時系列データ（音）によるAIを用いた状態診断の検討（その2）

日本保全学会第20回学術講演会
監視診断①　D-2-1-4

株式会社IIU
〇中筋 俊樹　角皆 学　宮 達夫

※本講演は、
日本保全学会 状態監視技術高度化に関する調査検討分科会(CMT分科会)
第9フェーズ：2022/2023年度
（ーこれまでに検討してきた技術の評価及び状態監視技術の高度化ー）
の検討成果です。

株式会社IIU
〒110-0008
東京都台東区池之端2-7-17井門池之端ビル7F
TEL : 03-5814-5350
FAX : 03-3827-0682
URL : http://www.iiu.co.jp

CMT第9フェーズ後半(2023年度)での検討内容

第9フェーズ前半（2022年度）では、これまでに高度化できていなかった異常診断について、よりディープなネットワーク構造を持つAIモデル（例えば、環境音分類AIなど）を用いた異常診断を検討し、有用性が示された。

また、評価WGの結論として、音響診断に有用性があること、実機での状態監視の検証やノイズによる診断精度の低下といった課題があげられた。

そこで、2023年度は、実機音響測定データに対して、これまで検討した異常検知手法の有効性を検証する。さらに、実機測定時のノイズと対応方法（ノイズ除去）についても検討を行う。

具体的な検討事項

- 実機音測定データにおける状態診断（異常・運転状態変化）の有効性検証
  ※手法は、AIによるものも含めてこれまでに検討してきたものをいくつか利用
- ノイズ除去による音響診断精度向上の検討
  ※実機測定で生じた問題に対処する

実機測定について

対象：某原子力発電所で稼働中の機器（計5台）

※対象機器の近傍に設置されたB系は、通常停止機器の為、測定対象外とする。

測定時間と頻度

- 1か所あたり5分、月2回
- 2023年9月6日～

測定機器

- ZOOM H3-VR



→録音後、機器の方向の音を抜き出す

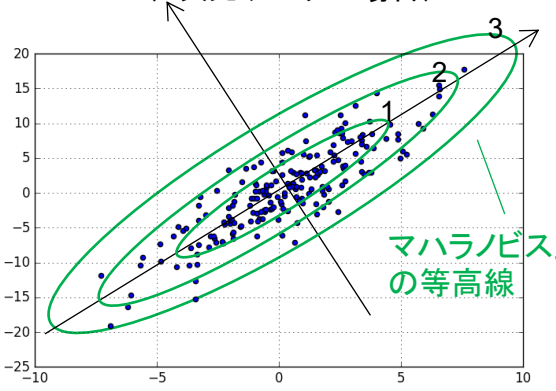
音響分析方法　−音圧レベルとAIを利用−

以下の2つの時系列変化を取り扱うこととする

- 音圧レベル　→ 音量変化を監視
- 異常度（機械学習モデル：マハラノビス距離）

→ いつも（正常）の音と測定音の違いを
　周波数スペクトル情報を使って定量化して監視

マハラノビス距離のイメージ
（2次元データの場合）



マハラノビス距離　$D(\boldsymbol{x}) \equiv \sqrt{(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\mu})^{\mathrm{t}}\mathrm{S}^{-1}(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\mu})}$

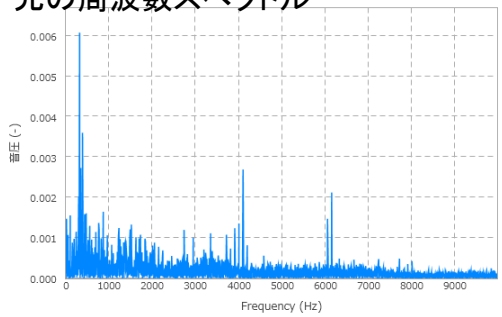
S：教師データセットの分散共分散行列
μ：教師データセットの中心ベクトル

※本検討ではマハラノビス距離の2乗をベクトルの次元で割った値を評価している

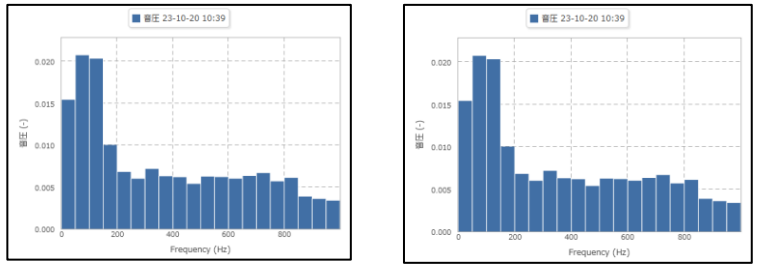
特徴ベクトル：周波数スペクトル情報とする

1サンプルを構成するベクトルは、0～1000Hzの周波数スペクトルを粗い周波数分解能に変換したものとした。

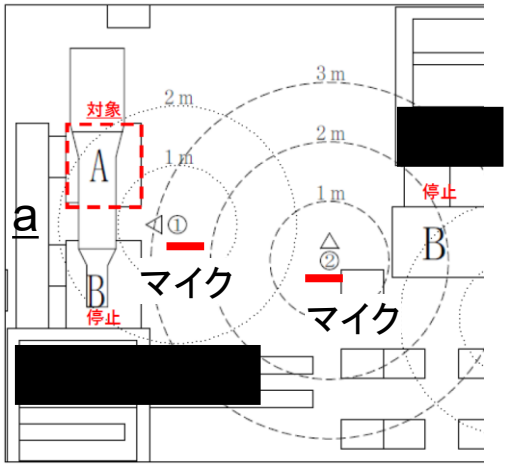
元の周波数スペクトル



学習用、周波数スペクトル形状（20次元ベクトル）

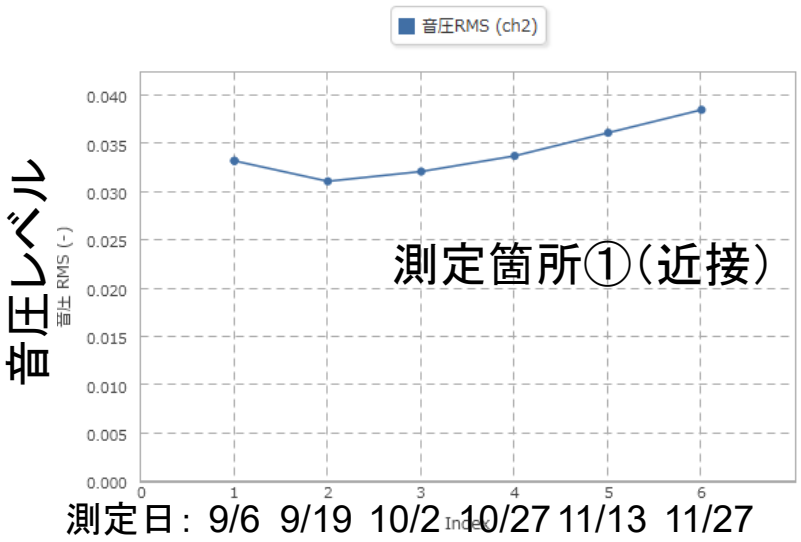


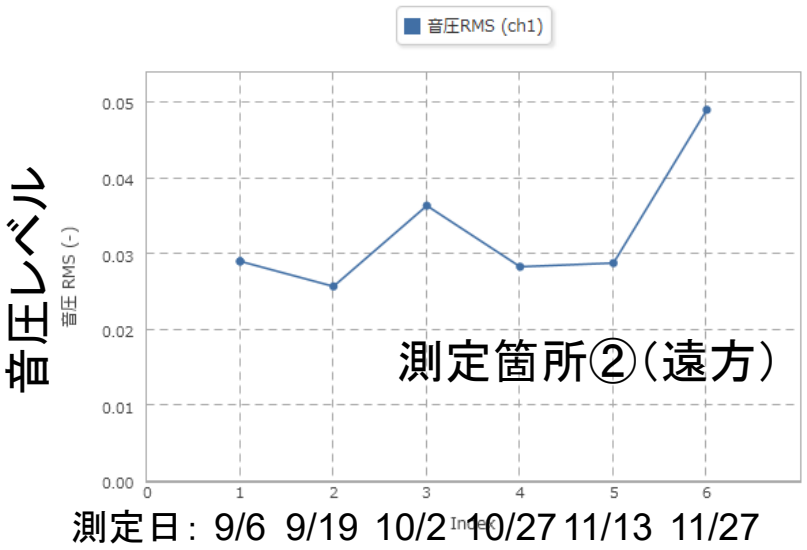
機器a（ファン）音圧レベルのトレンド



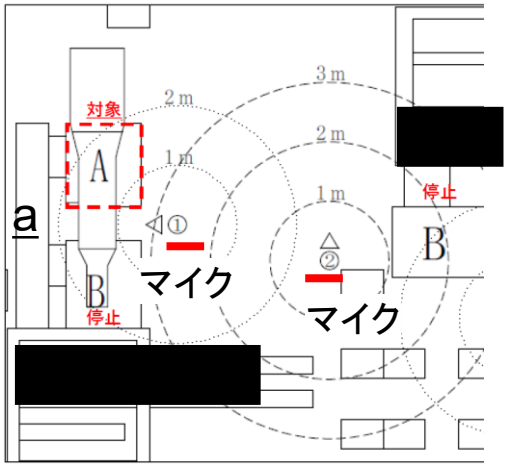
Bは測定対象外

- 3Dマイクで録音（5分間）後、対象機器の方向の音を抜き出して、分析
- ①のほうが近接しているために音圧RMSは大きい
- ①は徐々に大きくなる傾向がある。
  →気温による影響？　9/19が最も気温が高い
- ②は、徐々に大きくなる傾向は同じだが、10/2と11/27において突飛している。





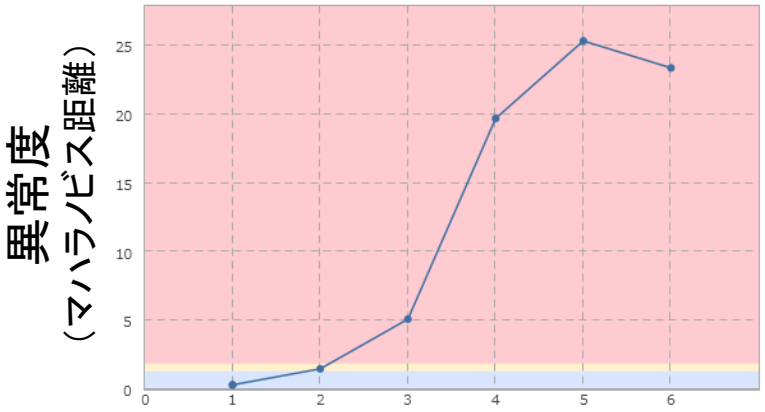
機器a（ファン）異常度のトレンド①（近接測定データ）



Bは測定対象外

- 3Dマイクで録音（5分間）後、対象機器の方向の音を抜き出して、分析
- 9/6と9/19の2回分を正常データとして学習させ評価した。
- 正常データの種類が増えたため、10月と11月の測定での異常度は低下したが、徐々に大きくなる傾向は変わらない。

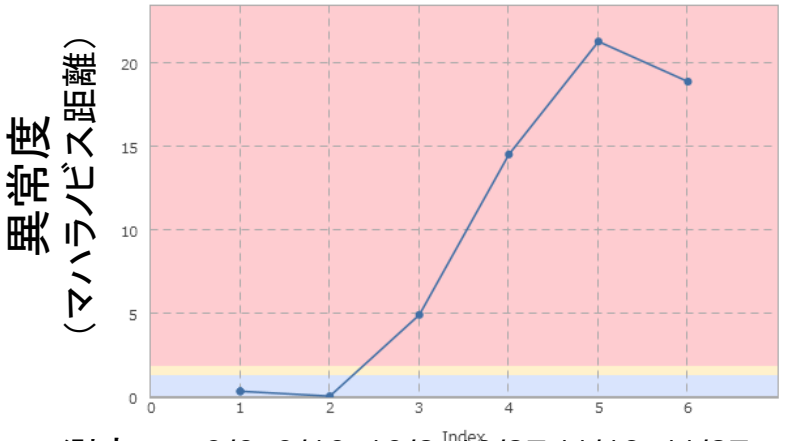
測定箇所①（近接）



正常として学習

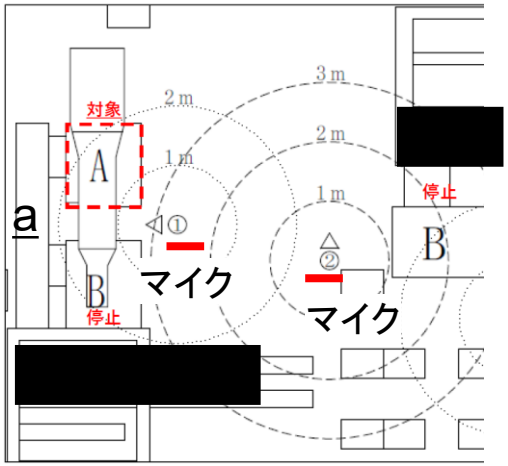
赤色：χ二乗分布の累積確率が99%以上

測定箇所①（近接）



正常として学習

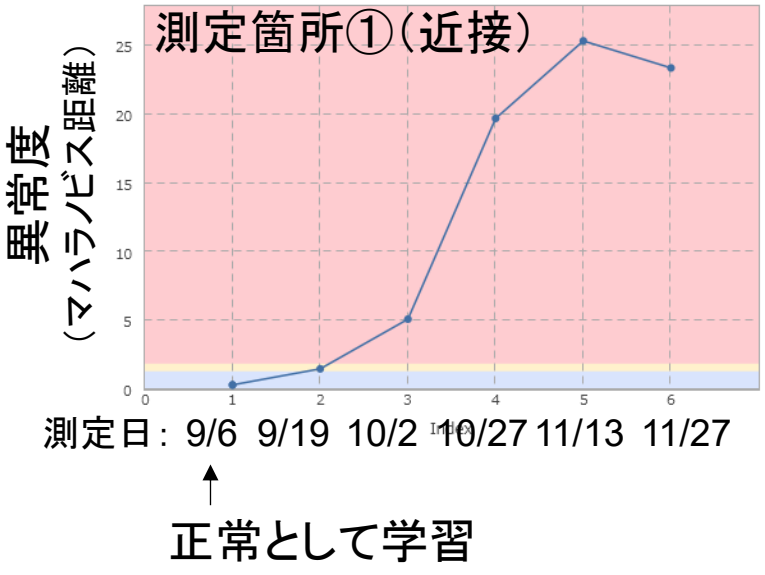
機器a（ファン）異常度のトレンド②（遠方測定データ）

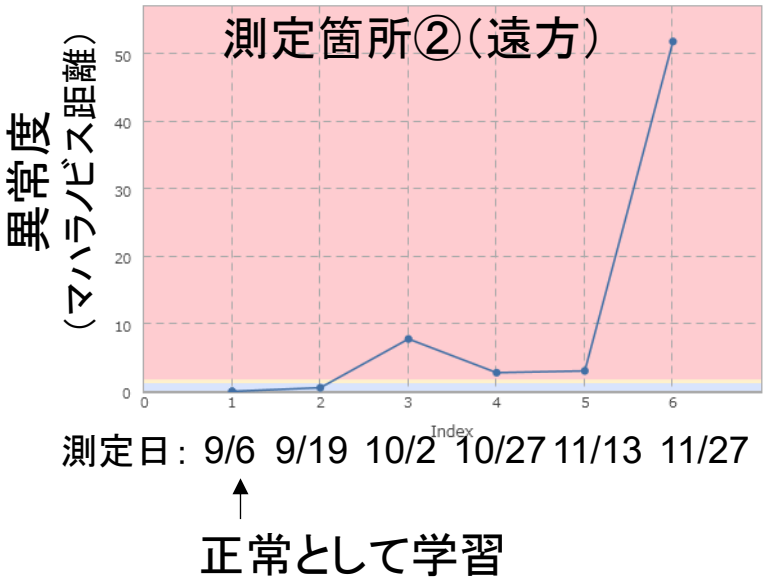


Bは測定対象外

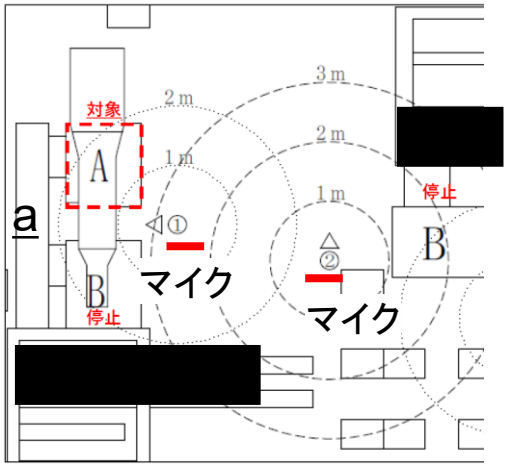
- 3Dマイクで録音（5分間）後、対象機器の方向の音を抜き出して、分析
- ①については、RMSのトレンドの傾向と同じだが、RMS比が大きくても1.3倍だったのに対し、異常度は最大で約25倍　→異常度が感度良い
- ②についてもRMSの傾向と同様で、10/2と11/27において突飛している。

赤色：χ二乗分布の累積確率が99%以上



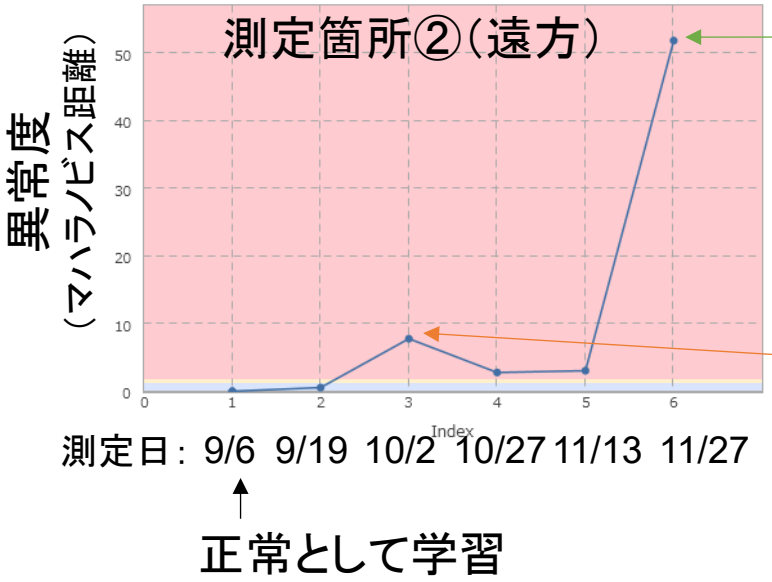


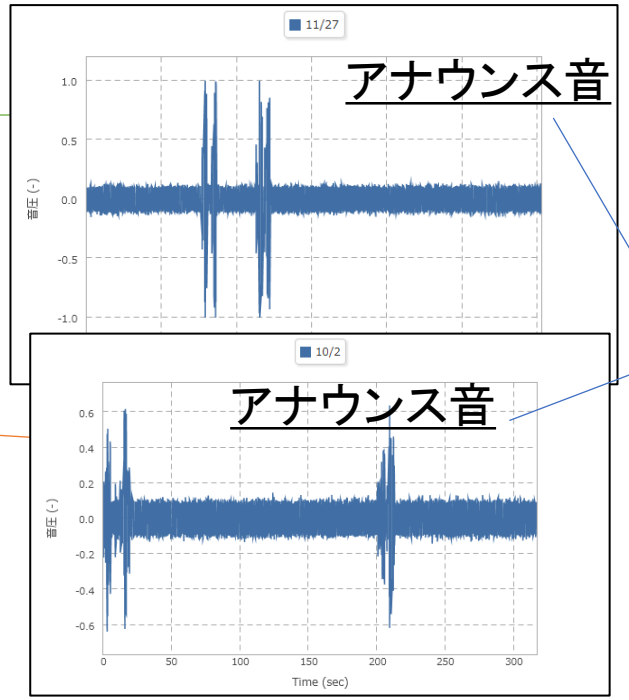
機器a（ファン）送気ファン異常度のトレンド　–ノイズ–



Bは測定対象外

- 3Dマイクで録音（5分間）後、対象機器の方向の音を抜き出して、分析
- 10/2および11/27の録音データにはアナウンス音が含まれており、これを除外して再評価した





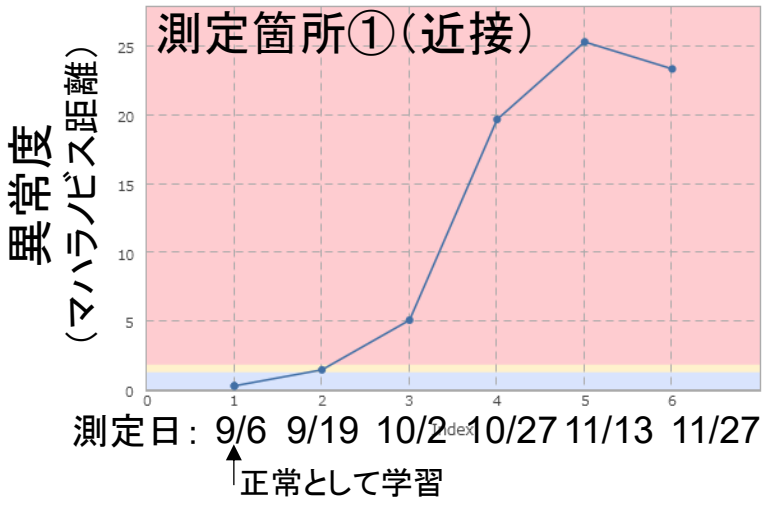
除外して再評価

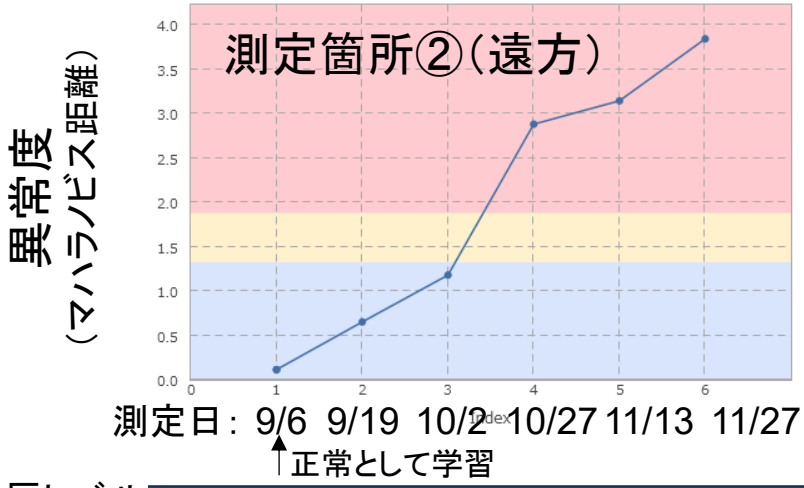
機器a（ファン）異常度のトレンド –ノイズ除去後–

- アナウンス音声を除外して再評価した結果、10/2および11/27にて突飛する傾向はなくなった。→ 5分間の録音中の10秒くらいでも大きなノイズとなる。

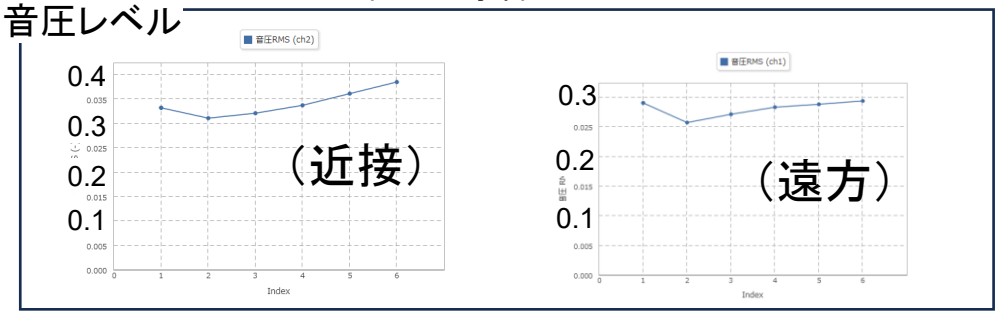
- アナウンス音声を除去しても、9/6の状態から少しずつ変化する傾向は変わらない
  → 実機測定時のノイズとなり、異常検知する際に考慮する必要がある

赤色：χ二乗分布の累積確率が99%以上

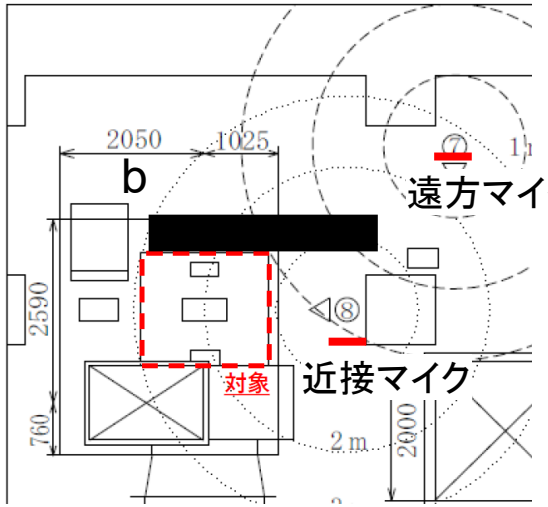




音圧レベル



機器b（ファン）エンベロープFFTの結果

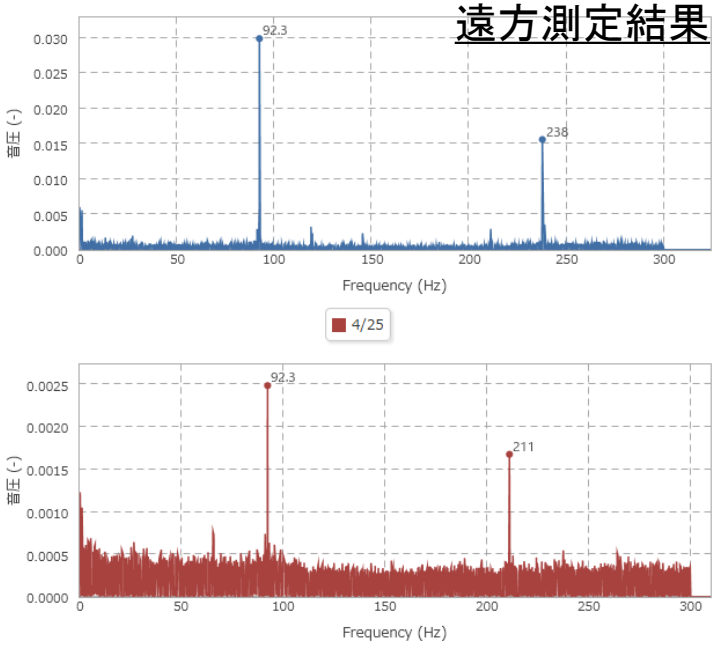


Bは測定対象外

- 羽根周波数（210Hz）に対応するピークがみられる。
- 別途の振動測定では軸受の外輪傷が確認される（92.2Hz）が、音響でも同様に確認される。

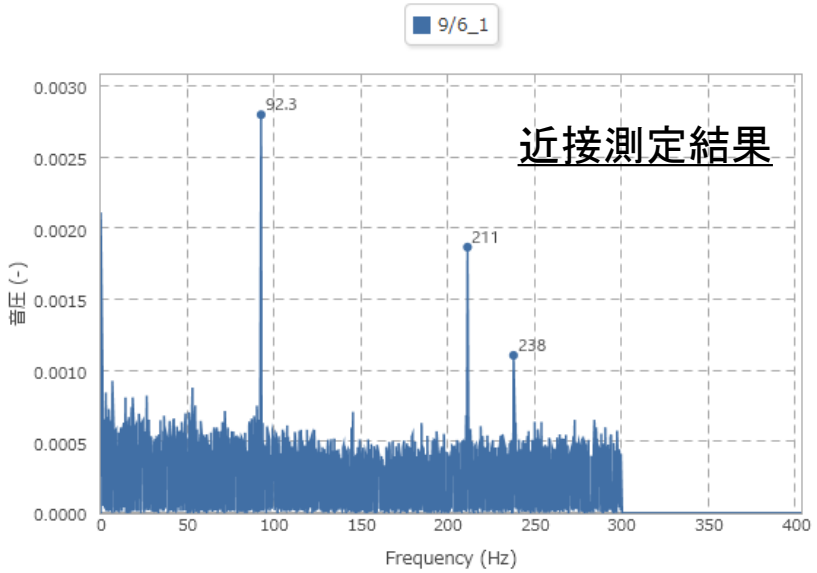
→音響診断（近接・遠方の両方）でも振動診断と同様の結果を得ることを確認した

遠方測定結果



※測定期間中にこの結果は変化なし

近接測定結果



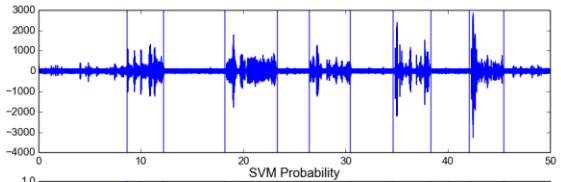
実機環境でのノイズと除去方法

- 実機測定のタスクでの結果として、アナウンス音声がノイズとして強く聞くことが分かった。
- これらのノイズを検知し、検知部分を分析範囲から除外できるとよい。
- ノイズの検知方法は以下が考えられる。
  - ◆ 環境音認識AIによるラベリング



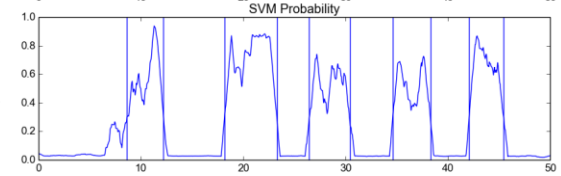
  - ◆ イベント音検知AI
    - 音エネルギーを使ったSVMにより録音データ全体に対するイベント確率を算出する。

生波形



SVM Probability

イベント確率



これらの2つの手法による
ノイズ検知を検証した

PANNsによる環境音分類について

Large-Scale Pretrained Audio Neural Networks for Audio Pattern Recognition

Kong, Qiuqiang, et al. "Panns: Large-scale pretrained audio neural networks for audio pattern recognition." IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing 28 (2020): 2880-2894.

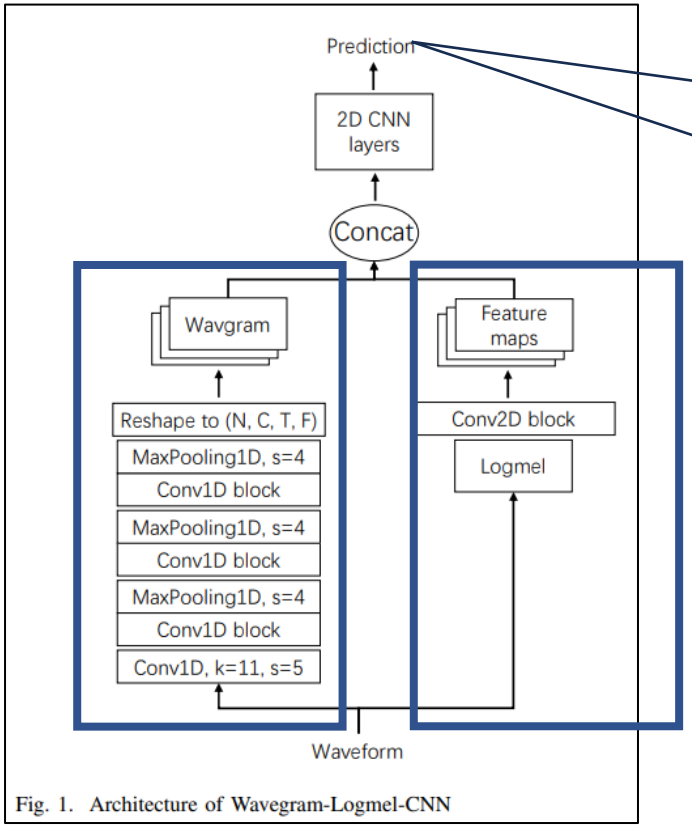


Fig. 1. Architecture of Wavegram-Logmel-CNN

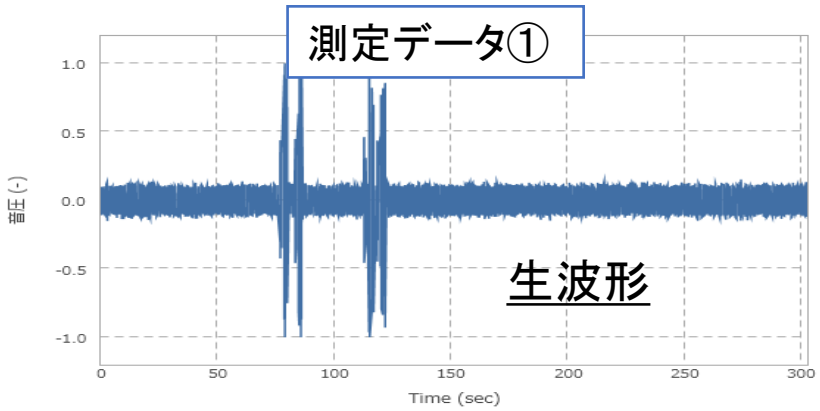
ラベルが出力される
- Rain
- Tambourine
- Knock
- …

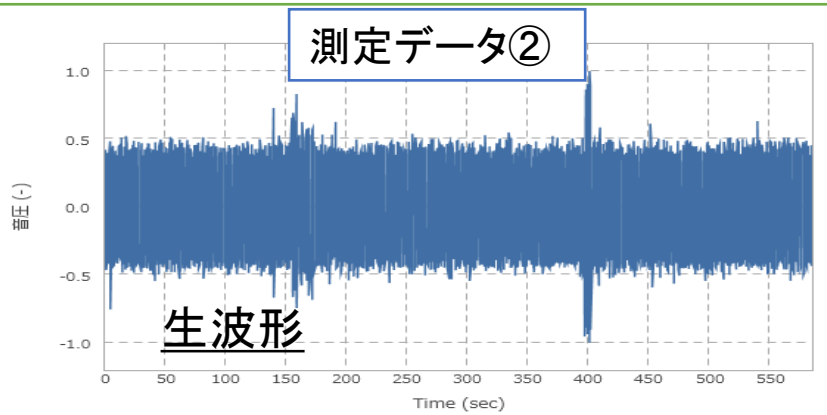
生波形に対して畳み込みニューラルネットワークを通すことで、次元を削減する

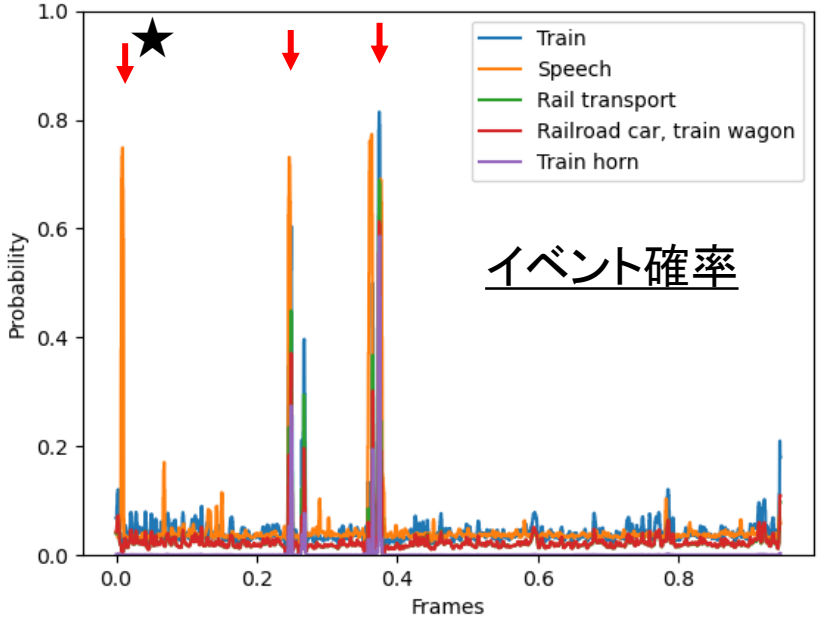
スペクトログラム（Log-mel スペクトログラム）を用いて画像分類を行う

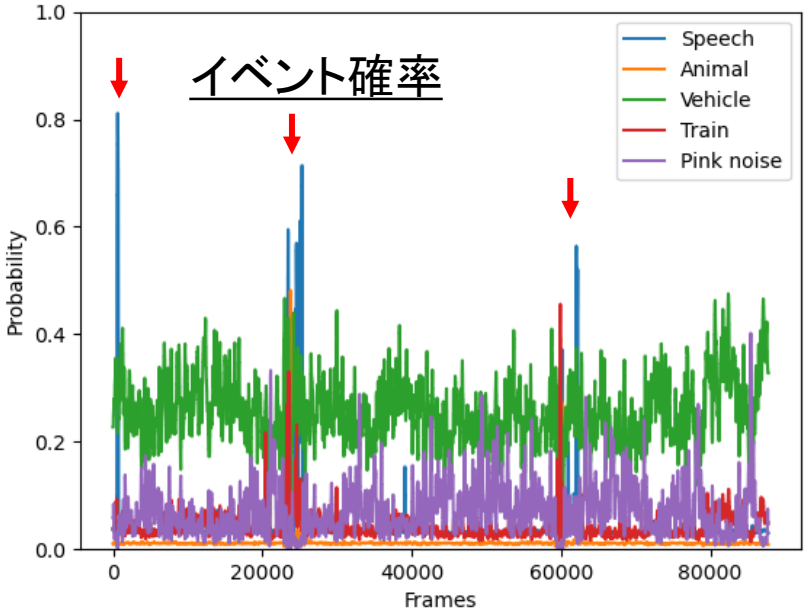
Youtubeから収集した1,934,187のオーディオファイルを用いて、632種類に分類するように学習。

PANNsによるノイズ検知結果







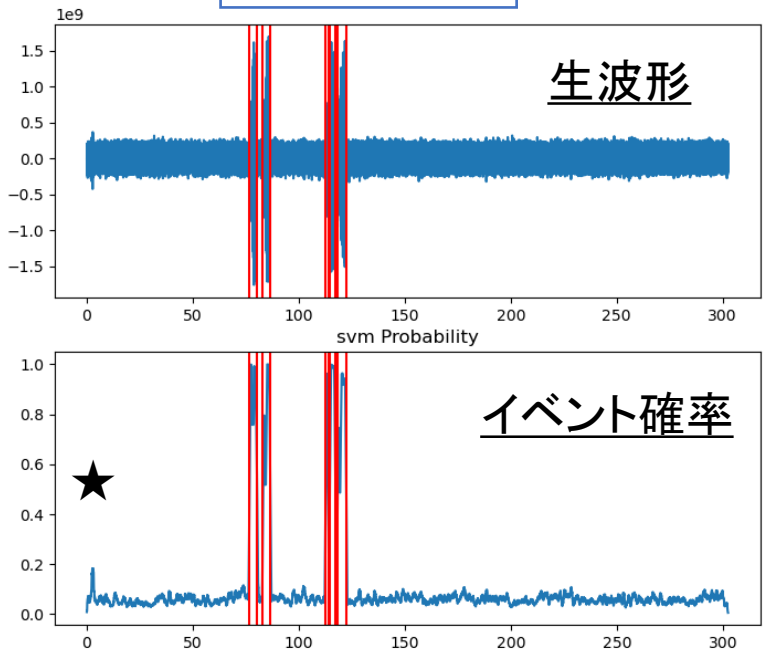


- 人の声の検知は可能。特に★のような生波形に表れない人の声（イベント）も検知できた。

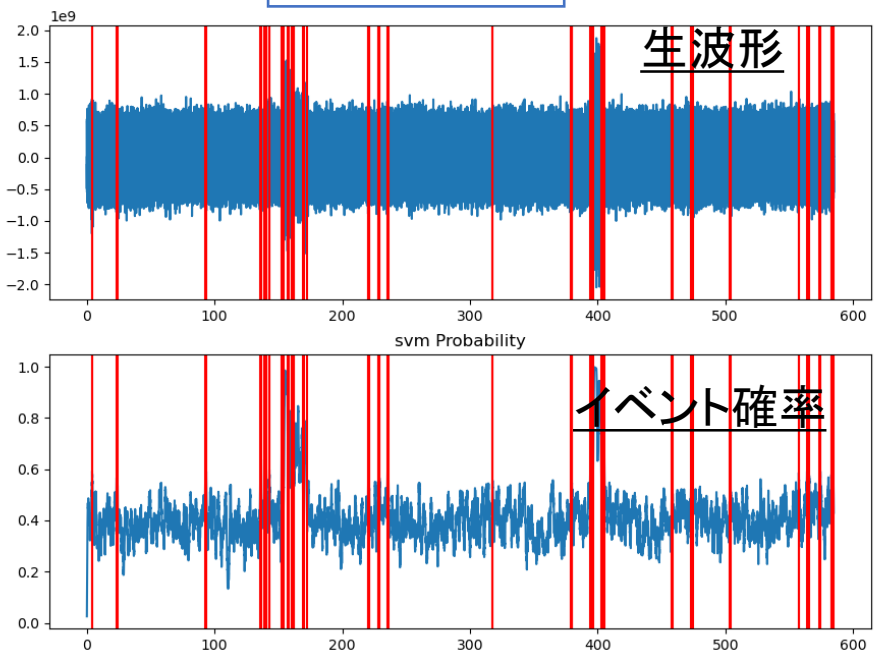
ノイズが予め分かっている場合は、この手法は有効である。

SVMによるイベント音検知の検証

測定データ①



測定データ②



赤線は閾値によるイベント検知区間

＜方法＞

- SVM（サポートベクターマシン）により、音声全体に対するエネルギーの高い箇所（低い箇所も）を分類し、イベントを検知する。

＜結果＞

- イベント確率の高い所が人の声に対応することを確認した。
- ★の前ページで検知された人の声（生波形に表れない）は検知できなかった。

PANNsより精度は劣るが、ノイズ源が予めわかっていない場合に本手法は有効である。

まとめ

実機測定音について、音圧RMSおよびAI異常度（機械学習モデル：マハラノビス距離）のトレンド、周波数スペクトルを整理した。

◆ 現場のアナウンス音声が測定中にあるとノイズとして影響することが分かった。

◆ 異常度については、全体的に徐々に増加する傾向がある。

→ 音響解析では、この程度の変動が現れることを念頭におく必要がある。

◆ 別途行われた振動測定結果と比較して、外輪傷に対応する周波数成分が確認できた。

→ 音響診断（近接と遠方測定の両方）においても振動診断と同様の結果が得られた。

実機測定時の課題として挙げられたアナウンス音声（イベント）の検知手法を検討した。

◆ 環境音分類AI（PANNs）によるイベント検知は、イベント（ノイズ）が予め分かっているときは有効である。

◆ 音エネルギーを用いたSVMによるイベント検知は、環境音分類AI（PANNs）より精度は劣るものの、イベント（ノイズ）が予め分かっていないときも有効である。