

# 地形の影響を考慮した都市内軌道系交通評価シミュレータの開発

交通システム部

大野 寛之

水間 毅

佐藤 安弘

山口 知宏

## 1. はじめに

地球温暖化の原因となる $\text{CO}_2$ 排出源のうち、運輸部門からの排出量の伸びは他の部門と比較して際だって増え続けている<sup>(1)</sup>。このままのペースで運輸部門からの $\text{CO}_2$ 排出が増加し続けると、京都議定書に定められた排出削減を実現することは困難になるものと考えられる。

旅客輸送にしめる自家用自動車数の増大は、 $\text{CO}_2$ 排出量の増大につながるだけでなく、各種公害の発生や事故の増加等、そのデメリットは計り知れない。そのため近年はヨーロッパを中心にして都市内に於ける軌道系交通の役割を見直す動きが強まり、LRTをはじめとする新しい各種軌道系交通の導入が進んでいる。

LRTをはじめとする様々な都市内軌道系交通システムを敷設するに当たり、計画地域に適したシステムを選択することが重要である。適正システム選択の手段として、地図情報を基にして各種軌道系交通システムの走行シミュレーションを行うシミュレータを開発した<sup>(2)</sup>。本シミュレータは各システムの走行パラメータを設定できるとともに、地図情報の3次元データを利用することで、それぞれのシステムが走行した場合の速度、所要時間、消費エネルギー等を算出することができる。

## 2. シミュレーション内容

### 2.1. 地図情報

対象地域に関する既存道路等の地図情報は、市販されているCD地図と同等の情報をもち、縮尺は8千分の1で表示される。ユーザは画面表示された地図をマウス操作することにより、移動、駅の設定、路線の設定を行うことができる。既存道路の形状に合わせた曲線等の設定も容易に行うことができる。

地図上に設定された路線の座標を基に国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)を用い、路線

全体の断面データが生成される(図1)。

### 2.2. 路線の設定

路線は直線と円弧により構成される。はじめに地図上に折線で路線の概略作り、折れ角の部分で曲線半径を指定することにより路線形状を決定する。続いて作成した路線上の位置を指定して駅の設定を行う。駅間距離および路線長は地図情報から計算される。

続いて、敷設した駅に対して上下線の乗客数を1時間毎に設定する(図2)。駅における停車時間は、各駅固定停車時間+乗客数に比例した停車時間により求められる。

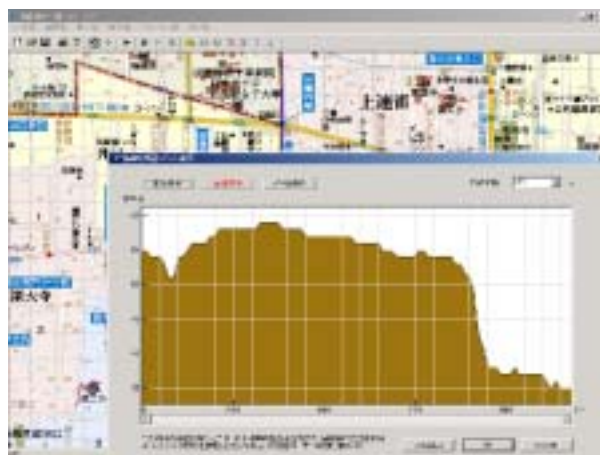


図1 路線図および路線断面

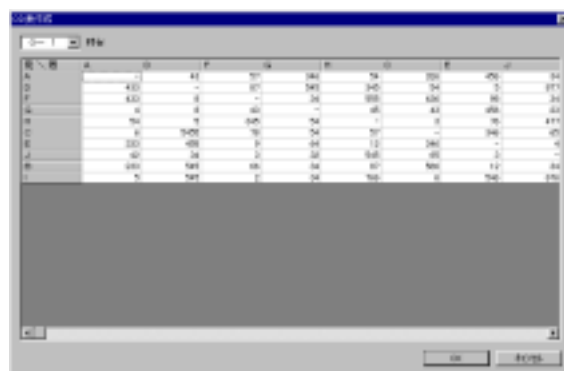


図2 OD設定画面

## 2.3. 車両の属性

車両性能は属性パラメータにより決定される。属性としては、型式名、給電方式、定員、乗車率、車両重量、最小曲線半径、曲線半径別制限速度、引張力、最高速度、最大加速度、最大減速度、走行抵抗、曲線抵抗、回生率等がある（図3）。

曲線通過性能は最小曲線半径を定義するとともに、曲線半径ごとの制限速度を表の形で与える。引張力については速度との対応表を入力し、間を直線補間することで設定する。

走行抵抗  $F_r$  (kg/ton) は直線抵抗  $F_1$ 、曲線抵抗  $F_2$  および勾配抵抗  $F_3$  の和として計算される。

$$F_1 = a + bv + cv^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$F_2 = d/R \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$F_3 = \pm n \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$F_r = F_1 + F_2 + F_3 \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $a, b, c, d$  : 車両特性に応じた定数,  
 $v$  : 速度 (km/h),  $R$  : 曲線半径 (m),  
 $n$  : 勾配 (‰)

## 2.4. シミュレーション実行

各交通システムは以下の運動方程式に基づいて走行する。

$$(F + F_r \cdot m) \cdot g = m \cdot \dots \dots \dots (5)$$

ただし、 $F$  : 引張力(kg),  $g$  : 重力加速度,  
 $m$  : 車両重量(t),  $\ddot{x}$  : 加・減速度(m/s<sup>2</sup>)

車両重量は車両本体の重量と、OD 表より算出される区間ごとの乗車人員に応じた重量の合計となる。

消費電力量は次式により算出される。

$$W = \frac{1}{2} m v^2 \left( 1 + \frac{\mu}{100} \cdot \frac{v}{100} \right) \frac{k}{\delta t} \quad \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 $W$  : 消費電力(W),  $\mu$  : 車輪摩擦率(%),  
 $\delta$  : 摩擦反映率(%),  $k$  : 機器効率,  
 $t$  : サンプル時間(s)

さらに、その時の走行に関わる CO<sub>2</sub> 削減量(t/年)を、回生電力量を基礎として次式のように定義した。

$$\text{CO}_2 \text{ 削減量} = (\text{回生電力量} \cdot \text{kWs}) \cdot \dots / 3600 \quad \dots \dots (7)$$

ただし、 $\alpha$  : 電力受電端 CO<sub>2</sub> 排出係数(kg/kWh)

## 3. シミュレーション例

図4に、従来型路面電車の TRAM (定員 78 人, 車両重量 25t, 最高速度 40km/h) LRV (定員 153 人, 車両重量 21t, 最高速度 60km/h) および IMTS (定員 50 人×2, 車両重量 10t×2, 最高速度 60km/h)

について、若干の登り勾配のある路線でのシミュレーション結果を示す。

TRAM は消費エネルギーは少ないものの、輸送力は小さく平均速度も低い。LRV は平均速度が最も高く輸送力も大きい、消費エネルギーも大きくなっている。IMTS は輸送力および速度は LRV に若干劣るが力行エネルギーは小さい。キャパシター等を利用してエネルギー回生ができるようになれば TRAM 並みの消費エネルギーで TRAM よりも大きな輸送力や平均速度を実現させることも可能となる。

## 3. 終わりに

本シミュレータにより、各種軌道系交通システムの車両諸元さえ明らかになれば、実際の地形に即した走行シミュレーションを実行し、その路線での各システムの走行特性を予測することが可能となった。

本システムを有効に生かすためには、計画路線に於ける需要予測を的確に行い、総合的な観点から最適システムの選択を行うことが重要である。

## 参考文献

- (1) 「環境省ホームページ」他
- (2) 水間ほか, 「新しい都市交通システムの評価について」, 平成 13 年電気学会産業応用部門大会論文集

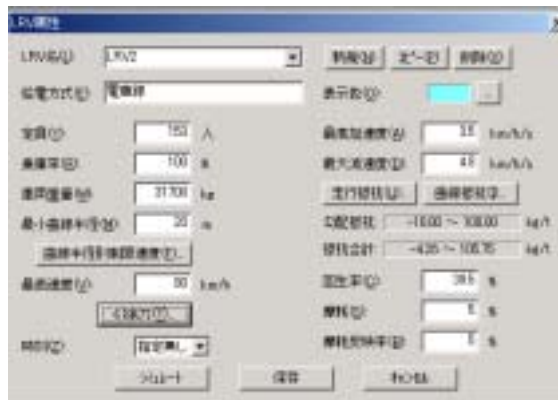


図3 車両属性設定画面

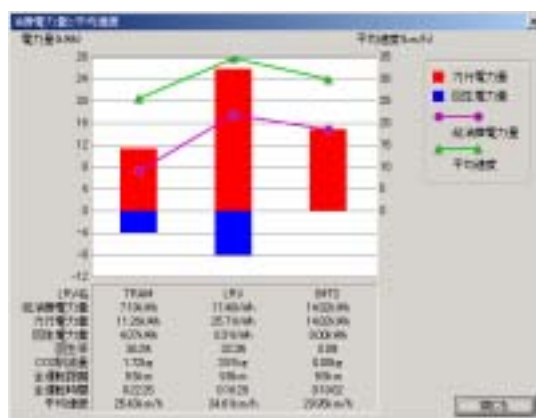


図4 シミュレーション結果例