

## S6-1-5 2次元ネットワーク構造を持つ複合交通シミュレータによる LRV導入効果の評価

○ 工藤 希、[電] 中村英夫(日本大学)  
[土] 佐藤安弘、[電] 水間 毅(独立行政法人 交通安全環境研究所)

### Evaluation of LRT introduction with Compound Traffic Simulator with Two Dimension Network Structure

Nozomi Kudo, Hideo Nakamura, Member (Nihon University),  
Yasuhiro Sato, Member, Takeshi Mizuma, Member  
(National Traffic Safety and Environment Laboratory)

The route of LRV is set on the road on the map, and the simulator that can run using together about the car and the bus is being developed. It is possible to run according to a traffic signal according to the performance of LRV, the car, and the bus, and it runs.

Because the calculation of the consumption energy and carbon-dioxide emissions is also possible, the calculation is possible of the change, energy, and the environmental burden of a car traffic style after LRV is introduced. In this lecture, the change in the congestion length when it is made to run in LRV after the simulator is verified based on an actual road survey is shown, the change in the running time is shown, the result of calculating the change in carbon-dioxide emissions is shown, and the example of calculating the effect of the introduction of LRV is shown.

キーワード:LRT、シミュレーション、自動車交通

Keyword: LRT,Simulation,Traffic

#### 1. はじめに

現在、都市交通においては様々なシステムが運用されているが、渋滞や環境負荷などの問題を抱えている。これらを軽減する新しい交通システムとして、LRT (Light Rail Transit) が注目を集めているが、定量的評価報告が少ないため導入に踏み切れていないのが現状である。そこで、LRT導入の事前評価ツールとして、複合交通シミュレータを開発し、LRT導入の定量的評価を行ってきた<sup>(1)</sup>。

本稿では、シミュレータを自動車交通に関して詳細なシミュレーションを行えるように改良し、その検証を行った。また、実際に導入による効果を計算したので報告する。

#### 2. シミュレータの特徴

今回開発したシミュレータの概要を表1に示す。これまでのLRT走行機能に加え、自動車に関しては信号をノード、道路をリンクとするネットワーク上を、目的地を持った自動車が一台ずつ走行する事ができる。これに加え、バ

ス停ごとに乗降人数に応じた時間、停車し、道路交通に応じた走行が可能なバス路線も設定できる。

##### 2.1. LRT 走行システム

本シミュレータは、路線、車両、信号のパラメータを入

表1 シミュレータの概要  
Table 1 Outline of simulator

|     | 機能                                                                    | 設定するパラメータ                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 道路  | 交差点をノードとするネットワークを構成                                                   | シミュレーション対象領域                                          |
| 信号  | 信号に従った自動車交通の再現                                                        | サイクル長<br>オフセット<br>青矢現示にも対応                            |
| 自動車 | 1台ずつルートを想定して走行<br>前方を走る自動車の速度に応じた走行<br>同方向多車線にも対応<br>旅行時間・燃費・環境負荷等の計算 | 発生点から消滅点までの交通OD表<br>車間距離<br>車線数<br>大型・小型車に分けてパラメータを設定 |
| 他交通 | LRTと同時に走行<br>バスの同時走行                                                  | 路線及び車両パラメータ<br>路線、時刻表、バス停                             |

力することで、各種 LRV を路線と信号に従い走行させる事ができる。路線は直線と円弧により構成され、折れ角は曲線半径により設定する。LRT の走行車両 LRV (Light Rail Vehicle) は始発駅の時刻表に従い発生し、駅の位置と駅に乗り降りする乗客の人数を OD 表として与えることで、駅停車時間を加味して道路信号に従い走行する。

## 2.2. 道路ネットワーク

地図データには市販ラスタ地図と地形の勾配を認識する為に国土院の 50m メッシュ情報、道路ネットワーク地図データ (DRM) をあわせたものを用いた。各リンクごとに、両端ノード ID、リンク長、規制速度、車線数、道路幅員のデータ、自動車走行不可、使用禁止、一方通行、高速道路、有料道路等を設定することができる (図 1)。

| 項目         | 値        |
|------------|----------|
| ノード1ID     | 12545    |
| ノード2ID     | 12543    |
| リンク長(m)    | 81       |
| 規制速度       | 40km/h   |
| 車線数        | 2車線      |
| 道路幅員       | 5.5m~13m |
| 自動車通行不可    | FALSE    |
| 使用禁止       | FALSE    |
| 一方通行       | FALSE    |
| 高速道路       | FALSE    |
| 有料道路       | FALSE    |
| 道路幅員 3m 未満 | FALSE    |

図 1 道路パラメータ設定例

Fig.1 Example of setting road parameter

## 2.3. 自動車走行システム

以上のネットワーク上を 1 台ずつが目的地を持ち、前方の車両や信号に影響されながら走行する。そのためには、シミュレーションを開始した直後の 1 台目の車両以外は、前方を走行する自動車に追従するような走行パターンが必要である。

前方に自動車が走行している場合、前方の自動車との相対速度で走行した場合、5 秒以内 (設定可) に自車が前方車の位置に到達する場合、追従式を適用する (図 2)。

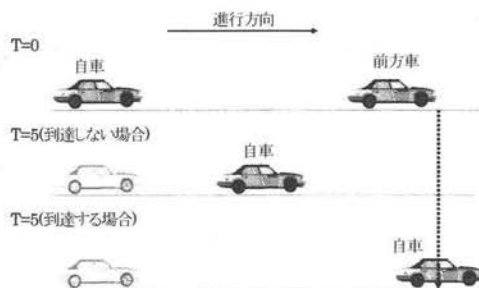


図 2 追従条件

Fig.2 Follow condition

### 1) 追従式を適用しない場合の走行

前述の条件に従い、前方車の影響なく走行できる場合の走行式は式 (1) とした。車両は車両属性に従った最大加速度値で加速する。

$$V_t = V_{t-ts} + \alpha_{mas} \times t_s / 1000 \quad (1)$$

$V_t$ : 時刻  $t$  の速度 (m/s)

$t_s$ : サンプル時間 (ms)

$V_{t-ts}$ :  $t_s$  秒前の速度 (m/s)

$\alpha_{mas}$ : 最大加速度 (m/s<sup>2</sup>)

### 2) 追従式を適用する場合の走行

前方車の影響を受ける場合、式 (3) を利用して算出した加減速度で加減速を行う<sup>(2)</sup>。

$$\alpha = \lambda \frac{V_{i+1}^m(t)}{\{X_i(t-\tau) - X_{i+1}(t-\tau)\}} (V_i(t-\tau) - V_{i+1}(t-\tau)) \quad (2)$$

$\alpha$ : 加減速度 (m/s<sup>2</sup>)

$i+1$ : 台前方の車両

$i+I$ : 自車

$t$ : 現在時刻 (s)

$V$ : 速度 (m/s)

$X$ : 位置 (m)

$\lambda$ : 定数

$I, m$ : 速度・密度曲線の特徴を表す係数

$\tau$ : タイムステップ (s)

ここで、定数  $\lambda$  は運転者の前方車からの刺激に反応する強さを表す。

### 3) 信号による車両の停車

車両は、前方信号が赤の場合、設定した最大減速度で減速を行う (式 (4))。

$$V_t = V_{t-ts} + \beta_{mas} \times t_s / 1000 \quad (3)$$

$V_t$ : 時刻  $t$  の速度 (m/s)

$t_s$ : サンプル時間 (ms)

$V_{t-ts}$ :  $t_s$  秒前の速度 (m/s)

$\beta_{mas}$ : 最大減速度 (m/s<sup>2</sup>)

現在走行中の位置から、停車位置で停車するのに「減速すれば停車できる」の判定を行った場合に減速を開始する。

## 2.4. バス走行システム

バスは、道路データ、信号データの他に、バス停及びバスの乗降人数を考慮した走行を行う。道路上での走行パタ

ーンは自動車と同じアルゴリズムを用いる。バス停については、LRTと同様に、バス停ごとの固定停車時間と乗降OD表に従った平均乗降時間を足したものをを用いる。

### 3. シミュレータの検証

本シミュレータを用い、シミュレーションの結果と実際に自動車交通量を測定した結果の比較を行った。結果を図3,4、交差点でのシミュレーション実行画面を図5に示す。測定したのは交差点ごとの流入、流出交通量及び渋滞長である。

図4より、2、3箇所の特異点はあるが、その他の交差点において、実際より少ない渋滞長ができていことがわかる。また、絶対値は異なるが、同じような傾向が見て取れる。絶対値が異なった要因としては、今回測定した交通量が主要交差点のみであったため、わき道の自動車交通を想定していない事、また、実際には1台ごとに車間距離や走行曲線は異なっているにも関わらず、パラメータとして一意に定めたため、実際の交通よりも整然とした自動車の流れが表現されたと考えられる。

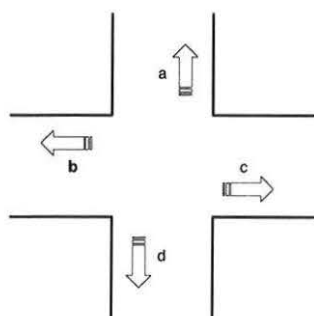


図3 交差点における渋滞長

Fig 3. Congestion length in intersection

### 4. シミュレータによるLRTの有用性評価例

次に、既存道路空間にLRTを導入した場合どうい結果が得られるかの検証を行った。入力するパラメータを表2に示す。実際に定点観測を行った結果より交通OD表を作成して自動車交通に適用した。

シミュレーションを行った結果を図6に示す。また、LRTの走行グラフを図7に、エネルギー削減率の結果を表3に示す。エネルギー削減率とは、LRTと同じルートを走行する自動車(またはバス、各交通システムの合計)の総エネルギー量を、導入前(現状)と、導入後に走行した場合の減った量の割合である。

図6より、LRT導入の前後で、自動車とバスの平均速度が下がっているのがわかる。これは、導入に当たって道路の車線が1レーン減っているからである。また、LRTはバスに比べて速度は遅い事がわかる。これは、LRTの制限速度がバスに比べ遅く設定されていること、駅区間以外のすべての路線において単線で運行しているため、前方にLRTが走行しているとその車両が駅に着くまで走行を開始できない事による待ち時間の増加が考えられる。待ち時間については、今後最適なダイヤ編成を考えることである程度解決できると考えられる。

また、乗員一人あたりのCO2排出量については、導入前では、バスと自動車と比べると、バスの方が乗員が多い分、排出量が少ないことが分かる。導入前後においては、排出量も増えているが、平均速度が落ちた分モーターの効率が落ち、CO2排出量が増えた為である。

今回の結果では、バスの排出量が導入前後で減るという結果が出てしまったが、これは普通車と大型車の自動車パラメータの違いからきている。今後、シミュレーションパラメータの見直しを行うと共に、より正確なシミュレーションを行っていききたい。

LRTについては、自動車に比べ、一人あたりのCO2排出量は1/10程度となった。これはもともと電気鉄道は自動

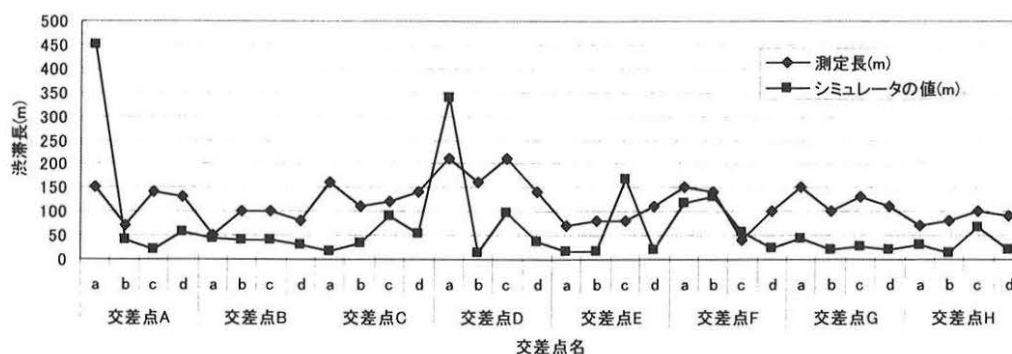


図4 渋滞長比較

Fig.4 Congestion length comparison

車に比べてエネルギー効率が良く、乗車人数が多いことが上げられる。

表 4 より、導入によって、LRT にモーダルシフトした人の分、自動車が減るとすると、消費エネルギーの削減率は LRT を導入した分を足しても 3 割程度の削減が見込まれる事がわかった。

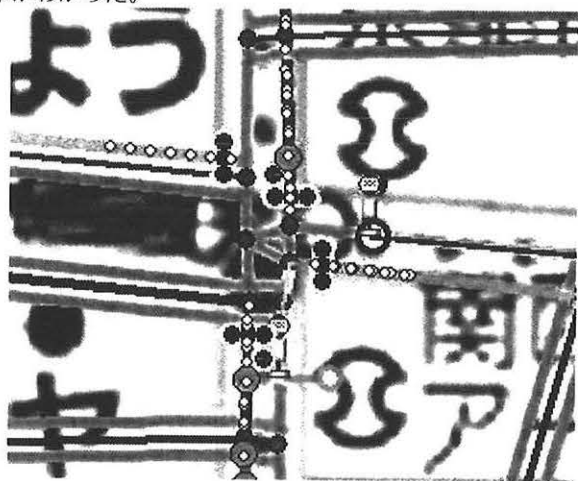


図 5 シミュレーション実行画面例

Fig.5 Example of simulation execution screen

## 5. おわりに

以上より、今回開発したシミュレータにおいて、実際に測定した自動車交通の結果と同じ傾向が見て取れたことから、現実の現象をある程度再現できたと言える。しかしまだ現在の道路状況の正確な再現とは至っておらず、今後改善を行う必要がある。

また、実際に導入した場合の計算を行い、導入によるエネルギーの削減効果が計算できた。今後はシミュレータの改善を行うと共に、LRT 導入予定地区でより詳細な導入評価を行っていききたい。また、道路上の路上駐車やバスの追い越しを再現することでより現実に近いシミュレーションを行えるように検討していききたい。

## 参考文献

- (1) 工藤他：自動車交通流を考慮した軌道系シミュレータにおけるCO<sub>2</sub>排出量の評価、平成17年電気学会大会、2005
- (2) 佐佐木綱：交通工学、国民科学社、1992

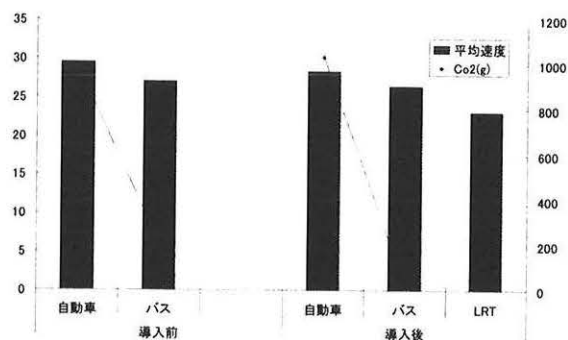


図 6 平均速度と CO2 排出量

Fig.6. Average speed and amount of CO2 exhaust

表 2 入力パラメータ

Table 2 Input parameter

|            |                 |
|------------|-----------------|
| 交通量        | 交差点ごとの定点調査結果による |
| LRT        | 熊本市交通局 9700 系   |
| LRT 路線     | 駅のみ複線の単線        |
| シミュレーション時間 | 1 時間            |

表 3 エネルギー削減率

Table 3. Energy reduction rate

|     | 自動車 | バス  | 自動車+バス+<br>LRT |
|-----|-----|-----|----------------|
| 削減率 | 30% | 36% | 29 %           |

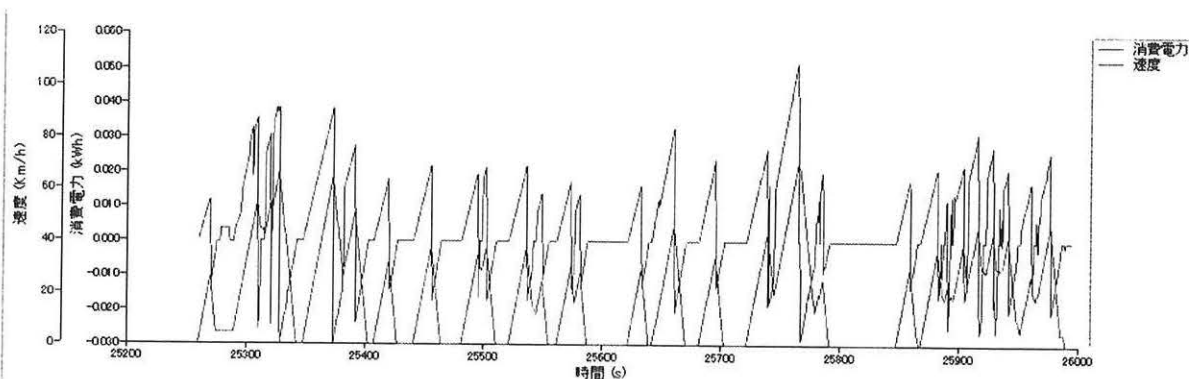


図 7 LRT の消費電力と走行速度結果

Fig.7 Power consumption and running speed of LRT