

ラストワンマイル自動走行導入時の地域交通に関わる CO₂ 排出量の影響評価

小宮 粹史*¹ 飯島護久*¹ 金成修一*² 大島大輔*³ 桑原雅夫*⁴
株式会社アイ・トランスポート・ラボ*¹ 財団法人日本自動車研究所*²
パシフィックコンサルタンツ株式会社*³ 東北大学大学院情報科学研究科*⁴

本研究は、ラストワンマイル自動走行システム（サービス）が導入される際に考えられる社会的なインパクト、特に CO₂ 排出量の影響について評価を行うことを目的とする。近年様々な自動走行システムの導入が検討されている中で、駅などの主要交通結節点からの近距離移動を支援するラストワンマイル自動走行システムは、都市部における混雑緩和、地方においては交通弱者の移動支援など多様な効果が期待されている。本研究では、交通流と CO₂ 排出量の観点において導入時にどのような影響が考えられるか、交通シミュレーションと CO₂ 排出量モデルを組み合わせたツールで評価を行った。

A Case Study on the Effects of CO₂ Emission by Last Mile Mobility with Automated Driving as a Public Transportation

Tadashi Komiya*¹ Morihisa Iijima*¹ Shuichi Kanari*² Daisuke Oshima*³ Masao Kuwahara*⁴
i-Transport Lab. Co., Ltd.*¹ Japan Automobile Research Institute*²
PACIFIC CONSULTANTS CO., LTD.*³ Graduate School of Information Sciences, Tohoku University*⁴

The purpose of this study is to describe the effect of traffic flow and CO₂ emission for last mile mobility with automated driving. Last mile mobility system can be a solution as public transport system to help short trips of vulnerable road users from transport hub and is expected to reduce traffic congestions and CO₂ emission due to modal shift from private vehicle. Besides, automated driving has potential to bring the good effect for last mile mobility system to make smooth traffic flow. In this study, we assumed that automated driving system is installed to last mile mobility system for local transportation and evaluated the impact on traffic flow and CO₂ emission using the evaluation tool consists of traffic simulation model and CO₂ emission model.

Keyword: Last mile mobility, Automated Driving, CO₂ emission

1. はじめに

無人移動自動走行による移動サービスとして期待されているラストワンマイル（ラストマイル）自動走行システムは、駅などの主要な交通結節点からの近距離移動を支援する新たな移動手段等、様々

な場面での活用が期待されている。経済産業省と国土交通省が平成 27 年 2 月に設置した「自動走行ビジネス検討会」の議論においても、ラストワンマイル自動走行システムは自治体、地域交通事業者からのニーズが高く、観光地やテーマパーク事業者の関

心も高いと報告されている^[1]。その背景として、過疎化による地域交通の事業性悪化、駐車場内における安全性の確保や待ち時間短縮、環境負荷低減などの課題が挙げられており、それらを解決することが可能かどうか、運営コストや利便性、環境性能など様々な視点からの検証が欠かせない。このような流れから、ラストワンマイルの実証事業も 2016 年 9 月から開始されており、実用化に向けた動きは今後益々加速していくと考えられる。ラストワンマイルの自動走行システムの最終的な目標は自動走行レベルの定義^[2]でいうレベル 4 の高度運転自動化（領域が限定される）、レベル 5 にあたる完全運転自動化（領域の限定なし）を実現したサービスの普及にあるが、その中でも現在あるいは将来の社会に導入された場合、交通流にどのようなインパクトをもたらすか、環境負荷の程度を定量的に評価することは重要な視点の一つである。

本研究は 2014 年に開始となった戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の自動走行システム開発の一環で^[3]で行われ、筆者らは 6 つの自動走行システム（信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行、Advanced Rapid Transit、隊列走行、高速道路および一般道路での自動走行、地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング））を評価してきた。本論文においては、地域における管制交通システムの一つであるラストワンマイル自動走行について評価した結果を示す。

2. CO₂ 排出量可視化フレームワーク

本研究で適用する自動走行システムの評価ツールは、交通シミュレーションモデルと CO₂ 排出量モデルを連携させたものである。図 1 に評価ツールの概要を示す。本ツールは 2008 年に開始されたエネルギー ITS 推進事業^[4]の「国際的に信頼される効果評価方法の確立」において開発され、過去には隊列走行技術やエコドライブ・エコルートの導入など、様々な状況下において新技術が自動車に導入された際の交通流への影響、CO₂ 削減効果を定量的に評価してきた。一方で、実データによる精度検証を行いながらその検証プロセス (Verification and Validation) や適用プロセスを取りまとめ、日米欧の 3 極間の合意の下で国際共同レポート^[5]を発行した。なお、本研究で適用する交通シミュレーションモデルは SOUND^{[6][7]}とした。

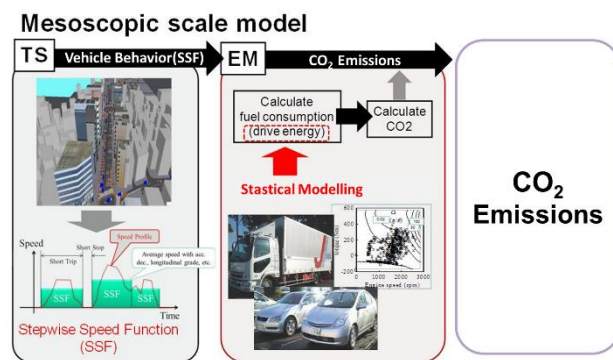


図 1 評価ツールの概要

3. CO₂ 削減メカニズムの整理とモデル実装

3-1 リファレンスモデル

CO₂ 削減効果の評価にあたっては、まず評価対象を明示するために、CO₂ 排出に関わる要素、メカニズムを整理しておくことが望ましい。国際共同レポートにおいては、評価ステップの一つとして評価前提を明示するためのリファレンスモデルを作成することを求めている。したがって本研究においても、ラストワンマイル自動走行システムの導入効果においてどのような CO₂ 排出量のメカニズムを前提として評価を行っていくかを整理した。図 2 にラストワンマイル自動走行システムのリファレンスモデルを示す。

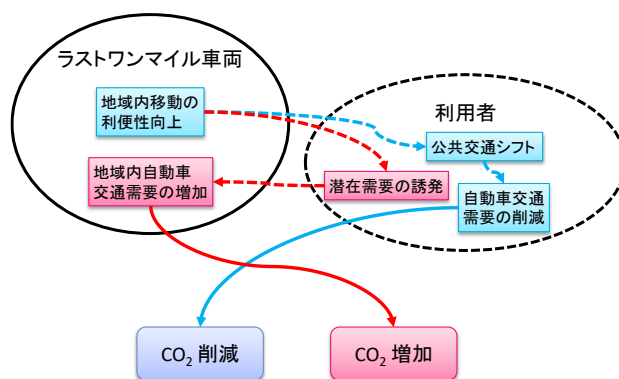


図 2 リファレンスモデル

ここでは、大きく分けラストワンマイル車両とその利用者に分け、お互いの交通流に対する影響、CO₂ 排出量に対する影響について整理し、図化した。ラストワンマイル車両においては、地域内移動の利便性向上の結果、利用者においては自家用車から公共交通へ交通手段を転換する動きが期待される。さらに、公共交通へ転換することによって自動車交通需要が削減され、結果 CO₂ 排出量が削減されるシナリオが想定される。一方で、利便性が向上することによって利用者の潜在需要を誘発し、その結果地域内

のラストワンマイル車両の需要が増加して交通流に影響を与え、CO₂ 排出量が増加するシナリオも考えることができる。

3-2 モデル実装

ラストワンマイル自動走行のリファレンスモデルに沿って、交通流シミュレーションモデルの要件として、①地域内のトリップ発生需要を個人ベースで考慮、②一定数のラストワンマイル車両が地域内を走行し、個人ベースの発生トリップに対して目的地までの移動を提供、③空車トリップの発生も考慮、と整理し、評価に必要な機能を実装した。

ラストワンマイル自動走行における地域内トリップの輸送については、1 台の車両が複数のトリップをスケジュールとして保持して走行できるトリップチェーンモデルを交通流シミュレーションモデルに実装した。図 3 にトリップチェーンモデルの概要を示す。トリップチェーンモデルによって、複数個所を立ち寄りながら走行する挙動を再現することができ、ラストワンマイル車両の運用において複数の目的地・停車場所を目的地とする利用者を考慮した評価が可能となった。

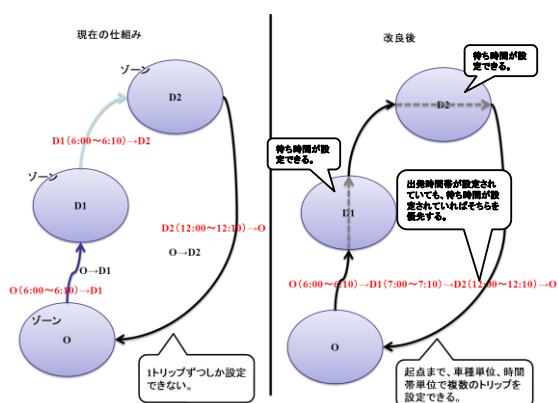


図 3 トリップチェーンモデルの概要

本研究では、自動走行システムを実装したラストワンマイル車両を前提としており、移動の需要量の変化に加えて、自動運転時で期待されている発進時の加速や走行時の速度のばらつきが低減されることによる交通流への影響も考慮できるようにした。需要量の変化およびそれに伴う交通流への影響は交通流シミュレーションが再現し、発進時の加減速や走行時の速度ばらつきの低減効果は CO₂ 排出量モデル側で評価できるようにした。また、今前のラストワンマイル自動走行の実証事業においては電気自動車を用いているため、本研究においても対象車両を電気自動車とした。ただし、電気自動車は走行中に

直接 CO₂ 排出量を排出（Tank to Wheel）しないため、まずは走行によるエネルギー消費量を算出し、その消費量を発電した前提で Well to Tank 部分の CO₂ 排出原単位を乗じて全体の CO₂ 排出量を推計することとした。

4. 地域交通への導入効果の評価

4-1 対象地域と利用データ

ラストワンマイル自動走行の評価対象地域として、実証実験の実施地区の中から輪島市を選定した。図 4 に対象地域とモデル化した道路ネットワークを示す。通過交通の需要については別途実施した日本全国シミュレーションデータ^[8]から輪島市周辺の交通量を抽出し、通過交通を含む現況再現を実施した。現況再現に参考とした断面交通量、走行速度調査データは平成 22 年度道路交通センサスデータとした。



図 4 対象地域とモデル化した道路ネットワーク

4-2 シミュレーション設定

輪島市で実証実験が実施されている WA-MO^[9] の走行コースを参考に示す輪島市中心部にラストワンマイル走行路線を設定した（走行コースは 1 周 4.5km）。ラストワンマイル自動走行車両への乗降は路線上に 9 箇所設定した停留所のみとし、ラストワンマイル車両は停留所では 30 秒停車する。また、示した青の点線で囲んだ 4 箇所の停留所で、一般車両はラストワンマイル自動走行車両を追い抜ける設定とした。

ラストワンマイル自動走行車両は、実証実験に使用されている 4 人乗りの車両で、最高速度は 20km/h を想定した。なお、一般車両は規制速度（30km/h～50km/h）を目標に走行する設定とした。一方、ラストワンマイル車両の運行頻度設定では、輪島市の高齢化率（65 歳以上、2015 年で約 43%^[10]）とラストワンマイル車両走行コースの沿線人口（3152 人^[11]）

から対象となり得る高齢者人口を推定し、そのうちの10%（135人/日）の利用者が昼間（9時～17時）に住宅エリアから病院・ショッピングセンターエリアへラストワンマイル自動走行サービスを往復利用すると仮定した。その需要に対して、4人乗りラストワンマイル車両は1時間あたり5便必要（17人/時）なため、12分・6分・3分間隔の3パターン、すなわち運行頻度を、5便/時、10便/時、20便/時とした。

CO₂排出量モデルで必要な車両の速度プロファイルについては、交通流シミュレーションからの出力結果を用いる。また、CO₂排出量を算出する際の車種構成データは^{[13][14]}に示す構成とした。また、前述のように、ラストワンマイル車両は電気自動車を想定しており、燃料電池車と同様に走行時のCO₂排出量が0となる。そのため、走行時のエネルギー消費量からCO₂排出量に換算するのに発電時のCO₂排出原単位が必要になる。本研究では、発電時の構成比率およびそのCO₂原単位はエネルギー経済研究所の検討値^[12]である169g-CO₂/MJを用いた（エラー！参照元が見つかりま

表 1Well to Tank CO₂排出原単位

燃料種	WtT 排出原単位	備考
ガソリン	12.3[g/km]	原油輸入先：中東 89%，東南アジア：5%，アフリカ：4%，その他：2%
軽油	6.3[g/km]	
電気	168.6[g/km]	発電比率：火力 63%，原子力 28%，水力 7%，その他 2%

せん。参照）。

4-3 シミュレーション結果本研究では、仮に同様の行動を自家用車で行った場合のシミュレーションを別途実施し、ラストワンマイル車両で移動した場合と比較評価した。図 7に

平均速度、図 8に総走行距離、図 9に総走行時間のシミュレーション結果（ラストワンマイル自動走行路線のみ）を示す。ラストワンマイル自動走行路線では、低速で走行するラストワンマイル車両の混在でわずかに速度低下が見られた。自家用車利用の場合と決められたコースを走行するラストワンマイル車両では、1トリップあたりの走行距離が異なるため、自家用車利用のケースに対して33%減のトリップ数である10便/時でも総走行距離は増加する結果であった。

現況の交通需要のケースに加え、交通需要を現況



図 5 ラストワンマイル走行路線

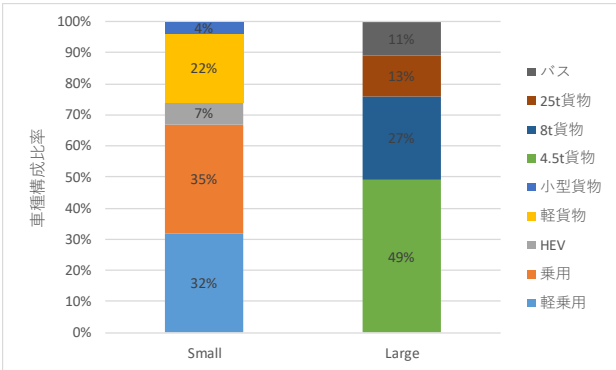


図 6 輪島市車種構成データ

の3倍に増加させることで交通量が多い地域を模してラストワンマイル車両の走行による一般交通への影響評価も行った。図 10、図 11にケース別のラストワンマイル自動走行車の走行コースの平均速度を示す。現況の交通需要下では、ラストワンマイル自動走行路線を走行する一般車の平均速度は僅かに低下が見られるものの、ラストワンマイル自動走行車の走行頻度によらず同程度の速度であった。これは、一般車はラストワンマイル車両をいくつかの停留所で追い越し可能な設定としたこと、ラストワンマイル車両の有無に関わらず交差点での信号停止の影響で一般車の平均速度が低下していることが要因と考えられ、信号制御されているエリアでは、ラストワンマイル自動走行車が3分間隔程度の高密度走行でも一般車両への影響は軽微となる可能性があると考えられる。現況の交通需要を3倍に増加したケースでは、ラストワンマイル車両の平均速度はわずかに低下したが、現況の交通需要と同レベルの速度であった。一方、一般車両は、交通需要の増加に伴い速度低下が生じており、ラストワンマイル車両の便数増加に比例して平均速度の低下がわずかに見られた。

図 12 にキリコ会館から輪島市民病院までの平均旅行時間を示す。1 トリップあたりの旅行時間は自家用車利用で 3～4 分程度であったが、ラストワンマイル自動走行の利用により 9 分（20 本/時）～14 分（5 本/時）へと増加し、利便性の面ではやや低下すると考えられる。一方、現況の交通需要を 3 倍に増加させたケースでは、1 トリップあたりの旅行時間に現況ケースからの増加は見られなかった。これはラストワンマイル車両が元々低速で走行していたため、周囲の交通状況の変化から受ける影響は小さかったためと考えられる。

ラストワンマイル自動走行車は電気自動車を想定し、走行挙動も自動運転によって最適な加減速および定常走行時の速度ばらつきが改善されるものとした。Tank to Wheel エネルギー消費量および Well to Wheel CO2 排出量の推計結果を図 12、図 13 に示す。なお、ラストワンマイル自動走行車は電気自動車を想定しているため、CO2 排出量は発電部分も考慮した排出量で算出している。エネルギー消費量を見ると、現状の交通状況を再現したベースケースと比較して、高齢者の移動トリップ増加分を全て自家用車で賄うと、107%まで増加する。一方、移動トリップの増加分をラストワンマイル自動走行車に代替することで、現状相当までエネルギー消費量、ならびに CO2 排出量は抑制されるが、ラストワンマイル自動走行車が 20 本/時まで増加すると、CO2 排出量の削減幅がやや縮小している。

5. おわりに

本論文においては、ラストワンマイル自動運転システムを地域交通に導入した際の交通流および CO₂ 排出量削減効果について評価を行った結果を示した。本結果は検討時における実証実験等から知り得る情報を基に前提条件を設定したが、今後性能の向上や運用ルール等が実用化に向けて変更されることが予想される。その際は、再度設定を見直して道路交通に関わるインパクトを再検証することが必要である。

【謝辞】

本研究は、「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発及び実証」における成果を報告するものである。活動の推進にあたってご協力いただいた関係者に、ここで深甚なる謝意を表します。

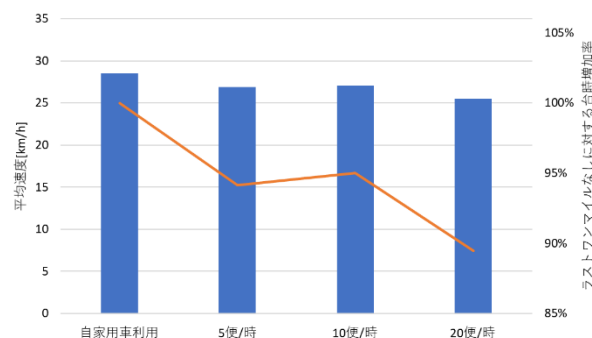


図 7 平均速度（全車両）

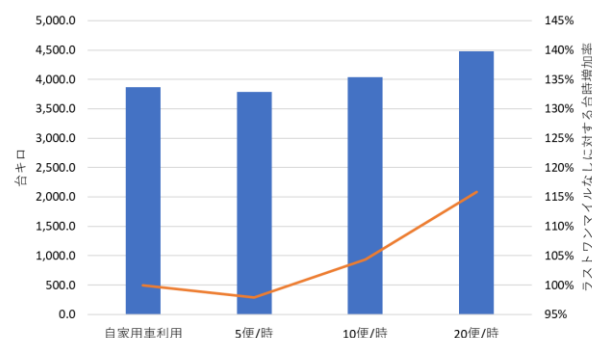


図 8 総走行距離（全車両）

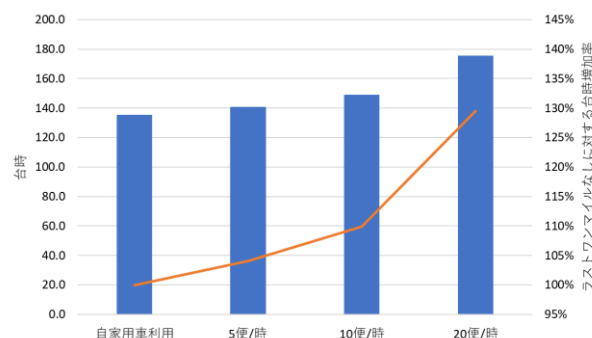


図 9 総走行時間（全車両）

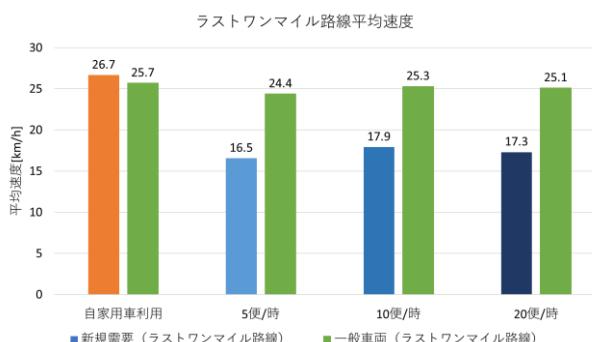


図 10 ケース別平均速度

（ラストワンマイル自動走行路線のみ、交通需要現況ケース）

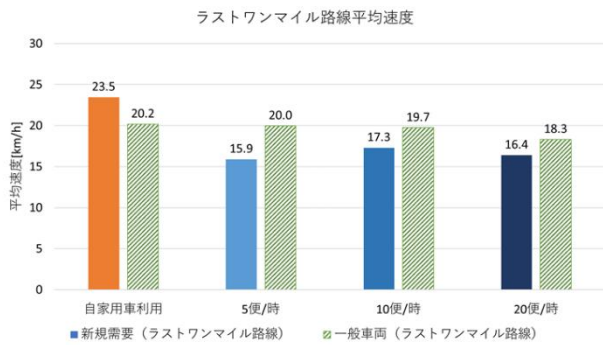


図 11 ケース別平均速度
(ラストワンマイル自動走行路線のみ、現況の交通需要を3倍にしたケース)

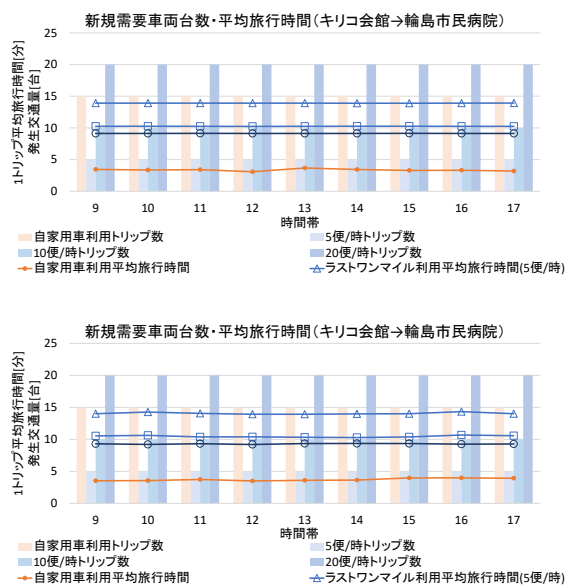


図 12 区間平均旅行時間
(ラストワンマイル自動走行路線のみ、上：交通需要現況ケース、下段：現況の交通需要を3倍にしたケース)

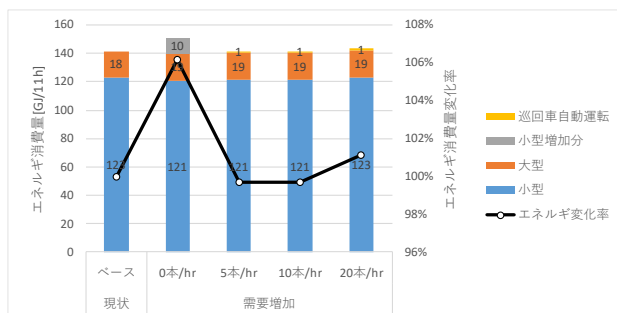


図 13 エネルギー消費量推計結果

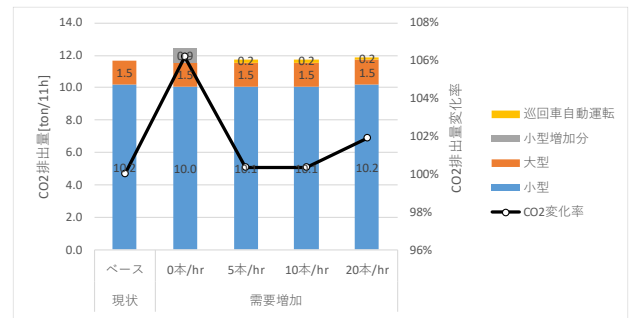


図 14 CO₂ 排出量推計結果

参考文献

- [1] 自動走行ビジネス検討会報告書『自動走行の実現に向けた取組方針』Verison3.0 (令和元年 6 月 26 日) : https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/20190626_report.html
- [2] 自動車用自動運転化システムのレベル分類および定義 (JASO TP-18004)
- [3] 戦略的イノベーション創造プログラム (自動走行システム) : 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発及び実証 : https://www.data.go.jp/data/dataset/meti_20160907_0048 , https://www.data.go.jp/data/dataset/meti_20171206_0194 , https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000370.pdf
- [4] エネルギー ITS 推進事業 : https://www.nedo.go.jp/activities/FK_00023.html
- [5] M. Kuwahara, et al.:Development of an Assessment Tool of the Effects of ITS on CO₂ Emissions, International Journal of Intelligent Transport Systems Research, Vol. 11, No. 3, pp. 129-140, September 2013. (DOI)10.1007/s13177-013-0063-y
- [6] T. Yoshii and M. Kuwahara :SOUND: A Traffic Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban Expressways, Preprint at 7th World Conference on Transportation Research, Sydney, 1995.
- [7] R. Horiguchi, et al : Potential of the Advanced Traffic Management on Tokyo Metropolitan Urban Expressway Rings - Development of Network Simulation Model and its Application, Presented at the 24th ITS World Congress in Montreal (scientific paper), 29th Oct to 2nd Nov 2017.
- [8] 小出勝亮,ほか: 日本全国規模のネットワークを対象とした交通流シミュレーションの精緻化, 第 11 回 ITS シンポジウム予稿集, 2012.12.13-14.
- [9] 輪島商工会議所 次世代交通対策事業 : <http://wajimacci.or.jp/ecocart>
- [10] 地域医療情報システム (石川県輪島市) : <http://jmap.jp/cities/detail/city/17204>
- [11] 平成 27 年度国勢調査データを基に集計.
- [12] 末広茂, ほか; 自動車部門における CO₂ 排出削減効果, エネルギー経済 2009 年 10 月号, (2009)
- [13] 自動車検査登録協会自検協統計自動車保有車両数 初度登録年別,2017
- [14] 自動車検査登録協会自検協統計自動車保有車両数 市区町村別,2017