

AD/DA変換器の非線形特性が インパルス応答に及ぼす影響の検討*

☆佐藤憲孝, 佐々木長閑, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

音響測定においてインパルス応答は重要な基本特性量である。インパルス応答に基づいて周波数特性や残響曲線などを導出したり、音響シミュレーションを行うことができる。しかし、インパルス応答をデジタル測定する際に利用する AD 変換器 DA 変換器の非線形特性に依存した誤差が発生する可能性がある。この誤差は TSP などの掃引正弦波を使用した測定において顕著に表れることが森勢らによって指摘されている[1]。本報告ではスピーカ測定における非線形誤差の確認とその改善策について報告する。

2 掃引正弦波に対する非線形誤差

図 1 に示したスピーカのインパルス応答の測定系を考える。ただし AD と DA は PC に内蔵、もしくは外付けのオーディオインタフェース内に一体化されている場合も多い。この測定系において TSP (直線掃引形の掃引正弦波) で測定した場合の録音信号 (AD 出力) のモデル図を図 2 に示す。図は横軸が時間、縦軸が各時間における録音信号の周波数成分を表したスペクトログラムである。

図において線① (青) は TSP そのものに対する応答で主応答と呼ぶ。線② (緑) はスピーカの時不変非線形特性によって発生した歪成分で、主応答の周波数の整数倍 (n 倍) の周波数を持ち、 n 次高調波歪と呼ばれる。図では 2 次 3 次のみを表示した。そして、線③ (黄) は高調波歪に対して発生した AD 変換器の折り返し歪である。線④ (赤) は森勢らの指摘した DA 変換器の非線形性とスピーカの非線形性の複合効果による歪である。以下複合歪と呼ぶ。

3 複合歪の発生要因

図 3 に DA 変換器の低域通過フィルタ (LPF) の周波数特性の例を示す。図の横軸はナイキスト周波数 ($fs/2$: fs はサンプリング周波数) で正規化した周波数軸である。デジタル信

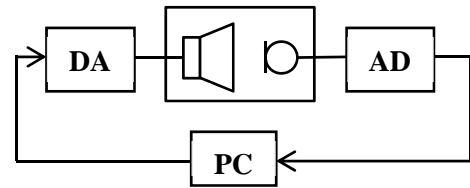


図 1 インパルス応答の測定系

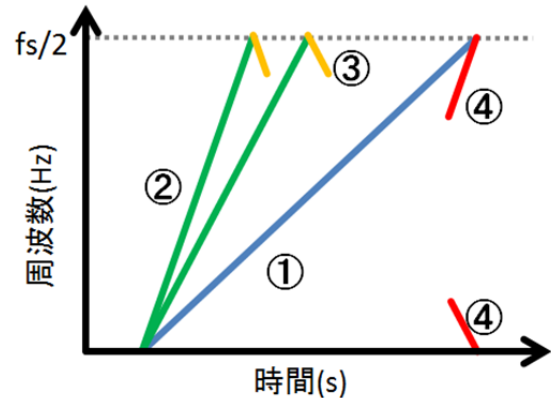


図 2 TSP 録音信号のモデル図

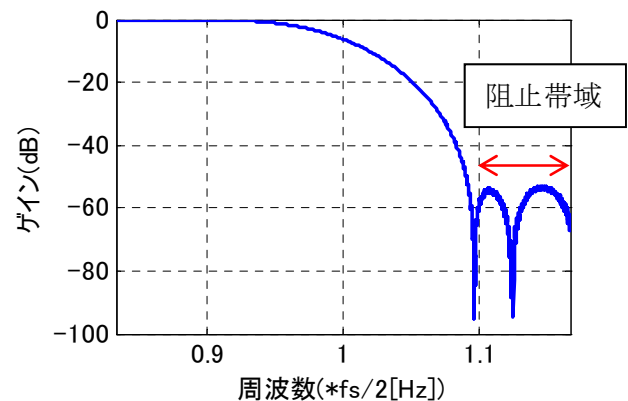


図 3 DA 変換器の LPF の周波数特性の例

号処理理論では、この LPF は $fs/2$ 以上の周波数は阻止する必要があるが、近年の Σ/Δ 方式の DA 変換器の多くは、 $fs/2$ 付近までの平坦特性を重視するために、阻止帯域が $fs/2$ を超えている[2]。その結果、逆折り返し現象 ($fs/2$ 以下の周波数 f_1 成分に対して、 $fs/2$ 以上の周波数 $(fs-f_1)$ 成分が DA 出力される現象) が発生する。

図 4 は、 $fs=48\text{kHz}$ で DA 出力した TSP 信号を $2fs$ のサンプリング周波数で測定した結果である。TSP の本来持っている $fs/2$ までの周波数成分に加えて、 $fs/2$ 以上の逆折り返し成

* A study of the of non-linear effect of AD/DA converter on impulse response measurement, by SATO, Noritaka, SASAKI, Nodoka and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

分を持つことがわかる。

単一周波数成分しか持たない本来の TSP とは異なり、この DA 出力は、 f_1 と $fs-f_1$ の 2 つの周波数成分を持っている。これを大振幅でスピーカに入力すると基本波 f_1 の高調波成分の他に、 fs と f_1 の整数倍の和・差の周波数成分を持つ混変調歪が発生する。図 5 (a)(b) に実測した 3 次歪 $-fs+3f_1$ 、および 2 次歪 $fs-2f_1$ の成分の例を示した (図には 4 次以上の歪も現れている)。

4 非線形誤差の改善策

前記したように大きな誤差要因は DA 変換器の逆折り返し現象である。そこで、これを軽減するために、DA 変換前のデジタルデータに対して逆折り返しの原因となる周波数をカットするデジタル LPF を行った。具体的には、図 3 の特性より、 $0.9*fs/2$ 以上の成分をカットして、 $(1\sim 1.1) *fs/2$ の逆折り返しを防止した。また、AD 変換器による高調波の折り返し歪を軽減するために、AD 変換後のデータに同様の LPF をかけた。

以上の効果は無響室におけるスピーカの測定実験により確認した。スピーカは BOSE101、再生音量は 1m 地点で 100dB とした。図 5 は、対策を施さない測定結果である。図 5(a)(b) で示すように複合歪が発生している。図 6 は、DA 変換前にデジタル LPF をかけ、AD 変換後に同様の LPF をかけたときの結果を示している。LPF で逆折り返し成分を減衰させることにより複合歪がほぼ軽減され、高調波の折り返し成分もカットされていることがわかる。

なお図 6 で除去しきれていない高調波歪以外の低レベルの複合歪成分は、図 4 の 26kHz 以上の成分の混変調歪である。DA 変換器の後段にアナログ LPF を設置して 26kHz 以上の成分を除去すればこの歪も除去できる。

5 おわりに

今回、DA/AD 変換器とスピーカの非線形特性によってインパルス応答測定結果に発生する誤差の確認を行った。そして、この誤差に対する対策案として、DA 変換前および AD 変換後にカットオフがナイキスト周波数の 0.9 倍程度のデジタル LPF をかけることが有効であることを実測例によって示した。

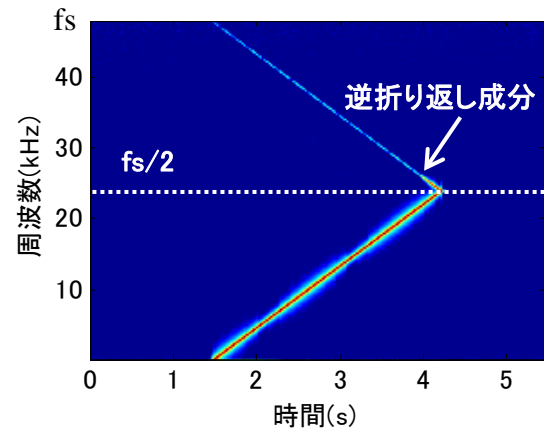


図 4 サンプル周波数 $fs (=48\text{kHz})$ で DA 出力した TSP

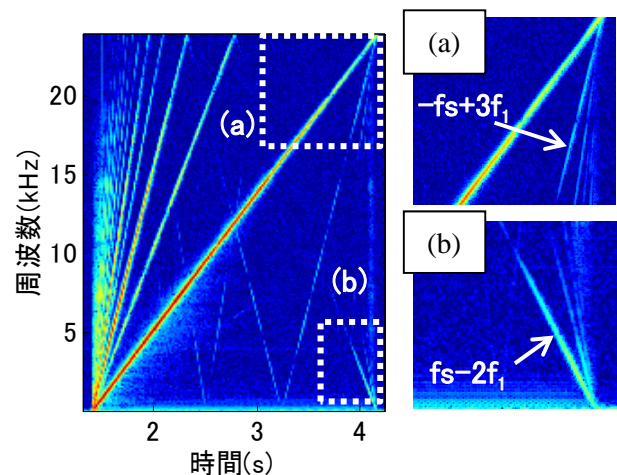


図 5 図 4 の信号にスピーカの混変調歪が発生した時のスペクトログラム

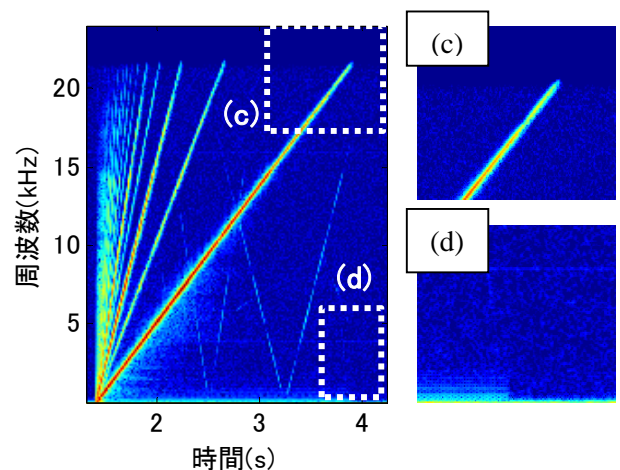


図 6 DA 前、AD 後に LPF を通した測定結果

参考文献

- [1] 森勢, 他, 音講論(春), 653-654, (2006).
- [2] 志賀, 他, 信学技報, EA2009-67 (2009)