

A Study on High Accurate Deceleration Detection System for Anti-Skidding Device of EMUs.

The 2nd Report, Results of the Experiment on the Main Line

准 [機] ○不和 邦博 (JR 西日本) 学 [機] 北川 友哉 (金沢工業大学 院)

岸 裕 (JR 西日本) 学 [機] 大平 見彦 (金沢工業大学 院)

正 [機・電] 平間 淳司 (金沢工業大学) 正 [機・電] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

Kunihiro FUWA (West Japan Railway Co.)

Tomoya KITAGAWA (Kanzawa Institute of Technology)

Hiroshi KISHI (West Japan Railway Co.)

Akihiko OHIRA (Kanzawa Institute of Technology)

Junji HIRAMA (Kanzawa Institute of Technology)

Kazuhiko NAGASE (Kanzawa Institute of Technology)

It is necessary for EMUs to gain high accurate acceleration and deceleration information to properly control for diminishing wheel skids and spins, which sometimes injure wheel treads. The authors prototyped an acceleration detection system composed of a newly proposed conception. The system could detect train deceleration with high accuracy. The pulses, which were generated by the conventional tacogenerator attached at the end of an axle, were fed to the system. The system was installed on a JR Ltd. Express EMUs running on a conventional line, and put under experimentation. As the results of the experiment, it was found that minute fluctuations in the pulses caused not a little error in deceleration detection, when the deceleration information was measured by short sampled pulses.

Keyword: Railway, Vehicle, Braking, Slipping, Skidding

1. はじめに

車輪が滑走したとき、フラットの発生を防止し、かつ、適正な再粘着制御を行うためには、高精度の加速度 a ・減速度 β を極めて短い周期で取得することが必要不可欠である¹⁾。ところが、現状の車軸軸端に取り付けられている速度発電機である AG20 や AG39 から出力される信号の分解能レベルでは、適正な制御が行なわれるかどうか疑わしい、というのは、このセンサを取り付けた車両の一部で、フラットが発生しているからである。

過去の J-Rail で筆者らが提案、試作した速度検出装置¹⁾を用いて疑似速度情報を入力したところ、非常に短いサンプリング時間でかつ高精度な β を取得できる事を確認した。そこで、実際の車両に筆者らが作成した装置を搭載し現車試験を行った。その結果を報告する。

2. 実験装置

実験装置のブロック図を Fig.1 に示す。

- (ア) 速度検出装置¹⁾
- (イ) ボードコンピュータ…筆者らが試作した速度検出装置のデータを記録するためのコンピュータ。
- (ウ) アナライジングレコーダ(以下 AR4400)…車両が惰行で走行している定速走行時の AG39 の出力信号をサンプリング周波数 100kHz で取得している。これは、AG39 の出力信号は正確な β を求めるために非常に高い精

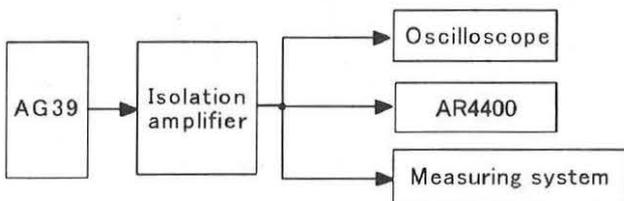


Fig.1 Block diagram of prototyped device

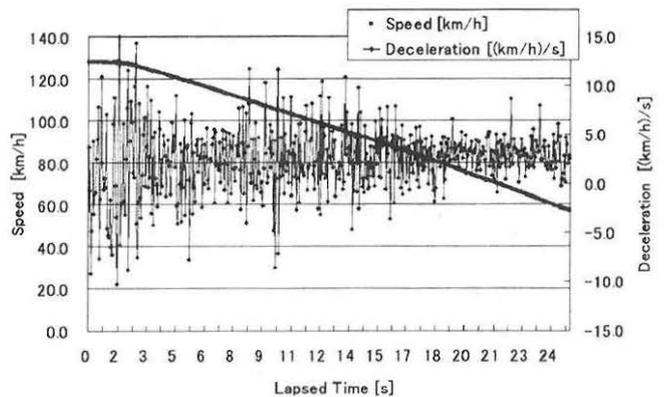


Fig.2 Deceleration measured in 0.05s sampled duration

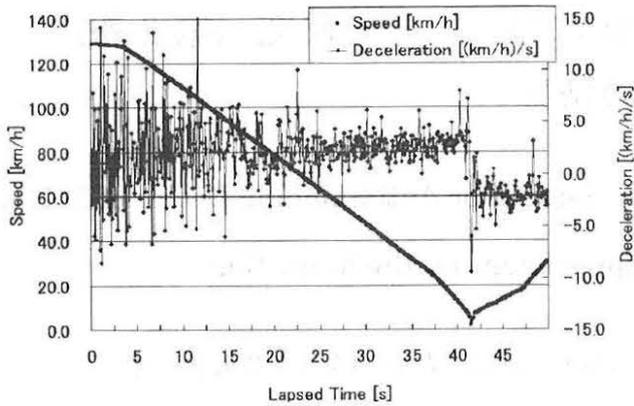


Fig.3 Deceleration measured in 0.10s sampled duration

度が要求されることから、定速走行時の波形を捕らえることで、その精度を知ることができるためである。
 (エ) オシロスコープ…目で直接AG39の出力信号をアナログ情報として見ることににより、AR4400では捕らえきれない高周波ノイズなどが混入していないかを確認するために使用する。

なおボードコンピュータでは、車両がブレーキをかけたときに正常に β を取得できることの確認のために、車両がブレーキを作動させた時を中心にデータの取得に使用した。

3. 試運転による実験結果

3.1 速度検出装置により取得した β

速度検出装置で取得した速度情報及び減速度情報をボードコンピュータで記録し、グラフ化したものをFig.2~6に示す。また図の横軸は時間、縦軸は列車速度を表している。

1) 極小サンプリング試験で得たデータ (Fig.2)

Fig.2は、 β のサンプリング時間0.05sで減速試験を行った時に取得したデータである。このデータを見ると速度情報は綺麗に取得できているが、90km/h以上の高速域では β の値が10(km/h)/sを頻繁に超えている事がわかる。この β の誤差は、速度情報が綺麗に取得できていることから、 β のサンプリング時間が0.05sと短いことが、 β に大きく影響を及ぼしていると考えられる。また、本来電車が減速している場合、減速度が負の値になることはあり得ないはずである。しかしながら、 β の値が負の値になっているものが多々見られる。

2) サンプリングをやや大きくした試験で得たデータ (Fig.3)

Fig.3は、 β のサンプリング時間を0.10sに延ばし取得し

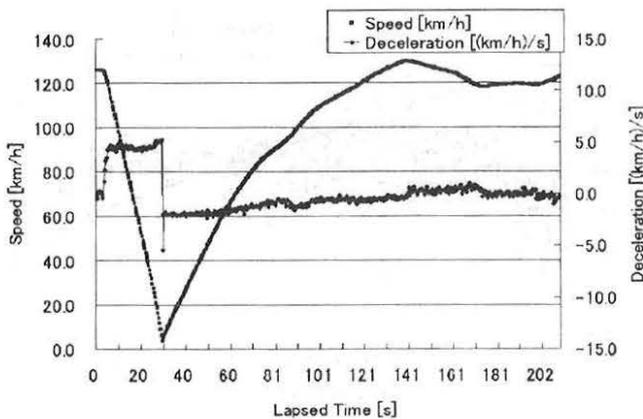


Fig.5 Deceleration measured in 0.42s sampled duration

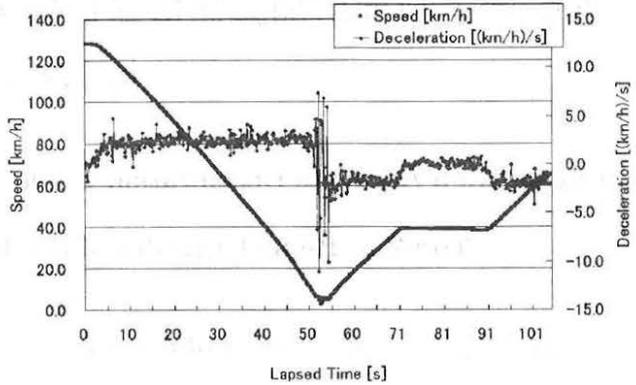


Fig.4 Deceleration measured in 0.21s sampled duration

た減速試験のデータである。Fig.2と比べてみると、 β が10(km/h)/sを超える速度は100km/h以上であり、僅かながら β の変動が小さくなっていることがわかる。しかし、 β の値には大きな変化は見られなかった。

3) サンプリング時間0.21sで得たデータ (Fig.4)

Fig.4は、 β のサンプリング時間を0.21sとし取得した減速試験のデータである。このサンプリング時間になると、 β の誤差は ± 1.0 (km/h)/s程度とかなり小さくなっていることがわかる。

4) サンプリング時間0.42sのデータ (Fig.5)

Fig.5は、 β のサンプリング時間を0.42sとし取得した減速試験のデータである。グラフを見ると、 β の誤差が ± 0.20 (km/h)/s程度に収まり、かなり正確に β を取得できていることがわかる。

5) サンプリングを極めて大きくとった間のデータ (Fig.6)

Fig.6は、 β のサンプリング時間をさらに延ばして0.84sとし、丸岡駅付近で取得した減速試験のデータである。グラフより、 β の誤差が ± 0.10 (km/h)/sに収まっていることがわかる。

以上の1)~5)より、車両に取り付けられている速度発電機の出力情報を筆者ら提案のシステムに入力して β の精度を0.10(km/h)/sとするためには、 β のサンプリング時間は0.84s以上必要であることが判明した。しかし、0.84sという長いサンプリングでは、空転滑走防止制御を十分行うことができないことは、2章で述べた結果より明らかである。よって、この β の誤差がどのような現象により発生するのかをAG39の波形をAR4400により記録したデータより究明を行った。

3.2 β の誤差要因の究明

先に述べた β の誤差について、こちらのシステムに問題

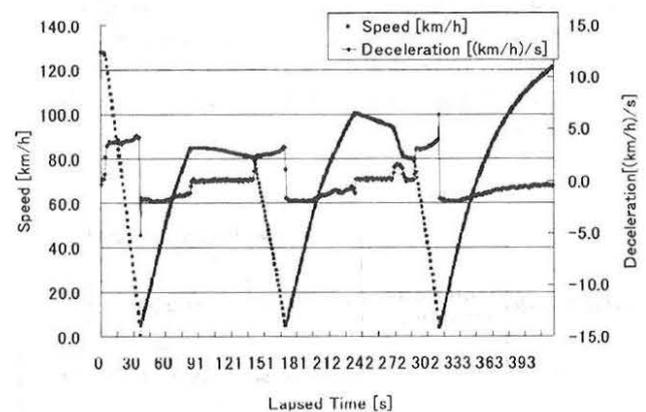


Fig.6 Deceleration measured in 0.81s sampled duration

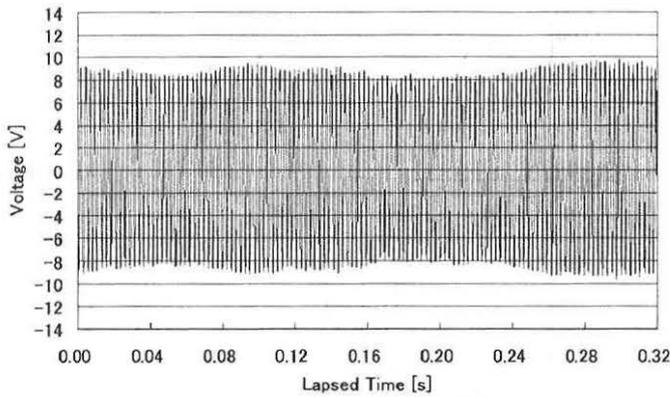


Fig.7 Waveform chart generated by T.G. type AG39 at constant velocity of 60km/h

があるのか、もしくはシステムに入力する AG39 の信号に問題があるのかを確かめるために、AR4400 で取得した AG39 の出力波形データを Fig.7, 8 に示す。また全ての測定において AR のサンプリングは 100kHz で行っており、図の横軸は時間、縦軸は電圧値を表している。

Fig.7 は車両が 60km/h で定速走行を行っている時に取得した AG39 の出力波形である。本来車両が定速で走行している時は AG39 の出力信号の周波数、電圧共に一定でなければならない。しかし、波形のピーク値が波打っている事が見て取れる。これは 120km/h の定速走行を行っている時に取得したデータである Fig.8 においても同様である。また、Fig.7 は車輪 2 回転分 (120 パルス)、Fig.8 は車輪 4 回転分 (240 パルス) のデータが記録されている。このことを踏まえて 2 つのグラフを見ると、全く同じ変動とはいえないが、車輪 1 回転毎に AG39 の出力波形の振幅が揺らいでいることがわかる。この揺らぎが速度検出装置により取得した β の誤差の要因になっている。よって、なぜ波形の高さが違うと同じ周波数においても、誤差を発生してしまうのかを Fig.9 を用いて説明する。

まず筆者らが作成したシステムは、AG39 の出力波形である正弦波を、トランジスタを用いて装置の中で方形波に変換している。このトランジスタは 0.63V を閾値として、ON、OFF を繰り返すスイッチの働きをする。このことから、同じ周波数の正弦波においても、Fig.9 の波形 A、波形 B の様に、正弦波の高さが変化すると閾値の 0.63V に到達する時間 (a_1, b_1) にずれが発生する。よって、トランジスタにより変

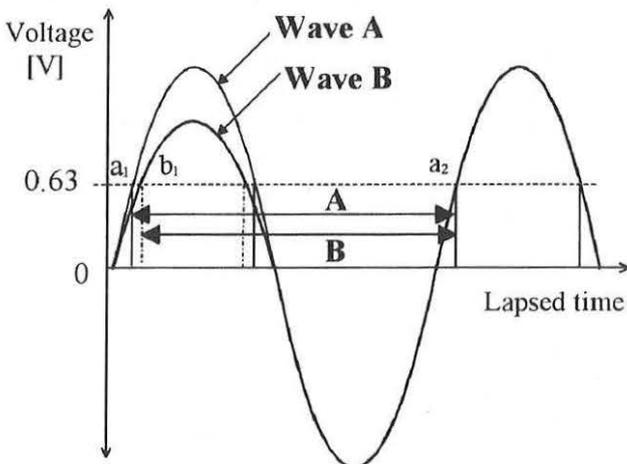


Fig.9 Error caused by fluctuation of waveform chart generated by T.G.

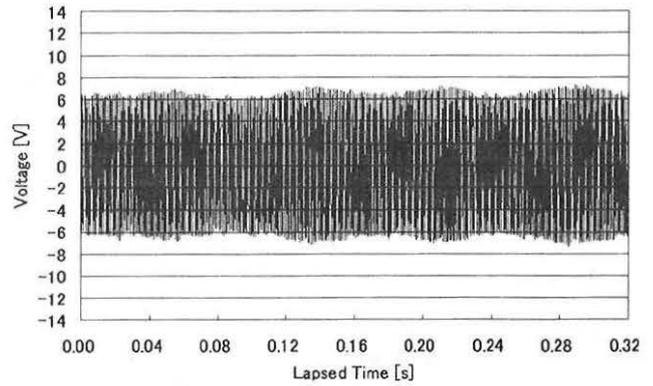


Fig.8 Waveform chart generated by T.G. type AG39 at constant velocity of 120km/h

換された方形波は、本来 A で示された周期の方形波とならなければならないが、振幅の変動により B の周期の方形波となり、速度に誤差を生じさせる。このことから、速度検出装置により取得した β の誤差は、AG39 の出力波形の振幅変化が要因と推測される。

3. 3 AG39 の出力波形における振幅の変化

前節により、速度検出装置により取得した β の誤差は、AG39 出力波形の振幅変化によるものと推測した。よって、AR4400 により取得した 60km/h と 120km/h で定速走行時の AG39 の出力波形データから、1 パルスごとのピーク電圧を読み取りグラフ化した。そのグラフを Fig.10, 11 に示す。

図の横軸は AG39 の出力パルスを時系列で示し、縦軸は電圧を表している。Fig.10 は、60km/h で定速走行時に取得した AG39 の出力波形のデータである。この図から、AG39 の出力波形のピーク電圧は 7.85V から 9.81V と 1.96V の間で多様に変動している事がわかる。Fig.11 においても、120km/h で定速走行時のデータであるにもかかわらず 5.85V から 7.24V と 1.39V の間で変動している。よって、この電位差が β にどれだけ影響を及ぼすか、調べてみた。その方法は以下に示すとおりである。

- 1) まず、速度検出装置では、Fig.12 に示すように AG39 の正弦波を 0.63V を閾値として方形波に変換している。そこで、AG39 から出力される正弦波の周波数及び振幅が常に一定である理想的な波形を考え、この波形の振幅は $\pm 10.00V$ とする。次に、周波数は変化せず、振幅のみ $+2.00V$ つまり波高が 20[%]増加した 2 通りを考える。
- 2) 振幅が 10.00V の正弦波と 12.00V の正弦波から、 0°

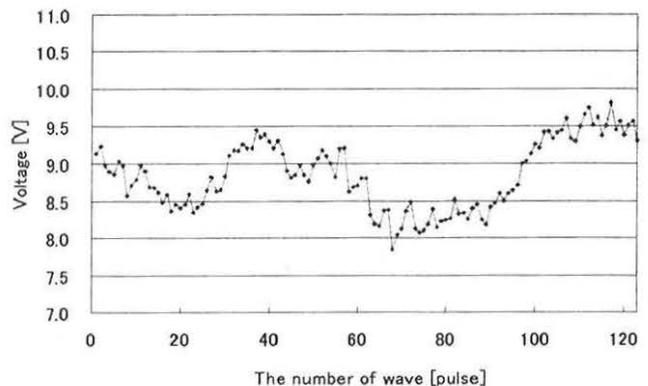


Fig.10 Changing of peak voltage generated by T.G. type AG39 at constant velocity of 60km/h

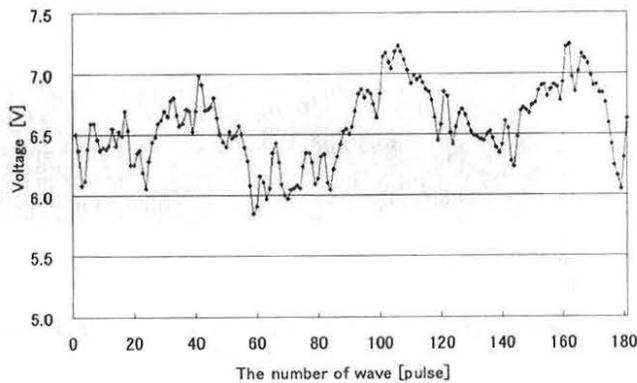


Fig. 11 Changing of peak voltage generated by T.G. type AG39 at constant velocity of 120km/h

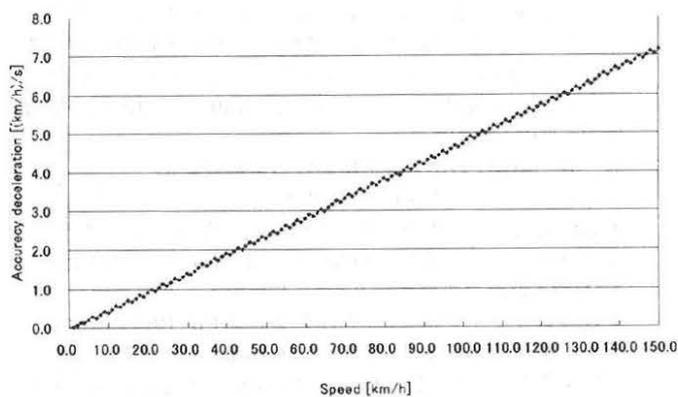


Fig. 13 Error of deceleration caused by waveform chart fluctuation by 20%

$\geq 90^\circ$ の範囲で $\sin \theta = 0.63V$ となる θ_1, θ_2 の値を求める。計算により θ_1, θ_2 はそれぞれ $\theta_1 = 3.612^\circ$, $\theta_2 = 3.009^\circ$ となる。

- 3) 1周期が 360° であるから、求めた θ_1, θ_2 から各速度域での時間差を AG39 のパルス周期を用いて算出する。
- 4) 3) により求めた時間の差が、速度の誤差及び β の誤差となる。従って、この時間の差から β を求める。なお、 β を求めるための方法は、5.1 述べた方法と同じである。

3. 4 波形の振幅の変化が β に与える影響

上記方法を用いて、AG39 の出力波形の周波数変動がなく、振幅のみ変化した場合を仮定した時、筆者らのシステムで速度情報のパルスを取得した場合、 β にどの程度の影響を与えるのか理論的に計算して調査を行った。その結果を Fig. 13 に示す。

図の横軸は列車速度、縦軸は β の誤差である。この結果より、AG39 の出力波形が周波数の観点から見れば等価であっても振幅が $2.00V$ 変動すると、 $150.0km/h$ という高速域では β の誤差は $7.5(km/h)/s$ に達する。先に述べた方法を用いると筆者らの目的としている $0.1(km/h)/s$ という β の精度を満たすためには、 $20.00[mV]$ の範囲に収める必要があることを確認した。このことから、試運転により取得した AG39 の出力信号の振幅変動が、筆者らのシステムにより取得した β に大きく影響を与えていることがわかる。

また、今回行った β の誤差計算は、振幅が単純に $2V$ 変動

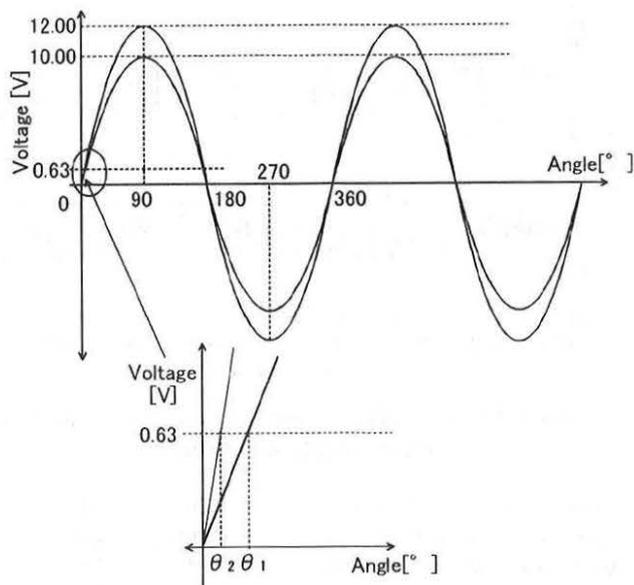


Fig. 12 Investigation method of error caused by fluctuation of waveform

したときの速度の微分情報にどの程度影響を与えるかを β の誤差として表記している。しかし、実際の速度発電機の振幅変動は、大きくなる時と小さくなる時の2通りが存在する。振幅が大きくなった時には、波形整形後の方形波の周期は長くなり、 β として誤差は現れ、振幅が小さくなった時は、方形波の周期は短くなり加速度 a として現れる。このことから、Fig. 2 から 4 にかけて減速時に β の値が負の値となって現れる現象は、振幅が小さくなる方向に変動し誤差が a となって現れているためであると考えられる。

4. 結論

鉄道車両用の空転滑走防止システムは極めて短い周期で極めて高精度の加減速度情報を取得することが必要であることに鑑み、滑走発生時の車輪固着を防ぐために必要な加減速度情報の検知精度等の研究を行うとともに、研究の結果判明した所要の精度を現行の車軸速度発電機から得るための研究の過程で、速度発電機出力パルス周期から β を高い精度で取得するための方法を導入するに際し、実際の列車に仮設し本線で試験を行った結果、次のようなことがわかった。

- 1) 試作した実験装置を実際の車両に搭載し、サンプリング時間 $0.1s$ で正確な β を取得できる可能性を確認する実験を行った結果、速度発電機からの出力信号の揺らぎが高精度の β 取得を妨げていることがわかった。
- 2) 実際の電車で行った実験により判明した速度発電機の出力波形の振幅が変動する原因は、歯車と車軸のはめ合いの誤差などによる偏心、歯車の着磁及び歯車の精度狂い等に起因する可能性がある。

参考文献

- (1) 中川大輔, 若林雄介, 平元忠雄, 平間淳司, 永瀬和彦: 「空転滑走制御用加減速度情報取得方法についての一研究-高精度検知システムの試作-」, J-Rail2001, pp61620. 2001年12