

## ACFMによる台車枠検査技術の開発 その2

大黒 光喜 \*

*Kouki Daikoku*

藤原 貢 \*

*Mitsugu Fujiwara*

大津山 澄明 \*\*

*Sumiaki Ohtsuyama*

小林 誠 \*\*

*Kobayashi Makoto*

武藤 行伸 \*\*\*

*Yukinobu muto*

坂本 博 \*\*\*\*

*Hiroshi Sakamoto*

養祖 次郎 \*\*\*\*\*

*Jiro Yohso*

現在、鉄道車両用台車枠の溶接継手部検査は定期的に磁粉探傷検査（MT）が適用されている。しかしMTでは、塗膜剥離作業による作業員への負担が大きいことのほか、き裂判定の個人差によるバラツキが生じることや紙による検査記録管理の煩雑さを伴う。これらを解決するために塗膜上から表面開口き裂の検出が可能であるACFM（Alternating Current Field Measurement method=交流電磁場測定法）法を適用し、フィルター処理による自動欠陥判定および検査結果の電子管理を可能とした台車枠検査技術を開発した。

キーワード：ACFM、台車枠、表面開口き裂、交流磁場測定法、磁気シールド

### 1. はじめに

前報（No.35 2006/4）では、西日本旅客鉄道（株）ならびに（財）鉄道総合技術研究所と石川島検査計測（株）が開発したACFM（Alternating Current Field Measurement method=交流電磁場測定法）の原理および平成16年度までに開発した鉄道車両台車枠検査装置の開発経緯について紹介した。

本報では、平成17年度の開発内容として、平成16年度に西日本旅客鉄道（株）の工場での試験結果

から得られた課題に対する改良結果を紹介する。

### 2. 開発課題および目的

鉄道事業者は、国土交通省省令にもとづき、図1に示す鉄道車両台車枠の溶接止端部のうち指定した探傷部位について表面開口き裂の有無を確認し、使用上の安全性を保っている。

この非破壊検査には主に磁粉探傷検査を適用しているが、探傷部位の塗膜をはがすときに粉塵や衝撃などが生じるので3K作業になっており、き

\* 検査事業部 技術部 NDE技術グループ  
 \*\* 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 技術部  
 \*\*\* 株式会社ジェイアール西日本テクノス出向（西日本旅客鉄道株式会社）  
 \*\*\*\* 財団法人鉄道総合技術研究所 車両構造技術研究部（車両強度）  
 \*\*\*\*\* 株式会社TESS出向（財団法人鉄道総合技術研究所）

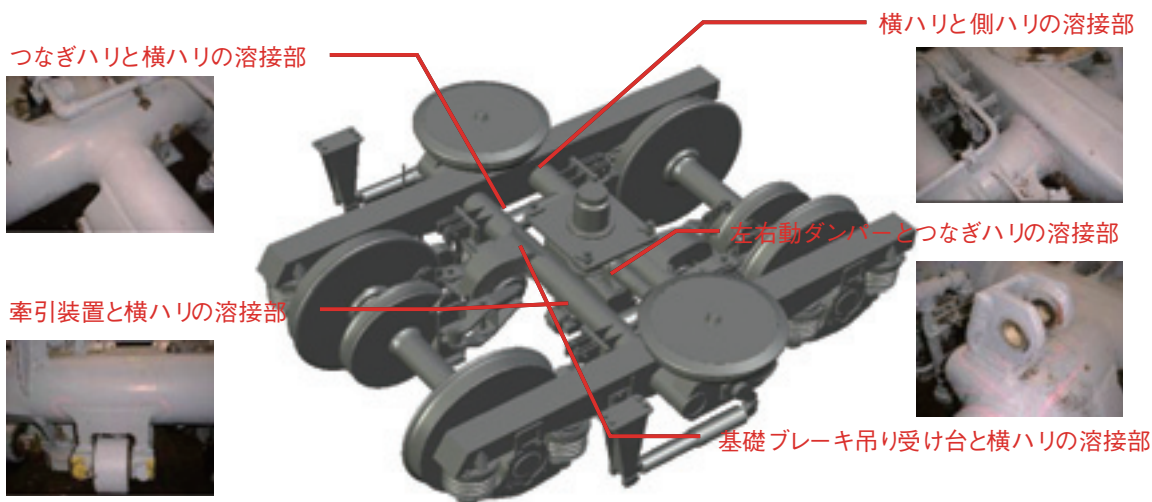


図1 鉄道車両台車枠主要検査部位



図2 き裂を示す磁粉模様

裂の有無の判断にしても図2に示すように磁粉模様の見方には十分な経験が求められ、個人差が生ずる。また、検査結果も紙に記録しているので履歴管理がしづらいという課題がある。

これらの課題を解決するため、以下のことを目的としてACFM法を用いた台車枠探傷技術を開発した。

- (1) 塗膜上から表面開口き裂を発見し、3K作業をなくす
- (2) き裂の有無を容易に判断でき、

熟練度を緩和する

- (3) 検査結果の電子データ化により履歴管理を実現する

### 3. き裂検出能力の目標

平成13年国土交通省の台車枠検査マニュアルにもとづき、定期検査の間隔である60万kmを走行しても長さ40mmに至らない初期き裂長さ10mmの検出を目標として開発した。図3に、き裂の走行距離に対する進展速度のシミュレーション結果の例を示す。

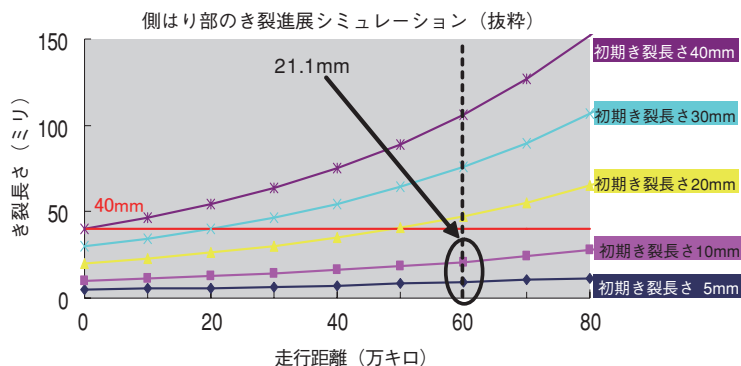


図3 き裂長さと走行距離の関係の試算結果と検出目標

#### 4. ACFM法の原理

ACFM法は、図4に示すように、分布が均一で平行な誘導電流を探傷面に流し、表面に開口したき裂のまわりで生じた磁場の变化を、方向が異なる2つのコイルでとらえ、そのときの波形を「き裂信号」とする非破壊検査法であり、近年英国で発明された手法である。

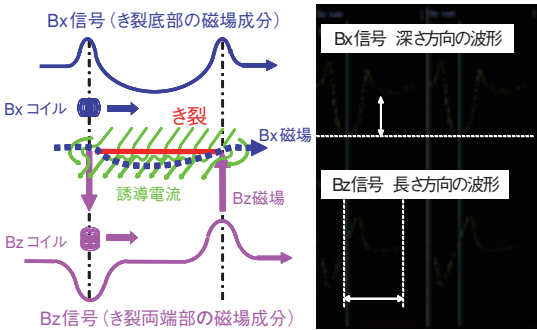


図4 ACFM法のき裂検出原理とき裂信号の例

#### 5. 鉄道車両台車枠検査装置の改良

平成16年度西日本旅客鉄道(株)の工場での確認試験結果から得られた課題を解決するために鉄道

車両台車枠検査装置の改良を実施した。

##### 5.1 平成16年度の確認試験結果から得られた課題

平成16年度の工場での確認試験結果から挙げた課題を以下に示す。

- (1) 検査時間の短縮
- (2) リフトオフ以外のノイズ発生条件と対策
- (3) バクトル積のしきい値の検証
- (4) 磁粉探傷検査とのき裂検出能力の比較

##### 5.2 検査時間の短縮

平成16年度の工場での確認試験におけるACFM検査は、磁粉探傷検査と比較して検査装置の大きさや作業の慣れなどから検査時間を長く要していた。そこで、装置の小型化やき裂判定時間の短縮などの作業性を向上させるための改良を実施した。

##### (1) 装置の小型化

図5に示すように、平成16年度の試作機で大半を占めていたタッチパネルモニターとパソコンを小型化し、図6に示すような小型の装置構成とした。また、台車枠検査時にAC100V電源ケーブルを引き回すことがないように全てバッテリー駆動とし、図7に示すように携帯性および作業性を向上させた。



図5 平成16年度 台車枠用 ACFM検査装置試作機



図6 平成17年度 台車枠用 ACFM検査装置の構成



図7 台車枠検査時の様子

(2) 判定時間の短縮

従来のACFM検査装置では、図8に示すようにプローブの向きがき裂に対して平行走査と直交走査とで探傷波形が異なり、き裂の判定に熟練が必要となる場合があった。しかし、いずれもき裂信号であることから探傷プログラムを

改良し、直交走査で得られた信号も平行走査同様の出力波形として、き裂の判定を容易にすることで判定時間の短縮を図った。このときの波形変換処理アルゴリズムを図9に、確認結果の例を図10に示す。

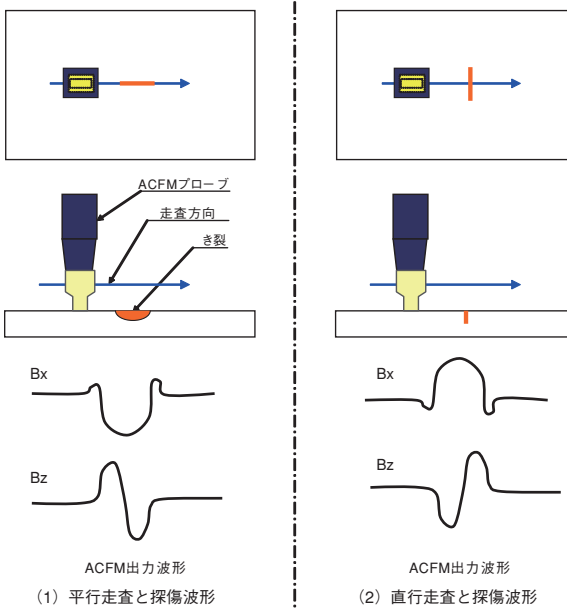


図8 き裂の方向と波形

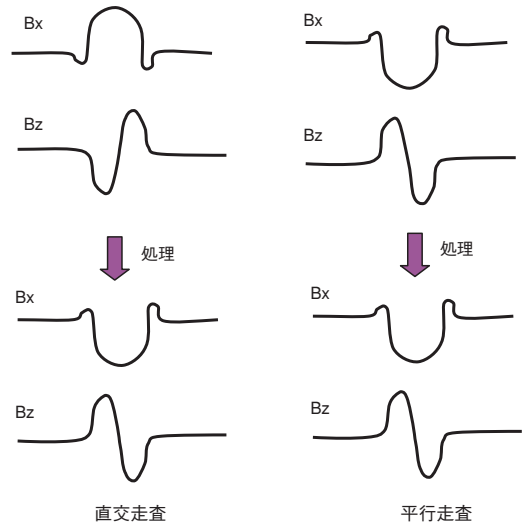


図9 波形変換処理アルゴリズム

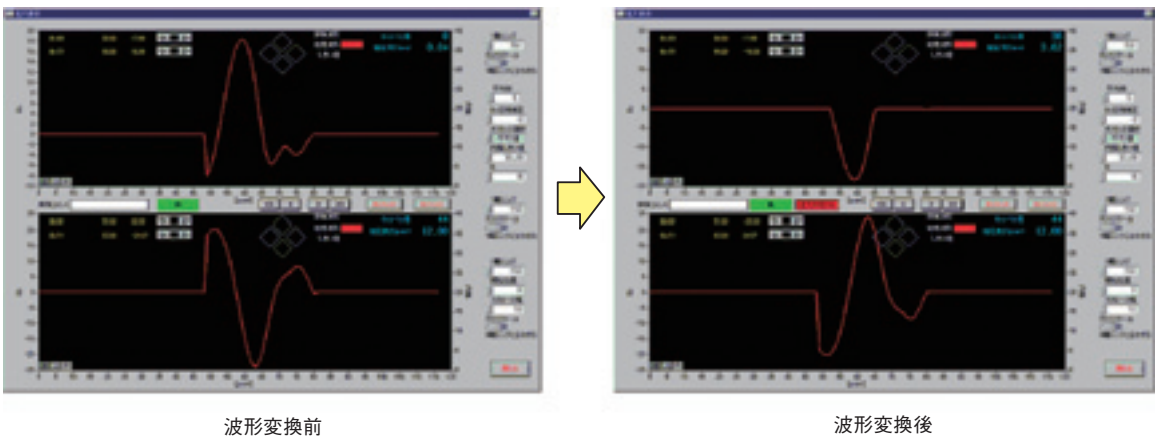


図10 直交走査波形処理前後の波形の比較例

### (3) プローブ

平成16年度は、き裂長さを正確に測定するためにエンコーダーをプローブに装着させ、試験を実施していた。しかし、プローブにエンコーダーを装着することによりプローブ廻りが大きくなり、検査部位を適切な走査および検査することが困難であった。そこで、プローブの走査速度を適正に管理し、き裂有無の判定に重点をおき、エンコーダーを取り外すことにした。この結果、平成17年度はプローブの走査性を改善することができた。また、フィルター処理も従来の単位距離あたりのベクトル積フィルター処理から単位時間あたりのベクトル積フィルター処理に変更したが、同等のフィルター処理効果が得られることを確認している。

以上の改良により、ACFM検査に要する時間を平成16年度の試験と比較して50%程度短縮できた。

### 5.3 リフトオフ以外のノイズ発生条件と対策

平成16年度の試験結果では、ノイズ対策用のフィルター処理でも除去が困難なノイズ信号が発生するケースがあった。このため、発生要因を模擬試験体で確認したところ、図11に示すように周囲の構造物の形状変化によりノイズ信号が発生することがわかった。これは、図12に示すような、構造物の形状変化部分で急激な磁場の変化が生じ、それがノイズ信号として現れたものと考えられる。

この構造物の形状変化による磁場の影響を軽減させるために、プローブへの磁気シールドの適用



図11 ノイズ信号発生部位およびノイズ信号

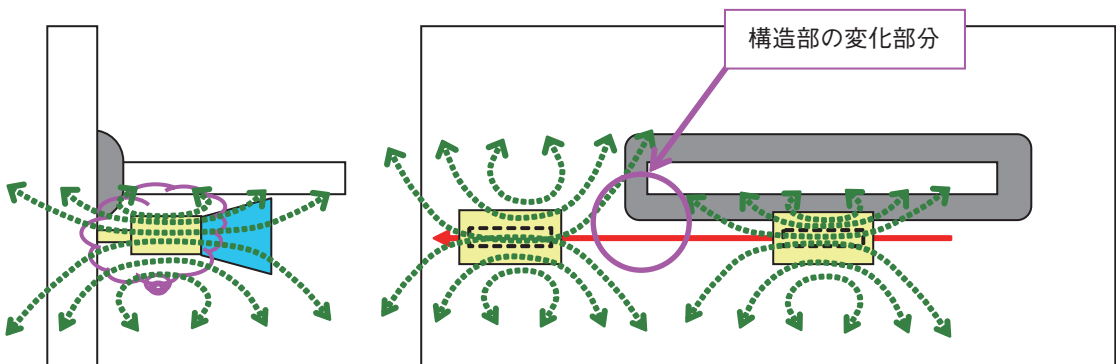


図12 構造部の変化と磁場の变化



を試みた。磁気シールドを図13のようにプローブに装着して、磁気シールドの効果について確認した結果を図14に示す。フラットな信号波形となり、図11で現れていたノイズ信号を低減・除去することが可能となった。

#### 5.4 ベクトル積のしきい値の検証

平成16年度にフィルターしきい値の最適化を検討したが、平成17年度には磁気シールドの効果も含めて検証を行った。模擬試験体にて、塗膜厚さ、磁気シールド厚さ、プローブ走査速度を変えて試験を実施し、それらのベクトル積値から長さ10

mm深さ1mm以上のき裂が検出可能なフィルターしきい値を検証できた。

図15に走査速度とベクトル積値の関係を示す試験結果の例を示す。赤線で示したき裂のない試験体に塗膜のみを施した場合にノイズとして得られたベクトル積値に対し、図中に青線で示したき裂を有した試験体に塗膜を施したもののベクトル値は高く、識別が可能である。特に塗膜厚さ0.5mm以下の場合には、いずれの走査速度においてもノイズとの識別が十分に可能であり、しきい値の妥当性を検証できている。

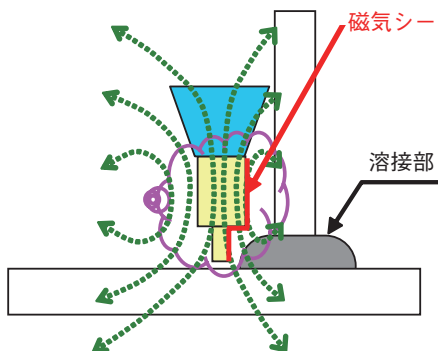


図13 磁気シールド適用



図14 磁気シールド適用時の信号波形  
(図11に示す部位)

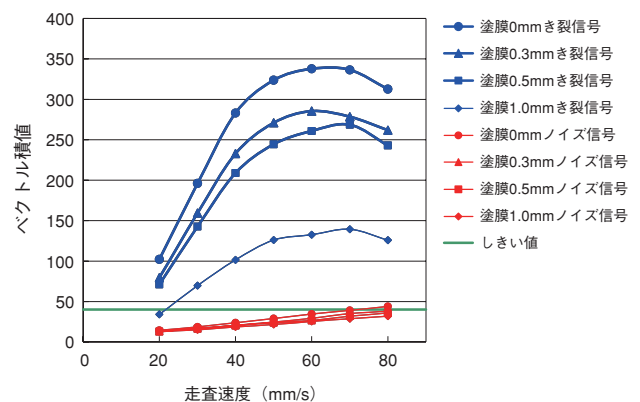


図15 検証結果例

### 5.5 き裂検出能力の磁粉探傷検査との比較

平成17年12月から平成18年3月まで16台のボルスタレス台車枠の162箇所について、塗膜をはがす前にACFM法で検査し、その後に塗膜をはがして磁粉探傷検査を行った。図16にACFM検査の状況を示す。その結果、両検査方法ともに1箇所のき裂を検出して同等の評価が得られた。検出されたき裂の部位と信号データを図17、図18に示す。き裂信号のベクトル積とき裂の大きさとの関係を整理したグラフを図19に示す。0.5 mm厚の塗膜を施した試験片の人工き裂（3～40 mm）

のき裂信号とノイズ信号のベクトル積を示しており、これに、今回の台車枠（最大塗膜厚は0.3 mm程度）のき裂（30 mm）のき裂信号のベクトル積もプロットしている。

試験片では長さ8～9 mmまでのき裂信号がノイズ信号と区別できること、台車枠の30 mmのき裂信号のベクトル積は試験片のき裂信号の場合とほぼ同等であることがわかる。平成18年度も継続してデータを蓄積し、実証試験を継続していく予定である。なお、検出されたき裂は適切に補修され、安全に使用されている。



図16 ACFM検査の状況

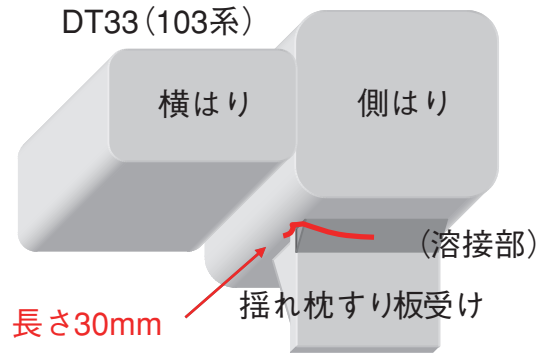


図17 台車枠のき裂の概要

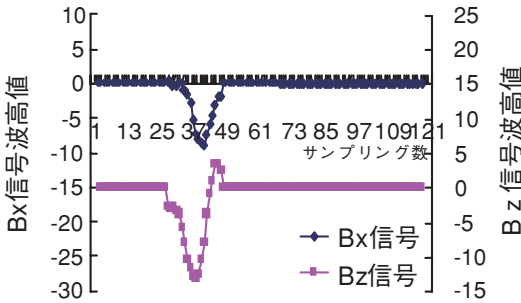
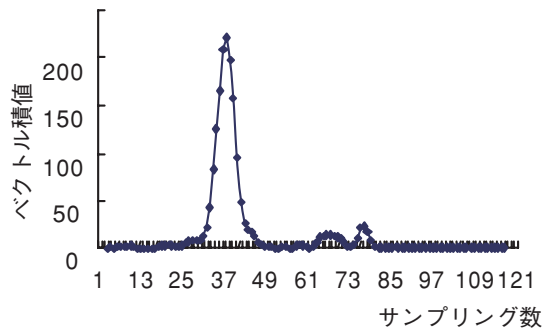


図18 図17の台車枠のき裂のACFM検査の結果



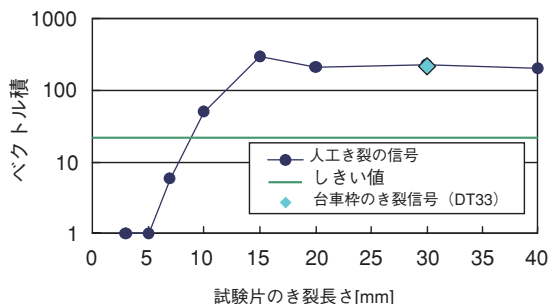


図19.試験片と台車枠のき裂信号のベクトル積

## 6. まとめ

平成17年度の開発成果を以下に示す。

- (1) 装置の小型化による携帯性の改善やプローブの走査性の改善を計り、さらにアルゴリズムの改善によって判定時間を短縮することで、ACFMによる検査時間を短縮できた。
- (2) 構造物の形状変化部分で生じる急激な磁場の変化に伴うノイズ信号を、磁気シールドを用いることで低減・除去が可能となった。
- (3) 長さ10 mm 深さ1 mmのき裂を確実に検出するためのベクトル積フィルターのしきい値を検証できた。
- (4) 開発したACFM法を、16台のボルスタレス台車枠の162箇所に対して磁粉探傷試験と比較したが、両者ともに1箇所でき裂を検出し、同等の評価が得られることを確認した。

## 7. 今後について

塗膜をはがさず容易にき裂を発見する新しい台車枠探傷技術としてACFM検査の基本技術は確立したと考えるが、現場でのデータやそれによる実績が少ないため、現在もデータを蓄積しているところである。今後も検証試験を続けて実用化および適用性拡大に努めていく。

## 参考文献

- (1) 「解説 鉄道に関する技術基準（車両編）」（国土交通省鉄道局監・車両関係技術基準調査研究会編2002）p.341 H13検査告示5条の解釈基準6「台車枠の検査方法について」の別紙第3「台車枠検査マニュアル」の解説
- (2) 同p.346「台車枠検査マニュアル」別添2
- (3) 「溶接台車枠の強度と保守」（長瀬隆夫著 研友社版1999）
- (4) 大黒ほか“ACFMによる台車枠検査技術の開発”，IIC REVIEW/2006/4. No.35
- (5) 特願2006-169486（平成18年6月20日提出）