

走行シミュレーション実験による ラウンドアバウト中央島の効果の検証

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 地域景観チーム ○増澤 諭香
榎本 碧
福島 宏文

ラウンドアバウト中央島は、マウンドや植栽等のランドスケープの導入により、交通安全面や景観面の向上が期待されている。しかし、中央島の形状が運転行動へ与える影響は十分に明らかにされていない。

本稿では、中央島形状が交通安全面や景観面に与える効果を検証することを目的に、今後実施する中央島形状が異なるVR動画を用いた走行シミュレーション実験に向けたプレ実験を行った。その結果、作成した動画はマウンドや植栽の再現ができていると考えられた。一方、アクセルブレーキ操作の習熟に課題がみられ、実験方法の改善が必要であることを確認した。

キーワード：ラウンドアバウト、中央島、走行シミュレーション、マウンド

1. はじめに

ラウンドアバウトは、図-1に示す中央島や環道、エプロン等により構成される環状の交差点である。信号がないため、停電等の影響を受けないことや、右折時の信号待ちが必要ないことによる交通の円滑性の向上等が期待されている。ラウンドアバウトは、環道内では時計回りの一方通行のため、十字交差点等とは異なり、対面の流入路から交差点に接近する車（以降、「対面車」とする）よりも、右側の流入路から入ってくる車および環道上を走行する車（以降、「右から来る車」とする）と先に交錯する構造になっている。このことから、米国やオーストラリア等では、図-2のように、環道への流入車から、右から来る車に対する見通しを確保する考え方（以降、「見通し距離」とする）が示されている^{1,2)}。一方、国内では、見通し距離に関する規定は、現在のところ示されていない。

ところで、ラウンドアバウトを構成する要素のうち、中央島は、植栽やマウンド等を導入することにより、遠方からラウンドアバウトに気が付き速度を低減する効果や、環道への流入時の視線を右側へと向けることで安全性を高める効果があると考えられている³⁾。また、景観面も向上すると期待される。一方で、中央島は見通し距離に影響する要素であり、その形状の検討が必要とされる。著者らは、これまで中央島径12mの場合のラウンドアバウトの中央島形状について検討を行った⁴⁾。

本研究では、北海道内で今後普及が予想される中央島径20m程度の大型のラウンドアバウトについて、中央島

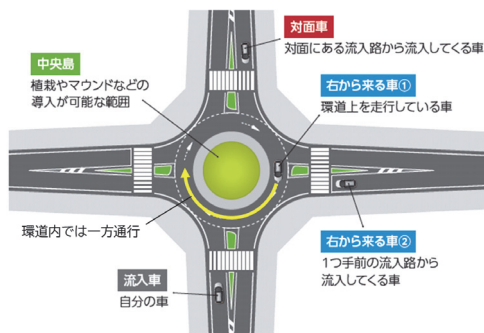


図-1 ラウンドアバウトの構成

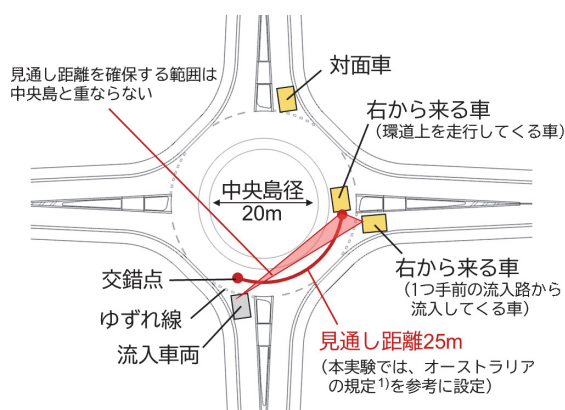


図-2 環道流入時の見通し距離の考え方

形状が交通安全や景観に与える効果を明らかにすることを目的に、VRゴーグルを用いた走行シミュレーション実験を行う。

なお、本稿では、今後実施する本実験に向けて行ったプレ実験の結果を示し、実験方法について検討を行う。

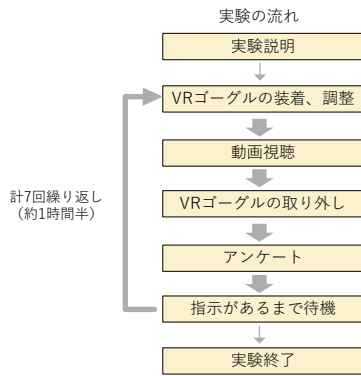


図-3 実験の流れ



図-4 VRゴーグル (VIVE PRO EYE)

2. 研究方法

(1) 実験概要

走行シミュレーション実験は、寒地土木研究所内にて、2023年11月14日（火）～15日（水）の2日間にかけて行った。実験参加者は、著者も含む寒地土木研究所地域景観チームの5名の職員とした。実験参加者のラウンドアバウトの走行経験は、有りが4名、無しが1名であった。

実験の流れを図-3に示す。はじめに、実験参加者には、実験の目的や方法、ラウンドアバウトの走行ルール、予期される問題などについて、説明を行い、実験参加への同意を得た。その後、VRゴーグル (VIVE PRO EYE) を着用して動画を視聴し、視聴した動画についてアンケートを回答した。

視聴する動画は、Unityを用いて作成した。また、加減速のタイミングの調査のため、コントローラー (図-4) を用い、アクセルおよびブレーキの操作を再現できる設定とした。なお、走行速度は、50 km/h以上にならないよう、上限を設けた。また、ハンドル操作は行わず、予め設定したルートを行走することとした。

実験は、1～2人ずつ行い、1人あたりの所要時間は1時間半程であった。

(2) 実験動画の条件

a) 走路および周辺環境の条件

走行シミュレーション実験で作成したラウンドアバウト

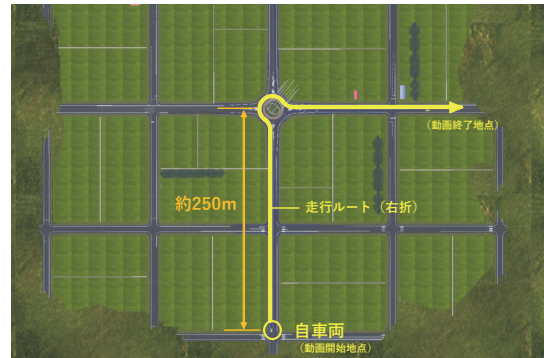


図-5 ラウンドアバウトの走路の条件

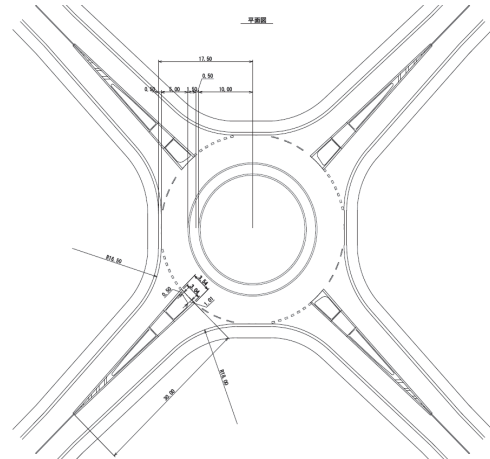


図-6 ラウンドアバウト平面図



図-7 周辺環境の再現イメージ

トの走路の条件を図-5、図-6に示す。走路は延長約1,000 m、4枝の交差点で、中央島径20 m、エプロン2 m、環道幅員5 mである。各流入路は直角、走行ルートは、全動画で右折する同一ルートとした。

また、ラウンドアバウトの周辺環境は、仮想の環境として田園空間を再現することとし、水田、山、家屋、防風林などを設置した (図-7)。標識および附属物等は、警戒標識「ロータリーあり (201の2)」および規制標識「環状の交差点における右回り通行 (327の10)」の標識のみ設置した。 (図-8)

b) 中央島の形状の条件

実験は、対面車の見え方を考慮し、各中央島の形状を計7パターン (うち1パターンは練習用) とし、次の条件とした (図-9)。マウンドおよび植栽の高さは、路盤面からそれぞれの頂点までの高さとする。パターンA～Cでは、現実の施工での排水勾配を考慮し、マウンド中央の高さを0.3 mと設定した。

- ・パターンA：マウンド0.3m（植栽無し、舗装）
- ・パターンB：マウンド0.3m＋芝
- ・パターンC：マウンド0.3m＋芝＋低木（1.1m）
- ・パターンD：マウンド1.2m＋芝
- ・パターンE：マウンド1.2m＋芝＋低木（2.0m）
- ・パターンF：マウンド2.0m＋芝
- ・練習用：マウンド0m（植栽無し、舗装）

なお、オーストラリアの見通し距離の規定⁹⁾を参考に、環道への流入速度を20 km/hと仮定すると、この実験条件では、全てのパターンで必要な見通し距離が確保される条件となっている。

c) 他車両の条件

他車両は、対面車1台、右から来る車2台の計3台を再現した。各他車両の動きは、自車両がゆずれ線上に達したときに、図-10の他車両①～③の位置に見えるよう設定を行った。なお、右から来る車2台の位置は、環道への流入速度を20 km/h程度と仮定し、オーストラリアの基準⁹⁾をもとに、見通し距離が25 mとなる位置になるよう設定を行った。これは、実験の想定条件として、実験参加者車両は、右から来る車を待たずに、問題なく環道へ進入できる条件とした。

(3) 分析方法

実験では、全ての実験参加者の全動画視聴時に、走行挙動データ、視線挙動データ、アンケートによる主観評価のデータの取得、実験参加者が視聴している画面の録画を行った。詳細を以下の項に示す。

a) 走行挙動データ

アクセルおよびブレーキ操作の記録と、速度データの記録を行った。ブレーキ操作は、コントローラーのトリガー（図-4）を引く力の強さに応じて、値を取得することとした。記録時刻は、0.1秒ごと（7～9 Hz）と設定し、記録を行った。なお、記録タイミングは、次項で示す視線挙動データと同一とした。

b) 視線挙動データ

環道への流入時に運転者が見ている箇所を調査するため、視線挙動データの取得を行った。データは、左目の挙動を取得することとし、記録時刻は、走行挙動データと同じ、0.1秒ごと（7～9 Hz）と設定し、記録を行った。本稿では、分析対象としない。

c) アンケートによる参加者の主観評価

各動画視聴後、SSQ（The Simulator Sickness Questionnaire：実験参加者の体調に関するアンケート）、SD法、「はい／いいえ」などの2択で答える形式（以降、「選択式」とする）の3種のアンケートを行った。

SSQのアンケートは、Kennedy⁹⁾が示す形式を参考に作成した。SD法の形容詞対を表-1、選択式のアンケートの設問内容を表-2に示す。なお、SD法のアンケートの形容詞対の提示順は、中央島のパターン毎にランダムとし、7段階評価とした。これらに加え、最終実験後には、

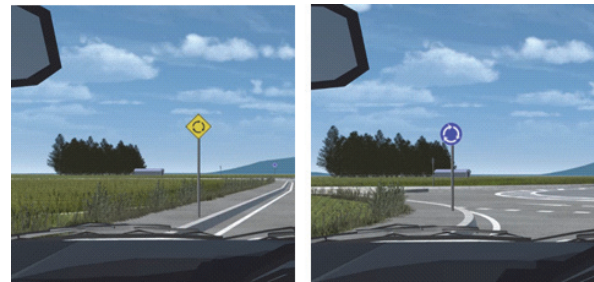


図-8 動画内に設置した標識
(左：警戒標識、右：規制標識)

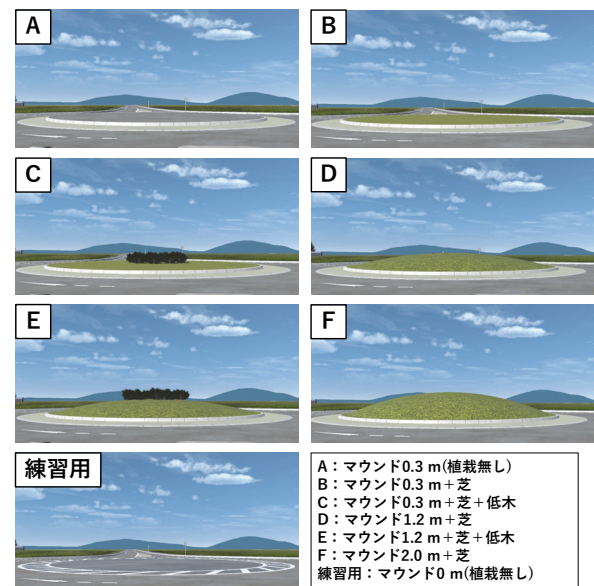


図-9 中央島のパターン

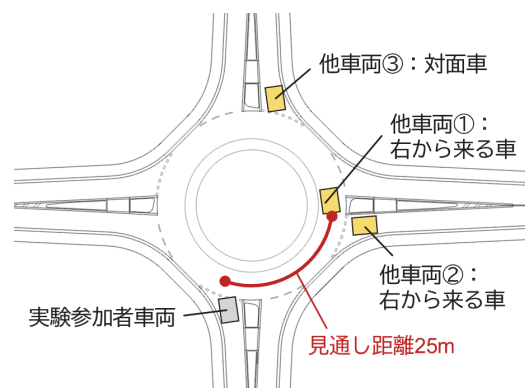


図-10 環道流入時の他車両との位置関係

表-1 使用した形容詞対

カテゴリー	形容詞対	
総合	好き	嫌い
	美しい	美しい
調和	調和した	違和感がある
	親しみやすい	親しみにくい
快適性	安心な	不安な
	心地よい	不快な
地域生存在感	開放的な	圧迫感がある
	印象に残る	印象に残らない
ボリューム	豊かな	乏しい
	自然的な	人工的な
おもしろさ	単純な	複雑な
	落ち着いた	騒がしい
	おもしろい	つまらない

表-2 選択式のアンケート

設問内容	
問1-1	動画の再生を開始して、すぐに遠方のラウンドアバウトが見えましたか。
問1-2	環道への流入時に、目に入ってくる情報量が多と感じましたか。
問1-3	環道への流入時に、他の車が原因で環道に入るタイミングを迷いましたか？
問1-4	ゆずれ線手前から、環道（車が走行する場所）と、走るべきではない場所（エプロンや中央島）の違いが分かりやすかったですか？
問1-5	ラウンドアバウトへの流入時に、焦ることなく落ち着いて流入することができましたか？

表-3 順位法のアンケート

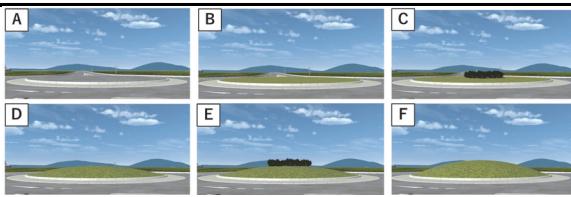
設問内容	
	
問2-1	総合的に印象が良かった順に赤枠内に1～6までの番号を記入してください（重複はしないでください）。 A B C D E F
問2-2	走りやすいと感じた順に赤枠内に1～6までの番号を記入してください（重複はしないでください）。 A B C D E F
問2-3	環道内の車に気づきやすかった順に赤枠内に1～6までの番号を記入してください（重複はしないでください）。 A B C D E F
問2-4	中央島のデザインの印象が良かった順に赤枠内に1～6までの番号を記入してください（重複はしないでください）。 A B C D E F

表-3に示す順位法のアンケートを実施した。なお、SD法のアンケートについては、プレ実験では参加者数が少なく、分析が難しいため、本稿では省略した。

3. 結果

本章では、走行挙動およびアンケートによる参加者の主観評価の回答結果を示す。

(1) 走行挙動データ

速度データの結果を図-11に示す。図に示すグラフは、横軸がゆずれ線からの距離(m)、縦軸が走行速度(km/h)となっている。なお、ゆずれ線からの距離が、負の値の場合はゆずれ線通過前、正の値の場合はゆずれ線通過後を意味する。

a) ゆずれ線遠方（-233 m～-100 m）での走行速度

図-11より、加速の仕方には差はあるが、全てのパターンで、スタート後50 km/h程度まで加速していることが読み取れた。また、50 km/h程度まで加速後、パターンA

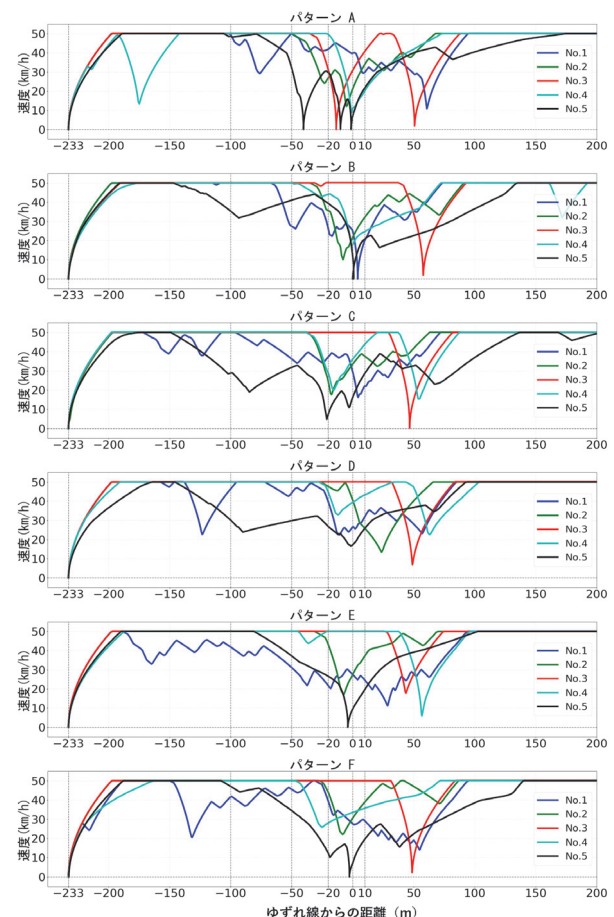


図-11 走行速度の変動

では1名（No.4）、パターンBでは1名（No.5）、パターンEでは1名（No.1）、パターンC、D、Fでは2名（No.1、No.5）の人が、減速したことが分かった。

b) 環道への流入前（-50 m～0 m）の走行速度

図をみると、パターンAでは、ゆずれ線通過前の-50 m～0 mの範囲で、全実験参加者が減速していることが読み取れる。パターンB～D、Fでは、1名（No.3）の実験参加者を除き、減速していた。また、パターンEでは2名（No.3、No.4）を除いて減速していた。

c) 環道への流入前後（-20 m～10 m）の走行挙動

環道への流入前後の一時停止の有無について、調査した結果、パターンAでは2名（No.3、No.5）、パターンBでは2名（No.1、No.5）、パターンE、Fでは1名（No.5）の実験参加者が、環道への流入前後に一時停止を行っていた。一方、パターンC、Dでは、一時停止した実験参加者は見られなかった。

なお、環道流入後（50 m付近）で急ブレーキをかけている実験参加者がいるが、これは、動画のプログラミングの都合上、実験参加者の車両位置によらず、対面車が環道に流入してくるためである。環道での速度が速い実験参加者は、流入してきた対面車と衝突しそうなことで、急ブレーキをかける様子が、動画から確認できた。

(2) アンケート

a) SSQアンケート

SSQのアンケート結果を図-12に示す。SSQのトータルスコアは、値が大きいほど実験参加者の負担が大きいことを示している。図より、実験参加者No.1の5回目以降の視聴でSSQのトータルスコアが20以上となり、値が高くなっていることが読み取れるが、その他の実験参加者では、トータルスコアの値は、0～15程度であった。

b) 選択式アンケート

選択式のアンケート結果を図-13に示す。図-13より、問1-1「遠方のラウンドアバウトが見えましたか」については、マウンドの高いパターンD～Fでは、「見えた」という回答が100 %であった。一方、マウンドの低いパターンA、Bでは、「見えた」という回答が40 %であった。マウンドは低いが、低木があるパターンCでは、「見えた」と回答した人が80 %であった。

問1-2「目に入る情報が多いと感じましたか」については、パターンA～Cが、パターンD～Fと比較して、「目に入る情報量が多い」と感じた人が多くなっていた。

問1-3「環道に入るタイミングを迷いましたか」については、パターンA、Bが、他のパターンと比較して、「迷った」と回答した人が多かった。

問1-4「走るべき場所が分かりやすかったですか」については、パターンDで、「分かりやすい」と回答した人が最も多くなっていた。

問1-5「焦ることなく流入できましたか」については、パターンAで、「焦った」と回答した人が最も多くなっていた。一方、その他のパターンの差は小さかった。

c) 順位法アンケート

順位法のアンケート結果を図-14に示す。図-14の問2-1「総合的に印象が良かった順」について、順位平均値を求めたところ、パターンDが最も「印象が良い」とされ、パターンAの印象の評価が相対的に低くなっていた。

問2-2「走りやすいと感じた順」について、順位平均値を求めた結果、パターンD、Fが「走りやすい」と評価されたのに対し、パターンAが相対的に「走りにくい」と評価されていた。

問2-3「環道内の車に気づきやすかった順」について、順位平均値を求めた結果、パターンA、Bが「環道内の車に気づきやすい」と評価され、パターンE、Fは相対的に「環道内の車に気づきにくい」と評価された。

問2-4「中央島のデザインの印象が良かった順」について、順位平均値を求めた結果、パターンDが最も「印象が良い」と評価され、パターンA、Bの印象の評価が相対的に低かった。

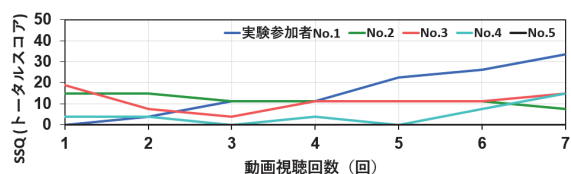


図-12 SSQのトータルスコア

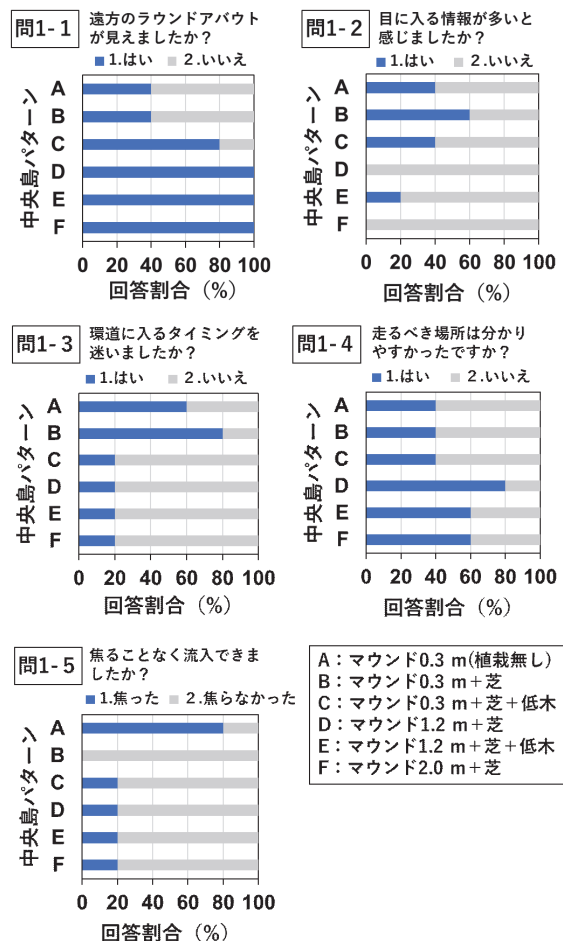


図-13 選択式アンケート結果

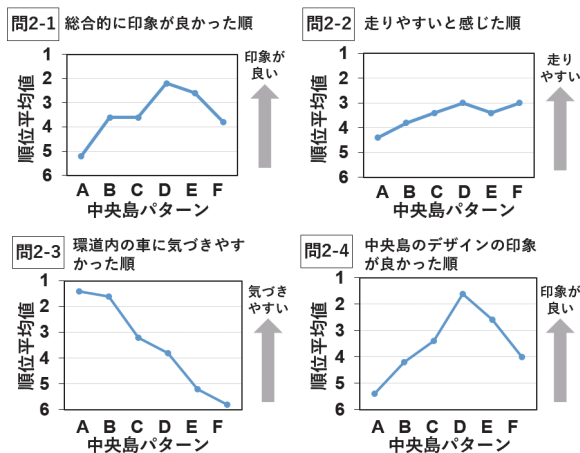


図-14 順位法アンケート結果

4. 考察

(1) 中央島形状が交通安全面に与える効果の検証方法

a) 遠方からのラウンドアバウトの認知

図-13の問1-1に示すアンケートの結果より、1.0 m以上

のマウンドや植栽のあるパターンC～Fで、遠方からラウンドアバウトが見えたと回答した人が多かった。

既往研究より、マウンド等による速度低減効果が期待されている³⁾が、走行速度に関しては、図-11に示す走行速度の結果より、実験参加者による違いが大きく、中央島パターンによる傾向は把握できなかった。これは、実験参加者数の少なさが要因としてあげられる。また、実験終了後に、実験参加者から『最初の数回は、アクセルブレーキ操作に集中してしまい、動画の視聴に集中できなかった』という意見があげられたことから、操作に習熟する前に実験を開始したことも要因と考えられる。そのため、本実験では、操作練習を行う回数を増やし、動画の評価に集中できるようにする必要があると考える。

b) 環道への流入判断のしやすさ

図-13の間1-2より、マウンド0.3 mのパターンA～Cでは、マウンド1.2 m以上のパターンD～Fと比較して、「情報量が多い」と回答した人が多くなっていた。また、問1-3より、マウンド0.3 mで低木のないパターンA、Bでは、環道流入時に「他の車が原因で環道に入るタイミングを迷った」という回答が多かった。問1-5より、パターンAは他のパターンと比較して、「流入時に焦った」の回答が多くなっていた。

これらより、植栽のないパターンAと植栽のあるパターンB～Fの間、マウンド0.3 mのパターンA～Cとマウンド1.2 m以上のパターンD～Fの間、マウンド0.3 mで低木のないパターンA、Bと1.0 m以上のマウンドまたは低木のあるパターンC～Fの間で、中央島パターンの評価に違いがみられたといえる。このことから、今回作成した動画では、マウンドや植栽の組み合わせによる違いが再現できていたと考える。

(2) 中央島形状が景観面に与える効果の検証方法

図-14の間2-4に示す結果より、植栽や、1.0 m以上のマウンドのあるパターンC～Fの中央島のデザインの印象は、低いマウンドのみのパターンA、Bと比較して相対的に良いと評価された。パターンA、Bはどちらもマウンド0.3 mで、芝の有無のみが異なるが、芝のあるパターンBの評価が高かった。このことから、この実験で作成した動画では、景観の印象評価が可能と考えられる。

(3) 本実験に向けた対策

本稿で示すプレ実験では、走行速度を計測したが、図-11に示すように、他車両の影響を除外すると、実験参加者によっては、走行全体を通して50 km/h程度と高い速度になっていた。今回検証したラウンドアバウトの幾何条件の場合、実道で環道内を50 km/h程度の速度で走行することは横加速度等の負荷が大きく、困難と考えられる。このことから、VRでは、加速度の感じ方が現実と異なる可能性がある。より現実の条件に近づけるため、

ラウンドアバウトの走行ルールの説明方法の改善や、練習回数の追加等が必要と考える。

また、今回のプレ実験の実験参加者は、全員が研究関係者であり、その実験結果は参考にとどまる。今後、関係者ではない一般の方を対象に実験を行い、検証する必要がある。

5. おわりに

本研究では、中央島径20 mのラウンドアバウトを対象に、マウンドや植栽が、交通安全面および景観面に与える効果を明らかにすることを目的として、VRゴーグルを用いた走行シミュレーション実験の実施に向け、プレ実験を行った。

その結果、作成した動画は、マウンドや植栽などの中央島形状を再現できていると考えられた。また、アクセルブレーキ操作の習熟が足りなかったと考えられるため、操作の練習時間を延長すること等により、実験方法を改善する必要があることを確認した。

また、アンケート結果より、1.0 m以上のマウンドや植栽は遠方からの認知のしやすさや、環道への流入判断のしやすさなどを向上させることが示唆されたが、今回は関係者を対象にしたプレ実験のため、この結果は参考にとどまる。今後、一般の方を対象にした本実験を行うことにより、中央島のマウンドや植栽を導入する効果について明らかにしたい。

参考文献

- 1) Queensland Government Department of Transport and Main Roads : Road planning and design manual, pp.14_44-14_48, 2006.
- 2) L. Rodegerdts, J. Bansen, C. Tiesler, J. Knudsen, E. Myers, M. Johnson, M. Moule, B. Persaud, C. Lyon, S. Hallmark, H. Isebrands, R. B. Crown, B. Guichet and A. O'Brien : ROUNDABOUTS: An Informational Guide, Report FHWA-RD-00-067, pp.1-268, 2010.
- 3) S. U. Jensen : Safety Effects of Height of Central Islands, Sight Distances, Markings and Signage at Single-lane Roundabouts, 5th International symposium on Highway Geometric Design, pp.1-16, 2015.
- 4) 増澤諭香、榎本碧、福島宏文：ラウンドアバウト中央島の緑化マウンドに関する実験的研究, 第43回交通工学研究発表会論文集(研究論文), pp.123-129, 2023.
- 5) Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology, 3 (3), 203-220, 1993.