

AIを用いたモータ摺動部の異常検知システムの開発

企画指導部 ○笠原竹博 機械金属部 高野昌宏 吉田勇太 電子情報部 奥谷悠典

1. 背景と目的

近年、製造装置の稼働監視や予防保全の重要性が高まっており、異常検知技術の高度化が求められている。特に、自動化装置や精密加工装置に使用されるリニアモータにおいては、わずかな振動や摺動抵抗の変化が製品の品質や装置の寿命に影響を及ぼすため、これらの変化を早期に捉える技術の確立が重要である。

これまでの異常検知では、FFT 解析や波形パターンの比較など、人手による定性的判断に頼る場面も多かったが、近年の AI 技術の発展により、深層学習を活用した自動異常検知が可能となりつつある。中でも、自己教師あり学習であるオートエンコーダは、正常データの特徴を自己再構成することにより、異常データとの誤差から異常スコアを導出できる点で注目されている。

本研究では、リニアモータのステージ座標データに着目し、オートエンコーダを用いた異常検知手法の評価を行った。特に実験環境においては、意図した摺動抵抗を再現性高く付与することで任意の異常状態を模擬し、正常時および異常時のデータを取得して比較することで、本手法の有効性を検証した。

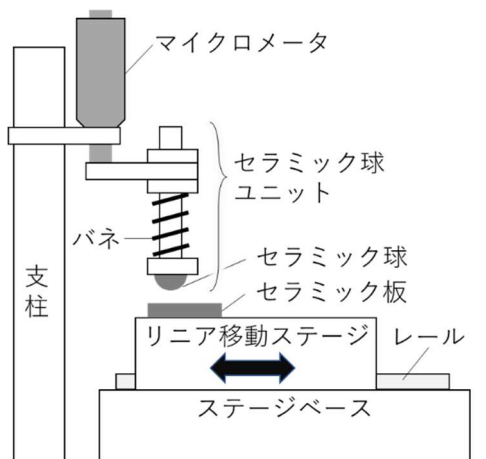


図1 摺動抵抗付与構造概要

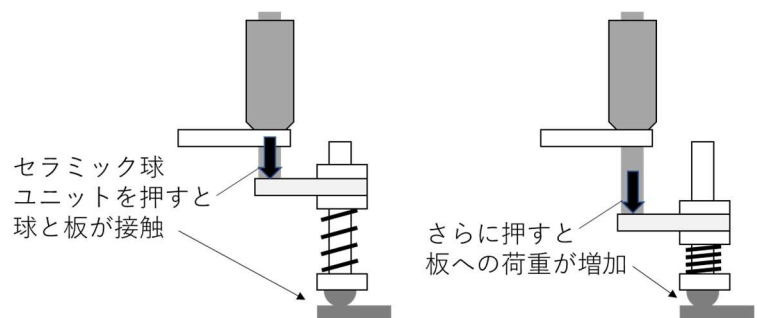


図2 摺動抵抗増加の仕組み

2. 内容

2.1 実験環境とデータ取得

対象装置は、ステージベース、レール、リニア移動ステージ（以下、ステージ）からなる横方向のリニアモータを設置している。ステージ上には滑らかなセラミック板を設置してある。またセラミック球とバネを装着したセラミック球ユニットを作製し、これをマイクロメータによって精密な上下移動を可能とする構造をセラミック板上方に設置する（図1）。マイクロメータでセラミック球ユニットを押し下げるとセラミックの球と板が接触し、さらに押し下げると板への加重が増加する構造となっている（図2）。このような構成をもつ摺動抵抗付与構造を用意し、ステージへの摺動抵抗を再現性高く付与できる実験環境を作製した。

この装置において、ステージを5秒間で100Hzから500Hzまで到達させ、次の5秒間で再び100Hzに戻る、合計10秒の周波数スイープ動作を行わせ、その際のステージ座標を10kHzのサンプリング速度で記録する。なおステージはクローズド制御を行っていないため、摺動抵抗によってステージ座標に誤差が生じることとなる。事前実験によってセラミック板への荷重が無いときには、ステージの摺動抵抗は238.3mNであること、またセラミック板と

球が接触すると22.6mNの抵抗が増加し、接触後はマイクロメータが1mm押し込まれるごとに摺動抵抗は11mN増加することがわかっている。このような環境にて、セラミック板と球が接触していない状態（すなわち正常な状態）と、セラミック板と球が接触した状態、またマイクロメータによって0mmから11mmまで0.5mmごと段階的に押し込んだ状態（すなわち異常な状態）で、上述のスイープ動作を行わせて、ステージ座標を記録した。

2.2 特徴量の算出と学習手法

取得された10秒間のステージ座標データは、データ数が4096点となる約0.4秒間ごと25個の区間に分割される。これにより、第1区間は約100Hz～140Hzの周波数、第2区間は約140Hz～180Hzのスイープ動作のデータが含まれることとなる。このように分割した4096点の時系列データから特徴量を抽出する。具体的には、以下の136次元ベクトルを特徴量とする。

(1) 時間領域特徴量（8次元）：平均値、分散、ピーク値などの統計量（参照[1]）

(2) 周波数領域特徴量（128次元）：FFTにより算出された周波数スペクトル

これらの特徴量を入力とし、出力が同じ値となるようにオートエンコーダに学習させる。学習時には正常データのみを使用し、学習後、正常・異常両データに対して自己再構成を行い、入力と出力との差の二乗平均平方根（RMSE）を異常スコアとして評価する。

2.3 実験結果

25個の区間のうち、第5区間である260～300Hzでは、精度100%に加えて、摺動抵抗が増すにつれて異常スコアも増大する、スコア順序性が高い結果が得られた。図3に、第5区間の異常スコア結果を示す。

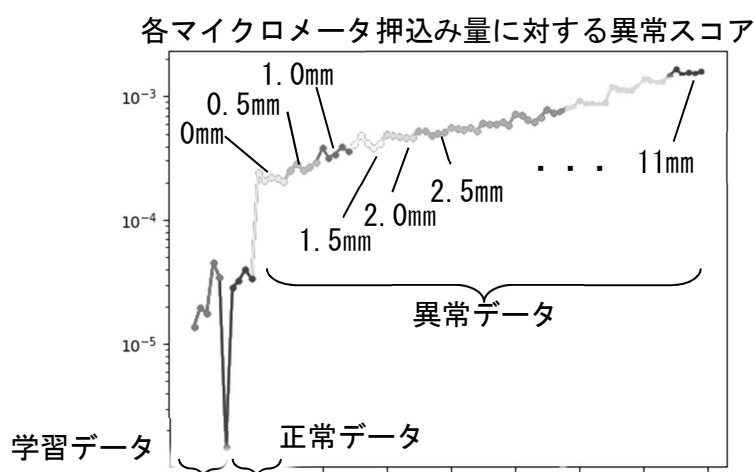


図3 第5区間（260～300Hz）の異常スコア

3. 結果と今後の展望

分析の結果、以下の点が明らかとなった。

(1) 正常な状態のステージ摺動抵抗 283.3mN に対して、+22.6mN(～9.5%)の摺動抵抗増加異常を検知することができた。

(2) 特に、260～300Hzの区間では、高い精度と良好な異常スコア順序性が得られた。

これらの結果から、オートエンコーダによる異常スコア出力が、摺動抵抗の増加という微小な機械的異常に対しても検知可能であることが示された。

本手法は、既存のステージから追加設備なしでステージ座標を取得する仕組みを構築するだけで導入可能な手法であり、既存製造ラインへの応用展開も期待される。AIを用いた状態監視により、保全業務の効率化・製品品質の安定化に寄与していきたい。

[1]Guo, L. Gao, H. Huang, H. He, X. and Li, S.. Multifeatures fusion and nonlinear dimension reduction for intelligent bearing condition monitoring. Shock and Vibration, 2016, vol. 2016 no. 3, p. 1-10.