

第12回

状態監視振動診断技術者コミュニティ

トポロジカルデータ分析による振動データ評価手法の紹介

東芝エネルギーシステムズ株式会社

2022.10.14

日隈 幸治

01 背景と目的

02 回転機診断へのトポロジカルデータ分析適用

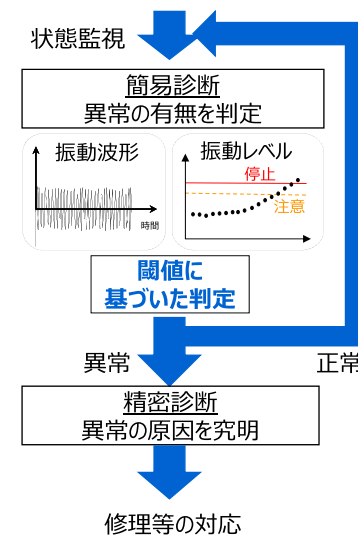
03 検証の例

04 まとめと今後

01

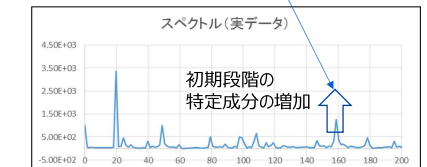
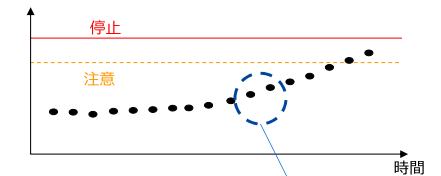
背景と目的

背景と目的



簡易診断

- 従来はOA値の閾値（ISO, 経験値）
- OA値以外の判定⇒徴候の初期段階で検知
オンライン回転体診断装置などで、成分ごとの閾値を試みたが、運用不可



背景と目的

- 問題点
 - 監視対象が多い
 - 簡易診断でスペクトルを確認するのは労力大
 - 感度の高い閾値設定はスキルに依存、誤検知も増加
 - 次数成分やベクトルに閾値を設定したことがあるが煩雑で運用不可



＜自動化による異常有無判断の支援＞
自動でスペクトルを確認するのと同じ効果を得たい

機械学習によるデータ分析を適用

© 2022 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 5/30

02

回転機器診断への トポロジカルデータ分析適用



© 2022 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 6/30

トポロジカルデータ分析（TDA）

トポロジカルデータ分析（TDA : Topological Data Analysis）

○大規模な多次元データに対して、統計的な特徴ではなくデータの位相幾何学的な情報（データの形）に注目してデータの特徴を分析する

○データの定性的な分析、単純化、視覚化に適している

TDAには①パーシステントホモロジー（Persistent homology）と②マッパー（Mapper）の2種類の手法がある

© 2022 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 7/30

トポロジカルデータ分析（TDA）

マッパー

○データを把握する上で重要な部分をまとめて1つのノードとし連続したデータのあるノード間をエッジとして繋ぎ、データの集合をグラフに変換することで、ユーザが理解しやすいようにデータを可視化できる。

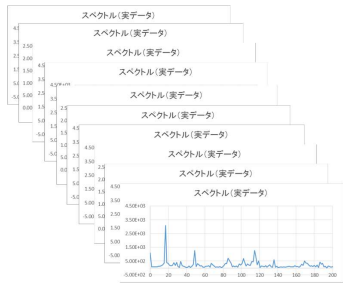
振動診断への応用

○同一条件で採取した振動のスペクトルを多次元データとして捉え、その多次元空間内の分布の特徴（＝個体差を含む機器の振動の特徴）を低次元（通常見やすい2次元）に投影して、視覚化することで、変化を捉えやすくする。

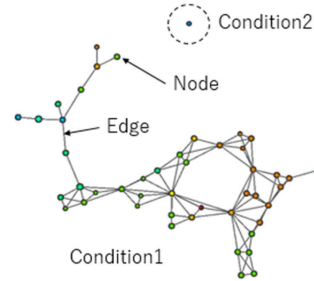
© 2022 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 8/30

トポロジカルデータ分析 (TDA)

① 複数のスペクトルデータ



② 位相的特徴に着目してスペクトルの類似を分類



○と線でデータの分類が表現される
他のデータと類似性がないデータが入ると独立した○であらわされる

スペクトルの類似を視覚化

トポロジカルデータ分析 (TDA)

処理の流れ

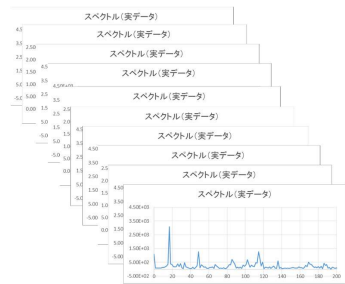
- ① データ入力 (多次元のデータを入力)
- ② マッピング
- ③ カバー
- ④ クラスタリング, ノード化
- ⑤ 可視化

トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

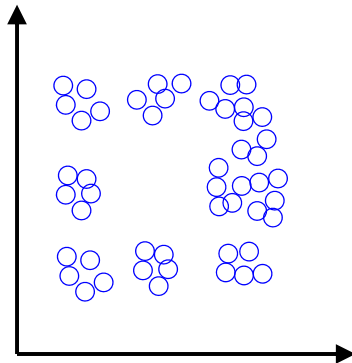
① データを用意

振動データ⇒多次元のデータが多数



② データを低次元データにマッピング (投影)

この場合は2次元



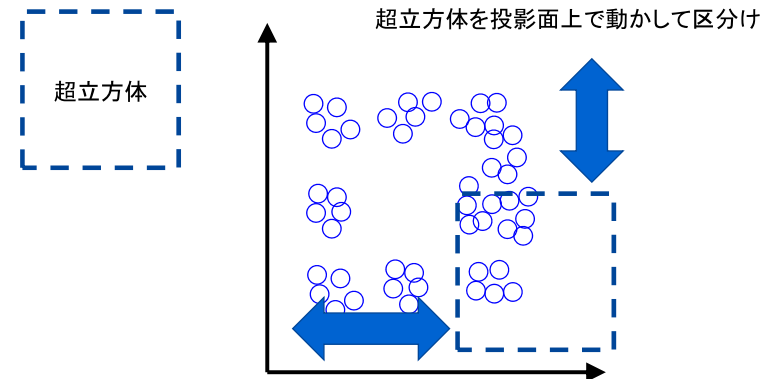
投影 (マッピング) のための関数をレンズという

トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

③ 投影したデータをインターバルと呼ばれる超立方体でカバーしBinに区分け

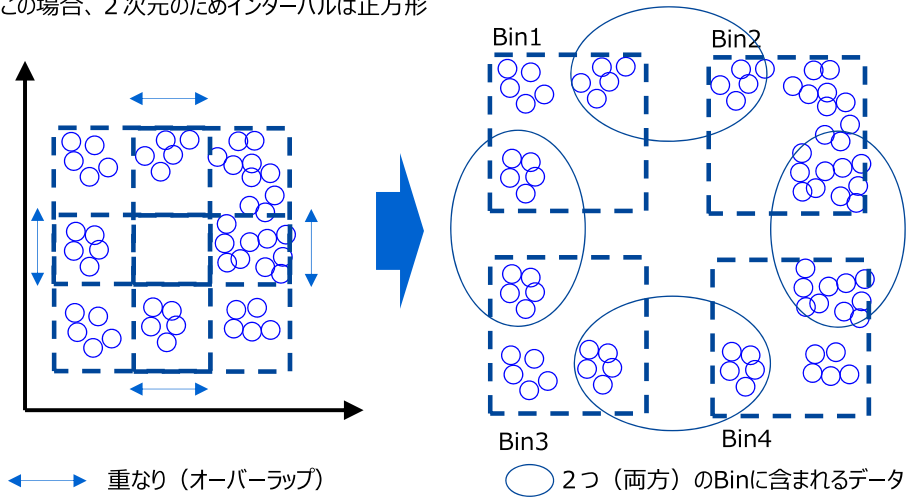
この場合、2次元のためインターバルは正方形



トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

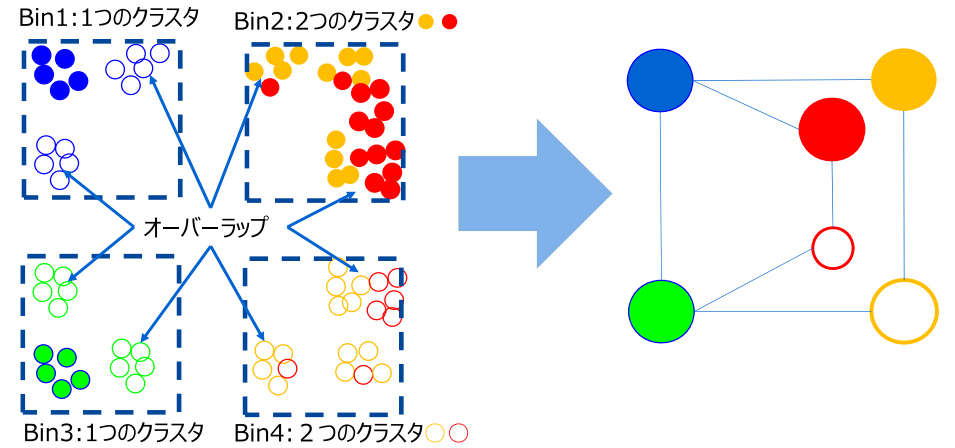
- ③ 投影したデータをインターバルと呼ばれる超立方体でカバーしBinに区分け
この場合、2次元のためインターバルは正方形



トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

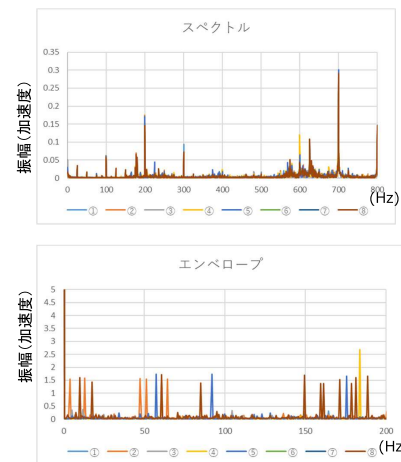
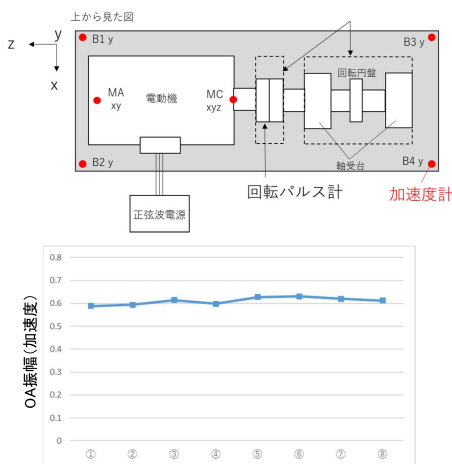
- ④ 各Binの中でクラスタリング (距離を指標に同じBinに含まれていても遠いものを分類) し、ノードを生成
⑤ 可視化
クラスタ⇒ノード
オーバーラップ⇒エッジ



トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

- 【振動スペクトル分類例 (実験データ)】
・8個の実験データを分類

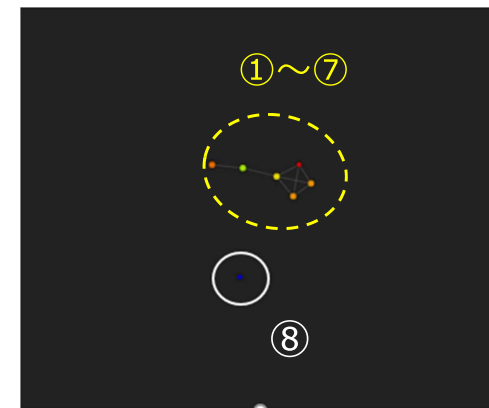


トポロジカルデータ分析 (TDA)

トポロジカルデータ分析 (TDA : Topological Data Analysis) の原理に基づく説明

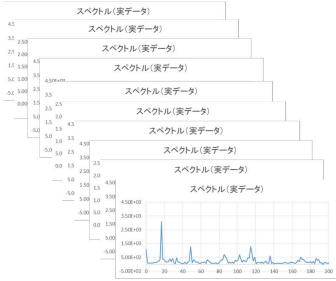
- 【振動スペクトル分類例 (実験データ)】

OAではほとんど同じ値のデータをスペクトルの特徴で自動分類
⇒簡易診断で運用可能

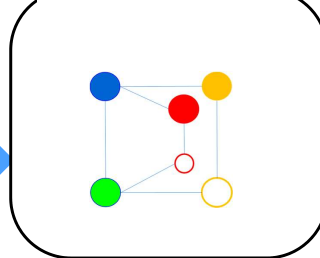


実機データ適用手順

正常範囲のモデル化



TDAによる解析結果



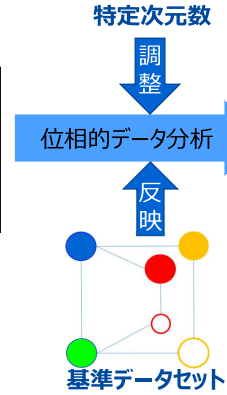
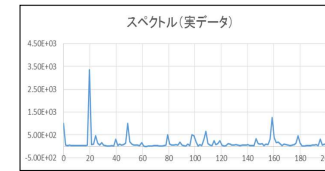
正常なデータセットでグラフを作成
⇒設備機器が“正常な状態”の
分類モデル⇒基準データ

特許第6641056号

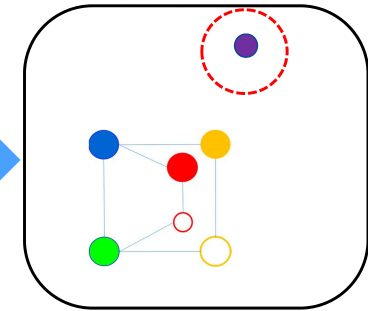
実績データを用いて評価基準を生成

実機データ適用手順

新規データ採取



新しいデータが以前のデータと
似ていない!



特許第6641056号

簡易診断で採取したデータを判定可能

実機診断における効果

○従来、重要回転機のオンライン回転体診断装置において、OA値に対する閾値以外に次数成分やベクトルに対して個別に閾値を設定したが、閾値の調整が煩雑で事実上運用不可能。



○本手法では、閾値不要で実データの周波数成分の特徴に着目した分類が可能、運用も容易。

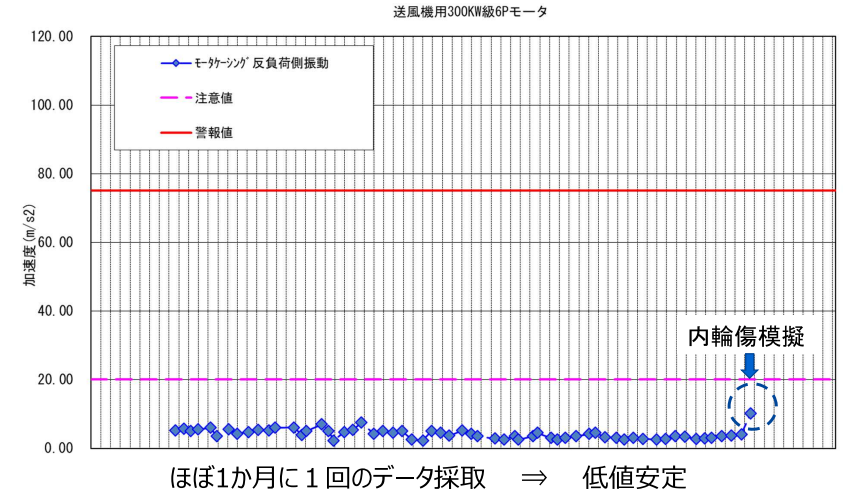
03

検証の例

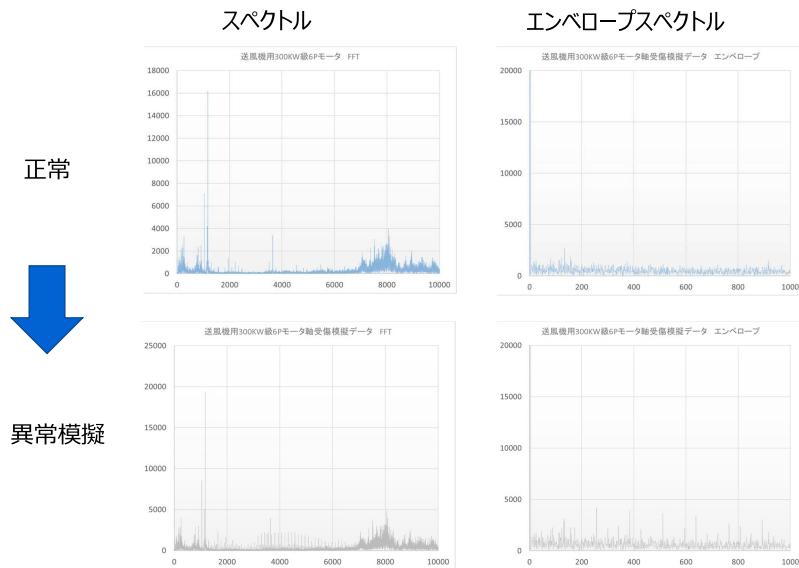
検証の例

- 模擬データ
状態監視で採取したデータに異常を模擬した波形を重畳し、判別できるか検証
- 実データ
実機で発生した異常事象を早い段階で検知できるか検証

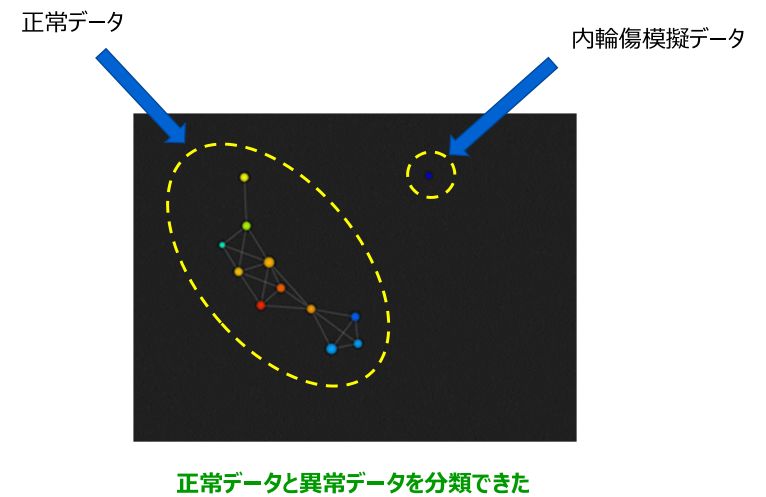
検証の例（内輪傷を模擬）



検証の例（内輪傷を模擬）



検証の例（内輪傷を模擬）

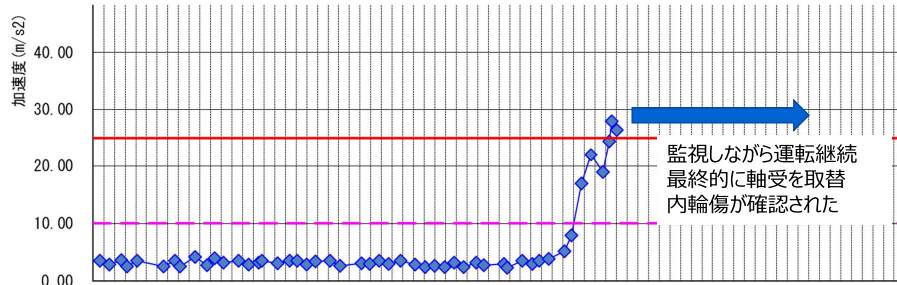


検証の例（実データによるシミュレーション）

過去の軸受トラブル発生時のデータを用いて、実運用状態を模擬して検証

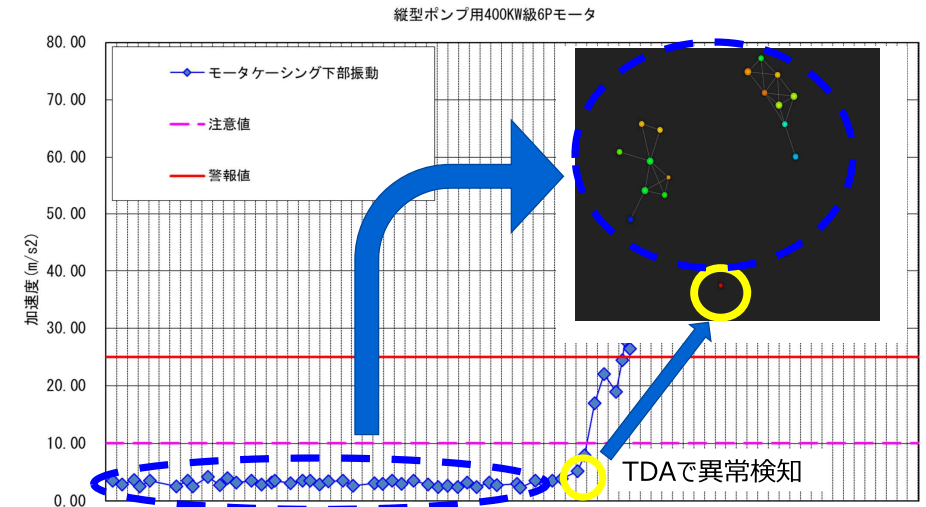
- ①正常時の古いデータを一定数用いて学習し正常モデル作成
- ②その後のデータを古いほうから1点ずつ増やしていき、どの時点で検知するか確認

対象は縦型ポンプ用のモータ（400KW 6P転がり軸受）



ほぼ1か月に1回のデータ採取で低値安定から急に振幅増加

検証の例（実データによるシミュレーション）



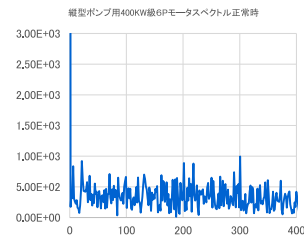
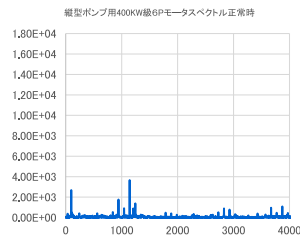
左側（古いデータ）から順にTDAに投入

検証の例（実データ）

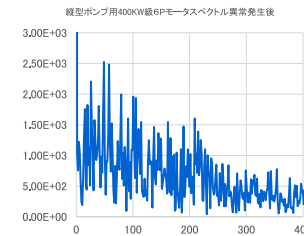
スペクトル

エンベロープスペクトル

正常



異常検知



04

まとめと今後

まとめと今後

- 回転機の簡易診断のため、トポロジカルデータ分析による正常と異常の判別可否について評価
- 本手法は閾値を要しないため、運用は容易
- 様々な機器に展開し、適用評価中
- 回転機の振動以外にも適用するため伝達関数診断への拡張も開発中
- お客様に提供できるパッケージを開発中

TOSHIBA