

雪氷路面状態でのラウンドアバウトの運転挙動計測実験*

Experiment of driving behavior at Roundabout on snow and ice pavement *

武本東**・宗広一徳***・葛西聡**

By Azuma TAKEMOTO**・Kazunori MUNEHIRO***・Satoshi KASAI**

1. はじめに

近年、欧米諸国では、交通量が比較的少ない平面交差点の構造としてラウンドアバウトが積極的に導入されている。ラウンドアバウトは、平面交差点を環道と呼ばれる流入車両の走行エリア、エプロンと呼ばれる普通自動車等の内輪差を考慮し走行を担保するエリア、中央島で構成され、原則として流入車両に対し環道走行車両が優先権をもつ運用方式である¹⁾。導入メリットの一つとして、中央島を物理的に乗り上げられない構造とし、流入車両に環道を走行させることで横加速度を与えて減速を促すことによる安全性の向上が挙げられる。

我が国においても、導入に向けて、信号交差点との性能比較²⁾や現行法体系化での交通運用³⁾等の研究が行われてきている。しかし、北海道のように積雪寒冷地に導入する場合の課題については十分な検討がなされていない。そこで、本研究では、苫小牧寒地試験道路にラウンドアバウトを模擬設置し、秋期と冬期に被験者を用いた走行実験を行うことにより、以下を把握することを目的とした。

- ①路面状態の違いによる運転挙動の変化
- ②路面状態の違いが主観評価に与える影響
- ③実験を踏まえた冬期の課題と対策案

2. ラウンドアバウトの模擬設置

(1) ラウンドアバウトの模擬設置

実験を行うためのラウンドアバウトは、北海道郊外部の第3種第2級相当同士の交差点を想定し、ドイツの設計ガイドラインで示されている小型ラウンドアバウト(交通量が概ね10,000~25,000台/日以下に対応)を参考として設計した⁴⁾。具体的には、環道幅員は5mとし、直径8mの中央島と幅員4mのエプロンを有する外径26m

*キーワード：ラウンドアバウト、運転挙動、積雪寒冷地

**正員、(独)土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム
(北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号、
TEL011-841-1738、FAX011-841-9747)

***正員、博士(工学)、(独)土木研究所寒地土木研究所
寒地交通チーム

の構造とした(図-1)。流入部は4箇所設けて、流入角度と車線幅員をそれぞれ異なる値で設定した(表-1)。

以上の条件をもとに、苫小牧寒地試験道路において、仮設用路面標示材(3M製CV00001A)を用いて、ラウンドアバウトの線形を示す区画線を施工した。また、環道と流入部の境界の「ゆずれ線」、エプロン環道側に視覚的に進入防止を促すための路面標示を施工した。中央島及び交通島は、土嚢と人工芝シートを用いて造成し、緑石の代わりにブロックを配列して、物理的に乗り上げられない構造とした。

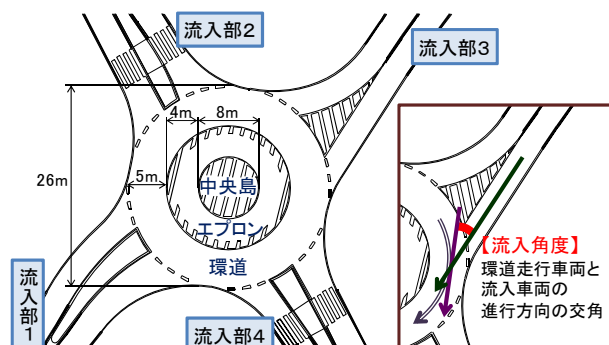


図-1 模擬設置したラウンドアバウト

表-1 各流入部の流入角度と車線幅員

流入部番号	1	2	3	4
流入角度(度)	42	65	26	65
車線幅員(m)	3.50	3.50	3.25	3.50

(2) 標識の設置

諸外国では、流入車両に対して一般に「前方優先道路」または「ゆずれ(YIELD)」の標識を用いて制御しているが、我が国ではこれに該当する標識が現行で認められていないことから、以下の通り設置することとした(図-2)。

- (a) 流入部の環道手前の左側路端に、「徐行」または「一時停止」の規制標識を設置するとともに、ラウンドアバウトの進行方向を示す法定外看板を設置
- (b) ゆずれ線の手前30mの左側路端に「ロータリーあり」を示す警戒標識を設置
- (c) 中央島に進行方向を示す法定外看板を設置

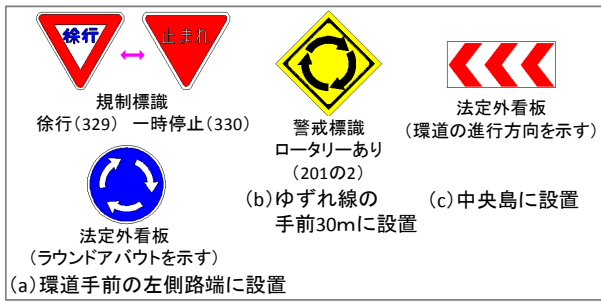


図-2 ラウンドアバウトに設置した標識

3. 実験概要

(1) 実験場所と実験期間

本実験は、苫小牧寒地試験道路において、2009年9月16日（水）、17日（木）と、2009年1月12日（火）に行った（写真-1、表-2）。秋期（9月）の実験日は晴れており、1日中乾燥路面であった。冬期（1月）の実験は、雪氷路面状態で行った。

雪氷路面のすべり摩擦係数を把握するため、加速度計（コラルバ製）を用いて、実験前に6回計測を行った。計測値のうち、最大値と最小値を除いた4データを平均した結果、すべり摩擦係数は0.18であった。これは、北海道において一般的な雪氷路面のすべり摩擦係数の値である0.10～0.30の範囲内であった。



写真-1 実験状況（左：秋期、右：冬期）

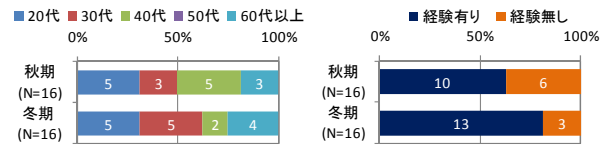
表-2 実験期間の天候、路面状態、気温

	実験日	天候	路面状態	すべり摩擦係数	気温（度）	
					最高	最低
秋期	H21.9.16	晴れ	乾燥	-	21.6	12.9
	H21.9.17	晴れ	乾燥	-	20.7	10.4
冬期	H22.1.12	曇り	圧雪	0.18	-0.5	-11.3

(2) 被験者属性と運転挙動計測方法

実験には、被験者として20代から60代以上の男性の一般ドライバーが秋期と冬期で各16人参加した（図-3）。乗用車を1人1台用意し、そのうち秋期は6台、冬期は7台にセーフティレコーダー（データテック製 SRcomm）を搭載して、1秒間隔の速度と0.1秒間隔の横加速度を計測した。なお、秋期と冬期の両方の実験に参加した被験者は10名であり、運転挙動計測車両を運転した被験者は、

夏期と冬期で3人が重複している。また、過去の実験を含めてラウンドアバウトの走行経験がある被験者は、秋期は16人中10人、冬期は16人中13人が該当した。



(a) 年代 (b) ラウンドアバウトの走行経験

図-3 被験者属性

(3) 実験方法と評価項目

本実験は、流入部1～4に4台ずつ車両を配置して、一斉に運転を開始し、ラウンドアバウト通過後は周回路を経て再度ラウンドアバウトに流入する走行を繰り返すものであり、1回当たり5分間行った。秋期は、徐行標識を用いた実験を4回、一時停止標識を用いた実験を1回行った。冬期は、徐行標識を用いた実験を3回、一時停止標識を用いた実験を2回行った。各日の実験後にはアンケートを行った（図-4）。これをもとに表-3に示す項目について分析した。

図-4 実験後のアンケート票

表-3 実験の評価項目

	評価項目
運転挙動	a) 季節別、標識種類別及び流入部別の流入部走行速度
	b) 季節別の環道走行時の速度と横加速度
	c) 季節別の環道内の走行位置
	d) 冬のラウンドアバウト走行時と十字交差点右左折時の横加速度
主観評価	a) 走行経験を重ねることによる主観評価の変化
	b) 3種類の交差点（ラウンドアバウト、信号十字交差点、無信号十字交差点）の走りやすさと安全性

4. 実験結果

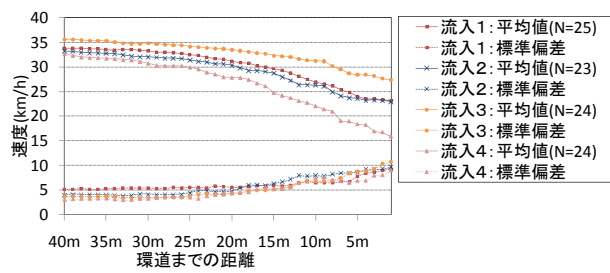
(1) 路面状態の違いによる運転挙動の変化

a) 流入部走行速度

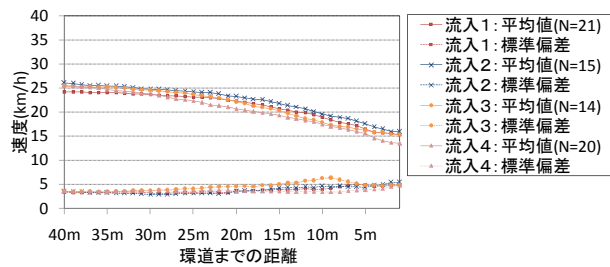
環道手前に徐行標識を設置した状況では、秋期は流

入部3の平均速度が最も高く、流入部4の平均速度が最も低くなった(図-5(a))。流入部3と流入部4の環道流入時の速度差は11.5km/hであった。冬期は秋期と比べて、流入部の違いによる速度差が小さく、どの流入部においても、平均速度が低かった(図-5(b))。また、秋期は、環道に近づくに従い、速度の標準偏差が約5km/hから約10km/hに増加したが、冬期の標準偏差は約5km/hでほぼ一定であった。

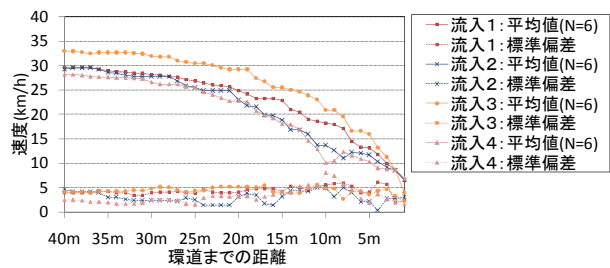
次に、一時停止標識を設置した状況では、秋期は、環道の直前まで流入部3の平均速度が最も高く、流入部2と流入部4の平均速度が低かった(図-5(c))。冬期は、徐行標識の状況と同様に、流入部の違いによる速度差が小さかった(図-5(d))。



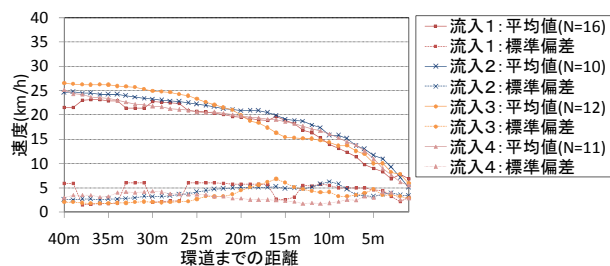
(a) 秋期の徐行標識



(b) 冬期の徐行標識



(c) 秋期の一時停止標識

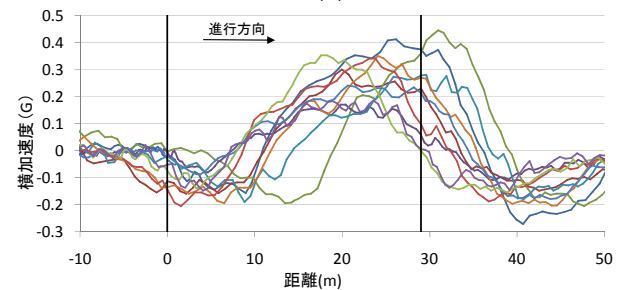
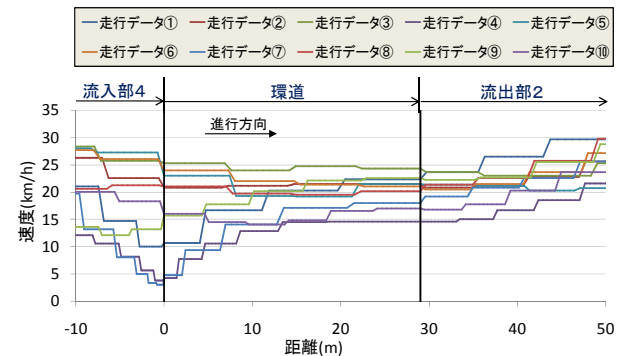


(d) 冬期の一時停止標識

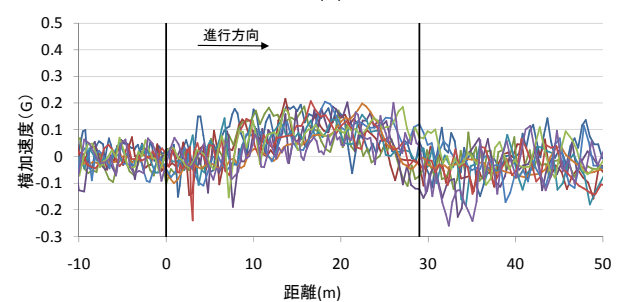
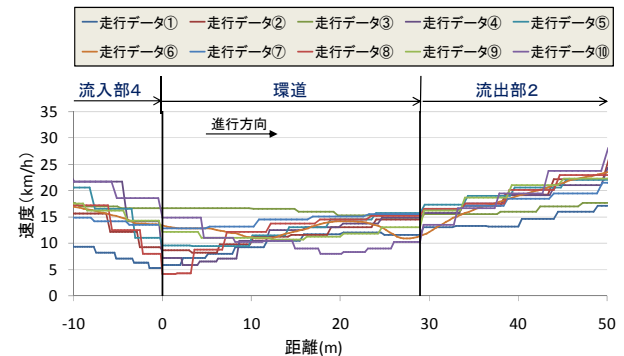
図-5 季節別標識種類別流入部別の走行速度

b) 環道走行時の速度と横加速度

徐行標識を用いた実験時における流入部4から流入し流出部2で流出した車両10台の速度と横加速度の推移を図-6に示す。秋期は、環道内を15~25km/h程度で走行する車両が多かったのに対し、冬期は環道内を10~15km/h程度で走行する車両が多かった(図-6)。秋期の横加速度は、環道内で最大0.4G程度となり、環道流出後に最大0.3G程度となった。一方、冬期の横加速度は、環道内及び環道流出後共に最大0.2G程度であった。



(a) 秋期の徐行標識 (N=10)



(b) 冬期の徐行標識 (N=10)

図-6 環道内の速度と横加速度(流入部4→流入部2)

c) 環道内の走行位置

高架車両から撮影した動画をもとに、秋期と冬期の右左折直進車両各10台を対象として、中央島端から車両右端までの距離を計測した。計測対象とした車両は、他の車両の影響を受けずに環道内を走行していた車両であり、目視により計測した。

秋期は、どの挙動においても、エプロンに進入する車両は稀であり、中央島端から車両右端までの平均距離は、直進時が4.5m、右折時が4.9mであった(表-4)。一方、冬期の平均距離は直進時が2.7m、右折時が3.1mとなり、エプロンを踏んで走行する車両が多かった。左折時の平均距離は、秋期と冬期で変わらなかった。

表-4 中央島端から車両右端までの平均走行位置

	直進時 (N=10)	右折時 (N=10)	左折時 (N=10)
秋期	4.5m	4.9m	6.2m
冬期	2.7m	3.1m	6.0m

※ 0~4.0mがエプロン内、4.0~9.0mが環道内を示す

d) ラウンドアバウトと十字交差点の横加速度

冬期の実験時の路面において、十字交差点を想定した右左折挙動を各4回行い、その時の速度と横加速度を計測した。走行1回毎の走行軌跡、横加速度の最大値及び最大値が計測された位置を図-7に示す。

約10~15km/hで走行したときの右折時の横加速度は0.12~0.21G、左折時の横加速度は0.14~0.19Gであった。計測された横加速度は、前述のラウンドアバウトの環道走行時の横加速度と比較して、ほとんど変わらないことを確認できた。

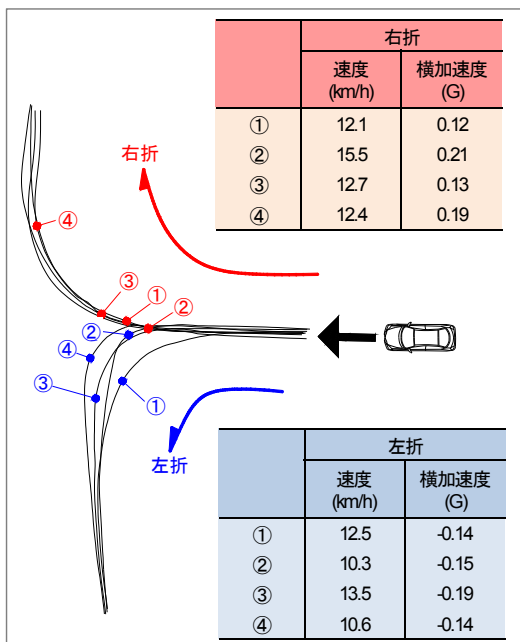


図-7 十字交差点右左折軌跡と最大横加速度計測位置

(2) 路面状態の違いが主観評価に与える影響

a) 走行経験を重ねることによる主観評価の変化

走行経験を重ねることによるラウンドアバウトの走りやすさと安心感の変化を把握するため、7段階の評価指標(7:最も肯定的な評価、1:最も否定的な評価、4:中間評価)を用いてアンケートを行った。

過去のラウンドアバウト走行経験別に集計した結果、秋期冬期共に、過去に走行経験がある被験者の評価の平均値は、走りやすさ、安心感共に、走行経験を重ねても同程度であったのに対し、過去に走行経験がない被験者の評価の平均値は、秋期は1日目終了時よりも2日目終了時のほうが高くなり、冬期は前半の実験終了時よりも後半の実験終了時のほうが高くなった(図-8)。このことから、ラウンドアバウトは、走行経験を重ねることにより、走りやすさと安心感が向上すると考えられる。

次に、秋期の2日目終了時と冬期の後半終了時の評価を比較した結果、冬期は、走行経験の有無に関わらず、走りやすさ、安心感共に、秋期と比べて低くなった。

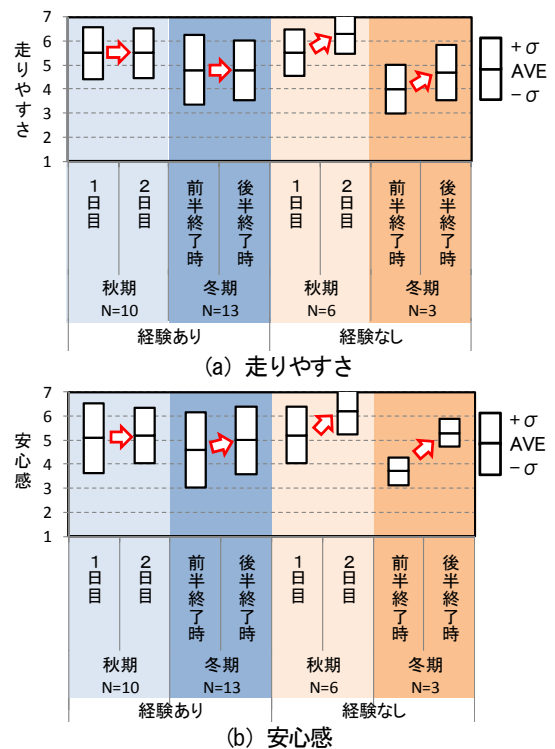
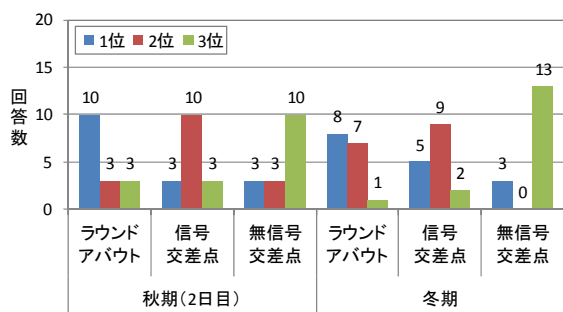


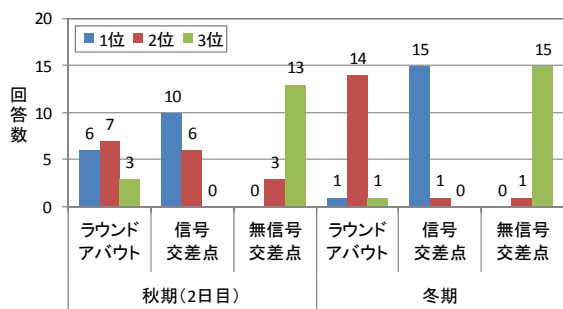
図-8 ラウンドアバウト走行経験別の主観評価

b) 交差点別の走りやすさと安全性の順位

ラウンドアバウト、信号交差点、無信号交差点の走りやすさと安全性について、秋期と冬期の実験後に主観による順位付けを行った。その結果、ラウンドアバウトの走りやすさについては、秋期は1位に選ぶ被験者が10人で最も多く、冬期は1位に選ぶ被験者が8人、2位に選ぶ被験者が7人であった(図-9)。ラウンドアバウトの安全性については、秋期は1位か2位に選ぶ被験者が多く、冬期は2位に選ぶ被験者が最も多かった。



(a) 走りやすさ (N=16)



(b) 安全性 (N=16)

図-9 交差点別の走りやすさと安全性の順位

5. 実験を踏まえた冬期の課題と対策案

(1) 流入部及び環道での走行速度からみた考察

冬期の走行速度は、ラウンドアバウト流入時及び環道走行時ともに、秋期と比べて低下した。これはラウンドアバウトの長所の一つである速度抑制効果の観点からいえば、望ましい結果である。しかし、秋期のように、流入角度等道路線形が異なることにより流入速度が変わるという状況は見られず、また、冬期の走りやすさと安心感の主観評価は、秋期に比べて低くなった。これらは、実際の道路線形が明確に分からない状態で走行していたことが起因していると考えられ、降雪時等視界不良時においても安心して走行できるように、環道流入時の走行位置をより明確にする対策が必要である。

(2) 環道内での走行位置を踏まえた考察

冬期は秋期と比べて、環道走行時に中央島により近い位置を走行したため、車両が受ける横加速度が小さかった。中央島に近い位置を走行した原因として、雪氷路面状態では、車両の通行に伴い轍が発生しやすく、後続車両の走行は、路面標示よりも前走車両の走行軌跡に影響されやすいことが挙げられる(写真-2)。このため、最初に走行した車両が環道の内側を走行し轍を形成すると、後続車両も同じ走行軌跡を取りやすくなる。こうした状況とならないために、定期的に除雪を行うことにより轍の発生を抑えることは当然必要であるが、環道内の適切な走行位置をより明確にする対策を併せて行うことが望ましい。



写真-2 走行車両による轍の発生とエプロン走行車両

(3) 対策案の検討

環道流入時及び環道内での走行位置を明確にするとともに、より横加速度を受けやすい環道外側を走行させるための対策として、積雪寒冷地では、ランブルストリップスのように車線に沿って道路に連続した凹型溝を設ける対策が考えられる。ランブルストリップスは、冬期でも除雪後であれば、車線逸脱を音と振動により警告する対策であり、流入部の車線端やエプロンに施工することにより、走行位置を明確にできるため、安全性が向上する可能性がある。

6. おわりに

実験で得られた運転挙動データから、冬期の雪氷路面時では、環道流入時及び環道内での走行速度が低下すること、ラウンドアバウト走行時と十字交差点右左折時の横加速度はほぼ変わらないことを確認した。また、主観評価の結果から、ラウンドアバウトは、走行経験を重ねることにより道路利用者の評価が向上する可能性があることを把握した。

こうした肯定的な知見が得られた一方で、冬期の路面標示が見えない状況では、中央島に近い位置を走行すること、冬期の主観評価は秋期ほど高くないことといった課題も確認できた。これらを踏まえ、積雪寒冷地でのラウンドアバウト導入に向けて、雪氷路面時での走行位置を明確にする対策が必要であることについて考察した。

今後は、多様な雪氷路面状態での走行性を確認するとともに、冬期の安全性を向上させるための対策についてさらに検討する予定である。

参考文献

- 1) 中村英樹, 大口 敬, 馬淵 太樹, 吉岡 慶祐: 日本におけるラウンドアバウトの計画・設計ガイドの検討, 交通工学 Vol. 44, No. 3, 2009. 5.
- 2) 中村 英樹, 馬淵 太樹; 車両間交錯度を考慮したラウンドアバウトと信号交差点の性能比較分析, 交通工学 Vol. 41, No. 5, 2006. 9.
- 3) 米山 喜之: ラウンドアバウトの交通運用, 第39回土木計画学研究発表会, 2009. 6.
- 4) Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen; Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (ドイツにおけるラウンドアバウトの設計ガイドライン), 2006. 8.