

交通流シミュレータと ドライビングシミュレータの融合による アクセルオフ情報提供の効果の把握

石黒 祥梧¹・松本 幸正²・杉田 正俊³

¹学生会員 名城大学大学院 理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail:ishiguro@trans.meijo-u.ac.jp

²正会員 名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail:matumoto@meijo-u.ac.jp

³公益財団法人日本道路交通情報センター (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋一丁目5番10号)

車両からのCO₂排出量の削減は日本においても喫緊の課題である。削減のための一方策として、車両への情報提供が効果的であることがわかっており、近年、ITS技術を活用したリアルタイムな情報提供システムの開発が進みつつある。本研究では、信号交差点に接近する車両が前方の交差点を円滑に走行するための情報を、車両の走行状況に応じてリアルタイムで提供するシステムを考案した。対象とした沖縄県の国道58号線の泊一泉崎区間での実交通流環境を、交通流シミュレータで再現し、その中の一台の車両をドライビングシミュレータで運転できるようにし、実験を行った。結果として、情報提供により、信号交差点に接近する際に強くブレーキを踏むことなく減速できていることがわかり、被験者車両からの平均CO₂排出量については、情報提供により、減速時やアクセルを離して走行している際のCO₂排出量が増加しているが、加速時や停止時のCO₂排出量の削減量が大きく、このコースにおける車両への情報提供が被験者車両からのCO₂排出量の削減に効果的であることが示唆された。

Key Words : ITS, CO₂, driving simulator, micro simulation, eco-drive

1. はじめに

近年、ITS技術の発展に伴い、高度な自動車の情報通信システムの研究が盛んになっている。路車間通信等を利用し、道路に設置されたセンサーから収集された情報の車両への提供により、安全運転の支援や信号交差点の円滑な通過、もしくは赤信号におけるアイドリング時間の低減が可能となるようなシステムの研究開発や実証実験、実際の導入がなされている。

Audi¹⁾は、ラスベガスの街において、個々の車両に交通信号情報を提供している。約1300個の信号切り替わり時間を交通管理センターが車両に提供することで、ドライバーは、前方の信号交差点を通過するための速度や信号点灯色を知ることができる。

日本においても、信号の切り替わり情報の提供が実用化されつつある。高度な路車間通信を可能とするTSPS(Traffic Signal Prediction System)を活用することにより、実際のドライバーに情報提供を行い、情報提供の効果を明らかにするための実証実験が行われている²⁾。

しかしながら、実交通流環境における実証実験は、情報提供に対応していない一般の車両や情報受信が行えない信号が存在するなど様々な外的要因の把握が難しく、情報が提供される車両の挙動が乱されることや交通安全上の懸念が考えられ、情報提供システム自体の効果を評価することが困難である。

交通安全への配慮や情報提供システム自体の効果を評価する手段として、ドライビングシミュレータの活用が挙げられる。様々な外的要因を制御した環境構築や未だ開発段階の情報提供システムの効果を検証することが可能となっており、多くの既往研究で活用されている。

Brouwer³⁾は、トラック運転手に対して、エコドライブ情報の提供を行い、その効果を検証している。このトラック運転シミュレーションを活用した実験により、情報提供が車両挙動の変化やCO₂排出量の削減に効果的であることを示している。Matsumoto⁴⁾は、ドライビングシミュレータを活用することで信号交差点を円滑に通過、もしくは赤信号における停止時間の減少が見込めるリア

リアルタイムな情報提供システムの評価を行っている。信号交差点に接近する車両への推奨速度情報やアクセルオフ情報の提供に依ること、ドライバーの運転挙動を変化させ、CO₂排出量の削減効果が見込めることを明らかにしている。

これらの研究では、交通安全上の懸念を解決した上で、開発段階にある情報提供システムの評価を行っているが、1台のみの車両への情報提供の効果を検証しているのみであり、情報提供が行われた車両以外の一般車両などの外的要因の影響を考慮できていない。

Niu and Sun⁵⁾は、複数車両が存在する環境下において、The Green Wave Guidance Strategy (GWSGS)とThe Eco-Driving Speed Guidance Strategy (EDSGS)という2種類の情報提供システムの有効性を評価し、その情報提供が与える車両挙動の変化を把握している。

西元ら⁶⁾は、ドライビングシミュレータを用いて、一台の車両だけではなく、同一の走行環境下において、先行車両、先々行車両を考慮した運転実験を行っている。車車間通信などを模擬した協調走行を行う場合において、先行車両に加え、先々行車両の加減速情報が後続車の車両挙動変化に影響を及ぼし、燃費消費率の低減に効果的であることを明らかにしている。

しかしながら、これらの研究においては、複数車両は考慮しているものの、前方後方の車両の存在のみを考慮した場合が多く、実際の交通量や実信号サイクルなどの実交通流の環境を考慮できていないと言われている。

情報提供の効果を交通流全体で検証する上で、交通流シミュレーションは、有用な手段の一つである。

Matsumoto ら⁷⁾は、観測した実際の車両挙動に基づき、信号交差点に接近する車両に対して情報提供を行うシステムを交通流シミュレーションで評価しており、情報提供を行うことで、CO₂排出量の削減効果が得られることを明らかにしている。

しかしながら、交通流全体での情報提供の効果を明らかにしているが、交通流シミュレーションにおける車両挙動は、ドライバーの実際の挙動とは異なる。

解決策の一つとして、交通流シミュレーションとドライビングシミュレーションの融合による交通流環境での走行実験が考えられる。

これらの両シミュレーションを融合させることにより、実交通流において、実際のドライバーの挙動を把握することが可能となると考えられる。

中澤ら⁸⁾は、交通流シミュレーションとドライビングシミュレーションの連携を行い、現実に近い環境での情報表示端末の評価を行うための環境の構築手法を提案しているが、交通流シミュレーションとドライビングシミュレーションの融合による実交通流環境での実際のドライバーへの情報提供の効果を検証した研究はほとんど行

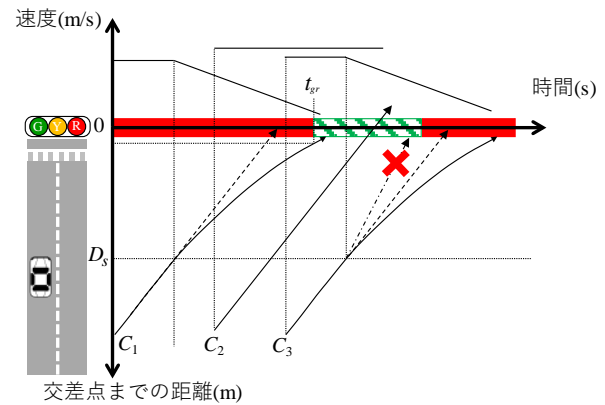


図-1 情報提供の考え方

われていない。

そこで本研究では、まずマイクロ交通流シミュレーションを用いて、実際の交通量や分岐率、信号サイクルタイムを用いたシミュレーションを行い、実交通流環境を再現して、車両群の走行ログデータを取得する。これらの走行ログデータをドライビングシミュレータの環境に落とし込み、その交通流に存在する一台の車両をドライビングシミュレータで運転できるようにして、実験を行い、車両の走行状況に応じたアクセルオフ情報提供による加減速挙動の変化と車両からのCO₂排出量の削減効果の把握を行うこととする。

2. 情報提供システムの構築

(1) 情報提供システムの考え方

図-1は、横軸に信号交差点に接近する車両の時間、縦軸の正方向に速度、負方向に距離をとった図である。本研究においては、黄色信号を赤信号と同じであるとみなし、信号状態が黄色信号の場合、車両は、信号交差点で停止することとする。

この図において、ある車両C₁が一定の速度で走行した場合、信号交差点に到達したときの信号状態は赤信号であるために停止する。しかし、信号は、 t_g のタイミングで青信号に切り替わるため、車両が減速を行った場合、赤信号で停止すること無く信号交差点を通過できる可能性がある。そこで、車両C₁に対して、距離 D_s の地点で減速支援の情報提供を行う。車両C₁は、情報に従って走行した場合、図のように速度を緩やかに減速させ、信号交差点を無停止で通過可能となる。

車両C₂は、一定の速度で走行した場合、信号の状態が青信号のときに到達するため、情報提供を行わないこととする。

車両C₃は、一定の速度で走行したとき、赤信号で到達するが、加速を行った場合においては、鎖線のように信

号交差点を通過することができる。しかし、そのような行動は、交通事故のリスクを高める可能性がある。そのため、車両C₃に対しては、減速支援の情報を提供し、実線のような挙動をとらせる。この情報提供を行うことで、危険運転を回避させるとともに信号交差点でのアイドリング時間の低減も見込めることになる。

(2) 情報提供と車両との関係性

図-2は、車両へ情報を提供するためのフローを示している。現在速度で交差点を通過できないときでアクセルを離れた時に交差点が通過可能となる場合、アクセルオフ通過可能情報の提供が行われる。この情報提供中に減速が十分に行われ、現在の速度で交差点を通過できるようになった時点で、推奨速度情報に表示を切り替える。

一方、車両がアクセルを離して走行したとしても信号交差点を通過できない場合は、アクセルオフ停止時間減少情報を提供する。この場合、交差点の手前でブレーキを踏むことになるが、待ち時間が減少することになる。

現在速度で交差点を通過でき、かつ、制限速度以下の場合、推奨速度情報として現在速度を表示する。制限速度以上の場合、情報提供を行わない。

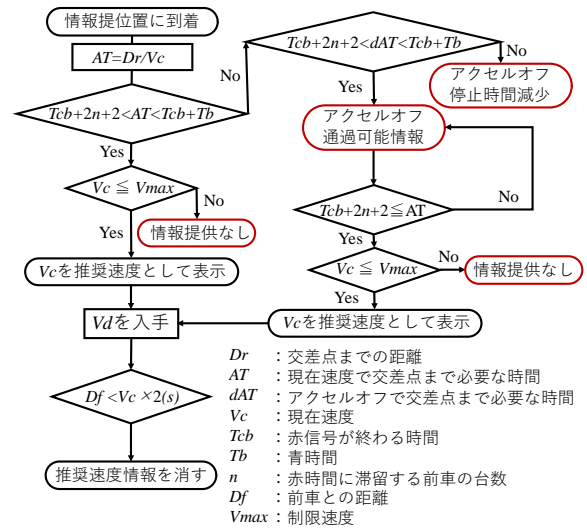


図-2 情報提供フロー



図-3 実験コースの概要

3. 実交通流環境での運転実験

(1) 実験コースの概要

図-3は、本研究の実験において対象とする沖縄県国道58号線一部区間（泊交差点～泉崎交差点）を両シミュレータにおいて模したコースを示した図である。泊交差点から泉崎交差点の区間は、6つの信号交差点が連続した全長約2,160mのコースである。それぞれの交差点区間距離は、開始地点から290m, 330m, 240m, 330m, 340m, 340m, 290mで、車線数はそれぞれ4車線, 4車線, 4車線, 3車線, 5車線, 5車線, 4車線である。対象区間の制限速度は、50km/hである。走行実験を行う際に、坂などによる車両挙動の影響を排除するため、勾配が無い道路として実験コースの作成を行った。

表-1は、泊交差点から泉崎交差点における実際のある時間帯の信号現示時間を表したものである。泊交差点から泉崎交差点までの信号サイクルは、全て170秒となっている。

表-1 信号交差点ごとの現示時間

	青時間(秒)	黄色時間(秒)	赤時間(秒)
泊交差点	87	3	80
泊ふ頭交差点	91	3	76
前島交差点		121	4 45
松山交差点	94	4	72
久茂地交差点	75	3	92
泉崎交差点	80	4	86

(2) 交通流シミュレータによる実交通流環境の構築

本研究では、実際の交通状況下での情報提供効果を検証するため、実交通流環境の構築を行う。

はじめに、対象とする沖縄県国道58号線泊～泉崎交差点区間において、観測された交通量、分岐率、信号現示時間を用いてマイクロ交通流シミュレーションで実現象

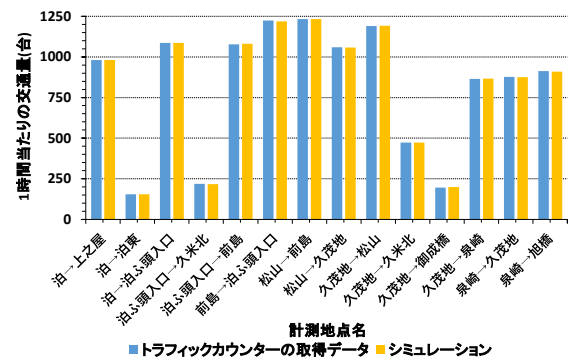


図-4 実交通量とシミュレーション結果の比較

の再現を行った。対象区間における交通量は、トラフィックカウンターにより得られデータであり、渋滞は起きていないものの、ある程度の交通量がある時間帯として、

2013年8月1日(木)の午前6時から午前7時に観測された合計4,701台を用いた。この日の那覇市の天候は、晴れであった。

図-4にトラフィックカウンターにより得られた取得データとマイクロ交通流シミュレーションにおける断面交通量の比較結果を示す。この図より、各交差点における断面交通量に大きな違いは見られず、1時間当たりの断面交通の誤差は±5台以内であり、現況に近い交通量が再現出来ているといえる。

図-5は、本実験の対象コースである沖縄県の国道58号線一部区間を、マイクロ交通流シミュレーションで再現した一場面である。

交通流シミュレーションは、全ての車両に情報提供を行わない場合と、全ての車両に対してアクセルオフの情報提供を行う場合の2種類で行う。

(3) 交通流への情報提供による車両挙動の変化

図-6と図-7は、交通流シミュレーションでの泊交差点と泊ふ頭入口交差点における時間距離図を例として表している。図-6は、マイクロ交通流シミュレーションにおける情報提供を行わなかった場合、図-7はアクセルオフ情報の提供を行った場合の約10台の車両をそれぞれ、抽出している。これらの図より、交差点付近において、車両へのアクセルオフ情報の提供を行うことで緩やかな減速挙動をとり、車両の信号到達タイミングが遅くなっていることが見て取れる。これにより、情報提供を行わなかった場合と比べて、交差点付近での円滑性が向上していることがわかる。

(4) 実交通流環境下における走行実験方法

本研究では、実際の交通状況下での情報提供の効果を検証するため、交通流中に存在する1台の車両を、ドライビングシミュレータで運転する走行実験を行う。

走行実験は、運転経験が1年以上である免許を保有した20歳代の計10名を被験者として実施した。ドライビングシミュレータの運転操作は、実際の車両の運転とは異なると考えられる。そのため、それぞれの被験者には、最初に約3分間の練習走行を本実験のコースで行ってもらった後、実際の交通環境を再現した環境において、交通流中の1台の車両として、走行実験を行ってもらった。

被験者には、交通流の全ての車両に情報提供を行わない場合の交通状況下で、被験者の運転する車両に情報提供を行わない場合と行った場合の2つの走行パターンの組み合わせに加え、交通流の全ての車両に情報提供を行った交通状況下で、被験者の運転車両にも情報提供を行った場合のパターンの計3つの走行パターンでの走行実験を行ってもらった。

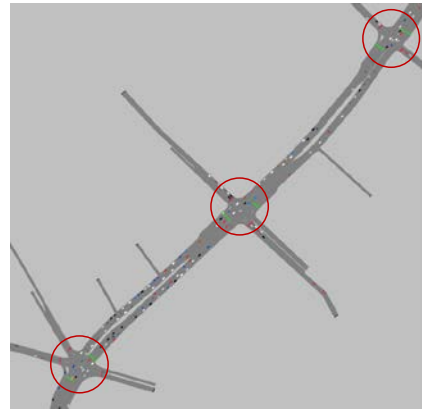


図-5 ミクロ交通流シミュレーションで再現した
沖縄県の国道58号線一部区間

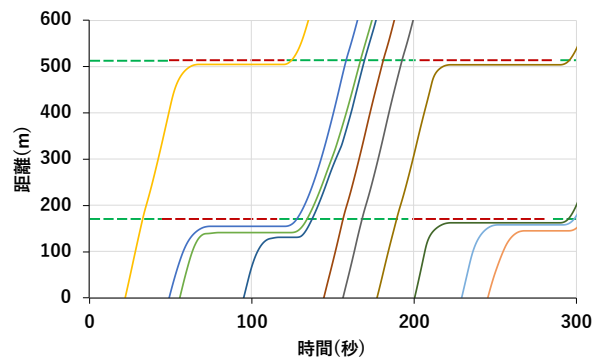


図-6 交通流における情報提供なし時の車両挙動

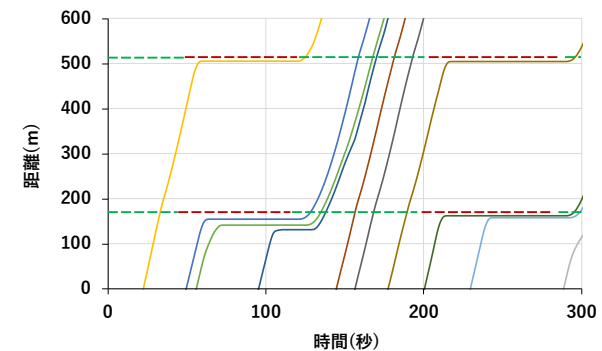


図-7 交通流におけるアクセルオフ情報提供時の車両挙動

走行実験を行う被験者に対しては、以下の5つを指示し、運転実験を行った。①50km/h制限の道路を普段運転しているように走行すること、②信号は厳守すること、ただし、黄色で安全に停止することが出来ないと判断した場合は通過してよいこと、③交差点は直進すること、④車線は変更しないこと、⑤提供された情報に従うことである。本研究では、被験者が情報提供に従った場合の車両挙動の把握を行うため、これらの指示に従わなかった場合は、走行実験をやり直してもらう場合があることを伝えた。

(5) 情報提供デザインの概要

図-8は、運転実験中に表示される3種類の情報提供のデザインである。左の図-8(a)は、情報提供に従い、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を無停止で通過可能となる場合に表示されるアクセルオフ通過可能情報である。中央の図-8(b)は、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を通過することは出来ないが、アイドリング時間の減少が見込める場合に表示されるアクセルオフ停止時間減少情報である。右の図-8(c)は、走行速度がアクセルオフ情報により減速したとき、現在速度で信号交差点を十分に通過可能となった場合に表示される推奨速度情報である。これらの情報画面は、カーナビゲーションでの情報提供を想定し、運転画面上のダッシュボード中央部分に表示させる。



図-8 情報提供画面のデザイン

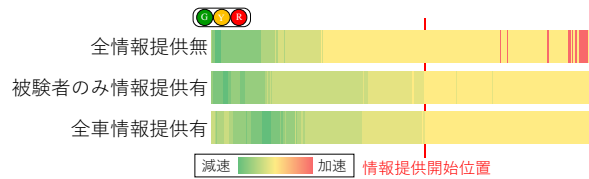


図-9 情報提供パターン別の加減速度カウンター図

4. ドライビングシミュレータでの走行実験結果

(1) 情報提供別の加減速挙動変化の把握

図-9は、情報提供パターン別の信号交差点に接近する車両の加減速度をカウンター図で表した図であり、色が赤色に近づくほど加速が大きくなり、緑色に近づくほど減速が大きくなることを示している。

この図より、全ての車両に情報提供を行わなかったパターンでは、信号交差点に接近する際に加速が大きく、信号交差点付近においても、減速が大きくなっていることが見て取れる。そのため、このパターンにおいては、早い速度で信号交差点に接近し、その後、強くブレーキを踏み込み、減速していることが考えられる。

被験者の車両にのみ情報提供を行ったパターンと全ての車両に情報提供を行ったパターンでは、情報提供が行われたことで減速を早めに開始し、信号交差点に到達するまで徐々に減速していることがわかる。そのため、これらのパターンでは、信号交差点に接近するまでに速度が低下し、強くブレーキを踏むことなく減速できている。

被験者の車両にのみ情報提供が行われたパターンと比較し、全ての車両に情報提供を行ったパターンでは、信号交差点の手前において、特に減速が大きいことがわかる。これは、被験者の車両以外の一般車両に情報提供が行われたことで、それらの車両の走行速度が下がり、後続していた被験者の車両に影響を及ぼし、信号交差点より手前で減速したことによると考えられる。

(2) 走行状況 CO₂ 排出量の削減効果

本研究では、走行時間、走行距離、加速しているか否かという状態で CO₂ 排出量を算出する大口⁹⁾の式を用いる。

図-10は、情報提供パターンごとの走行状況別の被験

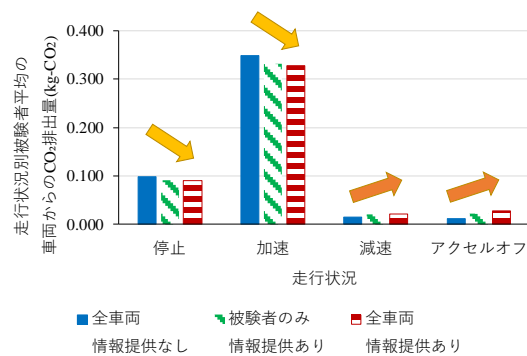


図-10 情報提供パターンごとの走行状況別の車両からの CO₂ 排出量の割合比較

者車両からの平均CO₂排出量 (kg-CO₂)を示した図である。この図より、全ての車両に情報提供を行わなかった場合と比較して、情報提供が行われた2つのパターンでは、加速や停止におけるCO₂排出量が減少していることがわかる。

一方で、減速時やアクセルを離して走行している際のCO₂排出量は増加していることがわかる。加速や停止におけるCO₂排出量の減少は、車両へのアクセルオフ情報の提供に被験者が従って、走行したことで、加速挙動とアイドリング時間が低減されたことによると考えられる。アクセルを離して走行している際のCO₂排出量の増加は、アクセルオフ情報の提供によるものと考えられるが、加速時や停止時におけるCO₂削減量と比べて増加量が低いため、結果として、被験者車両からの平均CO₂排出量 (kg-CO₂)の割合が低下していることがわかる。

被験者のみ情報提供ありのパターンと比べて、全ての車両に情報提供を行ったパターンでは、減速時とアクセルを離して走行したときのCO₂排出量が増加しているが、これは、交差点付近において、情報提供により減速している前方の一般車両の挙動に合わせてアクセルオフ挙動の維持もしくは減速挙動を行ったことにより、CO₂排出量が増加していることが考えられる。

5. おわりに

本研究では、信号交差点に接近する車両が前方の交差点を円滑に走行するための情報を、車両の走行状況に応じてリアルタイムで提供するシステムを考案し、対象とした沖縄県の国道58号線の泊一泉崎区間での実交通流環境を、交通流シミュレータで再現し、その中の一台の車両をドライビングシミュレータで運転できるようにし、実験を行った。

実験の結果、情報提供により、信号交差点に接近するまでに速度が低下し、強くブレーキを踏むことなく減速できていることがわかった。信号交差点の手前において、情報提供が行われた被験者の車両以外の一般車両の挙動の影響を受け、特に減速が大きくなることがわかった。

情報提供パターンごとの走行状況別の被験者車両からの平均CO₂排出量については、被験者車両からの平均CO₂排出量において、加速時や停止時のCO₂削減量が大きく、このコースにおける車両への情報提供がCO₂排出量の削減に効果的であることが示唆された。

今回は、被験者の車両が一台のみであったため、今後は実交通環境下での複数被験者での運転実験を行い、より現実に近い環境下での情報提供システムの効果を検証する必要があり、情報提供の有用性が検証できる交通量に関しても検討する必要があると考えられる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（C）（15K06262）を受けた研究成果の一部である。ここに記して、謝意を表す。また、研究に協力してくれた平成29年度卒業の塚本晃直、塚本将成の両名にここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) Audi: Time to green, Retrieved July 28, 2018, from <http://www.audi.com/en/innovation/connect/smart-city.html>, 2017

- 2) 一般社団法人 UTMS 協会：平成 27 年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）信号情報等のリアルタイム活用技術等の開発及び実証報告書 http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000462.pdf, 2016
- 3) Brouwer, R. F. T., Stuiver, A., Hof, T., Kroon, L., Pauwelussen, J., Holleman, B.: Personalised Feedback and Ecodriving : An Explorative Study, *Transportation Research C* 58, pp. 760-771, 2015
- 4) Matsumoto, Y. and Ishiguro, S.: Evaluation of CO₂ Emission Reduction from Vehicles by Information Provision Using Driving Simulator, *Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics*, pp. 290-304, 2017
- 5) Niu, D. and Sun, J.: Eco-driving Versus Green Wave Speed Guidance for Signalized Highway Traffic : A Multi-Vehicle Driving Simulator Study, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96, pp. 1079-1090, 2013
- 6) 西元崇, 松本修一, 葛西誠, 長澤俊範, 岩瀬幸一: ドライビングシミュレータを用いた情報提供における車両挙動解析 - 先行車両と先々行車両情報の比較 -, *土木学会論文集 D3*, Vol.72, No.5, I_1115-I_1122, 2016
- 7) Matsumoto, Y., Oshima, T., Iwamoto, R.: Effect of Information Provision around Signalized Intersection on Reduction of CO₂ Emission from Vehicles, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111, pp. 1015-1024, 2014
- 8) 中澤克, 小沼寛, 清水大史, 清原良三: 統合ドライビングシミュレータ向けマイクロ交通シミュレーション方式, *情報処理学会研究報告*, Vol.2015-DPS-165, No.3, 2015
- 9) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明: 都市部道路交通における自動車二酸化炭素推定モデル, *土木学会論文集*, No.695/IV-54, pp.125-136, 2002

(2018. 7. 31 受付)

ANALYZING EFFECT OF INFORMATION PROVISION ON VEHICLE BEHAVIOR CHANGE AND CO₂ EMISSION REDUCTION WITH DRIVING SIMULATOR HARMONIZED WITH TRAFFIC FLOW

Shogo ISHIGURO, Yukimasa MATSUMOTO and Masatoshi SUGITA

Reduction of CO₂ emissions from vehicles is an urgent issue in Japan. As one of the measures, information provision to vehicles is effective for it. Recently, the development of a real time information provision system using ITS technology has become progressing. This paper develops the real time information provision system, in which multiple vehicles can smoothly pass the upcoming signalized intersection by following the intersection. In this study, driving experiments were conducted with a vehicle in traffic flow using a driving simulator under actual traffic conditions of Tomari – Izumizaki section of national route 58 in Okinawa prefecture, where actual traffic flows and actual traffic signals were reproduced. As a result, it can be seen that the information provision to vehicles changes vehicle behavior to approach the upcoming signalized intersection and reduces the amount of CO₂ emissions even under actual traffic conditions.