

# ラウンドアバウトの流入部における 自転車の安全性評価

立岩 華英<sup>1</sup>・康 楠<sup>2</sup>・寺部 慎太郎<sup>3</sup>・柳沼 秀樹<sup>4</sup>・田中 皓介<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:7618521@ed.tus.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:kangnan@rs.tus.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:yaginuma@rs.noda.tus.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:tanaka.k@rs.tus.ac.jp

近年日本ではラウンドアバウト（以下 RAB）と呼ばれる環状交差点の導入が進んでいる。RAB は車両同士の交錯点が少なく、また環道内での走行速度も低いため安全性が高い交差点であると言われている。RAB 内では、自動車に限らず自転車も走行するが、自転車の安全性には疑問が残る。そこで本研究では自動車及び自転車の走行速度、走行位置、運転者の有効視野に着目し、RAB 内での自転車事故のリスクを定量的に評価することを目的とする。

交通事故のリスクは、車両同士が衝突する確率と事故発生時の重大さの積で表すことが出来る。本研究では、環道へ流入する車両の運転者の有効視野に環道内の車両が入らない確率を車両同士が衝突する確率とし、車両同士が衝突した際に失われる運動エネルギーを事故発生時の重大さとして事故のリスクを算出した。

Key words: roundabout, bicycle, traffic accident, time to collision, safety evaluation

## 1. はじめに

日本では現在、ラウンドアバウト(以下RAB)の導入が進められている。RAB は環道の交通が優先される円形の交差点であり、無信号交差点と比較して安全性が高い、自動車の速度が低いため重大事故が起こる可能性が低い、信号を必要としないため停電時にも運用できる、などの様々なメリットがある。その一方で、European Road Safety Observatory による Traffic Safety Basic Facts 2018 Cyclists<sup>1)</sup>によると、2016 年以降、EU 全体で 51 件もの RAB 内における自転車の死亡事故が発生している。これは交差点全体における自転車の死亡事故の約

一割を占める値である。2019 年 9 月現在、日本の RAB において自転車の死亡事故は発生していないが、通学などの日常の足として自転車を利用する人も多い日本国内の交差点で RAB を導入していくためには、RAB 内における自転車交通の安全性を評価する必要がある。

交差点で生じうる自動車と自転車間の事故は主に2つ挙げ得られる。一方は出会い頭の衝突事故であり、もう一方は左折の巻き込み事故である。RAB においても双方の事故が生じる可能性がある。詳細は次章に記述する。本研究では出会い頭の衝突事故が生じうる RAB の流入口に着目し、自転車の安全性を評価することを目的とする。

## 2. RAB における自転車事故の危険性

RAB 内では、複数の箇所では自転車と自動車の事故が生じる可能性がある。自転車の走行位置によって、事故が生じる可能性は変化する。本章において、RAB 内での自動車と自転車の事故が生じる箇所について説明する。

### (1) RAB 流入口における出会い頭の衝突事故

RAB の流入口では、RAB 内を走行する車両と RAB 内に流入する車両による衝突事故が生じる可能性がある。RAB の原則として、環道内の車両が優先されるため、流入車両が環道内車両に気づかない場合に事故が生じてしまう。

環道内を自転車が走行し、自動車が流入しようとする場合をパターン A とする。自転車が環道の左側端を走行している場合 (パターン A<sub>s</sub>, 図-1 参照) も環道幅員の中央を走行している場合 (パターン A<sub>c</sub>, 図-2 参照) も事故が生じる可能性がある。

環道内を自動車が走行し、自転車が流入しようとする場合をパターン B とする。自転車が環道の左側端を走行し、自動車が環道の中央を走行する場合 (パターン B<sub>s</sub>, 図-3 参照) は自動車と自転車は交錯せず、事故は生じない。一方で、自転車が環道の中央を走行する場合 (パターン B<sub>c</sub>, 図-4 参照) は自動車との事故が生じる可能性がある。

### (2) RAB 流出口における事故

RAB 内を自動車と自転車の両方が走行しており、自

転車が環道を走行しようとし続ける一方で、自動車が流出しようとする場合 (パターン C<sub>s</sub>, 図-5 参照) には巻き込み事故などが生じる可能性がある。自転車が環道の中央を走行する場合は、自動車と自転車は直列で走行することになり、交錯は生じない。しかし、自転車が環道の左側端を走行する場合 (パターン C<sub>c</sub>, 図-6 参照) は自動車と自転車が並走する形となり、流出口では事故が生じる可能性がある。

## 3. 本研究における安全性評価手法

本研究では、架空の RAB における交通流を仮定して定量的に安全性を評価する。安全性は、事故が生じる可能性と、事故が生じた場合の強度の2つ視点から評価する必要がある。本章では、安全性を評価する手法について説明する。

### (1) RAB の幾何構造と車両の走行軌跡

本研究における RAB の幾何構造は、外径直径 30m、環道幅員 5m、路側帯 0.5m、隅角部曲線半径 15m の 4 枝正十字交差点である。RAB 内において、自動車は環道幅員の中央を半径 12m で走行する。自転車は環道幅員の中央を走行する時は半径 12m、環道の左側端を走行する場合は半径 14m で走行する。RAB に流入する車両は隅角部曲線に平行に流入する。単路部において、自動車は道路幅員の中央を走行し、自転車は道路左側端を走行するものとする。また、自動車、自転車ともに交錯が生じるまで等速で走行するものとする。

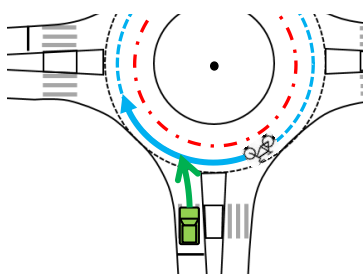


図-1 パターン A<sub>s</sub>

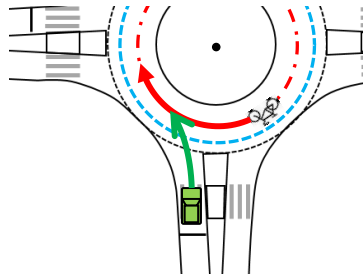


図-2 パターン A<sub>c</sub>

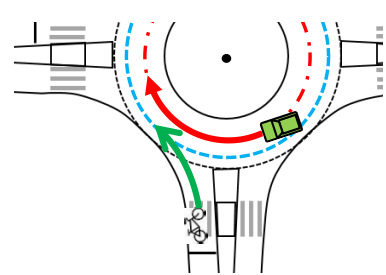


図-3 パターン B<sub>s</sub>

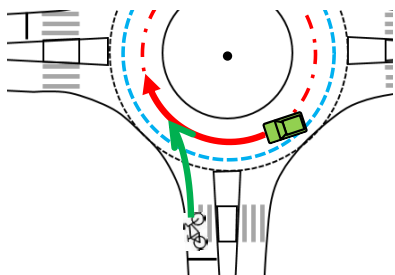


図-4 パターン B<sub>c</sub>

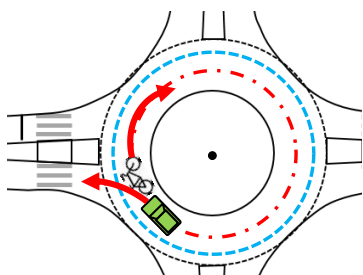


図-5 パターン C<sub>s</sub>

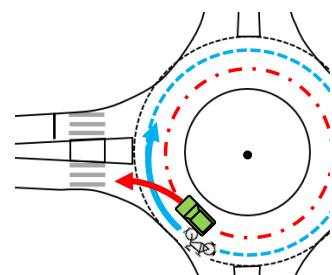


図-6 パターン C<sub>c</sub>

(2) 本研究で検討する交錯パターン

本研究は RAB の流入部における安全性を評価することを目的としているため、前章におけるパターン A<sub>s</sub>、パターン A<sub>c</sub>、パターン B<sub>c</sub> の 3 つのパターンの交錯について検討する。

(3) 衝突余裕時間と危険度の算出方法

衝突余裕時間（以下 TTC）は自動車、自転車の時速と交錯点までの距離を  $v$ 、 $d$  とし、式(1)によって算出する。

$$TTC = t_{car} - t_{car} = \frac{d_{car}}{v_{car}} - \frac{d_{bike}}{v_{bike}} \quad (1)$$

算出した TTC の値に応じて以下のように危険度数を設定する。

- 0.5 ≤ TTC ≤ 0.5: 危険度数 3
- 1 ≤ TTC < -0.5, 0.5 < TTC ≤ 1: 危険度数 2
- 1.5 ≤ TTC < -1, 1 < TTC ≤ 1.5: 危険度数 1

流入車両と交錯点間の距離を 30m とし、中央島の中心点を基準として、環道内を走行する車両と交錯点間の角度を 10° から 135° まで 5° 刻みで変動させ、算出した危険度数の合計を危険度とする。

(4) リスク値の算出方法

交通事故のリスクは、車両同士が衝突する確率と事故発生時の重大さを掛け合わせることで算出することが出来る。本研究では、吉岡らの手法<sup>2)</sup>を用い、リスク値を式(2)として定義する。

$$RI = P_{miss} \times I \quad (2)$$

ここに、RI: リスク値,  $P_{miss}$ : 見落とし確率, I: 衝突強度である。

RAB は道路交通法によって環道の交通が優先されるため、RAB に流入する車に安全確認の義務が生じる。減速や停止などの回避行動を起こさないときに環道内車両と流入車両が同時に交錯点に到達する相対位置にいると仮定したとき、流入車両が環道内車両を認識し、回避行動を起こせば交錯は生じない。本研究では、運転者は進行方向を見て運転し、首振りなどの安全確認をしないと仮定し、流入車両の運転者の有効視野角  $\theta_{fov}$  内に交錯車両が入らないとき、すなわち  $\theta_{fov} < \theta_{crit}$  ( $\theta_{crit}$  は流入車両から見た交錯車両が存在する方向角)となる時に交錯が生じるものとする。

有効視野角を個人差を考慮した正規分布と仮定した場合のある時刻  $t$  における交錯車両を視認できない確率  $P(t)$  を式(3)に示す。

$$P(t) = \int_{-\infty}^{\theta_{cft}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\theta_{fov} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} d\theta \quad (3)$$

ここに、 $\theta_{crit}$ : 流入車両から見た交錯車両が存在する方向角[deg],  $\theta_{fov}$ : 運転者の有効視野角[deg],  $\mu$ : 有効視野角の平均値[deg],  $\sigma$ : 有効視野角の標準偏差である。有効視野角は 5~30deg で変動させる。

見落とし確率  $P_{miss}$  を式(4)に示す。

$$P_{miss} = \prod_{t_{st}}^{t_{re}} P(t) \quad (4)$$

ここに、 $t_{re}$ : 衝突の回避行動に移るまでの限界反応時刻 0.7[sec],  $t_{st}$ : 流入車両安全確認開始時刻である。

危険側でリスクを評価するために、安全確認開始時刻は、RAB 内の車両が一つ手前の流入口に到達した時刻（安全確認開始位置 1, 図-7）、もしくは RAB に流入する車両が流入口手前 10m に達した時刻（安全確認開始位置 2, 図-8）のうち、車両同士が交錯するまでの時間が短いものを採用する。また、時刻  $t$  の刻み幅は 0.1 秒間隔とする。

衝突強度 I は、自動車と自転車が衝突した際のエネルギー変化量  $\Delta K_e$  とする。 $\Delta K_e$  は、「ラウンドアバウトの社会実装と普及に関する研究(II)」<sup>3)</sup>より、式(5)によって求める。

$$I = \Delta K_e = \frac{1}{2} M v_{car}^2 + \frac{1}{2} m v_{bike}^2 - \frac{1}{2} (M + m) v^2 \quad (5)$$

ここに、 $m$ : 自転車と人の質量の合計 80kg,  $M$ : 自動車の質量 1250kg,  $v_{car}$ : 自動車の速度,  $v_{bike}$ : 自転車の速度,  $v$ : 衝突後の速度とする。

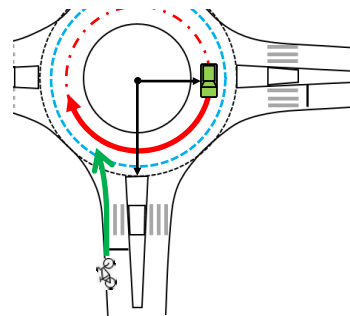


図-7 安全確認開始位置 1

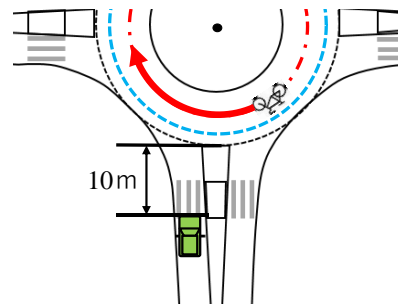


図-8 安全確認開始位置 2

#### 4. 算出結果

##### (1) TTC から算出した危険度

TTC から算出したパターン A<sub>s</sub>, パターン A<sub>c</sub>, パターン B<sub>c</sub>における危険度を図-9 に示す.

パターン A<sub>c</sub>においては, 自動車の速度が 10km/h 程度の場合には危険度が低い, それ以上の速度で走行すると常に危険度が高い傾向にある. パターン A<sub>s</sub>においては, 自動車の速度に関わらず危険度が高い. パターン B<sub>c</sub>においては, 自動車の速度が上がるほど危険度も上昇する. 自動車の速度を抑制することで, 自転車の安全性を高められると考えられる.

##### (2) 見落とし確率 P<sub>miss</sub>

パターン A<sub>s</sub>, パターン A<sub>c</sub>, パターン B<sub>c</sub>における見落とし確率 P<sub>miss</sub> をそれぞれ図-10, 図-11, 図-12 に示す. なお, 安全確認開始位置はパターン A<sub>s</sub>, パターン A<sub>c</sub>では安全確認開始位置 2, パターン B<sub>c</sub>では安全確認開始位置 1 である.

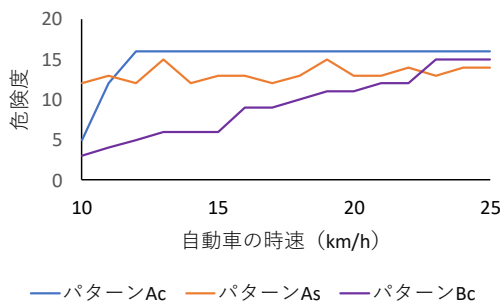


図-9 パターン A<sub>c</sub>, A<sub>s</sub>, B<sub>c</sub>における危険度

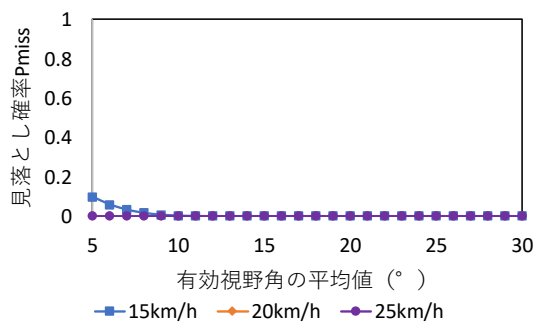


図-11 パターン A<sub>c</sub>における見落とし確率 P<sub>miss</sub>

図-10 より, パターン A<sub>s</sub>においては, 自動車の走行速度が高く, かつ有効視野が狭い場合に見落とし確率が高くなり, 危険であるといえる. 図-11 より, パターン A<sub>c</sub>においては見落とし確率が極めて低いことがわかる. 自動車が RAB に流入する場合は, 環道の左側端を走行するより, 環道の中央を走行した方が事故が生じる可能性が低くなると言える.

パターン B<sub>c</sub>においては, 有効視野が 30° 程度あっても自動車が 25km/h で走行している場合は見落とし確率が非常に高い. 自転車が環道内に流入する際には安全確認を怠るべきではないと言える.

##### (3) 衝突強度 I

パターン A<sub>c</sub>, パターン B<sub>c</sub>における自動車と自転車の交錯角度を 10° とし, 結果を表-1 に示し, パターン A<sub>s</sub>における交錯角度を 60° とし, 結果を表-2 に示す.

衝突強度は交錯する角度が深くなるほど大きくなる. 本研究では, 車両の質量は考慮しているが, 車両の大きさは考慮できていない. 実際の自転車事故では, 自

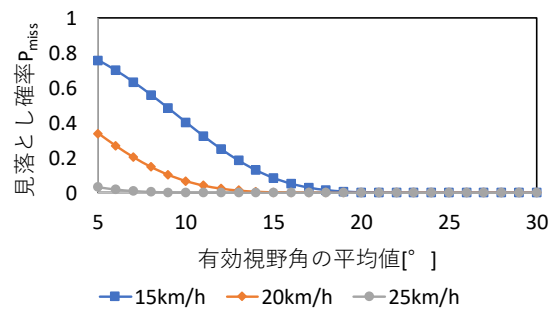


図-10 パターン A<sub>s</sub>における見落とし確率 P<sub>miss</sub>

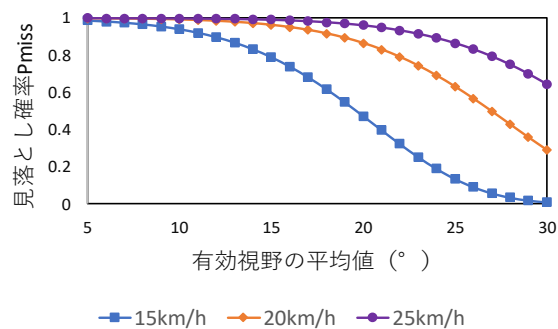


図-12 パターン B<sub>c</sub>における見落とし確率 P<sub>miss</sub>

表-1 パターン A<sub>c</sub>, B<sub>c</sub>における衝突強度 I

自動車の時速[km/h]	衝突強度 I[kg*m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
15	83.89
20	305.9
25	672.9

表-2 パターン A<sub>s</sub>における衝突強度 I

自動車の時速[km/h]	衝突強度 I[kg*m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
15	519.2
20	881.7
25	1389

動車と自転車がどのような形で交錯するかということも、自転車の安全性を考慮するうえでは重要であると考えられる。

**(4) リスク値 RI**

パターン A<sub>s</sub>, パターン A<sub>c</sub>, パターン B<sub>c</sub>におけるリスク値 RI の算出結果を図-13, 図-14, 図-15 に示す。

走行パターン A においては、パターン A<sub>c</sub> が見落とし確率と衝突強度の双方の観点から安全性が高いと言えるため、自転車は環道の左側端を走行するのが安全であると言える。

パターン B<sub>c</sub> においては、見落とし確率が高いためリスク値は非常に大きくなった。自転車が環道の中央を走行する場合は自動車と自転車の交錯角度は浅くなり、衝突強度は小さくなると考えられるものの、自転車が自動車を見落とす確率は高い。また TTC から求めた危険度も時速 25km/h 程度の時は高い。RAB の流入口における事故としては、最も警戒すべきパターンであると言える。

**5. おわりに**

本研究では、架空の RAB と交通流を想定して RAB 流入部における自転車の安全性を評価した。事故のリスクが高い速度や走行パターンを推測することができたが、現時点では考慮しきれていない問題もある。また RAB での交通事故は、流入部に限らず流出部や環道内でも生じうる。今後は他の箇所での安全性評価も行い、RAB 全体における自転車交通の安全性を評価していきたい。

**参考文献**

- 1) European Road Safety Observatory : Traffic Safety Basic Facts 2018 Cyclists, 2018
- 2) 吉岡慶祐, 中村英樹, 下川澄雄 : ラウンドアバウトの安全性評価のためのリスク指標の提案, 2018

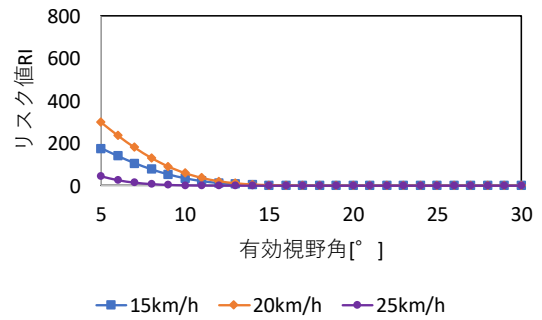


図-13 パターン A<sub>s</sub>におけるリスク値 RI

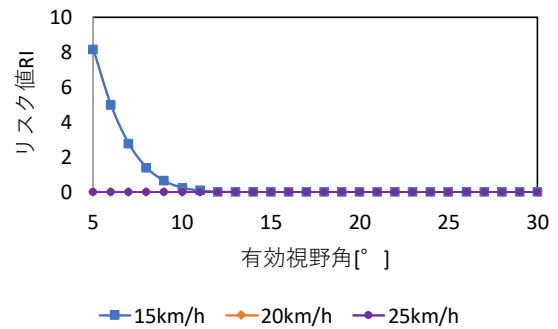


図-14 パターン A<sub>c</sub>におけるリスク値 RI

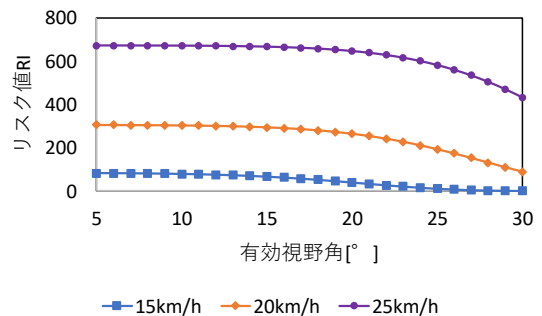


図-15 パターン B<sub>c</sub>におけるリスク値 RI

- 3) (公財)国際交通安全学会 : ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究(II)報告書, 2014

## SAFETY PERFORMANCE EVALUATION CONSIDERING CONFLICT WITH BICYCLE AT THE ENTRY OF ROUNDABOUT

Hanae TACHIIWA , Nan KANG, Shintaro TERABE,  
Hideki YAGINUMA, Kosuke TANAKA

In recent years, roundabouts (RAB hereafter) have been introduced in Japan. RAB is said to be a highly safe intersection because there are few intersections between vehicles and the traveling speed in the ring road is low. In RAB, not only cars but also bicycles run, but the safety of bicycles remains a question. The purpose of this study is to evaluate the risk of bicycle accidents in the RAB by focusing on the driving speed of cars and bicycles, the driving position, and the driver's effective field of view.

The risk of a traffic accident can be expressed as the product of the probability of collision between vehicles and the severity of the accident. In this study, the probability that vehicles in the ringway do not enter the effective field of view of the driver of the vehicle flowing into the ringway is the probability that the vehicles collide, and the kinetic energy lost when the vehicles collide is The risk of accident was calculated as the severity.