

ラウンドアバウトにおける自動走行車の混在に関する実験

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○中村 直久
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 宗廣 一徳
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 佐藤 昌哉

近年、自動走行の技術開発および公道実験が国内外で進められている。他方、ラウンドアバウトの設置・普及も国内各地で進んでいる。筆者らは苫小牧寒地試験道路にラウンドアバウトを仮設して自動走行車が混在している交通状況を模擬し、運転挙動データおよびドライバーの主観評価データを収集する被験者試験を実施した。本稿では同実験の結果分析から、自動走行車混在時の留意点を考察する。

キーワード：ラウンドアバウト、自動走行、被験者試験

1. はじめに

自動走行（自動運転）システムの取り組みについては、交通事故の低減、渋滞緩和による環境負荷軽減、人口減少の進む地方部の活性化、自動車産業および関連市場の拡大といった、社会的・産業的意義から国内のみならず世界的にも競争が激化しているところである。

内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の自動走行システム研究開発計画では「自動走行システムの実現と普及としてITSによる先読み情報等を活用し、2017年までに信号情報や渋滞情報等のインフラ情報を活用するシステム(SAE レベル2)、2020年を目途にSAE レベル3、2025年を目途にSAE レベル4の市場化がそれぞれ可能となるよう、協調領域に係る研究開発を進め、必要な技術の確立を図る。また、これにより、現在の自動車業界の枠を超えた新たな産業創出を図る。」としている。なお上記のSAEレベルとは、アメリカの非営利団体SAE Internationalの定義「SAE J3016」による自動運転の段階のことで、ドライバーが不要の完全自動運転をレベル5としている。なお、かつて日本では2014年6月に策定された内閣府の「官民ITS構想ロードマップ」にて4段階に分類していたが、SAE J3016を2016年9月に米国運輸省NHTSAが採用したことを受け、日本でも現在ではそちらに合わせることにしている。

また、ラウンドアバウトの導入も日本で進められている。欧米で既に広く普及しているこの円形の交差点は、既存のロータリー交差点とは違い環道を走行する車両に優先権が与えられるもので、平成25年6月に道路交通法が改正され環状交差点として運用が始まった。平成30年3月末現在では全国27都府県の75カ所に設置されており²⁾、

将来的には自動走行車が走行することも想定される。

このため本研究では自動走行車の流入が他の一般車両のドライバーに与える影響の把握を目的とし、走行実験を行った。

2. ラウンドアバウトと自動走行

円形の交差点は欧州では19世紀に既に存在しており、環道部分を一方通行にすることで対向車との正面衝突事故が理論上は起こらず、十字交差点よりも安全であると当初から期待されていた。イギリスの研究機関が渋滞解消のため「環道優先」を基本ルールとして成立させて改善された現代式ラウンドアバウト（Modern roundabout）は、効果が実証されるに従い他のヨーロッパ諸国およびアメリカでも脚光を浴び、広く普及するに至っている。現在単に「ラウンドアバウト」と言うとき、この現代式のもの指す。

ラウンドアバウトの定義上は、円形の平面交差点のうち、主に、環道、中央島、エプロン、路肩、分離島、流出入部及び交通安全施設を有し、環道において車両が時計回りに通行しかつ進入する車両によりその通行を妨げられない交通が確保できる構造であるものとされ、各構成要素の詳細は以下のとおり（図-1）。

- ①環道：専ら車両の通行の用に供する部分のうち、環状を形成している部分
- ②中央島：環道における車両の安全かつ円滑な通行を確保するためにラウンドアバウトの中央部に設ける島状の施設
- ③エプロン：環道のみでは通行困難な普通自動車又はセ

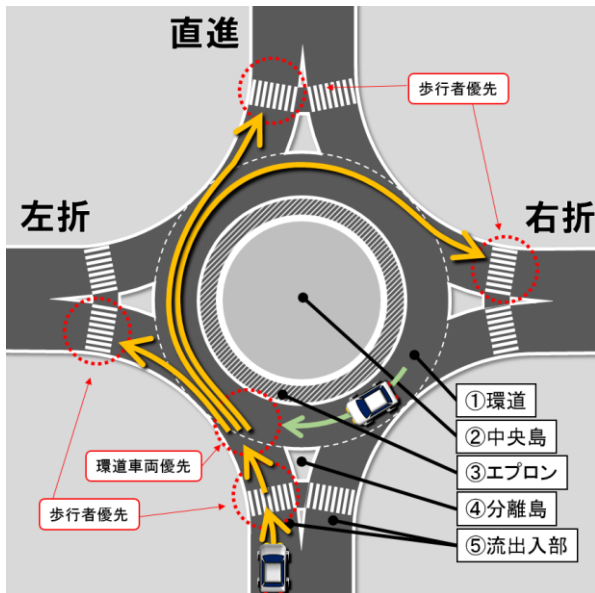


図-1 ラウンドアバウトの構成

ミトレーラー連結車が通行の用に供してもよい部分
 ④分離島：環道への流入又は環道から流出する車両の分離、横断歩行者の安全性の確保等を行うために、環道の流出入部に設ける島状の施設
 ⑤流出入部：単路部と環道を接続する部分をいい、単路部から環道へ流入する流入部及び環道から単路部へ流出する流出部より構成

ラウンドアバウトの大きな特徴として、一時停止標識も信号も設置されないことが挙げられる。

直進・右左折の3方向いずれへの進行においても、環道への流入では右方から接近する車両と横断歩道の歩行者に、そして流出時には歩行者と自転車に先を譲る義務がある。しかし歩行者や車両がいなければ減速するだけで、停まることなくラウンドアバウトを通り抜けることができる。

また一般の十字交差点の右折では、信号と対向の直進車、歩行者に注意を払う必要があり、信号も優先道路もない場合は他車に優先権がある交差点が4箇所が増える(図-2)。しかし信号がないラウンドアバウトでは、他車に優先権がある交差点は流入時の1箇所しかない。更に環道と横断歩道に距離を設けた構造であり、車両と歩行者を同時に注意しなければならない状況が生じない。

このように信号機との連動が不要で、対象物を注視すべき箇所も少ないことは、自動運転において有利であり、すなわちラウンドアバウトは自動走行車両が走行しやすい構造であると考えられる。

3. 実験の目的

前述のとおり、自動走行車自身はラウンドアバウトと親和性が高いと考えられるが、周囲のドライバーに与え

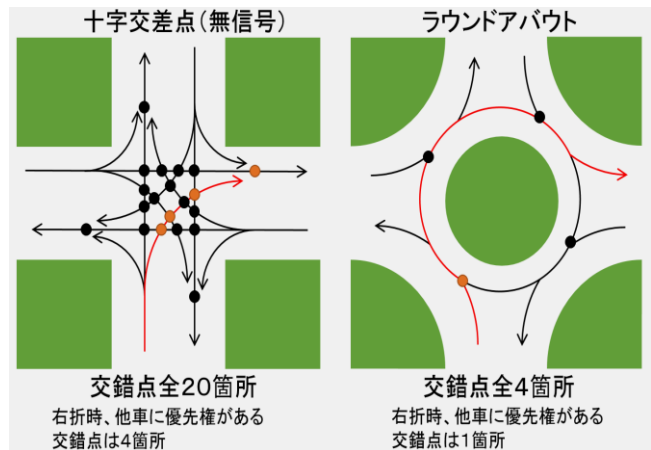


図-2 交差点の交差点

表-1 実験環境

実験日	平成30年11月1日
時間帯	10:30~15:00
場所	苫小牧寒地試験道路
天候	晴れのち曇り
視界	良好
路面状態	乾燥

表-2 苫小牧寒地試験道路のラウンドアバウトの諸元

	実験(1) 実験(2)	実験(3)
環道外径	27m	40m
中央島直径	8m	-
中央島+エプロン部直径	16m	29m
環道幅員	5m	5m

る影響については明らかにされていない。だが今後、自動走行車の開発が進み段階的に普及していくと、いずれラウンドアバウトを含む一般道路を走行することが想定される。よって、一般のドライバーが運転する車両と自動走行車が混在する状況で、ラウンドアバウトの走行実験を行い、①自動走行車混在の有無によるドライバーの主観評価の差異の有無、そして行動観察として②運転挙動と視線挙動の差異の有無について調査することとした。なお本実験では、③環道外径の違いによるドライバーの運転挙動の差異の有無も確認する調査を行っており、この3点の差異の比較について報告する。

4. 実験概要

当日の実験環境は表-1のとおりである。実験で使用する苫小牧寒地試験道路に設置したラウンドアバウトの諸

表-3 被験者の属性

被験者	性別	年齢	運転歴(年)
1	男性	30	10
2	男性	34	17
3	男性	47	28
4	男性	55	36
5	男性	42	16
6	女性	50	22
7	女性	39	21
8	女性	64	8
9	女性	50	25
10	女性	38	18

元は表-2のとおりで、以下の3種の実験を行った。

- ・実験1 自動走行車の混在なし (外径27m)
- ・実験2 自動走行車の混在あり (外径27m)
- ・実験3 自動走行車の混在なし (外径40m)

被験者には車両に乗って、まず外径27mのラウンドアバウトを自動走行車が混在している状態としていない状態の両方で走行してもらったのち、簡単なアンケートに回答してもらった。

集まっていたいた被験者は男女5名ずつの10名、年齢は30歳から64歳までで、普通自動車運転免許を保有する一般ドライバーである(表-3)。いずれの被験者もラウンドアバウトの走行経験がないため、事前に交通ルールの説明と数分程度の練習走行の時間を設けている。

実験開始時には、全車両が4箇所の流入部に分散した後、一斉に走り始めることとし、流出部についてはどこから出ていくかを自由に選択できるものとした。

自動走行車に搭載したシステムには、あらかじめ外径27mのラウンドアバウトの位置情報を記録させてあり、決められたルートを時速20km以下で走行できる。実験中は環道を走行するだけではなく、流出部より繰り返し出入りさせた。なお外径40mの位置データは記録させておらず今回は走行を見送ることとした。

(1) 主観評価方法

実験走行後、被験者を対象にアンケートを実施し、ラウンドアバウトを走行したときの感覚を、以下の3項目で質問した。

- ・イライラ感 (かなりイライラ～全くイライラしない)
- ・安全性 (とても危険～とても安全)
- ・走りやすさ (大変走りにくい～大変走りやすい)

いずれも7段階評価で、最も良好と思ったものを7として回答してもらい(図-3) これらを自動走行車混在の有無両方のケースで実施した。

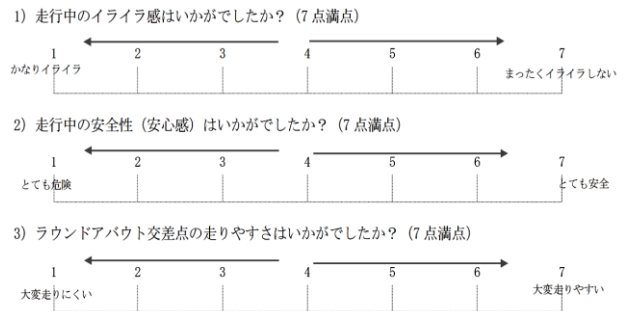


図-3 アンケート票



写真-1 視線計測装置

表-4 被験者の主観評価回答

		自動走行車混在なし			自動走行車混在あり		
		イライラ感	安全性	走りやすさ	イライラ感	安全性	走りやすさ
被験者	①	7	7	7	6	7	7
	②	7	7	7	7	7	7
	③	6	5	5	6	6	5
	④	5	5	6	6	4	5
	⑤	7	6	6	7	6	6
	⑥	7	6	6	7	5	5
	⑦	6	6	5	6	6	3
	⑧	6	6	5	5	6	5
	⑨	6	6	6	6	6	6
	⑩	6	6	6	6	6	6

(2) 行動観察方法

被験者の運転挙動は、流入時・環道走行時・流出時の3区分について全員の運転速度データを分析した。走行位置と速度の検出は、車両に搭載しているドライブレコーダにより行った。

視線調査には眼鏡型の視線計測装置「Tobii Pro Glasses 2 (トビー・テクノロジー社製)」を用いた(写真-1)。これはヘッドユニットに搭載されているカメラで風景を撮影しつつ、被験者の眼球の動きを捉えるセンサーで風

表-5 自動走行車混在の有無による速度差の t 検定

	混在なし			混在あり			t値	自由度	有意確率	有意水準 5%
	標本数	平均値	分散	標本数	平均値	分散				
流入時速度	507	11.045	47.327	473	10.301	48.284	1.682	978	0.093	±1.962 採択
環道走行速度	445	13.701	23.980	410	13.514	19.414	0.588	853	0.557	±1.963 採択
流出時速度	379	18.608	27.600	340	18.588	34.713	0.049	717	0.961	±1.963 採択

表-6 外径27mと外径40mによる速度差の t 検定

	外径27m			外径40m			t値	自由度	有意確率	有意水準 5%
	標本数	平均値	分散	標本数	平均値	分散				
流入時速度	507	11.045	47.327	306	11.267	47.327	-0.428	811	0.669	±1.963 採択
環道走行速度	445	13.701	23.980	377	16.188	14.864	-7.983	820	0.000	±1.963 棄却
流出時速度	379	18.608	27.600	228	19.702	23.130	-2.473	607	0.013	±1.964 棄却

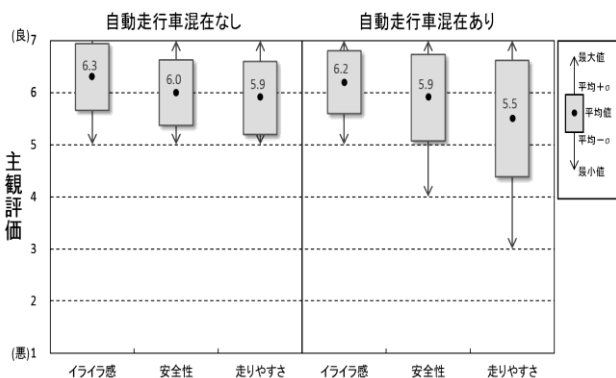


図-4 被験者の主観評価

景のどこに視線を向けているかを追跡することができる。取得したデータは専用のソフトウェア「Tobii Pro Glasses Analyzer」にて分析が可能である。

今回用意した装置は1台であり、実験中に装着する被験者も1名だけであった。眼鏡の上から重ねて着用するのは困難な形状であることから、裸眼で運転ができる被験者に調査を受けてもらった。

5. 実験結果

(1) 主観評価の結果

自動走行車に対する被験者のアンケート結果を表-4に示す。これらの回答を取りまとめてグラフ化したものが図-4で、左のグラフが自動走行車の混在なし、右が混在ありである。

各回答の最大値と最小値を矢印で、10人の平均値を数値で示した。矩形の上底と下底で標準偏差σに基づくバラツキの範囲を表している。

イライラ感・安全性・走りやすさのいずれも、混在ありの方は評価の平均値が下がっている。イライラ感と安

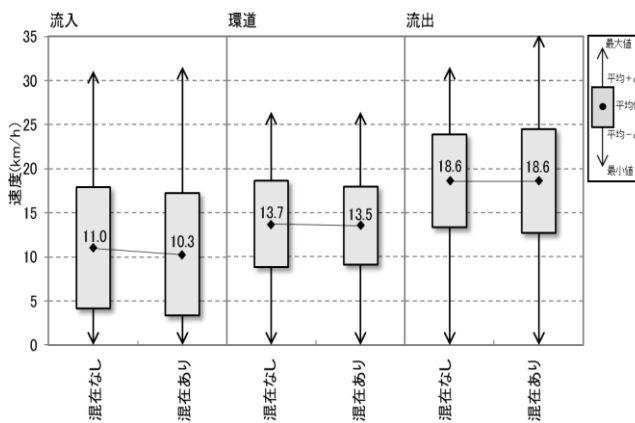


図-5 自動走行車混在の有無による速度差

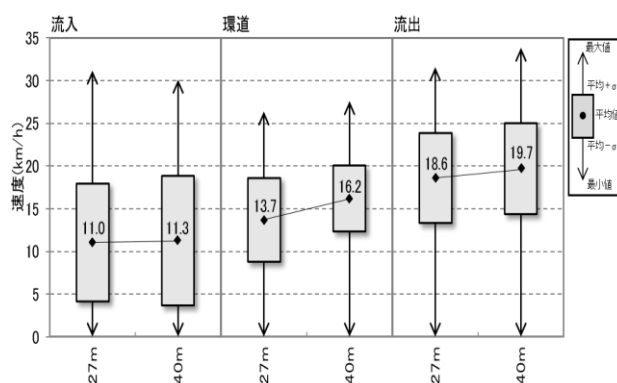


図-6 環道半径の差異による速度差

全性については差が0.1であるが、走りやすさについては1名が混在ありでの評価を3とした影響もあり、0.4下がった。ただ3項目の平均値とも、普通評価の値である4より上であり、評価としては良好と言えるものになっている。

(2) 自動走行車混在時の運転挙動

運転速度の結果を図-5に示す。これは10人の運転速度

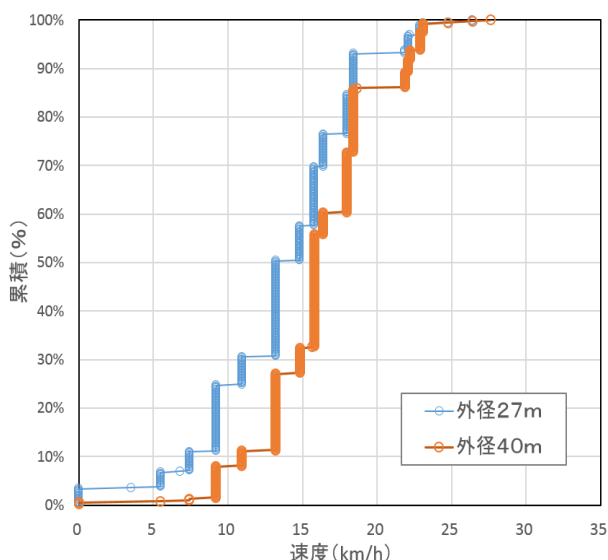


図-7 環道半径の差異による環道走行速度の累積

を秒単位で抽出し、データを流入時・環道走行時・流出時の3項目に分けかつ自動走行車混在の有無別でグラフ化したものである。

流出時には混在の有無による速度差は見られないが、流入時には時速0.7km、環道走行時には時速0.2kmだけ混在ありの方で速度の低下が見られた。ただし表-5の有意水準5%とした検定結果からは、有意な差ではないと言える。

(3) 環道外径の異なるラウンドアバウトにおける運転挙動

環道外径27mと同様に、環道外径40mの条件下でも被験者走行実験を行った。環道の大きさで運転速度に差が出るのか否かを、流入時・環道走行時・流出時の3区分についてドライブレコーダのデータから確認したものが図-6である。

流入時には、減速が義務づけられていることから被験者もそれを心がけていると思われ、外径の変化による平均速度の差はほぼ見られないが、環道走行時に時速2.5km、流出時に時速1.1kmだけ外径40mの方が平均値は大きくなっている。両者は表-6の有意水準5%とした検定でも、有意な差があると言える結果になっている。

図-7は環道の走行速度を外径27mと外径40mで累積させたグラフである。外径40mのグラフは外径27mよりも右寄りになっており、全ての割合において速度が同等以上であることが分かる。

(4) 視線挙動

視線計測の結果を、ヒートマッピングで視覚化したのが図-8である。これは注視された箇所をサーモグラフィのように画面に着色していくもので、頻度が低い箇所は緑色、高くなるほど赤く表される。

ただしこの分析法は背景が動かないことが望ましい。

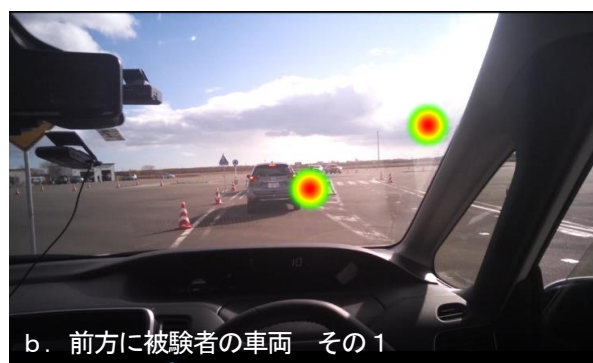


図-8 ヒートマッピング分析

ある一点で眼球が制止すれば、そこを被験者が注視していると計測装置は判断できるが、背景が横方向等へ流れる場合、それを目で追いかけて視点も動いてしまうことで、注視したか否かの判断が困難になるためである。

流入時、環道走行時、流出時に分けてヒートマップの作成を試みたが、流入路を環道へ向かって直線走行する時のみヒートマップが作成できたものの、上記の理由により、円運動している環道走行時と左方へ曲がる流出時のものは作成できなかった。よって今回は環道に流入す

る直前までの直線部約30mを走行した時の視線を、データの得られた以下のケースに分けて解析することとした。

- ・前方に車両がない
- ・前方に他の被験者が運転している車両がいる（その1、その2）
- ・前方に自動走行車がいる

前方に車両がない場合、被験者の視線は流入路の外側線と環道の左側つまり進行方向側に集中し、それ以外の箇所には注視していない。

前方に先行の被験者の車両がいる場合、**図-8b**では分離島と中央島の方向、そして日が眩しかったのか右上空に視線が行っている。**図-8c**では環道、外側線、標識等の多数を見ているが、bとcのいずれも先行車両そのものには注視していない。

先行車両が自動走行車の場合はこれまでの様子と異なり、注視点は自動走行車に多数発生している。

6. まとめ

今回はラウンドアバウト走行時に自動走行車が混在しているか否かで、被験者の意識と挙動に変化が見られるか否かの比較試験を行った。

(1) 主観評価について

全被験者の主観評価の平均値からは、イライラ感と安全性において自動走行車の混在による変化はほぼ見られない。走りやすさについては、上記2項目に比べて平均評価がやや低くなっているが、低評価を付けた1名の影響が大きく、内訳を見ると10名中7名は自動走行車混在の有無で評価に変化がなかった。

(2) 行動観察について

上記結果報告の最後に述べた視線の挙動においては、明確な差が見られている。

先行の車両がない時および被験者の車両を追尾している時のどちらも、被験者の視線挙動から周辺状況を捉えようとしている様子が窺えるが、自動走行車が先行して

いた場合には、被験者は自動走行車ばかりを何度も見ており、運転に集中できていない可能性が疑える。

ただし被験者の運転速度については、低速である自動走行車が混在すると若干の低下が見られたが、全員分のデータを平均するとその差は時速1km未満であり、有意差はないと言えるものであった。よって運転挙動にはほとんど変化が見られなかったと評価して良いと考えられる。

主観評価の結果もふまえると、被験者は自動走行車を気にはするが、ストレスや不安を抱くほどでも運転に影響が出るほどでもないと言える。

(3) 外径の異なるラウンドアバウトについて

環道の外径が40mの時は、外径27mと比べて環道走行時と流出時に有意差ありと言えるほど運転速度が上昇したが、特に環道部は半径が大きくなることで、少し速度を上げて走れるようになったことに理由があると考えられる。

(4) 最後に

本実験では、一般のドライバーが将来、ラウンドアバウトを自動走行車が走行している状況に遭遇しても、戸惑うことなく受け入れられるだろうとの結果を得た。ただ、環道外径が大きいと被験者の運転速度が上昇し、自動走行車との速度差が大きくなることから、イライラ感・安全性・走りやすさの評価に変化が生じる可能性はあると思われる。他にも評価に影響を与える可能性のある様々な条件（季節、天候、時間帯、歩行者の有無等）を考慮した実験を行って、今後もデータを蓄積していく所存である。

参考文献

- 1)内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム研究開発計画、2018
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf
- 2)警察庁：「環状交差点」の導入状況について（平成29年度末）、2018
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/roundabout/roundabout.pdf>