

S7-3-2.

輪軸が軌道回路を短絡する際に発生する共振現象(第4報)

○[機・電]平間 淳司(金沢工大)、牛若 聡(金沢工大)、
佐藤 祐(金沢工大)、[機・電]永瀬 和彦(金沢工大)

Electric Resonance Phenomena of a Track Circuit Caused by Wheelsets (4th Report)

Junji Hirama, (Kanazawa Institute of Technology)
Satoshi Ushiwaka, (Kanazawa Institute of Technology)
Yu Sato, (Kanazawa Institute of Technology)
Kazuhiko Nagase, (Kanazawa Institute of Technology)

A remarkable resonance current contained an AF band was observed in the axles of the running wheelsets when a track circuit was shunted by the pair of wheelsets. Relationship between the resonance current and axle weight was investigated under various wheel and rail tread surface roughness conditions. As the results of the investigations, it was found that the fluctuation is certainly originated in the circuit except when the wheel and rail tread surfaces were very clean and had sharp edges, and the contact between the wheel and the rail was done with fairly high pressure.

キーワード：鉄道車両、軌道短絡、共振現象

Keyword: Railway, Railway signal, Track circuit, Rail, Wheel.

1. はじめに

先のJ-Rail'02¹⁾で筆者らは、走行中の車両に対し軌道回路のどの地点でも一定の軌道電圧を印加できる新しい概念の軌道回路と、短絡状態などを簡便に測定できる方法を提案した。そして、JR標準軌縮尺 1/5 の模型台車と 6kg レール(軌間:213mm)を用いて、複数の輪軸が軌道回路に進入した際の各軸の短絡電流の挙動を測定した。その結果、複数の輪軸が軌道回路を短絡し走行したときに限って、輪軸とレールとで閉成される回路内に多様な周波数の電流が発生し、その現象が共振現象によるものであることを明らかにした²⁾。

しかし、本線上では必ずしもこのような状態が起きていない場合もある。そこで、従前の実験に用いた台車の輪重が比較的軽量の 815N であったことが一因ではないかと考え、これをレール・車輪間の面圧を実車に近い値となるよう輪重を最大 1581.4N に設定可能なように台車を全面改良した。この改良の結果、面圧は実車の約 7 割程度となった。

さらに、レールと車輪踏面粗さをより粗くして、走行中の多様な輪重の下での共振現象について調べた。以下に結果を報告する。

2. 短絡電流の測定原理及び実験方法

図 1 に測定回路を示す。詳細な測定原理³⁾は既に報告済みであり、概要のみを述べる。図示のように本方法では、軌道回路境界部分の片側のレールに送電端を設置し、他端境

界部に受電端を設置することで、軌道回路内の台車の端部から軌道回路の境界部(送電端または受電端)までの距離を常に一定に保てる。実際の軌道回路構成とは異なるが、台車が軌道回路のどの地点を走行中であっても輪軸への印加電圧が常に一定なので、短絡不良に伴う軌道電流の解析の単純化が図れる。各輪軸への分流のモニタは、自作の差動入力型生体電位アンプを両軸に取り付けて使用した。アンプの入力インピーダンスが非常に高い(10MΩ以上)ので、輪軸に発生する極微弱な電位差を高精度で増幅(約 1000 倍)できる特徴を有する。なお、今回の軌道電源は DC 約 4V に設定

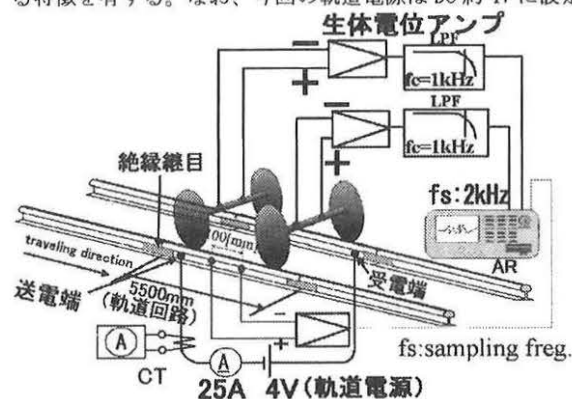


図 1 測定回路

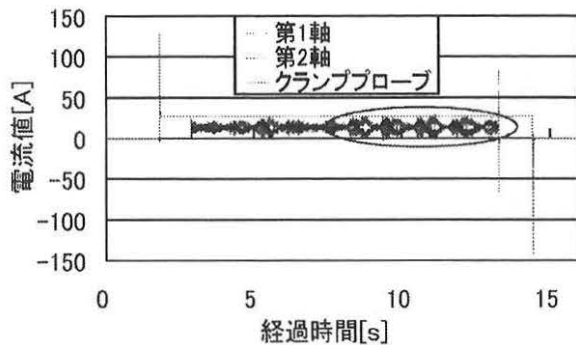


図2 研磨布 30 番、輪重 845.9N での走行 1 回目の電流値

し、軌道電流を約 25A 一定とした。受電端から台車の 1 軸が軌道回路内に進入し、最終的に 2 軸共軌道回路外に進出するまでの区間において、両輪軸の分流電流が輪軸の抵抗(約 $31\mu\Omega$: 実測値)により微少な電圧降下を生ずるので、それをアンプで増幅した後、リアルタイムでモニタした。その電圧を遮断周波数 $f_c=1\text{kHz}$ の LPF を通過させ、量子化データ(サンプリング周波数 $f_s=2\text{kHz}$)に変換後、アナライジングレコーダ(AR1100A: YEW 製)で記録した。なお実験開始前には、レールと車輪の踏面を 30 番の研磨布で研磨し、その後アセトンで清拭した。また、台車構造は軌道の不正による 2[mm] 程度の車輪浮き上がり防止し、しかもその際の輪重変動を 5% 以内に留められるような軸バネを各軸に挿入したものとなっている。

また 2 軸のうち、一方が軌道回路に進入或いは進出した場合には、たとえ走行中であっても軌道電流には共振現象は観測されないが、2 軸とも軌道回路内に存在し、かつ台車が走行する時に限り、車輪とレールの踏面の接触状態で特異的な共振電流の発生を既に突き止めている³⁾。

今回はこれまでの実験結果を踏まえ、台車が軌道回路内を走行する際、輪重の違いによる短絡電流の挙動について検討した。走行実験では研磨布でレール・車輪を研磨し、輪重を変化させながら連続してデータの計測を行った。走行回数と輪重について以下に示す。

- (1) 走行 1 回目から走行 30 回目 輪重 845.9N
- (2) 走行 31 回目から走行 61 回目 輪重 1581.4N

3. 実験結果

3.1. 研磨直後の清浄なレールでの走行実験

レール・車輪の研磨に 30 番の研磨布を用いた時の走行 1 回目の実験結果を示す。

3.1.1. 輪重 845.9N の場合

図 2 の縦軸に、輪軸に流れる短絡電流値、横軸に時間を示す。両軸が軌道回路内に進入し、台車が走行する時に限って、両軸に流れる軌道電流が 12.5A を中心に上下に変動しているが、共振の程度は大きくはない。また図中の○印の部分で電流値の変動が大きくなっているのは、その周期が車輪回転数に一致しているため、輪軸の動的な影響によるものと推定される。

3.1.2. 輪重 1581.4N の場合

図 3 の縦、横軸は従前と同じである。図中の 2 秒から 4 秒にかけての部分で電流値の変動が大きくなっているのは、

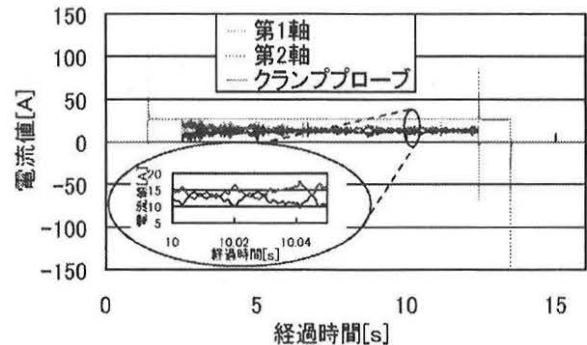


図3 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 1 回目の電流値

実験設備上、レールの清拭が十分行えない箇所が生じたものである。これが原因となって、この部分での電流値の振幅が大きくなったと考えられる。また、図の○で示す部分を拡大したものを図中に示す。図示の通り多くの箇所でも共振は見られないが、完全に共振が収まっているとは必ずしも言えない。

3.1.3. 輪重 845.9N と輪重 1581.4N の比較

図 2、図 3 を比較すると電流値の振幅は輪重 1581.4N の方が小さい。これは、これまでの実験の中でも極めて振幅の小さな結果である。また、この結果は先の J-Rail での共振現象の振幅は輪重に対し逆依存性を示す、という結果と一致する。今回の結果より、このような傾向はレール・車輪の踏面粗さの如何に関わらず現れることが分かる。

3.2. 走行 10 回目での輪重の差異による変化

走行回数を重ねることで電流値の振幅がどのような挙動を示すかを確認するため、前項の条件で引き続き台車を走行させた。本項では走行 10 回目での実験結果を示す。

3.2.1. 輪重 845.9N の場合

図 4 はレール・車輪を従前と同じ方法で研磨し、輪重 845.9N での走行 10 回目に得たデータである。図の縦、横軸は図 2 と同じである。図 2 の走行 1 回目と比較すると、電流値の振幅は増大し、図中の○印の部分では顕著に第 1 軸、第 2 軸の電流値が交互に上下の変動を繰り返している。これは図 2 の○印の振幅が増大したものであると考えられる。

3.2.2. 輪重 1581.4N の場合

図 5 はレール・車輪を従前と同じ方法で研磨し、輪重 1581.4N での走行 10 回目に得たデータである。図の縦、横軸は従前と同じである。その振幅は輪重 845.9N の走行 10 回目とほぼ等しい。

3.3. 車輪の走行を重ねた場合の変化

踏面が平滑化された状態で、より重輪重の台車が走行した場合、共振現象にどのような影響を及ぼすかを明らかにするために次のような走行実験を行った。まず、電流値の振幅幅から踏面が平滑化されたと判断される走行 30 回目にて輪重 845.9N での走行実験を終了し、走行 31 回目からより重輪重である輪重 1581.4N にオモリを載せ変えた。次に、同輪重で走行回数を重ね、電流値の振幅の成長具合を観察した。なお、実験初期の踏面研磨ではレール・車輪とも 30 番の研磨布を用いている。

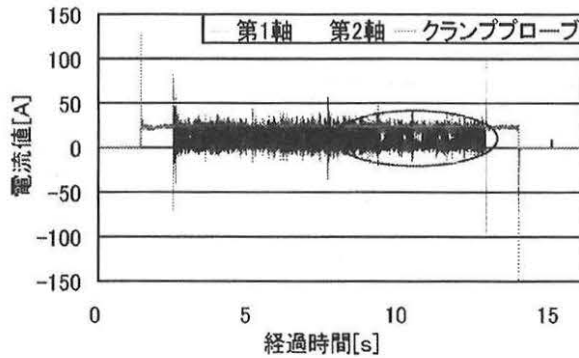


図 4 研磨布 30 番、輪重 845.9N での走行 10 回目の電流値

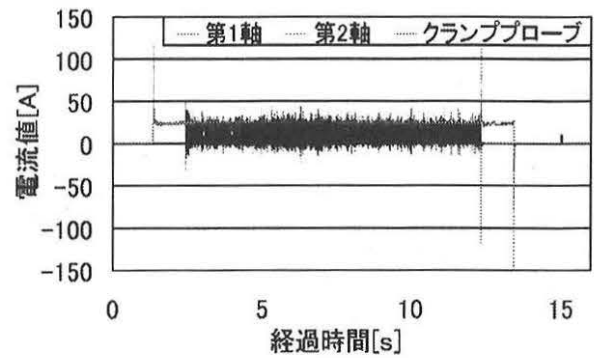


図 5 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 10 回目の電流値

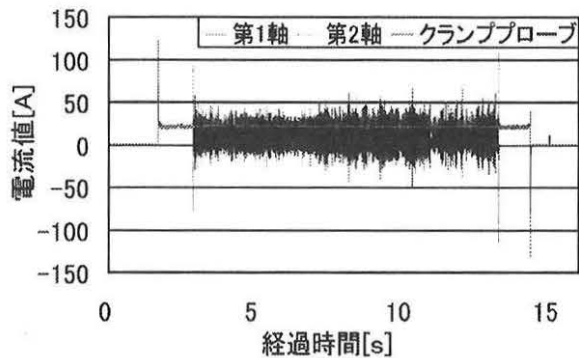


図 6 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 30 回目の電流値

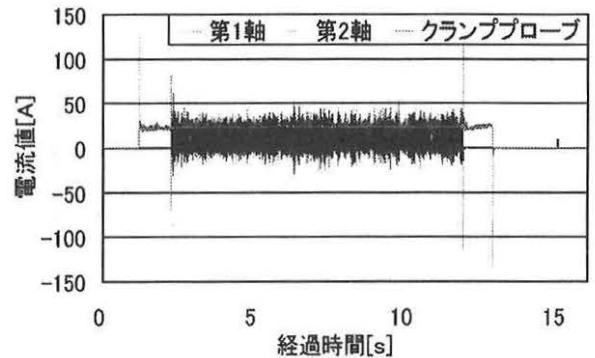


図 7 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 31 回目の電流値

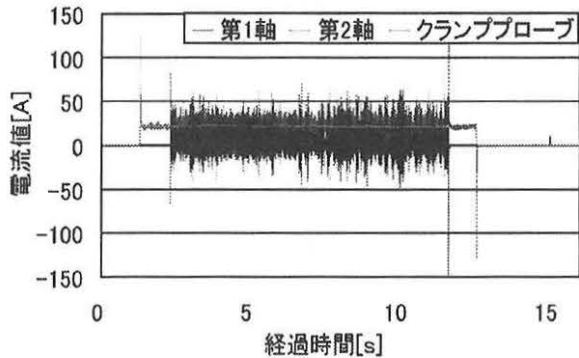


図 8 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 61 回目の電流値

3.3.1. 輪重 1581.4N への変更前後の電流値グラフの比較

図 6 は輪重 845.9N での走行 30 回目、図 7 は輪重 1581.4N での走行 31 回目に得たデータである。図の縦、横軸は従前と同じである。両者の電流値の振幅幅に大きな差異は見られず、この時点では走行 30 回目において踏面の平滑化が終了したと判断される。

3.3.2. 輪重 1581.4N での走行 31 回目及び走行 61 回目の結果

図 8 は輪重 1581.4N での走行 61 回目に得たデータである。図の縦、横軸は従前と同じである。前項 3.3.1. での比較において、電流値の振幅幅に変化が見られなかったため踏面の平滑化が終了したと判断したが、走行 61 回目では振幅幅の増加が見られる。このため走行 30 回目時点では、踏面の平滑化は終了しておらず、重輪重での走行において再び平

滑化が始まったと推定される。

第 3 報でレール踏面を入念に研磨した時、踏面は鋭利な形状にあり、この状態で共振は大幅に収束するが、わずかな走行により鋭利な形状の先端は破砕され、これによって共振が増加する可能性を論じた。

今回の一連の実験でも同様の理由による現象が観測できたと判断した。

4. スペクトル解析

共振現象の定量評価に際し、台車の走行回数毎に各輪軸に流れた短絡電流に対して、FFT処理を用いてスペクトル解析を行った。この解析では、各図中に示した特定の分析区間長(2048点)の量子化データを対象とした。なお、 $f_s=2\text{kHz}$ なので、スペクトルの上限周波数は1kHzとなる。

4.1. 研磨布 30 番、輪重 845.9N、走行 1 回目のスペクトル解析結果

図 9 は、輪重 845.9N での走行 1 回目のスペクトル解析の結果を示す。縦軸はパワー(dB)を示し、横軸は周波数(Hz)を示す。約 1~3Hz の低域では約 70dB を示し、短絡電流は非常に強い低域の変動成分を含んでいることがわかる。次いで 10Hz 近傍でそれらより約 20dB 低いピークが観測され、低域の変動成分に比べて振幅値に換算し 1/10 の小さな変動を含んでいることもわかる。特に低域の変動成分は、レール・車輪踏面の粗さのばらつきに起因して、車輪・踏面との接触面圧の変化が台車の走行に伴い、ほぼ周期的に発生し機械的な振動が主因と考えられ、顕著な短絡電流の電気

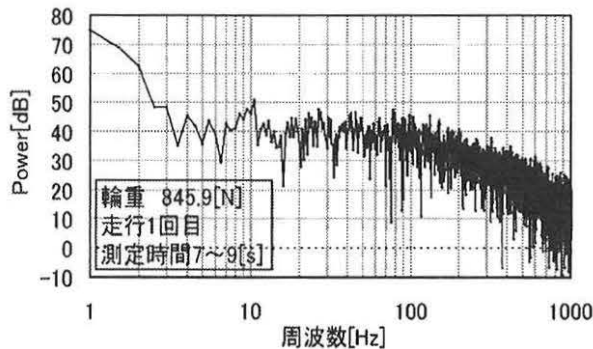


図9 研磨布 30 番、輪重 845.9N での走行 1 回目のスペクトル解析

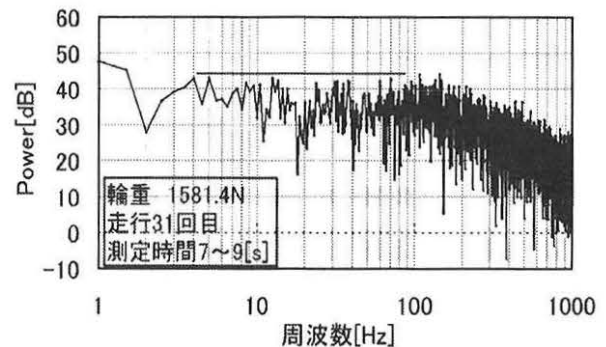


図10 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 31 回目のスペクトル解析

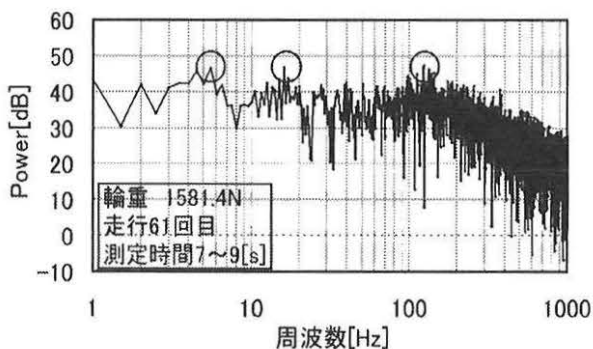


図11 研磨布 30 番、輪重 1581.4N での走行 61 回目のスペクトル解析

的な共振現象が観測されるとは言い難い。このような現象は、図 2 中、○印で囲った 7~9s の区間での短絡電流の変動に反映されていることがわかる。

4.2. 研磨布 30 番、輪重 1581.4N、走行 31 回目のスペクトル解析結果

図 10 は、輪重 1581.4N での走行 31 回目のスペクトル解析の結果を示す。図 9 に比べて輪重が異なる(約 2 倍)ものの、低域のパワーは約 50dB となり、走行 1 回目と比べて大幅に減少し、機械振動に伴う変動成分が減少していることがわかる。また、中域から高域に渡りスペクトルの傾斜特性がほぼフラットである。これらの結果から、短絡電流は特定の共振特性を示す傾向が減少し、むしろランダムな変動を示す傾向が強くなっていることがわかる。

4.3. 研磨布 30 番、輪重 1581.4N、走行 61 回目のスペクトル解析結果

図 11 は輪重 1581.4N での走行 61 回目のスペクトル解析の結果を示す。図 10 に示したものとほぼ同様に、低域から高域に渡りスペクトルの傾斜特性はほぼフラットであるものの、図中○印で示すように 6Hz、20Hz、100Hz 近傍で数 dB ~10dB のピークが観測される。この例では、図 10 に示した走行状態に比べて輪重は同一であるが、走行回数が約 2 倍となっていることから、走行回数の増加、すなわち走行距離の増加に伴い、車輪・レールの踏面状態が変化し、弱いながらも短絡電流に特定の電氣的な共振現象が成長する傾向が見られる。

4.4. スペクトル解析図の比較

図 2 および図 9 で示したように、車輪や踏面を清浄研磨直後では、短絡電流の時間的変動に対する振幅成分が非常に小さく、短絡電流には顕著な電氣的な共振現象は観測されない。なお、スペクトル特性からは走行中に発生する輪重変化による接触面圧の変化に起因すると思われる、低域の変動周波数が観測されることわかった。一方、図 5~図 8 および図 10~図 11 で示したように、同一の輪重において、走行回数、すなわち走行距離の増加に伴い、短絡電流には電氣的な共振現象が次第に強くなる傾向を示した。この現象は、スペクトル上で低域から約 100Hz 付近の中域にかけてのパワーがフラットな状態となり、さらに走行回数を重ねることで、特定の周波数域でピークの周波数が現れ始める傾向を示した。

5. まとめ

筆者らが提案した新しい概念の模型の実験用軌道回路と、生体電位アンプを用いた 2 軸台車の各輪軸の短絡電流の測定原理に基づき、輪重を変化させ、共振現象の特異性を検討した結果、以下のことが分かった。

- (1) レール及び車輪踏面が清浄で鋭利な形状をし、かつ、レールと車輪との接触面圧が高い場合を除いては、レールと 2 軸の転動する車輪とで閉成される軌道回路に可聴周波数を主成分とする共振電流が発生することを確認した。
- (2) 短絡電流のスペクトル解析の結果、走行回数が少ない時は短絡電流に電氣的共振現象は多くは観測されないが、走行回数を重ねると特定の周波数域で共振特性を示す傾向が顕著になることを確認した。

参考文献

- 1) 平間淳司、若林雄介、田中伸治、永瀬和彦他：輪軸が軌道回を短絡する際に発生する共振現象、J-Rail2000、pp331-334、2000
- 2) 平間淳司、中川大輔、若林雄介、永瀬和彦：輪軸が軌道回を短絡する際に発生する共振現象(第 2 報)、J-Rail2001、pp355-358、2001
- 3) 若林雄介、中川大輔、北川友哉、平間淳司、永瀬和彦：レールと車輪の接触状態が軌道回路の短絡に及ぼす影響(第 3 報)、日本機械学会論文集、68 巻、674 号、C 編(2002-10)、pp. 183-188