

ラウンドアバウトにおける安全確認行動に関する研究

鈴木弘司*

泉 典宏**

森本清誠***

榎井 敦****

本研究では、信号制御からラウンドアバウト制御に変更された長野県飯田市東和町交差点において実態調査を行い、流入部、流出部での運転者の安全確認行動と車両挙動の関係について、制御変更前後で比較分析を行った。また、運転時の交差点安全確認における視点移動に着目し、安全確認のための注視時間および注視回数を分析した。これらより、ラウンドアバウトでの安全確認行動は、信号交差点に比べても、安全確認回数や時間などが十分に確保されていること、また安全確認後の急減速発生の可能性が減少していること等が明確となった。

Study on Safety Confirmation Behaviors at a Roundabout

Koji SUZUKI*

Norihiro IZUMI**

Kiyooki MORIMOTO***

Atsushi MASUI****

This research carried out surveys on safety confirmation behaviors and drivers' evaluation before and after the conversion of a traffic-light intersection to a roundabout in Iida City. Specifically, each driver's attention when entering or exiting the intersection was analyzed by using video recorder data and eye-mark recorder data. As a result, it was found that vehicle movement after the driver's safety confirmation behavior at a roundabout is safer than the behaviors at signalized intersection. In addition, it was revealed that the frequency of confirmation behaviors at a roundabout is at the same level as the frequency at a signalized intersection and that the time spent to watch out for pedestrians when the driver exits a roundabout is longer than at a signalized intersection.

1. はじめに

わが国の交通事故死者数は、近年減少傾向にあり平成24年度では4,411件発生している¹⁾。道路形状別に見ると、無信号交差点での交通死亡事故構成率が

高く、発生件数自体は減少しているものの依然として無信号交差点での安全対策が必要な状態といえる。一方、無信号交差点などの比較的交通量の少ない交差点制御方式として欧米では、ラウンドアバウト(以下、RAB)が導入されている。RABとは、中央島、

* 名古屋工業大学大学院准教授
Associate Professor, Graduate School,
Nagoya Institute of Technology

** (株)オリエンタルコンサルタンツ中部支店部長
Department Manager, Chubu Branch,
Oriental Consultants Co., Ltd.

*** 名古屋工業大学大学院博士前期課程
Master Course Student, Graduate School,
Nagoya Institute of Technology

**** (株)オリエンタルコンサルタンツ中部支店技師
Engineer, Chubu Branch,
Oriental Consultants Co., Ltd.
原稿受付日 2013年12月16日
掲載決定日 2014年1月30日



Fig. 1 調査車両と車内の様子

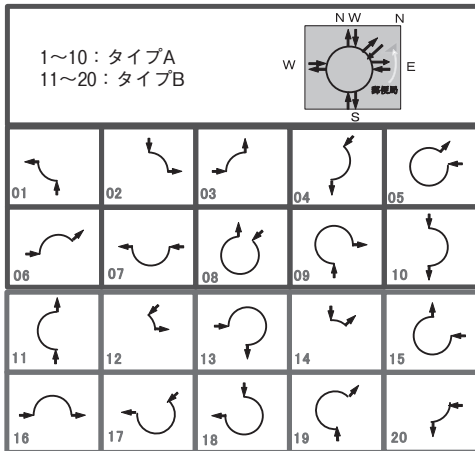


Fig. 2 走行ルート

環道、流入部、流出部で構成され、環道交通流に優先権があり、かつ環道交通流は、信号機や一時停止などにより中断されない円形の平面交差点の一方通行制御方式である。進行方向が一方のため、交差点内での安全確認動作が容易であること、さらに環道走行による走行速度抑制などの特徴があり、運転者の負担軽減や安全性の向上が期待できる²⁾。また、無信号制御のため、被災時において、人力や電力なしに交通運用が行えることから近年注目を集めている³⁾。わが国では、長野県飯田市東和町交差点において、初めて信号交差点からRABへ交差点構造変更が行われ、2013年2月5日よりRAB暫定運用（中央島等一部未完）が開始されている。

これまで、日本においても、RAB導入のためにさまざまな技術的検討⁴⁾が行われている。信号交差点とRABにおける歩行者の安全性について、例えば、滝川ら⁵⁾は外部観測によりRAB流入部の運転者の安全確認動作を分析している。しかし、信号とRABとの両者を比較したものではない。他方、海外の事例においても、RABにおける観測調査により速度や車両軌跡データを取得している事例^{*1}やGPSロガーを

* 1 例えば参考文献6)、7)を参照。

* 2 例えば参考文献8)を参照。

搭載した車両による走行調査で速度プロファイルを再現する^{*2}事例は多々見られる。しかし、車両挙動と運転者の安全確認動作との関係性も考慮しているものは見られない。

そこで、本研究では、長野県飯田市東和町交差点の交差点構造改良前後で走行調査を行い、横断歩道付近における運転者の安全確認動作と車両挙動を比較分析し、わが国ではまだ事例の少ないRAB交差点における安全確認動作の特徴を分析する。

2. 走行調査の概要

本研究では、東和町交差点にて普通自動車(Fig.1)を実際に走行させ、車内に設置したビデオカメラ2台（ビデオカメラ1：走行時における前方交通状況取得用、ビデオカメラ2：走行時における運転者の安全確認動作回数取得用）とドライブレコーダー、GPSロガーによって運転者の車両挙動、安全確認挙動等を取得するための調査を、信号交差点時（12年5月8、9日）、RAB暫定運用直後（13年2月5、6日）の2時点において実施している。また、交差点付近でのドライバーの視認動作を詳細に分析するため、注視点の動きを捉え、注視する対象物を把握可能なアイマークレコーダー EMR-9 (model ST-725)を使用する調査を同時に実施している。

本走行調査において、信号時は20代男性4名、RAB暫定運用直後は20代男性2名を被験者とした。なお、この2名は信号、RABの両方で調査に参加していた。本分析では、信号時とRAB時の共通の被験者2名を対象に分析を行う。東和町交差点は5流入路で構成されているため、走行ルートは、Uターンを除く5流入路×4流出路の合計20ルートとなる(Fig.2)。しかし、RAB暫定運用直後において、N流入部が工事作業により通行止めであったため、走行ルートから除外した4流入路×4流出路の合計16ルートとする。本調査では、被験者の疲労を考慮し、全ルートを2パターンに分けて走行調査を行った。

ここで、安全確認行動に関して、被験者は、交差点流出右左折時の横断歩道直近到達時、歩行者等への安全確認をした時点（以降、安全確認時）に合図（「確認」と発声）を出してもらい、そのタイミングを車両に同乗した記録員がドライブレコーダに記録している(Fig.3)。さらに、各ルート走行終了後に交差点流入から流出までの走行のしやすさを4段階（1：しやすい、2：まあまあしやすい、3：ややしにくい、4：しにくい）で評価している。なお、

本研究では、左折をルート01、02、03、06、20とし、右折をルート05、09、13、15、18とし分析を行っている。ここで、本交差点は流入出部が均等でない5差路であるため、当交差点内の右左折時の走行距離が異なる点に留意が必要である。他方、全流出部における横断歩道の環道からのセットバック距離が5.5m程度とほぼ同一であり、流出部での挙動への影響は小さいと考える。

3. 交差点流出部における安全確認時の車両挙動特性分析

本章では、信号交差点時とRAB時における運転者の安全確認行動、車両挙動、走行のしやすさに関する評価について制御変更前後での比較分析を行う。なお、本研究では、平均値に関して2標本t検定を用いて比較分析を行う。検定統計量は、信号交差点時の値からRAB時の値を引いて算出したt値であり、t値が正の場合には、信号交差点時の値が大きいことを示す。以下では「*」は有意確率（*：1%有意、**：5%有意、***：10%有意）を示すものとする。

3-1 流出部安全確認時速度に関する分析

本節では、運転者が交差点流出部横断歩道に対して歩行者等の安全確認を行った時点の車両平均走行速度(以降、安全確認時速度)に関する分析を行う。

ここでは、右左折の進行方向別に、各ルートに対して安全確認時速度を計測し、それらを用いて平均値および標準偏差を算出した結果をFig.4に示す。

これより、左折の場合、信号時と比較してRAB時において安全確認時速度が低下し、統計的にも有意な結果であることが分かる(t値=4.99*)。これは、RABでは流入時に横断歩道で一旦停止、発進し、その後、環道手前で減速し、環道内の交通状況を確認した上で交差点に進入する必要がある、その後交差点流出までの走行距離が短いことから、その間での大きな加速挙動が抑制された結果を反映したものと考えられる。一方、右折の場合、信号時と比較してRAB時において安全確認時速度が上昇し、統計的にも有意な差であった(t値=-1.89***)。これは、信号時には右折の際に、交通状況によっては交差点内で一時停止し、その後流出することとなるため、速度の低い走行が混在したことが影響したと思われる。このことは速度の標準偏差が大きいことより裏付けられる。一方、RABでは信号時と比較して速度はやや高くなるものの、走行ごとのばらつきは小さいことがうかがえる。

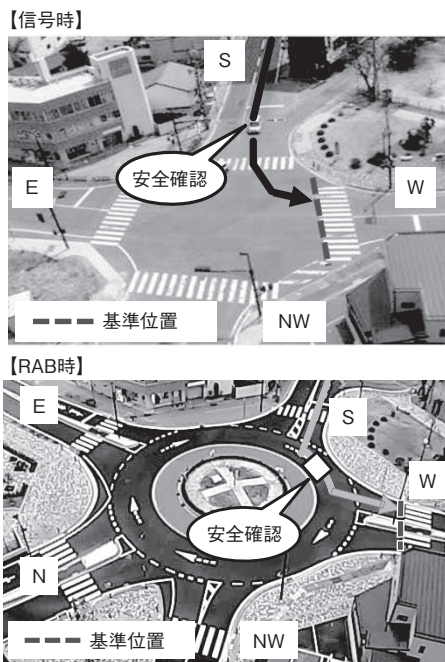


Fig. 3 安全確認タイミングと基準位置

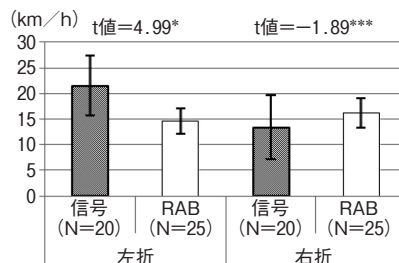


Fig. 4 右左折別安全確認時速度の平均値と標準偏差

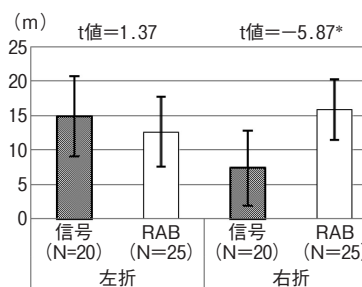


Fig. 5 右左折別安全確認時位置の平均値と標準偏差

3-2 流出部安全確認時位置に関する分析

本節では、交差点流出部での安全確認時の車両平均位置(以下、安全確認時位置)に関する比較を行う。ここでは、安全確認時位置を、交差点流入から流出部にかけて流出部の歩行者等の安全確認を行った位置から基準位置(流出部の交差点内側横断歩道端点)

までの車両走行距離と定義する (Fig.3)。

ここで、Fig.5に右左折別安全確認時位置を示す。これより、左折の場合、信号時と比較して、RAB時において安全確認時位置に差が見られなかった (t値=1.37)。一方、右折の場合、信号時と比較してRAB時において、安全確認時位置が交差点上流側へシフトし、統計的にも有意な結果であることが分かる (t値=-5.87*)。これは、RABでは右折時に交差点内にて環道を走行することで交差点流入から流出までの走行距離が延び、基準位置から離れた位置にて安全確認を行うことができるためと考えられる。

3-3 流出部における必要減速度の分析

本節では、走行調査によって取得した安全確認時速度と安全確認時位置のデータを用いて、信号交差点時とRAB時における交差点流出部での必要減速度 (以下、減速度) に関する比較を行う。ここでは、減速度を、各運転者が交差点流入から流出部にかけて流出部の歩行者等の安全確認を行った位置から基準位置 (流出部の交差点内側横断歩道端点) まで等減速度直線運動で走行し、横断歩道の手前の基準位置にて停止したと仮定する場合の必要な減速度と定義する。

なお、減速度は(1)式によって算出する。

$$DR = \frac{v^2}{2x} \dots\dots\dots(1)$$

DR: 減速度 (m/s²)
 v: 安全確認時速度 (m/s)
 x: 安全確認時位置 (m)

また、本研究では、信号現示による車両の停止有無は考慮せず、データを取得し分析を行っている (信号現示による車両停止割合: 左折28%、右折25%)。ここで、減速度の平均値と標準偏差を、右左折別に

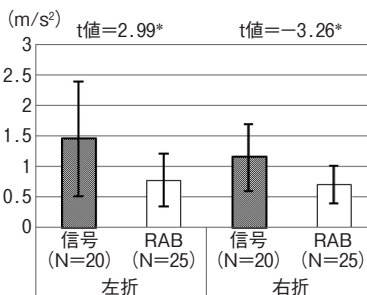


Fig. 6 右左折別減速度の平均値と標準偏差

算出した結果をFig.6に示す。

これより、左折、右折ともに、信号時と比較して、RAB時において平均減速度が低下し、統計的にも有意な結果であることが分かる (左折: t値=2.99*、右折: t値=3.26*)。これは、左折について、安全確認時位置の変化がなかったが、安全確認時速度が大きく低下したためであり、一方、右折については、安全確認時速度が上昇したが、安全確認時位置が交差点上流部へ大きくシフトしたためと考えられる。この結果より、RAB化によって交差点流出時の急減速の回避につながったといえる。

4. 交差点流入部における安全確認行動分析

4-1 流出部安全確認回数に関する分析

まず走行調査によって取得した映像データを用いて、信号交差点時とRAB時における交差点流出部での安全確認時から交差点流出 (流出部の交差点外側横断歩道まで走行) する際の安全確認回数に関する比較を行う。ここでは、安全確認回数を、「目線の動作」「首ふりの動作」「目線の動作+首ふりの動作」の合計回数と定義する。

ここで、Fig.7に右左折別の安全確認回数の平均値と標準偏差を示す。

これより、左折、右折ともに、信号時と比較して、RAB時において平均安全確認回数が増加し、統計的にも有意な結果であることが分かる (左折: t値=-2.74*、右折: t値=-5.14*)。よって、RAB運用になったことで注意深く安全確認が行えているといえる。

4-2 アイマークカメラによる注視点挙動分析

1) 注視点挙動分析に用いる各種設定および定義
 RAB化により、交差点流入時から流出時にかけて、運転者が確認すべき対象が変化すると考えられる。よって、本節ではまず、信号、RABの注視状況の特

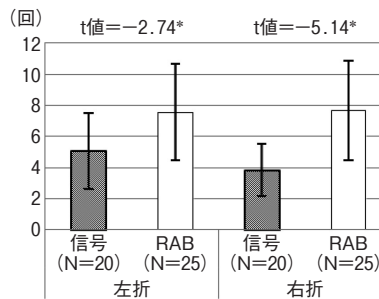


Fig. 7 右左折別安全確認回数の平均値と標準偏差

徴を把握するとともにその変化を分析する。特にここで注視すべき対象物とは、「注視すべき道路や車両：対向車線・交差道路・環道（および環道を走行する車両）等」「信号機等：車両用信号および歩行者用信号」「標識や案内板」「歩道・歩行者等：（横断）歩道、自転車、歩行者」「ミラーその他：サイドミラーや車内およびその他（メーター等）」の五つとする。なお本稿では、ある対象物を0.165秒以上連続して見ている状況を注視と定義し⁹⁾、評価指標として、注視時間と注視割合を用いた分析を行う。ここで注視割合とは、ある走行区間において対象物を注視した時間とある区間を走行している時間の総和の割合と定義する。

以下では、車両走行における注視点の傾向を詳細に把握するため、1走行を下記三つの区間に分けて分析する。

【流入部】流入部の横断歩道手前にある停止線から上流約30mの区間（信号停止中は分析対象外）

【交差点内部①】停止線から流入部の環道ドット線までの区間

【交差点内部②】流入部環道ドット線から流出部の横断歩道を越えた地点までの区間

2) 交差点流入時の注視特性分析

まず、交差点流入時の注視割合について、信号時、RAB時の対象物ごとに集計した結果をFig.8に示す。

これより、信号時、RAB時の「対向・交差・環道（車両）」の割合がほぼ同等であり、信号時の「信号機等」、RAB時の「標識・案内板」の割合が同程度あることが分かる。これらより、それぞれ必要な対象物への注視を適切に行っているものといえる。また、「歩道・歩行者等」への注視割合はRAB時のほうが高いことが分かる。信号機がなくなることによ

り、RABのほうが歩道や歩行者への注意が向けられていることがうかがえる。

次にRABの構造的特徴と運転者の安全確認行動との関係を確認するため、流入時のデータを各流入部（NW、S、E、W）に分けて、それぞれの注視割合を算出し、結果を考察する。本交差点では、NWとSの2流入部には分離島がなく、W、Eの2流入部には分離島が設置されている。ここで、分離島とはRAB流入部に設置され、RABへ流入出する車両を分離するための交通島を示している。各流入部における注視割合の結果をFig.9に示す。

これより、「歩道・歩行者等」に対する注視割合は、分離島がある東西の流入部のほうが、分離島がない南北の流入部に比べて、注視割合が低いことが分かる。分離島を設置することで、歩行者に対する安全確認の負荷が軽減する傾向にあると推察できる。

さらに、RAB時において、環道へ流入する際に環道車両の有無の確認をどの範囲まで行っているかを、Fig.10のようにエリアを4分割し、アイマークデータを用いて、運転者の視認を確保する範囲を把握する。各エリアに対する確認状況をFig.11に示す。

これより、運転者の6割が直近の①環道（右側流入部まで）を注視しており、残りの4割はさらに上流まで確認していることが分かる。よって、RAB時には、運転者は少なくとも、環道を走行する車が右側に隣接する流入部までいないことを確認した上で流入していたといえる。なお、残り4割の内訳は、右側に隣接する流入部まで注視していたのが2割、約半円分あたりまで注視している人が③④合わせて約2割という状況であった。

3) 交差点内部における注視特性分析

交差点内部における注視割合について、右左折直

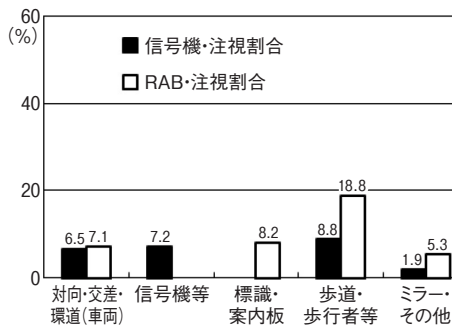


Fig. 8 流入時の注視割合

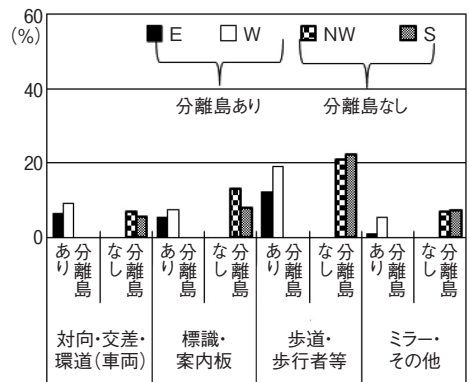


Fig. 9 分離島の有無別流入時の注視割合

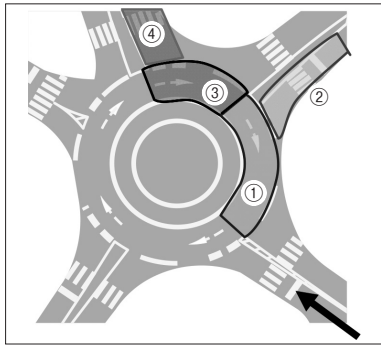


Fig. 10 環道流入時の確認範囲のエリア分割

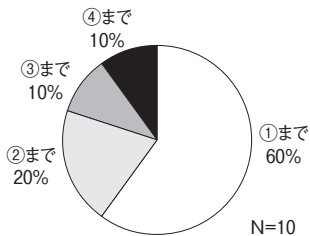


Fig. 11 環道流入時の上流部の確認範囲

進の進行方向別に行う。信号時、RAB時別に左折の注視割合の結果をFig.12に、右折の注視割合の結果をFig.13に、直進の注視割合の結果をFig.14に示す。

Fig.12より、左折については、RAB時では信号時と比較すると「対向・交差・環道(車両)」に対する注視割合が大幅に増加している。特に交差点内部①の割合が高いことから、一時停止線を過ぎた後から環道へ進入するまでに、環道を走行する車両の確認が十分に行われていたと推察できる。

Fig.13より、右折については、RAB時と信号時の「対向・交差・環道(車両)」の割合がほぼ同程度であった。左折のケースと同様に、交差点内部①がほぼ占めていることから、停止線から環道内へ流入する際に確認している特徴が明らかとなった。また、「歩行者への注視」については、RAB時のほうがやや値が低下している。一方、RAB時においてミラー等への注視割合は10%程度あることが分かる。RABでの右折にはハンドル操作を行う環道走行を伴うため、ミラーによる巻き込み確認などの交通状況の把握が生じ、この注視割合が高くなったと推察される。

Fig.14より、直進については、信号時には交差点内部での注視行動がほとんど見られていない。これは、交差車両や歩行者が信号で制御されていることを反映した結果と考えられる。また、RABでは、「対向・交差・環道(車両)」「歩道・歩行者等」への注

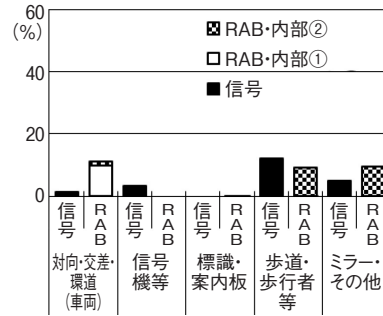


Fig. 12 交差点内部の注視割合：左折

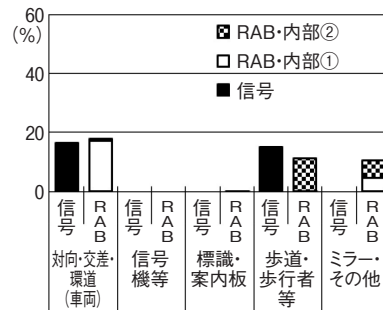


Fig. 13 交差点内部の注視割合：右折

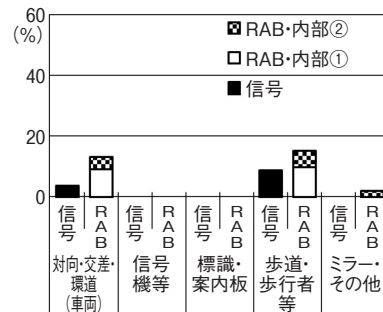


Fig. 14 交差点内部の注視割合：直進

視割合が高い傾向にあり、特に、右左折と同様に、交差点内部①での確認行動が大きく占める結果となっている。

4) 交差点流出時における注視特性分析

交差点流出時における注視特性として、歩道・歩行者等に対する注視割合を集計分析する。ここでは、交差点内部に流入した運転者が歩道・歩行者等を注視した時間について、1走行当たりの平均注視割合をFig.15に示す。

これより、RABでは、信号交差点と比較すると、左折時、右折時ともに注視割合が約20%上昇していることが分かる。これは信号機や対向車両等への注

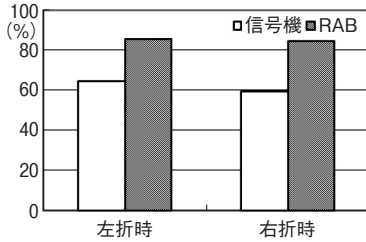


Fig. 15 1 走行当たり流出時の歩道・歩行者等に対する注視割合

視の必要性がなくなり、歩行者等を注視するための時間を確保することが可能となった結果を反映したものと推察できる。

5. 利用者の走行しやすさの評価

本章では、走行調査によって取得した走行のしやすさのデータを用いて、信号時とRAB時における走行のしやすさの比較分析を行う。ここで、取得した走行のしやすさは、順序尺度であり、本稿では、統計的な分析を行うため、リッカートのシグマ法¹⁰⁾を用いて間隔尺度への変換を行う。変換した間隔尺度は、0点を最低点とした100点満点の得点とする。ここで、リッカートのシグマ法によって変換された得点をTable 1に、右左折別走行のしやすさ評価結果をFig.16に示す。

Fig.16より、RAB時の左折の場合、信号時と比較して、走行のしやすさの得点に差が見られなかった(t値=0.83)。よって、RAB化によって、利用者の走行のしやすさは変化していないといえる。

一方、RAB時の右折の場合、信号時と比較して、走行のしやすさの得点が減少し、統計的にも有意な差があることが示された(t値=2.71*)。これは、RAB化によって環道を走行するため、走行軌跡が円状になることで環道内への流入から流出にかけてハンドル操作が煩雑になったこと、交差点内における走行スペースが限定されること、交差点流入車両に対する注意が必要になったことによる影響と考えられる。

また、RAB時の直進の場合、信号時と比較して、走行のしやすさの得点が大きく減少し、統計的にも有意な結果であることが分かる(t値=3.98*)。これは、右折時以上に、RAB化によって交差点内走行軌跡が直進的であった軌跡から曲線的な軌跡に変化し走行する際のハンドル操作が必要になったためと考えられる。よって、RAB化に伴い、左折時を除き、

Table 1 走行のしやすさ評価の定量化

走行のしやすさ (1~4段階)	走行のしやすさの得点 (0~100点)
1: しやすい	100点
2: まあまあしやすい	49.4点
3: ややしにくい	16.4点
4: しにくい	0点

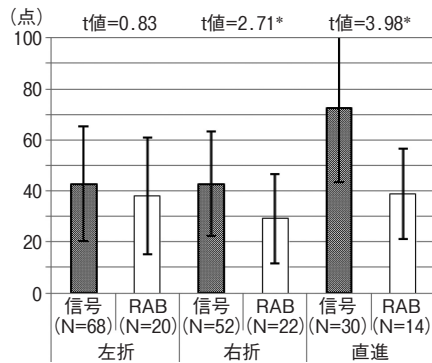


Fig. 16 右左折別走行のしやすさの得点

走行のしやすさ評価は低下傾向にあることが分かった。

6. おわりに

本研究では、東和町交差点にて信号時、RAB暫定運用直後の2時点において、走行調査を実施することで運転者の車両挙動、安全確認行動データを取得し、比較分析を行った。以下に得られた知見を示す。

- ・流出部の安全確認時速度に関する分析より、交差点がRAB化されることによって安全確認時の平均速度が左折の場合に低下し、右折の場合に上昇することが分かった。
- ・流出部の安全確認時位置に関する分析より、交差点がRAB化されることによって安全確認時位置が左折の場合、制御による違いが見られず、右折の場合、RAB時において、交差点上流側へシフトしたことが分かった。
- ・流出部における必要減速度の分析より、交差点がRAB化されることによって減速度の平均値が低下した。よって、交差点流出時における安全確認時に急減速の度合いが信号時と比べて低下したといえる。
- ・交差点流入時では、信号時、RAB時ともに必要な対象物への注視を適切に行っていることが確認で

きた。また、流入時に環道への確認行動は、約6割が右側隣接流入部までの環道車両の有無を確認し、さらに残り4割は、環道の半周程度までを確認した上で、流入の判断を行っていることが分かり、他方、分離島の有無により注視行動がやや異なることが分かった。

- ・ 交差点内部での注視行動分析より、左折時において、RAB時では信号時と比較すると「対向・交差・環道(車両)」に対する注視割合が大幅に増加し、一時停止線を過ぎた後から環道へ進入するまでに、環道を走行する車両の確認を行っていることが分かった。右折時において、信号時と比べて、RABでは、歩道・歩行者等への確認割合が若干低くなり、他方、ミラー等への確認割合が増加することが分かった。
- ・ 交差点流出時の注視行動分析より、RAB時の方が、歩行者への1走行当たりの平均注視割合が高いことが分かった。
- ・ 利用者の走行のしやすさの評価に関する分析より、交差点がRAB化されることによって左折時を除き走行のしやすさ評価は低下傾向にあることが分かった。

なお、本研究に使用したRAB時データは、制御変更直後であること、また、道路建設途中で、特に中央島建設前の暫定供用時の調査であり、環道幅員が狭い状況での運用であったため、右折時や直進といった環道走行を長く伴う場合の評価が低下しやすい環境下であったことは否めない。よって、建設工事完了後の一定期間供用した後の調査データと比較検討を行い、本研究で得られた結果を検証する必要があるといえる。また、本稿では統計的に分析する都合上、進行方向別に集計しているが、流入出部の道路線形が結果に与える影響があるかどうかについて、今後詳細な検討が必要といえる。

参考文献

- 1) 警察庁HP統計「平成24年中の交通事故の発生状況」 ▶<http://www.npa.go.jp/sitemap/index.htm>
- 2) (財)国際交通安全学会「安全でエコなラウンドアバウトの実用展開に関する研究報告書(Ⅱ)」2011年
- 3) (公財)国際交通安全学会「安全でエコなラウンドアバウトの実用展開に関する研究報告書(Ⅲ)」2012年
- 4) 中村英樹、大口敬、馬淵太樹、吉岡慶祐「日本におけるラウンドアバウトの計画・設計ガイドの検討」『交通工学』Vol.44、No.3、2009年
- 5) 滝川遼、大口敬、小根山裕之、鹿田成則「ラウンドアバウトと一般無信号交差点における安全確認行動」『土木計画学研究・講演集』Vol.41、No.289、2010年
- 6) Mussone, L. et al. : A comparative analysis of vehicular flow image surveys for roundabout performance evaluation, 3rd International Conference on Roundabouts, 2011
- 7) Chen, Y. et al. : Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed, Accident Analysis and Prevention, pp.196-203, 2013
- 8) Mudgal, A. et al. : Driving behavior at a roundabout: A hierarchical Bayesian regression analysis, transportation Research Part D, Vol.26, pp.20-26, 2014
- 9) 福田亮子「注視点の定義に関する実験的検討」『人間工学』Vol. 32(4)、1996年
- 10) 森正義彦、篠原弘章『心理学研究法 科学の本質から考える』pp.150-153、2007年