

西村 明、小泉 宣夫 (東京情報大)

## 1. はじめに

DA/AD 変換時のサンプリングクロックに生じる時間ゆらぎ (サンプリング・ジッター) は、記録や再生時にひずみをもたらす原因のひとつである。しかし、ジッターと音質変化にまつわる話題が多い一方で、実際に DA/AD 変換器において生じているサンプリング・ジッターの特性を正確に測定した報告は驚くほど少ない。

本報告では、高精度なサンプリング・ジッター測定法として、解析信号を用いて、DA/AD 変換器に生じている周波数および振幅変動波を時間領域において測定する方法を提案する。そしてそれが、従来から知られている、観測音のパワースペクトルよりジッターを推定する周波数領域における測定方法<sup>[1]</sup>と比較して、優れていることを示す。

## 2. サンプリング・ジッター測定方法

サンプリング・ジッター測定では、純音信号を DA 変換し、すぐさま AD 変換することによって、双方の変換器特性の重畳された観測音波形を得て、これをデジタル領域にて分析するのが一般的である。

## 2.1 周波数領域での測定

角周波数  $\omega_c$  の正弦波に、角周波数  $\omega_m$ , 振幅  $J$  である正弦波のジッターを与えたときの時間波形  $x(t)$  を示す。

$$x(t) = \sin(\omega_c(t + J \sin(\omega_m t))) \quad (1)$$

ここで  $J$  は通常 ns ~ ps のオーダーなので、三角関数の近似により、1 式を書き換えることによって、搬送波の振幅に対して、 $J\omega_c/2$  の側帯波が生じることが分かる<sup>[1]</sup>。このように、観測音のパワースペクトル上の側帯波の振幅よりジッター振幅を推定するのが、周波数領域でのジッター測定法である。

## 2.2 解析信号を用いた時間領域での測定

1 式の右辺に振幅変動  $a(t)$  が掛かった形を考える。このような波形が観測される場合、前節の周波数領

域での測定では、観測音にジッターによる側帯波と振幅変動による側帯波が混在することになり、双方の分離は困難である。一方、観測音波形  $x(t)$  の解析信号  $y(t)$  は、

$$y(t) = a(t) \exp(j\omega_c(t + J \sin(\omega_m t)) - \pi/2) \quad (2)$$

となる<sup>[2]</sup>。解析信号は DFT によって求めることができるので、その瞬時位相角と搬送周波数より、ジッター波形を求めることができる。ここでは単純化の為にジッター波形を正弦波で表したが、理論的には、搬送波周波数と、AD 変換におけるナイキスト周波数あるいはゼロ周波数との差を最高周波数とするジッター波形を抽出することが可能である。

## 3. 実測結果

測定に使用した AD および DA 変換器を Table1 に示した。測定では、12 kHz, -6 dBFS の純音を DA 変換器 (DAC1 ~ 3) の R チャンネルのみより再生し、出力アナログ信号はそのまま AD 変換器 (ADC1) に入力して観測音波形を得た。この観測音波形について、周波数領域でのジッター測定と、解析信号を用いた時間領域での測定の両方を行った。

Table 1. AD and DA converters for the measurement.

label	specification	notes
ADC1	16-Bit, $\Delta\Sigma$ , 64X oversampling	SCSI-Box controlled by PC
DAC1	18-Bit, 5th-order $\Delta\Sigma$ , 64X oversampling	SCSI-Box controlled by PC
DAC2	18-Bit $\Delta\Sigma$ , 128X oversampling	PCI Sound Card controlled by PC
DAC3	unknown	AV amp. build in TOS-Link from CDP

Fig.1 上段には DAC1 の、Fig.1 中段には DAC2 の観測音波形より、時間領域にて測定したジッター波形を得て、そのスペクトルを示した。これらの結果には、ADC1 固有のジッター成分が共通して含まれているはずであり、Fig.1 上段と中段に共通するジッター成分がそれに該当する。このようにして推定した

\* Measurement of sampling jitter in AD/DA converters

ADC1 のジッタースペクトルを Fig.1 下段に示した。

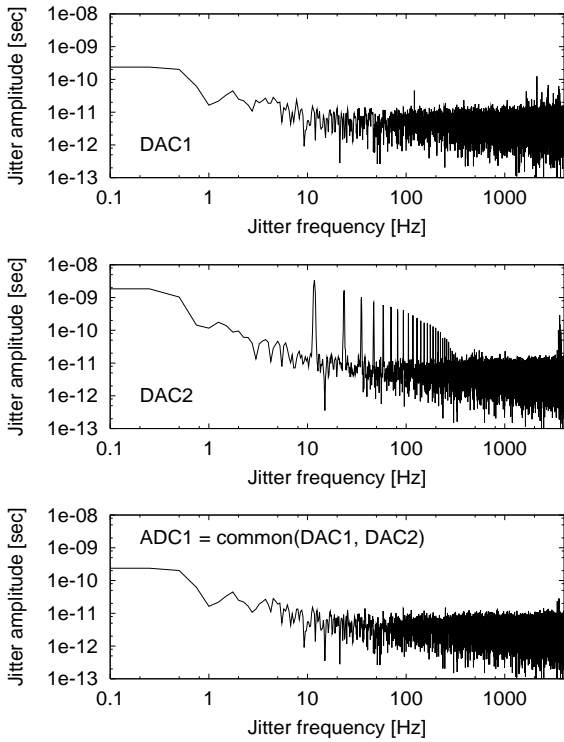


Fig. 1 . Jitter spectra.

Fig.1 から、DAC2 において約 300Hz 以下のジッター成分が顕著であることが分かるため、ジッター波形にカットオフ 300Hz のローパスフィルタを通して得られた波形を Fig.2 示した。このようなジッター波形が得られることも、時間領域でのジッター測定の特長である。

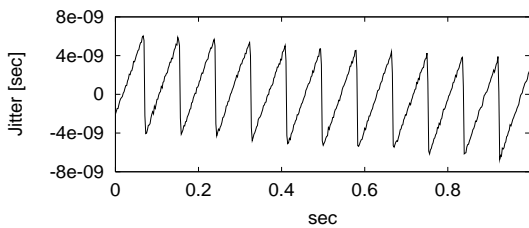


Fig. 2 . Jitter waveform below 300Hz (DAC2).

Fig.3 に、DAC3 の観測音波形のパワースペクトルを示した。周波数領域でのジッター測定では、Fig.3 に顕著に見られるような、側帯波の振幅からジッター振幅を推定する。しかし、それらの側帯波が測定系の振幅変動とジッターのいずれに起因するものかを明らかにできない。

一方、解析信号を用いた時間領域の測定では、振幅変動波と周波数変動(ジッター)波を分離することができる。Fig.4 に示した DAC3 の振幅変動波から

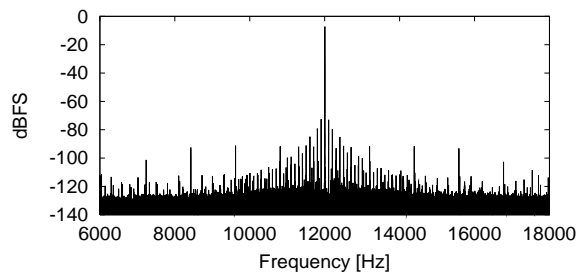


Fig. 3 . Power spectrum of 12 kHz signal (DAC3).

は、測定系に生じた約 0.01s 周期の振幅変動を捉えることができた。また、DAC3 のジッター波を周波数分析した Fig.5 より、主要なジッター成分は約 934Hz を基本周期としていることが明らかになった。

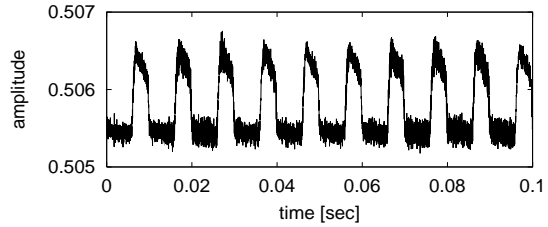


Fig. 4 . Amplitude fluctuation (DAC3).

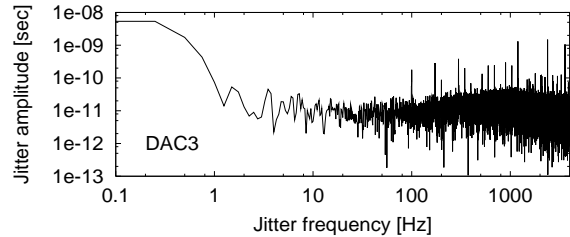


Fig. 5 . Jitter spectrum (DAC3).

#### 4. まとめ

解析信号を用いた時間領域でのサンプリング・ジッター測定では、ジッター波形を抽出することができる。また、複数系統の測定系の結果を比較し、それらに共通する測定系のジッタースペクトルの推定が可能である。さらに、周波数変動波と振幅変動波が同時に得られるため、周波数領域における測定では困難であった、ジッターに起因する側帯波と、振幅変動に起因する側帯波の分離も可能である。

#### 謝辞

本研究の一部には平成 13 年度東京情報大学共同研究 4 および東京情報大学学術フロンティアプロジェクト研究費の補助を受けた。

#### 参考文献

- [1] Julian Dunn, "Jitter Theory," Audio Precision TECHNICAL NOTE, 23, 1-23 (2000).
- [2] 加藤充美, 西村明, 安藤由典, "解析信号を用いたフルート音の倍音の周波数分析," 電子情報通信学会技術研究報告, SP2000-136, 43-50 (2001).