

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

吉岡 慶祐¹・米山 喜之²・宗広 一徳³・中村 英樹⁴・大口 敬⁵

¹正会員 (株)長大 道路事業本部 道路交通部 (〒114-0013 東京都北区東田端2-1-3)
E-mail: yoshioka-k@chodai.co.jp

²正会員 (株)長大 道路事業本部 道路交通部 (〒114-0013 東京都北区東田端2-1-3)
E-mail: yoneyama-y@chodai.co.jp

³正会員 博(工) (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番34号)
E-mail: k-munehiro@ceri.go.jp

⁴正会員 工博 名古屋大学大学院工学研究科 教授 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651))
E-mail: nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

⁵正会員 博(工) 東京大学生産技術研究所 教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)
E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

ラウンドアバウトは、安全でエコな平面交差点の制御方式として注目されており、日本でも実用展開に向けた動きが高まりつつある。ラウンドアバウトは、交差点進入時に環道に交通が存在しなければ、停止することなく交差点を通過でき、アイドリング時や発進時の燃料消費が抑えられることから、環境にやさしいエコロジーな制御方式と考えられる。しかしラウンドアバウトの実地導入経験が少ない我が国では、ラウンドアバウト走行時の環境負荷量を推定し、信号交差点などと比較を行った研究成果は報告されていない。

本稿は、実信号交差点および模擬ラウンドアバウトにおいて行われたプローブ走行調査結果から、それぞれのCO2排出量を推定し比較を行ったものである。その結果、ラウンドアバウトでは環道を走行するため急な発進が少なく、また停止時間も短いことから、信号交差点と比較してCO2排出量が抑えられることが明らかとなった。

Key Words : Roundabout, Signalized Intersection, CO2 Emission, Driving test

1. はじめに

ラウンドアバウトとは、一方通行の環道交通流に優先権のある円形交差点で定義され、信号交差点や通常の無信号交差点に代わる新たな平面交差点の制御方式として、近年海外で積極的に導入されている。日本においても、ラウンドアバウトの安全性やエコ (Ecology, Economy) の利点に注目され、導入に向けた動きが高まりつつある。

ラウンドアバウトでは、環道に車両が存在しなければ交差点を通過する際に停止することがないため、信号による無駄な遅れが削減でき、CO2など環境負荷量の軽減 (=エコ) が期待できる。しかしラウンドアバウトの実地導入経験が少ない我が国では、実走行時の挙動データに基づいてラウンドアバウトの環境負荷量を推定し、信号交差点などと比較を行った研究成果は報告されておらず、どの程度の環境負荷量の削減が可能か明らかになっ

ていない。

本稿は、環境負荷におけるラウンドアバウトの優位性を証明することを目的とし、実信号交差点および模擬ラウンドアバウトにおいて行われたプローブ走行調査結果から、それぞれのCO2排出量を推定し比較を行ったものである。

2. 実走行実験の概要

(1) 模擬ラウンドアバウト走行実験

ラウンドアバウトにおける走行挙動を観測するため、写真-1に示す模擬ラウンドアバウトを設置し、走行実験を行った。

a) 実験概要

- 実施日：平成21年 9月16,17日

- 実施場所：(独)土木研究所寒地土木研究所，苫小牧寒地試験道路(北海道苫小牧市)
- 被験者：20～60代男性

b) 走行挙動データの取得方法

実験では小型車両16台を用い，被験者が一定時間ランダムにラウンドアバウトを走行した．実験車両のうち2台にプローブ機器を取り付け，ラウンドアバウト通過時の走行挙動を取得した．被験者は走行挙動取得前に複数回試験場内のラウンドアバウトを走行しており，走行方法を理解した状態でデータを取得している．なお，流入部では写真-1に示す「徐行」の標識を設置した．

c) 模擬ラウンドアバウトの幾何構造

実験を行ったラウンドアバウトは，試験場内に設置された写真-1に示すマーキングと土嚢を設置した模擬ラウンドアバウトである．その幾何構造は，ドイツのガイドラインおよび日本における設計検討結果¹⁾等を参考に，速度抑制の効果を得やすい構造としている．

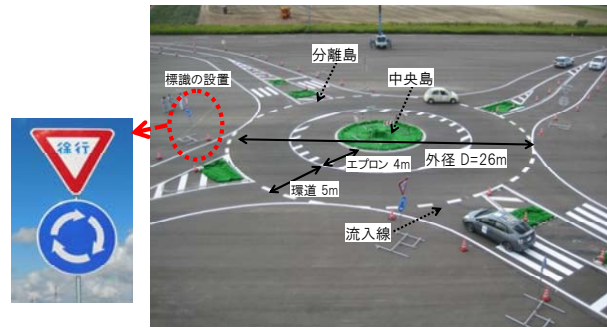


写真-1 試験道路に設置した模擬ラウンドアバウト

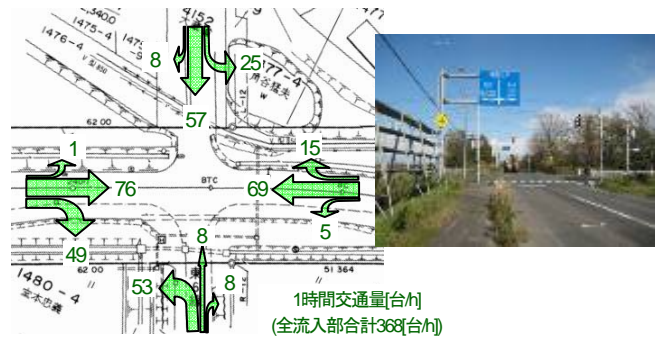


図-1 長沼町信号交差点の状況および平面図と観測交通量

(2) 信号交差点走行挙動調査

a) 調査概要

- 実施日：平成22年 10月26日
- 実施場所：北海道夕張郡長沼町東7線南交差点
(道道226号・道道967号信号交差点)

b) 走行挙動データの取得方法

交差点を通過する車両の実勢速度を取得することを目的とし，プローブ機器を取り付けた調査車両が一般車両に追従走行することで，交差点通過時の走行速度を取得した．追従走行は対象交差点の200m以上手前の箇所から行き，一定の車間距離を保つよう行った．

c) 調査箇所の概況

調査を行った長沼町信号交差点は，図-1に示す一般道路の交差する信号交差点である．過去に正面衝突等の事故が発生しており，ラウンドアバウトの導入により安全性の向上が期待できるとして，導入検討の候補箇所として挙げられた交差点である．信号により制御されているが見通しは比較的良好で，交通量および歩行者は少ない状況である．

3. CO2排出量の算出

本研究で行った CO2 排出量比較の手順を図-2 に示す．3章ではプローブ調査から得た走行挙動に基づき，それぞれの挙動データについて CO2 排出量を算出した．4章では交差点全体の排出量を推定するため，3章で得た算出結果に基づき，交通量を入力条件として交差点全体の排出量への拡張を行っている．

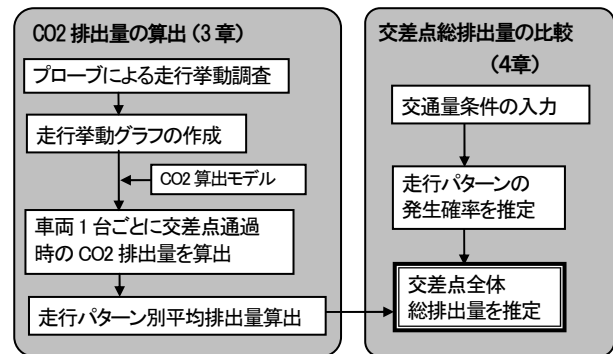


図-2 CO2排出量比較の手順

(1) CO2算出モデル式

自動車からの CO2 排出量を推計する方法は，平均旅行速度を説明変数としたマクロな方法と，車両の加減速を考慮したマイクロな方法の2つが考えられる．本研究では交差点通過時の排出量を推定するため，加減速などの速度変動の影響が評価可能であるマイクロな手法として，大口ら²⁾による算出モデル式(1)を使用する．このモデル式では，CO2 排出量を旅行速度・走行時間・速度変動の3要因により定式化しており，交差点周辺での走行挙動特性を排出量に反映することが可能である．

$$E = 0.3K_c T + 0.028K_c D + 0.056K_c \sum_{k=1}^K \delta_k (v_k^2 - v_{k-1}^2) \quad (1)$$

ここに， E ：CO2排出量[g]， T ：走行時間[sec]， D ：走行距離[m]， δ_k ：ダミー変数（加速時=1，減速時=0）， v_k ：走行速度[km/h]， K_c ：CO2換算係数[g/cc]である．

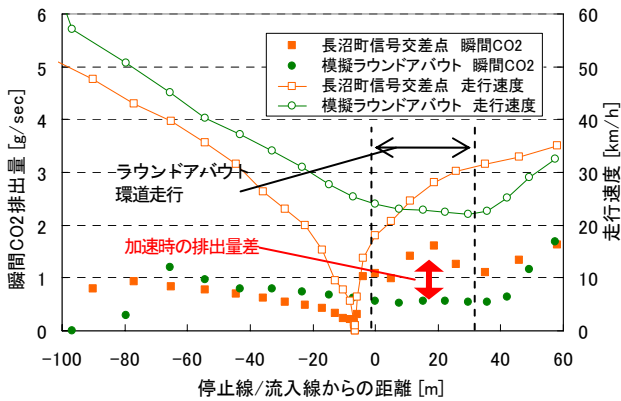


図-3 走行挙動データおよび瞬間のCO2排出量
(直進車両の代表2サンプルのみ)

式(1)は、エンジンの熱機関モデルおよび運動力学理論に基づき、瞬間燃費計を用いた普通ガソリン車の実証走行実験から推定された式である。車種によりCO2の排出特性は異なると考えられるが、本稿ではすべて同一車両と考え、大型車等の影響については考慮しないこととしている。

(2) 走行挙動データに基づくCO2排出量の算出

図-3はプローブ調査により得た走行挙動データの一部と、その挙動データについて式(1)により算出したCO2排出量をプロットしたものである。

ラウンドアバウト走行時の挙動については、環道に流入する際に25km/h程度まで減速し、その後ほぼ一定速度で環道を走行した後、流出後に加速を行っていることが特徴である。そのため、信号交差点で停止した場合と比較して発進時の急加速が少ない分、加速時のCO2排出量が少ない。

調査で得たすべての走行挙動データについて同様の算出を行い、表-1および図-4に示す範囲で算出されたCO2排出量を、交差点通過時のCO2排出量とした。

(3) 走行パターン別CO2排出量の算出

図-5(a),(b)は、算出された車両1台ごとのCO2排出量を、走行パターン別および停止線手前100m地点における走行速度別にプロットし分布を見たものである。ただし、ここでは走行分の排出量を比較することを目的とし、停止時間分(アイドリング時)の排出量は便宜的に省いている。

信号交差点では、停止の有無や走行方向(直進・右左折)により車両ごとの排出量差が大きいのに対し、ラウンドアバウトでは車両ごとの排出量差が小さい。これは、ラウンドアバウトでは全車両が減速を行い、走行方向に依らず同じような挙動となるためである。

図-6は表-2に示す走行パターン別に平均排出量を比較したものである。排出量の比較結果について、主な特徴を以下にまとめた。

表-1 CO2排出量の算出範囲

	算出範囲
信号交差点	流入部停止線手前100m～交差点内 ～交差点流出後30m
ラウンドアバウト	流入部流入線手前100m～環道走行 ～流出線通過後30m

注) ただし、ラウンドアバウトでは直進・右折時に環道を周回するため、左折時と比較して環道走行分の算出距離が長い。

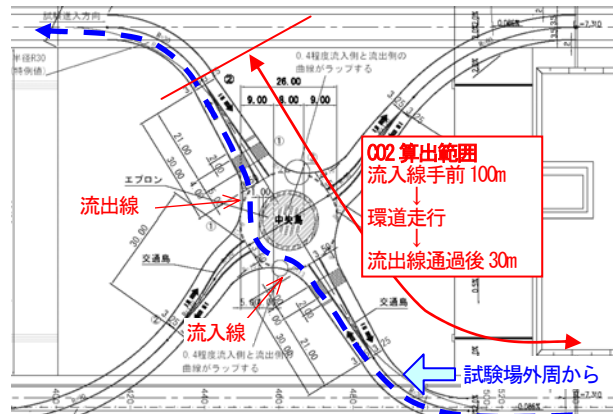
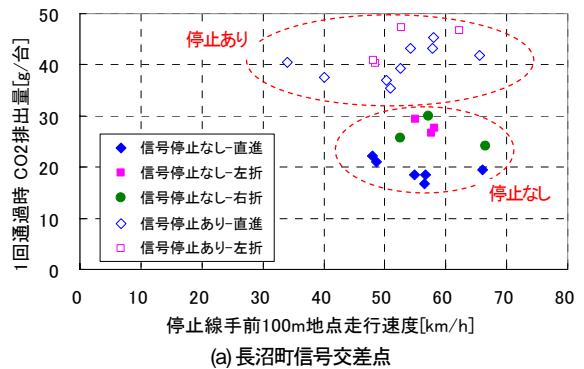
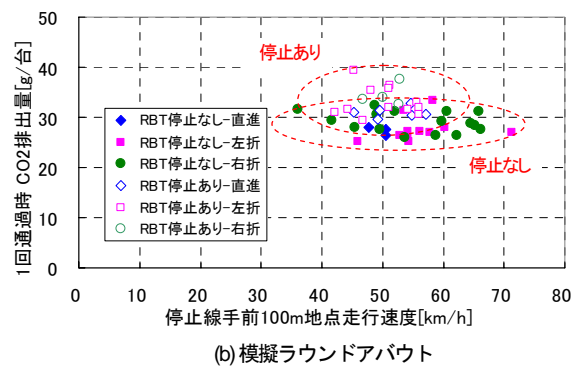


図-4 模擬ラウンドアバウトの平面図とCO2算出範囲
(図中の右下から左上に直進走行した場合)



(a) 長沼町信号交差点



(b) 模擬ラウンドアバウト

図-5 CO2排出量算出値の分布
(ただし停止時間分の排出量を除く)

特徴を以下にまとめた。

- 直進で停止がない場合、信号交差点では減速せずに交差点を通過できるが、ラウンドアバウトでは必ず減速が必要のため、排出量はラウンドアバウトのほうが多い。(図-6の①と③を比較)
- 停止があった場合でも、ラウンドアバウトは信号

表-2 走行パターン分類表

	信号交差点		ラウンドアバウト(RBT)	
停止なし				
	①信号停止なし直進	②信号停止なし右左折	③RBT停止なし直進	④RBT停止なし左折 ⑤RBT停止なし右折
停止あり				
	⑥信号停止あり直進 ⑦信号停止あり右左折		⑧RBT停止あり直進 ⑨RBT停止あり左折 ⑩RBT停止あり右折	

4. 交差点総排出量の比較

前章では、プローブデータに基づいて車両単位のCO2排出量を算出し、表-2の走行パターン別に比較を行った。本章では各走行パターンの平均排出量を用いて、交差点全体の総排出量を推定する。

(1) 走行パターン発生確率の推定

交差点全体の総排出量を推定するため、1時間交通量を入力条件とし、ラウンドアバウト・信号交差点それぞれについて、表-2で分類した各走行パターンの発生確率を以下の通り推定する。

a) ラウンドアバウト

ラウンドアバウトを停止せずに通過できるのは、前方に待ち行列が発生しておらず、かつ環道を走行してくる車両により流入を妨げられない場合である。

計算を簡単にするため、ここでは停止率(P_{stop})を以下のとおり算出する。

$$P_{stop} = 1 - \frac{(1 - \frac{q_e}{3600} \cdot d) \times e^{-\frac{q_e}{3600}(t_c - t_0)}}{(a) \quad (b)} \quad (2)$$

ここに、 q_e : 流入交通量[台/h], q_c : 環道交通量[台/h], t_c : クリティカルギャップ[sec], t_0 : 環道最小車頭時間[sec], d : ラウンドアバウト流入時の平均停止時間[sec]である。

式(2)の(a)項は、流入線に到着する際に待ち行列が発生していない確率であり、流入時の平均停止時間を1台あたりの処理時間と置き換えて、MM/1型待ち行列理論を適用した。(b)項は、流入時に環道を走行する車両により流入を妨げられない確率である。流入線の車両が流入可能と判断する最小のギャップ(= t_c)以上のギャップが環道交通流に出現する頻度を表す式である。停止率は、確率(a),(b)の積の余事象としている。

またラウンドアバウト流入時の平均停止時間(= d)は、式(3)のAdams³⁾による、ギャップアクセプタンスに基づく遅れの式により算出する。

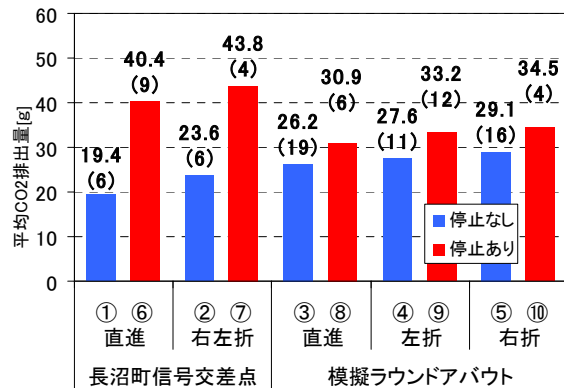


図-6 走行パターン別平均CO2排出量 (ただし停止時間分の排出量を除く)
注) 数値は平均値、()内はサンプル数を示す

$$d = 3600 \frac{e^{-\lambda(t_c - t_0)}}{\alpha q_c} - t_c - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda t_0^2 - 2t_0(1 - \alpha)}{2(\lambda t_0 + \alpha)} \quad (3)$$

ここに、 α : 環道交通の自由走行率, λ : 環道交通流の到着率である。

b) 信号交差点

信号交差点における平均停止時間(= d)は、Websterの式⁴⁾(4)により算出する。

$$d = \frac{(1 - g)^2}{2(1 - \lambda)} C + \frac{X^2}{2q_c(1 - X)} - 0.65 \left(\frac{C}{q_c} \right)^{1/3} X^{(2+5g)} \quad (4)$$

ここに、 g : 有効青時間比, λ : 需要率, C : サイクル長[sec], X : degree of saturation (= q_e/s_g) である。

また信号交差点における停止有無の考え方は、周囲の交差点によるオフセット等の影響は受けないとして、停止せずに通過できる車両の割合を有効青時間比と等しいとした。すなわち、停止率(P_{stop})は以下の式(5)である。

$$P_{stop} = 1 - g \quad (5)$$

表-3は、以上の考え方に基づき、長沼町信号交差点における現地調査で観測した交通量条件(図-1)で算出された停止率および平均停止時間の推定値である。なお、計算で必要となるギャップパラメータ、信号現示パラメータはそれぞれの調査で観測した値を使用している。

(2) 交通量総排出量の推定

a) 観測交通量による比較

図-7は、3章で算出した走行パターン別の平均排出量(図-6)に、表-3の停止率および観測した交通量条件を掛け合わせて交差点総排出量を推定したものである。その結果、ラウンドアバウトでは交差点全体で25%のCO2排出量が削減される結果となった。ラウンドアバウトでは停止を強いられる確率が信号交差点と比較して極めて低く、発進時の排出量が少ないことが最も大きな要因である。また、停止時間分(アイドリング時)の排出量も信号交差点と比較して少ない。

b) 交通量条件に応じた排出量の比較

図-8は、これまでの考え方に基づき、交通量条件(全流入部合計交通量および主従交通量比)を変化させて、CO2排出量の比較および信号交差点からラウンドアバウトへ改良した際の排出量の削減割合(削減率)を示したものである。なお、直進・右左折率は各流入部からの交通量比と同一とし、信号交差点における信号現示は、最適サイクルを使用し、青時間比を交通量比と等しく設定した。

主道路と従道路の交通量比が1:1である場合、ラウンドアバウトの交通容量である全流入部合計交通量2000[台/h]程度まではラウンドアバウトのほうが排出量が少なく有利である。ただし交通量が増えるにつれ、排出量の削減率は徐々に低下する。これは、交通量の増加に伴い、ラウンドアバウトでは流入時に停止を強いられる車両の割合が増えるが、信号交差点では、停止を強いられる確率は信号現示に因るため、交通量の影響が小さいためである。

また、全流入部交通量が同一であっても、主道路と従道路の交通量比(主従比)が大きい場合、ラウンドアバウトでは特定の流入部に対して環道交通量が卓越し交通容量が低下する。一方信号交差点では、信号現示を合理的に設定することが可能であり、さらに主従比が大きいほど直進車両の割合が高くなり、全く減速せずに直進する車両が増える分総排出量が少なくなる。このため主道路と従道路の交通量比が小さいほど、ラウンドアバウトのCO2排出量削減効果は高い。

5. おわりに

本稿では、実信号交差点および模擬ラウンドアバウトにおいて行われたプローブ走行調査結果からCO2排出量を算出し、さらに交通量条件を与えて交差点全体の排出量を推定した。

ラウンドアバウトでは全車両が減速を強いられるため、信号交差点を停止せずに直進する車両と比較すると、交

表-3 停止率および平均停止時間

	信号交差点	ラウンドアバウト
停止率(P_{sp})[%]	58.6	8.5
平均停止時間(d)[sec]	11.2	0.4

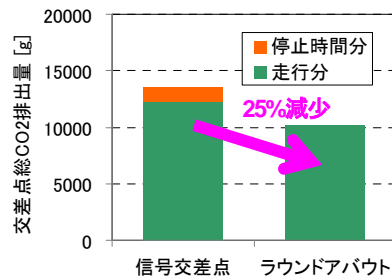


図-7 交差点総排出量の比較

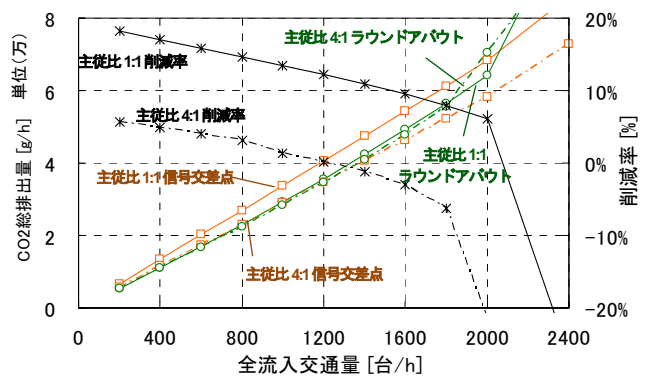


図-8 交通量条件に応じた交差点総排出量の比較および削減率

差点通過時の排出量は増加する。しかし交通量が比較的少ない条件では、ラウンドアバウトで停止を強いられる機会は信号交差点と比較して圧倒的に少なく、また停止する場合であっても発進後に環道を周回するため急な加速がないため、交差点全体としてのCO2排出量はラウンドアバウトのほうが有利となることが明らかとなった。

今回は、実信号交差点と模擬ラウンドアバウトでそれぞれ異なった交通条件、異なった取得方法の走行データを用いたため、必ずしも再現性が高いとは言いが、信号交差点・ラウンドアバウトのCO2排出量のおおよその傾向は把握できたものとする。

今後はさらなるデータの取得および精度の向上が必要であると考えられ、今後の課題としたい。

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, pp.24-33, 2009.
- 2) 大口敬・片倉正彦・谷口正明：都市部道路交通における自動車二酸化炭素排出量推定モデル，土木学会論文集, No.695/IV-54, pp.125-136, 2002.
- 3) Adams, W.F.: Road Traffic Considered as a Random Series, J., Inst. Civil Engrs, Vol.4, 1936.
- 4) (社)交通工学研究会：改訂 交通信号の手引き, 2007.