

ラウンドアバウトにおける ライフサイクル分析

野口 淳史¹・福留 侑悟²・吉川 直樹³・塩見 康博⁴・天野 耕二⁵

¹非会員 立命館大学大学院 博士前期課程学生 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)
E-mail:rv0005ek@ed.ritsumei.ac.jp

²非会員 立命館大学 理工学部環境システム工学科(2014年3月卒業)

³正会員 立命館大学特任助教 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)
E-mail:n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

⁴正会員 立命館大学講師 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)
E-mail:shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

⁵正会員 立命館大学教授 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)
E-mail:amano@se.ritsumei.ac.jp

本研究では、長野県飯田市東和町交差点を対象に、ラウンドアバウト化事業および交差点改良事業における調達・施工・維持管理・運用・廃棄までの5つの段階に分けて環境負荷量を算出し結果の比較を行った。その結果、運用段階を除き維持管理を15年に設定した場合にはラウンドアバウト化事業の環境負荷量が交差点改良事業に比べ環境負荷量が低くなることがわかった。初期建設においては、ラウンドアバウト化事業の方が施工面積が大きく、また使用された建設材料および施工に際する重機の使用時間も長くなるため、交差点改良事業より多くの環境負荷量が生じた。しかし維持管理段階において信号の稼働による消費電力が多く生じたため、長期的に維持管理を行えば交差点改良事業の環境負荷量がラウンドアバウト化事業を上回ると考えられる。

Key Words :roundabout, vehicle behavior, signalized intersection, life cycle analysis, construction

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の交差点である。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部の制御方式として、近年海外で積極的に導入されている。日本においても安全性、遅れ時間の削減及び環境負荷量の低減などの利点によりラウンドアバウトが注目され、導入に向けた動きが高まっている¹⁾。

吉岡ら²⁾はラウンドアバウトと信号交差点のCO₂排出量を実車走行実験に基づいて比較し、ラウンドアバウトの方が環境負荷量が少ない結果を報告している。しかし、施工段階から廃棄段階までのライフサイクルを通してのラウンドアバウトと信号交差点の環境負荷の比較分析は行われていない。そこで本稿では、ラウンドアバウトと信号交差点のライフサイクル環境負荷量の算出結果を比較し評価を行う。

2. 東和町交差点概要

本研究では、長野県飯田市東和町のラウンドアバウ

トを研究対象とする。施工前の東和町交差点を図-1に、信号交差点・ラウンドアバウトへの改良の際の同交差点を図-2、図-3に示す。2009年の時点では、信号交差点はラウンドアバウト化ではなく信号交差点の一部を改良する計画であった。しかし、吾妻町でのラウンドアバウト社会実験や得られた技術的知見を活かして、東和町信号交差点の一部改良するのではなく、ラウンドアバウトにする方針(2012年)に変更された。



図-1 施工前の信号交差点



図-2 改良型信号交差点設計図



図-3 施工後の東和町ラウンドアバウト

3. 研究手法

本研究のシステム境界を図-4に示す。

評価範囲を調達段階・施工段階・維持管理段階・運用段階・廃棄段階の5つの段階に分類する。

運用期間は15年と設定する。

a) 調達段階：ラウンドアバウト施工で要した建設材料の製造時²⁾、運搬時(10kmと仮定)に発生する環境負荷量を算出した。

b) 施工段階：積算書に基づき、重機施工歩掛より稼働時間を求め、その稼働時間に1時間当たりの燃料と軽油のCO₂原単位を乗じて環境負荷量を算出した。

c) 維持管理段階：供用後、7年後に新材、再生材を用いたオーバーレイ工法(今回は表層の20%を修繕すると仮定した)、その8年後に新材、再生材を用いた打替え工法(下層路盤よりも上の層の取り換え)を行うと想定し、調達と運搬(10km)、施工時の環境負荷量を算出した。

d) 運用段階：ラウンドアバウトを走行する車両の挙動を分析し、環境負荷量を算出した。

e) 廃棄段階：交差点改良以前の交差点の撤去と周辺構造物の撤去、残土と取り壊し構造物の運搬時の環境負荷量を算出した。

4. 段階別の環境負荷量比較結果

(I) 調達段階

図-5及び図-6の結果より、両事業の調達段階を比較すると、ラウンドアバウト化事業が交差点改良事業に比べ約1.5倍の環境負荷量が生じることがわかった。詳細にそのうち、舗装工においては12,000(kg-CO₂)の差を生じる結果となった。これは、交差点の改良事業では一部の箇所を改良せずにそのまま使用するので、環境負荷量が少なくなったと考えられる。運搬においてもラウンドアバウト化事業に関して約2倍の環境負荷量が生じる結果となった。これは運搬重量がラウンドアバウト化事業5168tに対し、交差点改良事業が2,572tだったからである。

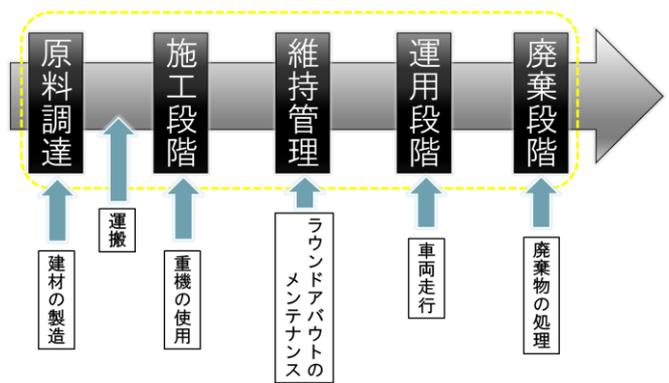


図-4 本研究のシステム境界

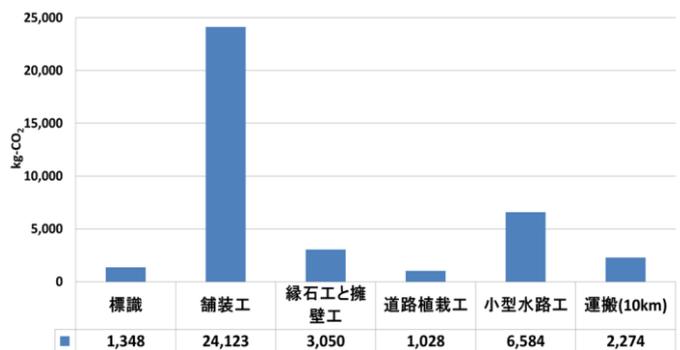


図-5 調達段階におけるラウンドアバウト事業の環境負荷量

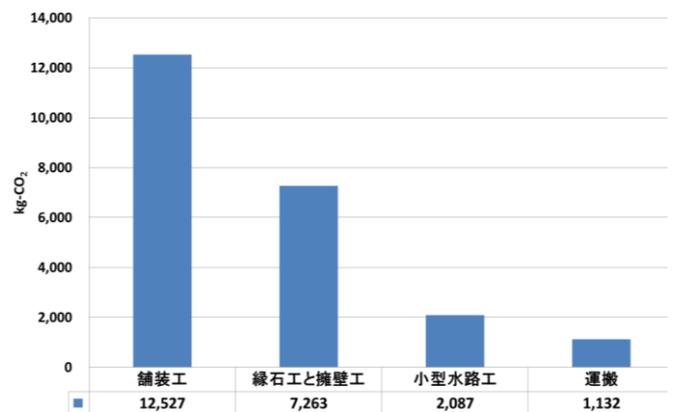


図-6 調達段階における信号改良事業の環境負荷量

調達段階では、使用材料が少ない場合においてもCO₂原単位の値が大きければ、排出される環境負荷量は多くなるということがわかった。

(2) 施工段階

表-1 は、ラウンドアバウト施工時の際に稼働した重機から排出された環境負荷量の算出過程である。図-7 及び図-8 より両事業における環境負荷量を比較すると、全体ではラウンドアバウト化事業が交差点改良事業に比べ、約2倍の環境負荷量を排出している結果となった。これは調達段階と同様に交差点改良事業は改良前の信号交差点の一部をそのまま使用するため、環境負荷量が低くなったと考えられる。

工種毎に比較すると、排水性舗装工に関しては交差点改良事業の方が施工面積も広いので、環境負荷量が多くなった。しかし、アスファルト舗装工ではラウンドアバウト化事業が約3倍近く環境負荷量を排出する結果となった。

施工段階では、施工面積が大きくなれば、重機の稼働時間が長くなり、環境負荷量が増加する傾向にあることがわかった。

(3) 維持管理段階

本研究では、15年を運用期間とし、運用開始から7年後にオーバーレイ、8年後に打替えを行なうシナリオを設定した。交差点改良事業では、LED信号稼働に際する環境負荷量も評価に加える。LED信号稼働に際する環境負荷量は図-9に示す。

したがって、

- 1, オーバーレイ(新材), 打替え(新材), LED信号稼働
- 2, オーバーレイ(新材), 打替え(再生材), LED信号稼働
- 3, オーバーレイ(再生材), 打替え(新材), LED信号稼働
- 4, オーバーレイ(再生材), 打替え(再生材), LED信号稼働

以上の4シナリオの環境負荷量を算出した。

表-2, 表-3 は、打替え, オーバーレイの際に稼働させた重機による施工時間と施工面積から算出された環境負荷量である。図-10より、ラウンドアバウト化事業, 交差点改良事業ともに維持管理に際してオーバーレイ及び打替えにおいて再生材を用いた方が環境負荷量が少なくなる結果となった。

また、両事業で比較した場合、ラウンドアバウト化事業においては、新材・再生材を用いても交差点改良事業に比べ半分程度の環境負荷量になる結果となった。これは交差点改良事業では15年間のLED信号の稼働に伴う環境負荷量が半分近くも占めていたためである。

表-1 施工重機内訳

| 重機名 | 1時間当たり消費燃料(L) | 1時間当たりCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /h) | 施工面積(m ²) | 施工時間(h) | 環境負荷量(kg-CO ₂) |
|-------------------------|---------------|--|-----------------------|---------|----------------------------|
| MG(3.1m) | 9.20 | 23.74 | 5761.80 | 21.72 | 516 |
| MR(10-12t) | 6.00 | 15.48 | 7796.90 | 34.86 | 540 |
| TR(8-20t) | 7.10 | 18.32 | 7796.90 | 34.86 | 639 |
| AF(1.4-3.5m) | 10.60 | 27.35 | 2154.00 | 11.85 | 324 |
| BH(0.45m ²) | 10.5 | 27.09 | 31.13 | 1 | 27 |

(MG:モーターグレーダ,MR:マカダムローラ,TR:タイヤローラ, AF:アスファルトフィニッシャ,BH:バックホウ)

表-2 修繕(打替え)重機内訳

| 重機 | 1時間当たり消費燃料(L) | 1時間当たりCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /h) | 施工面積(m ²) | 施工時間(h) | 環境負荷量(kg-CO ₂) |
|--------------|---------------|--|-----------------------|---------|----------------------------|
| MG(3.1m) | 9.20 | 23.74 | 3894.70 | 12.46 | 296 |
| MR(10-12t) | 6.00 | 15.48 | 5728.30 | 2.88 | 45 |
| TR(8-20t) | 7.10 | 18.32 | 5728.30 | 2.88 | 53 |
| AF(1.4-3.5m) | 10.60 | 27.35 | 3132.20 | 0.79 | 22 |

表-3 修繕(オーバーレイ)重機内訳

| 重機 | 1時間当たり消費燃料(L) | 1時間当たりCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /h) | 施工面積(m ²) | 施工時間(h) | 環境負荷量(kg-CO ₂) |
|--------------|---------------|--|-----------------------|---------|----------------------------|
| MR(10-12t) | 6.00 | 15.48 | 14.80 | 0.08 | 1 |
| TR(8-20t) | 7.10 | 18.32 | 14.80 | 0.08 | 1 |
| AF(1.4-3.5m) | 10.60 | 27.35 | 14.80 | 0.08 | 2 |

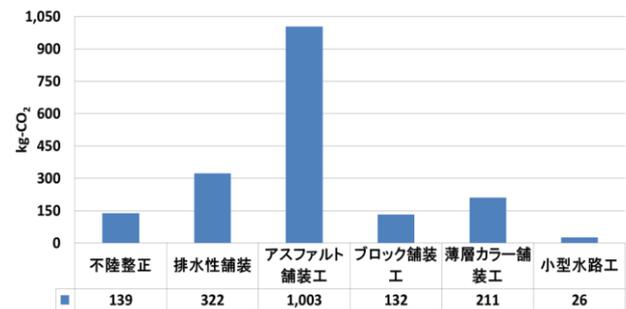


図-7 施工段階におけるラウンドアバウト化事業の環境負荷量

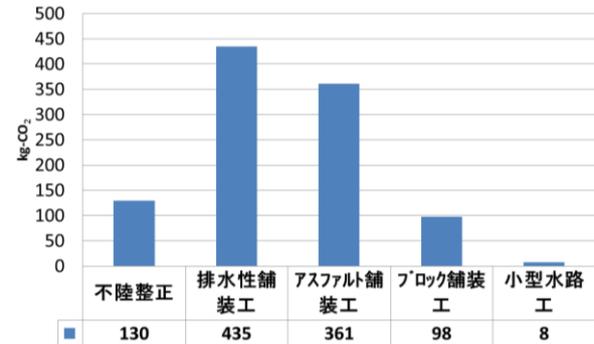


図-8 施工段階における信号改良事業の環境負荷量

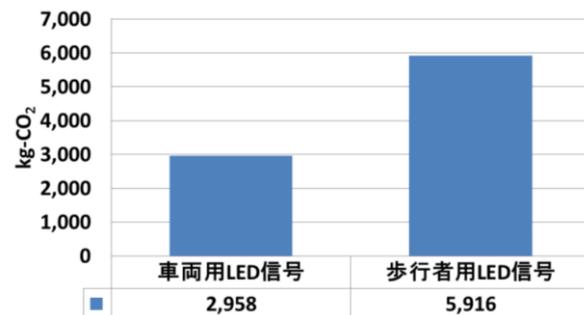


図-9 LED信号稼働に際する環境負荷量

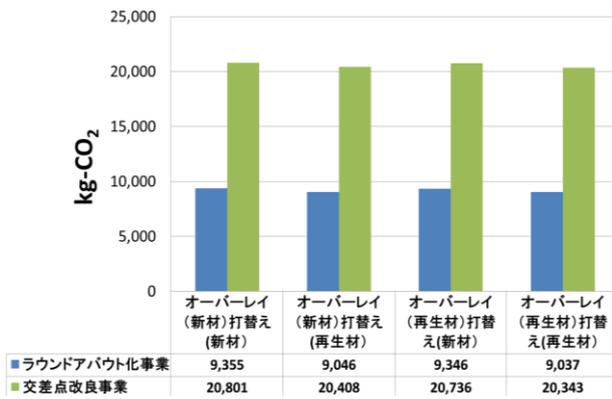


図-10 維持管理段階における両事業の環境負荷量

(4)運用段階

東和町の交差点に設置された CATV によって撮影された動画データ³⁾を用いて車両1台につき0.1秒間隔に車両挙動を分析した。CATVによって撮影されたラウンドアバウトの環道及び流入口の一部の画像は図-11に示す。車両挙動を分析する際にはビデオ画像処理システム「Traffic Analyzer」⁴⁾を使用した。調査日時は表-4に示すとおりである。車両挙動から環境負荷量を算出する際には車両の加減速を中島ら⁵⁾による推定式を用いることで燃料消費量を推定し、CO₂換算係数³⁾を掛け合わせることで環境負荷量を求めた。用いた推定式を(1)~(4)に示す。

対象日時の車両台数及び環境負荷量推定結果を表-5に示す。今回はピークタイム1時間のCO₂排出量を算出したが、これを15年と仮定した場合には55,797.14(kg-CO₂)となるため、これは運用段階を除く他の段階と比べ極めて大きな数値と言える。したがって、運用段階の車両挙動における環境負荷量はライフサイクルを通じての環境負荷量の中で大きな要因であると推測できた。

- 加速 $FC=0.5119a+0.2858$ (1)
- 定常 $FC=0.00259V^2+0.0209+0.1808$ (2)
- 減速 $FC=0.2061a+0.2848$ (3)
- アイドリング $FC=0.258$ (4)

FC : 平均燃料消費量 [cc/s]
 a : 加速度[m/s²]
 V : 平均速度[m/s]

(5)廃棄段階

図-12 および図-13 に廃棄段階の環境負荷量推計結果を示す。両事業を比較すると、構造物撤去のために生じる環境負荷量が約3倍違うことがわかった。これは調達段階及び施工段階と同様にラウンドアバウト化事業では構造物の取換え部分が多かったことが要因として挙げられる。



図-11 CATVによって撮影されたラウンドアバウト環道及び流入口

表-4 車両挙動の調査日時

| | |
|------|-------------|
| 対象日 | 平成25年9月19日 |
| 対象時刻 | 17:00~18:00 |

表-5 ラウンドアバウトにおける対象日時の環境負荷量

| | |
|----------------------------|--------|
| 車両台数(台) | 831 |
| 燃料消費量(L) | 4.389 |
| 環境負荷量(kg-CO ₂) | 10.193 |

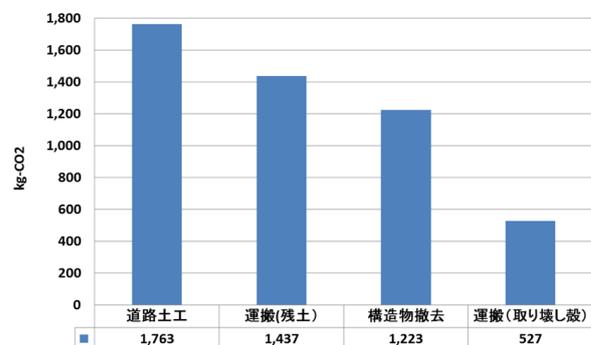


図-12 廃棄段階におけるラウンドアバウト事業の環境負荷量

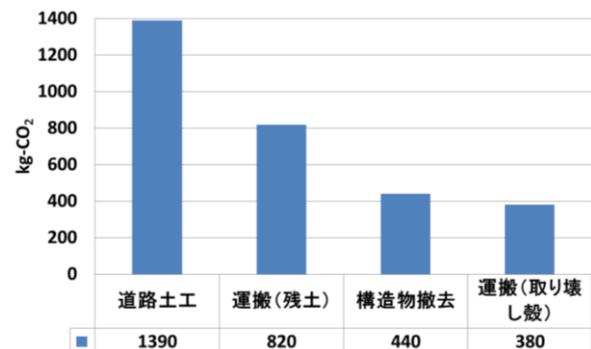


図-13 廃棄段階における信号改良化事業の環境負荷量

運搬量はラウンドアバウト化事業が土工残土を多く排出したため、消費した軽油の量が増加しCO₂排出量のが多くなったと考えられる。

また、その他の事業でもラウンドアバウト化事業の環境負荷量がすべて大きくなる結果となった。

5. 考察

ラウンドアバウト化事業及び信号改良化事業の環境負荷量排出結果を図-14に示す。

両事業の環境負荷量を比較すると、いずれの工法、材料においても15年間の維持管理を行うとラウンドアバウト化事業が信号交差点の改良化事業に比べ約3,000(kg-CO₂)環境負荷量が少なくなることがわかった。また、両事業の初期建設(調達段階・施工段階・廃棄段階)では、ラウンドアバウト化事業は37,164(kg-CO₂)、信号交差点の改良化事業は27,071(kg-CO₂)となり、その差は10,093(kg-CO₂)という結果であった。

また、両事業の維持管理段階においてオーバーレイと打替えの際に再生材を使用すれば、ラウンドアバウト化事業は9,037(kg-CO₂)、信号交差点の改良化事業は20,343(kg-CO₂)となり、維持管理を15年行えば、その差は11,306(kg-CO₂)となる。これは年間で754(kg-CO₂)の差である。ここで初期建設による環境負荷量の差を維持管理による環境負荷量の差(年間あたり)で除すことにより、13年以上長く維持管理を行えばラウンドアバウト化事業の運用段階を除くライフサイクル環境負荷量が少なくなることがわかった。

6. まとめ

本研究では、長野県飯田市東和町交差点を対象に、ラウンドアバウト化事業および交差点改良化事業における調達・施工・維持管理・運用・廃棄までの5つの段階に分けて環境負荷量を算出し結果の比較を行った。

その結果、維持管理期間を15年に設定すると運用段階を除く全段階においてラウンドアバウト化事業が2,000~3,000(kg-CO₂)少なくなることがわかった。

初期建設(調達段階・施工段階・廃棄段階)においては、ラウンドアバウト化事業の方が施工面積が大きく、それに伴い、使用された建材料及び施工に際する重機の稼働時間も長くなるため、交差点の改良化事業より多くの環境負荷量が生じる結果となった。しかし、維持管理段階においてLED信号の稼働による消費電力が多く生じたため、長期的に維持管理を行えば交差点の改良化事業の環境負荷量がラウンドアバウト化事業を上回る結果となった。

今回は運用段階を概算的に算出しているため、ライフサイクルの全段階における評価は十分ではない。しかし、運用段階の評価を詳細に行うことにより明確な比較評価

が可能である。今後は運用段階において、ラウンドアバウトを走行する車両の走行速度プロファイルの平均値を分析することで自由交通流による速度プロファイルの推定を行い、モデル化を検討していく。また信号改良化交差点に関しては車両挙動の分析方法を検討していく予定である。

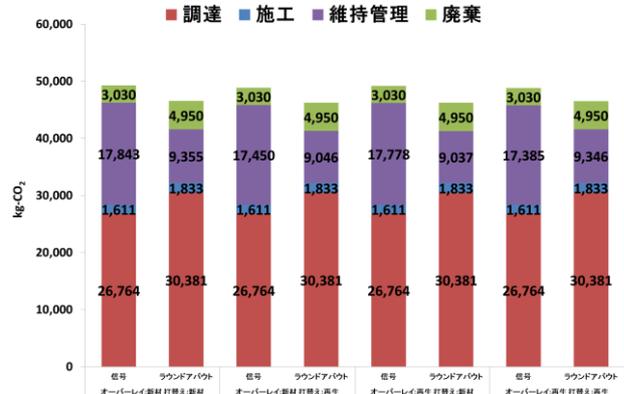


図-14 システム境界内における両事業の環境負荷量

謝辞：本研究の遂行にあたり、飯田市建設部地域計画課より資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉岡慶祐, 米山喜之, 宗平一徳, 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, I_1253-I_1259(2012)
- 2) 環境省：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 <http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calco/tiran.pdf>
- 3) 飯田ケーブルテレビ Web カメラ映像 <http://www.iidacable.tv/index.htm>
- 4) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer 開発と性能検証, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3 pp.276-287, 2006.
- 5) 中島ひろ子, 大原浩祉, 小栗康文, 鈴木隆, 吉田正武：実走行における燃料消費量の推定, 社会法人自動車技術会 学術講演会前刷集 No.108-99pp13-16,1999