

LRT導入へのLCA適用*

An application of Life Cycle Assessment to introducing Light Rail Transit *

渡辺由紀子**・加藤博和***・柴原尚希****・長田基広*****

By Yukiko WATANABE**・Hirokazu KATO***・Naoki SHIBAHARA****・Motohiro OSADA*****

1. はじめに

モータリゼーションの進展による環境問題や都市空洞化といった諸問題を解決するための一方策として、近年、LRT 導入の動きが欧米を中心に高まっている。しかしながら、LRT 導入が都市に及ぼす効果についての研究は十分に行われているとは言えず、本研究で問題とする環境面についてもその例外ではない。

架線から供給される電力により走行する LRT は、その場で排気ガスを出すことはなく、局地環境の面では優れているが、地球環境の面からも優れていると言えるかは別問題である。走行に係る環境負荷は発電所で発生している。その上、施設等の新設・改築や新規車両の製造によっても環境負荷は発生する。また、利用者が少ない場合には、利用者 1 人あたりの環境負荷は大きくなってしまふ。つまり、LRT の利用状況や自家用車からの転換状況によって環境負荷は大きく左右されることになる。結局、LRT が環境面から優れた交通機関かどうかを判断するためには、以上を総合的に評価し、代替公共交通手段との比較を行う必要がある。

本研究は、評価対象の環境負荷をそのライフサイクル全体で評価する LCA (Life Cycle Assessment) を用いて、LRT 導入による環境負荷変化を定量評価することを目的とする。路面電車や LRT に対する LCA 適用の例として、松橋ら¹⁾や加藤ら²⁾、山口ら³⁾の研究がある。本稿では、これら既往研究で行われていない、代替公共交通機関との比較を行い、需要量等の条件に応じていずれの輸送機関が環境負荷削減に資するかを明らかにする。

2. LCA適用方法

*キーワード：地球環境問題

** 学生会員、学(工)名古屋大学大学院 博士前期課程
環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町
TEL:052-789-3828, ywata@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

*** 正会員、博(工)、名古屋大学大学院 助教授 環境学研究科

**** 正会員、修(環境)、三重交通(株) 総合企画室経理部

***** 非会員、修(工)、大東建託(株)

表-1 対象輸送機関の概要

	LRT	Tram	BRT	Bus
車両走行原単位	2.0[kWh/(km・編成)]	1.5[kWh/(km・編成)]	2.1[台・km/]	2.1[台・km/]
燃料	電力	電力	軽油	軽油
表定速度 [km/h]	20	12	19	12
定員[人/編成]	150	80	74	80
一日平均乗車率 [%]	20	20	25	15

(1) シナリオ設定

本研究では都市中心部の 5km 区間を想定し、単純な輸送機関どうしの比較、LRT や BRT を新たに整備する場合としない場合との比較、を行う。

では、表-1 に挙げた各交通システムのライフサイクル環境負荷 (SyLCEL: System Life Cycle Environmental Load) の評価を行う。

では、現状で当該区間に路面電車が既に整備されている場合と、路線バスが運行されている場合とに分類し、そこに何を整備していくのか、もしくは整備せず現状のままとするのかという観点から、図-1に示す6種類のシナリオを設定する。そして、自動車等他交通システムからの需要転換や、専用軌道化による自動車の車線減少に伴う渋滞といった、システム外への波及効果に伴う環境負荷変化分を考慮できるよう対象のパウダリを広げた「拡張ライフサイクル環境負荷 (Extended Life Cycle Environmental Load : ELCEL) 」⁴⁾により評価する。

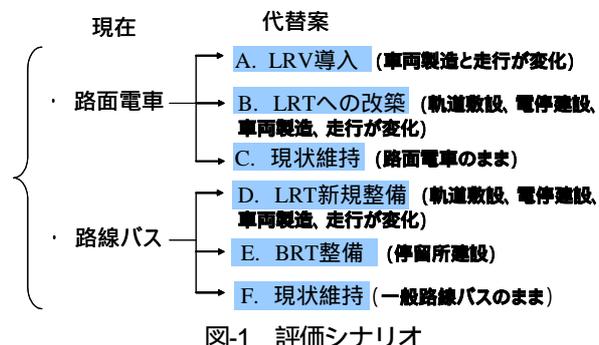


図-1 評価シナリオ

(2) 評価範囲の設定

a) システム境界

交通システムのLCAの評価対象範囲には、車両、本体構造物、付帯構造物の3種が考えられ、それぞれにつ

いて、原材料調達、建設・製造、供用、廃棄のライフサイクルを通した環境負荷を推計する必要がある。なお、インフラ・車両の廃棄については排出量が小さいとされており⁵⁾、環境負荷はゼロであると仮定する。本研究で評価する範囲を図-2に示す。

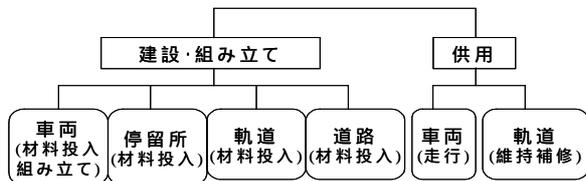


図-2 評価範囲

b) 対象とする環境負荷物質

地球温暖化に寄与する二酸化炭素(CO₂)、および酸性化や大気汚染に寄与する硫黄酸化物(SO_x)と窒素酸化物(NO_x)の3種類とする。

c) 使用する環境負荷原単位

日本建築学会作成の環境負荷原単位⁶⁾を使用する。これは、産業連関表に基づくにもかかわらず、物量ベースに換算されており、分類が約500と細かく、建設分野のLCAを行う上で扱いやすいためである。

(3) インベントリ分析

本研究は交通機関整備の構想段階での評価を行うことから、インベントリ分析において詳細データの利用は不可能である。そのため、あらかじめ主な構成要素ごとに標準化原単位を整備して利用する「概略 LCI」⁴⁾を用いる。車両 1 両、軌道 1km、停留所 1箇所という単位での環境負荷を積み上げ法によってあらかじめ推計することで原単位として整備しておき、それに各代替案において必要とされる数量を乗じることにより環境負荷を算出する。個々の推計方法について以下に説明する。

a) 車両

製造段階

LRT とバスの車両について、資材投入量や組み立てに関わるエネルギー消費量を対象とする。

LRV (定員 150[人]、重さ 31.7[t])については、組成の割合が鉄道車両と同程度と考えられるので、鉄道車両 (都市近郊型ステンレス車両) への投入量⁷⁾を重量換算して推計する。

バス車両についても、車両重量に比例すると仮定し、乗用車製造の環境負荷を用いる。

車両数は下記で計算される運行本数に応じて必要となる数に、予備として 2 両 (もしくは編成) を加えたものとする。

供用段階 (走行)

運行事業者へのヒアリング調査で得られた一般的な路面電車の走行原単位 [kWh/(km・編成)] やバスの燃費 [km/l]を表-1 に示す。運行本数は、ピークを考慮せず、

各輸送機関の定員と混雑率より 1 編成あたりの平均乗車人数を求め、需要量 (12h) を平均乗車人数で除した値を切り上げたものを用いる。

b) 軌道

LRT の軌道に関しては、昨年度新たに軌道を敷設した富山市役所へのヒアリング調査で得られた資材投入量のデータから、維持管理については鉄道に関する百万車両キロあたりの交換数量の原単位データ⁸⁾から求める。

c) 付帯構造物

LRT・BRT の停留所は、名古屋市の基幹バスの停留所 (プラットフォーム+屋根) と同等のものを仮定し、その停留所設計図から 1 個あたり原単位を推計する。運用については環境負荷ゼロとする。停留所は 312.5[m] おきにあり、上下合わせて 34 の停留所を持つとする。

(4) インパクト評価

日本版被害算定型影響評価手法「LIME : Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling」⁹⁾の統合化指標のうち貨幣評価値 (Ver.1) を用いて、環境負荷ごとに、各排出物質の重要度・役割を相対的に評価し統合化する。

3. SyLCEL推計結果

各輸送機関の需要量を5,000[人/day] (両方向計) とした時のSyLCELを推計する。

(1) 各輸送機関のSyLCEL

各輸送機関の人キロあたりの SyLCEL を CO₂、SO_x、

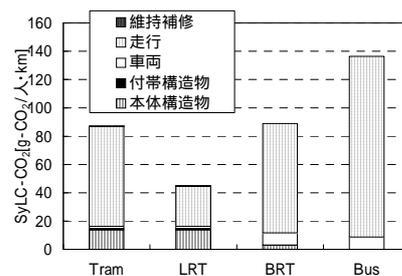


図-3 各輸送機関の SyLCEL-CO₂ 推計値 (需要量 5,000[人/day])

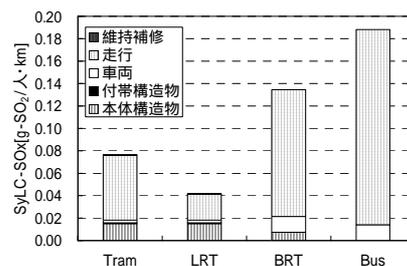


図-4 各輸送機関の SyLCEL-SO_x 推計値 (需要量 5,000[人/day])

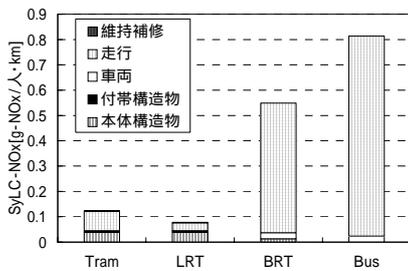


図5 各輸送機関のSyLCEL-NO_x推計値
(需要量 5,000[人/day])

NO_xそれぞれについて推計する。

結果(図-3、図-4、図-5)より、SyLCELの多くの割合を走行起源が占めていることが分かる。そのため、路面電車車両とLRT車両(LRV)との乗車定員や走行原単位の違いがSyLCELを大きく左右していることが分かる。CO₂については従来の路面電車とBRTの差はほとんどない。

また、SO_x、NO_xではLRTが軽油を使用するバスと比較すると排出量が小さく、特にNO_xにおいてその差は顕著となる。バスはほとんどが走行起源の排出となっているため、燃料の種類による違いが大きく現れる。

(2) 統合化評価値

各輸送機関のSyLCEL(CO₂、SO_x、NO_x)を、LIMEを用いて貨幣価値に統合した結果を図-6に示す。

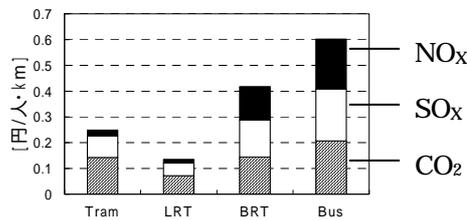


図6 各輸送機関の統合化評価値

LIMEでは、NO_xは点源(発電所等)と線源(道路等)とで評価値が異なる。バスのように運行しながら排気ガスを出す場合は線源汚染となり、評価値は大きくなるため、発電所からの点源汚染である路面電車やLRTとの差がCO₂のみの比較(図-3)よりも大きい。したがって、バス車両走行起源の大気汚染物質削減策は重要である。当面の対策として、CNG車両やハイブリッド車両の導入が考えられる。CO₂についてはそれほど削減できないことが現行の車両運行データから知られているが、NO_xについては大きく低減できるため、対策として有効である。また、SO_xについてはCNG車両ではほぼゼロにでき、軽油でも現在進んでいる低硫黄軽油の導入によって低減できる。ただし、これらの対策を行っても、BRTの環境負荷はLRTに比べて大きくなる。

(3) 需要量によるSyLCELの変化

CO₂を対象に、需要量による感度分析を行った結果

を図-7に示す。ここで、混雑率は需要量に関わらず一定と仮定しているため、走行起源の排出量は人キロあたりでは一定となる。

LRTについて需要量による変化が大きいのは、SyLCELに占めるインフラ構造体起源の割合が大きく、需要が多くなると、1人当たりの分担が小さくなるためである。次いで路面電車の変化が大きく、構造体起源の排出量の人キロあたりへの配分が小さくなるにつれ、BRTよりも低い値をとる。ただしその差は僅かである。

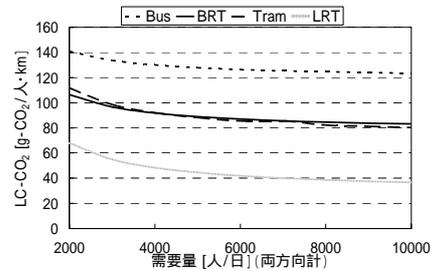


図7 需要量によるSyLCEL感度分析

4. LRT新規整備の環境負荷評価

2章の図-1で取り上げた代替案の比較を実施する。評価対象とする環境負荷はCO₂のみとする。

(1) 仮定する条件

都市中心部の片側2車線の主要道路を想定し、乗用車の12時間交通量(両方向)を20,000[台/12h](同じ道路を運行するバスを含めた場合20,540[pcu/12h])、平均乗車人数は1.3[人/台]とする。また、LRT・BRT導入以前に存在していた路面電車、もしくは路線バスの需要量(両方向)は、3章と同じく5,000[人/day]とする。

(2) 乗用車のCO₂排出量

LRTやBRTでは、軌道・バスレーン内車両進入禁止となり、自動車の走行車線は片側1車線に減少する。この場合、乗用車からの需要量の転換が起こらなければ渋滞が発生し、自動車の速度低下による燃料消費率悪化が生じる可能性がある。そのため、自動車走行による環境負荷を推計するために、旅行速度 v [km/h]と交通密度 k [台/km]の関係性を特定して自動車交通量から旅行速度を求め、さらに速度別の自動車燃費関数を適用して、乗用車のCO₂排出量を算出する。平成11年度道路交通センサスから得られる名古屋市内の主要道路におけるピーク時の交通量 q [pcu/h]・旅行速度 v [km/h]をUnderwoodの式に適用して重回帰分析を行う。推定された k - v 関係を式(1)、(2)に示す。

$$\text{片側2車線道路} : v = 28.9 \cdot e^{-0.0136k} \dots (1)$$

$$\text{片側1車線道路} : v = 31.5 \cdot e^{-0.0135k} \dots (2)$$

片側 2 車線の場合、交通量 $q=20,540[\text{pcu}/12\text{h}]$ では、式(1)と $q=k \cdot v$ より、 $k=19.2[\text{台}/\text{km}]$ となる。これが片側 1 車線となれば、式(2)より $k=57.5[\text{台}/\text{km}]$ 、 $v=14.5[\text{km}/\text{h}]$ となる。同様に乗用車から公共交通への需要量の転換が起こり、自動車交通量が減少した場合の自動車速度も算出できる。

旅行速度を考慮した乗用車の燃料消費量 $F[\text{ml}/\text{km}]$ は、大城ら¹⁰⁾のガソリン乗用車の燃料消費率式(式(3))より求める。

$$F=829.3/v - 0.9v + 0.0077v^2 + 64.1 \quad \dots (3)$$

求められた燃料消費量とガソリンの CO_2 原単位 ($2.32[\text{kg}\text{-CO}_2/\text{l}]$) より、乗用車の走行キロあたり CO_2 排出量が算出できる。

(3) ELCEL 推計および感度分析

A~F のシナリオ別に、ELCEL による評価を行う。

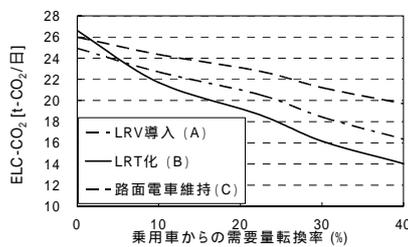


図-8 ELCEL による評価 (シナリオ A~C)

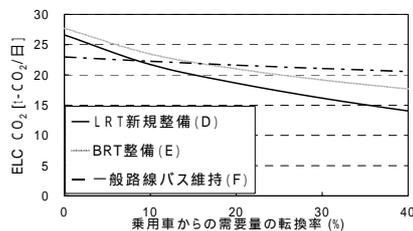


図-9 ELCEL による評価 (シナリオ D~F)

図-8 ではもともと路面電車のあるケース (A・B・C) について、対象区間の 1 日当たり CO_2 排出量変化の推計値を示している。LRV 導入 (A) のみでは需要転換が起こらなければほとんど変化はないが、転換が促されれば従来の路面電車 (C) よりも減少する。システムを LRT 化した場合 (B)、転換が起こらなければ自動車速度低下により CO_2 排出量は増加するが、転換割合が多くなると、他のケースよりも減少が大きくなる。

図-9 ではもともと路線バスがあるケース (D・E・F) についての CO_2 排出量変化を示している。LRT (D) で 10[%] 以上、BRT (E) で 20[%] 以上の乗用車からの転換がある場合、 CO_2 排出量が少なくなることが分かる。

なお、本研究では混雑率を一定とし、需要量の増加に比例して走行本数も増加するとしているが、実際には需要量増加ほど運行本数は増加しない。そこで、日本の大都市近郊部の鉄道等 55 路線について 1 日平均の需要量と 1 日平均乗車率¹¹⁾ の関係を単回帰分析した結果、

式(4)が得られる。

$$D = k \cdot C^\alpha \quad (\alpha = 2.16, k = 13.6) \quad \dots (4)$$

(D : 需要量[人/day], C : 1 日平均乗車率 [%])

式(4)より、LRT については転換率 40[%] の場合需要量 15,400[人/day] であるため、混雑率は 20[%] から 25.6[%] に増加する。このとき、 CO_2 排出量は図-9 よりさらに 0.49[t/day] 減少することとなり、より一層の削減が見込まれる。

5. まとめ

本研究では、LRT システムの環境負荷評価と、バス・BRT 等代替輸送機関との比較を自動車交通への影響を含めて実施した。

その結果、LRT システム自体のライフサイクル環境負荷排出量は CO_2 のみ、 CO_2 + 大気汚染物質のいずれかで評価しても、BRT やバスよりも少ないことが明らかとなった。バス車両の排出技術が改良されるとこの差は縮まるが、逆転するまでには至らない。ただし、LRT 導入にあたっては、乗用車からの需要転換が小さいと BRT 導入や路線バス維持より不利となることから、実効性のある需要転換策の実施が、環境負荷削減のために必要であることが示された。

謝辞

本研究は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 東京支社との共同研究「鉄道整備のライフサイクル環境評価に関する共同研究」の一環として実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 松橋啓介 他：都市内交通手段としての路面電車に関するライフサイクル評価，エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，4，pp.67-72，1998
- 2) 加藤博和，大浦雅幸：新規鉄道整備による CO_2 排出量変化のライフサイクル評価手法の開発，土木計画学研究・論文集，17，pp.471-479，2000
- 3) 山口耕平 他：ライフサイクル環境負荷を考慮した LRT 整備の評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，18(4)，pp.603-610，2001
- 4) 加藤博和：交通分野へのライフサイクルアセスメント適用 IATSS Review, 26(3), pp.55-62, 2001
- 5) 稲村肇 他：高速道路と新幹線のライフサイクル炭素排出量の比較研究，運輸政策研究，15，pp.11-22，2002
- 6) 日本建築学会：LCA データベース 1995 年度産業連関分析データ版 Ver.2.2，2003
- 7) 日本資源協会 他：鉄道車両に投入されるエネルギー量検討報告書，1996
- 8) 狩野弘治，浅見均，高橋浩一，加藤博和：鉄道整備における LCA の原単位，土木学会環境システム研究論文発表会講演集，32，pp.203-208，2004
- 9) LCA 日本フォーラム：JLCA-LCA データベース 2005 年度 3 版
- 10) 大城温 他：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，43(11)，pp.50-55，2001
- 11) 国土交通省総合政策局：平成 15 年度 都市交通年報，運輸政策研究機構，2003