

# 低床ライトレール車両の快適性・乗降容易性定量評価実験

Experiments for Evaluation of Comfort and Accessibility of Low-floor Light Rail Vehicle

須田 義大\*・平沢 隆之\*・松岡 茂樹\*\*

Yoshihiro SUDA, Takayuki HIRASAWA, Shigeki MATSUOKA

## 1. はじめに

急激な自動車の普及により慢性化した交通渋滞と都市の環境悪化への対策として、欧米の諸都市においては次世代路面電車ライトレールの導入が成果を収めている。新交通システムに比べて敷設コストが低く、アクセスが容易なため街の活性化に貢献するライトレールは、自動車交通の制限と、車両の低床化や加減速性能の向上・運賃收受方式の工夫により都市基幹交通の地位を確立している。1997年8月に熊本市交通局に日本で始めて導入された低床式ライトレール車両 (Light Rail Vehicle, 以下 LRV) 9700 形も、従来車 9200 形と比較して、床面高さを 815 mm から 300 mm (出入口部) と下げ、2段のステップを廃止し、前扉に車椅子利用者用リフトを備えた車両である。ツーマン制によって降車時に2つの扉を利用できるなどの工夫もしている。

一方、筆者らは、運用と利用者双方の視点から車両座席配置の最適化という観点に立ち、乗降性・快適性・好感度を指標とする車内レイアウトの工学的評価を、通勤車両を想定して行ってきた。すなわち、実物大モックアップを用いた乗降実験に基づいて、乗客密度・平均乗車時間を入力とし、乗降性評価値及び快適性評価値を出力とする座席配置シミュレータを構築している[1, 2]。これを用いて、通勤車両については、各評価値を同時に向上させる座席配置を新たに提案し[3]、LRVについても、ステップレス化による乗降容易性・快適性向上のあることをシミュレーションによって定量的に示した[4]。同じ路面上を走る自動車との共存あるいは競合の問題があるので、LRVについては車両単体の評価にとどまらぬ、LRTシステムとしての利便性に関する定量的評価が望まれる。速達性やコストなど運用面についての検討は多いが、利用面については定性

的な議論に終始している現状からも、その要望は強い。

そこで、本研究では、先の LRV シミュレーション結果の検証を目的として、営業車両・モックアップを用いた複数の実験を行った。その結果、実際の車両において低床 LRV の導入による速達性・乗降容易性・利便性の向上方策を検討する基礎的なデータを得たので報告する。

## 2. 実験の概略

本研究では、従来車として熊本市交通局 9200 形 (ステップつき車両, 中乗り前降り方式) を、低床車として同 9700 形 (ノンステップ車両, 中乗り両降り方式) を対象に、表1の項目について観測・測定を行い、以下の3点を定量的評価により検討した。

- (1) 運賃收受システムの見直し・低床化・電車優先信号による一路線についての速達性向上
- (2) 混雑時の乗降の多い駅において最適な乗降容易性を実現するホーム幅・座席配置・ドア利用方法の模索
- (3) 低床化による車椅子利用者の利便性向上

表1 本研究における実験項目の一覧

項目	集計内容・測定時間
実車両実験	
営業車両の車内ビデオ撮影	所要時間と乗降人数の状況ごと集計 (1日4回×2車種)
健常者の物理抵抗測定	ステップ通過・運賃收受の方法による所要時間の測定
車椅子利用者の物理抵抗測定	介助者数・車椅子種類をパラメータとしたドア部通過時間
千葉モックアップ実験	
乗降容易性実験	ホーム幅・ドア利用方法・座席配置をパラメータとした、54名の乗客による半数一斉乗降時間

## 3. 実験方法

### 3.1 営業車両における乗客の車内行動観察

11月の平日営業時間中に、熊本市交通局 9200 形 (以下、従来車)・9700 形 (以下、低床車) 2車種各1編成につい

\*東京大学生産技術研究所 第2部

\*\*東急車輛製造株式会社



写真1 熊本市交通局 9700 形外観

表2 運賃収受抵抗の測定項目

システム	ドア	乗/降	支払行動
均一料金	前	乗車	均一料金投入
前払い	中	乗車	なし
整理券	中	乗車	整理券とり
後払い	前	降車	整理券+運賃投入
	前	降車	両替後、整理券+運賃投入
	前	降車	整理券+回数券投入
	前	降車	定期券提示

て、朝ラッシュ時・朝オフピーク時・昼オフピーク時・夕ラッシュ時の各1往復ずつ計8往復の乗客の車内行動を車載ビデオにて記録した。これより、全測定回について、午前は上り、午後は下りのみについて、走行時間と各駅の乗降人数を以下のようにビデオ目視によって集計した。

走行時間は、走行・駅停車・信号待ちの3モードに分類して、走行時間内容を集計した。

各駅の乗降人数は、乗車については人数のみ、降車については、定期券または回数券利用・釣りなし現金支払い・両替後現金支払いの3通りの運賃収受方法別に分けた。ただし、営業運転の妨げにならぬ位置にカメラを取付ける必要性からビデオ上の判別が困難となった定期券と回数券を、同一のカテゴリーに区分した。

### 3.2 各物理抵抗の測定実験

#### 3.2.1 ステップ通過および運賃収受時の物理抵抗測定

単独歩行する2名の男子健常被験者が、従来車・低床車の各ドア部を通過する時間を、前・中扉の乗・降車の計4通りについて測定した。測定内容は、ドア端部から車内長さ方向に3mの位置と該当ドア中央部との間を、通路部中央を通過して移動する時間とした。2車種のデータ比較によって各場合の一人当たりステップ抵抗を算出する。

同一の被験者により、低床車の表2にあげる項目について、ステップ抵抗実験と同じ要領で時間を測定した。ステップ抵抗実験の低床車データを運賃車外収受システムの場合(基準)とみなし、表に示す他のシステムにおけるこの値からの遅れから、一人当たりの運賃収受抵抗を算出する。

#### 3.2.2 車椅子利用時の物理抵抗測定

従来車は手動式・電動式ともに介助者4名で、低床車はドア口の補助リフト付きで手動式は単独・電動式は介助者

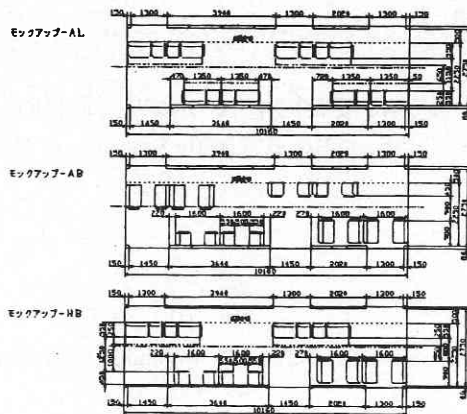


図1 LRVモックアップ図面

表3 モックアップによる乗降容易性の実験項目

配置	想定するシステム	ドア利用	ホーム幅(mm)
AB	整理券	中乗り前降り	1840
	均一運賃	前乗り中降り	
	車外収受	両乗り両降り	
	ツーマン	中乗り両降り	
HB	整理券	中乗り前降り	920
	均一運賃	前乗り中降り	
	車外収受	両乗り両降り	
	ツーマン	中乗り両降り	
AL	整理券	中乗り前降り	1840
	均一運賃	前乗り中降り	
	車外収受	両乗り両降り	
	ツーマン	中乗り両降り	

(A: オール, H: ハーフ, B: ボックス, L: ロング)

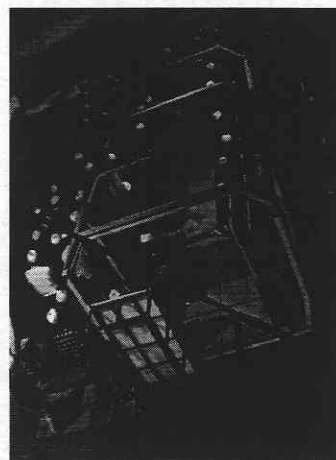


写真2 LRV実物大モックアップ乗降実験風景

1名つきで、乗降時間測定を行った。ただし、手動式では中扉、電動式では前扉について実験した。

#### 3.2.3 モックアップ一斉乗降実験

通勤車両を想定したモックアップ(車長10160mm)の片側にホームを新設し、車内に仕切りを付して車内幅を9700形と合わせた2扉LRV用モックアップを作成した(図1)。これを用いて、36名乗車した状態から任意の半数が一斉にホームへ降車し、ホーム上に待機する同数名が新

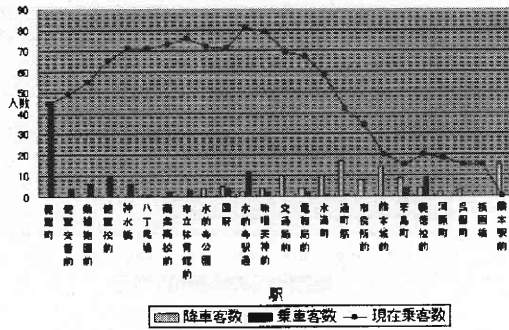


図2 朝ラッシュ時間帯9200形上りの乗客数の推移

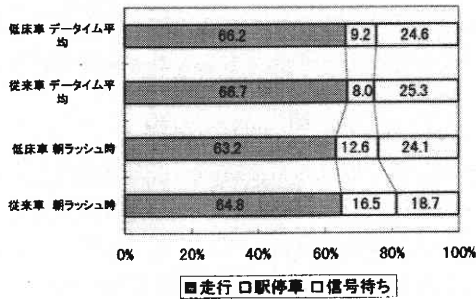


図3 走行時間の分析結果

表4 ステップ抵抗の測定結果 (単位: sec)

乗降	従来車	低床車	抵抗値
前扉乗車	4.95	4.17	0.78
前扉降車	4.19	3.98	0.21
中扉乗車	5.55	4.15	1.40
中扉降車	4.77	4.04	0.73

たに乗車する, 合計54名の一斉乗降完了時間を表3に示す各条件について測定した(写真2)。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 営業車両における乗客乗降行動観察の結果

9200形の朝ラッシュ時間帯上りについて, 乗降人数の集計結果を図2に示す。乗客密度は100%を超えるが, 半数一斉乗降の状況は見られない。また, 走行時間の分析結果を図3に示す。ほかの時間帯と比べて, 朝ラッシュ時においては, 低床ステップレス化による停車時短縮効果が観察される。

##### 4.2 物理抵抗の測定結果

###### 4.2.1 ステップ抵抗

表4に, 男子健常者ステップ抵抗の測定結果を示す。掲載したデータは4回測定値平均値の被験者平均である。最右欄が, 各扉を乗降に用いる際の一人当たりステップ抵抗である。

両扉で乗車時には1 sec程度, 降車時には0.5 sec程度のステップ抵抗がある。ドア幅の広い中扉のほうが抵抗値は

表5 運賃抵抗の測定結果 (単位: sec)

システム	乗降	車内収受	抵抗値
均一料金	前扉乗車	賃	1.48
前払い	中扉乗車	整とり	0.30
整理券	前扉降車	整+賃	1.85
後払い	前扉降車	両+整入+賃	11.99
	前扉降車	整+回	1.02
	前扉降車	定	0.09

(運賃収受方法の略記内容は, 表3に準ずる)

表6 LRV乗降容易性実験AB配置測定結果 (単位: sec)

システム	ドア利用	ホーム幅 (mm)	所要時間
整理券	中乗り前降り	1840	21.14
均一運賃	前乗り中降り		18.76
車外収受	両乗り両降り		18.83
ツーマン	中乗り前降り	920	22.41
整理券	中乗り前降り		33.38
均一運賃	前乗り中降り		23.68
車外収受	両乗り両降り		23.10

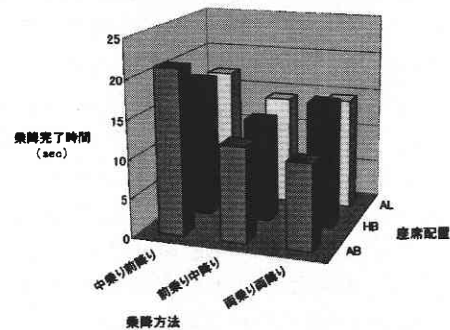


図4 ホーム幅1840全実験についての乗降完了時間データ

大きく, 低床化の効果が大きいと言える。

##### 4.2.2 運賃収受抵抗

運賃収受抵抗をまとめた表5より, 定期券または回数券投入の抵抗は, 両者の平均をとって約0.6 sec, 釣りなし現金支払いの抵抗が2 sec弱, 両替時の抵抗が10 sec強である。

##### 4.2.3 乗降容易性実験とアンケートの結果

LRVモックアップによる乗降容易性実験については, 表6にAB配置についての数値データを, 図4にホーム幅1840の全実験についての値を示す。

##### 4.2.4 車椅子利用者の物理抵抗

表8に, 車椅子利用者の乗降抵抗測定結果を示す。

従来車では, 若い男性4人掛かりで車椅子を持ち上げる必要があり, 現実的に利用は困難と思われる。

#### 5. 低床式LRV導入効果の検討

##### 5.1 速達性の向上効果

ビデオより集計した走行時間を現状基準値とする。これから複数乗客が列を成した場合の乗降行動の同時併行を考慮に入れて, 実験で求めた運賃収受抵抗・ステップ抵抗を該当人数ぶん差し引き, 所要時間の変化によって, サービスを段階的に変える場合の速達性向上を検討する。ただし,

研究速報

表8 車椅子利用者の乗降時間(単位: sec)

車種	乗降	従来車	低床車	抵抗値
手動	中扉乗車	11.37	7.05	4.32
	中扉降車	10.84	8.00	2.84
電動	前扉乗車	29.56	19.81	9.75
	前扉降車	24.32	14.30	10.02

簡単のため乗降ドアは中乗り前降りのままとした。

たとえば、先に運賃車外収受を行う場合、現状の駅停車時間から運賃収受方法に応じた抵抗値を人数ぶん引けばよいが、支払いを終えた降車客がステップを通過する間に次の降車客が支払いをするものとして、先頭降車客以外は(運賃収受抵抗の実験値-前扉降車ステップ抵抗)を実際の運賃収受抵抗とみなした。つぎにステップレスにする場合は、駅停車時間からさらにステップ抵抗を、乗・降車人数の多い方について通過人数ぶん引く。最後に電車優先信号を導入する場合は、信号待ち時間をすべて引く。

図5に、現状を従来車朝ラッシュ時とした場合を示す。現状(最上段)を基準として、時間短縮は、車内運賃収受の廃止により約1分半(2段目)、さらにステップ廃止により2分弱(3段目)、最後に電車優先信号導入によって約7分(最下段)である。表定速度でいうと、現状の13.8 km/hから、最終段階では18.7 km/hへの向上が見られる。この大小関係はほかの時間帯においても成立する。逆に、ステップレス・車外運賃収受の順に対策する場合は、ステップ抵抗がより大きい運賃抵抗に隠れてしまい、ステップレス化による停車時間短縮が、運賃車外収受につづいてステップレス化した場合に比べて2/3倍に留まる。

なお、今回の駅停車および信号待ち時間には加減速時間・乗車時の整理券受取り抵抗・降車列中の移動に関する時間遅れを考慮していないので、実際にはより大きな速達性向上となる。

5.2 ラッシュ時乗降容易性の向上

表6より、ホーム幅を半減すると乗降時間が1.2~1.5倍程度に増えることがわかる。

一方、座席配置とドア利用方法については、図4からは明瞭な傾向が認められない。乗客が一度に入替わるような今回の実験条件では、座席配置に比べてドア利用方法の方が、時間差に与える影響が大きい。また、今回の条件では、ドア利用方法や座席配置よりも、ホーム幅のほうが、時間短縮に与える影響が大きく、ホーム幅拡大の必要性が認められた。

5.3 バリアフリー化

高いステップがあるために、車内には専用のスペースがありながら、これまで車椅子利用者が路面電車を利用することは現実的に困難だった。これに対して低床車は、必要な介助者の人数だけでなく、表8に示すように乗降時間を

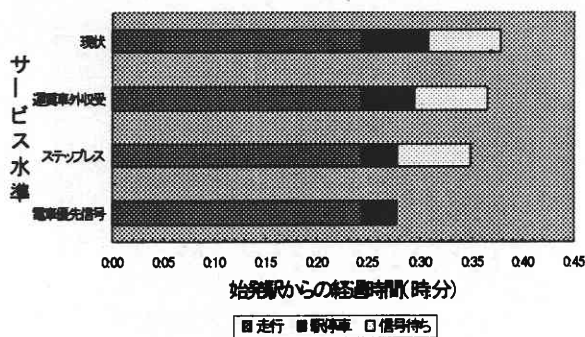


図5 従来車の速達性向上方法の比較

も減らすので、高頻度な低床車の運転を伴えば、利用者のバリアフリー化が大きく前進するものと期待される。

6. 結 論

低床ライトレール車両の快適性・乗降容易性を定量的に評価するために、営業車両における乗客乗降行動を人数・時間の両面から詳細に分類・分析した。また、実車を用いた実験により乗客一人当たりの各種運賃収受抵抗とステップ抵抗を求めた。さらに、モックアップを用いてホーム幅・座席配置・ドア利用方法をパラメータとする54名一斉乗降実験を行った。

これらの実験結果を分析して、以下の知見を得た。

- ・ドア部ステップ通過の抵抗は、一人当たり0.2~1.4 secである。
- ・ステップレス化により、朝ラッシュ時の停車時分短縮が観察される。
- ・中乗り前降り方式において、運賃車外収受を前提とすると、ステップレス化の停車時分短縮効果は約1.5倍になる。
- ・混雑時の乗降の多い駅における時間短縮には、ホーム幅を広く取ることが有効である。

7. 謝 辞

本研究の実験において、運輸省「人に優しい次世代ライトレール・システムの開発に関する研究」研究委員会の諸氏のご協力をいただいた。関係各位に謝意を表します。

(1998年4月7日受理)

8. 参 考 文 献

- 1) 須田・松岡・小川, J-Rail96 講演論文集, 1996-7, 173-176.
- 2) 須田・松岡・小川, J-Rail96 講演論文集, 1996-7, 177-180.
- 3) 須田・松岡・西村・田村, J-Rail97 講演論文集, 1997-7, 389-392.
- 4) 須田・西村・平沢, J-Rail97 講演論文集, 1997-7, 410-414.