

逐次尤度比検定による プラント異常の早期発見手法に 関する研究

2012年12月3日

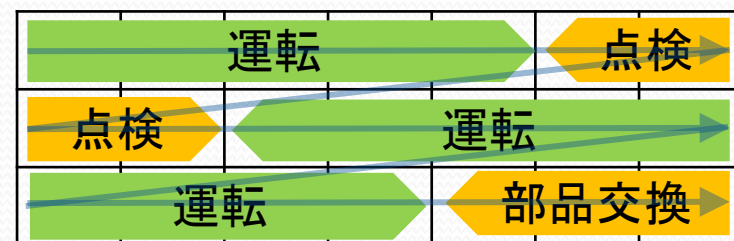
東北大学
鈴木敬吾 高橋信



1.研究背景

発電プラントの保全活動：予防保全

現在の保全活動：時間計画保全

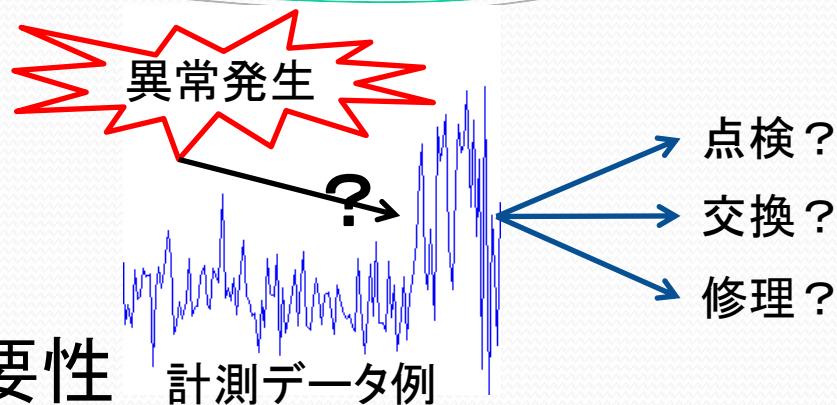


分解点検・漏洩調査・消耗品の交換・設備更新を
決められた時期に決められた機器に対して実施

➡ 良好な状態の機器に対しても実施

- 分解・点検・組立て時に機器へのストレスがかかる
- 作業量が増加しヒューマンエラーのリスクが高い

1.研究背景



状態監視保全導入の必要性

機器・システムの挙動を監視し状況を推定，ケースに応じて対処

利点

- 機器へのストレスが減少し損傷防止
- 運転停止期間の短縮による稼働率の向上

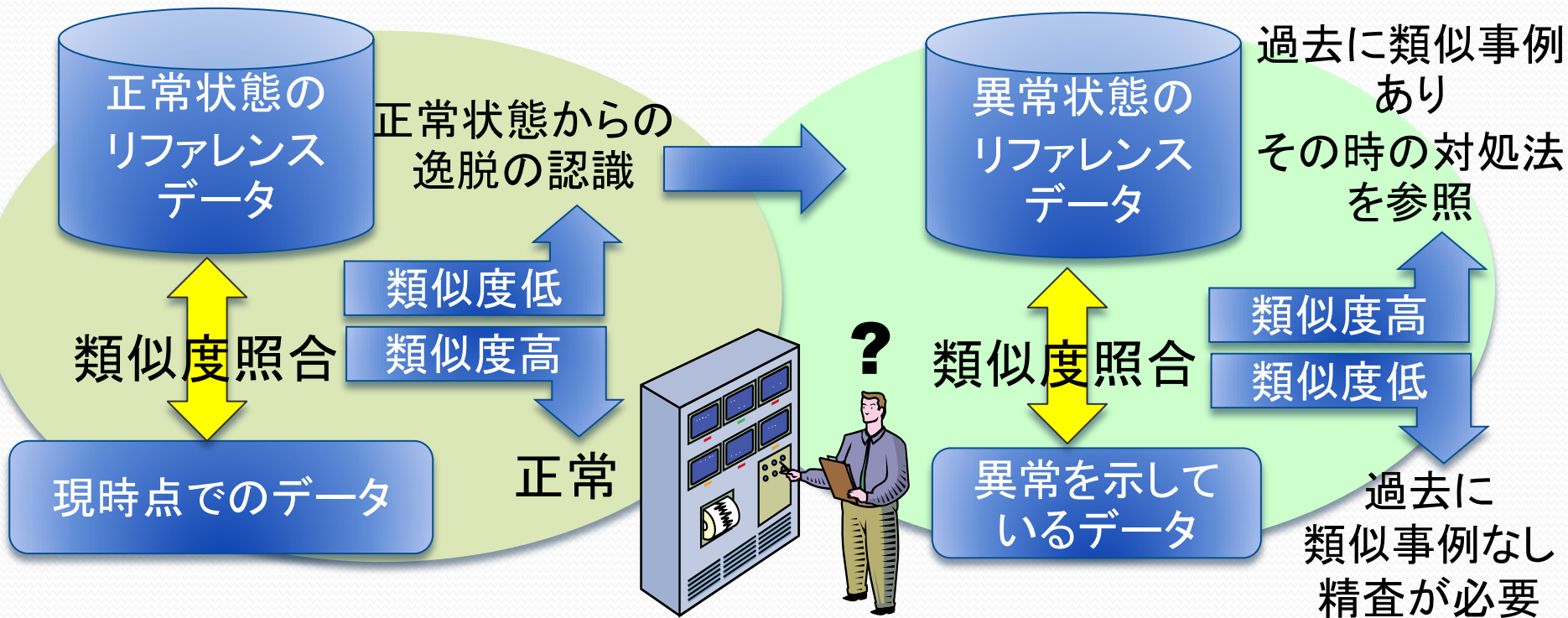
問題点

- 揺らぎ挙動をする膨大な計測データの詳細な監視が現在以上に必要

保守作業員に対して適切な情報獲得支援が必要

2. 研究背景

事例ベースの診断システム



効率的に事例を検索> **運転員の負担軽減**

3. 先行研究の問題点

- 先行研究では正常状態と異常状態の弁別の可能性にのみ着目
- 異常の早期検出という観点が欠如
- 誤報 (False Alarm: FA) と欠報 (Miss Alarm: MA) の区別がされていない

早期検出とFA, MAはトレードオフの関係
対象とする信号の性質にも依存

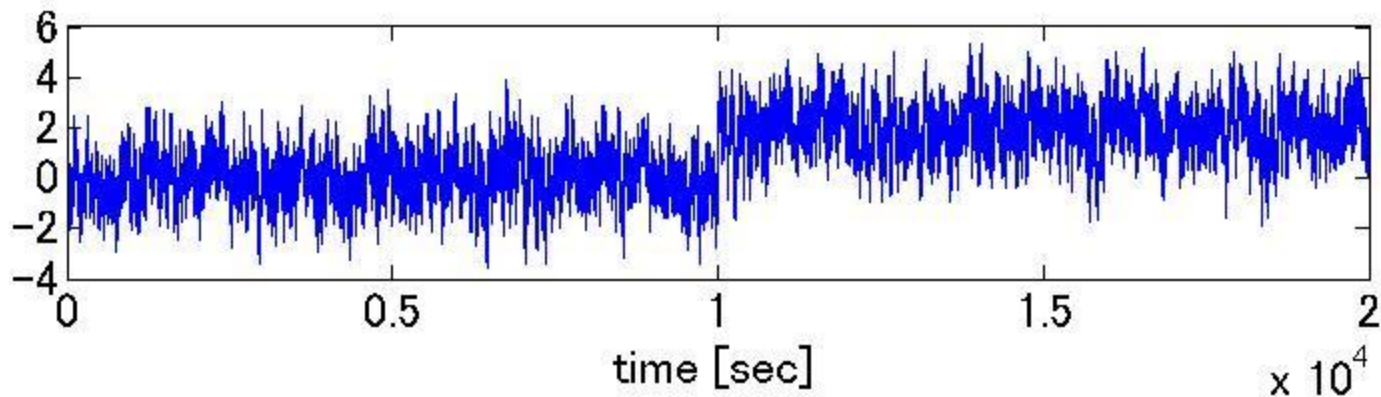
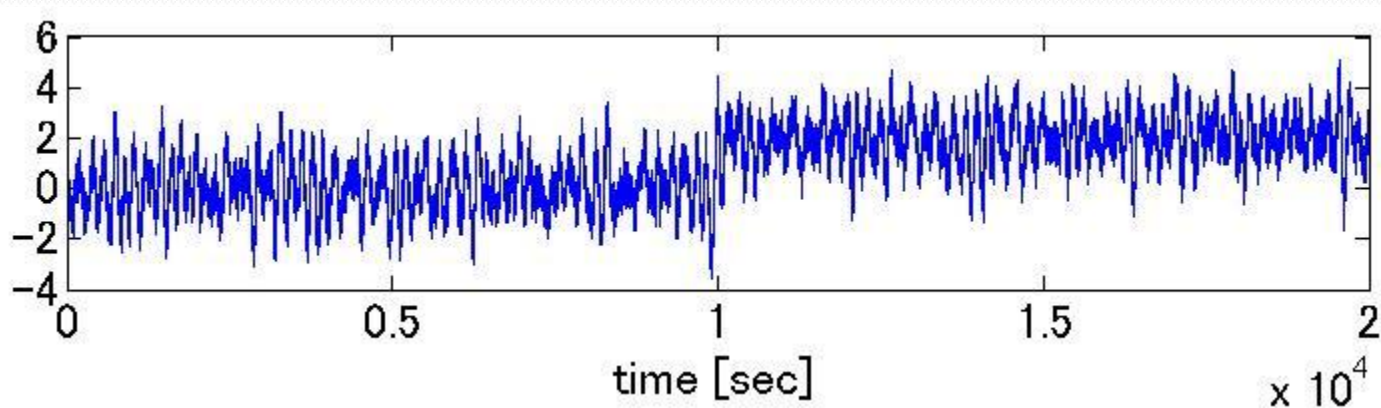
- 異常早期検出を主眼にしてFA, MAとの関係を明らかにする必要
- 目的に応じて、異常検出の早期性と信頼性を調整する必要

4.研究目的

本研究の目的

揺らぎデータの異常を早期に検出できる手法を検討

揺らぎの
ある各種
データ

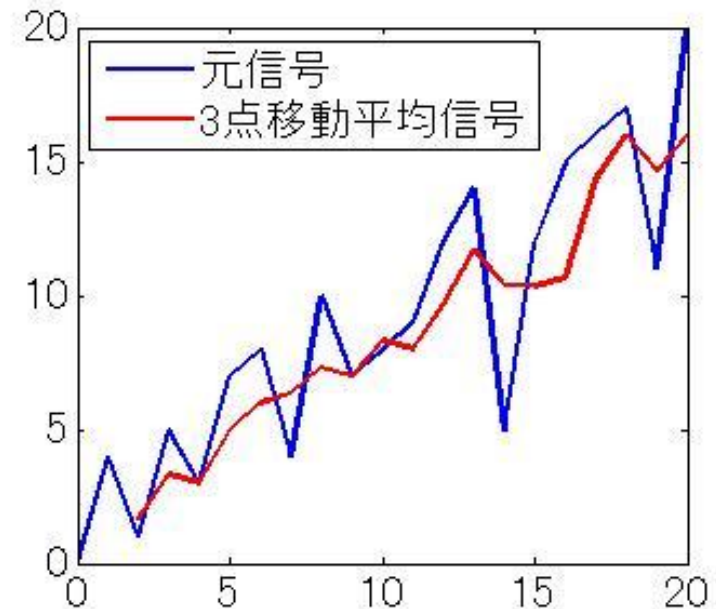


5.異常検出手法

- 移動平均法とSPRT(逐次尤度比検定)法を使用して異常検出を行い、両者の特徴を比較

移動平均法

- 直近の一定個数(ウィンドウ)のデータの平均を取る
- 値の一時的な揺らぎ成分を除去することが可能



5.異常検出手法 SPRT(逐次尤度比検定)法

Sequential Probability Ratio Test:
2つの対立した正規分布仮説を元に
与えられたデータがどちらの仮説に
属するものかを検定する手法

SPRTの特徴

- 異常検出の時間が短い
- FA/MA率の設定が可能
- 計算量が少ない

$$\begin{aligned}\lambda_n &= \lambda_{n-1} + \ln \Lambda(x_n) \\ &= \lambda_{n-1} + \ln \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(-\frac{(x_n - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right)}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left(-\frac{(x_n - \mu_0)^2}{2\sigma_0^2}\right)}\end{aligned}$$

代入 $\mu_0 = 0, \mu_1 = 2, \sigma_0 = \sigma_1 = 1$

α =FA率、 β =MA率として、
閾値BIを設定

$$A = \ln \frac{\beta}{1-\alpha}, B = \ln \frac{1-\beta}{\alpha}$$

$$Bl = \ln \left(A \frac{1-e^B}{1-e^A} - B \right)$$

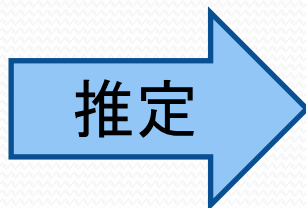
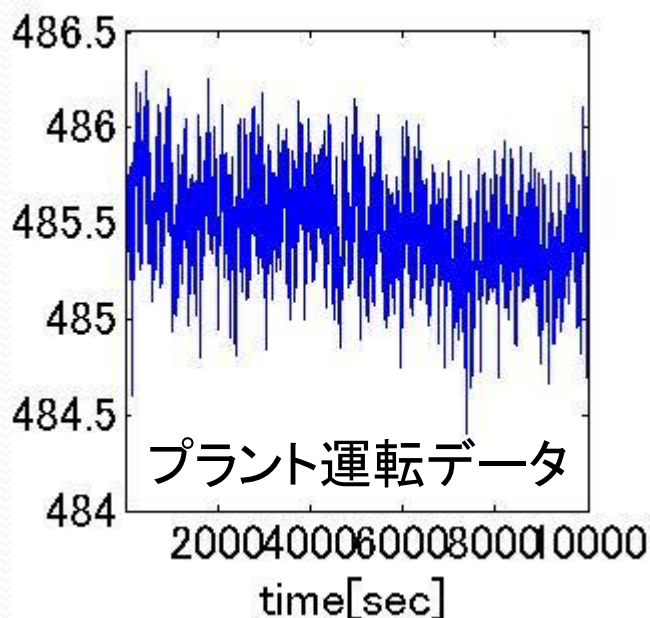
λ_n がBIを超えた時
に異常と判定

0以下の値をリセットするmodified-SPRT使用

6.シミュレーション信号の作成(1)

実データの信号特性を再現できる模擬データを生成

- 実際のプラント運転信号から、ユール・ウォーカー法によって自己回帰モデル(ARモデル)を推定
- ARモデルにより信号の特徴を表現可能



ARモデル式

$$Y(k) = \sum_{m=1}^M A(m)Y(k-m) + V(k)$$

Y: サンプル信号

A: フィッティングマトリクス

V: 雑音

k: サンプル番号

M: モデル次数

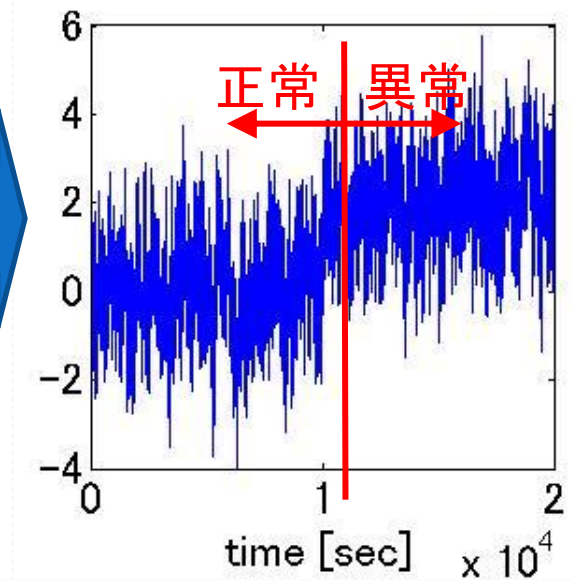
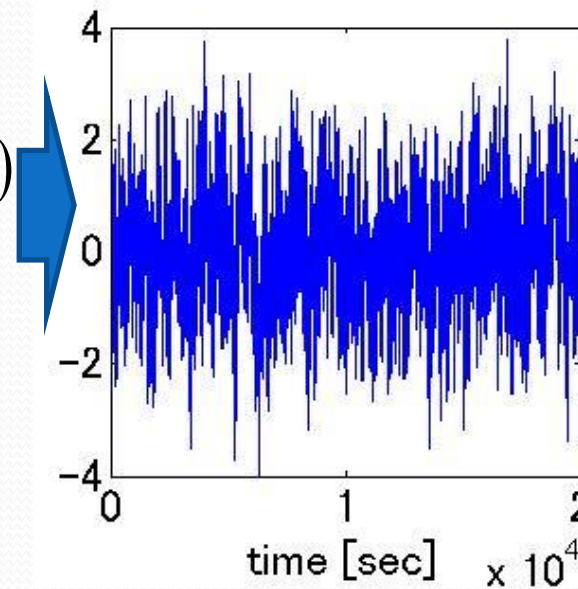
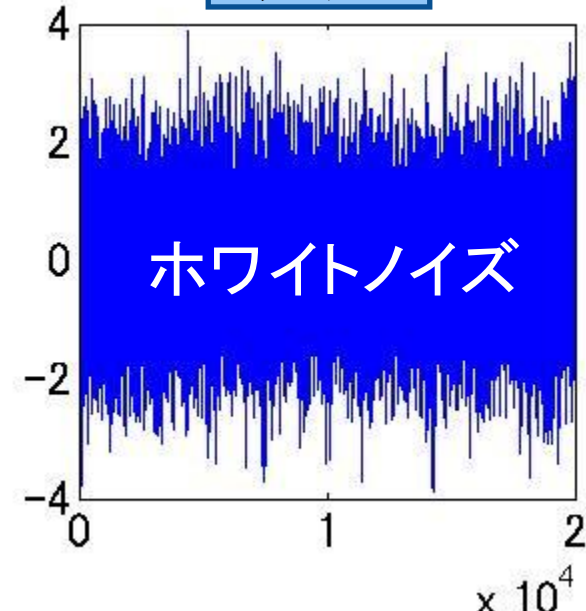
6.シミュレーション信号の作成(2)

- ARモデルから正常状態で平均 $\mu=0$,分散 $\sigma=1$,異常状態で平均値が 2σ 変化する模擬異常信号を作成
- 異なるホワイトノイズにより同一ARモデルで5つのシミュレーション信号を作成

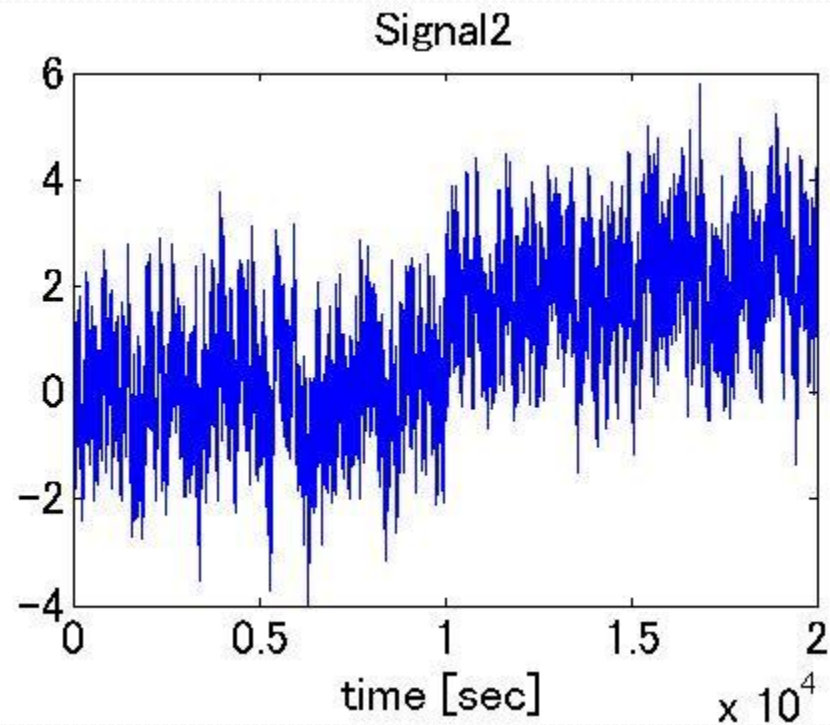
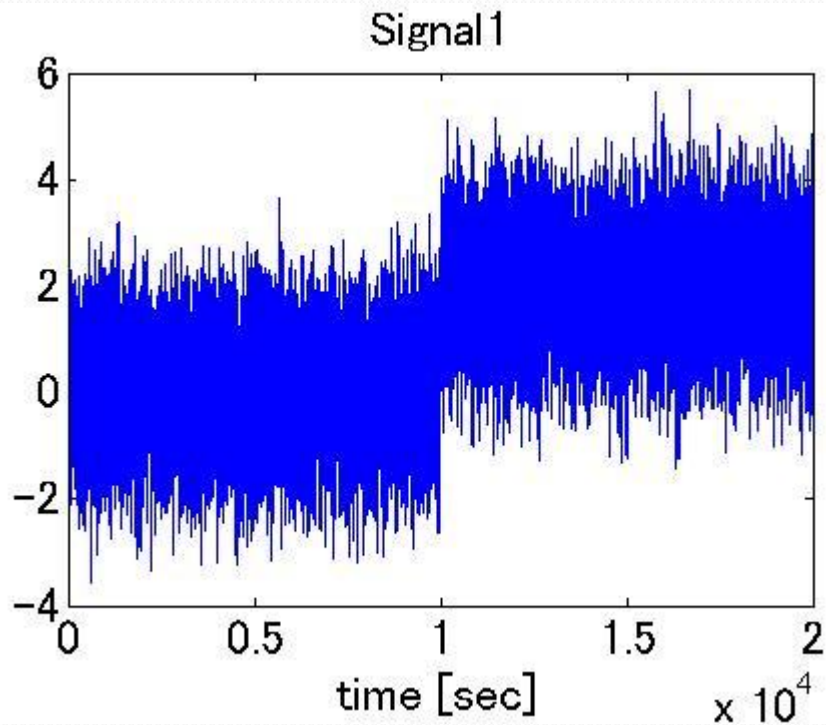
算出したARモデル

$$Y(k) = \sum_{m=1}^M A(m)Y(k-m) + V(k)$$

入力

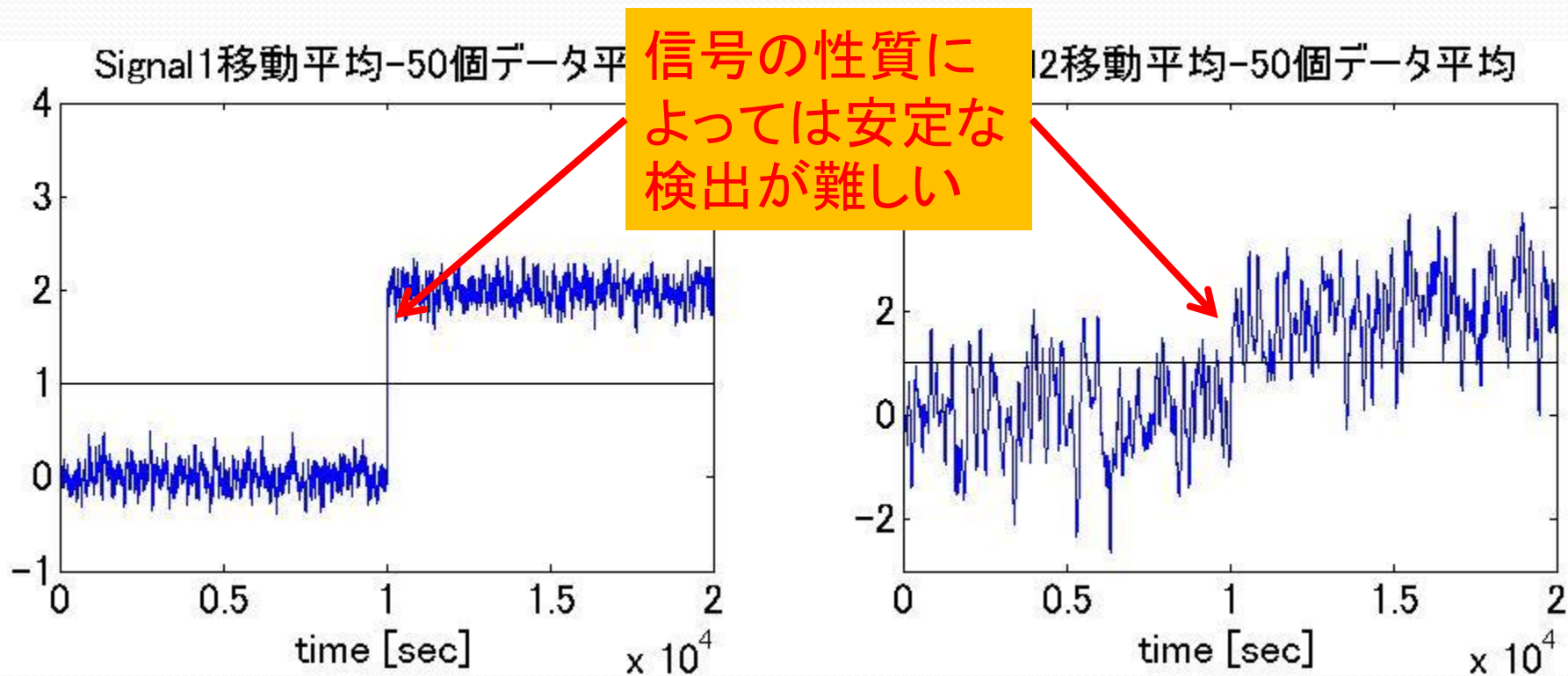


7.異常検出結果 移動平均法



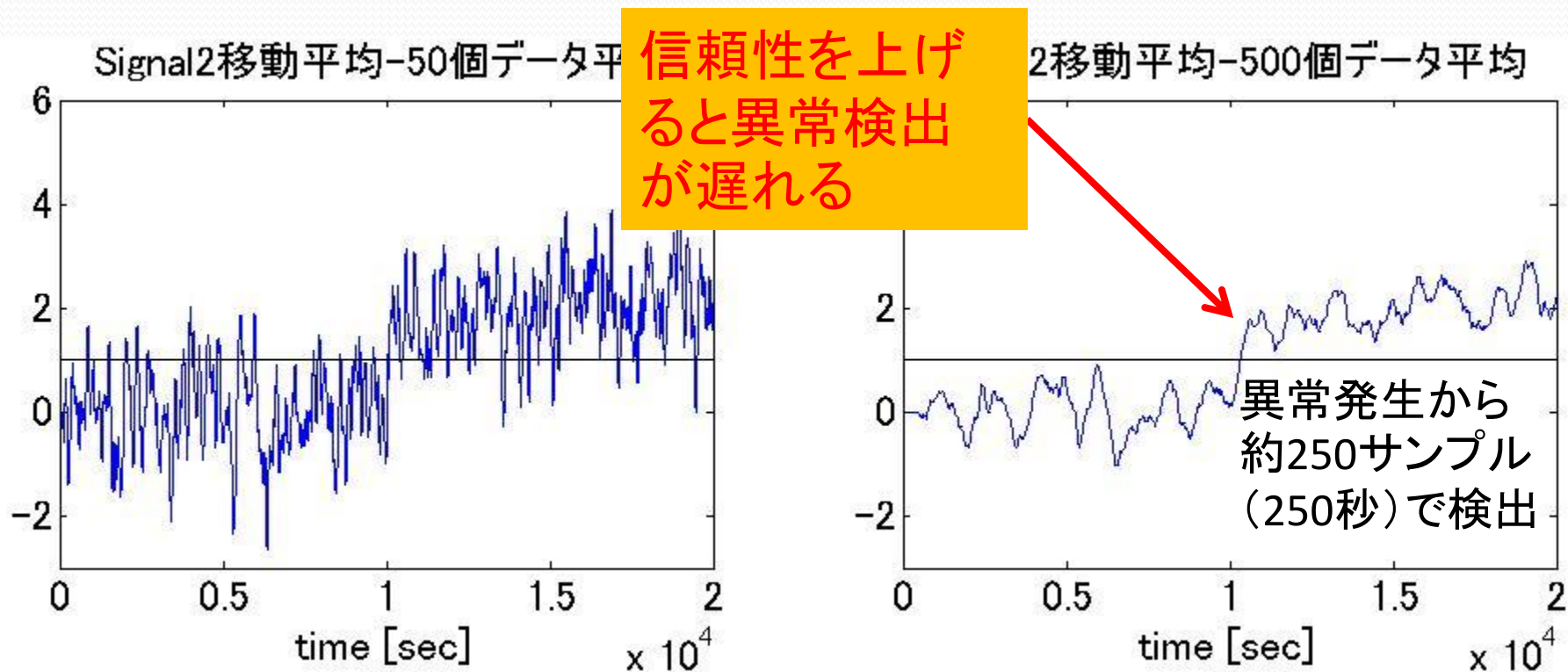
元信号

7.異常検出結果 移動平均法



移動平均後(ウィンドウ幅50)

7.異常検出結果 移動平均法

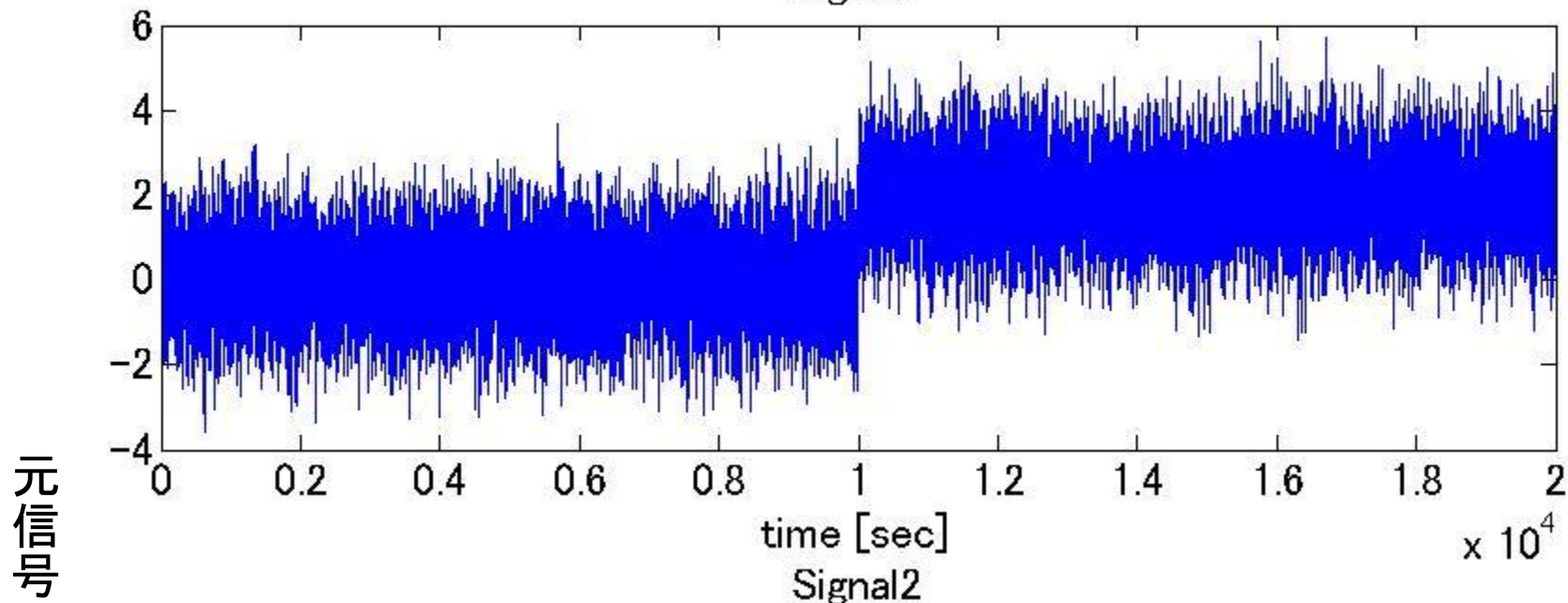


移動平均後(ウィンドウ幅50)

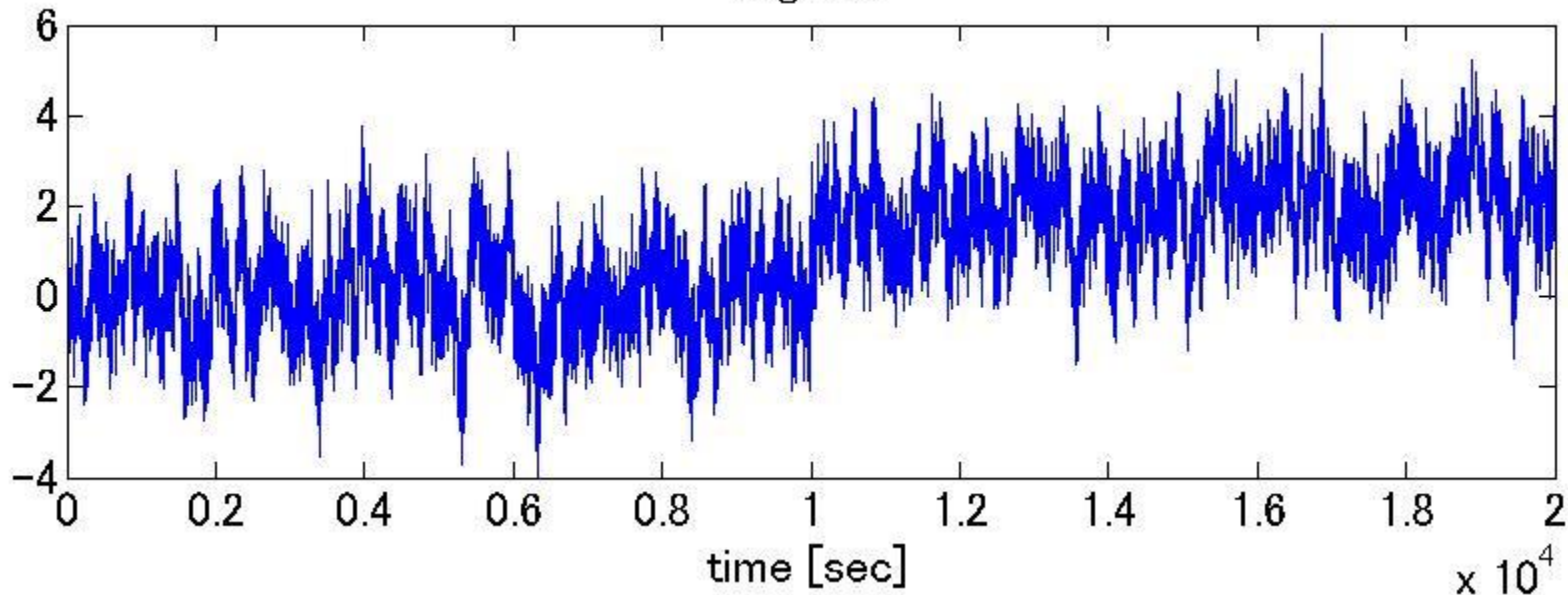
移動平均後(ウィンドウ幅500)

7.異常検出結果 SPRT法

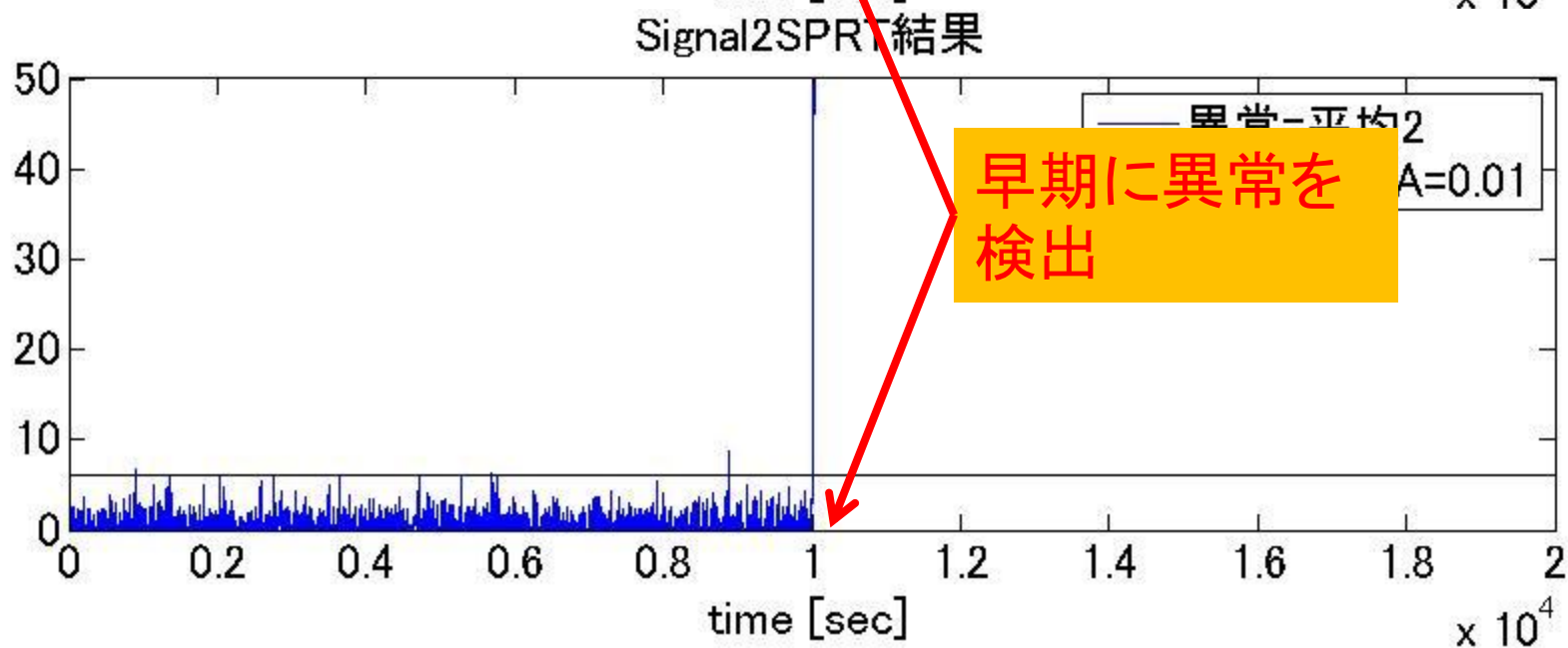
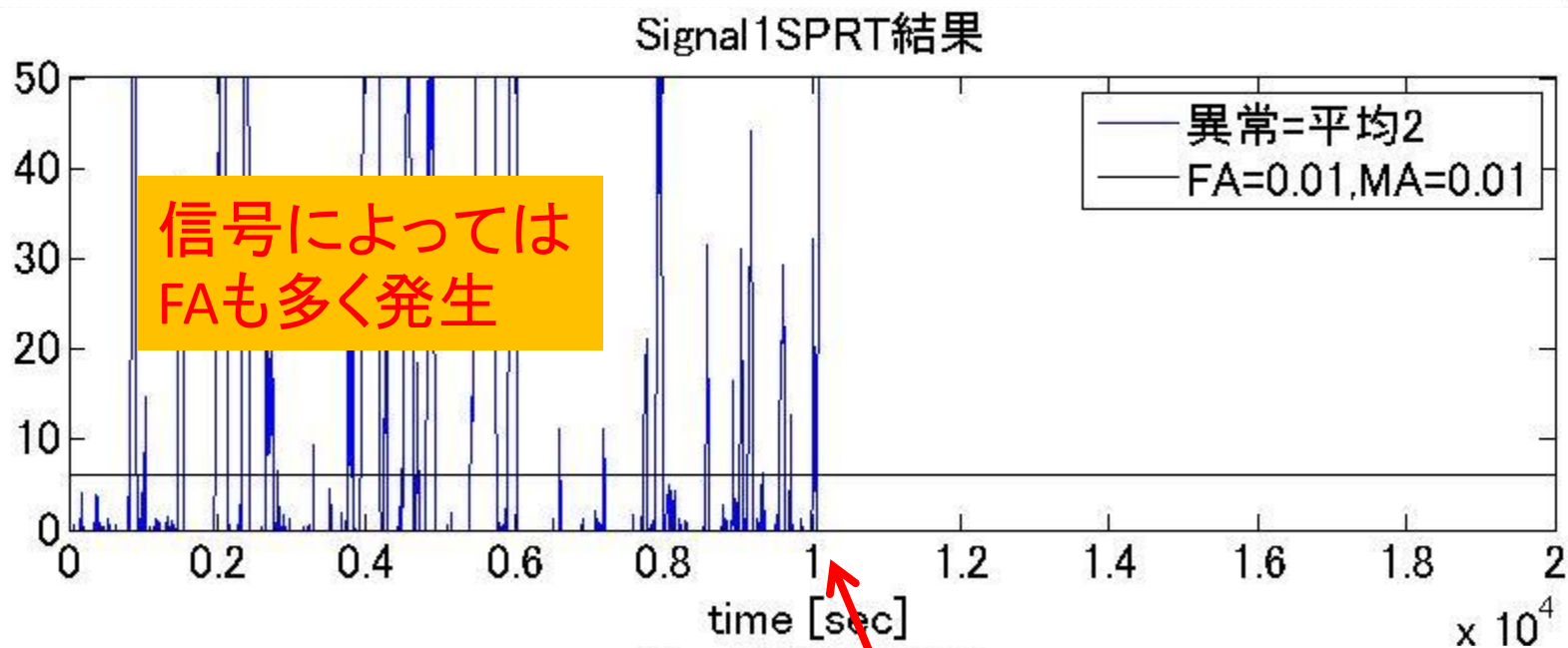
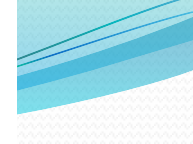
Signal 1



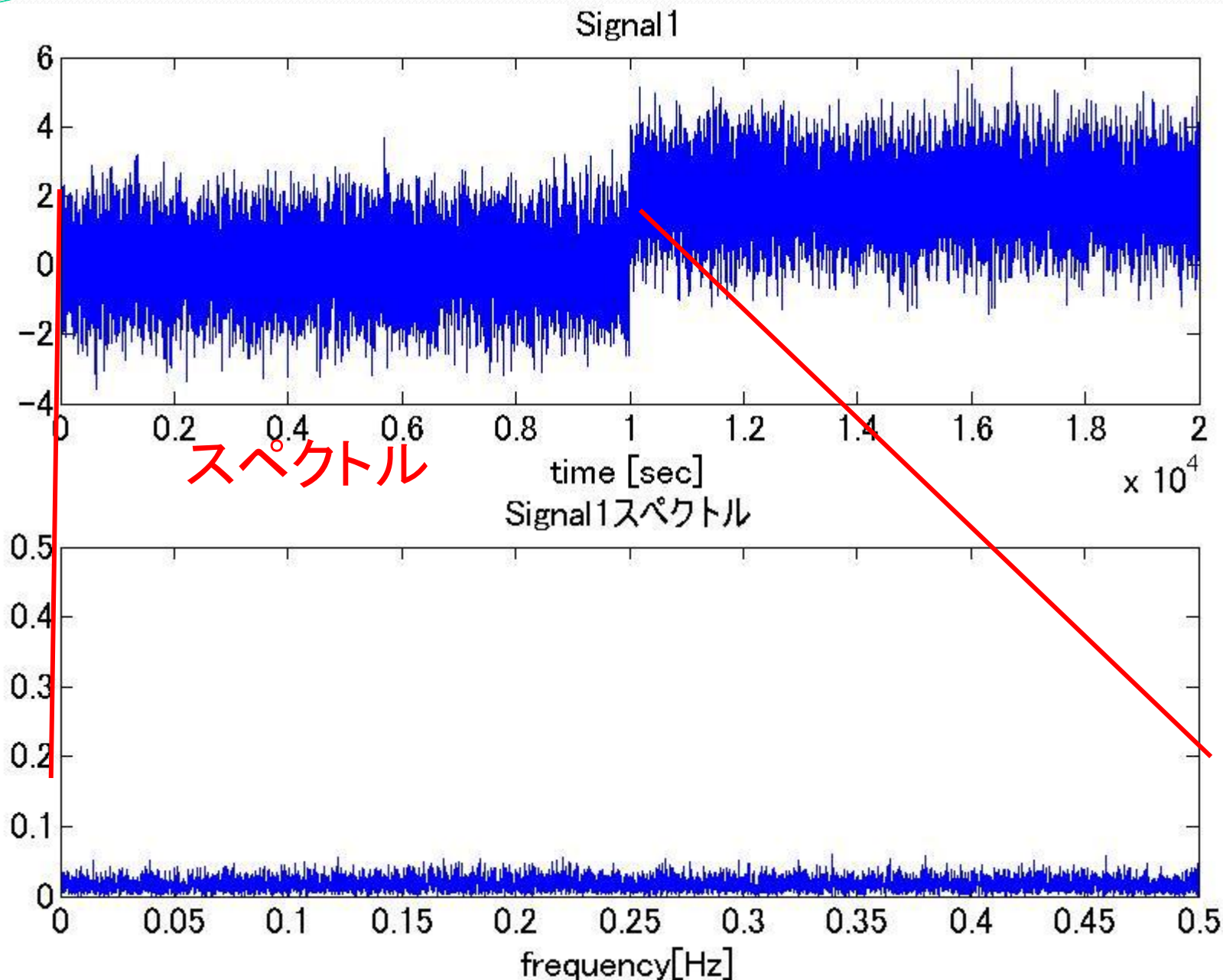
Signal 2



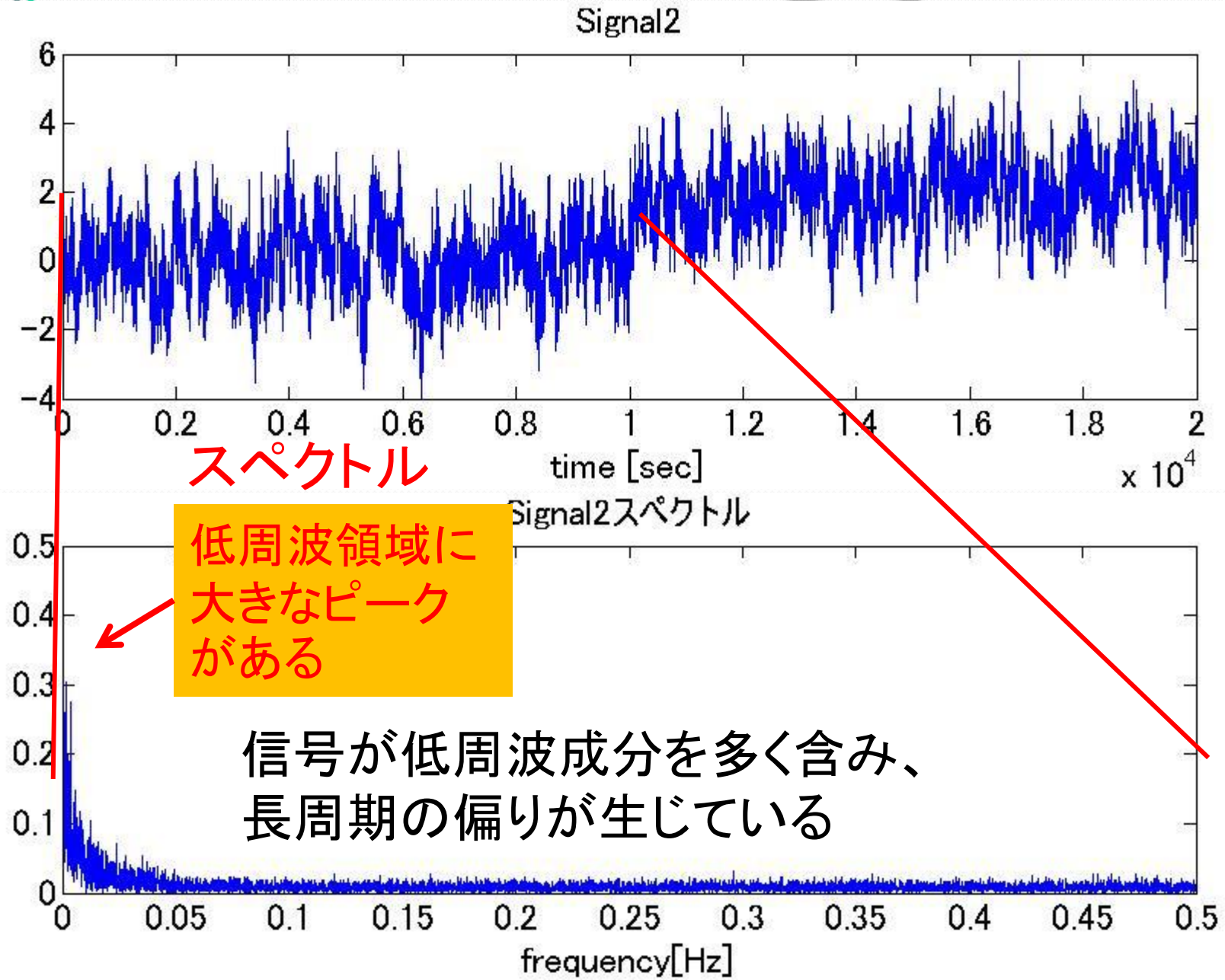
7.異常検出結果 SPRT法



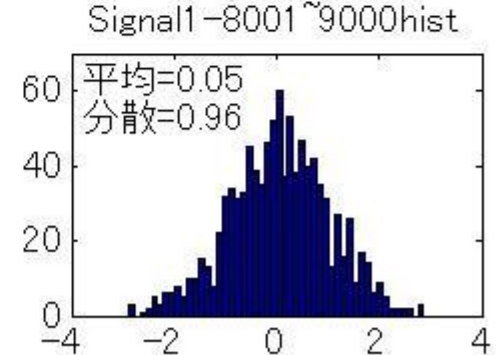
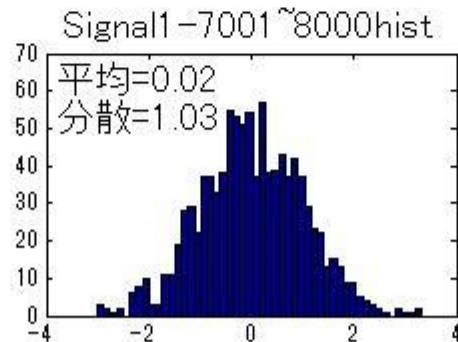
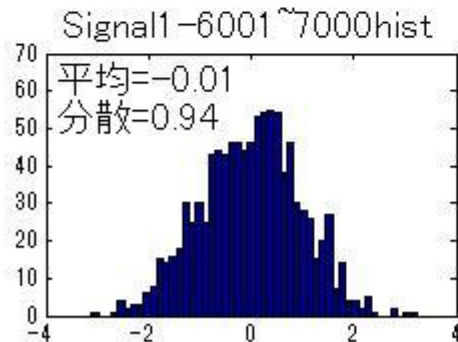
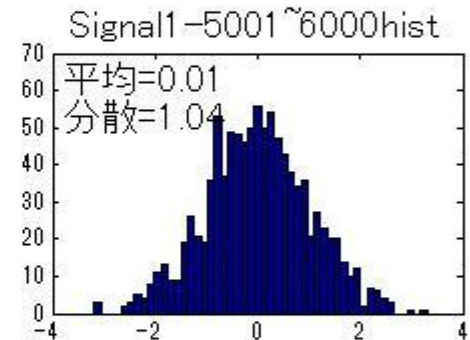
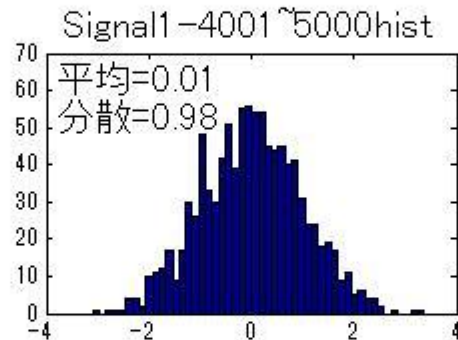
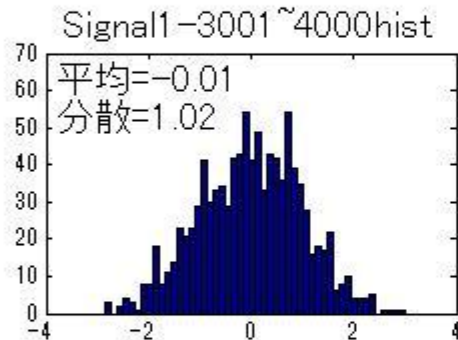
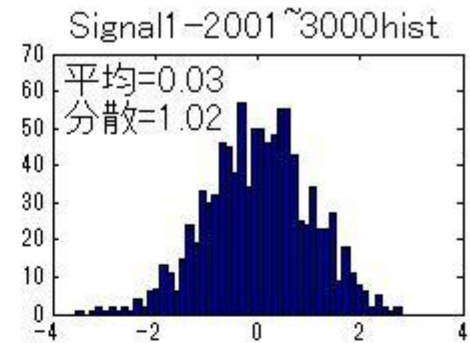
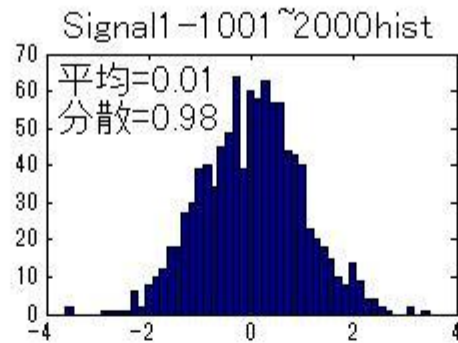
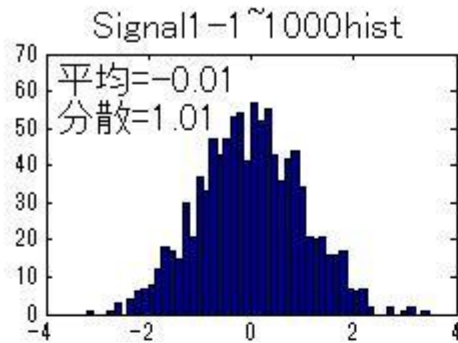
7.異常検出結果 SPRT法検出精度低の原因



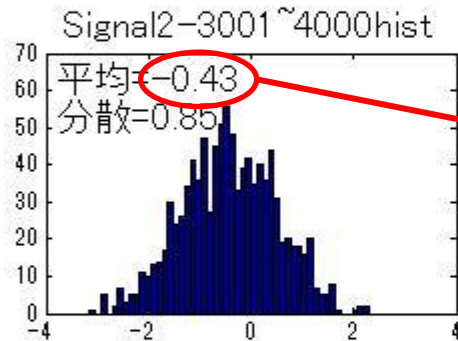
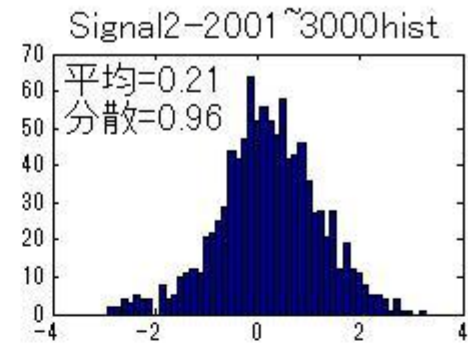
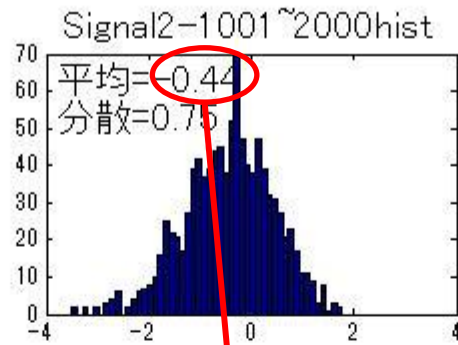
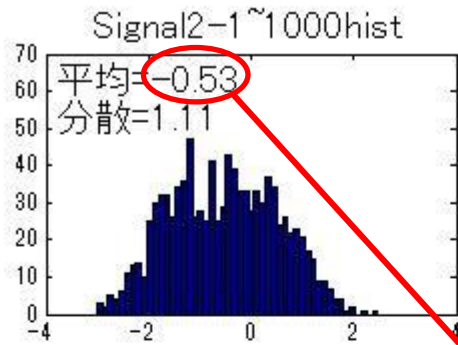
7.異常検出結果 SPRT法検出精度低の原因



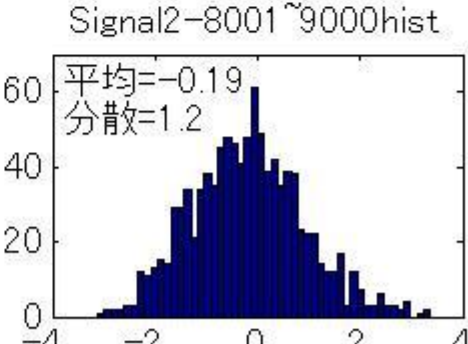
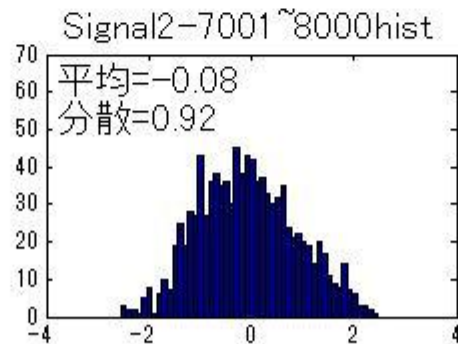
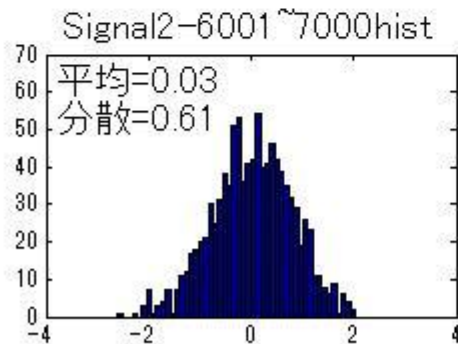
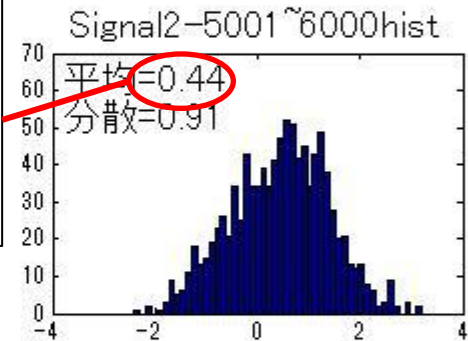
7.異常検出結果 SPRT法検出精度低の原因



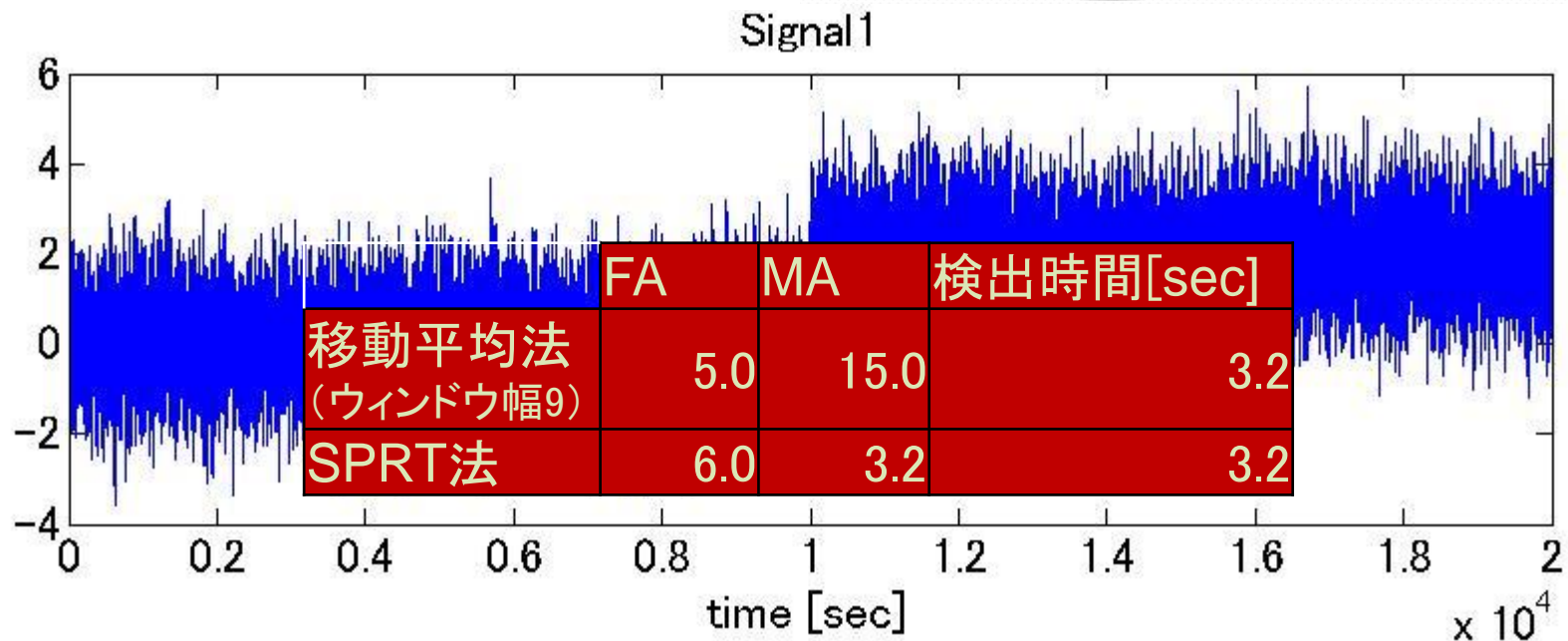
7.異常検出結果 SPRT法検出精度低の原因



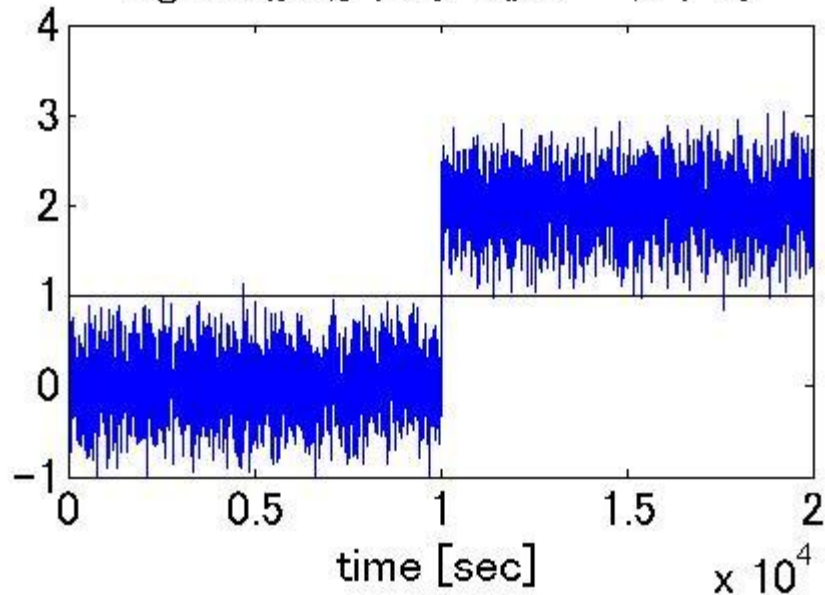
信号が大きく偏る部分が生じる
→信号の正規性低下



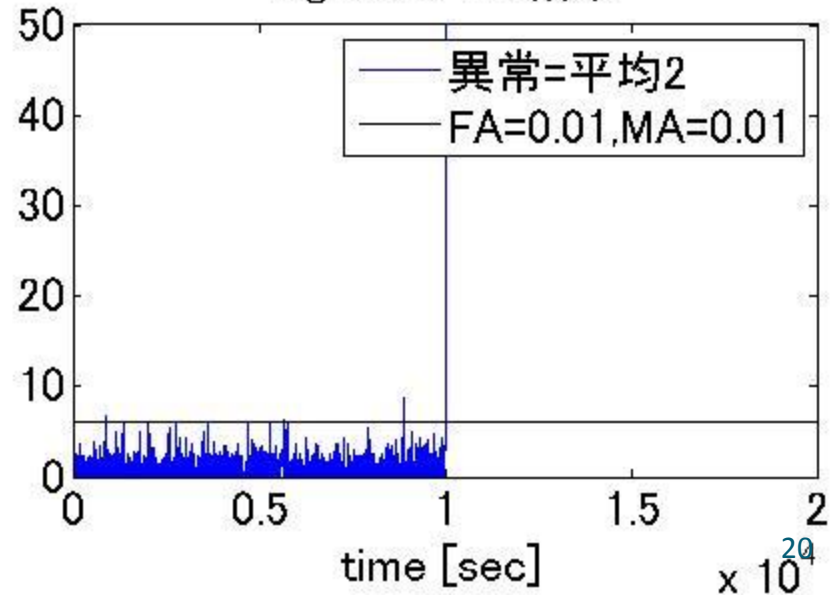
8.手法診断結果



Signal 1 移動平均-9個データ平均

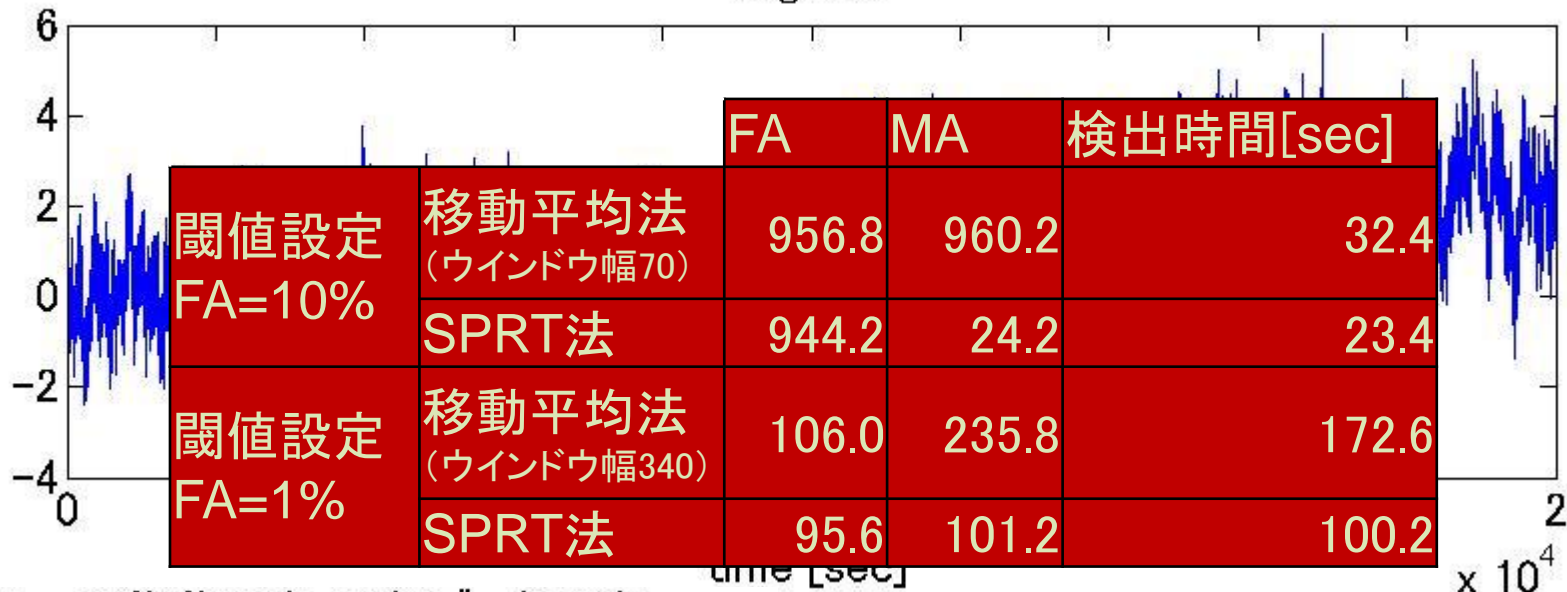


Signal 1 SPRT結果

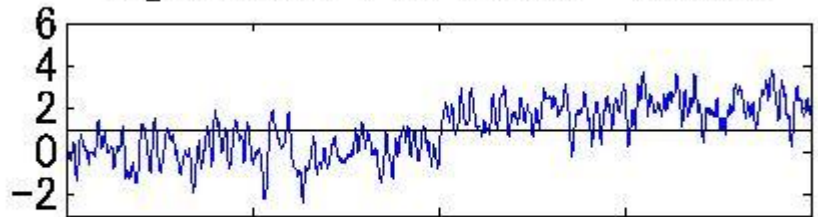


8.手法診断結果

Signal2



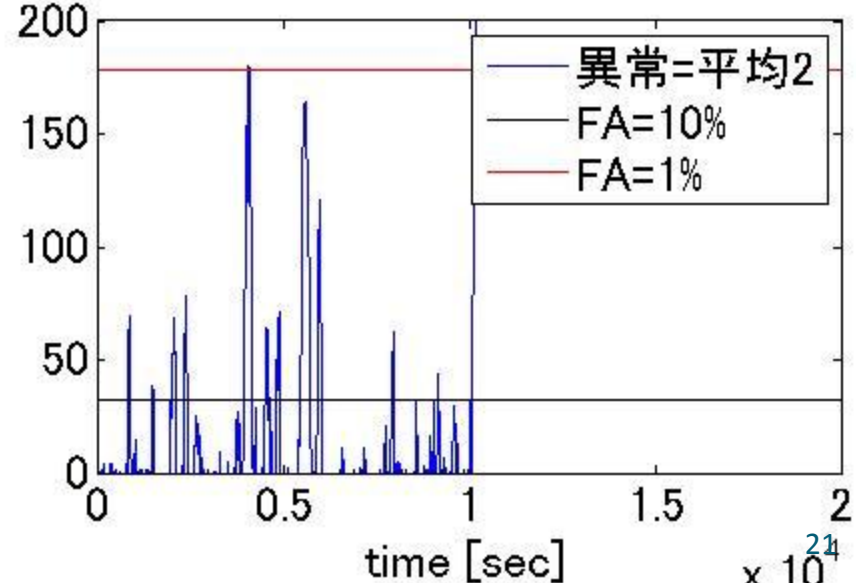
Signal2移動平均-70個データ平均



Signal2移動平均-340個データ平均



Signal2SPRT結果



9.まとめ

- 移動平均法とSPRT法では同等のFA率の場合、SPRT法のほうが早く異常を検出
 - SPRT法はMA率が低く異常の見逃しが少ない
- ➡ 揺らぎデータの早期異常検出におけるSPRT法の有効性の確認



今後は移動平均法とSPRT法を組み合わせ、異常検出の早期性とFA,MA率を調整出来る手法の実現を目指す