

# 寄生的離散ウェーブレット変換による 異常信号検出技術

工学部 生産システム工学系  
教授 章 忠

## ◆ ニーズ

- ◆ 信頼性が高く、リアルタイムでの初期の異常診断技術

例) 原子力発電所・石油プラント・航空機

## ◆ 異常とは？

異常振動や異常音など変動的で非定常性が強い信号を対象

- ◆ 多数の特徴成分を含む
- ◆ 信号の強さもさまざまである
- ◆ 発生時刻が不規則

## ◆ 異常信号の定量評価

### ◆ 複合実信号マザーウェーブレット(A-RMW)法を実現

- 複数の異常実信号からマザーウェーブレット(RMW)を構成

### ◆ ウェーブレット瞬時相関を定義

- A-RMW法から考案し実現

## ◆ A-RMW定量評価法の課題

### ◆ 連続ウェーブレット変換へのみ適用可能

### ◆ 高速計算アルゴリズムが存在しない

計算速度の向上が困難であるため、リアルタイムで実行できない。従って、広く利用されるまでには至っていない。

## ◆新技術

### ◆寄生的離散ウェーブレット変換 (P-DWT)

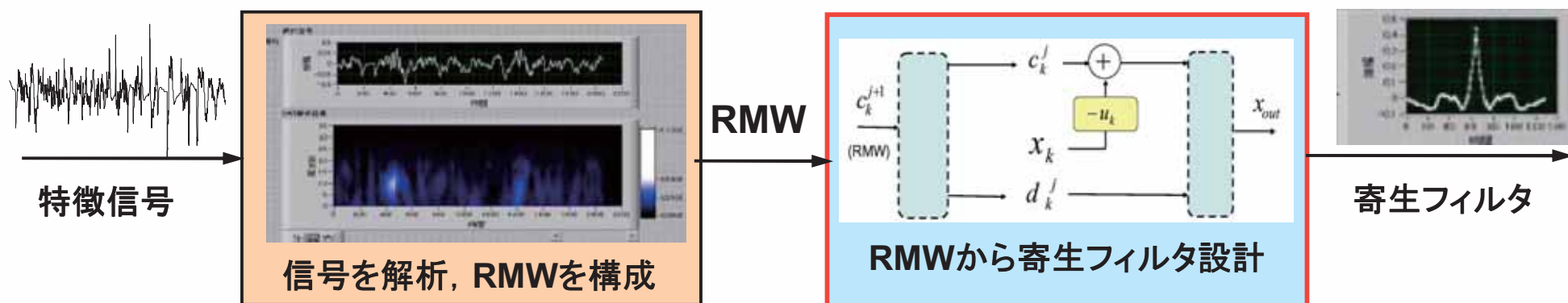
#### 世界初の最新技術

- 離散ウェーブレット変換 (DWT) の **高速性**
- **寄生フィルタ** による異常信号の検出を実現
  
- A-RMWの最適化手法 + 寄生フィルタ
  - ✓ 多数の非定常信号からA-RMWを構成
  - ✓ A-RMWを元にして最適化し、A-RMWと同じ周波数特性を有する寄生フィルタを実現

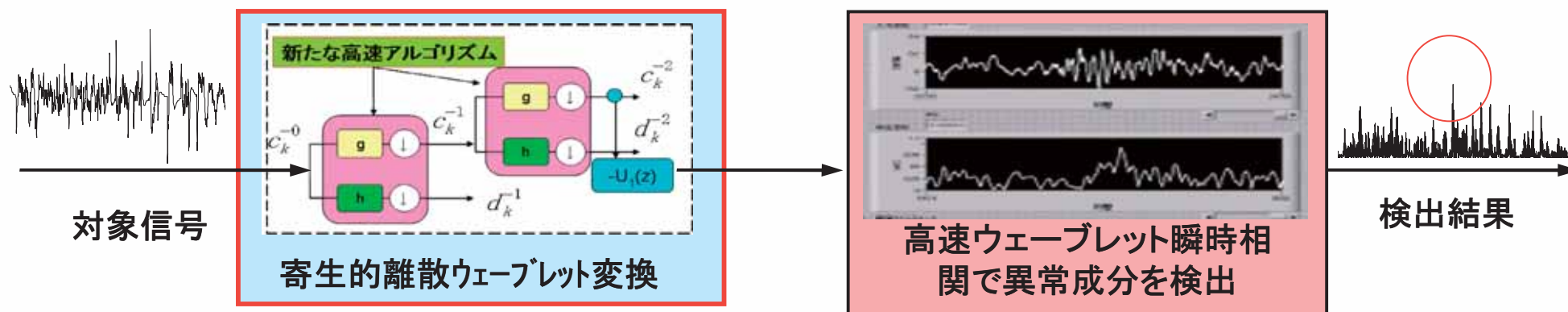
この革新的な新技術の開発により、従来非常に困難であった変動的な異常信号の検出をリアルタイムで実現できる。

# 新技術の概要 #1

## 1) 検出したい信号から寄生的フィルタを設計



## 2) 高速ウェーブレット瞬時相関による特徴信号の検出

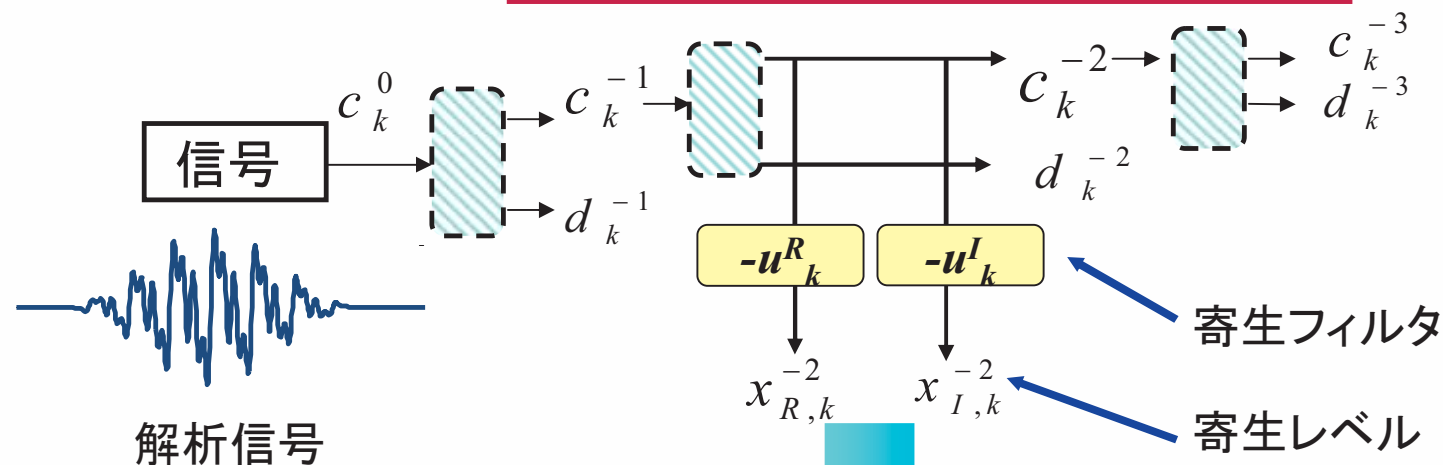


実信号から構成されたRMW(実信号マザーウェーブレット)から寄生フィルタを設計し、それを離散ウェーブレット変換に配置することにより、特徴信号を高速に検出する手法

# 新技術の概要#2

## ◆ 寄生的離散ウェーブレット変換による高速ウェーブレット瞬時相関(F-WIC)

### 寄生的DWTのツリー構造



通常のDWT

+

寄生フィルタ

||

寄生的DWT

DWT: 離散ウェーブレット変換  
CWT: 連続ウェーブレット変換

高速ウェーブレット瞬時相関  $R(k)$

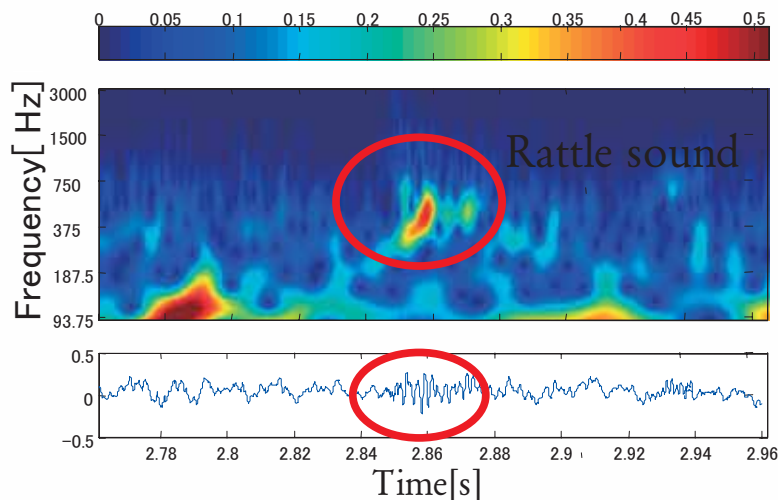
$$R(k) = \sqrt{(x_{R,k}^j)^2 + (x_{I,k}^j)^2}$$

- 特徴: 1) 寄生フィルタは従来DWTの計算には影響を与えない。  
2) F-WICは計算速度が従来より約2.5倍高速である。  
3) F-WICは高速化だけでなく、計算精度を保持している。

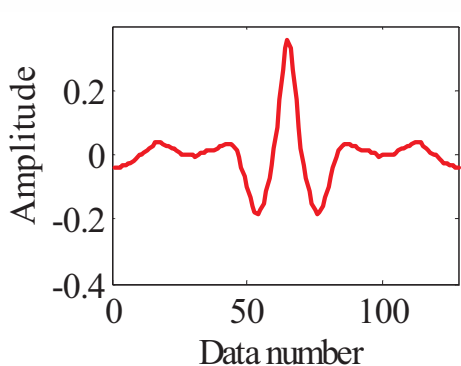
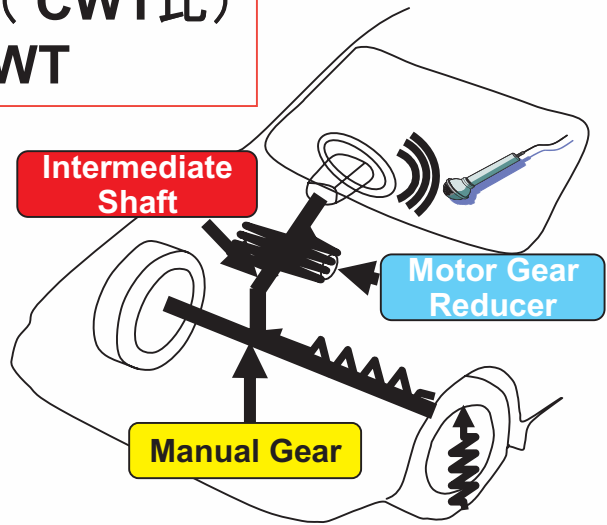
# 新技術の適用事例

## ステアリング異常音の検出

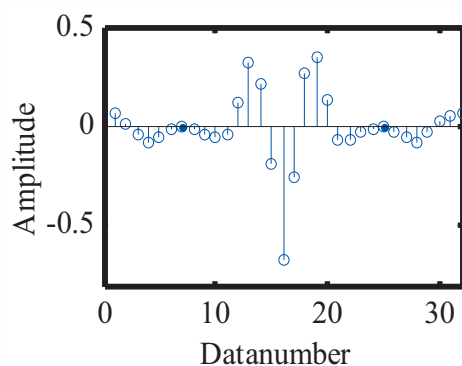
計算速度: 約2.5倍 (CWT比)  
精度: P-DWT = CWT



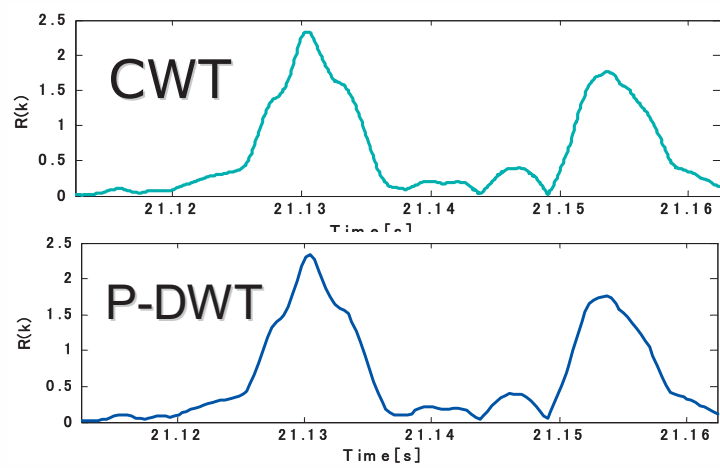
## 音源探査



(a) RMWの例



(b) フィルタの例



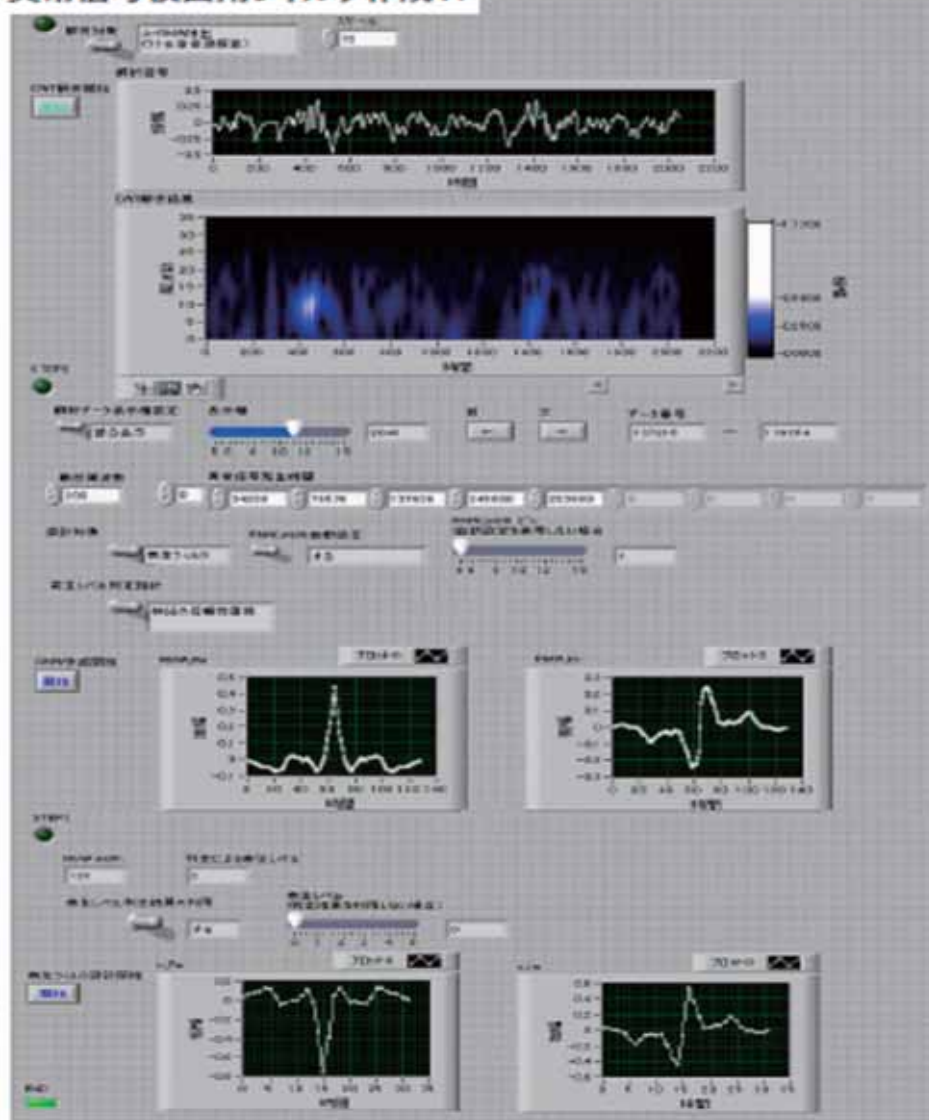
(c) 検出結果の例

この革新的な新技術の開発により、従来非常に困難であった変動的な異常信号の検出は、リアルタイムで実現できる。

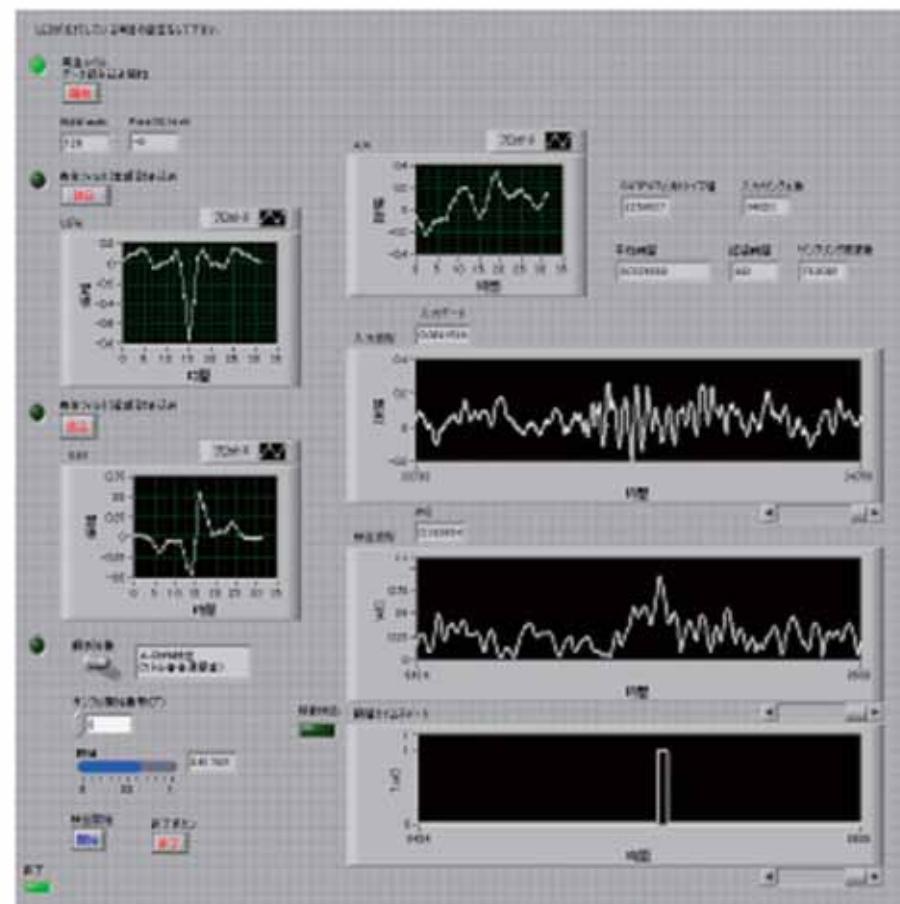


# 新技術の基となる研究成果・技術

異常信号検出用フィルタ作成VI



RMWと寄生フィルタとの設計例



F-WICによる異常信号検出例

CPU:2.0[GHz], RAM:1.0[GB], ソフトウェア:LabVIEW を使用した計算条件において, 1サンプルの計算時間は  $5.10 \times 10^{-7}$ [s], 従来の2.5倍速度向上

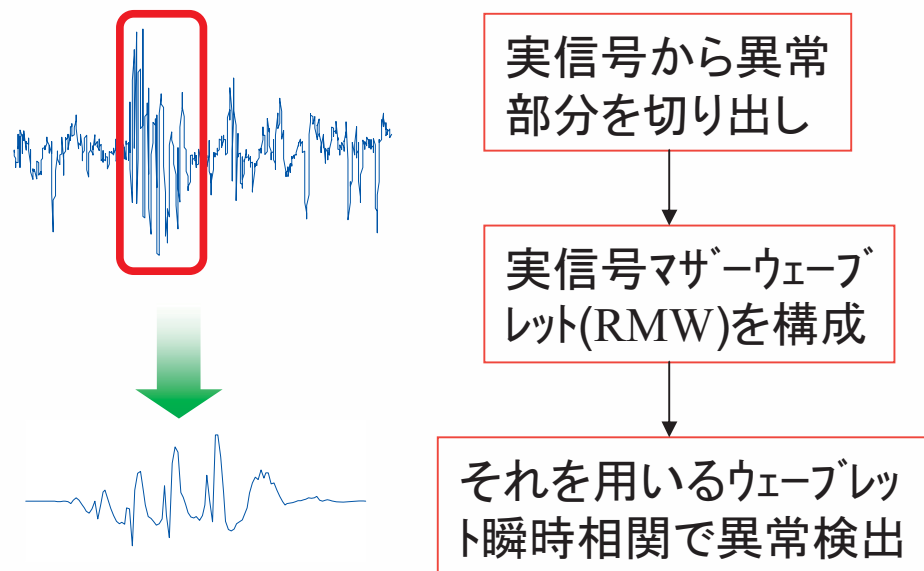


# 新技術の内容#1

## 1) 異常信号検出に有効な手法

★ 論文: 3編

★ 特許: 2006-025155(2件)



解析信号      作制したRMW

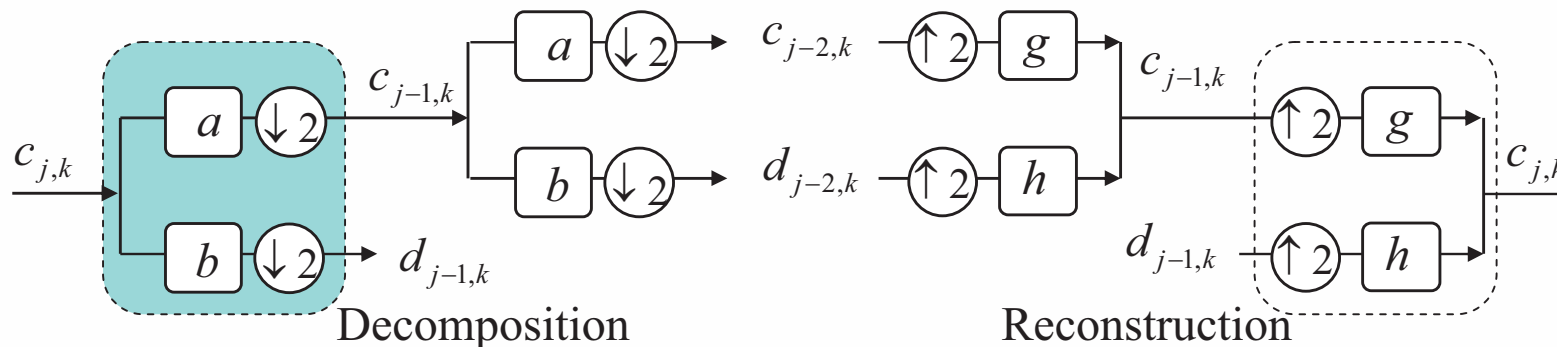
$$w(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}_{a,b}(t) dt$$

ウェーブレット瞬時相関:

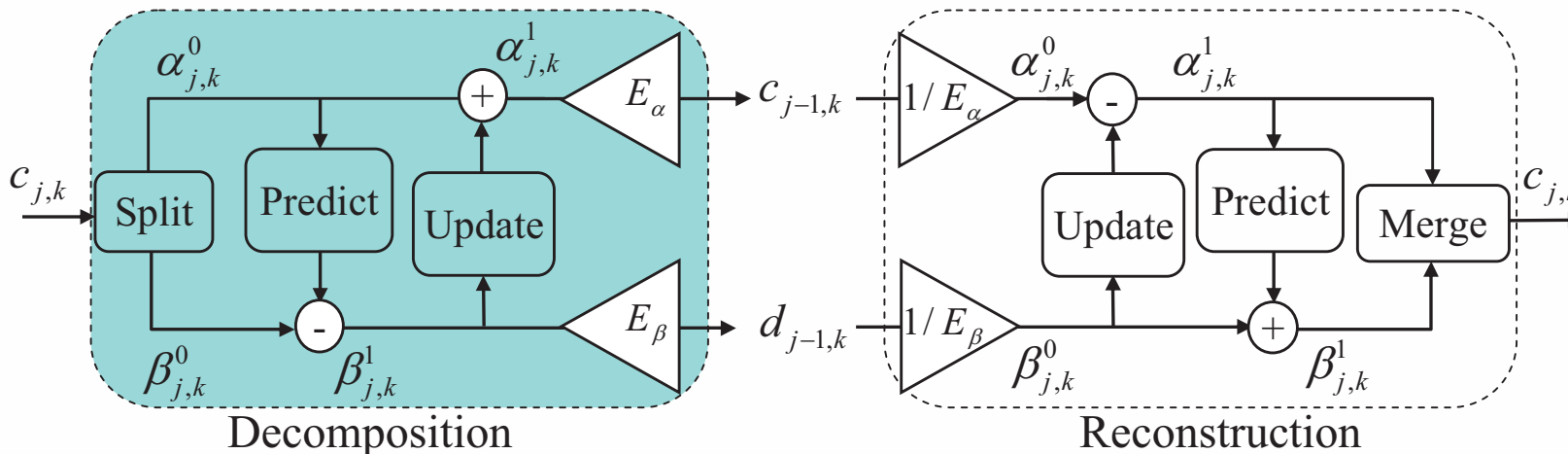
$$R(b) = |W(1, b)|$$

RMWは理論上連続ウェーブレット変換(CWT)のみに利用が可能であるが、CWTには一般化された高速計算アルゴリズムが存在しないため、計算速度の向上は困難である。

## 2) 離散ウェーブレット変換 (DWT) の高速アルゴリズム



(a) DWT by using MRA

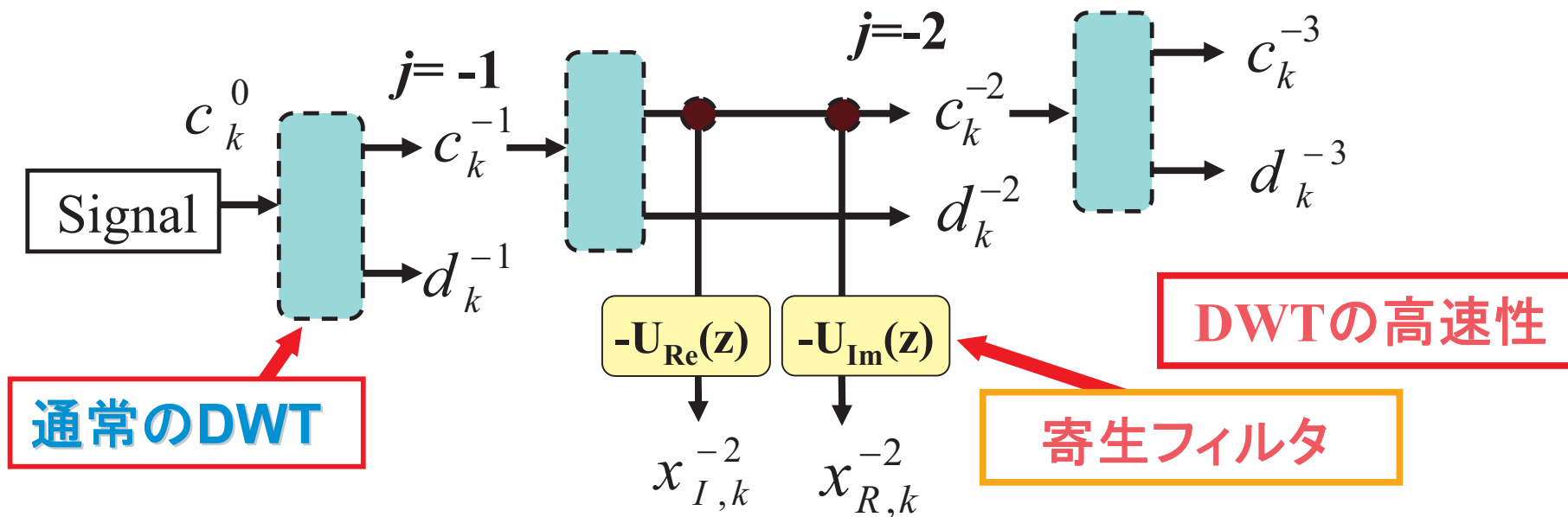


(b) DWT by using Lifting Scheme

DWTの高速アルゴリズム:

- 1) Mallatの多重解像度解析(MRA)
- 2) Sweldensのリフティングスキーム

## 3) 寄生的離散ウェーブレット変換 (P-DWT) の構成



★ 特許: 2008-262688  
 論文: Z. Zhang, et al. Fast Wavelet Instantaneous Correction and its Application on Abnormal Signal Detection, Inter. Journal of Innovative Computing, Information and Control, in press

$c_k^j$  信号の低周波成分  
 $d_k^j$  信号の高周波成分  
 $x_k^j$  検出における出力

高速ウェーブレット瞬時相関:

$$R(k) = \sqrt{(x_{R,k}^j)^2 + (x_{I,k}^j)^2}$$

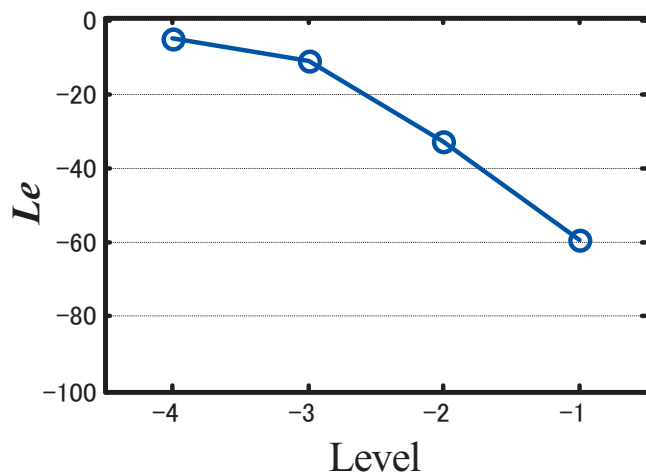
# 新技術の内容#4

## 4) 寄生レベルの決定

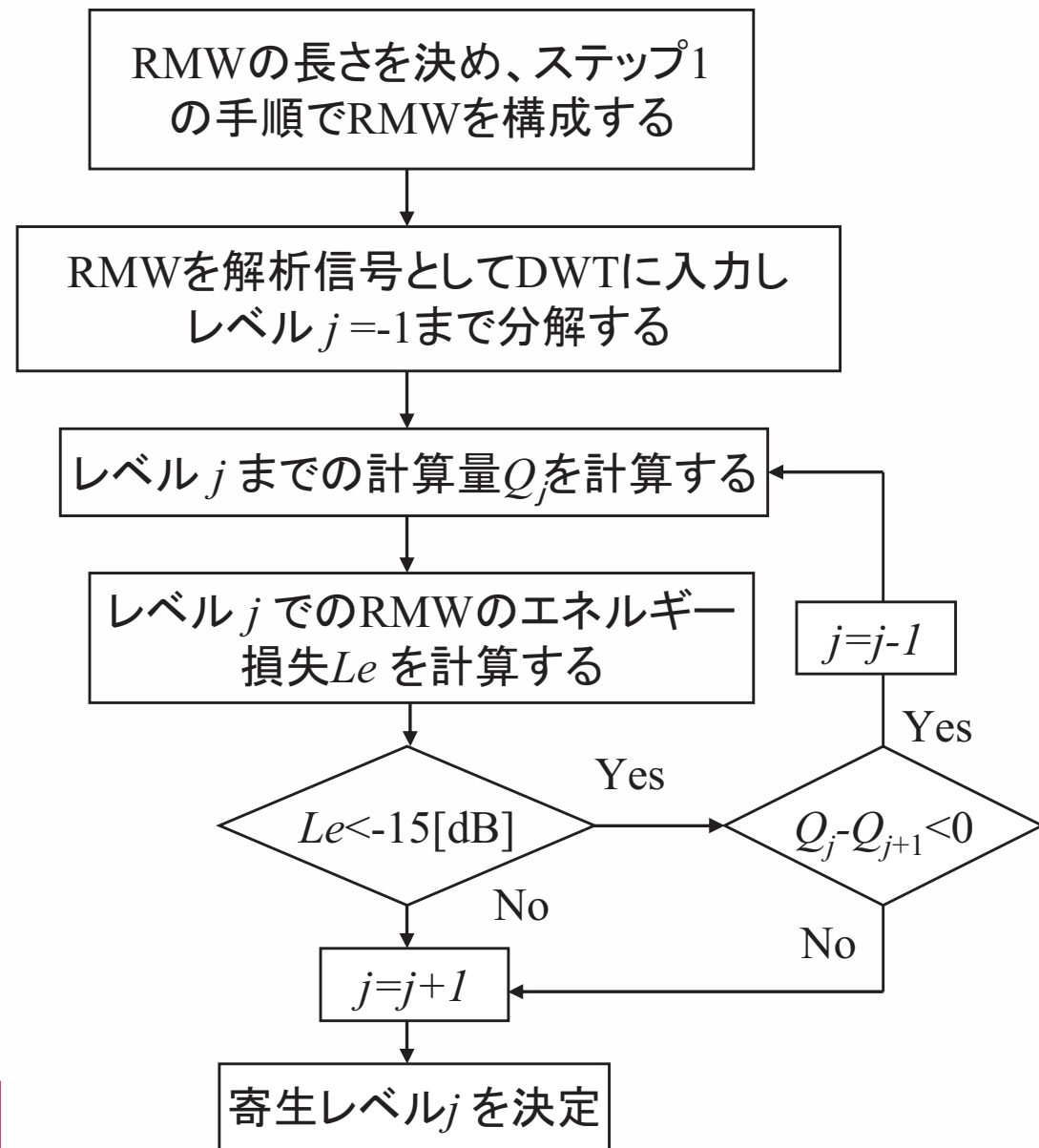
### 寄生レベルの判定基準

■エネルギー損失:  $Le$

$$Le = 10 \log_{10} \sum_j \sum_k (d_k^j)^2 \text{ [dB]}$$



RMWをあるレベルまで分解させた時に、どれだけエネルギーが減少しているかを表す



## 5) 寄生フィルタの設計

### 寄生フィルタ設計手順

① RMWをDWTによりレベル $j$ まで分解



②  $\{c_k^j\}$ を $\{u_k\}$ の初期値とする



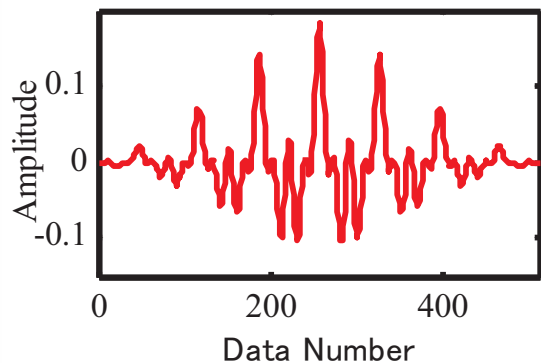
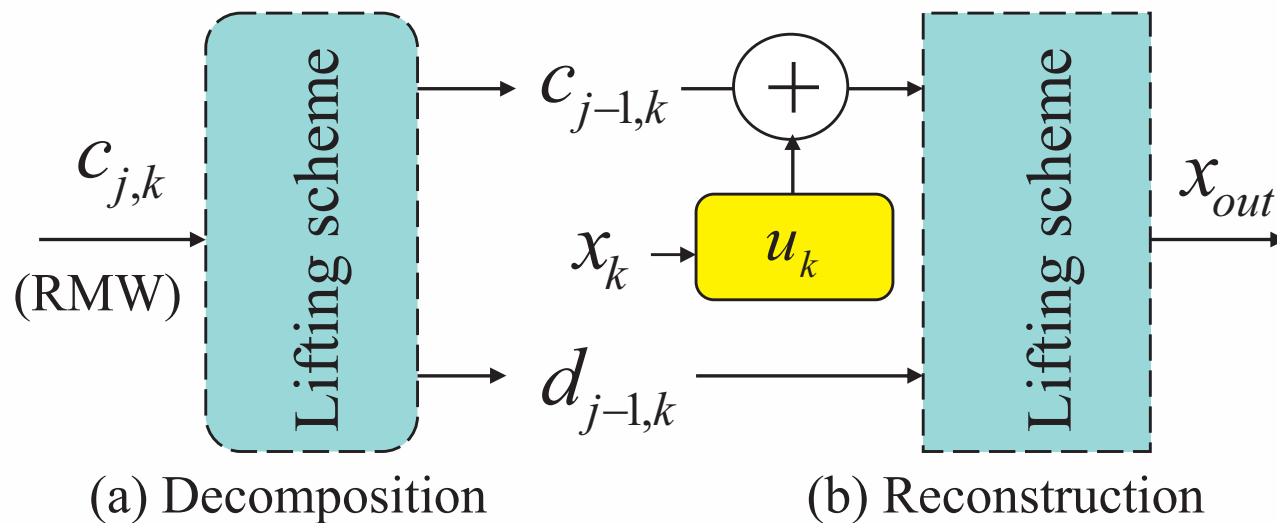
③  $x_k^j = \delta, c_k^j = 0, d_k^j = 0$ を再構成して $x_{out}$ を得る



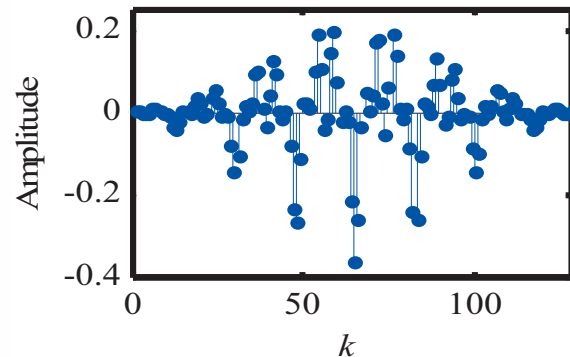
④ 次式を利用して $u_k$ の係数を最適化する

$$\arg \min \|x_{out} - RMW\|$$

実部, 虚部でそれぞれ設計する

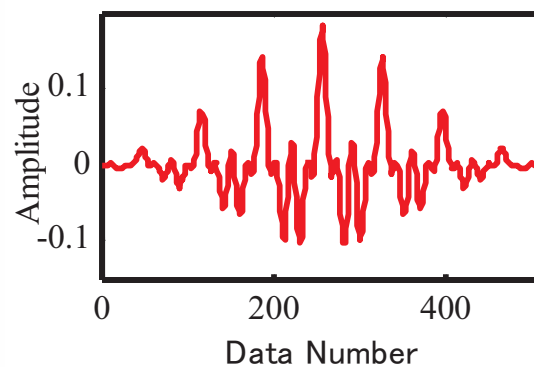
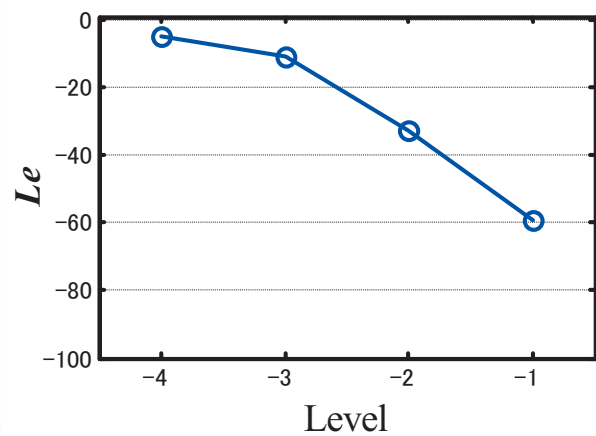
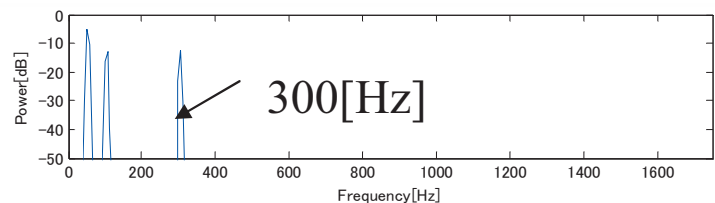
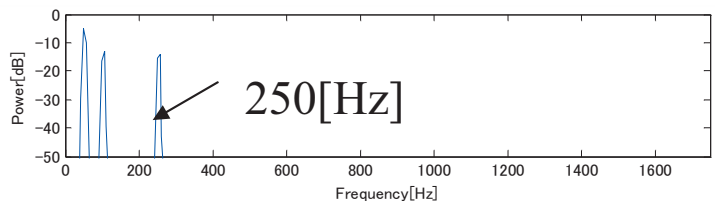
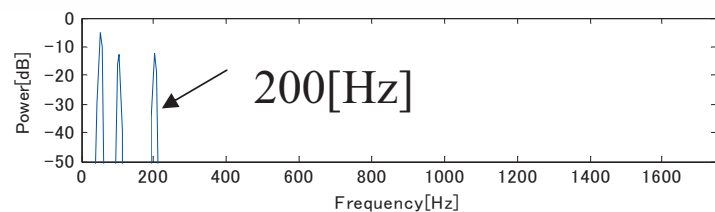


(a) RMWの例

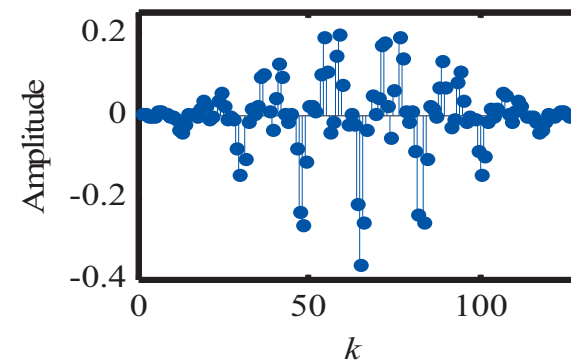


(b) 整形されたフィルタの例

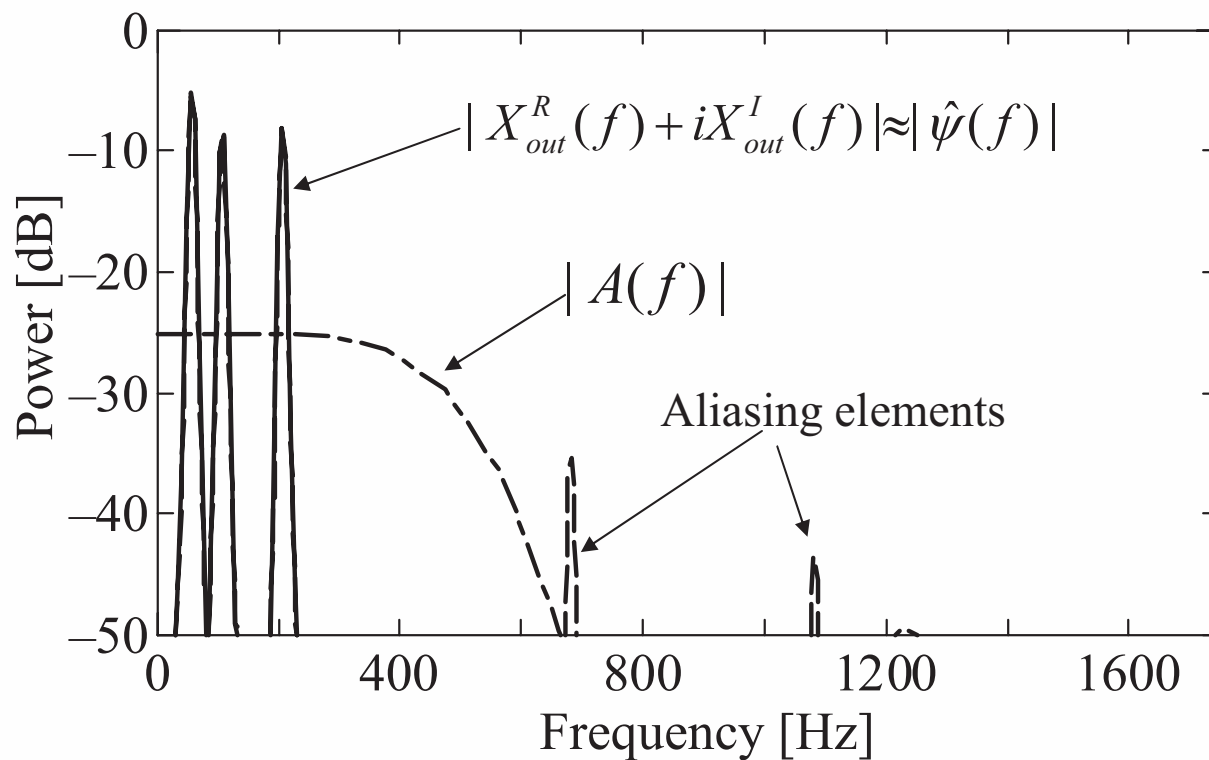
## 6) 寄生フィルタの設計例



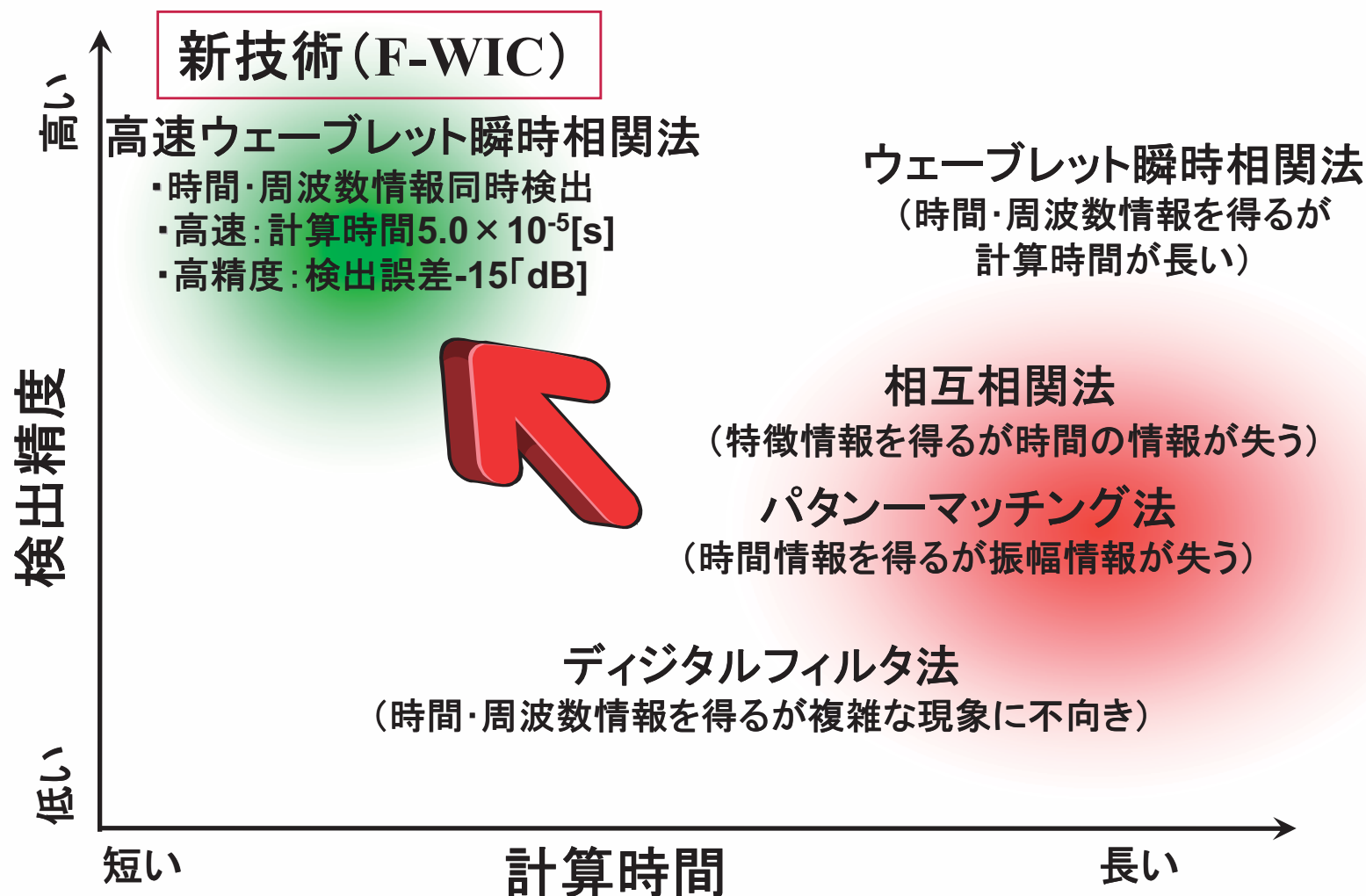
(a) RMWの例



(b) 整形されたフィルタの例



# 新技術の特徴・従来技術との比較



- 従来技術の問題点であった、計算速度を約2.5倍の向上に成功
- 計算の高速化とともに、従来の計算精度を実現

- 早期異常診断により設備保守コストの削減  
機械システムや化学プラントなど
- 初期異常診断による高信頼性の確保  
原子力発電所、石油プラントや航空機など
- リアルタイム性を生かした異常発生源の探索  
自動車、精密機械システム、品質検査・分析機器など



## ■ 利用者・対象

機械・化学プラント製造メーカー工場等の

試験・検査・品質管理部門

電力会社・航空機メーカーの

施設管理や検品・品質管理部門

研究所等の研究開発者

## ■ 市場規模

計測機器・測定機器生産額(経産省H20年度統計)

合計 約9,950億円

- 検査方法やデータ処理など原理的な手法は確立済
- 汎用性の有る自動測定装置の作製
- 測定についての検査条件の最適化
- 最適条件の検査方法の精度とスピード等データの積上げ

- 汎用検査装置を共同開発できるパートナー企業
  - ⇒ 検査精度を上げ、検査時間を極小にしたい
  - 装置構造や装置精度が問題となるため
  - 精密機械メーカーとの協業を希望
- 異常信号や未知信号など実信号の提供が可能なパートナー企業や公設試
- インラインでの品質検査のための関連技術や実績をもつパートナー企業
  - ⇒ 品質管理レベルの向上とコスト削減に
  - 大きな実用化効果

## 可変密度完全シフト不変 複素数離散ウェーブレット変換

**VD-PTI CDWT**: Variable Density-Perfect Time shift Invariant  
Complex Discrete Wavelet Transform

従来:

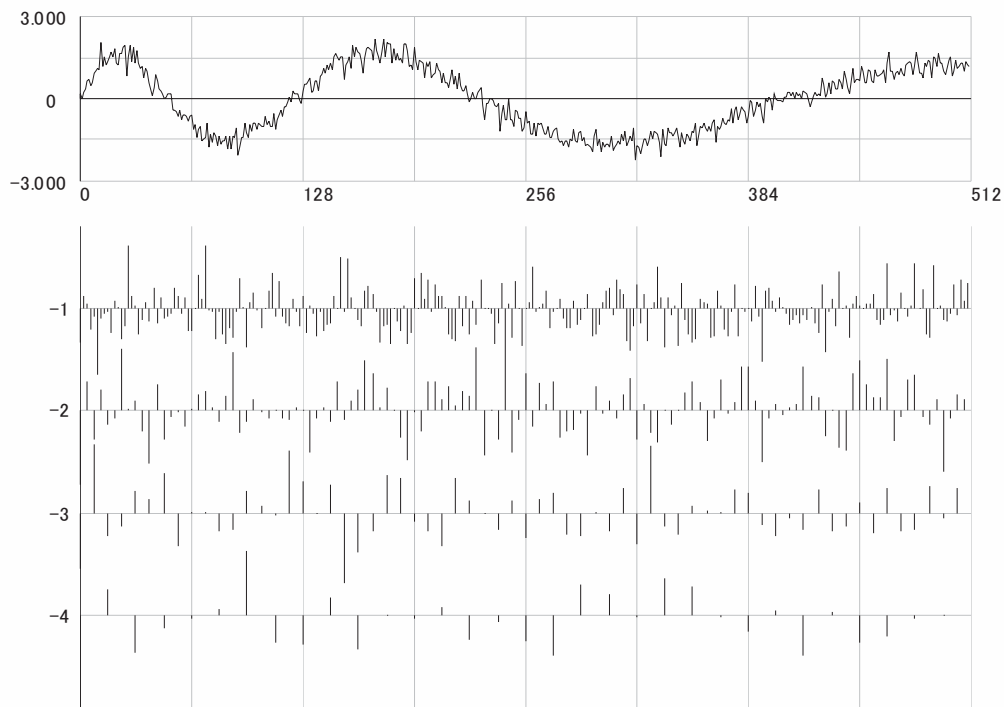
完全シフト不変を実現する複素数離散ウェーブレット変換は、そのウェーブレット密度はオクターブ間隔の周波数分割と一定の時間間隔により固定されているので、柔軟な解析ができないという課題がある。

提案:

- ✓ オクターブを任意に分割し、さらに時間軸上の密度を可変にする技術
- ✓ 高速性を維持したままで、柔軟な解像度可変を実現
- ✓ 従来にない高度な解析を可能に
- ✓ さまざまな計測・解析分野への応用を期待

# 次世代ウェーブレット変換の特性

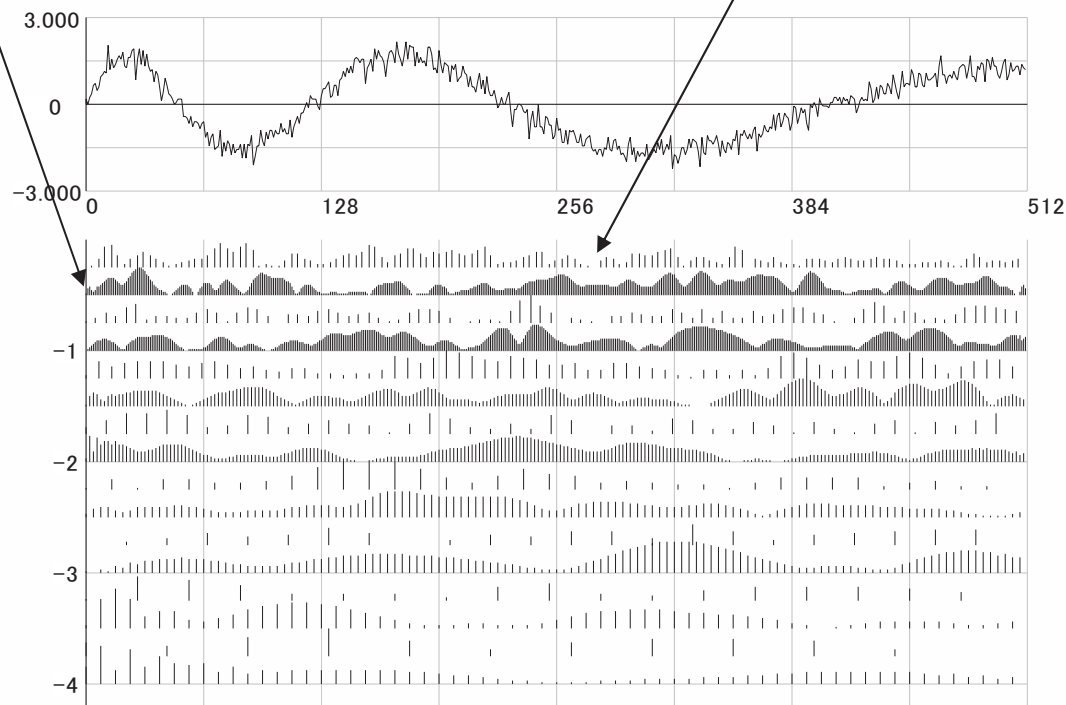
## モデル信号の解析



従来DWTの解析結果

周波数間隔可変

時間間隔可変



次世代技術( VD-PTI CDWT )の解析結果

次世代技術( VD-PTI CDWT )は従来技術(DWT)の高速性を生かしより柔軟な解像度変化に対応でき、従来にない高度な解析を実現

# 次世代ウェーブレット変換の特徴

## 従来技術(DWT)の課題

- 1) シフト不変性なし
- 2) 周波数解像度が不足

## 次世代技術(VD-PTI CDWT)の長所

- 1) FFT並みの高速性 (DWTでも実現)
- 2) 完全再構成性 (DWTでも実現)
- 3) 完全シフト不変性
- 4) 任意の時間・周波数解像度を設定可能

## 次世代技術(VD-PTI CDWT)の将来性

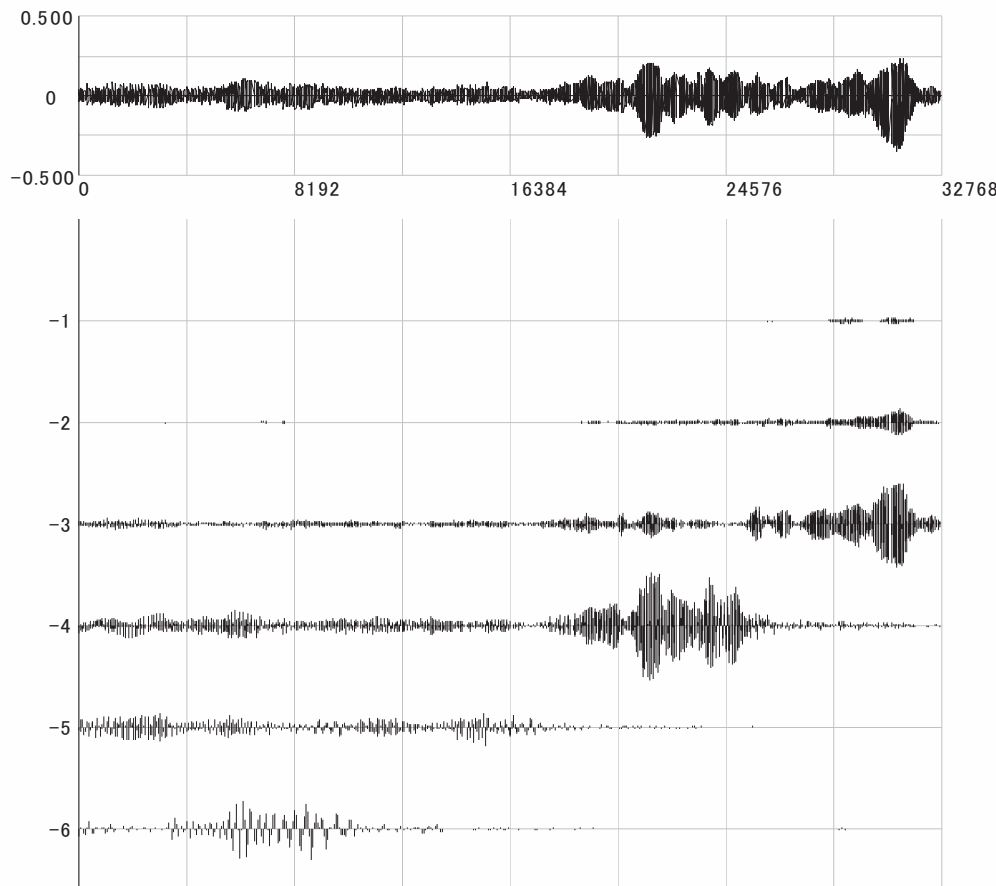
より自由な周波数特性を持ち、より自由な周波数分割を行うフィルタを実現できる

例) 必要な帯域のみを細かく解析するなど

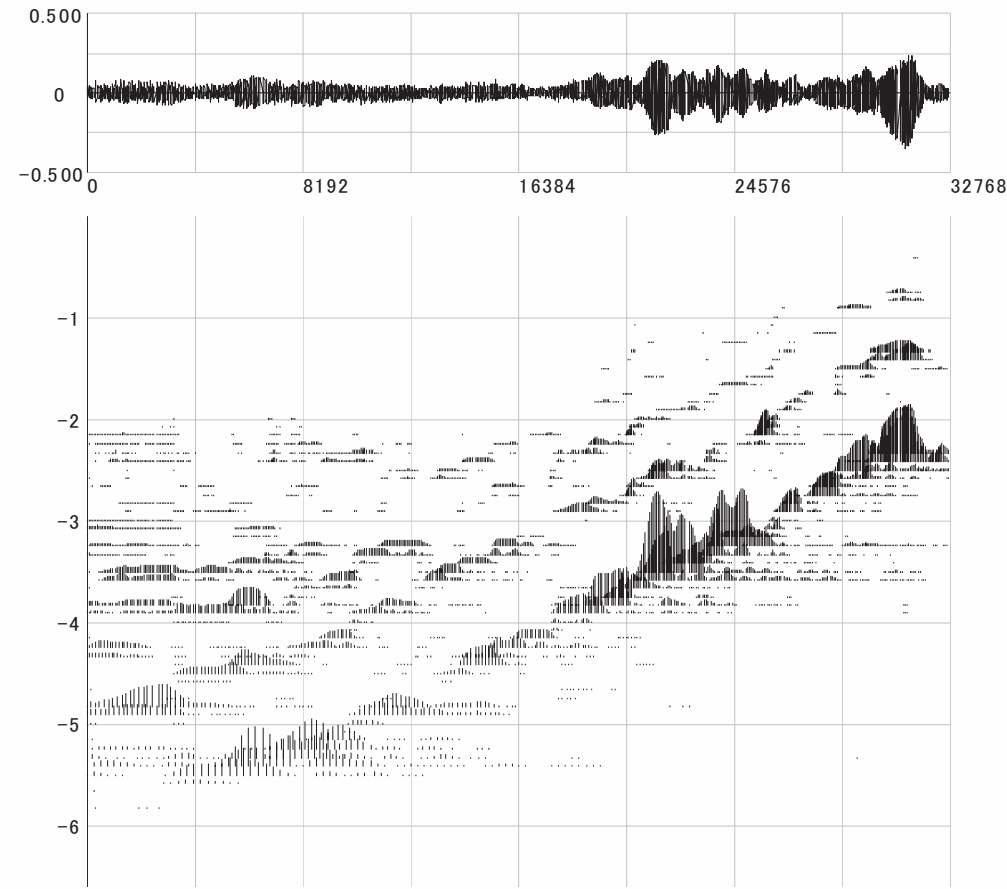
# 次世代ウェーブレット変換の応用例

## 楽音を解析

解析データ: チゴイネルワイゼン(ヴァイオリン)  
サンプリング周波数: 22050Hz  
DWT: 離散ウェーブレット変換



従来DWTの解析結果



次世代技術の解析結果(1オクターブ12分割)

従来の解析では見えない楽音の詳細な変化が、次世代技術( VD-PTI CDWT )の解析により高解像度で見られる。2倍、3倍音も正確に観測できる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 信号検出装置、信号検出方法及び  
信号検出装置の製造方法
- 出願番号 : 特願2008-262688
- 出願人 : 国立大学法人豊橋技術科学大学
- 発明者 : 章 忠、三宅哲夫、今村 孝

お問合せ先 : (株)豊橋キャンパスイノベーション(とよはしTLO)

Phone: 0532 - 44 - 6975

FAX: 0532 - 44 - 6980

Mail: ttlo-iten@kktci.co.jp

担当: 科学技術コーディネータ 白川正知

