

ラウンドアバウトを対象とした交通調査手法の 検討と費用対効果算出への活用 —さらなる導入を目指して—

北海道開発局 建設部 道路計画課 ○西崎 諒真
角張 弘幸
株式会社ドーコン 交通事業本部 交通部 蛸名 将平

日本ではラウンドアバウト（RAB）の導入が進む一方、効果の定量的評価は十分でない。本研究では、RABの導入促進を目的に物体検出モデルYOLOを用いた映像解析により交通データを効率的に取得する方法を検討した。9台のカメラで得た映像から車両を識別し、誤検出を補正することで、方向別交通量や所要時間を高精度に算出し、信号交差点との比較でRABを整備による費用対効果を検証した。

キーワード：AI、ラウンドアバウト、費用対効果

1. はじめに

近年、交通安全性の向上や円滑な交通流の確保を目的として、信号機を設けない交差点制御方式である「ラウンドアバウト（以下、RAB）」の導入が全国的に進められている。RABでは、車両が環状交差点を右回りに走行し、環道交通流に優先権があり、かつ環道交通流は信号機や一時停止などにより中断させない運用を行う。この運用により、交差点内での衝突事故の減少が期待されるほか、信号待ちが不要となることで平均遅れ時間の短縮にも寄与する。日本国内では、令和7年3月末時点で176箇所¹⁾のRABが運用されており、その数は増加傾向にある。さらなる導入促進に向けては、効果を定量的に示すことでRAB導入への理解を深める必要がある。

一方で、RABの効果を定量評価するには、交差点内外の交通流や車両挙動を詳細に把握する必要がある。しかしながら、従来の人手観測や固定カメラ映像の手動解析では、調査コストや精度面で課題が残る。近年では、AI技術の発展により、物体検出・追跡モデルを用いた映像解析による交通調査が注目され、効率的かつ高精度なデータ取得が期待されている。一方、映像解析はカメラの画角や遮蔽物、時間帯などで精度が低下する課題もあり、これらの解決に向けた知見の蓄積も必要である。

このような状況を踏まえ、本研究はRABを対象にAIによる物体検出・追跡と人手の補助処理を組み合わせ、効率的かつ比較的高精度な定量データを取得し、RAB導入前後の交差点における総所要時間および総費用を算定し、RAB導入の時間短縮効果と費用対効果を明らかにすることを目的とする。

2. 既往研究レビューと本研究の位置づけ

国内においてもRABに関する研究は徐々に蓄積されつつあり、その有効性が多角的に検討されてきた。

康ら²⁾は、日本におけるRABの流入交通容量推定モデルを構築し、歩行者交通量や分離島の有無が容量低下に与える影響を分析した。軽井沢町の観測データでモデルの妥当性も確認している。神戸ら³⁾は、国内既設RABおよび社会実験中の交差点で実測データを収集し、流入交通量と容量の関係を分析した。歩行者や自転車横断が交通容量に与える影響の大きさを明らかにしている。吉岡ら⁴⁾は、実車走行実験を通じてRABと信号交差点のCO₂排出量を比較分析した。低交通量下でRABが環境負荷を抑制できる一方、交通量増加で優位性が減少することを示した。宗広ら⁵⁾は、北海道内の3箇所のRABを対象に、交差点速度、遅れ時間、CO₂排出量の削減効果を被験者走行実験で評価した。さらに冬期維持管理に関する除雪実態も調査し、地域特性に応じた整備の必要性を指摘している。鈴木・安田⁶⁾は、3箇所のRABにおける映像観測データを基に、歩行者挙動と車両挙動を分析し、PET指標を用いて潜在的危険性を評価した。停止線と横断歩道の間隔を縮小することが、安全性の向上に有効であることを示した。

それぞれの研究が主に扱う目的と使用指標を図-1に示す。既往研究では、交通処理能力、環境負荷、安全性の観点から多様な指標を用いてRABの効果が検証されてきた。一方で、実測データに基づきRAB導入の費用対効果を明らかにした研究は限られている。そこで本研究は、AIによる物体検出・追跡技術を活用し、実測データに基

づいてラウンドアバウトの費用対効果を定量的に評価する点に意義がある。

3. 対象交差点と使用データ

本研究では、RAB における交通特性を定量的に把握するため、物体検出モデルを活用した映像解析による交通調査手法を検討した。以下に、調査対象の概要、映像取得方法、物体検出モデルの設定について述べる。

(1) 対象箇所

本研究の対象は、北海道の国道 228 号に位置する上ノ国大留交差点の RAB である(図-2)。この交差点は 2019 年 10 月より運用が開始されており、北海道内における先進的な RAB 事例の一つである。

(2) 映像取得方法

RAB 全体および各流入出部の交通状況を網羅的に記録するため、計 9 台のカメラを用いて映像を取得した。カメラは、環状部を俯瞰できる位置に 1 台、各流入出部にそれぞれ 1 台ずつ設置し、RAB 全体の交通状況を同時に記録可能な構成とした。撮影は 2025 年 5 月 22 日の午前 7 時から午後 7 時の昼間 12 時間に実施した。

(3) 物体検出・追跡モデル

本研究ではビデオ映像をもとに物体検出・追跡を行うモデルとしてYOLOv11^⑧を用いた。YOLOv11は、2024年9月に公開されたYOLO (You Only Look Once) モデルの一つである。YOLOモデルは、物体の検出と識別を同時に行える特徴がある。検出された物体は矩形 (バウンディングボックス) として存在領域が数値データ化され、検出された物体にはIDが付与される。

フレーム間で同一物体であると判別される場合は、同一IDが付与され追跡される。検出された物体を追跡するためのモデルとしては、BoT-SORT (2022年6月発表) と ByteTrack (2021年10月発表) の2種類が搭載されているが、本研究では公式ベンチマークの結果^⑨を踏まえ、MOTA (物体追跡を開始する精度) とIDF1 (正しいID (追跡対象車両) を保持し続ける精度) が高いBoT-SORTを採用した。

4. 交通データの取得方法

本研究で検討した、YOLOを用いたRABの方向別交通量、所要時間、旅行速度算出手法の処理フローを図-3に、それぞれの処理の概要を以下に示す。

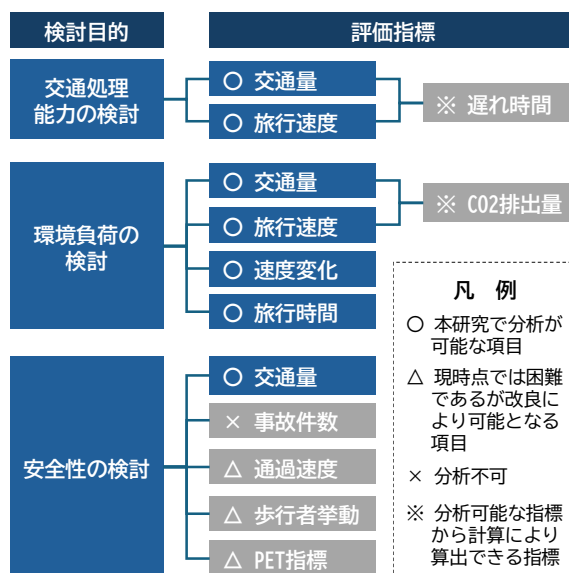


図-1 RABに関する研究の検討目的と評価指標



図-2 RAB概観^⑦より引用

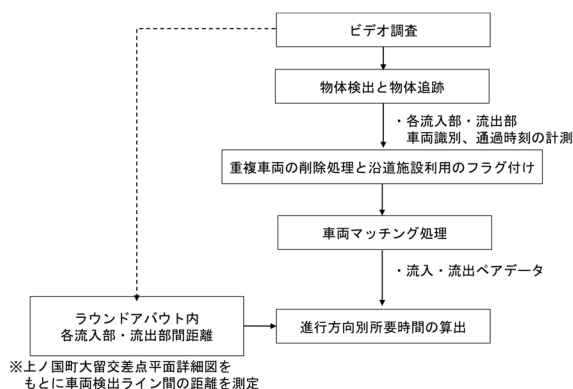


図-3 提案手法の処理フロー

(1) 物体検出と物体追跡

各交差点の流入出部を撮影した動画に対して、YOLOによる物体検出および物体追跡を行う。車両と判定された領域をバウンディングボックスで囲み、その重心点を計測基準点とした。計測基準点は、フルHD動画の左上隅を原点 (0, 0) とした。スクリーン座標系とし、車両が移動すると、それに応じてバウンディングボックスと計測基準点も移動することとなる。車両の走行軌跡は、

この計測基準点をフレームごとに記録したものとなる。また、RABの流入出部には計測ラインを設定し、通過した車両に対し、車両ID、車種、通過時刻、通過時のフレーム画像を抽出し記録した(表-1)。

(2) 重複車両の削除処理と沿道施設利用のフラグ付け

同一車両に対して複数の画像が抽出されている場合、30 フレーム以内に抽出された画像群のうち、最初に抽出された画像のみを保持し、残りは除去した。また、沿道施設への出入りが確認された車両には、施設利用を示すフラグを付与した。さらに、路上駐車や作業車など、外的要因によって通常の交通流とは異なる挙動を示した車両には、事象フラグ（異常挙動を示す識別子）を付与した。フラグの付与は人手で容易に行えるように専用のインターフェイス(図-4)を開発した。

(3) 車種の誤判別の修正

YOLOは既存の物体検出モデルを用いて、車両をcar、truck、busの3種に分類することが可能である。本研究では、YOLOv11の既存モデルを用いて車種判定を行ったが、分類精度に課題があることが確認された。特にcarが他の車種として誤検出される傾向が見られた。

このため、計測ライン通過時に抽出された画像に対して、目視による車種判定を併用し、YOLOによる判定結果との比較を行った(表-2)。その結果、YOLOv11ではcarの検出数が目視観測と比較して大幅に少なく、代わりにtruckやbusとして分類されるケースが多く確認された。truckに関しては、目視による観測数の約9倍が検出されており、carとの誤分類が顕著である。busについても同様に過剰検出が見られた。

これらの誤分類は、車両のサイズや形状、撮影角度、照明条件などの影響が考えられ、これらは既存モデルの適用精度に限界があることを示している。したがって、既存モデルを用いた車種判定には、目視による補正や対象環境に適したモデルの再学習が必要である。しかし、AIモデルの再学習には大量のデータ収集や学習時間が必要となるため後続の研究に譲ることとし、本研究では現実的な対応として目視による補正を実施した。

(4) 車両マッチング

はじめにRABの全景動画にYOLOの車両検出、追跡を行い、方向別交通量を求めるように試みた。しかし、以下の理由から車両の追跡は困難であり、トラッキングによる方向別交通量の計測も困難であった。

- ・ 遮蔽物の存在：電柱や標識によって、車両が一時的に視認できなくなる場面が多く見られた。
- ・ 画角の制限：カメラの視野角では、すべての流入出部を高解像度で捉えることができず、特に遠方の車両の識別が困難であった。
- ・ 解像度の不足：カメラから遠い位置を通過する車両は、

表-1 計測ライン通過車両のデータ記録様式

カラム名	カラム内容
seq	通し番号
vehicle_id	車両ID
frame_id	通過時のフレーム番号
timestamp	カメラ別のタイムスタンプ
synced_timestamp	全カメラで同期したタイムスタンプ
vehicle_type	車種 (car/truck/bus)
x_center	車両矩形の重心X座標
y_center	車両矩形の重心Y座標
file	検出フレーム画像ファイル名

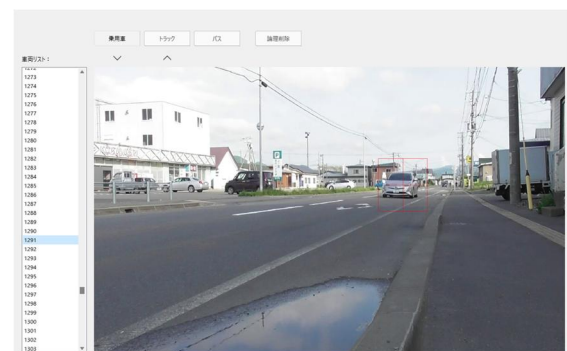


図-4 車種誤判別の修正用インターフェイス

表-2 観測手法別の車種検出結果

車種	YOLOv11	目視観測
car	3,338	5,498
truck	2,255	241
bus	194	48
計(台)	5,787	5,787

画像上でのサイズが小さく、物体検出アルゴリズムによる認識精度が著しく低下した。

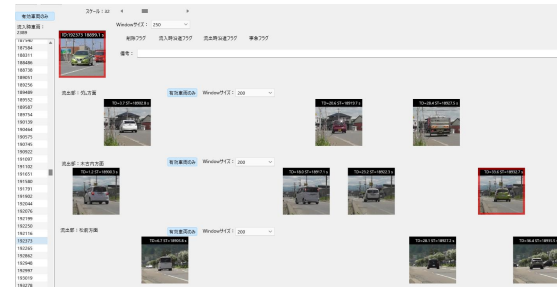
遠距離車両の検出精度向上を目的に、対象領域をトリミングした上で解像度を維持した拡大処理を試みたが、画質低下やノイズ増加により検出が不安定となり、一部車両が未検出となった。このため、方向別交通量抽出には不適と判断した。

そこで、各流入出部に設置した個別のカメラ映像から、車両の通過画像をもとに人手で進行方向を特定する手法の検討を行った。各流入出部に設置した計8台のカメラ映像を用いて、車両が任意の計測ラインを通過する際のフレーム画像から、方向別交通量の抽出を行った。その後、流入時と流出時の画像を人手により照合することで、同一車両の進行方向を特定した。このマッチング処理は、車両の形状、色、通過時刻などの特徴をもとに行われ(図-5)、これにより、方向別の通過車両数を集計することが可能となった。なお流入時に計測ラインを通過後、沿道施設に入った車両については、別カメラからの映像

や全景映像を使用して、マッチング処理を行った。集計結果を図-6、図-7 に示す。人手による照合作業を通じて進行方向を特定し、方向別に分類・集計したものである。自動検出が困難な状況下でも、人手の処理を併用することにより信頼性の高い交通量データを構築することが可能となった。

(5) 進行方向別の所要時間

マッチング処理の結果に基づき、各車両の流入時刻および流出時刻を抽出し、RAB 内の所要時間を算出した。算出された所要時間は進行方向別に分類し、その平均値を集計した。方向別の平均所要時間を図-8 に示す。図-8 に示す方向別の平均所要時間からは、進行方向（左折・直進・右折・Uターン）によって、RAB の所要時間に顕著な差異があることが確認された。



※車両特徴と通過タイミングから同一と判断

図-5 車両マッチングイメージ

5. RAB による所要時間短縮と費用対効果の評価

(1) 信号交差点の所要時間の推定

信号交差点の1台あたりの所要時間は、RAB の所要時間計測と同様の範囲を設定し、無信号を仮定した場合に、交差点を通過するために必要となる自由流所要時間 T^{ij} と、信号による平均遅れ時間 D^{ij} を足し合わせる事で推定する。総所要時間は、式(1)のように交通量を乗じて算定する。

$$D = \sum_i \sum_j Q_{ij} (T^{ij} + D^{ij}) \quad (1)$$

$$T^{ij} = 3.6 \frac{L_{ij}}{S_{ij}} \quad (2)$$

$$D^{ij} = \frac{(1 - g_{ij})^2}{2(1 - \lambda_{ij})} C + \frac{X_{ij}^2}{2q_{ij}(1 - X_{ij})} - 0.65 \left(\frac{c_{ij}}{q_{ij}^2} \right)^{1/3} X_{ij}^{(2+5G_{ij})} \quad (3)$$

D : 総所要時間[秒]

T^{ij} : 流入路 i 流出路 j の自由流所要時間[秒]

D^{ij} : 流入路 i 現示 j の遅れ時間[秒]

L_{ij} : 流入路 i 流出路 j のストリームラインの距離[m]

S_{ij} : 環道内平均速度 [km/h]

g_{ij} : 青時間比 (G/C)

λ_{ij} : 需要率

C : サイクル長

X_{ij} : 飽和度 ($=q/c$)

q_{ij} : 交通量

c_{ij} : 交通容量

G : 青時間

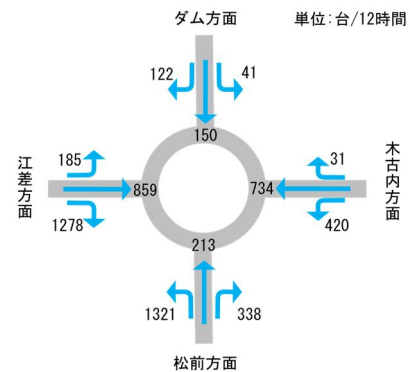


図-6 方向別交通量

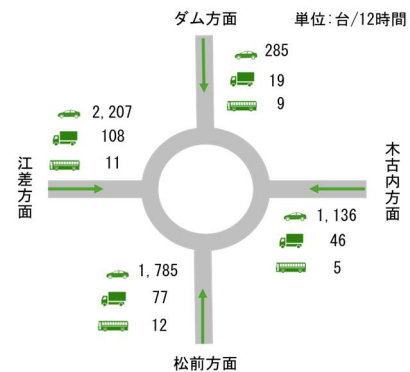


図-7 流入部ごとの車種別交通量

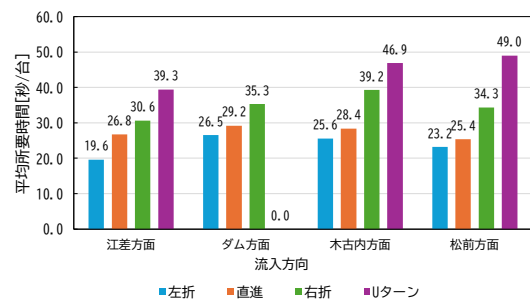


図-8 方向別平均所要時間

式(2)に示す L_{ij} は、各ストリームラインについて流入部から流出部までを計測した距離である。 S_{ij} は流入部から流出部までの平均速度であり、30km/hと仮定し、所要時間を推定する。式(3)の D_{ij}^i は、信号による遅れ時間式であり、検討対象とする交差点が非飽和の交差点であることから、一般的に知られる Webster の遅れ時間式を用いる。式(3)では第3項までを示しているが、非飽和の交差点であるため、第3項はほぼゼロとなることから、第1項（一様遅れ）と第2項（ランダム遅れ）の和を遅れ時間として計算した。

図-9に、RABへの改良前後における総走行時間の比較を示す。RABへの改良により、すべての流入部において走行時間が短縮されていることが確認できる。全体として、総走行時間は改良前に比べて約34%減少した。

(2) 年間便益額

信号交差点から RAB に改良を行った場合の便益は、走行時間短縮便益、走行経費減少便益、事故減少便益が考えられるが、本検討では便益額が最も大きいと考えられる走行時間短縮便益の計測を行う。

便益の計測は、改良前の信号交差点の総所要時間に時間価値原単位を乗じた改良前の総費用と、改良後の RAB の総所要時間に時間価値原単位を乗じた改良後の総費用を差し引きすることにより計測する。

年間の便益は式(4)により算定し、便益額の算定に用いる時間価値原単位は、表-3に示す国土交通省の費用便益分析マニュアル¹⁰⁾の値を用いる。

$$BT = \sum_i (D_{wo}^i - D_w^i) \times \alpha_i \times 365 \quad (4)$$

D_{wo}^i : 未整備時（改良前）の車種 i の総所要時間

D_w^i : 整備時（改良後）の車種 i の総所要時間

α_i : 車種 i の時間価値原単位

算定の結果、表-4に示すように、交差点全体の便益額は 0.28 億円/年となり、方面別の便益額は、江差方面、松前方面、木古内方面、ダム方面の順に便益が計測された。

(3) 費用便益分析

年間便益額と RAB の整備に必要な工事費を用いて費用便益分析を行い、投資効率性の評価を行う。表-5に費用便益分析を行うにあたっての前提条件を整理する。

a) 便益の現在価値化

便益は、供用開始年を起点とし、50年間にわたり発現するものとし、式(5)のように年間便益に対して、社会的割引率を4%とした現在価値化を行い便益の計測を行う。

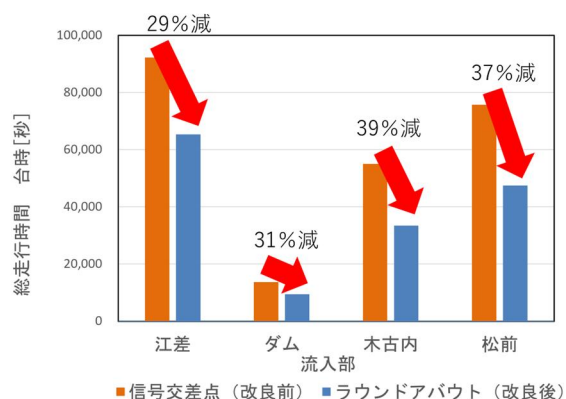


図-9 RAB への改良前後の総走行時間

表-3 時間価値原単位

車種	時間価値原単位円/分・台
乗用車	43.74
普通貨物	101.93
バス	386.79

表-4 年間便益の算定結果

流入部			江差	ダム	木古内	松前	計
走行費用 (億円／年)	整備	乗用車	0.163	0.021	0.082	0.112	0.378
		普通貨物	0.023	0.002	0.009	0.013	0.046
		バス	0.007	0.016	0.003	0.010	0.035
		計	0.194	0.038	0.093	0.134	0.459
	未整備	乗用車	0.233	0.025	0.140	0.192	0.590
		普通貨物	0.027	0.022	0.013	0.019	0.081
		バス	0.029	0.016	0.007	0.011	0.063
		計	0.289	0.063	0.160	0.222	0.735
便益 [億円/年]	乗用車	0.070	0.005	0.058	0.080	0.212	
	普通貨物	0.004	0.020	0.005	0.006	0.035	
	バス	0.022	0.000	0.004	0.002	0.028	
	計	0.096	0.025	0.067	0.088	0.276	

表-5 前提条件

基準年	令和7年
供用年	令和2年
便益の算定期間	50年
供用後の維持管理費	道路延長の増分
工事費(税抜)	3億円

$$Bof PV = \sum_t \left\{ \frac{B_t}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (5)$$

$Bof PV$: 基準年における便益の現在価値

B_t : 供用開始後 t 年目における便益

i : 社会的割引率 (4%)

s : 基準年 (令和7年)

t : 供用開始年 (0年目) とする年次

また、便益は、GDPデフレータを用いてデフレートを行い、物価変動の影響を控除する。なお、将来のデフレータ値は公表されていないことから、公表済の最新値を基準年デフレータとして、デフレートする。

b) 費用の現在価値化

費用は、令和元年に工事費が発生し、令和2年以降は、維持管理費が発生するものとして、式(6)により各年の工事費および維持管理費の現在価値化を行う。

また、便益と同様に費用についても GDP デフレータを用いてデフレートを行い、物価変動の影響を控除する。

$$Cof PV = \sum_t \left\{ \frac{C_{(s+t)}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (6)$$

$Cof PV$: 基準年における便益の現在価値

$C_{(s+t)}$: 供用開始後 t 年目における便益

i : 社会的割引率 (4%)

s : 基準年 (令和7年)

t : 供用開始年 (0年目) とする年次

c) 費用便益比の算定

式(5)を用いて算定した現在価値化後の便益(表-6)は約 6.9 億円、式(6)を用いて算定した現在価値化後の費用は、5.0 億円となった。また、この際の費用便益比 (B/C) は、1.4 であり、RAB 化を行ったことによる投資効率は十分に良いものであると言える。

6. まとめ

本研究では、RABの導入促進に向け、その効果を定量的に示すことを念頭に、RABにおける交通指標を効率的かつ高精度に把握するための新たな交通調査手法を検討した。AIによる物体検出・追跡と人手による補助的处理を組み合わせることで、従来手法と比較して、実用性と信頼性の高いデータ取得が可能であることを示した。

さらに、得られたデータを用いて費用便益比を算出した結果、地方部の信号交差点をRABに改良することは十分に投資効率性が高いことが確認された。

また、本検討では時間短縮便益に着目したが、これに加えて、RAB周辺での速度抑制による歩行者との重大事故回避、錯綜の解消による安全性向上、交通信号機などの設備簡素化といった効果も期待できる。

表-6 費用便益分析結果

費用の基準年における現在価値 (C)	5.0 億円
便益の基準年における現在価値 (B)	6.9 億円
費用便益比 (B/C)	1.4
経済的純現在価値 (B-C)	1.8 億円
経済的内部収益率 (EIRR)	6.2%

以上を踏まえると、RABの積極的な導入は合理的であると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、北海道大学大学院工学研究院吉井教授には終始貴重なご指導とご助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。また、株式会社若狭組には、RAB全体を俯瞰できる映像資料をご提供いただきました。併せて心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 警察庁：環状交差点の導入状況（令和7年3月末現在），<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/roundabout/0703kanjoukousaten.pdf>（最終閲覧日 2026/1/6）
- 2) 康楠，中村英樹，神戸信人：日本におけるラウンドアバウト流入交通容量推定モデルに関する研究，交通工学論文集，第1巻，第5号，pp.19-28，2015.
- 3) 神戸信人，尾高慎二，康楠，中村英樹，森田緯之：日本におけるラウンドアバウトの実測最大交通量と交通容量の分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.71, No.5, pp. I_1017-I_1025, 2015
- 4) 吉岡慶裕，米山喜之，宗弘一徳，中村英樹，大口敬：実車走行実験に基づくラウンドアバウトと信号交差点の CO2 排出量の比較分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.68, No.5, pp. I_1253-I_1259, 2012
- 5) 宗広一徳，倉田和幸，伊藤靖彦：ラウンドアバウトの設置効果と将来展望，第67回（2023年度）北海道開発技術研究発表会発表論文集
- 6) 鈴木弘司，安田宗一郎：利用者挙動に基づいたラウンドアバウトの歩行者安全性に関する基礎的研究，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.73, No.5, pp. I_1043-I_1054, 2017
- 7) 国土交通省：ラウンドアバウト/導入事例，<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/roundabout.html>（最終閲覧日 2026/1/6）
- 8) Khanman, R and Hussain, M.: Yolov11: An overview of the key architectural enhancements, *arXiv preprint arXiv:2410.17725* (2024)
- 9) Aharon, N., Orfaig, R., and Bobrovsky, B.-Z.: BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking, *arXiv preprint arXiv:2206.14651* (2022)
- 10) 国土交通省：費用便益マニュアル（令和7年8月），http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/ben-eki_2.pdf