

ライフサイクルを考慮したBRT導入におけるCO₂排出削減量の推計に関する研究*

Study on Estimation of CO₂ Emission Reductions by Bus Rapid Transit Introduction in Consideration of Life Cycle*

金子翔一**・福田敦***・石坂哲宏***

By Shoichi KANEKO**・Atsushi FUKUDA***・Tetsuhiro ISHIZAKA***

1. はじめに

都市において公共交通機関を積極的に導入し、需要転換により CO₂ の主要な排出源である自動車の利用を減らすことで、CO₂ 排出量が削減できると考えられている。しかし、公共交通機関の導入による需要転換で CO₂ 排出量が削減される一方、新たな施設建設や車両製造によって CO₂ が増加すると考えられる。そこで、需要転換による CO₂ 排出削減量から Life Cycle Assessment (以下、LCA) を適用して推計した施設建設や車両製造によって生じる CO₂ 排出量を差し引くことにより真の CO₂ 排出削減量を推計する拡張ライフサイクル環境負荷 (以下、ELCEL) の考え方¹⁾ が提案されている。しかし、LCA 適用に主眼を置いた適用事例が多く、公共交通機関のサービスレベルによって需要が変化する点を考慮した需要推計は行われていない。そのため、ELCEL の考え方の枠組みを活かしつつ、公共交通機関のサービスレベルを考慮した需要推計を行うことで、より精度の高い需要予測の結果を用いた CO₂ 排出量推計の枠組みの検討が必要であると考えられる。

そこで本研究では、ELCEL の考え方に基づいて、道路空間を走行する Bus Rapid Transit (以下、BRT) を対象公共交通機関とした CO₂ 排出量推計の枠組みを検討することを目的とする。また、CO₂ 排出量推計の枠組みを用いて、タイ・バンコクで建設が進む BRT 南線を適用事例として CO₂ 排出量推計の枠組みの有効性を確認し、BRT 導入による CO₂ 排出削減量の推計を行う。

2. ライフサイクルを考慮する必要性

交通分野では鉄道をはじめとする公共交通機関の旅客

*キーワード：CO₂ 排出量推計、LCA、BRT

**正員、工修、社会システム株式会社

(東京都目黒区東山1-5-4中目黒ビジネスセンタービル1F、
TEL03-5773-0002、FAX03-5773-0012)

***正員、工博、日本大学理工学部社会交通工学科

(千葉県船橋市習志野台7-24-1、
TEL047-469-5355、FAX047-469-5355)

輸送量当たりのCO₂排出量が自動車交通と比較すると小さいため、「公共交通機関は環境にやさしい」とされている。しかし、これには施設建設や施設改良等を行うことにより生じるCO₂は考慮されていない。そのため、施設建設等により生じるCO₂排出量が需要転換によるCO₂排出削減量を下回らないと公共交通機関導入によるCO₂削減効果があったとはいえず、走行・運行される際に発生するCO₂のみの評価だけで、「環境にやさしい」と結論づけることは早計であると考えられる。

3. 交通分野における CO₂ 排出量推計の整理

交通分野における CO₂ 排出量は、道路や駅等の施設建設等により生じる CO₂ 排出量、自動車や鉄道車両等の車両製造の際に生じる CO₂ 排出量と車両走行・運行の際に生じる CO₂ 排出量に大別できる。

施設建設により生じる CO₂ 排出量は工業製品の分野で適用が進む、原料採取から輸送、廃棄までの CO₂ 排出量を定量的に捉える LCA を適用し推計が行われる。また、工業製品である車両が製造される際に生じる CO₂ も LCA を適用し、推計を行う。しかしながら、施設と工業製品では表 - 1 に示すように異なる特徴を有していることから交通分野で LCA を適用するには課題があり、これらの課題を考慮した対応策を講じて LCA を実施する必要がある。

表 - 1 LCA の観点から施設と工業製品の比較

	施設	工業製品	対応策
耐用年数	長い 技術革新や老朽化の考慮が難しい。複数要素で構成されることからライフタイムの設定が難しい。	短い 将来に対する不確実性はあまり考慮する必要がない。	もともと耐用年数の長い施設にあわせてライフタイムを設定する。
生産	一品生産 個々にCO ₂ 排出量を計測をする必要がある。また、計画段階ではデータ制約により推計が難しい。	大量生産 原料や工程の検討段階でCO ₂ 排出量を計測をすることができ。	あらかじめ構造ごとにLCAを行い原単位化し、必要量を乗じることでCO ₂ 排出量を推計する概略LCAを適用する。
波及効果	大きい 供用後に生じる需要変化等の波及効果が包括できない。	小さい 製品が出現することにより他業種に影響が及ぶことはない。	波及効果を包括した推計する手法であるELCELの考え方を適用する。
社会への影響	大きく変化 整備により人間の行動が変化する。事前評価では需要予測に依存する。	普及の仕方 で変化 社会の価値観を変化させる場合以外は影響はない。	より精度の高い需要予測の実施または感度分析による評価を行う。

一方の車両の走行・運行の際に生じる CO₂ はシャーシダイナモ試験により排出ガス中の物質量を測定し、車種別排出原単位を求め、走行速度及び交通量を乗じることにより推計が行われる。

4. CO₂ 排出量推計の枠組みの検討

(1) 対象とする公共交通機関の選定と概要

CO₂ 排出量を削減するためには、施設建設を極力少なくし、かつ一度に輸送可能な人数が多い公共交通機関を導入することが重要であると考えられる。そこで本研究では、市場や物理的な条件に対応し、段階的に整備を行うことで施設建設を抑えることが可能であり、かつ軌道系交通機関と同等の輸送力を有する BRT を対象として CO₂ 排出量を推計する。

(2) CO₂ 排出量推計の枠組みの検討

ELCEL の考え方を取り入れつつ、公共交通機関のサービスレベルを考慮した CO₂ 排出量推計を行うため、以下のような枠組みを検討した。この枠組みは大きくインベントリ分析、需要推計、走行・運行の際に生じる CO₂ 排出量の推計の3段階に分けられる。なお、本研究で用いる枠組みのフローを図 - 1 に示す。

a) インベントリ分析

本研究では施設、車両を対象にインベントリ分析を行

う。なお、分析を行うシステム境界を BRT 導入事業として建設、製造されるもののみとし、評価範囲を素材製造・施設建設・部品・車体製造、供用及び走行の3段階とし、廃棄は考慮しない。また、ライフタイムは施設60年、BRT 車両10年とする。

施設のインベントリ分析は、詳細設計や原料投入量等のデータが入手できないことから、施設の種類別に簡易設計をし、LCA を実施したものを原単位として、必要量を乗じて推計を行う概略 LCA を用いる。BRT 車両のインベントリ分析は、車両製造、維持管理に関わる CO₂ 排出量推計を行う。BRT が走行する際に生じる CO₂ 排出量推計は後述する方法を用いて推計を行う。

b) 需要推計

BRT のサービスレベルによって自動車交通からの需要転換量が変化する点に着目し、Thaned ら²⁾ が提案する巨視的、微視的統合モデルを援用して、需要推計を行う。このモデルは巨視的モデル、微視的モデルそれぞれの出力値を相互に入力値として与え、フィードバックを繰り返すことで精度の高い推計結果を得ることが可能である。本研究では巨視的モデルに4段階推計法に基づく需要推計モデルである交通需要予測パッケージ JICA STRADA (以下、STRADA) を用いて推計を行う。微視的レベルに、バス優先制御やバス専用車線の導入等の BRT 優先施策を表現し、その効果や影響の評価することが可能なマイクロ交通シミュレーションソフト Paramics (以下、Paramics) を用いる。まず、STRADA を用いて

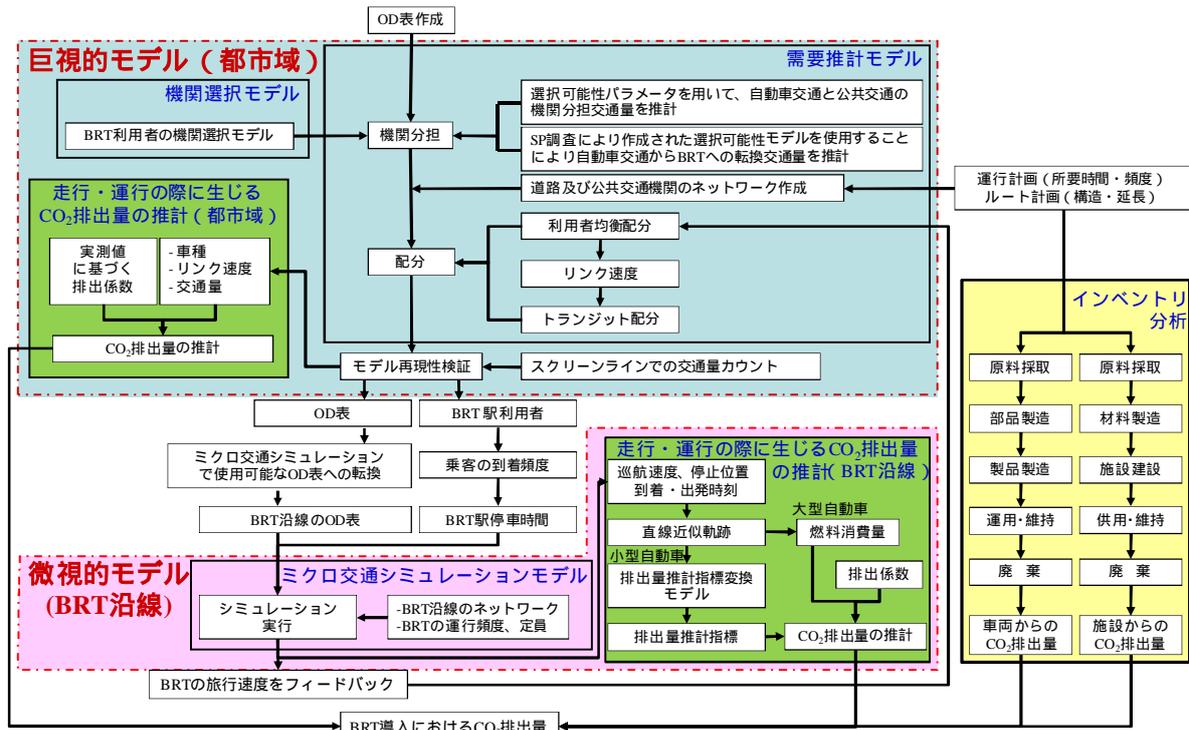


図 - 1 本研究の CO₂ 排出量推計の枠組みフロー

都市域全域を再現対象としたネットワークモデルを構築し、BRT 運行を含めた需要推計を行う。これにより得られた BRT 利用者数と OD 表を Paramics で適用可能とするように変換する。次に BRT 路線沿線を再現対象としたネットワークを構築した Paramics に OD 表と BRT 利用者数を与え、BRT のサービスレベルとしてフィードバックするために BRT の旅行速度を推計する。この結果を STRADA に入力するという作業を繰り返すことで2つのモデルの統合し、需要推計を行う。なお、収束判定条件を前回推計結果の誤差 1%以内として繰り返し計算を行う。

c) 走行・運行の際に生じる CO₂ 排出量の推計

走行・運行の際に生じる CO₂ 排出量推計方法は、車種別排出原単位に走行速度及び交通量を乗じて推計することが一般的である。しかしながら、BRT は一般車線の専用車線化や優先信号制御等の BRT 優先施策が実施されるため、これらの影響による自動車交通の挙動の変化が考えられる。このため自動車挙動の変化も評価する必要があり、BRT 路線沿線では微視的に CO₂ 排出量推計を行う。なお、都市域は間接的な影響と考えられるため、巨視的に CO₂ 排出量推計を行う。

BRT 路線沿線の微視的な CO₂ 推計は、巡航速度、停止位置、停止・発進時刻等の車両挙動を Paramics から出力し、大口ら³⁾が提案する CO₂ 排出量推計モデルを用いて推計を行う。なお、排出係数は環境省の CO₂ 排出係数を用い、自動車交通はガソリンの値を用いる。なお、バス等の大型自動車はパラメータが推計されていないため、便宜的に軽油の値を用いることで、推計を行う。

一方の都市域の巨視的な CO₂ 排出量推計は STRADA での配分交通量推計時に算出された自動車交通の交通量、走行速度、走行距離に車種別 CO₂ 排出原単位を乗じることにより CO₂ 排出量推計を行う。

5. CO₂ 排出量推計の枠組みの適用

(1) 適用対象路線の概要

本研究では、実際に導入される BRT を対象として CO₂ 排出量推計の枠組みを適用することを目指している。そこで、図 - 2 に示すタイ・バンコクで建設が行われている南線を対象として推計を行った。

バンコクでは恒常的に発生する交通渋滞のために定時制が確保されていないバス路線に変わる基幹交通として、既設の高架鉄道 BTS と地下鉄道 MRT に次いで BRT の導入が検討されている。BTS や MRT は都心部のみに利用範囲が限定されているのに対し、BRT 路線は郊外への路線となっている。

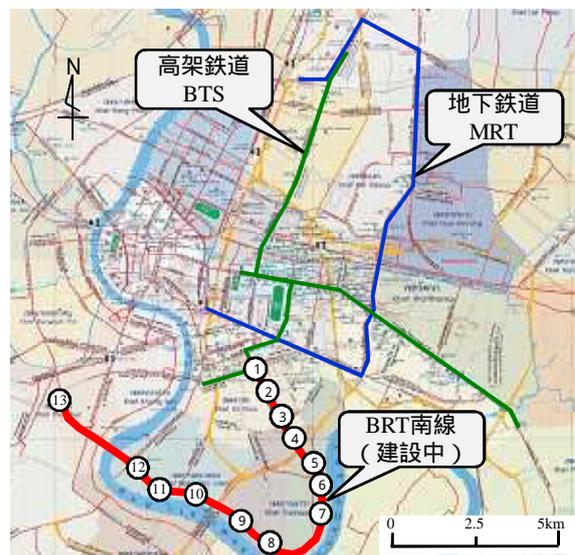


図 - 2 対象路線図

(2) インベントリ分析

本研究では、BRT 車両 45 両、BRT 駅 13 駅、BRT 専用車線を確保するための縁石等走行路付帯構造物、BRT 導入に伴い建設された交差点の立体交差 4 箇所を対象としてインベントリ分析を実施した。データベースは建設機械も考慮できる日本建築学会の AIJ-LCA&LCW ver.4.04 を用い、車両製造等提供されていないデータは産業環境管理協会の JLCA-LCA データベース 4 版で補完した。なお、これらのデータベースは日本のデータであるため、電力等産業連関表より推計可能なデータはタイの値に置き換えて推計を行った。

(3) 需要推計

巨視的モデルではバンコク都市域全域を再現し、微視的モデルでは BRT 南線沿線を再現して需要推計を行った。いずれのモデルでもスクリーンラインの交通量を合わせることで現況再現性を確保している。

なお、BRT 導入により既存の一般車線が減ることとなるため、並行バス路線を削減する必要があると考えられることから次のようなシナリオを作成した。

- シナリオ 0：現況ネットワークの基本シナリオ
- シナリオ 1：並行バス路線の削減は行わない
- シナリオ 2：並行バス路線の 50% 削減
- シナリオ 3：並行バス路線の 80% 削減
- シナリオ 4：並行バス路線全てを廃止

(4) 走行・運行の際に排出される CO₂ 排出量推計

BRT 路線沿線は、Paramics にて出力した値を用いて CO₂ 排出量を推計した。BRT 路線沿線を除く都市域では STRADA から出力した値に (社) 海外運輸協力協会等がタイの車両を用いて推計した車種別排出原単位⁴⁾を乗じることによって CO₂ 排出量推計を行った。

6. CO₂排出量推計結果

(1) 微視的モデルを組み込んだ場合の推計結果

本研究では、BRT優先施策を評価できるよう、巨視的モデルでの交通状況の推計の一部に微視的モデルでの推計を組み込み、収束計算を行った。そこで、微視的モデルでの推計結果が巨視的モデルでの推計に適切に反映されているかを確認するために、微視的モデルの再現範囲内で、両者の推計結果を比較した。表-2に示す通り、誤差は1~3%であり、微視的モデルを組み込んででも適切に推計できることが確認できた。また、シナリオごとの影響の違いも推計に反映されており、微視的モデルを組み込むことの有効性も確認できた。

(2) LCAによるCO₂排出量推計結果

LCAによるCO₂排出量推計結果のうち、シナリオ4の結果を図-3に示す。この結果、BRT車両が走行する際に生じるCO₂排出量が約97%と大部分を占め、施設建設や車両製造等により生じるCO₂排出量は全体の約3%に相当することが示された。BRTはバスベースであるため、走行起因のCO₂排出量が多く、他の公共交通機関で実施されたLCA結果と異なることがわかった。

(3) シナリオごとのCO₂排出量推計結果

図-4にシナリオごとのCO₂排出量推計結果を示す。

シナリオ1では並行バス路線を削減していないことから、BRT路線沿線、都市域ともに削減効果がない結果となった。シナリオ2及び3では、並行バス路線を削減させたことから都市域ではCO₂が削減されたが、BRT路線沿線では立体交差流入部BRT専用車線と一般車線が平面交差する箇所車両滞留が発生したことによるCO₂の増加がみられた。シナリオ4では、全並行バス路線を廃止したことから、BRT路線沿線でも4.01万t-CO₂/年削減可能であることが示され、BRT導入によるCO₂排出削減量が143.72万t-CO₂/年であると推計された。これらの結果から、全ての並行バス路線を削減することで、並行バス路線を削減しないよりもCO₂排出量が約82%削減可能であることが示された。

7. おわりに

本研究では、ELCELの考え方に基いて、公共交通機関のサービスレベルを考慮したCO₂排出量推計の枠組みの検討を行い、この枠組みに従ってバンコクのBRT南線導入時のCO₂排出量を推計した。その結果、次の点が明らかになった。

巨視的モデルと微視的モデルを同一地域に適用して比較した結果、誤差が1~3%であり、組み込んだ

微視的モデル(マイクロ交通シミュレーション)により細かいシナリオの差の評価が可能である。

本研究で取り扱ったBRT路線では施設建設が少ないため、LCAの結果生じるCO₂排出増加量は全体の2~4%に相当する。

全ての並行バス路線を削減することで、削減しない場合よりもCO₂排出量が約82%削減される。

今後の課題として、BRT導入による沿線開発を考慮し、土地利用の変化による需要変化を含めたCO₂排出量推計を行う必要があると考えられる。

表-2 巨視的、微視的モデルの推計結果の差

(万t-CO₂/年)

	巨視的モデル 合計値	微視的モデル 合計値	差分
シナリオ0	72.69	73.15	-0.46
シナリオ1	82.66	84.21	-1.55
シナリオ2	78.75	80.22	-1.47
シナリオ3	75.75	76.82	-1.07
シナリオ4	72.74	72.80	-0.06

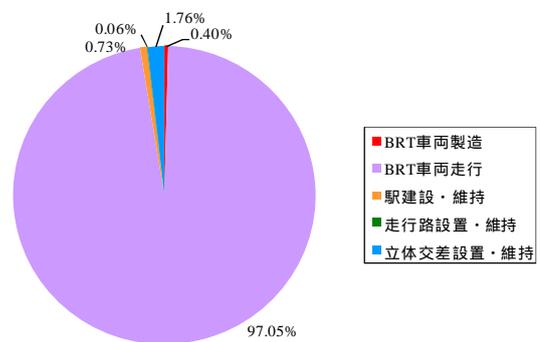


図-3 LCAによるCO₂排出量推計結果

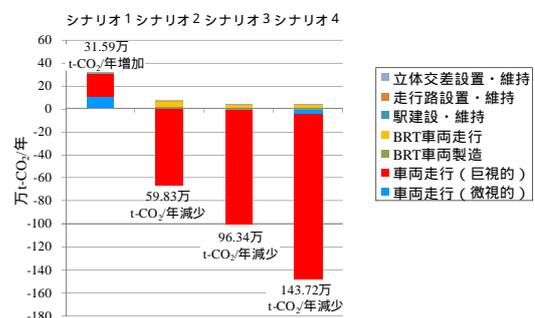


図-4 シナリオごとのCO₂排出量推計結果

参考文献

- 1) 加藤博和ら:新規鉄軌道整備によるCO₂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、No.17、pp471-478、2000年
- 2) T.Satiennam et al.:Strategies enhancing bus rapid transit development in asen developing cities – a case study on BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION project, TRB2007 Annual Meeting, 2007.
- 3) 大口敬ら:都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推計モデル、土木学会論文集、No.695、pp125-136、2002年
- 4) (社)海外運輸協力協会等:タイ王国円借款の環境改善効果評価のための委託調査報告書、pp42-47、2006