

○ 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、録音や再生時にひずみをもたらす原因のひとつである。これまで我々は、解析信号を用いて、DA/AD変換器に生じている周波数変動波(ジッター波)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し[1]、測定誤差の要因について検討をした[2]。さらにこれを、従来は困難であった音楽信号の録音再生時に生じるかもしれないジッターの測定法に拡張した[3]。

本稿では、それらの測定法を用いて実測されたデジタルオーディオ機器のジッター特性を紹介する。

2. 解析信号を用いるジッター測定

角周波数 ω_c の正弦波をDA変換し、すぐさまAD変換する測定系を考える。このとき測定系において、任意の振幅変動 $a(t)$ と、角周波数 ω_m 、振幅 J である正弦波のジッターが付加されたときの観測信号の時間波形 $x(t)$ を示す。

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

$x(t)$ 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[4]。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、測定系において生じるジッター波形と、振幅変動波形を同時に求めることができる[1]。

この手法は純音信号(サンプリング周波数の1/4を推奨[2])を用いて測定を行う。音楽信号を測定信号とするには、観測信号と測定信号との時間ずれを高精度に補正し、分析時に双方の信号に帯域制限を行なった後で、それらの瞬時位相の比較を行う[3]。

3. 実測結果

ジッターの測定は、プレーヤにてCD-Rに記録した信号音を読み取り、プレーヤ内蔵DACあるいは

デジタル接続したDACから再生したアナログ信号を、ADCで変換したデジタル信号に対して行った。合計二十余りのデジタルオーディオ機器を組み合わせた結果得られたジッター特性の中から、特徴的なものを示す。なお、使用したADCのジッタースペクトル振幅は10Hz以下で80psを下回る[1]。

測定の結果得られるジッター波形について、1秒間のHanning窓掛け後にFFTを行い、これを0.5秒づつずらして5秒間の平均スペクトルを求めた。音楽信号を用いた測定のジッター振幅検知限は3ns[3]であるが、それを越えるジッターは、音楽、純音いずれでも観測されなかったため、純音による測定結果のみを示す。全ての測定結果の再現性は高かった。

3.1 CD-RメディアプレーヤとDAコンバータ

ジッターの主な発生箇所は、クロック回路、デジタル信号伝送経路、AD/DA変換回路であり、発生したジッターは積算されていく。プレーヤとDACの接続は、光ケーブルを用いた結果のみを示した。

Fig.1にはCDP1内蔵DAC再生時のジッタースペクトルを示した。CDP1内蔵DAC(DAC1)は外部デジタル入力の再生も可能であり、Fig.2には、CDP2の読み取ったデジタル信号をDAC1にて再生時のジッタースペクトルを示した。Fig.3はCDP3の読み取ったデジタル信号をDAC1に入力して再生した結果である。これらを比較すると、同じDACを用いてもクロック源が異なるとジッター特性に明らかな違いが存在することが分かる。

内蔵DACと外部DACを比較するため、Fig.4にはDVD-Audioプレーヤ(DVDA1)にて内蔵DACから再生した結果を、Fig.5にはDVDA1のデジタル出力を、DAC2にて再生した結果を示した。これらの比較より、DAC2は約200Hz以下のジッター成分を増幅し、それ以上のジッター成分を抑圧すると考

* The aspects of sampling jitter in digital audio equipments. — CD players and DA converters —

By Akira Nishimura, Nobuo Koizumi (Tokyo University of Information Sciences)

えられる。

3.2 メディア、機器への外的要因による影響

CD-Rメディア材質、メディアに与える傷、ガムテープ添付による偏重量、CD-Rの代わりにオーディオチェックCDの純音信号を用いた測定などによって、ジッター特性が変化することは無かった。

しかし、CDP1を内蔵DACを用いて再生した場合、ADC2にて測定を行った場合のみ、26Hzのジッター成分が現れた(Fig.6)。その際、同じADC2を用いて同時に測定した他のCDPおよびDACには、このジッター成分は認められなかったため、電源あるいはアナログ信号線を通じたADC2とCDP1との相互干渉などの外的要因による影響と考えられる。

4. まとめ

今回測定したデジタルオーディオ機器のジッターは、音質的にはほぼ問題のない量[3]であった。我々の提唱する高精度なジッター測定法は、機器による微細なジッター特性の違いを明らかにしてきた。今後、機器の音質とジッター特性との関係を明らかにするには、このような測定は欠かせないであろう。

PC用オーディオ機器、DVD-Audioメディアなどその他の機器の測定結果に関しては、次報に譲りたい。

謝辞

本研究の一部には平成14年度東京情報大学共同研究1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。

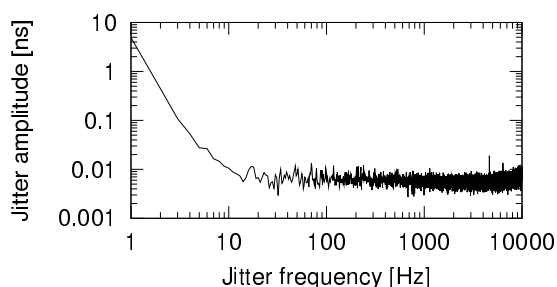


Fig. 1. Jitter spectrum of CDP1(DAC1).

参考文献

- [1] 西村明, 小泉宣夫, “AD/DA変換器におけるサンプリング・ジッターの測定,” 日本音響学会講演論文集, 秋, 659-660 (2001).
- [2] 西村明, 小泉宣夫, “解析信号を用いたサンプリング・ジッター測定における誤差の検討,” 日本音響学会講演論文集, 秋, No. 3-P-25, 629-630 (2002).
- [3] 西村明, 小泉宣夫, “音楽信号を用いたサンプリング・ジッターの測定手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, HDA2002-1, 1-7 (2002).

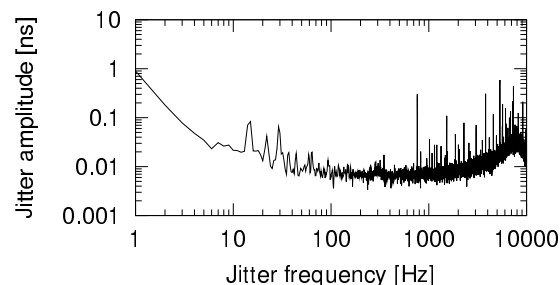


Fig. 2. Jitter spectrum of DAC1 connected to CDP2.

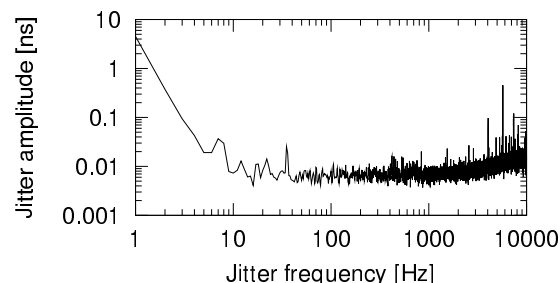


Fig. 3. Jitter spectrum of DAC1 connected to CDP3.

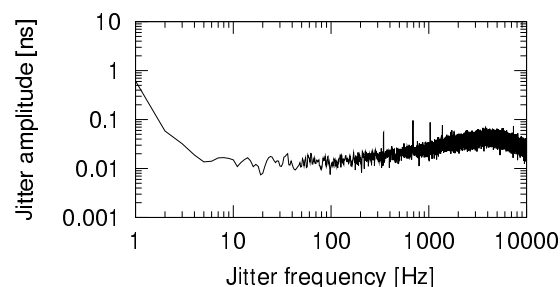


Fig. 4. Jitter spectrum of DVDA1.

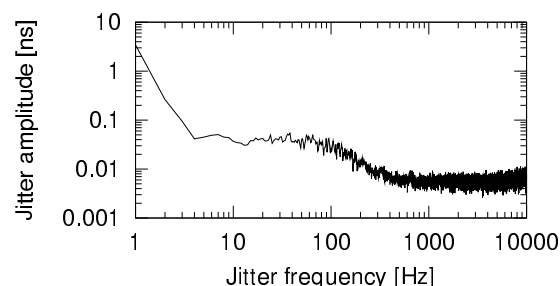


Fig. 5. Jitter spectrum of DAC2 connected to DVDA1.

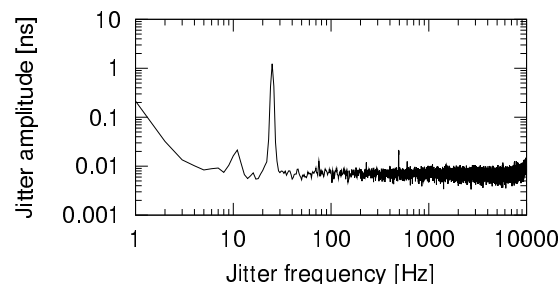


Fig. 6. Jitter spectrum of CDP1 recorded by ADC2.

- [4] 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).