

中量旅客輸送システムの ライフサイクル CO₂ 排出量推計手法

山田 祐磨¹・朴 秀日²・加藤 博和²

¹ 学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail: yyamada@urban.env.nagoya-u.ac.jp

² 正会員 大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

輸送力が鉄道と路線バスとの間となる中量旅客輸送システムを対象に、製造/使用/廃棄のライフサイクル（以降、LC）の各段階及び地域特性（平均気温・勾配）や車両特性（回生機能・車両の電動化）を考慮した CO₂ 排出量の推計手法を構築した。これを用いて、各種輸送システムについて実際のデータを調査・取得した上で電力消費量との関係を分析し CO₂ 排出量を推計し、各特性の違いが LC-CO₂ に与える影響を明らかにした。その結果、一般的な車両では LC-CO₂ 排出量の多くを車両の走行時に排出量が占めるが、本推計の結果、中量旅客輸送システムにおいては輸送量が輸送力に対して小さい場合、車両走行時排出量が LC-CO₂ に占める割合は半分以下となる場合が生じることがわかった。加えて、地域特性及び車両特性は車両走行時だけでなく、LC 全体の排出量にも無視できない影響を及ぼす可能性を示した。

Key Words: *Medium Capacity Passenger Transport, CO₂ emission, LCA(Life Cycle Assessment), Region and vehicle characteristics*

1. はじめに

(1) 研究の背景

日本の運輸部門の CO₂ 排出量は全体の約 2 割を占める。その主な削減策の一つとして、旅客交通の自動車から公共交通への転換がある。一方で、日本の中規模都市の幹線区間においては、バスでは輸送力が不足し、鉄道の導入は採算面の理由から難しいことが一般的である。このような地域では、鉄道とバスの間の輸送力を有する中量旅客輸送機関の導入が考えられる。このように、需要量に応じた交通機関を導入することにより、コスト面だけではなく CO₂ をはじめとした環境面においても適切な旅客輸送システムを構築することができる。加えて、公共交通への転換による CO₂ 削減効果を評価することは、環境面からの適切性を評価する上で不可欠である。しかし、中量旅客輸送機関は様々

な種類があり地域特性によって利用の状況も異なるため、効果を単純に評価し示すことができない。そのため、自治体や事業者が環境面も考慮しつつ、どの輸送機関を導入するべきかを検討するためには、導入地域の需要量や地形・気候条件などを考慮できる CO₂ 排出量評価手法が必要である。

(2) 研究の目的

本研究では、主な中量旅客輸送システムを対象として、LC を考慮した CO₂ 排出原単位を整備し、中量旅客輸送システムの導入による CO₂ 排出量の把握、及び地形・気候などの地域特性と輸送機関ごとの車両特性の違いによる CO₂ 排出量の変化を定量的に示す方法論を構築する。さらに上記の結果を踏まえ、自治体や交通事業者などが利用可能な CO₂ 排出量簡易推計手法及びツールの構築に資することを目的とする。

2. 中量旅客輸送システムのCO₂排出量評価手法と研究の位置づけ

(1) LCA(Life Cycle Assessment) と SyLCEL(System Life Cycle Environmental Load)

一般的に、輸送機関のCO₂排出量について考える際は、車両走行時に排出されるCO₂のみに注目されることが多い。しかし実際には、その車両の製造や廃棄の際に投入した素材やエネルギーに起因するCO₂排出量も考慮すべきであり、これを評価する手法がLCA (Life Cycle Assessment) である。

さらに、輸送機関だけでなく輸送システム全体（車両・インフラ構造物）のライフタイム全負荷を考慮する概念が SyLCEL (System Life Cycle Environmental Load) である（加藤ら 2009）。

(2) 既往研究の整理と本研究の位置づけ

中量旅客輸送機関及びシステムに関する既往研究を見ると、長田ら（2006）は、中量旅客輸送システムを対象に SyLCEL 分析を行っている。森田ら（2011）は、鉄道整備に伴う自動車交通への影響も考慮し、環境面からの整備効果を評価している。しかし、既往研究において、地域特性や車両特性などの違いがどの程度CO₂排出量に影響を与えるのかについて分析を行っている事例は見られない。さらに、自治体や事業者が地域の交通需要や気候、車両特性、走行条件などを考慮してCO₂排出量評価を行うには、取得の難しいデータも多い。

そのため本研究では、LC-CO₂排出量の簡易推計システムを構築し、地域特性や車両特性などの変動要因の影響を考慮したCO₂排出量を推計・比較することで、今後の輸送システムの導入における環境・交通施策の検討に資する知見を得ることを目指す。

3. 中量旅客輸送システムの LC-CO₂ 排出量推計方法

(1) 対象機関

本研究の対象として国内で運行されている中量旅客輸送システムの LRT (Light Rail Transit), BRT (Bus Rapid Transit), AGT (Automated Guideway Transit), GWB (GuideWay Bus), 懸垂式モノレール (以降、懸垂式), 跨座式モノレール (以降、跨座式) を設定した。なお、

これらの対象旅客輸送システムの輸送量変化における LC-CO₂ 排出量の比較対象として地下鉄を設定した。

(2) SyLC-CO₂ 排出量

本研究では、輸送システム m の SyLC-CO₂ 排出量 E [g-CO₂/人 km] を式(1)で推計する。

$$E = \left(\frac{v_c \times x}{T_v \times P} \right) + \left(\frac{i_c \times y}{T_i \times P} \right) + \left(\frac{v_r}{p} \right) + \left(\frac{I_r}{P} \right) \quad (1)$$

v_c : 車両製造時 CO₂ 排出原単位 [g-CO₂/台], x : 想定区間での必要車両台数 [台], i_c : インフラ建設時 CO₂ 排出原単位 [g-CO₂/m, 本, 駅], y : 想定区間での各インフラ構造物投入量 [m, 本, 駅], v_r : 車両走行時 CO₂ 排出原単位 [g-CO₂/台 km], I_r : インフラ運用時 CO₂ 排出量 [g-CO₂/day], T : 車両及びインフラ構造物のライフタイム [day], P : 1 日当たり輸送量 [人 km/day], p : 車両 1 台あたりの乗車人数 [人/台]

なお、車両及びインフラの廃棄段階の CO₂ 排出量の場合は、長田ら（2006）などにより無視できるほど小さいことが示されており、本研究でも含めない。

(3) 車両及びインフラ構造物のライフタイムの設定

本研究では車両とインフラ構造物のライフタイム [year] を表-1 のように設定する。

表-1 インフラ構造物と車両のライフタイム(LT) [単位: year]

インフラ構造物名	LT	旅客輸送車両	LT
軌道, コンクリート枕木	20	BRV, GWB	15
鉄柱, コンクリート柱	45	LRT, AGT, 地下鉄	15
高架橋	30	懸垂式・跨座式モノレール	15
高架・地下駅, トンネル	60	-	-

(4) LC 各段階での CO₂ 排出原単位の整備

a) 車両製造時 CO₂ 排出原単位 (v_c)

車両/インフラ製造時 CO₂ 排出原単位は、投入資源ごとに投入量と素材の CO₂ 排出係数を乗じたものを合計して算出する。しかし、事業者にヒアリングを行った結果、車両の資源量を数値データとして取得することはできなかった。そこで本研究では、車両重量に各素材の排出原単位を乗ずることで車両製造時 CO₂ 排出原単位を推計した (v_{c1} , v_{c3})。

さらに、LCA データベース IDEA ^{注1)} (以降、IDEA) のステンレス車両の製造費用あたり CO₂ 排出原単位に各輸送機関の車両製造費用を乗ずることで CO₂ 排出原単位を推計し (v_{c2}), v_{c1} と比較した。

b) インフラ建設時 CO₂ 排出原単位 (I_c)

表-2 輸送機関ごとの CO₂ 排出原単位 (懸垂式：懸垂式モノレール，跨座式：跨座式モノレール)

旅客輸送機関	車両製造時 v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}			車両走行時 v_r	インフラ建設時 i_c		
	素材：ステンレス		素材：アルミ	走行原単位	軌道(単線)	支柱/架線柱	駅
	費用[kg-CO ₂ /台]	素材[kg-CO ₂ /台]	素材[kg-CO ₂ /台]	[kg-CO ₂ /台 km]	[kg-CO ₂ /m]	[kg-CO ₂ /本]	[kg-CO ₂ /駅]
LRT	3.94×10^4	5.06×10^4	1.16×10^5	0.39	5.48×10^2	2.85×10^2	1.47×10^4
懸垂式	5.41×10^4	6.94×10^4	1.59×10^5	0.59	2.34×10^3	2.52×10^4	3.81×10^6
跨座式	8.90×10^4	1.14×10^5	2.62×10^5	0.89	6.63×10^2	1.00×10^4	3.81×10^6
BRT	-	3.16×10^4	1.48×10^5	0.92	4.81×10^2	-	3.85×10^3
GWB	-	3.16×10^4	1.48×10^5	1.02	8.69×10^2	8.82×10^3	3.81×10^6
AGT	3.26×10^4	4.18×10^4	9.58×10^4	0.43	1.02×10^3	8.82×10^3	3.81×10^6

車両と同様にインフラ構造物の資源投入量データは入手できなかったため、事業者の工事誌に記載されている駅施設などのインフラ構造物の断面図から資源投入重量を算出し、各素材の CO₂ 排出係数を乗じることで I_c を算出した。駅部のうち、断面図からの資源投入量の推計が困難な場合は森田ら (2011) の値を用いた。

c) 車両走行時 CO₂ 排出原単位 (V_r)

車両走行時 CO₂ 排出原単位 V_r [kg-CO₂/台 km] は、輸送機関の車両一台あたり走行原単位 [kWh/台 km (L/台 km)] に電力(燃料)の排出原単位を乗じて算出した。

d) インフラ運用時 CO₂ 排出原単位 (I_r)

駅の照明や信号などの運用による電力消費量は駅の規模によって異なるため、取得した電力消費量データをそのまま CO₂ 排出原単位として用いるのは適切ではない。そこで本研究では、各輸送機関の車両走行時の電力消費量に対する走行時以外の電力消費量の比率 z を用いてインフラ運用時 CO₂ 排出量を推計する。a)~c) の考え方に基づいた CO₂ 排出原単位推計結果を表-2 に示す。

(5) LC 各段階での CO₂ 排出量推計手法

a) 車両製造時 CO₂ 排出量 (E_{vc})

車両製造時 CO₂ 排出量 E_{vc} の推計手法を式(2)に示す。ただし、必要編成数の推計については、長田ら (2006) を参考にした。

$$E_{vc} = \frac{v_c \times x}{T_v \times P} \quad (2)$$

b) インフラ建設時 CO₂ 排出量 (E_{lc})

インフラ建設時 CO₂ 排出量 E_{lc} を式(3)に示す。

$$E_{lc} = \frac{\sum i_c \times y}{P} \quad (3)$$

式(7)における各インフラ構造物投入量 y は、対象事業者の駅及び付帯構造物の建設間隔を取得し、10[km]区間での資源投入量を算出した。また運行間隔に応じて

軌道部を単線/複線に変更させた。

c) 車両走行時 CO₂ 排出量 (E_{vr})

各時間帯の車両走行時 CO₂ 排出量 e_i [g-CO₂/人 km] の推計手法を式(4)に示す。

$$e_i = \frac{v_r}{p} = \frac{v_r}{\text{車両定員}c \times \text{混雑率}} \quad (4)$$

長田ら (2006) を参考に、1 日需要量の分布を朝ラッシュ時 (1h)、タラッシュ時 (2h)、平常時 (15h) とした。各時間帯の混雑率 s は、以下のように設定した。

- ・朝ラッシュ時：中量輸送機関の最大混雑率データの平均及びバスと電車の最大混雑率の違いを考慮し、BRT と GWB は $s=1.0$ 、それ以外を $s=1.2$ とする。
- ・タラッシュ時と平常時：参考にできるデータがないため、式(5)と式(6)を用いて推計した。

$$\text{混雑率} s' = \frac{\text{需要量}}{\text{輸送力}} = \frac{\text{需要量}}{\text{各時間帯運行本数} \times \text{編成定員}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{各時間帯運行本数} &= \text{朝ラッシュ運行本数} \\ &\times \text{朝ラッシュとの運行本数比} \end{aligned} \quad (6)$$

4 章では、各機関の終日混雑率の平均値 0.4 を考慮し、タラッシュ時と朝ラッシュの運行本数比を 0.8、平常時の運行本数比を 0.6 とした (終日混雑率 $s'=0.41$)。以上を踏まえ、各時間帯走行時 CO₂ 排出量を推計し、各時間帯の長さから加重平均をとって E_{vr} を推計した。

d) インフラ運用時 CO₂ 排出量 (E_{lr})

E_{lr} は、車両走行時 CO₂ 排出量にインフラ運用時比率 z (表-3) を乗じて推計する。比率 z は各事業者の駅電力消費量及び走行時電力消費量から算出する。GWB と BRT は走行時電力消費量を算出しないため、長田ら (2006) を参考に駅などの構造に近い AGT と LRT のインフラ運用時電力消費量に等しいとした。

表-3 車両走行時電力消費量との比率 z

輸送機関	比率 z	輸送機関	比率 z
LRT	0.05	跨座式	0.61
AGT	0.79	懸垂式	0.66

表-4 事業者向けの輸送機関の CO₂ 排出量簡易推計表

輸送機関	ex. LRT (事業者が選択)				
評価対象範囲	車両製造・走行 / インフラ製造・運用				
評価要素	ライフサイクル環境負荷排出量[人 km あたり]				
事業者入力欄	路線長[km]	輸送人員[人/編成]	車両重量[kg/編成]	車両定員[人/編成]	編成車両数[台/編成]
	a	b	c	d	e
	朝ラッシュ(1h) 運行本数[本/h]	タラッシュ(2h) 運航本数[本/h]	平常時(15h) 運航本数 [本/h]	駅数 [駅]	路線数 [本]
	g	h	i	j	k
CO ₂ 排出量 推計結果	車両製造	インフラ建設	車両走行	インフラ運用	SyLC-CO ₂ 排出量
	α	β	γ	Δ	α+β+γ+Δ

表-5 中量旅客輸送システムの CO₂ 排出原単位の簡易推計式とデータ

	推計式	データ入手先
車両製造時 V_c	$V_c = u_v \times w_v$	<ul style="list-style-type: none"> u_v (車両の投入素材の重量あたり CO₂ 排出係数) : →LCA データベース IDEA, →環境省「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出時算定のための排出原単位データベース(ver.2.5) w (車両重量データ) →事業者の車両諸元表より取得, 付加の場合は既往の原単位を使用
インフラ建設時 I_c	$I_c = u_i \times w_i$	<ul style="list-style-type: none"> u_i (インフラ構造物の投入素材の重量あたり CO₂ 排出係数) →u_vと同様 w_i (投入素材の投入重量) →工事誌の構造物断面図より推計, 不可の場合は既往原単位を使用
車両走行時 V_r	$V_r = u \times k$	<ul style="list-style-type: none"> u (1km 走行時電力(燃料)排出量) : →事業者の一定期間の電力消費量及び走行距離データより算出 k(電力,燃料の CO₂ 排出係数) →LCA データベース IDEA, 環境省 HP「電気事業者別排出係数」

表-6 中量旅客輸送システムの CO₂ 排出量の簡易推計式とデータ

	推計式	データ入手先の候補
車両製造時 E_{vc}	$E_{vc} = \frac{V_c \times x^m}{T_v^m \times P}$	<ul style="list-style-type: none"> x (想定区間での必要車両台数 →車両諸元値より推計可能 (4章(1)節参照)) T (車両のライフタイム) →既往研究及び事業者へのヒアリング P (1日あたり輸送量) →事業者ごとの輸送量データ, 鉄道統計年報
インフラ建設時 E_{ic}	$E_{ic} = \frac{\sum I_c \times y^m}{T_i^m}$	<ul style="list-style-type: none"> y (各インフラ構造物投入量) →事業者へのヒアリング及び工事誌より算出可能 T (各インフラ構造物のライフタイム) →既往研究及び耐用年数表などより取得可能
車両走行時 E_{vr}	$E_{vr} = \frac{V_r}{p} = \frac{V_r}{c \times s}$	<ul style="list-style-type: none"> c (車両定員) →事業者の車両諸元表より取得可能 S (各時間帯混雑率) →各時間帯の実際の乗車率より取得可能
インフラ運用時 E_{ir}	$E_{ir} = \frac{C_{ir} \times k}{p}$	<ul style="list-style-type: none"> C_{ir} (インフラ運用時電力消費量) →事業者の1日平均電力消費量 k (電力の CO₂ 排出係数) →LCA データベース IDEA, 環境省 HP「電気事業者別排出係数」

4. 中量旅客輸送システムの SyLC-CO₂ 簡易推計手法

(1) 簡易推計ツールの構築

3.4 章の考え方に基づき, 事業者が用いることのできるような簡易推計ツール(表-4)を構築した。

表-4 に示すように, 事業者は導入検討する輸送機関の諸元値及び駅数や路線長, 想定輸送量だけを入力(a~k)することによって簡易的に対象となる中量旅客輸送システムの SyLC-CO₂ 排出量が推計可能となる。

一方, 事業者が自社のインフラ構造物についてそれぞれ原単位を整備し推計を行う場合, 表-4 に示した以外にもデータが必要になる。事業者が自社の輸送システムを推計するにあたって必要となるデータを表-5 と表-6 に整理した。

次に, ある想定区間で各需要量を輸送するときの各輸送機関の SyLC-CO₂ 排出量を実際に推計した。中量旅客輸送システムの SyLC-CO₂ 排出量推計時の想定区間の設定値を表-7 に示す。

(2) 簡易推計ツールを用いた SyLC-CO₂ 排出量推計

本研究の推計時には, 表-4 の a,b のみ設定し, c~f はヒアリング結果により取得した輸送機関ごとの諸元値を用いた。今回は, g~k については, 実値が不明であるとして, 3 章の考え方をを用いてそれぞれ推計した。

推計結果を図-1 に示す。

表-7 SyLC-CO₂ 推計時の想定区間の設定値

設定輸送量 a: 6,000[人/day](参考:LRT)	設定輸送量 b: 30,000[人/day](参考:AGT など)
車両素材: ステンレス(電車), 鉄鋼(バス車両)	
車両定員, 電費, 駅間距離など: 各輸送機関の値を参照	

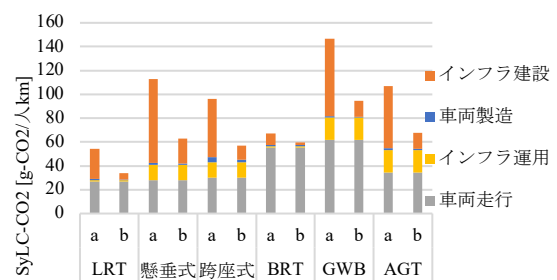


図-1 中量旅客輸送システムの CO₂ 排出量推計結果 (a : 輸送量 6,000[人/day], b : 輸送量 30,000[人/day])

輸送量が少ない場合（輸送量 a : 6,000[人/day]）、車両走行時およびインフラ建設時 CO₂ 排出量が SyLC-CO₂ 全体において大きな割合を占めるが、輸送量が多い場合（輸送量 b : 30,000[人/day]）、SyLC-CO₂ の内、ほとんどをインフラ運用時及び車両走行時 CO₂ 排出量が占める。これはインフラ投入量の増加を考慮しなければ、輸送量の増加に伴い人 km あたりインフラ建設時 CO₂ 排出量が単調減少する一方で、人 km あたりインフラ運用時及び車両走行時 CO₂ 排出量はほとんど変化しないためである。

5. 地域特性・車両特性の影響分析

(1) 地域特性の影響分析

a) 需要量の違い

図-2 に示すように、輸送量が増加するにつれて人 km あたり SyLC-CO₂ 排出量は減少する。ただし、輸送量が増加していき軌道部が単線から複線に変化した場合、軌道部のインフラ建設時 CO₂ 排出量の増加によって一時的に SyLC-CO₂ 排出量は増加する輸送システムが見られる。一方、比較的輸送量の多い領域において単線から複線になる輸送システム（跨座式モノレール、地下鉄など）はインフラ建設時 CO₂ 排出量の増加分が小さいため、SyLC-CO₂ は大きくは変化しない。

b) 気温による影響

事業者ヒアリング調査を行い、取得した電力消費量データの中で特に相関が強くサンプル数も多い跨座式モノレールの結果を用いて、y:電力消費量, x:平均気温として回帰分析を行った。

跨座式モノレールの導入地域の年間平均気温 (15[°C]) と北海道、沖縄の平均気温 (9.2[°C], 23.3[°C]) を得られた回帰式へ代入し、導入地域の電力消費量と比較した結果、北海道では約 7[%]、沖縄では約 3[%]の電力消費量の増加が見られた。同様に走行減単位も北海道と沖縄に導入した場合増加するとして、北海道及び沖縄に跨座式モノレールを導入した際の SyLC-CO₂ 排出量を推計したところ、基準地域(15[°C])での SyLC-CO₂ 排出量と比較して北海道では 3~6[%]、沖縄では 1~3[%]SyLC-CO₂ 排出量が増加した。

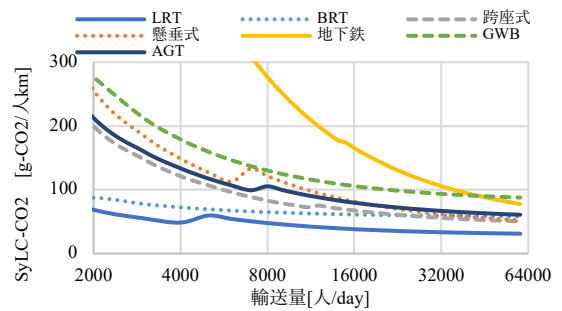


図-2 輸送量の変化に伴う SyLC-CO₂ 排出量の変化

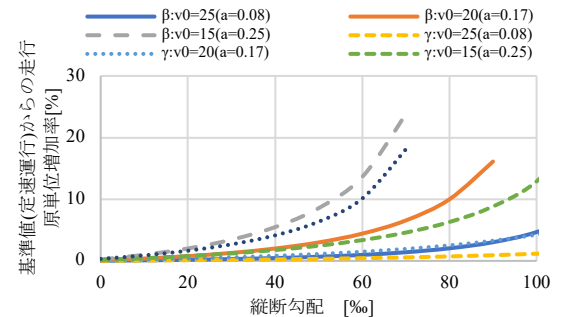


図-3 勾配の異なる区間における運転加速度が走行原単位に及ぼす影響

c) 勾配による影響

交通事業者を対象にヒアリング調査を行った結果、走行時の勾配に関わるデータが整備されていなかったため、著者が直接走行実証事件を通じてデータを取得した。懸垂式モノレールに乗り、走行中の運転席の様子（電流計/電圧計/速度計）を撮影した。撮影データから一定間隔 (t=5[s]) ごとに電流 A_i 、電圧 V_i 、速度 v_i 、計測した時刻での位置を計測し、式(7)を用いて計測タイミング i での電費 F_i を算出した。

$$F_i = \frac{L_i}{C_i} = \frac{L_i}{\frac{t}{2}(W_i + W_{i-1})} = \frac{L_i}{\frac{t}{2}(V_i A_i + V_{i-1} A_{i-1})} \quad (7)$$

L_i :5[s]間での移動距離[km], W_i :消費電力[kW],

C_i :電力消費量[kWh]

各時刻での路線勾配 Δ [‰]と車両速度 v_i を説明変数 x_1, x_2 とし、瞬間電費を従属変数 y として回帰分析を行った。この得られた回帰式を用いて、定速運行する場合と、一定加速度 a で走行する場合での電力消費量の違いを分析した。ただし、車両の区間内平均速度 v_s を 30[km/h] とし、 Δ を 0[‰] から 100[‰] の範囲で変化させた。推計結果を図-3 に示す。

推計結果、勾配が急な範囲 (約 40‰-100‰) では、走行原単位の増加率が 10% 近くと無視できない変化を示し、急勾配区間における定速運行の重要性が示された。

(2) 車両特性の影響分析

a) バス車両の電動化による影響

BRT, GWB の動力が軽油から電気になった場合における各輸送量 (a.6,000[人/day], b.30,000[人/day]) での SyLC-CO₂ 排出量を推計し、軽油の場合と比較を行った。ここで電動バスの走行原単位は、松田ら (2019) の値を重量換算し用いた。バス車両の動力の電気化により BRT, GWB の走行時 CO₂ 排出量は大きく減少した。電動化した場合の BRT, GWB の SyLC-CO₂ 排出量推計結果を他の輸送システムと比較すると、BRT は LRT 以下、GWB も AGT やモノレールと同程度か下回るまで減少している。

b) 回生による影響

事業者より取得した回生率及び電力消費量データより、回生機能が CO₂ 排出量に及ぼす影響を分析した。

LRT の回生導入車両の走行時電力消費量 (以降、走行原単位) は、回生導入前と比べて 15~30[%], 跨座式モノレールでは電力消費量の約 10[%]が削減されていることが分かった。ただし、回生率は抵抗器鵜の性能だけでなく、電車の発着タイミングなどにも左右されるため、本研究では各輸送機関の走行原単位が回生機能により 10[%]及び 30[%]減少した時の SyLC-CO₂ 排出量の変化を推計した。

図-4 に示すように、輸送量 6,000~60,000[人/day] の範囲で回生の影響により、各輸送機関の走行原単位 [kWh/km] が 10[%]減少した場合は SyLC-CO₂ 排出量が 3~9[%], 30[%]減少した場合は 7~25[%]減少した。加えて、回生の有無や回生率によっては輸送システムの SyLC-CO₂ 排出量の大小が逆転しうることがわかった。

6. おわりに

本研究では、中量旅客輸送機関の LC-CO₂ 排出原単位を整備し、輸送量に応じたシステム全体の CO₂ 排出量 (SyLC-CO₂) の推計を行った。その結果を踏まえ、輸送システムの SyLC-CO₂ 排出量簡易推計手法の構築を行った。続いて、車両走行実験および事業者より取得したデータをもとに、車両走行時 CO₂ 排出量の地域特性・車両特性による影響を評価する手法を構築し、SyLC-CO₂ を推計した。その結果、気候 (気温) や地形 (勾配) によって SyLC-CO₂ 排出量に差が出ることが

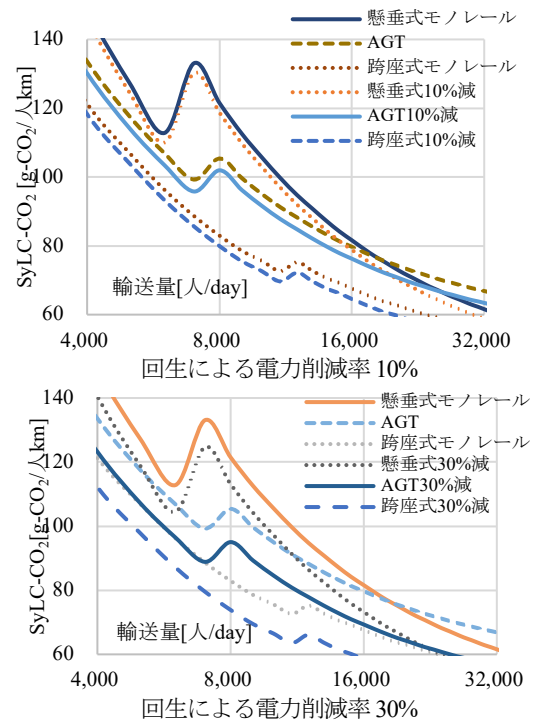


図-4 回生導入による SyLC-CO₂ 排出量の変化 (上: 削減率 10%, 下: 削減率 30%)

分り、起伏の多い路線におけるエコ運転方法や施策などの検討に資する知見が得られた。さらに、車両の電動化や回生の重要性が示唆された。

これらの結果から、同じ輸送機関でも地域特性・車両特性の違いが SyLC-CO₂ 排出量に無視できない影響を及ぼす可能性を示し、事業者ごとに CO₂ 排出量を評価する必要性が示唆された。このことは、交通機関の関係者・事業者や自治体等が実務レベルで中量旅客輸送機関及びシステムの導入時や導入を検討する際に、各中量旅客輸送機関及びシステムの CO₂ 排出量及び増減効果を客観的に評価できるとともに、CO₂ 排出量削減のための施策を考慮できる簡易推計手法構築の重要性を示唆する。

本研究で用いた原単位及びそれらを元にした簡易推計ツールで使用した値は元々整備されていなかったため、本研究では限られたデータの中で推計ツールを構築し、車両特性に関わる一部データにおいては実証実験を通じてデータを補完し SyLC-CO₂ 排出量の推計を行った。そのため、本研究で行った推計だけでは輸送機関ごとの地域及び中量旅客輸送機関・システム導入・検討のための地域特性・車両特性等の影響を十分に反映できたとはいえない。よって、今後は本研究で構築した手法を用いて、各影響要因に対し輸送機関ごとにデータを取得し、分析を行う必要がある。

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20201G01）により実施した。また、ここでは事業者の希望により名称を明らかにすることができないが、複数の公共交通事業者からデータの提供や実験の許諾をいただいた。これなしに本研究は成立しなかった。この場を借りて最大級の感謝を示す。

NOTES

注1) LCI データベース IDEA version2. 3(2019/12/27), 国立研究開発法人産業技術総合研究所安全化学研究部門 IDEA ラボ一般社団法人サステイナブル経営推進機構
<https://sumpo.or.jp/consulting/lca/idea>

REFERENCES

- 1) 長田基弘, 渡辺由紀子, 柴原尚希, 加藤博和(2006): LCA を適用した中量旅客輸送機関の環境負荷評価, 土木計画学研究・論文集, No23, pp355-363
- 2) 渡辺由紀子, 長田基弘, 加藤博和(2006): 波及効果を考慮した LRT システム導入の環境負荷評価, 第1回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp90-91
- 3) 森田泰智, 山崎敏弘, 加藤博和, 柴原尚希(2011): 鉄道整備の CO₂ 排出量のライフサイクル評価手法, 日本 LCA 学会誌, vol. 7 No. 4, pp360-367
- 4) 加藤博和, 柴原尚希(2009): ELCEL 概念による Social/Dynamic LCA への挑戦, 日本 LCA 学会誌, Vol. 5, No.1, 12-19.
- 5) 松田俊朗, 宮崎慎也, 福沢達弘, 水越篤志(2019): EV バス, トラックの普及拡大を可能とする大型車用 EV システムの技術開発と実証評価, 自動車技術論文集 vol. 50, No.5, pp1319-1324
- 6) LCI データベース IDEA version2. 3(2019/12/27), 国立研究開発法人産業技術総合研究所安全化学研究部門 IDEA ラボ一般社団法人サステイナブル経営推進機構
- 7) 国税庁: 「鉄道事業及び軌道業の有する固定資産の分類と個々の資産の耐用年数」について
[https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/hojin/881006/01 . pdf](https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/hojin/881006/01.pdf) (最終閲覧日 2022.1.26)
- 8) 国土交通省, 鉄道関係情報データ No11 混雑率データ
[https://www.mlit.go.jp/statistics/details/content/001365148 . pdf](https://www.mlit.go.jp/statistics/details/content/001365148.pdf) (最終閲覧日 2022.1.26)
- 9) 国土交通省: 鉄道統計年報
[https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000032. Html](https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000032.html)
- 10) 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
[https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev . pdf](https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf) (最終閲覧日 2022.1.26)
- 11) 気象庁: 過去の気象データ検索
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=57&block_no=47616&year=&month=&day=&view=p1 (最終閲覧日 2022.1.27)

A METHOD FOR ESTIMATION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM MEDIUM-PASSENGER-TRANSPORT SYSTEM

Yuma YAMADA, Suil PARK, Hirokazu KATO