

## 電車の研究 Part 5

### ～電車の振動をやわらげる方法を探る～

静岡大学教育学部附属島田中学校  
3年 森下 雄二郎

#### 1 動機

僕は電車が好きで、小学五年生から電車についての研究をしている。

電車には「ATO（自動列車運転装置）」というシステムがある。ATO は、「加速～速度維持～減速～停車」という運転パターンを自由に設定できる。ATO の仕組みを参考に、振動をやわらげる方法はあるのかと疑問に思い、それを探ることにした。

#### 2 研究の目的

「ATO において無数にある加速パターンの中で、最も振動をやわらげるものは何か」、「既存の設備以外で、「振動（揺れ）」をやわらげる方法は他にないか」を探る。

#### 3 実験 1

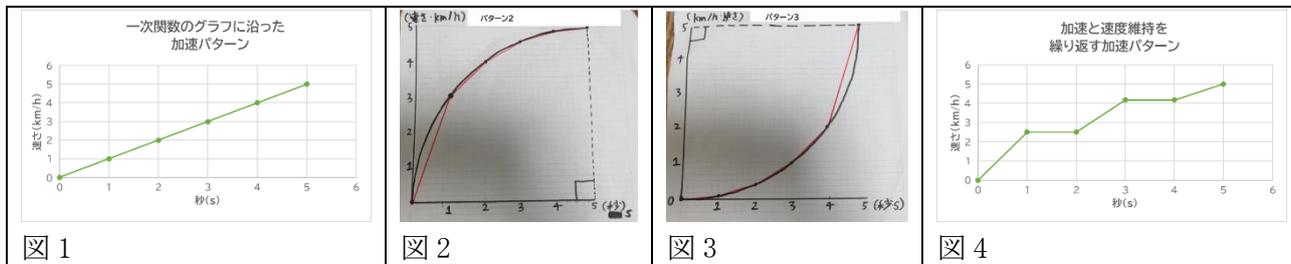
(1) ATO において、無数にある加速パターンの中で、最も振動をやわらげられるものは何かを考える

パターン 1 一次関数のグラフに沿った加速パターン (図 1)

パターン 2 中心角が 90 度の扇形の弧に沿った加速パターン (図 2)

パターン 3 パターン 2 の加速と逆の加速パターン (図 3)

パターン 4 加速と速度維持を繰り返す加速パターン (図 4)



(2) 予想

一定の割合で変化するパターン 1 (一次関数のグラフに沿った加速パターン) が最も振動をやわらげるものなのではないかと思う。

(3) 実験にあたって準備すること

ア 車両本体と線路、車両制御部を製作する。(次ページの図 5、図 6、図 7 参照) 車両制御部の製作は次のことを踏まえて行う。「抵抗制御を用いる。」「(以下の理由から) 電流の増加量に関係なく、走り始めから走り終わりにかけて抵抗値が合計で  $3.3\Omega$  小さくなるような装置を製作・使用する」

- ・「速さ」を加速パターンに沿って変えることは多くの手順と時間がかかること
- ・始点から終点にかけて電圧を約 1.5V (単 3 乾電池 1 個分) かけた時の電流の平均変化量にあたる 0.04A だけ電流の値を増加させるためには抵抗値が合計で  $3.3\Omega$  小さくなるようにすれば良い。(このことは事前に行った調査で分かった。)

イ 実験を行うにあたって、アで製作したものを使い、それぞれの加速パターンにおいて、「平均の

速さと時間の変化」がどうなっているかを調べる。(準備実験) 結果は、表1の通り。※5秒間で終点まで移動した場合、5~6秒間の結果は4~5秒間の結果を用いる。

ウ イを踏まえ、この研究では次の4つの項目で測定(評価)を行う。

- ・周波数の変化の平均値
- ・毎秒ごとの振幅の最大値の平均値
- ・毎秒ごとの振幅の最大値の変化の平均値
- ・始点から終点までの移動時間の平均値

これらの測定結果を点数化して、総合的に振動を評価する。



図5 車両本体について

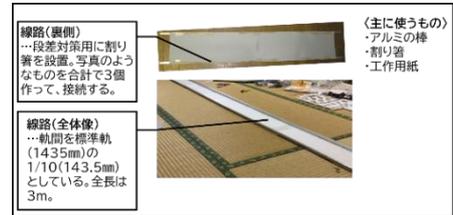


図6 線路について

**パターン1**  
一次関数のグラフに沿った加速パターンなので、 $0.027 \times 5 = 0.0054$ の式で1秒間当たりの電流の増加量は求められる。また、1秒間当たりの抵抗値の減少量は $3.3 \div 5 = 0.66$ の式で求めた。

経過秒数(s)	1秒間当たりの電流の増加量(A)	1秒間当たりの抵抗値の減少量(Ω)
0	0	0
1	0.0054	0.66
2	0.0054	0.66
3	0.0054	0.66
4	0.0054	0.66
5	0.0054	0.66

**パターン3**  
1秒間当たりの電流の増加量と抵抗値の減少量はB(パターン2)の数値の順番を逆にした値となる。

経過秒数(s)	1秒間当たりの電流の増加量(A)	1秒間当たりの抵抗値の減少量(Ω)
0	0	0
1	0.005	0.1
2	0.0015	0.22
3	0.0005	0.33
4	0.0005	0.62
5	0.016	1.98

**パターン2**  
グラフ2のように、作図によって1秒ごとの電流の増加量を求めた。1秒間当たりの抵抗値の減少量は1秒間当たりの電流の増加量の全体の電流の増加量(0.027A)に対する割合を、1Ωあたりの電流の増加量の数値(0.0082A)に割って求めた。(2秒と3秒だけ計算結果と表5の数値が異なるが、これは計算結果に合う抵抗が見つからなかったからである。)

経過秒数(s)	1秒間当たりの電流の増加量(A)	1秒間当たりの抵抗値の減少量(Ω)
0	0	0
1	0.0160	1.98
2	0.0095	0.62
3	0.0093	0.38
4	0.0015	0.22
5	0.0050	0.10

**パターン4**  
1・3・5秒で加速をして、2・4秒で速度維持をするように1秒間当たりの抵抗値の減少量を設定し、1秒間当たりの抵抗値の減少量の全体の抵抗値の減少量(3.3Ω)に対する割合を全体の電流の増加量(0.027A)にかけて1秒間当たりの電流の増加量を求めることとした。1・3・5秒の1秒間当たりの抵抗値の減少量はそれぞれ「3:2:1」の比に近くなるように設定した。

経過秒数(s)	1秒間当たりの電流の増加量(A)	1秒間当たりの抵抗値の減少量(Ω)
0	0	0
1	0.0135	1.65
2	0	0
3	0.009	1.09
4	0	0
5	0.0045	0.55

図7 車両制御部について

表1 準備実験の結果(平均値のみ記載)

各パターンの平均の速さと時間の変化	平均の速度(m/s)					
	0~1(秒・s)	1~2(秒・s)	2~3(秒・s)	3~4(秒・s)	4~5(秒・s)	5~6(秒・s)
パターン1	0.214	0.385	0.425	0.461	0.485	0.523
パターン2	0.27	0.47	0.486	0.558	0.608	0.608
パターン3	0.158	0.334	0.326	0.304	0.406	0.414
パターン4	0.246	0.442	0.476	0.646	0.548	0.548

#### (4) 実験方法

ア カメラで動画を撮りながら、3-3で制作した車両を各パターンそれぞれ10回ずつ繰り返す。

イ この実験における4つの項目の具体的な測定方法は次の通り。

- 周波数の変化** 撮った動画を参考にして周波数を求めた上で、(車両が“今”いる1秒間における周波数-1秒前の1秒間の周波数)の式で求めた。※変化では絶対値を求めるため結果は全て正の数で表した。
- 毎秒ごとの振幅の最大値** 撮った動画を参考にして求めた。
- 毎秒ごとの振幅の最大値の変化** (車両が“今”いる秒数における振幅の最大値-1秒前の振幅の最大値)の式で求めた。※変化では絶対値を求めるため結果は全て正の数で表した。
- 始点から終点までの移動時間** 撮った動画を参考にして求める。秒数は切り上げた。

ウ 各パターンの0~6秒間におけるイのA~Cを求めて、それらを各項目比較し順位と点数をつける。(値の低い方が高い順位になるため、1位は12点、2位は9点、3位は6点、4位は3点とした。)イのDも同様に比較し順位と点数をつけた。(値の低い方が高い順位になるため、1位は12点、2位は9点、3位は6点、4位は3点とした。)振動は3項目で評価するが、始点から終点の移動時間は1項目で評価するため、評価に偏りが出てしまう。その偏りを無くすために「始点から終点まで移動するのにかかった時間の平均値」は点数を3倍にし、振動の各項目の満点が4点のところを12点とした。)最後に、各パターンの総合得点を求め、比較して順位をつけた。

(5) 結果

図8～10、表2～6の通り。※4つの評価項目で点数が同じになってしまったパターンがある場合は全体の平均値を小数第3位以下まで求め、比較する。その値が同じだった場合は、各回数の平均値を比較し値が小さかった回数が多い方が、勝ちとした。その回数が同じだった場合は、各秒数の平均値を比較し値が小さかった秒数が多い方が、勝ちとした。それでも、勝敗がつかなかった場合は同点とした。総合点数が同じになってしまったパターンがある場合、(今回は振動を重要視しているため) 振動の3つの項目で、点数が高かった項目が多い方を勝ちとした。

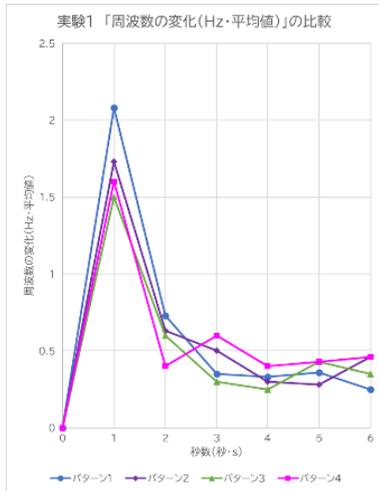


図8  
表2

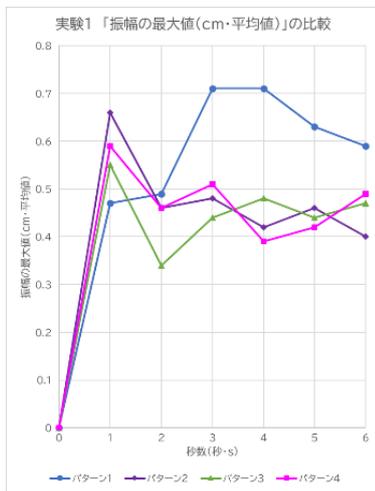


図9  
表3

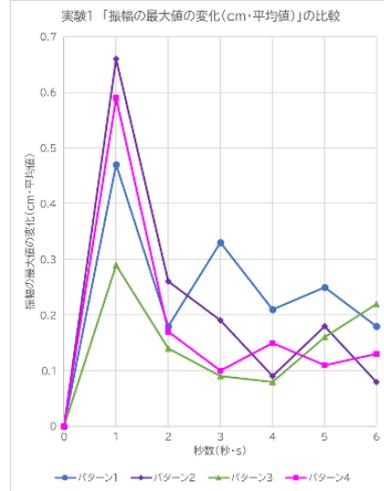


図10  
表5

表3

表4

表5

表6

パターン	周波数の変化、全体の平均値(Hz)比較	順位	点数	振幅の最大値、全体の平均値(cm)比較	順位	点数	振幅の最大値の変化、全体の平均値(cm)比較	順位	点数	止まった時間の平均値(秒・s)	順位	点数	実験1 総合結果	合計点数	順位
パターン1	0.68	4	1	0.6	4	1	0.27	4	1	7.5	3	4	パターン1	9	4
パターン2	0.66	3	2	0.49	3	2	0.26	3	2	6.4	1	12	パターン2	18	2
パターン3	0.57	1	4	0.36	1	4	0.16	1	4	8.1	4	3	パターン3	15	3
パターン4	0.66	2	3	0.48	2	3	0.21	2	3	6.6	2	9	パターン4	18	1

(6) 考察

ア 予想ではパターン1が最も振動をやわらげるパターンだと思っていたが異なった。特に、振幅が大きかったことが原因なのではないかと考えられる。

イ 平均の速さと3つの振動の評価項目との関係に注目すると、平均の速さが急激に速くなっている時に、数値が跳ね上がっていることが分かる。しかし、パターン1のように1秒ごとに等しく加速するのは理想の結果に近づかない。このことから、振動をやわらげるためには「速度維持」という加速の休憩時間のようなものを作ってあげることが重要であることが分かった。これが、パターン4が1位になった要因であると言えるかもしれない。

4 実験2

(1) 既存の「振動(揺れ)」をやわらげる設備以外で「振動(揺れ)」をやわらげる方法は他に  
を探る

車体支持装置Aの車体と接する部分の素材(材質)を変えた上で、実験1の結果、総合得点が最も高かったパターン4の車両を走らすことで、最も「振動(揺れ)」をやわらげる素材は何かを調べてみる。変える素材として、「耐震マット・透明タイプ」「衝撃吸収インソール」「段ボール」を試す。

(2) 予想

名前に「耐震」とあるため、「耐震マット・透明タイプ」が最も「振動(揺れ)」をやわらげる素材だと思う。

(3) 実験の事前事項

実験2専用の車両の台車部を図11のように製作する。

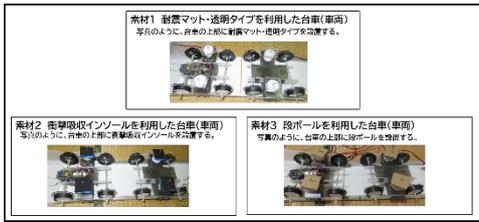


図 11

(4) 実験方法

ア 3-4 のア、イの A~C と同じ。※実験 2 は、加速パターンがどの車両の場合でも一定である（パターン 4 を用いる）ので、「始点から終点までの移動時間」は比較しない。

イ 各台車と実験 1 のパターン 4 で使った車両（スチレンボードを利用した台車（車両））の 0~6 秒間における 3-4 のイの A~C を求めて、それらを各項目比較し順位と点数をつける。（値の低い方が高い順位になるため、1 位は 12 点、2 位は 9 点、3 位は 6 点、4 位は 3 点とした。）最後に各素材の総合得点を求め、比較して順位をつける。

(5) 結果 表 7~表 13 の通り。

表 7

表 8

表 9

実験 2 「振動数の変化 (Hz-平均値)」の比較	名称				実験 2 「振動の最大値 (cm-平均値)」の比較	名称				実験 2 「振動の最大値の変化 (cm-平均値)」の比較	名称			
	縦横マト-透明タイプ	縦横段ボール	ダンボール	※ 実験 1 パターン 4		縦横マト-透明タイプ	縦横段ボール	ダンボール	※ 実験 1 パターン 4		縦横マト-透明タイプ	縦横段ボール	ダンボール	※ 実験 1 パターン 4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	1.33	0.13	1.39	1.6	0	0.47	0.63	0.42	0.59	0	0.47	0.63	0.42	0.59
2	0.9	1.25	1.04	0.4	0	0.71	0.48	0.49	0.46	0	0.34	0.19	0.24	0.17
3	0.23	0.63	0.83	0.6	0	1.05	0.67	0.56	0.51	0	0.31	0.21	0.15	0.1
4	0.23	0.38	0.33	0.4	0	0.95	0.93	0.8	0.39	0	0.21	0.31	0.19	0.13
5	0.43	0.45	0.42	0.43	0	0.87	0.95	0.73	0.42	0	0.3	0.24	0.23	0.11
6	0.44	1.5	0.58	0.46	0	0.94	1.5	0.6	0.49	0	0.29	0.5	0.14	0.11

表 10

表 11

表 12

表 13

振動数の変化 全体の平均値 (Hz) の比較	順位	点数	実験 2 「振動の最大値 (cm-平均値)」の比較	順位	点数	振動の最大値の変化 全体の平均値 (cm) の比較	順位	点数	実験 2 総合結果		
									合計点数	順位	
縦横マト-透明タイプ	0.65	1	4	0.83	4	0.37	4	1	縦横マト-透明タイプ	4	3
縦横段ボール	0.87	4	1	0.75	3	0.32	3	2	縦横段ボール	3	4
ダンボール	0.78	3	2	0.67	2	0.31	2	3	ダンボール	2	3
※ 実験 1 パターン 4	0.66	2	3	0.48	1	0.21	1	4	※ 実験 1 パターン 4	1	1

(6) 考察

ア 予想では素材 1 が最も「振動（揺れ）」をやわらげると思っていたが異なった。これは素材が柔らかく、しなってしまう、振動を抑える効果が十分に発揮できていなかったからかもしれない。

イ 総合結果では、実験 1 のパターン 4 で使った（スチレンボードを利用した）台車（車両）が 1 位になったり、段ボールを利用した車両が 2 位になったりした。これはアでも示したが、しならない素材が適しているからかもしれない。また、振動を抑える素材でも設置場所によって効果が違い、その素材に適した設置場所選ぶことが「振動（揺れ）」をやわらげるために重要だと思った。

5 研究のまとめ

ア 実験 1 では、ATO において、無数にある加速パターンの中で、最も振動をやわらげるものは何かを考えた。全ての項目（総合得点）で、一番良い値が出たのはパターン 4 だった。振動をやわらげるためには「速度維持」という加速の休憩時間が重要だということが分かった。

イ 実験 2 では、実験 1 の結果を踏まえた上で、既存の「振動（揺れ）」をやわらげる設備以外で、「振動（揺れ）」をやわらげる方法は他にないかを探った。その結果、しならない素材が適していることが分かった。また、振動を抑える素材でも設置場所によって効果が違い、その素材に適した設置場所選ぶことが、「振動（揺れ）」をやわらげるために重要だという可能性が考えられた。

6 感想

今回の研究では、「電車の振動をやわらげる」ということを主なテーマに実験を行った。今年は実験設備にもこだわり、製作期間は約 1 ヶ月半となった。しかし、より正確な結果を出すためにはもっと工夫できる場所があったらと思う、今後機会があれば、実験設備もグレードアップさせていきたい。また、抵抗値の減少量を増やしたり、加速の時間を長くしたりするなど新たな工夫もしてみたい。