

3604 空転滑走制御用加減速情報取得方法についての一研究 (第3報)

—歯車の状態が計測精度に及ぼす影響—

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

-The 3rd Report, Influence of the Gear Shape of the Accuracy The Velocity Detected by a Pulse Tachometer Generator-

学 [機] ○大平 見彦 (金沢工業大学 院)

岸 裕 (JR 西日本)

准 [機] 不和 邦博 (JR 西日本)

学 [機] 北川 友哉 (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)

Akihiko OHIRA (Kanzawa Institute of Technology) Hiroshi KISHI (West Japan Railway Co.)

Kunihiro FUWA (West Japan Railway Co.)

Tomoya KITAGAWA (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 seriously injure wheel treads of vehicles. In the 2nd report, insufficient results were reported in the experimentation carried out on the prototyped train deceleration detection system. To clarify the reason of the error in train deceleration information, an investigation was done into the gear of the detection system, which was one of the most important and fundamental elements of the pulse generation device. As the results of the investigation, the authors found that the error was caused by the fluctuations in the pulse, which was generated by the irregularly magnetized tooth of the gear.

Keyword: Railway, Vehicle, Braking, Slipping, Skidding, Anti-Skidding Control

1. はじめに

車輪が空転・滑走したとき、大空転や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、加速度 α と減速度 β を短い周期で、かつ、より高い精度で取得することが必要不可欠である¹⁾。何故なら、車輪が滑走を開始してから固着に至るまでの状況を現車を用いて調査した結果によると、レール・車輪間の粘着が低い状態の下で強いブレーキを作動させた場合には、車輪は「あっという間に」固着することが明らかにされているからである。車輪の固着がこのような急峻な減速度で行われ得ること及び最近、S J 等の手で明らかにされたフラット発生最低速度が比較的低速度域²⁾にあることを踏まえれば、現行の滑走防止システムについて滑走発生時に車輪の固着に至る前にブレーキ力を十分に減速制御可能かどうかを詳細に検討する必要がある。しかし、滑走防止制御のための基本的な車輪の回転数情報を提供すべき重要な役割を担う車軸軸端に装着されて広く使用されている速度発電機 (TG) の出力信号について、精度や分解能の観点から見て適正であるかどうかについての検討はあまり行われていない。

筆者等は先の J-RAIL で JR 標準の AG39 などの軸端に直結装着した TG からの出力情報をそのまま用い、高い分

解能と高い精度の加減速度情報が取得可能な新しい概念の速度検出装置を提案した³⁾。試作した装置に実験用の高精度パルス発生器からの疑似速度情報を入力して機能を確認する実験を行った結果、極めて短いサンプリングでかつ高精度の加減速度を取得できる事を確認した。そこで、このシステムを現車に搭載して本線上で加減速度情報を収集する試験を行った⁴⁾。しかし、得た情報は必ずしも加減速度の実態を表した値となっていないことがわかった。その原因の一つは TG から出力される波形の「揺らぎ」に起因する推定された。そこで本研究では、速度情報の精度を悪化させる根本的な原因である出力パルスの揺らぎがどのような原因で発生するかを、模型の TG を使って調査した結果を報告する。

2. 速度検出用歯車の諸因子が検知精度に及ぼす影響

高い分解能のパルス出力があるとされる JR 標準の AG 20 形速度発電機は、車軸軸端に嵌入されたピンが速度発電機に直結された回転円板を駆動する。このため、クランクピンと円板スリット部との間にある徒動によって出力パルスに大きな揺らぎが生ずる場合があり、筆者等が提案した方式を導入することは出来ない。

一方、出力分解能がより低い AG39 は同じ軸端に装着される TG であっても、AG20 形 TG に比べ格段に高い精度が期待できると想定される。速度検知用歯車が軸端に直結装着されているからである。しかし、このような歯車であっても、センサと歯車とのギャップが変動するなどの事態が起これば出力パルスに揺らぎが生ずる。このような現象が生ずる原因を挙げれば、以下の通りとなる。

- 1) 車軸の歯車嵌入部芯狂いによる歯車の偏芯
- 2) 歯車嵌入部のはめ合い誤差などによる歯車の偏芯
- 3) 油などによる歯車自体の汚れ
- 4) 歯車のピッチ及び歯高寸法などの加工精度誤差
- 5) 歯山の不均等な帯磁

これらの出力パルスに揺らぎを起こさせる可能性ある個々の因子が回転数や速度に応じ、実際にどのように精度に影響を与えるかについて、以下に示す実験装置を用いて実験を行った。

3. 実験装置と実験方法

3.1 実験装置

1) 実験に供した歯車

実験に供した歯車は歯数 32、歯幅 9.25mm、モジュール 1.50mm、歯先円直径 50.89mm、またぎ歯寸法 20.57mm、ピッチ円直径 48.00mm の工作機械用の歯車である。

2) 磁気センサ

使用した磁気センサは渦電流方式で、型番は SS-1010 で、出力電圧は歯面との距離に反比例する。

3.2 実験方法

以下に実験の手順を示す。

- ア) 第一に、洗浄剤を用いて、歯車を十分に洗浄する。
- イ) 歯車が回転軸に偏芯して装着されるのを防ぐために、偏芯が極めて少ないとされる旋盤主軸を使用することにして、そのチャックに歯車を取り付ける。さらに、偏芯の状態を確認するために、歯面外周にダイヤルゲージを当て、歯先で $50\mu\text{m}$ 以下の偏芯精度となるよう調整する。
- ウ) 磁気センサを旋盤の刃物台に取り付け、磁気センサと歯車の歯先までの距離を 1mm に設定する。
- エ) 旋盤の回転数を 550rpm に固定し、磁気センサの信号をデータレコーダを用いてサンプリング周波数 20kHz で記録する。

3.3 実験結果と考察

前記実験方法により室内実験を行った結果を Fig.1-a に示す。図の横軸は時間、縦軸はセンサ出力信号である。図

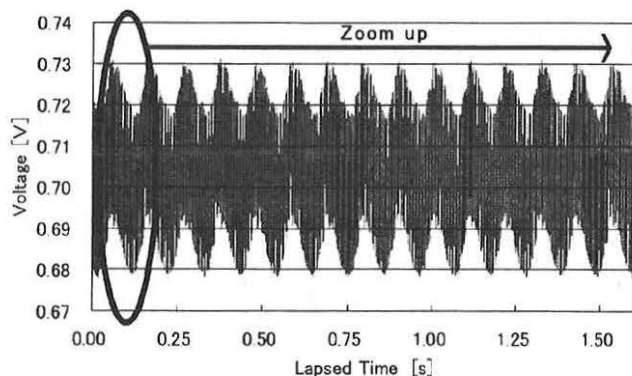


Fig.1-a Waveform chart generated by tool machine gear and magnetic sensor

示のごとく、出力信号の電圧は周期的な変動を繰り返していることがわかる。これをより詳しく解析したデータを Fig.1-b に示す。センサが検知した出力信号には 32 パルスを 1 周期とする変動が認められる。Fig.1-a の信号を見る限りは、この変動は歯車の偏芯により生じた可能性も否定出来ない。出力波形の振幅の変動が歯車の偏芯によるものであるとすれば、それはダイヤルゲージでは測定できないほどの僅かな誤差による偏芯であると推測される。そして、この程度の取付誤差でさえも出力信号に揺らぎを起こす原因となるなら、検知用歯車の着脱を現場で行うことを前提とした現行の取付方法を抜本的に改め、油圧などを用いて高いレベルの嵌合で歯車を軸端に直接装着する必要がある。

ところで、Fig.1-b の信号を詳細に観察すると、出力信号は 32 パルス毎の周期的な変動の他に、特定の歯に対応した出力信号に図示○印で示す箇所等に微小な出力レベルの変動が認められる。その変動幅は 32 パルスを周期とする出力信号変動の約 5 分の 1 程度である。32 パルス毎の変動が歯車の $50\mu\text{m}$ 程度又はこれに近い寸法領域の歯車偏芯に起因するものならば、この微小な出力の変動は歯車製作精度誤差によると見なさざるを得ない。しかし、工作機械用歯車の歯先仕上げ精度誤差が $50\mu\text{m}$ の数分の一、すなわち、 $10\mu\text{m}$ 以上にも及ぶ大きな値であるとは思われない。

そこで、この揺らぎが他に起因しているかどうかを検討した。その検討の結果、歯車自体が地磁気などにより磁化し、磁気センサの出力に影響を与えている可能性が考えられた。そこで、これを確かめるために新たに実験を行うこととした。

4. 磁気センサ出力信号の振幅が変動する原因の究明

4.1 歯車の偏心の測定

磁気センサ出力信号の振幅変動の原因が、歯車の偏芯によるものなのか、それとも歯車磁化などの他の原因によるものかを確かめるために、磁気の影響を受けないレーザ変位計を用いて、歯車偏心の程度を調べることにした。使用したレーザ変位計精度は $50\mu\text{m}$ である。

4.2 実験方法

実験方法は歯車をまず洗浄剤を用いて油などの汚れを綺麗に落とし旋盤のチャックに取り付ける。次いでレーザ変位計を旋盤の刃物台に固定する。また、レーザ変位計から出力される He-Ne のレーザが歯車歯先中心部に近くに照射するようにして慎重に固定する。また、前章では計測は回転中に行ったが、今回は歯車の歯先 1 つ 1 つにレーザ変位計を照射して偏心量を測定するため、旋盤を停止した状態の下で測定距離を記録する。

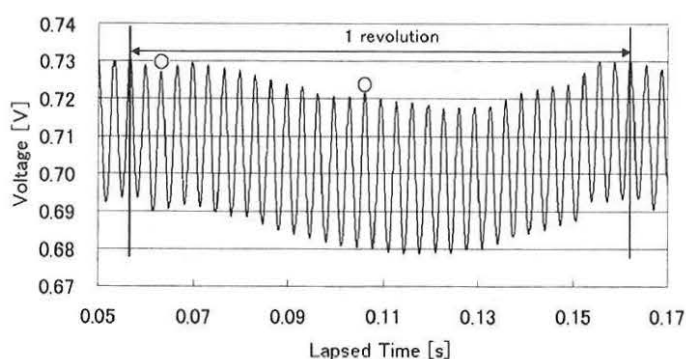


Fig.1-b Detail waveform chart generated by tool machine gear and magnetic sensor

測定時にはレーザ変位計と歯先との距離が変動することがないため、得た測定データは本来は常に一定値となる。このため、測定に際して混入するノイズは1.5HzのLPFを通して取り除くこととした。

4. 3 実験結果

前記方法により歯車の歯を個々に測定したデータを出力電圧値でみた結果をFig.2に示す。図示の通り光学的に測定した歯高は、この測定方法誤差の範囲でみる限りは偏芯していないことがわかる。歯先までの距離は、32歯全てにおいて常に電圧換算値で2.73V一定であることがわかった。よって、磁気センサにより歯車を測定したデータの振幅の変動が偏心によるものであるとすれば、それは今回の結果より、レーザ変位計の分解能である50 μ m以下の誤差によるものであると考えられる。しかし、筆者らはこれ以上の精度で偏心を測定できる装置を持ち合わせていない。そこで、次に歯車の磁気による影響を調べることにした。

5. 歯車の帯磁がセンサに与える影響

歯車を持っている磁気が、磁気センサの出力にどのような影響を与えるかを確かめる実験を行う前に、歯車を持つ磁気を調べることにした。調べた方法は、方位磁石を歯車に近づけ、指針の方向によりN極、S極を特定する簡易な方法で、磁束などを定量的に計る方法は採用していない。

簡易測定をした結果、方位磁石の揺れを確認したので、歯車は明らかに帯磁していることが判明した。よって、この歯車の帯磁が磁気センサにどのような影響を及ぼすのか、帯磁状態の歯車と帯磁していない歯車との対比実験を行った。

5. 1 実験装置と着磁方法

今回の実験は以下の装置を用い、以下の手順で行った。

1) 実験用材料の着磁と脱磁

歯車の帯磁比較実験は、本来は完全に無帯磁の歯車と帯磁歯車とを対比するのが望ましい。しかし、完全な無帯磁状態の歯車を実験に供するのは容易ではない。そこで、磁気がセンサに与える影響を調べるためには、明らかに磁化しているものと、そうでないものとの比較を行えばよいと考えた。そこで、磁石で強制的に着磁させることで、地磁気により帯磁した歯車よりさらに強く帯磁した実験材料を導入して、対比実験を行うことにした。

2) 帯磁材料

磁気による影響のみを調べるためには、歯車の偏心を0にすることが望ましい。しかし、歯車を用いて今までと同じ方法で実験を行えば、ダイヤルゲージやレーザ変位計に

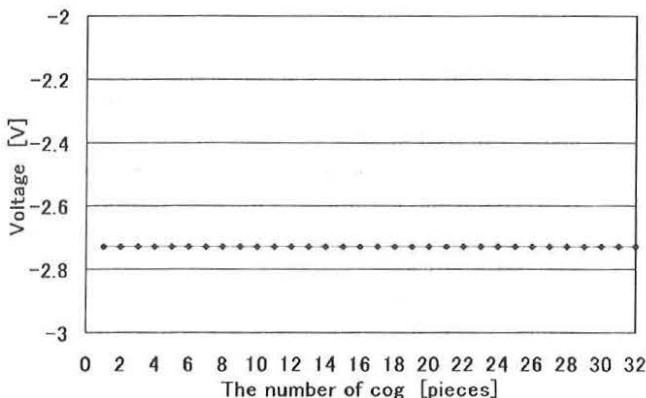


Fig.2 Deformation of gear measured by length measuring instrument with laser beam

より測定することの出来ないほどの、僅かな偏心が発生する可能性が残されている。そこで、歯車の代わりに丸棒鋼材を実験材料に用い、これを旋盤によって削り、切削後の鋼材を旋盤に取り付けたまま実験に供すれば、偏心の主体は旋盤主軸の偏芯量となり、偏芯量を通常考えられる方法で最も少なくできると考えた。

3) 消磁器

今回の実験で使用する丸棒の鋼材は、最初から地磁気などの影響により僅かながら磁化している。この磁気を脱磁するために、オーディオ機器の磁気テープに用いられている消磁器を用いる簡易な方法をとることにした。しかし、この消磁器は磁気テープに用いられているものであり、脱磁の効果は十分ではない。しかし、この実験は本来、着磁レベルの差異を対比する実験であるため、特に大きな問題はないと考えた。4) 磁気センサ

先の実験と同じものを用いた。

5. 2 実験方法

歯車を持つ磁気が、磁気センサにどのような影響を及ぼすのかを確かめるために、以下の手順に従って実験を行った。

ア) 鋼材が持っている磁気を、消磁器を用いて消磁する。

イ) 丸棒の鋼材を旋盤のチャックに取り付け切削を行い、刃物台から鋼材までの距離を均等にすることで偏心を無くす。

ウ) 切削を行った鋼材の表面仕上げのために、旋盤をゆっくり回転させて紙やすり1500番を用いて研磨仕上げを行う。(Fig.3)

エ) 前章と同じ方法で、磁気センサを用いてデータを取得する。サンプリング周波数は5kHz、旋盤の回転数は85rpmで行った。

オ) 鋼材をチャックに取り付けたまま、鋼材を磁石により着磁し、再度データを取得する。ここで、鋼材を旋盤に取り付けた状態で着磁した理由は先に述べたとおりである。

5. 3 実験結果

今回の実験では、消磁器により脱磁を行った歯車についての実験と、磁石により着磁した実験をそれぞれ3回ずつ行った。よって、3回のうち2回分ずつの実験データを示す。Fig.4, 5は脱磁をして行った実験結果、Fig.6, 7は着磁をして行った実験結果である。

それぞれの図の横軸は時間、縦軸は電圧を表している。今回の実験は歯車を用いず、さらに旋盤により鋼材を切削

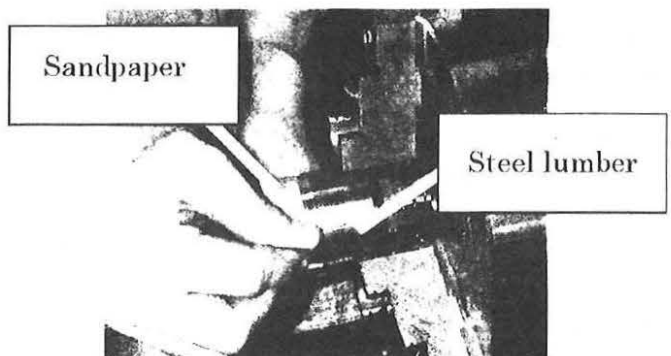


Fig.3 Steel lump grinded by abrasive paper

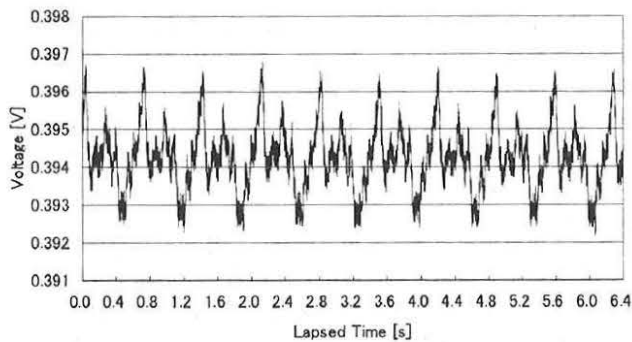


Fig.4 Waveform chart 1 generated by demagnetized tool machine gear

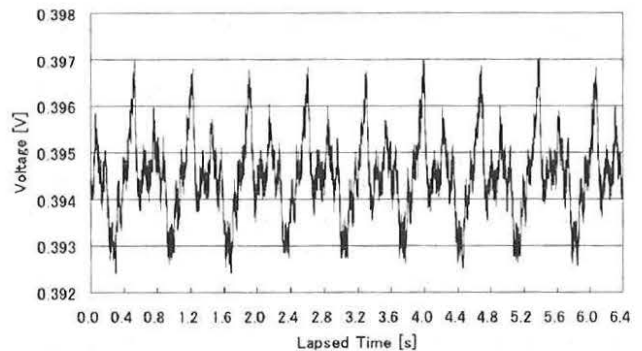


Fig.5 Waveform chart 2 generated by demagnetized tool machine gear

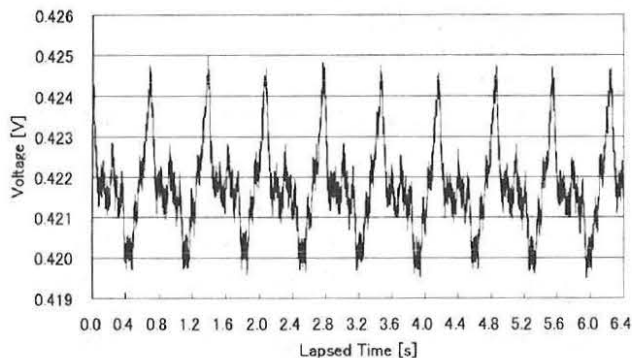


Fig.6 Waveform chart 1 generated by magnetized tool machine gear

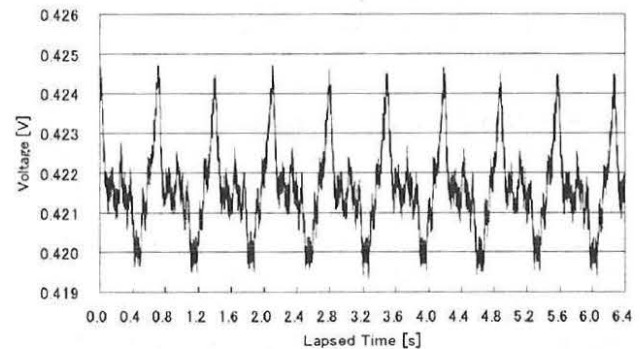


Fig.7 Waveform chart 2 generated by magnetized tool machine gear

し、偏心は極めて少ない状態の下で行っている。従って、磁気センサから出力される波形は、磁気などの影響を受けないと仮定した場合、一定の電圧を出力するはずである。しかしながら、Fig.4～7 にかけて全ての波形で振幅の変動が確認できる。今回の実験は旋盤の回転数を 85rpmで行っており、測定時間の 12.8s の間に鋼材は約 18 回転していることとなる。グラフを見ると、磁気センサの出力波形の振幅変動は 18 回存在し、このことから、振幅の変動は 1 回転毎に発生していることがわかる。さらに、脱磁した鋼材で取得した波形と着磁した鋼材で取得した波形が同じであることから、この波形の振幅の変動は磁気によるものではないと推測される。よって、測定したデータの振幅の変動は偏心によるもの又は機械加工の誤差による可能性がある。とは言っても、位置回転あたりの出力レベルの変動は生じ消磁のもので 4mV、着磁のもので最大で 5mV 程度で変動レベルは全体出力の 1%程度にすぎない。

一方、着磁の影響についてみると、脱磁を行って取得した Fig.4, 5 は出力電圧の平均値が 0.3945V 付近にあり、磁石により着磁して取得した Fig.6, 7 は、出力電圧の平均値が 0.4215V 付近にある。この電圧値の変動が加減速度にどの程度影響 2)があるのかを確かめてみた結果、加減速度の誤差は最大で 0.12(km/h)/s となることが分かった。

以上の結果から、測定対象物の磁化による影響は磁気センサが出力する信号に少なからぬ影響を及ぼし、加減速度の誤差要因となることが明らかとなった。

6. 結論

鉄道車両用の空転滑走防止システムを適正に使用してフ

ラットの発生を防ぐためには、滑走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、軸端に直結装着された現行の速度発電機の出力パルスが揺らぐ原因を解明するための実験を行った結果、次のようなことがわかった。

- 1) 速度検知用歯車と車軸との偏心は、速度発電機の出力波形に揺らぎを生じさせる可能性があることがわかった。
- 2) 速度検知用歯車が着磁している場合にも、速度発電機の出力波形に揺らぎを生じさせる可能性があることがわかった。
- 3) 筆者らが提案した方法により高い分解能で加減速度情報を取得するためには、揺らぎが極めて少ない高精度の出力を得る必要がある。

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, pp617-620. 2001 年 12 月
- (2) J. Jergeus, C. Odenmarck, R. Lunden, P. Sotkovszki, B. Karlsson and P. Gullers: "Full-scale railway wheel flat experiments", 99, Proc Instn. Mech. Engrs. Vol. 213 Part F, pp1-8.
- (3) 不和邦博, 北川友哉, 岸裕, 大平見彦, 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(第2報)-本線試験の結果-」, J-Rail2003