

信号交差点における運転支援システムの信号サイクルによる影響

日大生産工(学部) ○小林 亮斗 日大生産工 丸茂 喜高
日本工業大・先進工 鈴木 宏典 茨城大・工 道辻 洋平

1. まえがき

自動車を抱える社会的課題として、交通事故や環境問題が挙げられる。安全面に着目すると、平成30年における交通事故発生件数は約43万件であり、交差点およびその付近における割合は全体の約54%を占めている。中でも、信号機が設置されている交差点での事故の割合は約16%であり、信号機のない交差点だけでなく、信号機の有無によらず多くの事故が発生している。また環境面では、都心部における自動車の走行モード別燃料消費量の割合に着目すると、発進時に消費する燃料の割合が多い傾向にある²⁾。

以上のことから、信号交差点での事故を低減し、さらに、停止状態から発進する状況を抑制することで、安全性と燃費の向上が期待できる。これらの問題を解決するため、交差点へ到達した際の信号現示を路面へ呈示する運転支援システムが提案され、その有効性がドライビングシミュレータ（以下、DSとする）実験で確認されている³⁾。

しかし、そこでの検討では、各信号現示の周期である信号サイクルは特定の条件で行われていた。そのため、信号サイクルが変化した場合など、支援の効果が確認できないことが考えられる。そこで本研究では、信号サイクルの変化が、運転支援の効果に及ぼす影響についてDS実験により検討することを目的とする。

2. 支援システムの概要

本研究では、路車間通信技術などを用いて信号情報を事前に取得し、ヘッドアップディスプレイ⁴⁾を用いて、道路上へ仮想的に情報を呈示することを想定している。これらを活用して、現在の速度を維持した場合に、自車が信号交差点に到達した際の信号現示を道路上へ視覚的に呈示することで、ドライバーの支援を行う。予測した現示を路面へ呈示するための評価指標として、GO指標とNOGO指標を用いる³⁾。以下にその概要について述べる。

GO指標は、現在の速度を維持した場合に、交差点を進入・通過することが可能であることを知らせる評価指標であり、進入可能距離と通過可能距離を用いる。進入可能距離 $d_e(t)$ は、現在の速度を維持した場合に、赤信号になる（黄信号終了）までに自車が進む距離である。この距離は、現在の速度 $v(t)$ と、信号が赤になる

までの時間TTR（Time To Red）を用いて、次式より算出される。

$$d_e(t) = v(t) \cdot TTR \quad (1)$$

次に、通過可能距離 $d_p(t)$ は、現在の速度を維持した場合に、交差側の信号現示が青になるまでに自車が進む距離である。この距離は、現在の速度 $v(t)$ と、交差側の信号現示が青になるまでの時間TTG_c（Time To Green Cross）を用いて、次式より算出される。

$$d_p(t) = v(t) \cdot TTG_c \quad (2)$$

ただし、通過可能距離は出口側停止線を基準とするが、道路上に呈示する際には、交差点内には呈示せず、交差点長 l_i を引いた距離を、入口側停止線から呈示するものとする。

これらの距離のいずれか短い方をFig. 1のように道路上へ仮想的に緑色で呈示する。これにより、呈示した緑色の指標の上に自車が乗っていれば、現在の速度を維持することで、次の交差点を進入・通過のいずれも可能であることをドライバーに知らせる。

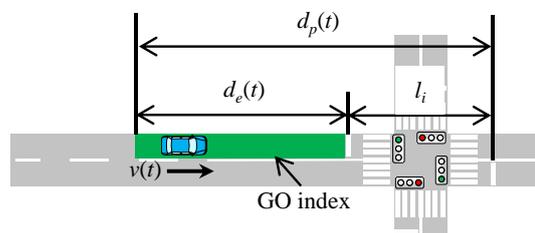


Fig. 1 Schematic diagram of indicating GO index

NOGO指標は現在の速度を維持した場合に、自車が赤信号で進入することを知らせる評価指標であり、減速要求距離を用いる。減速要求距離 $d_d(t)$ は、現在の速度を維持した場合に、信号が青に切り替わるまでに自車が進む距離である。この距離は、現在の速度 $v(t)$ と信号が青になるまでの時間TTG（Time To Green）を用いて、次式より算出される。

$$d_d(t) = v(t) \cdot TTG \quad (3)$$

この距離をFig. 2のように道路上へ仮想的に赤色で呈示する。これにより呈示した指標の上に自車が乗っ

Effects of Signal Cycle on Driver Assistance System at Signalized Intersection

Ryoto KOBAYASHI, Yoshitaka MARUMO,
Hironori SUZUKI and Yohei MICHITSUJI

ていると、赤信号で交差点に進入するため、減速が必要であることをドライバーへ知らせる。

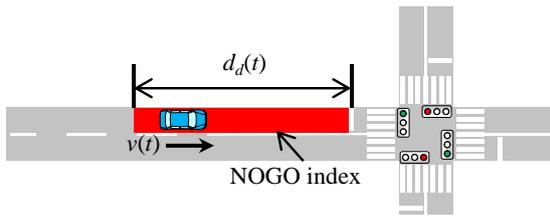


Fig. 2 Schematic diagram of indicating NOGO index

前述の評価指標を路面へ視覚的に呈示する方法の模式図をFig. 3に示す。Fig. 3(a)は、自車が緑色の指標の上にいるため、減速が不必要な場面であり、現在の速度を維持することで、次の信号交差点に進入して、通過することが可能であることをドライバーに知らせる。一方、Fig. 3(b)は、自車が赤色の指標の上にいるため、減速が必要な場面を示しており、現在の速度を維持した場合には、次の信号交差点に赤信号で進入することを知らせる。そこで、ドライバーは赤色の領域から抜け出す（緑色の領域に入る）ように減速を行う必要がある。

Fig. 4に、DSの道路上に評価指標を呈示した際のイメージを示す。ルームミラーを模擬した映像により、自車後方の評価指標を確認することが可能である。

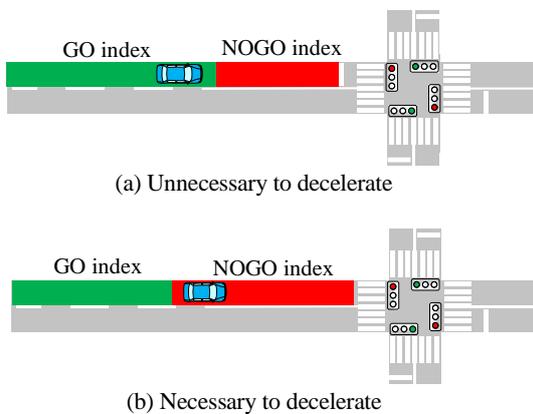


Fig. 3 Schematic diagram of indicating evaluation indices



Fig. 4 Indication image of evaluation index

3. 実験方法

本研究では、Fig. 5のような定置型DSを用いて実験を行う。DSのソフトウェアはアストジェイ社製のDS-nano⁵⁾を用いた。実験では実験参加者が、片側一車線で交差点の数が9つの直線道路（支援があるのは内8個の交差点）を走行する。これらの交差点の設置間隔は500mである。



Fig. 5 Overview of fixed-base driving simulator

実験参加者は停止状態から加速して60km/hで走行を行う。最初の交差点通過時を0s、最初の交差点の停止線を0mとして、そこから9つ目の交差点である4000m地点までを評価区間とした。

信号の条件は、サイクル長を100sとして青時間を変えることで支援の影響を調べる。黄時間は3sで、青時間を62s（赤時間35s）、47s（同50s）、32s（同65s）の3条件として、それぞれ「青-長」、「青-中」、「青-短」条件とする。

実験参加者は信号サイクルごとに、道路上へ視覚的に情報呈示を行う「支援あり」と、呈示を行わない「支援なし」を走行した。「支援あり」では、最初の交差点通過後から支援を行う。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有する、DSの運転に習熟した20代の男性2名（実験参加者A、B）であり、事前に文書によるインフォームドコンセントを得た。

4. 実験結果

4.1 各信号サイクルの結果

信号サイクルが変化した場合の支援の効果を確認するために、信号サイクル3条件の結果を以下に述べる。

まず、「青-長」条件の実験結果について検討する。結果の一例として、実験参加者Aの第一走行における第三交差点から第四交差点までの区間（1000m~1500m）の結果をFig. 6に示す。図中の実線は「支援あり」を表しており、破線は「支援なし」を表している。

Fig. 6(a)は自車位置の時系列応答であり、図中の緑、黄、赤の領域は、各交差点における信号現示の状態を表している。支援ありの場合は交差点へ進入する際の信号現示が事前にわかるため、現在の速度を維持すると赤信号で進入する状況では、早めの減速を行っていることがわかる。一方、支援なしの場合は、減速の必要性を事前に認識することができないため、交差点に

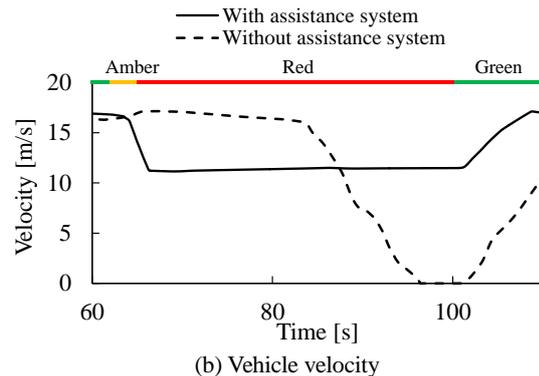
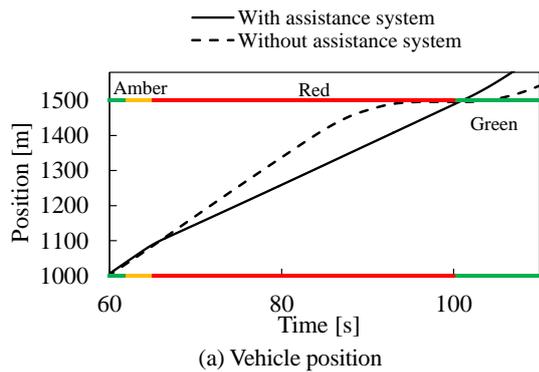


Fig. 6 Time history in “Green-long” condition (1st trial by Participant A)

接近してから減速を行い、その後停止している。

速度の時系列応答 (Fig. 6(b)) に着目すると、支援ありの場合には、減速開始が早まるため、速度の低下を抑制することが可能となる。一方、支援なしの場合には、赤信号の交差点に接近してから減速を開始し、速度の低下量が大きく、停止状態になっていることが確認できる。

次に、「青-中」条件について、実験参加者Aの第一走行における第四交差点から第五交差点までの区間 (1500m~2000m) の結果をFig. 7に示す。自車位置の時系列応答であるFig. 7(a)より、支援ありの場合、早めの減速を行って交差点に進入していることがわかる。支援なしの場合は、交差点に接近してから減速を行い、停止していることがわかる。

Fig. 7(b)は速度の時系列応答であり、支援ありの場合には、早めの減速を行い、速度低下を抑えている。支援なしの場合は、速度の低下量が大きく、停止状態になっている。「青-長」条件よりも、赤現示時間の増加に伴い、停止時間も増加しているため、支援ありでは停止状態を回避する代わりに、速度の低下量が「青-長」条件よりも大きくなっている。

最後に、「青-短」条件の結果について着目する。実験参加者Aの第一走行における第四交差点から第五交差点までの区間 (1500m~2000m) の結果をFig. 8に示す。自車位置の時系列応答であるFig. 8(a)より、他の条件と同じように、支援ありの場合、早めの減速を行って交差点に進入している。支援なしの場合は、交差点に接近してから減速を行い、停止している。信号サイク

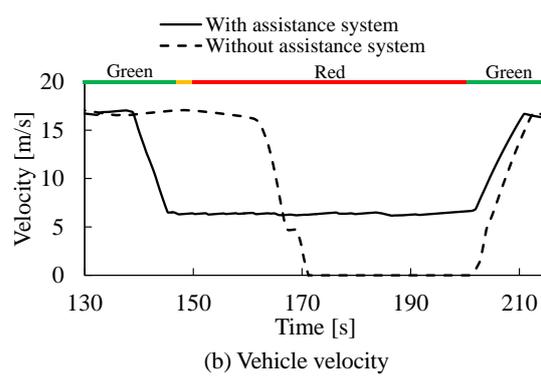
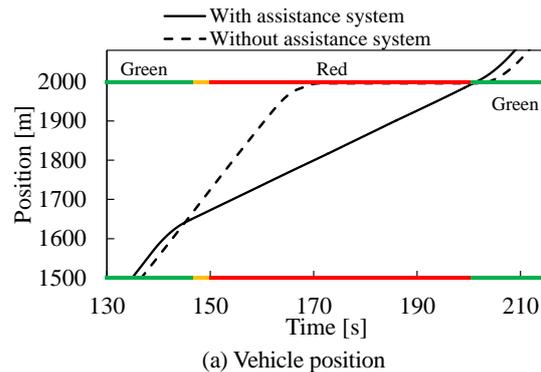


Fig. 7 Time history in “Green-middle” condition (1st trial by Participant A)

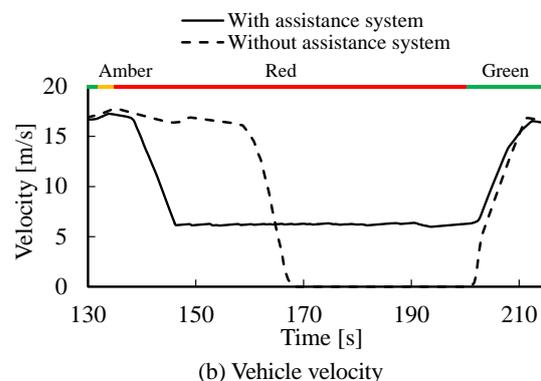
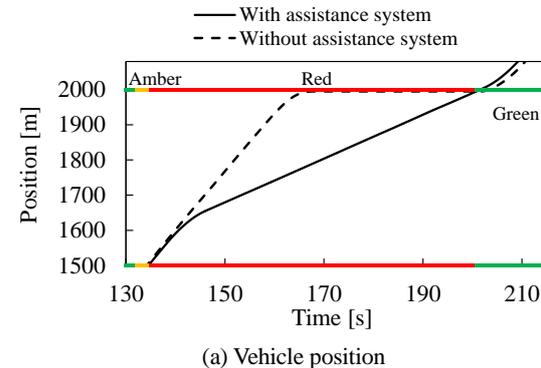


Fig. 8 Time history in “Green-short” condition (1st trial by Participant A)

ルが変化しても、支援があることによって、早めの減速を行い、交差点に進入していることがわかる。

速度の時系列応答 (Fig. 8(b)) から、支援ありの場合には、早めの減速を行い速度低下を抑えているが、支援なしの場合は、停止状態になっている。「青-中」条件と同様に、赤信号の時間の増加により、停止時間が「青-長」条件よりも長くなっており、支援ありでは停止状態を回避する代わりに、速度の低下量が大きくなっている。

4.2 信号サイクルの比較

ここで、他の実験参加者の実験結果を含めて検討を行う。信号サイクルごとに比較を行うために、Fig. 9に評価区間における速度の最低値 (以下、最低速度) について、実験参加者2名、各2走行の計4走行分の平均値を示す。

この図から、支援ありの場合は一度も停止することなく走行しており、速度低下が抑えられることがわかる。支援なしの場合は、信号サイクルに関わらず評価区間中に少なくとも一度は停止したことが確認できる。それぞれの条件において、「青-長」条件の速度低下が最も抑えられており、時系列応答でも確認したように、赤信号時間が延長した「青-中」条件と「青-短」条件では、「青-長」条件ほどの効果は得られなかった。しかし、支援なしよりは速度低下が抑えられていることが確認できる。

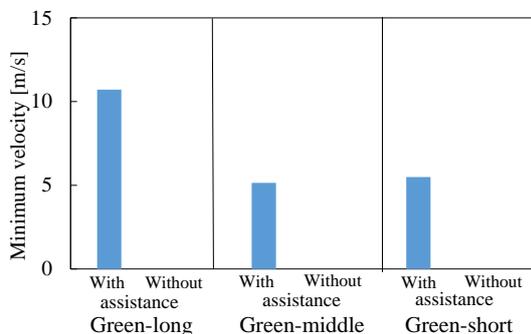


Fig. 9 Minimum velocity (four trials)

Fig. 10に各条件における評価区間走行時の燃費 (燃料の単位体積あたりの走行距離) について、4走行分の平均値を示す。この図から、各条件において、支援ありの場合は支援なしに比べて、燃費が改善されていることがわかる。

それぞれの条件で、支援ありと支援なしの燃費の差に着目すると、青時間が短くなるにつれて差が大きくなっている。支援ありの場合は一度も停止せずに走行していたが、支援なしでは、評価区間における停止回数を調べたところ、青信号が短くなるにつれて停止回数が増加していた。信号サイクル、交差点の間隔、走行速度によって、停止回数が決まり、回数が増えることで停止状態から再加速する状況が増え、燃費に影響を与えると考えられる。

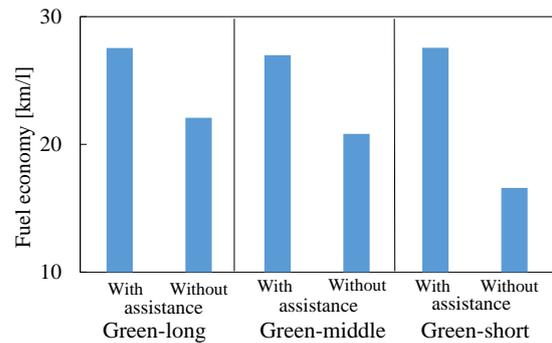


Fig. 10 Fuel economy (four trials)

5. まとめ

本研究では、自車が現在の速度を維持した場合に交差点へ到達した際の信号現示を路面へ呈示する運転支援システムについて、信号サイクルの変化が運転支援の効果に及ぼす影響について、DS実験により検討した。その結果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 信号サイクルが変化した場合でも、運転支援を行うことで、支援がない場合と比較して、速度低下を抑制することにより燃費が改善することが可能となった。
- (2) それぞれの条件について、支援ありと支援なしの燃費の差を比較すると、青時間が短いほど燃費の改善効果が大きくなった。

「参考文献」

- 1) 総務省統計局, 平成30年中の交通事故の発生状況, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=data-ist&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20170&month=0> (参照日: 2019年10月6日)
- 2) 交通エコロジー・モビリティ財団, 乗用車のエコドライブテキスト, http://www.ecomo.or.jp/environment/ecodrive/ecodrive_text_private.html (参照日: 2019年10月6日)
- 3) 丸茂喜高, 山崎光貴, 鈴木宏典, 道辻洋平, 予測された信号現示を路面に呈示する運転支援システムの検討, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.4, pp.1145-1150 (2019)
- 4) 丸茂喜高, 山崎光貴, 三浦裕弥, 道辻洋平, ヘッドアップディスプレイを用いた信号交差点でのドライバ判断支援システム, 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 866, p. 18-00134 (2018)
- 5) 株式会社アストジェイ, ドライビング・シミュレータ DS-nano-, <http://dsnano.net/> (参照日: 2019年10月6日)
- 6) 一般社団法人 交通工学研究会, “改訂 交通信号の手引”, 丸善出版株式会社, p.12, (2013)