

安心安全防災教育研究センター特別プロジェクト

# 交通安全プロジェクト

## 完了報告

(活動期間：2016年度～2019年度)

2020年8月25日

研究代表者 内田 博志





# 1. 概要

## 1.1 プロジェクトの背景と目的

広島県の交通事故件数は年々順調に減少しているが、交通事故死者数は横ばい状態にあるなど、交通安全のさらなる向上に向けた努力が望まれている。特に福山大学の地元である福山市西部では、自動車事故における追突事故の割合が全国平均に比べて多い（人身事故の50%が追突事故、他地域では35%程度）など、交通事故に地域特有の特徴がみられ、その原因解明と対策が求められている。

また社会の高齢化に伴う諸々の交通問題も、全国傾向と同様に地元地域にも発生してきている。広島県警察では、年毎にモデル地区を設けて、高齢者ドライバーの運転技術の再教育を行うなどの活動を進めている。他方、地域の過疎化・限界集落化により商店や公共交通機関がなくなり、高齢者が日常の買い物にも出かけられなくなる、いわゆる「交通難民（買物難民）」問題も地元地域の深刻な問題として進行しつつある。

これらの背景から福山大学は2015年に、広島県警察と「交通安全教育等に関する共同研究協定」を締結し、交通事故抑止に関する共同研究を進めることとした。本プロジェクトは、このことを受けて2016年度（平成28年度）より福山大学安心安全防災教育研究センター特別プロジェクトとして発足したものであり、発足以来、工学部ひとまちくらしプロジェクトとしての「交通安心プロジェクト」や機械システム工学科の卒業研究生らの活動を交えながら、地元の交通の安心・安全に貢献する研究を行ってきた。研究を進めるにあたっては、広島県警察のほか、広島県、国交省、福山市および府中市、共同研究先企業などの多大な協力をいただいた。本報告は、2016年度～2019年度の4年間にわたるプロジェクトの活動内容をまとめ、プロジェクト完了報告とするものである。

## 1.2 活動内容

本プロジェクトでは、広島県の道路交通状況、社会状況を想定した各種交通安全研究を進めることとしたが、特に下記の各課題について研究を行った。

- ① 交通事故多発地点、高齢者モデル地区、当該地の地理的・地域的特徴の現地調査
- ② 警察、広島県、地元市町村、国交省等から提供される交通情報・道路情報の分析
- ③ 警察（運転免許センター）等での高齢者等の運転動作・歩行動作の調査・分析
- ④ ドライブレコーダと画像処理を併用したドライバーや歩行者の動作分析、官能分析
- ⑤ 以上を踏まえた自動車システム、道路システム、交通教習システム等の検討・提案

これらの研究を行うための設備として、社会安全工学教育研究室にドライビング・シミュレータを設置し、人（運転者）・車・道路の三者に関する研究のために活用した。

研究成果は、学会発表、報道機関への情報提供、実施地域の地方公共団体への報告等の形で社会貢献につなげた。またシステム構成や構造案等の新技術は、関連地元企業等との共同開発や特許化による実用化を目指すこととした。

## 1.3活動メンバー

プロジェクト発足時の活動メンバーは下記の通りであった。

工学部 機械システム工学科	内田博志（研究代表者）、関根康史、小林正明
工学部 スマートシステム学科	香川直己、伍賀正典
工学部 情報工学科	金子邦彦
人間文化学部 心理学科	平 伸二、宮崎由樹

## 2. 2016 年度（平成 28 年度）

### 2.1 研究活動

#### (1) ドライビング・シミュレータを用いた交通事故低減策の検討（担当：内田）

##### 1) 目的

福山大学の地元である福山市西部（広島県福山西警察署管内）の主要交差点において、交通事故（人傷事故）発生件数を事故形態別に見ると、いずれの交差点も追突事故の件数が他に比べて多い。それらの交差点はいずれも国道 2 号線上にあるが、この地域の道路の特徴として以下の点が挙げられる。

- ・ 国道が直線的で、かつ他の主要道との交差点が比較的少なく、スピードが出やすい
- ・ 交通量が国道に集中しており、そのため全国の国道と比較して渋滞が激しく、ドライバー心理に焦りが生じやすい
- ・ バイパス道に沿って防音壁などの障害物が多く、側道からの進入車両の発見が遅れやすい。側道からの車両が無理な進入を行う場合も多い

例として神島橋西詰交差点の写真を図 1 に示す。この交差点は、交差点前後の国道 2 号線部分がほぼ直線あるいはゆるやかなカーブであるが、交差点の直前で急なカーブになっており、走行車線を見誤った車両が橋梁欄干などの路上構造物に衝突する事故や、急減速した車両が後続の車両に追突される事故が発生している。またカーブ内側に高い防音壁や建築物があり、それらも交差点の見通しを阻害する要因となっている。この例のように、地域の交通安全対策は、以上のような交通事故や道路状況の特徴を十分に踏まえて検討する必要がある。

ドライビング・シミュレータ（以下、DS）は、コンピュータ・グラフィクスを用いて、運転席から見える景色（他の車両や歩行者を含む）をスクリーンに映し、試験台に備えたハンドル、アクセル、ブレーキなどによる操作が、あたかも実物の自動車を操作しているように、スクリーン映像に反映される装置である。本プロジェクトで用いた DS を図 2 に示す。

DS を交通安全研究に用いることのメリットとして、以下の点が挙げられる。

- ① 道路交通における危険状況を容易に模擬あるいは再現して実験できる
- ② 道路形状、道路環境、昼夜、気象条件などを自由に設定できる
- ③ ドライバーの生理量を記録するためのセンサ類を用いた実験等を行うことが容易である

特に自動車事故につながるような危険状況を想定した実験は、DS がなくてはできないといえる。

先に述べたように、福山市西部地区は追突事故が多い点が特徴的である。ここでは神島橋西詰交差点を例に、道路形状や道路周辺の構造物が運転挙動にどのように影響するかを調べ、事故低減方策を検討する。この研究のために DS 上に作成した、同交差点周辺の道路と市街のモデル化を図 3 に示す。

## 2) 実験方法

神島橋交差点の事故多発の要因として、1) 上り車線の交差点付近に高い防音壁や建築物があるため交差点の見通しが悪い、2) 上り車線の交差点手前が急カーブである、3) 上り車線の交差点手前で2車線から4車線に分かれるためドライバーにとって迷いや錯覚を起ししやすい、などがあげられる。そこで、同交差点の道路変更案として、これら3つの問題を排除した3種類を考えた。すなわち、変更案Aでは交差点付近の防音壁と建築物を取り除いた。変更案Bでは緩やかなカーブとなるよう道路形状を変更した。変更案Cでは各走行車線の路面を異なる色で塗色した。変更案A, B, Cのモデルを、現状の道路モデルと比較して図4～図6に示す。



図1 神島橋西詰交差点



図2 ドライビング・シミュレータ



図3 DS上に作成した福山市街（上）と神島橋西詰交差点（下）のモデル

上記3種類の道路モデルをDS上に作成し、国道2号線の上り車線を走行する模擬走行実験を行った。走行車線は第1車線(外側直進路)とした。

男子学生5人を被験者として、現状の道路、変更案A, B, Cの4者を各3回ずつ走行させた。その際、各被験者が走行する道路の順序は、順序効果を防ぐため、乱数を用いてランダム化した。そして実験において交差点内の縁石に接触した回数(以下「縁石接触」と)、走行車線を逸脱して他の車線に侵入した回数(以下「車線逸脱」)をカウントした。

### 3) 実験結果

実験結果を図7, 8に示す。現状の道路形状では車線逸脱が5件、縁石接触が4件発生した。変更案Aは車線逸脱が8件、縁石接触が1件、変更案Bは車線逸脱が3件、縁石接触が4件、変更案Cは車線逸脱が2件、縁石接触が4件であった。

変更案Aでは縁石接触を低減する効果が見られたが、車線逸脱に対しては逆効果を示す結果となった。すなわち、縁石接触は1件のみで、現状の4件を下回ったが、車線逸脱は8件に増加し、現状の5件を上回った。変更案Aが縁石接触に対して効果があった理由は、交差点付近の防音壁と建築物を取り除くことで交差点内の見通しが改善されたためと考えられる。



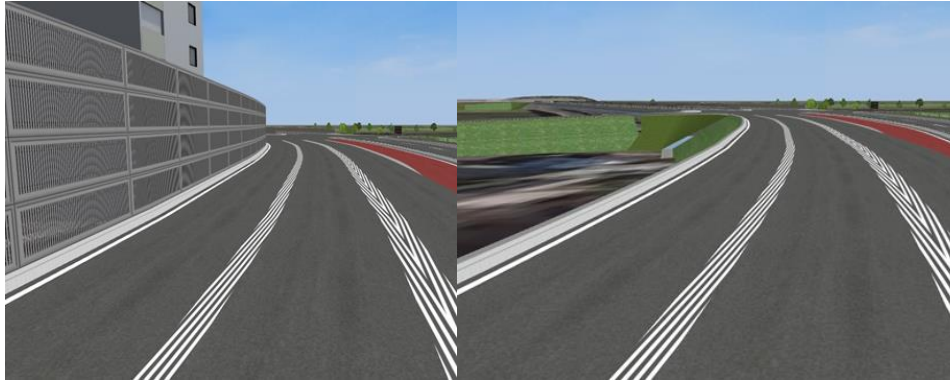


図4 道路変更案A（左：現状，右：変更案）

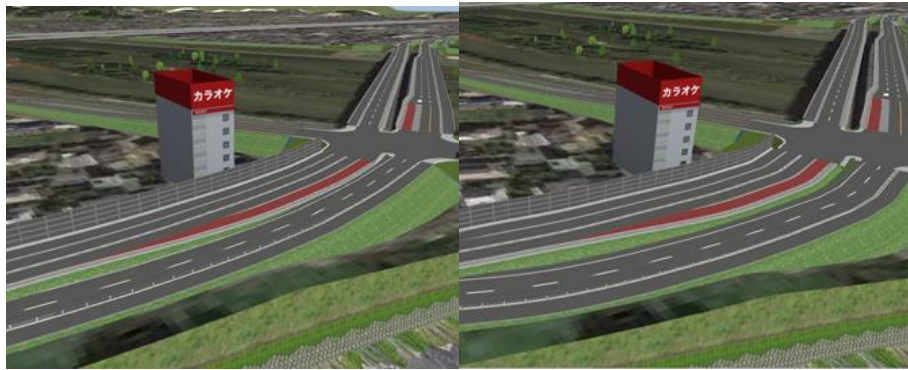


図5 道路変更案B（左：現状，右：変更案）

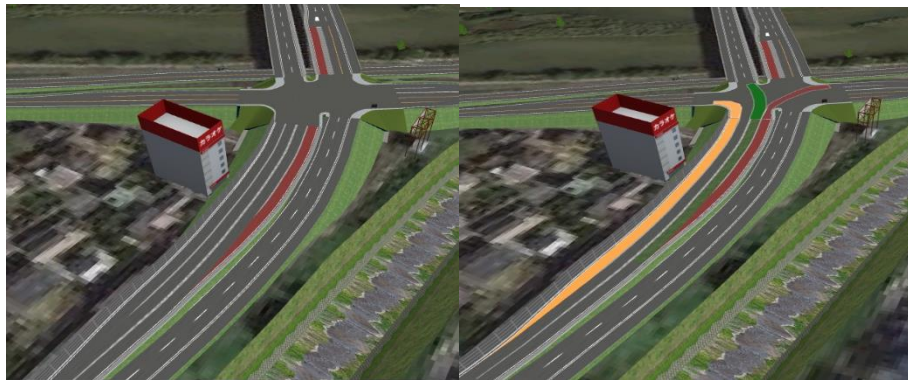


図6 道路変更案C（左：現状，右：変更案）

変更案BとCは、車線逸脱を低減する効果は見られたが、縁石接触に対する効果は得られなかった。すなわち、車線逸脱は変更案Bでは3件、変更案Cでは2件と現状を下回った。縁石接触は、変更案B、C共に4件であり現状と違いはなかった。変更案B、Cが特に車線逸脱に対して効果があった主な理由は以下であると考えられる。

- 1) 変更案Bでは、カーブが緩やかになることで運転操作ミスが減少した
- 2) 変更案Cでは、車線が色分けされることで走行路線の見誤りが少なくなった

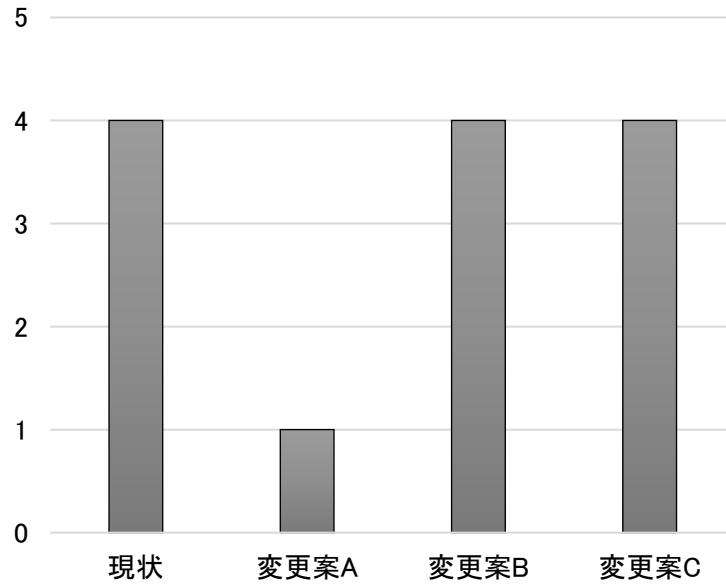


図7 縁石接触の発生回数

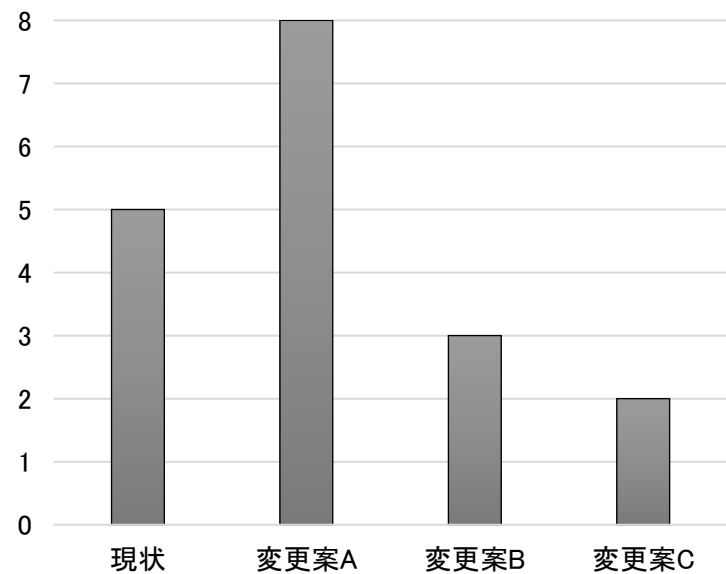


図8 車線逸脱の発生回数

#### 4) まとめ

車線逸脱や縁石接触など、操舵に関連する運転ミスについて実験を行った。車線逸脱防止の観点からは、車線の色分けする変更案Cは、カーブが緩やかになるよう道路形状を変更する変更案Bと同等の効果を有する可能性があり、少ない費用で事故低減効果を発揮する交通安全対策として期待できる。

ここで検討した事項以外の事故低減策として、福山市西部の国道2号線は直線に近い区間が多く、スピードを出す車が多いことから、スピードを抑制する対策が効果的と考えられる。また神島橋西詰交差点北側のy字路については、路面の高低差により他の進入車両が見えにくいことが交通事故要因であると推測されることから、交通信号の設置などによる事故防止策が有効と考えられる。

## (2) 自動車運転時の道路幅感覚に対する走行速度と明るさの影響（担当：内田）

### 1) 背景と目的

福山市西部地区の交通事故は、追突事故が全体の9割を占めるなど、他地域と異なる性質を持つことから、車両一人（運転者、歩行者）－道路環境の関係の視点から分析している。この地区の交通事故多発点として神島橋西詰め交差点があるが、ここでは、走行速度が速い場合や、夜間など周囲の明るさが暗い場合には、橋の入り口が狭く感じるということが指摘されている。そこで実際にそうした現象が存在するのか、実験的な検証を試みた。

### 2) 実験方法 - ドライビング・シミュレータによる実験（実験Ⅰ）

ドライビング・シミュレータ（以下 DS）で、神島橋交差点付近の道路モデルを作成し、被験者実験により道路幅の広さ感を評価した。実験条件として、道路モデルの道路幅と周囲の明るさ（昼夜）、被験者に指示する走行速度のそれぞれを、以下の3水準で変化させた。

- |               |           |
|---------------|-----------|
| 1) 明るさ        | 2) 走行速度   |
| A) 昼 (12:00)  | A) 50km/h |
| B) 夕方 (18:00) | B) 60km/h |
| C) 夜 (20:00)  | C) 70km/h |
- 3) 道路幅
- A) 広幅（橋の入口において現状より+30cm）
  - B) 現状
  - C) 狭幅（橋の入口において現状より-30cm）

図1に車線幅3水準の道路モデルを、図2に明るさ3水準の道路モデルを示す。



図1 車線幅3水準の道路モデル（左：現状，中：広幅，右：狭幅）



図2 明るさ3水準の道路モデル (左：昼，中：夕方，右：夜)

被験者は工学部男子大学生4名で，被験者ごとに，明るさ3水準×走行速度3水準×道路幅3水準＝合計27条件の要因実験を行った．順序効果を排除するために，被験者ごとにランダム化した順序で実験条件を設定した．被験者は実験条件ごとの道路幅の広さ感を，広い，やや広い，普通，やや狭い，狭いの5段階で主観評価し，解答用紙に記入した．

### 3) 実験結果

すべての実験終了後，明るさと走行速度の条件ごとに，5段階評価の各段階の頻度を求めた．明るさと道路幅の広さ感の関係を図3に，走行速度と広さ感の関係を図4に示す．両図より，明確とはいえないものの，暗い時間帯の映像ほど，また走行速度が大きいほど，道路幅が狭く感じられる傾向があることがわかった．

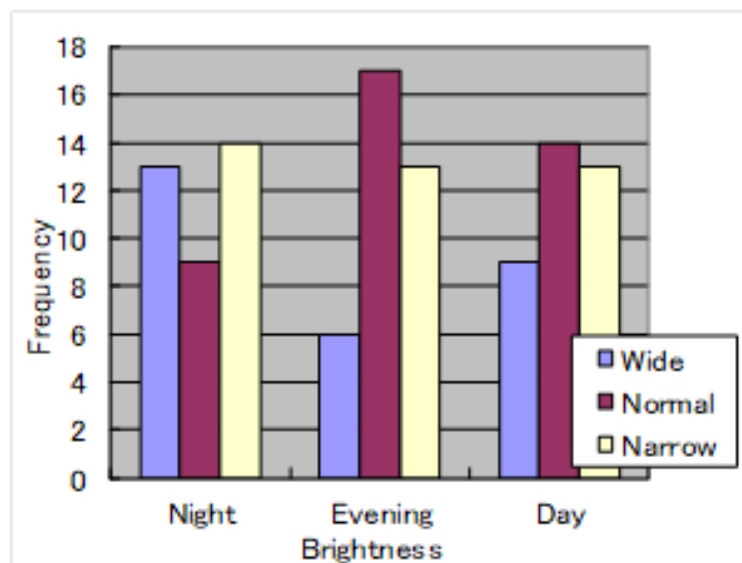


図3 明るさと広さ感の関係 (実験 I)

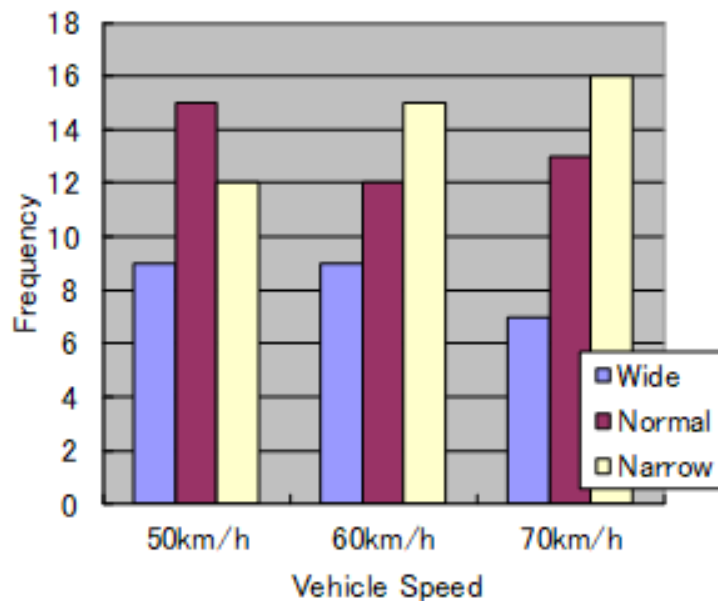


図4 走行速度と広さ感の関係（実験Ⅰ）

#### 4) 実験方法 - アナグリフ動画による実験（実験Ⅱ）

実験Ⅰにおいて、道路幅感覚に対する明るさと道路幅の影響は弱いものであることがわかったことから、走行速度が速い場合や道路周辺が暗いときに橋の入り口が狭く感じられるという現象には他の要因が影響している可能性が考えられた。そこで次に、DS を用いず、橋の入口を簡素なグラフィックス映像で模擬した動画を提示し、実験Ⅰと同様の要領で道路幅の広さ感を主観評価する被験者実験（実験Ⅱ）を行った。なお提示する動画映像にはアナグリフの手法を用い、現実の運転場面に近い立体感が得られるようにした。

#### 5) 実験条件

提示した映像は、一定の幅を保ったブロック状の物体が接近・通過してゆくもの（図4）とし、被験者は両目のレンズをそれぞれ赤と青に着色したアナグリフ眼鏡を着けて立体映像を見たのち、狭い、普通、広いの3段階で道路幅の主観評価を回答した。

被験者は男子大学生4名で、実験条件として、明るさ4水準×走行速度（ブロック状物体の接近・通過速度）4水準×道路幅4水準＝合計56条件の要因実験を行った。

- |         |          |
|---------|----------|
| 1) 明るさ  | 3) 道路幅   |
| A) 明るい  | A) 250cm |
| B) 薄明るい | B) 275cm |
| C) 薄暗い  | C) 300cm |
| D) 暗い   | D) 325cm |
| 2) 走行速度 |          |

- A) 40km/h                      C) 60km/h  
 B) 50km/h                      D) 70km/h

## 6) 実験結果

実験結果を図5と図6に示す。両図は、図2、図3とは明るさ、走行速度、道路幅の水準数が異なるほかは、同様の結果を表す。

図5では、明るい映像ほど道路幅を広く感じる頻度が高く、逆に暗い映像ほど狭く感じる頻度が高くなる傾向が表れた。また図6では、走行速度が低いほど道路幅を広く感じ、走行速度が高いほど道路幅を狭く感じる頻度が高くなる傾向が明確に表れた。

## 7) 結論

神島橋交差点における道路幅感覚に対する道路環境の明るさと走行速度の影響を2つの実験により調べ、以下の実験結果を得た。

- 1) 明るい状況（昼）よりも暗い状況（夜）の方が道路幅を狭く感じる割合が高くなり、逆に明るい状況ほど道路幅を広く感じる割合が高くなる。
- 2) 走行速度が遅い状況よりも速い状況の方が道路幅を狭く感じる割合が高くなり、逆に遅い状況ほど道路幅を広く感じる割合が高くなる。
- 3) 1), 2)の傾向とも、ドライビング・シミュレータによる実験Ⅰよりは簡易的な立体映像を用いた実験Ⅱの方が明確に表れたことから、視覚の立体感が影響するものと推察される。また視野に入るものの現実感（リアリティ）の影響度は小さいものと考えられる。

以上の実験を通じて、走行速度が速く、周囲の明るさが暗くなるほど橋の入口における道幅が狭く感じるといわれる現象を実験的に検証した。

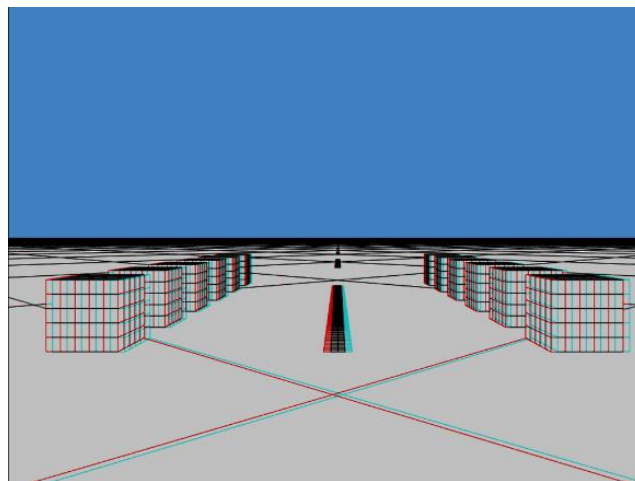


図5 提示したアナグリフ動画映像（実験Ⅱ）



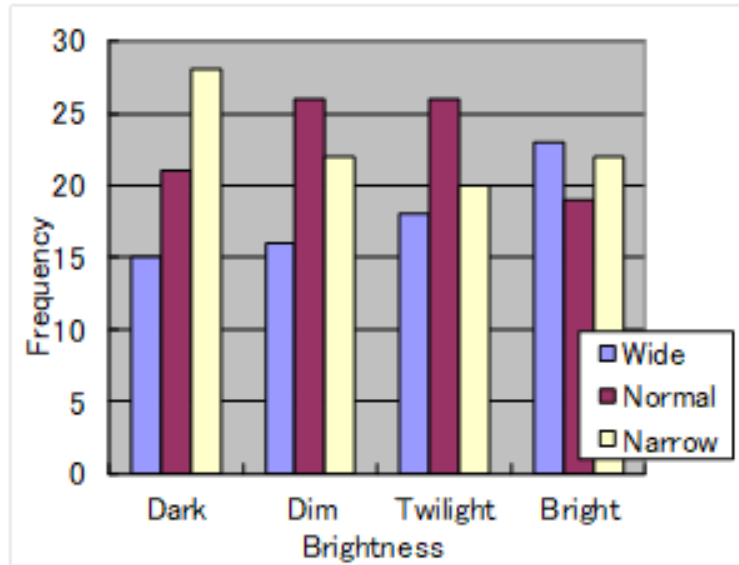


図5 明るさと広さ感の関係（実験Ⅱ）

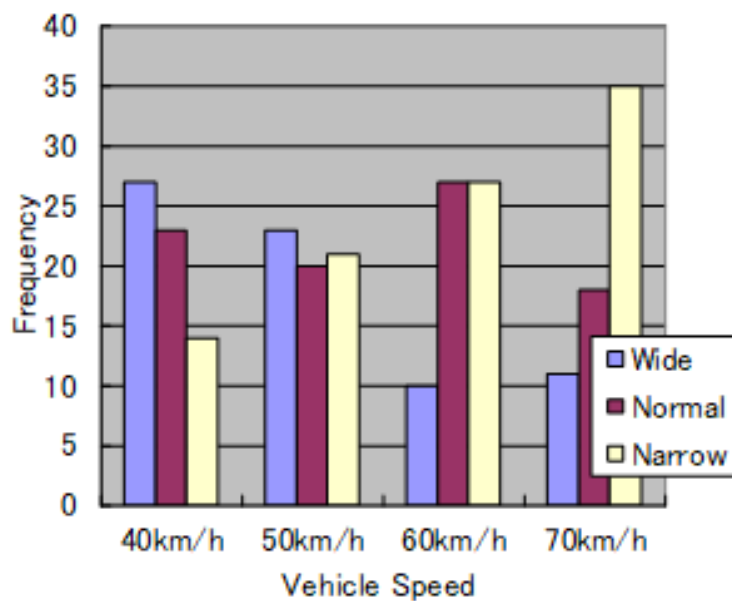


図6 走行速度と広さ感の関係（実験Ⅱ）

### (3) 新しいデータ分析手法の交通安全研究への応用（担当：内田）

#### 1) 背景と目的

近年、機械学習と呼ばれるデータ分析法がいろいろな分野で利用されるようになってきている。交通事故データを新しい方法論で分析することにより、新たな視点に基づく事故対策を見出せる可能性がある。ここでは、そうした新しいデータ分析手法の一つを用いた交通事故データ分析を試みる。

## 2) アプローチ

計測制御やデータ分析の分野で応用が進みつつある「機械学習」の一手法を用いて、平成 27 年度の広島県内の人傷事故に関する 1 万余件のデータ（広島県警本部提供）を分析する。

機械学習とは、ニューラルネットワークなどの人工知能技術を用いて、センサーやデータベースのデータから規則性や類似性を見出す方法論である。2 種類の基本的な考え方があり、教師あり学習は、成功・不成功の結果がわかっている前例データを読み、そのパターンを抽出する手法であり、主に推定目的で用いられる。教師なし学習では、特定の目的や目標に基づいて、データのパターンを抽出する（前例データなし）方法論であり、主に分類・探索に適する。

## 3) 分析結果

図 1～3 は、機械学習の一手法であるロジスティック回帰を適用して、上記交通事故データを分析した結果である。ロジスティック回帰は「回帰」という言葉が付いているが、データのグルーピング手法としても適した手法である。ここでは広島市中心部と備南地域のそれぞれの交通事故データをグループ化し、広島市域と備南地域とで比較することにより、両者の交通事故パターンの違いをしてみる。

図 1 は広島市中心部の交通事故データグループの上位三者の因子構造を図表示したものであるが、これを見ると広島市域では、第 1 に二輪車や停車中の車両が関係した主要道や交差点での出会い頭事故や追突事故が多いことがわかる。また第 2 には第 1 当事者と第 2 当事者がともに高齢者で歩行者と二輪車が関与した事故、第 3 には軽自動車や高齢者が関与した物損事故が多いことがわかる。

他方、備南地区（図 2）では、第 1 に軽自動車と女性が関与した主要道での出会い頭事故や追突事故、第 2 には主要道での女性や高齢者の二輪車・歩行者事故、第 3 に主要道における冬季の月末の、高齢者が運転する大型車両と歩行者の事故が多いことがわかる。

図 3 は、備南地域の交通事故の重篤度と上のグルーピング結果を色分けして、その事故の発生地点上にプロットしたものである。重篤度とグルーピング結果の図を突き合わせてみると、グループ C は件数は少ないものの、死亡事故と発生個所が一致するものが比較的多く、死亡事故につながりやすい事故パターンであることが推察される。またグループ B はグループ C に次いで件数の多いグループであるが、重傷事故の発生個所と重なるものが多く、重大事故につながる事故パターンであることが推察される。それらに対して最も件数の多いグループ A は、軽傷で済むケースが多いことが見て取れる。

このように、事故の因子構造に基づいて事故データをグループ化することにより、地域ごとの事故の特徴や、重大事故につながる事故パターンを明らかにすることができる。したがってこれを活用することによって、交通事故に関連するビッグデータを効率よく分析し、地域固有の事故要因に基づく有効な交通安全対策を立案するためのデータマイニング手法を実現できる可能性がある。



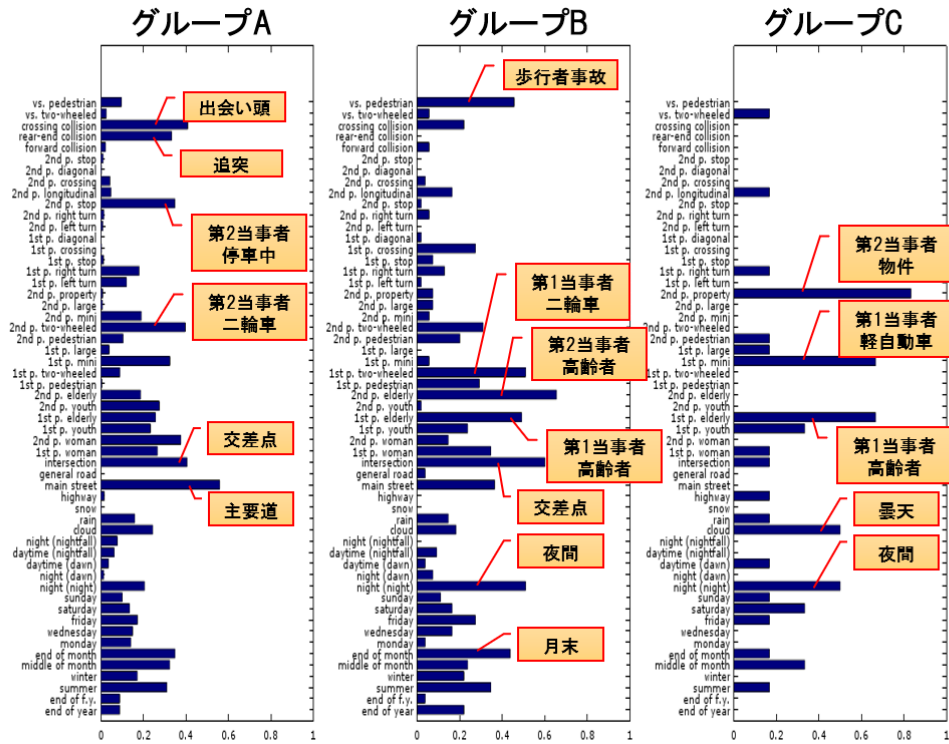


図1 広島市中心部の交通事故グループの因子構造 (平成27年度、人身事故)

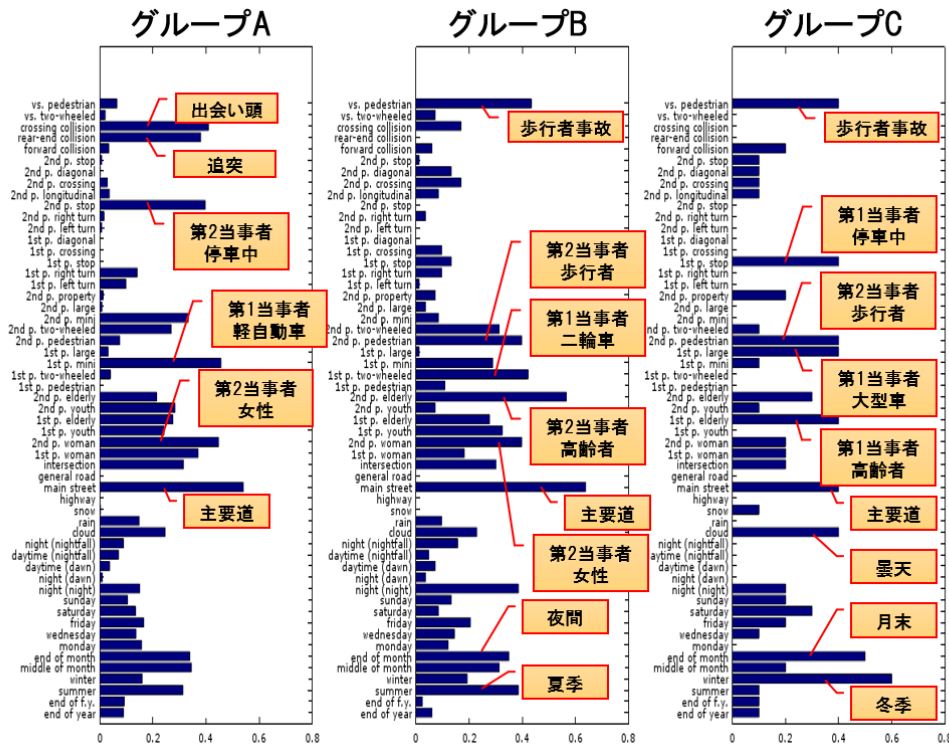


図2 備南地域の交通事故グループの因子構造 (平成27年度、人身事故)

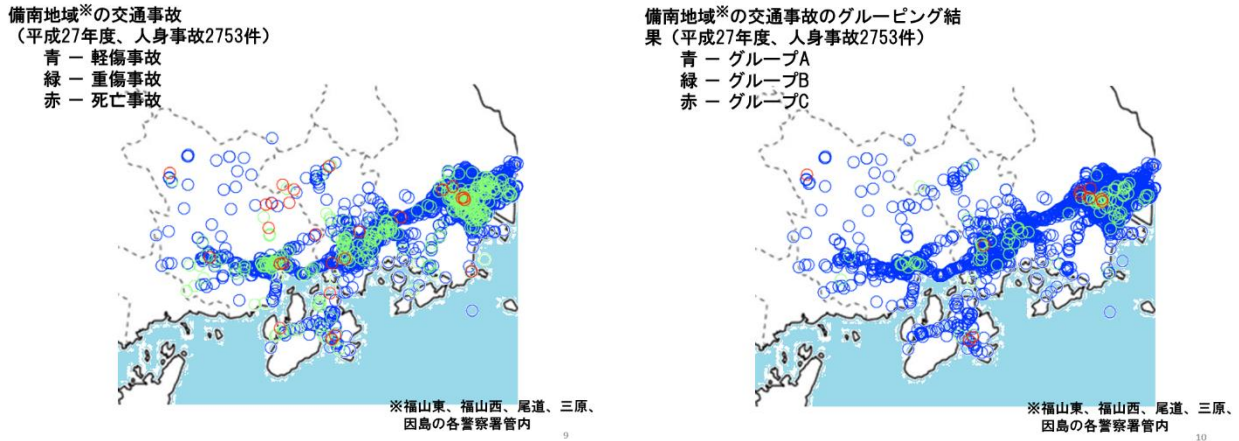


図3 備南地域の交通事故の重篤度（左）とグルーピング結果（右）

## 2.2 広島県警察との連携活動

平成28年に、交通安全に関する1回の学内シンポジウムと2回の協議会を開催し、広島県警察および国土交通省等との問題共有、交通安全に貢献する研究の提案と発表を行った。

### (1) 広島県警察と福山大学における交通安全教育等に関する共同研究協議会

日時 平成28年2月19日（金）13:30～16:20

場所 工学部1階 社会安全工学研究室

学外からは、広島県警察本部より土井交通部参事官兼交通企画課長はじめ4名、安佐北警察署、福山西警察署、福山東警察署、福山北警察署、三原警察署、尾道警察署、因島警察署、府中警察署の交通課長等が出席した。本学からは、富士副学長をはじめ、機械システム工学科、情報工学科、スマートシステム学科、心理学科、メディア情報文化学科、社会連携センターの教職員と機械システム工学科学者が参加し、総勢で30名を越す協議会となった。

下記の講演とドライビング・シミュレータによるプレゼンテーションが行われた。

「交通事故総合分析センターにおける交通事故調査・分析の紹介」	関根康史准教授
「ドライビング・シミュレータによる交通安全技術の研究」	内田博志教授
「ドライブレコーダーを活用した高齢運転者の運転診断の取り組み」	広島県安佐北警察署交通課
「ドライブレコーダー動画の解析による異常検知の可能性」	金子邦彦教授
「動画解析ソフトと全方位カメラシステムの提案」	伍賀正典准教授



図1. 第1回共同研究協議会の様子

## (2) 交通安全シンポジウム

日時 平成28年9月13日(火) 13:00~17:00

場所 福山大学 大学会館3階 ICT教室 CLAFIT

広島県警察本部4名、国土交通省中国地方整備局福山河川国土事務所4名、福山西交通安全協会5名、広島県環境県民局2名、福山市建設局2名が出席した。本学からは、松田学長をはじめ、機械システム工学科、情報工学科、スマートシステム学科、心理学科、社会連携センターの教職員と機械システム工学科の学生が参加し、総勢30名を超えるシンポジウムとなった。

下記の講演が行われた。

### 基調講演

「最近の道路行政について」 国土交通省 福山河川国道事務所 副所長 岸部明和氏  
 「広島県交通安全計画における取組について」 広島県警察本部 交通企画課 新庄一司氏

### 研究報告(福山大学より)

「地域の交通問題を解消するための小型モビリティの開発」 小林正明講師研究室  
 「福山市鞆町における可変交通情報看板の効果」 小林正明講師  
 「映像監視が視覚探索に及ぼす影響」 宮崎由樹講師  
 「ドライブレコーダー画像からの特徴抽出と個性の分析」 金子邦彦教授  
 「ドライビング・シミュレータを応用した安全運転教育」 内田博志教授研究室  
 「最近のデータ分析手法の交通安全研究への応用について」 内田博志教授  
 「眼窩周辺からの視覚情報の効果に関する研究」 香川直己教授

### 話題提供

「事故分析の手法について」 広島県警察本部 交通企画課 統計係長 門田吉正氏

## 特別講演

「学際的研究で支える安心・安全・日本一」

福山大学 人間文化学部長 平 伸二教授



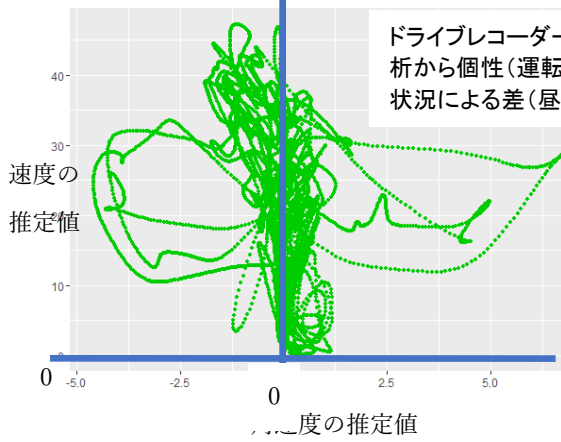
図 3. 交通安全シンポジウムの様子



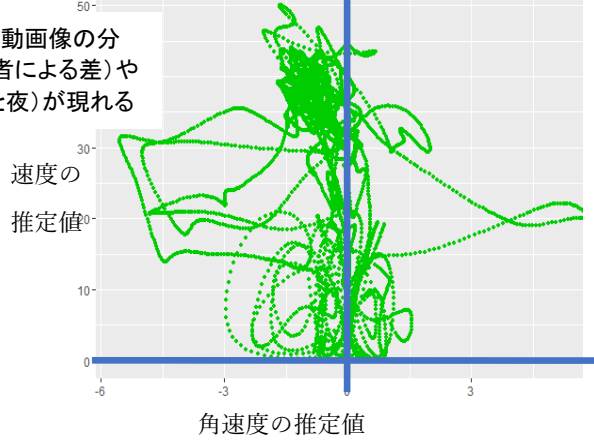
図 4. 可変交通情報看板の表示例と実験の様子（小林講師の研究報告より）



1. 運転者 A 昼間走行



3. 運転者 B 昼間走行

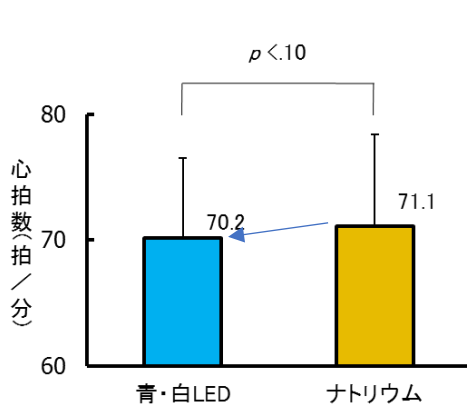


ドライブレコーダー動画像の分析から個性(運転者による差)や状況による差(昼と夜)が現れる

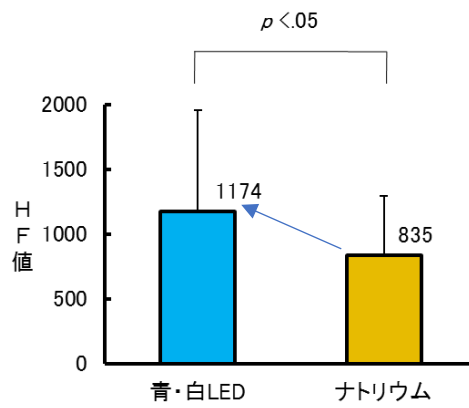
図 5. ドライブレコーダー画像からの特徴抽出と個性の分析 (金子教授の研究報告より)

青色・白色複合 LED 照明

ナトリウム灯照明



心拍数



心拍変動値 (HF 値)

図 6. 青色・白色複合 LED 照明の効果 (平教授の特別講演より)  
 青色・白色複合 LED にはリラックス (ストレスを喚起しない) 効果がある

### (3) 交通安全シンポジウム事後協議会

日時 平成 28 年 11 月 2 日（水）14:30～16:00

場所 工学部 1 階 社会安全工学研究室

広島県警察本部 3 名、機械システム工学科、情報工学科、スマートシステム学科、心理学科、社会連携センターの教職員が参加し、出席者 10 名の協議会となった。9 月の交通安全シンポジウムの研究報告の詳細内容および新たに提供されたトピックについて議論し、それを基に今後の共同研究の課題と進め方について協議した。

下記の講演が行われた。

「福山市鞆町における可変交通情報看板の効果 等（詳細版）」	小林正明講師
「H27 年中の広島県内道路横断中の歩行者死亡事故調査の報告」	関根康史准教授
「メタ認知について：見落とし事故はなぜおきるのか？」	宮崎由樹講師
「ドライブレコーダー動画の解析による異常検知の可能性（詳細版）」	金子邦彦教授
「地域の道路特性に基づく交通事故原因の分析 等」	内田博志教授
「眼窩周辺からの視覚情報の効果に関する研究（詳細版）」	香川直己教授



### (4) 広島県警察と福山大学との交通安全協議会（第 4 回会合）

日時 平成 29 年 2 月 24 日（金）14:30 から 17:30

場所 工学部棟 1 階 交通安全研究室

出席者 広島県警

広島県警察本部交通部交通企画課 新庄管理官

〃

門田分析係長

〃 堀 企画主任

福山大学

内田教授、香川工学部長、仲嶋安全安心防災センター長、金子教授、小林講師、  
宮崎准教授、中村助教 村上事務長 岡村事務長補佐

香川工学部長より、開会の挨拶があり、今までは本学で協議会を開催しているが、今後はこちらから出向いて協議会を行うことも視野に入れて進めていきたいとの提案があった。

#### ○研究発表

##### 『地域の交通事情を考慮した安全運転教育システムの開発』

工学部機械システム工学科自動車環境研究室 4年生 内田直章

- ・倉敷市の市街地をグラフィックモデル化する技術を研究。
- ・広島県であれば、事故のデータがあるので、県内の事故例のデータを地図に重ねれば、意外性のある事故例が作成できる
- ・意外性とは、何もない普通の場所で起きる
- ・実際の事故を重ねるとリアリティが増す。



## ○研究発表

『地域の道路特性に起因する交通事故要因の分析』 工学部機械システム工学科 内田教授

- ・神島橋は、夜やスピードが上がると狭くなるといわれているので検証した。
- ・アナグリフ眼鏡を使って実験すると、暗いときや走行速度が速い時に橋の入口が狭

く感じ

られる現象が観察された。

- ・なぜこのようになるかは今後の課題。

## ○研究発表

『交通事故等に関わる要因分析手法』 工学部情報工学科 金子教授

- ・データをいただいた途中経過の報告。
- ・グーグルやエクセルを使って簡単にデータを編集できる。
- ・今後どのようなものを地図に求めたいかリクエストして欲しい。
- ・地図の見える化を図っているが、簡単に出来るので驚いた。
- ・クラマーV係数をつかった。
- ・クロス値が低いところはあまり関係ない。
- ・数の少ない分析は難しい。数が10を切ると難しい。

## ○話題提供

『広島県の最近の交通安全事情』 広島県警察本部交通部交通課 門田分析係長

- ・西署管内では、やはり神島橋西詰め交差点の事故がワースト1
- ・車は進化しているが、追突事故件数はあまり変わらない。
- ・このデータは、人身事故だけで、物損事故は入っていない。

## ○講評

広島県警察本部交通部交通課 新庄分析官

昨年の広島県交通死亡事故は86名で目標にしていたところ90名以下を達成できた。2020年までに交通死亡事故を80名以下にしていきたいので、今後も協力して事故の抑制に努めていきたい。

## 2.3 論文・発表・講演

- 1) 乗用車の車体形状の違いによる前面衝突時の乗員傷害内容の比較 -SUV, 1BOX 車とセダン型乗用車の乗員傷害の詳細分析による比較 関根康史 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, in CD (2016-5)



- 2) 交通事故統計分析から推定する道路形状別リスク評価 関根康史 日本機械学会 2016 年度年次大会 講演論文集, No. 16-1, J1810101, in CD (2016-9)
- 3) 乗用車と前面衝突した原付乗員の傷害内容の分析 -ITARDA の事故統合データによる原動機付自転車乗員傷害の詳細分析 関根康史 自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演会講演予稿集, in CD (2016-10)
- 4) 交通事故統計分析から推定する道路形状別リスク評価(第2報)(車種構成・行動類型・危険認知速度・事故発生時間帯の比較) 関根康史 日本機械学会第 25 回交通・物流部門大会講演論文集, No. 16-36, in CD, OS4-4, No. 3306, (2016-12)
- 5) 内田博志: 備後地域の交通安全問題とその科学的対策、福山大学公開講座、場所: 福山大学、2016 年 10 月 8 日
- 6) 内田博志: 備後地域の交通安全問題とその科学的対策、福山大学公開講座、場所: 三原市中央公民館、2016 年 10 月 12 日

## 2.4 プロジェクト予算

この年度はプロジェクト予算の配分を受けなかった。

## 3. 2017 年度（平成 29 年度）

### 3.1 研究活動

#### (1) 自動車運転に対する青色白色 LED 街灯の心理的効果（担当：内田）

##### 1) 背景・目的

青色白色 LED 街灯の設置地域では犯罪が減少した事例があり、福山市でも LED 防犯灯として利用している<sup>(1)</sup>。速度感が損なわれやすい夜間走行では、速度超過による事故発生の可能性が高まるが、青色白色 LED 街灯はそうした危険の抑制にも有効である可能性がある。

本研究では、車道の青色街灯が同様の心理効果をもたらすことによって、スピード違反等の交通違反の抑制に効果が得られるかを調査する。ドライビング・シミュレータを用いて、各色の街灯を設置した道路を走行した場合の速度変化や走行時間などを測定し、どのような違いが表れるかを調べる。

##### 2) 実験方法

ドライビング・シミュレータで、高速道路に見立てた 8 の字状道路(時速 60km で 1 周約 20 分)を設定する。時間帯を夜に設定し、走行レーンに街灯を一定間隔で設置する。道路を均等長に 4 区間に分けて各区間の街灯色を白・オレンジ・緑・青の 4 色に設定する。色を違えることによって街灯の輝度が変わらないように街灯色毎に輝度調節を行った。

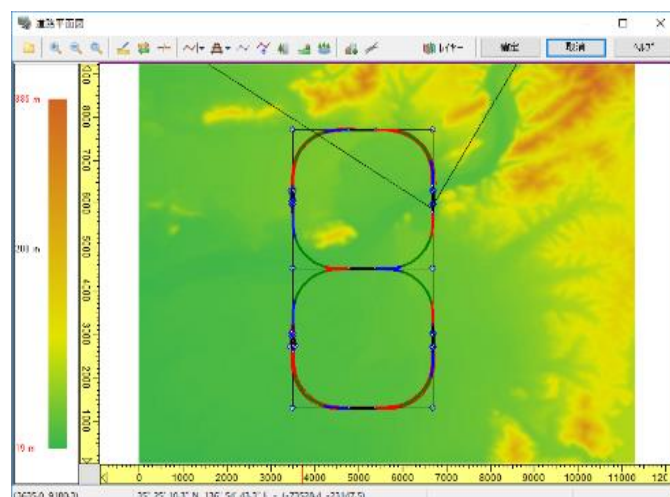


図 1 道路平面図

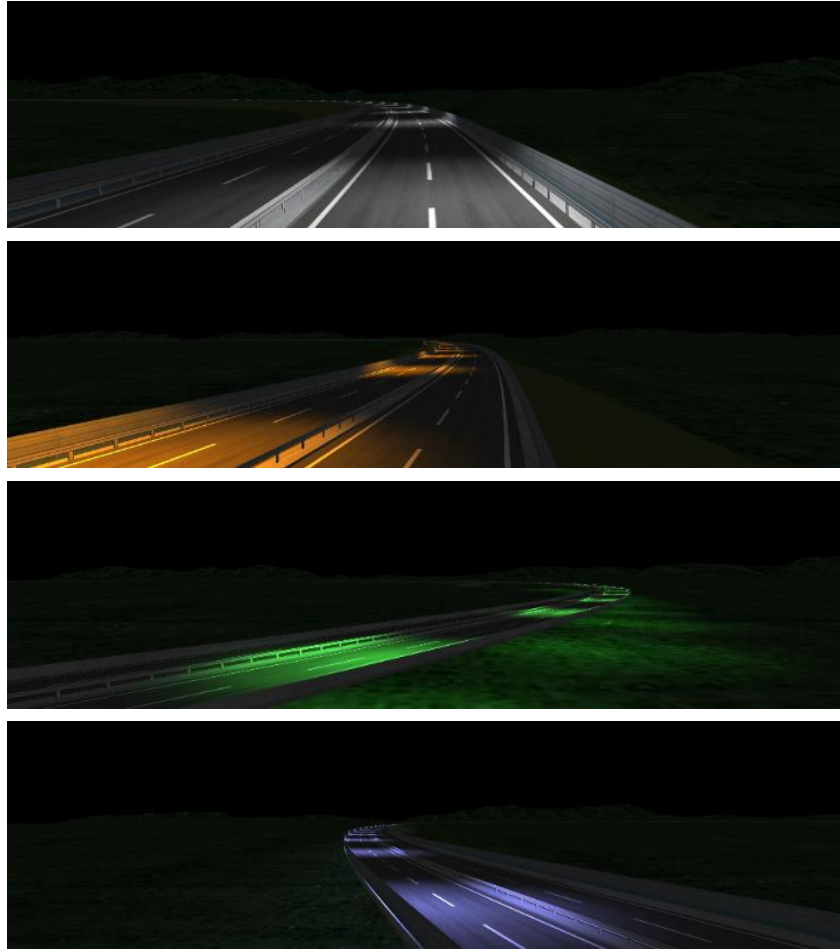


図2 4つの街灯色

### 3) 実験結果

男子大学生1名を被験者として、ドライビング・シミュレータで各区間の平均速度や区間通過時間を測定した。図3に各区間の走行速度の平均値と標準偏差を、図4にスロットル開度と舵角の標準偏差を示す。また白色街灯区間の舵角の周波数分布を図5、青色区間の場合を図6に示す。

図3、図4から、青色区間では平均速度が低い。またを見ると、青色街灯のときは舵角の標準偏差が高くなっている。図5、図6を見ると、白色区間では車速が安定しているが、青色区間では、0.2~0.3Hzの低周波域で車速が大きく変動している。青色区間では、平均速度は低い、車速を上げたり下げたりと不安定な運転をする様子が見られる。

### 4) 結論

青色の街灯では平均速度は下がるものの、舵角やスロットル開度が大きく変動し、落ち着きのない運転となる傾向がみられた。青色街灯を設置した道路では、ドライバーがこうした影響を意識して運転する必要があることが示唆された。

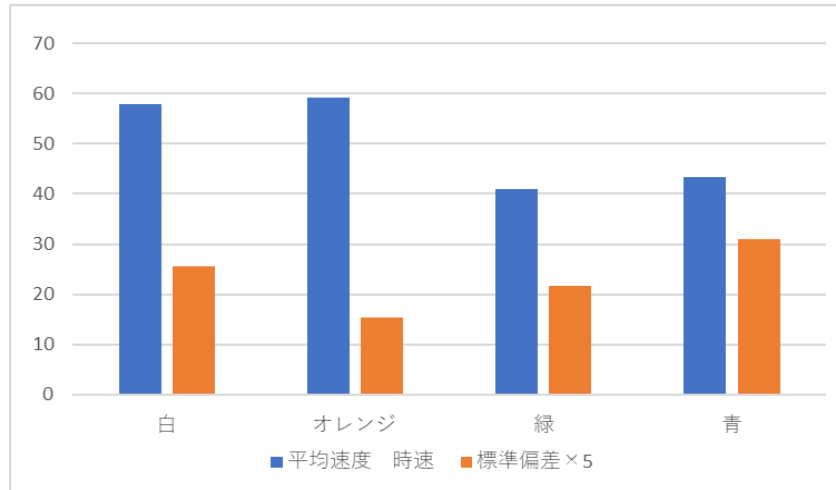


図3 街灯色ごとの平均速度と標準偏差

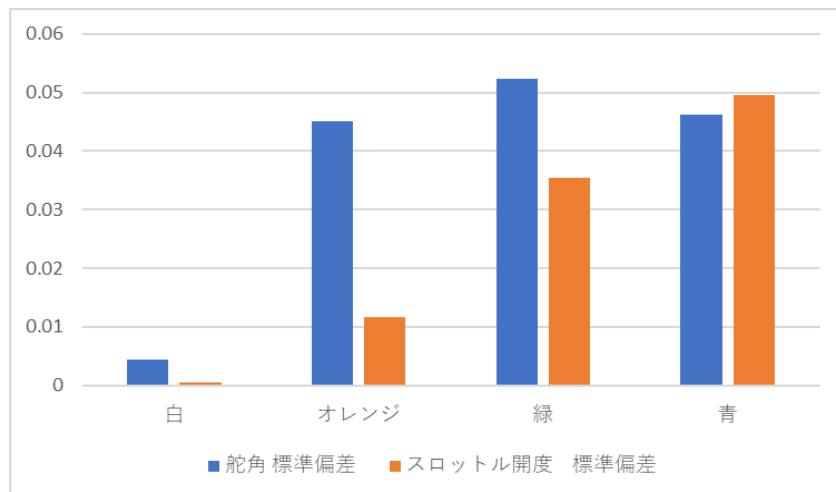


図4 街灯色ごとの舵角とスロットル開度の標準偏差

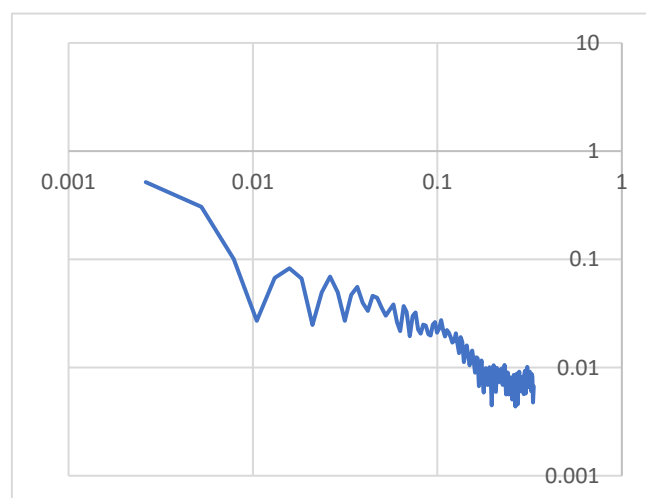


図5 白色区間の舵角の周波数分布

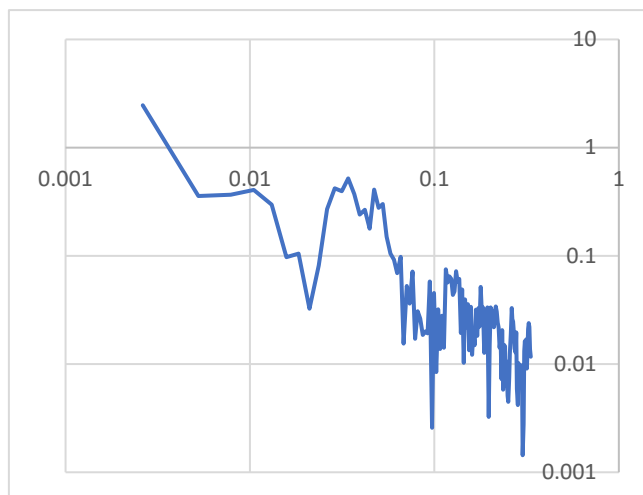


図6 青色区間の舵角の周波数分布

## 3.2 広島県警察との連携活動

### (1) 自動車のペダル配置と高齢運転者のペダル踏み位置の関係の分析（担当：関根）

実施日時：2017年7月22日（土）9:00～12:30

場所：広島県東部運転免許センター（広島県福山市瀬戸町山北54番地2）

実験への参加者：46名（男性40名，女性6名，62歳～86歳までが参加）

（広島県警福山東・福山西・福山北警察署合同開催の体験講習会の場を借りて実験を実施）

自動車の後退運転を想定，被験者46名（男性40名，女性6名，平均年齢74.1歳）に上半身を右方向に捻り後方を目視する姿勢をとっていただき，両脚大腿部の開き角度やブレーキペダルの踏み位置等との関係について分析を行った．ペダル踏み位置の「ばらつき」の傾向から，ブレーキペダルやアクセルペダルは、運転者の身体の中心位置から、あまり離れ過ぎない位置に配置した方が、ペダル踏み間違いのような事故発生を防ぐなど，安全上望ましいと考えられた．

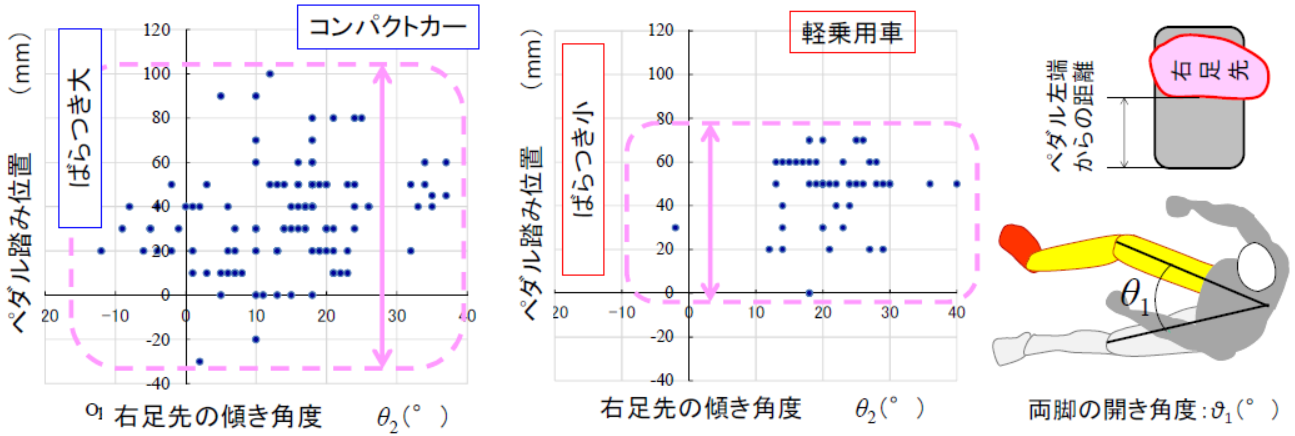


図1 被験者の両脚大腿部の開き角度  $\theta_1$  とペダル踏み位置の関係における「ばらつき」の比較



図2 実験に用いた試験車とそれぞれのペダルの配置 (水平方向)

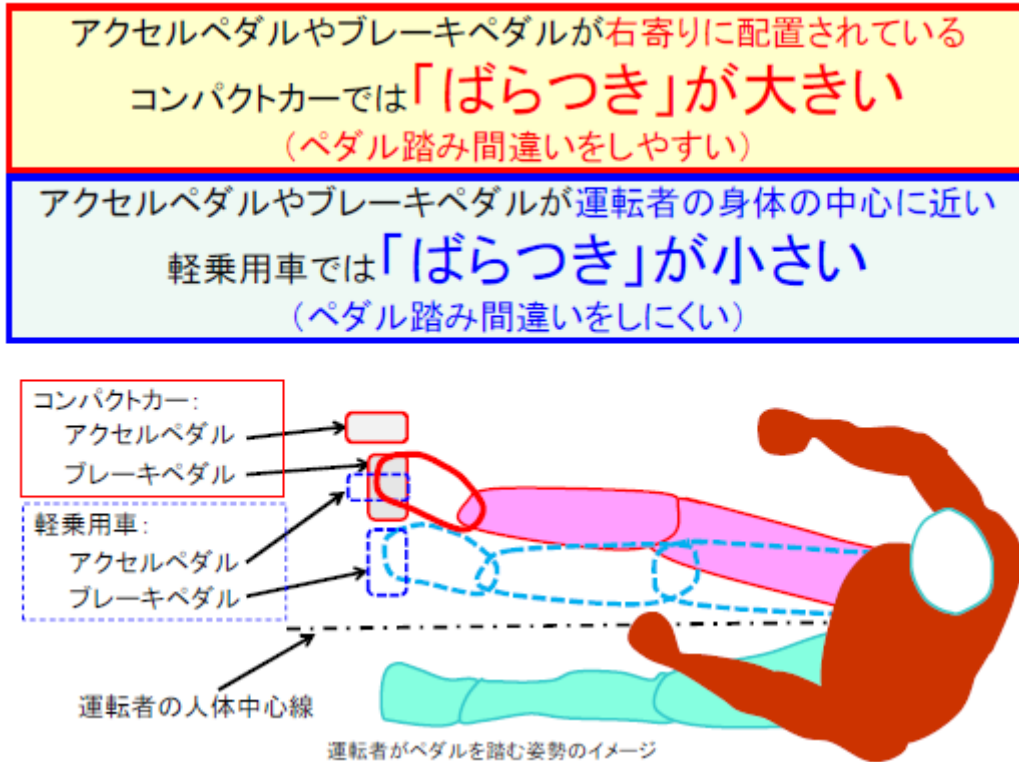


図3 運転者がペダルを踏む姿勢のイメージ

## (2) 広島県警察本部交通部との共同研究協議会

広島県警察本部交通部との共同研究協定に基づく協議会を行った。福山大学から3件の報告、県警から2件の話題提供を行った後、地域の交通安全問題について議論した。県警からは、平成29年度中の交通事故の主な特徴などについて説明があった。

地域の交通安全問題についての議論の中で、広島県警察からの福山大学に対する要望事項として、近年交通死亡事故が続いている国道486号線の事故防止対策プロジェクト、衝突被害軽減ブレーキを搭載した安全運転サポート車の普及啓発活動への協力要請を受けた。特に国道486号線の交通事故対策は本学地元地域の問題であることから、積極的に対応してゆくこととした。

日時 3月16日(金) 13:00~16:00

場所 広島県警察本部交通部会議室(広島市中区基町9-42)

出席者(敬称略)

広島県警察本部交通部

交通部長 警視正

池田泰明(挨拶のみ)

交通企画課高齢者交通安全対策室長 兼 交通事故分析官

広島県警視 久保谷康幸

交通規制課交通管制室 前田 孝

交通企画課課長補佐

広島県警部 後田訓之

交通企画課高齢者交通安全対策室

広島県警部補 辻 昌直

広島県竹原警察署交通課長（前・広島県警察本部交通部交通企画課分析官）

広島県警部 門田吉正

広島県庄原警察署交通課 交通総務係長

広島県警部補 石井宏樹

福山大学

スマートシステム学科 教授 仲嶋 一

機械システム工学科 教授 内田博志

機械システム工学科 准教授 関根康史

協議内容

1. 福山大学における研究状況
  - 1) 高齢運転者のペダル踏み間違いと脚部姿勢の関係の分析（関根）
  - 2) 自動車運転に対する青色白色 LED 街灯の心理的効果（内田）
  - 3) 安全運転支援のためのドライバー生体計測系の開発（内田）
2. 広島県警察における活動状況
  - 1) 平成 29 年中の交通死亡事故の特徴
  - 2) 簡易版 GIS を用いた交通事故分析事例
3. 広島県警察からの福山大学に対する要望事項
  - 1) 国道 486 号線交通事故防止対策プロジェクトへの協力要請
  - 2) 安全運転サポート車の普及啓発活動への協力要請

### 3.3 論文・発表・講演

- (1) 備後地域の交通安全問題とその科学的対策 内田博志 福山大学工学部紀要, 第 40 巻, pp.177-184 (2017. 3)



- (2) セダン型乗用車の衝突時における乗員の障害内容の分析 関根康史 福山大学工学部紀要, 第 40 巻, pp. 195-202 (2017. 3)

### 3.4 プロジェクト予算

この年度はプロジェクト予算の配分を受けなかった。

## 4. 2018 年度（平成 30 年度）

### 4.1 研究活動

#### (1) 広島県における安全運転サポート機能付き軽乗用車による被害軽減効果の推定（担当：関根）

内閣府の平成 30 年版高齢社会白書によると、我が国の総人口に占める 75 歳以上人口の割合は増え続け、2065 年には 25.5%に達すると予測されている。なお、高齢社会白書では 65 歳以上の割合のことを高齢化率と記しているが、この考え方で 2065 年の高齢化率は 38.4%にも達する。高齢者は視力や聴力、危険回避のための反応速度等の身体能力が若年者に比べ衰えることから、近年では高齢者の安全運転のための様々な研究が行われている。高齢者が自動車を安全に運転するためには、衝突被害軽減ブレーキや車線逸脱防止装置等の安全運転のためのサポート機能を装備した自動車の普及促進が望まれる。このような社会的背景から、広島県警では、高齢者に安全運転サポート車を体験試乗いただく安全運転講習会を実施、安全運転サポート車の普及啓発を通して、県内の交通事故の低減を図っている。安全運転サポート車のより一層の普及啓発のためには、その効果を示すことが重要である。筆者は、交通事故総合分析センターが保有する乗員傷害データを使用することによって、安全運転サポート機能付き軽乗用車の被害軽減ブレーキによる乗員傷害低減効果および車線逸脱抑制装置による事故回避の可能性について推定を行った。表 1 に 2017 年に広島県内で発生した車両単独死亡事故のうち、軽乗用車が係わった事故例を示す。5 件中 3 件が車線逸脱によって発生した事故であり、死亡した乗員は、いずれも 60 歳以上の高齢者である。

安全運転サポート機能付き軽乗用車の効果の車線逸脱防止装置および被害軽減ブレーキの 2 種類の予防安全装置からの推定を表 2 に示す。車線逸脱による事故 3 件は、いずれも昼間に発生しており、車線逸脱防止装置等のセンサーが一般的なもの、特に、晴天の昼間によく感知できるものと仮定すれば、晴天時に発生した 2 件（No. 1, No. 3）では、車線逸脱防止装置が装着されていれば、事故を回避できたと考えられる。また、No. 2 は、雨天であるが昼間であり、車線逸脱を感知するセンサーが正確に作動する環境ならば、事故を回避できた可能性は大と考えられる。車線逸脱以外の要因で発生した No. 4 と No. 5 は、それぞれ湿潤した路面でのスリップ事故と車止めへの衝突である。どちらも、車線逸脱との因果関係は不明であり、車線逸脱防止装置で回避できるとは言い難い。被害軽減ブレーキの効果は、図 1 中の近似式から求めた値である。被害軽減ブレーキについても、センサーが正常に働く条件でなければ、その効果を期待することはできないが、本報では、センサーが正常に働いたものと見なして、近似式から推測される乗員傷害の低減効果が 10%以上表れる分だけ衝突速度が下がった場合、すなわち本報では 10km/h 下がった場合の被害低減効果の推定を行った。運転者の死亡重傷者率は 13%から 23%程度低減

する効果が期待できる。No. 4 と No. 5 の 2 件については、車線逸脱防止装置の効果が期待できない事故例であることから、被害軽減ブレーキの装着は、乗員傷害の低減にとって重要と考える。

表 1 2017 年に広島県内で発生した車両単独死亡事故のうち軽乗用車が係わった事故例

No.	昼 or 夜	天気	死亡者	死亡者年齢	衝突速度 (km/h)	事故種別	事故概要
1	昼	晴天	運転者	78	60	車線逸脱	車線逸脱し、コンクリート壁に衝突 (緩やかな衝突角度で衝突)。
2	昼	雨天	運転者	62	40	車線逸脱	ガードレールに衝突。ドライバはセンターピラーに頭部をぶつけて死亡に至った。
3	昼	晴天	同乗者	83	40~50	車線逸脱	車線逸脱し雑木林に転落。
4	朝	雨天	運転者	54	50	スリップ	降雨により湿潤した路面の下り坂を走行中にスリップを起し、電柱に衝突した。
5	夜	曇天	運転者	18	50	工作物と衝突	車止めに衝突。

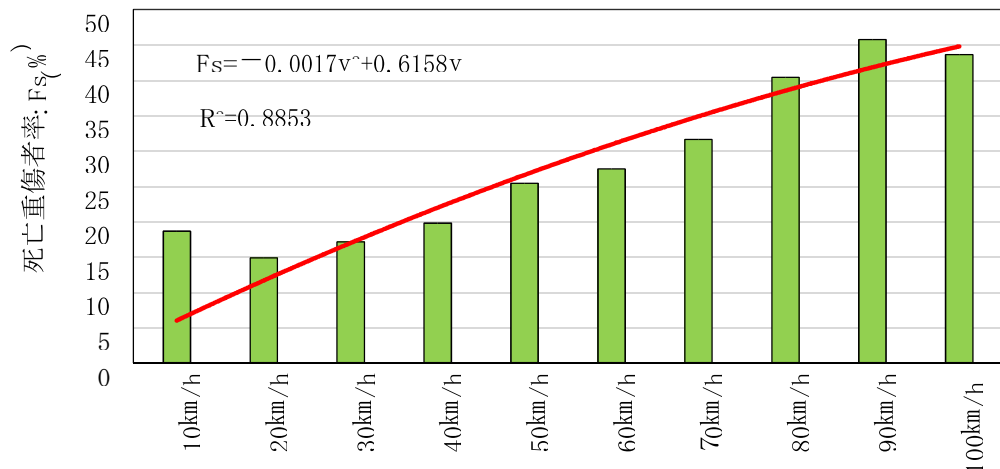


図 1 軽乗用車の車両単独事故における運転者の死亡重傷者率と速度の関係

表 2 軽乗用車の車両単独事故での車線逸脱防止装置および被害軽減ブレーキの被害軽減効果

No.	事故種別	車線逸脱警報が装備されていた場合の効果	被害軽減ブレーキによる乗員障害低減効果		
			近似式から導出した推定死亡重傷者率 (%)	△10 km/h 低下時の死亡重傷者率 (%)	乗員傷害低減効果 (%)
1	車線逸脱	晴天の昼間に発生した事故であり、車線逸脱防止装置が装着されていれば、未然に防ぐことができたと考えられる。	30.83	26.54	13.91
2	車線逸脱	昼間に発生した事故であるが、雨天であるのでセンサーが車線を認識できる運転環境ならば、未然に防ぐことができたと考えられる。	21.91	16.94	22.67
3	車線逸脱	晴天の昼間に発生した事故であり、車線逸脱防止装置が装着されていれば、未然に防ぐことができたと考えられる。	21.91~26.54	16.94 ~ 21.91	17.44~22.67
4	スリップ	雨天の朝に発生した事故である。本事故例はスリップのため電柱に衝突した事故のため、車線逸脱防止装置の効果は期待できない。	26.54	21.91	17.44
5	工作物と衝突	曇天の深夜に発生した車止めへの衝突事故であり、車線逸脱が本事故例の原因かどうか不明である。もし、センサーが車線を認識できる運転環境ならば、事故を防げた可能性も考えられる。	26.54	21.91	17.44

## (2) 生体計測を応用した歩行者の視点計測（担当：内田）

### 1) 背景と目的

本研究では、歩行者が道路横断する際などにどのような所に注視して歩行しているのかを、生体センサーの一種であるセンサー眼鏡を用いて推定する。

### 2) 実験方法

被験者 8 名それぞれ順番にセンサー眼鏡（図 1）を装着してもらい、記号ボード（図 2）の前 1m の位置で椅子に座って指示された記号を 3 秒毎に目だけで追ってもらう。5 つの記号（○×△□☆）なので約 15 秒の計測を 8 名行う。その時の眼電位をセンサー眼鏡によって測定する。

5 つの記号を記したボードの前 1m に座って、指示した記号を順に目で追ってもらいその時の眼電位を時間とともに測定した。時間経過とその時に指示した記号の場所で眼電位を採集した。



図 1 高度センサー眼鏡(JINS MEME)

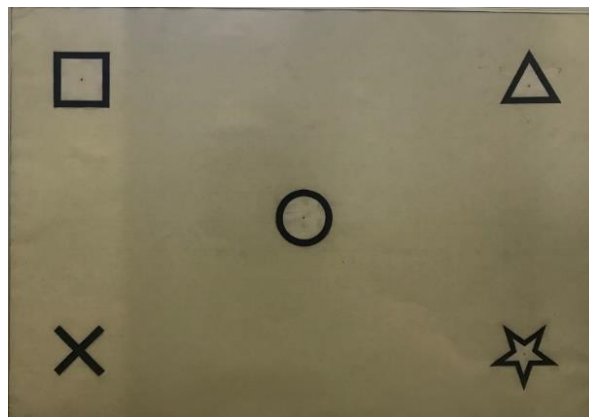


図 2 記号ボード

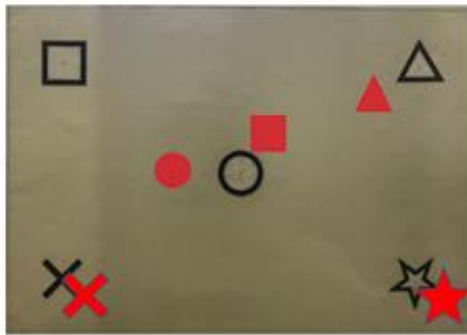
各図形を着座体制で頭も動かさず目だけで追ってもらい、眼電位の EOG\_L、EOG\_R、EOG\_H、EOG\_V の 4 つを測定してデータ処理を行った。4 つの眼電位を、記号ごとに 3 秒ずつ目視しているため、時間経過から目視していると考えられる記号毎に切り分け、その 3 秒間の平均値を求めた。眼電位は、EOG\_L (El=左)、EOG\_R (Er=右)、EOG\_H (Eh=水平差分)、EOG\_V (Ev=垂直差分) の 4 つで検出する。

眼電位の平均値から5つの記号と4つの眼電位だから5行4列の行列にする。この5行4列の行列の一般化逆行列を求める形で視点座標を推定する式を求め、それを用いて眼電位から視点座標を求める。今回の視点推定の精度を確認するために、各記号の元の座標と比較する。

### 3) 実験結果

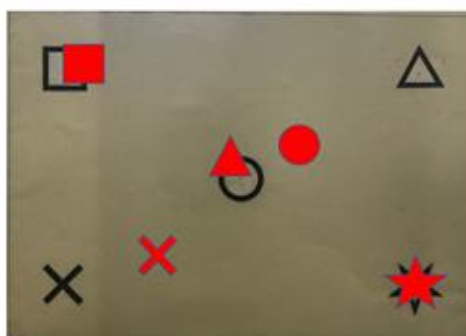
上記の方法により各被験者の視点を求め、その視点座標を記号パネルの写真御上に重ね書き表示した。全部で8人の被験者について計測を行ったが、ここでは5人分の結果のみを表示する(図3~)。

同じ被験者でもかなり良い精度で座標推定できている記号もあれば、正解とはまったく異なる位置として推定された記号もあり、全体的に良好とはいえない推定精度であることがわかる。この原因としては、眼電位の測定値のばらつきが多いこと、ヘルメットの装着状態が脱着のたびに変動すること、視線座標と眼電位との間になんらかの非線形関係があることなどが影響しているものと考えられる。今後、推定精度の向上を図るには、このことを考慮した方法論を検討する必要がある。



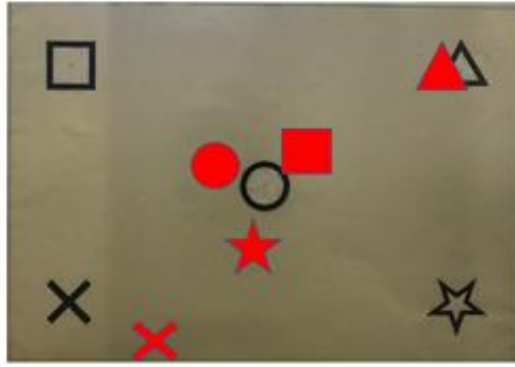
	x	y
○	269.16	403.51
△	746.04	621.91
□	513.57	550.09
×	123.81	142.16
☆	910	140

図3 被験者1の視点



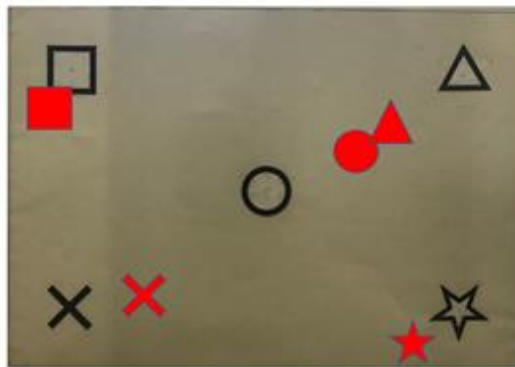
	x	y
○	668.93	442
△	497.42	400.53
□	197.6	627.85
×	384.83	258.37
☆	910	140

図4 被験者2の視点



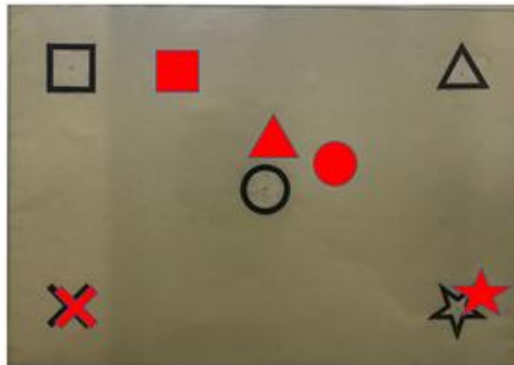
	x	y
○	421.38	406.26
△	852.53	621.128
□	575.66	439.83
×	296.09	82.62
☆	478.74	298.55

図5 被験者3の視点



	x	y
○	708.85	490.03
△	767.73	509.58
□	55.21	546.11
×	283.1	230.95
☆	837.82	94.12

図6 被験者4の視点



	x	y
○	666.35	414.39
△	516.4	480.62
□	322.51	655.36
×	151.43	143.47
☆	957.16	154.31

図7 被験者5の視点

### (3) HEVの自動運転へのエネルギー最適制御の適用 –位置制御則の導出– (担当：内田)

#### 1) 緒言

ハイブリッド電気自動車 (HEV) のエネルギー効率向上を目的とする最適制御の適用を考えたとき、次のような問題がある。1) 評価関数を2次とする通常最適制御では、消費エネルギーを最小化すると同時に回生エネルギー (負の消費エネルギーに相当する) を最大化するという制御目的を達成できない、2) ラグランジュ乗数の微分方程式を実時間で解きながら実行する非線形制御を行わなければならないが、エンジンとモーターの効率関数が非線形であるため、車載コントローラに搭載された安価なコンピュータでこれを実現することは、きわめて困難である。

以上の背景から、エネルギー最適制御理論 (EOC) を、HEV のエネルギーフロー制御に適用している。今後の車両の自動運転化を考えると、前車追従、自動走行などの位置制御の場合も考える必要があり、いずれにおいても、過去の研究の考えに沿って、単に位置誤差を考慮したパワー項を加えただけでは安定で良好な位置制御結果は得られない。そこで本稿では、より位置制御に適した最適制御則導出法として、制御対象のモデルにおいて位置誤差の信号で駆動される仮想駆動システムを追加しこの消費パワーを評価関数に加え、最適制御則を導出する方法を試みる。

#### 2) 位置制御則の導出

図1に示す、位置決め動作を行う回転系を考える。アクチュエータは、目標角度 $\hat{\theta}$ を実現するためにトルク $\tau$ を発生するが、外乱力 $f$ が存在するために、現実には誤差を持つ角度 $\theta$ が現れる。そこで $f$ と釣り合う反対向きの仮想駆動力 $-f$ の分を含むようにトルク $\tau$ を決定すれば、誤差が解消されることになる。

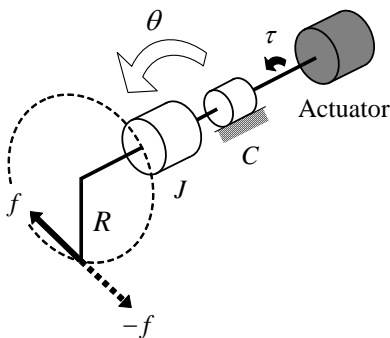


Fig.1 Rotating system

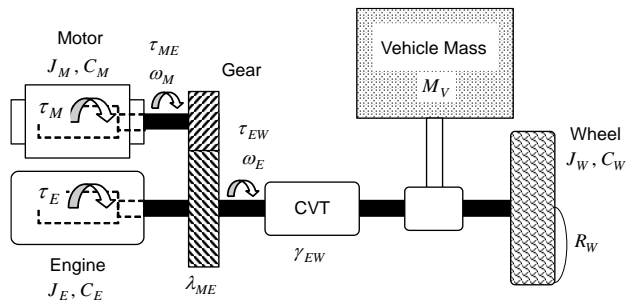


Fig.2 Schematic model of parallel HEV

この系のダイナミクスは次式で与えられる。

$$\tau = J\dot{\omega} + C\omega + Rf \quad (1)$$

この系の消費パワーを最小化する評価関数の被積分関数 $L$ を次式で定義する。



$$L = \kappa P + rg \quad (2)$$

$$P = (J\dot{\omega} + C\omega + Rf - \tau)\omega \quad (3)$$

$$g = \phi\tau\omega \quad (4)$$

ここで  $P$  は系のパワー収支式,  $\phi$  はアクチュエータの効率関数の逆数で, トルク  $\tau$  と角速度  $\omega$  の関数である.  $\kappa$ ,  $r$  は評価関数における  $P$  と  $g$  の重要度を配分する重み定数である.  $L$  にオイラー・ポアソンの方程式を適用すると, 次式を得る.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \omega} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}} \\ = \left\{ \kappa - r \left( \phi + \omega \frac{\partial \phi}{\partial \omega} \right) \right\} \tau - \kappa (2C\omega + Rf) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

これにより, アクチュエータの最適制御則は次式で与えられる.

$$\tau = \frac{2C\omega + Rf}{1 - \frac{r}{\kappa} \left( \phi + \omega \frac{\partial \phi}{\partial \omega} \right)} \quad (6)$$

外乱  $f$  は, 自動車では転がり抵抗や空力抵抗などによって生じるものであるが, そのままの形で記述した制御則では, フィードバックによる誤差の収束がはかれない. そこでここでは  $T_r = Rf$  のモデルの一例として, 下記の P I D 制御形のダイナミクスを用いる. ここで  $K_r$ ,  $C_r$  はそれぞれ, 位置制御に関する P I D 制御の比例ゲインと微分ゲイン,  $J_r$  は加速度に関するフィードフォワードゲインである.

$$T_r = K_r \Delta \theta + C_r \Delta \omega + J_r \hat{\omega} \quad (7)$$

すなわち式(6)による  $\tau$  は, 外乱  $f$  を考慮しないエネルギー最適制御則に, 外乱  $f$  を打ち消すためのダイナミクスに基づく仮想駆動力  $-f$  の分を加えたものとなる. この式は位置に関するフィードバック制御の働きを持つため, 過去の研究の考えとは異なり, 式(2)の  $L$  に誤差低減のための項を意図的に加えずとも, 良好に位置誤差が低減される制御則となる. この項は P I D 制御形に限らず, どのような形のフィードバック則で与えても良い.

最初にこの式をモデル式の中に組み込まず  $f$  のままとしておいた理由は,  $\theta$  などの変数が, オイラー・ポアソン方程式の適用による微分演算の対象となることを避けるためである. 式(7)を微分演算の対象とすると, 最適制御則がそのエネルギー収支を維持しようとする働きを持ち, 期待される制御効果が得られない. 以上により, 最終的に得られる制御則は次式となる.

$$\tau = \frac{2C\omega + T_r}{1 - \frac{r}{\kappa} \left( \phi + \omega \frac{\partial \phi}{\partial \omega} \right)} = \frac{2C\omega + K_r \Delta \theta + C_r \Delta \omega + J_r \hat{\omega}}{1 - \frac{r}{\kappa} \left( \phi + \omega \frac{\partial \phi}{\partial \omega} \right)} \quad (8)$$

### 3) HEVモデル

パラレルHEVのホイール、エンジン、モーターの運動方程式は、それぞれ次式で与えられる。  $\tau_{EW}$  はエンジンがホイールに与えるトルク、  $\tau_{ME}$  はモーターがエンジンに与えるトルク、  $f_W$  は転がり抵抗や空力抵抗により発生するタイヤ接地面等価反力である。

$$\tau_E = (J_E + J_W \gamma_{EW}^2) \dot{\omega}_E + \{C_E + (C_W \gamma_{EW} + J_W \dot{\gamma}_{EW}) \gamma_{EW}\} \omega_E - \lambda_{ME} \tau_{ME} + T_E \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \tau_M - \tau_{ME} &= J_M \dot{\omega}_M + C_M \omega_M + T_M \\ &= J_M \lambda_{ME} \dot{\omega}_E + (C_M \lambda_{ME} + J_M \dot{\lambda}_{ME}) \omega_E + T_M \end{aligned} \quad (10)$$

式(9)(10)より、  $\dot{\omega}_E$  と  $\tau_{ME}$  は、それぞれ以下の各式から得られる。

$$\dot{\omega}_E = \frac{\tau_E + \lambda_{ME} \tau_M - \gamma_{EW} R_W f_W - \{C_E + (C_W \gamma_{EW} + J_W \dot{\gamma}_{EW}) \gamma_{EW} + (C_M \lambda_{ME} + J_M \dot{\lambda}_{ME}) \lambda_{ME}\} \omega_E}{J_E + J_W \gamma_{EW}^2 + J_M \lambda_{ME}^2} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tau_{ME} &= \frac{(J_E + J_W \gamma_{EW}^2) \{ \tau_M - T_M - (C_M \lambda_{ME} + J_M \dot{\lambda}_{ME}) \omega_E \} - J_M \lambda_{ME} \{ \tau_E - T_E - (C_E + C_W \gamma_{EW}^2 + J_W \dot{\gamma}_{EW} \gamma_{EW}) \omega_E \}}{J_E + J_W \gamma_{EW}^2 + J_M \lambda_{ME}^2} \end{aligned} \quad (12)$$

### 4) 制御則

以上のHEVモデルに、第2節で述べた最適制御則導出法を適用する。(11)(12)より、エンジンとモーターのパワー収支  $P_E$ 、  $P_M$  は、それぞれ次式で表わされる。

$$P_E = \{ (J_E + J_W \gamma_{EW}^2) \dot{\omega}_E + (C_E + C_W \gamma_{EW}^2 + J_W \dot{\gamma}_{EW} \gamma_{EW}) \omega_E + \gamma_{EW} R_W f_W - \tau_E - \lambda_{ME} \tau_{ME} + T_E \} \omega_E \quad (13)$$

$$P_M = \{ J_M \dot{\omega}_M + C_M \omega_M - \tau_M + \tau_{ME} + T_M \} \omega_M \quad (14)$$

目的関数の被積分関数  $L$  を、以下のように定義する。  $q_E$ 、  $q_M$  は、それぞれエンジンの燃料消費量とモーターの電力消費量、  $\phi_E$ 、  $\phi_M$  は、それぞれエンジンとモーターの効率関数の逆数、  $\kappa_E$ 、  $\kappa_M$ 、  $r_E$ 、  $r_M$  は重み定数である。

$$L = \kappa_E P_E + \kappa_M P_M + r_E q_E + r_M q_M \quad (15)$$

$$q_E = \phi_E \tau_E \omega_E \quad (16)$$

$$q_M = \phi_M \tau_M \omega_M \quad (17)$$

(15)に、 $\omega_E$ 、 $\omega_M$ に関するオイラーポアソン方程式を適用すると、エンジンとモーターの最適制御則はそれぞれ次式で求まる。

$$\tau_E = \frac{2\{C_E + (C_W \gamma_{EW} + J_W \dot{\gamma}_{EW})\gamma_{EW}\}\omega_E - \lambda_{ME}\tau_{ME} + T_E}{1 - \frac{r_E}{\kappa_E} \left( \phi_E + \frac{\partial \phi_E}{\partial \omega_E} \omega_E \right)} \quad (18)$$

$$\tau_M = \frac{2C_M \omega_M + \tau_{ME} + T_M}{1 - \frac{r_M}{\kappa_M} \left( \phi_M + \frac{\partial \phi_M}{\partial \omega_M} \omega_M \right)} \quad (19)$$

タイヤ接地面反力 $f_W$ に釣り合う仮想反力は、下記の位置誤差に関するPID制御の形で与える。

$$T_E = K_{rE} \Delta \theta_E + C_{rE} \Delta \omega_E + J_{rE} \hat{\omega}_E \quad (20)$$

$$T_M = K_{rM} \Delta \theta_M + C_{rM} \Delta \omega_M + J_{rM} \hat{\omega}_M \quad (21)$$

係数 $K_{rE}$ 、 $K_{rM}$ 、 $C_{rE}$ 、 $C_{rM}$ は、仮想回転系の減衰 $C_r$ と同様に、位置誤差や速度誤差によって変化し、それによってよりエネルギー効率に優れた運転が生じることを期待して、 $\Delta \theta$ と $\Delta \omega$ に依存した非線形係数とする。

## 5) シミュレーション方法

車両に位置の目標値が直接与えられるのは、自動運転による場合が多いと考えられるため、シミュレーションにはドライバーモデルは含めず、位置（走行距離）の目標値に車両が直接追従する形のシミュレーションを行った。制御対象車両にはたらく外乱は、空力抵抗 $f_A$ とこりがり抵抗 $f_R$ の和で与えた。

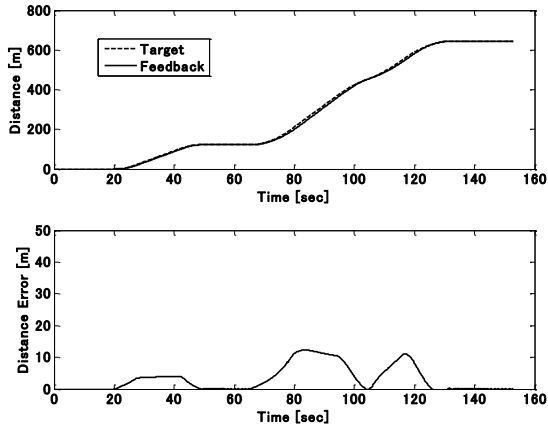
EOCとの比較例として、下記の式で求めた $T_W$ を、ルールベース制御（RBC）のアルゴリズムでエンジンとモーターに振り分ける制御則を用いた。

$$T_E = K_{rE} \Delta \theta_E + C_{rE} \Delta \omega_E + J_{rE} \hat{\omega}_E \quad (22)$$

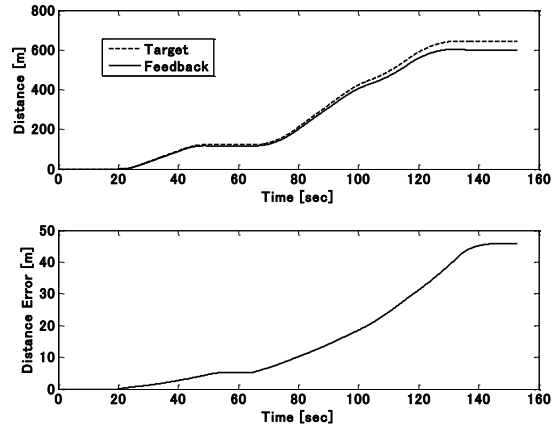
## 6) 前車追従シミュレーション

10モード燃費計測の速度パターンにしたがって走行する前車に、一定距離で追従走行する制御シミュレーションを行った。言い換えれば、10モード速度パターンの時間積分を位置目標とするシミュレーションを行った。EOC、RBCいずれにおいても、走行終了時のモーターの消費エネルギーが $2 \times 10^5$  [J]となるように制御を調整することにより、エネルギー性能を、エンジンのエネルギー消費量だけで比較できるようにした。

図3から図5にシミュレーション結果を示す。図3は移動距離と距離の誤差、図4は車両速度とトルク、図5はエネルギー消費量とエネルギー効率に関するシミュレーション結果である。いずれの図においても、(a)はEOCの、(b)はRBCのシミュレーション結果である。

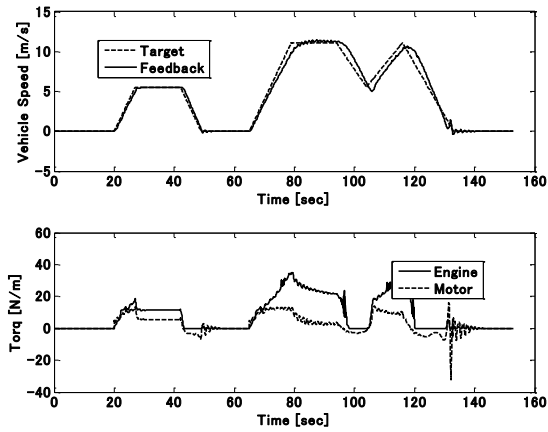


(a) EOC (upper: distance, lower: distance error)

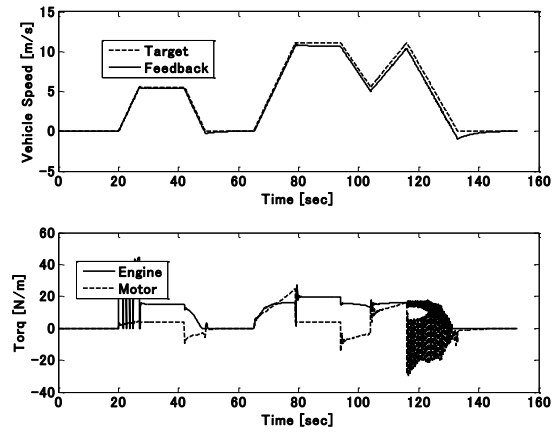


(b) RBC (upper: distance, lower: distance error)

Fig.3 Simulation results (tracking)

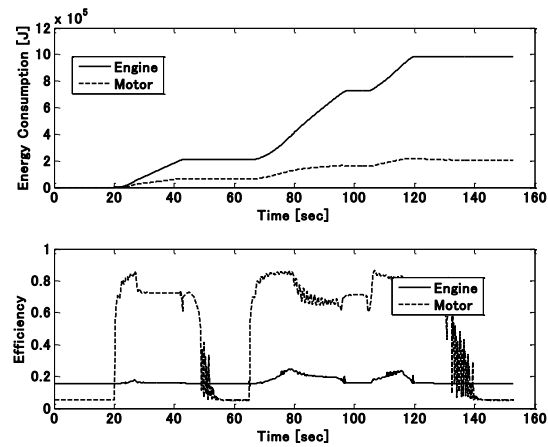


(a) EOC (upper: vehicle speed, lower: torque)

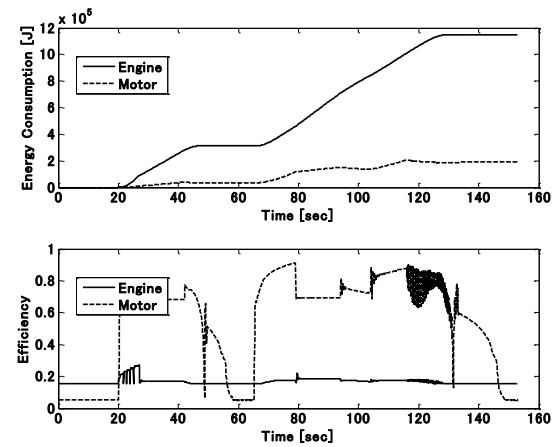


(b) RBC (upper: vehicle speed, lower: torque)

Fig.4 Simulation results (tracking)



(a) EOC (upper: energy consumption, lower: efficiency)



(b) RBC (upper: energy consumption, lower: efficiency)

lower: efficiency)

Fig.5 Simulation results (tracking)

図3に見るように、EOCでは目標値に対する位置誤差は最大15m程度に収まったが、RBCでは走行開始直後から追従の遅れが蓄積し続け、最終的には50m近い大きな位置誤差が発生して、良好な位置制御ができなかった。消費エネルギーに制約の加わる条件下での位置制御は、速度制御に比べてより困難なものであり、RBCでは良好な制御結果が得られなかったと考えられる。EOCはこのような場合でも、比較的良好な制御性能を発揮できている。

次に図4を見ると、EOCはRBCに比べて挙動が滑らかであり、エンジンとモーターの間のパワーの配分が細かく行えている様子が見える。またRBCでは制御則の切り替えに伴う不安定傾向の挙動が発生しており、特に走行開始直後にエンジントルクが、また走行終了直前にモータートルクが大きな振動を伴っているが、EOCでは走行停止時にモータートルクに振動が発生しているほかは、大きな振動は発生していない。これらの結果として、EOCのエンジンエネルギー消費量はRBCの85.7%で済んだ。

#### 7) 目標位置停止シミュレーション

将来の車両制御では、目標地点を与えて途中の走行パターンは車両に自動発生させる機能にもニーズが生じると考えられる。そういった場合を想定して、停止位置から150m離れた位置に12秒以内に移動して停止するシミュレーションを行った。図6から図8にそのシミュレーション結果を示す。図6は移動距離、図7は移動速度とトルク、図8はエネルギー消費量とエネルギー効率に関するシミュレーション結果である。いずれの図においても、(a)はEOCの、(b)はRBCのシミュレーション結果である。

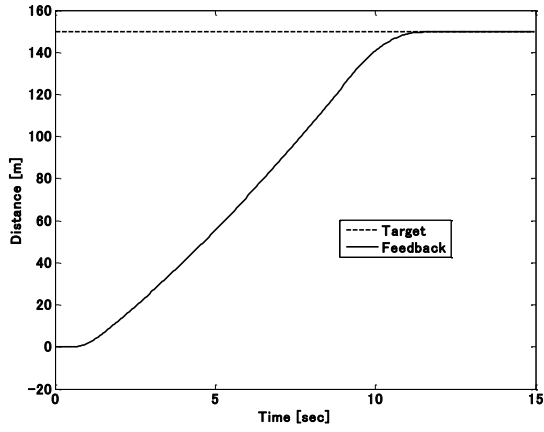
図6、図7を見ると、RBCはシミュレーション終了段階において150mの目標地点に完全に到達しておらず、シミュレーション開始後から12秒経過後も速度とトルクは収束していない。また走行中のトルクは一部振動的な挙動を含んでおり、安定性も不足している。これに対してEOCは12秒経過後に150m先の目標地点に到達し、速度とトルクはほぼ完全に収束している。走行中の各曲線は滑らかで、安定した走行が行われたことが示されている。

図8に示すエネルギー効率の履歴を見ると、全体にRBCの方が高効率な運転を実現しているが、最終的なエンジン消費エネルギー量は、EOCはRBCの92.3%で済んだ。この結果は、高効率な運転をすれば必ずしもエネルギー消費量が少なく済むわけではないことを示している。

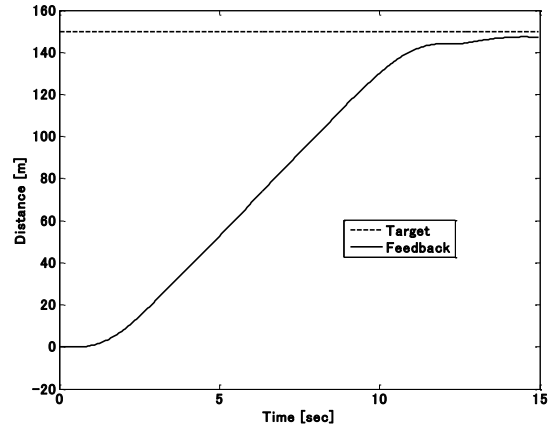
#### 8) 結 論

ハイブリッド電気自動車が行う際の、エネルギー最適制御(EOC)の適用法を考案した。位置制御に適した最適制御則導出法として、制御対象のモデルにおいて位置誤差の信号で駆動される仮想駆動システムを追加し、その消費パワーを評価関数に加え、最適制御則を導出する方法を試みた。

前車追従のシミュレーションでは、比較のルールベース制御(RBC)では良好な追従性が得られなかったが、EOCでは良好な追従結果が得られた。通常の制御では位置制御とエネルギー配分の強調がうまくはかれない場合でも、エネルギー最適制御によれば良好な制御が可能であることが示された。EOCのエンジンエネルギー消費量はRBCの85.7%で済んだ。

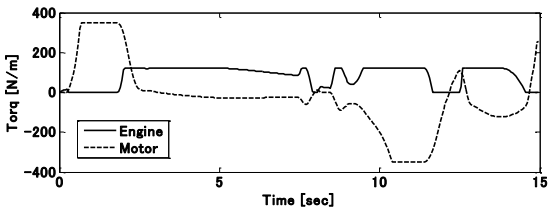
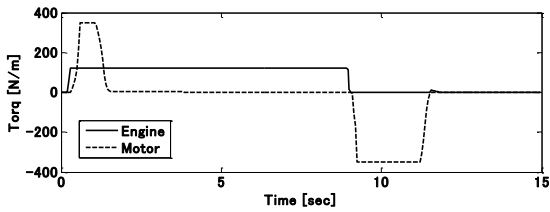
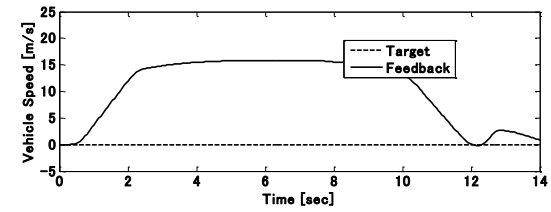
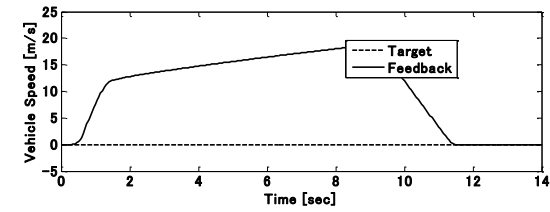


(a) EOC (distance)



(b) RBC (distance)

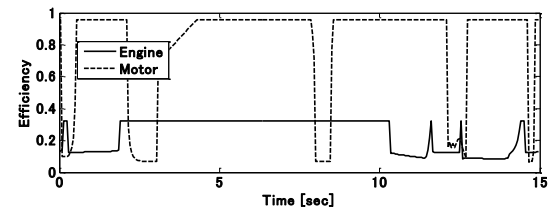
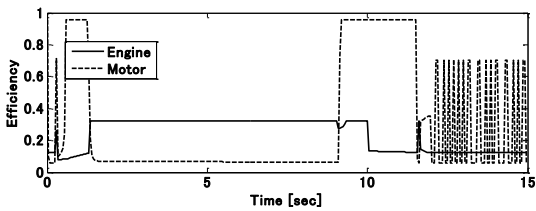
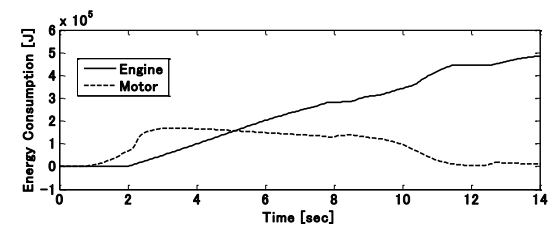
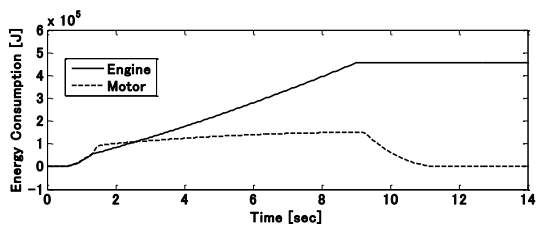
Fig.6 Simulation results (start and stop)



(a) EOC (upper: vehicle speed, lower: torque)

(b) RBC (upper: vehicle speed, lower: torque)

Fig.7 Simulation results (start and stop)



(a) EOC (upper: energy consumption, lower: efficiency)

(b) RBC (upper: energy consumption, lower: efficiency)

Fig.8 Simulation results (start and stop)

また目標位置停止のシミュレーションでは、EOCではエンジンとモーターの効率関数の働きにより、エネルギー消費が効果的に抑制されたのに対し、RBCでは全体的に高効率な動作領域での運転が選択されたために、かえってエネルギー消費が増大した。これにより、EOCはRBCの約92%のエンジンエネルギー消費で済んだ。EOCは、速度追従や位置追従などの通常の制御だけでなく、消費エネルギーを最小化する運動パターンや走行軌道の自動生成にも応用が可能であり、自動車分野における今後の幅広い展開が期待される。

## 4.2 広島県警察との連携活動

### (1) 国道486号線の安全対策に関する協議会

日時： 平成30年6月5日(金) 10:40~12:00

場所： 工学部本館(2・3・4号館)1階 社会安全工学教育研究室

出席者：

広島県警 交通部長 土井警視正  
高齢者交通安全対策室 久保田警視, 佐々木警部補  
交通部交通企画課 石井警部補  
福山大学 交通安心プロジェクトメンバー

協議内容：

国道486号線の安全対策や、夜間の高齢歩行者の道路横断中死亡事故などについて、情報交換・意見交換を行った。

### (2) 国道486号交通事故抑止プロジェクト第1回ワーキンググループ検討会

日時： 平成30年6月26日(火)

場所： 福山北警察署(福山市神辺町大字新道上字三丁目14)

出席者と協議内容：

国道486号線の福山市域および府中市域で死亡事故・重大事故が多発していることから標記プロジェクトが発足され、福山大学も協力要請を受けた。第1回ワーキンググループ検討会は、広島県警察本部、福山北警察署、府中警察署、道路管理者である広島県、福山市、府中市などから約30名が出席して行わ

れた。福山大学からは内田が出席要請を受け、出席した。

それぞれの立場から事故抑止に向けた取り組み状況が説明され、意見交換・質疑応答が交わされた。福山大学（内田）からは、7月に予定している公道実験（歩行者の視点調査）の予定と、地元企業とのコンソーシアムでインテリジェント交差点システム開発に向けた補助金申請（ひろしまサンドボックス）を行う考えであることを説明した。

### (3) 国道 486 号交通事故抑止対策に関する公道実験（担当：内田）

福山市北部を東西に走る国道 486 号線で、横断中の歩行者が自動車にはねられる死亡事故が相次いでいる。この 486 号線は片側 2 車線で自動車の速度も速く、信号機の設置されていない横断歩道を横断中にはねられるというケースが目立っている。この事故対策のために、広島県警察と共同で道路横断中の歩行者の視点を調査する公道実験を行った。

日程： 2018 年 10 月 10 日 14:00～16:00

実験場所：福山市駅家町 万能倉（東）交差点に隣接する交差点（信号なし、横断歩道あり）

※平成 30 年 1 月死亡事故発生場所。片側 2 車線の直線で、見通しが良い。

実験方法：

地元協力者ら 7 名に被験者になっていただき、360° カメラを装着したヘルメットを着用したうえで横断歩道を渡っていただいた。危険防止のため、被験者が歩行中は、広島県警察の警察官が横断歩道前で車両を停止させる手信号を出した。実験終了後、カメラで収録した映像を分析した。すなわち、図 1 は 360 度カメラで収録した生映像の 1 コマであるが、これを画像処理により図 2～図 4 の平面画像に変換した。

実験結果：

図 2～図 4 は、それぞれ下のような場面の画像である。

図 1： 横断をしようと、右からくる走行車両を見て、横断するタイミングを伺っている。

図 2： 白い乗用車に「横断中」の旗を見せ、一時停止を確認して横断を続行

図 3： 先の白い乗用車の後方から接近してきた黒い乗用車が歩行者を確認し、停止したので横断を続行





図1 360度カメラの生画像



図2 横断開始時の歩行者視野



図3 横断途中時の歩行者視野



図4 横断終了時の歩行者視野

### 4.3 論文・発表・講演

- 1) 中型トラック同士の前面衝突および後面衝突における運転者の傷害内容の分析, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 5, 2018, pp. 999-1004, (2018-9)
- 2) 小型トラック同士の衝突時における運転者傷害の交通事故統計による分析 関根康史 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会予稿集, CD-ROM, (2018-5)
- 3) 高齢運転者の脚部姿勢とペダル踏み間違いの関係についての分析 ーレイアウトの違いによるブレーキペダル踏み位置の分散状況の比較ー 関根康史, 柴崎宏武\*, 伊藤聡子\*, 平川晃洋\* (\*交通事故総合分析センター) 第 54 回日本交通科学学会・学術講演会講演集, pp. 83. (2018-6)
- 4) 交通事故統計分析から推測する生活道路における自動車の安全運転支援 関根康史 日本機械学会 2018 年度年次大会講演論文集, J1810201 in DVD, (2018-9)
- 5) 広島県における安全運転サポート車の乗員傷害低減効果の推定 正面衝突事故での乗員傷害の推定 関根康史 自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会予稿集, CD-ROM, (2018-10)
- 6) 広島県における歩行者死亡事故の安全運転サポート車による傷害低減効果の推定 関根康史 日本機械学会 第 27 回交通・物流部門大会 講演論文集, 3102 in USB メモリ, (2018-12)
- 7) ハイブリッド電気自動車の自動運転へのエネルギー最適制御の適用 位置制御のための最適制御則の導出 内田博志, 福島直人\*, 萩原一郎\*\* (\*福島研究所), (\*\*明治大学) 日本機械学会 IIP2019 情報・知能・精密機器部門 (IIP 部門) 講演会講演論文集, 1D04, (2019-3)
- 8) 自動車運転時の道路幅間感覚に対する走行速度と明るさの影響、内田博志 日本機械学会中国四国支部第 57 期総会・講演会講演論文集 (USB) , 709, (2019-3)

#### 4.4 プロジェクト予算

費目	件名	認可予算（円）	執行実績（円）
教材	視点カメラ	295,000	0
消耗品費	安全運転支援システム	100,000	49,400
	自動運転技術	130,000	29,970

※専用計測器としての視点カメラの購入を計画していたが、自前の視点推定技術の開発に注力すべきとの考えに変わったことから、教材費は執行しなかった。

## 5. 2019 年度（令和元年度）

### 5.1 研究活動

#### (1) 高齢運転者のペダル操作と自動車のペダル配置の関係についての分析（担当：関根）

内閣府の令和元年版高齢社会白書によると、我が国の総人口に占める 65 歳以上人口の割合（高齢化率）は増え続け、2065 年には高齢化率は 38.4% に達すると予測されている。これに伴い、高齢者が係わる交通事故の増加が危惧されており、高齢運転者の操作ミスによる事故を防ぐための対策となる安全技術が求められている。このような状況の下、最近では、高齢運転者によるブレーキとアクセルペダルの踏み間違い事故が社会的な問題となっている。筆者らは、ブレーキとアクセルペダルのペダル配置のうち、垂直方向のペダル段差に着目、ペダル段差が異なる 3 種類の自動車を試験車として、高齢運転者のアクセルからブレーキへのペダル踏み換え操作時の足先の挙動について分析を行った。

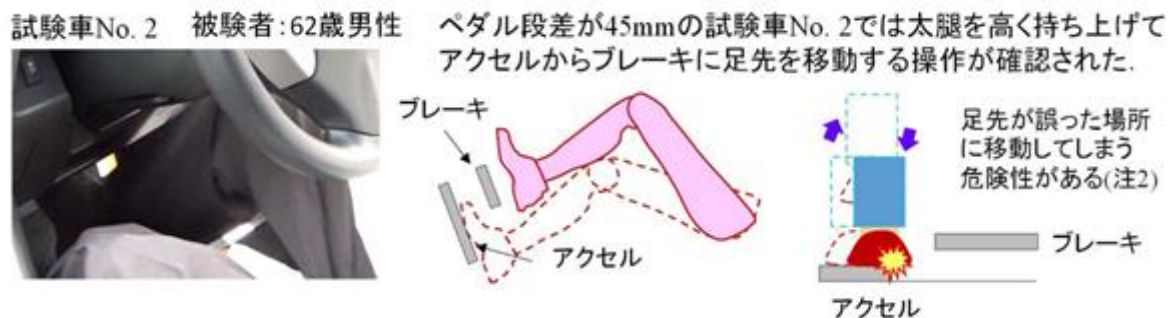


図 1 試験車 No. 2 で確認された「太腿を高く持ち上げて足先を移動する」ペダル操作

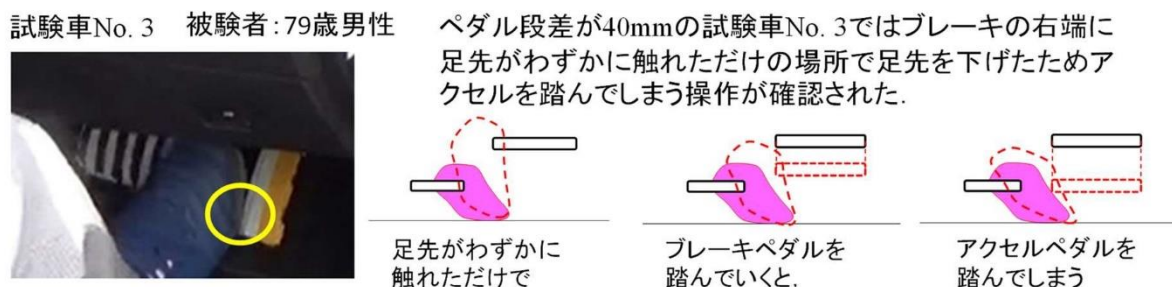


図 2 試験車 No. 3 で確認された「足先がブレーキにわずかに触れただけの場所で足先を下げてしまう」ペダル操作

ペダルの踏み間違い事故においては、高齢化による身体的な衰えだけでなく、ペダル段差や足先の置き方が、重要な要因となる。すなわち、ペダルの段差が大きい車種（40mm 以上）よりも段差が小さい車種（段差:20mm）の方が踏み間違いを起こしにくい。さらに、ペダルの段差が小さい車種にあっても、右足のかかとをブレーキに近い位置（例えばアクセルとブレーキの真ん中あたり）に置いた方が安全といったことを明らかにした。高齢運転者のペダル踏み間違い事故の発生を低減するためには、ペダル段差を少なくする設計とすることが望ましいと共に、高齢運転者に適切な位置に足先を置くことを教える等、安全運転教育の場を設けることも大切である。

(2) 幹線道路の渋滞が周辺地域の交通環境に及ぼす影響に関する研究（担当：関根）

広島県福山市には、市内を東西に横断する国道 2 号と南北を縦断する県道 244 号の幹線道路が存在する。国道 2 号は福山市と東西方向にある都市を連絡する役目を担い、県道 244 号は福山市南部にある工業地域への物流の動脈となっている。このような幹線道路が混雑した場合、通行する自動車が、周辺の生活道路に流入し、安全性に良くない影響を及ぼすことが考えられる。生活道路での事故発生箇所を図 1 に、一ツ橋中学校の生徒からの「危険な体験」や「危険だと思う」場所についてのアンケート回答を図 2 に、ETC2.0 データ分析から求めた急ブレーキ発生箇所を図 3 に示す。これらは共通して、梶島山交差点から一ツ橋中学校東の T 字路までの区間や、手城小学校東交差点から手城堂交差点を経て東手城 4 丁目交差点に至る区間で多く発生している。



図 1 調査地域内の事故発生地点





図 2 アンケートで危険を体験した場所



図 3 ETC2.0 での急ブレーキ発生場所

調査地域における生活道路の通行状況（一ツ橋中学校(東)T字路）を図 4 に、幹線道路（国道 2 号・明神町交差点）の渋滞状況を図 5 に示す。生活道路は、狭い道路であるにも係わらず、通勤時間帯には多くの自動車が行き交っており、歩行者等にとって、事故に遭いやすい危険な状況に晒されていることが窺える。国道 2 号は通行する自動車が非常に多く、長い渋滞は発生している。



図 4 一ツ橋中学校（東）T 字路，7：18（観測日：2019 年 10 月 17 日(木)）



図 5 国道 2 号・明神町交差点，17：19（観測日：2019 年 10 月 17 日(木)）

ETC2.0 データからは交通量（ETC2.0 データサンプル数（注 2））の時間変動を分析することも可能である。生活道路（一ツ橋中学校（東）T 字路）の南北方向の交通量の時間変動を図 6 に示す。朝夕の通勤時間帯の交通量が多く、昼間の時間帯の交通量が少ない。国道 2 号（梶島山交差点）での東西方向の交通量の時間編を図 7 に示す。生活道路とは異なり、朝の通勤時間帯よりも、日中の時間帯において交通量が多い。したがって、ETC2.0 データによる交通量分析だけでは幹線道路から生活道路に自動車が入る理由を説明することは難しい。

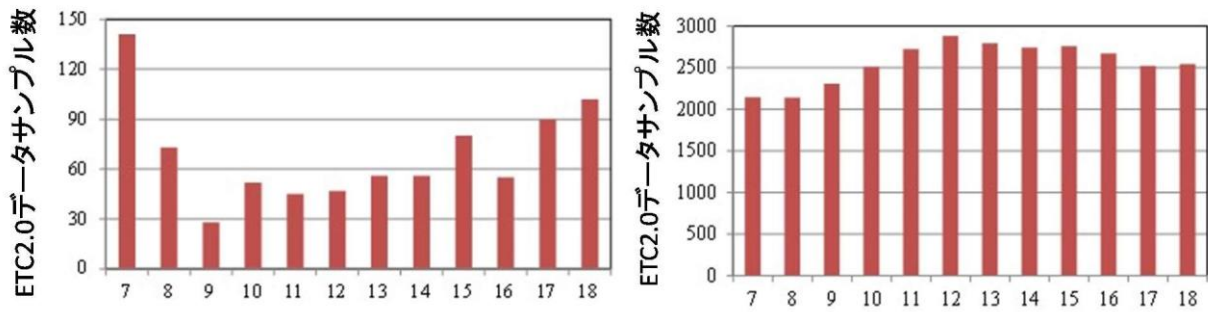


図 6 一ツ橋中学校（東）T 字路，南北方向の交通量（左）

図 7 国道 2 号・明神町交差点，東西方向の交通量（右）

そこで，幹線道路の渋滞長の観測調査も実施した．明神町交差点における国道 2 号および県道 244 号の渋滞長の時間変動を図 8 に示す．なお，国道 2 号の渋滞長は明神町交差点の東から西方向へ向かう自動車の渋滞長であり，県道 244 号の渋滞長は明神町交差点の南から北方向へ向かう自動車の渋滞長である．国道 2 号，県道 244 号共に，朝夕の通勤時間帯に渋滞長は長くなるが，昼間の時間帯では渋滞の発生は少ない（生活道路の交通量が増えている通勤時間帯に渋滞長が長くなり，生活道路の交通量が少ない日中の時間帯に渋滞長は短くなる）．このことから，幹線道路の渋滞長が長くなった場合に，これを回避するため生活道路に流入する自動車が増えるのではないかと推測する．したがって，生活道路の安全性を確保するためには，通勤時間帯に生活道路に流入する自動車を減らすことも，有効な対策の一つと考えられる．そして，そのためには，国道 2 号や県道 244 号の渋滞を改善する必要もあるように考える．

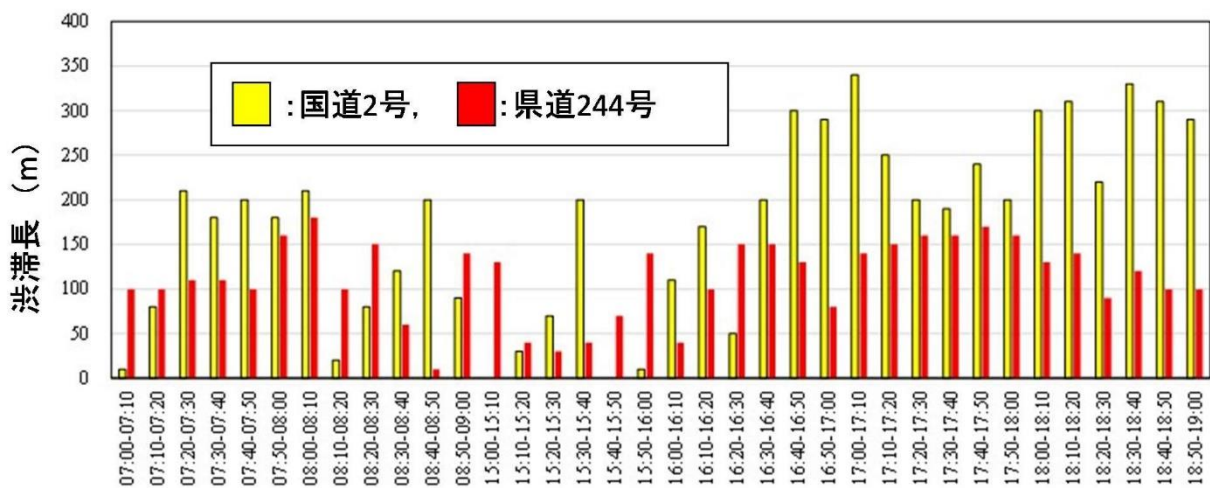


図 8 明神町交差点における国道 2 号と県道 244 号の渋滞長の時間変動  
(観測日：2019 年 10 月 17 日(木))



(注 1) 本研究は国土交通省中国整備局福山河川国道事務所 包括的連携・協力に関する協定書に基づく令和元年度 受託研究 (課題名: 幹線道路の渋滞が周辺地域の交通環境に及ぼす影響に関する研究, 期間: 令和元年 8 月 30 日~令和 2 年 3 月 31 日, 受託研究費: 3,643,000 円) として実施したものである。

(注 2) ETC2.0 データサンプル数とは, ETC2.0 を搭載した自動車が走行した台数。(実際の走行台数ではないが, 通行量を推測するために使用する。)

### (3) ドライバー行動解析のための非侵襲生体センシング (担当: 内田)

#### 1) 背景と目的

福山市内の国道 4 8 6 号線は、見通しのよい直線的な道路であるにもかかわらず、重大交通事故が多発しており、事故発生原因の究明が望まれる。そのために運転中のドライバーの注視点を分析したいが、アイカメラなど身体装着型の装置では、注視点推定精度への影響が無視できない。そこで、アイカメラなどを用いずに非侵襲で注視点を推定する方法を開発する。

#### 2) 研究内容

映像から顔特徴量を推定するオープンソースソフトウェアである OpenFace (南カリフォルニア大ほかによる) を利用した注視点推定方法を開発する。推定は下記のステップで行う。

Step1 推定式導出用映像の収録: 複数の試験場所において、車両に乗車した被験者が、あらかじめ定めた参照点を順に注視しながら、ドライブレコーダーで映像を収録する (図 1)。

Step2 推定式の導出: 一部の試験場所を除いた映像から注視点推定式を作成する。そのために映像のフレーム毎に、既知の参照点の画像座標を決定すると同時に、OpenFace を用いて被験者の顔特徴量 (480 項目) を抽出する (図 2)。顔特徴量から画像座標を推定する重回帰式を求める。注視点

Step3 推定精度の検証: 先に一部除いた映像を用いて、参照点の画像座標と注視点座標推定値の相関から、上記推定方法の推定精度を確認する。

実験の結果、両者の相関は良好とは言えず推定精度の面で課題を残すものの、ある程度注視点の追跡が可能であることが示された。

実際に国道 4 8 6 号線を走行した際の映像から、運転中のドライバーの注視点を推定する実験も行った (図 3)。この実験では参照点の情報がなく推定精度は未確認であるが、運転中のドライバーの視点が信号機や道路わきの看板などに移動する様子が把握できた。

#### 3) 結論と今後の課題

ドライブレコーダとオープンソースソフトを利用して非侵襲でドライバーの注視点を推定する方法を考案し、テストによりその推定精度を確認した。現状では推定精度が不十分であるため、今後、重回帰式による推定を機械学習による推定式に置き換えることなどで推定精度を高めてゆく。



図 1. 参照点を注視しながらの顔映像撮影

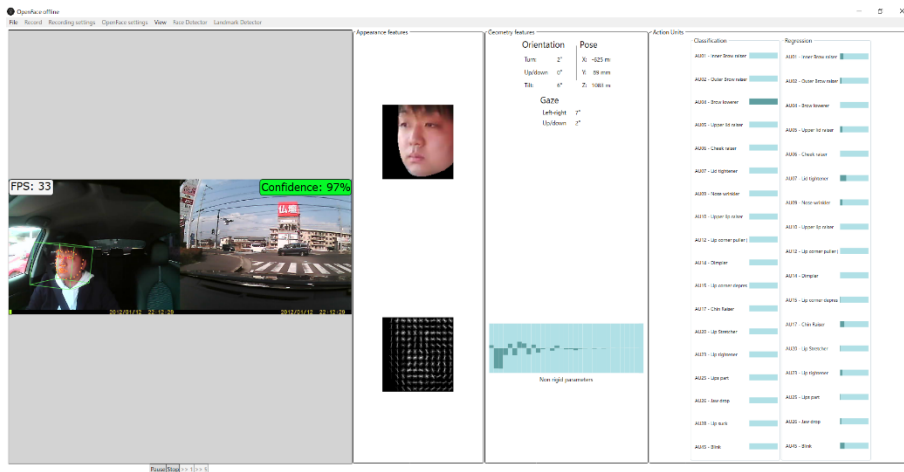


図 2. OpenFace による顔特徴量抽出



図 3. 運転中における注視点推定

## (4) オープンソース技術を利用したリージョナル自動運転技術（担当：内田）

### 1) 背景と目的

自動運転は、深層学習（ディープ・ラーニング）の考えに基づくニューラルネットワークを通して自動車運転を制御するものであり、人的要因による交通事故を軽減できることが期待される。

現在、自動車メーカー会社は自動運転研究の研究開発を進めているが、その走行路は高速道路に近い十分に整備された道路環境である場合が多くみられる。現在、福山大学近くの国道 486 号線で重大事故が多発しているが、そうした地域固有の交通安全地方道などでも十分に機能する自動運転を実現することが必要となる。

他方、自動運転に関わる技術環境・開発環境が急速に進展・普及しており、2017 年初めに携帯電話機をコントローラとする簡易型自動運転装置が公開された。また米国の大学生がこのキットを用いて 8 万円で自動運転車を開発したというニュースが話題になった。本研究テーマではオープンソース技術の導入・活用を手始めに、地域の交通安全問題の改善に寄与しうる自動運転車の開発を行う。

### 2) アプローチ

深層学習（ディープ・ラーニング）は、大量のデータからディープニューラルネットワーク（DNN）を学習させる。本研究では模倣学習による深層学習を行う DNN を用いて自動運転を行うシミュレーションを行う。シミュレータ上で運転データを収集し、ソフトウェア Tensorflow を通じてディープニューラルネットワークに運転データを学習させ、シミュレータ上での自動運転テストを行う。シミュレータとしてはマイクロソフト社製の Airsim を用いる。このシミュレーションの構成を図 1 に示す。

### 3) 実験結果

図 2 に、自動運転シミュレーションの環境である Airsim の画面を示す。十分整備されていない地方道路を想定して山岳路のシーンでシミュレーション実験を行った。オリジナルの走行データで車を深層学習させて走行シミュレーションを行ったところ、走行開始後すぐに道路脇の側壁に衝突するエラーが多発した。（図 3）

この状況を改善するため、事故発生箇所付近の狭い範囲で 30 回の運転を行い、そのデータを追加して改めて学習を行うと、上記のエラーの発生が見られなくなった（図 4）。

### 4) 結論と今後の課題

自動運転シミュレーションにおいて、運転ミス発生箇所の訓練データを追加して再学習することにより、運転ミスの発生を抑制できることを示した。実際の自動運転でも同様の方法により、自動運転のミスを低減できる可能性があるといえる。ただし実際の車両では意図的に運転ミスを生じさせる実験を行うことはできないため、再学習させるべき道路箇所をどのようにして選択するかが一つの課題となる。

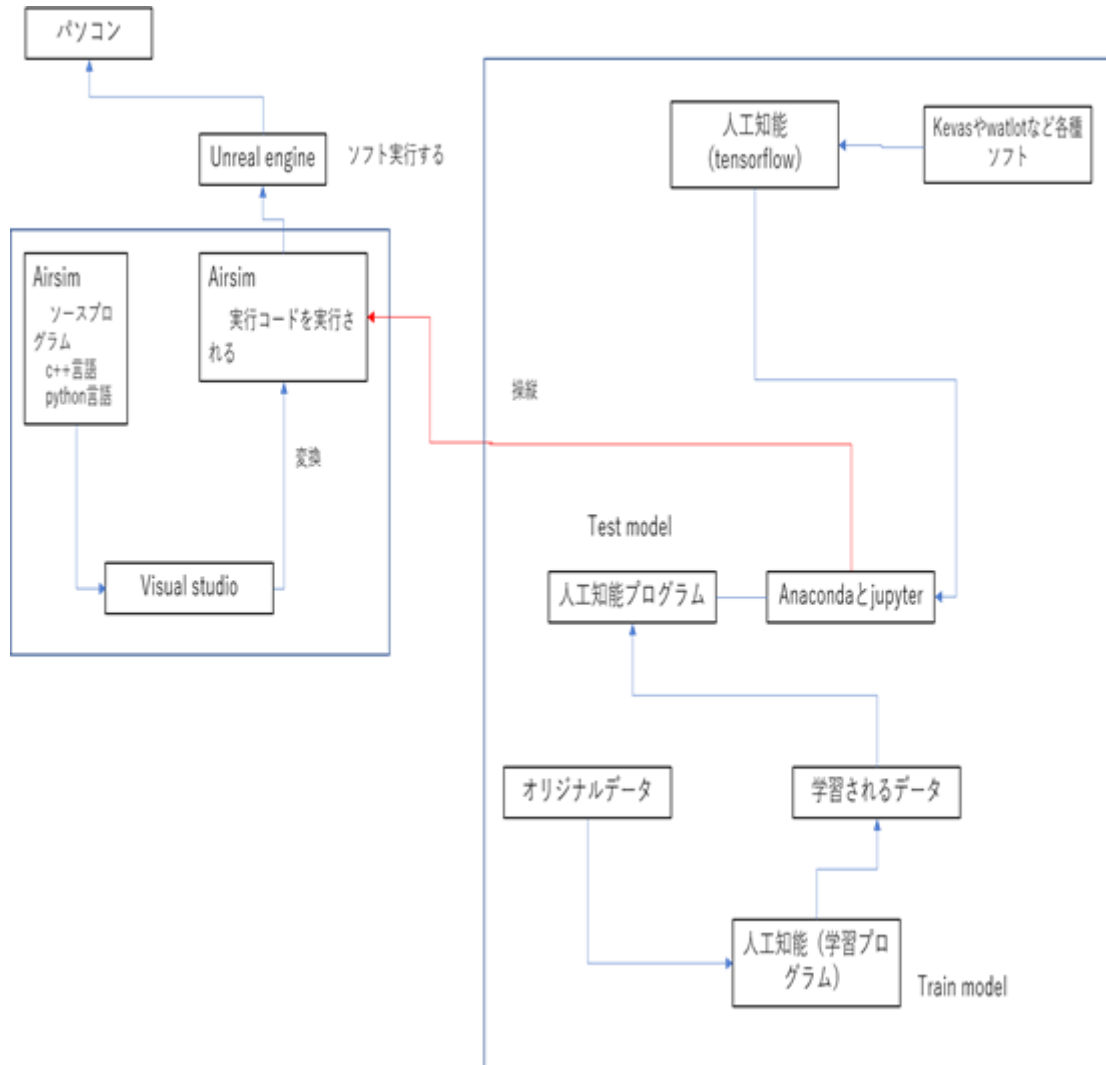


図1 自動運転シミュレーションの構成



図2 自動運転シミュレーションの道路環境



図3 データ追加前のシミュレーション結果（衝突エラー発生）



図4 データ追加後のシミュレーション結果（衝突エラーなし）

## (5) HEVの自動運転へのエネルギー最適制御の適用 –安定性の検証–（担当：内田）

### 1) 緒言

エンジンとモーターを併用するハイブリッド電気自動車（以下HEV）の制御において、従来の二次形式の評価関数に基づく最適制御を適用しようとする、エネルギー消費と、負のエネルギー消費を意味するエネルギー回生とを同時に評価関数に取り入れることができず、制御則が導出できない。そこでこの課題を解決し、エネルギー回生まで考慮したHEV制御を実現するため、「エネルギー最適制御」の理論をHEVの駆動・制動制御に適用する検討を行っている。

本稿では、エネルギー最適制御に基づくHEV制御則において、応答性の向上のため加速度フィードバックを含む制御則とした場合に、制御が安定動作するむだ時間の範囲をシミュレーションにより求める。また導出した最適制御則が真の最適性を持つ条件について考察する。

### 2) HEVモデル

制御対象として、図1に示すパラレルHEVモデルを考える。このモデルでは、エンジンがCVT(無段変速機)を介してホイールを駆動し、モーターが一定減速比のギヤを介してエンジンに結合されている。モーターは、発生トルクと回転方向が同じで外部に対して仕事をする力行動作時には、エンジンと協調してホイールを駆動し、発生トルクと回転方向が逆向きで外部から仕事をされる回生動作時には、回生電力をバッテリー等に蓄え、以降の駆動エネルギーとして利用する。

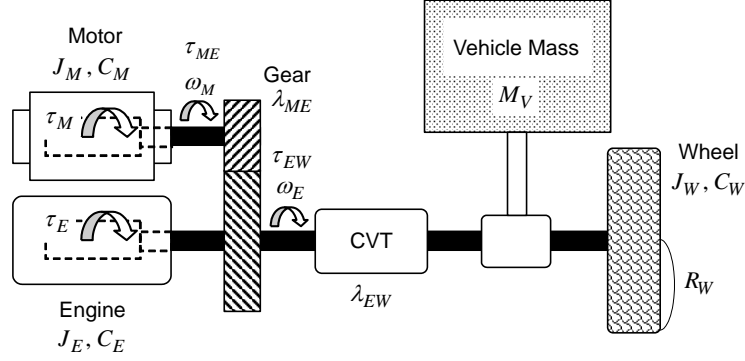


Fig.1 Schematic model of parallel HEV

この系のホイール、エンジン、モーターのダイナミクスは、それぞれ次式で表せる。ただし、空力抵抗とこがり抵抗は無視する。

$$\tau_M - \tau_{ME} = J_M \dot{\omega}_M + C_M \omega_M \quad (1)$$

$$\tau_E + \lambda_{ME} \tau_{ME} = J_{ES} \dot{\omega}_E + C_{ES} \omega_E + L_{ES} \quad (2)$$

式(1)、(2)をまとめると、以下の形になる。

$$\boldsymbol{\tau} + \begin{bmatrix} \lambda_{ME} \\ -1 \end{bmatrix} \tau_{ME} = \mathbf{J} \dot{\boldsymbol{\omega}} + \mathbf{C} \boldsymbol{\omega} + \begin{bmatrix} L_{ES} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 3) 評価指標

式(3)より、散逸パワー式は以下のように定義される。

$$P = \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{J} \dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{C} \boldsymbol{\omega} - \boldsymbol{\omega}^T \begin{bmatrix} \lambda_{ME} \\ -1 \end{bmatrix} \tau_{ME} - \boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\tau} \quad (4)$$

これを用いて、式(2)における被積分関数  $L$  を、以下のように定義する。

$$\begin{aligned} L &= \kappa P - r \boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\tau} + g \\ &= \kappa \left( \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{J} \dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{C} \boldsymbol{\omega} - \boldsymbol{\omega}^T \begin{bmatrix} \lambda_{ME} \\ -1 \end{bmatrix} \tau_{ME} - \boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\tau} \right) \\ &\quad - r_1 (\hat{\omega}_E - \omega_E) (\hat{\omega}_M - \omega_M) - r_2 \hat{\omega}_E (\hat{\omega}_M - \omega_M) - r_3 (\hat{\omega}_E - \omega_E) \hat{\omega}_M + r_4 \frac{\tau_E \omega_E}{f_E} + r_5 \frac{\tau_M \omega_M}{f_M} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで式(5)の各行の主な意味を説明すると、第2行目はパワー収支項であり、制御の安定性と応答性を決めるものである。第3行は主に速度目標への追従性能を生み出すための性能評価項、最後の行はエンジン燃料消費量とモーター電力消費量を最小化するための性能評価項である。

#### 4) 制御則

式(5)で定義したスカラー関数 $L$ に式(6)を適用することにより、制御則を導出できる。システムのダイナミクスは式(3)のように $\omega_E$ 、 $\omega_M$ を独立変数とみなすことができ、以下のようにエンジンとモーターの制御則を導くことができる。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L}{\partial \omega_E} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}_E} \right) \\ &= \left\{ -(\kappa + r) + \frac{r_4}{f_E} \left( 1 - \frac{\omega_E}{f_E} \frac{\partial f_E}{\partial \omega_E} \right) \right\} \tau_E + \kappa(2C_{ES} - J_{ES})\omega_E + r_1(\hat{\omega}_M - \omega_M) + r_2(\hat{\dot{\omega}}_M - \dot{\omega}_M) + r_3\dot{\omega}_M - \kappa\lambda_{ME}\tau_{ME} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\therefore \tau_E = \frac{\kappa(2C_{ES} - J_{ES})\omega_E + r_1(\hat{\omega}_M - \omega_M) + r_2(\hat{\dot{\omega}}_M - \dot{\omega}_M) + r_3\dot{\omega}_M - \kappa\lambda_{ME}\tau_{ME}}{\kappa + r - \frac{r_4}{f_E} \left( 1 - \frac{\omega_E}{f_E} \frac{\partial f_E}{\partial \omega_E} \right)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L}{\partial \omega_M} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}_M} \right) \\ &= \left\{ -(\kappa + r) + \frac{r_5}{f_M} \left( 1 - \frac{\omega_M}{f_M} \frac{\partial f_M}{\partial \omega_M} \right) \right\} \tau_M + 2\kappa C_M \omega_M + r_1(\hat{\omega}_E - \omega_E) + r_2\dot{\omega}_E + r_3(\hat{\dot{\omega}}_E - \dot{\omega}_E) + \kappa\tau_{ME} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\therefore \tau_M = \frac{2\kappa C_M \omega_M + r_1(\hat{\omega}_E - \omega_E) + r_2\dot{\omega}_E + r_3(\hat{\dot{\omega}}_E - \dot{\omega}_E) + \kappa\tau_{ME}}{\kappa + r - \frac{r_5}{f_M} \left( 1 - \frac{\omega_M}{f_M} \frac{\partial f_M}{\partial \omega_M} \right)} \quad (9)$$

式(7)、(9)とも、分子は第1項が散逸パワーを最小化するための項、第2項から第4項までが仮想パワーを最小化させ、最小のパワー消費で高い車速追従性を得るための項、第5項は外乱 $\tau_{ME}$ に関するフィードフォワード項、分母の第3項は燃料消費と電力消費を最小化するための項である。

#### 5) シミュレーション

以上に述べたエネルギー最適制御に基づくHEV制御(以後EOC)制御方策の妥当性を検証するため、国土交通省の定める10モード燃費測定走行パターンに従って走行するシミュレーションを行った。燃料消費量を比較するための条件として、シミュレーション結果が、①車両速度の指令値とフィードバック値の相関係数が0.99以上となること、②モーターによる最終電力消費量が1J以下となること、の2つの条件を満足するように、コントローラの各種パラメータを調整した。



シミュレーション結果として、図2に、エンジンのエネルギー効率関数と、同関数上でのエンジンの状態推移を示す。また同様に図3に、モーターのエネルギー効率関数と、モーターの状態推移を示す（ただし負のトルク領域ではエネルギー回生の効率を示している）。

図2を見ると、EOCでは、通常は消費パワーの少ない低トルク域に集中して動作し、高パワー発揮時には、瞬時に高トルク・高効率領域に移行して、高効率運転を行うことがわかる。また、図3に示すモーターのエネルギー効率では、EOCは、力行時、回生時共に、トルク-角速度軌跡が、エネルギー効率の低いトルクゼロの近傍を離れて、なるべく高効率領域で動作しようとする傾向を示している。

以上のようにEOCでは、エンジンの低効率域での作動を避けるため、アイドリング時にあえて高効率域に回転をシフトし、このエネルギーを電力エネルギーに変換するという知能的な制御が行われている。このような予想外の、創発的ともいえる制御パターンが生成されることがエネルギー最適制御の特徴である。

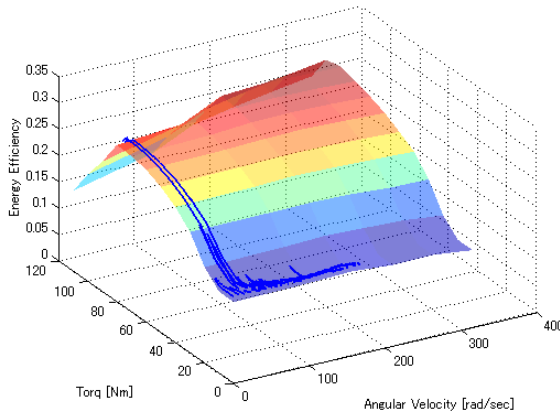


Fig. 2 Energy efficiency of engine

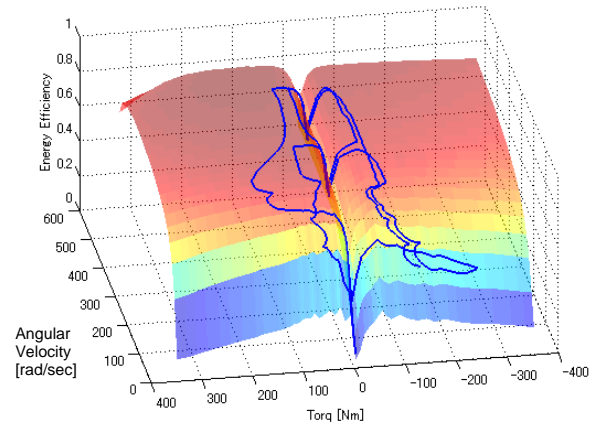


Fig. 3 Energy efficiency of motor

## 6) 制御則の最適性

式(7)、(9)で導出した最適制御則の最適性を確認する。そのためには制御則の一意性と、 $J$ が極小値を持つ条件を確認する必要がある。

まず制御則の一意性について検討する。オイラー方程式の適用により、評価関数の停留の必要条件を満足するダイナミクス (=制御則) が得られる。そこでこれを閉ループに組み込むと、運動方程式とその偏導関数が連続ならば解は一意に定まるとするポントリャーギンの定理により、車両の運動と制御則の連立解  $(u, q)$  が一意に定まる。本論文の制御では、 $\tau_E, \tau_M$  の  $\omega_E, \omega_M$  に関する偏導関数が連続ならば、 $\tau_E, \tau_M$  は一意に定まることになる。実際、式(7)、(9)で示したエンジンとモーターの制御則は、 $\omega_E, \omega_M$  に関する偏導関数が連続であることは明らかである。

次に解が極小値を与える条件について考察すると、オイラー・ポアソン方程式の解が評価関数の極小値を与える必要十分条件は、評価関数の第2変分が正であることである。すなわち、関数  $q(t)$  に関する評価関数  $J$  の第2変分



$$\begin{aligned}
\frac{d^2 J}{d\varepsilon^2} &= \frac{d^2}{d\varepsilon^2} \int_a^b L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}) dt \\
&= \int_a^b \left\{ \frac{\partial^2 L}{\partial q^2} \left( \frac{\partial q}{\partial \varepsilon} \right)^2 + \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}^2} \left( \frac{\partial \dot{q}}{\partial \varepsilon} \right)^2 + \frac{\partial^2 L}{\partial \ddot{q}^2} \left( \frac{\partial \ddot{q}}{\partial \varepsilon} \right)^2 \right\} dt \\
&= \int_a^b \left( \frac{\partial^2 L}{\partial q^2} \eta(t)^2 + \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}^2} \dot{\eta}(t)^2 + \frac{\partial^2 L}{\partial \ddot{q}^2} \ddot{\eta}(t)^2 \right) dt
\end{aligned} \tag{10}$$

が正であればよく、そのためには任意の誤差関数  $\eta(t)$  に対して

$$\frac{\partial^2 L}{\partial q^2}, \quad \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}^2}, \quad \frac{\partial^2 L}{\partial \ddot{q}^2}$$

のうちのひとつが正、残りが非負であればよい。

本章の制御則において、これに相当する係数を  $\omega_E$ ,  $\omega_M$  に関して求めると、次式のようになる。

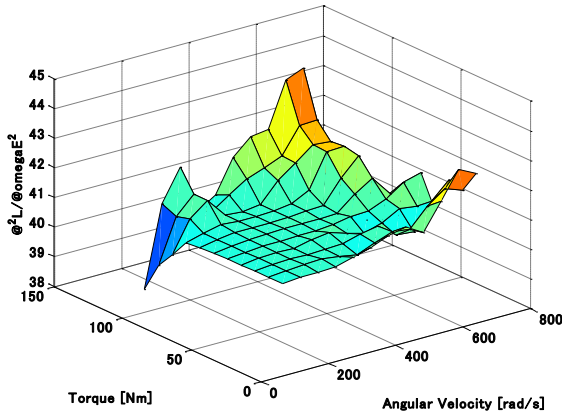
$$\frac{\partial^2 L}{\partial \omega_E^2} = 2\kappa C_{ES} + r_4 \left( 2\tau_E \frac{\partial \phi_E}{\partial \omega_E} + \tau_E \omega_E \frac{\partial^2 \phi_E}{\partial \omega_E^2} \right) \tag{11}$$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \omega_M^2} = 2\kappa C_M + r_5 \left( 2\tau_M \frac{\partial \phi_M}{\partial \omega_M} + \tau_M \omega_M \frac{\partial^2 \phi_M}{\partial \omega_M^2} \right) \tag{12}$$

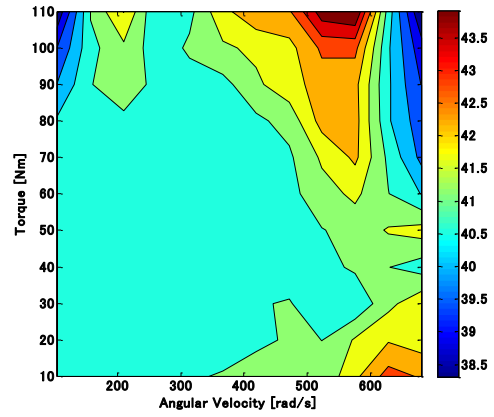
$$\frac{\partial^2 L}{\partial \dot{\omega}_E^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{\omega}_M^2} = 0 \tag{13}$$

ただし  $\phi_E$ ,  $\phi_M$  は、エンジン、モーターのエネルギー効率の逆数である。  $C_{ES}$ ,  $C_M$  は粘性減衰項であり、基本的に正の値であるので、  $\kappa > 0$  とすれば、(11), (12) の右辺第 1 項は正になり、両式の正負は右辺第 2 項の関数形状によって決まる。

式(11), (12) の関数形状を、エンジンとモーターの動作領域にわたって計算したものを、それぞれ図 4 と図 5 に示す。いずれの図とも、(a) は関数形状の 3 次元表示、(b) はコンターマップである。図 4 は、エンジンに関しては動作領域の全域にわたって関数が正の値になることを示している。式(7)の右辺第 2 項は一部負の値となる領域を持つが、エンジンは比較的減衰が大きいため、右辺第 1 項の値が大きな正の値を持ち、式全体が正になる。

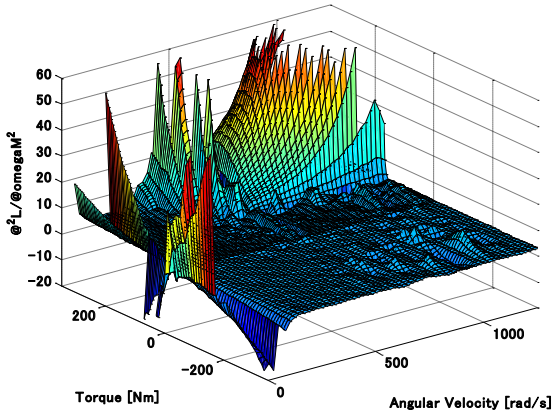


(a) Function shape

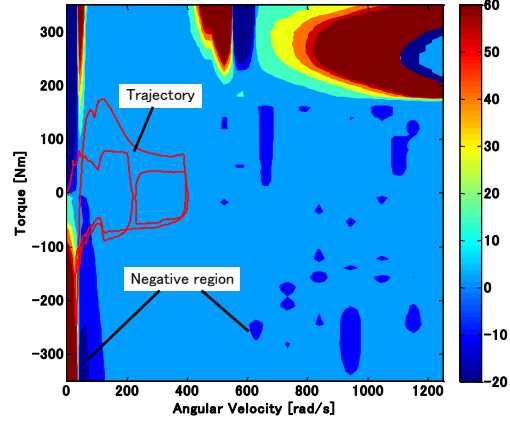


(b) Contour

Fig. 4 Second-order partial derivative of L with respect to  $\omega_E$



(a) Function shape



(b) Contour

Fig. 5 Second-order partial derivative of L with respect to  $\omega_M$

したがってエンジンは、動作領域の全域にわたって評価関数が極小値を持ち、式(7)で与えられるエンジン制御則は、動作領域全域で最適解となる。

モーターに関する図5は、一部動作領域において式(9)の関数値が負となるため、モーター制御則が最適解とは言えなくなる動作領域が存在することを示している。図5(b)には、シミュレーションにおけるモーターの動作軌跡を示しているが、この動作軌跡は、一部は負の領域を通過するものの、大半は正の領域内に存在しており、モーターはおおむね評価関数が極小値を持つ条件下で動作することを示している。

## 7) 結言

ハイブリッド電気自動車速度制御による自動運転を行う場合のエネルギー最適制御(EOC)の安定性を、シミュレーションと数値計算で検証した。制御の収束性については、制御則を与えるオイラー・ポアソン方程式の解が評価関数の極小値を与える必要十分条件は、評価関数の第2変分が正となることであることから、エンジンとモーターの両制御則に関する評価関数の第2変分を計算した。その結果、エンジン制御則はトルク-角速度平面上の動作領域の全域にわたって正となり、動作領域全域で最適解とな

ることが示された。モーター制御則ではその動作軌跡の一部は負の領域を通過するものの、大半は正の領域内に存在しており、モーターはおおむね評価関数が極小値を持つ条件下で動作することを示した。

## 5.2 広島県警察との連携活動

2019 年度は特に挙げるべき連携活動はなかった。

## 5.3 論文・発表・講演

- 1) 広島県における自動二輪車・原付事故の安全運転サポート車による傷害低減効果の推定、関根康史 日本機械学会 2019 年度年次大会講演論文集, J18102 in DVD, (2019-9)
- 2) 広島県における車両単独事故事例での乗員傷害の全国統計上の位置付けとその考察 一車線逸脱防止装置および被害軽減ブレーキからの被害低減効果の推測一、関根康史 自動車技術会 2019 年秋季大会学術講演会予稿集, CD-ROM, (2019-10)
- 3) アクセルとブレーキのペダル段差がペダル踏み間違いに及ぼす影響の分析、関根康史\*, 関戸 崇\*, 岡本脩\* (\*福山大学), (\*\*福山大学 学部生) 日本機械学会 第 28 回交通・物流部門大会 講演論文集, 2018 in USB メモリ, (2019-11)
- 4) ペーパー製模型を使用した大型トラック追突時の乗員救出性の検討、関根康史\*, 平松 祐治\*\* (\*福山大学), (\*\*倉敷市消防局) 日本機械学会 技術と社会部門 2019 年度講演論文集, G190319 in USB メモリ, (2019-11)
- 5) ハイブリッド電気自動車の自動運転へのエネルギー最適制御の適用 シミュレーションによる安定性の検証 内田博志, 福島直人\*, 萩原一郎\*\* (\* 福島研究所), (\*\*明治大学) 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, 536, (2019-8)

## 5.4 プロジェクト予算

費目	件名	認可予算 (円)	執行実績 (円)
消耗品費	安全運転支援システム	100,000	43,200

	自動運転技術	130,000	44,330
--	--------	---------	--------

## 5.5 外部研究資金

(1) 幹線道路の渋滞が周辺地域の交通環境に及ぼす影響に関する研究（担当：関根）

研究期間： 令和元年8月30日～令和2年3月31日

相手先機関：国土交通省中国整備局福山河川国道事務所

受託研究費：3,643,000円

## 6. 総 括

以上、安心安全防災教育研究センター特別プロジェクト「交通安心プロジェクト」の2016年度～2019年度の4年間にわたる活動をまとめた。報告中で述べたように、本プロジェクトを通じて断片的ながらも、広島県警察をはじめとする地元諸機関と協力しつつ、多岐にわたる研究成果や活動実績を上げてこられたものと自負する。

プロジェクトの取り組み課題として取り上げながら計画通りに進展しなかったものとして、以下が挙げられる。

- ① 歩行者・運転者視点計測： 地域固有の交通事故の要因を割り出すためには、その地域特有の道路環境と絡んで歩行者やドライバーがどのように行動しているのかを明らかにする必要がある。本プロジェクトではそのためのアプローチとして、ドライビング・シミュレータの活用や、実際の道路上での歩行者・ドライバーの視点計測方法の研究を行ってきた。視点計測方法としては、表情計測用眼鏡（JINS MEME）を用いる方法と、オープンソースの顔画像解析ソフトである OpenFace を用いた非侵襲計測法の2種類を試みた。いずれも、元となる情報から重回帰分析により注視点を推定する計算法を用い、一定精度での視点推定が可能であることを確認したが、実用上十分な推定精度を得るには至らなかった。精度不十分に終わったことの要因として、人体やカメラの持つ非線形性の影響や数値計算上の誤差拡大の影響が考えられる。近年、機械学習の考えに基づく新しい推定・判別手法が複数登場してきており、そうした手法の応用などにより、視点推定精度を向上できる可能性があると考えられる。
- ② 自動運転研究： 自動運転技術は、地域の交通事故問題や自動車交通に関わる種々の社会問題を解決するための手段として有望である。これらの目的での技術研究には、自動車メーカー各社が進める自動運転研究とは異なる視点が必要であり、そこに大学で自動運転研究を行う意義がある。本プロジェクトの中での自動運転研究は、主にオープンソースのドライビング・シミュレータを利用するアプローチと、高齢者用電動車いす・電動カートを自動運転車に改造するアプローチの二つを進めてきたが、急速に進展しつつある高度で複雑な技術の吸収に時間を要し、いずれも目指すところには至らなかった。今後の個別研究の中でピッチを上げて世の中の技術の吸収と独自技術の立ち上げを進め、目標とする研究を軌道に乗せていきたい。
- ③ 大型外部資金調達： 地域の交通安全確保のための道路交通システムを開発することを目的として、地元の企業・公官庁との共同で、広島県の大規模研究資金である「ひろしまサンドボックス社会実証実験」第2次公募への応募検討を行ったが、準備時間不足等から福山大学としての応募がかなわなかった。あらためて翌年度の第3次公募に応募する考えであったが、新たな社会実証実験の公募は行われず（代わりにベンチャー育成を目的とする事業課題の公募が行われた）、計画が進展しなかった。今後同様のチャンスが得られた際には速やかに対応できるよう、情報ウォッチと準備を続けてゆく考えである。

またプロジェクト運営上の反省点として、活動が特定の研究者に偏り、プロジェクトとしての機能を十分に発揮できる体制をとれなかった。本プロジェクト固有の問題ではないが、研究プロジェクトの編成・運営の方法論の面で、ノウハウを深めてゆく必要があると考える。

安心安全防災教育研究センター特別プロジェクトとしての交通安心プロジェクトは完了するが、地域の交通安全問題や自動車に関連する社会問題には終わりはなく、地域に根差した教育・研究を理念の第一に掲げる福山大学として、今後も広島県警察をはじめとする地元諸機関との連携による個々の研究を継続して行っていく必要がある。研究プロジェクトだけでなく、各教員の個人研究や学生プロジェクト、PBL型授業科目等の中で幅広くそうした問題が取り上げられ、地域社会に対して継続的に新しい提案を発信し続けていくことが望まれる。