

2013.1.24 電子回路研究会 @ しいのき迎賓館

ECT-14-032

# 任意波形発生器を用いた 低歪み信号発生技術の実用化検討

○ 安部文隆 澤田健士 小林春夫(群馬大学)  
小林修(半導体理工学研究センター)

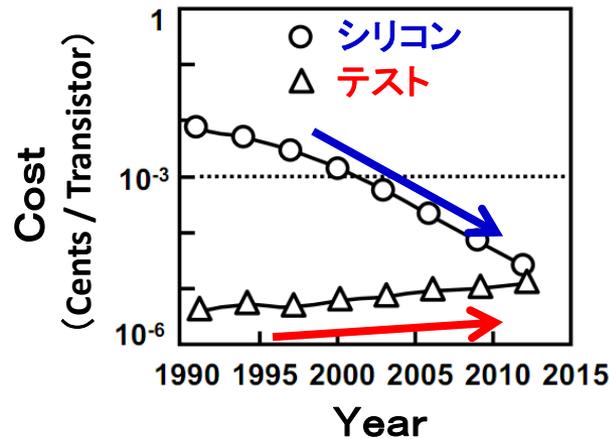
# Outline

- **本研究背景と概要**
- **AWG波形プログラム変更による低歪み信号生成**
- **位相差切り替え手法を用いたADCテスト**
- **まとめと今後の課題**

# Outline

- 本研究背景と概要
- AWG波形プログラム変更による低歪み信号生成
- 位相差切り替え手法を用いたADCテスト
- まとめと今後の課題

# 本研究テーマとその背景



半導体産業の重要課題

シリコンコスト：減少

テストコスト：増大

本研究

低コスト,高品質テストに貢献する技術の研究

アナログ回路テスト {

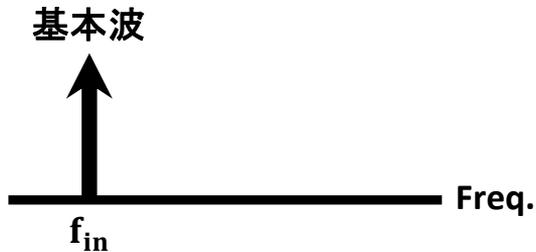
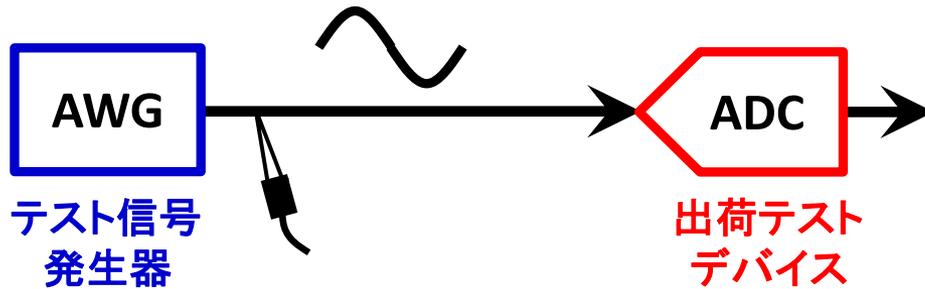
- ・デジタル回路のような汎用的テスト手法が存在しない
- ・回路性能指標毎の個別対応が必要
- ・今日の技術で明日の高性能チップ測定

→ アナログ回路テスト：難しい

アナログ回路で特にキーとなるA/D変換器(ADC)の  
線形性テスト手法を検討

# 正弦波を用いたADCの線形性テスト

ADCテスト信号

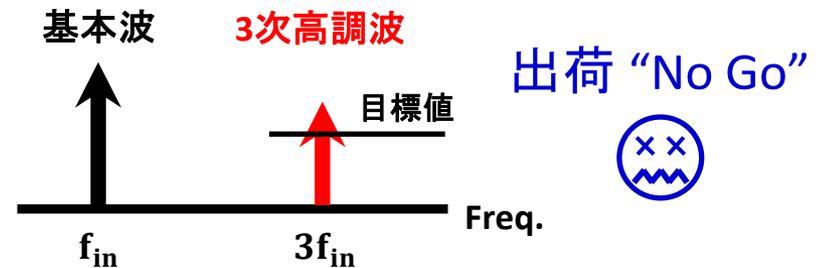
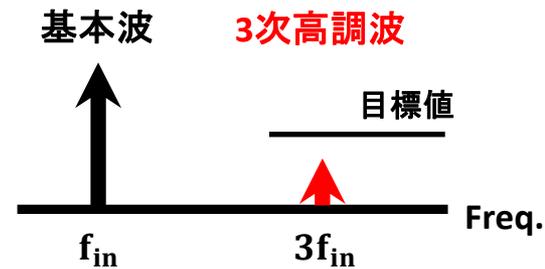
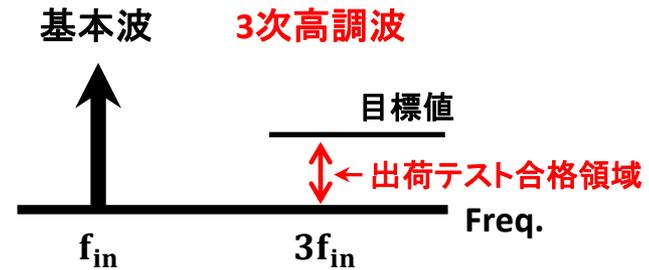


ADC線形性テスト

今回の検討事項

3次高調波測定

ADCテスト結果

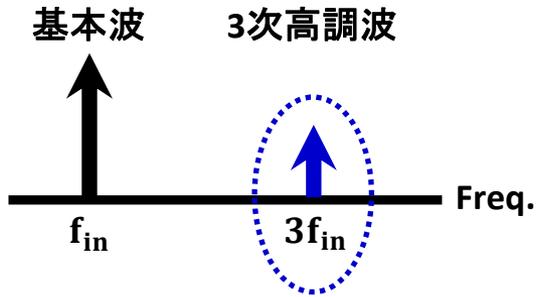
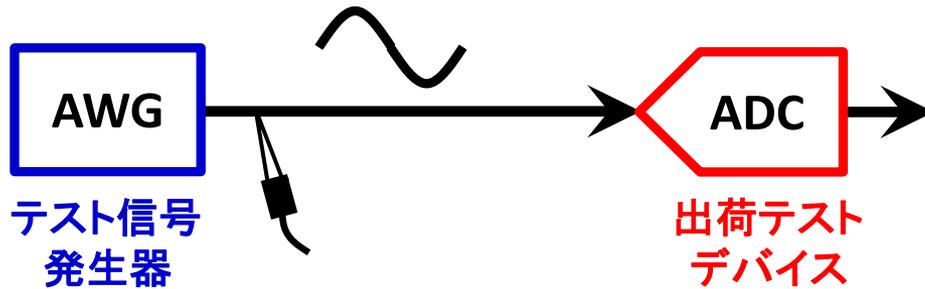


AWG: Arbitrary Waveform Generator

3次高調波: ADCの非線形性により発生

# 従来信号を用いたADC線形性テスト

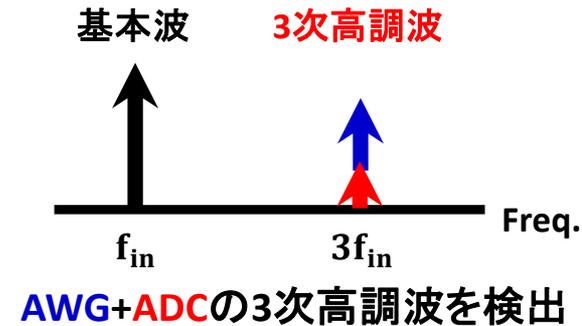
## ADCテスト信号



AWG由来の3次高調波

AWG自体の非線形性により高調波発生

## ADCテスト結果

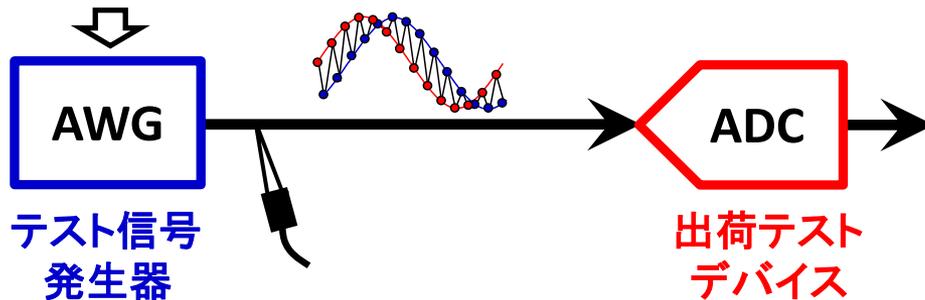


低精度テスト

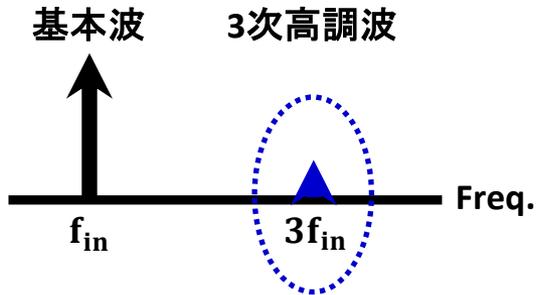
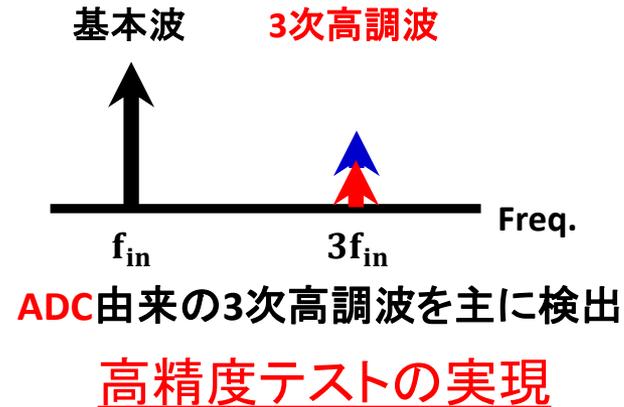
# 本研究の目標

内部の波形生成  
プログラムの変更

ADCテスト信号



ADCテスト結果



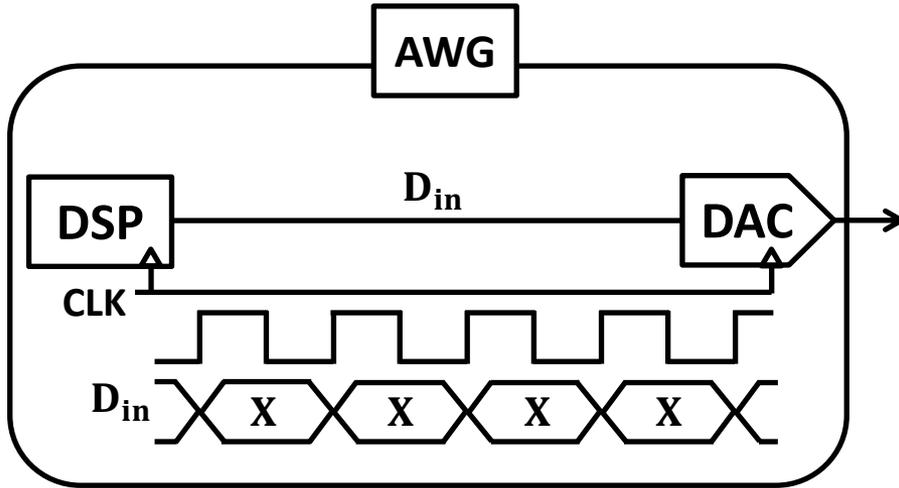
AWG内部の波形生成プログラム変更

AWG: Arbitrary Waveform Generator

# Outline

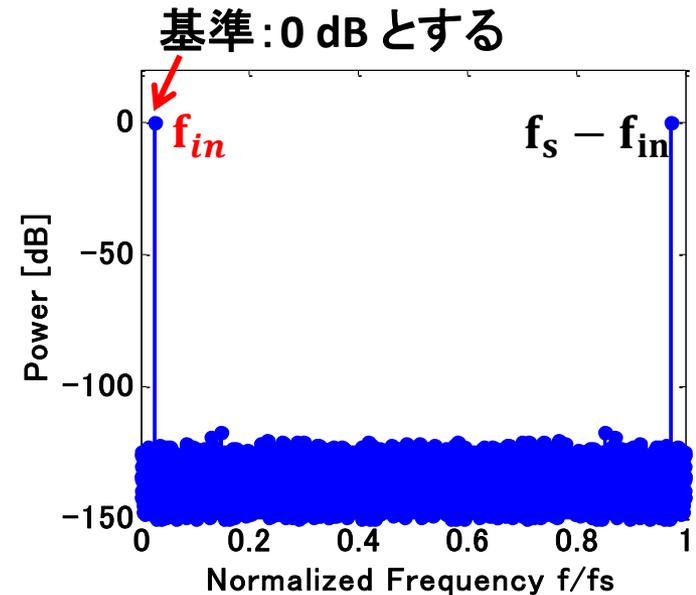
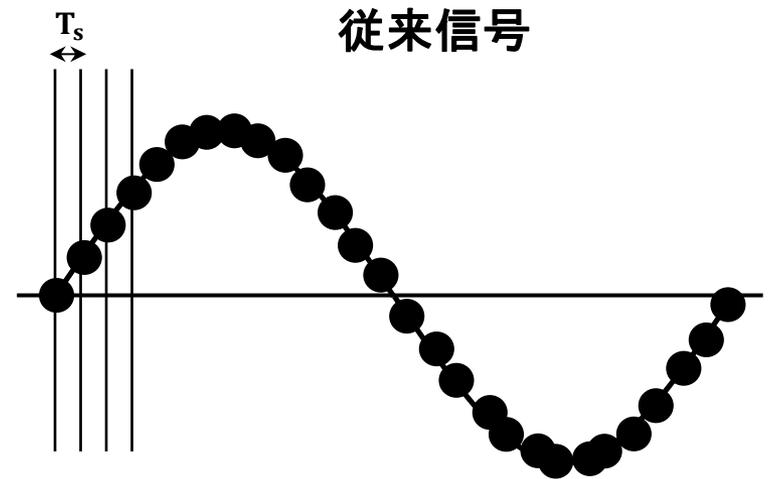
- 本研究背景と概要
- AWG波形プログラム変更による低歪み信号生成
- 位相差切り替え手法を用いたADCテスト
- まとめと今後の課題

# AWGによる従来信号の生成

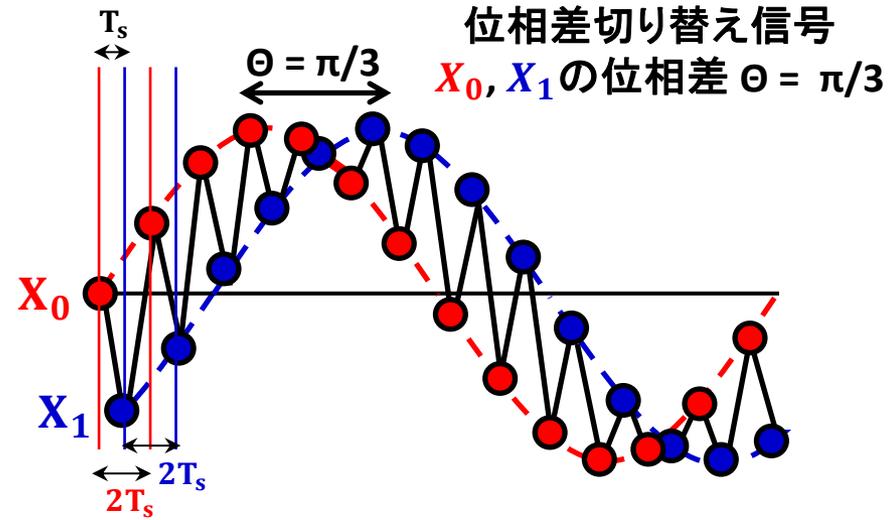
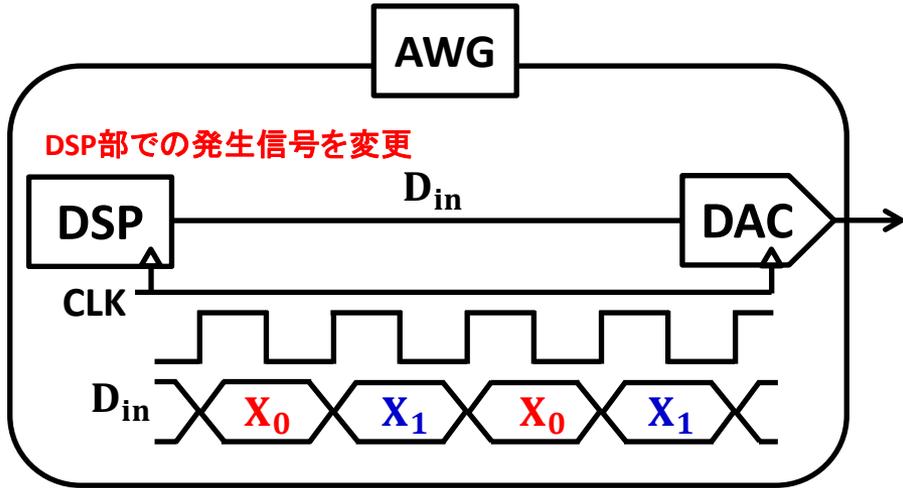


AWGのサンプリング周波数:  $f_s = 1/T_s$

$$X = A \cos(2\pi f_{in} n T_s)$$



# AWGによる位相差切り替え信号の生成



AWGのサンプリング周波数 :  $f_s = 1/T_s$

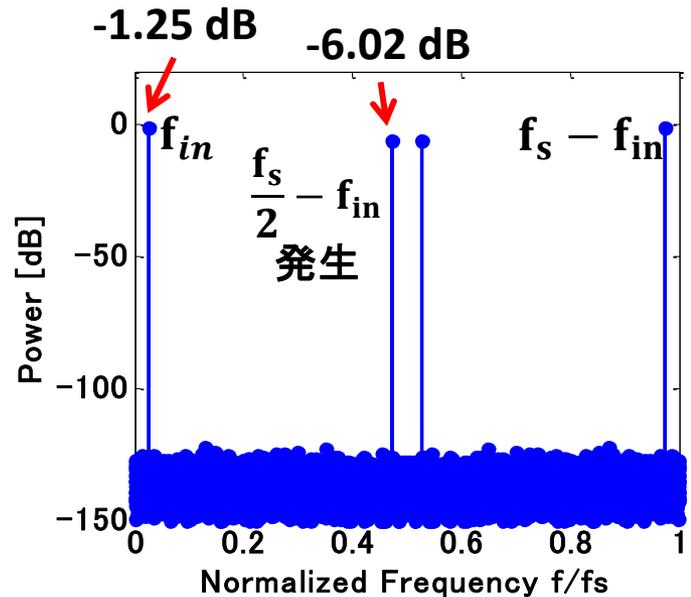
周波数  $f_{in}$  位相差  $\pi/3$  を持つ2波  $X_0, X_1$

$$X_0 = A \cos(2\pi f_{in} n T_s - \pi/6)$$

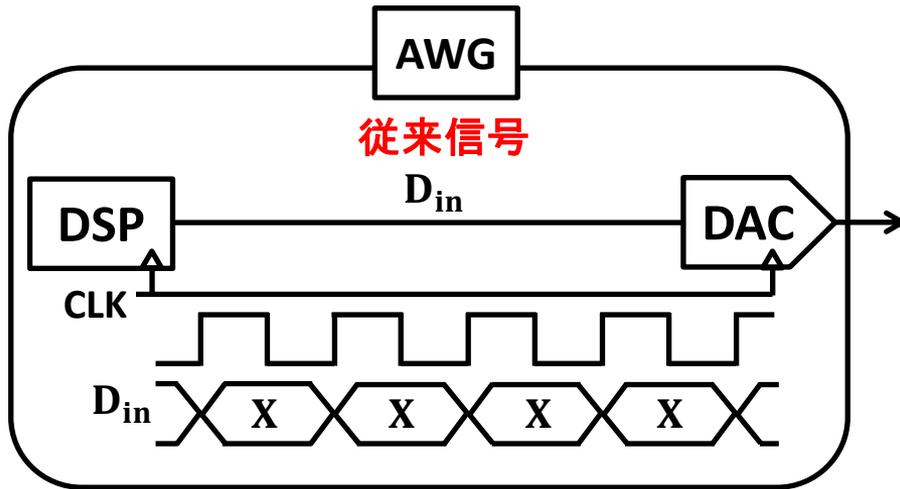
$$X_1 = A \cos(2\pi f_{in} n T_s + \pi/6)$$

1クロック毎に  $X_0, X_1$  を切り替える

位相差切り替え信号



# AWG実機によるテスト信号の生成条件



AWGのサンプリング周波数： $f_s = 1/T_s$

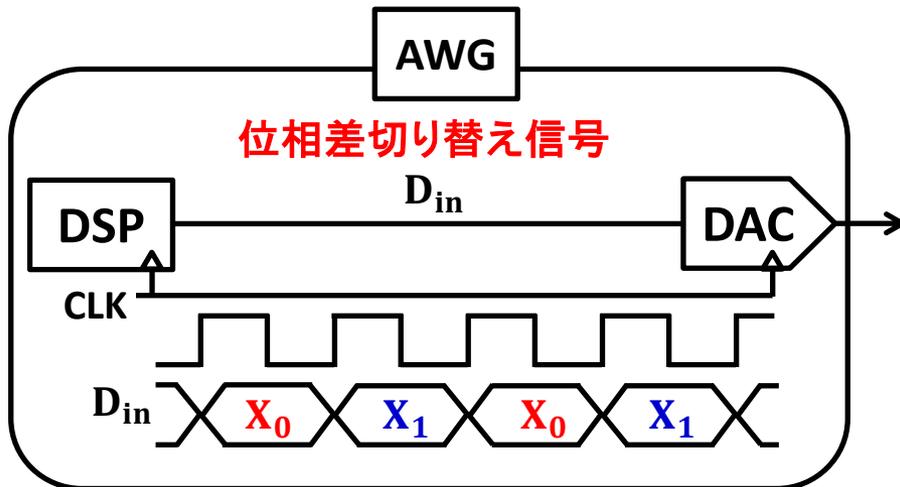
従来手法

AWG信号発生条件

$$X = A \cos(2\pi f_{in} n T_s)$$

$$f_s = 10\text{MHz}$$

$$f_{in} = 200\text{kHz}$$



位相差切り替え手法

AWG信号発生条件

$$X_0 = A \cos(2\pi f_{in} n T_s - \pi/6)$$

$$X_1 = A \cos(2\pi f_{in} n T_s + \pi/6)$$

$$f_s = 10\text{MHz}$$

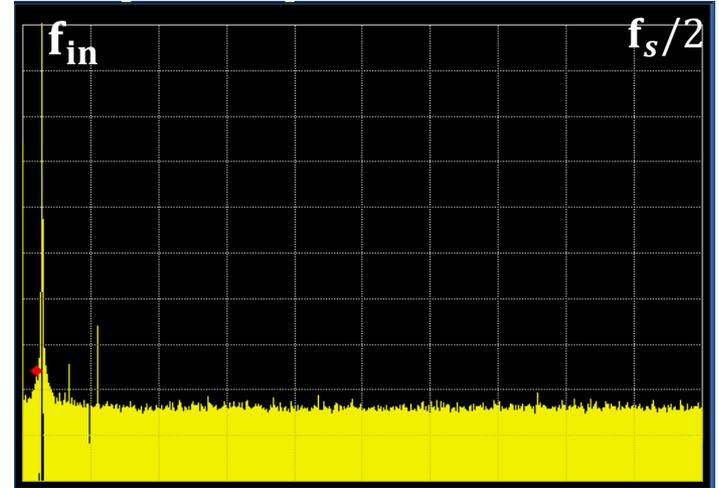
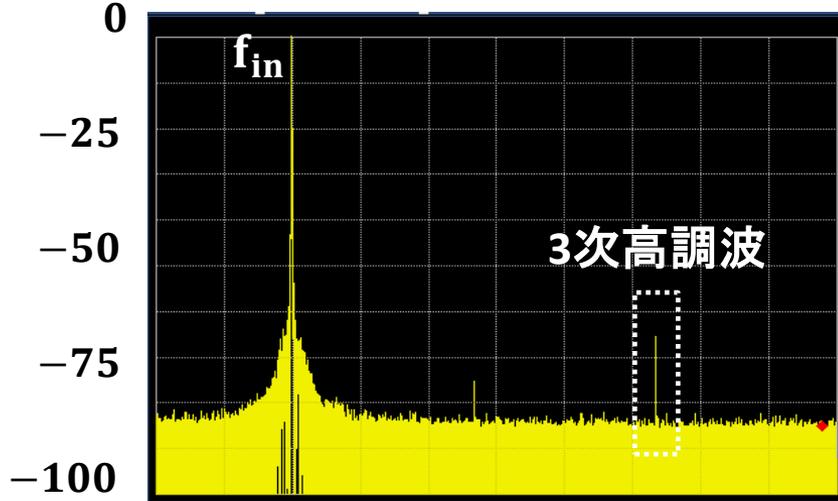
$$f_{in} = 200\text{kHz}$$

# AWG実機によるテスト信号

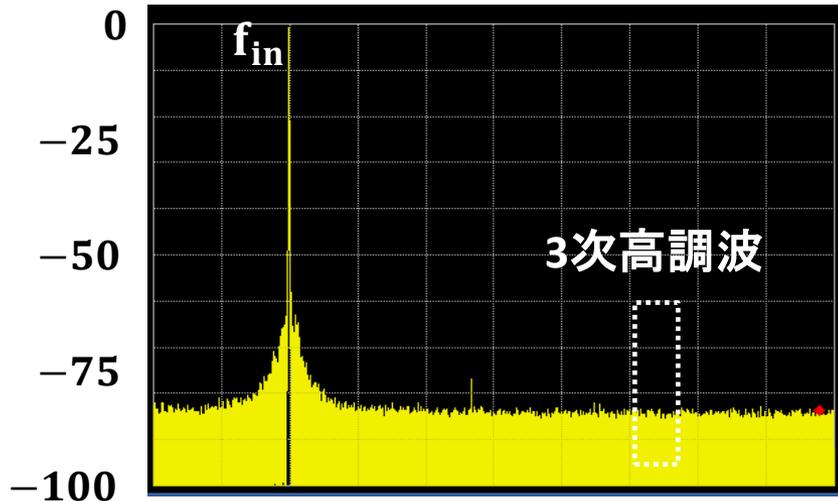
3次高調波の低減

位相差切り替えによるスプリアスの発生

従来信号



位相差切り替え信号

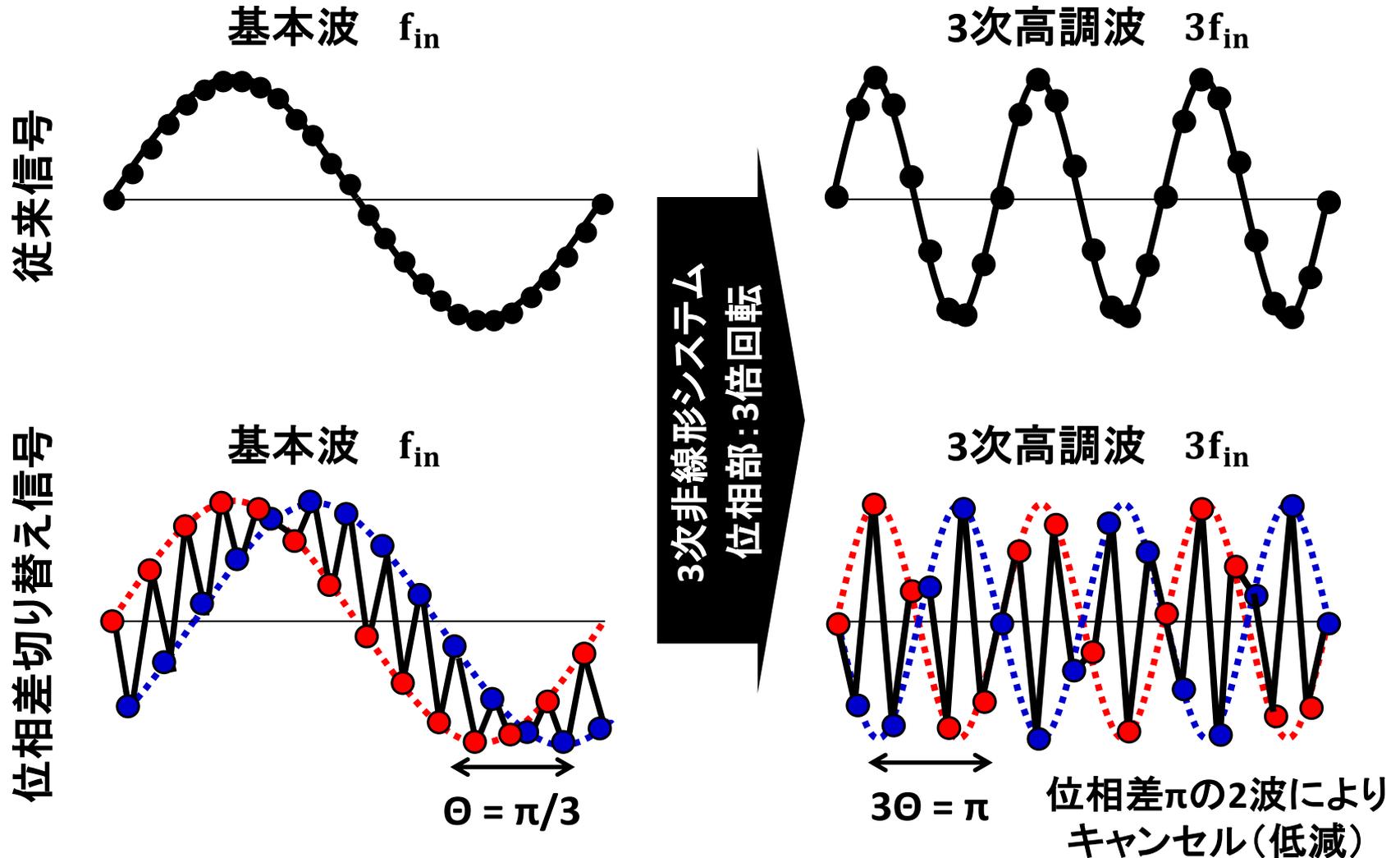


Frequency [kHz]

$2.5 \times 10^3$

$5 \times 10^3$

# 3次高調波キャンセル(低減)原理

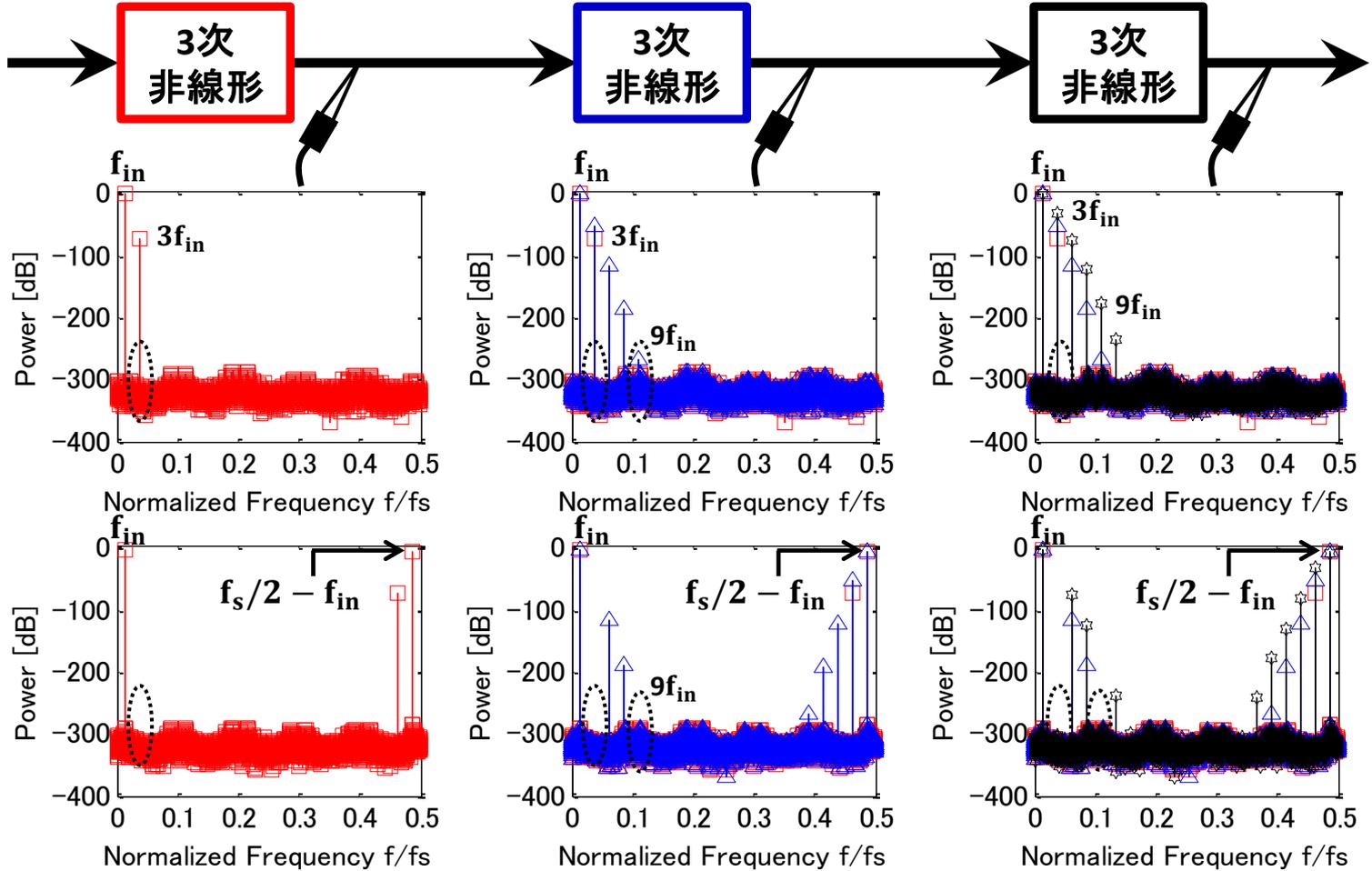
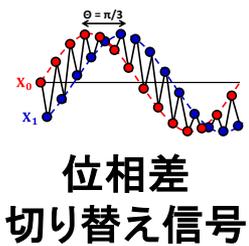
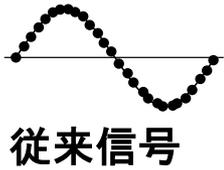


非線形程度 of 同定が不要

# 3次高調波低減効果の影響範囲

入力信号

- ・従来信号
- ・位相差切り替え信号



$f_s/2 - f_{in}$  のスプリアスが発生している間3次高調波をキャンセル(低減)効果持続

# 位相差切り替え信号のまとめ

- 位相差切り替え信号によりAWG由来3次高調波を非線形程度を同定せずに低減
- 3次高調波を低減するための $f_s/2 - f_{in}$ のスプリアスが発生
- $f_s/2 - f_{in}$ スプリアスが存在する限り低減効果は継続

# Outline

- 本研究背景と概要
- AWG波形プログラム変更による低歪み信号生成
- 位相差切り替え手法を用いたADCテスト
- まとめと今後の課題

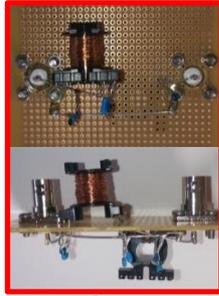
# AWGを用いたADCの3次高調波の測定



**AWG**  
**Agilent 33220A**  
 ADCテスト信号発生  
 ・従来信号  
 ・位相差切り替え信号  
 200kHz 正弦波  
 10MHz sampling

LPF

ADC3次高調波測定用フィルタ  
 AWGの3次高調波低減  
 5次LC\_250MHzカットオフLPF



or

位相差切り替えによる $f_s/2$ 近傍  
 スプリアス低減用フィルタ

4次LCLPF



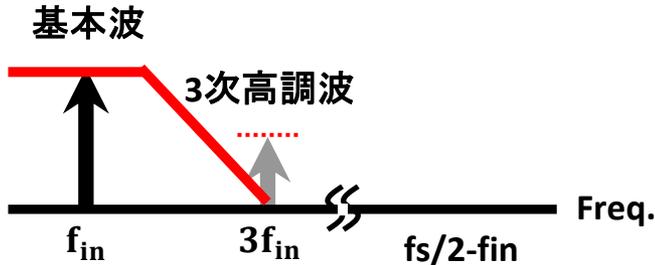
ADC

Device Under Test



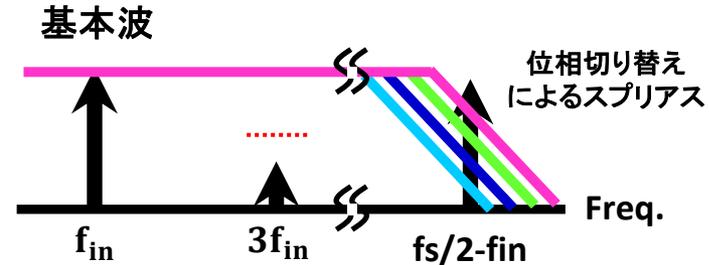
**AD7356**  
 SAR 12bits ADC  
 3.478261MHz Sampling

出力信号  
FFT解析



AWG由来3次高調波のカット

この信号をADCテスト信号として  
 用いることでADCの3次高調波本来値を  
 計測することが可能



プログラム変更による  
 AWG由来3次高調波の低減

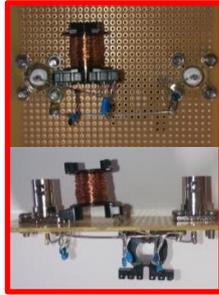
フィルタによる3次高調波への影響なし  
 位相差切り替えの成分のみ低減

# AWGを用いたADCの3次高調波の測定

**AWG**  
 Agilent 33220A  
 ADCテスト信号発生  
 ・従来信号  
 ・位相差切り替え信号  
 200kHz 正弦波  
 10MHz sampling



ADC3次高調波測定用フィルタ  
 AWGの3次高調波低減  
 5次LC\_250MHzカットオフLPF



or

位相差切り替えによる $f_s/2$ 近傍  
 スプリアス低減用フィルタ

4次LCLPF



ADC

Device Under Test

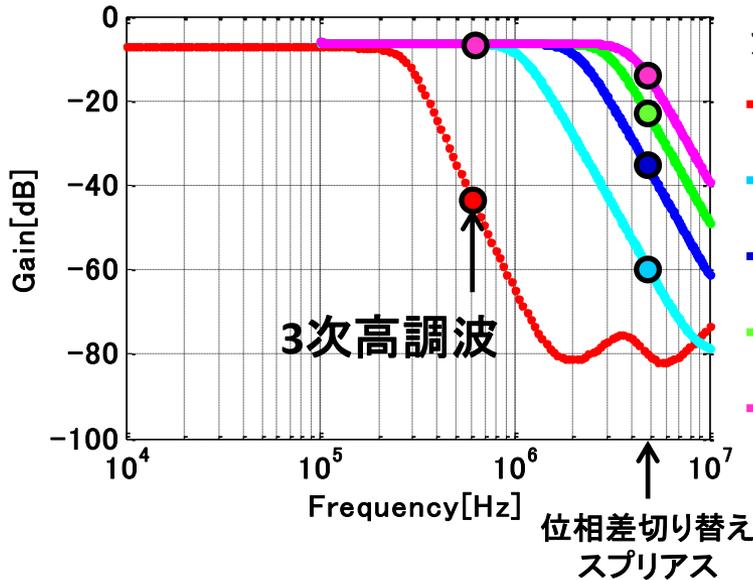


AD7356  
 SAR 12bits ADC  
 3.478261MHz Sampling



出力信号  
FFT解析

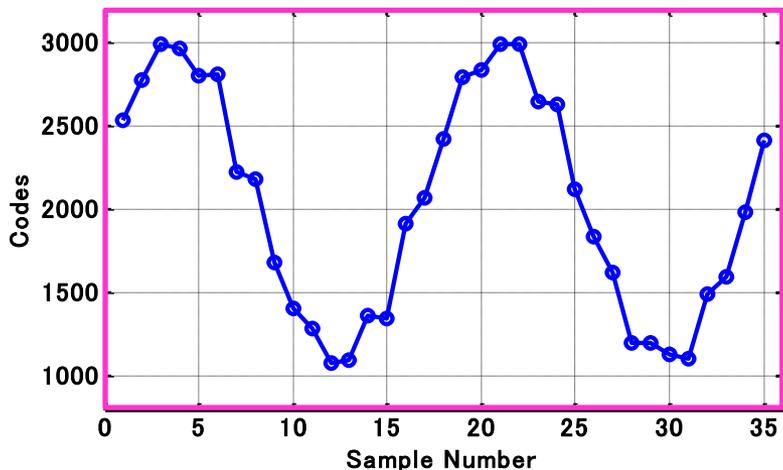
### 各LPFにおけるFRA測定結果



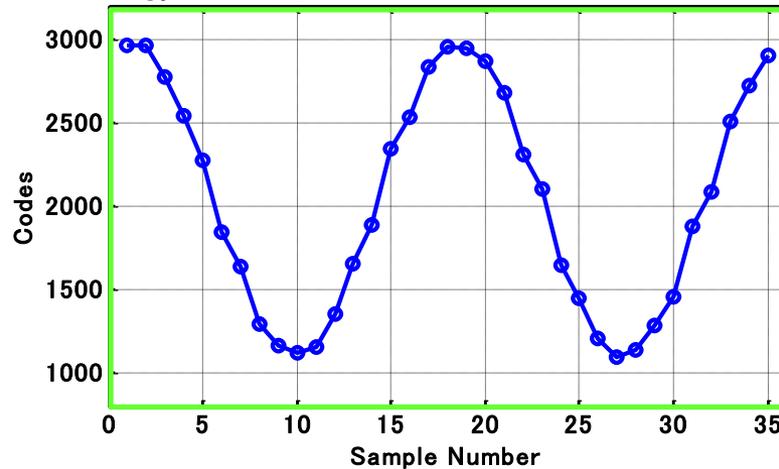
各フィルタの カットオフ周波数	位相差切り替え のスプリアス低減量
250kHz	
1MHz	→ - 54 dB
2MHz	→ - 30 dB
2.7MHz	→ - 17 dB
3.7MHz	→ - 8 dB

# 位相差切り替え信号入力時のADC出力

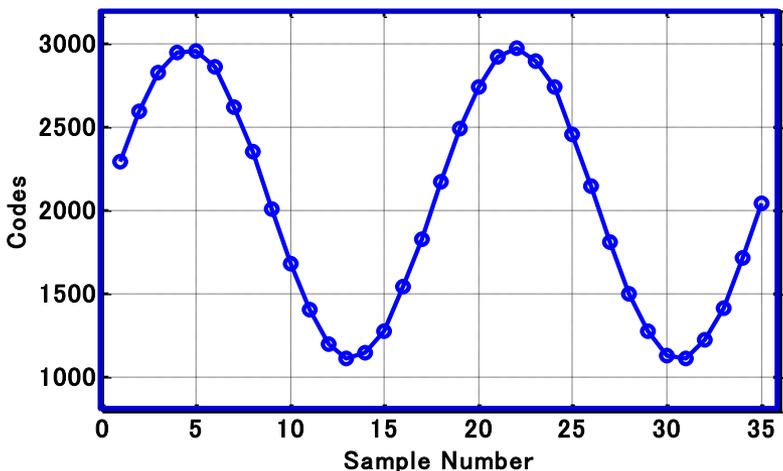
$f_s/2 - f_{in} : 8\text{dB}$ 低減



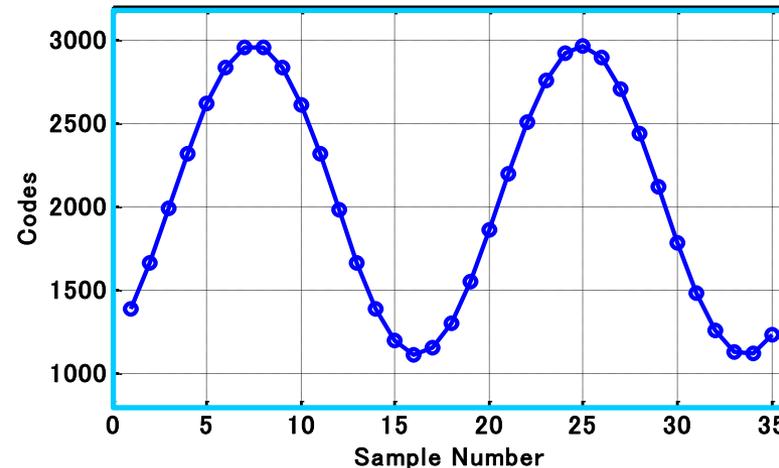
$f_s/2 - f_{in} : 17\text{dB}$ 低減



$f_s/2 - f_{in} : 30\text{dB}$ 低減



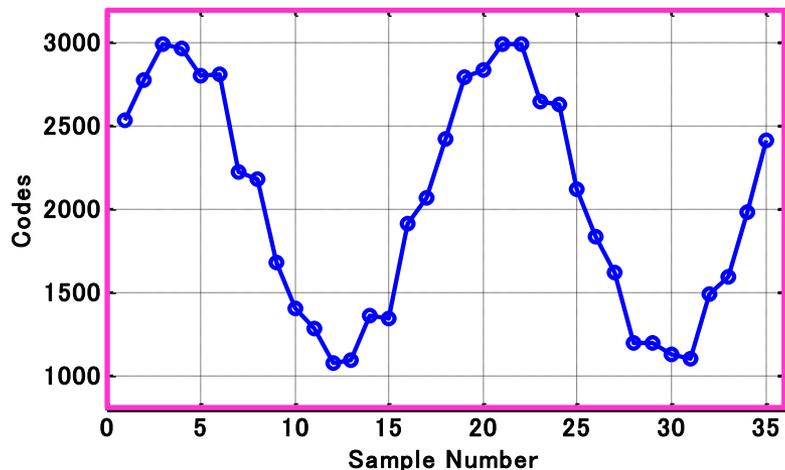
$f_s/2 - f_{in} : 54\text{dB}$ 低減



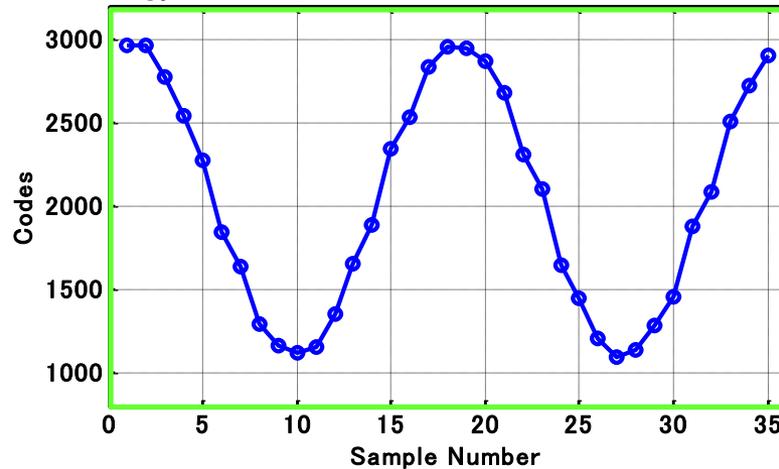
# 位相差切り替え信号入力時のADC出力

20/29

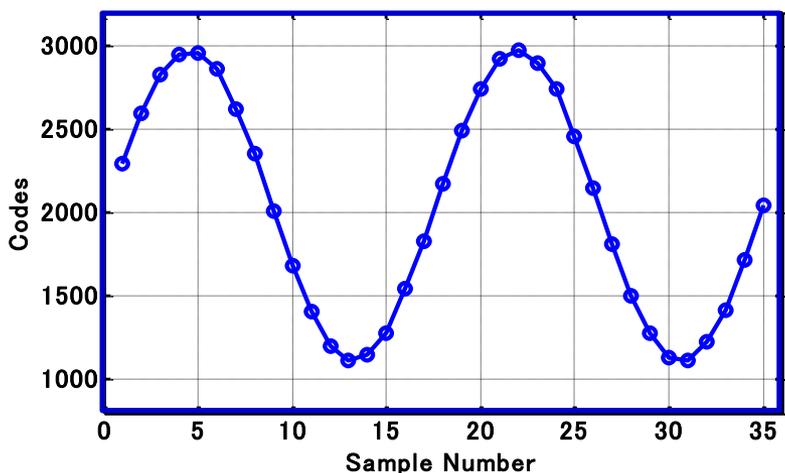
$f_s/2 - f_{in} : 8\text{dB}$ 低減



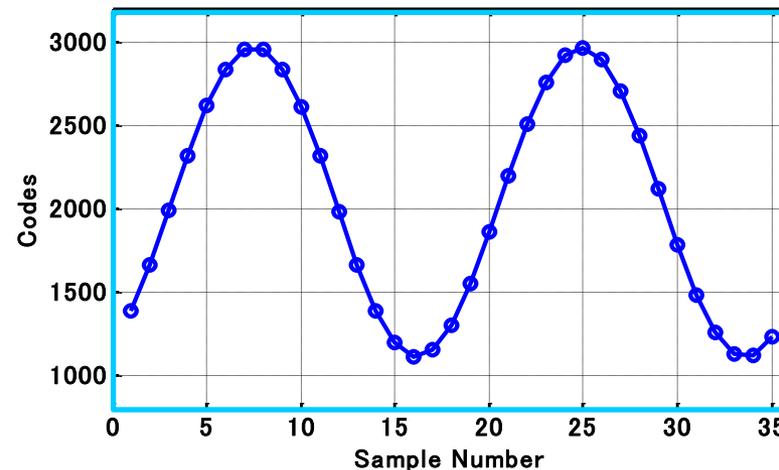
$f_s/2 - f_{in} : 17\text{dB}$ 低減



$f_s/2 - f_{in} : 30\text{dB}$ 低減



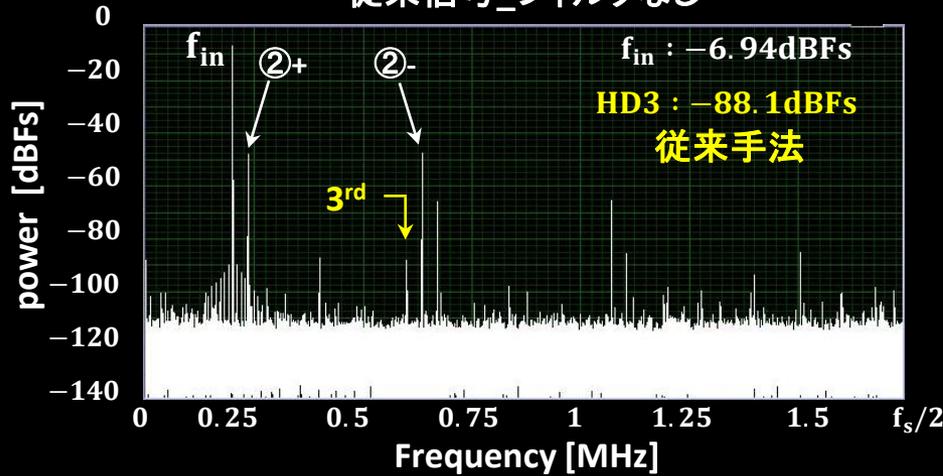
$f_s/2 - f_{in} : 54\text{dB}$ 低減



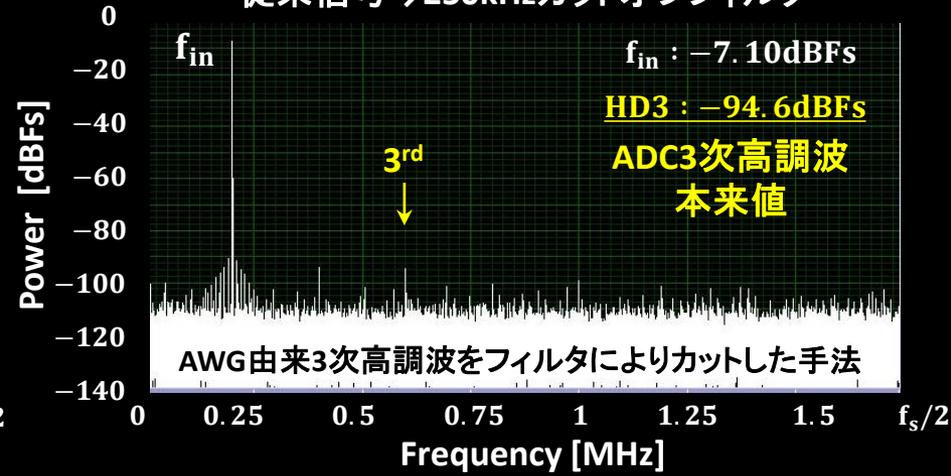
スペクトルの様子を従来信号と比較(次ページ)

# AD7356, $f_s(\text{ADC}) = 3.47\text{MHz}$ でのADC出力 21/29

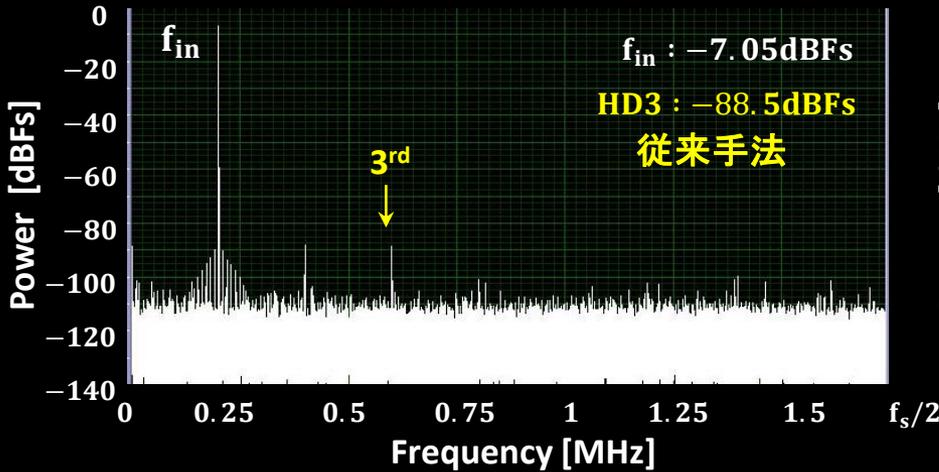
従来信号\_フィルタなし



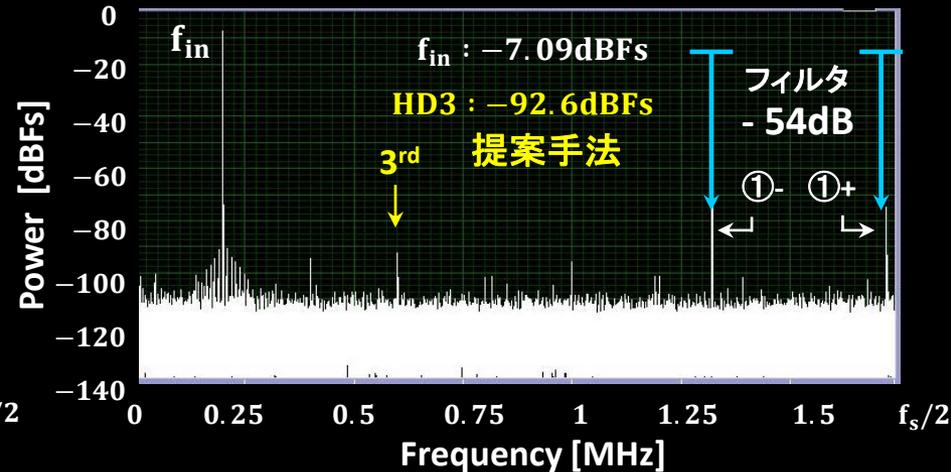
従来信号→250kHzカットオフフィルタ



従来信号→1MHzカットオフフィルタ



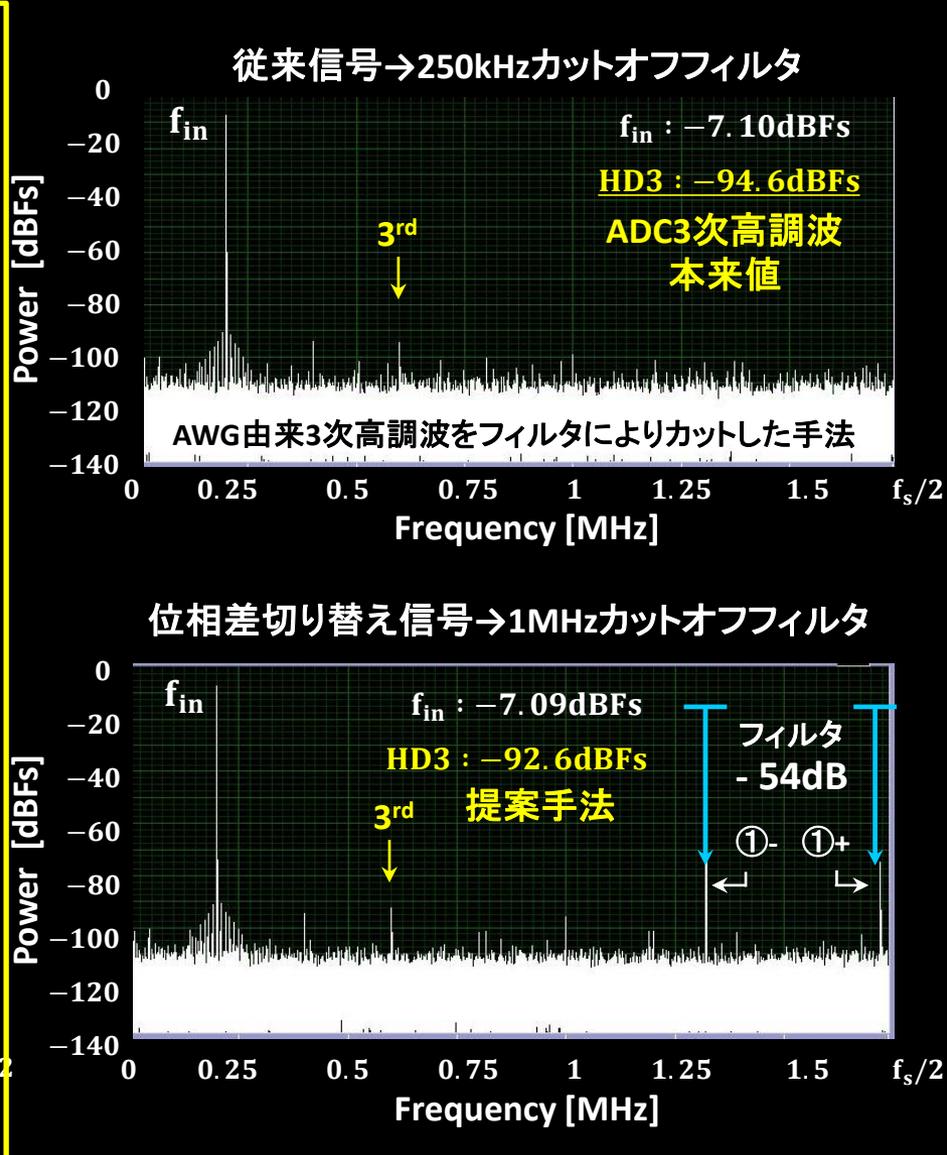
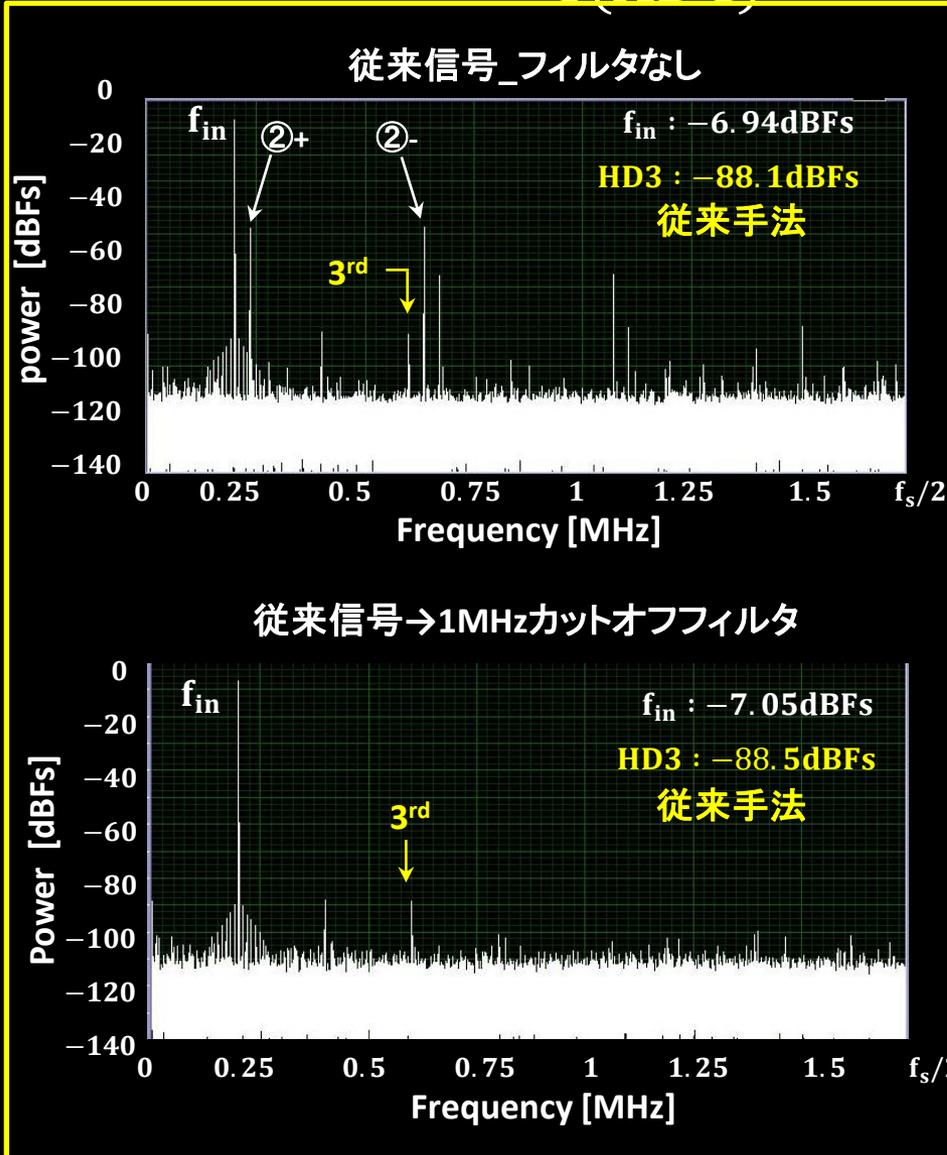
位相差切り替え信号→1MHzカットオフフィルタ



①  $\pm = \frac{f_s}{2} \pm f_{in}$

②  $\pm = f_s \pm f_{in}$

# AD7356, $f_s(\text{ADC}) = 3.47\text{MHz}$ でのADC出力 22/29

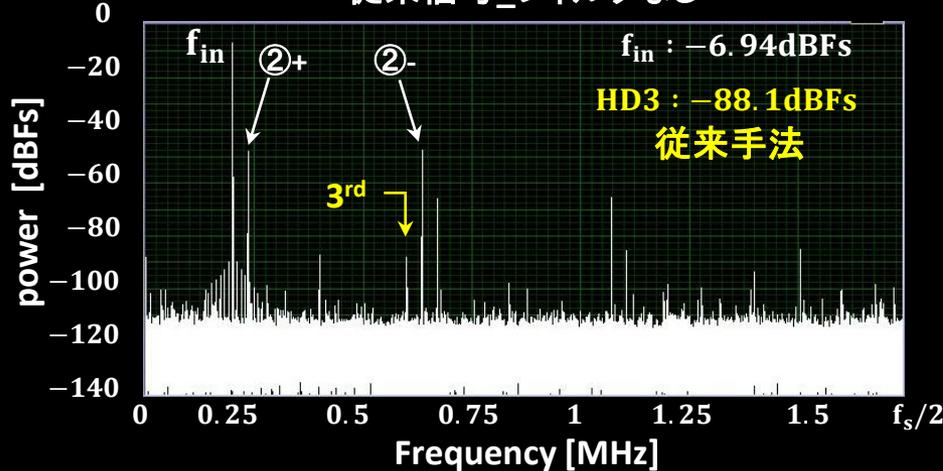


1MHzカットオフフィルタによる3次高調波の影響なし

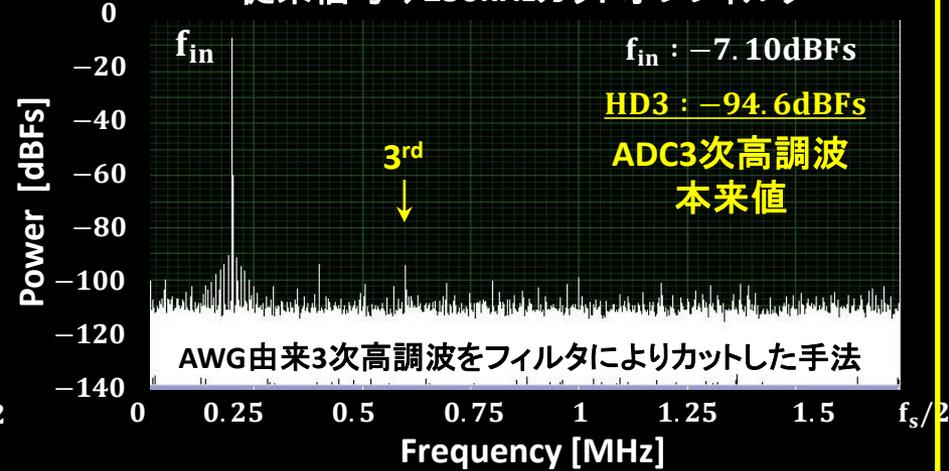
①± =  $\frac{f_s}{2} \pm f_{in}$       ②± =  $f_s \pm f_{in}$

# AD7356, $f_{s(ADC)} = 3.47\text{MHz}$ でのADC出力

従来信号\_フィルタなし



従来信号→250kHzカットオフフィルタ

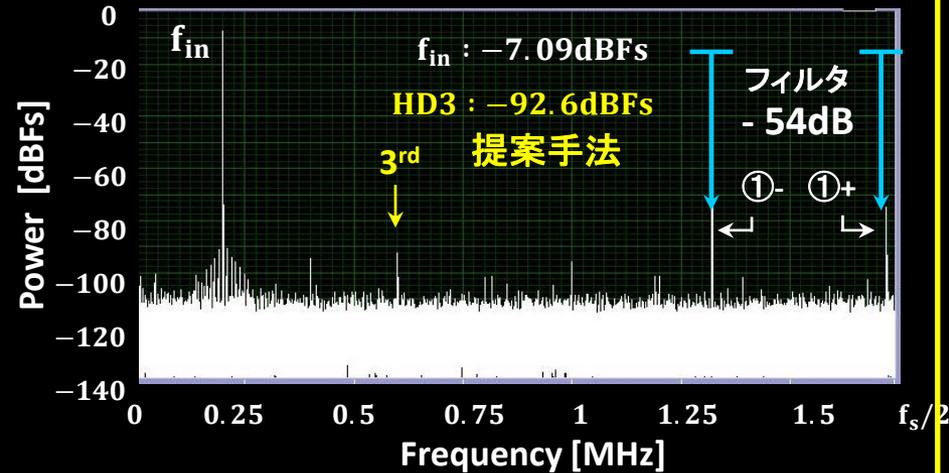


ADCの本来の3次高調波パワー: **-94.6dBFS**

従来手法を用いた時の  
ADCの3次高調波パワー : **-88.1dBFS**  
→ 誤差 6.8%

位相差切り替え手法を用いた時の  
ADCの3次高調波パワー : **-92.6dBFS**  
→ 誤差 2.1%

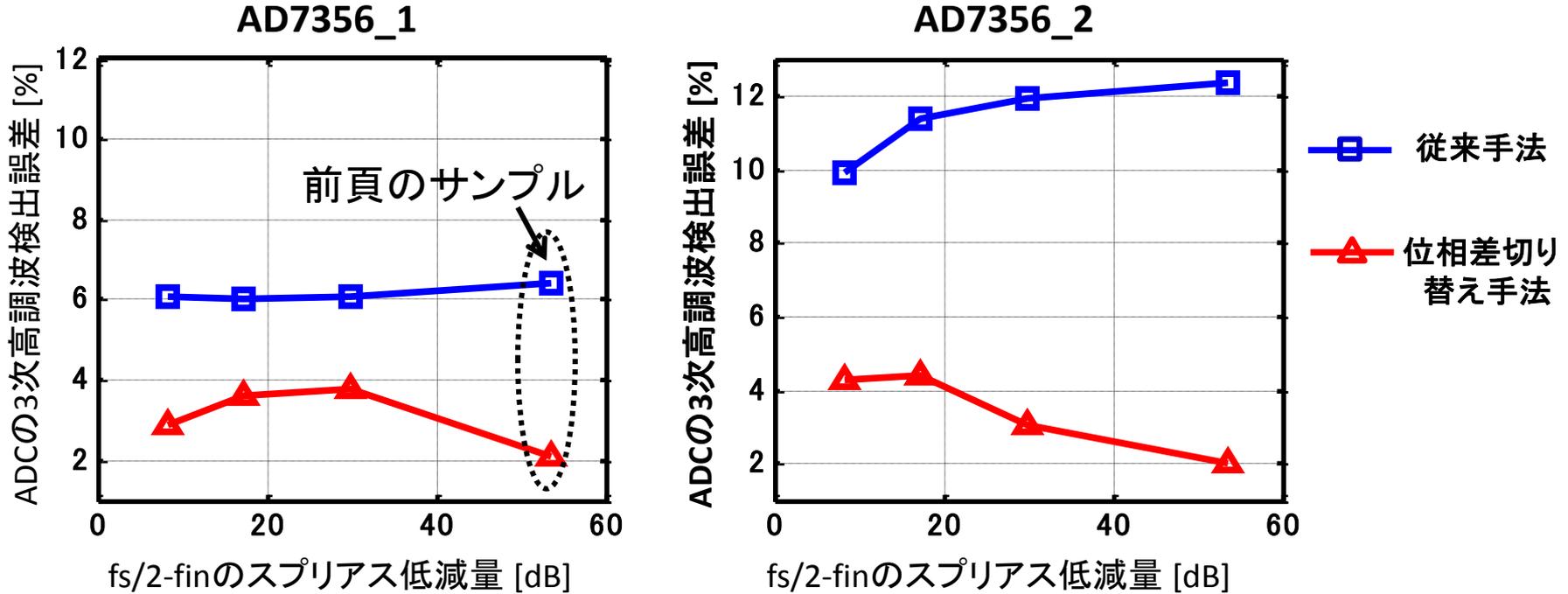
位相差切り替え信号→1MHzカットオフフィルタ



位相差切り替え手法を用いることで3次高調波の検出誤差を改善

# ADCの3次高調波測定結果

## AD7356のADCを2チップ(AD7356\_1, AD7356\_2)測定



ADCの3次高調波検出誤差

}	従来手法 : 誤差大	AD7356_1 : 誤差 約6% → 約3%
	位相差切り替え手法 : 誤差小	AD7356_1 : 誤差 約11% → 約3%

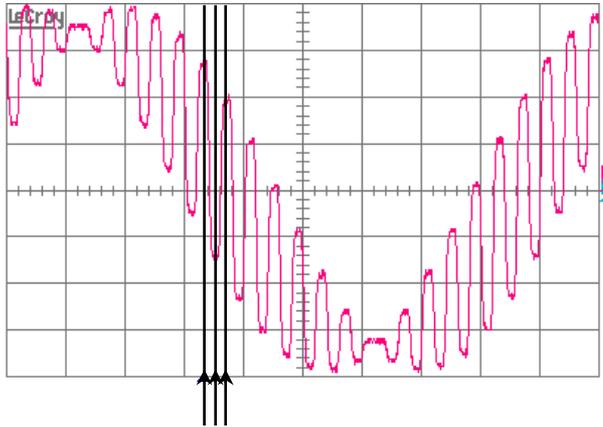
位相差切り替えのスプリアスfs/2-finに関して測定結果より、  
fs/2-finのスプリアスを少なくとも 8dB 低減すればOK

# 位相差切り替え信号のADC出力波形

AWGのサンプリング周波数:  $f_{s(AWG)} = 10\text{MHz}$

ADCのサンプリング周波数:  $f_{s(ADC)} = 3.478261\text{MHz}$

ADC入力信号



$f_{s(AWG)} = 10\text{MHz}$  サンプリング

位相差切り替えのスピリアス

$$f_{s(AWG)}/2 - f_{in} = 4.8\text{MHz}$$



$f_{s(ADC)} = 3.478261\text{MHz}$   
ADCサンプリング

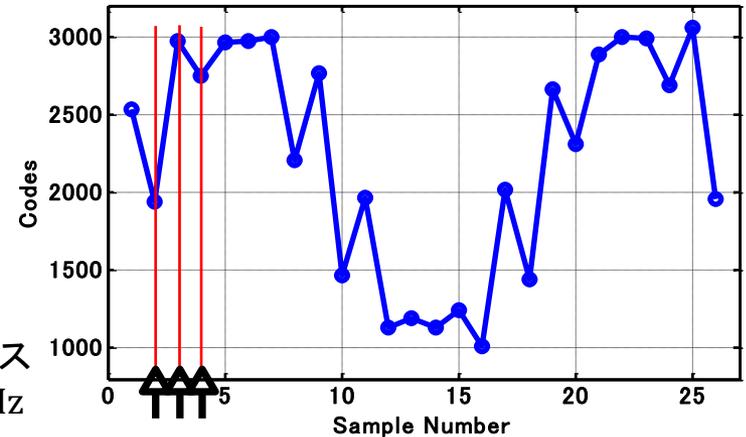
位相差切り替えのスピリアス  
 $f_{s(AWG)}/2 - f_{in} = 4.8\text{MHz}$

サンプリング定理より

4.8MHzスピリアスの再現不可

ADCで位相差切り替え信号不成立

ADC出力信号



$f_{s(ADC)} = 3.478261\text{MHz}$

位相差切り替え信号  
再現されていない

3次高調波低減効果の影響はADC前段まで(ADCの3次高調波は低減されない)

∴ ADCでは位相差 $\pi$ による3次高調波打消し現象が発生しない

- ADCの3次高調波検出精度をAWGを変更せずに改善  
AD7356\_1 : 3次高調波検出誤差 6% → 3% 改善  
AD7356\_2 : 3次高調波検出誤差 11% → 3% 改善

# Outline

- 本研究背景と概要
- AWG波形プログラム変更による低歪み信号生成
- 位相差切り替え手法を用いたADCテスト
- まとめと今後の課題

# まとめ

- AWGのハードウェア変更をせずにプログラム変更のみでADCの3次高調波検出精度を向上  
AWG (Agilent 33220), 12bits SAR ADC (AD7356) で検証
  - ADC サンプル1: 3次高調波検出誤差 6% → 3% に改善
  - ADC サンプル2: 3次高調波検出誤差 11% → 3% に改善

これまで アルゴリズム提案・シミュレーション・AWG実験を示す



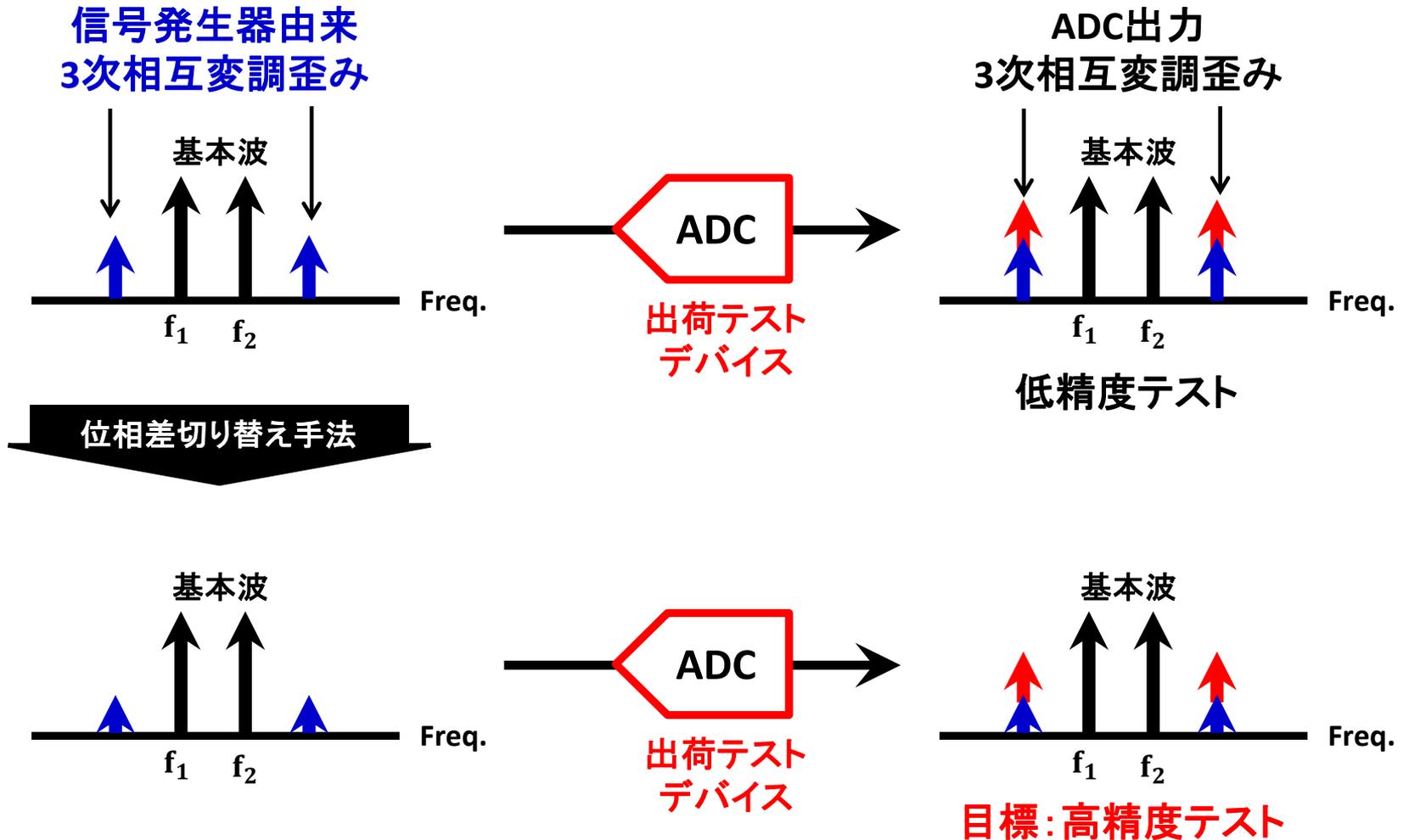
今回 実際にADC評価まで行い提案手法の有効性・実用性を検証できた

- コストをかけずに精度向上を実現
- 歩留まり改善によるコスト削減効果の期待

# 今後の課題

29/29

- 本手法を用いた2トーン信号におけるADCの3次相互変調歪み測定



## Q & A

Q1 P.14に関してADCの歪みは検出できないということ？

A1 p.14はAWG内部の非線形ブロック由来の3次高調波は低減し、その効果はADC前段まで継続するという事を主張している。

Q2 ADCサンプリングレートが早くなればADCの3次高調波は見えなくなる？

A2 一般的に信号発生器のサンプリング周波数の方がDUTであるADCのサンプリングレートより高い。そのため、p.25の議論は一般的に成立する議論である。