

座席配置評価シミュレータと実験による快適通勤車両の提案

A Proposal of Railway Commuter Vehicles using Simulators and Experiments
for the Seat Arrangement Evaluation

須田 義大*・松岡 茂樹**・西村 隆一*・田村 宗*

Yoshihiro SUDA, Shigeki MATSUOKA, Ryuichi NISHIMURA and So TAMURA

1. はじめに

鉄道車両の快適性に対する評価については、従来、振動・動揺に対する乗り心地を対象に論じられることが多かった。最近になって開始されてきた温度、湿度、照明、車内騒音などの車内環境の検討は、特急車両のような長時間乗車と着席を前提とした評価手法である。一方、通勤車両においては、乗降性がよいという別の観点からの評価が重要である。ところが、この観点を含めて、通勤用鉄道車両に関する工学的検討は極めて少ないのが現実である。わが国における通勤輸送は、激しい混雑での長時間通勤の問題を抱えており、大きな社会問題となっていることは周知の事実であり、快適通勤の必要性が近年叫ばれている。

そこで、筆者らは座席配置の最適化という点に着目し、路線ごとの混雑率・平均乗車時間等の利用実態を考慮した、快適性・乗降性の両面を十分に検討した車内レイアウトを工学的に求めることを検討してきた。すなわち、混雑度・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の客観的評価法を提案し^{1,2)}、様々な座席配置に対して、定量的な快適性と乗降容易性の評価が可能となった。その結果から得られた知見を総合すると、良い座席配置の条件には表1の3項目を挙げることができる。

まず、乗客にとって乗降時と乗車中の快適性が重要であり、座席数が多くかつ座席・立席が快適である配置が好ましい。次に、乗降容易性について、降車時間が短いほど良

表1 良い座席配置の3条件

	条件	内容
1	快適性	座席数が多い
2	乗降容易性	乗降時が短い
3	好感度	好みの座席を選択できる

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 東急車輛製造(株)

い座席配置である。第三に好感度として、クロスシートやロングシートなどを備え、乗客が可能な限り好みの座席を選択できることが良い座席配置につながる。

これらの結果を基に、今回新しい座席配置を提案し、座席配置評価シミュレータ及び実物大の車両モックアップ¹⁾を用いた実験により、その評価を行った。

2. 新しい座席配置の提案

2.3 提案する座席配置

表1に示した良い座席配置の3条件を満たすように、ロングシートとクロスシートを左右に配置した、ハーフボックスタイプあるいはハーフクロスタイプを拡張し、背中合わせに着席する3人掛けのクロスシートを利用する座席配置を提案する。平均乗車時間に応じて、3扉、4扉、6扉について、それぞれ図1に示すものが考えられる。

快適性に関しては、座席定員が従来最も多かったセミ・オールクロス配置よりも多い定員を確保している。乗降性に対しては、片側がロングシートであるため、乗降経路のボックスピッチと通路幅に関して、ブロッキング(通路閉塞)が起こらないように、通路幅を十分に確保してある。逆に乗降経路に関係ない通路部分(すなわち扉間の中央部分)については、3人掛クロスシートを配置し、通路幅を最小限(普通鉄道構造規則による)とした。

その結果、快適性が高く、かつ扉に近づくほど通路が広いことから良好な乗降性が確保されていることが予想できる。さらに、多種の座席が提供されていることから、乗客の多様な腰掛嗜好を満足させうことは明らかである。

2.2 本研究で用いる座席配置

図2に、提案する座席配置を含めて、本研究で評価する座席配置とその名称を示す。図2中には、1車両あたりの座席数も示してある。提案する座席配置と比較するために、これまでの評価結果で、比較的評価の高かったハーフボッ

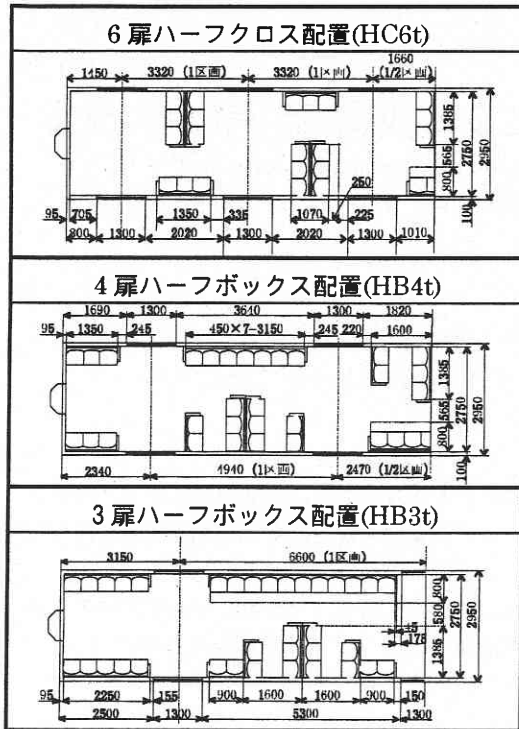


図1 提案する座席配置とその名称

項目	3扉車	4扉車	6扉車
既存	AL3(64)	AL4(54)	AL6(30)
または			
提案		HB4p(57)	
の	SB3p(66)	SB4p(60)	AC6(40)
配置			
デモ		RB4p(60)	
配置			
新提案	HB3t(70)	HB4t(63)	HC6t(45)
の			
配置			

図2 本研究で用いる座席配置とその名称

クスタブ、セミボックスタイプ、セミクロスタイプ、さらに現在主流のオールロングシートの座席配置、あらゆる方式を組み合わせた方式(デモ配置)を用いることにした。

これらの座席配置について、シミュレーションによる評価を行い、その妥当性を示すために提案する座席配置を中心に実験も行った。

3. 座席配置評価シミュレータ

3.1 入力パラメータと評価値

座席配置評価シミュレータは、評価対象である「座席配置」に加え、乗車時間と乗客密度を入力とし、運営側の評価軸「乗降容易性」(最遠座席一人降車時間を評価値とする)と乗客側の評価軸「快適性」を出力とする。

3.2 乗降容易性評価式^{1),2)}

乗降容易性評価式を、式(1)にて定義する。乗降容易性評価式に関しては、任意の半数の乗客が降車するのに要する時間(半数降車時間と呼ぶ)を用いてきたが、最も降車が困難な席から1人の乗客が他の乗客をかき分けて降車するのにかかる時分(最遠座席一人降車時間と呼ぶ)によって、ほぼ定まることが分かったため、この値を評価に用いることにした。(5.2参照)

$$et = Lr / v \cdot \delta + phs \tag{1}$$

et: 最遠座席1人降車時分, Lr: ドアからの実距離, v: 車内での乗客の平均移動速度, δ: 系路上の抵抗による距離補正係数, phs: 座席まわりの物理抵抗値

上式は、ドアから座席までの実際の距離に、通路上及び座席まわりの乗客による抵抗を距離に換算し、補正したものである。

3.3 快適性評価式^{1),2)}

乗客の快適性を定量的に評価するため、本研究では快適性は乗客の着席行動を定めると考え、着席行動指標によって評価することにした。すなわち、乗客の行動原理として、「乗客はとりうる席に対し、その快適性を評価し、その中で最も評価値の高い席を選ぶ」とし、これによってモデル化を行った。

詳細な手法は文献[2]に詳述してあるが、乗客の行動原理に基づき、乗客の快適性評価値 E_v を式(2)で定義する。

$$E_v = \left(\sum_{i=1}^n \max(ev[i][j]) \right) / n \tag{2}$$

ここで、 $ev[i][j]$ は i 番目の乗客による j 番目の座席の快適性評価値であり、乗客総数 n によって平均して乗客一人当たりの値とする。個々の席の快適性を、1) 着席時と2) 乗車時および降車時に分け、前者は乗車時間に比例すると考え、その比例係数は個々の座席の快適度を表す。後者については、乗降に伴う物理的な抵抗や心理的な抵抗を距離に換算し、統一し客観的な値としている。

よって座席配置快適性評価値を求めることは、乗客の着

席順と個々の席の快適性評価値を求めることに帰着する。また、この乗客の行動モデルの妥当性を得るためには、乗客の座席着席順序について、シミュレーションと実験とを比較することで可能になる。

4. シミュレータによる評価結果

4.1 評価の前提条件

図2に示した、提案する座席配置と比較対象について、座席配置評価シミュレータを用いて、乗客一人当たり換算した快適性と、最遠座席一人降車時間をシミュレーションによって求めた。快適性の値は、混雑度、乗車時間によって変化するが、今回は混雑度は乗車率約100%、すなわち20m車では1車両あたり120名で一定とした。乗車時間は、15分と60分を想定した。

4.2 提案する座席配置の評価結果

図3に乗車時間15分、図4には60分の場合の評価結果を示す。横軸は快適値、縦軸は最遠座席一人降車時分であり短いほど乗降性が良い。従って、最適な座席配置は図の右下に位置する。図の直線は、異なる扉数に対して、同じ配置系列の座席配置を結んだものである。実線は提案するハーフクロス・ボックス配置、点線は左右対称のボックス・クロス配置、一点鎖線はオールロング配置を示す。

提案する3人掛けクロスシートを含む非対称系の座席配置(HB3t, HB4t, HC6t)は、これまでの研究で最も良好な値を示したSB3P, SB4p, AC6よりも右下に位置している。よって、これらの提案する座席配置は、予想通り、快適性、乗降性ともに非常に良好であることが立証された。よって、平均乗車時間(通勤時間)が15分程度の比較的短い路線ではHC6tが、長くなるに連れHB4tやHB3tが良い座席配置の条件を高いレベルで満足し、適していることになる。

4.3 扉数別の比較

6扉は一般に乗降に要する時間が短く、比較的、平均乗車時間が短い路線で用いられるため、乗車時間15分で比較

する。最遠座席一人降車時分はAL6, AC6, HC6tの全てがほぼ同じ値であるが、快適値は提案するHC6tが最も良い値をとる。

4扉は乗車時間60分で比較すると、提案するHB4tは、座席数の少ないAL4には乗降性では多少劣るものの、快適性の値は大きく上回り、SB4pと比較すると乗降性が優れている。デモ配置RB4pは、提案するHB4t, HC6tの系統には、及ばないものの、既存の座席配置や、提案済みの座席配置に比べると良い座席配置である。

4.4 扉数と乗降時分の特徴

一般的に、扉数が多いほど乗降性は増す反面、座席が少なくなるため、快適性が低くなる傾向にあるが、提案する6扉のHC6tは、既存の4扉オールロングタイプAL4よりも、快適性、乗降性ともに優れており、実用的な6扉車両とすることが期待される。

5. 実験による評価及び考察

5.1 評価実験の方法

本所千葉実験所にある座席配置可変の実物大モックアップ¹⁾を用いて、新提案の座席配置及びデモ配置RB4pに対して評価実験を行った。なお、3扉については装置が対応していないため、実験を行わなかった。実験条件は、乗車時間60分を想定し、乗客密度120名/両(6扉では1区画あたり20名、4扉では1区画あたり30名)とした。実験内容を表2に、実験風景を写真1に示す。

表2 座席配置評価実験

名称	実験内容	測定項目
乗車実験	全数順次乗車	着席順
降車実験	半数一斉降車	降車時分
	最遠座席一人降車	
快適性実験	アンケート調査	席自体の快適性

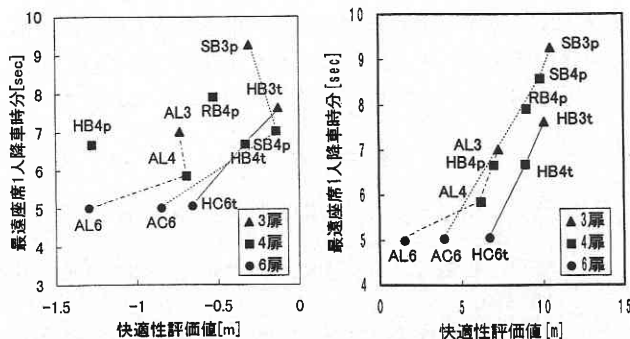


図3 座席配置評価値 (乗車時間15分)

図4 座席配置評価値 (乗車時間60分)



写真1 実験風景

研究速報

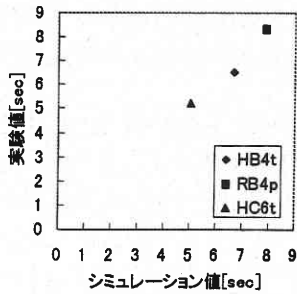


図5 最速座席一人降車時間

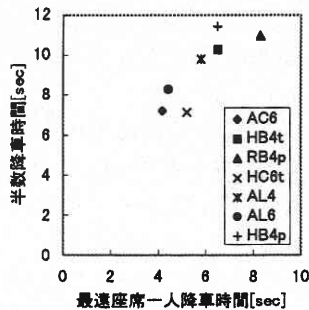


図6 降車時間測定値

5.2 乗降性実験結果

図5に乗降性評価値である最速座席一人降車時間の実験値とシミュレーションによる値との比較を示す。最速座席一人降車時間について、新提案の座席配置 HB4t, HC6t, デモ配置 RB4p のいずれにおいても実験値と計算値はほぼ一致した。なお、他の座席配置についても過去の実験結果ではほぼ一致している²⁾。従って、実験においても、新提案の座席配置は優れた乗降性を示したといえる。

新提案の座席配置では、通路が広い為、他の乗客によるブロッキングが起らず、スムーズな降車行動が優れた乗降性を得る原因と考えられる。

また図6には、最速座席一人降車時間と半数降車時間の関係を、既に実験を行っている座席配置の結果と共に示す。厳密にはブロッキングの程度によって異なると思われるが、半数降車時間は、最も降車しにくい最速座席からの降車時間によって、ほぼ定まることがわかる。

なお、実際の通勤輸送で問題となる混雑率が大きい場合についての適用性を検討するために、HB4t および RB4p の座席配置について、約170%乗車相当の乗客密度(1区画50人乗車)の状況での一斉乗車、一斉降車実験も行ったが、問題となる点は見出されなかった。

5.3 快適性評価

図7に実験結果及びシミュレータにより求めた、提案する座席配置に含まれる一方に3人掛けシートを用いた5人掛けボックスシート部分の着席順序を示す。図中の番号が座席の埋まる順番であり、矢印は進行方向を表している。Aについては完全に一致し、Bについてもほぼ一致する。シミュレーションの着席順序が実験結果に一致する事は、快適性評価手法の妥当性を示すものである。従って、新提案の座席配置の高い快適性が実験からも結論づけられる。

また、写真1に示すようにボックスシートの入り口に当たる3人掛けシートの中央座席は最後に埋まり、4人掛けボックスシートでよく見られる、窓側のシートへの着席行動が困難になるという、ブロッキング現象が生じていない。

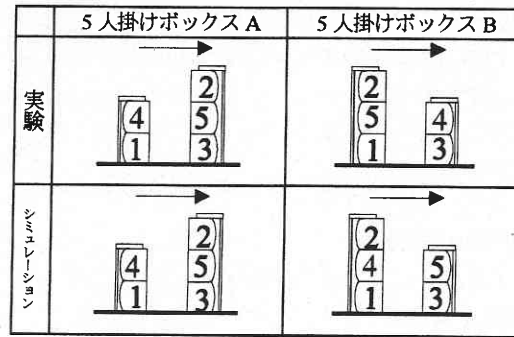


図7 シミュレーションと実験の着席順序の比較

これは、3人掛けシートの中央には着席しづらいという、心理的抵抗を巧みに利用していることになる。従って、着席時の行動がスムーズに行われ、座席の有効利用が図られると同時に、快適性も高くなる。座席数の多さと共に、この点が、新提案の座席配置が良好な快適性が得られる理由と考えられる。

6. 結論

本研究をまとめると以下のようなになる。

- ・快適性・乗降容易性・好感度という、良い座席配置の3条件を満足する、背中合わせに用いた3人掛クロスシートとロングシートを組み合わせたハーフクロス(ボックス)配置を新たに提案した。
- ・提案する座席配置は、評価実験およびシミュレーションによる客観的な評価において、快適性、乗降容易性共に良好な結果を示した。
- ・評価手法の妥当性が今回の実験でも検証された。

7. 謝辞

本研究に際し、実験に御協力賜った東急バス株式会社の矢口鉄男氏、東横車輜電設株式会社の宮田道一氏をはじめとする皆様、東急車輜製造株式会社および千葉大学、千葉工業大学、日本大学の皆様、そして東京大学工学部総合試験所鎌田研究室、本所大野研究室および須田研究室の皆様、に、厚く御礼申し上げます。(1997年1月16日受理)

参考文献

- 1) 須田・松岡・小川, J-Rail 96 講演論文集, 1996-7, 173-176.
- 2) 須田・松岡・小川, J-Rail 96 講演論文集, 1996-7, 177-180.
- 3) 須田・松岡・西村・田村, 機械学会講演論文集, 96-51, 1996-12, 347-350.