また、CAMS は、低速域（約 30[km/h]以下）では、車両速度を大きく低減できる可能性があることが確認された。

次いで、実験で得られた衝突回避能力及び被害軽減能力の実態調査の結果を踏まえ、衝突回避能力と被害軽減能力を評価するために新たな指標の定義を試みた。衝突回避能力は、不確実性を伴う確率的な事象として現れるため、車両速度に対する CAMS の衝突確率をロジスティック回帰分析によって推定し、衝突確率が 50%を超える車両速度である 50%衝突確率車両速度を衝突回避能力の指標として定義した。これによって、CAMS によっても衝突を避けられない確率が回避できる確率よりも高くなる車両速度を定量的に定義することを可能にした。また、衝突被害軽減能力は、車両速度に対する衝突速度を回帰分析によって推定し、推定衝突速度が 0 となる車両の走行速度（回避限界速度）をその指標として定義した。これによって、衝突を回避できることが推定される限界の車両速度、即ち、CAMS の減速効果が反映される指標を定量的に定義することを可能にした。その一方で、今回は一次の回帰直線によって回避限界速度を求めたが、今後は回帰分析の結果を検証し、より推定精度を高めるために高次の回帰曲線から回避限界速度を求める方法も検討が必要となる可能性がある。

さらに、本研究では、CAMS の衝突回避能力の指標定義を踏まえ、確率的な観点から効果評価手法の考案を試みた。本研究で提案した効果評価手法は、衝突回避能力の指標定義を行う際に算出したシステムの衝突確率を求め、これに車両の速度別

に分類された事故死者数データを乗ずることによって、CAMS が 100%普及した場合に推定される死者数を推定するというものである。これによって、CAMS の普及効果を死者の削減数という直接的に効果が反映された数値で表すことを可能にした。また、本手法で用いる死者数データは、効果評価を行う時々の事故データを用いることが可能であり、これによって、本手法は、随時、事故実態が反映される形で効果評価を行うことが可能であるというメリットを有している。

ただし、その一方で、CAMS の性能を確率で定義し、これをもとに効果評価を行う場合、注意すべき問題点がある。即ち、本手法は、CAMS によって衝突回避が成功するか否かをその結果だけを用いて確率的な事象として捉えるため、衝突の原因がシステムの機能不全や性能限界に因るものなのか、システムの欠陥に因るものなのか判断が困難となる。従って、欠陥調査のプロセスと組み合わせる必要がある。

今後の課題としては、効果評価の精度を上げるために、CAMS が使用するセンサの特性を考慮し、歩行者ダミーの人に対する同等性を高めていく必要があると考えている。また、この一環として、歩行者の行動との同等性を高めるために、歩行者の飛び出しを模擬できるような環境にて実験を行う必要があると考えている。

参 考 文 献

- (1) 交通事故例調査・分析報告書（平成 23 年度 報告書）財団法人交通事故総合分析センター
- (2) ITARDA information 90, 財団法人交通事故総合分析センター(2011)
- (3) 安藤憲一，田中信壽：衝突回避・被害軽減ブレーキの性能評価と効果推定に関する検討（第 1 報）：自動車技術会春季学術講演会，学術講演会前刷集, No.3-12, pp19-22 (2012)
- (4) 安藤憲一，田中信壽：衝突回避・被害軽減ブレーキの性能評価と効果推定に関する検討（第 2 報）：自動車技術会秋季学術講演会，学術講演会前刷集, No.125-12, pp1-4 (2012)

4. 車両衝突時の歩行者被害について

自動車安全研究領域 ※松井 靖浩
名古屋大学 水野 幸治
自動車安全研究領域 細川 成之 田中 良知 山口 大助

1. はじめに

国内の年間の交通事故における負傷者数 854,493 人 (2011 年) の中で歩行者の占める割合は 8% である¹⁾ (図 1 左図)。一方、死亡者数 4,612 人 (2011 年) の中で歩行者の占める割合は、約 37% と最も高い¹⁾ (図 1 右図)。死傷者 (軽傷・重傷・死亡) 数の中で死亡者数の占める割合を死亡率とすると、歩行者は、車両乗車中を含む他の状態と比べ最も死亡率が高い¹⁾。

車両側の衝突安全対策として、現在我が国では、歩行者頭部の被害軽減を目的とした歩行者頭部保護規制が施行されている。他方、車両の衝突速度を低くすることで、歩行者の傷害度を軽減できると考えられる。最近では車両に搭載されたセンサが前方の歩行者を検知し、警報やブレーキ制御をかける歩行者検知型被害軽減装置の普及も有望と考えられる。

最近我が国ではステレオカメラによる歩行者検知型被害軽減装置が開発され、既に一部実用化^{2) 3)}されている。同装置は、歩行者を検知し自動ブレーキが正しく作動した場合、衝突速度を減少させるシステムとなる。本研究では、車両の衝突速度が変化したときの歩行者の被害軽減度合いを明確化することにより、歩行者検知型被害軽減装置の技術要件を提案するための基礎資料作成を目的とする。

ここでは、衝突速度が変化したときの歩行者の被害状況を、有限要素解析に基づき詳細に調査した。我が国の歩行者事故における損傷主部位に着目すると、図 2 に示すように死亡者については頭部の占める割合が最も高く (56%)、次いで胸部の割合が高い (16%)¹⁾。そこで、日本人体型の一例として歩行者モデルを 50 歳代の男性平均身長とし、セダン、軽乗用車、SUV の車両モデルについて、衝突速度を 20, 30, 40, 50 km/h と変化させた場合の歩行者頭部、胸部における傷害リスクを調査した。

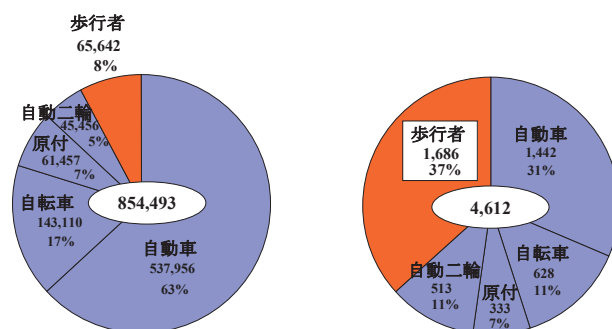


図1 交通事故による負傷者数(左)、死亡者数(右)

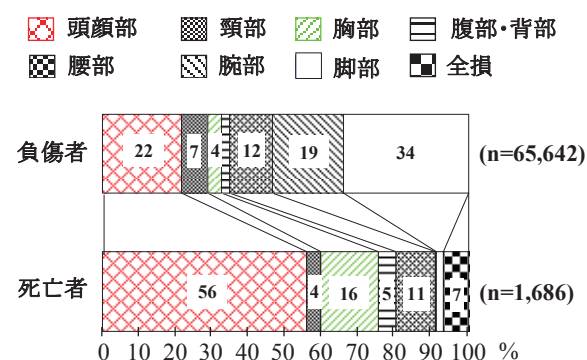


図2 歩行者事故における損傷主部位

2. 方法

供試車両はセダン、軽乗用車、SUV の標準的なものについて図 3 に示す各 1 車種とした。セダン、SUV の有限要素モデルについては、National Crash Analysis Center (NCAC) が提供しているモデル⁴⁾の車両前部を抽出した。この抽出モデルのボンネット、バンパ、カウル、ウィンドシールドの各要素を再分割した。

軽乗用車の有限要素モデルについては、実車を 3 次元測定装置により寸法測定し、車両形状データを取得し要素を分割した。車両の構造材料の特性については、ボンネット、フェンダおよびバンパの部材から取り出した試験片を用いて引張試験を実施し、各部材の材料特性をモ

デルに組み込んだ。軽乗用車モデルの妥当性は、頭部インパクトを用いた衝撃試験にて検証した。

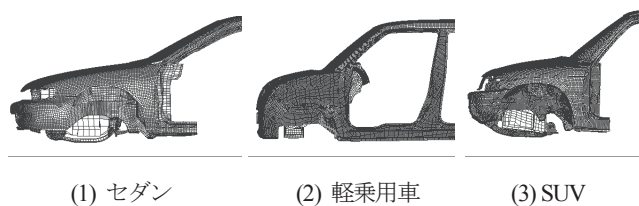


図3 車両モデル

歩行者の有限要素モデルについては Total Human Model for Safety (THUMS)⁹⁾を使用した。歩行者モデルは成人男性 50 パーセンタイル (AM50:身長 175 cm, 体重 77 kg)⁹⁾からのスケーリングに基づき日本人の男性 50 歳の体格⁶⁾(身長 165 cm, 体重 60 kg)を作成した(図4)。

本研究では歩行者の側方に対しセダン、軽乗用車、SUV をそれぞれ 20, 30, 40, 50 km/h で衝突させた。頭部重心位置の 3 軸合成加速度より計測される Head Injury Criterion (HIC), 胸椎 T8 位置 (胸椎 12 個のうち 8 番目, 背中中央に相当する歪曲部の頂点) の胸郭変形量より傷害リスク曲線⁸⁾⁹⁾を使用して、頭部傷害リスク、胸部傷害リスクをそれぞれ算出した。

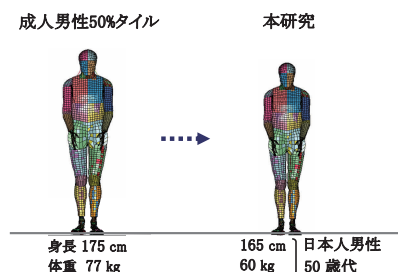


図4 人モデル

3. 結果

セダン、軽乗用車、SUV が、歩行者と 40 km/h で衝突する際の歩行者の挙動を図 5 に示す。セダン、SUV では最初に下肢がバンパと接触し、大腿部がボンネット先端と接触した。その後、歩行者の胴部は車両の前端まわりに回転し、胸部、頭部はボンネット上に衝突する。また、軽乗用車との衝突では腰がボンネット先端と接触し頭はウィンドシールドと衝突する。

車両衝突速度と HIC の関係を図 6(1) に示す。車両衝突速度の増加に伴い HIC は増加した。車両衝突速度 30, 40 km/h においては、セダンとの衝突による HIC が最も高く、軽乗用車との衝突による HIC が最も低かった。

また、50 km/h での SUV との衝突では特に高い HIC を示すことが判明した。

車両衝突速度と胸部変位の関係を図 6(2) に示す。セダンおよび SUV との衝突においては、車両衝突速度の増加に伴い胸部変位量は増加した。軽乗用車との衝突においては、車両衝突速度が 20~40 km/h では胸部変位量にほとんど変化はなく、50 km/h で増加の傾向を示すことが判明した。

Mertz⁸⁾および Pinter ら⁹⁾が開発した HIC を用いた頭蓋骨骨折リスク曲線、胸部変位量を用いた AIS4 以上の胸部傷害リスク曲線を図 7 に示す。図 7 のリスク曲線により、本シミュレーションより導出された HIC、胸部変位量を用いて算出された頭蓋骨骨折率、AIS4 以上の胸部傷害率を図 8(1)(2)に示す。衝突速度の増加に伴い頭蓋骨骨折率は増加し、特に SUV が衝突速度 50 km/h で衝突する場合は顕著に高かった(図 8(1))。一方、いずれの車種も胸部傷害率は低く、車種間においてほぼ同様の値を示すことが判明した(図 8(2))。

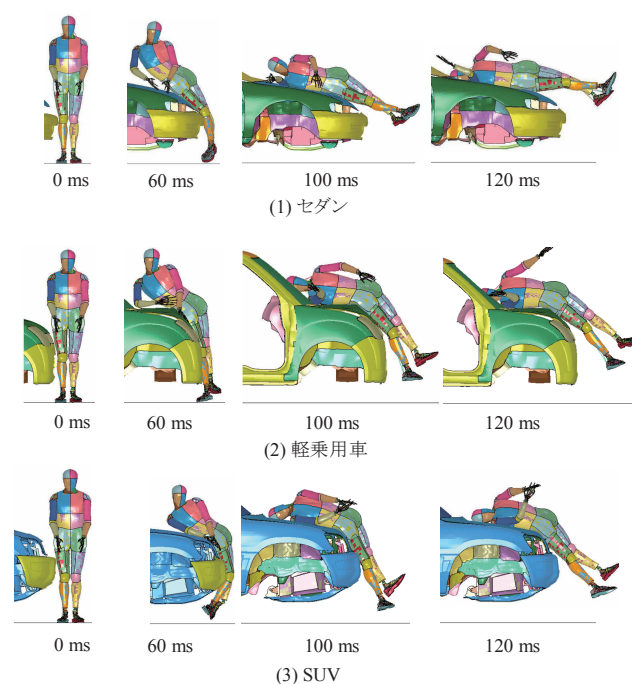


図5 衝突速度 40 km/h の時の歩行者の挙動

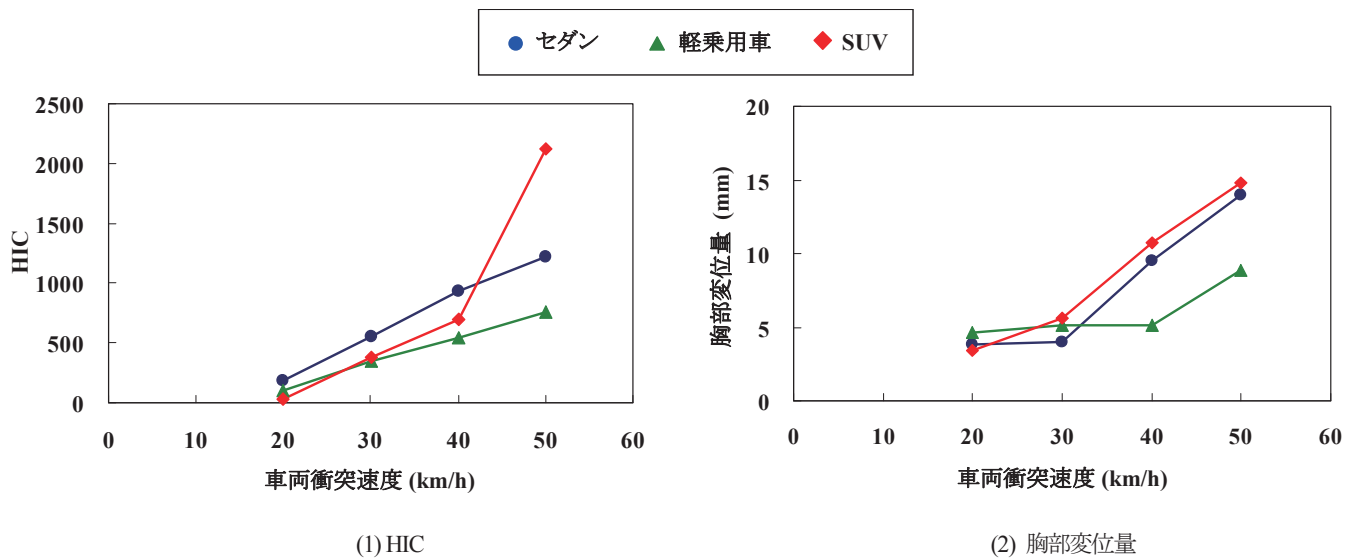


図6 HIC および胸部変位量

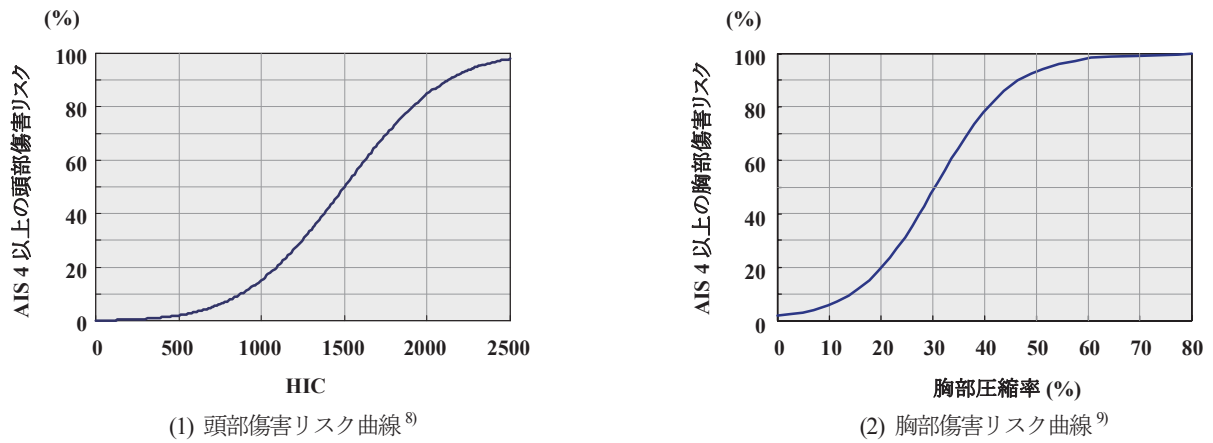


図7 頭部および胸部における傷害リスク曲線

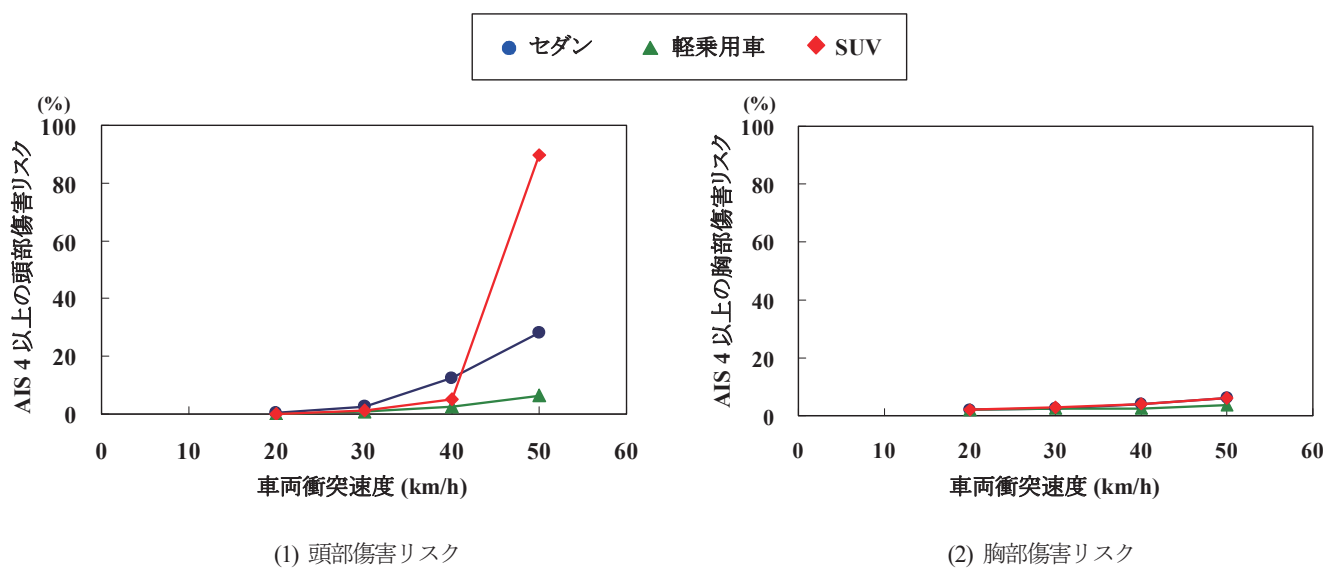


図8 頭部および胸部における推定傷害リスク

表1 頭部および胸部の重傷発生リスク

衝突速度	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
(1) セダン	2%	5%	16%	35%
(2) 軽乗用車	2%	4%	5%	9%
(3) SUV	2%	4%	8%	95%

4. 考察

歩行者の頭部、胸部の重傷発生率（p: Probability）について、頭蓋骨折率 p (頭部) と AIS4 以上の胸部傷害率 p (胸部) を用いて NHTSA 提案式¹⁰⁾に則し、次式(1)より求めた結果を表2に示す。

p (頭部 and/or 胸部) =

$$p(\text{頭部}) + p(\text{胸部}) - p(\text{頭部}) \times p(\text{胸部}) \quad (1)$$

セダン、軽乗用車、SUV のいずれの車種と衝突した場合でも、衝突速度が 30 km/h 以下では、歩行者の重傷発生率は 5%以下であった。一方、衝突速度が 30 km/h を超えると車種により違いが生じるが、いずれの車種においても 10 km/h の速度低減により重傷発生率が低下することが示された。例えば、セダンの場合、衝突速度が 40 km/h 以上では重傷発生率が 16%以上となるが、30 km/h 以下では重傷発生率が 5%以下となる。軽乗用車の場合、衝突速度が 50 km/h では重傷発生率が 9%となるが、40 km/h 以下になると重傷発生率は 5%以下となる。SUV の場合、衝突速度が 50 km/h では重傷発生率が 95%であるが、40 km/h 以下では重傷発生率が 8%以下となる。

5. おわりに

有限要素解析による衝突速度が変化したときの歩行者被害の予測結果から、セダン、軽乗用車、SUV のいずれの車種と衝突した場合でも、衝突速度が 30 km/h 以下になると歩行者の重傷発生率が 5%以下になることが判明した。既に市場では、前方物体をセンサで検知し、警報やブレーキ制御の機能を保持した歩行者検知型被害軽減装置を搭載した車両が販売されている。本研究の結果から、こうした歩行者検知型被害軽減装置に求められる要件として、今回のモデルでの結果より、歩行者の重傷発生率を 5%以下に抑えるためには車両が歩行者を検知し歩行者位置における車両速度を「30 km/h 以下」に減速することが望まれる。今後、供試車種を増やし本結論を一般化していく予定である。

参考文献

1. 財団法人交通事故総合分析センター：交通統計 平成 23 年版 (2012)
2. 柴田英司：新開発ステレオカメラによる運転支援システム「EyeSight」の開発 自動車技術 Vol.63, No.2 pp.93-98 (2009)
3. 葛巻清吾：安全への取り組み 自動車技術, Vol.63 No.12 pp.11-16 (2009)
4. <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>
5. Maeno T., Hasegawa, J. Development of a finite element model of the total human model for safety (THUMS) and application to car-pedestrian impacts, 17th ESV conference, Paper No. 494. (2001)
6. 社団法人 人間生活工学センター, 日本人の人体計測データ (1997)
7. 財団法人交通事故総合分析センター：ITARDA インフォメーション, 2004 ; №53 : pp.2-3 (2004)
8. Mertz H.J. Injury risk assessments based on dummy responses, Accidental Injury, Springer-Verlag, pp.89-102 (2000)
9. Pintar F., Yoganandan N., Hines M., McFadden J., Saul R., Eppinger R., Khaewpong N., Kleinberger M. Chestband analysis of human tolerance to side impact, 41st STAPP Car Crash Conference, pp. 63-74, paper number 973320. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA. (1997)
10. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation (DOT) Consumer information; New car assessment program, Docket No. NHTSA-2006-26555-0114 (2008)

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や鉄道等の交通機関について、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・安心の確保および地球温暖化防止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および公共交通システムの利用促進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. 重点化研究

交通システム研究領域では、重点的に取り組むべきテーマとして、(1) 交通システムの安全性向上、(2) 地方鉄道の維持・活性化、(3) モーダルシフト等の公共交通の利用促進・利便性向上に関する研究に取り組んでいる。

また、これらのテーマの他に、索道（ロープウェイ、リフト等）に関する試験研究に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機関としてロープや握索装置の試験を実施している他、索道事故等のデータベース化を始めとして、索道の安全に資する研究を実施している。

さらに、鉄道分野における国際規格に係わる取組みとして、国際規格適合性評価（認証）や日本の鉄道技術の国際規格化にも注力している。

(1) 交通システムの安全性向上に関する研究

交通システムの安全性向上に関する研究については、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、我が国に実績のない新たな交通システムを導入する際の安全性・信頼性の評価や、それら交通システムに関する技術基準策定支援などに取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評価を円滑、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ところである。

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の開発およ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管理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列車運行安全性評価シミュレータ（図1）により、運転状況記録装置から得られる実運行データおよび路線線形、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。現在、運転状況記録装置の普及は進んでいるが、そこで蓄積されるデー

タをいかに活用するかが課題となっていることから、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。



図1 列車運行安全性評価シミュレータ

(2) 地方鉄道の維持・活性化に関する研究

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利用し、また、GPS、汎用無線等の通信技術を組み合わせ、プローブ車両の開発や画像解析による予防保全支援システムの開発等を行うなど、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。

画像解析による予防保全支援システムは、車載の画像センサの映像をもとに、地上信号機の現示状態や踏切遮断機の動作状態などを画像解析により確認し、予防保全に役立てることを目的としている。GPSを用いて画像中における信号機や踏切遮断機の位置を算出することにより、画像解析の処理負荷を大幅に軽減し、リアルタイム性を確保している。得られたデータを蓄積していくことにより、人間では気づきにくい経年変化を明らかにすることができ、予防保全に適用できるものと考えている。

(3) 公共交通の利用促進・利便性向上に関する研究

モーダルシフトを進める上で必要な公共交通の利用促進・利便性向上に関する研究は、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、およ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、公共交通システムの普及促進に関する研究を実施している。

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および交通流への影響などについて、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。

また、LRT国際ワークショップやLRT普及促進懇話会などの開催を通じて関係者間の情報交換を行うとともに、地方自治体や広く一般社会への理解促進・啓発を図っている。

2. 2. 国際標準化への貢献と適合性評価（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。また、多くの国がCO₂排出量の少ない鉄道に注目し、国家プロジェクトとして鉄道整備を検討・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、交通システム研究領域では、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取得することを要求されることが多くなり、海外展開のハードルの一つとなっている。当研究所では、鉄道技術標準化調査検討会（事務局：国土交通省鉄道局、（公財）鉄道総合技術研究所、（社）日本鉄道車輛工業会）における検討結果を踏まえ、我が国初の鉄道分野における製品認証機関として、認定機関である独立行政法人製品評価技術基盤機構より認定を取得した。

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性向上、地方鉄道の維持・活性化、公共交通の利用促進・利便性向上に関する研究を中心に取組んでおり、これらの研究を通じて、交通社会の安全・安心に貢献している。

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、国際規格適合性認証のような技術力を最大限活用し、交通システム技術の一端を担う立場から、国の施策を支援し、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. 運転状況記録装置を活用した運転状況分析による安全性向上への取組み

交通システム研究領域 ※吉永 純 佐藤 安弘 千島 美智男 森 裕貴

1. はじめに

平成 17 年 4 月に発生した列車脱線事故への対策の一つとして、特定要件に該当する車両に常時記録型の運転状況記録装置の搭載が義務づけられており、現在、多くの鉄道事業者で整備が進められている。

この装置は、航空・鉄道事故調査委員会（当時）が発出した建議（19 年 6 月）において、事故等以外の事象についても鉄道事業者等が必要な分析を行い、事業者間で活用すべき、との指摘がなされており、安全性向上に資するものとして期待されている。

本稿では、現状での運転状況記録装置の利用状況及び利用のための課題について述べるとともに、今後利用していくための取り組みについて述べる。

2. 運転状況記録装置の利用のための課題

2. 1. 鉄道での利用状況の調査

装置の搭載が義務付けられた車両（新造・既存車）を有する鉄道事業者は約 90 社局に渡るが、整備率は約 85%（24 年 3 月）と急速に進んでいる。記録方式は映像記録式ではなく、数値データにより車両の動向を常時記録する方式がほとんどを占めている。

交通研では 23 年度において、大手民鉄会社を中心とした 10 社に装置の利用状況を聞き取り調査したところ、発生した事故等や設備故障等の分析以外にはほとんど利用されていない状況であった（図 1）。

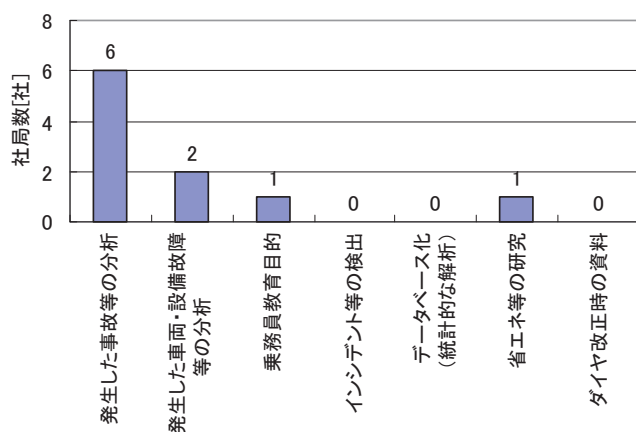


図 1 運転状況記録装置データの利用状況

他方、装置メーカ（3 社）を対象とした閲覧ソフトウェアに関する調査でも、日時が特定されたデータの閲覧・分析には優れており、事後解析に適した構成となっているが、顕在化していない事象の検出のような分析法に対しては不向きな仕様となっていることが分かった。

図 2 は、データの利用方法について、基礎的なものから高度なものに階層化して表したものである。前述の航空・鉄道事故調査委員会の建議は、現在行われているような、事故等の事後解析等を超えたデータの利用方法について、その必要性や安全性向上の効果を指摘しているものと位置づけることができる。

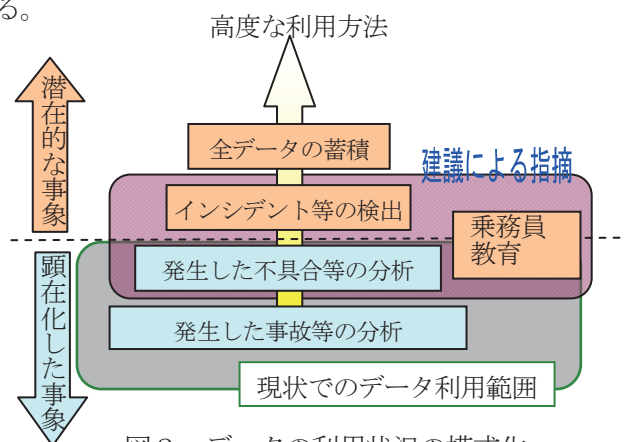


図 2 データの利用状況の模式化

2. 2. 鉄道での利用のための課題

現状において、顕在化している事象の解析以外の利用方法が行われない理由についても鉄道事業者に聞き取りにより調査した。その結果、以下の指摘が挙げられている。

(1) データ回収のための作業量

列車を入庫させ記憶媒体を取り出し、データ読み取り装置にセットする必要がある、データの回収や必要なデータの特定に時間がかかる。

(2) 分析ソフトウェアの不足

専用の分析ソフトがなく、手間が膨大である。

(3) データ回収の制度・物理的制約

回収作業の実施には権者の指示が必要な内規を定めている。物理的にもセキュリティ上の理由で常時施錠されている（図3参照）。

併用型装置（他の車載機器の記録機能を利用する方式）の場合、データ回収・解析に専門知識も必要。

(4)その他

その他に以下のような指摘もあった。

- ・責任追求型の使われ方への懸念がある。
- ・装置の導入に多大なコストを要しており、さらに人手やコストをかけてデータを利用することは現状では困難。



図3 運転状況記録装置の搭載例（専用ケース内）

2. 3. 自動車分野での課題への対処

自動車分野では同様の装置として、カメラで映像を記録する、ドライブレコーダが普及している。

国土交通省では、搭載しただけでは事故防止効果は期待できない、として、自動車運送事業者向けの有効活用のための調査報告書（21年3月）や事故防止マニュアル（21年10月）をとりまとめている。

鉄道とはシステムも状況も異なるが、課題や解決策には共通点が見られることから対策を抜粋する。

(1)データ回収のための作業量について

会社の状況に応じて、以下のような導入レベルを選択することが提案されている。いずれのレベルでも、得られた映像を安全教育に利用し、安全性向上効果があることが述べられている。

[レベル 1]事故等を起こした車両のデータのみ回収

[レベル 2]新人や事故惹起者等の特定者の事故・ヒヤリハットを毎日回収

[レベル 3]乗務員全員にヒヤリハットの自己申告を促し、その映像を回収

[レベル 4]全車両の事故・ヒヤリハットを回収

(2)データ回収上の制約やその他の課題について

責任追及型の利用の懸念や、コストの問題については、ドライブレコーダ導入後に事故の減少、事故処理の円滑化等の実際の効果が得られるに従い解消された事例が示されている。

以上のように、継続できる範囲でデータ回収をする

ことと、その結果得られるメリットによりデータ回収する意義が理解されていくことが述べられている。

3. 鉄道での活用方法の検討

3. 1. 鉄道事業者の活用事例について

鉄道において考えられる、データの活用をすることにより得られるメリットについて述べる。

事故等の減少や事故等の際にも客観的な記録が得られる利点がまず挙げられる。

さらに運転状況記録装置には、車両の各種データを記録する「トレインレコーダ」としての側面があるため、この観点から、記録されたデータから何かが初めて分かったという経験の有無についても鉄道事業者を対象に調査を行った。その結果、車両検修関係のみならず、信号保安装置等の設備の管理等に役立ったという事例が得られている。以下に一部を紹介する。

(1)設備管理関係

- ・ATS やブレーキ動作状況から、ある中継信号機の視認距離が短いと判明し、建植位置を変えた。
- ・ホームドア指令信号と戸閉記録の比較から、リレーのバタつきが判明した。
- ・ORP（過走防護装置）の動作点調整に活用した。

(2)車両検修関係

- ・ブレーキ圧センサの配線の接触不良を検出した。
- ・車両走行試験での測定機材替わりになる。その場でブレーキ距離等が表示できる。
- ・車両走行試験時に確認できなかった気象条件でのブレーキ性能等を確認できる。

(3)その他の使い方

- ・ECO 運転のための研究に利用している。

3. 2. データの技術的な特徴・誤差補正

運転状況記録装置で取得されるデータは、以下のような技術的な特徴が見られる。これにより、内容の理解がより困難となっている。

①データが膨大（0.2秒間隔の連続記録方式のため）

②データの意味合いは、さまざま

（例：指令時か、実際の動作時か）

③複数のデータで記録領域を共用する場合がある（記録領域の有効活用のため）

④速度・位置の誤差（速度発電機の特性、滑走・空転、車輪径設定誤差により数%の誤差が生じる）

①については、時刻やデータ列を限定し、必要なデータのみ切り出すソフトウェアの利用が考えられる。②、③、④については、車種によっても取得されるデータやデータの意味合いも異なると思われる。そのため、意味する内容や定義、指令場所のデータか動作場所のデータかといった属性を明確化しておくだけではなく、データ間の関連性や、データに含まれる誤差の特徴も把握しておかなければ、迅速なデータの解説は難しいと考えられる。これは時折、データを取り出して閲覧する機会を設け、データに見慣れておくことが有効と考えられる。

特に④の位置及び速度情報に含まれる誤差の影響は大きいことから、この誤差の補正方法や基点を決定する方法を検討しておくことは重要と考えられる。

位置誤差は、一般に走行距離に対して数%程度生じる。速度検知部の構造や、車輪とレール間のすべり等に起因し、加速時と減速時でも発生量が異なるものであることから、画一的に除去することは困難である。

そこで専用ソフトを用いずに補正できる方法として、一般的な表計算ソフトを活用した簡易な誤差補正方法を検討した。取得したデータのまま市販の表計算ソフトにより距離－速度曲線を作成すると、図4（上は各駅停車、下は快速運転）の駅A～駅Eの真の位置と比較し、各列車は誤差を生じている。この図により、ある地点を何 km/h で走行したかを見ようとした場合には、含まれる誤差が大きすぎると考えられる。

そこで、駅停車位置を基点として位置をある程度補正する方法を検討する。

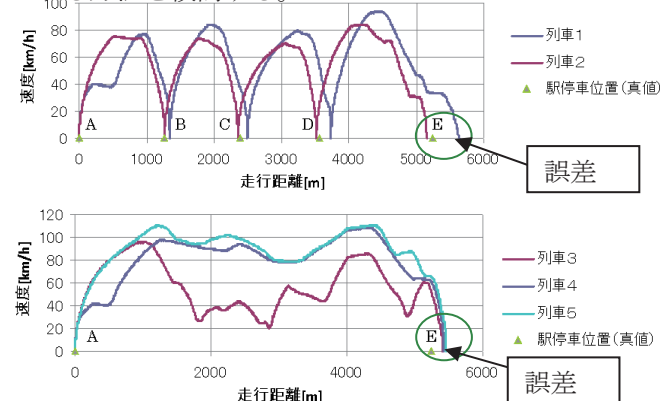


図4 距離－速度曲線の作画例（誤差を含む）

この走行例の場合、表1のように駅間距離（真値）と比較し、誤差の発生傾向は列車毎にほぼ同じである。そのため、表1の比率を係数として各駅間の走行距離データを除算することで真値と符合させる補

正を行う。速度についても位置と同じく、この係数による除算により補正する。

表1 真の各駅間距離との比較

区間	列車1	列車2	列車3	列車4	列車5
A→B	105.8%	99.8%	103.3%	103.6%	104.4%
B→C	102.2%	96.9%			
C→D	105.8%	99.6%			
D→E	103.1%	98.4%			
平均	104.4%	98.4%	103.3%	103.6%	104.4%

ただしこの補正方法は、所定停車位置に正しく停車した前提により補正を行うため、駅でオーバーランがあった場合には、検出できない場合がある。その場合、停止位置修正のための後進運転操作や後進速度、次駅までの距離等を利用してオーバーランの発生を検出する必要がある。

補正した結果は図5のように駅位置と符合する運転曲線となった。同図には距離－時間曲線及びノッチ操作についても同時に作画したが、これらの比較により列車相互の運転操作の比較や次節のような標準運転曲線との対比により、他と異なる傾向を示す運転データを検出する目的では利用可能と考えられる。

また同図からは、ブレーキ指令からブレーキ動作までの応答時間、その日の天候でのブレーキ距離や減速力等の、車両検修に関する情報も読み取れる。

その他、駅停車中の客扱い時間を実測することが出来ると考えられ、ダイヤ改正時や慢性的な遅延原因の究明に役立つものと考えられる。

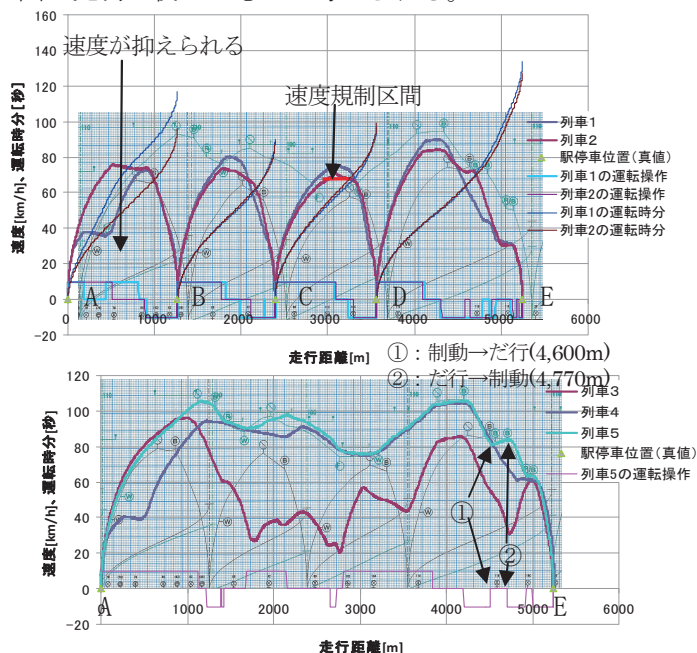


図5 距離－速度曲線の作画例（誤差補正処理後）

3. 3. 運転状況の簡易な把握・分析例

前掲の図5は、簡単な重ね合わせにより速度、運転時分を比較したものだが、運行実態を視覚的に捉えることができる。こうした図表は、安全教育やダイヤ改正時の資料としての利用が考えられる。

同図中、列車1はA-B駅間で運転速度を抑えて20秒程運転時分を要し、その後は高い速度で運転している。安全上の問題はないが、C-D駅間において曲線部の制限速度とほぼ同じ速度（速度発電機の誤差は含まれる。）で通過し、D駅到着時には運転時分が短縮されている様子が見られる。

列車5についても、D-E駅間において、D-E駅間の下り勾配中で減速せず、場内信号機まで比較的高い速度を保ち、運転時分を稼いでいる様子が見られる。

3. 4. シミュレータによる運転状況の再現例

当研究所の「列車運行安全性評価シミュレータ」(図6)は、軌道回路や保安装置(ATS-S、ATS-P相当等)を含む任意形状の線路を作成できる機能を開発したもので、線路上には運転状況記録装置で取得したデータに従い列車を走行させることによって、シミュレーション映像により前後方や信号等の状況を視覚的にも再現できる機能を有している。また、計画ダイヤからの遅延の算出や駅着発時間の記録も可能である。

本シミュレータでの運転記録装置データの再現により、前後の列車との位置関係、信号機の視認可否等のインシデントの背景要因についても分析が可能と考えている。

また本シミュレータは、鉄道で一般的な図表に基づきデータ入力できるよう、入力手順とインターフェースを工夫している。今回は当該鉄道事業者の協力により標準運転曲線及び線形図等(閉塞割を含む)を入手し図5の路線をシミュレータ上に作成し、各駅までの所要時分が標準運転曲線とシミュレータで同じ秒数になることにより確認を行った。



図6 列車運行安全性評価シミュレータ 外観

前掲の図5の列車1は、C-D駅間の曲線部内でも力行を続けて制限速度付近まで速度を上げている。その状況を図7に示す。この映像は、回復運転の方法の妥当さの判断等の材料になると考えられる。

他方、列車5は、D-E駅間の下り勾配の途中で制動を止めてだ行し、E駅の場内信号機付近まで高い速度を保っている。だ行運転に切り替えた①の地点のシミュレーション映像を図8に示す。直線区間で、先方の場内信号機の青を見通せるために運転士は、高い速度で運転をしていると推定できる。



図7 曲線速度制限付近までの力行運転の再現

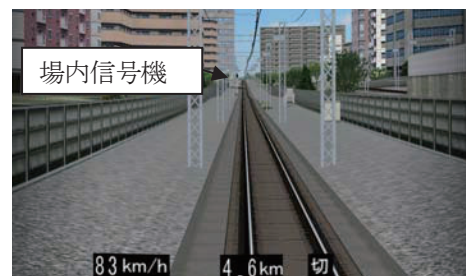


図8 ブレーキ点を遅らせる運転法の再現

4. まとめ

運転状況記録装置は導入コストが多額であるが、事故等の分析以外にデータを活用した事例はごく一部の鉄道事業者に限られている。データが利用されない理由はデータ回収の手間、制度的な制約等である。

これらの課題は、自動車運送事業者の事例では効果が実感できることで解決するとされている。鉄軌道においてもインシデント等の検出目的以外も含め、何らかの目的に用いてメリットがあれば、建議の指摘する、記録装置の活用につながっていくと考えられる。

また、専用ソフトやシミュレータを用いずとも、表計算ソフト上の簡単な誤差補正により複数列車運行データを比較するだけでも、様々な状況の読み取りが可能で、データを閲覧する価値は高いと考える。

当研究所では、今後とも鉄道事業者の協力を得て、大多数の列車運行データが得られるようになった状況を活かした、安全性向上や、運行ダイヤの研究に取り組んで参りたいと考えている。

6. 鉄道用予防保全システムを目指して

—画像処理技術を用いた地上設備の状態判断—

交通システム研究領域
理事
日本大学

※工藤 希 竹内 俊裕
水間 毅
本山信介

1. はじめに

現在、多くの地方鉄道は利用者減等の課題により経営が厳しい状態にある。しかしながら、交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会の提言には地方鉄道の必要性がうたわれている。そこで、地方鉄道における保守コストの低減を目的として、営業車両の走行に合わせて地上設備（地上信号機の現示状況、踏切遮断かんの開動作状況、発条転てつ機の転換動作状況など）を監視し、それら設備の経年劣化を検出することで予防保全が実現可能となるシステムを開発した。これを用いて、実際に営業路線で実験を行った結果と、今後の方向性について報告する。

2. 研究の背景

2. 1. 鉄道を取り巻く状況

現在、地方の中小鉄道は、少子高齢化やモータリゼーションの進展による利用者減、設備のメンテナンスなどによるコストが高いという課題により、経営が厳しい状況にある。しかしながら、高齢化社会を迎え、自動車を運転できない高齢者が増加することから、公共交通機関としての必要性も増していくと考えられる。鉄道事業者も経営の合理化等を進めているもの

の、設備のメンテナンスによる費用は収益と比例しないため、車両、施設の適切な修繕やメンテナンスが困難になることが問題となっている。

2. 2. 本研究の位置付け

踏切の機器や発条転てつ機などの地上設備は、通常は点検により機器の不具合が無いことを確認しているが、地方鉄道においては点検に係る負担が大きくなっている。本研究では、設備のメンテナンスを軽減させるため、簡易な装置で故障の兆候を検出することを目的とした。

検出方法には、主要な設備の周辺にカメラやセンサなどを設置して監視する方法や、専用の計測車両を用いる方法も考えられるが、どちらもコスト低減には結びつかない。そのため、営業列車において簡易な装置による検知、解析を行うことが最良であると考え、GPS やカメラを営業車両に設置し、走行中に得られたデータを画像解析することによる鉄道用予防保全システムを開発することとした。簡易な装置により日々のメンテナンスを省力化し、かつ安全性が向上するとともに、データを蓄積することで、最終的には通常の検査周期を延ばすことによりコスト低減を図る。

本研究では、地上信号機、踏切遮断かん、発条転てつ機を対象に開発を行った。それぞれ、

- ・ 信号機：経年劣化による輝度の低下
- ・ 遮断かん：モータの経年劣化による動作の遅延
- ・ 発条転てつ機：スプリングやダンパの劣化による戻り時間のずれ

を検出することを目指している。

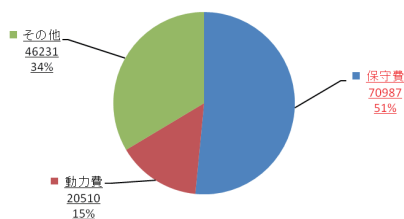


図1 地方鉄道の費用内訳の例¹⁾

3. 鉄道用予防保全システム

3. 1. システム概要

本システムの概要を図2に示す。本システムは、列車走行中に対象となる地上設備を車両前方又は後方の視認できる位置から、地上設備の状態を自動的に判別することが目的である。そのため、GPS とカメラを営業車両に設置し、列車の位置情報取得と各設備の動作状況を把握する。しかし、撮影した全画像から各設備の動作を検知するには、まず画像全体を解析する必要があり、処理に多くの時間がかかる。そこで、GPS による位置情報を活用し、撮影画像のどのあたりに対象となる地上設備が映し出されるかを算出したのち、特定された地上設備の動作を検知して、画像処理を迅速に行うこととした²⁾。

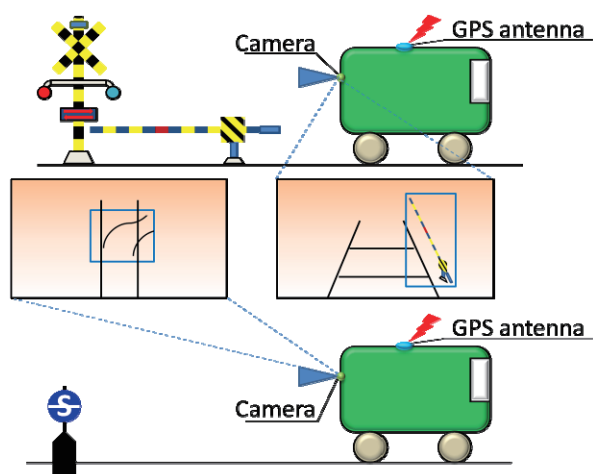


図2 システム概要（踏切・転てつ機の場合）

3. 2. 目標追跡手法

撮影画像内から、目標とする地上設備を特定する手法について概要を述べる。まず、GPS において取得した列車の位置情報の、直前の位置 (X', Y', Z') か

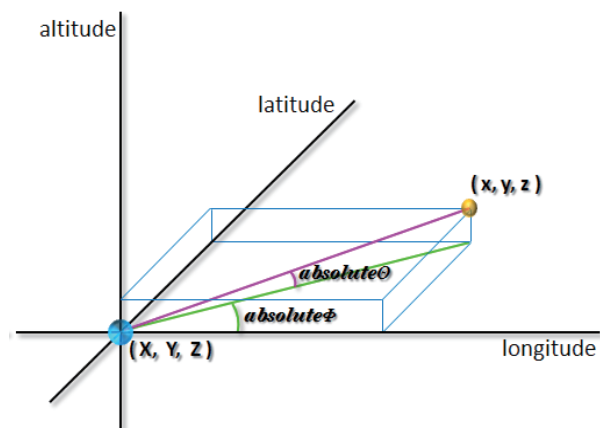


図3 対目標物角度算出

ら現在の位置 (X, Y, Z) までのベクトルにより列車の傾きを表す。このとき、列車に設置してあるカメラの撮影方向は列車の進行方向と一致していることとする。 (X, Y, Z) はそれぞれ（経度、緯度、高度）である。

次に、列車の位置から見た、目標物が設置されている位置までの角度を算出する。列車の傾き算出と同様に、列車の位置 (X, Y, Z) から対象となる目標物の位置 (x, y, z) までのベクトルが求められる角度である（図3）。これらを画像上に反映させることで、対象物の位置を特定する。

3. 3. 信号機の判別方法

3. 2. まですべて特定した範囲から信号機を判別する手法を示す。特定した範囲から二値化を行い、図4のように信号機の黒い枠部分（図中の赤又は黄色く塗りつぶした部分）を特定する。その後、現示している部分（赤又は黄色の塗りつぶした部分内部の抜けている部分）の位置から現示されている色を特定する³⁾。

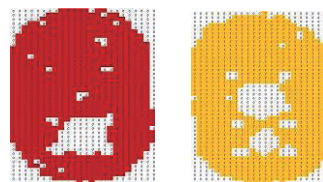


図4 信号機の判別

3. 4. 踏切遮断かんの動作検知手法

同様に、踏切遮断機の開く様子を検知する手法を図

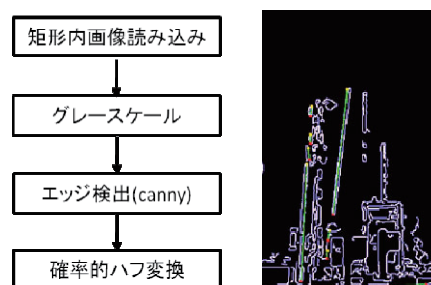


図5 画像処理の流れとその様子



絞り込み前

絞り込み後

図6 遮断かんの抽出の一例

5に示す。グレースケール化などの下処理の後、canny 法によりエッジの検出を行い、確率的ハフ変換によりエッジ画像から線分の抽出を行う。この時、近傍の電柱などの建造物を除外するため、極端に短いものや水平から5度までの線分を除外している(図6)。抽出された遮断かんの角度と長さから遮断かんの開動作を判断する。

3. 5. 発条転てつ機転換検出手法

発条転てつ機も同様に、矩形によって捉えられた画像を切り出し、直線部分の抽出をしやすくするため二値化とアンシャープマスクによって画像の補正を行

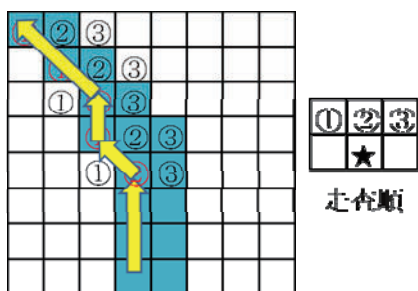


図7 レール走査の原理(左側面)

う。アンシャープマスク後の画像から、レールを抽出し、そこからレールのエッジを画像の上端まで探索する(図7)。片側のレールの左側面と右側面を走査している時、二つの線の距離が変わらなければ同じレールを走査していると判断し、離れれば転てつ機周辺を走行したと判断する。2本のレールのうち、転てつ機周辺と判断したレールが線路の右側か左側かで定位か反位かを判断する。

4. 試験

以上の手法を組み込んだ装置を開発し、動作確認及び精度検証のために、実路線での試験を行った。

4. 1. 試験条件

まず、対象となる踏切遮断機及び発条転てつ機を中心の位置情報をGPS受信機で取得し、誤差を修正するためにマップマッチング補正を行う。算出された位置情報は、事前に目標位置として登録しておく。そして、車上にGPS受信機とカメラ、本システム搭載のPCを設置し、測位と撮影を行いながら試験区間を走行した。設置の状況を図8に示す。試験路線は真岡鐵道の真岡線、試験区間は下館～茂木間にて試験を実施した。

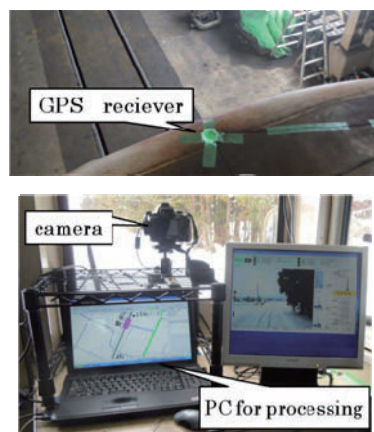


図8 各機器設置の様子

4. 2. 試験結果

4. 2. 1. 信号機の判別

走行中に目標を検出する動作の確認を行った。図9にその一例を示す。信号現示色の判別はほぼ正確に行うことができた。



図9 信号機検出の様子

4. 2. 2. 踏切遮断機の動作の判別

遮断機についても、複数ある直線の中から遮断かんの棹部分の直線のみを認識し、その角度と長さの条件から遮断機の動作が確認できた。図10に一例を示す。図中、画像内の直線が点線表示の場合は遮断かんであると認識しているが、開ききっていないと判断している状態(図中左)、直線が破線表示になると遮断かんが開いたと判断している状態(図中右)を指す。

試験中、(1)遮断かんを認識できない場合や、(2)遮断かん以外の直線を遮断かんとして認識してしまう場合、(3)上がっている最中の遮断かんを認識したが開検知にいたらなかった場合があった。(1)、(2)は、画像処理において遮断かんのみを直線として認識できれば解決できるので、それぞれの踏切遮断かんにあった条件としきい値を検討していく必要がある。(3)の原因は、遮断かんと認識する条件として垂直の直線

は除外していたため、垂直まで上がる遮断かんの認識ができなかったことが考えられる。これについては、角度によって線分を除外するのではなく、垂直線の増減から遮断かんを判断できるようにするなどの対策が必要である。



図 10 開検知の様子

4. 2. 3. 発条転てつ機転換検出手法の動作

発条転てつ機転換検出手法の動作を確認した。今回の実験では、画像が取得できる距離で定位に戻らなかったため、転換の様子は検出できなかったが、転てつ機そのものを検出することはできた。図 11 にその様子を示す。破線は左右レールを左上方向に走査した結果を、点線は左右レールを右上方向に走査した結果を示している。試験中、画像の強調を行っているが、レールの影に凹凸があり、直線として認識しづらい場合が見られた。こちらも踏切遮断機開検知同様、画像の強調方法を再検討する必要があると思われる。

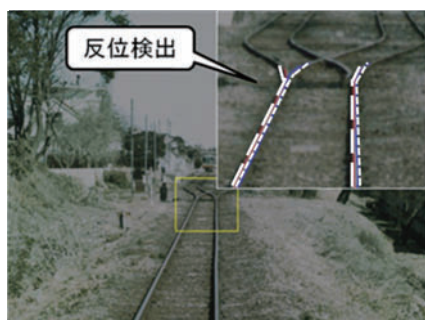


図 11 反位検出の様子

5. 予防保全への取り組み

以上、GPS と画像処理技術を使い、営業列車から各装置の状態を検出することが確認された。これらのデータを同じ路線において長期的に取得して、その経年変化を解析することにより、予防保全が可能となると考える。例えば、踏切遮断かんや転てつ機については、その動作時間によって劣化を判断できると考え

られる。信号機の灯火の輝度の減少については、色相、彩度、強度それぞれと輝度の関係を実際の信号機画像を用いて検討したところ、図 12 に示す彩度の下限値に差がみられることが分かった。このため、彩度の下限値をデータとして蓄積することで、予防保全システムとして検出出来る可能性がある。

従って、今後は、さらにデータを蓄積することにより、予防保全論理の深度化を進める予定である。

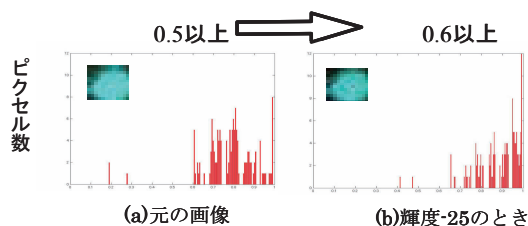


図 12 輝度と彩度の関係

6. おわりに

以上、省コストを目的とした鉄道用予防保全システムの画像解析による動作検出について試験を行い、一定の効果を確認し、予防保全システムとしての可能性を示した。

これらにより、本方法によるデータ蓄積は、劣化の診断が可能となり、結果として、保守周期延伸等の技術基準改正にも活用可能となる。さらに、保守周期の予防保全技術が確立されれば、地方鉄道の保守費、信号保安設備費の節約に資することが可能となり、列車運行の信頼度向上や安全性向上も図られる。その結果、地方鉄道の運行本数の拡大等による活性化が可能となる。

文 献

- (1)国土交通省鉄道局, :平成 20 年度鉄道統計年報, 株式会社電気鉄道研究会, 2010.
- (2)本山 信介他:「GPS と画像センサを利用した踏切遮断機の検出に関する検討」, 電気学会交通・電気鉄道/リニアドライブ合同研究会資料, TER-11-023 , LD-11-022 , pp.5-8, July.2011
- (3)鈴木 貴明他:「画像センサと GPS を利用した鉄道の予防保全システムのための信号現示判別に関する研究」, 電気学会交通・電気鉄道研究会資料, TER-10-030 , pp.5-8, July.2010

7. 営業車両による脱線係数観測データの活用について

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 栗原 純 茨城大学 道辻 洋平
新日鐵住金 水野 将明 住友金属テクノロジー 谷本 益久

1. はじめに

鉄道車両の走行安全性の確認のため、従来からレール・車輪間の力の測定を行い脱線係数が求められてきたが、その機会は、新線開業や新形式車両導入時等、特定の場合に限られていた。

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、高性能化が進んでいるセンサ類を活用した状態監視技術として、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を進め、その測定法が実用化された¹⁾。さらに、営業車両で取得されたデータを分析し、特定曲線における脱線係数の変化や全線の各曲線における脱線係数のばらつきを明かにした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るようになってきた。そこで、営業車両で日々取得されたデータを軌道の保守などへ活用することを目標に、データの分析を進め、軌道の保守との関係や新たなデータ分析手法について考察したので報告する。

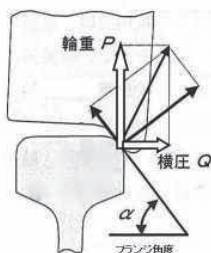


図1 レール・車輪間の力と脱線係数 Q/P

2. 脱線係数の測定法

2. 1. 従来の脱線係数測定法

従来の測定法では、車輪にひずみゲージを貼付し、車輪板部の垂直ひずみで輪重を、曲げひずみで横圧を測定する。ひずみゲージの信号線を通すため輪軸の穴開け加工が必要で、回転する輪軸から電気信号を取り出すために摺動部のあるスリップリングを使用する必要があり、測定システム自身の耐久性に劣るため、営業車両による常時観測には適用できなかった。

2. 2. 常時観測に用いる脱線係数測定法³⁾

本脱線係数測定法は、輪軸には直接センサを取付けず、非接触センサを用いることが特徴である。輪重は、軸ばねたわみ量を検出することで求める。横圧は、車輪の曲げ変形量を検出することで求める。しかしながら、曲げ変形量は 0.1mm 程度以下の微少量であり、軸箱に取り付けた3箇所の非接触変位計により、軸受のガタによる影響を補正し、横圧による変形量のみを捉えるようにしている。さらに、軸受のガタを極力小さいものとするなど、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およ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。

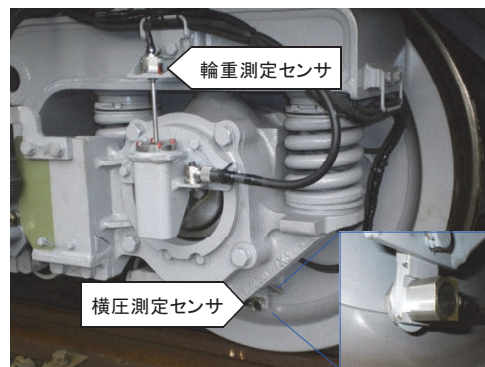


図2 脱線係数常時観測用台車及びセンサ

3. 脱線係数の常時観測により得られる情報

3. 1. 特定曲線における脱線係数の変化

半径 160m の曲線区間(カント 125mm、スラック 13mm)において、3 日間にわたり、異なる時間帯に測定された台車前軸外軌側脱線係数の波形を図 3 に示す。各回の測定値を青線で重ね書き(10 回以上)し、それらの平均的な値を赤線で示している。

測定波形の形状は毎回ほぼ同様の傾向を示しており、同じ地点の脱線係数が変動する主な要因としては、塗油やレール表面の乾燥状態等により、レール・車輪間の摩擦係数が変化することが挙げられる。急曲線部における内軌側横圧輪重比(内軌 Q/P)が摩擦係数に近似することから、内軌 Q/P を調べたところ、図 4 のとおり 0.2 から 0.6 程度までの範囲で変動していることが確認できる。摩擦係数の変化による脱線係数の変動量については、前報²⁾において、マルチボディ・ダイナミクス・ソフトウェアを用いて検証した。

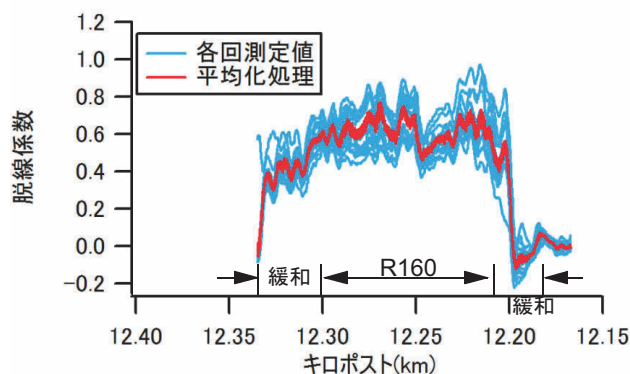


図 3 特定曲線における外軌脱線係数の時間変化

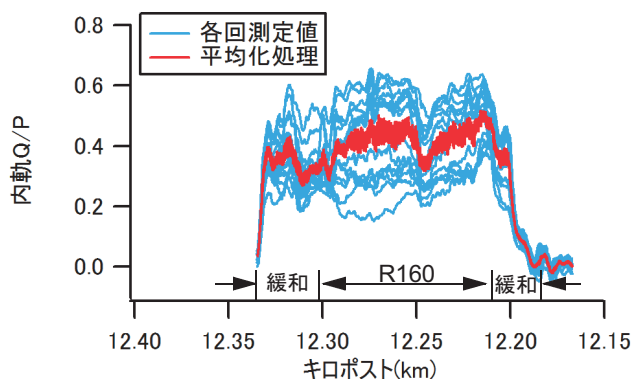


図 4 特定曲線における内軌 Q/P の時間変化

3. 2. レール研削による影響

軌道の保守として、レール研削を実施する場合がある。その影響が同じ曲線部のデータに現れた例として、図 3 から約 1 ヶ月経過した 2 日間にわたる外軌側脱線係数データを同様に重ね書きしたものを

図 5 に示す。この間に当該曲線部でレールの研削が実施したことが確認されている。図 5 は図 3 に比べ、全体的に脱線係数がわずかに低い傾向が見られる。

一方、レール研削後の内軌 Q/P は図 6 のとおりであり、研削前の図 4 と比較すると、顕著に波形が変化していることがわかる。レール研削によって、内軌側のレール頭頂面形状が変化するため、曲線通過中の車輪踏面との接触点が左右車輪回転半径差が大きくなる方向、すなわち操舵性がよくなる方向に変化することに伴って、内軌 Q/P 及び外軌側脱線係数が低下することが考えられる。

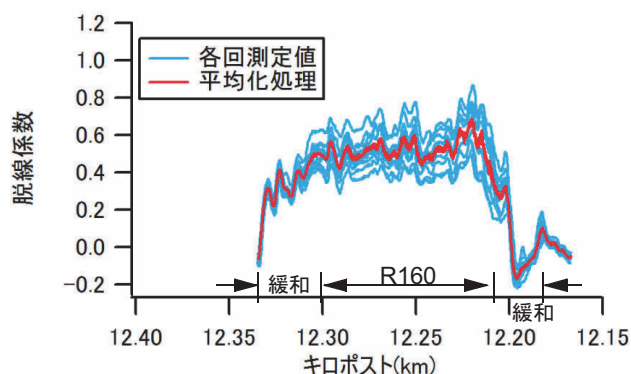


図 5 レール研削後の外軌脱線係数の時間変化

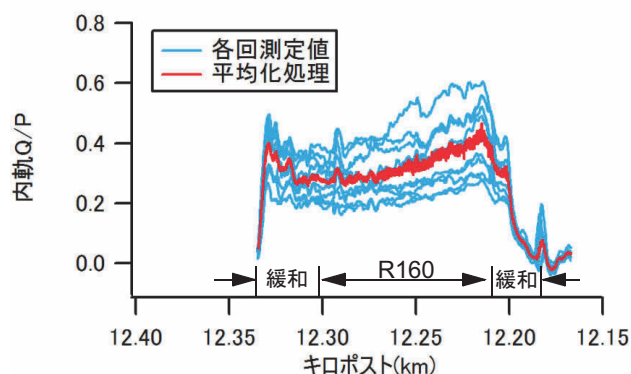


図 6 レール研削後の内軌 Q/P の時間変化

3. 3. レール交換による影響

レール交換前後でデータに変化が現れた例として、レール交換前の台車前軸外軌側輪重を図 7 に、レール交換後の輪重を図 8 にそれぞれ示す。各図において、同じ地点の輪重が変動する主な要因としては、乗車率の変動、速度の影響等が考えられる。

両図を比較すると、図 8 では、12.25km 付近で輪重が減少する方向に波形が変化していることがわかる。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。

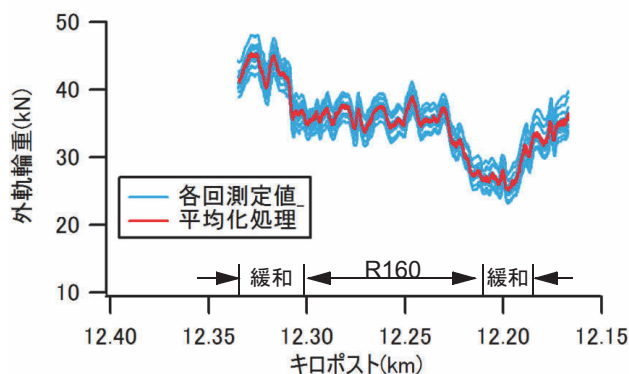


図7 レール交換前の外軌輪重

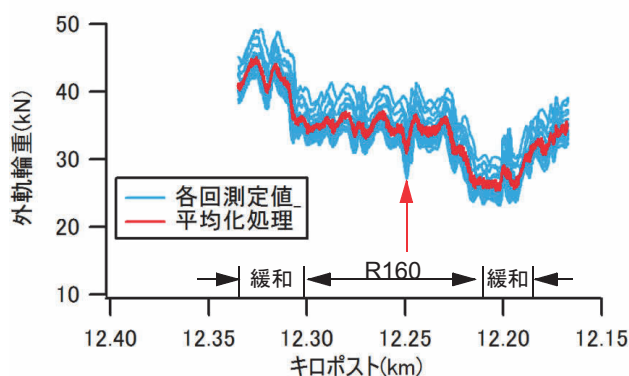


図8 レール交換後の外軌輪重

3. 4. 軌道の保守管理への活用可能性

列車が脱線することなく通常安全に運行しているのは、軌道・車両の設計・保守等の両面にわたり、良好な管理がなされているためといえる。

保守面では、軌道は、車両の通過に伴い、繰り返し荷重を受け、変形を繰り返すことから、軌道状態検査等を行い、軌道の変位が許容範囲内にあるかを定期的にチェックするとともに、必要な修正を行っている。一方、車両においても、定期検査を行い、車輪やばねの寸法・形状等に異常が無いか等の管理がなされてきている。

軌道保守の目的は、輪重変動などを抑制し、走行安全性を高めることにあるが、走行安全性は、軌道変位の他にも、以下のような直接測定管理しがたい要素によっても影響を受けると考えられる。

- ・塗油やレール表面の乾燥状態等による摩擦係数の変動
- ・レール・車輪摩耗や研削等によるレール・車輪接触状況の変化に伴う曲線旋回性能等の変化
- ・その他、レール交換等部材変更に伴う影響

もちろん、これらの諸要素は、安全上のマージンとして、軌道変位の保守基準等に含まれるものと考

えられるが、安全上の余裕がどこまであるかを都度確認することは困難であった。

営業車両による脱線係数等の常時観測を行えば、速度や乗車率等による変動のほか、従来、直接管理できなかったレール・車輪の摩擦係数や接触状況等を含めた管理が可能となる。

また、線路方向の測定分解能についても、本脱線係数測定法によれば、車輪1回転につき10データ(0.25m程度毎に1データ)が得られるため、きめ細かい軌道の情報が得られるものと考えられる。上述のようなレール継目の情報は、軌道検測データとして通常管理される10m弦正矢の5mおきの情報には一般に現れにくい。

このように、軌道保守状態の時間的な変化を脱線係数等の変化として把握できるほか、軌道に手を加える前後を含めて、走行安全性を都度、脱線係数によりチェックすることができるため、営業車両による観測は、安全を管理していく上で非常に有益と考えられる。

4. 新たなデータ分析手法の提案

4. 1. 信号分解の式

上述のように、車上で走行中に得られた脱線係数等の常時観測データによって、さまざまな現象を確認することができるものの、脱線係数が大きくなる箇所ではどのような対策を施すべきか、専門家の分析に頼ることなく、わかりやすい形で提示できれば保守上有意義である。そこで、脱線係数低減の指針を得るためのデータ分析手法を提案する。

具体的には、脱線係数の連続データを以下の4つの要因に関連する信号成分に分解する。

要因1(内軌Q/P: κ) 内軌塗油などにより摩擦係数が低下すると、 κ とともに脱線係数も小さくなる。

要因2(曲率: ρ) 曲率が大きいほどアタック角が増大し、横クリープ力が増大することで脱線係数が大きくなる。

要因3(速度: v) 曲線区間走行速度に応じた超過遠心力による影響を考慮する。

要因4(左右輪重差: ΔP) 外軌輪重が抜け、内軌輪重が増大すると、内軌横クリープ力が増大し脱線係数が大きくなる。

信号分解の式は次のように表される。

$$Q/P = \sum_1^N f_i + I \quad (1)$$

ここで、 Q/P ：脱線係数、 f_i ：信号成分、 I ：摂動成分
信号成分については、さまざまな設定が考えられるが、ここでは、上記要因を考慮し、以下のように設定する。

$$\begin{aligned} f_1 &= k_1 \cdot \kappa \\ f_2 &= k_2 \cdot \rho \cdot v^2 \\ f_3 &= k_3 \cdot \kappa \cdot \Delta P \end{aligned}$$

ここで、 k_1, k_2, k_3 ：パラメータ

パラメータ及び摂動成分以外は、常時観測によって得られる既知のデータで、走行位置の関数である。(1)式において、摂動成分の自乗和を最小化する解として、パラメータを一意に求めることができる。

4. 2. 信号分解の一例

曲線近傍の内外軌にレール塗油器が設置された半径 160m(カント 150mm、スラック 8mm)の曲線区間における脱線係数の連続データより、レール潤滑前と思われる比較的脱線係数が大きくなるデータ及びレール潤滑後と思われるデータを抽出して、信号分解処理を行った。その結果を図 9 及び図 10 に示す。

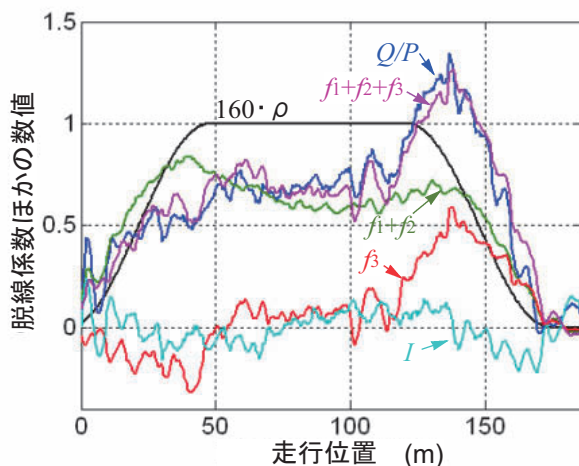


図 9 脱線係数の信号分解例(潤滑前)

両図より、分解した信号 f_1 、 f_2 、 f_3 の和は、元の脱線係数の時系列波形にほぼ近い波形となっていることが確認できる。また、図 9 では、脱線係数が出口側緩和曲線で大きくなる傾向があるが、その原因は左右輪重差等を要因とする f_3 の影響が大きいことを視覚的に把握することができる。すなわち、出口側緩和曲線の構造的平面性変位の影響が考えられる。一方、図 10 では出口側緩和曲線部で、特に f_3

が低減しており、脱線係数も全体に低減している。すなわち、レール潤滑によって脱線係数に対する平面性変位の影響が目立たなくなることがわかる。

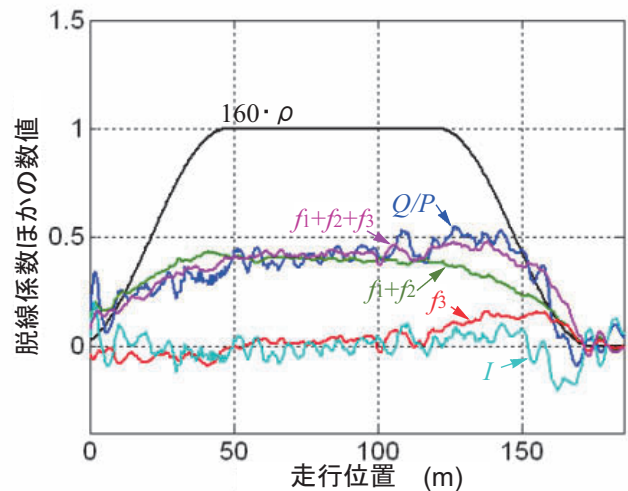


図 10 脱線係数の信号分解例(潤滑後)

5. まとめ

営業車両による脱線係数常時観測データを軌道の保守などへ活用することを目標に、分析を進めた結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 脱線係数の常時観測によって、レール研削やレール交換等の保守作業結果が、データの変化となって現れることが確認できた。
- (2) 軌道変位等による従来の走行安全性の管理を補足するものとして、レール・車輪の摩擦係数や接触状況等を含めた保守管理に活用できる可能性を示した。
- (3) 常時観測データを活用して、脱線係数低減の指針を得るためのデータ分析手法を提案した。提案する信号分解手法を活用することで、緩和曲線などの局所的な脱線係数増大要因を特定できる。

今後の課題としては、常時観測データと軌道変位管理指標との相関を定量化すること、軌道の局所的な異常を警報するシステムへの発展等があげられる。

さらなる安全性の向上に貢献する取り組みとして、脱線係数の常時観測可能という強力なツールの活用を図っていきたいと考えている。

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

8. 鉄道の安全関連国際規格に対する認証と交通研の果たす役割

鉄道認証室

※田代 維史 千島 美智男 長谷川 智紀 原澤 直子

1. はじめに

鉄道で最優先されるべき安全性の達成に関し、近年、定式的な達成プロセスへの準拠を求める安全関連国際規格群が鉄道ビジネスにおいて影響力を増している。すなわち準拠の証明となる、規格適合性認証の有無がビジネス上の重要な要件となっている。ここでは、認証に関する最近の状況と、交通安全環境研究所鉄道認証室の役割に関して報告する。

2. 鉄道製品の認証に関する状況

近年、製品の安全性に関する国際規格において、適用対象とする材料・製品・システムなどの、開発、製造、使用、廃棄に至るライフサイクル全体にわたり、安全性達成努力の成果と、その努力が行われたことの証拠の、両方の提示を要求する規格が広く適用されるようになってきた。鉄道分野においてもこの種の国際規格群が発行されている。

また、近年、国内鉄道市場の伸びが鈍化する一方、海外では産業振興、道路交通混雑の解消や交通部門の省エネルギー化の達成のため、鉄道への投資が急伸している。そのため多くの国内鉄道関連メーカーが海外市場でのビジネス強化を進めているが、ほとんどの海外鉄道案件において、上記タイプの安全関連国際規格への適合性認証が障壁になりつつある。

従来から日本国内では、JIS（日本工業規格）や鉄道分野の団体規格があり、安全性やその他の性能に関しては製品供給側が規格準拠を自己宣言し、調達側の鉄道事業者が承認することにより、事実上の規格適合性判断が行われている。しかし海外市場では、規格適合性判断を契約関係者以外の、客観的な第三者機関にゆだねる「認証」がこの判断の仕組みの主流となっている。

欧州の場合、19 世紀に認証の仕組みが始まり、現在では、欧州域内のみならず世界的に認証ビジネスを

展開している認証機関が複数ある。また欧州共同体が 1980 年代から開始したニューアプローチ政策により、民間のボランティア規格である EN（European Norm：欧州規格）が法的基準に組み込まれた結果、欧州域内における鉄道ビジネスにおいて認証の利用が一層進んだと考えられる。さらに欧州の鉄道メーカーおよび鉄道システムコンサルタント会社は、海外市場においても認証を活用している。そのため日本の鉄道メーカーの場合も、海外進出に際しては、国内市場での上記のような従来の慣習とは異なり、製品に対する認証取得が必須の状況になっている。

しかしこれまでは日本国内には鉄道製品に関する認証を行う機関が存在しなかったため、日本メーカーは主に欧州の認証機関から認証を取得せざるを得ず、言語の壁、時差および技術思想の違いによって生じる時間とコストが問題となってきた。

3. 認証機関設立の検討体制

日本における鉄道分野の標準化活動については、平成 22 年 4 月、公益財団法人鉄道総合技術研究所内に鉄道国際規格センターが設立され、国内鉄道技術の国際標準化の推進を図る体制が整備された（図 1）。

一方、国際規格適合性に関する第三者認証機関については、交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会が平成 20 年 6 月 19 日、「我が国においては製品の確認・検査は鉄道事業者が行っており、第三者認証機関は存在していないため、今後、我が国の製品の国際規格への適合性評価のあり方を検討する必要がある。」と提言し、これを受けて国土交通省鉄道局、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、国内に海外対応認証機関を設立するための検討を行う「鉄道認証機関設立検討ワーキンググループ」の設置が決定され、交通安全環境研究所を予定認証機関とした検討が平成 22 年 3 月から開始された。

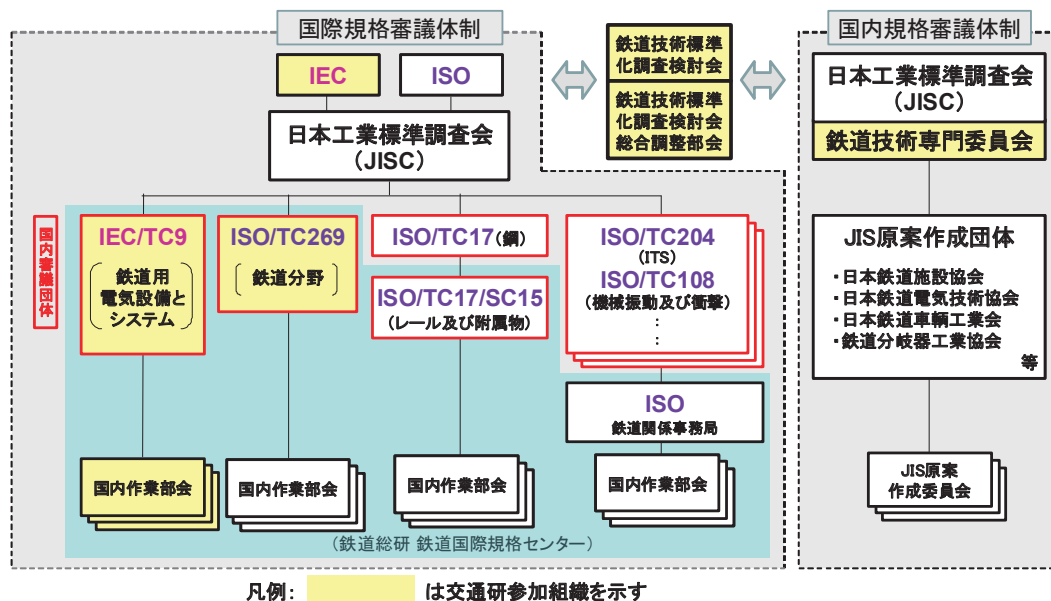


図1 国際規格審議体制

また同ワーキンググループの下に車両、地上電力設備、信号の各分野の、関連メーカーを主体とするサブワーキンググループが設けられ、分野ごとの海外認証状況の情報収集および、日本における認証の具体的な仕組みへの要求の抽出作業が行われた。以上の体制の概要を図2に示す。

4. 認証機関としての体制

製品認証機関は、ISO/IEC Guide65¹⁾に則った体制整備が必要である。そこで、平成23年4月に交通安全環境研究所内に鉄道認証室を設け、これを鉄道認証室長、業務運営管理者、業務担当者等および認証審査要員により構成することとした。認証業務実施体制の概要を図3に示す。

この体制のもと、ISO/IEC Guide65に準拠した認証業務に関する以下の品質ドキュメントを作成することとした。

- ・鉄道製品認証システム
- ・鉄道製品認証業務品質マニュアル
- ・鉄道製品認証業務取扱手順
- ・鉄道製品認証業務要員管理手順
- ・鉄道製品認証申請手続き等に関する手引き

鉄道製品認証システムでは、認証機関並びに認証申請者及び認証取得者が守るべき要求事項が記載されており、鉄道製品認証業務品質マニュアルが認証機関としての品質を維持するための事項を規定している。詳細については、鉄道製品認証業務取扱手順、鉄道製

品認証業務要員管理手順、鉄道製品認証申請手続き等に関する手引きに記載する構成とした。

平成24年1月には独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）認定センターへ認定申請を行い、平成24年9月6日、NITEより鉄道分野の製品認証機関として認定を取得した。

5. 認証対象規格

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

このうち今回認定を受けた認証対象の国際規格は、鉄道信号システムの電子装置の安全性に関する IEC 62425（セーフティケース）である。認定内容を表2に示す。

6. 今後について

今後、表1の残り4規格について、順次認定の取得を図ることとしている。さらに今後の国際規格の動向と、認証ニーズを反映し、認証対象規格の範囲拡大についても検討を行なうことが必要であると考えている。

また認証書が実際のビジネスにおいて有効となるためには、認証実績の積み上げが重要であると認識している。この観点から、利用していただきやすい認証

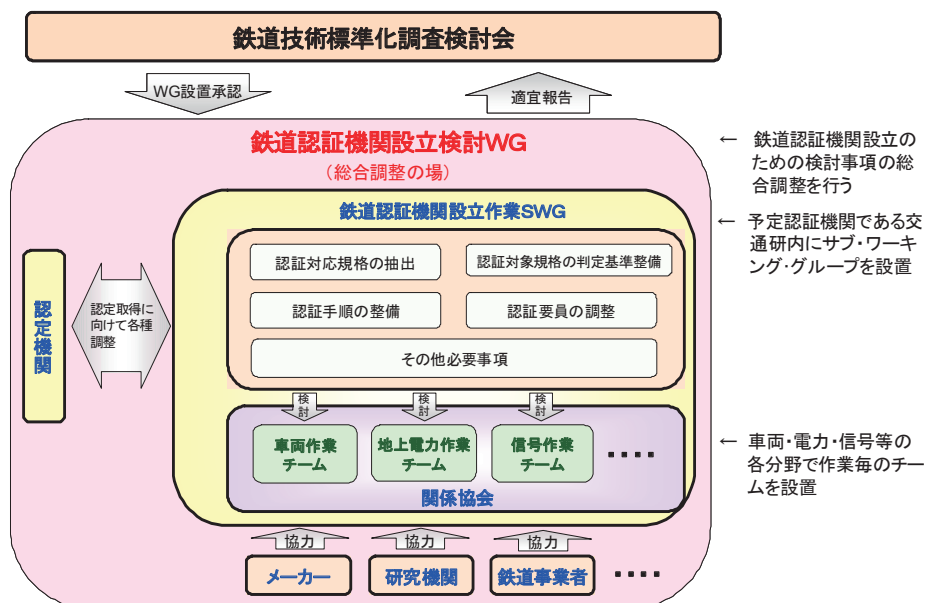


図2 認証機関設立検討体制

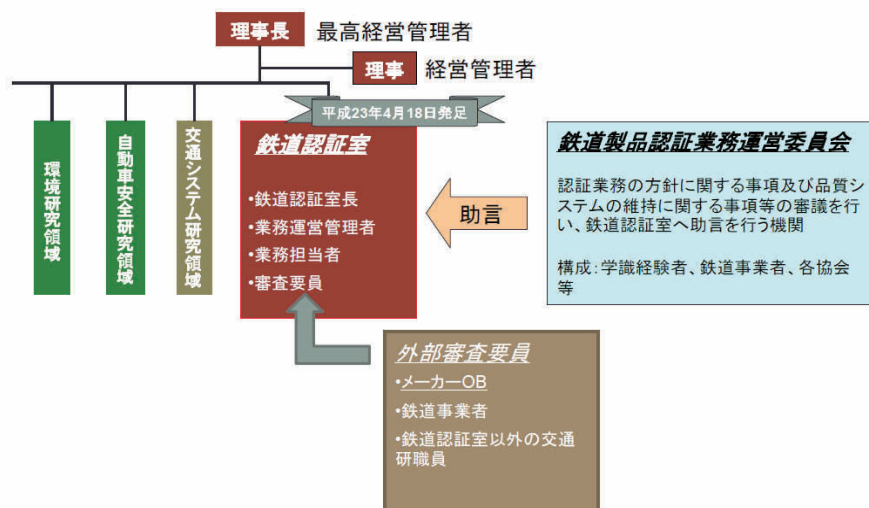


図3 認証業務実施体制

表1 認証対象規格

規格名	規格の概要	対象となる製品
RAMS (IEC 62278)	適用対象システムが、信頼性(R)、アベイラビリティ(A)、保守性(M)、安全性(S)の評価指標と経済性に照らして、総合的にかつ、良好なバランスで維持するマネジメントを要求する規格である。RAMSに影響をする様々な要素を特定し、その影響度合いを評価し、システムのライフサイクルを通じて、システム性能を最適にするよう適切にコントロール・管理し、管理実態を文書化することが求められている。	鉄道システム全般
安全に関連する電子装置 (セーフティケース) (IEC 62425)	鉄道信号システム用電子装置の安全性造り込みの証明を行うための規格であり、ハードウェアとソフトウェアの両面において、安全性を実証するためのプロセスが詳細に規定されている。	鉄道信号用電子装置全般
ソフトウェア (IEC 62279)	鉄道信号システムにおけるライフサイクルにおいて、RAMSや電子機器安全性からの要求事項に従い、ソフトウェアの安全性に関する要求レベルに応じて、達成プロセスを規定した規格である。プロセス管理責任者に対する要件、管理実態のドキュメント化等も求められている。	鉄道信号システムに関するソフトウェア
通信 (IEC 62280)	鉄道信号システムにおけるアプリケーション間の通信の安全性を確保するための規格である。安全性を確保するための技術要件や必要なセキュリティ対策について規定されている。専用回線向けのパート1と、オープンな回線を用いる場合のパート2がある。	情報通信を用いる鉄道信号システム
EMC (IEC 62236)	鉄道システムの地上・車上の電気設備全体および各部から周辺への電磁界の輻射量、および信号設備における電磁界ノイズ耐量を規定した規格	鉄道全体、車両(電子電気機器)、地上電気設備システム、信号設備

表2 認定された規格と範囲（認定書（ASNITE 0064-P）より抜粋）

認定分野：鉄道分野

認定区分	製品又はプロセス	規格等
信頼性、アベイラビリティ、保全性、安全性の仕様と実証（RAMS）	信号及び通信機器に係るRAMSライフサイクルプロセス [プロセスの範囲] 「構想」、「システムの定義と適用条件」、「リスク分析」、「システム要求事項」、「システム要求事項の割り当て」、「設計と（RAMS計画の）実行」及び「製造」 但し、この範囲は IEC62278:2002「6 RAMS のライフサイクル」第1段階～第7段階と同等である。	IEC 62425:2007 ・鉄道用途ー通信、信号及び処理システムー信号用の安全関連電子システム

機関を目指してWEBページによる情報提供（図4）などを開始した。



図4 鉄道認証室のWebページ

7. まとめ

交通安全環境研究所に国内の海外対応認証機関を設立するにあたっての検討経緯及び認定取得状況について報告した。

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

参考文献

1) ISO/IEC Guide 65:1996 "General requirement for bodies operating product certification systems"

ポスターセッション

① 公表燃費と実際の燃費、なぜ差が出るのか

－（第2報）燃費試験法における課題と改善方法について－

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、環境意識の高まりなどから、低燃費車の開発や普及が急速に進んでおり、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。そこで、本稿ではそのような乖離が生じる原因の中でも、燃費試験法に起因する面に着目し、試験法が公表燃費値に与える影響を評価すると同時に、燃費の乖離を今後改善していくために必要な要件について考察した。

2. 燃費試験法における課題と改善方法

燃費試験法は、当然ながら実燃費を適切に評価することを目的に制定されている。しかし、現実の多様性を反映しきれないことに加え、試験設備側への性能要件や、近年の急激な技術変化への対応など燃費の乖離が生じうる要素も含まれている。ここでは、試験サイクルがJC08モードへ移行した際に設定値が変更された車両重量設定と、エコタイヤの普及により妥当性に問題が生じ始めている走行抵抗について取り上げる。

2. 1. 車両重量設定の影響

燃費試験をする際、シャシダイナモに設定する重量（等価慣性重量）は、車両（空車）重量に乗員2名分相当の110kgを追加した試験車両重量に応じ、特定の値を設定するよう決められている。これは、慣性重量の設定をフライホイールなどで機械的に行うシャシダイナモで試験されることも想定しているためであり、ある重量範囲は一定値とする区分分けがされている。その一部を表1に示す。

表1 等価慣性重量の設定区分（一部抜粋）

10-15モード		JC08モード	
試験車両重量 kg	等価慣性重量 kg	試験車両重量 kg	等価慣性重量 kg
938 ~ 1125	1000	966 ~ 1080	1020
1126 ~ 1375	1250	1081 ~ 1190	1130
		1191 ~ 1305	1250

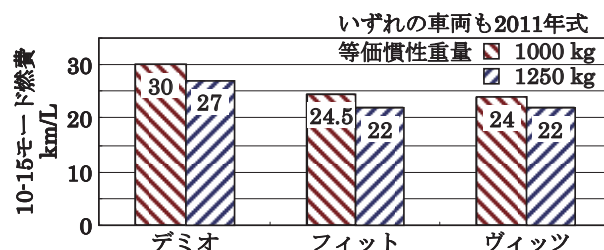


図1 等価慣性重量の区分超えによる燃費への影響

表1より、10-15モードで試験をする場合、車両重量1010kg（試験車両重量1120kg）の車両では、実際より1割以上も軽い1000kgの設定で試験が実施されるが、車両重量1020kg（同1130kg）では実際よりも大幅に重い1250kgで行われることになる。車両重量が約1%、僅か10kg異なることで、設定重量には20%の差が生じるため、当然ながら燃費に大きな影響を及ぼす。その一例を図1に示す。同一車種においてもオプション等による僅かな重量の違いが生じた結果、重量区分をまたぐこととなり、燃費が約1割違っている。試験車両重量をそのまま設定重量とした場合、燃費は両者のほぼ中間となり、公表燃費からそれぞれ5%程度異なることが予想される。

燃費値をアピールしたい車両では、重量区分の上限に近い車両重量であることが多い。一方で、燃費基準は重量区分毎に設定されているため、一つ上の区分にし、緩い基準値の下で税制上有利となる大きな超過達成率を狙ったとみられる車両も多く存在する。

現行のJC08モードでは、表1のように重量区分の刻みが10-15モードの半分以下となり、設定重量によ

る問題は大きく改善されている。さらに、現在ではフライホイールを持たずにダイナモメータの電気慣性で連続的な重量設定が可能な施設が主流になっていることから、設備的には区分の概念は不要となっており、この問題は概ね解消されることが予想される。

2. 2. 走行抵抗設定の影響

シャシダイナモ上で車両を走行させる場合、実際の道路走行時と同様の負荷がかかるように走行抵抗の設定を行う。走行抵抗はテストコースなどで試験車の惰行試験を行い、その際の減速時間から求めるが、そこに課題が生じ始めている。

走行抵抗は、速度によらず一定値である転がり抵抗と速度の2乗に比例する空気抵抗に分けられる。いずれも気温が高いほど小さくなるように走行抵抗測定時の環境条件による影響を受けるため、燃費試験をする際には気温 20℃の標準大気状態への補正が行われる。転がり抵抗の温度補正は主にタイヤの特性に基づくもので、現行では温度に一律の係数を乗ずることで行われる。近年、燃費向上を狙い転がり抵抗を低減させた「エコタイヤ」が普及し始めており、従来の補正方法で問題がないかを把握することが重要と言える。

気温が異なる環境において、様々なタイヤで惰行試験を行い、算出した転がり抵抗の一部を図2に示す。試験法による補正が適切であれば、補正後の値は概ね一定となるが、エコタイヤでは試験法による補正後においても気温が高いほど転がり抵抗は大幅に減少しており、現状の補正が適切とは言えない。したがって、このようなタイヤを装着した車両では惰行試験時の気温が高いほど、シャシダイナモに設定される転がり抵抗値が小さくなり、良い燃費が得られる。その一例を表2に示す。転がり抵抗が大きく異なる図2の両端の条件（気温 30℃と 3℃）では、JC08 モード燃費で約 2%の差が生じた。

最新のエコタイヤでは転がり抵抗の低減と共に、タイヤ温度が低下する濡れた路面でのウェットグリップを確保する技術が取り入れられ、結果的に温度影響が大きくなっている。しかし、試験法ではタイヤによらず一定の温度補正係数を適用しているため、上述の問題が生じていると考えられる。そこで、温度補正係数を、タイヤ単体試験機にて計測した ISO28580 に基づく転がり抵抗係数 (RRC) とその温度変化率の近似式から求め、その値で転がり抵抗を補正した結果を図

2に合わせて示した。その結果、気温の影響を概ね解消した転がり抵抗が得られ、転がり抵抗評価の精度および妥当性の向上が可能になることが分かった¹⁾。ただし、実際に取り入れる場合には、サイズや扁平率の異なるタイヤでの検証が課題となる。

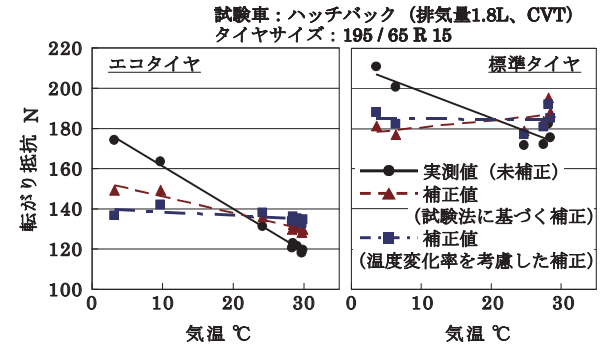


図2 気温と転がり抵抗の関係

表2 転がり抵抗の違いが燃費に与える影響

試験車：ハッチバック（排気量1.8L、CVT）、エコタイヤ

惰行試験時 気温 °C	転がり抵抗 N (試験法に基づく補正)	JC08モード 燃費値 km/L
30	128.1	16.66
3	149.0	16.32

3. ま と め

公表燃費と実燃費の乖離について、燃費試験法に着目し、その影響の評価と改善方法の検討を行った。

- (1) 燃費試験時に設定される等価慣性重量は実際の試験車両重量と異なるケースがあり、10・15 モード燃費を 5%程度変化させうる要因になっている。
- (2) JC08 モードでは重量区分が見直され、その影響は改善されている。また、設備的には区分の概念は不要となっており、この問題は解消に向かうことが予想される。
- (3) エコタイヤの転がり抵抗は温度影響が大きいいため、現行の試験法では適切な温度補正がなされず、惰行試験時の気温が高いほど、走行抵抗は過小評価され、燃費に有利となる。夏と冬で計測した走行抵抗では約 2%の燃費差を生じた。
- (4) ISO で定める転がり抵抗係数を基にした温度補正を転がり抵抗に適用することで、気温影響を概ね解消出来る可能性があり、今後検証していきたい。

4. 参考文献

- (1) 鈴木、山口、井上、「走行抵抗測定の高精度化に関する研究」、自動車技術会 2012 年秋季学術講演会、JSAE20125688、(2012)

② 尿素SCRシステム搭載貨物車の路上走行時における NO_x、NH₃およびN₂Oの排出挙動

環境研究領域
岩田電業株式会社
日本エム・ケー・エス株式会社

※山本 敏朗 堤 玲子
岩田 恒夫 小川 恭弘
加藤 裕

1. まえがき

現在、排出ガス規制の強化に伴い、NO_x低減を目的として、ディーゼル貨物車への尿素SCR（選択的触媒還元）システムの導入が進んでいる。しかしながら、同システムを搭載した車両が、都市内走行時には期待したほどのNO_x低減効果を発揮していないとの報告がある⁽¹⁾。同報告では、都市内走行時に、排出ガス温度が低下して尿素SCRシステムのNO_x浄化率が低下するためであるとしている。これは欧州での報告例であるが、我が国においても同様な状況が考えられる。これを検証するため、本報告では、尿素SCRシステム搭載の小型貨物車に、車載式FTIR分析装置を搭載して、一般幹線道路を走行し、各種の排出ガス成分濃度と排気管出口ガス温度を連続計測した。それらのデータを基に、NO_x、NOおよびN₂Oの排出状態および尿素SCRシステムのNO_x浄化性能の推移を分析した。さらに、同システムからのNH₃スリップに起因するN₂Oの排出が懸念されることから、路上走行時のNH₃およびN₂Oの排出状態についても分析した。

以上の分析結果を基に、都市内走行時における尿素SCRシステムの機能状態および排出ガス性能について考察した。

2. 実験方法

本試験では、エンジン型式が同一でボディー仕様が異なる2台の車両を用いている。試験車両の主な諸元を表1に示す。車両Aはシャシダイナモメータ（CD）台上試験に、また車両Bは路上走行試験に用いた。両車両ともに、DPFおよび尿素SCRシステムを搭載しているが、尿素SCR触媒の搭載位置が大きく異なる。車両Aは、エンジン側のDPFに近い位置であるのに対し、車両Bは、低床で全長、全幅ともに車両Aより短いことから設置スペースがなくテールパイプ直前となっている。尿素SCRシステムが機能するた

めには、SCR触媒の温度が活性温度以上となる必要があり、路上走行時のNO_x低減効果を確認するには、同システムの機能状態の把握が重要となる。このことから、尿素SCR触媒の温度変化を、排気管出口付近に取り付けた熱電対によりモニターすることとした。NO_x（NO+NO₂）、N₂O、NH₃、CO₂等の分析は、主に新開発の車載式FTIR分析装置（岩田電業製FAST-2200フーリエ変換赤外分析計）を用いて、0.2秒サンプリング（分析部の90%応答；2.8秒）で連続的に行った。別途、排出ガスの質量換算に必須となる瞬時排出ガス流量は、CD台上試験ではCVS法（定容量希釈サンプリング法）、路上走行試験ではピトー管法（堀場製作所製OBS-2200車載式排出ガス分析装置付属）により取得した。

本報告では、CD台上試験により、搭載されている尿素SCRシステムの基本性能を把握し、それを基に、路上走行試験での同システムの機能状態を評価する方法を採った。CD台上試験では、車両Aを用いてJE05モードを運転して、そのときの排出ガスを連続分析した。試験条件としては、3種類のホットスタート試験（半積載、全積載、半積載＋勾配2%登り）と3種類のコールドスタート試験（1時間ソーク、2

表1 試験車両の主要諸元

車両コード	A	B
車両カテゴリ	小型貨物車	小型貨物車
年式	2011	2011
車両総重量 (kg)	5,805	4,395
車体形状	ワイドキャブ、高床、 バンボディー	標準キャブ、低床、 平ボディー
走行距離 (km)	16,575	5,145
エンジン型式	直列4気筒、 インタークーラーターボ	直列4気筒、 インタークーラーターボ
排気量 (L)	2.99	2.99
最高出力 (kW/rpm)	110/2840～3500	96/3050～3500
最大トルク (Nm/rpm)	370/1350～2840	300/1300～3050
排出ガス対策	EGR、 DPF + 尿素SCR	EGR、 DPF + 尿素SCR
適合排出ガス規制	平成22年規制	平成22年規制

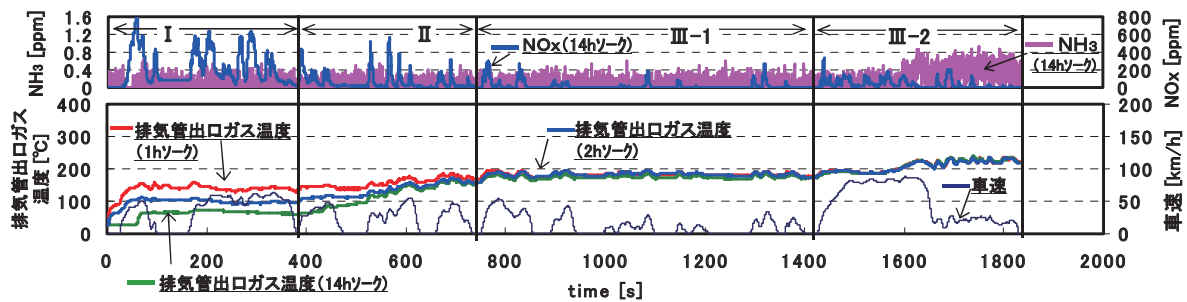


図1 (a) J E O 5モード運転の領域区分：コールドスタート試験におけるSCR触媒の暖機過程別の区分

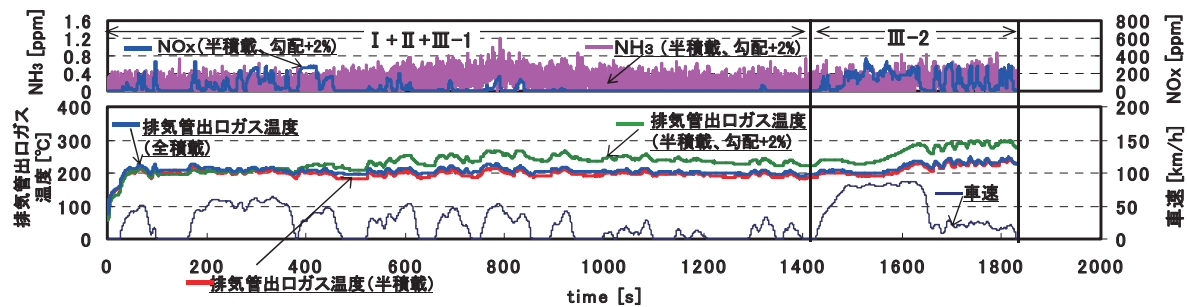


図1 (b) J E O 5モード運転の領域区分：ホットスタート試験における走行条件別の区分

時間ソーク，14時間ソーク）を実施した．路上走行試験では，車両Bを用いて，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8.75 km）を，積載重量約500 kg（分析装置の重量を含む）で往復走行し，各種排出ガス成分の測定を行った．DPFの強制再生は，DPFインジケータランプにより確認した．

3. 実験結果および考察

3. 1. CD台上試験による尿素SCRシステムの基本性能の把握

本報告では，尿素SCRシステムの機能状態を表す指標として，欧州で実路走行時の排出ガス評価法として提案されているウィンドウ平均法に従って，テールパイプから排出されるCO₂ 1 kg 当たりのNO_x排出量（g）を，「NO_x排出率（g/kg）」と定義して用いることとした．一方，同システムが機能するためには，SCR触媒温度が活性温度以上になる必要があることから，機能の評価はSCR触媒の暖機状態を把握して行う必要がある．このことから，図1（a）に示すように，コールドスタートによるJ E O 5モード走行時におけるSCR触媒の暖機過程を，排気管出口ガス温度の変化から，I（後処理装置熱容量による温度停滞域），II（触媒温度上昇域），III-1（触媒温度安定域）に区分した．また，J E O 5モードは，都市内一般道路走行（I+II+III-1）と都市内高速道

路走行（III-2）から構成されるため，両者を区別することとした．図1（b）は，ホットスタートにより，積載条件あるいは道路勾配条件を変化させてJ E O 5モードを走行したときの排気管出口ガス温度の変化を，I+II+III-1とIII-2に区分して示す．このように，J E O 5モードを5種類の走行領域に分け，各領域での排気管出口ガス温度の平均値とNO_x排出率をそれぞれプロットした結果を，図2に示す．同図より，排気管出口ガス温度の上昇によってNO_x排出率が減少し，また都市内一般道走行では，尿素SCRシステムの活性化領域と考えられるIII-1およびI+II+III-1のNO_x排出率が0.5（g/kg）未満であることから，この値未満であれば尿素SCRシステムが活性化されていると判断できる．なお，都市内高速道路走行領域III-2のNO_x排出率が高い

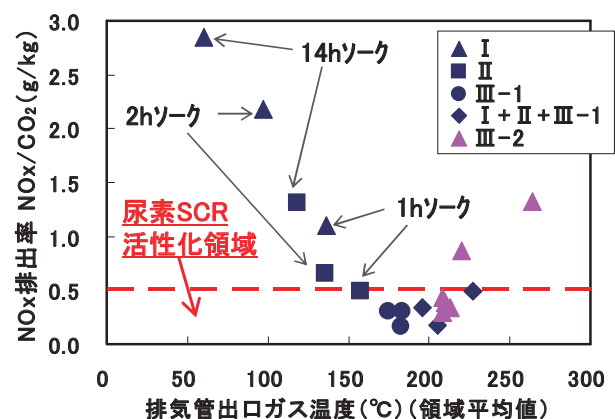


図2 排気管出口ガス温度とNO_x排出率NO_x/CO₂（g/kg）の関係

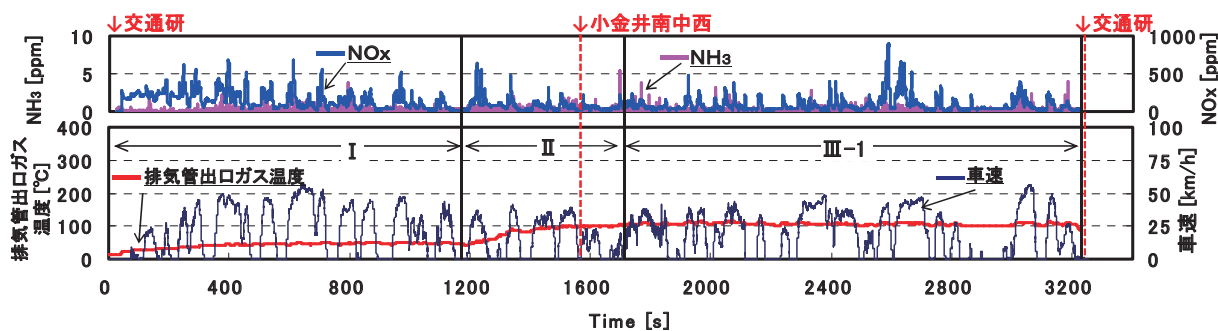


図3 (a) 路上走行時における尿素SCRシステムの分析のための領域区分：路上走行試験1

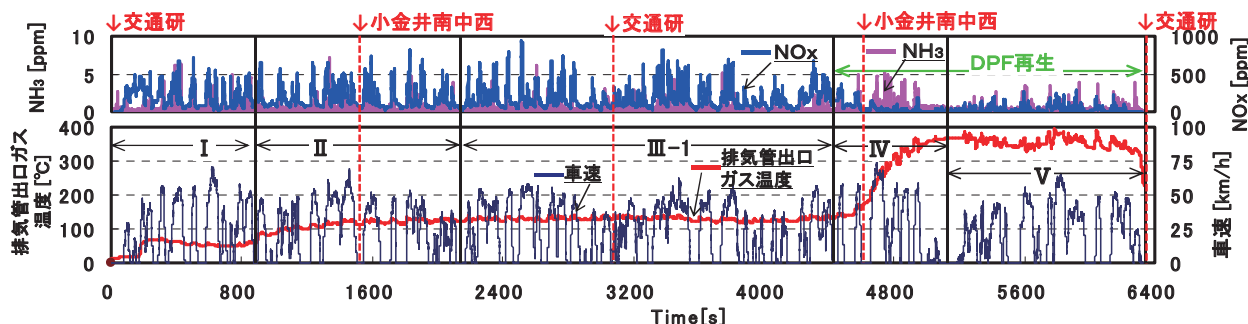


図3 (b) 路上走行時における尿素SCRシステムの分析のための領域区分：路上走行試験2

のは、負荷条件により NH_3 スリップ量変動することから、尿素噴射量制御の最適化が不十分である可能性がある。

3. 2. 路上走行時における尿素SCRシステムの機能状態の解析

図3 (a), (b)に、2回の路上走行試験の結果を、排気管出口ガス温度の推移を基に、CD台上試験時と同様の考え方でI, II, III-1と区分し、さらに(b)ではDPFの再生運転領域であるIVとVを加えて表示している。ここで、車両AのCD試験のIII-1と車両Bの路上走行試験のIII-1のそれぞれの排気管出口ガス温度を比較すると、車両Bの温度が低い。これは、車両Bの尿素SCR触媒の搭載位置がテールパイプ直前で昇温されにくいこと、また路上走行試験時の大気温が 12°C と低いこと等に起因すると考えられる。これら5つの領域において、テールパイプから排出される CO_2 1 kg当たりの NO_x 排出量 (g), NO_2 排出量 (g), NH_3 排出量 (g) および N_2O 排

出量 (g) を、それぞれ2回の路上走行試験とJE05モードコールドスタート試験 (14時間ソーク) で比較して、図4に示す。同図より、路上走行試験を通じて、 NO_x 排出率が 0.5 (g/kg) 未満となっているのは、路上走行試験2におけるIVおよびVのDPF再生時のみであり、DPFの再生運転によりSCR触媒の温度が上昇して尿素SCRシステムの NO_x 低減機能が活性化していることがわかる。暖機後の走行条件であるIII-1の NO_x 排出率は、始動直後のIと比べて、ほとんど変化していない。これは、低い大気温やSCR触媒搭載位置がテールパイプ直前であること等に起因して、SCR触媒が活性温度まで昇温されず、III-1では尿素SCRシステムが機能していないことが推察される。

NO_2 排出率の変化から、尿素SCRシステムの酸化触媒が活性化されるII (触媒温度上昇域) において NO_2 生成が始まることがわかる。JE05モード試験の結果から、この生成された NO_2 は、III-1にな

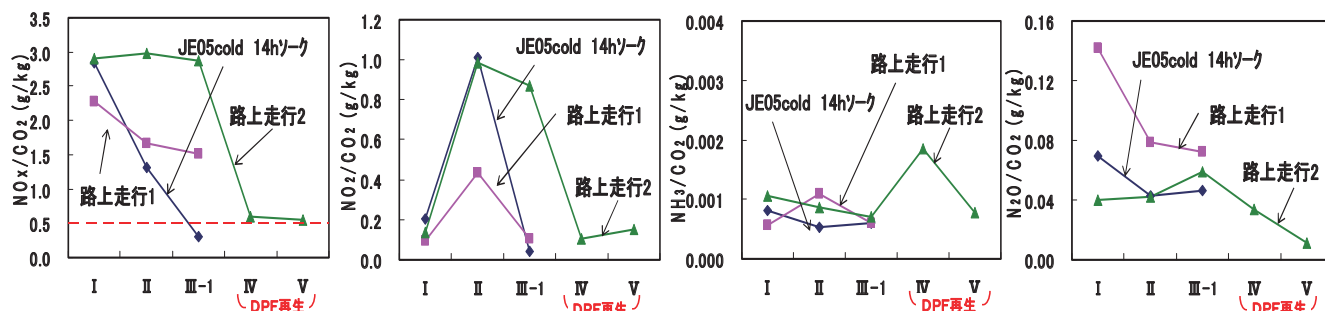


図4 CO_2 1 kg 当たりの排出量 (g) を用いた路上走行時の尿素SCRシステムの性能分析

ると尿素SCR触媒が活性化されるため還元反応によって減少している。一方、路上走行試験2では、IIで生成されたNO₂は、III-1で尿素SCRシステムが機能しないため還元されずにそのまま排出されている。NH₃排出率については、通常の走行条件であるI、IIおよびIII-1では極めて小さい。路上走行試験2において、DPFの再生が始まるIVで増加しているが、このとき尿素噴射も始まることから、SCR触媒をスリップしたNH₃が活性不十分な後段酸化触媒をすり抜けている可能性が高い。N₂O排出率については、路上走行試験1のIにおいて大きな値を示す。この領域では、SCR触媒は活性温度に達していないため尿素噴射は行われず、NH₃スリップに起因する排出とは考えられない。また、路上走行試験2では顕著な排出は認められない。このN₂O排出現象については、エンジン停止時にSCR触媒に吸着したNH₃が酸化されて生成する可能性や、コールドスタート時の低温の前段酸化触媒においてN₂Oが生成されとの報告もあり、今後の検討課題としたい。

3. 3. GHG排出でのN₂Oの寄与率

図5(a)、(b)に、2回の路上走行試験における、I、II、III-1、IVおよびVの領域でのGHG(地球温暖化ガス)中に占めるCO₂、N₂OおよびCH₄の排出割合(CO₂換算による質量比率、%)を示す。ここでCO₂の温室効果を1とした場合、N₂Oは31

0倍、CH₄は21倍であるとして、GHGの排出量を以下の式で算出した。

$$\text{GHG排出量} = \text{CO}_2\text{排出量} + \text{N}_2\text{O排出量} \times 310 + \text{CH}_4\text{排出量} \times 21$$

同図より、以下のことがわかる。走行時間中の大半を占めると考えられる暖機後の走行条件であるIII-1において、N₂Oの寄与率は、2回の路上走行試験の平均で2.0%である。これは、尿素SCRシステムがほとんど機能していない条件、即ち、尿素噴射に起因するNH₃スリップが関係しない条件での値である。また、路上走行試験1においては、IでのN₂Oの寄与率が、4.2%と突出して高く、尿素SCRシステム搭載車のN₂O排出では、NH₃スリップ以外に、別のメカニズムが存在する可能性がある。

4. まとめ

尿素SCRシステム搭載の小型貨物車に、車載式FTIR分析装置を搭載して、一般幹線道路を走行し、各種の排出ガス成分濃度と排気管出口ガス温度を連続計測し、都市内走行時における尿素SCRシステムの機能状態および排出ガス性能について考察した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 試験車両(車両B)は、都市内走行時(図3中のIII-1)に、低い大気温やSCR触媒搭載位置がテールパイプ直前であること等に起因してSCR触媒が活性温度まで昇温されないため、NO_x排出率(NO_x/CO₂(g/kg))が低下せず、尿素SCRシステムが十分に機能していないことが確認された。
- (2) 本試験車両では、触媒温度上昇域(図3中のII)において、前段酸化触媒が活性化されNO₂生成が始まった。暖機後の走行条件において尿素SCRシステムが機能しない場合は、このNO₂がそのまま排出されることになり、問題となる可能性がある。
- (3) コールドスタート時の尿素噴射開始以前において、N₂Oの排出が認められる場合(図5(a)中のI)があることから、NH₃スリップ以外に、N₂O生成メカニズムが存在する可能性がある。

参考文献

- (1) Dana Lowell, Fanta Kamakate : Urban off-cycle NO_x emissions from Euro IV/V trucks and buses – Problems and solutions for Europe and developing countries –, <http://www.theicct.org/urban-cycle-nox-emissions-euro-ivv-trucks-and-buses>

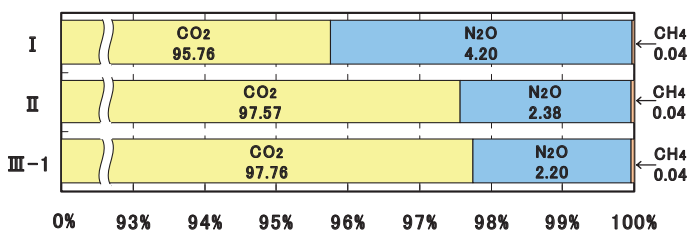


図5 (a) 路上走行時のGHG排出におけるN₂O寄与率：路上走行試験1

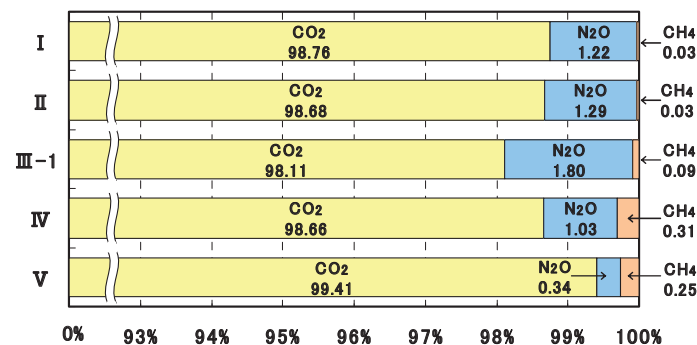


図5 (b) 路上走行時のGHG排出におけるN₂O寄与率：路上走行試験2

③ 電気自動車の間接的な CO₂ 排出と環境影響評価の考え方

環境研究領域

※小鹿 健一郎

奥井 伸宜

新国 哲也

1. はじめに

電気自動車は CO₂ を含め排出ガスを直接放出しないことから、従来の内燃機関原動機を用いた自動車と比較して環境への負荷が少ない自動車として注目されており、また動力源となる電気に再生可能エネルギー由来の電気を使うことで CO₂ 排出量の低減にも貢献すると期待されている。このため環境性能評価のためには、これまで内燃機関車で中心的に議論されてきた『NO_x、PM(粒子状物質)、CO 等の大気汚染物質の排出』や『走行に伴う化石燃料の消費と温室効果ガスの排出』にとどまらない評価手法の確立が求められる。

交通安全環境研究所では、電気自動車を含む電動車の CO₂ 排出と環境影響評価の考え方について研究を行っている。本報告では、自動車のライフサイクルを考慮した環境性能評価時対象とされる電気自動車の間接的な CO₂ 排出について整理するとともに、電気自動車の主要部品の一つであるバッテリーの性能低下が起きた場合の間接的な CO₂ 排出量の増加について実験データをもとに議論する。

2. ライフサイクルを考慮した自動車の環境性能評価

2.1 ライフサイクル評価の必要性

近年、ライフサイクルを考慮した自動車の環境性能評価の重要性が広く認識され、それを支援する活動が国内外で報告されている。例えば、(財)日本自動車部品工業会では『部品の製造から廃棄までの CO₂ 排出量に関するデータベース』の構築を開始し、米自動車工業会では『燃費以外の環境性能評価軸の検討』を行う Green Technology Systems Group の設置が報告されている。これらの活動は自動車の燃費性能が向上を続けることで、使用・走行段階でのライフサイクル全体に占める『資源・エネルギーの消費』や『温室効果ガス排出』の割合が減少し、影響度が小さくなる

一方、相対的に影響の大きくなる車両の製造・廃棄段階や燃料の製造段階を考慮してその評価を行う必要が出てきたためである(図1)。

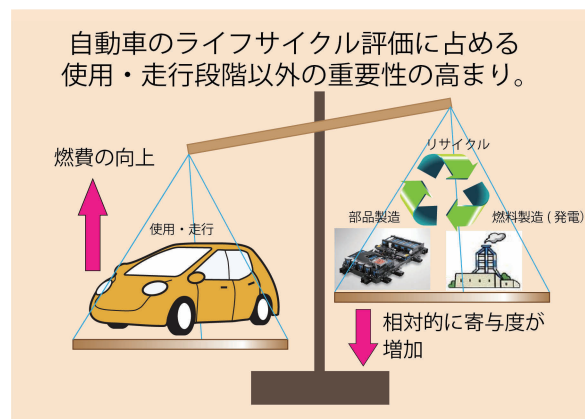


図1 バッテリー性能低下と CO₂ 排出量増加

2.2 電気自動車の間接的な CO₂ 排出

電気自動車の間接的な CO₂ 排出とは、上記ライフサイクル評価のように評価対象範囲を走行時のみ(図2-①)から広げることによって初めて認識される CO₂ 排出のことである。電気自動車の間接的な CO₂ 排出という場合、車両に由来するものと、燃料(電力)に由来するもの2つに大別できる。現在、電気自動車の CO₂ 排出評価にあたり、米国 EPA の燃費ラベルは①の範囲、水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)のライフサイクル評価は②の範囲、自動車メーカーが独自で行う評価では③の範囲での評価が実施されて、②、③の範囲における評価において間接的な CO₂ 排出が議論される。

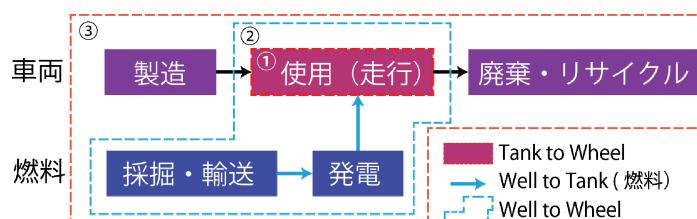


図2 自動車の評価対象範囲

3. 電気自動車の間接的 CO₂ 排出におけるバッテリーの性能低下による影響

駆動用バッテリーの性能低下は、自動車性能の低下を引き起こし、結果として間接的 CO₂ 排出量の増加につながると考えられる。ここでは、バッテリーの性能低下を『出力低下』と『容量低下』で整理し、予想される自動車性能への影響および CO₂ 排出量増加の変化について述べる。

バッテリーの性能低下は、内部抵抗の増加に伴い起電力が低下する『出力低下』と電気化学的に活性な電極活物質量の減少により取り出せる電気量が低下する『容量低下』の現象がある。(実際には、バッテリーの性能低下は出力低下と容量低下の組み合わせとして観測され、その寄与度はバッテリーの種類および使用条件によって大きく異なる。) バッテリーの出力低下は自動車性能において、交流電力量消費率の増加(電費の低下)を引き起こすと考えられる。これはバッテリーの出力低下の主要因が内部抵抗の増加であるため、充電時および走行時において、電気エネルギーが熱に変換されてしまい走行に利用できないためである。この交流電力量消費率の増加の結果、CO₂ 排出量(発電由来)は走行距離比例ではなく、図3右上のように少し上ずって増加することが予想される。容量低下の場合は、一充電走行距離に影響を与え、その距離を低下させる。一充電走行距離の低下そのものは、CO₂ 排出量に影響を与えるものではないが、ユーザーが『電欠の不安を解消したい』、『充電の頻度を減らしたい』と考え、バッテリー交換を行うと、図3右下のようなバッテリーの製造・廃棄にともなう追加の CO₂ 排出が発生する。つまり、CO₂ を評価指標として、電気自動車の環境評価を行う場合、バッテリーの性能低下による一充電走行距離の低下は、(バッテリー交換を伴わない限りにおいて) CO₂ 排出増加に関して、大きな影響はなく、電力量消費率が増加した場合において影響を与える。

影響の関連性：電池性能⇒自動車性能⇒CO₂ 排出量への影響

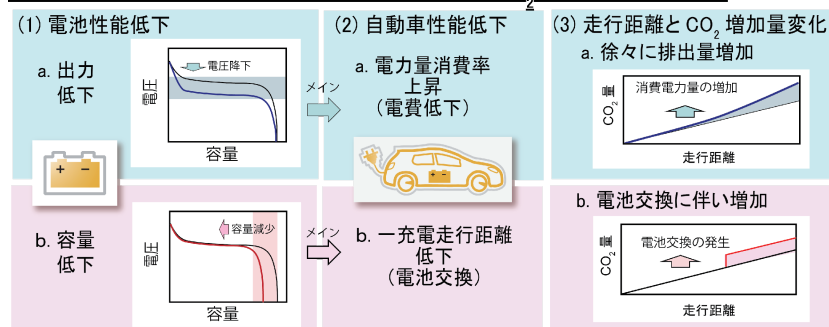


図3 バッテリー性能低下と CO₂ 排出量増加

4. 市販電気自動車における交流電力量消費率と一充電走行距離の変化

市販電気自動車の交流電力量消費率と一充電走行距離の変化を調査した。試験車両として、一充電走行距離 160 km の電気自動車(2009 年導入)を選択、総走行距離約 1000 km ごとに交流電力量消費率測定および一充電走行距離測定を実施した。試験車両の交流電力量消費率は、7000 km 走行後も認証審査値(125 Wh/km)以下であった(図4)。一方、一充電走行距離は、総走行距離 3000 km までに約 130 km まで急速に低下し、その後 120 km 台後半で推移した(図5)。

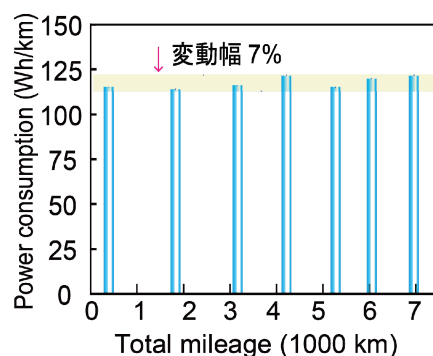


図4 交流電力量消費率の変化

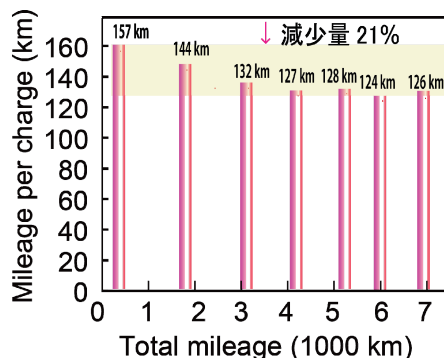


図5 一充電走行距離の変化

5. まとめ

今回の結果では、電力量消費率の変化は、一充電走行距離の低下に比べ小さかった。このため間接的な CO₂ 排出の見地から考えると、充電(発電)に由来する CO₂ 排出量増加よりもバッテリー交換(バッテリーの製造・廃棄)に由来する CO₂ 排出量増加が発生する可能性が高いことが示された。7000 km 走行時点では電力量消費率は維持されているが、今後も継続的な調査が必要であると考えられる。

④ ハイブリッド車の排出ガス・燃費評価のための試験システム開発

環境研究領域 ※奥井 伸宜 新国 哲也
自動車安全研究領域 河合 英直
株式会社 明電舎 鈴木 雅彦 高畑 洋
株式会社 小野測器 前嶋 康祐

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（HEV）や電気自動車（EV）を含む次世代自動車の研究開発が積極的に行われており⁽¹⁾、今後これらの車両の普及が見込まれる。現在の排出ガス・燃費試験法に用いられている走行モードは市場での代表的な走行状況を反映したものであるが、従来の内燃機関車両における再現性に着目して定められているため、新しく開発された積極的に回生エネルギーを活用する車両での走行を正しく反映できているか検討する必要がある。さらに、今後、開発や導入が予想される新しい方式で回生エネルギーを活用する次世代自動車⁽²⁾に対しても対応可能な認証試験法の検討を進め、提案していく必要がある。

交通安全環境研究所では、HEV の走行状態が反映可能な走行モード、次世代 HEV を含む HEV 試験法、試験条件を検討するため、「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム」を考案し開発を行った。本報において、開発した台上試験システムを紹介する。

2. 台上試験システムの概要

HEV パワートレインのシステム効率の適正な把握や評価は、現状、実際の車両システムを試作して行うか、計算機上で行っている⁽³⁾。表 1 に示すように、実車を用いた場合、エンジンや発電機（M/G）の暖機を考慮した排出ガス評価を可能にするが、種々の HEV システムの

評価を行う際には対応車両の試作が必要となり、費用と実験工数が増大する。一方、モデル車両（シミュレーション）の場合、実車に比べ利点、欠点の関係が逆転する。そこで、実際の車両を試作することなく、上記の2つの評価方法の利点を取り入れ、車両システムや制御手法について多角的に評価・検討が行える「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム」を考案し、新たに開発を行った。本試験システムは、HEV システムの主要な要素であるエンジン、M/G、インバータは実際の装置を用い、それ以外のバッテリー、動力分割伝達機構や協調ブレーキ等の要素はモデル化し、リアルタイムシミュレーションにより統合制御することで、実車を試作することなく試験室内で種々の HEV システムの再現を可能とした。

ここで、実車両のハイブリッドシステムにおいては、車両メーカーから内容が開示されることのないハイブリッド制御ユニット（HCU）内の制御ロジック等が重要な役割を果たしている。本試験システムにおいては、この個所をモデルに置き換えることで様々な制御条件を任意に組み合わせることを可能としており、HEV 試験法の検討を多角的に行うことができる。

3. 台上試験システムの構成

3.1 台上試験システムの構成および制御フロー

エンジンと M/G を動力源とする HEV システムの一例として、パラレル式 HEV を再現した試験システム構成の概略図を図 1 に示す。本試験システムは主に、エンジンとエンジン用ダイナモメータ（DY1）、M/G と M/G 用ダイナモメータ（DY2）、インバータ、直流電源装置、実車のハイブリッド制御ユニット（HCU）と同じ働きをし、HEV システム全体の HEV 制御を行う PC1、HEV システムの各要素をモデル化した車両モデルをリアルタイムシミュレーションするとともに、DY1、DY2 の制御を行う PC2 から構成される。

Table.1 Merit or demerit of each test method

	HEV power-train system	Real Vehicle	Virtual Vehicle (Simulator)
Flexibility of HEV layout	○	×	○
Measurement of exhaust-gas	○	○	×
Heat generation of engine, M/G	○	○	×
Examination cost, time	○	×	○

(○: Good, ×: bad)

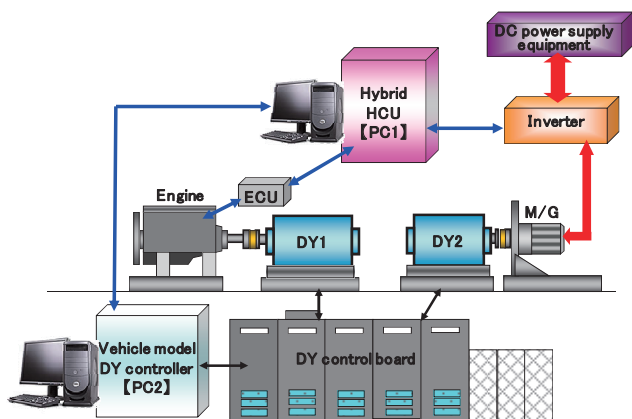


Fig.1 Component of HEV power-train system

本装置の制御フローを、図2を用いて説明する。PC2内の車両モデルにより車両走行状態に必要なトルク指令値が算出され、その指令値に基づきDY1、DY2をDY制御盤が個別に制御する。DY1、DY2のそれぞれの回転軸にはトルクメータ及び回転検出器が取り付けられており、実際に検出されたトルク値、回転速度は車両モデルにフィードバックされる。一方、運転手を代行するドライバモデルは、予め設定された車速指令値に基づき、アクセル開度指令値を決める。HEVの駆動力配分等の制御を行うコントローラ（HCU）であるPC1は、DY1と連結されたエンジンに対してはエンジン制御ユニット（ECU）を通じてアクセル踏み込み量に応じたスロットル開度信号を、インバータに対してはM/G制御信号を出力する。インバータは、PC1からの制御信号に基づき直流電源装置を制御し、DY2に連結されたM/Gを、駆動時にはモータとして、回生時には発電機として制御する。M/Gの稼働により変動するバッテリー蓄電状態は、PC1で管理される。この一連の制御フローを繰り返すことで、モデル化したHEVが駆動される。

3.2 シミュレーションモデル

3.2.1 ハイブリッド制御ユニット（HCU）

エンジンおよびM/Gのハイブリッド制御を行うコントローラである。M/Gによるトルクアシスト時には、バッテリーの蓄電状態を参照し、エンジン回転速度やシフト、アクセル開度信号などを変数として、トルクアシスト条件を任意に組み合わせることができ、任意のマップで与えた駆動トルク比率に基づきM/Gを制御する。一方、M/G回生時には、車両減速時の車速とブレーキトルクの関係より、M/Gおよび充放電装置を制御する。この際、

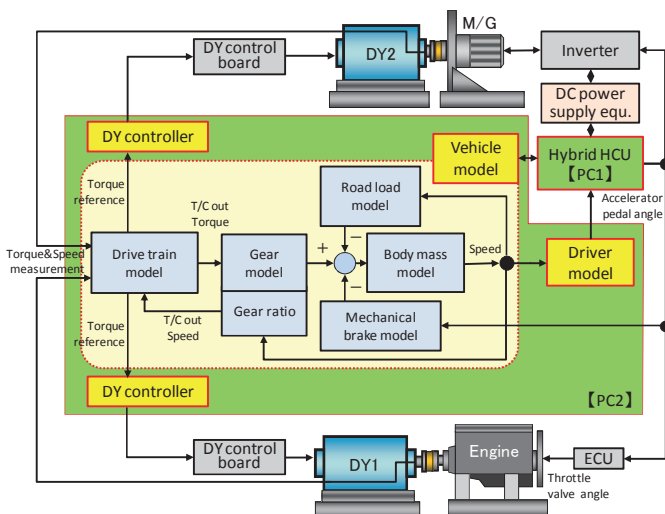


Fig.2 Model flow of HEV power-train system

M/Gを協調回生制御あるいは非協調回生制御に設定することが可能である。

3.2.2 ドライバモデル

特定走行モード（車速指令）を実際の運転手の操作（アクセル、ブレーキ）を模擬して運転させる場合、ドライバモデルは、車速の目標値と計測された車速との差分が零になるようなアクセルとブレーキ操作指令を出力する。

アクセル操作指令は、HCUにて駆動トルク比率を算出し、HCUからエンジンにスロットル指令、M/Gにモータ指令を分配して与える。

ブレーキ指令もアクセル指令同様、HCUにて回生協調比率を算出し、M/Gに回生ブレーキ指令、機械ブレーキに機械ブレーキ指令を分配して与える。

3.2.3 車両モデル

走行抵抗モデル、駆動系モデル、機械ブレーキモデルおよび車体慣性モデルから成る。以下に主なモデルを説明する。

駆動系モデル

クラッチ、トランスミッション、ディファレンシャルギヤ、タイヤの各モデルから成り、走行中の車両動作を模擬する。

機械ブレーキモデル

HCUを介して与えられた機械ブレーキ指令から、ブレーキ面で発生するブレーキトルクを算出する。

車体慣性モデル

駆動系モデルからの伝達トルク、機械ブレーキトルク、走行抵抗トルクを入力して車速を算出する。

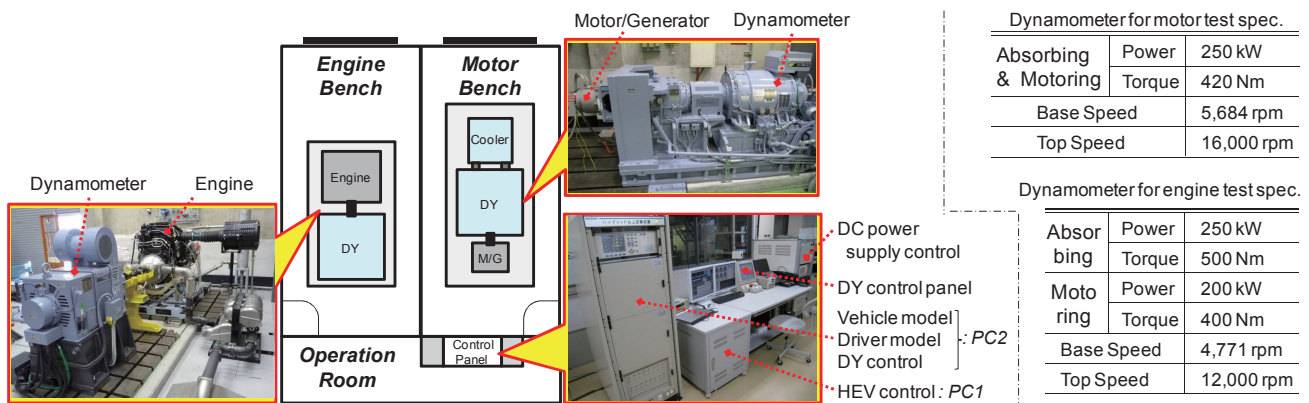


Fig.3 HEV power-train system bench (Parallel HEV)

4. 台上試験システムの構築

現状、構築している台上試験システムは、図3に示すパラレル式ハイブリッド台上試験システムである。

4.1 エンジンベンチ <図3左側の部屋>

実機エンジンは、図3右下表に示すスペックを有するエンジン用ダイナモメータ（明電舎製 フレックダイナモメータ TYPE-i）に接続した。本ダイナモメータは交流式で正・逆回転が可能であり、単体慣性が 0.6kgm^2 以下と小さい。電流応答性 1.5kHz の高速 IGBT インバータを使用しており、高応答な制御が可能である。

その他、ベンチ内に燃料温調器、冷却水温調器、I/C 温調器、吸入空気温調器（ダイキン工業製）、燃料流量計（小野測器製 FM-2500A）など設置している。

4.2 モータベンチ <図3右側の部屋>

実機 M/G は、図3右上表に示すスペックを有する M/G 用ダイナモメータ（明電舎製 永久磁石式ダイナモメータ EVDY 250）に接続した。最高回転速度は $16,000\text{rpm}$ を確保し、高回転型の M/G にも対応できる。

その他、実機 M/G 用インバータ、直流電源装置（明電舎製 DC50~500V 500A）を設置している。

4.3 制御室 <図3下側の部屋>

制御分担比の設定変更が可能なハイブリッド制御コントローラモデルと車両モデルなどを搭載した高速演算装置（dSPACE 社製）および計測制御装置（小野測器製 FAMS-8000）、直流電源用制御装置から成る。

計測制御装置において、通常のシャシダイナモメータ同様、車両諸元や走行抵抗および勾配などの負荷設定に基づく制御指令を行う。また、各種モード運転パターンや、実際の計測データを集約し管理を行っている。本装置はタッチパネル式制御切替え機能を有した手動操作部

と接続されており、エンジン単体および M/G 単体、エンジンと M/G を組み合わせた運転の操作設定ができる。

計測制御装置と通信で接続される高速演算装置には、MATLAB/Simulink で構築したシミュレーションモデルの制御ロジックがダウンロードされ、モデル制御指令に基づきエンジンとエンジン用ダイナモメータ、M/G と M/G 用ダイナモメータを制御する。

直流電源用制御装置は、実機のバッテリーの挙動を模擬したバッテリーモデルを活用する。これにより、実バッテリーの代わりに直流電源装置から実機 M/G 用インバータに給電を行っている。

4. 台上試験システムでの検証

一般的に HEV の燃費改善効果は、加減速頻度の多い走行で得られやすい。そこで、本システムで都市内走行に多用される小型トラックをモデルとし、パワートレイン構成の違いによる動作検証を行った。検証用モデルは、表2に示す6段ギアを備えた車両総重量（GVW） 5.87ton 車とし、本システム稼働時には半積載状態（GVW 4.37ton ）で走行させた。HEV パワートレインはパラレル式とした。エンジンは、4L 直列4気筒インタークーラータボチャージャー付ディーゼルエンジン（日野自動車

Table.2 Vehicle specification

Vehicle Mass		2,870 kg
Max. Load Mass		3,000 kg
Height × Width		2265 × 2180 mm
Tire (radius)		377.5 mm
Gear Ratio	1st	5.979
	2nd	3.434
	3rd	1.862
	4th	1.297
	5th	1.000
	6th	0.774
Final Ratio		4.625

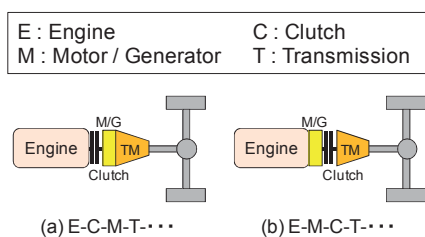


Fig.4 HEV power-train system layout

製、型式：N04C-TA）で、最高出力 110kW/3000rpm、最高トルク 392Nm/1600rpm を発生する。M/G は、永久磁石式同期電動機（澤藤電機製）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、同クラスの市販 HEV トラックが搭載する 1.9kWh（5.5Ah）を想定した。

本 HEV モデルにおける M/G の発生トルクは、車両走行に必要なトルクに対し任意の一定比率で設定した。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っていない。シフトパターンは、国土交通省の「ディーゼル重量車用車速変換プログラム⁽⁴⁾」から作成したパターンを使用した。

本システム検証時は、M/G は実機、それ以外の要素はモデル化で対応した。エンジンのモデル化にあたり、事前に実機のエンジンにてトルクおよび燃料消費量マップ情報等を取得し、本システムに反映させている。

現在市販される小型 HEV トラック（パラレル式）の HEV パワートレイン構成の多くは、図 4（a）に示す「エンジン⇄クラッチ⇄M/G⇄トランスミッション⇄ディファレンシャルギヤ⇄後輪タイヤ」である。この構成を本システムの車両モデルで再現し、JE05 モードを走行させた。ΔSOC=0 条件を得るためにエンジンと M/G のトルク比率は、シフト 1-4 段で 85%：15%、シフト 5-6 段で 100%：0% に設定した。図 5 中段 720 秒以降のように、減速中のアクセルオフ時に発生するエンジン駆動損失はクラッチ制御によりカットされ、より多くの車両エネルギーを M/G で回生していることが分かる。結果、エンジン車に比べ 7.0% の燃費改善効果が得られた。一方、文献(1)の HEV トラックの前モデルは、前述の HEV パワートレイン構成のクラッチと M/G の配置が逆の図 4（b）であった。その構成を本システムの車両モデルで再現した。ΔSOC=0 条件を得るためにエンジンと M/G のトルク比率は、シフト 1-4 段で 88%：12%、シフト 5-6 段で 100%：0% となる。図 5 最下段に示すように、減速時にエンジン駆動損失が発生し、M/G による車両エネルギーの回収が少

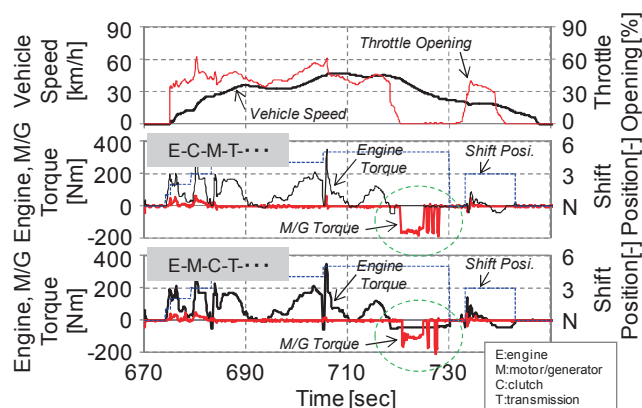


Fig.5 Comparison of HEV power-train system layout

なくなる。燃費改善効果は、エンジン車に比べ 5.7% に留まることが分かり、結果として、最新モデルのパワートレイン構成の優位性が検証できた。

以上、実車を作成することなく各種 HEV パワートレイン構成を容易に再現し各種検討を行い、定量的な評価を可能とした。

5. まとめ

HEV の走行状態が反映可能な走行モード、次世代 HEV を含む HEV 試験法、試験条件を検討するための有効なツールとなる「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム」を開発し、そのシステム検証を紹介した。本試験システムでは、多種多様な HEV システムの要素の一部をモデル化することにより、試験室内に HEV パワートレインシステムを再現することを可能とした。車両メーカー以外の試験機関においても、実際の HEV を試作することなく様々な性能要件、制御条件を取り入れた走行が評価でき、HEV 認証試験法策定に向け多角的な検討が行える。

今後、排出ガス計測も考慮したハイブリッド・パワートレイン台上試験システムの整備を進める。

参考文献

- (1) 加部賢志、澤山昭、荒木智彦、横田明彦、大槻進：小型トラック用ハイブリッドシステムの開発、自動車技術会 2011 秋季学術講演会、20115746、p.1-4 (2011)
- (2) 奥井伸宜、新国哲也、河合英直：ハイブリッド重量車に対する蓄電エネルギー活用方法に関する研究、自動車技術会 2012 春季学術講演会、2012515、p.15-20 (2012)
- (3) 黒川陽弘、森田賢治：HILS 認証試験法の剛体系 HEV モデルの開発、自動車研究、Vol.33、No.7、pp.25-28 (2011)
- (4) 国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2_osenj.htm>

⑤ 次世代バイオマス燃料自動車の LCA

ー木質バイオマスを原料とするガス化合成燃料の事例分析ー

環境研究領域 ※佐藤 由雄 川野大輔 石井 素
東京理科大学大学院 渡辺 佑太郎
東京理科大学 小井土 賢二 堂脇 清志

1. はじめに

バイオマスから製造される燃料は、製造時に多量のエネルギーを費やしたり、車両に用いた場合には排出ガス性能が悪化するケースがある。将来的に有望なバイオマス燃料を選択していくためには、車両への適用性及び温室効果ガス (GHG) 排出量等を含めた総合的な環境負荷を評価する手法を確立していく必要がある。

本研究はそうした観点にたち、今回は、木質バイオマスを原料としガス化合成により製造される燃料を取り上げ、原料の前処理・輸送から燃料の製造そして車両走行の全体を通じての CO₂ 排出量について LCA (Life Cycle Assessment: ライフサイクルアセスメント) を行った。分析の対象として、これまでに石油代替燃料として使用実績のあるメタノール、現在、研究開発及び実証試験が進められている水素、ジメチルエーテル及び合成軽油を燃料とする重量車 (車両総重量: 3.5 トン以上のトラック、バスなど) とした。

2. LCA のシステム境界

図1に本研究で行った LCA のシステム境界を示す。今回は、原料のチップ化、輸送、乾燥の前処理からガス化、合成・精製までの「燃料製造プロセス」を Well-to-Tank (WtT)、製造されたバイオ燃料を重量車に用いる「車両走行プロセス」を Tank-to-Wheel (TtW)、そして「燃料製造から車両走行までの一連のプロセス」を Well-to-Wheel (WtW) と定義した。なお、今回の LCA では、車両の製造、使用過程でのオイル、消耗部品の交換及び廃棄、リサイクルなどで排出される CO₂ 量についてはシステム境界外とし、車両の単位走行距離あたりの CO₂ 排出量で評価した。

本研究では、WtT のエネルギー収支比を EI [MJ/MJ-Fuel]、バイオ燃料 1MJ 製造時の CO₂ 排出量を CO₂_Prod [g-CO₂/MJ-Fuel]、TtW 及び WtW における 1km 走行時の CO₂ 排出量を CO₂_Run [g-CO₂/km] とし、それぞれ次式で定義した。

$$EI = (E_Cons) / (E_Prod) \quad (1)$$

$$CO_2_Prod = (CO_2_Emit) / (E_Prod) \quad (2)$$

$$CO_2_Run = (CO_2_Prod) / FC \quad (3)$$

ここで、

E_Con: WtTプロセスの投入エネルギー量[MJ/h]

E_Prod: 製造される燃料のエネルギー量[MJ-Fuel/h]

CO₂_Emit: WtTにおけるCO₂排出量[g-CO₂/h]

FC: 車両の走行燃費[km/MJ-Fuel]

なお、投入されるエネルギーは軽油及び商用電力を想定し、表 1 に投入した各エネルギーの CO₂ 排出係数を示した^{1) 2)}。また、バイオマス燃料製造時のエネルギー収支比 EI[MJ/MJ-Fuel]を算出しているが、ここでは投入エネルギーは全て一次エネルギー換算するため、電力使用によるエネルギー消費量は、国内の一般電力の発電効率 42%で割り戻した値を用いた³⁾。

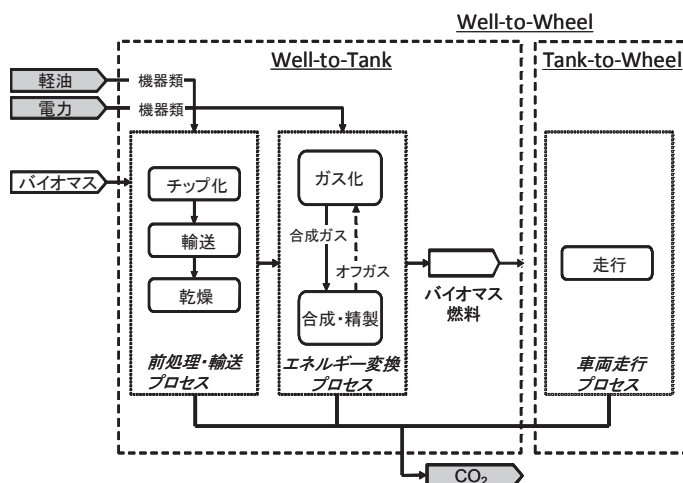


図1 本調査研究における LCA のシステム境界

表 1 投入エネルギーの CO₂ 排出係数

投入エネルギー	単位	低位発熱量 MJ	CO ₂ 排出係数 kg-CO ₂	備考
バイオマス	kg	13.233	0.00	杉、原料用、カーボ ンニュートラルとした
電力	kWh	-	0.385	発電効率:42.0%
軽油	L	35.5	2.74	チップ化用、輸送用

3. 各プロセスの概要と評価方法

3. 1. 燃料製造プロセス

3. 1. 1. 原料の前処理・輸送プロセス

国内の木質バイオマスの賦存状況やタール発生量などを勘案し、原料は杉の加工廃材とした。原料の収集範囲を狭めて輸送距離を低減するため原料投入量が 12t-dry/day の小規模分散型の燃料製造プラントとし、オンサイトでの燃料製造を基準として評価した。この規模のプラントでは、プラントから 50km 圏内で必要となるバイオマス量を確保できることから原料の輸送距離を 5-50km と想定し¹⁾、さらに、原料の初期含水率を 20-50%と仮定した。これら二つの要因が独立に一樣分布確率で変化するものとして、モンテカルロ法により輸送距離及び含水率の最小値、最大値及び平均値を算出⁴⁾して評価した。なお、計算回数は 10,000 回とし、5%有意として求めた。

原料は、図 1 に示したようにチップ化（軽油、電力使用）された後、最大積載量 10 トンのトラック（軽油使用）により燃料製造プラントまで輸送されるとした⁵⁾。ガス化炉投入前の原料チップの乾燥工程では、含水率を 20%まで下げるため、プラントの燃焼排ガスを使用することを想定した。なお、この時は乾燥エネルギー消費量はゼロとなるが、燃焼排ガスの熱量が不足する場合は、蒸気ボイラ（軽油、電力使用）を併用することとした。

3. 1. 2. エネルギー変換プロセス

(1) 原料のガス化システム

原料のガス化により燃料の合成に必要な H₂ と CO を得る。ここでは小規模分散型対応の移動層式ガス化炉のひとつである Blue Tower (BT) プロセス⁴⁾を選定した。このプロセスで必要な熱動力は、全て内部で賄えるようにシステムを設計した。ガス化及び各燃料の製造システムの諸元等を表 2 に示す。

(2) 燃料の製造・合成システム

① 水素製造

BTプロセスによるガス化では水素（H₂）が比較的、高い濃度で生成されるという特徴をもつ。この合成ガ

表 2 原料のガス化及び各燃料製造システムの諸元等

プロセス	単位	H ₂	MeOH	DME	FTD
原料ガス化 (BTプロセス)	規模	t-dry/d	12	12	12
	バイオマス 供給量	kg/h	635.9	635.9	635.9
	冷ガス効率	LHV-%	59.9	59.9	59.9
燃料製造	製造量	Nm ³ /h	305.0	-	-
		L/h	-	196.9	169.7
	温度	℃	40	170	190
	圧力	MPaA	0.8	3.0	3.0

スからPSA（Pressure Swing Adsorption: 圧力スイング吸着、運転圧力：0.8MPaA）により純度99.99%まで濃縮したH₂を回収する。回収後のH₂は35MPaまで圧縮し車両に充填するものとした。H₂の製造システムでは圧縮動力の占める割合が大きくなる。

② メタノール合成

メタノール（MeOH）の合成反応では、平衡転化率が最大となる合成ガス中のH₂/CO比は2である。このときの反応式は次の(4)式で表される。



MeOH合成に必要な動力を極力低減させるため、今回は170℃、3MPaAの条件での単段合成を想定した。

③ ジメチルエーテル合成

ジメチルエーテル（DME）の合成法には、間接法と直接法の2種類がある。ここでは一つの反応器内でMeOHの脱水反応とDME合成が生じる直接法とした。反応器内で起こる総括反応式は次の(5)式となる。



(5)式の反応が進むとDMEとH₂Oの混合気体が得られるが、これを常温まで冷却して気液分離し、更にDMEを液体に転換するため-25℃まで冷却する。

④ 合成軽油製造

触媒を用いてFischer-Tropsch (FT)法により合成ガスから燃料を合成するシステムでは、次の化学反応式(6)にしたがい炭化水素（FT合成粗油）が合成される。



このとき、反応器内ではC₁からC₂₀を超える直鎖パラフィンが生成され、一般的には、これを水素化処理して灯油や軽油などの燃料に転換する。今回は、市販の自動車用軽油の性状規格を満たす合成軽油（FTD）の製造を想定した。そのため、Ru-Mn/Al₂O₃触媒を用いて先ずFT合成粗油を製造し、その中でFTDと見なせるC₁₁-C₂₀成分を蒸留により回収（原料熱量比で30%）し、さらにC₂₀₊のFTワックスについては水素化分解によりFTDを製造し、FTDの収量を増加（[原料+水素]熱

量比で40%)させた。C₁-C₁₀についてはオフガスとしてプラント内動力に用いた。なお、FT合成の反応条件や合成ガスからのCO転化率は既往の研究⁶⁾をもとに設定し、直鎖パラフィンの連鎖成長確率は91%と仮定した⁷⁾。また、水素化分解処理でのH₂消費量は文献値を用いた⁸⁾。

3. 2. 車両走行プロセス

製造された各バイオマス燃料は、内燃エンジンを動力源とする最大積載量が約4トンの中型トラックの実走行に用いられることを想定した。走行モードは重量車の実走行を反映したモードとして排出ガス試験に用いられる JE05 (半積載条件) を選定し、シャシー台上試験により CO₂ 排出量[g/kWh]と燃費[km/MJ]等を測定した。表3に軽油, DME 及び FTD を燃料とし JE05 モードを運転した場合の排出ガス, 燃費データ⁹⁾¹⁰⁾を示す。H₂ と MeOH の燃費は、対応する中型トラックが確保できなかったため、軽油と H₂, MeOH の燃料性状及び燃焼サイクルの違いを考慮し、それぞれ軽油の燃費の 85%, 75%と推定した。

4. 分析結果

4. 1. 燃料製造プロセスにおけるエネルギー収支比

図2に各バイオマス燃料の原料の輸送・前処理及び

表 3 各燃料を用いた中型トラックの排出ガスと燃費

項目	単位	軽油	H ₂	MeOH	DME	FTD
走行モード	-	JE05	JE05	JE05	JE05	JE05
積載率	%	50	50	50	50	50
走行距離	km	13.892	13.892	13.892	13.892	13.892
CO ₂ 排出量	g/kWh	835.0	-	-	731.5	820.0
NO _x 排出量	g/kWh	2.10	-	-	0.73	0.47
低位発熱量	MJ	38.9/L	10.8/Nm ³	15.8/L	19.2/L	36.1/L
	km	6.60/L	(1.56/Nm ³)	(2.01/L)	3.48/L	6.36/L
燃料消費率	km/MJ-Fuel	0.169	(0.144)	(0.127)	0.181	0.176
	MJ-Fuel/km	5.90	(6.94)	(7.87)	5.52	5.68

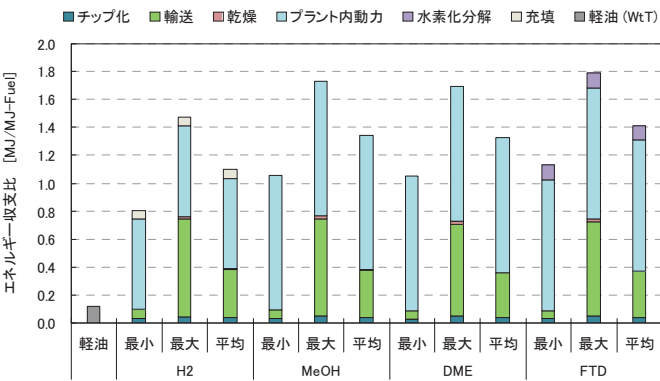


図 2 燃料製造プロセス(WtT)のエネルギー収支比

エネルギー変換までの燃料製造プロセス (WtT) におけるエネルギー収支比を示す。最小値, 最大値及び平均値は, 原料の輸送距離及び含水率に幅をもたせて評価したことによる。なお, 参考として, 軽油のWtTでのエネルギー収支比¹¹⁾を図中に併記した。

各バイオマス燃料1MJの製造に必要なエネルギー量 [MJ/MJ-Fuel]は, H₂の最小値をとるケースを除き, いずれのバイオマス燃料においても1.0を上回り, 投入エネルギー量と比べて得られるエネルギー量の方が少ないという結果となった。また, 原料輸送及び製造プラント内の動力で90%前後 (原料ガス化と燃料合成に要する動力, 平均値) を占めていることがわかった。FTDの製造には水素化分解における投入エネルギー量が加算されるためエネルギー収支比は最も高くなった。

4. 2. 燃料製造プロセスにおける CO₂ 排出量

図3に燃料製造プロセス (WtT) における各バイオ燃料のCO₂排出量[g-CO₂/MJ-Fuel]の最小値, 最大値及び平均値を示した。各バイオマス燃料のCO₂排出量の傾向を比べると上述したエネルギー収支比の傾向とほぼ同じであった。DMEはエネルギー収支比ではH₂なみの低い値であったが, CO₂排出量で評価した場合はH₂より高く, MeOH, FTDと同程度となる。

4. 3. 前処理・輸送, 燃料製造及び車両走行プロセスにおける CO₂ 排出量

前処理・輸送, 燃料製造及び車両走行プロセス (WtW) におけるCO₂排出量[g-CO₂/km]を評価するため, 図3に示した燃料製造プロセス (WtT) でのCO₂排出量[g-CO₂/MJ-Fuel]に, 表3中のJE05モード燃費 [MJ-Fuel/km]を乗じて算出した。その結果を図4に示す。ここでは, 比較のため軽油トラックの算出値を図中に記した。軽油トラックから排出されるCO₂はカウント

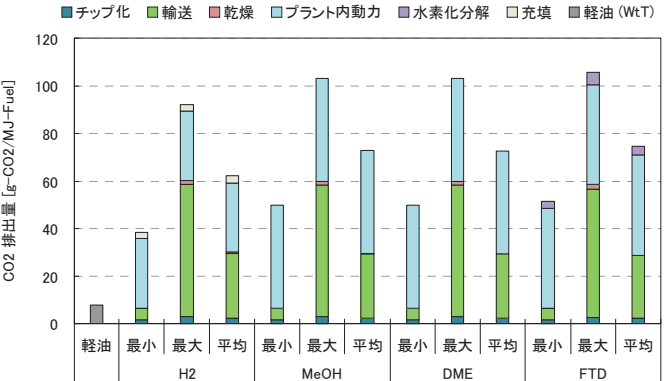


図 3 燃料製造プロセス(WtT)の CO₂ 排出量

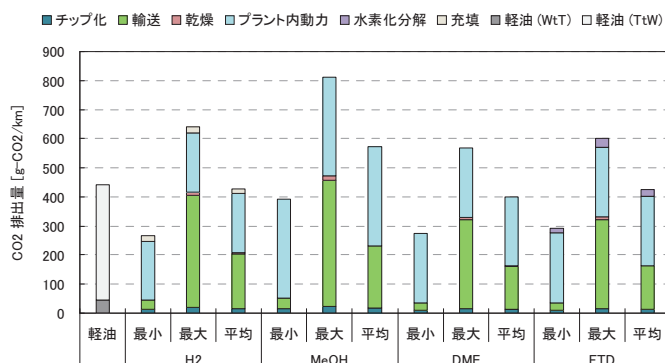


図 4 前処理・輸送、燃料製造及び車両走行プロセス (WtW)における CO₂ 排出量

しているが、バイオマス燃料を用いたトラックでは排出CO₂はカーボンニュートラルとして扱い、ゼロカウントとしている。

図4より、CO₂排出量[g-CO₂/km]は軽油の場合と比べて、最大値をとる場合は、H₂で45%、DMEで28%、FTDでは35%、それぞれ増加となるものの、最小値では、H₂で39.9%、DMEでは38.0%、FTDでは34.3%のCO₂削減効果が得られる。この結果から、H₂、DME及びFTDは原料輸送と燃料製造プロセスの最適化によっては軽油と比べて大幅なCO₂削減が行える可能性があると考えられる。また、MeOHではCO₂排出量が最小ケースでは11.6%の削減効果が得られるものの最大ケースでは83.2%もの増加となるなど、現時点では他の燃料と比べて低炭素燃料としてのポテンシャルが低いという結果となった。

5. まとめ

今回、国内で産出される木質バイオマス（杉の加工廃材）を原料とし、小規模分散型対応のガス化合成プラントにおいて製造されるH₂、MeOH、DME及びFTDを対象とし、これらを重量車に適用した場合のライフサイクルでのCO₂排出量等について事例分析を行い、以下の知見を得た。

- (1) 各バイオマス燃料の製造プロセスにおけるエネルギー収支比[MJ/MJ-Fuel]は1.0を上回り、原料輸送と製造プラント内の動力で90%前後を占めた。また、各燃料の製造時のCO₂排出量[g-CO₂/MJ-Fuel]の傾向はエネルギー収支比の場合と同様であった。
- (2) 今回の事例分析からは、バイオマス燃料の製造から車両走行までのライフサイクルでのCO₂排出量(g-CO₂/km)は、原料輸送及び製造プラント内動

力から排出されるCO₂が大部分を占め、CO₂排出量の評価に大きな影響を与えることがわかった。

- (3) 各バイオマス燃料のライフサイクルでのCO₂排出量(g-CO₂/km)を軽油の場合と比べた場合、燃料製造プロセスの最適化によってはH₂で39.9%、DMEでは38.0%、FTDでは34.3%のCO₂削減効果が得られる可能性がある。

今後、木質以外の原料から製造されるバイオマス燃料の事例分析を行うとともに、自動車への燃料適用性及びGHG排出量を含めた総合的な環境負荷を評価する手法の確立に向け、調査研究を継続していきたい。

参考文献

- 1) 橋本征二, 小原卓巳, 寺島泰 (2000): 土木学会論文集VII, 37-48.
- 2) 社団法人 産業環境管理協会 (2012), 新 CFP プログラム, 入手先<<http://www.cfp-japan.jp/>>, (参照 2012-6-23)
- 3) 財団法人 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編 (2011): “エネルギー・経済統計要覧”, 省エネルギーセンター, 224-225
- 4) 堂脇清志, 江口勉, 大久保聖, 玄地裕 (2008): 電気学会論文C, 128(2), 167-175
- 5) 岩手県林業技術センター(2005): 山土場からのチップの運搬工程 研究成果速報 No.171
- 6) 藤本真司, 花岡寿明, 隈部和弘, 尾方護, 柳田高志, 福田哲久, 矢部彰, 美濃輪智明: バイオマスからの FT 軽油製造プロセスの効率化の検討. 産業技術総合研究所公表 資料
- 7) 村田和久, 岡部清美, 高原功, 稲葉仁, 劉彦勇 (2011): 日本エネルギー学会誌, 90, 505-511
- 8) 花岡寿明, 宮沢朋久, 松永興哲, 劉彦勇, 平田悟史, 坂西欣也 (2011), 日本エネルギー学会誌, 90, 31-36
- 9) 佐藤由雄 (2010): 交通安全環境研究所フォーラム 2010 講演概要集, 17-24
- 10) 石井素 (2010): 交通安全環境研究所フォーラム 2009 講演概要集, 67-70
- 11) トヨタ自動車株式会社, みずほ情報総研株式会社 (2004): 輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価, 94

⑥ ガソリン乗用車から排出される VOC の排出経路の実態把握

環境研究領域

※山田 裕之

1. はじめに

最新の大気環境モニタリング結果によると、オキシダントは計測地点すべてで大気環境基準未達成であり、平均濃度も近年では増加傾向にある¹⁾。また最近導入されたPM2.5に関しても、測定点は少ないが達成率は25%程度にとどまっている。オキシダント、PM2.5の主要成分である二次生成粒子は、揮発性炭化水素が大気中で反応することにより生成されることが知られている。すなわち、近年の改善傾向にある大気環境問題において残された大きな課題はVOC(Volatile Organic Compounds)の排出削減である。この考えにより固定発生源、移動発生源共に削減を行っている。自動車ではTHC(Total Hydro Carbon)もしくは非メタン炭化水素として排出が規制され、その規制値も年を追うごとに厳しくなっている。排出の抑制はテールパイプからの排出ガスを中心に行われており、ガソリン乗用車の蒸発ガスに関しては規制は存在するものの、それほど注目を集めてはいない。そこで本研究では、4台の最新の排出ガスレベルの車両を用いて、テールパイプエミッション、蒸発ガスを測定し、それぞれの排出割合を算出する。

2. 実験方法

本研究では、最新の排出ガス性能レベル（ポスト新長期規制75%減）を有する4台の車両について、テールパイプエミッションの計測、および蒸発ガスの測定を行った。試験に用いた車両の諸元を表1に示す。2台の小型車、1台の軽自動車および1台の普通車を試験した。排出ガス試験では、試験車両はシャーシダイナモ上で定められたモード(JC08モード)を走行し、その際の排出ガスを排出ガス分析計により分析した。蒸発ガスに関しては、SHED(Sealing Housing for Evaporative emission Determination)を用いて試験を行った。試験方法は

認証時の試験と同様とし、走行終了後の車両が温まった状態での1時間の排出を測定するHSL(Hot Soak Loss)試験、冷態で1日の温度変化を与えた際の排出を24時間かけて測定するDBL(Diurnal Breathing Loss)試験の2つの試験を行った。

Table 1 Specification of Tested Vehicles

Car Name	A	B	C	D
Vehicle Weight (kg)	1020	1600	920	1050
Displacement (l)	1.33	2.994	0.658	1.495
Max. power (kW)	68	188	43	80
Type of Injection	Port Injection	Direct Injection	Port Injection	Port Injection
Transmission	CVT	6AT	CVT	4AT
Exhaust after treatment	3 way Cat.	3 way Cat ×2	3 way Cat.	3 way Cat.
Emission level	75% reduction from 2005	75% reduction from 2005	75% reduction from 2005	75% reduction from 2005
Category	compact	mid size	small	compact

3. 結果

図1に今回得られたテールパイプからのTHCについてJC08コールド、ホットそれぞれ5回行った試験の平均値、および加重平均結果を示す。これらの結果によると、JC08認証値はコールド試験の結果が大きく影響すること、車格の大きいB車からの排出が大きいことが確認された。3つの試験車において、認証結果を超過する排出量が確認されたが、これは今回試験を行った車両すべてがJC08対応車

ではないことに起因する，認証試験モードの違いと思われる．

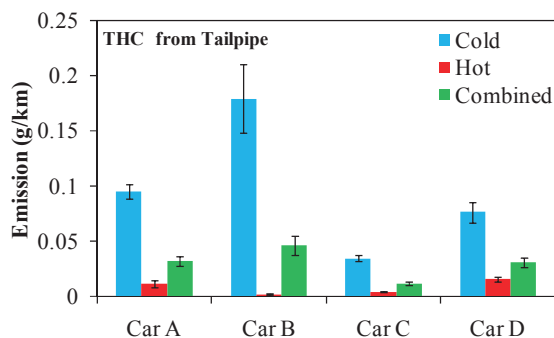


Fig. 1 THC from exhaust pipe with JE05.

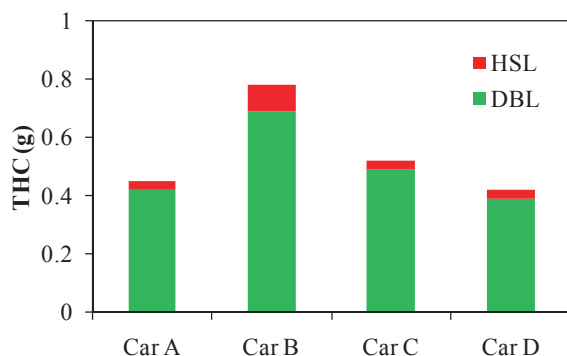


Fig. 2 HSL and DBL results.

Table 2 Summary of questioner about travel distance in a year by the difference of car categories.

	Compact	Mid size	Small	All category
Travel distance (km/year)	7,836	8,288	6,413	7,512

図 2 には 4 台の試験車の蒸発ガス試験の結果を示す．すべての車両について，HSL 結果と比較すると，DBL 結果が大きいことが確認された．また，テールパイプエミッション同様，車格の大きい B 車からの排出が大きい結果となった．すべての車両の試験結果は規制値と比較すると十分低い値であった．東京都内在住の乗用車ユーザーに対して乗用車の年間走行距離に関するアンケートを行った．このアンケートでは，小型乗用車で 53 件，普通乗用車で 36 件，軽乗用車で 29 件の回答を得た．その結果を表 2 に示す．また，今回得られた結果において，図 1 に示したテールパイプエミッション加重平均値，表 2 の年間平均走行距離から求めた各試験車の年間平均

走行距離，および図 2 に示した DBL 結果を用いて，各車両からの VOC 年間排出量の算出を行った．その結果を図 3 に示す．これによると総排出量に占める蒸発ガスは 40~70% となり，平均で 53% と非常に大きな割合であることが確認された．

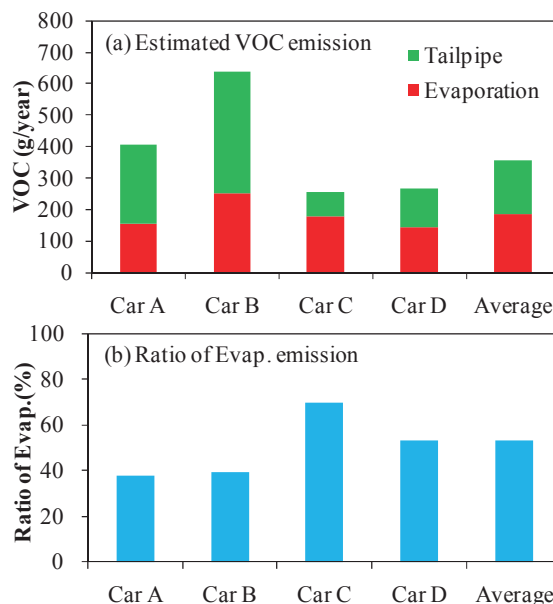


Fig. 3 Estimated VOC emissions from tested vehicles in a year (a) and ratio of evaporative emissions (b).

結論

ポスト新長期規制適合相当の 4 台のガソリン乗用車を用いて，JC08 モードでのテールパイプからの VOC 排出の評価，および蒸発ガス試験を実施した．

その結果，JC08 モードにおけるテールパイプエミッション，蒸発ガス試験における DBL 結果，さらには東京都内在住の乗用車ユーザーを対象に行った走行距離に関するアンケート結果から，自動車排出 VOC 総量に占める蒸発ガスの割合は平均で 53% と，大きな割合を占めることが確認された．現在大気環境基準達成率の悪い，PM_{2.5}，オキシダントに関して自動車影響を一層低減する必要がある場合には，テールパイプエミッションのみならず，蒸発ガスを含めた包括的な対策を行う必要があることが確認された²⁾．

参考文献

1. 環境省平成 21 年度大気環境モニタリング実施結果，<http://www.env.go.jp/air/osen/index.html> (2010)
2. 山田裕之，自動車技術会論文集，（投稿中）

⑦ 市街地における自動車単体騒音の実態について

環境研究領域

※宝渦 寛之

坂本 一郎

熊澤 保子

1. はじめに

自動車単体騒音に関する規制については、我が国では、新型自動車の加速走行試験法（TRIAS30）が昭和 46 年に導入されている。TRIAS30 については、その規制値は漸次的に規制強化が行われ、規制導入当初と現在で比較をすると、例えば大型車では 11dB、二輪車では 13dB の引き下げが行われている。これは、エネルギーベースで考えると、自動車から発せられる騒音が 1/10 以下となったことを示している。一方、道路交通騒音については、1971 年に、騒音に係る環境基準に道路に面する地域について規定されている（1998 年に改訂）。環境基準については、近年では、改善の兆しが見えるものの、調査開始以来、長らく横ばい傾向にあった。本稿では、認証試験における騒音規制強化が道路交通騒音に与える影響を調べるべく、1998～2001 年に改められた現行の規制値に対応した車が十分に普及したと考えられる 2008～2010 年にかけて、道路交通騒音の測定を行った。得られた結果を現行規制前のデータと比較し、規制の効果を検証した。

2. 測定概要および解析方法

市街地での車両単体から発せられる騒音を測定すべく、国土交通省の全国道路・街路交通情勢調査を参考に、これらの資料において環境基準を超過する三箇所（国道 16 号：柏市、山手通り：目黒区、府中街道：小平市）において測定を実施した。測定は、いずれの区間においても、車両が定常走行をしていると考えられる交差点から離れた区間において行った。測定の様子を図 1 に示す。測定は、騒音測定と同時に、ビデオカメラによる撮影を行った。また、図にあるように、路上にガムテープにて一定間隔をマーキングし、その間の通過に掛かる時間（ビデオのコマ数）を求めることにより、マイクロホン手前での通過速度を算出した。解析対象とした車両は、騒音レベルが周囲の環境

音や他の車両の影響を受けておらず S/N が十分に確保されていると考えられる車両とした。また、交換用マフラーを着用していると思われる車両などは、環境基準の評価対象からも外れるため、今回の解析対象からも除外した。



図 1 騒音測定の様子

3. 測定結果

表 1 に各測定点における測定結果を示す。表において黄色のセルは環境基準の超過した場所・時間を表わし、赤色のセルは、要請限度を超過する場所・時間を表わす。測定終了点の結果、府中街道での夜間および山手通りの昼間、国道 16 号の昼間において、環境基準を超過し、山手通りの夜間、国道 16 号の夜間において、要請限度を超過する結果となった。

次に、個々の車両から発せられる騒音について、解析を行った結果について述べる。音響パワーレベルと通過速度の導出を、各車種それぞれ 60 台程度で行った。なお、今回測定を行った三箇所の間では、得られた音響パワーレベルに場所による明確な差異は見られなかったため、測定場所を区別せず結果を扱った。得られた音響パワーレベルは、日本音響学会提案の ASJ RTN-Model^①（以下、ASJ モデル）と比較することを目的に、ASJ モデルにて与えられている以下の式に倣って整理を行い、回帰式を作成した。

$$L_{WA} = a + b \log V + C \quad (1)$$

ここで、 L_{WA} は音響パワーレベル、 V は速度、 a は車種毎に与えられる定数、 b は速度依存性を表わす定数、 C は各種要因による補正項である。式(1)中の車種依存定数 a を、ASJモデルの値と本研究から得られる値を比較し、双方のデータの差異の有無を検討した。回帰式の作成方法としては、ASJモデルと同様に、速度依存項の定数 b を30とし、解析した各パワーレベルを50km/hに移行し、その時の音響パワーレベルのパワー平均から、定数 a を決定した。補正項 C については0とした。解析結果の一例として、本研究にて得られた、乗用車の個々の速度と音響パワーレベルの関係を図2に示す。個々の車両の音響パワーレベルが幅広い速度にわたり分布しているが、車種ごとにデータを取りまとめ、なおかつ交換用マフラー着用車等を除外しているため、速度依存性を大きく外れるデータは存在しないことがわかる。また、同図中には、ASJモデルの回帰式と本解析から得られた回帰式を併記しているが、定数 a の差は1.3dBであり、両者に大きな差はみられないことがわかる。他の車種についても同様の操作を行い、定数 a を比較して表2に示す。このASJモデルの音響パワーレベルは、1998年版の予

表1 騒音測定結果

	府中街道	山手通り	国道16号	環境基準	要請限度
昼間(6~22時)	67dB	73dB	74dB	70dB	75dB
夜間(22~6時)	66dB	72dB	73dB	65dB	70dB
全体	67dB	73dB	74dB		

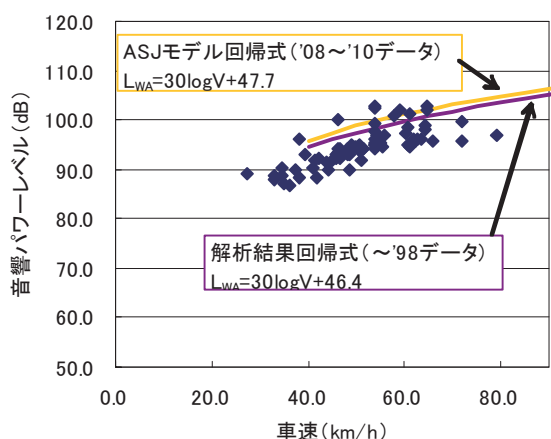


図2 車両単体の音響パワーレベル(乗用車)

表2 車種依存定数の比較

車種	車種依存定数: a	
	解析結果	ASJ RTN-Model
大型車	54.9	54.4
中型車	51.6	51.5
小型貨物車	45.9	47.6
乗用車	47.7	46.4

測モデルのために計測されたものである。そのため、ほとんどの車両が現行規制よりも一段階前の規制値(それぞれの車種において2dBの差)に対応した車両であると考えられるが、2008~2010年にかけて得られた今回の測定結果と比較して、ほとんど違いは認められないことが確認された。

なお、二輪車については、2008年版のASJモデルから新たにパワーレベル式が追加されたため、過去のデータがなく、規制強化の効果を検討することはできなかった。

4. おわりに

規制の効果が明確に現れない理由として、試験法での評価方法と実際の街中での走行状態に乖離が生じていることが挙げられる。現行の試験法では、アクセルを全開にした状態に発せられる騒音の評価を行うが、現在の車両では、排気量の小さな二輪車や大型車などを除き、一般の街中を走行する際に、アクセルを全開にすることはほとんどない。このような車両状態の乖離のため、試験時のみ騒音が下がるような車両も存在することから、市街地の走行実態を踏まえた試験法が臨まれる。国際的にも同様な認識のもと、市街地での走行実態を踏まえた新たな加速走行騒音試験法について、すでに試験法についての議論は終了し、規制値について検討が行われているところである。国内においても、環境省、国交省主導のもと、新たな試験法の国内導入に向けて、検討作業が行われている所である。この中で当所は、両省からの委託調査という形で、検討に資するための調査・研究を行っている。また、今後、本研究にて得られたデータをもとに、単体騒音試験にて取得したデータから道路交通騒音を予測可能なシミュレーションモデル構築の予定しており、新たな試験法の適切な規制値選定の一助となると考えられる。

参考文献

- (1) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会, "道路交通騒音の予測モデル" ASJ RTN-Model 2008", "日本音響学会誌, 65巻4号, pp.179-232 (2009)
- (2) Steven, H., "Results of pass-by noise measurements carried out within the frame of a running UBA project," 38th GRB Informal Doc No.1, 2003

⑧ マフラー性能等確認制度の導入効果について

環境研究領域

※宝渦 寛之

坂本 一朗

田中 丈晴

村上 孝行

1. はじめに

マフラー性能等確認制度（以下、マフラー確認制度）とは、交換用マフラー市場において、有効な騒音防止性能を有するマフラーが適切に選別される環境を整備すること等を目的とし、マフラーの性能が規制値以下であることが確認されたマフラーに対して「性能等確認済表示」を表示する制度のことである。

当所ではこれまで、当該制度の策定に資する調査研究を行い、制度施行後には、マフラー確認制度を通過し市場に流通するマフラーが、試験時の性能を有したものであるか、抜取り調査を行ってきた。本稿では、これまでに当所の取得したデータを制度施行の前後において比較することにより、マフラー確認制度の導入効果を探ることを目的とする。

2. マフラー性能等確認制度概要

使用過程車の騒音対策については、これまで、車検場での検査や街頭での近接排気騒音試験による取締りが行われてきた。しかし、車検時のみ適正なマフラーへ交換したり、近接排気騒音は規制値以下にも関わらず走行中に大きな騒音を発したりする車両が存在した。また、図1にあるマフラーのように、内部騒音低減機構がビスで止められているだけであるため、容易に取り外すことができるものが存在するなど、交換マフラーに係る対策が不十分であった。

マフラー確認制度は、交換用マフラーに加速走行騒音を有効に防止することを義務付けるべく、平成22年4月より施行された。対象は、平成22年4月1日以降に製造された車両が対象となり、乗車定員11人以上または車両総重量が3.5トンを超える自動車、大型特殊自動車、小型特殊自動車に備える消音器は対象外となる。

マフラー確認制度において実施する試験項目は、TRIAS30の別添40にある加速走行騒音試験のみとなり、その規制値は、82dB（原動機付自転車におい

ては79dB）となっている。図2に、加速走行騒音試験の様子を示すが、試験は図のようにTRIAS30に対応したテストコースでの試験を行うこととなる。なお、加速走行騒音試験の結果が、新型自動車の型式審査時の規制値を超えない場合、マフラー認証番号の末尾に”S”の文字がつき、消音性能の高いマフラーであることを判別可能となっている。この認証番号は、認証済みマフラーに取り付けられるプレートに刻字されており、ユーザーが純正品並みに静かなマフラーを選択可能な形となっている。また、騒音試験とは別に、マフラーの構造を目視にて確認し、内部の騒音低減機構を容易に除去できる機構ではないことを確認



図1 騒音低減機構が容易に取り外し可能なマフラーの例

する必要がある。このため、図 1 に示したようなマフラーは、認められない。



図 2 加速走行騒音試験の様子

3. 調査方法および調査結果

3. 1. 交換用マフラー選定方法

マフラー確認制度以前は、大きく分けて①JASMA 認定マフラー（四輪車用）および JMCA 認定マフラー（二輪車用）、②保安基準適合品、③一般公道の走行不可（主にレース用として販売）の 3 つの区分があった。①JASMA/JMCA 認定マフラーとは、一種の業界の自主基準であり、日本自動車マフラー協会（JASMA）および全国二輪車用品連合会（JMCA）が、それぞれ独自の基準を設け、会員メーカーの商品性能について認定を行ったものである。②および③については、各メーカーの自主判断で商品に記載されていたものである。ここでは、①～③の全てのマフラーを対象とした。表 1 に今回使用した交換用マフラーを示す。

表 1 調査マフラー内訳

車種	制度施行前			制度施行後
	JASMA/JMCA	保安基準適合	一般公道の走行不可	認証マフラー
四輪車	9	9	0	15
二輪車	3	5	3	7

3. 2. 調査結果

結果を図 3 に示す。図は、横軸に加速走行騒音試験の測定値から、各車両に対するマフラー確認制度の規制値を差し引いた値を示し、縦軸には近接排気騒音試験の測定値からマフラー確認制度における規制値を差し引いた値を示している。また、図中の赤線は、それぞれの規制値を示している。この図によると、マフラー確認制度導入前では、加速走行騒音および近接排気騒音とも規制値を超えるマフラーが存在していたが、マフラー確認制度導入後は、加速走行騒音の試験

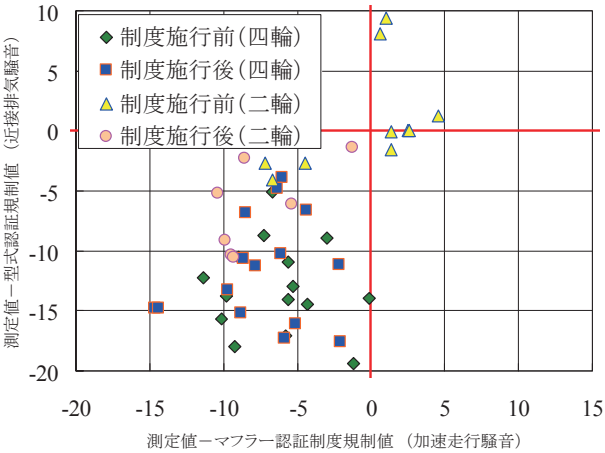


図 3 加速走行騒音および近接排気騒音とマフラー確認制度規制値との関係

が義務づけられたため、加速走行騒音はもとより、近接排気騒音試験の結果も総じて小さくなっていることがわかる。特に、二輪車については、制度導入前後の騒音値の変化が顕著であることがわかる。なお、近接排気騒音の結果が規制値を大幅に超過している 2 本のマフラーは、③一般公道の走行不可であったことから、マフラー確認制度導入前においても、①および②のマフラーについては、近接排気騒音は概ね満たしていたものと考えられる。

4. おわりに

マフラー性能等確認制度について、制度導入による流通マフラーの製品性の変化を調べるべく、交換用マフラーの抜取り調査を行い、性能評価を行った。その結果、マフラー確認制度を通過したマフラーは、制度導入前のものと比べ、加速走行騒音が小さくなっていることが確認された。特に、二輪車において、その効果が顕著に見られた。また、現在、TRIAS30 を改正すべく、新たな加速走行騒音試験について検討中であり、二輪車については、新たな試験法の導入が決定されている。このような中、平成 24 年 4 月に環境省より発行された「今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について（第二次答申）」では、マフラー性能等確認制度の項にて、“二輪車用マフラーについて、騒音試験法の変更を考慮しつつ、必要に応じ騒音上限値等の見直しについて検討する。”とあり、これらの検討が今後行われるものと考えられる。このような中で、当所は、環境省からの委託事業という形で、検討に資する調査研究を行っているところである。

⑨ 交通システムの車両・設備に関わる 安全性評価の標準化について

交通システム研究領域

※林田 守正

廣瀬 道雄

吉永 純

長谷川 智紀

工藤 希

1. はじめに

わが国における軌道系交通システム、およびその車両、設備に関わる技術評価は、国が定める技術基準に準拠するだけでなく、鉄道事業者独自の考えで行われてきた。また安全性については、わが国の鉄道の長年にわたる極めて高度な安全の実績を背景とした評価が行われてきた。しかし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 RAMS や数値管理等の概念に基づく国際規格が成立するようになってきた。本報告では、これまで交通安全環境研究所（以下「当所」という）による車両・設備に関する安全性評価を総括し、国際規格との整合を前提とした評価手法の標準化について述べる。

2. 交通安全環境研究所による安全性評価

2. 1 これまでの経緯

当所は、これまで公正中立な第三者機関（以下「第三者」という）として、先進的な公共交通システムの

実用化、あるいは新技術の導入に際して、各分野や段階における安全性評価を実施してきた。その事例を表1に示す。青字は2000年以前、赤字はそれ以降の評価事例である。

鉄道事業者が既存システムの改良や海外製品の導入を行う際には、所管の運輸局への届出と、それに先立つ安全性の証明が必要となる場合がある。また、全く新しいシステムや技術が導入される際は、開発段階から国土交通省鉄道局がオブザーバ参加し、評価は委員会または第三者が行うケースがある。当所は第三者の一つとして、従来は主にこのような国内向けの安全性評価に携わってきた。これらの安全性評価は主に国内の鉄道事業を対象とするものであり、長年にわたって培われたわが国の鉄道システムの高水準な安全性の実績を背景とし、国際規格を参照、考慮しながらも、国内技術基準への適合や従来と同等以上の安全性の確保を主眼とした評価を行ってきた。

表1 交通安全環境研究所が実施してきた安全性評価事例（索道関係・事故調査は含まない）

	開発段階		実用段階		技術基準、標準仕様策定、評価手法検討に相当するもの
	設計のみ	試作車両・機器あり (単体、試験線による試験)	運用開始前 (実路線での走行試験等)	運用後の改良等	
全体システム (車両・軌道・信号)		・新交通システム ----->→ ・常電磁気浮上鉄道 ----->→ ・リニア地下鉄 ・IMTS(バス型磁気誘導鉄道) ----->→ ・外国製ゴムタイヤトラム ・コスター型軽量軌道システム ・各種新方式交通システム ・海外向けLRT	・アプト式鉄道 ・ガイドウェイバス ・国内空港APM ・ロープ駆動式モノレール ・LRT	・都市鉄道速度向上 ・勾配区間の駅停車 ・ローカル鉄道速度向上	・ガイドウェイバス ・常伝導磁気浮上鉄道 ・地上一次リニア試験装置 ・IMTS ・安全性の定量的評価法 ・外国製ゴムタイヤトラム ・コスター型軽量軌道システム
車両	・小径車輪付LRV用ブレーキ ・新交通車両ブレーキ制御ユニット	・一輪台車 ・軌間可変台車 ・独立回転車輪付LRV ・各種操舵台車 ・新交通システム用新方式台車 ----->→	・海外技術超低床LRV	・車両検査周期見直し ・新規車両導入 ・LRV付属品改良	・VVVFインバータのブレーキ制御 ・地上一次リニアモーター保安設備 ・車両検査周期見直し ・試験、測定国際標準化動向
軌道／構造物				・レール波状摩耗対策 ・リニア地下鉄リニアアクションプレート改良	・グローブ車両システム ・地上輪重／横圧測定法 ・脱線係数の常時観測
機械設備／電力		・モノレール給電線配置変更 ・ホーム可動ステップ	・海外技術LRT用新型軌道 ・輸入摩擦型終端車止め		
信号保安／ 列車制御システム	・改良版電子連動装置 ・空港内APM用列車制御システム ・高速鉄道用空間波方式CBTC ・無線測距方式CBTC ----->→ ・近接通信方式CBTC ----->→ ・CBTCソフトウェア基本構造 ・車輪検知装置 ・電子連動装置輸出先対応 ・電子連動装置機能付加 ----->→	・常伝導磁気浮上鉄道速度計 ・次世代障害物検知システム ・衛星利用ATP閉塞システム ・民鉄向高機能ATS ----->→ ・民鉄向ATC ----->→ ・車載型画像解析応用地上設備予防保安システム(当所開発)	・輸入LRT用信号保安システム ・海外高速鉄道路線信号システム	・踏切制御システム改良	・特殊自動閉塞システム ・無絶縁軌道回路 ・ATC模擬試験 ・衛星測位利用運行管理 ・CBTC
EMC		・常伝導磁気浮上鉄道漏洩磁界	・鉄道車両からの漏洩磁界	・実車フィルタアクトル用遮蔽材	・磁界測定法 ・磁界影響評価 ・交流磁界遮蔽 ・リニアモーター鉄道からの漏洩磁界 ・鉄道の磁界に対するEMC

注) LRV: 次世代型路面電車 LRT: 次世代型路面電車システム CBTC: 無線式列車制御システム APM: 自動運転ゴムタイヤ式輸送システム EMC: 電磁界影響両立性

2. 2. 海外案件の増加

近年、国内メーカによる自社製品の海外展開が活発化し、その際に、国際規格への適合性を要求され、また第三者による認証や安全性評価が必要とされるケースが増加してきた。一方、国内の鉄道事業者は主に国内メーカから調達を行ってきたが、一部ではWTO協定により調達先の海外への開放が義務付けられ、仕様は国際規格に準拠することが求められるような例も増加しつつある。当所の安全性評価も表1に示すように海外案件が増加しており、中でも信号保安システムの設計段階での事前安全性評価が多くを占めるようになっている。従って国内技術の海外展開、および海外技術の導入の両面から、国際規格との整合性を考慮した安全性評価手法の標準化が必要となっている。

3. 安全性評価の要点

3. 1. 鉄道の安全の確保と技術の変遷

一般に、信号保安システムの安全を確保するためにはフェールセーフ性の確保が重要視されてきた。フェールセーフの確保とは、壊れても安全側（停止）に動作するよう設計することである。しかし、近年では、信頼性の確保も重要な視点となり、安全確保の考え方に、予防安全の考え方も取り込まれるようになってきた。予防安全とは、壊れる前に検知して安全側に制御することであるが、これは必ずしも列車を停止させることだけではなく、保守時に部品交換等を行って営業に差し支えないようにすることも含まれる⁽¹⁾⁽²⁾。

すなわち、フェールセーフは、古くから鉄道の安全の基本であり、例えば信号保安装置に多用されてきたリレーの場合、故障や停電の際は機構的に電源が切れる側に機能し、本質的に、システムの危険側動作を防止する構成を取ってきた⁽²⁾。また予防安全は、状態監視システムにより機器状態の変化を検知して故障に至る前に、安全側に制御することを前提として交換を指示する等、未然に故障を防止して、安全性だけでなく信頼性も確保する考え方である。ただし、こうした予防安全技術が本質的に安全かどうかを評価しなければならない。

一方、エレクトロニクス技術の飛躍的な発展に伴い、安全技術もハードウェアからソフトウェアへ、アナログからデジタルへ、有線通信から無線通信へ、地上主体から車上主体へと、安全を確保しつつ省コスト化を図る方向性が主流となっている⁽¹⁾。特に鉄道

の安全の要となる信号保安システムで、電子部品等を多用した電子連動装置やデジタル ATC 等においては、多重化やソフトウェアによるフェールセーフ性を持たせ、さらに最近開発が進んでいる図1のような無線式列車制御システム（CBTC）ではソフトウェアと無線によるフェールセーフ性を担保するような設計となっている⁽¹⁾。したがって、こうしたシステム、技術の評価が重要となってきている。

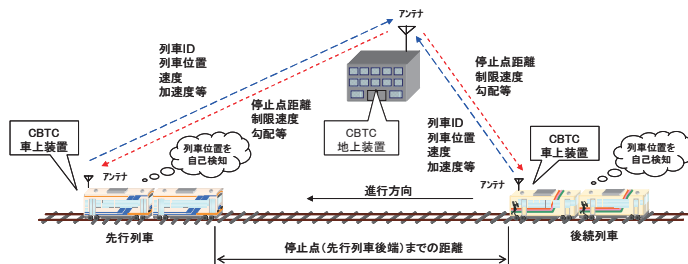


図1 無線式列車制御システム（CBTC）の概念

3. 2. フェールセーフ性の証明

安全技術の評価とは、安全を確保する技術がどの程度安全かを証明することである。安全技術の評価とは、安全技術が本当に安全か、どのように安全であることを証明するか、という点である。日本では、その指標を数値ではなく、これまでの日本の鉄道と同等程度の安全を確保するということで評価してきた。図2に従来の信号保安（従来タイプ）と新しい概念の信号保安（新タイプ）に対する安全性評価の要点を示す⁽²⁾。

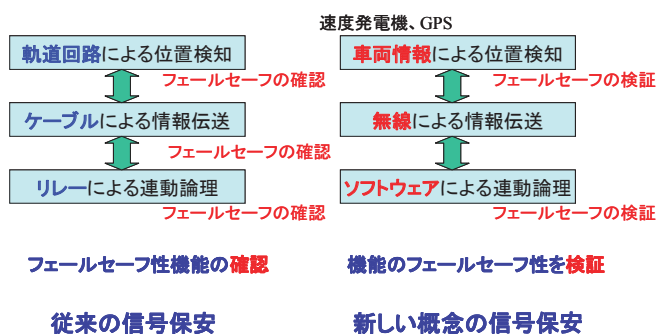


図2 信号保安のフェールセーフ性の評価⁽²⁾

本質的にフェールセーフである軌道回路やリレー等で構成され、長年の実績がある従来タイプでは、各々の機能のフェールセーフ性を確認することが評価の主体である。この評価では、従来並の安全性を確保することがフェールセーフ性を証明することとなる。一方、人手が介在するソフトウェアや、データ化や接続断のリスクを本質的に持つ無線を使う論理で構成される新タイプでは、各機能のフェールセーフ

に対して、日本では、鉄道事故を限りなくゼロにするという考え方が一般的であると思われる。

ただし、わが国の鉄道は設計上も実績でも、上記の SIL4 や欧州規定より桁違いに高い安全性を実現している。したがって当所では、計算上の確率を求めるとともに、SILに拘らずに、日本の鉄道の安全性の実績と比較・評価することで、高水準の安全性を担保するという考えである。

4. 2. 2. IEC62278 (RAMS) との整合

IEC62278 が規定する RAMS は、適用対象システムが、信頼性(Reliability)、可用性(Availability)、保守性(Maintenance)、安全性(Safety)を総合的かつ良好なバランスで維持することを要求する規格である。RAMS のライフサイクルは、図 4 に示すように 14 段階に分かれる。表 1 に示した安全性評価案件のうち、わが国の鉄道技術の海外展開を主眼とした開発段階、特に信号保安／列車制御システムの設計段階における評価は、主に第 1 段階から第 7 段階までに含まれると考えられる。

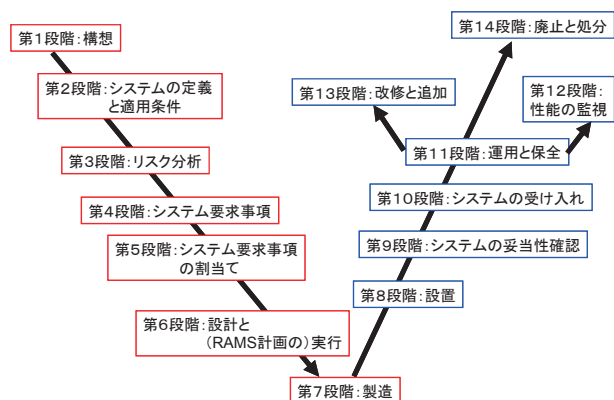


図 4 RAMS に示されるライフサイクルの 14 段階⁽⁴⁾

IEC62278 には、安全性 (RAMS の S) の技術的な概念形成の基となるハザード、リスク等の概念が定義され、図 4 の各段階における安全性業務が定められている⁽⁴⁾。そのため第三者による安全性評価を IEC62278 と整合させるためには、上記の概念や定義を踏まえ、RAMS 各段階に定められた安全性業務と、評価の手順や結果との対応が明確であることが必要と考える。特に第 3 段階でのリスク分析は、場合により他の段階でも繰り返す必要性が示唆されているため、前述の FMEA、FTA も、対象とする段階を明確にする必要がある。また第 6 段階で作成が義務付けられている総合セーフティケース（信号用安全関連電子装置については IEC62425 で規定）は、安全性要求事項に適合すること

を証明するものであるため、それに含まれるべき諸事項と、安全性評価結果の内容との対応が重要であると考えられる。

これに対し、従来のわが国における設計においては、包括的には RAMS の内容をほぼ満たしており、トータル安全性は、規格で規定されている SIL4 以上を実現しているものの、ここで規定されているようなプロセスを手順通り実行しているとは言い難い部分もあった。したがって、今後、国際規格への適合を求められた場合は、手順通りのプロセスの実施、適切な文書管理を含めた安全性評価が求められると考える。

4. 2. 3. その他の国際規格との整合

IEC 規格としては RAMS 以外にもソフトウェア、通信、EMC 等に関する規格と安全性評価との整合は重要である。また多くの IEC 規格の母体となった EN 規格（欧州統一規格）との整合を要求されるケースも見られ、一方、今後は整備が進んでいく鉄道関係の ISO 規格への整合も求められることが予想される。

5. 鉄道認証との関係

これまでは、国内に鉄道認証機関が存在しなかったため、安全性評価が「認証に代わるもの」として求められるケースもあった。今後は安全性評価が認証前の過程として必要とされる場合も含め、その結果が海外にも受け入れられるように、国際規格との整合を図りながら手法の標準化を図っていく必要がある。

6. まとめ

- (1) 交通安全環境研究所が取り組んできた鉄道技術に関する安全性評価の経緯と現況を総括した。
- (2) 鉄道の安全性に関連する国際規格と整合への課題を整理し、わが国の鉄道技術の海外展開に資する安全性評価手法の標準化の方向性を提案した。

[参考文献]

- 1) 水間：安全技術のチェンジ、平成 21 年電気学会産業応用部門大会前刷集 III-143～146 (2009)
- 2) 水間：鉄道における安全技術と FMEA, FTA、交通安全環境研究所研修資料 (2012)
- 3) 田中：鉄道分野の国際標準化活動の動向と日本の取り組み、第 258 回鉄道総合技術研究所月例発表会前刷集 (2012)
- 4) IEC62278 第一版 英対訳版、日本規格協会 (2002)

⑩ 小型レール状態診断装置の開発

交通システム研究領域
日本大学生産工学部
株式会社京三製作所

※森 裕貴
綱島 均
齊藤 嘉久

竹内 俊裕 佐藤 安弘 大野 寛之

1. はじめに

車輪がレールで支持案内されて走行する鉄道にとって、レール側の安全管理は非常に重要である。そのため、事故に至るリスクが顕在化する前に、軌道状況を把握し補修するためには、高頻度で監視することが望ましい。軌道検測車などの検査用車両により、精密な軌道検査が可能になっているものの、コストや要員などの点から走行頻度は非常に制限される。さらに地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方、費用の確保や技術力の維持が難しく、十分な検査が行えない事業者も少なくない。

このような問題に対して、簡便な方法による軌道状態の診断方法の開発が期待されている。その一つの方法として、車両に小型の軌道診断装置を設置し、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。このような車両をプローブ車両¹⁾と呼び、持ち運びが容易で車両と非接続で軌道の状態診断の行える、可搬型プローブ装置を開発²⁾した。鉄道事業者の協力のもと長期間の調査を行い、測定データの再現性、軌道異常の発生箇所の特特定、測定データと軌道状態の相関などを示した³⁾。これらの成果を受け、独立行政法人科学技術振興機構平成23年度研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラムの支援により、日本大学及び株式会社京三製作所と共同で、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の製作に発展させた。

本報告では、長期に渡って軌道状態の継続調査を行った結果の一例について述べるとともに、可搬型プローブ装置の発展型である小型レール状態診断装置の概要について説明する。

2. プローブ車両による軌道診断

2. 1. 可搬型プローブ装置の構成

波状摩耗を検出する騒音計、軌道変位を検出する加速度センサ・レートジャイロ、列車位置を検出するGPS受信機、各センサの信号をコンピュータに入力するアナログ入力ターミナル等で構成される。(図1)

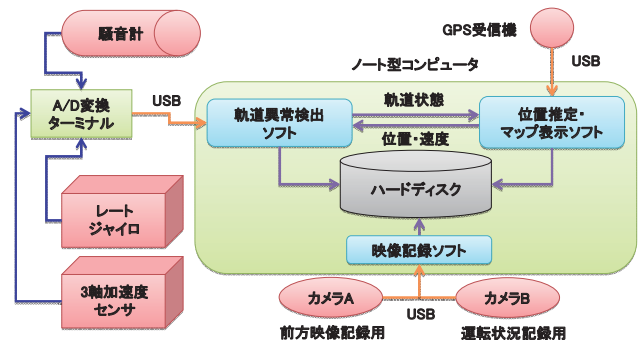


図1 プローブ装置の構成



図2 浮きまくらぎ

2. 2. 軌道異常の発見

プローブ車両は、GPS 情報および加速度のRMS 値を測定することで、路線の中で加速度振動が強くでている区間を特定することができる。RMS 値が高いほど軌道の状態が悪化していると考えられるため、特に大きなRMS 値を計測した場所を現地調査したところ、図2に示すような浮きまくらぎが発見された。

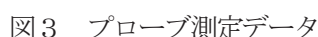
このような浮きまくらぎを放置すると、車両が通過する際のレール沈下によりたわみが発生し、輪重変動が大きくなるなど、安全上大きな問題が発生する。

2. 3. 軌道保守効果の検証

プローブ車両により浮きまくらぎが発生した区間を長期間にわたり計測した結果を図3に示す。この区間については、事業者が適宜軌道保守を行い、その前後でのプローブデータを収集した。

2010 年 1 月初旬にマルチプルタイタンパ（以下マルチと略記）による軌道全線の保守作業が行われた。マルチによる保守後はRMS 値の減少が確認され、軌道

そこで、測定データを鉄道事業者に提供し、追加の保守作業が行われた。作業内容としては、数 m から十数 m に渡って碎石補充と突き固めが行われた。保守後は継続してプローブ車両による調査を行ったが、RMS 値が急増せず、半年を過ぎても安定していることがわかる。



これまで使用してきた可搬型プローブ装置は、市販の汎用モジュールを組み合わせた試作品であるため、安定動作に対する信頼性を確保することが課題であった。さらに、設置スペースが限られていることから小型化が望まれる。一方、軌道診断を必要としている地方鉄道においては、測定・診断の専門員を用意することは難しい。そのため、鉄道事業者においては軌道状態を診断する装置を購入あるいは借用し、測定データを診断機関へ送り、診断結果を受け取るといった運用が望ましいといえる。このことから、診断装置に求められるのは、容易に測定が開始され、データを取り出せるなど、インタフェースの改善が望まれる。

開発された小型レール状態診断装置を図4に示す。内

本報告では、これまでに蓄積した軌道状態診断技術の知見を基に、地方鉄道向けの小型で信頼性の高いレール状態診断装置を実現したので、その概要について述べた。本研究の最終的な目的は、各鉄道事業者を導入したレール状態診断装置から得られるデータを統一的に解析、管理することにより、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とりいれられているが、事業者間での知識や情報の共有がより活発に行われれば、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。

- 1) H. Tsunashima, A. Matsumoto, H. Nakamura and H. Yamashita : Fundamental Studies on Development of Probe-Vehicle System for Advanced Railway Inspection, The 13th Transportation and Logistics Conference pp. 241-242, 2004
- 2) 小島崇, 綱島均, 松本陽, 水間毅, 車上測定データによる軌道の異常検出 (第 2 報, プローブシステムの開発と検証), 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 754, No. 75, pp.1798-1805, 2009
- 3) 森裕貴 ほか: 交通研フォーラム 2011 講演概要, pp.109-110

⑪ ロープウェイ・リフトにおける事故分析と対策

ー いす式搬器からの落下事故対策 ー

交通システム研究領域

※佐藤久雄

千島美智男

日岐喜治

1. はじめに

ロープウェイは、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、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。

一方、「線路上落下事故」の発生状況については、現状では必ずしも十分把握されているとは言えない状況にあり、より詳細な分析と取り得る対策の一層の検討が必要と考えられる。

本報では、線路上での乗客のいす式搬器からの落下事故の発生状況等に関するより詳細な分析を実施した結果、および本結果から考えられる事故防止のための方策について考察した結果について報告する。

2. 同種の事故の発生状況分析結果とその特徴

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。ここでの同種の事故は、「事故の主要な原因が同じで、事故の種類も同じ事故」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。

分析結果の特徴的な点として、(1)同種の事故の発生件数が高いこと(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、発生頻度が最多の事故となっている「線路上落下事故」の低減が非常に重要になると考えられ、詳細な分析を実施し再発防止策を重点的に講じていく必要がある。

3. 「線路上落下事故」の発生状況分析

1999年度から2008年度までの過去10年間に発生した事故248件に対して同種の事故分析を実施した中で、最多の発生頻度となった「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した。

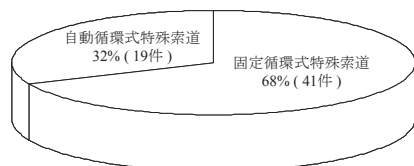
「線路上落下事故」における特殊索道の方

表1 過去10年間(1999-2008)における同種の事故の発生状況

No.	事故の種類	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	(-)
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	(-)
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)	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

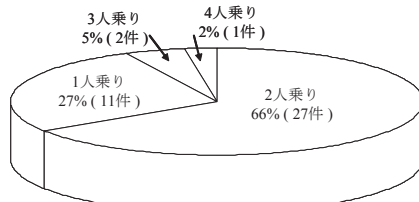
※1: 搬器にハンガーおよび握索装置(あるいは接続装置)を取り付けた状態をいう。 ※2: ()内は子供の件数

※3: 全事故件数(248件)に対する発生頻度(5%以上を記載)



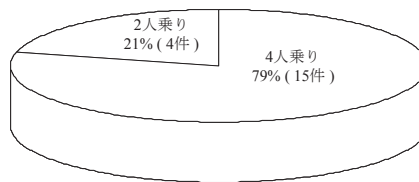
線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故の総件数：60

図1-1 「線路上落下事故」における特殊索道の方式別割合



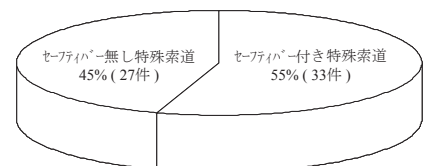
線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故における固定循環式特殊索道の事故の総件数：41

図1-2 「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



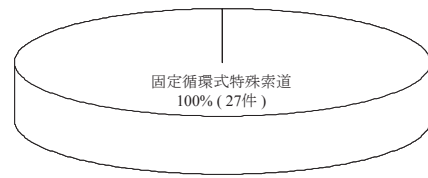
線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故における自動循環式特殊索道の事故の総件数：19

図1-3 「線路上落下事故」における自動循環式特殊索道の搬器種別割合



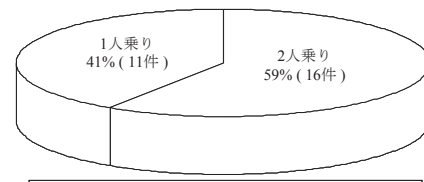
線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故の総件数：60

図2 「線路上落下事故」におけるセーフティバー有無の割合



線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故におけるセーフティバー無し特殊索道の事故の総件数：27

図3-1 「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方式別割合



線路上で乗客がいす式搬器から落下する事故におけるセーフティバー無し固定循環式特殊索道の事故の総件数：27

図3-2 「線路上落下事故」におけるセーフティバー無し固定循環式特殊索道の搬器種別割合

式別割合を図1-1に、固定循環式における搬器種別割合を図1-2に、自動循環式における搬器種別割合を図1-3に示す。特殊索道の方式別割合では、固定循環式における事故が圧倒的に高く約68%を占め、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く約66%を占め、自動循環式における搬器種別

割合では、4人乗り搬器の事故が最も多く約79%を占める結果となっている。

また、セーフティバー有無による事故の割合を図2に示す。セーフティバー付きの場合の事故の割合が高く約55%であり、セーフティバー無しの場合は約45%となっている。

3. 1. セーフティバー無しの場合の発生状況

「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方式別割合を図3-1に、セーフティバー無し固定循環式における搬器種別割合を図3-2に示す。セーフティバー無し特殊索道の方式別割合では、全て固定循環式における事故となっており、セーフティバー無し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く約59%を占める結果となっている。

また、セーフティバー無し特殊索道の事故における子供の事故の割合を図4に、事故発生場所別割合を図5に示す。セーフティバー無し特殊索道における子供の事故の割合が高く約56%、事故発生場所別割合は、「線路中間」が最も多く約59%、「出発後」

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)	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)	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)

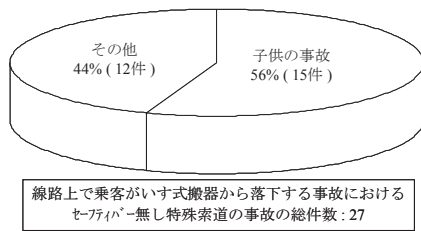


図4 「線路上落下事故」におけるセーフティバー無し特殊索道の子供の事故割合

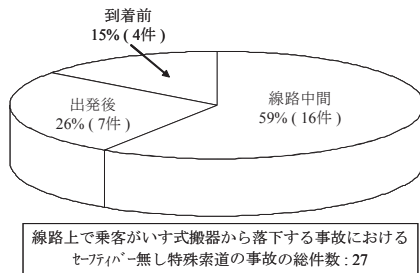


図5 「線路上落下事故」におけるセーフティバー無し特殊索道の事故発生場所別割合

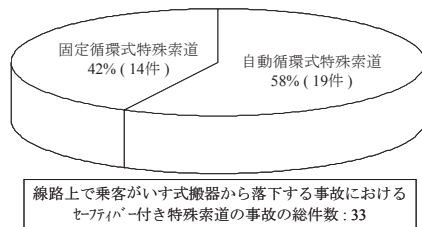


図6-1 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き特殊索道の方式別割合

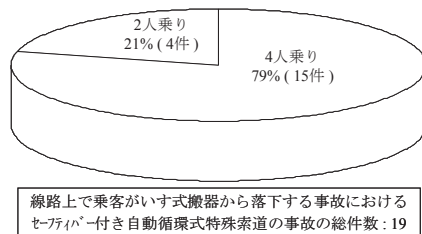


図6-2 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き自動循環式特殊索道の搬器種別割合

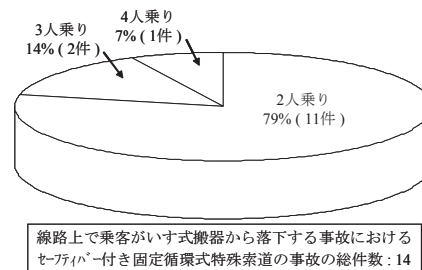


図6-3 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き固定循環式特殊索道の搬器種別割合

約26%、「到着前」約15%となっている。

セーフティバー無しの場合の事故の発生状況を表2に示

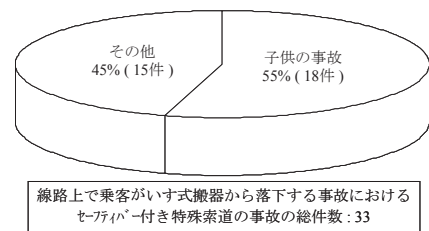


図7 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き特殊索道の子供の事故割合

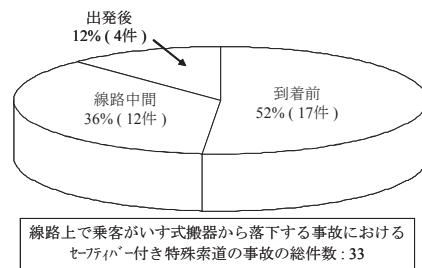


図8 「線路上落下事故」におけるセーフティバー付き特殊索道の事故発生場所別割合

す。事故は、乗車後・線路中・降車準備時において「バランスを崩す」ことによりいす式搬器から落下するケースが最も多く発生しており、セーフティバー無しの場合の全事故件数の約70%を占めている。

3. 2. セーフティバー付きの場合の発生状況

「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方式別割合を図6-1に、セーフティバー付き自動循環式における搬器種別割合を図6-2に、セーフティバー付き固定循環式における搬器種別割合を図6-3に示す。セーフティバー付き特殊索道の方式別割合では、自動循環式における事故が高く約58%を占め、セーフティバー付き自動循環式における搬器種別割合では、4人乗り搬器の事故が圧倒的に多く約79%を占め、セーフティバー付き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圧倒的に多く約79%を占める結果となっている。

また、セーフティバー付き特殊索道の事故における子供の事故の割合を図7に、事故発生場所別割合を図8に示す。セーフティバー付き特殊索道における子供の事故の割合は、セーフティバー無しの場合と同様に高く約55%、事故発生場所別割合は、「到着前」が最も多く約52%、「線路中間」約36%、「出発後」約12%となっている。

セーフティバー付きの場合の事故の発生状況を表2に示す。この場合の事故の発生状況は、「セーフティバー下ろさず」が最も多くなっており、セーフティバー付きの場合の全事故件数の約27%、「セーフティバー上げ時・バランス崩す」約21%、「セーフティバーと座面の隙間から落下」約9%などとなっている。

4. 「線路上落下事故」の再発防止

分析結果に示されるように、「線路上落下事故」における特徴として、(1)特殊索道の方式別割合では、固定循環式における事故が圧倒的に多く発生しており、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、(2)セーフティー有無による事故の割合は、セーフティー付きの場合の方が高くなっていること、(3)事故の発生状況は、セーフティー無しの場合、乗車中に「バランスを崩す」ことにより発生しており、セーフティー付きの場合は、「セーフティー下ろさず」「セーフティー上げ時・バランス崩す」などにより発生していること、(4)子供の事故の割合は、セーフティー有無を問わず高いことなどがあげられる。

セーフティー有無による事故の割合が、セーフティ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、セーフティーの機能・操作性等の向上が求められていることによると考えられる。

「線路上落下事故」の発生状況分析結果に基づき、ハード面およびソフト面から考えられる事故防止のための方策例を表3に示す。

セーフティ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、セーフティー・専用ジャケット・シートベルト等の導入が有効な方策と考えられる。また、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（正しい乗車方法の啓蒙）」、「係員の対応の改善（乗車後の監視体制の徹

底)」等が有効な方策と考えられる。

セーフティー付きの場合においては、出発後に「セーフティー下ろさず」、到着前に「セーフティー早く上げ」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、「セーフティーの自動開閉機構の導入」等が有効な方策と考えられる。また、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（正しいセーフティー操作位置、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ー操作の監視体制の徹底）」等が有効な方策と考えられる。

また、セーフティー付きの場合において、線路中間で、子供が「セーフティーと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ーへの構造変更」等が有効な方策と考えられる。

5. まとめ

過去10年間における「線路上落下事故」60件について、発生状況等に関するより詳細な分析を実施した結果、および本結果から考えられる事故防止のための方策例について報告した。

今回の分析結果をもとに、過去の事故を教訓として、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

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	・セーフティー、専用ジャケット、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	・セーフティー、専用ジャケット、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	・セーフティー、専用ジャケット、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 ・セーフティー、専用ジャケット、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	・セーフティー、専用ジャケット、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	セーフティー下ろさず	・セーフティーの自動開閉機構の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティー操作位置、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ー操作の監視体制の徹底）
7		線路中間	セーフティー下ろさず	・セーフティーの自動開閉機構の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティー操作位置、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ー操作の監視体制の徹底）
8			乗客の不注意		・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ーへの構造変更	・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	セーフティー上げ時・バランス崩す	・セーフティーが緩やかに上がる機構の導入	・セーフティ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ー操作の監視体制の徹底）
11			セーフティー上げ時・非常停止による落下	・前後方向の動揺減衰機構の導入	・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			セーフティー上げ気付かず・バランス崩し	・セーフティーが開くことを知らせる（音、振動等）機構の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（セーフティー上げ時、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ー操作の監視体制の徹底）
13			セーフティー早く上げ	・セーフティーの自動開閉機構の導入	・乗客への注意喚起方法の改善（正しいセーフティー操作位置、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ー操作の監視体制の徹底）
14			乗客の不注意		・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）

⑫ 省エネルギー運転、回生効果最大化のための オンボード運転支援装置の開発（第2報） ー営業線における動作確認試験についてー

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

竹内俊裕 工藤 希 林田 守正

1. はじめに

鉄道は自動車等に比べて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。しかし、特に地方部では少子高齢化による沿線の人口減少や乗用車の利用増加により、輸送人員は昭和62年から減少の一途をたどり、その結果平成12年以降23路線532kmもの鉄道路線が廃線を余儀なくされた。廃線に至る理由の一因として、鉄道のランニングコストの負担が大きいたことが挙げられる。そこで、少ない輸送量でも鉄道の環境・エネルギー面での優位性が確保できるよう、一層の省エネルギー化を図る必要がある。

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。

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開発を鉄道建設・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」の平成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」において行うこととした。

本論文では、開発を行っているオンボード運転支援装置について、営業線における動作確認試験により有効性を検証した結果を示す。

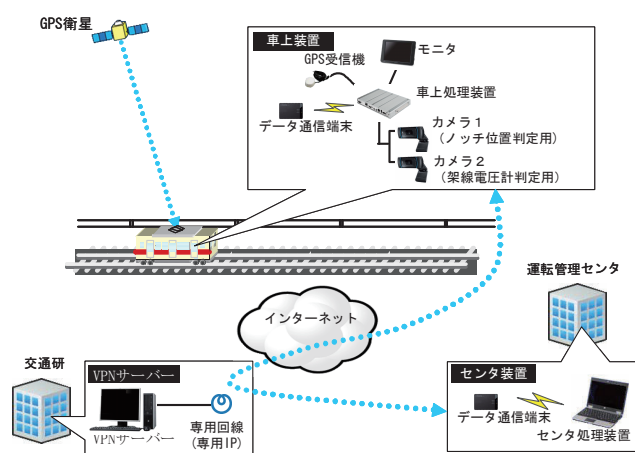


図1 オンボード運転支援装置の構成

2. オンボード運転支援装置の概要

2. 1. 装置構成

オンボード運転支援装置の装置構成の概要を図1に示す。本装置は、低コストでぎ装可能な装置とするため汎用技術を用いることとし、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や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。

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 通信により仮想的な専用回線を作り出しことにより、セキュアな通信回線を確保した。

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、また、省エネルギー効果をわかりやすく示すため、次駅到着時にエネルギー削減量を示すこととした。

3. オンボード運転支援装置の営業線における動作確認試験

今回開発を行っているオンボード運転支援装置について、昨年度は車庫線において試験を行ったが、今年度は営業線にて試験を行った。営業線での試験は新京成電鉄(株)において試運転列車を用いて実施した。

営業線における現車試験では、オンボード運転支援装置に東京大学が検討をしている制動支援パターン(図2)、及び千葉大学が検討している架線側の負荷状況の推測方法を組み込み、昨年度の車庫線での試験で課題となったカメラアングルによる画像検知性能への影響に対する対策(図3)の有効性の確認と、運転士の意見を反映した支援画面の受容性確認を行った(図4)。

今回試運転列車に用いた車両は2ハンドル(力行と制動の2つのハンドルがあるもの)のため、制動時方法として、支援装置の画面に扇形で制動のステップ位置を示すことにより、運転中において直感的にわかりやすい支援画面を作成した。

4. まとめ

今回、オンボード運転支援装置の開発を昨年に引き続き実施し、営業線における支援装置の動作確認を行った。その結果、当初想定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の確認が得られた。

今後は本支援装置に従った運転を実施した場合の省エネルギー効果についてさらに検討を進め、当初目的としていた省エネルギー効果が得られるよう、運転支援パターンの調整等をしていくとともに、他の路線への適用の可能性についても検討を進めていく予定である。

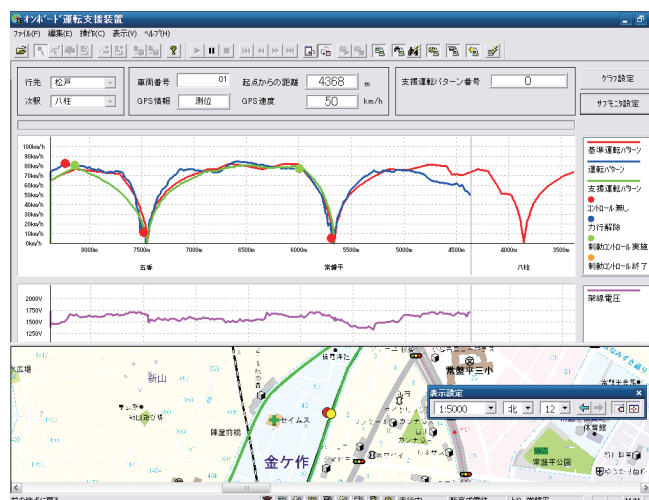


図2 支援パターンと実際の運転パターン
(五香一常盤平間)

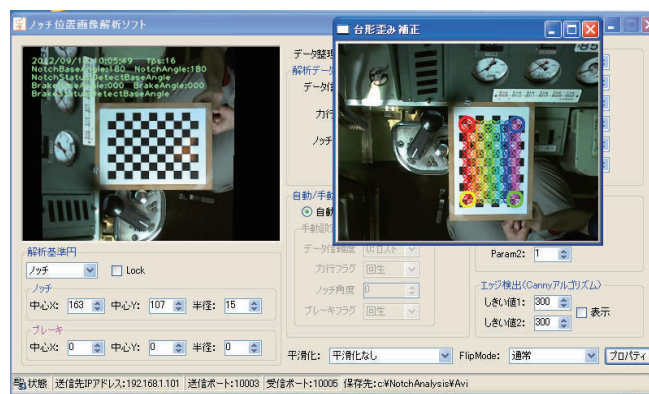


図3 台形補正等を用いたカメラアングル影響対策



図4 制動支援実施中の支援画面

⑬ モーダルシフト促進に向けた 公共交通利便性向上のための技術的検討

交通システム研究領域

※大野寛之

林田守正

吉永純

工藤希

1. はじめに

モーダルシフトを促進するために公共交通の利用を拡大するためには、公共交通の魅力を現状より高めることが必要だと考えられる。そのための方策として、速達性の向上や、ドア・トゥ・ドアに近い利便性を実現させることが考えられる。

都市内軌道系公共交通の一例である路面電車の速度向上への取り組みや、軌道系交通とバス交通の長所を兼ねた新しいシステムの技術開発等を紹介する。

2. 路面電車・LRTの利便性向上策

2. 1. 軌道車両の速度向上に向けた動き

公共交通の魅力を高める手法の一つとして、表定速度を上げ到達時分を短縮する方法がある。道路信号にしたがって運行する軌道車両（路面電車・LRT）については、優先信号を導入することで表定速度を上げる方策があり、一部事業者で採用されている。

近年開発された LRT 車両については、鉄道線への乗り入れも考慮して、既存車両と比較して高速走行が可能となっている。しかし、現在は軌道車両の併用軌道上における最高速度は軌道運転規則により 40km/h に制限されており、新型の車両でも車両性能を生かした速度向上により表定速度を高める手法をとることはできない。

最高速度の制限を変更するには、変更してもこれまでと同等以上の安全性が担保されることを示す必要がある。国土交通省では路面電車の速度向上の可能性を調査するため、平成 22 年より「路面電車の速度向上に関する調査研究」を開始し、交通安全環境研究所がこの調査業務を受託した。具体的内容は、路面電車が運行する路線環境をシミュレーション技術の活用により再現し、速度向上に伴う事故発生等のリスク分析及びその対応策等の安全性の評価手法を確立するための調査検討を行うものである。

2. 2. 速度向上のリスク分析

事故発生リスク分析を行うために、インシデント事象についての検討を行った。対自動車とのインシデントパターンとしては、自動車と路面電車の走行経路が交錯するパターンとして、図 1 に示すパターンが挙げられる。同様に対歩行者のインシデントパターンについても、電停や交差点部における歩行者導線について検討を行った。こうしたインシデントパターンを運転シミュレータ上で再現し（図 2）、軌道事業者の運転士に実際に操作して貰い、主観評価により事故に至る恐れが無い状態（レベル 0）から事故寸前（レベル 8）まで、9 段階で入力する方法で評価した。

また、自動車側の視点でもシミュレーションを行い、タクシー運転手を対象に同様のリスク評価を実施した。これまでの試験により一定の成果は得られているが、今後は軌道事業者の運転士の参加者数をさらに増やすとともに、自家用車利用の一般ドライバーも参加した試験を実施する予定である。

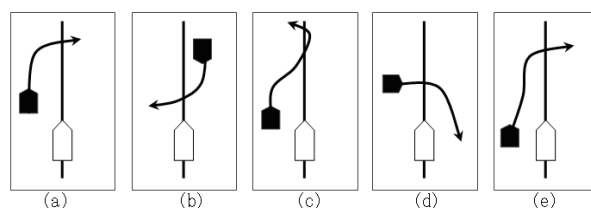


図 1 対自動車とのインシデントパターン例



図 2 シミュレータ上のインシデント発生状況

3. バイモーダル交通システム

3. 1. システムの概要

バイモーダル交通システム（以下「BMT システム」という）は、輸送需要が少なく広域な路線にも適する、低コストでフレキシブルなシステムである。バス車両を基本とし、専用路の連結走行と一般道路の単独走行のデュアルモード機能を有する。専用路では、非接触式の誘導自動操舵と車両連結走行を行い、非常に軽いインフラ負担と輸送力、速達性、定時性の両立が可能である。BMT システムの技術要素を図 3 に示す。

3. 2. 開発の状況

平成 16～17 年度に NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の補助事業として、また平成 20～23 年度に国土交通省の受託事業として開発が行われ、機能検証が行われた。後者のシステムでは超低床車両や光学式誘導装置を採用する等、システムの合理化、簡素化が図られた⁽¹⁾⁽²⁾。昨年度は主に急曲線の連結走行（図 4）や悪条件下での信頼性に関する機能検証が行われ、実用化への技術的な見通しが得られた。

3. 3. 実用化に向けた課題

実用化に当たっては試作車両で得た知見を基に、上記の開発に引き続いて営業可能なプロトタイプの開発を進める必要がある。プロトタイプの開発を進めるに当たっては、実運用段階において求められる以下の課題にも取り組むことが前提となる。

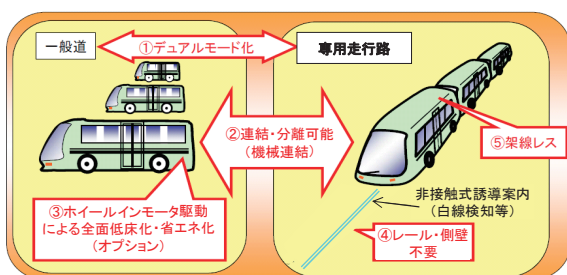


図 3 BMT システムの概念



図 4 BMT の急曲線における連結走行実験

法令面の課題としては、主に既存自動車交通との共存に関する道路交通関連の法令や関係省庁との調整が必要である。道路上における動力車同士の連結走行は前例が無いので、実運用を前提とした技術的仕様、要件を整理したうえで、技術基準案を策定することが必要と考える。一方、専用路に鉄軌道の技術基準を適用する場合には、鉄軌道の安全確保の考え方（閉塞、速度制限等）との整合を図ることが必要と考える。

事業採算面での課題を考えると、交通事業者は、需要、採算性を明確にしたいとのニーズを有していることに留意し、従来の鉄道、路線バスと比較して費用対効果が優れるメリットを活かし、自治体の街づくりと連携しながら、地域の総合交通体系の中に組み込むことが重要である。またバスメーカーの開発意欲を高める観点においても、利便性が高い公共交通機関による需要の喚起が不可欠と考える。

4. 超小型モビリティ

公共交通を補完する末端交通の担い手として、超小型モビリティの導入機運が高まってきている。国土交通省も平成 24 年に導入に向けたガイドラインを公表するとともに、車両の規格について検討を始めている。また、自動車メーカーもこれに対応して、新たな車両モデルの開発を進めている。交通安全環境研究所でも超小型モビリティが交通流に与える影響を交通流シミュレーションで検証する等の研究を行っており、今後も行政と連携を取りつつ、導入に向けた研究を進めていく予定である。

5. おわりに

交通安全環境研究所ではこれまで、各種公共交通システムの安全性評価を行ってきたが、引き続き新たなシステムの技術評価を進め公共交通の活性化に貢献したい。また、新たな車両の 카테고리 についての技術基準化等についても貢献したいと考えている。

参考文献

- 1) 佐藤ほか：連結・分離可能なバイモーダル・ハイブリッド交通システム開発プロジェクト、平成 18 年度交通安全環境研究所発表会、pp. 105-108（2006）
- 2) 林田ほか：バスを基本とする連結・分離可能なバイモーダル交通システムの開発、交通安全環境研究所フォーラム 2011、pp. 27-30（2011）

⑭ 鉄道用磁界測定機の開発

交通システム研究領域	※長谷川 智紀	竹内俊裕	工藤 希	林田 守正
理事	水間 毅			
日本大学	山本 靖宜			
羽野製作所	竹内 信次郎			
小野測器	星 靖洋			

1. はじめに

電子機器の発展に伴い、現在では日常のあらゆるところで電気・電子機器が使われるようになった。その結果、それらの機器から放射される電波雑音が他の機器に与える影響および他の機器から受ける影響や、放射される電磁界が人体へ与える影響等が注目されるようになり、近年では鉄道システムから放射される電波雑音や電磁界の影響についても取り上げられるようになった。

鉄道システムでは、変電所施設をはじめ、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（EMF）が人体へ与える影響について、国際規格や防護指針という形で提案されてきた。日本でも独自に鉄道からの電磁界を測定し、測定法の検討を行ってきた。

このような状況の下、当研究所では、鉄道における磁界測定に注目し、磁界測定のセンサとして交流磁界のみ測定可能なサーチコイル方式ではなく、直流磁界から交流まで測定可能な優れた特性を有するフラックスゲート方式について検討を進め、昨年制定された IEC/TS 62597¹⁾へフラックスゲート方式を盛り込むことができた。

一方、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「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²⁾、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 $200\mu\text{T}$ 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

改正され、変電所、電車線、電気機器設備等において、人体への健康影響に関する規制が平成 24 年 8 月 1 日から施行され、新規に施工される施設に適用されることとなった。³⁾

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、国際規格に準拠し、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については、実用製品として提供されていないことが課題となっている。

このため、本方式の磁界測定機がメーカーから供給され普及が可能となるよう、開発を担うメーカーと協調し、実現のための研究を進めているので、IEC/TS 62597 との関係も含め、報告する。

2. IEC/TS 62597 とは

IEC/TS 62597 とは、邦題を「鉄道環境における電子及び電気機器による磁場レベルの人体暴露に関する測定手続き」とする、鉄道設備に関連する磁界の測定手順に関する国際規格であり、平成 23 年 10 月に発行された。

本規格は、測定手順を規定している規格であり、規制値については各国で定めることとしている。

本規格の測定手順の特徴としては以下のものが挙げられる。

- ・測定対象は磁界とする。
- ・対象周波数は DC から 20kHz とする。
- ・測定センサ方式は、交流磁界においては最大 100cm^2 のサーチコイル方式、又はフラックスゲート方式で 3 軸測定が可能なものとする。
- ・サンプリング周波数は 40kHz 以上とする。
- ・測定方法として、車両内であれば、Surface Method では、床面と必要に応じて 0.5、1.0、1.5m

の距離、Volume Method では、0.3、1.0、1.5m の距離を測定する。

3. 鉄道用磁界測定機の概要

3. 1. 装置構成

鉄道用磁界測定機は、多種多様の状況で測定することが求められる。特に車内での測定の場合、測定対象となる車両の力行、惰行、制動といった条件が時々刻々と変化することから、一連の動作をすべてカバーする必要がある。また、IEC/TS 62597 では静磁界～20kHz という幅広い帯域を測定する必要があることから、サンプリング周波数についても、規格に記載されているように 40kHz 以上が必要となる。

磁界センサとしては当研究所が羽野製作所とともに検討を進めてきたフラックスゲート方式のセンサを用いることにより、静磁界と交流磁界を同時に測定することとした。

一方、記録装置については、センサ開発時には、開発を目的とした特殊な測定用ソフトウェアを用いていたため、速報性の観点では課題が多かった。そこで、先に述べた幅広い帯域が測定可能で、必要なサンプリング周波数が得られ、磁界測定用として速報性を考慮に入れた計測器構成について、小野測器とともに検討を行い、鉄道用磁界測定機として実現を試みた。

実現を試みている測定装置の概略図を図1に、センサ部分を図2に示す。

3. 2. 測定装置の特徴

本磁界測定機の特徴は以下の通りである。

- ・センサがフラックスゲート方式であることから、静磁界～20kHz まで測定可能。
- ・センサが 3cm 角程度の大きさの立方体であるため、被測定箇所直近における測定が可能
- ・リアルタイム FFT 機能を有することから、測定と同時に周波数解析を行うことが可能
- ・測定結果は接続している PC へ取り込まれるため、測定可能時間の制限は受けない
- ・同じく PC へ取り込まれるため、測定終了とともに測定結果の解析が可能
- ・規制値をデータベースとして取り込むことができ、周波数解析結果との比較をその場で確認することが可能

これらは、限られた時間、条件下で測定しなければならない鉄道における磁界測定では、有効な特徴といえる。



図1 磁界測定機概略図

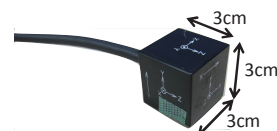


図2 磁界センサ部のセンサ部分

3. 3. 課題

本磁界測定機は、以下の課題が存在するため、今後、機能追加により対応していくこととしている。

- ・リアルタイム FFT 及び後処理 FFT の結果が X、Y、Z 軸の各々の結果となっていることから、合成値を表示する機能を追加する。
- ・対象とする規制値や参考値に対し、どの程度の余裕度を持っているか%表示する機能を追加する。

4. まとめ

本稿ではIEC/TS 62597に準拠した鉄道用磁界測定機について検討を行い、その概要について紹介した。今後鉄道に限らず、磁界への注目が高まると考えられることから、当研究所としては、より簡単に、生じている現象を忠実に測定できる磁界測定機について検討を進め、世の中のニーズへ対応していきたいと考える。

参考文献

- 1) IEC/TS 62597 Ed.1.0, "Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure", 2011-10
- 2) 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
- 3) 電磁界情報センターホームページ：
http://www.jeic-emf.jp/whats_new/20120709.html

⑮ 高齢ドライバーの歩行者被視認性とその改善

交通システム研究領域

※青木義郎

自動車安全研究領域

森田和元，関根道昭，田中信壽

1. はじめに

重大事故は夜間運転時において起こりやすく，夜間に発生する死亡事故は死亡事故全体の中で半数近くを占める．また夜間事故の特徴として対歩行者の事故の割合が多く，特に高齢ドライバーにおいてその傾向は顕著になる．こうした夜間時における歩行者事故の増加は，ドライバーの視覚認知能力の低下による要因が大きいものと考えられる．茨城県警の事故調査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（前方 40m が視認可能な光学設計）を使用しており，そのうち走行ビーム（前方 100m が視認可能な光学設計）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⁽¹⁾．夜間時の歩行者事故の低減を目指すためには，ドライバーの歩行者に対する視覚認知特性を明らかにし，危険な状況の抽出とその改善方法の検討を進めていくことが重要である．

本研究では実験参加者による評価実験により，歩行者の被視認性が前照灯の配光やドライバーの年齢層によりどのように変化するかを調べた．また歩行者の被視認性の定量化を行った．

2. 夜間運転時の交通事故

自動車が第 1 当事者となった歩行者の死亡事故について ITARDA（交通事故総合分析センター）報告などの調査⁽²⁾⁻⁽⁶⁾を実施したところ，以下のことが明らかになった．

- 昼夜別では夜間の歩行者死亡事故の比率が高い．（図 1）
- 夜間時は，特に高齢ドライバーによる歩行者死亡事故の比率が高い．（図 1）
- 歩行者死亡事故のうち 72% は歩行者横断中に発生しており（2011 年中），単路（横断歩道外）を横断中のケースが約 50% を占め最も多い（図 2）．
- 夜間時は「右側から」の横断者の死亡事故の比率が高い．（図 3）

夜間時，特に右側からの横断歩行者事故が多い要因としては，歩行者側では車両到達時間の認知エラー⁽⁶⁾，

そして自動車側では，すれ違いビームの配光特性があげられる．すれ違いビームは，対向車へグレア（眩しさ）を抑制するように設計されているため，右側歩行者が視認しづらくなるものと考えられる⁽⁷⁾．

本研究では，前照灯による視認性の変化を調べるため実験参加者による評価実験を行うものとした．

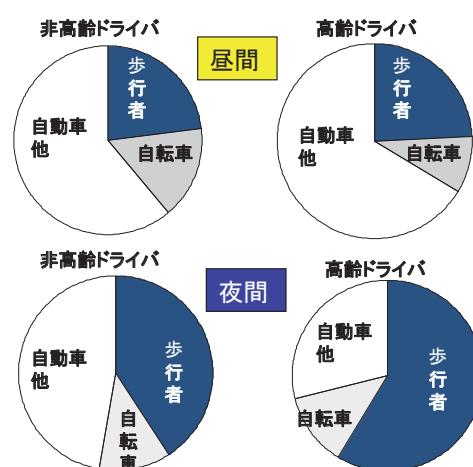


図 1 自動車が第 1 当事者となった死亡事故の被害者の比率

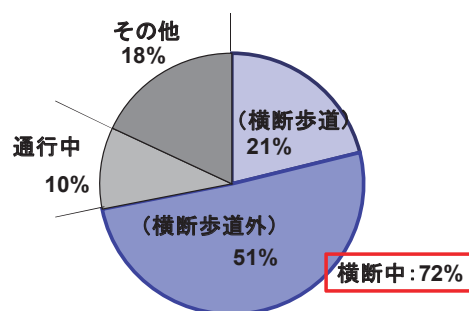


図 2 歩行者死亡事故における歩行者行動別割合

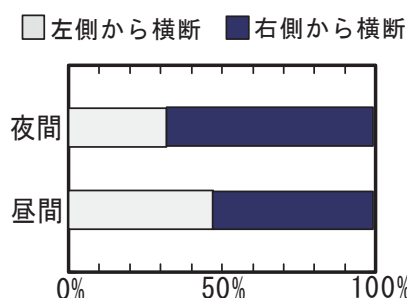


図 3 歩行者横断事故の方向別比率

3. 歩行者視認性実験

本研究では、夜間運転時のドライバの視界が前照灯によりどのように変化するかを明らかにするために、暗室及び夜間屋外において実験参加者による評価実験を行った。

3. 1. 屋内視認性実験

3. 1. 1. 視認対象物

歩行者は、プロジェクタライトによるスクリーン上への投影画像（図4参照）により模擬する。



図4 歩行者表示モデル

3. 1. 2. 視認対象物（歩行者）の大きさ

視認対象となる歩行者の見かけ上の大きさは、視角（高さ方向）で最小20分、最大4度と条件により変化させた。なお視角は、歩行者の身長160cm、歩車間距離は30～150mを想定し設定した。実験参加者は歩行者画像が投影されたスクリーンから6m離れた位置で観測評価（図5参照）を行うものとし、縮尺率からスクリーン上に映る人体の見かけ上の全長を算出し、設定を行った。



図5 観測状況

3. 1. 3. 背景輝度及びコントラスト

CIE（国際照明委員会）で規定されている路面の水平面照度、3lx（交通量の少ない住宅地区）～20lx（交通量の多い商業地区）に基づき（路面の反射率は15%で完全拡散）、この条件の路面輝度を背景輝度として採用し、0.14, 0.33, 0.96cd/m²と設定した。

背景と歩行者の輝度コントラストは逆シルエットで0.01～0.5と設定した。

3. 1. 4. 実験参加者

実験参加者は、運転免許保有者20名（若齢層10人、高齢層10人）である。なお、実験参加者は外部から派遣されており、当研究所の実験倫理規定に基づき実験を開始する前に内容の説明を行い、実験に参加することの同意を得た。若齢層の平均年齢は33歳、高齢層の平均年齢は68歳。視力は若齢層平均（左0.98, 右0.98）、高齢層平均（左0.98, 右0.90）とほぼ同じであった。

3. 1. 5. 視線方向

人体表示モデルに対して、中心視または周辺視となるように設定した。周辺視の場合にはスクリーン中央の白い点を注視してもらい、そこから視角5度程度離れたスクリーン右上に歩行者画像を提示した。

3. 1. 6. 蒸発現象

対向車の前照灯を想定したグレア光源を近接した評価実験も実施した（図6参照）。グレア光源の設置位置は歩行者画像の20cm左（60m換算で2mを想定）に設置し、角膜照度は0.1lx（すれ違いビーム相当）になるように設定した。

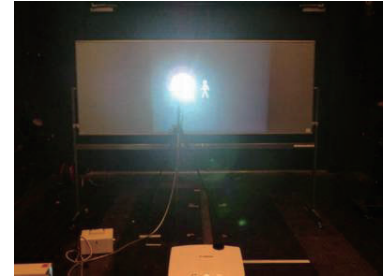
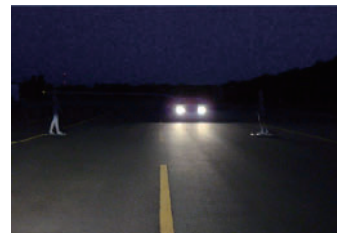


図6 蒸発現象の評価実験

3. 2. 屋外視認性実験

3. 2. 1. 前照灯の点灯状態

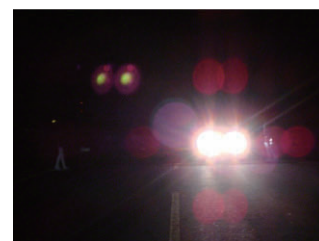
実験参加者が乗車する車両（自車両）はすれ違いビームまたは走行ビームの点灯を行った。対向車はすれ違いビーム、走行ビームの点灯または消灯を行った。



(a)自車両:すれ違いビーム
対向車:すれ違いビーム



(b)自車両:走行ビーム
対向車:すれ違いビーム



(c)自車両:すれ違いビーム
対向車:走行ビーム



(d)自車両:走行ビーム
対向車:走行ビーム

図7 前照灯による歩行者の視認性評価実験

3. 2. 2. 対向車及び歩行者の設定条件

対向車の位置は、自車両（実験参加者車両）からの距離50mまたは100mと設定した。

歩行者位置は、進行方向については自車両から距離25m～120mの位置に、横断方向については左側歩道境界線～右側歩道境界線に設定した。歩行者はグレー色（模擬マネキン、反射率は0.28）とした。

3. 2. 3. 実験参加者

実験参加者は、運転免許保有者 12 名（20 代～50 代、平均年齢 38 歳）とした。

4. 実験結果

4. 1. 屋内視認性実験

4. 1. 1. 背景輝度による視認性の変化

実験結果から歩行者がちょうど見えなくなる背景と歩行者との輝度比（コントラスト閾値）を算出し、背景輝度や歩車間距離などとの関係を調べた。その結果を図 8 に示す。なお、コントラスト閾値は、実験参加者の中央値を算出した。

背景輝度の条件や歩車間距離の条件によりコントラスト閾値は変化する。背景輝度が低下すると、視認性は低下するため、その分コントラスト閾値も高くなることが示されているが、コントラスト閾値は、0.05 が一般的に使用されている。今回のような夜間の暗い条件に十分に整合せず、背景条件が暗くなるほど大きな違いが出ることが明らかになった。

なお、背景輝度が高い(0.96cd/m^2)場合は年齢層による差はほとんど無いが背景輝度が低い(0.14cd/m^2)場合は高齢層のコントラスト閾値が高くなり視認性が低下している。夜間暗い道路条件ほど高齢層は若齢層と比較して歩行者を視認しにくいと考えられる。

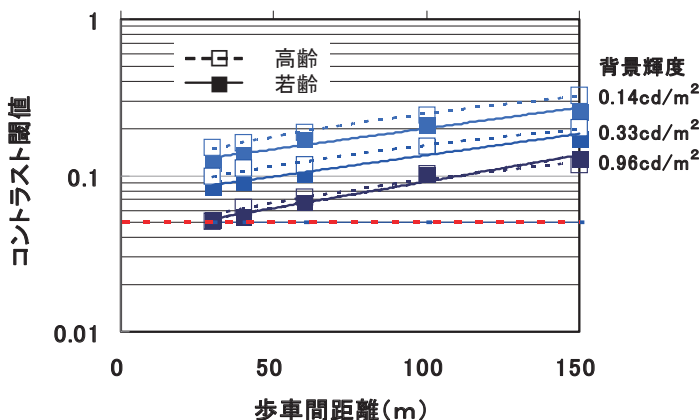


図 8 背景輝度や年齢層によるコントラスト閾値の変化

コントラスト閾値 E_t と、歩車間距離 R (m) 及び背景輝度 L (cd/m^2) との関係式を重回帰分析により求めた結果を以下に示す。

①全員 : $\log(E_t) = -0.915 + 0.00280R - 0.443L$

②若齢者 : $\log(E_t) = -0.971 + 0.00293R - 0.400L$

③高齢者 : $\log(E_t) = -0.869 + 0.00271R - 0.480L$

(重相関 R はいずれも 0.97)

これらの解析結果からも、若齢層より高齢層の方が、背景輝度がコントラスト閾値（歩行者の被視認性）に及ぼす影響が大きいことがわかる。

4. 1. 2. 周辺視での視認性の変化

注視点の違いが歩行者の被視認性にどのように影響するのかを実験結果から求めた。周辺視における年齢層による視認性の違いを図 9 に示す。なお、背景輝度は 0.33cd/m^2 の条件である。

図 9 の結果と図 8 の背景輝度 0.33cd/m^2 の条件を比較すると、高齢層の場合には周辺視において特に視認性が低下しやすいことがわかる。暗い夜道の歩行者の飛び出しには、高齢ドライバーは対応しづらくなることが推測され、十分な明るさが要求されるものと考えられる。

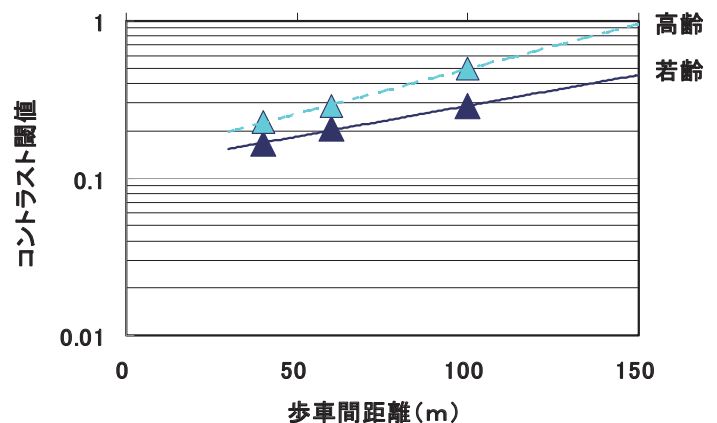


図 9 周辺視におけるコントラスト閾値の変化

4. 1. 3. 近接グレア光源による見え方の変化

近接する光源（対向車の前照灯を想定）の影響により歩行者の被視認性がどのように変化するのかを求めた。その結果を図 10 に示す。なお、背景輝度は 0.33cd/m^2 、歩車間距離は 60m である。

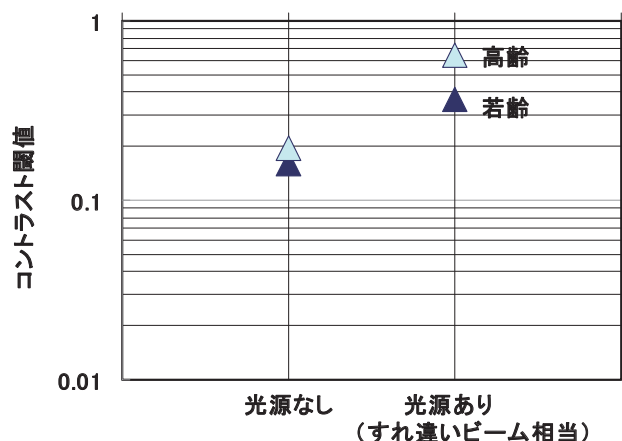


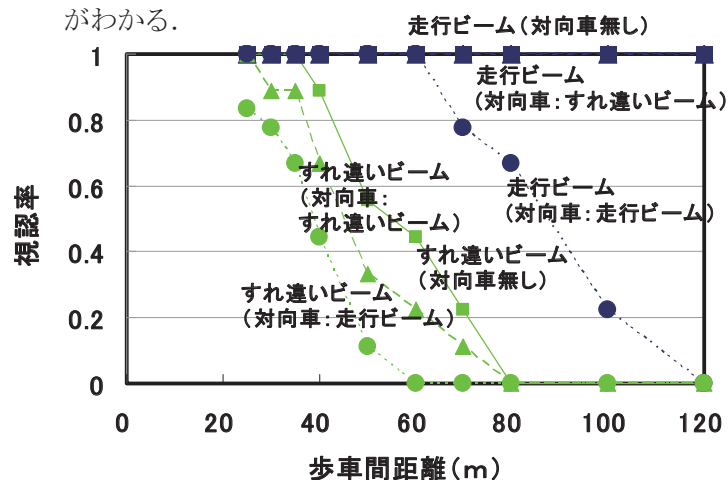
図 10 近接光源によるコントラスト閾値の変化

すれ違いビーム相当の光源でも近接する場合には視認性は低下することがわかる。特に高齢者においては顕著に視認性が低下し、蒸発現象が発生しやすいといえる。

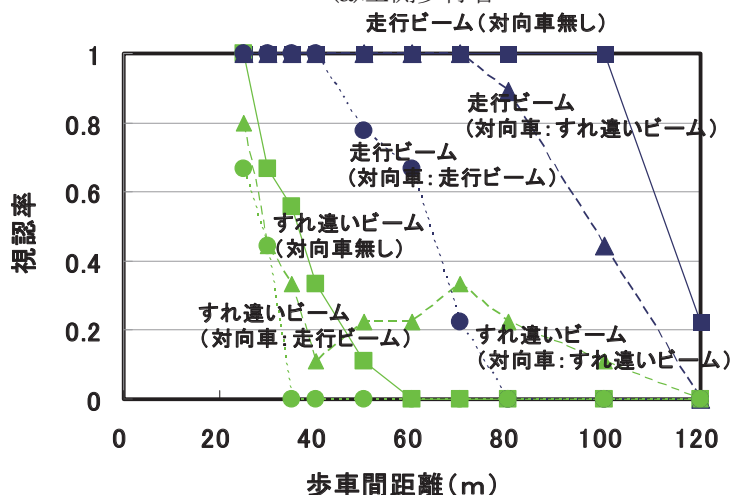
4. 2. 屋外視認性実験

自車両及び対向車が、すれ違いビームあるいは走行ビームの場合、歩行者の被視認性がどのように変化するか(図 11 参照)を実験した。なお、対向車の位置は自車両から 100m 離れている場合である。

自車両の前照灯の種類(すれ違いビームまたは走行ビーム)により視認率が大きく変化するが、それだけでなく対向車の前照灯の種類によっても視認率が大きく変化する。走行ビームを使用すると、その対向車のドライバの視認率は大きく低下する。また、右側歩行者の方が視認率の低下が大きく、特に自車両すれ違いビーム使用時において視認率が低下しやすいことがわかる。



(a)左側歩行者



(b)右側歩行者

図 11 前照灯による視認性の変化

5. 最後に

本研究では実験参加者による評価実験により歩行者の被視認性が前照灯の配光やドライバの年齢層によりどのように変化するのかを調べた。また、歩行者の視認限界となる各条件でのコントラスト閾値の定量化を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 背景輝度が高い(0.96cd/m^2)場合は年齢層による差はほとんど無いが、背景輝度が低い(0.14cd/m^2)場合は高齢層のコントラスト閾値が高くなり視認性が低下する。夜間暗い条件ほど高齢層は特に歩行者を視認しづらくなる。
- (2) コントラスト閾値 E_t と、歩車間距離 R (m) 及び背景輝度 L (cd/m^2) との関係式を求めた結果、コントラスト閾値と歩車間距離や背景輝度の関係が定量的に明らかになった。
- (3) 高齢層の場合には周辺視において夜間の視認性は低下しやすい。
- (4) すれ違いビーム相当の光源でも歩行者に近接する場合には、その歩行者の被視認性は低下する。特に高齢者においては顕著に視認性が低下する。
- (5) 右側歩行者の方が視認率の低下が大きく、特に自車両すれ違いビーム使用時において視認性が悪化しやすい。

今後も被験者実験や CG シミュレーションにより各種自動車灯火器の評価・改善を行う。また今回の定式化されたコントラスト閾値の成果は予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) への活用を図り安全性の定量的な評価を目指す。

<参考文献>

- (1) 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/ba ck_99.html
- (2) 三井：科学警察研究所報告交通編, Vol.36, No.1, pp. 53-69, (1995)
- (3) 警察庁交通局：平成 23 年中の交通事故の発生状況 (2009)
- (4) ITARDA INFORMATION87, (2011)
- (5) ITARDA INFORMATION83, pp.1-12, (2010)
- (6) 関根, 松井, 青木, 及川, 水戸部：高歩行者事故予防に向けた高齢者の行動特性と道路横断タイミングに関する基礎調査, 交通研フォーラム 2012 講演概要 (2012)
- (7) 青木：自動車技術会論文集 (2009) 40-2, pp.567-572

⑯ チャイルドシートの側面衝突試験方法に関する調査

自動車安全研究領域

※田中 良知

細川 成之

山口 大助

松井 靖浩

1. はじめに

2001 年の道路交通法改正によりチャイルドシート (Child Restraint System : 以下 CRS) の装着が義務化され、子供乗員の車両乗車中の安全は大きく向上している。しかしながら、CRS の安全性能に関する基準 UNECE Regulation No.44 に沿っ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。

交通事故において側面衝突事故は前面衝突事故に次いで乗車中の子供の死亡重傷割合が高いことが指摘されており、欧州では CRS に側面衝突事故対策を織り込む要望が消費者団体より出されている。現在、国連の場において議論されている CRS の新しい基準に側面衝突試験を新規導入することが合意され、その検討が進められている。

CRS の衝突試験はスレッド試験機を用いて行われる。スレッド試験機には乗員 (ダミー) を搭載した台車 (スレッド) を衝突時の加速度で射出する加速式と、乗員を搭載した台車を剛体壁などに衝突させる減速式の 2 種類ある。欧州では減速式が主流であるため、新規導入の試験方法は減速式スレッド試験機を中心に検討が行われている。一方日米では加速式が主流となっており、わが国の認証機関である当研究所も加速式スレッド試験機を使用して試験を実施している。このため、減速式と加速式、方式の違うスレッド試験機を使用したときの試験結果の同等性についての検証が必要となっている。

今回、加速式スレッド試験機での CRS 側面衝突試験の実施可能性の確認と問題点の調査を目的として、(1)実車側面衝突実験とスレッド実験を比較して、実際の衝突現象が模擬できているかの確認、(2)現在提案されている基準案の側面衝突試験条件を満たすことが出来るか、(3)加速式スレッド試験機と減速式スレッド試験機で試験の厳しさに差が無いか、(4)現在提案されている試験方法で問題が無いかの 4 点について調査を実施した。

2. 側面衝突スレッド試験方法

2. 1. 試験条件

現在検討されている側面衝突試験方法の試験条件では、ドアとトロリー (減速式スレッド試験機において台車を牽引する部分) の相対速度及びドアとシートの相対侵入量のみが定められている。図 1 に相対速度の要件を示す。図中のコリドーとは、時間によって変化する速度や加速度の許容値の上限と下限の線で囲まれた領域を指す。この試験ではドアとシートの相対速度がコリドー内に収まる必要がある。一方、ドアとシートの相対侵入量は $250 \pm 50\text{mm}$ である。

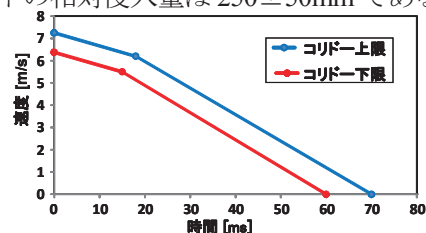


図 1 相対速度に関する試験条件 (コリドー)

2. 2. 試験装置

図 2 に加速式スレッド試験機を利用した CRS 側面衝突試験装置を示す。この装置ではスレッド上に可動シートを備えたレールを設置し、シートは同じくスレッド上に設置したアルミハニカムからの入力で動く。ドアはスレッドに固定されており、ドアの動きをスレッドで、シートの動きをアルミハニカムでそれぞれコントロールする。



図 2 CRS 側面衝突試験装置

2. 3. 試験方法

図 3 に試験装置によるドアとシートの速度時間履歴を示す。ドアパッド面がシート端と一致した時を $t=0$ と定義している。ドアを一定速度で動かし、シートを速度をコントロールして、ドアとシートの相対速

度がコリドー内に入るように調整している。

図4に $t=0$ の時の試験装置の模式図を示す。ドアはスレッドにより動かされ、シートへの入力アルミニウムによりコントロールしている。

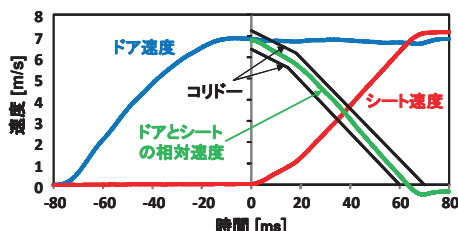


図3 スレッド装置速度時間履歴

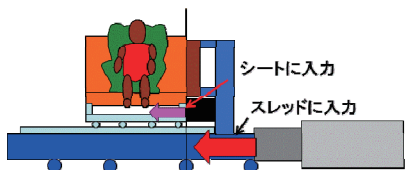


図4 試験装置模式図 ($t=0$)

3. 実車実験との比較

3. 1. 実車実験方法

今回の CRS 側面衝突スレッド実験により、実車で側面衝突の状況の再現可能性を確認した。

比較に用いた実車実験は現在の側面衝突試験の基準である UNECE Regulation No.95 の条件で行った。実験車両は小型 Hybrid 乗用車である。実験では後席ドア及び反衝突側後席サイドシルの加速度を測定した。

図5に実験の状況を示す。後席に ISOFIX 固定ユニバーサルタイプの前向き CRS を設置し、Q3s ダミーを座らせて実験を実施した。



図5 実車衝突実験状況

3. 2. 実験結果比較

図6に実車実験と第2章の方法に基づくスレッド実験のドア及びシートの加速度の時間履歴を示す。加速度波形はほぼ一致しており、図2の試験装置は実車の側面衝突実験を模擬可能であることを確認できた。

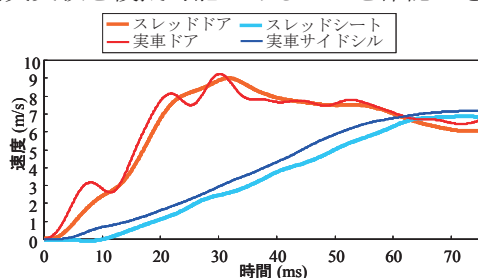


図6 加速度時間履歴

図7にスレッド実験及び実車実験でのダミー頭部加速度の時間履歴を示す。ドア及びシートの加速度がほぼ同等であるにもかかわらず、頭部加速度には大きな差が見られた。これは、今回のスレッド実験で用いたドアのパッド材が実車のものと異なっており、その違いの影響が大きいと考えられる。

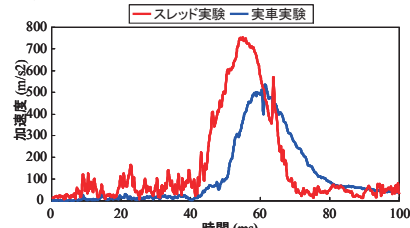


図7 ダミー頭部加速度比較

4. スレッド試験機違い比較

4. 1. 減速式スレッド試験機

現在提案されている試験条件は、欧州の減速式スレッド試験機を用いた調査により確認が行われている。このため、加速式スレッド試験機で試験を行った場合に、その厳しさが同等であるかの確認が必要である。そこで、海外研究機関より減速式スレッド試験機での実験データ入手し、加速式スレッド試験機により試験条件同一での比較実験を実施した。

図8に減速式スレッド試験機での実験の様子を示す。この実験では、ドアは地上に固定されており、スレッド上の固定シートに取り付けられた CRS 及び子供ダミーがそのドアに衝突する方法で実験を行っている。

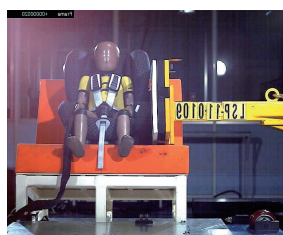


図8 減速式スレッド試験機による実験の様子

4. 2. 実験結果比較

図9に加速式及び減速式スレッド試験機でのダミー頭部加速度の時間履歴を示す。試験機の違いによらず、ダミーの頭部加速度はほぼ同等であり、スレッド試験機の違いによる影響は見られなかった。

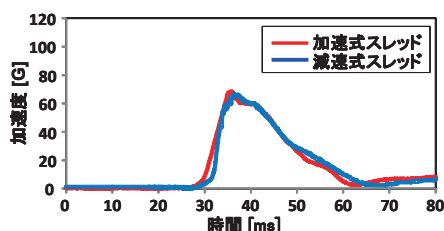


図9 ダミー頭部加速度比較

5. 試験条件検証

5. 1. 相対速度条件調査

現在提案されている試験条件は、ドアとシートの相対速度及びドアとシートの相対侵入量の2つの条件により規定されている。そこで、相対速度は同一でドアの速度が異なる2つの条件で実験を行い、ダミーの傷害値に対する相対速度の影響を調査した。

図10に比較する2条件のドアとシートの速度時間履歴を示す。2条件とは、(1)ドアの速度が一定でシートを移動、(2)シートは移動せずに相対速度の試験要件に合わせてドアの速度のみが変化、である。ドアの速度が一定の場合が減速式スレッド試験機と比較して傷害値が同等となる条件である。どちらの条件も相対速度はコリドー内に収まっており、相対速度はほぼ同等であった。

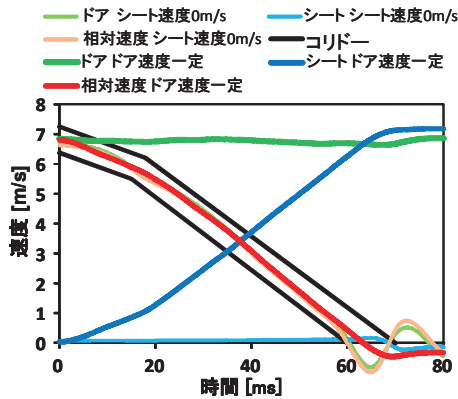


図10 速度時間履歴

図11にダミー頭部加速度の時間履歴を示す。試験条件であるドアとシートの相対速度がほぼ同等であるにもかかわらず、頭部加速度は大きく異なっている。よって、ドアとシートの相対速度のダミー傷害値への寄与度は小さいと考えられる。

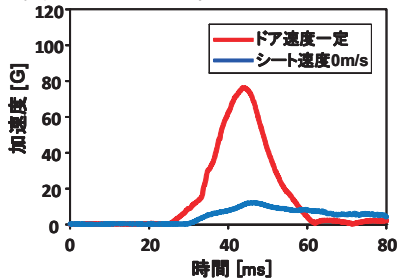


図11 頭部加速度時間履歴

5. 2. ドア侵入量調査

試験条件であるドアとシートの相対侵入量を提案されている試験条件の250mmと200mmの2条件で実験を行い、ダミーの傷害値に対する相対侵入量の影響について調査した。今回、ドアとシートの相対侵入量を変更した場合、ドアとシートの相対速度が変わるた

め、相対速度も異なる。ドアの初期速度は同じとした。

図12にドアとシートの速度時間履歴を示す。どちらの条件もドアの速度は一定でほぼ同等であった。図13にドアとシートの相対侵入量の時間履歴を示す。試験ではシートの移動をアルミハニカムにより行っており、ドアが最大侵入に到達後、アルミハニカムからのリバウンドによりシートが加速され、侵入量が減少する。

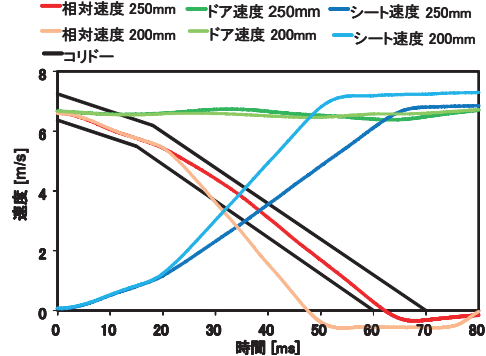


図12 速度時間履歴

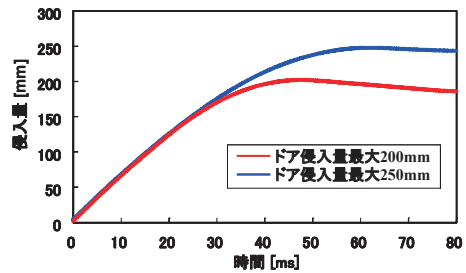


図13 ドア侵入量時間履歴

図14にダミー頭部加速度の時間履歴を示す。試験条件であるドアとシートの相対侵入量が異なるにもかかわらず、頭部加速度はほぼ同等であった。よって、今回の実験条件では、ドアとシートの相対侵入量のダミー傷害値への寄与度は小さいと考えられる。

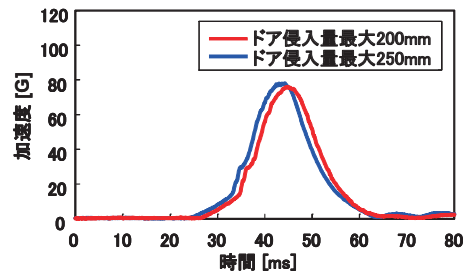


図14 頭部加速度時間履歴

5. 3. ドア地上基準速度条件調査

ダミー傷害値への寄与度が大きいパラメータを明らかにするための調査として、ドアの地上基準速度(地上から見たドアの速度)を6.6m/s、6.0m/s、5.3m/sの3条件で実験を実施した。

図15にドアとシートの速度の時間履歴を示す。侵入量は250mmで同じとしたため、相対速度の傾きは

それぞれ異なっている。

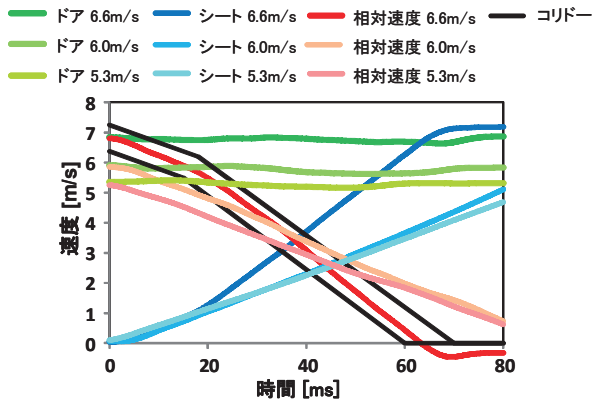


図 15 速度時間履歴

図 16 にダミー頭部加速度の時間履歴を示す。ドアの速度によってダミー頭部の加速度は変化しており、ドアの地上基準速度のダミー傷害値への寄与度は大きいと考えられる。衝突時にダミーはドアの速度まで加速され、速度が速いほど必要なエネルギーは多くなり、その分ダミーへの入力が大きくなることから、傷害値も大きくなると考えられる。

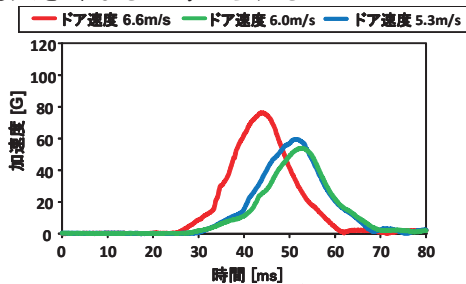


図 16 頭部加速度時間履歴

5. 4. 試験条件検討

相対速度条件及びドア侵入量の調査より、CRS 側面衝突の試験条件のうち、ドアとシートの相対速度が同一の試験条件であっても、傷害値が異なる結果となった。また、ドアの侵入量以外が同一の試験条件で、傷害値は同等の結果があることが分かった。これらのことから、提案されている試験の条件には不足があることが確認された。また、ドアの地上基準速度の傷害値への寄与度が大きいことが分かった。

図 17 にドアの地上基準速度を変えた条件におけるドアとダミー速度の時間履歴を示す。先の考察の通り、ドアの速度が速いほどダミーの最大速度も速くなっていた。ダミーの最大速度が速いほど、ドアからダミーに与えられるエネルギーが大きく、そしてダミーに与えられる荷重も大きくなるため、結果として傷害値が悪化したと考えられる。このことより、ドアとシートの相対速度ではなく、ドアとダミーの相対速度が傷害値を決める条件であると考えられる。

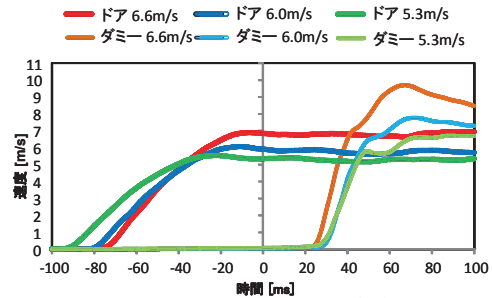


図 17 ドア及びダミーの速度時間履歴

以上より、試験条件においてドアとダミーの相対速度を定めるための条件の追加が必要と考えられ、そのためにはドアの地上基準速度の条件の追加が必要である。また、衝突時にドアの速度を保つには、ドアの侵入量が最大となる時間までドアの速度を保てば十分であることも明らかとなった。

これらのことから、加速式スレッド試験機では、ドア速度が図 18 に示すコリドーの範囲内に収まっていれば、ドアとシートの相対速度が図 1 に示したコリドー内に収まり、減速式スレッド試験機においてドアが固定された条件での試験と同等の厳しさが保たれるといえる。

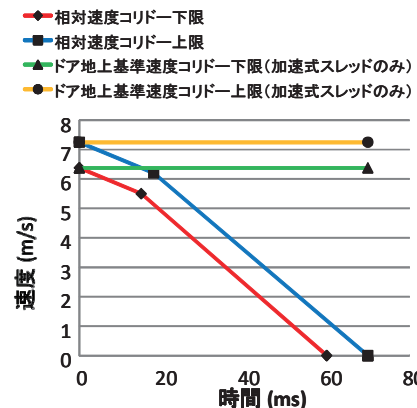


図 18 追加すべき試験条件（ドアの地上基準速度）

6. まとめ

今回の調査において、現在検討中の CRS 側面衝突試験方法が実際の衝突現象を模擬できていること、スレッド試験機の種類によらず試験条件が同等であれば、試験の厳しさもほぼ同等となることを確認できた。ただし、現在提案されている試験条件だけでは、試験条件を厳密に規定できない場合があることも確認した。

試験の厳しさを同等とするためには条件の追加が必要であり、その追加条件の案を作成し、基準案を検討する国連 GRSP の本会議にて発表した。これについては今後、国連 WP29 会議へ正式に提案予定となっている。

⑰ 実車側面衝突実験時のチャイルドシートに搭載された子供乗員の挙動に関する調査

自動車安全研究領域

※細川 成之 田中 良知 松井 靖浩

1. はじめに

交通事故において側面衝突事故は前面衝突事故に次いで乗車中の子供の死亡重傷割合が高いことが指摘されている。一方で、衝突安全基準は大人乗員については前面衝突と側面衝突の規定があるものの、子供乗員に対しては前面衝突基準のみとなっている。このため、現在、国際会議の場で子供乗員の側面衝突試験方法について議論が行われているところである¹⁾。

本研究では、実車を用いた3種類の側面衝突実験を実施し、後席に設置したチャイルドシート上のダミーの挙動や傷害値について比較・検討を行った。

2. 実車衝突試験

2. 1 実験概要

実験は、現行の側面衝突安全法規として実施されている試験方法をベースに衝突台車（以下、MDB という）及び衝突位置を変えた条件で実施した。なお、現行の側面衝突試験はMDBを50km/hの速度でMDB左右中心軸を前席SRP（Seating Reference Point：ダミー着座位置の参照点）に合わせて直角に衝突させ、前席に設置した平均的体格の成人男性ダミーの傷害値で評価している。本調査では、衝突される車両（以下、側突車という）の後席衝突側にISOFIXタイプのチャイルドシート（以下、CRSという）を設置しCRSに着座させた3歳児ダミーの挙動を高速カメラで撮影した。また、頭部傷害基準（HPC）、胸部加速度、腰部加速度等を計測し比較を行った。

2. 2. 実験条件

表1に実験条件の概要を示す。それぞれの実験で使った側突車は同型同年式の国産の小型車である。衝突形態は、1）側面衝突法規形態、2）側面衝突法規のMDBを用い衝突位置を後軸付近とした形態、3）次期側面衝突試験方法として検討されている試験形態であり、AE-MDB（Advanced European・MDB：欧州が主体となり開発している衝突台車）を使用し衝突位置を前席SRPの後方250mmに衝突させる形態

の3形態とした。

表1 実験条件

	Test 1 (法規試験条件)	Test 2	Test 3
衝突形態			
衝突速度	50.1 km/h	50.1 km/h	50.1 km/h
衝突位置	衝突車中心と側突車のSRPが一致	衝突車中心が側突車の後軸中心より25mm前方	衝突車の中心が側突車のSRPより250mm後方
衝突車仕様	ECE/R95-MDB	ECE/R95-MDB	AE-MDB Ver. 3. 10
衝突車質量	948kg	948kg	1500kg
側突車形状	ハイブリッド車	ハイブリッド車	ハイブリッド車
側突車質量	1311 kg	1311 kg	1311 kg
前席ダミー	ES-2	ES-2	ES-2
後席ダミー	Q3s	Q3s	Q3s

SRP：Seating Reference Point

MDB：Mobile Deformable Barrier

AE-MDB：Advanced European Mobile Deformable Barrier

3. 実験結果

3. 1. 側突車の車体変形状況

図1に実験実施前後における側突車の車体変形状況を示す。計測はJNCAP（日本の自動車アセスメント）の側面衝突試験法に従い、成人男性ダミーの腰部高さと胸部高さにあいてSRPを中心に車体前後方向に対して行った。後席付近の変形量は、Test 3が最も大きかった。これはTest 3が後席乗員への加害性も考慮して策定された試験法であるためと考えられる。Test 1とTest 2は同じMDBを使用しているが、Test 2の方が車両後方に衝突しているため後席乗員付近の変形量が大きくなっている。

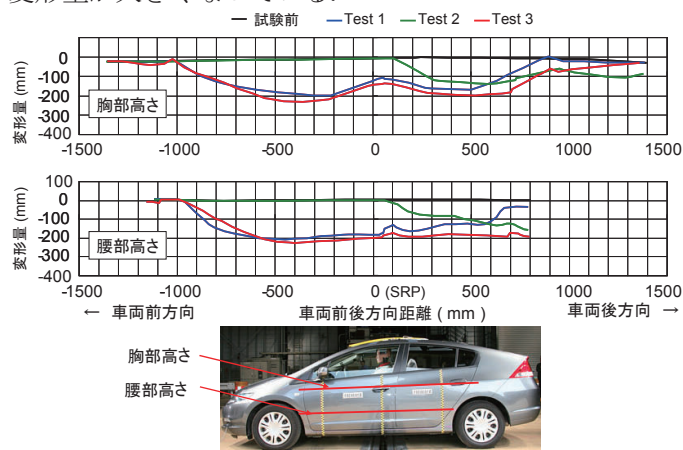


図1 実験実施前後における側突車の車体変形状況

3. 2. 側突車の運動

図2に衝突時のダミーの挙動を理解するために Test 1 における車両、CRS 及びダミー各部の衝突方向の速度履歴を示す。側突車は衝突直後から動き出していることがわかる。CRS は ISO アンカーで車体と結合されているため車両とほぼ同時刻に動きだしている。一方で、ダミーは衝突直後は自らの慣性力により静止状態であるが、30ms 以後に CRS と衝突することにより短時間にドア速度まで加速されることがわかる。この状況は、Test 2 と Test 3 でもほぼ同様であった。

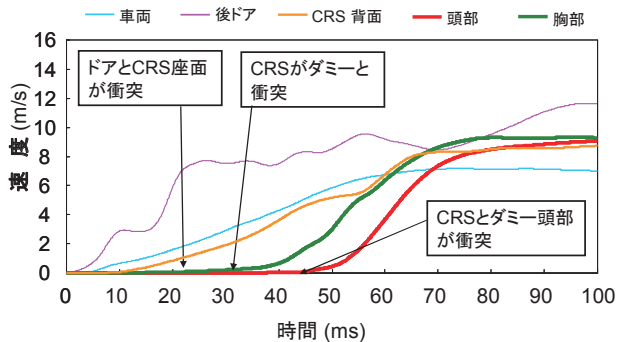


図2 側突車の速度時間履歴 (Test 1)

3. 2. ダミーの挙動及び傷害値

図3に車室内の高速カメラで撮影した子供ダミーの衝突時の挙動を示す。ダミーの挙動を時系列で見ると、まずドアのアームレストが CRS の座面付近と衝突し、さらにダミーの胸部が腕部を介して CRS 及びドアと衝突している。ダミー頭部については最後に CRS の側面部材を介してドアの上端付近に衝突している。いずれの実験においても、ダミー頭部が CRS から逸脱して直接ドアと衝突することはなかった。

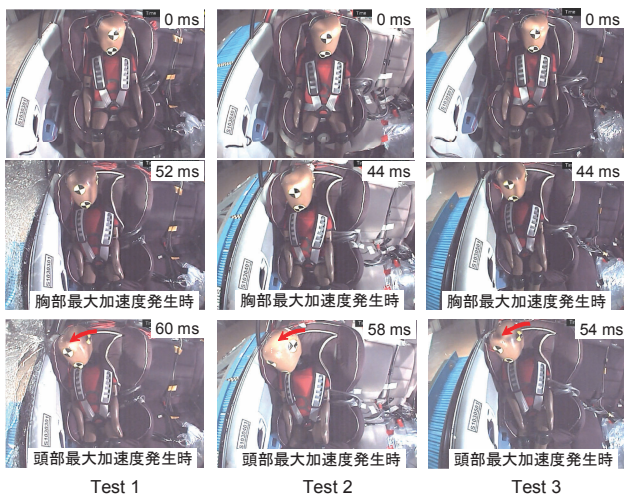


図3 子供ダミーの挙動

図4にダミー各部の計測結果を示す。いずれの計測値も Test 3 が最も高く、現行の側面衝突試験法である Test 1 が最も低い値を示した。また、実験によりダミー各部の加速度波形の立ち上がり時刻や最大加速度発生時刻に差が生じているが、これは、MDB の仕様と衝突位置の違いによりダミーの着座位置付近の加害物 (CRS 及びドア) とダミー各部との相対速度の差異によるものと考えられる。また、胸部変位の最大値がほぼ同等の値を示しているが、これは胸部変位の最大値直後に胸部加速度の急激な上昇がみられることから、胸部変位が測定限界に達しているものと考えられる。

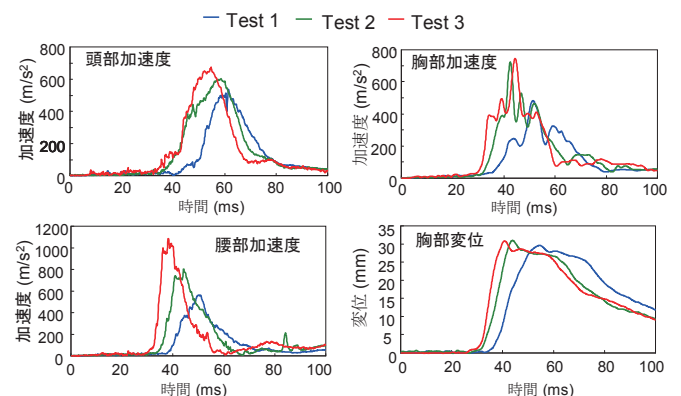


図4 ダミー各部の加速度測定結果

3. おわりに

今回の実験により、側面衝突時における後席子供乗員の傷害発生メカニズムの一部が明らかになった。子供乗員に対し加害物であるドア等は CRS を介して衝突するため、特に頭部については加害物との直接接触を防止するように CRS の構造等を検討することが傷害低減に有効であると考えられる。

今後はスレッド試験等も実施しながら、より詳細な解析を行うことにより、試験法等を通じて、子供乗員の安全性向上に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) Draft new Regulation on uniform provisions concerning the approval of enhanced Child Restraint Systems used onboard of motor vehicles (Informal document No. GRSP-49-39)

⑱ 先進緊急ブレーキシステム（AEBS）のための模擬前方車両の妥当性に関する研究

—実車両とソフトターゲットの電波反射特性の測定について—

自動車安全研究領域 ※廣瀬 敏也、松村 英樹、児島 亨、波多野 忠

1. はじめに

近年では、高速道路等における追突事故が頻繁に発生し社会的な問題となっている。そのため、追突事故の回避・被害低減を目的とした衝突被害軽減ブレーキシステム・衝突回避ブレーキシステムに関する Advanced Emergency Braking System (AEBS) の国際基準化が進められている。本研究は、AEBS 性能評価試験に用いる前方を走行する車両を模擬した障害物の特性について検討することを目的としている。AEBS 性能評価試験に使用する模擬障害物は、車両が衝突しても安全性が確保でき、車両に搭載されているセンサから見たときに実際の乗用車と同等の特性を有していることが求められる。そこで、本研究では、AEBS 障害物検知センサとして使用されることが多いミリ波レーダを対象とし、乗用車と模擬障害物のレーダ反射強度を AEBS の国際基準に規定されている試験方法に従って計測し、比較検討を行った。

2. AEBS の性能要件

AEBS の性能確認試験は、警報の作動タイミング、緊急自動ブレーキの作動タイミング及び速度低減量を確認する。警報の提示手法は、聴覚・視覚・Haptic（警報のための自動ブレーキ等）の3種類とし、緊急自動ブレーキの作動指示のタイミングをもとに緊急自動ブレーキが作動する前に警報を提示することとなっている。

まず、第1次警報は聴覚または Haptic とし、減速度 4m/s^2 以上の緊急自動ブレーキの作動を指示する時点から 1.4 秒以上前に提示しなければならない。第2次警報は3種類の提示手法のうちの2種類とし、減速度 4m/s^2 以上の緊急自動ブレーキの作動を指示する時点から 0.8 秒以上前に提示しなければならない。また、警報の手段として自動ブレーキを用いる場合の速度低減量は 15km/h 以下または全速度低減量の 30% 以

下に限られている。

緊急自動ブレーキの作動は、ドライバーへの過信を防止するために緊急時のみに限定し、衝突予測時間 (TTC) が 3.0 秒より前に作動することを禁止している。

8 トンを超える大型貨物自動車及び 5 トンを超えるバスにおける AEBS の速度低減量に関する要件は、欧州で 2013 年 11 月から適用予定のステップ 1 では、前方車両が移動している場合が 50km/h 、前方車両が停止している場合が 10km/h となっている。また、欧州で 2016 年 11 月から適用予定のステップ 2 では、前方車両が移動している場合が 70km/h 、前方車両が停止している場合が 20km/h となっている。なお、8 トン以下の貨物自動車及び 5 トン以下のバスに関しては、国際会議にて継続審議となっている。

3. 模擬障害物の種類

本研究では、車載用として使用されることの多い FMCW 方式のミリ波レーダ（中心周波数 76.5GHz ）を使用して、1 種類の車両及び 2 種類の模擬障害物から反射される電波の受信電力を測定し、それらの反射特性について検討する。使用する車両は、AEBS 試験法において標準的な車両として定義されている M1AA サルーン相当の実車両とし、模擬障害物は、衝突被害軽減ブレーキシステムの技術基準及び ISO にて規定されているコーナーリフレクタ並びにカメラ方式のセンサに対応させるために開発されている車両の形状を模擬した風船型模擬障害物とした。

3. 1. M1AA サルーン相当車両

実験は、M1AA サルーン相当の車両として図 1 に示す車両を使用して実施した。本車両は、日本国内における 2010 年度の販売実績数が第 1 位であった車種のものである。

3. 2. コーナーリフレクタ

図 2(a)にコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を示す。これは、日本の衝突被害軽減ブレーキシステムの技術基準に規定されているコーナーリフレクタを 2 個使用しており、1つのコーナーリフレクタの寸法は電波反射部である正三角錐内面の 1 辺が 10cm であり、コーナーリフレクタ単体での有効反射断面積 (RCS) はレーダの中心周波数 76.5GHz において 14.35dBsm である。なお、それぞれのリフレクタが地上面より 700mm 及び 900mm の高さとなるように設置した。



図 1 M1AA サルーン相当車両



(a) コーナーリフレクタ (b) 風船型模擬障害物
図 2 模擬障害物

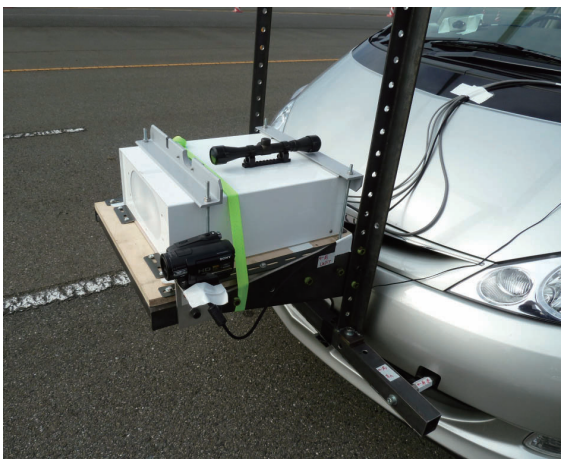


図 3 ミリ波レーダ搭載状況

3. 3. 風船型模擬障害物

図 2(b)に風船型模擬障害物を示す。風船型模擬障害物は、HELLY HANSEN 社製 NAF-Bil GA (2,709mm×1,520mm×780mm)であり、金属テープ等の電波反射材は貼付していない。

4. ミリ波レーダ

実験に使用したミリ波レーダは、ベガ・テクノロジー社製 FMCW-12/77/300/10/D.1 であり、検知方式は FMCW、出力は 10mW 以下、中心周波数は 76.5 GHz、アンテナ偏波面は垂直偏波、アンテナ利得は 35dB、ビーム角は 2.5° である。

ミリ波レーダを試験車両に搭載した状況を図 3 に示す。

5. 実験条件

M1AA サルーン相当車及び模擬障害物は、静止状態及び 30km/h での移動状態とし、試験車両 (ミリ波レーダ搭載車) の速度を 80km/h とした。

6. 実験結果及び考察

図 4 及び図 5 に M1AA サルーン相当車からの受信電力の測定結果を、図 6 及び図 7 にコーナーリフレクタによる模擬障害物からの受信電力の測定結果を、図 8 及び図 9 に風船型模擬障害物からの受信電力の測定結果を示す。また、これら受信電力の最大値と最小値を表 1 に示す。

表 1 より M1AA サルーン相当車とコーナーリフレクタによる模擬障害物の受信電力の最大値と最小値はほぼ同様であった。しかし、電波反射体を貼付していない風船型模擬障害物からの受信電力は、M1AA サルーン相当車及びコーナーリフレクタによる模擬障害物と比較して小さいことがわかる。これは、風船型模擬障害物が電波を反射しにくい素材でできていることによるものであり、M1AA サルーン相当車と同

表 1 受信電力の最大値と最小値

模擬障害物	静止	移動 (30km/h)
	受信電力[dBm]	受信電力[dBm]
M1AA サルーン	約-45~-80	約-40~-80
コーナーリフレクタ	約-45~-80	約-45~-80
風船型	約-55~-80	約-55~-80

等の電波反射特性を有するように電波反射体等を貼付する必要があるといえる。

次に、受信電力のばらつき（細かい変動）に着目して図4と図5並びに図6と図7を比較すると、M1AAサルーン相当車、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物ともに、静止している場合よりも移動している場合の方が受信電力のばらつきが大きいことがわかる。これは、M1AAサルーン相当車やコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物が走行に伴って振動することで電波が反射する部位や反射面の方向が不規則に変化し、電波の反射方向がばらつき、受信アンテナに到達するレーダ受信電力の値も不規則に変動するためと考えられる。

また、M1AAサルーン相当車を静止させた図4とコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を静止させた図6を比較すると、M1AAサルーン相当車の受信電力の方が測定回数ごとに明らかにばらついていることがわかる。これは、ミリ波レーダを搭載した試験車両が80km/hの一定速度で走行する条件では、試

験車両が走行に伴ってわずかに振動することによりレーダの照射方向が変動したためと考えられる。さらに、M1AAサルーン相当車のレーダ反射面である車両後面が複雑な形状をしており、レーダの入射位置の変動や入射方向の変化に伴い、反射方向及び反射電力が大きく変動したため、M1AAサルーン相当車が静止しているにもかかわらず、受信電力の測定結果の再現性がよくない結果になったと考えられる。一方、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を静止させた状態では、受信電力の推移は安定しており、5回の測定によるばらつきは小さい。これは、コーナーリフレクタが、入射角が多少変動しても電波が入射した方向に反射する再帰反射特性を有するためと考えられる。

また、図8及び図9を見ると、今回使用した風船型模擬障害物を使用したときの受信電力は非常に小さく、測定系のノイズレベルに近い値となっている。これは、今回使用した風船型模擬障害物の材質がミリ波帯の電波を反射しにくいものであったためと考えら

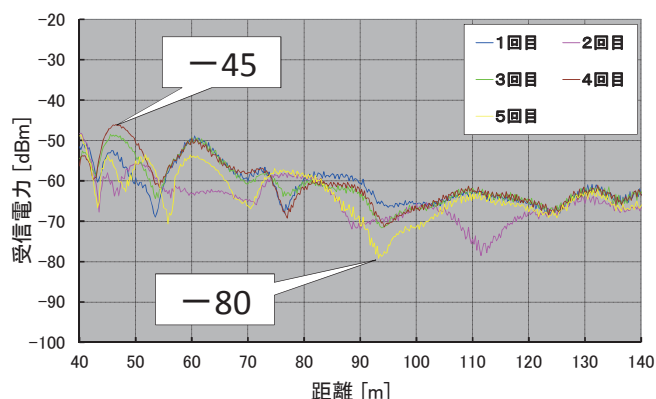


図4 M1AAサルーン相当車の測定結果（静止）

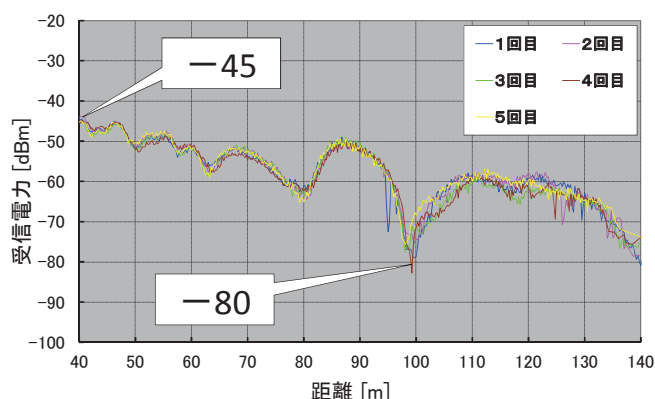


図6 コーナーリフレクタによる模擬障害物の測定結果（静止）

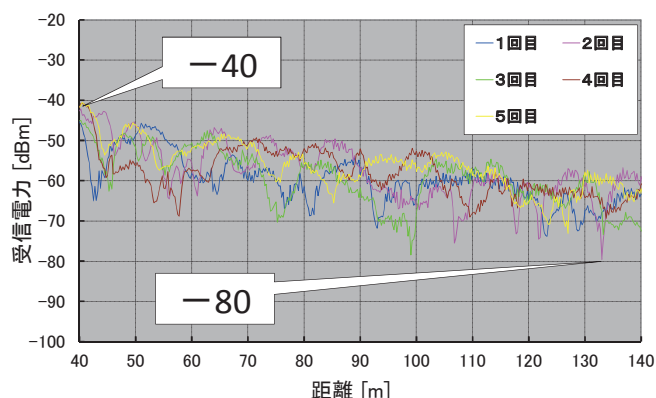


図5 M1AAサルーン相当車の測定結果（移動）

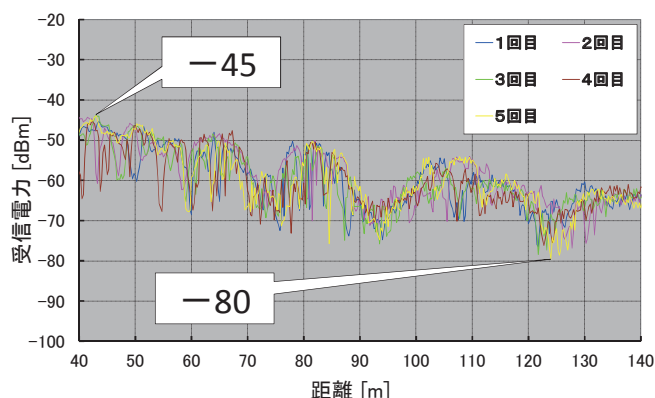


図7 コーナーリフレクタによる模擬障害物の測定結果（移動）

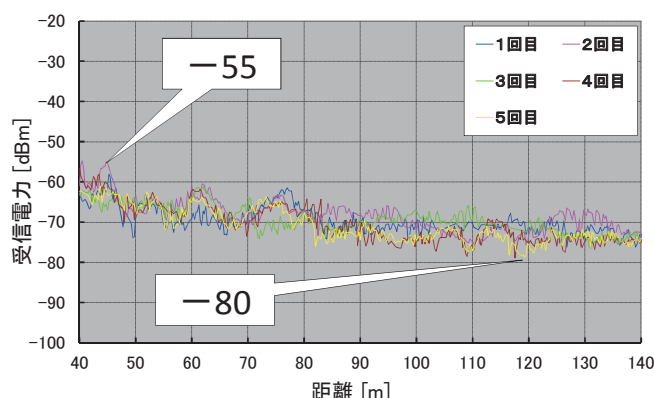


図8 風船型模擬障害物の測定結果（静止）

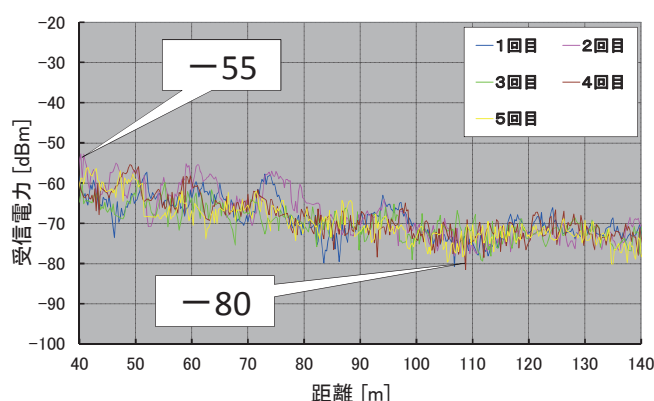


図9 風船型模擬障害物の測定結果（移動）

れる。AEBSの試験時に使用する模擬障害物としては、試験車両との衝突を考慮したときに、柔軟性を持った軽量の材料を使用することが望ましく、ミリ波帯の電波を反射しにくい材質の場合には、金属箔や金網を貼付することにより、M1AAサルーン相当車と同等の反射特性を持たせる必要があると考えられる。

さらに、実際に路上を走行している車両のレーダ反射面は、今回使用したM1AAサルーン相当車と同様に一様ではなく、複雑な形状をもつ場合が多いと考えられる。このため、AEBS（ミリ波レーダ）を搭載した車両の走行による振動やレーダ照射角度の変化に伴い、車両後面の反射部位は不規則に変動し、受信電力の変動の原因となることを認識しておく必要がある。

7. あとがき

先進緊急ブレーキシステム（AEBS）の障害物検知センサとして使用されることが多いミリ波レーダについて、M1AAサルーン相当車、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物及び風船型模擬障害物を対象としてレーダ反射強度をAEBSの国際基準に規定されている試験方法に従って計測し、比較検討を行った。

その結果、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物では、試験実施時の受信電力データの再現性はいいもののM1AAサルーン相当車のミリ波帯における電波の反射特性を十分に反映しているとは言えないというデータが得られた。また、今回使用した風船型模擬障害物はミリ波帯の電波を反射しにくい材料で構成されているものと考えられ、ミリ波レーダの模擬障害物としては不十分な特性であったが、カメラを使用した車両検知システムでは有効に作動すると考えられること、ミリ波帯の電波を反射する材料を貼付することにより特性を改善できる可能性があると考えられる。

受信電力の測定という観点からは、今回使用した2種類の模擬障害物にはそれぞれ一長一短があるが、ミリ波レーダによる障害物検知能力については、その測定原理から受信電力に比例するものではなく、今回の受信電力測定から得られる近似的なレーダ開口断面積特性による評価のみならず、電波の路面による反射特性、カメラを使用した車両検知システムに対応できるか等その他の要因も含めて検討を実施する必要があると考える。

なお、昨今欧米を中心に、車体形状をより詳細に模擬しており、かつ、ミリ波の電波反射特性がM1AAサルーン相当となるような標準ターゲットの作成が急ピッチで行われており、今後はこの動向に注目する必要がある。

⑬ 自動車信号灯火の Sun Road Impact 試験方法の開発

自動車安全研究領域

※塚田 由紀

1. はじめに

Sun Road Impact とは、灯火器に強い太陽光が当たると、その反射光のために灯火器の点灯が認識できない、あるいは灯火の色が分からない現象をいう。Phantom 現象、Color Wash 効果ともいう。交通の場面では、この現象が重大事故に繋がる可能性も高く、交通信号については光学系の工夫により、既に対策がなされている。

自動車灯火についても、10 年ほど前から Sun Road Impact による問題が話題となり、自動車基準調和世界フォーラム(WP29)の灯火器専門部会(GRE)において対策が検討されるようになった。信号灯火器の型式認証試験において、この現象が起こらない(起こる可能性が低い)ことを確認することは、認証試験項目を増やすことになり、自動車業界からの注目も高い。

昨年、ドイツ・カールスルーエ工科大学(KIT)の光技術研究所にて在外研究を行う機会を得て、自動車業界とも情報交換をしながら、Sun Road Impact 試験方法について検討したので、報告する。

2. Sun Road Impact 試験方法

2. 1. Sun Road Impact 係数(反射率)の測定

欧州及び日本のランプメーカーから計 10 個のリアランプをテストサンプルとして提供して頂いた。これらの信号灯火に対し、上方 10 度の角度から太陽を模擬する光源(色温度 5,000-6,500K、照度 40,000lx)で照射し、水平方向から反射した光を測定する。消灯した灯器に模擬太陽光を照射した時の反射光(L_{ph})と灯火器の光のみ(L_s)で光強度の比をとり、これを Sun Road Impact 係数(F_{ph})とした。この値は当該信号灯火器固有の性質を現す値で、大きいほど太陽光の影響を受けにくいことを示す。

$$\text{Sun Road Impact 係数} \quad F_{ph} = \frac{L_s}{L_{ph}}$$

測定したサンプル灯火器の Sun Road Impact 係数を図 1 に示す。全体の傾向として、ガラスレンズが透明

のものは Sun Road Impact 係数が小さいことが分かる。ただし、この係数の測定は、使用する測定器に依存し、特に画像処理を用いて計測する場合には、発光面のどのエリアまでを計算するか(例えば、銀色の縁を含めるか等)によっても値が変化する。型式認証試験のために、従来の輝度計や照度計による測定と同等となるよう、測定時に注意が必要であることも分かった。

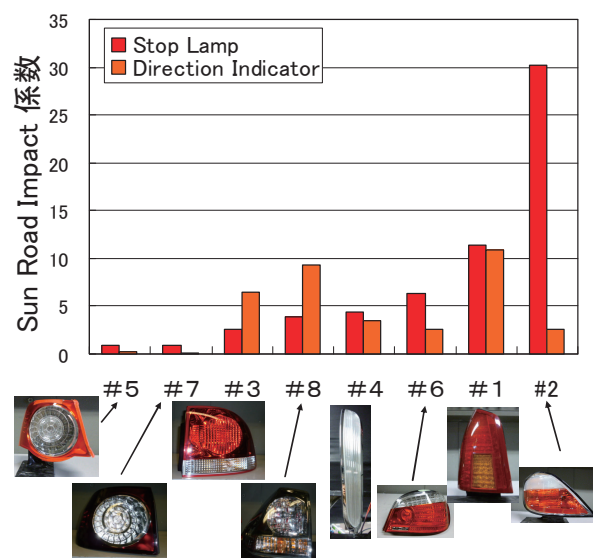


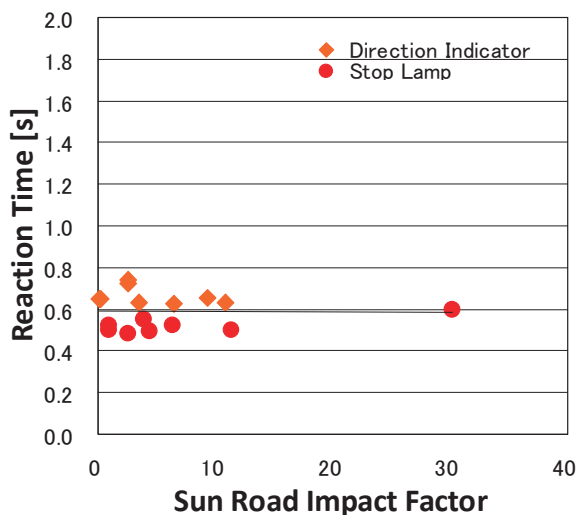
図 1 Sun Road Impact 係数の測定結果

2. 2. Sun Road Impact 係数の要件

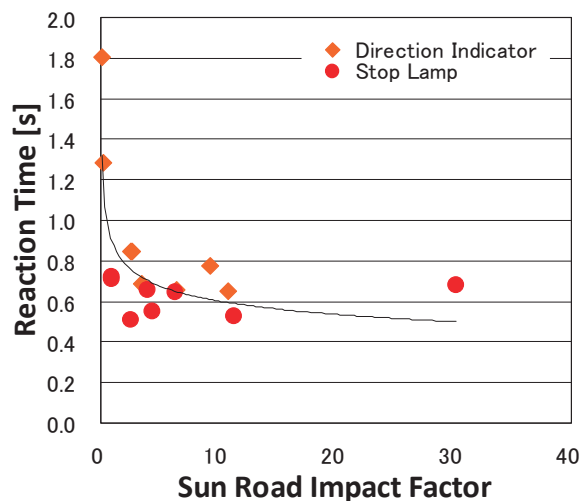
次に、各灯火器に対して Sun Road Impact 係数がいくつまで許容できるかが問題となる。そこでこれらのサンプル灯火器について、点灯に対する反応時間を測定し、見えやすさに関するアンケート評価を実施した。

実験条件

- 被験者：20 名(22~39 歳、女性 4 男性 16)
- サンプル：8 種類の制動灯及び方向指示器(合計 16 種類)
- 手順：①被験者は椅子に座り、正面のリアランプ全体を観察する。
②実験者の合図後、5~10 秒後のランダムなタイミングでランプが点灯する。



(1) 模擬太陽光の照射なし



(2) 模擬太陽光照射

図2 実験結果 Sun Road Impact 係数と点灯反応時間

- ③被験者は点灯を確認したらすぐにペダルで応答する。
- ④ランプの見え方について、5段階評主観価を行う。

実験結果を図2に示す。模擬太陽光を照射すると、Sun Road Impact 係数が小さい灯火器に対して、反応時間が遅れる場合もあることが分かる。

図2(2)を対数軸に変換し、「見えやすさ」に関する評価を合わせたものを図3に示す。

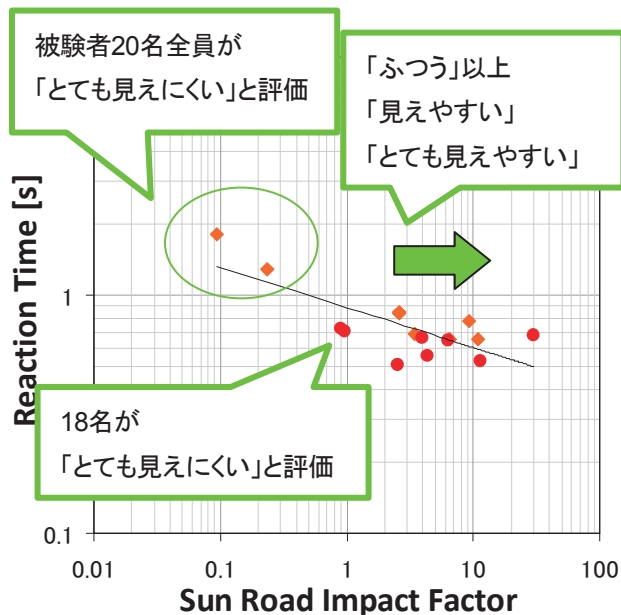


図3 見えやすさ評価と Sun Road Impact 係数

図3より、Sun Road Impact 係数が2.0以上の灯火器に対しては、模擬太陽光による反射があっても「ふ

つう」以上の見えやすさと評価していることが分かる。これより、Sun Road Impact 係数の要件として、2.0以上であることを型式認証試験として提案することとしている。

2. 3. 審査機関で測定するために

審査機関では、この試験を実施するために太陽光を模擬する照明光が必要となる。カールスルーエ工科大学では、屋外用のHIDを用いて、照射距離10mで実験を行った。しかし、どの審査機関でもこのような大型装置を用いて測定することは現実的ではない。そこで、光学系の小型化を目指して、小型のHIDやLEDアレイを用いた光学系も検討している。

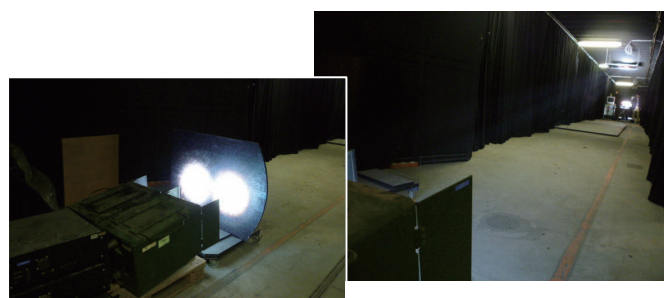


図4 大型照明による実験室風景

3. おわりに

本実験において「とても見えにくい」と評価されても、いわゆる点灯が分からないようなSun Road Impact現象は起きず、光色がうすく（白っぽく）見えるだけであった。反応時間の遅れは、見えにくいことを現しているものの、この現象がおきるメカニズムやシーンについて、根本的な調査も必要と考えている。

②② カント路を用いたコンテナセミトレーラの横転検知手法の可能性

自動車安全研究領域

※波多野 忠 児島 亨 廣瀬 敏也

1. はじめに

国内の国際海上コンテナの貨物量は、10年前と比べて増加している。これらコンテナの輸送手段は、輸出入コンテナとも95%以上がトレーラによる自動車輸送である⁽¹⁾。また、近年において輸送効率向上のために、国内の陸上輸送でもコンテナは、20ft/40ft コンテナに加え40ft 背高及び45ft コンテナが取り入れられ大型化する傾向にある。一方、このコンテナセミトレーラを含む大型貨物自動車の交通事故件数のうちの横転事故等の車両単独事故は、交通事故件数全体から見ると少ない⁽²⁾が、ひとたび事故が発生すると他者への被害の甚大さ、長時間の交通流の妨害等の大きな社会的影響を発生させる。また、大型貨物自動車の特徴として、乗用車と比較して積載物の車両に対する質量比が大きいため、横転特性は搭載される積載物の重心位置等により大きく変化する⁽³⁾。特に、今回注目している国際海上コンテナセミトレーラでは、コンテナの扉が封印されているため、運転者が現場でコンテナ内の積載物の積載状況や総質量、性状等について確認することが困難であり、トレーラの横転特性を判断できない状況にある。

以上の状況を踏まえて、連結車両用にいろいろな横転検知手法が開発されている。しかし、ほとんどが車両本体に計測器等を装着した方式^{(4)~(6)}である。今回のカント路を用いた横転検知手法は、車両外部から行える計測で横転特性を把握できるものである。これに使用する走行コースは、120mの直線路に左右別々の傾斜のカント路に横加速度 1m/s^2 相当となる片勾配5.83度を直列に配置し、この直線路に連結車を極低速で進行させ(所要時間2分程度)、直線路の最後に表示装置を設置し、運転者には、ここで横転特性を伝える方式である。図1に試験路の概要を示す。左右別々の傾斜のカント路上を進行中に、車外からトレーラのばね上

ロール角等を計測し、その検出データからニューラルネットワークを使った非線形回帰式で最低横転横加速度を推定する。但し、最低横転横加速度は、積載物の搭載条件ごとに事前に把握する必要がある。

以上のことを目的に、PC上において走行模擬試験を実施し、横転検知手法としての可能性を検討した。

2. シミュレーションの概要

シミュレーションソフトは、TruckSim Ver.7 (Mechanical Simulation)を使用した。走行模擬試験のための連結車両の諸元は、TruckSimのトラクタ2軸車、フラットベットトレーラ2軸車のデフォルトデータを使用し、トラクタとトレーラ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(トラクタ軸距; 3.18m、トレーラ軸距; 8.0+1.5m)。積載物の搭載条件は、重心位置方向と積載荷重を変化させそれぞれの条件を表1へ示す。

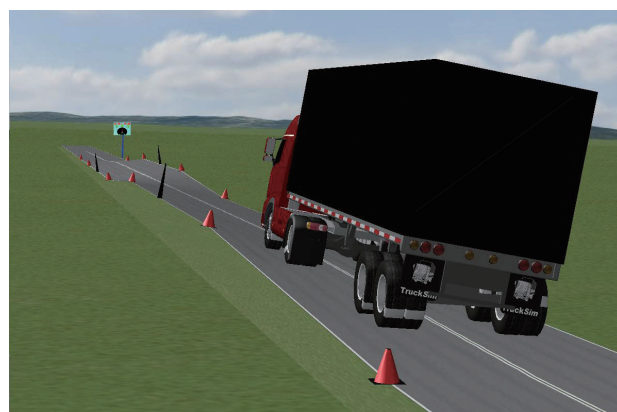


図1 カント路を用いた横転検知用直進走行模擬試験路

表1 積載物の搭載条件

前後方向 (キングピン 軸を原点;m)	左右方向 (中心位置を 原点;m)	上下方向 (地面を原 点;m)	積載荷重 (t)
3	0	1.5	6
6	0.2	2	12
8	0.4	2.5	18
9	0.6		

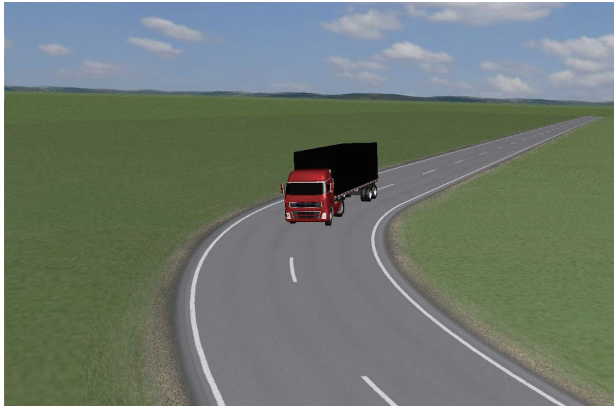


図2 Jターン走行模擬試験路

走行模擬試験については、Jターン走行模擬試験と直進走行模擬試験を行った。

はじめに今回使用する連結車両の最低横転横加速度を把握するために、半径50mのJターン走行模擬試験を行った。図2に試験路の概要を示す。一般道を模擬したために横断勾配はつけていない。また、一般道では曲線部に入る前に緩和曲線区間が存在するが、この走行路にはないため横転に関しては実際より厳しい条件になる。走行速度は常に一定になるように、アクセル操作はクローズドループ制御のデフォルトシステムを用いた。今回の最低横転横加速度の求め方は、曲線区間に入る前の直線部分での初速度を始めに設定し1回走行する。この速度で横転しない場合には初速度を徐々に上げて、横転するまで走行模擬試験を行う。この最初に横転した時の初速度と旋回半径から求めた横加速度を最低横転横加速度とし、これを横転推定横加速度とした。

図1に示した横転検知用に左右別々の傾斜のカント路(片勾配5.83度{横加速度 1m/s^2 相当})を直列に配置した直線路を用いた直進走行模擬試験を行った。この直線路の全長は120mで、片勾配+5.83度と-5.83度の定常域がそれぞれ30mと、これを滑らかに繋ぐための遷移域20mを3ヶ所設けている。片勾配+5.83度と-5.83度の定常域の長さは、連結車両の最遠軸距の2倍程度あり、トラクタとトレーラの接続角ができるだけ小さい範囲の中でトレーラのロール角を出力できるようにした。なお、今回はトレーラの前端部と後端部で、ばね上ロール角が同時に出力できたと仮定し、出力位置は片勾配が定常域の直線路後半部分の一定点とした。また、直進走行模擬試験のロール角データは0.5度単位とした。より正確性を確保するために、この直進走行模擬試験での出力項目は、片勾配

+5.83度のカント路と-5.83度のカント路でのそれぞれのトレーラの前端と後端のばね上ロール角と路面水平時のトラクタ前・後軸の軸荷重、トレーラ軸荷重であり計7項目である。

両走行模擬試験とも走行軌跡を指定し、それを運転者が車両を忠実に走行させるようにした。なお、ドライバモデルはデフォルトシステムを使用し、Jターン走行模擬試験ではドライバ予見時間を1.5秒、直進走行模擬試験では5秒とした。

データ解析は、Jターン走行模擬試験結果からの重回帰分析と、直進走行模擬試験結果からの非線形重回帰分析を行った。

始めに積載物の重心位置の前後方向、左右方向、上下方向及び積載荷重の4つの搭載条件の因子について、どの因子が横転推定横加速度に対して影響が大きいかJターン走行模擬試験結果から検討した。この影響度合いは、重回帰分析の標準偏回帰係数で比較した。但し、積載物の重心位置の方向変数は、40ft背高コンテナの内寸を参考に正規化した変数で比較した。前後方向については12m、左右方向については1.2m、上下方向については2.7mで正規化し、積載荷重については24tで正規化した。原点はコンテナ内の最前方、左右中央、床面とした。

次に、カント路を用いた横転検知手法が成立するかどうか、直進走行模擬試験結果で得られたデータから横転推定横加速度を推定する場合の精度について検討した。説明変数は、直進走行模擬試験結果の変数のうちロール角については表2に示すような変数に変換し、合計7項目とした。目的変数は、Jターン走行模擬試験結果で得られた横転推定横加速度とした。144の搭載条件のうちJターン走行模擬試験及び直進走行模擬試験で不安定になる搭載条件や、直進走行模擬試験で横転してしまう搭載条件を除いた搭載条件でニューラルネットワークを使用した非線形重回帰分析を実施した。

表2 説明変数

1. トレーラ前端部のばね上ロール角の左右カント路での差
2. トレーラ前端部のばね上ロール角の左右カント路での和
3. トレーラ後端部のばね上ロール角の左右カント路での差
4. トレーラ後端部のばね上ロール角の左右カント路での和
5. トラクタの前軸荷重
6. トラクタの後軸荷重
7. トレーラの軸荷重

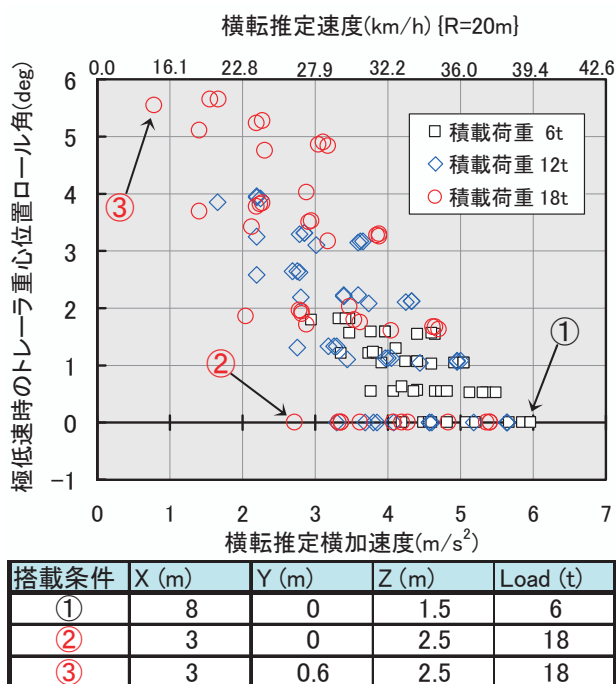


図3 Jターン走行模擬試験結果

3. シミュレーション結果

3. 1. Jターン走行模擬試験結果

積載物の搭載条件の中で車両のヨー運動が発散傾向にあるものを除いた141の搭載条件の連結車両について解析した。図3は、積載荷重別に全搭載条件での試験結果を示したものである。横軸は横転推定横加速度で、原点に近くなるほど横転しやすいことを示している。また、参考として、図の上部に曲率半径20mの横転推定速度を示す。縦軸はトレーラ重心位置での車両バネ上ロール角で、片勾配がない水平路面の極低速時の値である。全体をみると横軸上に点正在しているものと左上がりに散在しているものがある。横軸上のものは搭載条件の左右方向がゼロの中心位置にあるもので、それ以外のものは左右方向に偏荷重状態となっている。

積載荷重別にみると、積載荷重が小さいものは全体の分布が横転推定横加速度の大きい部分にあり、分布も小さく、横転に対して有利であり、トレーラのロール角も小さい。積載荷重が大きくなるに従って横転推定横加速度が小さい方向に分布し、トレーラのロール角も大きくなる。図の①は、搭載条件の中で横転推定横加速度が最大であり、横転に対して最も有利な搭載条件になった。搭載条件は前後方向が後方より、左右方向がゼロ、上下方向及び積載荷重が最小である。②は搭載条件の左右方向ゼロの中で横転推定横加速度が最小になる条件で、搭載条件は前後方向が最前方、

上下方向及び積載荷重が最大である。①に比較して横転推定横加速度が半分以下になり、運転者が停止時にトレーラのロール角を見てゼロ付近にあっては搭載条件により横転特性がかなり異なることがわかる。③は、②の搭載条件に加えて左右方向へ大きく偏荷重にした条件であり、図の中で横転推定横加速度が最小になり、トレーラのロール角も大きい。

運転者は運行開始前後にトレーラのロール角を確認することができることから、トレーラに大きくロール角が発生していると気が付き対処するものと考えられる。このため、図3で注目する領域は、運転者が気付にくいトレーラのロール角が小さい範囲となり、具体的には、搭載条件が前後方向は前方より、上下方向は高く、左右方向は若干ずれていて、積載荷重は大きいものになる。

次に、どの搭載条件の因子が横転推定横加速度に対して影響が大きいのか検討するために、重回帰分析を行った標準偏回帰係数を表3に示す。回帰方程式の自由度修正済み決定係数 R^2 は0.9512であった。表3のとおり、影響が大きい順番は搭載条件の上下方向、左右方向、積載荷重、前後方向となった。これは、積載物の搭載条件の中で上下方向と左右方向の因子が横転推定横加速度に大きく寄与することを示している。なお、前後方向の符号が正になっているのは、設定条件の範囲内では積載物を後方に搭載するほど横転推定横加速度が大きくなり、横転しにくくなることを示している。

表3 搭載条件の影響度合い

搭載条件	前後方向	左右方向	上下方向	積載荷重
標準偏回帰係数	0.1991	-0.5937	-0.6056	-0.5092

3. 2. カント路を用いた直進走行模擬試験結果

Jターン走行模擬試験の中で車両のヨー運動が発散傾向にあるものを除いた141の搭載条件の連結車両について、カント路を用いた直進走行模擬試験を実施した。カント路の傾斜角の5.83度は、横加速度 1m/s^2 相当にあたるため、Jターン走行模擬試験結果で横転推定横加速度がこれ以下の値を示す車両は直進走行模擬試験中に横転した。上記の横転した車両を除いた140の搭載条件の連結車両について、直進走行模擬試験結果の出力データから表2のような説明変数を算出した。この説明変数に対して目的変数はJターン走行模擬試験結果の横転推定横加速度である場合のニュ

ニューラルネットワークによる非線形回帰分析を行った。ニューラルネットワークは 20 個の正接シグモイド伝達関数をもつ隠れ層が 1 層と、1 個の線形伝達関数をもつ出力層からなるフィードフォワードネットワークである。試験結果のデータを、学習データ 126 個及びテストデータ 14 個に分け、学習データを用いてネットワークを構築し、このネットワークを用いてテストデータを検証した。その結果を図 4～7 に示す。テストデータでの目的変数であるターゲットデータとネットワークの出力値との相関関数は 0.97 であり、また、誤差に関しても最大で 0.32m/s^2 、標準偏差で 0.153m/s^2 であった。以上により、カント路を用いた直進走行模擬試験結果のデータから横転推定横加速度をほぼ推定できることが明らかにできた。

4. まとめ

国際海上コンテナセミトレーラの運転者は、容易に積荷の積載状態(積荷の重心位置、積み付け)の判別ができないため、運転者は車両横転特性が把握しにくい。そのため、短時間で簡便に推定することができるカント路を用いたコンテナセミトレーラの横転検知手法を提案した。これについて、コンピュータ・シミュレーションにより検討した結果、ほぼ成立することがわかった。

今後は、コンテナセミトレーラのばね上ロール角を車外から計測する方法、説明変数の選択等の非線形回帰式の精度向上及び実車との相関性等のシミュレーションの再現性について検討する。

参考文献

- (1) 平成 20 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査結果 国土交通省港湾局
- (2) 事業用自動車の交通事故統計 平成 21 年度版 (財)交通事故総合分析センター
- (3) 波多野忠ほか：貨物自動車のロール特性の解析 平成 15 年度交通安全環境研究所研究発表会 講演概要
- (4) 渡邊豊：重心検知装置および横転限界速度予測装置並びに貨物重量予測装置 国際特許・公開番号 W0 2008/062867
- (5) IWAMA, Toshihiko：ROLLOVER PREVENTION DEVICE OF VEHICLE 国際特許・公開番号 W0 2008/149607
- (6) 秋山興平 江副俊樹：トレーラの偏荷重情報提供装置の検討 自動車技術会 学術講演会前刷集 No. 64-12

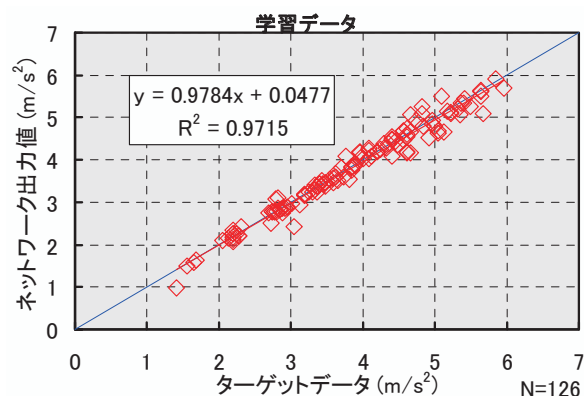


図 4 学習データによるネットワーク出力

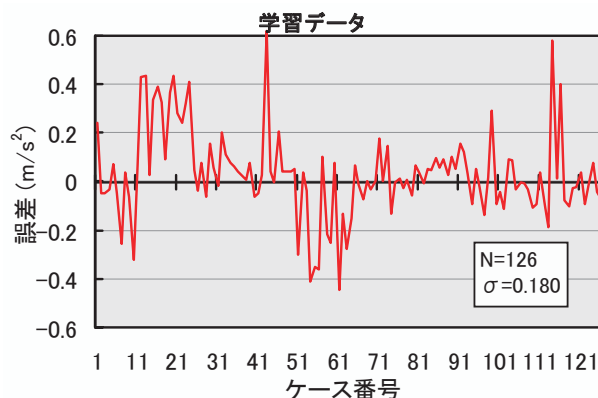


図 5 学習データによるネットワーク誤差

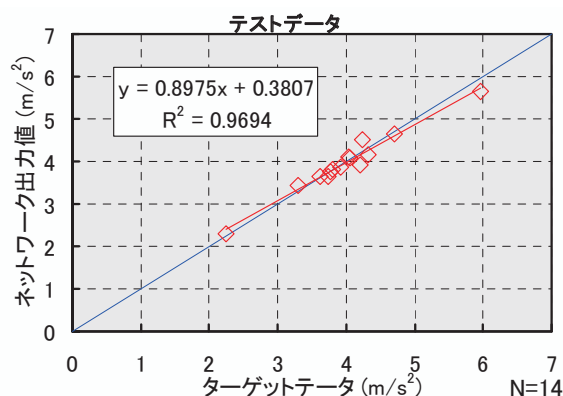


図 6 テストデータによるネットワーク出力

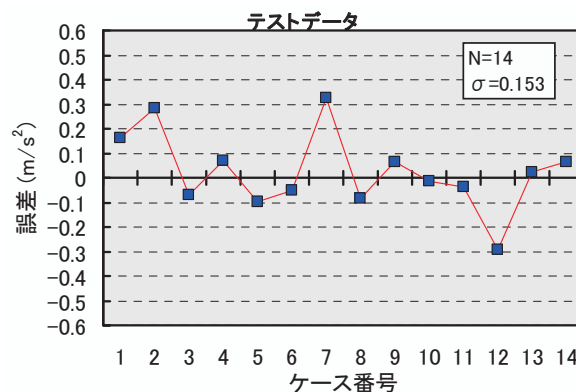


図 7 テストデータによるネットワーク誤差

⑫ リチウムイオン電池の安全性評価試験における発生事象について

自動車安全研究領域

※松村 英樹 松島 和男

1. はじめに

近年、リチウムイオン電池を搭載した電気自動車等が使用され始めている。この電池については、小型民生機器において、発熱や発火の事故が報告¹⁾されている。これは、何らかの原因により電池内部の特定部が発熱し、その発熱が電池内部の反応を引き起こして更なる発熱を招き、電池全体が温度上昇して発熱・発火・発煙などを引き起こす「熱暴走」と呼ばれる現象が原因と考えられる。自動車に使用されるリチウムイオン電池についても、熱暴走現象を把握しつつ、安全性を評価する方法を早急に確立し、車両の安全が確保されるよう措置していく必要がある。

本報告では、リチウムイオン電池搭載車両の基準策定のための基礎資料を得ることを目的として、単セルに対してリチウムイオン電池が熱暴走に至る要因(外部加熱、過充電)を模擬した加熱試験、過充電試験を行い、熱暴走に至る条件や熱暴走時の状況の把握と定量的データの取得、更に、釘刺し試験により、熱暴走時に発生するガスの成分分析を行った結果について報告する。

2. 試験セル

今回の試験では、リチウムイオン電池に使用されている代表的な4種の正極材料により試験セルを試作した。これらのセルは、正極材料以外のセル材料(負極、セパレータ、電解液)及びセル構造を同一とした。図1にセルの外観を示す。正極材料は、マンガン酸リチウム、ニッケル-コバルト-マンガン酸



図1 セルの外観

リチウム、リン酸鉄リチウム、コバルト酸リチウムを使用した。以後、これらを LMO、LNCM、LFP、LCO という。また、負極材料は天然黒鉛を使用し、電解液は六フッ化リン酸リチウムを使用した。セパレータは、ポリオレフィン系の材料を使用した。セル構造は、積層型アルミラミネートとし、その寸法は長さ 210mm、幅 118mm、厚さ最大 9.5mm、セパレータの厚さは 25 μ m とした。電池の容量は 15Ah とし、LMO、LNCM、LCO を 4.2V、LFP を 4.0V で充電した。

3. 加熱試験

3. 1. 試験概要

本試験では、リチウムイオン電池の単セルに対して、ヒータによる加熱試験を行い、セル表面の温度及び噴出したガスの温度を測定する。また、4種の正極材料のセルでの発生事象の相違点を把握する。これらの結果から、車両火災時に数百度の高温状態に曝される²⁾リチウムイオン電池が熱暴走を起こす可能性について検討する。

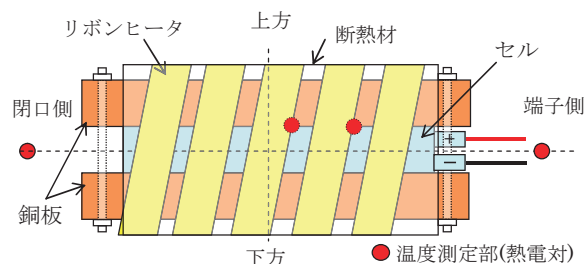


図2 加熱試験構成(側面図)

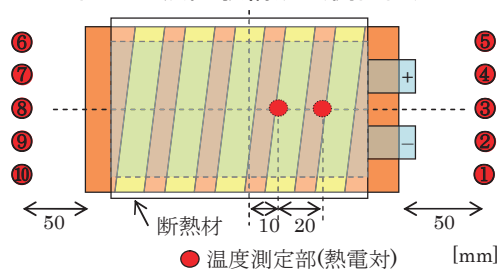


図3 加熱試験構成(上面図)

3. 2. 試験方法

図 2 及び図 3 に本試験の試験構成を示す。本構成では、実際の使用状況を模擬するため、単セルを銅板で挟んだ。そして、加熱のためのリボンヒータをそれらの上から巻き、入力した熱を保持してセルの温度上昇を効率的に行うために、リボンヒータを含めて全体を断熱材で巻いた。図 2 及び図 3 にセル表面の温度を測定する熱電対の設置位置を示す。セル表面の温度測定の熱電対は、セル中央から 10mm と 30mm の位置に設置した。また、セルから吹き出すガスの温度（以後、セル周囲でのガス温度という）を測定するため、図 3 に示す位置に熱電対（①から⑩）を設置した。同時に試験状況を撮影し、端子電圧も測定した。初期充電条件は、各々のセルにおいて SOC(State of charge)を 100%とした。加熱パターンは、室温から 100℃まで上昇させ、30 分間 100℃を保持後、熱暴走が発生するまで 1 分で 5℃を目標に昇温させた。

3. 3. 試験結果

100℃からの昇温開始時刻をスタートとし、スタートから 3 分～11 分の間に各セルで緩やかな発煙が確認された。これは、電解液が加熱されてガス化し、セル内部の圧力の高まりにより噴出したと考えられる。その後しばらくして、LMO では 13 秒間程度煙の激しい噴出が発生した。また、LNCM 及び LCO では、穏やかな発煙後に数秒程度、激しい火炎が発生した。一例として、図 4 に LNCM の場合の火炎発生状況を示す。一方、LFP では、発煙後に煙の噴出が増加したが、その噴出状態は LMO と比較して緩やかであった。

図 5 に LMO のセルの表面温度、セル周囲でのガス温度、端子電圧、雰囲気温度の測定結果を示す。スタートより約 10 分後に端子電圧が低下し始め、約 16 分間かけて電圧が約 1.6V まで低下した後、急激に 0V 近くまで降下した。他のセルについても、ほぼ同様の現象となり、急激に降下し始める直前の端子電圧は、LNCM で約 2.7V、LFP で約 3V、LCO で約 2.7V であった。

これらのセルにおいて、この急激な電圧降下の直後にセル表面温度及びセル周囲でのガス温度が急激に上昇しており、端子電圧の急激な降下の前後に熱暴走と見られる現象が発生したと考えられる。なお、熱暴走の開始時点と見られるのは困難であるた



図 4 加熱試験の状況の一例 (LNCM)

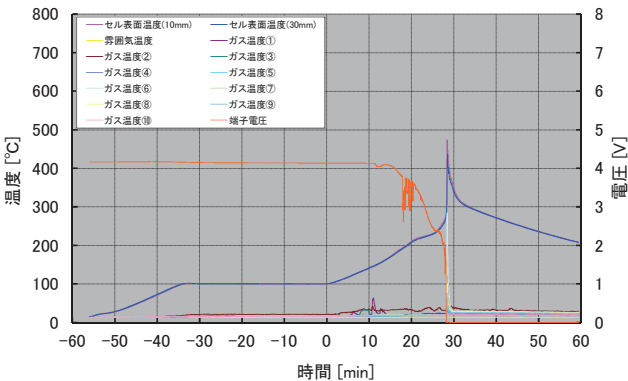


図 5 加熱試験の測定結果 (LMO)

表 1 加熱試験の測定結果のまとめ

正極材料	試験時のセルの現象	熱暴走開始と見られる時点のセル表面温度 [℃]		最高温度 [℃]		
		10 mm	30 mm	10 mm	30 mm	周囲ガス
LMO	発煙	283	273	474	437	285
LNCM	発煙 発火	242	238	429	402	536
LFP	発煙	186	186	267	254	141
LCO	発煙 発火	188	184	527	443	631

め、端子電圧が急激に降下した時を「熱暴走開始と見られる時点」とした。

加熱試験の測定結果のまとめとして、試験時のセルの現象、熱暴走開始と見られる時点のセル表面の温度、セル表面及びセル周囲でのガスの最高温度の測定結果を表 1 に示す。

3. 4. 考察

リチウムイオン電池が外部加熱されると、電池内部で正極材料、電解液、負極材料が単独及び相互に発熱反応^[3]を起こす。この反応熱と外部加熱によりセパレータが溶融^[4]して電極が短絡し、短絡時のジュール熱により熱暴走に至ると考えられる。正極材料により熱暴走開始と見られる時点のセル表面温度が異なるのは、正極材料の熱安定性^[5]に起因する

と考えられる。

表 1 より、熱暴走開始と見られる時点のセル表面温度は、184℃から 283℃であった。一方、我々の行った車両火災の実験²⁾において、駆動用蓄電池の設置想定部分の温度の継続時間の平均（指標の温度以上となる時間）は、150℃以上で約 28 分、200℃以上で約 24 分、250℃以上で約 20 分、300℃以上で約 18 分であり、350℃以上についても数分から数十分間継続した。今回の試験と車両火災時とは熱の入力の方法などが異なり、また、電池の構造等も実際には様々であるため単純に比較はできないが、我々の行った実験²⁾から車両火災時の温度は、熱暴走の開始温度よりも高くなるとともに数十分程度継続するため、これらの正極材料のリチウムイオン電池が搭載された車両が火災に遭遇した場合、リチウムイオン電池が熱暴走に至る可能性があると考えられる。

表 1 より、セル表面及び周囲のガス温度の最高温度は、熱暴走開始と見られる時点のセル表面温度を上回る場合が多かった。また、車両火災では、電池パック全体が熱せられているため、各セルが熱暴走を起こしやすい状態になっていると考えられる。そのため、1つのセルが熱暴走に至った場合、そのセルの発熱や噴出したガスの熱によって、その周囲のセルも熱暴走に至る可能性がある。このように連鎖的にセルが熱暴走した場合、発生したガスの噴出のタイミングが一致し、多量のガスによる電池パック内部の圧力上昇により、電池パックが破裂することも懸念される。

4. 過充電試験

4. 1. 試験概要

本試験では、4 種類の正極材料のリチウムイオン電池セルを過充電状態とし、熱暴走発生の有無、熱暴走現象（セル表面温度、セル周囲でのガス温度、各正極材料での現象の差異）を把握することを目的とする。

4. 2. 試験方法

本試験は、図 2 及び図 3 において示した加熱試験時の構造からリボンヒータと断熱材を取り去り、銅板をベークライトに変更した構成とした。また、セルの表面温度の測定位置は、図 2 及び図 3 と同等とした。セル周囲でのガス温度の測定位置（①から⑫）を図 6 に示す。SOC100%まで充電した供試セルに 3C に当た

る 45A の定電流で過充電した。過充電のスタート後は、熱暴走発生まで充電し続けた。試験の安全確保のため、目視により激しい発煙又は発火を確認した直後に手動で充電を停止した。

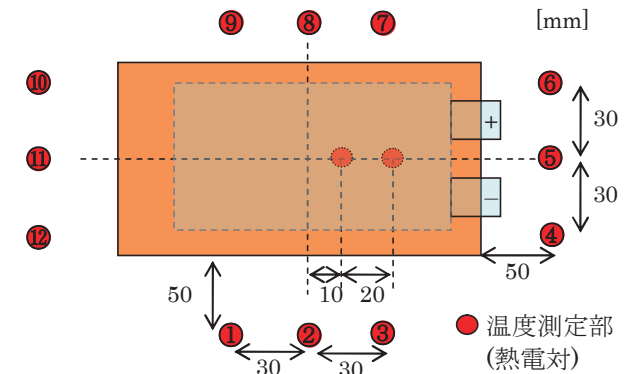


図 6 過充電試験構成（上面図）

4. 3. 試験結果

過充電試験の結果のまとめを表 2 に示す。LNCM 及び LCO では発煙後に発火した。また、LMO では激しい発煙が発生した。LFP は穏やかな発煙のみとなった。

表 2 過充電試験の結果のまとめ

正極材料	試験時のセルの現象	熱暴走開始と見られる時点のセル表面温度 [℃]		最高温度 [℃]		
		10 mm	30 mm	10 mm	30 mm	周囲ガス
LMO	発煙	103	101	555	519	504
LN CM	発煙 発火	105	110	606	559	712
LFP	発煙	109	110	179	173	24
LCO	発煙 発火	110	109	317	244	999 以上 *1

*1:計測可能な上限を超えたため、測定不能

4. 4. 考察

一般に過充電時の電池内部では、始めに電解液と負極との還元反応が起こり、電解液の熱分解、電解液と正極との酸化分解、負極の熱分解、正極の熱分解、最後にセパレータの熔融流動による内部短絡の順で反応が進むとされている⁶⁾。

今回の結果では、LFP を除き、熱暴走時にはセル表面が高温になるとともに高温の煙又は火災が発生した。そのため、これらを正極材とするリチウムイオン電池が過充電状態になった場合、車両火災を引き起こす危険性があると考えられる。また、セル表面温度が高温であり、発生するガスも高温であることから、連鎖的なセルの熱暴走による電池パック

の破裂についても懸念される。

このことから、リチウムイオン電池の使用においては、いかなる場合にも過充電を防止する機能が確実に作動することが重要であり、過充電防止機能の不具合時には速やかにそれを検知し安全を確保することが必要と考える。

5. 釘刺し試験

5. 1. 試験概要

リチウムイオン電池は、様々な電池材料を使用しているため、発生するガスも多様であると考えられる。本試験は、熱暴走時に発生するガスの分析を行い、そのガスの可燃性及び有毒性について調査することを目的とする。

5. 2. 試験方法

本試験は、ガス分析を行うため、アルゴンを満たした小型チャンバー内で行った。釘を刺す位置はセルの中央とした。なお、小型のチャンバー内で試験を行うため、設置スペースの関係により、セルをベークライト等で挟まずに試験を行った。

5. 3. 試験結果

表3に釘刺し試験で発生したガスの成分分析結果を示す。なお、LMO及びLFPでは、釘刺しにより熱暴走が起きていないか又は電池全体に発熱反応が拡大しなかったため、分析に必要なガス量を回収できなかった。

表3 ガスの成分分析結果

試料名 分析成分	LMO [L]	LNCM [L]	LCO [L]	LFP [%]
水素 (H ₂)	—	21	10	0.16
一酸化炭素 (CO)	—	9.8	4.9	< 0.1
二酸化炭素 (CO ₂)	—	9.2	12	0.10
フッ化水素 (HF)	0.00022	0.011	0.014	0.019
合計検出量	0.0015	43	30	—
ガス発生全量	—	49	35	—

5. 4. 考察

本結果から、多量に発生している可燃性のガスとして、水素の発生が確認された。また、有毒性のガスとして、一酸化炭素とフッ化水素の発生が確認された。これらのことから、熱暴走により発生したガスが車室内に滞留して、それらの濃度が高くなると、車両の火災や爆発、乗員が避難できなくなる事態等が懸念される。従って、発生したガスを適切に車室外へ排出させることや車室内に滞留させないことなどについて、検討と対策が必要と考える。

6. まとめ

本報告では、リチウムイオン電池搭載車両の基準策定のための基礎資料を得ることを目的として、加熱試験、過充電試験、釘刺し試験を実施した。

加熱試験の結果より、今回試作したリチウムイオン電池と同じ正極材料のリチウムイオン電池を搭載した車両が火災に遭遇した場合、リチウムイオン電池が熱暴走に至る可能性があり、1つのセルに熱暴走が発生することにより、他のセルが連鎖的に熱暴走に至り電池パックが破裂することも懸念される。

過充電試験の結果より、リチウムイオン電池が過充電された場合には、車両火災に繋がる危険性や連鎖的なセルの熱暴走により電池パックが破裂する懸念があることが示され、これらを防止するためには、過充電防止機能がいかなる場合にも確実に作動することが重要であり、その機能に不具合が発生した場合には速やかにそれを検知し安全を確保することが必要と考える。

ガス分析の結果より、可燃性の水素並びに有毒な一酸化炭素及びフッ化水素の発生が確認された。これらのガスが車室内に滞留して濃度が高くなると、車両の火災や爆発、乗員への影響が懸念される。そのため、熱暴走時に発生したガスを適切に車外へ排出させることや車室内に滞留させないことなどについて、今後、検討と対策が必要と考える。

本調査は、国土交通省の2011年度の委託事業「リチウムイオン蓄電池搭載車両の安全性評価に関する調査・検討」により実施したものである。

参考文献

- [1] リチウムイオン電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討会、「第一回資料 1-7 事故の発生状況について」、2010
- [2] 松村ら；「駆動用蓄電池搭載車の安全性評価について」、交通安全環境研究所フォーラム 2011
- [3] 鳶島ら；「最新リチウムイオン二次電池」、情報機構、2008
- [4] 前田ら；「自動車用リチウムイオン電池の安全性評価－環境試験法の調査－」、JARI Research Journal、第32巻、第6号、2010
- [5] 佐藤登、吉野彰監修；「リチウムイオン電池の高安全技術と材料」、シーエムシー出版、2009
- [6] 小松ら；自動車用リチウムイオン電池の安全性評価－電気的試験法の調査－」、JARI Research Journal、第31巻、第6号、2009

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（鉄道建設・運輸施設整備支援機構、
東京地下鉄株式会社 等）、民間企業 等

年間50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24年度 交通安全環境研究所フォーラム2012 講演概要

平成24年11月5日発行

編集兼発行人 独立行政法人 交通安全環境研究所

発 行 所 独立行政法人 交通安全環境研究所

〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7-42-27

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

本書についてのお問い合わせは、企画室までお願い致します。

交通安全環境研究所 企画室

電話 （0422）41-3207

FAX （0422）41-3233

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

○リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可

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