

交通シミュレーションを用いた信号無停止支援システムの有効性分析*

An Analysis of Effectiveness of the Non-stop Drive Support System using Traffic Simulation*

寺田 淳郎**・辻 大樹***・渡邊 雅弘****・屋井 鉄雄*****

By Junro TERADA**・Hiroki TSUJI***・Masahiro WATANABE****・Tetsuo YAI*****

1. はじめに

自動車交通が引き起こす地球温暖化、大気汚染といった環境問題やエネルギー枯渇問題に対する対策の一つとして、ドライバーがなるべく排気量が少なく燃費の良い運転を心掛ける、いわゆるエコドライブがある。現代推奨されているエコドライブは個々のドライバーの意識や運転技術のみによって実践されるものであるが、将来的には交通流全体における排出削減を促す支援システムの開発が望まれる。

本研究では、一般道路における新たなエコドライブ支援システムとして、「信号無停止支援システム」の導入に関する検討を行う。これは、信号交差点を無停止で通過するための速度（推奨速度）を、車載器や路側表示板等を通して各ドライバーに提示するという、路車協調型のシステムである。ドライバーは提示された推奨速度どおりに速度を一定に保ちながら運転することで、赤信号停止することなく信号交差点を通過することが可能になる。一般的に停止状態からの発進、加速には多くの燃料を要するため、停止回数を極力減らすことによって、燃費改善、排出削減効果が期待される。

これまでに欧州等では、類似システムに関する研究や実証実験が行われている¹⁾。しかし我が国においてはまだ実例がなく、また日本の交通条件下におけるシステムの有効性について検証した例もこれまでにない。

信号無停止支援システムを適用した際の交通流は、信号現示などの交通条件や他車両の影響によって複雑に変

化するため、システムの有効性を推測することは簡単ではない。このような場合、交通流全体における効果値を推計するには、交通シミュレーションを用いるのが適当である。

そこで本研究では、ドイツPTV社製のマイクロ交通シミュレータVISSIMを用いて、信号無停止支援システム適用時の交通流の再現を試みる。そして、非適用時とくらべてどの程度CO₂排出量が削減されるか、またどのような交通条件で当システムがより効果を発揮するのか、について定量的に分析を行い、知見を得ることを目的とする。

2. 本研究における信号無停止支援システムの考え方

ある信号交差点から一定距離手前の地点（推奨速度提示位置）において、その信号が青現示の間に交差点にたどり着くような速度を「推奨速度」としてドライバーに提示する。

推奨速度算出方法の概念図を図1に示す。 $t_{1i} \sim t_{2i}$ に推奨速度提示位置を通過した車両には t_{2s} で交差点を通過するための推奨速度を提示し、 $t_{2i} \sim t_{3i}$ に推奨速度提示位置を通過した車両には制限速度を提示する。前方車に追い

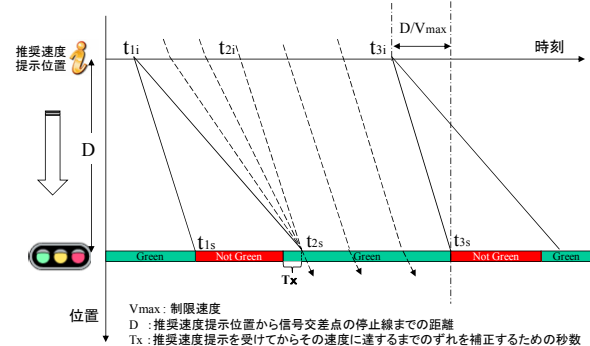


図1 推奨速度算出方法の概念図²⁾

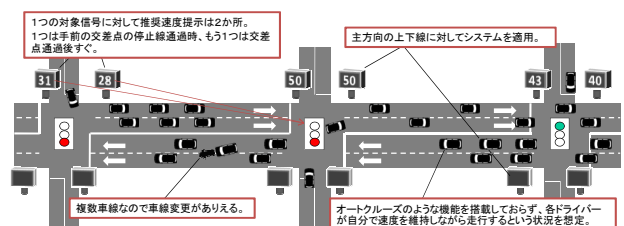


図2 本研究で想定するシステムのイメージと特徴

*キーワード：信号無停止支援システム、交通流、排出削減、
マイクロ交通シミュレーション

**学生員、学(工)、東京工業大学大学院総合理工学研究科人間
環境システム専攻（神奈川県横浜市緑区長津田町4259、
TEL&FAX:045-924-5675）

***正員、修(工)、いであ株式会社（神奈川県横浜市都筑区早
浜2-2-2、TEL:045-593-7631、FAX:045-593-7636）

****非会員、工修

*****正員、工博、東京工業大学大学院総合理工学研究科人間
環境システム専攻（神奈川県横浜市緑区長津田町4259、
TEL:045-924-5615、FAX:045-924-5675）

ついた場合は追従走行してもらう。

具体的なシステムのイメージと特徴を図2に示す。シミュレーションを行うにあたっては、想定する技術レベルや技術普及レベルをあるところに設定しなければならないが、本研究のシミュレーションにおいては、近い将来における実用化も視野に入れ、現在の技術レベルでも十分実現可能なシステムを想定している。

3. 交通シミュレーションを用いた分析体系

排出量分析体系の枠組みについて説明する。まず、道路の外形や、交通量、信号パラメータ等の交通データを取得し、入力データとする。次に、VISSIMを用いて仮想空間での車両挙動を再現し、車両一台一台の速度、加速度等のデータを出力する。そしてその出力データを、単位時間ごとの速度・加速度・勾配・車両総重量を説明変数とした国総研排出推計モデルに代入することで、交通流全体の排出量を推計する。

ここで一つ問題なのは、VISSIMはドイツ製のシミュレータなので、日本における車両挙動を再現できているとは言い難いという点である。車両挙動の中でも特に加減速の挙動は、排出量を推計する上で非常に重要な要素であることから、その再現性を無視することはできない。そこで、追従時の運転挙動に関して、筆者が立てた表1の5つの仮説をもとに、できる限り挙動が仮説に合致するように、内包された追従モデル(Wiedemann99)のパラメータ調整を行った。

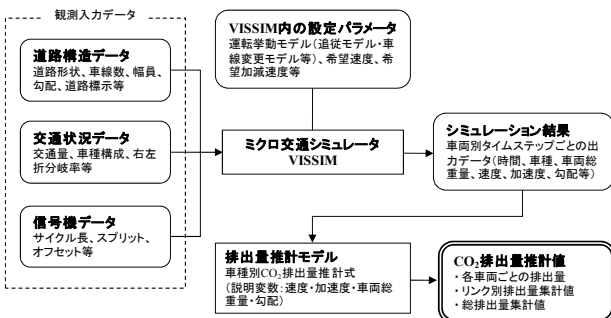


図3 排出量分析体系の枠組み

表1 追従時の挙動に関する仮説

仮説①：運転者は追従時、速度メーターを見ながら運転していない。したがって、速度を一定に保つことは不可能である。
仮説②：運転者は追従時、前方車との速度差を感じることができ、前方車となるべく同じ速度になるように、アクセルを調整しながら走行している。しかしながら、前方車と完全に同じ速度を維持することはできない。
仮説③：運転者は追従時、前方車との速度差がある値以上つくくと、その速度差を感じ取ることができる。感じ取れる速度差の閾値は、そのときの速度や車間距離にもよるが、概ね±1.0km/hの速度差は感じることができる。
仮説④：運転者が速度を微調整する際、速度差を感じてアクセルを微調整する、という一連の行動は、概ね5～10秒程度の時間間隔ごとに繰り返している。
仮説⑤：前方車との最小車頭距離は、次式③のような速度の関数で与えられる。 $S = 4.62 + 0.139v + 0.00818v^2$ S：最小車頭距離(m)、v：速度(km/h)

4. 信号無停止支援システムの効果の基礎検証

交通流における検証を行う前に、まず車一台が自由走行している状況で、信号無停止支援システムを適用した場合が適用しない場合（以後それぞれ無停止走行、通常走行と呼ぶ）に対してどの程度排出が削減されるか、3で構築した分析体系によって検証を行った。

大型車一台が信号手前700mの地点から信号交差点通過までの間に排出されるCO₂の量を、制限速度50km/hで走行し赤信号で一旦停止する場合（通常走行）と、信号手前700mの地点で提示された推奨速度通りの速度で走行し、信号交差点を無停止で通過する場合（無停止走行）の比較を行った。通常走行、無停止走行それぞれの走行パターンを表2に整理する。

車両が推奨速度提示位置を通過するタイミングと信号現示タイミングの関係によって、通常走行の場合は信号停止時間が、無停止走行の場合は推奨速度がそれぞれ異なり、条件が異なってくるため、場合分けが必要である。そこで、推奨速度提示位置から信号交差点の距離は700mで固定とし、信号の変わるタイミングを変え、推奨速度が25km/hになる場合、30km/hになる場合、35km/hになる場合、40km/hになる場合、45km/hになる場合の全5パターンについて検証を行うことにした。

結果を図4に示す。全てのパターンで、通常走行より無停止走行の方が、排出量が少なくなっていることがわかる。したがって、推奨速度が低い場合でも、制限速度で走行して停止した方が排出は少なくなるということではなく、全ての状況で無停止走行した方が排出面で有利であるということがわかる。

また、推奨速度が40km/hになるタイミングのケースが最も排出削減率が大きく、18.1%に上った。

表2 基礎検証の車両走行パターン

	通常走行	無停止走行
	制限速度(50km/h)で走行	制限速度(50km/h)で走行
0m		推奨速度提示
↓	制限速度で走行	推奨速度まで減速し、推奨速度で走行
700m	信号停止	無停止で信号通過
↓	発進&40km/hまで加速	40km/hまで加速or減速
770m	40km/hで通過	40km/hで通過

この範囲の排出量を推計し、比較を行った。

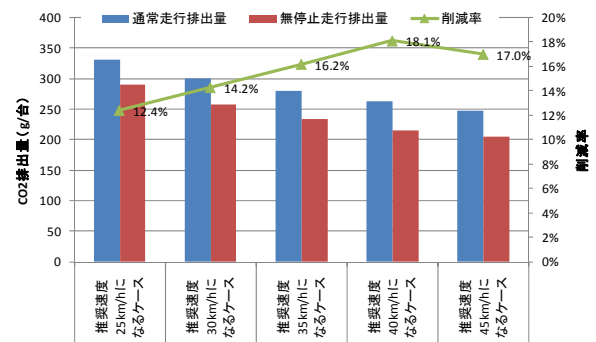


図4 基礎検証の排出量推計結果と排出削減率

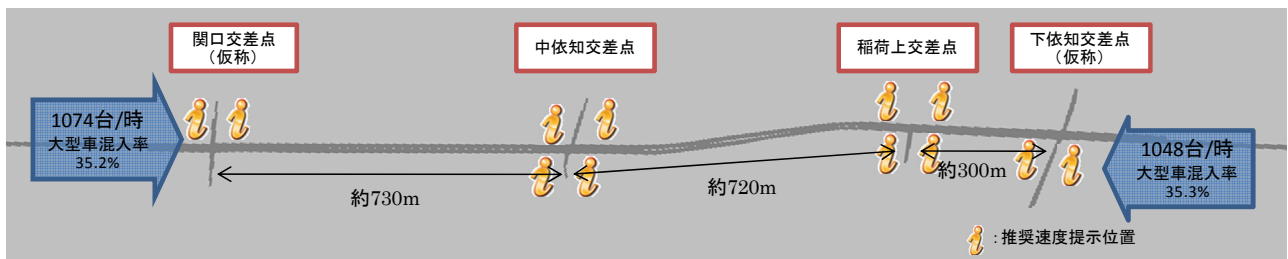


図5 対象道路の外形と主方向交通量（従方向は記載を省略）

5. 実地適用シミュレーション

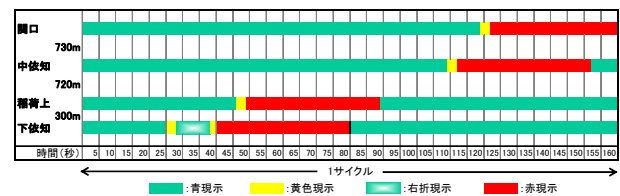
（1）シミュレーションの設定条件

実在の道路を対象とし、無停止走行交通流と通常走行交通流を再現し、排出量の比較を行った。対象道路は神奈川県厚木市の国道129号線中依知付近の4交差点間とした。ここは、片側2車線、制限速度50km/hの幹線道路で、比較的交差点間の距離が長く、平坦であり、大型車混入率が高いという特徴がある。交通量や右左折分岐率、信号パラメータ等の入力交通データは、08年12月19日15～17時に行った実地調査にて取得したものをを用いた。

（図5、表2参照）

シミュレーション時間は1回につき1600秒（信号10サイクル分）とし、通常走行、無停止走行それぞれについて5回ずつ乱数を変えてシミュレーションを実行した。

表3 主方向信号1サイクルのパラメータ表



排出量は、集計値を車両通過台数で割って求めた一台あたりの平均排出量をもって比較をする。

（2）車両走行軌跡図

縦軸に車両の位置、横軸に時刻をとって、車両の走行軌跡図を描いた。軌跡線の傾きが速度を表している。

図6にその一部を載せる。これは、片側2車線のうち左車線を走行した車両のデータを用いている。

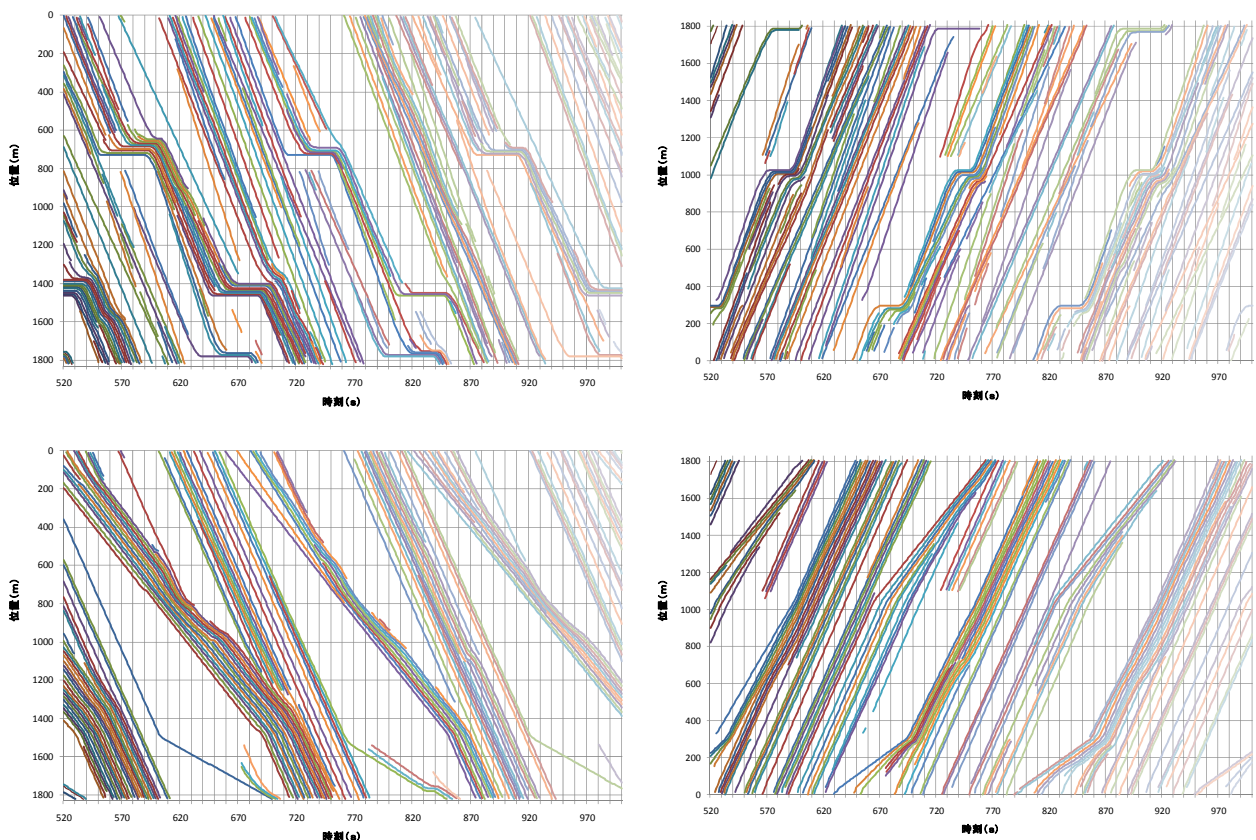


図6 車両走行軌跡図（左上：関口→下依知方向通常走行、左下：関口→下依知方向無停止走行、右上：下依知→関口方向通常走行、右下：下依知→関口方向無停止走行）

(3) 排出量推計結果

a) 区間別排出量推計結果（交通量＝観測値、順守率100%）

対象道路を交差点間ごとに区切って、区間ごとに集計したCO₂排出推計結果を図7に示す。

全体で10.6%のCO₂削減効果を得た。また、削減効果が最も大きかったのは稲荷上→下依知区間で、16.0%であった。

削減された主な要因として、システムの狙い通りにほとんどの車両が信号を無停止で通過できていることが一つ挙げられるが、その他に、周辺の車両が皆同じような希望速度を持って運転していることが大きく寄与していることがわかった。また中依知→稲荷上区間のように、信号間オフセットによっては、推奨速度に向けた減速がショックウェーブ現象の引き金となり得ることが判明した。排出削減率が5.2%と、他の区間と比べて低くなっているのはそのためである。

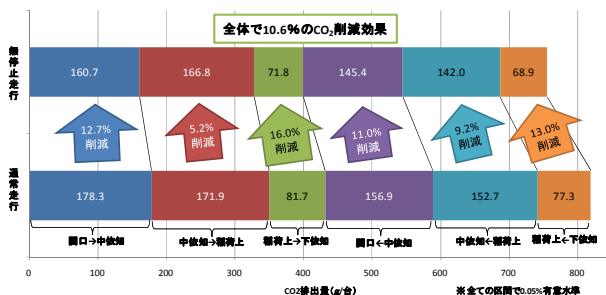


図7 区間別無停止走行排出削減率

b) 交通条件を変えた場合の総排出量削減効果の変動分析

次に、交通量およびシステムの順守率（推奨速度維持車両の割合）を変えて検証を行った。結果を図8に示す。

交通量に関しては、観測値と比べ70%（ $t=-0.99$, $df=4$ ）、130%（ $t=0.01$, $df=4$ ）では大きな差は見られなかった。一方160%では、稲荷上→下依知区間において、無停止走行の場合のみひどい混雑状態となり、排出量が軒並み増加するという現象が起こった。ゆえに、交通量が飽和に近い状態では、システムの適用が交通の流れを悪化させ、排出削減に逆効果になる危険性が示唆される結果となった。

一方、順守率に関しては、70%、40%と下げても、排出削減率はかなり維持されていることがわかる。これは、もし前方車が無停止走行していれば、後方車は追い越しができない限り前方車を追従するしかないため、意図していなくても無停止走行になる車両が出てくるのが原因である。

c) アイドリングストップとの比較

交通量＝観測値の条件で、全車がアイドリングストップを行うと仮定した場合のCO₂排出量を推計した。アイ

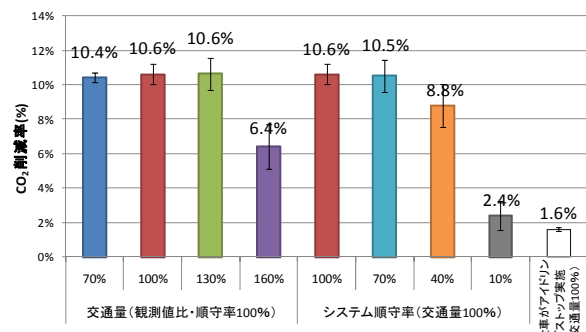


図8 様々な条件における排出削減率

ドリングストップを行った場合のCO₂排出量は次式で算出した。

アイドリングストップ実施時排出量＝通常走行排出量－（信号待ち停車秒数－12）×アイドリング時排出原単位
12秒は、エンジン始動時の排出分5秒⁴⁾にエンジン操作に要する時間7秒を足したものである。

結果、アイドリングストップ実施によるCO₂削減率は、1.6%と推計された。今回のような交通流が比較的スムーズで、停止時間がそれほど長くない交通条件では、アイドリングストップの効果が十分に表れず、無停止走行がアイドリングストップを大きく上回る結果となった。

6. 結論

本研究では、ミクロ交通シミュレータVISSIMを用いて、信号無停止支援システム適用時の交通流を再現し、CO₂排出量について分析を行った。結果として、交通流全体で平均10.6%のCO₂排出削減効果を得た。また、排出削減効果の要因について考察し、効果の出る交通条件について示唆を得るとともに、システムの課題を抽出した。さらに、アイドリングストップとの比較を行った。

今後の課題として、システム適用時のドライバーの実際の挙動について検証し、加減速挙動、心理面、安全性等に関して分析を行うこと、及び具体的なシステムの手法について更なる検討を行うことなどが挙げられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、東京工業大学産学連携推進本部の松下近氏に多大なる協力を頂いたことを付記し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、R.S. Trayford and T.B. Crowle: The ADVICE Traffic Information Display System, Vehicle Navigation and Information systems Conference, Conference Record, 1989.
- 2) 小崎亮史：交差点無停止制御による燃費改善効果の研究，平成19年度東京工業大学工学部土木工学科卒業論文，2008.
- 3) 米谷栄治，渡辺新三，毛利正光：交通工学，オーム社，1965.
- 4) 谷口正明：省エネ運転の推進と燃料消費削減可能性，交通工学 Vol. 41 No. 5，2006.