



第8回 電気学会東京支部栃木・群馬支所 合同研究発表会  
群馬大学 2018年3月1日(木), 3月2日(金)

# 任意波形発生器を用いた ナイキスト周波数全体の 低歪み信号生成アルゴリズム

○柳田 朋則、 澁谷将平、 町田恒介、 浅見幸司、 小林春夫

群馬大学大学院理工学府  
電子情報・数理教育プログラム

# 研究目的

## 目的

- ・ADCテスト向け 低歪み信号生成
- ・テストシステムの低コスト化

ADC: Analog to Digital Converter

## アプローチ

- ・AWGのプログラム変更だけで実現
- ・位相切り替え信号(Phase-Switching Method)

AWG: Arbitrary Waveform Generator

# 内容

- 研究背景
- 位相切り替え信号
- 中間周波数生成方法
- 実験結果
- まとめ

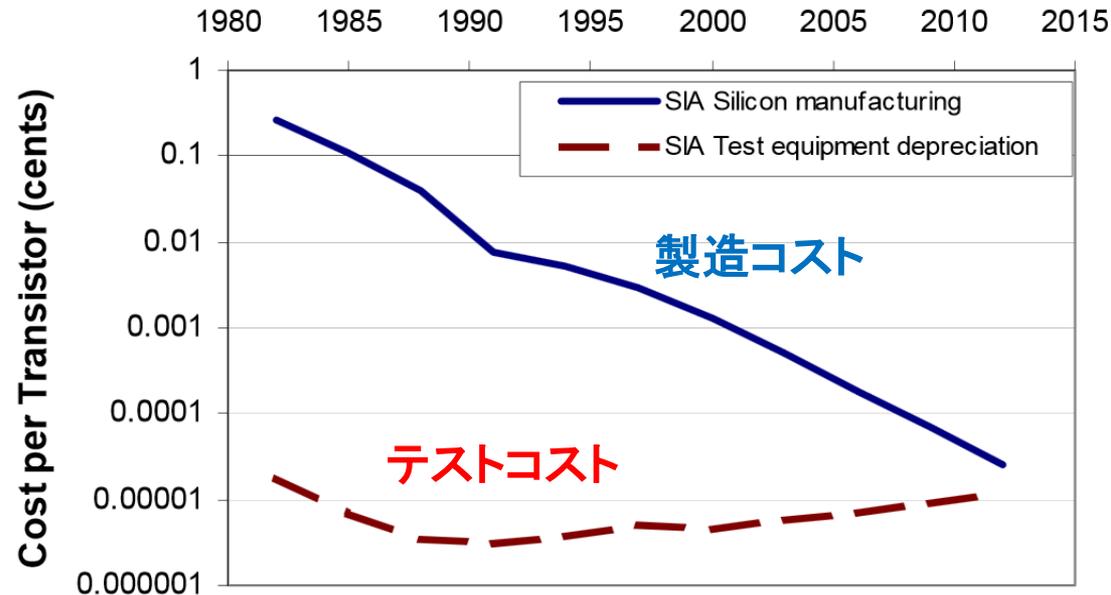
# 内容

- 研究背景
- 位相切り替え信号
- 中間周波数生成方法
- 実験結果
- まとめ

# 研究背景

トランジスタ1個あたりのコスト (ITRS2001より)

- 製造コスト **減少**
- テストコスト **増加**



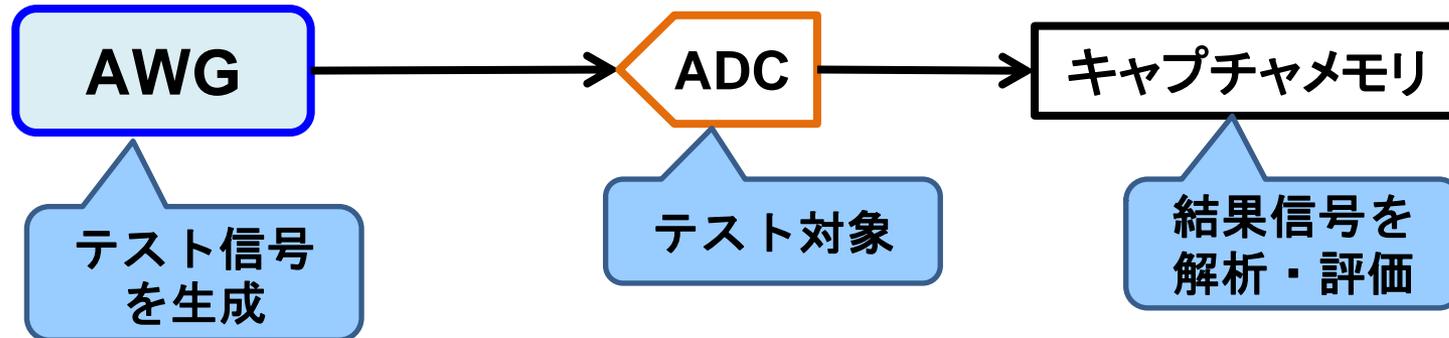
テストコスト削減のために

技術発展に合わせてテスト装置を買い換え **コスト大**

従来装置を工夫して高品質に

# ADCテストシステム

## ADCの線形性テスト



## ADC

**Analog to Digital Converter 「アナログ/デジタル変換器」**

## AWG

**Arbitrary Waveform Generator 「任意波形発生器」**



DSP : Digital Signal Processor

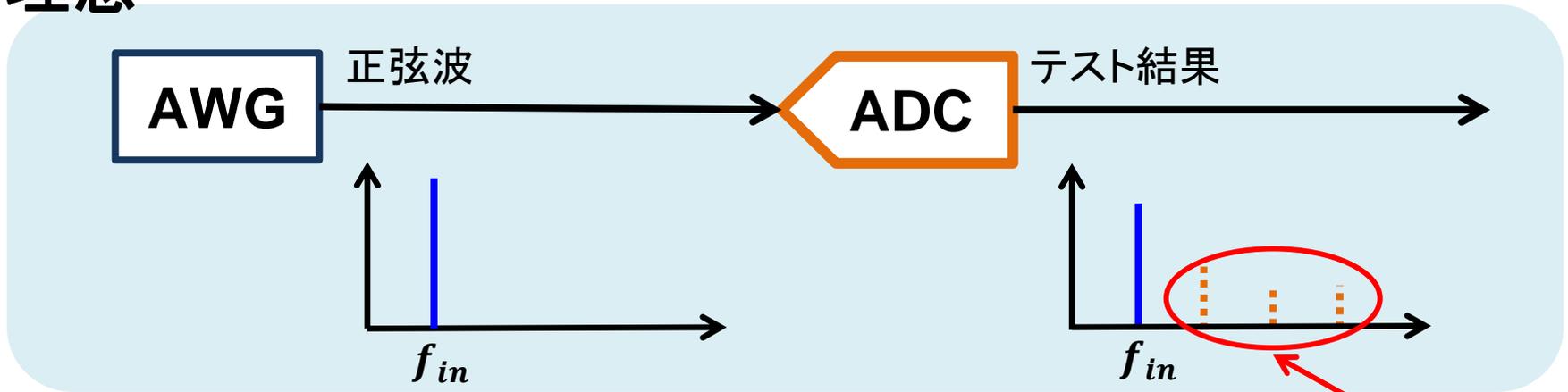
DAC : Digital to Analog Converter

信号パターン  
生成

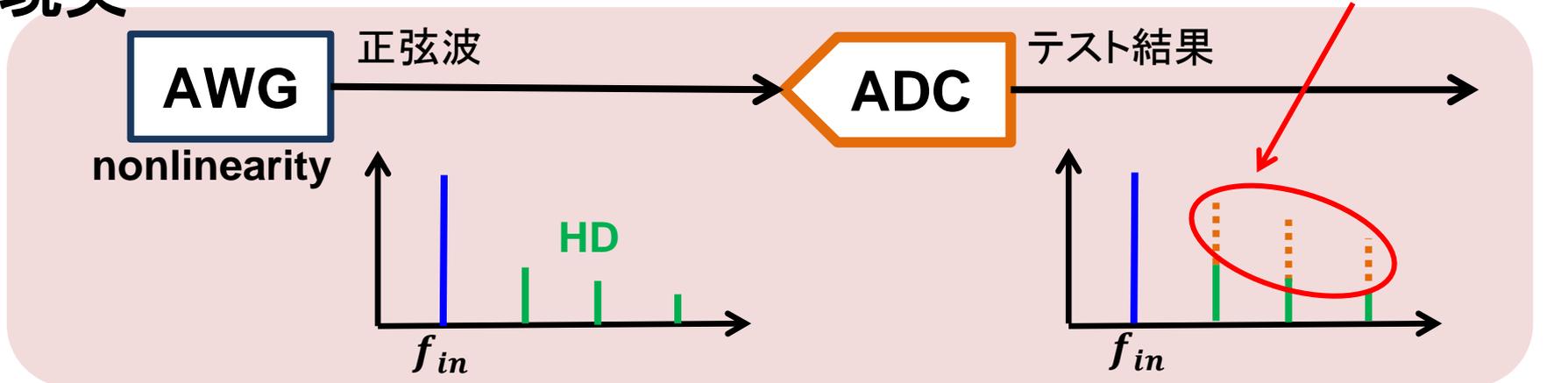
デジタル→アナログ変換

# 理想と現実

## 理想



## 現実



HD: Harmonic Distortion

# 内容

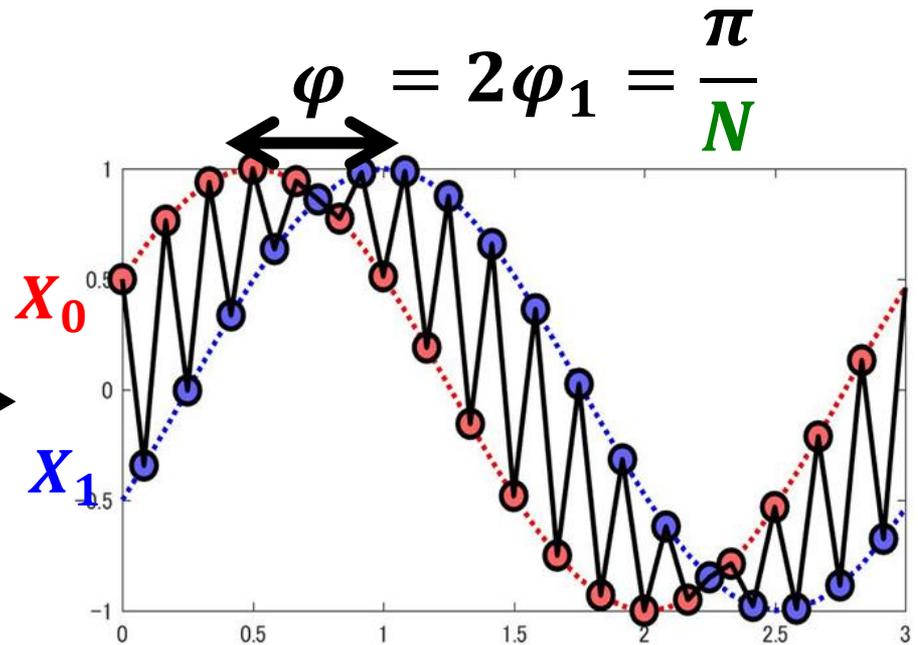
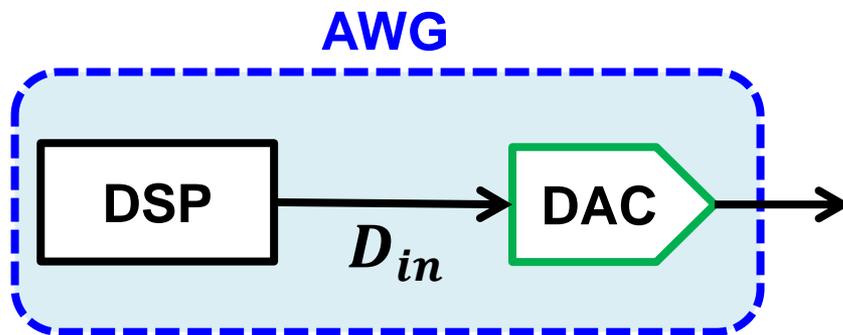
- 研究背景
- **位相切り替え信号**
- 中間周波数生成方法
- 実験結果
- まとめ

# 位相切り替え信号

## 位相切り替えアルゴリズム

- step 1. 位相を $\varphi$ ずらす  
step 2. 交互にとる

$N$ 次歪みを  
消去できる $\varphi$



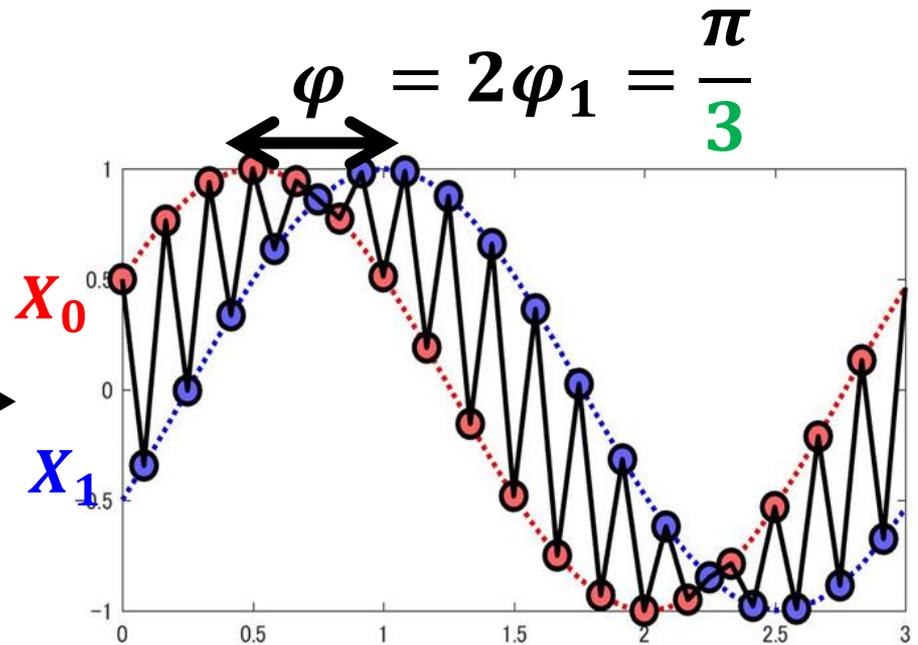
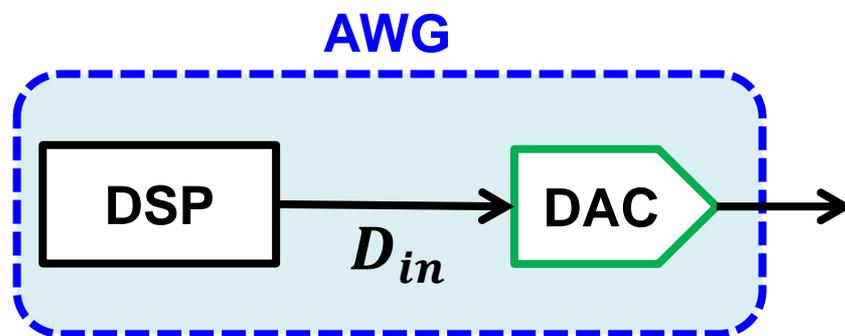
$$D_{in} = \begin{cases} X_0 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s + \varphi_1) & n: \text{even} \\ X_1 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s - \varphi_1) & n: \text{odd} \end{cases}$$

# 位相切り替え信号

## 位相切り替えアルゴリズム

step 1. 位相を $\varphi$ ずらす  
step 2. 交互にとる

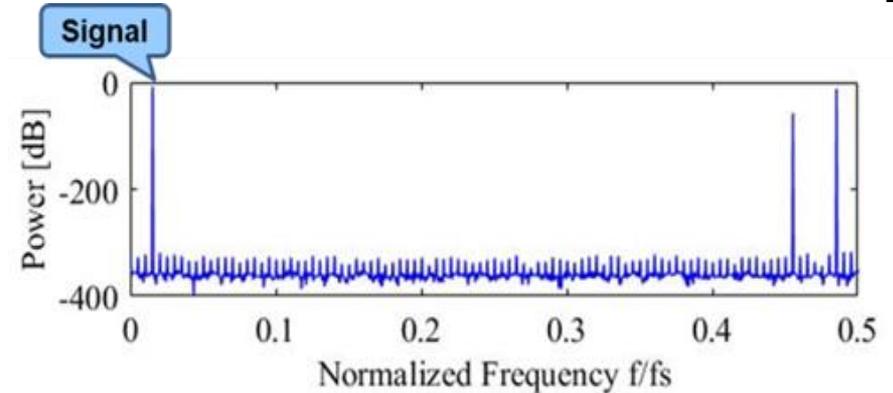
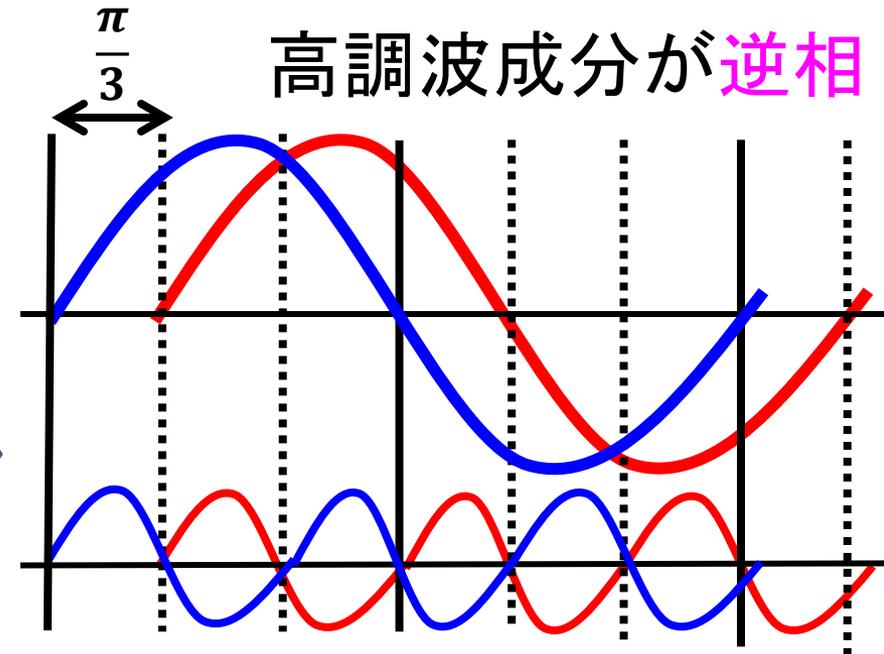
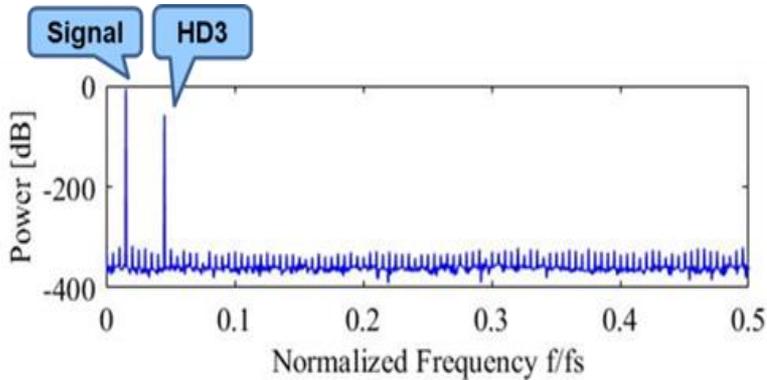
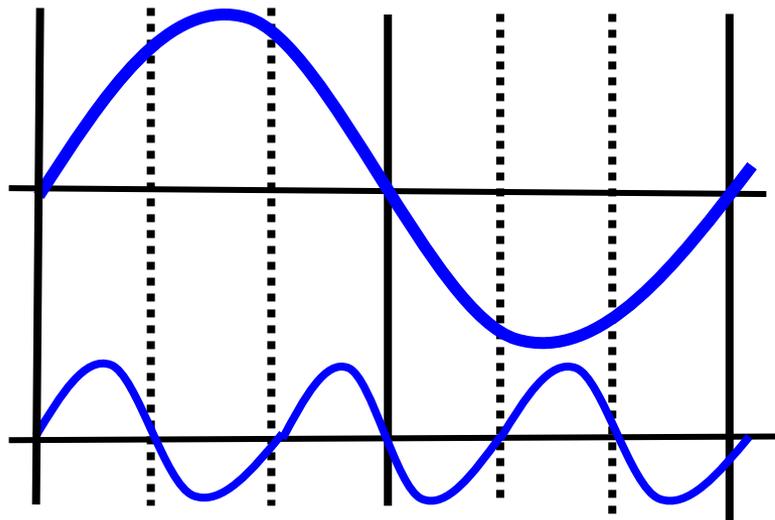
$N$ 次歪みを  
除去できる $\varphi$



$$D_{in} = \begin{cases} X_0 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s + \pi/6) & n: \text{even} \\ X_1 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s - \pi/6) & n: \text{odd} \end{cases}$$

# 位相切り替え信号

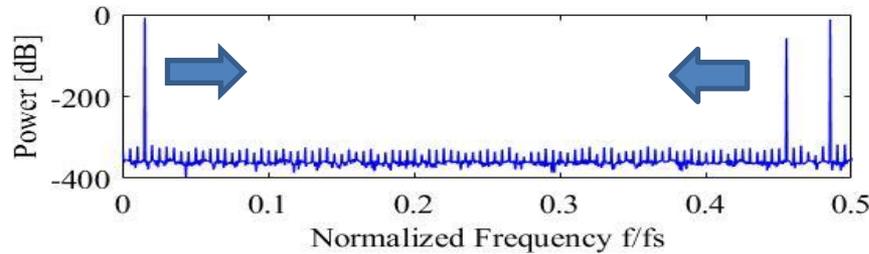
## 3次歪みの場合



# 内容

- 研究背景
- 位相切り替え信号
- **中間周波数生成方法**
- 実験結果
- まとめ

# 中間周波数生成のためのアルゴリズム



$$\frac{4a_1A + 3a_3A^3}{8} (e^{j\varphi_0} + e^{j\varphi_1}) \sin(2\pi f_{in} nT_s)$$

基本波

$$-\frac{a_3A^3}{8} (e^{j3\varphi_0} + e^{j3\varphi_1}) \sin(2\pi \cdot 3f_{in} nT_s)$$

3次高調波

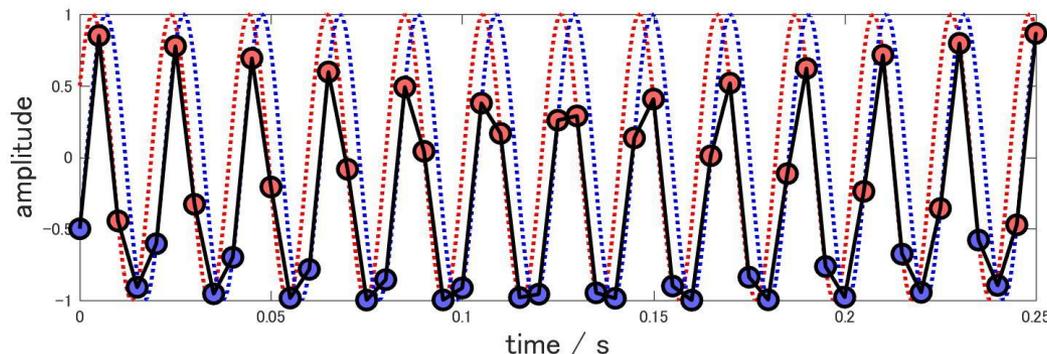
$$+\frac{a_3A^3}{8} (e^{j3\varphi_0} - e^{j3\varphi_1}) \sin\left(2\pi \left(\frac{f_s}{2} - 3f_{in}\right) nT_s\right)$$

HD3スプリアス

$$-\frac{4a_1A + 3a_3A^3}{8} (e^{j\varphi_0} - e^{j\varphi_1}) \sin\left(2\pi \left(\frac{f_s}{2} - f_{in}\right) nT_s\right)$$

基本波スプリアス

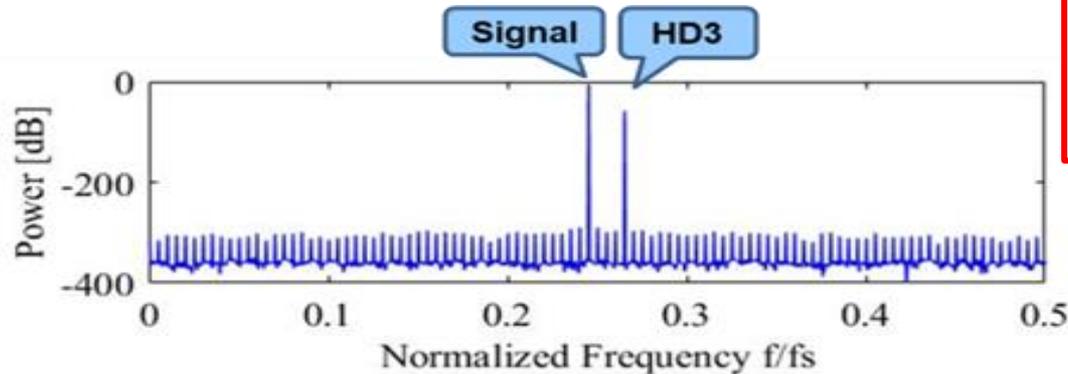
2点ずつのインターリーブ → スプリアスとの干渉回避



# 中間周波数3次歪み抑制

## 従来手法

$$D_{in} = A \sin(2\pi f_{in} n T_s)$$



$$Y(nT_s) = a_1 D_{in} + a_3 D_{in}^3$$

$$f_{in}/f_s = 49/200,$$

$$A = 1,$$

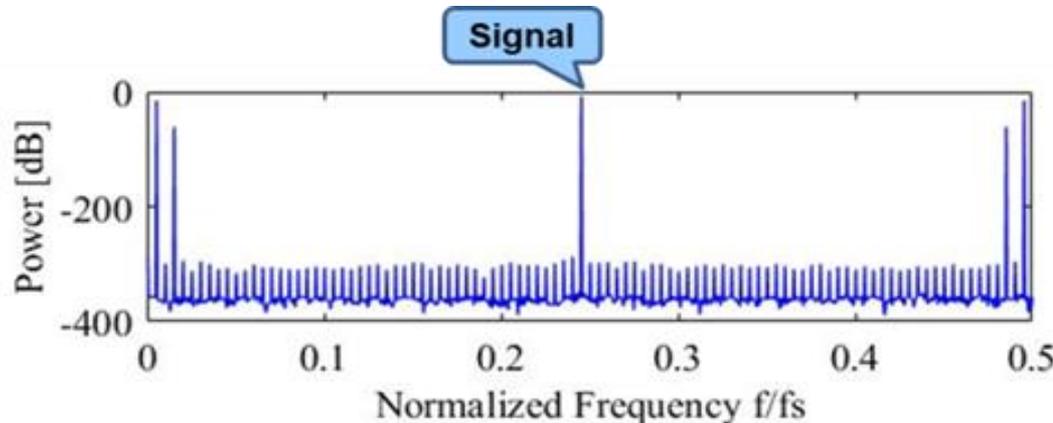
$$a_1 = 1,$$

$$a_3 = -0.01$$

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$$

## 提案手法

$$D_{in} = \begin{cases} X_0 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s + \varphi_0) & n = 4k - 3, 4k - 2 \\ X_1 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s - \varphi_0) & n = 4k - 1, 4k \end{cases}$$

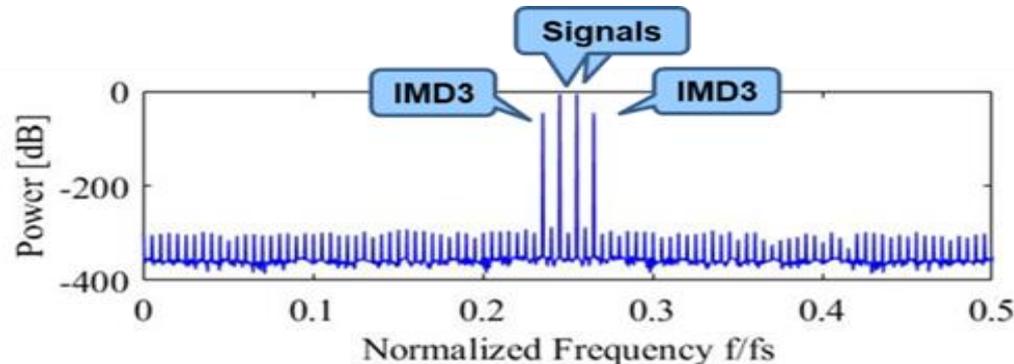


# 中間周波数2トーンIMD3抑制

## 従来手法

IMD: Inter modulation distortion

$$D_{in} = A \sin(2\pi f_1 n T_s) + B \sin(2\pi f_2 n T_s)$$



$$Y(nT_s) = a_1 D_{in} + a_3 D_{in}^3$$

$$f_1/f_s = 49/200,$$

$$f_2/f_s = 51/200$$

$$A = 1,$$

$$B = 1,$$

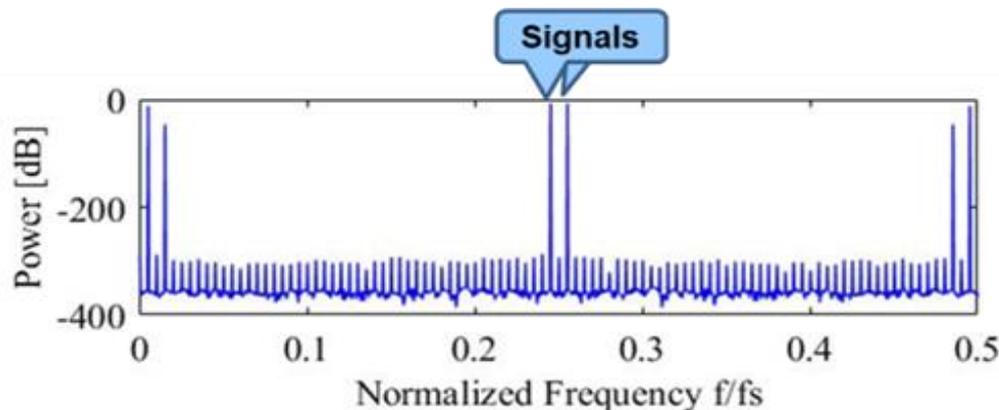
$$a_1 = 1,$$

$$a_3 = -0.01$$

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$$

## 提案手法

$$D_{in} = \begin{cases} X_0 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s + \varphi_0) + B \sin(2\pi f_{in} n T_s - \varphi_0) & n = 4k - 3, 4k - 2 \\ X_1 = A \sin(2\pi f_{in} n T_s - \varphi_0) + B \sin(2\pi f_{in} n T_s + \varphi_0) & n = 4k - 1, 4k \end{cases}$$



# 内容

- 研究背景
- 位相切り替え信号
- 中間周波数生成方法
- **実験結果**
- まとめ

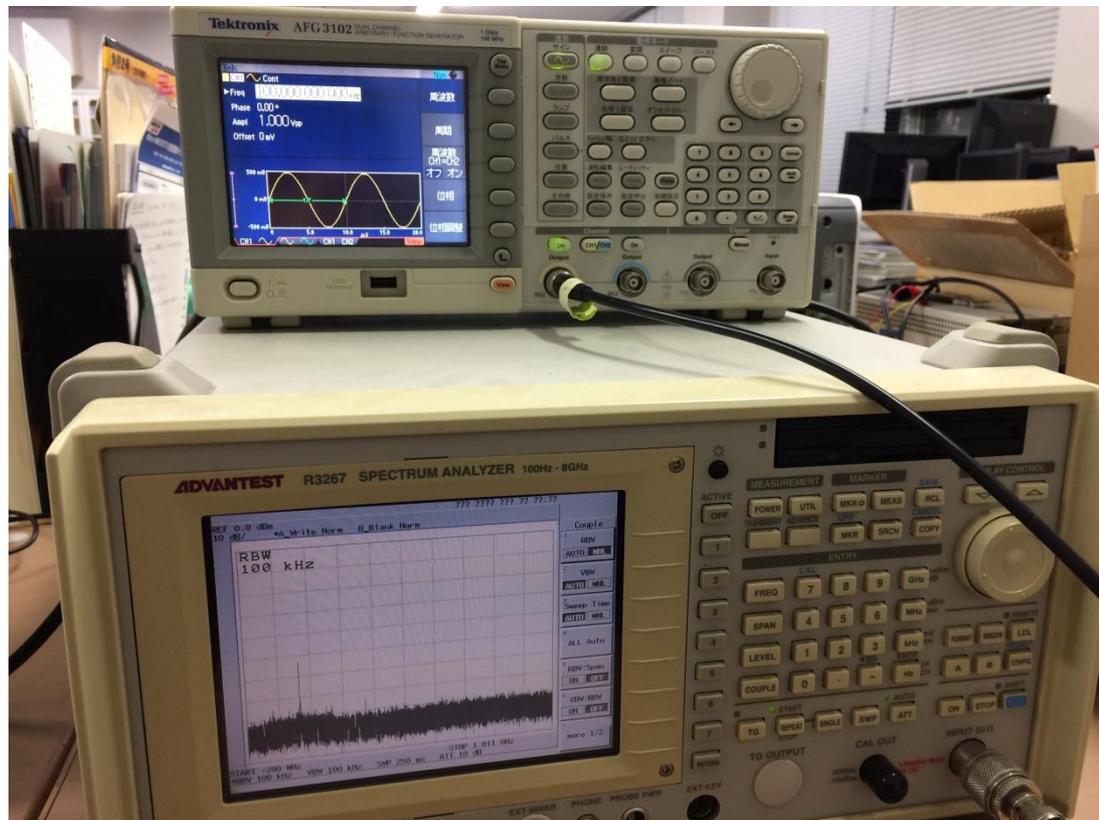
# 任意波形発生器を用いた実験

## 任意波形発生器

(Tektronix製 TDS1001C-EDU、最大40MHz,500Msample/s)

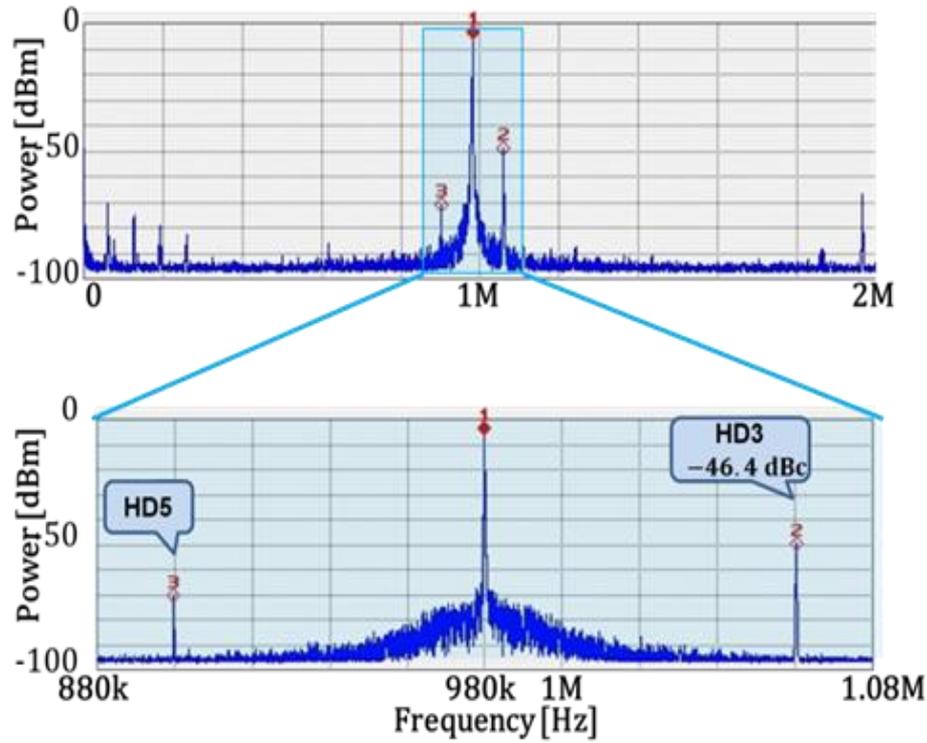
## スペクトラムアナライザ

(Advantest製 R3267、測定可能帯域100Hz – 8GHz)

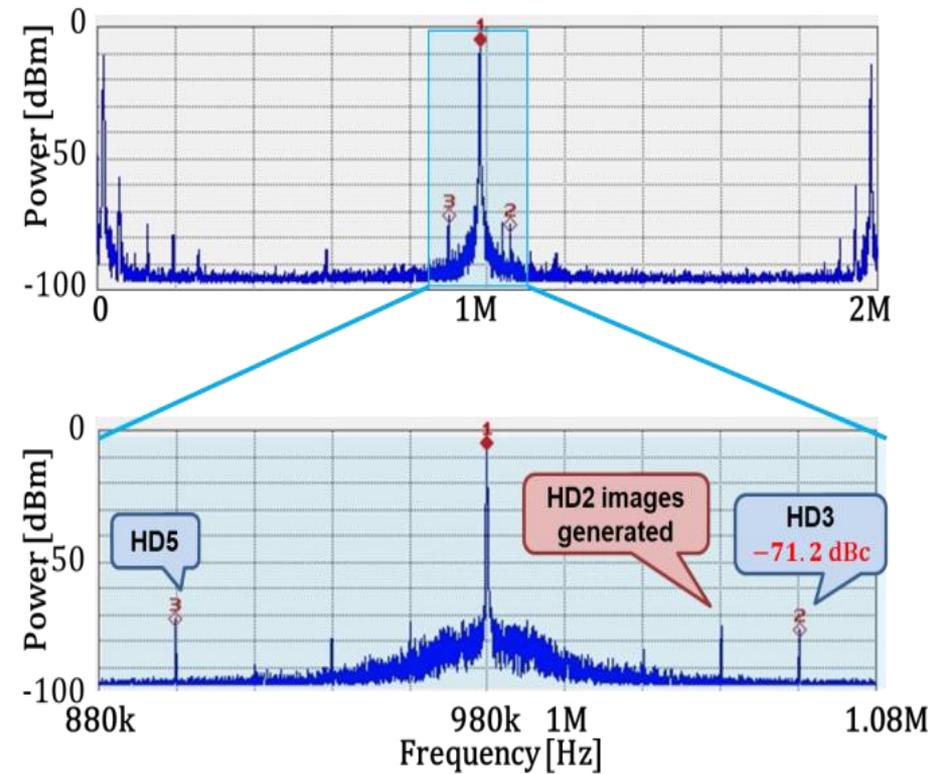


# 1トーン中間周波数3次歪み低減

## 従来手法

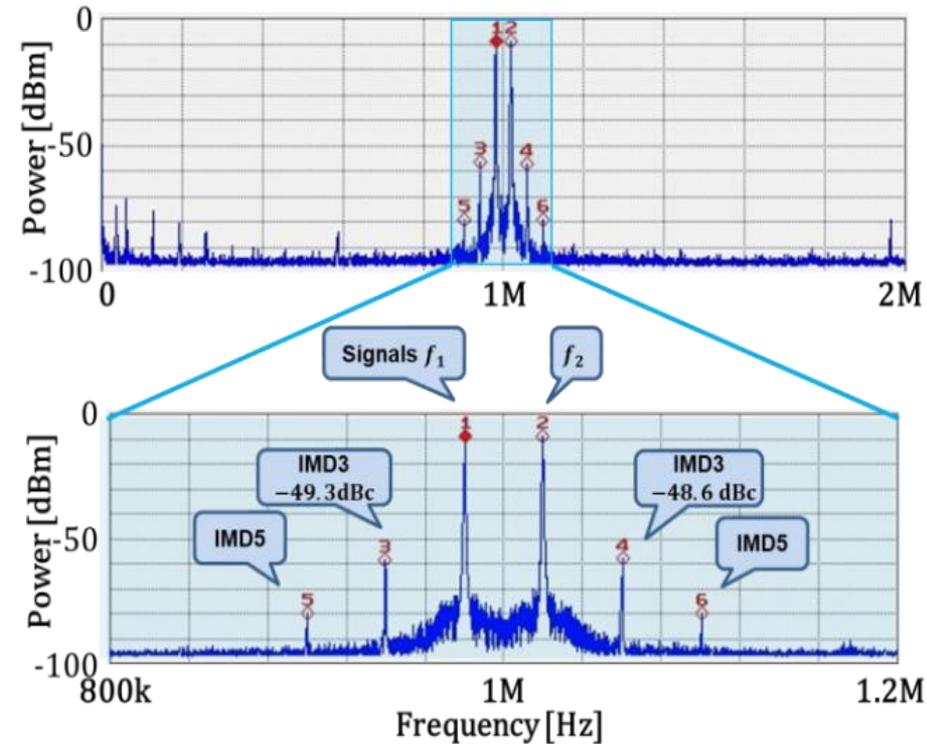


## 提案手法

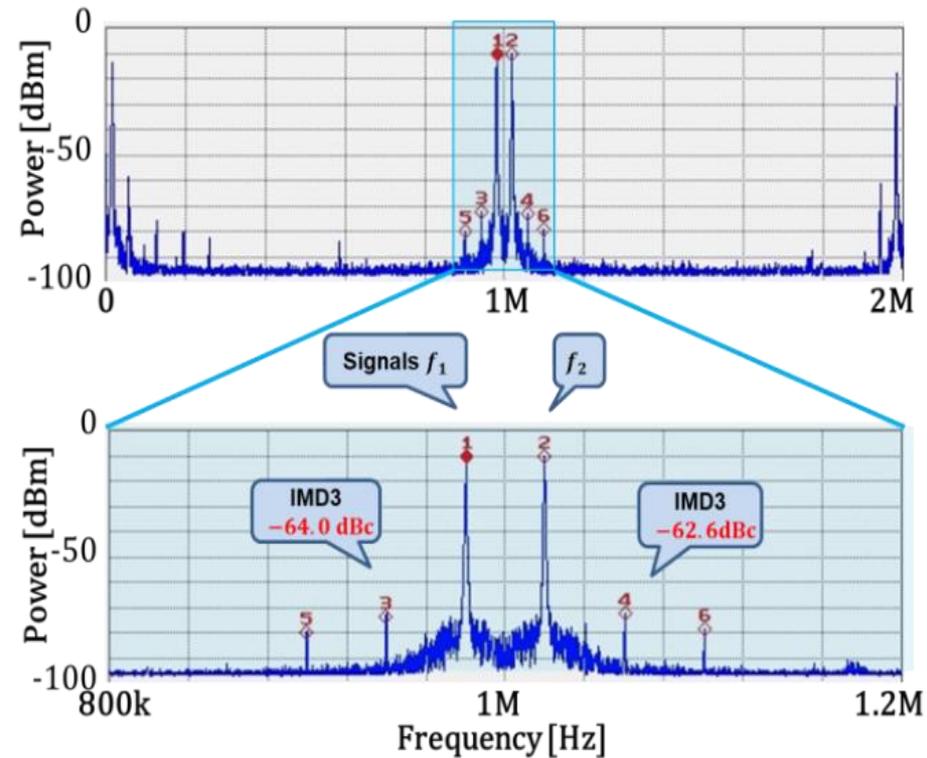


# 2トーン中間周波数3次歪み低減

## 従来手法



## 提案手法



# 内容

- 研究背景
- 位相切り替え信号
- 中間周波数生成方法
- 実験結果
- **まとめ**

# まとめ

- 中間周波数1トーン/2トーン信号生成アルゴリズム
- 実験による検証
- 先行研究と合わせてナイキスト領域全体の低歪み信号生成法が完成

# Appendix

# AWGの高調波除去

## ・従来手法

- ・急峻なアナログLPFで高調波除去

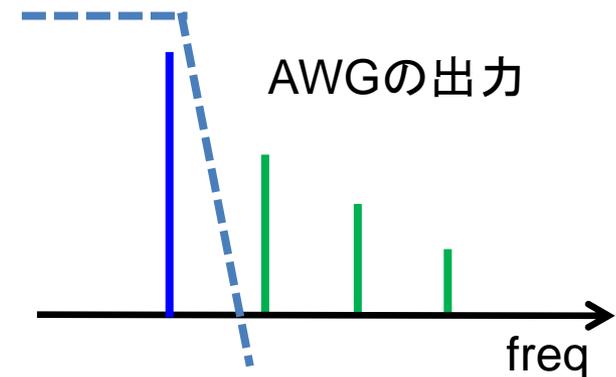


- ・素子感度が高い
- ・回路規模

## ・プレディストーション



- ・AWG非線形同定が必要

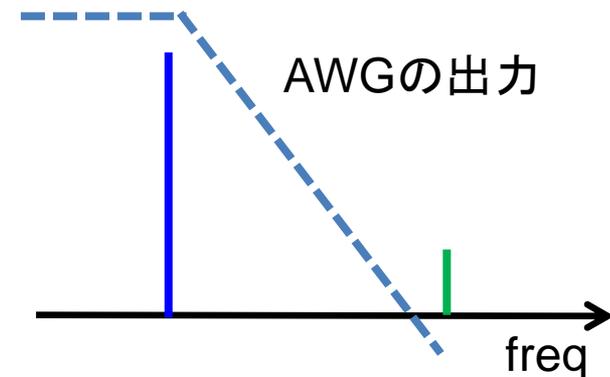


## ・提案手法

DSPプログラムの変更だけで高調波除去



- ・シンプルなLPF
- ・非線形同定不要



# Q&A

Q. 高周波の場合3次などは遠くに現われて(近傍ではなく)妨害波となり得る

A. 2トーン信号は近傍にIMDが現われるため、その抑制を目的としている

Q. この手法の問題点などは？

A. 位相差スイッチング法は交互サンプリングすることから高周波信号を生成したときにスルーレートの制限などが懸念される

Q. 完成とあるが仕様を満たしている？

A. アルゴリズムとしての完成