

イノベ 見て歩き

連載：第15回

社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第15回は、地方鉄道における保線作業の省力化を目指し、営業車両に搭載した3次元加速度センサーを用いた線路の異常検知システム構築に取り組み、茨城大学工学部機械システム工学科の尾畠裕隆准教授を紹介する。

営業車両で線路の異常を検知する 地方鉄道の保線作業省力化に貢献

尾畠 裕隆

Ojima Hirota

茨城大学 工学部 機械システム工学科 准教授
2022年～23年 A-STEP研究代表者

ひたちなか海浜鉄道と協力 実験で0.01ミリの凹凸を検知

鉄道の安全性や信頼性を保つためには、日々の保線作業が欠かせない。新幹線では複数の点検車両が活躍しているが、2024年6月にはドクターイエローの引退が発表された。今後は、営業車に専用の機器を取り付け、営業運行をしながらデータを収集するとしている。これと同じように、茨城大学工学部機械システム工学科の尾畠裕隆准教授は、営業車に搭載した3次元加速度センサーから得たデータを活用して、線路の異常を検知する保線支援システムの開発に取り組んでいる。

日本有数の工業都市である日立市に位置する茨城大学日立キャンパスは、目の前に海が広がるJR日立駅から

車で約15分。産官学共同研究に力を入れており、2018年には研究・産官学連携機構を設置している。今回紹介する尾畠さんの研究も、鉄道関連の企業から同機構に持ち込まれた共同研究がきっかけだった。新幹線のように点検車両を持たない地方鉄道では、作業員が1日10キロメートルにも及ぶ徒歩巡視によって目視や打音で懸念箇所を見つけ、線路を補修している。しかし、熟練技能者の高齢化や人材不足、保線費用の増加に悩んでいる地方鉄道は少なくない。

こういった背景から、研究・産官学連携機構内で作業員の負担軽減を目指した基礎実験が始まった。協力を得たのは、県内の第三セクターであるひたちなか海浜鉄道。終点近くの国営ひたち海浜公園の観光需要から、第三セクターには珍しく公園

に向けて、本格的な研究を始める際に声がかかったのが、尾畠さんだった。

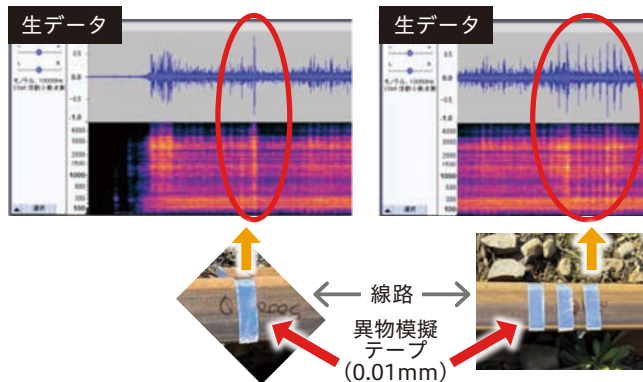
ものづくりを支える技術を継承 機械系が参加、ファンの学生も

情報通信や機械力学、画像処理を専門とする尾畠さんは以前、宇宙ロケット部品などを超精密加工している企業と共同で、切削加工における工具の異常検知システムを開発した経験があった。従来、工具の異常は現場で使用する技術者が音や振動の変化などから察知していた。摩耗が進んだ切削工具で加工を続けると、高価な工作物を損壊してしまう恐れがあるが、工具自体も高価なのでできる限り長く使いたい。その見極めができるベテラン技術者が減ってきていることもあり、工具の異常を自動で検知して現場をサポートする技術を開発できないかという依頼だったそうだ。

尾畠さんらは、切削に伴う音や振動、力などをセンサーで測定。工具が壊れる予兆となる異常信号をAIで検知できるシステムを導入し、工具の寿命を20～30パーセント伸ばすことに成功した。「工具の異常検知と保線支援では、同じシステムがそのまま使えるわけではありません。しかし、ものづくりを支える技術の継承という多くの現場で苦労されている問題を、機械学習やその他の解析手法で数値化することでサポートしていく、

入口までの延伸計画が進んでおり、2030年の開業を予定している。実験では、同鉄道が所有するトロッキに搭載した加速度センサーで、0.01ミリメートル程度の線路面の凹凸を検知できることを確認した(図1)。実用化に

図1 ひたちなか海浜鉄道での基礎実験



加速度センサーを搭載したトロッキに、厚さ0.01ミリメートルの異物模擬テープを貼った線路を走行させた。前後・左右・上下方向の加速度の変化を解析処理することで、線路面の異常や走行状態の違いを明確化できることを確認した。

図2 データ収集装置のプロトタイプ



加速度センサー(右上)とデータ収集装置、車両位置を記録するGPS受信装置を一体化した装置を製作(下)。製作開始時はビデオカメラを搭載して車両位置の特定を試みたが、検討の末GPSに変更した。

というテーマは共通しています」。

こうした経験もあり、尾鷲さんらは2022年にA-STEPのトライアウトに応募し、採択された。研究メンバーには、さまざまな専門領域を持つ機械システム工学科の教授・准教授に加え、研究室に在籍する鉄道ファンの学生も参加。また、タグを組んだひたちなか海浜鉄道も研究に前向きな姿勢だったという。「キックオフミーティングには、吉田千秋代表取締役社長にもオンラインで参加していただきました。何事にも前向きな方なので、今回の研究も快く受け入れていただけたのだと思います」と尾鷲さんは当時を振り返る。

座席下に収まる装置を製作 作業者の負担低減に手応え

研究開始後は、実際に営業車両に加速度センサーを搭載し、走行時のX軸、Y軸、Z軸の加速度信号をリアルタイムで計測した。それまでの実験結果から、線路面の傷に関してはZ軸方向の加速度が顕著に変化することが判明していた。そこでZ軸方向の加速度の時系列データを解析し、点検すべき区間がどこなのかを示すことで、徒歩巡視作業の省力化を図ることを目指した。実車搭載装置の開発では、実際に尾鷲さんと学生が営業車内で設置場所を検討し、座席下のスペースに納まるコンパクトなプロ

トタイプを設計・製作したという(図2)。

装置完成後は、実際に走行する車両に搭載し、一往復分の時系列データをメモリーカードに記録。それを回収してデータを解析した。線路の異常検知で難しいのは、鉄道路線には踏切や鉄橋、分岐ポイントなどの地形的な変化があることに

加えて、駅の進入・発車時やカーブなどで列車が加減速することだ。さらに、季節や天候による線路の変化もある。それらの影響がデータに加わるために、線路面の凹凸による加速度変化だけを異常として抽出するのが難しい。

そこで、尾鷲さんらは取得したデータを時系列信号処理手法の一つである「HHT解析手法」を用いて分析。異常度の分類には「マハラノビス距離」が使えないか検討した。これは統計学で用いられる距離の尺度であり、多次元データの解析において異常値や外れ値の識別に有効である。踏切や列車の加減速の影響も含めて、日々の走行で得られるデータを蓄積・機械学習させることで、基準となる「正常データ」の範囲を確定し、この正常データと当日のデータを比較する

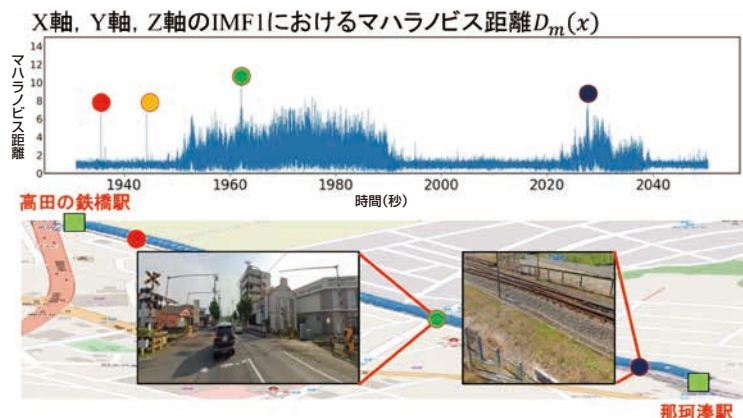
ことで、正常データから外れた距離、つまり「異常の程度」を数値化することができると考えたのだ(図3)。

「今回のプロジェクトを通じて、コンパクトなシステムで異常箇所と異常度を同時に特定し、点検すべき場所を示すことができると実証できました。今後、実車実験を継続的に行ってデータを積み重ね、解析方法もさらに検討していくことで、より精度の高い異常検知システムが実現できると考えています」と尾鷲さんは成果の手応えを語る。このシステムは運用やメンテナンスも容易なことから、実現すれば全国で40社を数える地方第三セクター鉄道をはじめ、地域の足として欠かせない鉄道の安全性や信頼性の確保に貢献することが期待される。

もちろん、最終的な線路の異常判断は現場での目視などによる確認が必要だ。「ですが、この支援システムで作業員の負担を軽減させることで、少しでも現場の方々の助けになればと思います」と尾鷲さんは強調する。また、加速度センサーによる異常検知は、振動データが取れるものなら幅広く応用可能だ。今後は、工作機械をはじめ高速道路や橋梁の健全性評価への適応も検討している。さまざまなものづくりへの連携に向けて、尾鷲さんらの挑戦はまだ始まったばかりだ。

(TEXT: 森部信次, PHOTO: 石原秀樹)

図3 高田の鉄橋駅—那珂湊駅間での試験走行結果



解析の結果、マハラノビス距離が大きくなった箇所を丸で示している(上)。このうち、緑丸の箇所は踏切、紺色丸の箇所は線路の分岐ポイントがあり、線路のがたつきによりマハラノビス距離が大きくなった可能性がある。このように、さまざまな場合の走行データを蓄積・機械学習することで「正常データ」を確定させ、そこに新しいデータを重ねた際に異常なマハラノビス距離が示されたら、そこが要点検箇所となる。