

運転操縦と乗り心地の相関に関する研究

1. はじめに

乗り心地の感覚は人により違いがあり、ブレーキ扱いに大きく左右されますが、ブレーキ時に発生する前後衝動については、これまで研究事例が少なく、指導者の経験や勘などから評価しているのが現状です。本研究は、運転操縦と乗り心地の関係性を明らかにし、定量的・客観的に評価する方法を構築することで、運転操縦技能向上を目指すことを目的としています。

本稿では、ブレーキ時における前後衝動と乗り心地を評価する方法についてのこれまでの取り組みを紹介します。

2. ブレーキパターンの分析

実運転操縦と親和性の高い評価方法を構築するためには、実場面で見られる様々な運転操縦パターンに対応することが重要です。そこで、ブレーキ開始から停車するまでのブレーキ全体を図1のように“ブレーキ開始”“ブレーキ途中”“停車直前”の3場面に分割し、運転士及び指導者へのヒアリングを通じて、各場面で想定される主なブレーキパターンを特徴ごとに分類しました。その結果、表1のように、ブレーキ開始場面は2パターン、ブレーキ途中場面は5パターン、停車直前場面は4パターンに分類することができ、ブレーキ全体としては、ブレーキパターンの組み合わせは40通りで網羅できることを確認しました。

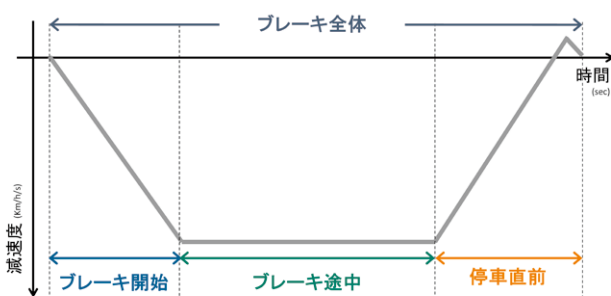


図1：ブレーキ全体と各場面の関係

3. 走行試験

ブレーキ時における乗り心地と前後衝動の関係を明らかにするために、現車による走行試験を実施し、必要なデータを取得することとしました。試験の概略ですが、40通りのブレーキパターンに対して、物理量（減速度やジャーク（加速度を時間微分したもの。乗り心地の指標のひとつ。））の測定と被験者による乗り心地評価を行いました。走行試験は、当社

表1：40通りのブレーキパターン

ブレーキ開始	ブレーキ途中	停車直前
S1 二段ブレーキ	M1 二段ブレーキ	E1 二段ブレーキ
S2 二段ブレーキ	M2 階段ユルメ	E2 階段ユルメ
	M3 追加ブレーキ	E3 ユルメ後追加ブレーキ
	M4 ユルメ・追加繰り返し	E4 追加ブレーキ
	M5 大幅ユルメ	

2_{patterns} × 5_{patterns} × 4_{patterns} = 40_{patterns}

保有の近郊型直流電車（車両形式：223系・225系）を用いました。衝動データは、加速度センサにより減速度を測定し、測定した減速度を数値微分することによりジャークを算出しました。また、乗り心地評価データは、被験者によるアンケート評価としました。被験者は、普段鉄道を利用する男性15名、女性15名の計30名とし、男女ともに、18歳～30歳4名、31歳～40歳3名、41歳～50歳3名、51歳～60歳4名の構成です。アンケート評価は、ブレーキ中の各場面及びブレーキ全体の評価をそれぞれ用紙に記入する方法としました。評価尺度は、4段階とし、“評価値；1＝全く問題ない”“評価値；2＝やや気になる程度”“評価値；3＝不快であるが、列車の振動として許容範囲内である”“評価値；4＝不快であり許容できない”と設定しました。

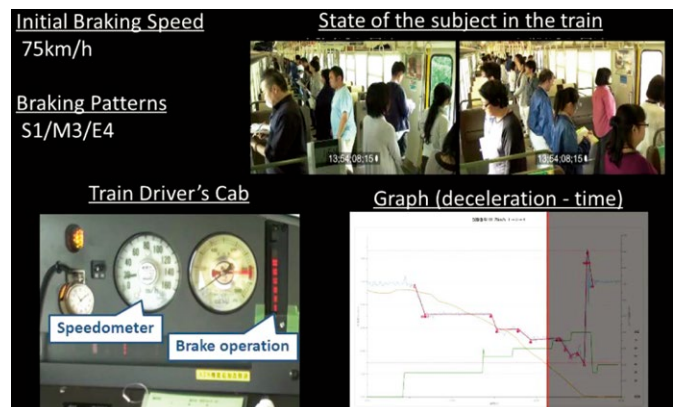


写真1：試験の様子



4. 一段ブレーキの評価

一段ブレーキについて、走行試験で取得したデータから、乗り心地評価と物理量を数理的に関連付けることとしました。具体的には、乗り心地評価を目的変数、物理量（減速度等）を説明変数として、多変量統計解析手法の一つである線形重回帰分析を行うことで図2に示すモデル式を導出しました。いずれのモデル式についても高い決定係数であることが確認できており、このことから、ブレーキ操作による前後衝動（減速度やジャーク）から乗り心地評価を高い精度で予測することが可能になったといえます。なお、線形回帰分析を適用できる条件として変数は数量データである必要があります。今回の目的変数である乗り心地評価の1~4点は厳密には数量データではありませんが、数量データである減速度やジャークとの高い相関が認められたことから、本研究に限っては乗り心地評価データも数量データに準じて扱えるものとし、線形回帰分析を適用しました。

〔ブレーキ開始〕

$$\text{乗り心地評価} = 0.37 \times \text{減速度} + 0.13 \times \text{ジャーク} - 0.02$$

〔ブレーキ途中〕

$$\text{乗り心地評価} = 0.26 \times \text{平均減速度} + 0.16 \times \text{最大減速度} - 0.06$$

〔ブレーキ途中〕

$$\text{乗り心地評価} = 0.25 \times \text{減速度} + 0.01 \times \text{ジャーク} + 0.29 \times \text{揺戻加速度} + 0.34$$

〔ブレーキ全体〕

$$\begin{aligned} \text{乗り心地評価} = & 0.30 \times \text{乗り心地 (ブレーキ開始)} \\ & + 0.31 \times \text{乗り心地 (ブレーキ途中)} \\ & + 0.61 \times \text{乗り心地 (停止直前)} - 0.34 \end{aligned}$$

図2：評価モデル式（一段ブレーキ）

5. 40通りのブレーキの評価

全40通りのブレーキパターンの評価にあたり、ブレーキパターンの違いによる乗り心地の良し悪しを判断しやすいように、単純な一段ブレーキを基準としてランキングで評価する方法を構築することとしました。各ブレーキパターンを一段ブレーキと比較し、衝動の違いにより乗り心地評価に差が生まれるかを分析しました。一段ブレーキを0点として、各ブレーキパターンが一段ブレーキよりも乗り心地が良い場合は正の方向へ加点、悪い場合は負の方向へ減点することで、ランキングにより評価をしています。その結果を表2と表3に示します。この結果と、実際の走行試験時における被験者の乗り心地評価の結果との間に高い順位相関係数があることを確認できたことから、表2, 3のランキングは有用であると考えています。

表2：ランキング評価（1）

ランク	ブレーキパターン			点数
	開始	途中	直前	
1	S2	M5	E1	+5
	S2	M5	E2	
2	S1	M5	E1	+4
	S1	M5	E2	
3	S2	M2	E1	+3
	S2	M2	E2	
	S2	M5	E3	
4	S2	M5	E4	+2
	S1	M2	E1	
	S1	M2	E2	
	S1	M5	E3	
5	S2	M1	E1	+1
	S2	M1	E2	
	S2	M2	E4	
6	S1	M1	E1	+0
	S1	M1	E2	
	S1	M2	E4	
	S2	M4	E1	
	S2	M4	E2	

表3：ランキング評価（2）

ランク	ブレーキパターン			点数
	開始	途中	直前	
7	S1	M4	E1	-1
	S1	M4	E2	
	S2	M1	E3	
	S2	M1	E4	
	S2	M2	E3	
8	S1	M1	E3	-2
	S1	M1	E4	
	S1	M2	E3	
	S2	M4	E3	
	S2	M4	E4	
9	S1	M4	E3	-3
	S1	M4	E4	
	S2	M3	E1	
	S2	M3	E2	
10	S2	M3	E3	-4
	S1	M3	E1	
	S1	M3	E2	
11	S2	M3	E4	-5
12	S1	M3	E4	-6

6. 今後の展望

今後は、これまで紹介してきた研究成果を運転操縦技能向上の取り組みなどに展開していきたいと考えています。現在、その第一歩として、ブレーキ時に乗り心地を評価できるアプリケーションの開発を進めています。

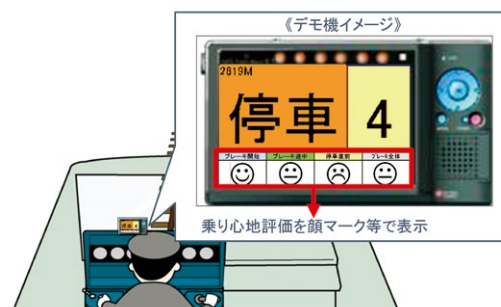


図3：乗り心地評価アプリケーション（デモ機イメージ）