

複雑な交差点における信号灯器位置を考慮した 右折挙動分析

小松 香貴¹・柳原 正実²・小根山 裕之³

¹ 学生会員 東京都立大学 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢一丁目一番地)

E-mail: komatsu-kouki@ed.tmu.ac.jp

² 正会員 東京都立大学 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢一丁目一番地)

E-mail: yanagihara@tmu.ac.jp

³ 正会員 東京都立大学 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢一丁目一番地)

E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

円滑で安全な交差点を実現するためには、信号灯器位置が重要な要素である。幾何構造の複雑な交差点における信号灯器位置の違い（far タイプと near タイプ）によって交差点進入後の右折待機時の灯器の見え方が異なることから、右折挙動に対しても差が生じると考えられるが、これらについての知見は十分に得られていない。そこで本研究では、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験とドライバーの視線を計測するアイマークレコーダのデータを用いて、複雑な交差点における信号灯器位置の違いを考慮した右折時の車両挙動分析を行った。その結果、複雑な交差点が十字路よりも信号灯器位置によって注視にバラつきがあること、全ての交差点でドライバーがギャップ時間に注意をしながら右折を行っていることが示唆された。

Key Words: signal position, driving behavior, signal intersection, driving simulator, complex intersection

1. はじめに

日本では年間で 305,196 件（令和 3 年）の交通事故が発生しており、そのうち交差点付近での交通事故の割合は 56.6%（図-1）に上る¹⁾。近年では自動車に搭載されたカメラやセンサーなどによって運転をアシストする自

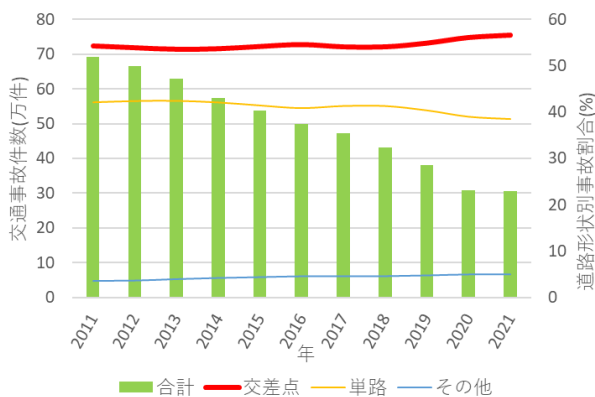


図-1 交通事故数と道路形状別事故割合

動車が増え、運転する上での安全性は向上し、これによって交通事故も直近 10 年で比較をすると 55.9%も減少している¹⁾。しかし、交差点付近での交通事故の割合は横ばいであり、依然として交差点での事故率の高さが課題となっている。また、交差点の交通安全対策として、交差点構造の改良や信号制御の変更など様々な対策が実施されている。一方、信号灯器位置も円滑で安全な信号交差点を実現するための重要な要素であるものの、これまで十分な注意が払われてきたとは言い難い。

信号灯器の位置は、日本においては主に交差点に対して左奥に設置（以下 far タイプとする）されているが、ドイツやイギリスなどの諸外国では左手前の停止線付近（以下 near タイプとする）に設置するのが標準である場合も多い。

far タイプでは、停止線の停止時に前方の信号を視認しやすく、交差点の停止線付近にて自流入部の信号灯器だけでなく、交差方向の信号灯器が視認できることから信号現示の変化を推測した運転行動が可能となるという

メリットがある。また、停止線通過後にも自流入部の信号灯器を視認できることから、右折時における右折判断材料が対向車に加えて信号灯器も材料の1つとして利用することができる。一方、いわゆる見切り発進を誘発して安全上の課題となることも指摘されている²⁾。また、交差点を右左折したあとに交差方向の信号が見えてしまう場合もあり、これが自流入部の信号と誤認して追突の原因となる恐れもある。

near タイプでは信号灯器位置が停止線手前にあることで、交差点進入後に信号灯器が視認できなくなり、歩行者や対向車だけに集中して交差点を通過できるというメリットが挙げられている。しかし、そもそも日本ではあまり見られない信号灯器配置であり、導入の際、ドライバーにとって慣れないものであることから戸惑いが発生する可能性がある。また、右折時に far タイプとは対照的に、右折時の判断材料として自流入部の信号灯器が見えないため、運転挙動に変化が出る可能性がある。更に、右左折後に先詰まりで交差点内に取り残された際、従うべき信号が見えず、ドライバーによってはそのまま停車してしまう可能性もある。

以上のような背景のもと、著者らの研究グループでは信号灯器位置による運転挙動や安全性、円滑性などに関する研究を行ってきており、near の安全性、円滑性の観点からの一定の優位性が示されている。しかしながら、これらはいずれも単純な十字路交差点を対象としたものである。

一方、複雑な交差点では、far タイプであることのデメリットが指摘されている。単純な十字路交差点に比べて、複雑な交差点の方が交差点幾何構造、交通運用などにおいて配慮すべき点が多い。また、複雑な交差点における信号灯器位置による車両挙動の違いを把握することは、信号灯器位置、交差点幾何構造、交通運用との関係において車両挙動に影響を与える要因の理解につながる。結果的に、信号灯器位置の変更も含めたより適切な交差点安全対策の検討に資することが可能となる。

ただし、near の方に優位性があった場合でも、費用面や業務量などを考慮すると交差点灯器位置を全面的に入れ替えていくことは現実的ではない。しかし、複雑な交差点において安全性向上の観点から信号灯器位置の変更を含めた対策を実施することは十分に可能性がある。このようなピンポイントでの導入は日本において適切な信号灯器位置の検討を行っていく端緒となりうるものであり、重要だと認識している。

信号灯器位置の検討にあたって安全に対する配慮は特に優先すべきと考えられるが、十字路を対象とした既往研究において特に考慮すべきと指摘されたのが信号切り替わり時の通過停止判断と右折時の挙動である。通過判断について松田ら³⁾は、信号が青から黄に変化した際の

ドライバーによる通過または停止の判断を、現示変化地点と停止線との距離、その際の走行速度から交差点を通過する通過判断率を算出している。この式では交差点通過判断のばらつきを評価しており、ばらつきが大きいと同条件下で走行したとしても通過判断を下すドライバーと停止判断を下すドライバーが共存するため追突する可能性が高くなり、交差点の安全性の低下につながる。

また、全事故のうち、84%を占める車両相互の事故⁴⁾の中で交差点での右折車両と直進車両との事故、いわゆる右直事故は追突、出会い頭に次いで3番目に高い。

小根山らの実車実験⁴⁾でも右折時の挙動について far タイプと near タイプで差が表れていた。そこで、大木ら⁵⁾は右折時の挙動について検討したものの、必ずしも大きな差ではないとの結果を得ている。しかし、複雑な交差点の場合、幾何構造が異なることから、交差点内での右折を行うまでの運転挙動も異なる可能性があるため、その影響については注目すべきである。

以上のような認識のもと、本研究では、十字路よりも複雑な交差点を対象として、信号の灯器位置の違い (far タイプと near タイプ) による交差点での右折挙動の安全性の判断要素である通過判断率と右折時の挙動を、ドライビングシミュレータ (以下 DS) とドライバーの視線を計測するアイマークレコーダを用いた模擬走行実験により明らかにすることを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

我が国においては、道路構造令の解説と運用⁶⁾において、信号灯器の信号面は交差交通から見えなくすべきと明記しているが、中村ら⁷⁾は実際の交差点では交差方向の信号灯器までも視認することができ、これによって現示の切り替わりタイミングが予測でき、見切り発進を誘発している恐れがあるという点を指摘している。大口⁸⁾は論説の中で、特に多車線交差点における動線分離信号制御を対象として、灯器位置の再考が検討すべき課題であることを指摘している。これらは、より複雑な交差点において信号灯器位置がより重要な問題になることを示唆している。

そこで信号灯器位置について、Tang et.al.⁹⁾は国別に整理しており、アメリカ、カナダ、中国、インド、韓国などではfarタイプを採用し、ドイツ、イギリス、フランス、スイス、オーストラリアなどではnearタイプを採用している。また、近年では韓国でnearタイプの導入も一部で行われており、Kim⁹⁾は韓国で実際に行われている異なる信号位置の比較において、nearタイプの停止線遵守率が高いと示している。

我が国での信号灯器位置の検討について、松田ら¹⁰⁾¹¹⁾

は DS を用いた実験により、far と near の比較を行っている。結論として near が far よりも同じ黄色切り替わりタイミングでも通過判断を下しやすいことと、発進反応時間が遅いことなどを示した。更に、小根山ら⁴⁾は信号灯器位置に関する実験では実車実験を行っており、松田らと同様に黄色切り替わり時の通過、停止判断について near タイプの方が通過判断を下しやすい点、右折時には near タイプの方が右折開始が遅いという点を結論として示している。

特に、右折時の信号灯器位置の検討について大木ら⁵⁾は、右折挙動における信号灯器位置の影響を DS 実験により分析し、右折時の視認場所が異なることや、ドライバー特性によって影響が異なることなどを示している。

ただ、これらの研究はいずれも十字交差点を対象としたものであり、幾何構造や交通信号制御が複雑なケースを対象としたものではない。大木らが行った研究においても右折時の挙動はあくまで十字交差点を対象としているため、幾何構造がより複雑な場合、右折時の視認場所や運転挙動が異なる可能性がある。

そこで、小松ら¹²⁾は幾何構造がより複雑になるケースを対象として、右折時における停止線通過後、対向車との兼ね合いを考慮した交差点内停止回数に着目して分析を行った。結論として、いずれの交差点においても near タイプの方が far タイプよりも 1 回停止の発生率が多くなった反面、1 回停止の発生率が概ね 7~8 割なのに対し、五差路では低く、停止線通過後に他の交差点と同様に注視箇所が対向車、主信号灯器に加えて左手前 45 度方向からの流入路の灯器までもが見えてしまい、視覚的情報が増えたことを示唆する結果が得られた。しかし、この研究では右折時における運転挙動分析を停止線通過後の交差点内停止回数のみで分析を行っており、その結果から複雑な幾何構造の交差点での安全性、円滑性に関する検討材料としては十分とはいえない。また、大木ら⁵⁾や小松ら¹²⁾は右折時、特に運転挙動を行うための判断材料の 1 つである、ドライバーの注視箇所の特定にも至っていない。

以上より、本研究では 2 種類の信号灯器位置の安全性と、幾何構造が複雑となる交差点における右折時の運転挙動とドライバーの注視行動の特性を明らかにする点が既往の研究に対する新規性となる。

3. 実験概要

実験については、小松らの既往研究¹²⁾で得られたデータを用いている。以下、実験概要を簡潔に説明する。

(1) 実施目的



図-2 ドライブシミュレータ筐体



図-3 アイマークレコーダ本体

運転挙動を記録したログデータの取得と実験後に被験者に対して行う実験に関する被験者属性や運転した感想などを主としたアンケートの取得を目的とする。

(2) 実施装置

本実験では、株式会社フォーラムエイトの UC-win/Road ドライブシミュレータ ver11, ver14 (図-2)、株式会社ナックイメージテクノロジーのアイトラッキング装置 EMR-9 (図-3) を用いて実験を行う。なお、ドライブシミュレータのバージョンの違いによる運転挙動など実験結果への影響はない。

(3) 実験設定

a) 全体設定

本研究で対象とする交差点として、交差点真上を片側 2 車線の高架道路が横断するいわゆるオーバーパス、中央分離帯と交差する交差点、五差路、対照実験用として十字路を設定した。また、far の信号灯器配置は交差点左奥と右手前に設置したもの (図-4) とし、near では交差点左手前に横型の主灯器と縦型の補助灯器を設置する (図-5)。これによって交差点通過後も信号灯器を確認できるのが far、確認できないのが near となる。

まず、それぞれの交差点の詳細な設定を図-6 にまとめる。共通事項として、停止線と横断歩道の間隔は 2m、横断歩道の幅は 4m、横断歩道は車道と歩道の境界線から 3~4m 後退させる。信号灯器は、far タイプは、主灯器が交差点中央から奥 16m、歩道左端から 2.5m の位置

に、補助灯器が交差点中央から手前 16m、歩道右端から 2.5m の位置にそれぞれ高さ 6m となるよう設置し、背面に対向流入用の灯器も設置した。また、near タイプは交差点中央から手前 16m、歩道左端から 2.5m の位置に、主灯器を高さ 6m、補助灯器を高さ 1.5m の位置に設置した。補助灯器の高さについては地表面から高い位置に設置すぎると停止線手前に停止した車から見えなくなってしまう一方、地表面付近に設置すると歩行者や駐停車車両が居た場合に見えなくなってしまうことを考慮し、高さ 1.5m とした。

b) 複雑な交差点の設定

本研究で複雑な交差点として対象とするオーバースタック交差点、中央分離帯と交差する交差点、五差路交差点について、設定を列挙する。

・オーバースタック交差点(図-7~9)

オーバースタックは交差方向の道路間の距離を 30m とし、

オーバースタックにおける高架道路は交差点の道路面から 7m 上空に設置する。着目点として高架構造物の存在による信号目視の遅れ、主灯器の位置が停止線から大きく離れてしまうことによる信号目視の遅れ、far タイプにおける右折後に交差方向の信号灯器が確認できてしまうことによる信号の誤認の可能性について検証する。

・広い中央分離帯交差点(図-10~12)

広い中央分離帯はオーバースタックがなくなった交差点であり、高架構造物がない部分では幾何構造は同様である。着目点として主灯器の位置が停止線から大きく離れてしまうことによる信号目視の遅れ、far タイプにおける右折後に交差方向の信号灯器が確認できてしまうことによる信号の誤認の可能性について検証する。

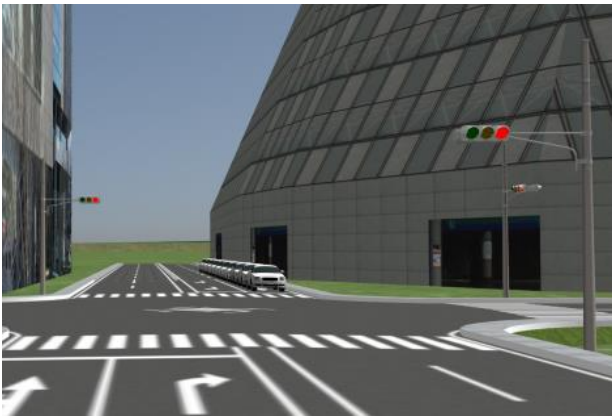


図-4 far タイプ信号配置

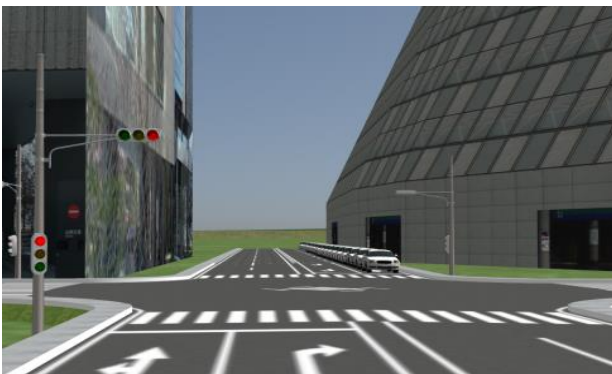


図-5 near タイプ信号配置

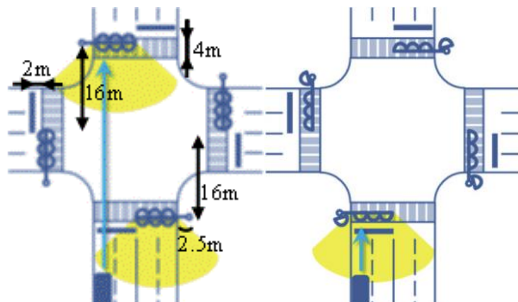


図-6 far タイプ交差点(左)とnear タイプ交差点(右)

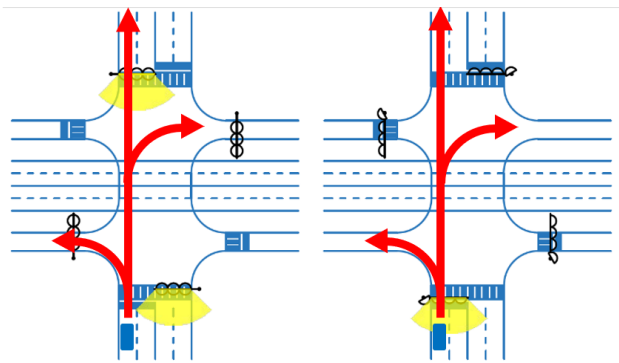


図-7 オーバースタックにおける far タイプ交差点(左)とnear タイプ交差点(右)



図-8 DS上でのオーバースタック far タイプの交差点



図-9 DS上でのオーバースタック near タイプの交差点

・五差路交差点 (図-13~15)

五差路については十字路に更に 45 度で交差する道路が加わったものとした。着目点としては 45 度で流入する道路と自車線双方の信号灯器の誤認や、far タイプにおいて多数の流入があることで停止線通過後に視認できる信号灯器の数が増え、信号灯器の誤認や目視の遅れをもたらす可能性を検証する。

c) コース設定

コースは基本的に片側 2 車線道路とし、オーバーパスにおける側道や広い中央分離帯の道路に関しては片側 1 車線道路を設定する。交差点付近の車線運用に関して片側 2 車線道路は第 1 走行車線が直進左折、第 2 走行車線が右折とし、右折用の付加車線は交差点手前には設けな

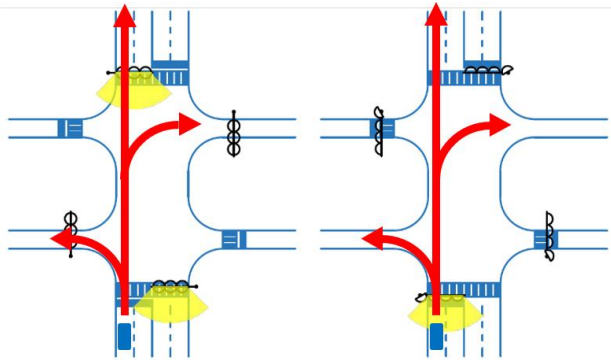


図-10 広い中央分離帯における far タイプ交差点 (左) と near タイプ交差点 (右)



図-11 DS 上での広い中央分離帯 far タイプの交差点



図-12 DS 上での広い中央分離帯 near タイプの交差点

かった。全長約 5km のコースに実験対象となる交差点を 16 ヶ所設置し、本実験ではドライバーに 60km/h を目安に走行をするよう指示をしているため、交差点の間隔は十分な加速ができるように 300m 以上とした。十字路以外の 3 タイプの交差点が極力連続しないような形を取ると共に、1 回の走行で右折、左折、直進をそれぞれ 1 回以上行うように、図-16 のような実験コースを設定した。

なお、コースとしては 1 種類のみ設定したことによる、交差点の順序による影響が出る可能性に留意する必要がある。

各コースには far と near が 1:1 程度の比率となるよう混在させた。交差点を通過するシナリオは常に赤で一旦停止、常に青で通過、停止線手前 30m~100m (10m ごと) 地点で青から黄に切り替わる 8 シナリオの計 10 シナリオとした。

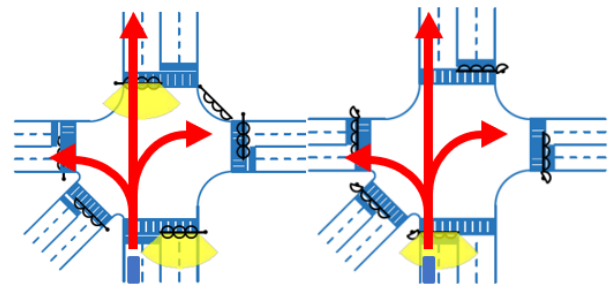


図-13 五差路における far タイプ交差点 (左) と near タイプ交差点 (右)



図-14 DS 上での五差路 far タイプの交差点



図-15 DS 上での五差路 near タイプの交差点

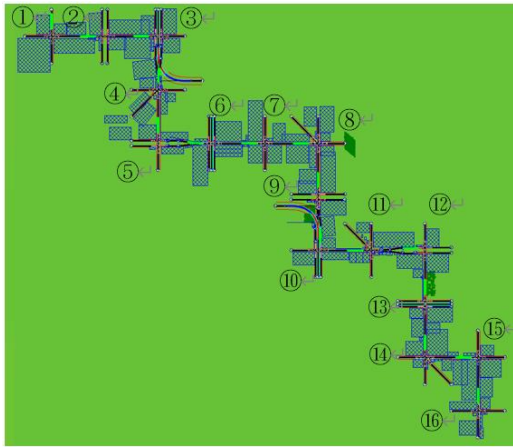


図-16 実験コース全景

オの青から黄に切り替わる地点は 30~100m と設定した。

また、このコースに対して、各交差点の far と near の配置 2 タイプを設定し、被験者に走行してもらった。具体的な交差点タイプとシナリオ設定の組み合わせを表-1 に示す。シナリオの設定数の根拠については、4 種類の交差点と 2 種類の信号灯器位置、10 シナリオの信号切り替わりタイミング（赤、青、黄 30~100m）を網羅できるように設定した。加えて、灯器位置の種類やシナリオが偏らないように設定し、実際の実験では表-1 の 12 種類のシナリオ設定を被験者 1 人が 1 回ずつ走行するように行った。

d) 被験者設定と調査シナリオ

実験対象者は 20 歳~45 歳の男性 15 名であった。そのうち、アイマークレコーダを装着した被験者は 3 名であった。本実験では各被験者 12 シナリオを運転してもらい、走行順は表-1 で示した 12 種類のシナリオをランダ

ムに割り当てた。

4. 分析結果

本実験では、分析対象として DS 実験で出力されたログデータと実験中に同時に計測したアイマークレコーダから出力された注視箇所データを基に分析を行った。ログデータは自車両の実験開始からの時刻、座標、速度、加速度、ブレーキ開度などが 0.05s ごとに出力されたものであり、そこから運転挙動の比較分析を行うにあたって停止線 100m 手前~流出側横断歩道より 50m の位置までを、停止線 100m 手前までは 10m ごとに、停止線通過後は 0.5s ごとにデータを抽出した。注視箇所データは各交差点でのそれぞれの信号灯器位置や交差方向車両、対向車など注視箇所を設定し、0.1 秒以上その場所を見た

場合に注視しているとカウントした。具体的な注視箇所の設定は表-2 の通りである。なお、far 主信号灯器位置相当とは、near タイプにおいて far タイプでの主信号灯器位置である交差点左奥を見ている可能性を検証すべく、注視箇所の 1 つとして追加している。実際には、near タイプにおいて交差点左奥には信号灯器は存在しない。

(1) 注視時間割合

交差点での右折待機の状態から実際に右折するまでの段階では、対向車のタイミングなどをはじめとする周辺交通の状況変化がドライバーに影響して右折を行う。そこで、本分析では右折判断材料として視覚的情報をアイマークレコーダを基に、右折待機時を対象としたドライ

表-1 交差点番号とシナリオの組み合わせ

		シナリオ設定											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
交 差 点 番 号 と 交 差 点 タ イ プ	①十字路	R n R n	Y30 n	Y40 n	G f	G f	Y70 f	Y80 f	R f	R f	G n	G n	
	②広い中央分離帯	Y80 f	Y70 f	R f	R f	Y40 f	Y30 f	G n	G n	R n	R n	Y50 f	Y60 f
	③オーバーパス(右折)	R f	R f	Y30 n	Y40 n	R n	R n	Y60 f	Y50 f	Y70 f	Y80 f	Y70 n	Y80 n
	④五差路	Y90 n	Y100 n	G f	G f	Y40 n	Y30 n	R n	R n	Y50 f	Y60 f	R f	R f
	⑤広い中央分離帯	R f	R f	R n	R n	Y70 f	Y80 f	G f	G f	Y60 n	Y50 n	Y90 n	Y100 n
	⑥オーバーパス	G f	G f	Y80 n	Y70 n	G n	G n	Y30 n	Y40 n	Y30 f	Y40 f	Y80 f	Y70 f
	⑦十字路	Y30 n	Y40 n	Y50 f	Y60 f	R f	R f	Y30 f	Y40 f	Y70 n	Y80 n	Y50 n	Y60 n
	⑧五差路	Y30 f	Y40 f	Y80 f	Y70 f	Y100 n	Y90 n	Y60 n	Y50 n	R f	R f	R n	R n
	⑨広い中央分離帯	Y70 n	Y80 n	Y50 n	Y60 n	Y90 f	Y100 f	Y90 n	Y100 n	Y40 n	Y30 n	G f	G f
	⑩オーバーパス	Y100 f	Y90 f	Y90 n	Y100 n	G f	G f	Y40 f	Y30 f	G n	G n	Y50 n	Y60 n
	⑪五差路	Y50 n	Y60 n	Y40 f	Y30 f	G n	G n	Y100 n	Y70 n	Y90 f	Y100 f	Y70 f	Y80 f
	⑫広い中央分離帯	Y70 n	Y80 n	G n	G n	Y30 f	Y40 f	Y90 f	Y100 f	Y50 f	Y60 f	Y30 n	Y40 n
	⑬オーバーパス	Y50 f	Y60 f	Y90 f	Y100 f	Y60 n	Y50 n	R f	R f	Y100 n	Y90 n	R n	R n
	⑭五差路	G n	G n	Y80 n	Y70 n	Y50 f	Y60 f	Y30 n	Y40 n	G f	G f	Y100 f	Y90 f
	⑮十字路	Y100 n	Y90 n	Y50 f	Y60 f	Y70 n	Y80 n	Y90 f	Y100 f	Y50 n	Y60 n	Y30 f	Y40 f
	⑯十字路	G f	G f	Y90 f	Y100 f	Y70 f	Y80 f	G n	G n	R n	R n	Y100 n	Y90 n
備考：信号現示・黄切り替わり位置・灯器位置、交差点番号は図14の左上から右下方向に番号を振った													
	シナリオ記号	R	G	Y30	Y40	Y50	Y60	Y70	Y80	Y90	Y100		
	シナリオ説明	赤	青	黄切り替わり30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m		
	灯器位置	f...far	n...near										

バーの注視時間割合を分析する。

なお、注視時間割合は1走行での各交差点における右折待機時間に対し、表-2での注視箇所別に算出したものである。

各交差点タイプの分析結果を図-17~20に示す。なお、注視箇所はいずれかの信号灯器位置での注視割合が5%以上のものを対象としている。また、横軸の主信号灯器でのnearは前述したfar主信号灯器位置相当を指している。

ここから交差点別に考察を行う。まず、十字路については図-17のようにfarタイプ、nearタイプともに注視時間割合が最も高いもので30%前後であり、突出して高い値や低い値を示した注視箇所は現れなかった。十字路では他の幾何構造を持つ交差点と比較して構造が単純であることや、実際の道路上でも散見される構造であるため、右折時に判断の迷いが無かったと考えられる。

次に、オーバーパスについてみると、図-18のように十字路と比較するとその他の注視割合が両タイプとも増加し、特にnearタイプにおいてその傾向が顕著であった。原因として、高架構造物や広く取られた中央分離帯によってドライバーに右折の際に注意しなければならない判断要素が増えたためと考えられる。この点は他の複雑な交差点においても同様の傾向がみられる。

続いて広い中央分離帯では、図-19のようにfarタイプにおける主信号灯器の割合が増加した。要因として、オーバーパスのようなドライバーの視界に多数の割合で占めている構造物がなくなったため、交差点左奥の主信号

灯器が見やすくなり、注視されやすくなるのが要因であると考えられる。これは、十字路にも同様の傾向が見られる。また、その他の注視箇所においてはオーバーパスと同様の結果が得られた。

最後に五差路においては、図-20より、各交差点共通の注視箇所(表-2)のうち、主信号灯器、対向車、交差方向車両、横断歩道の計4箇所5%以上の注視時間割合であり、本研究で対象とした交差点の中で最多であった。要因として、斜め45度方向の流入路が追加されたことで、信号灯器の数や対向車両以外の周辺で停止している信号待ちの車両、横断歩道などのドライバーが注意を向ける要素が増加した可能性がある。特にnearタイプではfar主信号灯器位置相当が16%と最多に、その他の割合も高い。これらは、右折に迷いが生じていたり、誤認が発生していることを示す可能性がある。

表-2 灯器位置別 注視箇所設定一覧

		far	near
注視箇所	対向車	○	○
	far 主信号灯器	○	
	far 主信号灯器位置相当		○
	横断歩道	○	○
	交差方向車両	○	○
	その他(上記以外)	○	○
	どこも注視していない	○	○
備考	○…設定したエリア far 主信号灯器位置相当…farタイプにおける主信号灯器位置に当たる部分		

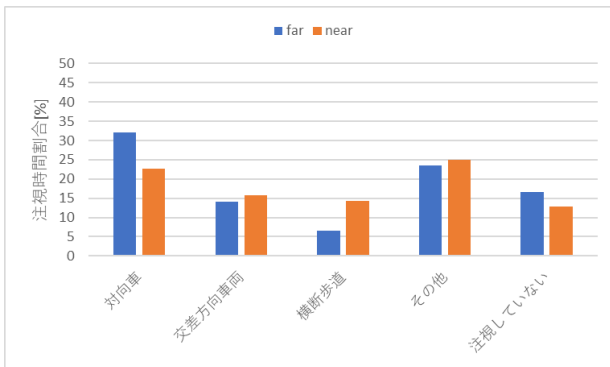


図-17 十字路の注視時間割合

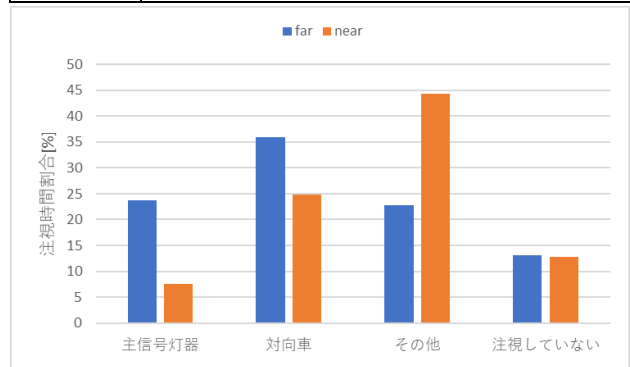


図-19 広い中央分離帯の注視時間割合

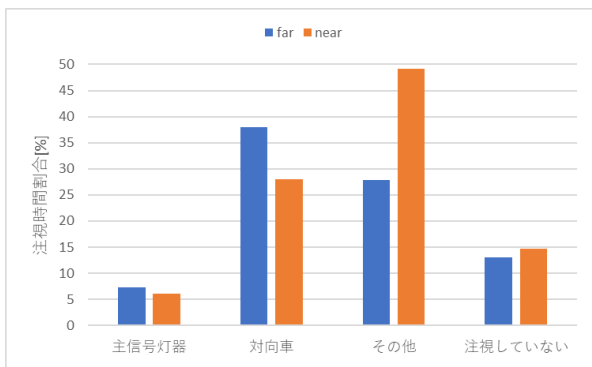


図-18 オーバーパスの注視時間割合

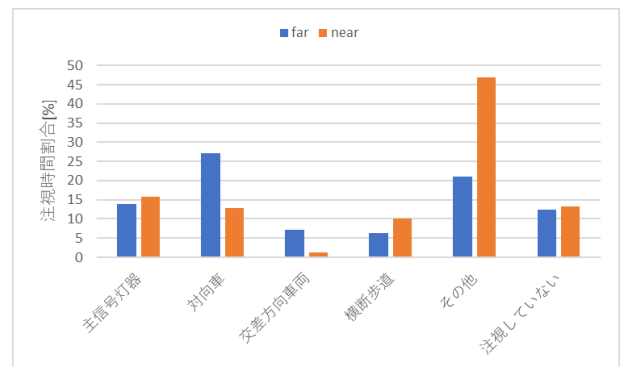


図-20 五差路の注視時間割合

(2) 右折時のギャップアクセプタンス

右折時にドライバーは対向車との間隙を利用して右折を行うか、否か選択をする。この際、対向車のギャップが小さい時に右折を行った場合、右折直後の対向車はブレーキを踏むことや最悪の場合右直事故にもつながり、安全性の低下の一因となる可能性がある。対して、ギャップが大きい時には1 現示中に右折ができる車両台数に限りが生じ、交差点性能の低下にもつながる。そこで、本研究では複雑な幾何構造を持つ交差点と、信号灯器位置の2つの要素に対するクリティカルギャップを算出することで、右折時にドライバーが何を右折判断要素としているか、判断モデルを構築して分析を行う。なお、対向車に関してはギャップアクセプタンスを測定する上で左折車が混入すると測定精度低下の可能性があるので、直進車のみとしている。

本分析では、ギャップアクセプタンス判断を渡部¹³⁾と同様の式(1)~(3)で示す2項ロジットモデルにて算出する。

$$P_{acc} = \frac{\exp(V_{acc})}{\exp(V_{acc}) + \exp(V_{rej})} = \frac{1}{1 + \exp(V_{acc} - V_{rej})} \quad (1)$$

$$P_{rej} = 1 - P_{acc} \quad (2)$$

$$V_{acc} - V_{rej} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (3)$$

ここに、 P_{acc} : 右折車がギャップを選択する確率、 P_{rej} : 右折車がギャップを棄却する確率、 $V_{acc} - V_{rej}$: 右折車のギャップ選択における効用差、 x_n : 説明変数 n 、 β_0 : 定数項、 β_n : 説明変数 n のパラメータである。

また、ギャップ時間計測方法、計測基準断面を図-21に、分析に使用したサンプル数を表-3にそれぞれ示す。説明変数として表-4に示すように設定した。なお、被験者の実験への慣れによる運転挙動への変化の有無を計測するために順序ダミーを取り入れた。順序ダミーは本分析で各被験者が12回ずつ運転したものを4回ずつの前半、中盤、後半に3等分したものである。

各交差点ごとに行ったロジットモデルの結果を表-5に示す。まず、ギャップ時間については4交差点すべてで0.1%有意となったことから、右折時にドライバーは対向車のギャップを注視して右折していることが判明した。一方、信号灯器位置についてはすべての交差点で有意差は認められず、信号灯器位置の違いによる影響は大きいとは言えないという結果になった。この結果に関しては大木ら⁹⁾でも同様の結果であったことから、複雑な幾何構造をもつ交差点においても信号灯器位置による差はないと考えられる

また、順序ダミーについては前半、中盤ともに有意差は確認できなかったことから、本実験において被験者の実験への慣れによる運転挙動への変化はないということ

が明らかになった。これは、本コースが表-1に示したような4種類の交差点、2種類の信号灯器位置、10種類のシナリオから構成されていることから、12回の走行を通じて現示の推測や次の交差点の幾何構造の予測が困難であったためであると考えられる。

(3) 対向車交錯点までの最大加速度

右折時には対向車だけでなく、歩行者や周辺車両、信号灯器などドライバーが注意を向けなくてはならない。こうしたいくつかの箇所に配慮をしながら、対向車のギャップを見極めて右折をしようとする時、場合によってはそのギャップが小さいにも関わらず、急加速をしながら無理に右折し、対向車交錯点通過後の横断歩道の確認を十分に行わずに右折するなど、交差点の安全性を低下させる要因となる。

そこで、本分析ではギャップを選択した際の右折待機地点から対向車交錯点までの間における最大加速度を算出し、その平均値を代表値とする。この加速度の算出に



図-21 ギャップ時間の計測方法

表-3 使用したサンプル数

交差点構造	灯器位置	ギャップ		合計
		Accepted	Rejected	
十字路	far	18	95	113
	near	20	143	163
オーバース	far	39	223	262
	near	30	208	238
広い中央分離帯	far	10	50	60
	near	16	83	99
五差路	far	42	211	253
	near	32	163	195

表-4 使用した説明変数

説明変数	内容
ギャップ時間	計測断面での通過時間差
信号灯器位置ダミー	far=1, near=0
順序ダミー	前半ダミー 中盤ダミー

よって、どのような交差点で大きな加速度を持った、いわば安全性の低下につながるような交差点、信号灯器位置の模索を目的とする。なお、ドライバーによって右折の軌跡は異なるため、図-22 のように対向車の軌跡に掛かった地点を対向車交錯点とする。また、信号灯器位置の違いによる最大加速度の平均に差があるかを対応のない t 検定で p 値を算出する。

分析結果を表-6 に示す。本実験では、3DCG 上のコースを走行したため、加速度や減速度の感覚が掴みにくく、実車走行時と比較して急ブレーキや急発進となり得るような値を取ることがある。その上で結果を考察する。

まず、十字路に関しては最大加速度に差はほぼ無く、有意ではなかった。しかし、分散では far タイプよりも near タイプの方が小さくなったことから、幾何構造がシンプルな時には右折待機時に near タイプだと信号灯器が見えない点は運転挙動に影響しづらいことが考えられる。

次に、オーバーパスに関しては最大加速度はやや far タイプの方が高いものの、有意差はあまりなかった。しかし、広い中央分離帯と五差路ではそれぞれ 1% 有意、0.1% 有意となり、いずれも far タイプの方が高いことが明らかとなった。停止線通過後にも信号灯器が見えてしまうことで、注意を向けるべき、右折時の判断材料が多くなったことを示す可能性がある。

以上のように複雑な交差点では最大加速度の平均は far タイプの方が高く、場合によっては有意差もあることが判明した。また、分散に関しても far タイプの方が大きく、対向車にあまり注意を向けられていない可能性が指摘される。

5. まとめ

本研究では、十字路よりも複雑な交差点を対象として、信号灯器位置の違いによる右折挙動への影響を明らかにすることを目的として、DS とアイマークレコーダを用いた模擬走行実験による注視時間割合、ギャップアクセプタンス、対向車交錯点までの最大加速度の分析を行った。以下、本研究で得られた主な成果を示す。

まず、注視時間割合の分析から、十字路よりも複雑な交差点では far タイプよりも near タイプの方が、様々な場所を見ていることから対向車への注視割合が減少していることが明らかとなった。そのため、右折待機時には交差点全体の交通状況を把握出来ている一方、対向車など特に注視すべき場所への注意があまり向けられなくなっている可能性もある。

次に、ギャップアクセプタンスの分析から、十字路を含む全ての交差点でギャップ時間に注意をしながら右折を行っていること、信号灯器位置の違いによる影響はないことがそれぞれ明らかになった。

最後に、対向車交錯点までの最大加速度の分析においても、全ての交差点で最大加速度が near タイプの方が小さく、対向車との間隙を十分に確認しながら右折することができていると考えられる。今後の課題として、ギャップアクセプタンスの推定モデルにおいて、説明変数を変更することで擬似決定係数の増加や有意となるパラメータを模索することにより、精度の向上が可能になる。

表-5 ギャップアクセプタンス推定結果

交差点構造	推定値					疑似決定係数 R^2
	ギャップ時間	信号灯器位置 ダミー	順序ダミー (前半)	順序ダミー (中盤)	定数項	
十字路	0.536***	0.273	0.277	0.238	-5.26***	0.247
オーバーパス	0.381*	0.268	0.0275	0.000443	-2.38***	0.162
広い中央分離帯	1.17***	0.0738	0.0355	-0.488	-7.97***	0.181
五差路	0.699***	0.00241	0.0343	-0.279	-5.72***	0.212
*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.1$						

表-6 対向車交錯点までの最大加速度

交差点構造	信号灯器位置	サンプル数	最大加速度 (平均)[km/h/s]	標準偏差 [km/h/s]	P 値
十字路	far	31	14.2	6.29	0.4222
	near	38	13.8	3.66	
オーバーパス	far	36	15.9	4.50	0.124
	near	39	14.8	3.62	
広い中央分離帯	far	32	20.2	4.34	0.0181**
	near	41	13.8	5.37	
五差路	far	33	16.0	4.32	0.00016***
	near	43	12.2	2.15	
*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.1$					

また、アイマークレコーダや一部の交差点での運転挙動サンプル数不足の観点から、今後実験数を増やし、サンプル数を増やした上で分析を深めていく必要がある。

更に、X 字交差点や食い違い交差点のような今回対象としなかった幾何構造の要因や、車線別制御、動線制御などの複雑な交通制御要因などについても検討を行い、交差点の複雑さを規定する要因と灯器位置の組み合わせによる車両挙動への影響について、検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：令和3年中の交通事故の発生状況, 2022.
- 2) 中村英樹：合理的な道路幾何構造設計と交通運用実態に関する海外学術調査，科学研究費補助金報告書基盤研究 (B)17404010 2007.
- 3) 松田啓輔，柳原正実，小根山裕之：灯器位置の異なる信号交差点の性能比較分析，交通工学論文集，Vol.6 No.2 pp.A_78-A_86 2020.
- 4) 小根山裕之，新倉聡，柳原正実，大口敬：灯器位置に着目した信号切替り時の運転挙動に関する実車実験，生産研究，Vol.72 No.3 pp. 269-274 2020.
- 5) 大木裕貴，柳原正実，小根山裕之：信号灯器の設置位置が右折挙動に及ぼす影響に関する研究，交通工学論文集，Vol.7, No.2 pp.A_298-A_306 2021.
- 6) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，2015.
- 7) 大口敬：多車線交差点における信号制御技術，交通工学，Vol.44 No.3 2009.
- 8) Keshuang Tang, Manfred Boltze, Hideki Nakamura and Zong Tian Global Practices on Road Traffic Signal Control Fixed-Time Control at Isolated Intersections, WCTRS, pressed by Elsevier 2019.
- 9) Jin-Tae Kim Effects of Traffic Signal Locations on Stop Line Compliance of Vehicle Drivers in Korea Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10 No.99 2015.
- 10) 松田啓輔：灯器位置が異なる交差点の混在に着目した信号切り替わり時の運転挙動に関する研究，土木学会論文集 D3, pp. I_1315-I_1325 2018.
- 11) 松田啓輔，柳原正実，小根山裕之：灯器位置に着目した信号切り替わり時の運転挙動に関する DS 実験，交通工学論文集，Vol.4 No.1 pp.A_120-A_128 2018.
- 12) 小松香貴，柳原正実，小根山裕之：複雑な交差点における異なる信号灯器位置に対する車両挙動分析，交通工学論文集，Vol.8, No.4 pp.A_61-A_69 2022.
- 13) 渡部数樹，中村英樹：対向直進車の走行車線位置に着目した右折ギャップアクセプトランス挙動の分析交通工学論文集，Vol.2, No.2 pp.A_85-A_91 2016.

(2022.9.30 受付)

RIGHT-TURN BEHAVIOR ANALYSIS CONSIDERING SIGNAL LIGHT POSITIONS AT COMPLEX INTERSECTIONS

Koki KOMATSU, Masami YANAGIHARA and Hiroyuki ONEYAMA

Signal light positions are an important factor in realizing smooth and safe intersections. The difference in right-turn behavior at intersections with complex geometries is thought to be caused by the difference in the visibility of signal lights (far type and near type) at intersections, but there is insufficient knowledge on this issue. Therefore, this study analyzes vehicle behavior during right-turns at complex intersections, taking into account the differences in the positions of signal lights, using simulated driving experiments with a driving simulator and data from an eye mark recorder that measures the driver's line of sight.

The results suggest that complex intersections have more variation in gazing depending on signal light positions than cross streets, and that drivers at all intersections make right turns while paying attention to the gap time.