

磁界共鳴を用いたレール破断検知装置の提案

AE14092 平野溪介

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

現在、列車は都市部の日常の人々の足として、また長距離を移動する際に必ず利用する欠かせない移動手段である。しかし、列車の位置検知方式が無線化（ATACS）することで、従来のような帰線電流を用いた閉塞区間ごとのレール破断検知が出来ない問題が発生する。鉄道のレールは金属疲労や摩耗により破断を起こし^[1]、それによって遅延や運休、最悪の場合は脱線事故等を引き起こす場合がある。鉄道をより安全かつスムーズに利用するには、これらの問題を解決する必要がある。そのため、低コストでレール破断を検知する装置が求められている。

2. 研究目的

レールは狭い範囲に重量が集中することで、金属疲労などによりシェリングを起こし、そのひび割れがさらなる列車の通過などで拡大し破断が発生することがある。破断が大きいものである場合、最悪なケースとしては脱線事故の原因にもなる^[1]。現在はレールで軌道回路が構成されており、レールが破断すれば軌道回路が断絶するため、検出が可能であるが、ATACS導入後は軌道回路上を流れる帰線電流を用いた区間ごとの破断の検知ができなくなる。そのため、軌道回路を使わない「安価」かつ「破断箇所」が判定できるレール破断検知装置が求められている。ATACS導入後も破断を検知し、列車の運行のない営業時間外に破断箇所を修理することによって、運休や遅延といったトラブルを未然に防ぎ、安全かつスムーズな



図1 レール破断の様子^[2]

列車の運行を行うことが出来る。また、破断の様子を図1に示す。

現在研究が進んでいるものは

- ・ 列車からのセンサによる検出
 - ・ 両レール間の帰線電流差による検出
 - ・ 振動などを利用して検出
- などがある。

本研究ではこれに代わる検知方法として磁界共鳴方式を提案していく。

3. 提案する方式

列車位置検知が無線化した後のレール破断検知の方法として、磁界共鳴方式を提案する。磁界共鳴方式は、米国のマサチューセッツ工科大学の研究グループが2007年に提唱した共鳴（共振）送電方式である。原理は音響的共鳴と似たもので、送電側・受電側のコイル（L）とキャパシタ（C）を用いたLC共振を利用し、空間に蓄積される磁気エネルギーを通して伝送を行っている。伝送距離が電磁誘導方式と比べて長いため、多少の位置ずれにも強く、コイル間に障害がある場合でも送電が可能という特徴がある。今回はこの方式をレール破断検知に応用を検討する。本研究では、この方式についての実験を行った。

4. 磁界共振方式の実験

4.1 コイル・レール間距離特性実験

コイルとレールのあいだの距離によって、どのように磁束および受電回路への出力電圧が変化するかを知るための実験である。レールは入手ができなかったため、レールに見立てた350mm×450 mm×4.5mmの鋼板を用いた。

4.1.1 実験方法

今回はコイル・レール間距離を5cm, 2.5cm, 0cmにおいて実験を行った。レールに見立てた鋼板2枚を繋げ、

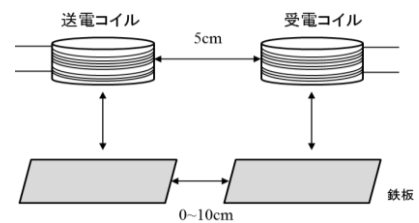


図2 実験のイメージ

つなぎ目が送電コイル・受電コイル間の中央の真下に来るように設置するそこからレールの破断を1cmずつ拡大させてゆき、それぞれの出力電圧を記録していった。コイル・レール間距離が2.5cm, 0cmの時でも行った。実験のイメージを図11に示す。送電コイル・受電コイル間の距離は5cmとおいた。

4.1.2 実験結果

得られたグラフを図13に示す。コイル・レール間距離が短くなるほど出力電圧が小さくなっていくのが分かった。また、破断の大きさが大きくなるほど出力電圧が下がっていくのが分かった。

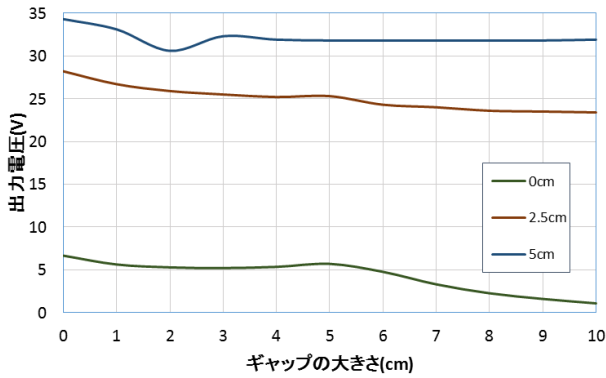


図3 コイル・レール間距離特性実験結果のグラフ

4.2 破断通過特性実験

破断箇所を通過させることで出力電圧がどのように変化するかを実験した。

4.2.1 実験方法

今回はコイル・レール間距離が2.5cmで実験を行った。実験のイメージを図4に示す。送電コイルと受電コイルの距離を5cmと7cmの2通りで実験を行った。図4の位置をスタート地点として、受電コイルが進行方向の先頭となるようにし、50cm移動させ出力電圧を2cmおきに測定した。

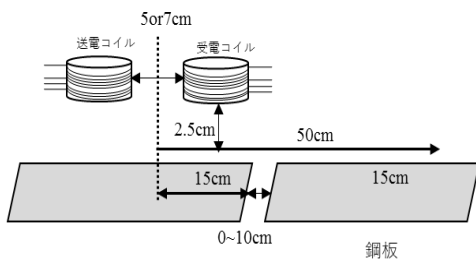


図4 実験のイメージ

4.2.2 実験結果

コイルどうしを5cm 離れたときのグラフを図5に表す

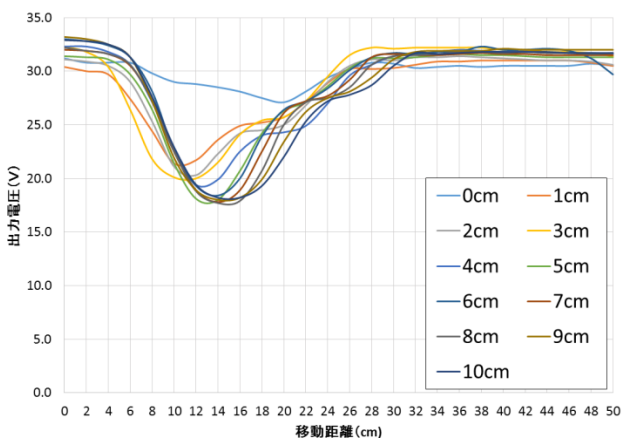


図5 破断通過特性実験結果(5cm)

コイルどうしを7cm離れたときの実験結果を図6に示す。

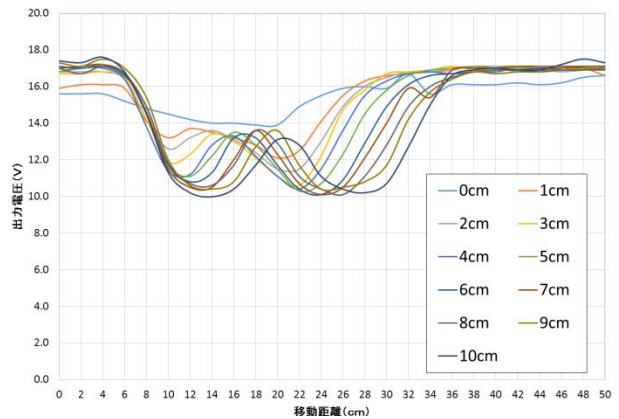


図6 破断通過特性実験結果(7cm)

5. 考察

コイル・レール間距離特性実験では、コイル・レール間が短いほど、出力電圧が下がっていった。これは近づくほど鉄損の影響が大きくなっていったためと考えられる。また近づくほど破断の大きさによる影響が強くなっていったが、これはレールを通る磁束が増え、破断による影響を受けやすくなったためと考えられる。破断通過特性実験では破断の通過時に出力電圧が4Vから15V程度下がることが分かった。これは通過時に漏れ磁束が発生したためだと思われる。また、波形が二段階に下がっているが、これはコイルとレールと破断の位置関係によって漏れ磁束に変化が起これ、このような波形になっていると考えられる。電圧の変化が明らかであるため、検知には十分といえる。

6. まとめと今後の課題

今回の実験で磁界共鳴を用いた破断箇所の検知は可能であることが分かった。また破断の有無のみでなく、破断の大きさによって出力電圧の特性に変化が現れることも分かった。これらを踏まえてレール破断検知装置への磁界共鳴方式の応用は実用的であり、列車の位置検知が無線化した後の新しいレール破断検知の方式として提案できるといえる。

今後の課題としては、コイル・レール間距離や送電コイル・受電コイル間距離などに応じて、より検知のしやすい条件や、実装した場合破断を検知したときの信号の解析など実用化に向けての研究に取り組んでいきたい。

7. 参考文献

- [1] 平川賢爾 「英国高速鉄道ハットフィールド脱線事故の真相-レールの金属疲労は何故起こったか-」 慧文社 (2008年5月24日)
- [2] 京三製作所
- [3] 寺田 夏樹 “帰線回路設計のためのレール電流分布の解析手法” <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0040/2015/0040002426.pdf>