

SUBARU打ち合わせ資料(プレス関連)

Nov. 11<sup>th</sup>, 2021

# 令和3年11月研究打ち合わせ

群馬大学 大学院 理工学府  
橋本 誠司

# 研究目的と内容

## ■研究題目：

- プレス生産設備の故障予知

## ■研究目的及び内容

- プレス機から得られる情報(熱, 振動, 音)を元に故障の兆候を掴み, 設備故障による停止を回避する技術を確立
- 本工場Lライン(サーボプレス)をモデルラインとして予防保全 → 予知保全の技術を確立

# 研究内容

## ■ 予知・予防保全までの流れ

1. データ解析(正常・異常の分類)
2. 故障の兆候(原因)の把握
3. 予知・予防保全

### 1. データ解析(正常・異常の分類)

Step 1: アウトライア(異常値)の除去 ⇒ 信号処理

Step 2: 4軸分類 ⇒ 信号処理

Step 3: 各軸(あるいは全軸)での正常／異常の分類 ⇒ NN

- 診断の可視化(エッジ, 振幅, 振動など) ⇒ Grad-CAM
- 軸間の干渉, 多軸での診断 ⇒ 信号処理, NN
- 経年劣化, 製品差 ⇒ 教師なし学習

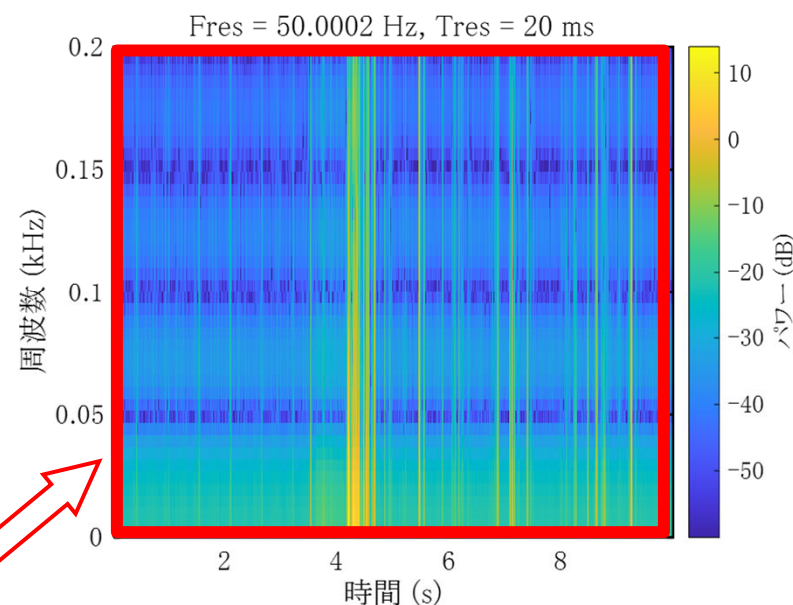
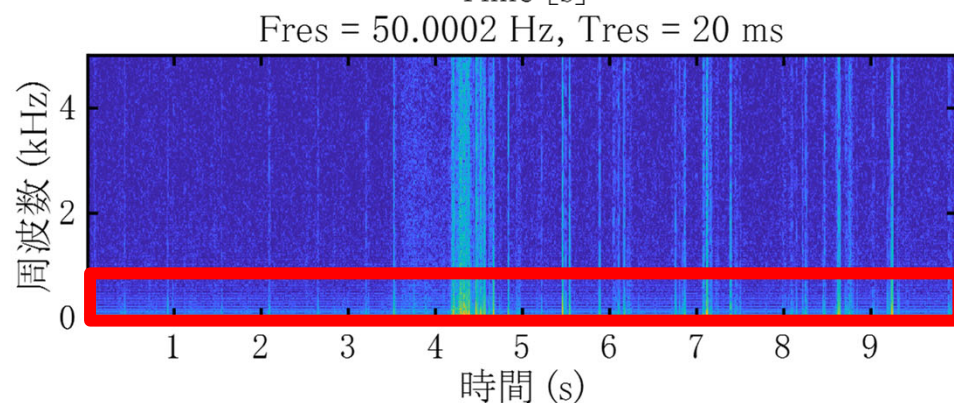
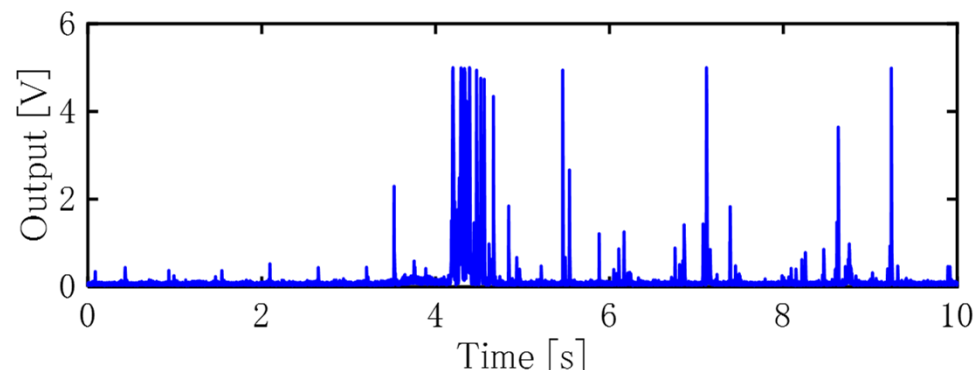
## 時間周波数解析について ～ スペクトログラムとスカログラム ～

# 前回報告: サンプルデータのプロット



Gunma University, JAPAN

## ■ ギヤ破損時のAEデータのスペクトログラム



スペクトログラム表示(拡大図)

# 時間分解能設定: 20ms

図 原信号とスペクトログラム表示

スペクトログラム ⇒ 時間分解能と周波数分解能にはトレードオフの関係

※ 時間分解能 20ms ⇒ 周波数分解能  $1/20\text{ms} = 50\text{ Hz}$

# スペクトログラムについて

## ■ スペクトログラム

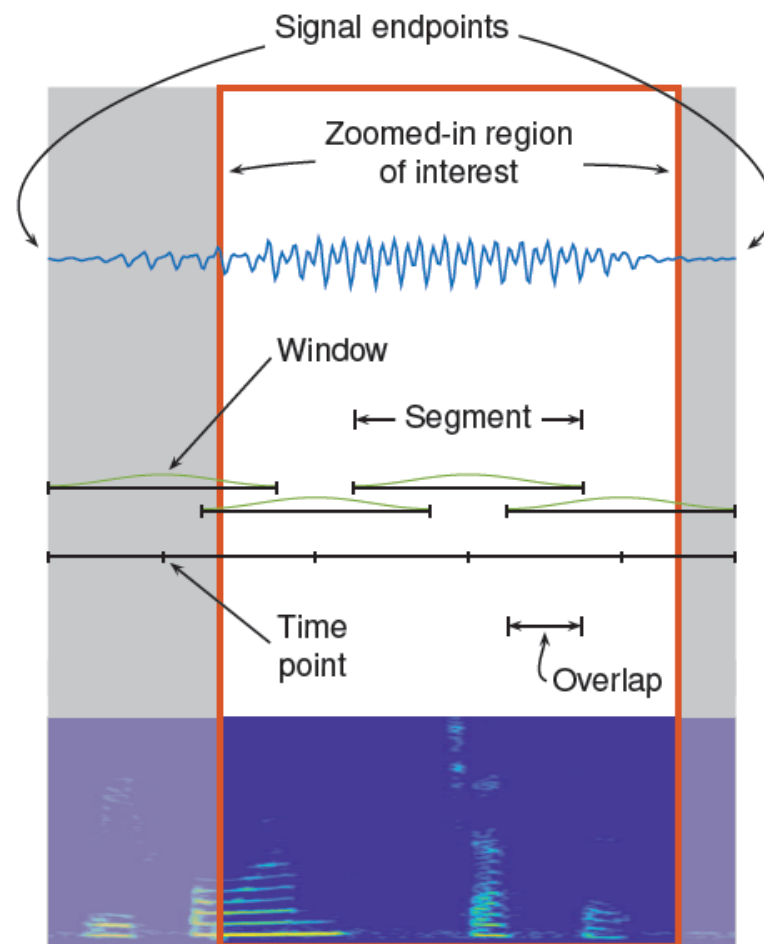
1. 信号を等しい長さの**セグメント**に分割  
⇒ 周波数変化がないよう十分小さく
2. 各セグメントにウィンドウを適用して**短時間フーリエ変換 (STFT)**によりスペクトル計算
3. セグメントごとに、各スペクトルの**パワー**をデシベル単位で表示

周波数分解能の下限

$$f_{low\_lim} [\text{Hz}] = 4 \cdot \frac{f_s}{1024 - 1}$$

$f_s$ : サンプル周波数 [Hz]

例:  $f_s = 10\text{kHz} \Rightarrow f_{low\_lim} = 39\text{Hz}$

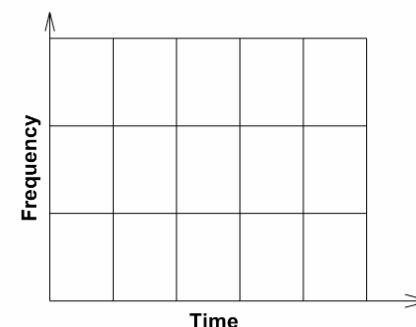


# スカログラム(CWT)の導入

## ■スペクトログラムとスカログラム

### スペクトログラム

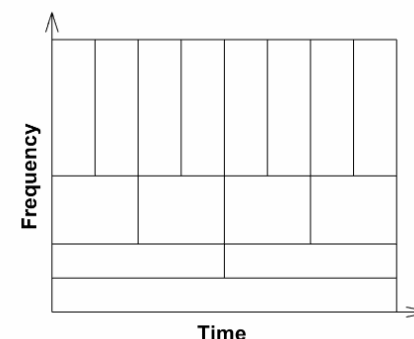
- 特定の波形に存在するさまざまな周波数での信号の信号強度, つまり「ラウドネス」を視覚化



(a) スペクトログラム

### スカログラム(連続ウェーブレット解析)

- STFT に固有の分解能の問題を解消するために導入
- 連続ウェーブレット変換 (CWT) の絶対値で, 時間と周波数の関数として導出
- 異なるスケールのマザーウェーブレットを使用した信号データの畳み込みによる表現
- さまざまなスケール(短時間・高周波, 長時間・低周波)で現れる特徴ある信号を解析するにはスペクトログラムよりも有利



(b) スカログラム

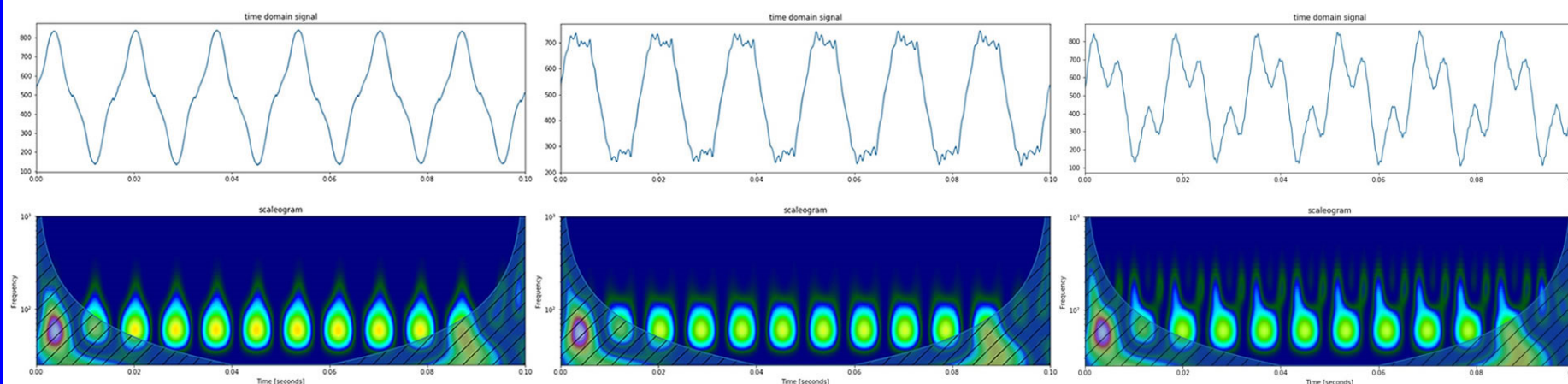
図 分解能比較

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)  
による分類に役立つ特徴を抽出可能！

# スカログラム(CWT)の導入

## ■スカログラムの応用例

### 電気設備の異常・劣化診断



- 電気設備からえられる時間信号 ⇒ スカログラムによる時間・周波数解析
- スカログラム画像をもとに, AI画像認識することなど検討

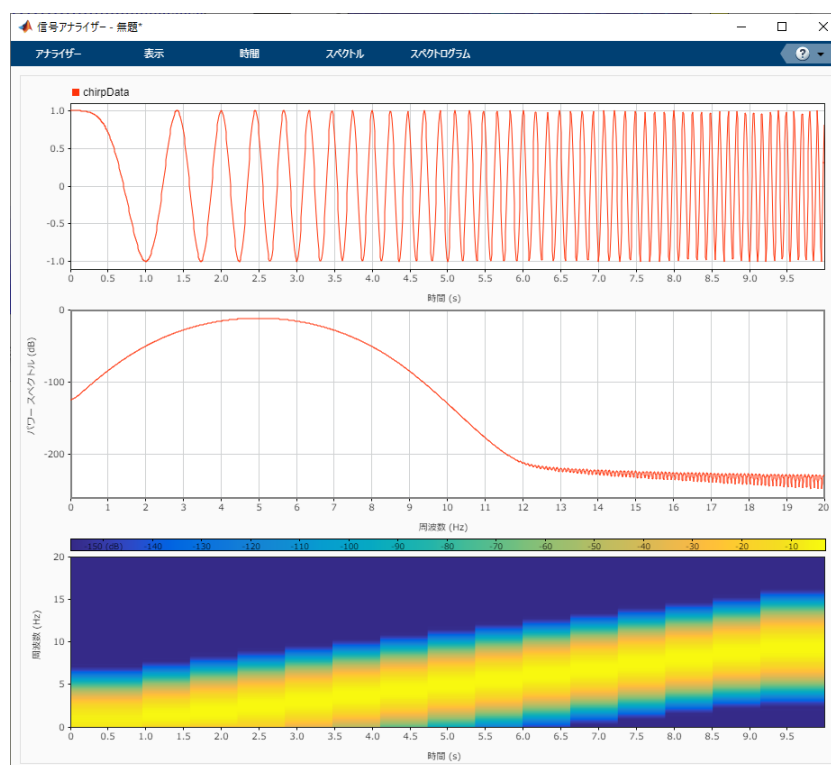
<https://arc-mec.com/ailabo/2020/07/27/%E3%82%A6%E3%82%A7%E3%83%BC%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%88%E8%A7%A3%E6%9E%90%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6/>



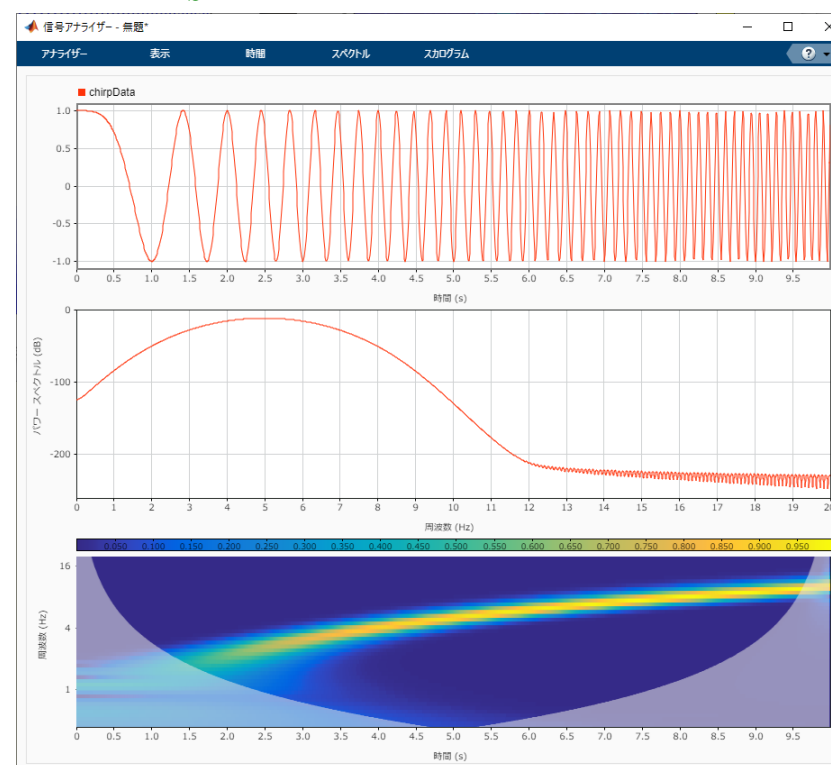
# スカログラム(CWT)の導入

## ■ スペクトログラムとスカログラムの比較

- チャープ信号 ( $1\text{Hz} \Rightarrow 10\text{Hz} @ 10\text{s}$ 間,  $f_s = 100\text{Hz}$ ) に対する解析



時間信号とそのスペクトログラム



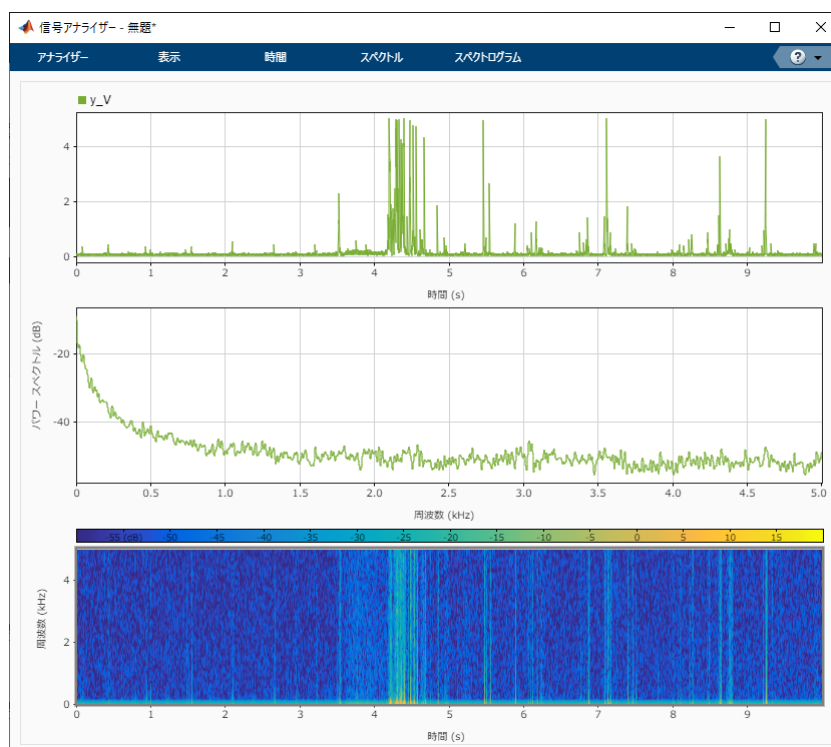
時間信号とそのスカログラム

- スカログラムの導入により, 時間・周波数分解能が改善

# スカログラム(CWT)の導入

## ■ スペクトログラムとスカログラムの比較

- AE信号(10s間,  $f_s=10\text{kHz}$ )に対する解析



時間信号とそのスペクトログラム



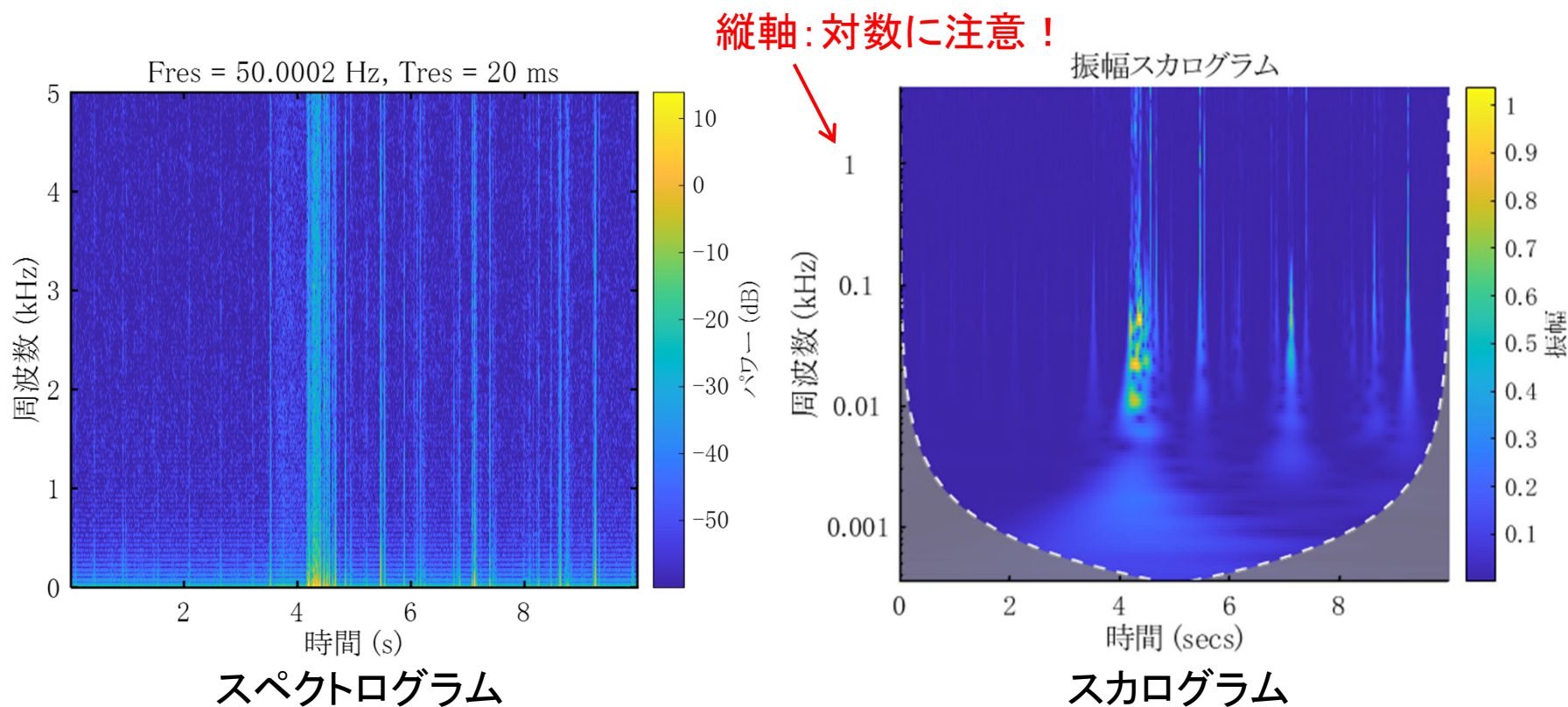
時間信号とそのスカログラム

- スカログラムの導入により, 時間・周波数分解能が改善

# スカログラム(CWT)の導入

## ■ スペクトログラムとスカログラムの比較

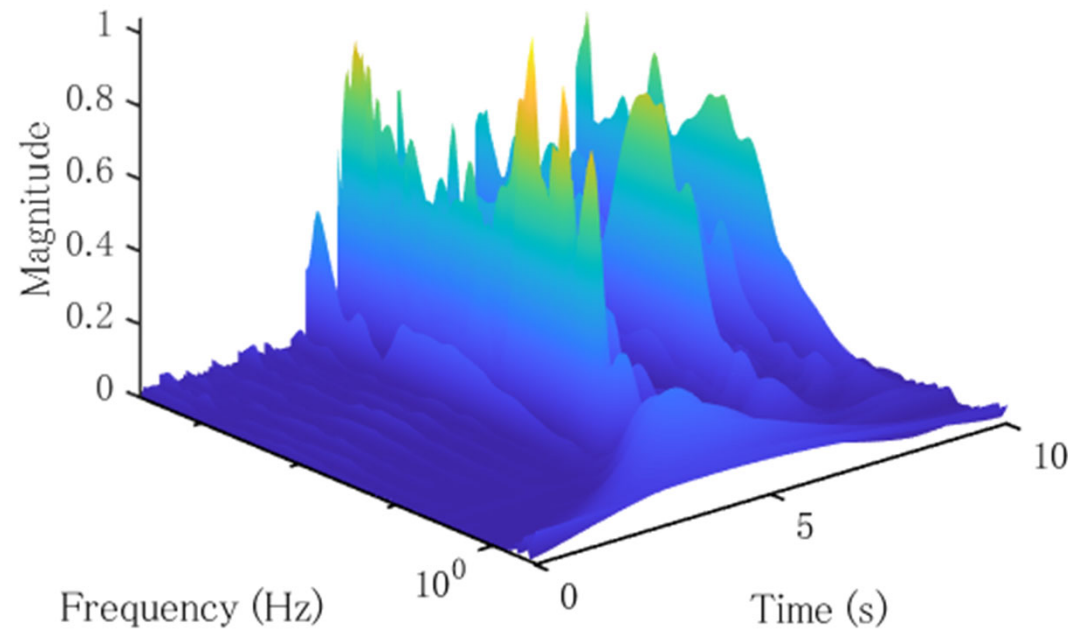
- AE信号(10s間,  $f_s=10\text{kHz}$ )に対する解析



- スカログラムの導入により, 時間・周波数分解能が改善  
 ⇒ このデータによりAI解析を適用か!?

# スカログラム(CWT)の導入

## ■補足：スカログラムの3次元プロット



スカログラム(3Dプロット)

- 周波数振幅(ウェーブレット係数の大きさ)が増加する速度を把握可能！

## AE基本評価パラメータについて ～ ギヤ破損時のAEデータ ～

### 【データの計測条件】

- プレス機のギヤ破損時のAEセンサ出力(一部)
- 出力値(Binary signal :13bit)  
⇒ 電圧値への変換式 =  $x_{bin} \times 5 \text{ [V]} / 2^{13}$
- サンプリング時間:0.1ms(データ数10,000)

# AE基本評価パラメータ

## ■ 波形形状 (Waveform)

- ・ 突発型: 立ち上がりが鋭く, 減衰する波形。亀裂進展に関する典型的な形状
- ・ 連続型: 連続的に一定振幅を持続する波形。摩擦・磨耗に関する典型的な形状

## ■ 発生数 (Hits)

- ・ 1個の亀裂が進展すると1個のAEが発生。AEの発生数は亀裂の進行数と相関

## ■ 振幅 (Amplitude)

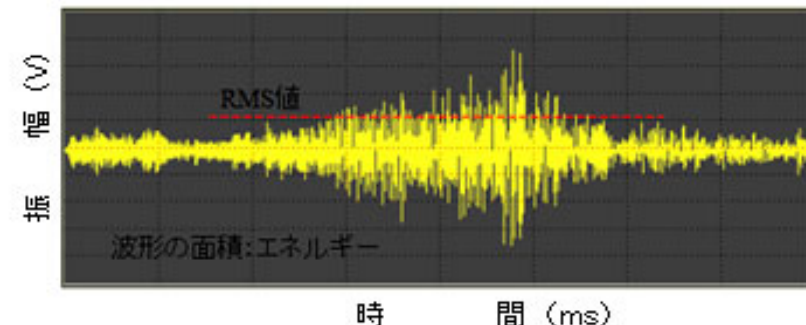
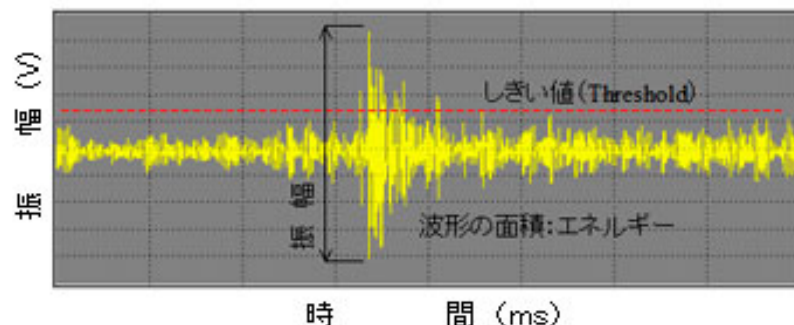
- ・ AEの振幅は単位時間あたりに進行する亀裂の距離と相関。指定時間内で解析

## ■ エネルギー (Energy)

- ・ AE波形の面積は亀裂の面積と相関。AE波形の面積をAEのエネルギーと言う

## ■ 周波数 (Frequency)

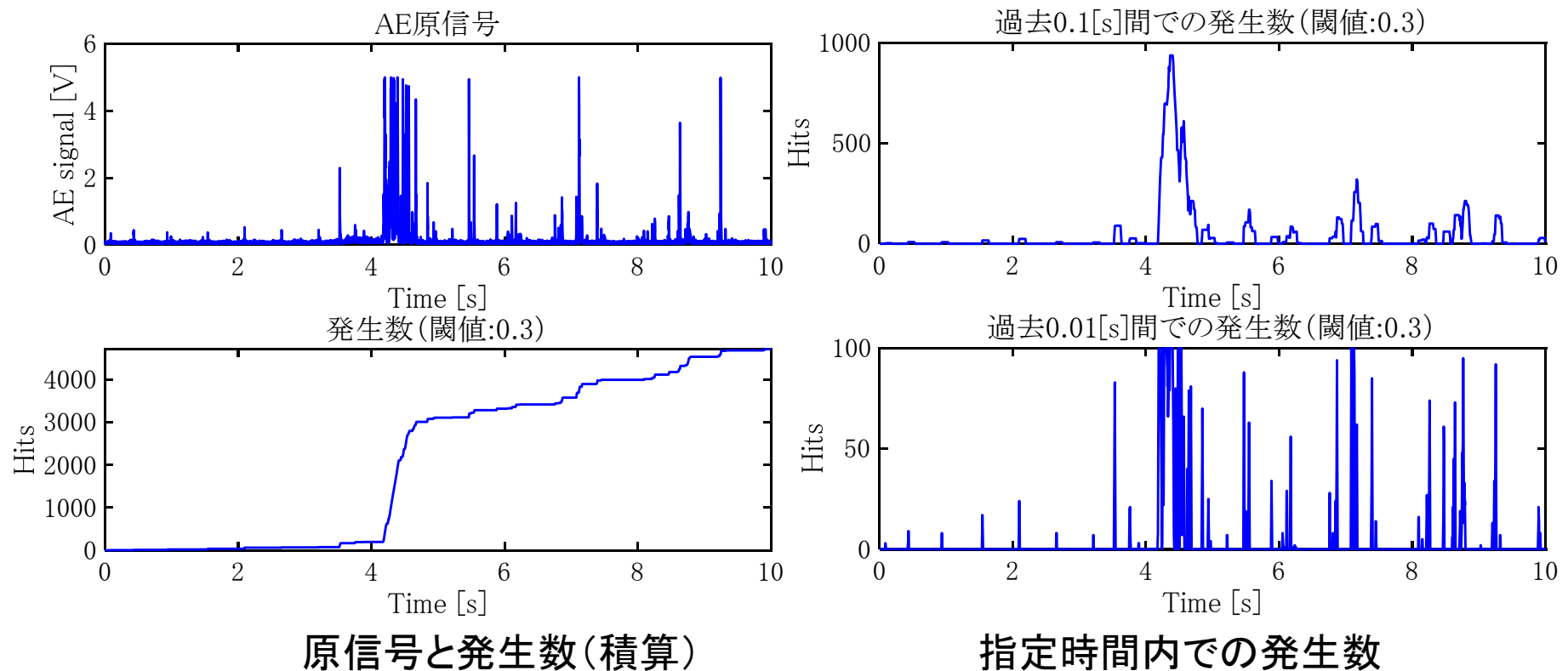
- ・ AEの周波数は材料により決定。例えば、軸受鋼 (SUJ2) の亀裂進展時に発生するAEは100kHz～300kHzに特徴



参考) [http://www.pacjapan.com/pacjapan\\_ae%20technique/pacjapan\\_ae%20Analysis.html](http://www.pacjapan.com/pacjapan_ae%20technique/pacjapan_ae%20Analysis.html)

# AE基本評価パラメータ

## ■ ギヤ破損時のAEデータへの適用

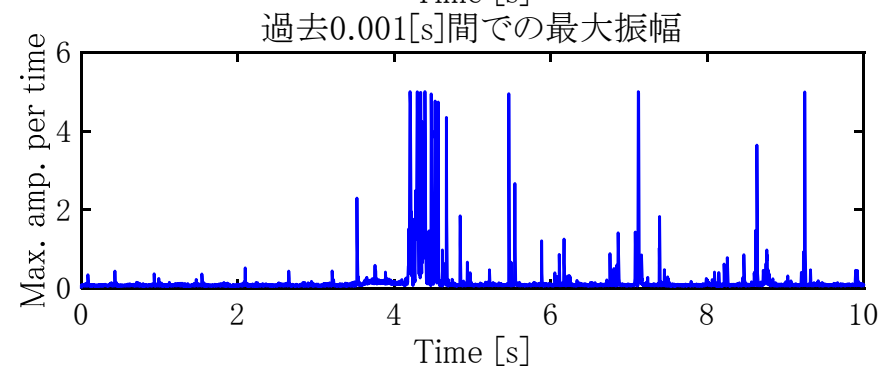
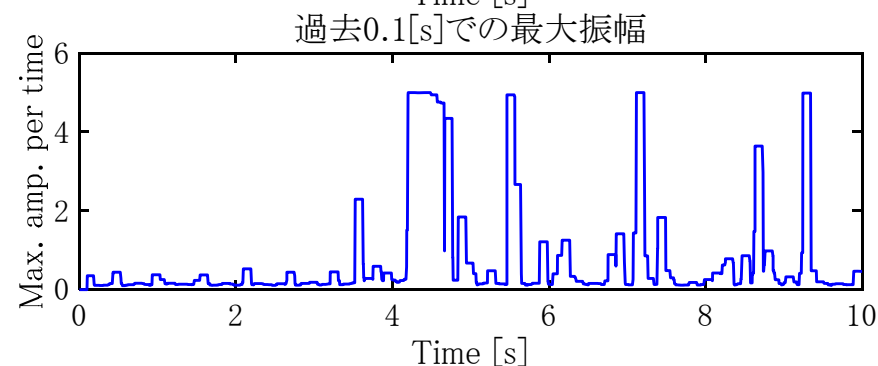
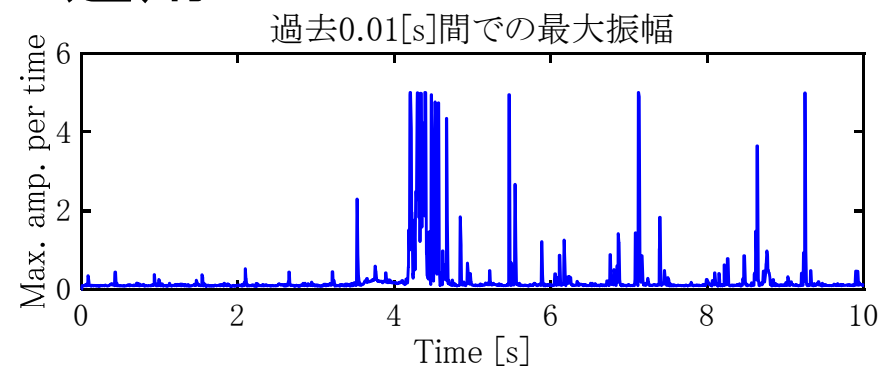
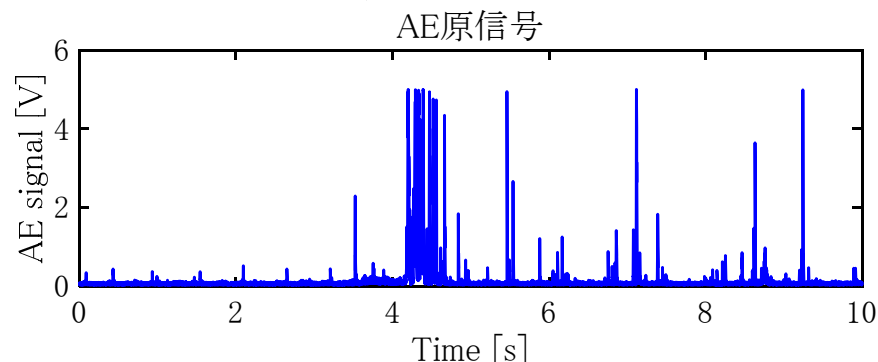


- 閾値(0.3)を設定し, それを超える回数をモニタ
- 指定時間内での発生数 ⇒ 破損検知



# AE基本評価パラメータ

## ■ ギヤ破損時のAEデータへの適用



原信号と指定時間内の最大振幅

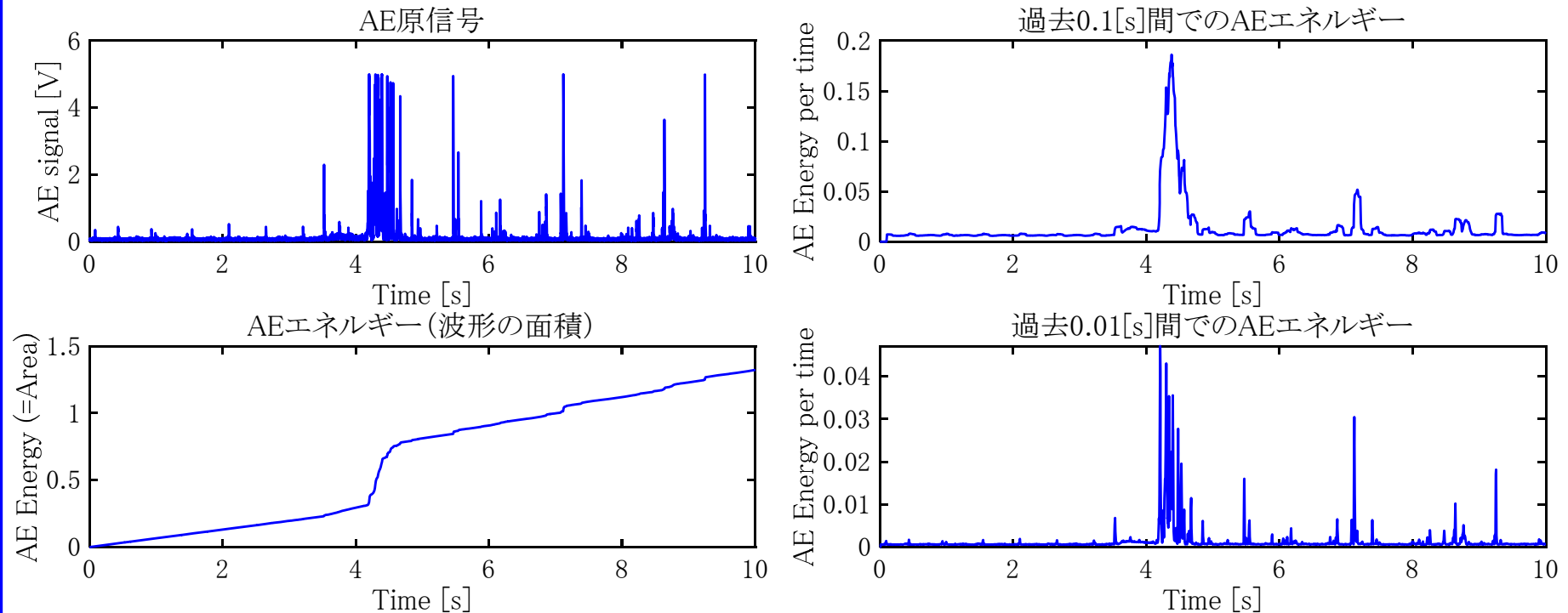
指定時間内の最大振幅

- 指定時間内の最大振幅 ⇒ 破損検知



# AE基本評価パラメータ

## ■ ギヤ破損時のAEデータへの適用



原信号とAEエネルギー(積算)

指定時間内のAEエネルギー

- 指定時間内のAEエネルギー ⇒ 破損検知
- ⇒ これらのAEパラメータから総合的なAI診断手法

## ギヤ交換後のAEデータのプロット ～ 3種のデータの比較 ～

### 【データの計測条件】

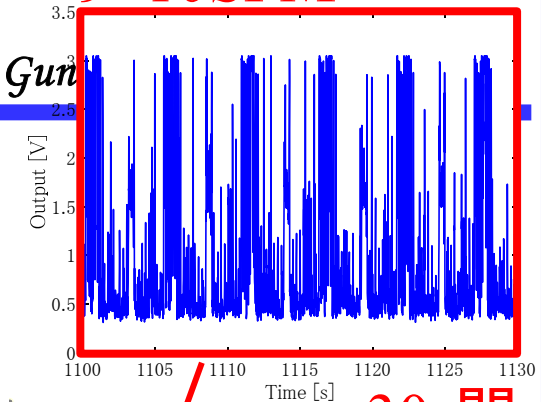
- ・ プレス機のギヤ交換後のAEセンサ出力
  - ①クラッチOFF, ②空打ち, ③プレス
- ・ サンプルング時間: 10ms (破損時: 0.1ms)

# AEデータプロット



Gun

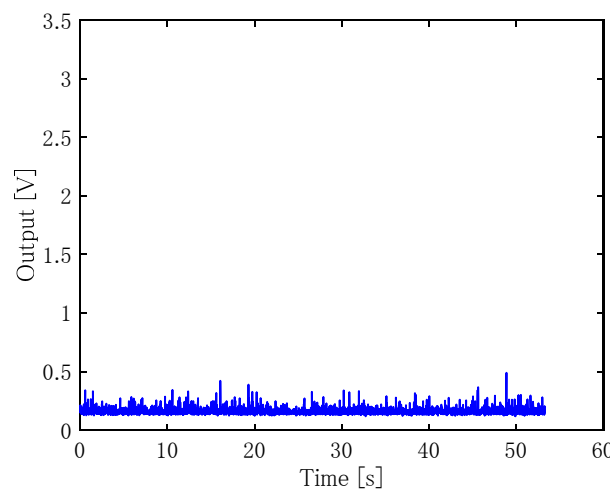
9~10SPM No. 19



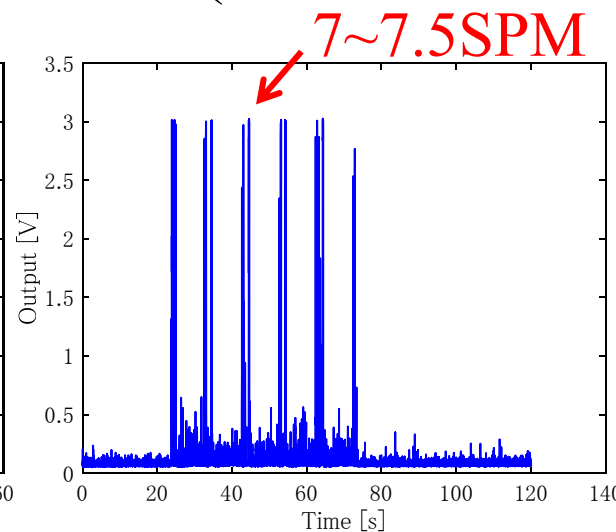
30s間

## ■ギヤ交換時のAE信号

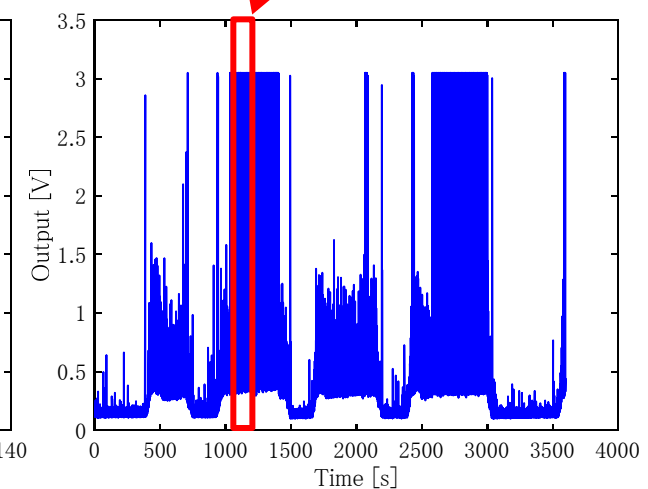
- ①クラッチOFF(P10m210611\_131026.csv)
- ②空打ち: 型なし(P10m210611\_131140.csv)
- ③プレス: 型あり, 負荷あり(PA1-210611110445.csv)



①クラッチOFF



②空打ち



③プレス

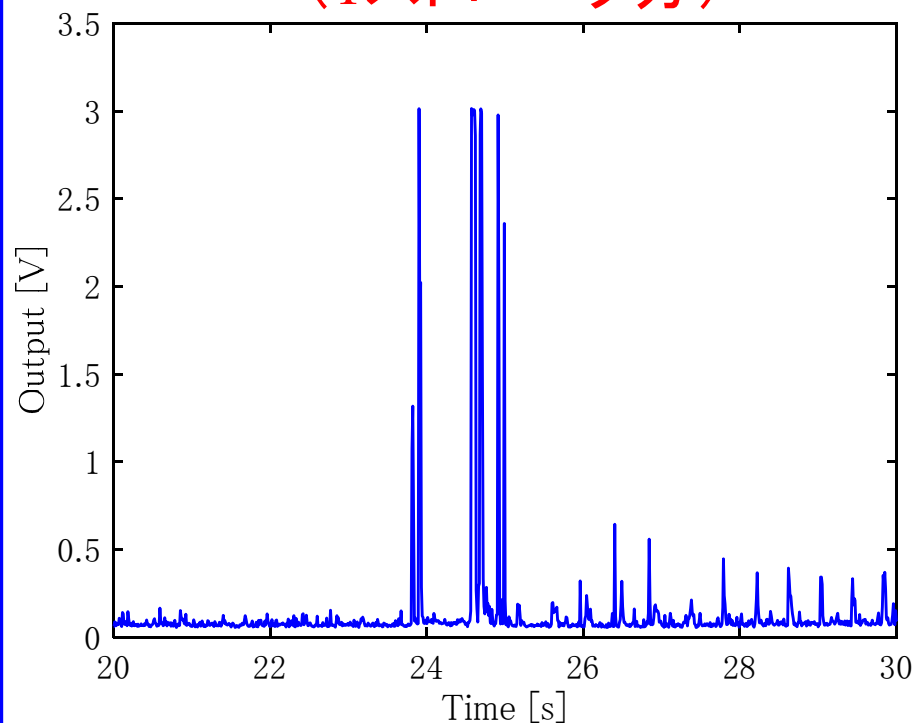
※ 時間幅は異なることに注意

- ①クラッチOFFはAE信号の振幅が小さい
- ③プレスは振幅持続時間が長い

# AEデータプロット

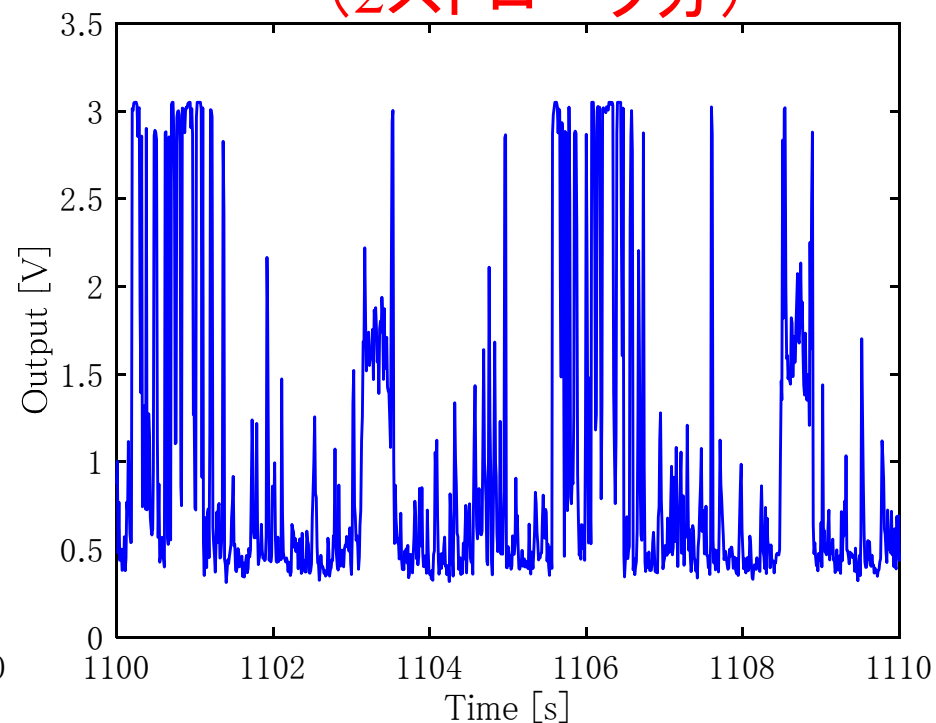
## ■ ギヤ交換時のAE信号：同じ10秒間でのプレス波形

(1ストローク分)



②空打ち

(2ストローク分)

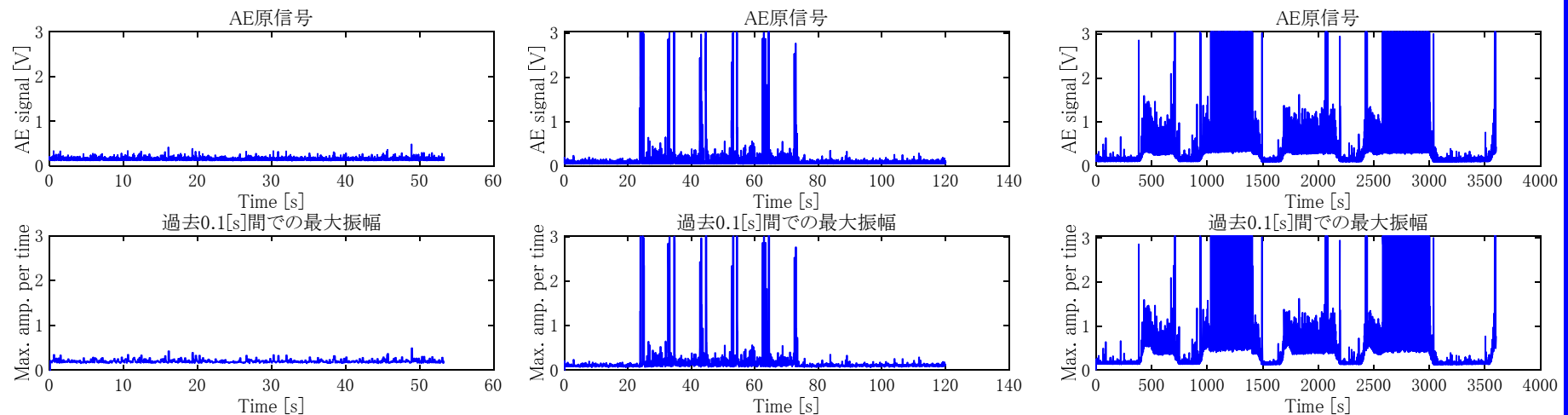


③プレス

- 型無し, 型ありでプレスの波形が異なる

# AE基本評価パラメータ

## ■ギヤ交換時の最大振幅(指定時間0.1s)



①クラッチOFF

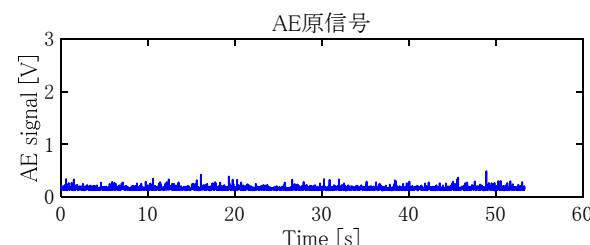
②空打ち

③プレス

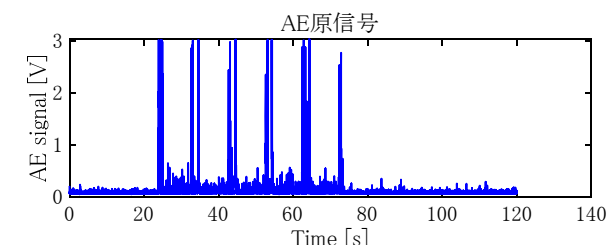
- ①クラッチOFFは指定時間での最大振幅が小さい
- ③プレスは指定時間での最大振幅は大きい

# AE基本評価パラメータ

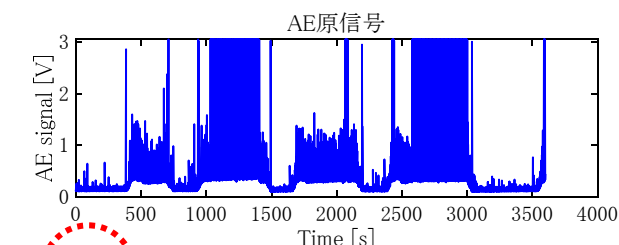
## ■ギヤ交換時の発生数(閾値0.3)



①クラッチOFF



②空打ち

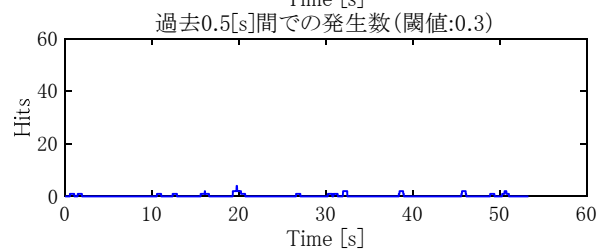
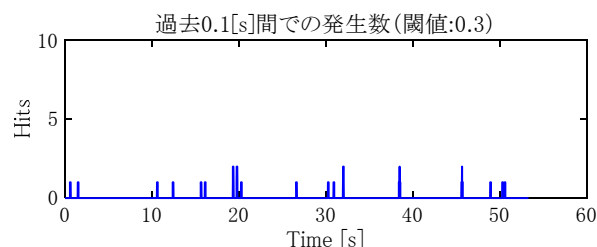


③プレス

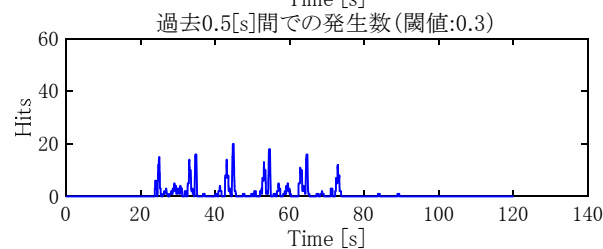
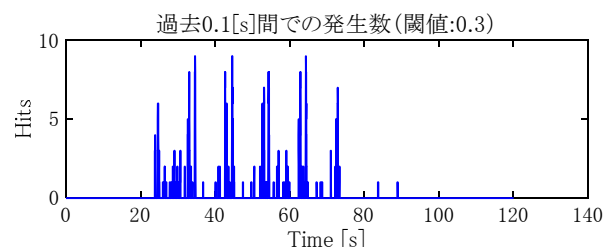
- ①, ②での発生数に比べ, ③は(時間比率を考えても)  
極めて大きい

# AE基本評価パラメータ

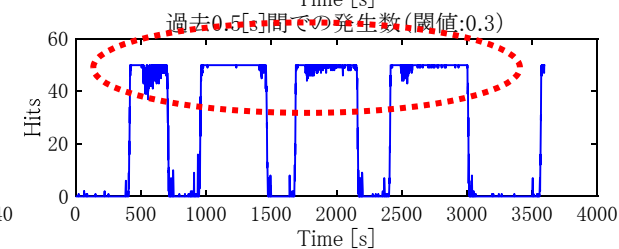
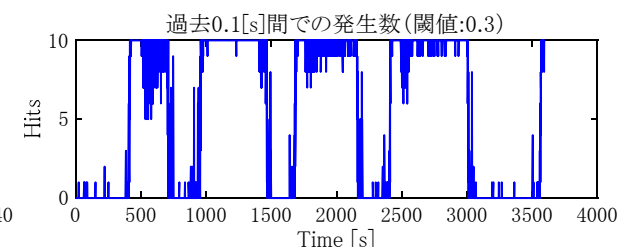
## ■ギヤ交換時の発生数(指定時間中)



①クラッチOFF



②空打ち

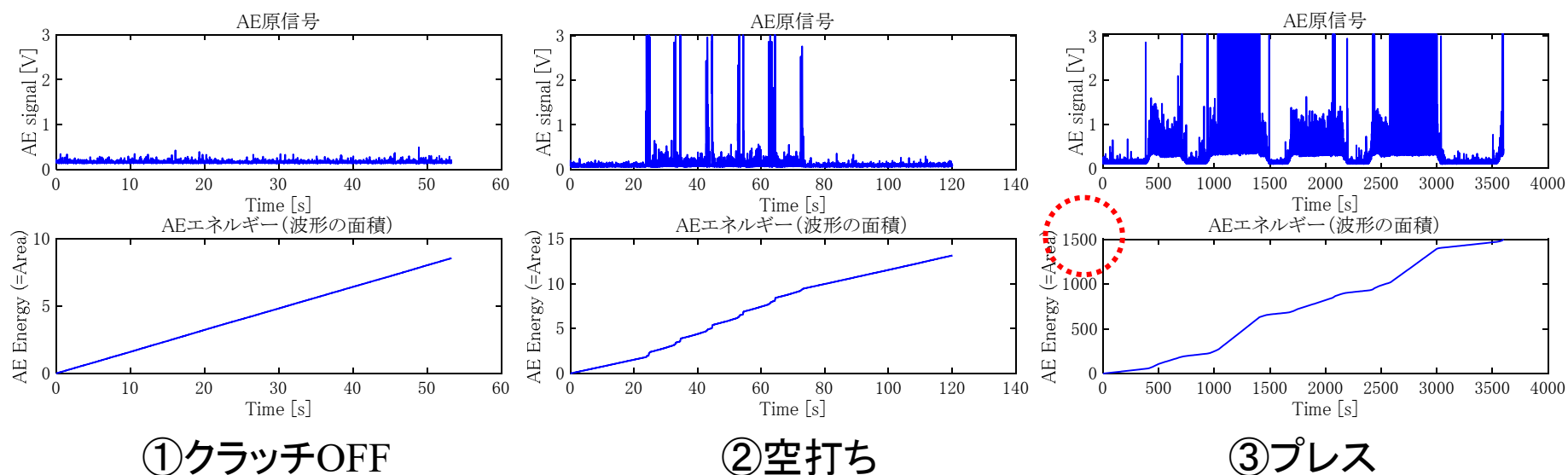


③プレス

- ③の指定時間中での発生数は他に比べ極めて大きい

# AE基本評価パラメータ

## ■ギヤ交換時のAEエネルギー（波形面積）

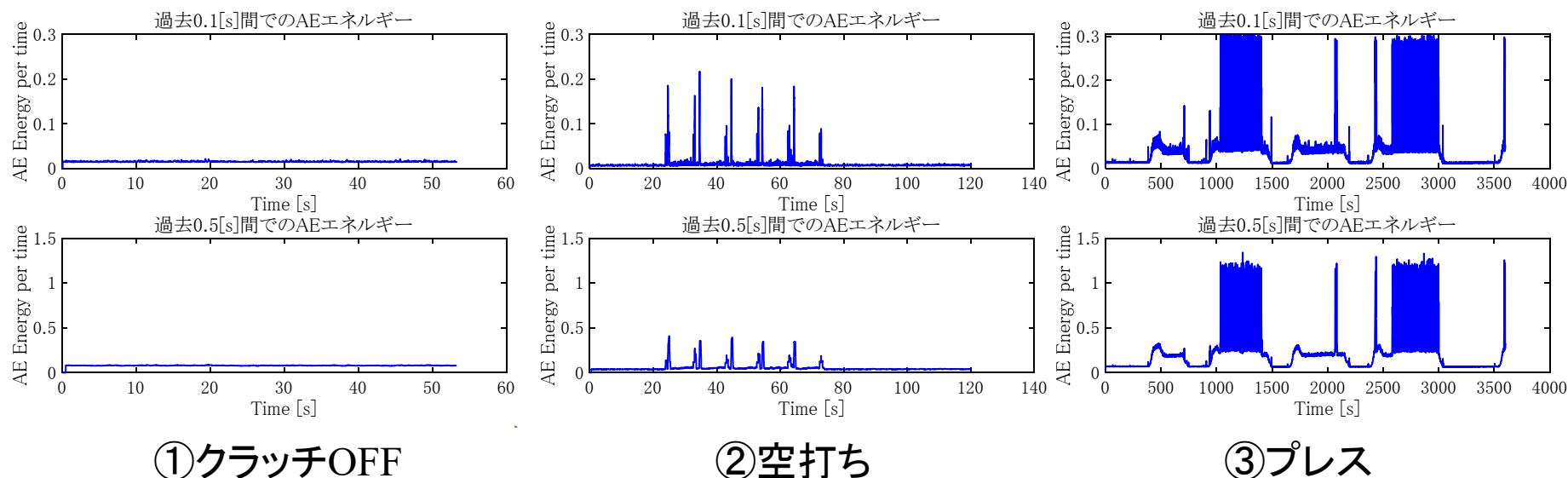


- AEエネルギーも③が（時間比率的にも）大きい



# AE基本評価パラメータ

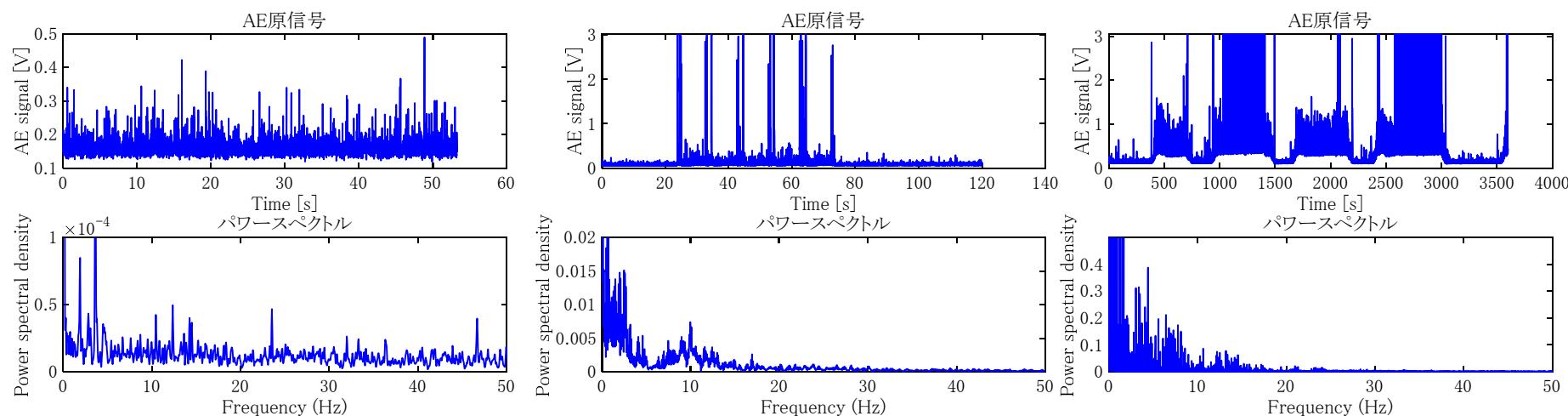
## ■ギヤ交換時のAEエネルギー(指定時間中)



- 指定時間中のAEエネルギーでも③は振幅が大きい

# AE基本評価パラメータ

## ■ギヤ交換時のパワースペクトル



①クラッチOFF

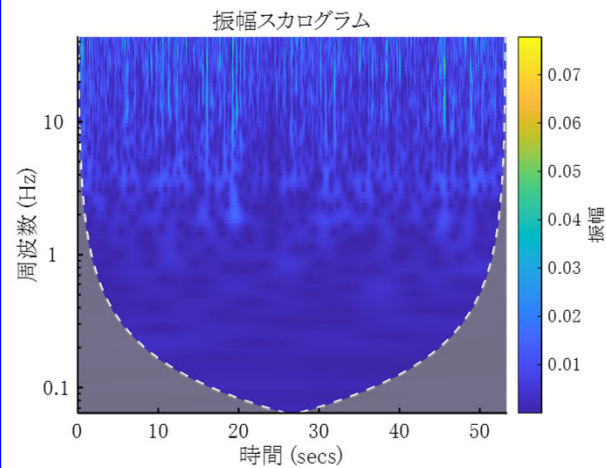
②空打ち

③プレス

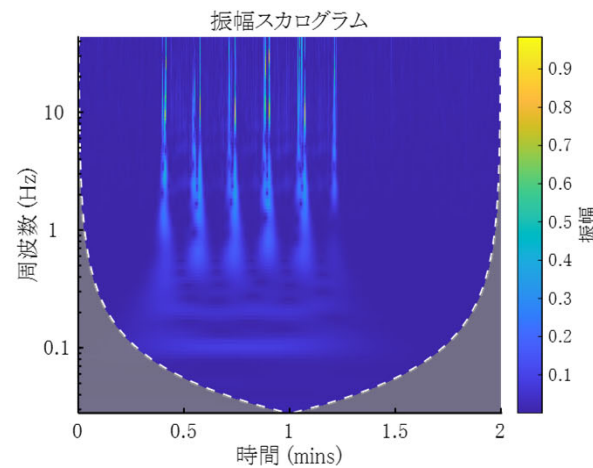
- 計測条件: ハイパス(30kHz)あり ⇒ エイリアシング注意！
- 3種でスペクトルの特徴は異なる

# AE基本評価パラメータ

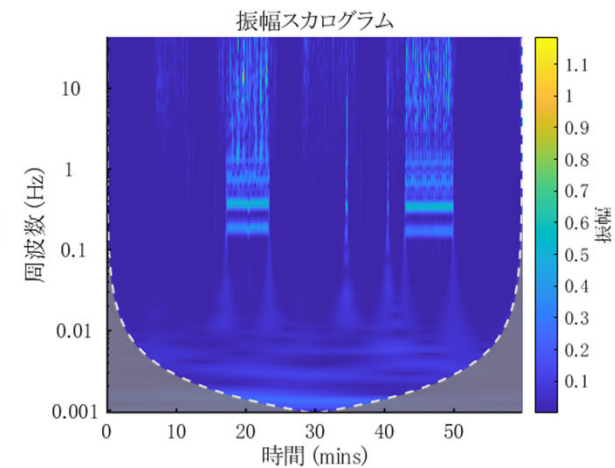
## ■ギヤ交換時のスカログラム



①クラッチOFF



②空打ち



③プレス

- 3種でスペクトログラムの特徴は異なる

⇒ 今後, 3条件+ギヤ破損時データの詳細検討!

# ほしいデータ

## ■ データ収集について

- プレス機から得られる情報(熱, 振動, 音, AE)の収集
  - ⇒ 故障前後のデータ
  - ⇒ 経年変化のデータ
  - ⇒ 同一条件でのログデータ
  - ⇒ (条件の異なる)ログデータ

# 付 録

# エイリアシング

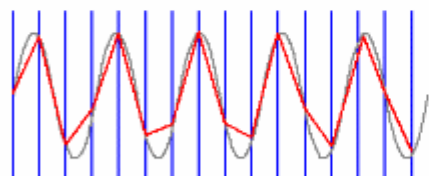
## ■エイリアシング(aliasing)

アナログ信号をサンプリング周波数  $F_s$  でサンプリングしてデジタル信号に変換した場合、ナイキスト周波数  $F_s/2$  以上の周波数成分を正しくアナログ信号に復元できなくなる現象

例：周期 $T$ の波形を  $T/3$  または  $2T/3$  の観測周期で観測した場合

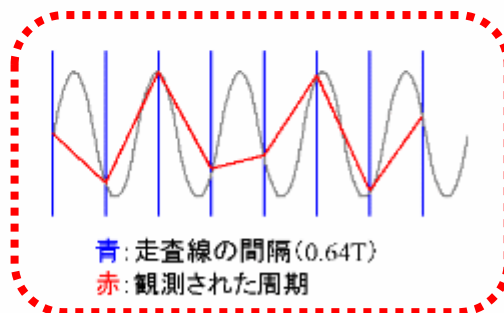


元の波形(周期:  $T$ )



青: 走査線の間隔 ( $0.32T$ )  
赤: 観測された周期

観測周期:  $T/3$



青: 走査線の間隔 ( $0.64T$ )  
赤: 観測された周期

観測周期:  $T/3$

$2T/3$ では、周期が元の波形 $T$ と異なる