特集「社会システムのLCA: Social/Dynamic LCAの確立を目指して」

研究論文

道路交通流への効果を考慮した道路改良事業のLCA手法： 踏切除却事業を対象として

森本 涼子・柴原 尚希・加藤 博和

Life Cycle Assessment Approach on Impacts of Road Improvement Projects Considering Effects of Traffic Flow: Case Study for Removal of a Railway Crossing

Ryoko MORIMOTO, Naoki SHIBAHARA and Hirokazu KATO

Synopsis:

Objective. Road traffic contributes significantly to carbon dioxide (CO₂) emissions. Road improvement projects are one of the effective measures to reduce CO₂ emissions. In this study, a methodology based on the Life Cycle Assessment (LCA) approach is developed for evaluating environmental impacts of road improvement projects.

Results and Discussion. A framework for evaluating environmental loads from road transport system including road infrastructure and vehicle traveling is proposed. The framework also enables us to analyze changes in driving conditions that are influenced by road improvement. Further, it evaluates the impacts due to induced traffic and change in traffic speed. The method is applied to a road improvement projects involving removal of a railway crossing by constructing an elevated track. A project undertaken in this study can reduce System Life Cycle CO₂ (SyLC-CO₂) because it improves driving conditions by reducing stops and congestion due to railroad crossing. However, sensitivity analysis shows the following important findings: 1) SyLC-CO₂ increases if traffic volume increases by more than 1.28 times after the project; 2) For a crossing where the traffic volume is less than 3,000 vehicles, such a project is unsuitable because the SyLC-CO₂ increases after the project; 3) Large traffic volume is not required to reduce SyLC-CO₂ if the crossing is closed long times.

Conclusions. The results of a sensitivity analysis carried out under different traffic conditions indicate that there is an overall decrease in CO₂ emissions because, despite improvements in driving conditions, the environmental load contributed by road traffic is greater than the total load contributed by infrastructure construction and induced traffic.

Keywords: Road improvement project; Road traffic; Sensitivity analysis; Carbon dioxide (CO₂)

1. はじめに

自動車交通は地球温暖化をはじめとする環境問題の大きな要因であり、環境負荷削減の立場からの対策が急がれている。自動車交通起源の環境負荷排出量を削減する手段は、大きくa) 自動車総走行量の削減、b) 1台当たり排出量の削減に分けることができる。そのうちb) は、自動車単体燃費の向上はもとより、走行状況の改善による実走行燃費の改善が有効である。自動車走行は、渋滞や交差点・踏切の存在によってストップ・アンド・ゴーやアイドリング時間が多くなると、燃費が悪化し環境負荷発生が増大することから、走行状況の改善が効果的な環境負荷削減施策になりうる。そのため、渋滞解消とそれに伴う環境負荷削減に関する分析が数多く行われている。

国土交通省道路局では2006年度以降、地球温暖化防止のための道路政策として「CO₂削減アクションプログラム」を推進している。これは、主要渋滞ポイント対策、環状道路整備、ITSの活用促進等によって走行環境を改善しCO₂排出量削減を図るものである。特に交通円滑化施策は約6.5～7.0[Mt-CO₂/年]の削減効果が見込まれており、主要な施策と位置付けられている。施策の具体的な内容として、高速道路の利用促進と並んで、交差点改良や踏切除却、車道拡幅等による渋滞箇所解消のための道路改良事業が挙げられている。

しかしながら、これらの事業は大規模なインフラ整備を必要とするため、コストも大きくなり、かつインフラ建設自体に伴う環境負荷排出も大きい。国土交通省や建設会社

が報告している整備効果で環境負荷削減効果として評価されているのは、通常、自動車からの排出分のみであり、インフラ建設分は計上されていない。また、供用後の利便性向上による環境負荷増加についても、評価プロセスの中でいかに考慮しているかを明確にしたものは少ない。これらの影響も含めて環境負荷を包括的かつ定量的に評価する手法が整備され適用されてはじめて、道路改良事業が環境負荷削減施策として機能しているかどうかの議論に活用できる客観的なデータが得られる。また、他の事業案との環境面での比較も可能となる。

本研究では、道路改良事業の事業計画段階において、その環境負荷削減効果を、自動車走行への波及効果を含めて定量的・包括的に評価するための方法論を、LCAをベースに構築する。また、自動車走行状況に関する感度分析を行うことで、状況に応じた削減効果の発現条件を明らかにし、交通需要予測の精度に左右されない評価を可能とする枠組みとして整備する。

2. 本研究が提案する枠組み

2.1 道路改良事業の環境負荷評価に関する既往研究と本研究の位置づけ

従来、道路事業へのLCA適用と称して、道路インフラの建設に伴うCO₂排出量を資材製造段階までさかのぼって推計する調査・研究が多数行われている。例えば、舗装道路の建設・維持補修の方法の組み合わせをコスト・環境負荷の両面から比較した天野ら¹⁾の研究や、道路整備に伴う環境負荷を推計し大気汚染や振動などの影響を統合評価して示した三上ら²⁾の研究では、道路インフラそのものを評価対象範囲（システム境界）として、工法や資材、構造の評価検討を行っている。しかし、これらの研究では道路事業を建設のみならず維持・補修や廃棄まで含めたライフサイクル全体で評価するものとはなっていない。

さらに、道路を整備・改良すれば必然的に自動車交通にも影響が及び、新たな交通活動の誘発・経路や手段の転換が起こり、走行状況が変化する。そこで、例えば信号制御や高速道路ネットワークの整備など特定の道路交通状況に

おける自動車からの環境負荷排出に関する小根山ら³⁾の研究では、交通条件や道路構造による影響が定量的に検討されている。この種の研究は主に交通工学・交通計画の分野で行われてきている。

本研究では、道路インフラと自動車走行の両方の評価を統合してはじめて、道路整備の環境面での効果が包括的に把握できるという認識に立ち、従来はそれぞれ別個に行われてきた分析の結果を統合し、LCAの枠組の中で整理することを目指すものである。同様の問題意識に立った既往研究として、中村ら⁴⁾や著者ら⁵⁾は過去に、道路改良事業のLCAを自動車走行の変化分も含めて実施している。しかし、自動車走行状況に関する感度分析を行っておらず、供用後に想定される道路状況に関する多様なシナリオに対応できるような結果が得られていなかった。本研究では道路状況を表現するパラメータについて感度分析を実施する。

2.2 システム境界の設定

インフラ整備は社会に広範囲にわたって効果が波及するため、LCAの適用においては、波及効果の範囲に対応したシステム境界の設定が重要であり、これが妥当でない場合、結果の有用性・信頼性が損なわれることとなる。そこで著者らは、評価範囲を「システムのライフサイクル環境負荷（System Life Cycle Environmental Load: SyLCEL）」にとどまらず、システムの外部に波及的に生じる環境負荷変化分まで評価範囲を拡張した「拡張ライフサイクル環境負荷（Extended Life Cycle Environmental Load: ELCEL）」の概念を提案している⁶⁾。

これに倣うと、道路改良事業におけるシステム境界は、表1のように定義できる。インフラ建設によりインフラのLCEL(表1の1)、2)が発生するが、その区間における走行状況改善や渋滞解消によって、自動車走行による環境負荷が大きく削減できれば、道路およびその上を走行する車両を合わせて道路システムとしてみたSyLCELは削減される可能性がある。一方で、対象道路区間の交通が円滑化したことに伴い、誘発交通需要の発生や、他経路からの転換が、その対象道路区間の交通量増加に寄与することが一般

表1 システム境界の定義

システム境界	道路改良事業一般	連続立体交差化による踏切除却事業
インフラのLCEL	1) 既存インフラの除去	踏切の撤廃、道路の舗装
	2) 新規インフラのライフサイクル	高架鉄道橋の建設・維持
SyLCEL	3) 自動車走行状況変化	自動車の渋滞・停止の解消
	4) 自動車以外のシステム各要素の変化	勾配による電車の電力消費の変化
	5) 対象区間での交通量増加（誘発／転換）	対象区間での交通量増加
ELCEL	6) ネットワーク全体での交通量増加と再配分	ネットワーク全体での交通量増加と再配分

的であり、SyLCELにその評価も組み込む必要が生じてくる。加えて、周辺の道路ネットワークや、場合によっては公共交通等を含めて交通量が再配分され（表1の6）、交通状況が変化し、結果として環境負荷を増減させることも考えられる。これらはSyLCELの対象範囲である当該道路区間を超えていることから、システム境界を広げたELCELでの評価が必要である。以上のように、事業実施によって環境負荷を社会全体で削減できるかどうかを判断するためには、その波及効果が及ぶ範囲やその大きさに応じて、SyLCEL・ELCELでの評価が必要となってくる場合もある。

本研究では、評価対象範囲（システム境界）として、対象区間におけるa) インフラのライフサイクルでの活動（表1の2）、及びb) それを通行する自動車の走行（表1の3）を考え、これらに伴う環境負荷の合計である「道路システムのライフサイクル環境負荷(SyLCEL)」を扱う（図1）。a) については、ライフステージごとに材料消費量や機械の燃料消費量に環境負荷排出原単位を乗じることで、環境負荷を求めている。b) は、平均走行速度をパラメータとした式を用いて、走行による燃料消費量を求めるとともに、停止や加減速、勾配抵抗などによる追加的な燃料消費量を求める。これらの値に燃料消費量当たりの環境負荷排出原単位を乗じ、さらに当該区間を走行する自動車の交通量を乗じることで、自動車の走行による環境負荷排出量とする。このa) とb) を合わせてSyLCELを推計する。対象区間における新規需要の発生（表1の5）については、感度分析により検討を行う。

なお、ELCELに当たるネットワーク全体での経路転換（表1の6）については、本研究では次章で説明するように仮想区間を対象としており、周辺ネットワーク全体までのデータ設定ができないため、転換は起こっていないものと仮定する。その上で4章において、この仮定が結果にもたらす影響について言及する。

3. 踏切除却事業へのLCA適用

3.1 想定する事業の概要

本研究で評価対象とするのは、多数の踏切が存在している鉄道線について、高架化によって踏切を除却する事業である。踏切遮断の待ち時間がなくなり渋滞が解消することによる道路交通の円滑化や踏切事故防止を目的として、全国で実施されている。また、車両の停止によるストップ・アンド・ゴーやアイドリングが解消されることによって、環境負荷削減効果もあるとされている。

実際に行われた事業のデータを参考に、本研究で想定する事業の概要（図2）、改良前後の自動車走行状況（表2）、踏切遮断時間（表3）の設定を示す。駅は鉄軌道3.0kmにつき1駅、踏切は0.3kmにつき1箇所と設定し、延長2.1km、駅1箇所、踏切7箇所、高さ10mの連続立体交差化事業について推計を行う。対象とする時間帯は昼間12時間（7～19時）とする。交差する道路の交通状況は、大型車混入率16%で、1つの踏切につき昼間交通量5,000台とし、時間帯によって交通量は変化しないものとする。除却する踏切は計7箇所であるので、35,000台の自動車の走行に影響を与えることとなる。

踏切遮断による交通現象を次のように考える。1) 踏切遮断により待ち行列が形成され、遮断の間自動車は停止しアイドリングを行う。2) 踏切開放に伴い、待ち行列先頭の自動車が動き出し、後続車は低速度で走行しながら踏切に進む。3) 遮断されない自動車についても、踏切進入前に一時停止を行う。この1)～3)は、図2に示すアイドリング、走行速度、一時停止として考慮される。具体的な速度としては、踏切遮断により停止する車（停止車）は、踏切手前500m区間で、走行速度40[km/h]で走行し、待ち行列最後尾についたところで踏切遮断の間停止、踏切開放後に発進してからは走行速度20[km/h]で走行するものとする。通過する車（通過車）は踏切の影響を受けないものとして、走行速度は40[km/h]で走行するものとする。

図1 道路システムのSyLCELの構成

図2 想定する踏切除却事業の概要

表2 改良前後の自動車走行状況の設定

1踏切あたりの自動車走行条件		改良前	改良後
自動車走行状況	昼間12時間交通量 [台]	5,000	
	走行速度 [km/h]	停止車20 通過車40	40
	大型車混入率 [%]	16	
踏切遮断による 停止車の割合 [%]	ピーク時 (7～9時)	70	0
	通常時	40	
踏切遮断による 停止時間 [分]	ピーク時 (7～9時)	1.5	0
	通常時	1.0	

表3 踏切遮断時間の設定

踏切遮断条件		
1時間当たり 平均遮断時間 [分]	ピーク時 (7～9時)	42
	通常時	24
1回あたり 平均遮断時間 [分]	ピーク時 (7～9時)	3
	通常時	2

踏切遮断状況は、ピーク時の遮断時間が1時間当たり40分以上の「開かずの踏切」のデータ⁷⁾を参考に、踏切遮断時間を、ピーク時(7～9時)と通常時(9～19時)とに分けて設定する。これによって、踏切遮断による停止車の割合も変化する。その設定は、自動車が踏切に一樣到着するものと仮定し、1時間当たりの平均踏切遮断時間⁷⁾を用いて、「1時間に踏切が遮断している割合」＝「時間交通量に占める停止車の割合」とする。踏切の遮断による期待停止時間(待ち時間)は、遮断時間の半分と設定する。これにより、停止車の割合はピーク時70%、通常時40%となり、停止車1台当たりの踏切遮断時間はピーク時1.5分、通常時1.0分となる。また、待ち行列の長さは、踏切遮断時間内に停止する自動車の台数を求め、それに平均車頭間隔(小型車:6m、大型車:12m)を乗じて算出する。なお、前の車両が発進しても後ろの車両は少し遅れて発進するため、踏切開放後も待ち行列が解消するまでは待ち行列後方は停止(アイドリング)状態がしばらく続くが、本研究ではその分を考慮しないため、

アイドリングを過小推計していることになる。実測や交通シミュレーションにより待ち行列における車両の挙動を把握することで、より詳細な推計とすることが今後の課題である。ただし、後の結果に示すように、停止に伴うアイドリングによる排出が占める割合は大きくない。

このような踏切を含む、対象道路区間(踏切手前500m区間)における自動車走行と、遮断の間のアイドリングによる燃料損失に伴う環境負荷排出量を推計する。改良によって踏切が除却されることで、渋滞が解消し周辺の走行速度は40[km/h]となり、アイドリングもなくなるものとする。

3.2 Goal and scope definition

2.2節で示した道路改良事業におけるシステム境界設定の枠組(表1)に沿って、踏切除却事業におけるシステム境界を表1の右列のように設定することができる。このうち本研究では、「2) 新規に建設するインフラ」としての高架鉄道橋、及び「3) 自動車の渋滞・停止の解消」をSyLCELとし、推計対象とする。推計範囲の詳細を3.3節で述べる。

プロジェクトの対象期間は、建設開始から供用後30年までとする。評価対象とする道路空間は、踏切手前の500m区間とする。

推計する環境負荷物質は、地球温暖化に寄与するCO₂(二酸化炭素)のみとする。ただし、本研究で示す方法論を用いることで、NO_x、SO_xといった局地環境問題をもたらす環境負荷物質についても、原単位のデータの置き換えによって扱うことが可能である。

3.3 Inventory analysis

1) インフラ整備

インフラ整備の環境負荷推計には、狩野ら⁸⁾が推計した鉄道駅・高架橋の標準構造に対応した原単位を用いる。ただし、踏切や線路など改良前に使用されていた構造物の撤去は評価対象範囲に含めておらず、撤去作業によるCO₂発生は考慮していない。供用段階に関しては、インフラの維持補修については、アスファルト舗装に対する10年ごとの切削オーバーレイ工事を想定する。

2) 自動車交通

対象道路を通過する自動車(小型車/大型車に区分)から発生する環境負荷排出量(走行分及び踏切遮断の間のアイドリングによる燃料損失を考慮)を、踏切除却前後それぞれについて推計する。

前提条件として、自動車走行状況パラメータである、交通量・平均走行速度・大型車混入率を設定する。小型車はガソリン乗用車、大型車はディーゼル普通貨物車として推計を行う。

自動車走行分の環境負荷は式 (1) に基づいて推計する。

$$EL = FC \times EF \times D \times Q \quad (1)$$

ここで、 EL : 環境負荷排出量 [kg/日]、 FC : 燃料消費率 [ℓ/台km]、 EF : 燃料消費の環境負荷排出原単位[kg/ℓ]、 D : 区間距離 [km]、 Q : 交通量 [台/日]

燃料消費率の算出には、大城ら⁹⁾ が走行試験によって得た、平均旅行速度 v [km/h] を説明変数とする式を用いる。小型車の燃料消費率 FC_c [ℓ/台km] は式 (2)、大型車の燃料消費率 FC_h [ℓ/台km] は式 (3) で表される。平均旅行速度は、走行状況が燃費やCO₂排出原単位に及ぼす影響を表す際に最もよく用いられるパラメータである。

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

$$FC_h = 17.9/v - 9.6v + 0.073v^2 + 560.1 \quad (3)$$

この値に、燃料を消費する際に発生する環境負荷排出原単位を乗じて台km当たりの排出量を求め、それに距離・交通量を乗じて、走行分の環境負荷排出量とする。

また、停止時のアイドリングによる燃料消費量は表4に示す値¹⁰⁾ を用いる。踏切進入前の一時停止による燃料消費は、小型車・大型車ともにガソリン0.026 [ℓ/台] とする¹¹⁾。

なお、自動車・建設機械の燃料消費の環境負荷排出原単位については、日本建築学会が公表しているLCAデータベース Ver.2.2¹²⁾ を利用する。

表4 アイドリング1分間当たりの燃料消費量

	燃料消費量 [ℓ/分]
小型車	0.0140
大型車	0.0155

4. 環境負荷の推計結果

4.1 SyLCEL 推計結果

踏切除却の前後で自動車交通量が変化しない場合のSyLC-CO₂ (SyLCEL評価したCO₂排出量) 推計結果を図3に示す。改良に伴って、踏切による一時停止と遮断による停止中のアイドリング・渋滞が解消されることで、自動車走行によるCO₂が約40%削減される。これが、改良によるインフラ増加起源の分を相殺し、SyLC-CO₂は16.4%削減となっている。

4.2 自動車走行状況による感度分析

改良に伴って当該道路の利便性が向上し、交通量が新たに誘発されて増加することを想定し、交通量変化に伴うSyLC-CO₂の変化を推計する感度分析を行った結果を図4に示す。改良前に1踏切当たり5,000 [台/12時間] であった交通量が、1.28倍の6,380 [台/12時間] 以上が増加すると、改良前よりもSyLC-CO₂が増大する結果となっている。

図3 踏切除却によるSyLC-CO₂変化推計結果

図4 踏切除却によるSyLC-CO₂変化の自動車交通量による感度分析

つまり、改良後の交通量の増加量によっては削減効果が発生しないことがありうることを示唆している。

ただし、増加した交通量は、新規誘発だけでなく他経路からの転換も含まれる。すなわち、踏切を避けて他経路を利用していた自動車が、渋滞解消を受けて事業実施踏切を含む経路へ転換することで、他経路の混雑が解消し、環境負荷が削減されることが考えられる。次の4.3節で示す削減効果の発現条件も変化し、当該区間の交通量が改良後に大幅に増加しても、それが混雑している道路からの転換であれば、ネットワーク全体としては削減効果が得られる場合がありうる。この効果がどの程度期待できるかは、他経路の混雑やそこからの転換の状況に依存することから、その効果が大きく見込まれる場合、ネットワーク交通量推計方法を適用し、影響が及ぶネットワーク全体に広げてELCELによる評価を実施することが必要となる。

4.3 環境負荷削減効果が発現する条件

4.2節の感度分析結果から、SyLC-CO₂削減効果が改良に伴う交通量の変化によってどう増減するかを定量的に示すことができた。しかし、事業の計画段階で、改良後の交通量は予測値しか得られないため、実際の交通量が予測値と大きく異なった場合、事前の推計結果が意味をなさなくなる可能性がある。そこで、前提条件を変化させて評価を行うことにより、SyLC-CO₂削減効果が発現する条件を明らかにすることで、予測値の精度にかかわらず事業効果を検討できるようにすることを試みる。

1) 道路交通量の変化

SyLC-CO₂削減効果の有無を、改良前後の交通量に関して図5にまとめた。これは、踏切除却前後の自動車交通量の変化と削減効果の有無を示したものであり、改良後の交通量（新規誘発）増加がどの程度であっても削減効果が得られるのかを、簡便に検討することもできる。例えば、改良前交通量が3,000台以下の踏切では、改良後に交通量が減少しないとSyLC-CO₂は削減できないことがわかる。改良して交通が円滑になった箇所の交通量が減ることは考えにくく、したがってこのような交通量条件の踏切では鉄道連続立体交差化はSyLC-CO₂削減施策とはならないということになる。

2) 改良前の踏切遮断状況の違い

図3から、踏切除却によるSyLC-CO₂削減には、踏切進入時や踏切遮断時の停止の解消が大きく寄与していることがわかる。このことは逆に、踏切遮断時間が短い、もしくは交通量が少ない踏切では、インフラ整備によるSyLC-CO₂発生分を相殺できない可能性があることを意味する。そこで、鉄道連続立体交差化による踏切除却がSyLC-CO₂削減効果を有するかどうかを簡便に検討できるように、交通状況と踏切遮断状況から見た削減効果の有無をまとめる。踏切遮断条件（ピーク時・通常時の停止車の割合と、1回の平均遮断時間）について感度分析を行い、削減効果が発現する交

図5 踏切除却前後の自動車交通量とSyLC-CO₂削減効果との関係

図6 踏切遮断時間・自動車交通量とSyLC-CO₂削減効果との関係

表5 一般的な踏切の遮断条件

踏切遮断条件		
1時間当たり 平均遮断時間 [分]	ピーク時 (7～9時)	24
	通常時	12
1回あたり 平均遮断時間 [分]	ピーク時 (7～9時)	2
	通常時	1
踏切遮断時間 [時間/12時間]		3

通量の条件を求めた結果を図6に示す。図では、踏切遮断条件として7～19時の12時間の踏切遮断時間と交通量を各軸にとっている。

この図でも示されているように、遮断時間が長いほど、交通量が少なくても削減効果が得られる。例えば、ケーススタディで用いた表3の「開かずの踏切」（12時間の踏切遮断時間：6.75時間）では、交通量が約2,700台あれば削減効果が生じるが、表5で定義した一般的な踏切（同：3時間）では、交通量が約3,300台なければ削減効果が生じない。

5. まとめ

本研究では、LCAを用いた道路改良事業の環境負荷評価手法を提案した。

まず、道路整備による環境負荷の増減を道路インフラと自動車走行の両面を含めて包括的に把握するため、これらに伴う環境負荷の合計を、「道路システムのライフサイクル環境負荷（SyLCEL）」と定義し、評価指標に用いることとした。道路インフラについてはライフステージごとに材料投入量や機械の燃料消費量に環境負荷排出原単位を乗じて環境負荷を推計した。自動車走行は平均旅行速度をパラメータとした式を用いて走行による燃料消費量と、停止や加減速による燃料損失量に燃料消費の環境負荷排出原単位を乗じることで推計した。

構築した手法を、鉄道連続立体交差化による踏切除却事業へ適用することで具体的に展開し、CO₂を対象に推計を行った。ケーススタディの結果、自動車交通量が変化しない場合は削減効果が生じるものの、誘発交通の発生のいかんによっては、それに伴う自動車走行起源CO₂の増加がインフラ建設によるCO₂発生を相殺できず、削減効果が発現しないことを示した。加えて、許容できる誘発交通発生量は改良前の交通量によって異なることや、交通量の少ない踏切では改良後に交通量が減少しなければ削減効果が生じないことなど、削減効果の発現は改良前後の交通量の変化に依存することを定量的に示した。

事業の計画段階でSyLC-CO₂削減効果を評価するにあたっては、改良後の交通量は予測値しか得られず、実際の改良後の交通量が予測と大きく異なることも起こりうる。そのため、改良に伴う交通状況変化に対応する感度分析を行った。その結果、改良前後の交通量変化や、改良前の踏切遮断状況によって、削減効果が発現する条件が変化することを示し、踏切除却事業が効果をあげる交通状況や踏切遮断時間を定量的に明らかにし、図に結果をまとめることで実務に適用できるように配慮した。

今後は、交通流シミュレーション等によって、自動車から発生する環境負荷をより精緻に推計することや、波及効果が及ぶネットワークに範囲を広げてELCELの推計を行うことによって、具体的な事業への適用可能性を高めた手法に発展させていく予定である。

謝辞

本研究は科学研究費・萌芽研究（19651016）の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表するものである。

（平成20年4月28日受付、平成20年12月2日採択）

参考文献

- 1) 天野耕二, 牧田和也: 土木学会論文集, 657(VII-16), (1999), pp.57-64
- 2) 三上市藏: 環境システム研究論文集, 31, (2003), pp.101-111
- 3) 小根山裕之, 桑原雅夫: “第21回交通工学研究発表会”, 東京, (2001), pp.121-124
- 4) 中村英樹, 加藤博和, 丸田浩史, 二村達: 環境システム研究, 26, (1998), pp.261-270
- 5) 加藤博和, 林良嗣, 登秀樹: 環境システム研究, 24, (1996), pp.282-293
- 6) 稲葉敦監修, “LCAの実務”, 産業環境管理協会, 東京, (2005), pp.38-40
- 7) 仙台市: “仙台空港アクセス線開業後の踏切遮断時間の調査結果”, 仙台市, (オンライン), 入手先 <<http://www.city.sendai.jp/kensetsu/keikaku/fumikiri/index.html>>, (参照 2008-12-5)

- 8) 狩野弘治, 浅見均, 高橋浩一, 加藤博和: “第32回環境システム研究論文発表会”, 東京, (2004), pp.203-208
- 9) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 土木技術資料, 43(11), (2001), pp.50-55
- 10) 環境省: “アイドリング・ストップ Q&A”, 環境省, (オンライン), 入手先 <http://www.env.go.jp/earth/cop3/dekiru/ta_03-2.html>, (参照 2008-12-5)
- 11) 安井一彦: 交通工学, 42(5), (2007), pp.29-32
- 12) 日本建築学会: LCA データベース 1995 年産業連関分析データ版 Ver.2.2, (2003)