

ドライバーの運転行動からみた 積雪条件下のラウンドアバウトにおける 視線対象物の効果について

影山 裕幸¹・宗広 一徳²・石田 樹³

^{1,2,3}正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

¹E-mail:kageyama-h22aa@ceri.go.jp

²E-mail:k-munchiro@ceri.go.jp

³E-mail:t-ishida@ceri.go.jp

既往のラウンドアバウト研究の多くは乾燥路面条件下で行われ、冬期積雪寒冷地における安全性評価に関しては少ない。今回、積雪条件下でのラウンドアバウトにおける運転行動と走行位置に対する標識等の視線対象物の影響を把握するため、それらの設置条件について複数回の実験を計画し、2014年1月に1回目の実験を行った。結果、エプロンが無く昼間の良好な視界条件下では、視線対象物より中央島の方が車両の走行位置を把握するための重要な対象であることが分かった。よって、積雪条件下でラウンドアバウトの安全性を確保するためには、適切な冬期路面管理を行い、エプロンを効果的に視認させて車両速度を抑制させることが重要であると考えられる。

Key Words : roundabout, visual objects for delineation, driving behavior, snowy cold regions

1. はじめに

ラウンドアバウトは安全性、走行性、経済性等の観点から有利であり、特に重大な交通事故の抑制効果が大きいことから、欧米各国などでは交通量の比較的少ない平面交差構造として積極的に導入されている。例えば、アメリカではラウンドアバウトへ改良した交差点において、導入前後の交通事故状況を比較検証した結果、人身傷害を伴う事故率が半減したとの報告がある¹⁾。一方、日本国内では、ラウンドアバウトの導入事例が少ないものの、シミュレーション上の研究²⁾や試験道路での実験結果に基づく検証^{3,4)}、実道における社会実験^{5,6)}の実施、環状交差点の交通方法についての道路交通法の改正が行われる(2014年9月1日施行予定)等、近年、全国的な導入への機運が高まってきている。しかし、既存のラウンドアバウト研究は、基本的に路面が乾燥した状況を対象としている事例が多く、積雪寒冷地にラウンドアバウトを導入する場合、冬期路面時の運転行動を踏まえて、安全性や円滑性をより考慮した設計や対策を行う必要がある。

そこで、著者らは、積雪寒冷地におけるラウンドアバウトの安全性を検証するため、無雪期(2012年8月)と積雪期(2012年1月と2月)に、苫小牧寒地試験道路に設置した模擬ラウンドアバウトと一般道の実道平面交差点において被験者を用いた走行実験を行い、路面状態の違いによる運転行動への影響を考察した⁷⁾。結果、ラウンドアバウトは平面十字交差点と比べて、より安全確認がしやすく、かつ速度抑制効果により安全性が高い交差点形式であることが示された。しかし、ラウンドアバウトの夏期と冬期の運転行動を比較した場合、積雪状態である冬期ではドライバーの頭部の動きやハンドルの操作量が多くなった。この原因として、著者らは、冬期では路面条件以外にも、視覚的な要因が影響していると推察する。つまり、冬期では雪氷によって路面が被覆されており、自車の走行位置を把握するための視線誘導標や区画線といった明瞭な視線対象がほとんど無いため、頭部の動きとハンドル操作がより大きくなったと考える。

そして、運転行動と走行位置に対する視線対象物の影響を把握するため3期にわたる冬期実験を計画した。1期

目は、積雪条件下で視線対象物が運転行動と走行位置に及ぼす影響を、2期目はエプロンについての影響を、3期目は気象に着目した視界条件の影響を考察するためそれぞれの設定条件を変える走行実験である。本稿は、2014年1月に実施した1期目の実験の速報として、以下を明らかにすることを目的とする。

- ・運転行動に対する視線対象物の影響について
- ・被験者の世代による運転行動の違いについて

2. 実験方法

(1) 実験概要

本実験は、2014年1月14日～17日の日程で視界が良好な昼間の時間帯（9:00～16:00）に、寒地土木研究所が所管している苫小牧寒地試験道路にて実施した。そこに積雪を使用して模擬的に設置した小型の4枝のラウンドアバウトを対象として、各種の運転行動を測定する機器を搭載した実験車両と被験者（ドライバー）を用いた走行実験を行った。実験当日は、天候は晴れで最高気温が氷点下（-7.2℃～-0.8℃）となる圧雪路面の条件下で実施し、被験者は20歳代と60歳以上の女性で、それぞれ10名ずつの合計20名とした。

(2) 模擬ラウンドアバウト

実験を行うためのラウンドアバウトは、北海道の都市郊外部における2方向2車線道路同士の交差点を想定し、ドイツの設計ガイドライン⁸⁾で示されている小型1車線ラウンドアバウト（交通量が概ね10,000～25,000台/日以下に対応）を参考に設計を行った。そして、それを基に、北海道苫小牧市の郊外にある、寒地土木研究所が所管している苫小牧寒地試験道路内のアスファルトの路面上に、区画線を使用して2009年に設置した。なお、設置した路面の勾配はフラットである。今回の実験では、そのラウンドアバウトを基に、積雪を使用して、環道外径27m、中央島直径10m、環道幅員8.5m（エプロン幅員と路肩幅員を含む）で構成された冬期仕様のラウンドアバウトを再現した。なお、路面上に積雪が長期間にわたり存在する、北日本の積雪寒冷地の道路状況の再現のため、視覚からも環道との境界が判別できないように、同色の圧雪路面とした。エプロンについては、次期に実施を予定している実験条件の関係のため、エプロンの外縁部に段差は設置せず、環道と連続した高さとした。また、中央島の高さは、冬期のラウンドアバウトにおけるドライバーの視距に着目した研究⁹⁾にて得られた結果から、約1mとした（図-1）。



図-1 模擬ラウンドアバウトの設置状況

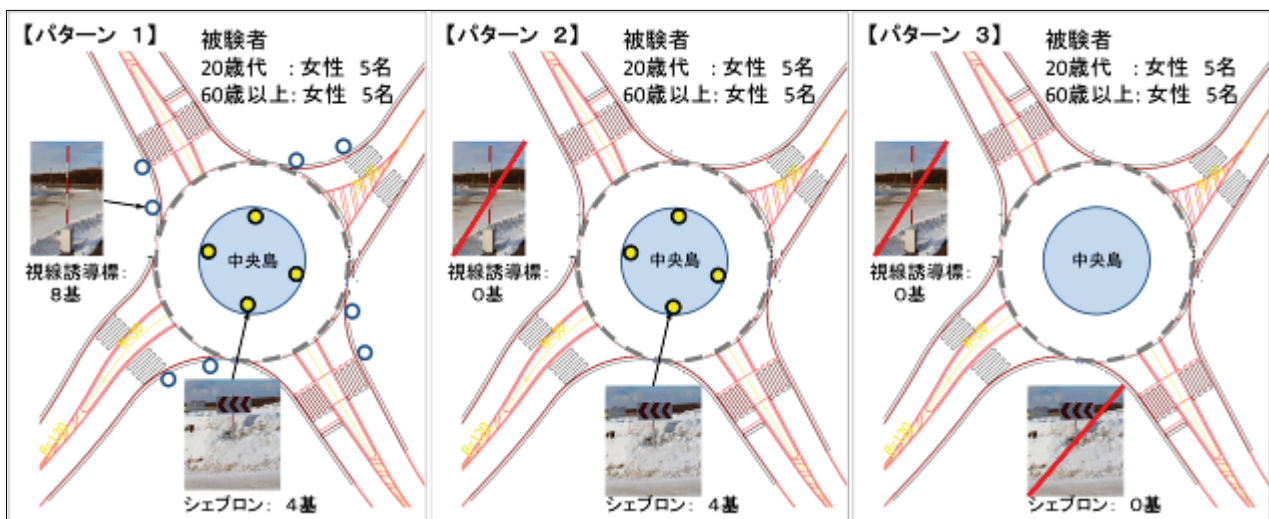


図-2 3種類の実験パターン

(3) 走行条件

走行実験は、実験車両と10台のダミー車両を使用して3種類の実験パターンを行った。1つ目の実験パターンでは、流入地点からのドライバーの視界正面に合わせてシェブロンを中央島に4基、加えて4つの流出路左側に視線誘導標をそれぞれ2基ずつ設置した。これをパターン1とした。2つ目は、パターン1から視線誘導標を撤去した状態とし、これをパターン2とした。3つ目は、視線誘導標とシェブロン両方の施設を撤去した状態とし、これをパターン3とした(図-2)。そして、この3種類のパターン毎に、実験実施者と被験者が運転する10台のダミー車両がランダムに走行し、その中を被験者が運転する実験車両が同乗する作業員の指示に従って、左折、直進、右折それぞれ2回ずつ行い運転行動を計測した。実験車両にドライバーとして搭乗しない残りの9名の被験者はダミー車両を運転し、1つのパターンを計測する度に交代して実験車両に搭乗した。

(4) 被験者

実験には20名の被験者が参加した。視線対象物に加えて、年齢層による運転行動の比較するため、その内訳は20歳代と60歳代以上の各10名ずつの合計20名の女性とした。女性を選択した理由としては、近年、運転免許保有者の女性の割合が男性を上回っており、加えて女性が交通事故の第1当事者になる割合も増加傾向にある¹⁰ことによる。被験者は全員が視覚に対しての健常者であり、20名中13名が年間走行距離5,000 km以下である(表-1)。また、実験前打合せでは、「環道内の交通流が優先されるので、環道内の安全が確認出来てから環道に入ってください」との旨を被験者に説明した。一方、ほぼ全員が初走行であり、自然体で環道内を走行させるため、エプロンの役割については説明しなかった。なお、20名の被験者を2つのグループに分けて走行実験を行い、1グループの内訳は20歳代5名と60歳以上5名の10名である。

表-1 各実験パターンにおける被験者の内訳

— 運転経験年数 — 年間走行距離	※すべて女性	
	20歳代 1年~10年 5,000km 未滿 以上	60歳以上 23年~40年 5,000km 未滿 以上
1月14日 パターン1 ~ パターン2	5名 0名	3名 2名
1月15日 パターン3		
1月16日 パターン1 ~ パターン2	4名 1名	1名 4名
1月17日 パターン3		
total	9名 1名 10名	4名 6名 10名

(5) データ取得・分析方法

実験では、一般的な乗用車に加速度計(DLI: レーステクノロジー社製)、ビデオカメラを設置し、これを実験車両とした。加速度計からは、車両速度や横加速度の車両挙動データを取得し分析した。ビデオカメラからは、被験者が行うハンドル操作を撮影し、この映像を用いて環道内でのハンドル操作の状況を分析した。なお、ハンドル操作はハンドルに装着したテープを目印にして操作角度を抽出した。また、走行中の安全確認行動計測のため、被験者にジャイロセンサ(objet: ATR社製)を固定した帽子を装着し、頭部の動いた速度と量を3次元の加速度データにより取得し、被験者の頭部の動きを分析した。サンプル数は20(被験者数)×2(走行回数)×3(パターン数)=120サンプルである。

走行位置を把握するため、GNSS衛星測位システム(HiPer II: TOPCON社製)を試験道路内(基地局)と実験車両(移動局)に設置した(図-3)。これにより実験車両の位置(緯度、経度)を計測し、ラウンドアバウトの平面図と実験車両の外寸データを重ねて、連続的な走行軌跡と車両の通過地点を確認した。そして、今回の実験では、被験者の差が出やすくなることを予想して、最も走行距離の長い右折方向に着目して軌跡を取得した。サンプル数は4名を任意で選択し、各実験パターンについて計測した12サンプルである。

主観評価については、実験走行の終了後に20名全ての被験者を対象にアンケート調査を実施し、「安全確認のしやすさ」「安心感」「視線対象物の役立ち度」について7段階スケールを用いて主観評価を行った。加えて、走行実験の感想を任意に回答してもらった。



図-3 GNSS衛星測位システムの概要

3. 実験結果

(1) 安全確認行動

3種類の実験パターンにおける、20歳代グループと60歳以上のグループとの安全確認行動の違いを把握するため、各被験者に装着したジャイロセンサから得られた頭部の動きの速度と量（距離）に着目した。このデータは、ラウンドアバウトの環道への流入地点から流出地点まで、つまり環道内において、安全確認のためにどの程度の速さと距離で頭部を動かしていたか（首を振っていたか）を示すものである。各実験パターン走行時における、左折・直進・右折それぞれについての頭部の動きの速度と距離の分析結果を図4に示す。

頭部の動きの速度について、左折・直進・右折それぞれの同一走行内では、3種類の実験パターン間に顕著な違いは確認できなかった。また、20歳代と60歳以上の被験者を比較すると、各実験パターンの全ての走行方向（左折、直進、右折）において、20歳代より60歳以上の被験者の平均値が低くなった。次に、有意差を確認するため、全ての走行方向における各世代間（20歳代と60歳以上）と各実験パターン間について、それぞれ検定と多重比較を行った。結果として、各世代間、各実験パ

ーン間ともに有意水準が5%で有意差は認められなかった。

頭部の動きの距離については、速度の場合と同様に、各実験パターン間と各世代間で比較した結果、同一の走行方向内での各実験パターン間に顕著な違いはなく、多重比較による有意差も認められなかった。各世代間の比較では、全ての走行において20歳代より60歳以上の被験者の平均値が低くなり、検定の結果からも有意差が認められた。

(2) ハンドル操作

環道への流入地点から流出地点における、ハンドルの最大操作角度と走行1 m当たりのハンドル操作角度を、それぞれ図5に示す。

ハンドルの最大操作角度について、それぞれの同一の走行方向内では、各実験パターン間に顕著な違いはなく、多重比較による有意差も全ての走行方向において確認されなかった。被験者について各世代間を比較した結果、各実験パターンの全ての走行方向において、60歳以上の被験者の平均値が20歳代より低くなった。また、有意差を確認するため検定を行った結果、パターン2と3における左折走行のみが有意となった。

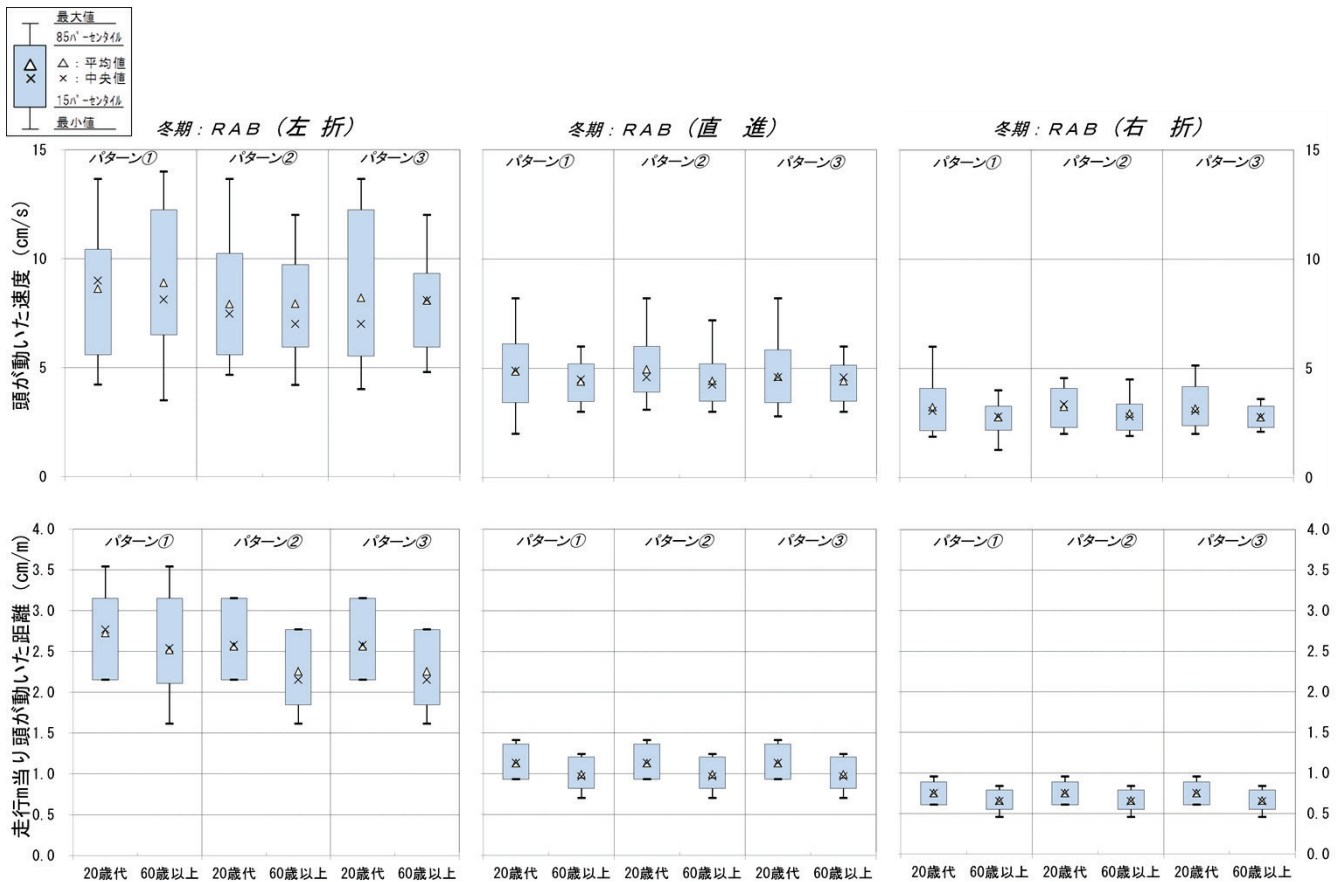


図4 環道内走行時の頭部の動きの速度（上段）と動きの距離（下段）

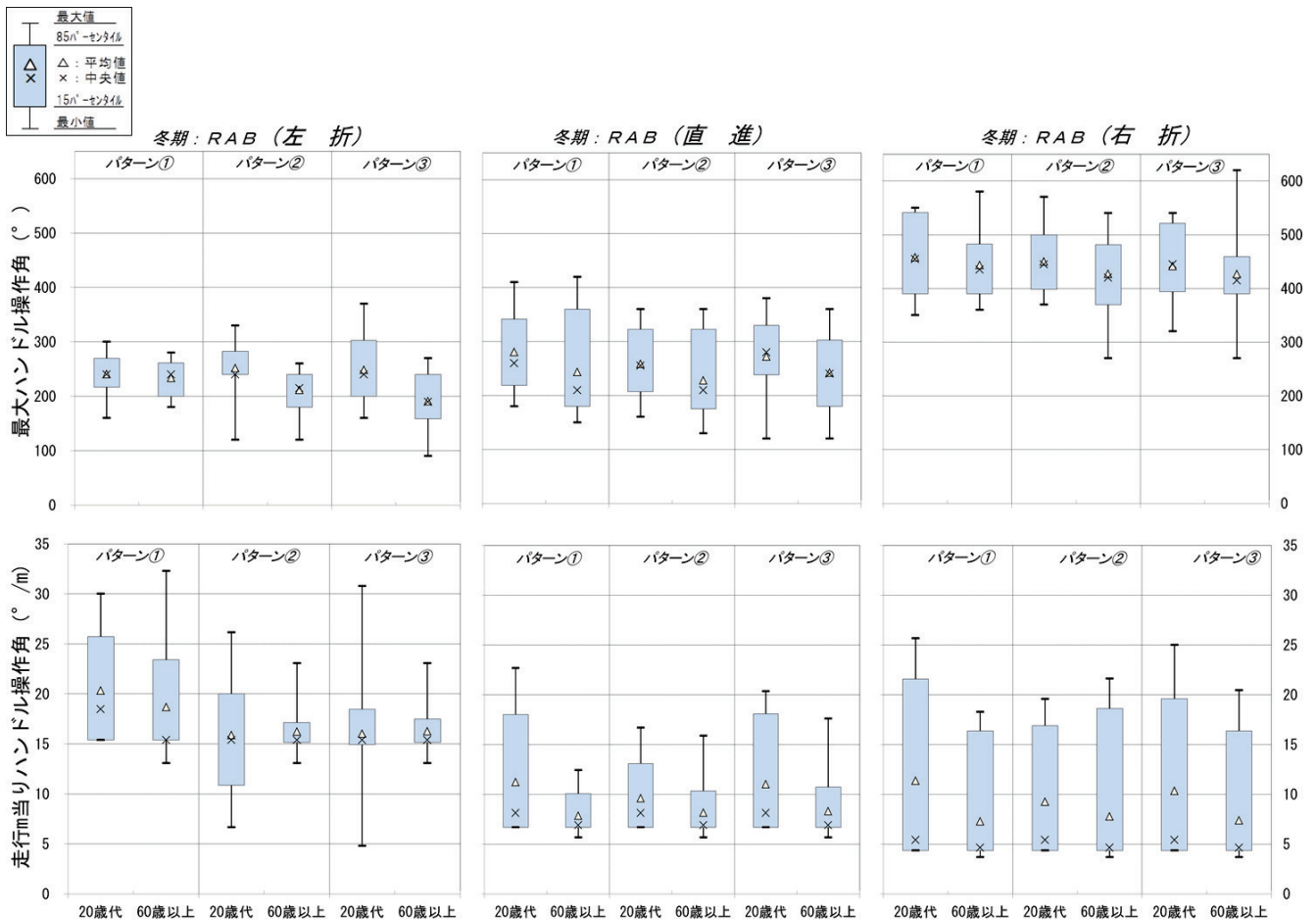


図-5 環道内走行時の最大ハンドル操作角度（上段）と走行1m当たりのハンドル操作角度（下段）

走行1 m当たりのハンドル操作角度については、速度の場合と同様に、各実験パターン間と各世代間で比較した結果、同一の走行方向内での各実験パターン間に顕著な違いはなく、多重比較による有意差も認められなかった。各世代間の比較では、検定による有意差が認められなかったものの、左折走行を除き、20歳代より60歳以上の被験者の平均値が低くなる傾向となった。

(3) 車両速度と横加速度

環道への流入地点から流出地点における、車両平均速度と横加速度の最大値をそれぞれ図-6に示す。車両平均速度について平均値に着目すると、それぞれの同一の走行方向内では、各実験パターン間に顕著な違いはなく、多重比較による有意差も全ての走行方向におい

て確認されなかった。また、85パーセンタイル値について左折が最も低く、直進が一番高い値を示した。被験者について各世代間を比較した結果、各実験パターンの全ての走行方向において、60歳以上の被験者の平均値が20歳代より高くなる傾向が確認できた。有意差を確認するためt検定を行った結果、直進走行における全てのパターンと右折走行におけるパターン2が有意となった。

最大横加速度については、平均速度の場合と同様に、各実験パターン間と各世代間で平均値を比較した結果、同一の走行方向内での各実験パターン間に顕著な違いはなく、多重比較による有意差も認められなかった。各世代間の平均値の比較では、世代間ともに同程度となり、検定による有意差も実験パターン3における左折走行以外は認められなかった。

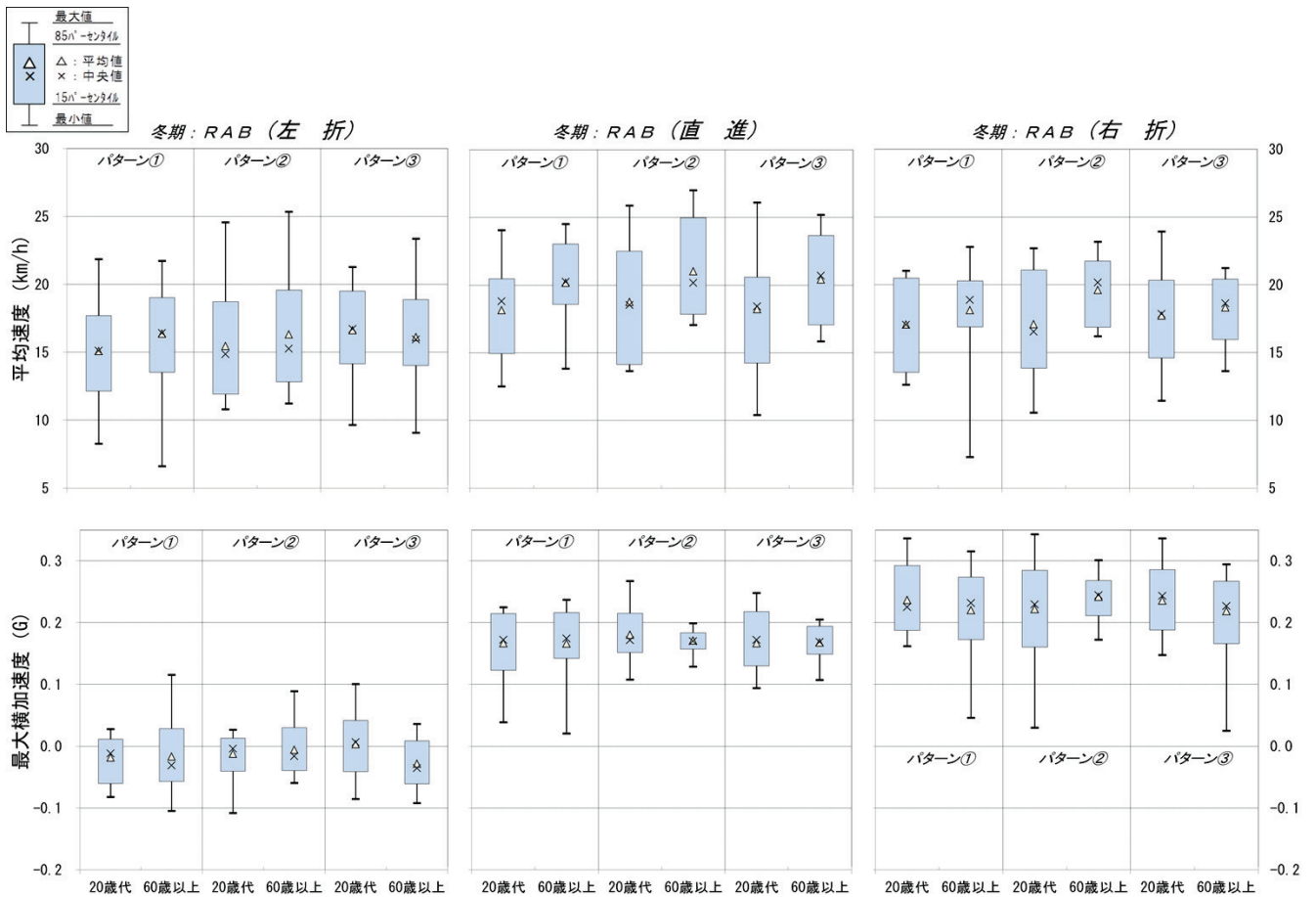


図6 環道内走行時の車両平均速度（上段）と車両最大加速度（下段）

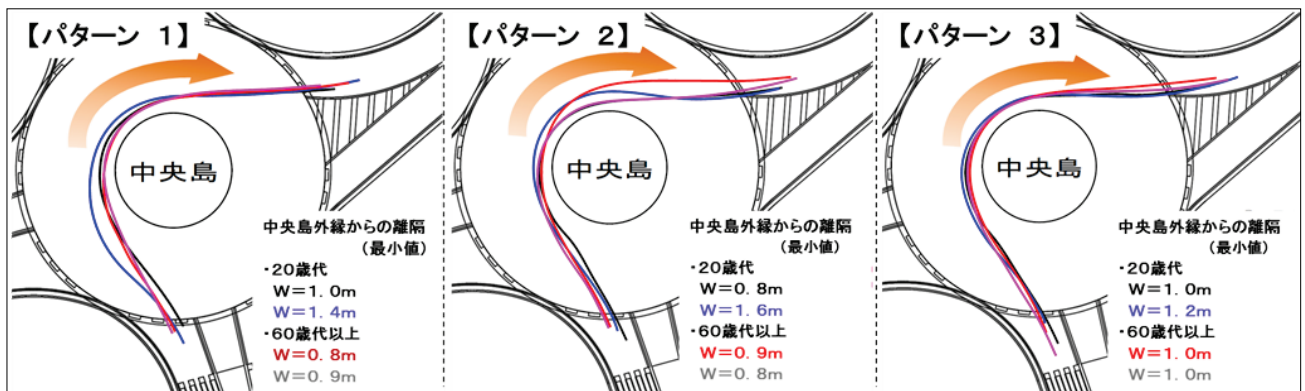


図7 環道内走行時の実験車両の軌跡（右折）

(4) 走行軌跡

各実験パターンにおける環道内での実験車両4台分（20歳代2台、60歳以上2台）の走行軌跡を図-7に示す。この軌跡は実験車両の右側面をトレースしたもので、図中の数値は中央島の外縁から車両右側面までの最小距離を示している。各実験パターン間については、パターン1の旋回前とパターン2の旋回後における軌跡に多少のば

らつきが見られるが、全体的に見ると同様の軌跡で、エプロンについて説明しなかったこともあり、エプロンの範囲以内を中央島外縁に沿って走行したことが確認出来る。各世代間では、60歳以上は中央島外縁からの離隔最小値が小さく、全体的に20歳代より少し内側を走行していた。

(5) 主観評価

走行実験終了時に行ったアンケートの結果について、走行中の安全確認のしやすさとストレスの度合いを図-8に、視線誘導標とシェブロンが走行中に視線の目標対象として役に立ったか（有効性）と必要だと感じるかどうか（必要性）を図-9にそれぞれ示す。安全確認について、同一の走行方向内での各実験パターン間に顕著な違いは認められないが、左折・直進・右折と走行距離の増加に反比例して評価が低下しており、各世代間の評価は距離

に比例して差が大きくなった。また、各パターン共に60歳以上の評価が20歳代より高く、右折走行では中間値を下回る評価があることが確認できた。ストレスについては、安全確認とほとんど同じ評価の分布となり、「安全確認のしやすさ」は「ストレスの少なさ」とほぼ同調する。有効性と必要性については、20歳代の視線誘導標に対する評価は、ほぼ中間値となり、60歳以上の評価より低い値を示した。一方、シェブロンは両世代において高い値を示した。

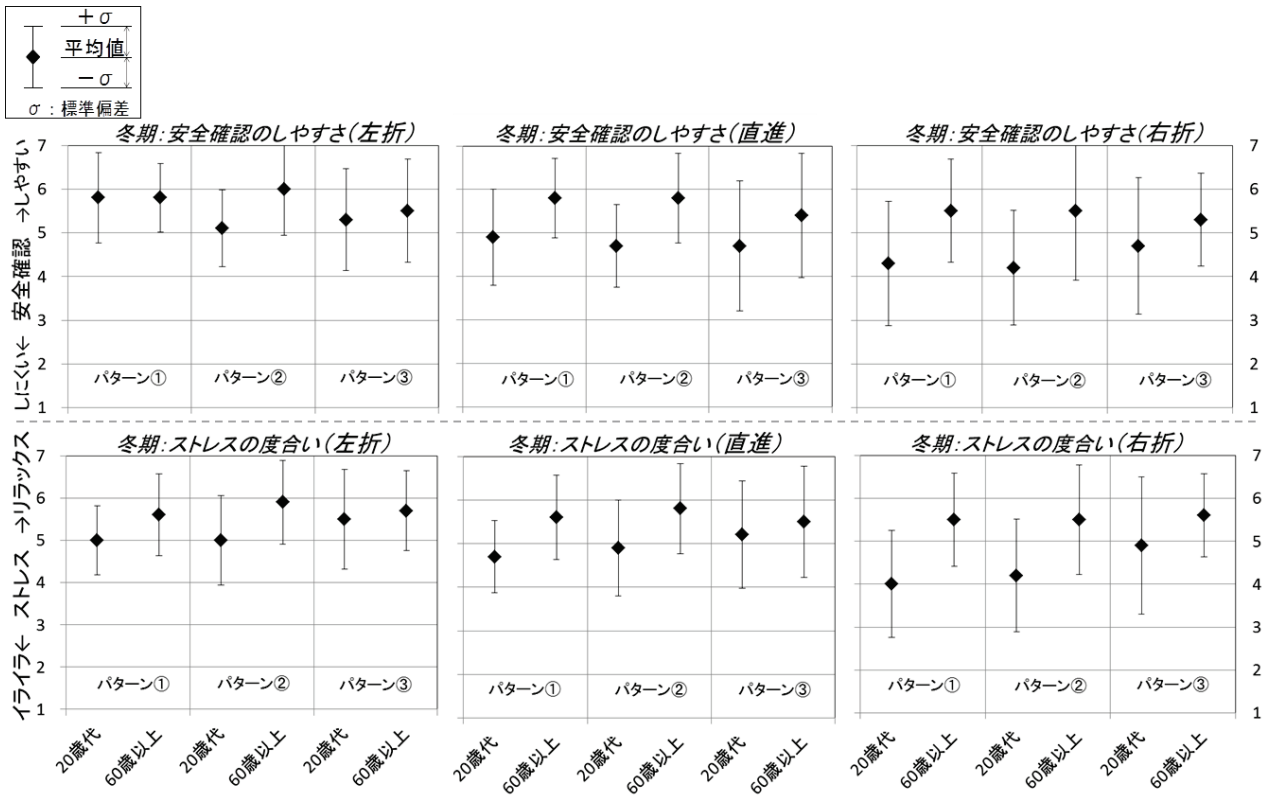


図-8 安全確認のしやすさ（上段）とストレスの度合い（下段）

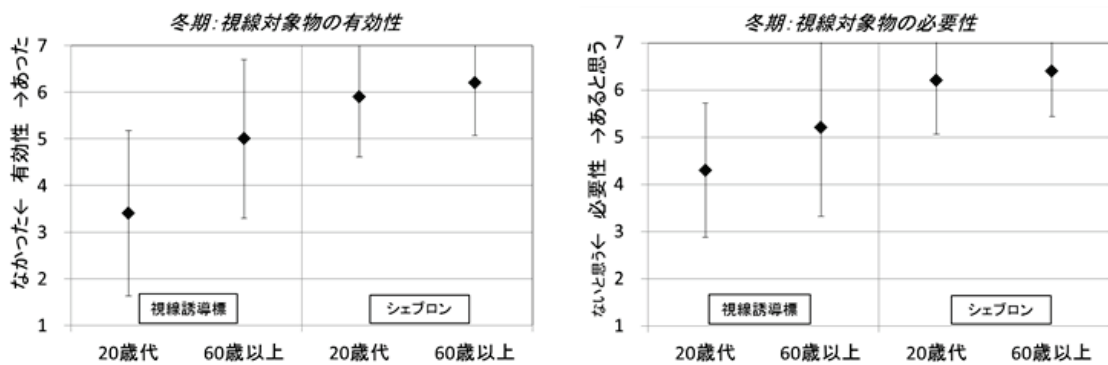


図-9 視線対象物の有効性（右側）と必要性（左側）

4. 考察

運転行動についての実験結果から、各実験パターン間に大きな差がなかった。したがって、今回計測した頭部の動き、ハンドル操作および車両の速度・加速度における運転行動に対して、設置した2種類の道路付属物の影響は少ないことがわかった。この理由として、以下の現場状況（写真-1）が要因であったと推測する。

- ・今回の実験当時は、少雪であったため実験箇所全体が積雪状態ではなく、交差点や道路構造の範囲以外はアスファルト路面が視認可能であり、道路境界が認識出来たこと。
- ・晴れた昼間の視界条件であったため、路面からの反射光によって視線対象物が目立つ対象物とならなかったこと。

また、主観評価の結果から、視線対象物の有効性と必要性について、シェブロンは両世代から高評価を得た。しかし、アンケート調査時に任意に聴取した被験者の感想からは、シェブロンは「進む方向を知るのに役に立った」といった進行方向を知る情報としての評価があったのに対し視線の目標対象としての評価はなかった。同様に、視線誘導標は「目印としてあまり役に立たなかった」「雪の多い地域では有効」「積雪が多く一面が覆われていたらあれば役に立ったと思う」といった評価であった。したがって、今回のような昼間の好条件下では、視線対象物は走行位置を把握するための対象とはなりにくく、逆の条件、つまり、視界条件が悪い夜間や悪天候時に実験を実施することで、運転行動に対するその影響を確かめる事が出来たと推測する。

走行軌跡の結果から、エプロンが視認出来ない積雪期では、昼間の走行位置の把握には視線対象物より主要構造体である中央島の方が目標として捉えやすい、つまり、



写真-1 走行実験の状況

中央島は車両の走行軌跡をコントロールする重要な要因であることが分かった。しかしその場合、左折以外は、流入から環道内での旋回まで直線的な軌跡となるため、速度が出やすく旋回時の挙動も不安定になると予想される（図-6）。したがって、常時積雪した状況下であっても、エプロンより外側の環道部分をドライバーに走行させる対策が必要であり、ラウンドアバウトの大きな特徴である速度抑制効果により交差点の安全性を確保するためには、適切な冬期路面管理を行い、如何にエプロンを効果的に視認させるかが重要であると考えられる。

世代間の運転行動の違いについて、安全確認に伴う頭部の挙動は20歳代が大きい。実際、実験中に観察した著者の所感では、積極的に頭部を動かし安全確認を行っている様子が見られた。それとは対照的に、60歳以上の被験者は、20歳代ほどの頭部の動きはなく、環道走行も円滑な印象だった。これは、車両速度は20歳代より速いが、頭部の動き、横加速度、ハンドル操作は20歳代と同等もしくは低い値だった実験結果からも裏付けられる。また、主観評価の結果も、60歳以上はラウンドアバウト走行中に「安全確認しやすい」「リラックスしている」の値が20歳代より高く、走行距離に比例して世代間の評価の差は大きくなっている。以上の結果から、初めての通行方法であっても、運転経験が長く運転頻度も多いドライバーほど、冷静かつ効率的な操作をおこない対処することが可能で、それが60歳以上の女性ドライバーであってもその傾向は当てはまると考える。ただし、我が国は、かつて無い程の高齢化社会を迎えており、これからも高齢者ドライバーの割合が増加する状況を鑑みれば、運転に対する慣れや注意力低下等の加齢要因も考慮した対策がより重要になる。

5. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- ・積雪状態で視界が良好な条件の下では、運転行動に対して視線誘導標とシェブロンの影響はなかった。
- ・主観評価から、今回使用した視線対象物は必要性の評価が高く、視線誘導標も被験者の感想から、視界条件によっては高い有効性を発揮すると推測する。
- ・ラウンドアバウトの安全性を確保するためには、適切な路面管理を実施し、ドライバーにエプロンを効果的に視認させることが重要である。
- ・運転経験と頻度が多い60歳以上の被験者は、頭部の動き、横加速度、ハンドル操作の値が若い20歳代より低く、安定した運転を行っていたと推察する。

今後は、積雪寒冷地における、より安全なラウンドアバウトの本格導入のために、積雪条件下でもドライバー

が効果的に視認できるエプロンの構造や冬期の路面管理方法を、今回の結果から得られた視界条件も考慮して、走行実験や各種気象条件を考慮したシミュレーション実験から運転行動データを用いて定量的に評価していく予定である。

参考文献

- 1) Federal Highway Administration: ROUNDABOUTS An Informational Guide, U.S. Department of Transportation, 2000.6.
- 2) 大里由紀広, 浜岡秀勝, 米山喜之: 簡易 DS を用いたラウンドアバウト走行における安全性評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM, 2010.
- 3) 吉岡慶祐, 中村英樹, 宗広一徳, 米山喜之: ラウンドアバウト走行実証実験における車両挙動分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM, 2010.
- 4) 小林寛, 高宮進, 吉岡慶祐, 米山喜之: ラウンドアバウト幾何構造基準の策定に向けた基礎研究, 国際交通安全学会誌, Vol.39, No.1, 2014.
- 5) 勝岡雅典, 倉田俊文, 鋤柄寛: 長野県飯田市におけるラウンドアバウト社会実験について, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 2011.
- 6) 中村英樹, 浜岡秀勝, 宗広一徳, 米山喜之ら: 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(III), 国際交通安全学会・研究調査プロジェクト報告書, 2012.3.
- 7) 影山裕幸, 宗広一徳, 石田樹: ドライバーの運転行動解析によるラウンドアバウトの冬期安全性の検証, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2013.
- 8) Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln (Herausgeber): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, 2006.8.
- 9) 宗広一徳, 大上哲也, 牧野正敏: ラウンドアバウトの冬期管理に関する実験的研究, 国際交通安全学会誌, Vol.39, No.1, 2014.
- 10) 財団法人 交通事故分析センター: ITARDA INFORMATION 特集・女性運転者による交通事故, No.60, 2006.

(2014. 7. 29 受付)