

UAVを用いたラウンドアバウトの車両挙動調査

吉岡 慶祐¹・中村 英樹²・下川 澄雄³・森田 緯之⁴・阿部 義典⁵

¹正会員 日本大学理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp

²フェロー会員 名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

³正会員 日本大学理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

⁴フェロー会員 日本大学理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: hi-morita@i-transportlab.jp

⁵正会員 国際航業(株)技術本部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

E-mail: yoshinori_abe@kk-grp.jp

ラウンドアバウトを含め交差点での車両挙動等に関する調査では、定点設置したビデオの映像を解析することが主であったが、場所によっては画角範囲に制約が発生するケースや、ビデオの設置自体が困難なケースなどがあった。そこで本研究では、近年多方面での活用が進んでいるUAVを用いた挙動調査を試みた。UAVはホバリング中も微細な動きが生じるため撮影される映像の画角が一定とはならないが、細かく標定を行うことで、ラウンドアバウト全体の車両挙動を捉えることが可能なデータの取得ができた。また、この挙動データを基にラウンドアバウトにおける車両挙動特性について分析し、ラウンドアバウトを直進で通過する車両の減速位置によって、全体の挙動が異なることなどを明らかにした。

Key Words: Roundabout, UAV, Driving behavior, Vehicle trajectory

1. はじめに

ラウンドアバウトは平面交差点の制御方式の一つとして、平成26年9月の改正道路交通法の施行を契機に全国各地での普及が進んでいる。ラウンドアバウトでは信号機による交通制御は行わないため、安全性や円滑性の確保のためには、適切な車両挙動が実現されるような幾何構造であることが重要である。しかし我が国では、幾何構造設計に関する知見は不十分であり、車両挙動や幾何構造に関わる調査・分析が各地で実施されているところである。これらの調査では、実在のラウンドアバウトにおいて、外部観測により不特定多数の車両に対して挙動に関するデータの取得が行われているが、調査の段階で多くの労力や費用を要することも少なくない。

そこで本研究では、近年多方面での活用が進んでいるUAVを用いた車両挙動の観測を試みることにした。そのうち本稿では、調査方法に関する事項や、車両挙動データの取得方法とその結果について報告するとともに、

調査・分析の中で明らかとなった課題について整理することを目的とする。

なお、本研究で述べる車両挙動とは、車両の軌跡(xyの2次元の位置情報や進行方向)や速度・加速度等の時々刻々の連続データを指すものとする。

2. 車両挙動調査におけるUAV活用の意義

ラウンドアバウトに限らず、交通工学の観点から交差点等における車両挙動を観測する際は、定点に設置したビデオから撮影された映像を用いる事例^{例えば[1][2]}などが多い。その際、車両挙動を正確かつ効率的に観測するためには上空からの撮影が望ましく、近隣の建物上階からの撮影や、照明柱や標識柱などの道路施設にカメラを設置することが一般的である。しかしこれらの方法では、箇所によっては画角範囲に制約が発生し、多数のカメラの設置が必要となるケースや、ビデオの設置自体が困難なケースも少なくない。このようなケースにおいて、上空

の任意の地点から撮影ができれば、データの収集・分析の大幅な効率化が期待できる。なお過去には、ヘリコプターやバルーンを上げることで上空から撮影調査が行われた例もあるが、調査に関わる費用や労力が大きく近年使用されることは少ない。

交通工学分野におけるUAVの活用に関する先行事例として、柿元ら⁴⁾はUAVの基本性能や操作性について整理した上で、実際にUAVを用いた交通状況調査を実施している。また、これらの結果から、UAV活用による利点や課題等について述べている。例えば、ある一定範囲の交通状況調査において、従来の調査では把握しにくかった抜け道利用の実態が容易に観測できるといったメリットを挙げている。一方、交通量や渋滞長のように長時間連続して観測する必要があるものに対しては、UAVのバッテリー容量が課題となることも指摘している。それ以外にも、UAVによる調査は、気象条件にも影響を受けやすいといった課題も挙げられる。

これに対して、本研究で目的としているように、交差点周辺の狭域な範囲において、個々の車両の走行位置や速度変化といった車両挙動に関する調査を行う場合は、必ずしも全時間帯・全車両の観測は必要とせず、UAVの活用によるメリットは大きいものと考えられる。

3. 車両挙動調査の概要

(1) 調査箇所の概要

本研究の対象箇所は、静岡県焼津市関方の山の手ラウンドアバウトとした。表-1に示すように、当該交差点は正十字で外径27mの標準的な幾何構造を有するラウンドアバウトであり、環状交差点の指定を受けている。

また、調査対象車両は小型車のみとし、追従走行している車両や、流入する際に環道内に他の車両や自転車・歩行者が存在するなど、車両挙動に影響すると考えられる外的要因が認められた場合は、今回の分析対象外としている。

(2) UAVによる撮影

使用したUAV機器は、図-1に示すZYON QC730である。ラウンドアバウトの流入部手前50mの範囲までが観測できるよう、南西側の田地上空の高度60m程度の位置から撮影した。図-2は、撮影した際の画角の例である。

撮影は1回の飛行につき20分程度とし、UAVに搭載されているGPS機能を用いることで、複数回の撮影においても同じ画角で再度撮影ができるよう調整した。また、撮影時の安全を期すため、車道上空では飛行させないとともに、調査飛行中もUAVに取り付けたロープを地上に下ろしておくことで、万一操作不能に陥っても、地上から回収できるようにした。

表-1 調査対象箇所概要

調査日時	2015年11月11日(水) 12時~16時の間で約20分間の飛行を9回実施
調査対象	直進した小型車のうち、他の車両等から影響を受けなかったもの(自由走行車両)
主な幾何構造条件	外径:27m、環道幅員:50m、エプロン:1.5m 中央島120m、分離島:あり エプロン:段差構造(2cm→5cm テーパー付)
制御方式	環状交差点指定



図-1 調査に用いた UAV

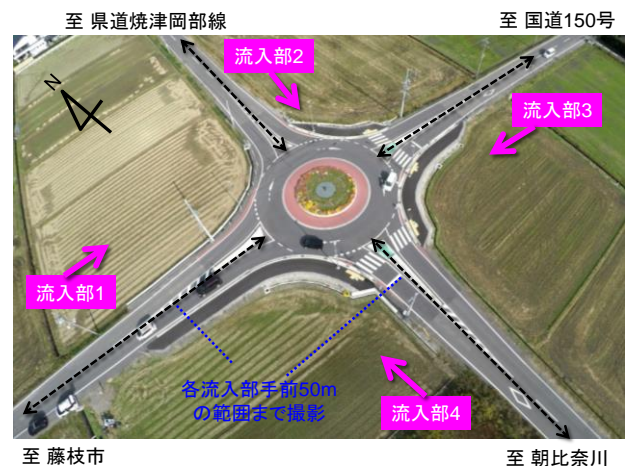


図-2 撮影時の画角の例

4. 車両挙動データの取得

(1) 上空映像からの軌跡データの取得

UAVで撮影した上空からの映像を基に、1秒ごとのビデオ画面上での車両位置(車両前面ナンバープレート位置)を手動でのクリック作業により記録していき、これを平面座標系へ変換することにより軌跡データ(xy座標)を得る。平面座標系への変換は射影変換によるものとし、道路上の特徴的な4箇所を標定に用いる基準点として設定し、これに既知である実際のxy座標系の対応点を与えて変換パラメータを得る。しかしUAVによる撮影においては、風の影響等を受けるため、ホバリング中にも実際には微細な動きが発生しており、撮影される上空から

の映像の画角は常に一定ではない。そこで、標定に用いる基準点も同様に1秒ごとの画面上の位置を取得することとし、毎秒の変換パラメータを得ることで画角のブレによる影響を取り除くこととした。

また、ビデオの読み取り誤差や座標変換により発生する誤差を取り除くため、カルマンフィルターによる平滑化処理を行うとともに、0.1秒ごとの挙動データに補間推定した。さらに、得られた軌跡データから進行方向や速度・加速度等を算出し、車両挙動データとして整理した。これら一連の作業においては、図-3に示すように、交通流解析ソフト「Traffic Analyzer」^[4]を用いて実施した。

(2) 軌跡データの取得結果

図-4は(1)で述べた方法により毎秒の標定を行って取得した軌跡データと、画角のブレを考慮せず、従来のように標定を適当な1時点のみとして取得した軌跡データを比較したものである。1時点の標定のみでは軌跡が大きくばらついているが、毎秒の標定を行った軌跡データではばらつきが大きく減少し、リーズナブルな軌跡データとなっているものと考えられる。また、従来のように複数のビデオカメラによる調査から図-4のような軌跡図を描く際は、各カメラから取得した軌跡データを繋ぎ合わせる必要があったが、UAVによる調査では交差点全体を一度に撮影できるため、このような手間を要しないことも大きなメリットである。

なお、軌跡データの精度の検証に関しては、比較可能な真値のデータ取得ができていないため現状では未確認である。また、仮にUAVによる調査特有の画角のブレの影響を改善できたとしても、レンズの歪みや道路上の高低差により取得される軌跡の精度は異なると考えられる(なお、UAVでは従来よりも高い位置からの撮影が可能であり、高低差による問題は小さいと考えられる。また、今回の調査箇所は縦断勾配がなく、高低差の影響は無視できるほど小さいと思われる)。

以上を踏まえ、今後はGPS測位等により正確な位置データを取得し、これと比較することで詳細な精度の検証を行う予定である。

(3) 速度データの妥当性の検証

図-5は、速度データの検証用として走行させた車両について、軌跡データから算出した速度とスマートフォンのGPS機能により別途記録した速度データを比較したものである。速度の値や変化の状況までほぼ一致していることから、妥当な速度データが取得できているものと考えられる。



図-3 軌跡データ取得作業の例

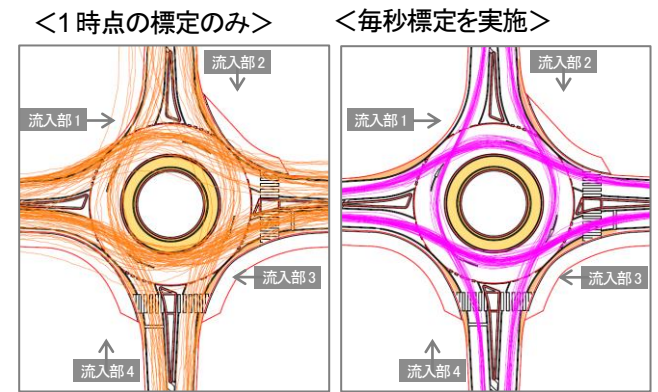


図-4 標定数の違いによる軌跡データの比較 (N=126)

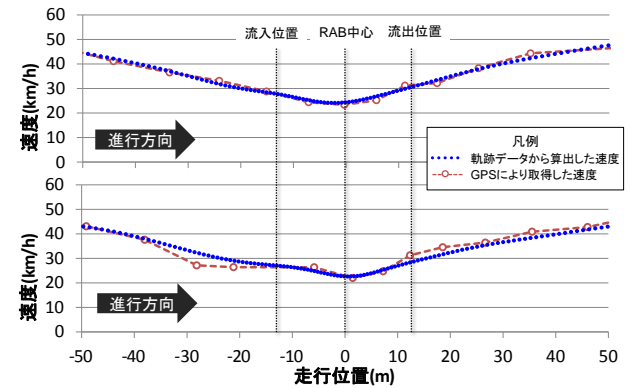


図-5 推定速度とGPSによる観測速度の比較

5. 車両挙動に関する分析例

ここでは、得られた挙動データを基に車両挙動の特性について分析した結果の一例を示す。

図-6はラウンドアバウトを直進で通過する車両の速度変化について、走行軌跡と合わせて図面上に示したものである。このように流入出部も含めたラウンドアバウト全体の軌跡データを得ることで、走行位置と速度の関係

が視覚的にも捉えやすくなり、走行上危険な箇所の特定や安全性の評価に有益な分析が可能になると考えられる。

ここで、車両ごとにラウンドアバウトを通過する際に最も速度が低下した地点に着目し、図面上に図示したものが図-7である。これを見ると、速度が最も低下する地点は、環道に入る直前と環道内のほぼ中心位置に大きく二分されていることが分かる。例えば、環道内で減速する車両が多く見られるような構造の場合、流入部手前で減速している場合と比較して、十分に減速しないまま流入判断や環道内での急なハンドル操作を強いられる可能性が高いことも想定される。このような分析結果は、安全な幾何構造設計に関する一つの知見として参考にできるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、ラウンドアバウトにおける車両挙動特性の把握において、UAVを用いた調査を試みた。その結果、UAVから撮影される映像は画角が一定ではないという問題が発生するが、毎秒の標定を行うことで、流入前から流出後までのラウンドアバウト全体の車両挙動特性を把握できるデータの取得ができた。また、取得した車両挙動データを基に、ラウンドアバウトを直進で通過する車両について、減速位置の違いに特徴が見られることを把握した。

しかし、本研究では軌跡データの正確な精度の検証までには至っていないことが課題である。UAVを用いた車両挙動調査を進めるにあたっては、誤差の程度が撮影高度や角度に応じてどのように変化するか、あるいはどの程度の精度まで保証できているか、など明らかにする必要がある。さらに、画角が動く度に標定を行うためには多大な作業を要することも事実である。そのため今後は、精度の検証とともに正確かつ効率的にデータを取得できるような方法の確立が必要であると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、調査の実施・データ整理において(株)国際航業の村木氏・大島氏・高木氏に多大な協力を賜りました。ここに感謝の意を示します。

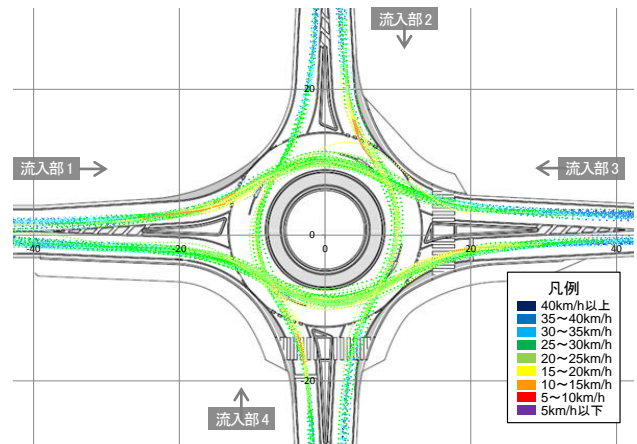


図-6 速度分布図(直進車両)

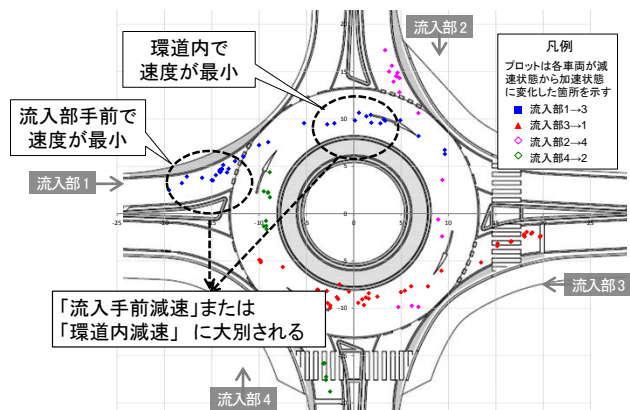


図-7 速度最小ポイントの分布図(直進車両)

参考文献

- 1) 加納政宏・阿部義典・松林豊：全方位カメラを利用したラウンドアバウト車両挙動解析，第 43 回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2011。
- 2) (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(Ⅲ)報告書，2015。
- 3) 柿元祐史・松戸努・長谷川涼佑・久川真史・蛭田健次・金野寿光：交通工学分野における UAV の活用可能性，第 35 回交通工学研究発表会論文集，pp.279-284，2015。
- 4) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システム Traffic Analyzer の開発と性能検証，土木学会論文集 D，Vol.62，No.3，pp.276-287，2006。

Analysis of Vehicle Behavior at Roundabouts Using UAV

Keisuke YOSHIOKA, Hideki NAKAMURA, Sumio SHIMOKAWA
Hirohisa MORITA and Yoshinori ABE