

列車走行音を活用した軌道状態の異常検知に関する基礎研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○清水 彰久
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 山本 修平
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 元好 茂
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 久保 崇紀

1. はじめに

検査や巡視等にて定期的に軌道状態を把握し列車走行安全を確保しているが、軌道状態の異常箇所においては、各検査、巡視結果に加え車両通過時の異常音を感覚的に検知し、異常箇所を把握している。しかしながら、異常箇所把握は、経験や感覚に基づく判断となっており、これを定量的に判断することができれば異常箇所の絞り込みなど業務の効率化を図ることができると考えられる。

本研究では、継目ボルト緩み、締結ボルトの緩みに焦点をあて、走行車両で収録される車内音に対し、周波数解析による異常音検知を試みる。

2. 実施概要

2. 1 異常模擬

継目板ボルト及び締結装置 (PC3 号 5 型) のボルト緩解し、異常を模擬した。緩解時の金属音を列車走行音により把握できないか検証を行った。



図1 継目板ボルト (左) 締結装置 (右)

2. 2 収録条件

収録の構成を図2に示す。GPSにて位置情報の取得を行い、SN比良化のためオーディオIFを通して、マイク (サンプリング周波数 44.1kHz) にて車内台車直上にて集音を行った。

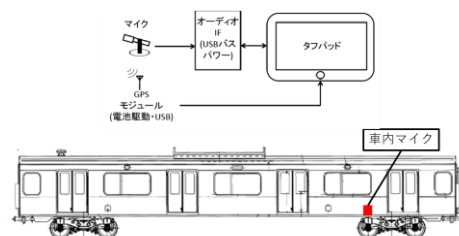


図2 収録構成

3. 周波数解析手法

継目板ボルト緩解箇所において、周波数解析を実施した。継目箇所の振幅のピークを中心に hamming 窓を乗じてフーリエ変換、対数変換しパワースペクトルを求めた。なお、余計な環境音などが混合しないよう、抽出時間は 0.3 秒と設定した。

締結装置箇所においては、位置特定後、同様に周波数解析を実施した。位置特定は、GPS 情報にて概ね收音位置を把握後、振幅応答が大きくなる溶接箇所と設備データ位置の照合を行い、列車速度から換算することで正確な締結ボルト緩解位置を特定した。

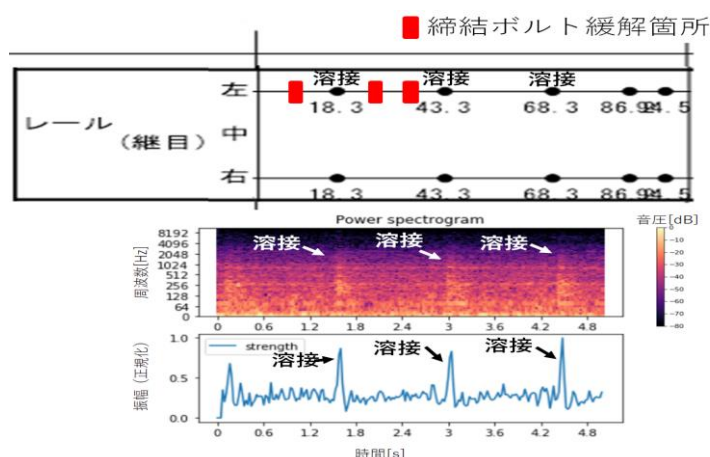


図3 締結装置ボルト緩解箇所特定

キーワード 列車走行音, 異常検知, 隠れマルコフモデル

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 東日本旅客鉄道株式会社 TEL 048-651-2389

4. 実施結果

異常模擬箇所（継目箇所）において，正常音（締結箇所）と異常音（緩解箇所）の対数スペクトルの結果（図4）を比較すると約2～2.5kHz帯にて突出している傾向がある．これより，特定の周波数帯域から継目ボルトの緩みの推定が期待できる．周波数のピークがずれているのは，列車通過速度変化の影響が考えられる．

異常模擬箇所（締結装置箇所）においても同様に比較を実施したが，有意な差はなかった．緩解箇所の音（板バネの可動音）が微小で列車走行音に埋もれ収音できなかった可能性が考えられる．

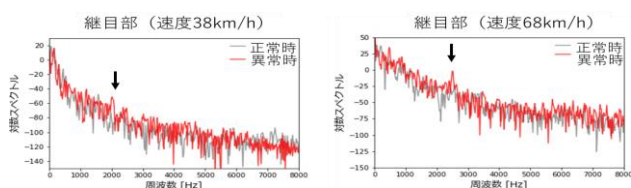


図4 継目板ボルトスペクトル解析

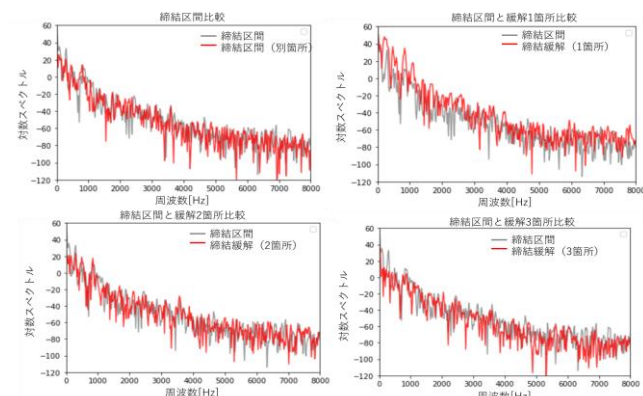


図5 締結装置ボルトスペクトル解析

5. 異常検知手法の検討

隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model ; 以下 HMM) は，非線形の時系列パターン認識に優れており，音声認識の分野で用いられている．^[1] 状態（異常の有無）を表す確率を直接観測することができない（隠れている）状態に対し，出力信号から状態の変動を確率的に起こっているとし，特徴量（周波数成分）の最大尤度推定を用い状態を推定する手法である．HMM の状態数を N としたとき，状態遷移確率 $A=\{a_{ij}\}_{N_i,j=1}$ ，各状態 i での出力確率 $B=\{b_i\}_{N_i=1}$ となり，状態が $Q=\{q_1, q_2, q_3 \cdots q_T\}$ と遷移して出力ベクトル系列（特徴量） $O=\{O_1, O_2, O_3 \cdots O_T\}$ が出力される確率は，遷移確率と各状態での出力確率を掛け

合わせることで与えられる

$$P(O|\lambda) = \sum_Q \prod_{t=1}^T a_{q_{t-1}q_t} b_{q_t}(O_t) \quad \dots(1)$$

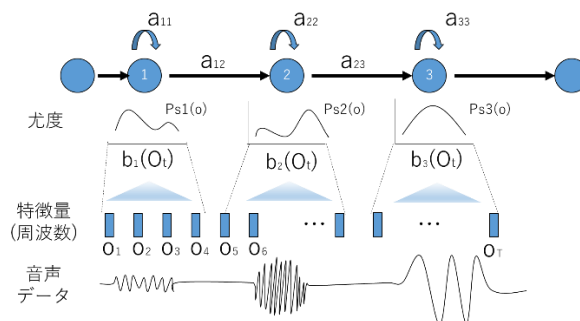


図6 隠れマルコフモデル (HMM)

本研究では，継目板ボルトの正常音と異常音を混合した音に対し，HMM による異常検知の検証を行った．状態数 4 つの条件にて，時系列ごとに状態数がどのように変化をするか確認した．（図7（左））継目板ボルト緩みの周波数帯（約 2.5kHz）である箇所においては，HMM の状態3が示されている．状態3は，約 2kHz をピークに持つ周波数分布を示しており（図7（右）），HMM から異常音の検知ができる可能性を示すことができた．今回は，簡易的に正常音と異常音を組み合わせたモデルにて検証を行ったため，今後はサンプル数を増やし検討していく必要がある．

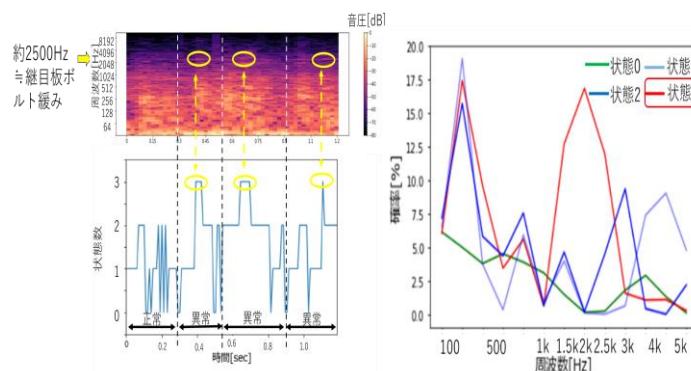


図7 HMMの状態推移（左） 状態の周波数分布（右）

6. おわり

本研究では，継目板ボルトと締結装置ボルトを緩解することで異常を模擬し，継目板ボルトに関して HMM による異常音検知の可能性を示した．今後は，サンプル数を増やし，本手法の妥当性の検証を行う．

参考文献

[1] 徳田：隠れマルコフモデルによる音声認識と音声合成，IPSJ Magazine, Vol. 45, No. 10 Oct. 2004