

16ビットA-D変換回路用 プリアンプの設計

川田 章弘 Akihiro Kawata

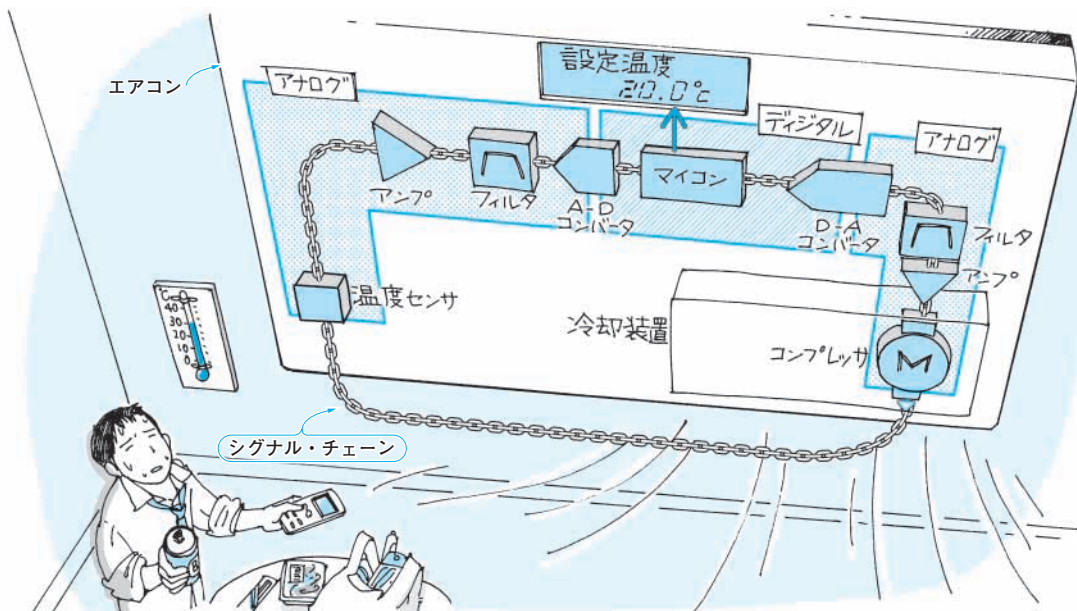


図1 多くの電子装置に見られる信号の鎖「シグナル・チェーン」

エアコンは室温をシグナル・チェーンの一部に取り込んで、その温度を一定値にコントロールする

現代の多くの装置には、マイコンやDSP、FPGAといったデジタル・デバイスと、その前後にA-D/D-A変換回路やアンプ、フィルタといったアナログ回路が搭載されています。

身近にあるエアコンもそんな装置の一つです(図1)。エアコンは、設定した温度に室温を保つように動作します。図2に示すのは、実際に私の部屋の室温をプロットした結果です。エアコンを動かしている間、室温は約20℃に保たれます。

エアコン内部には、温度センサ

やA-Dコンバータ、アンプ、フィルタなどが内蔵されています。温度というアナログ信号はセンサで検出されて、アンプで増幅され、A-Dコンバータでデジタル・データに変換されます。マイコンはこの温度データがある一定値に保たれるようなデータを生成して出力します。マイコンが出力するデジタル・データはD-Aコンバータでアナログ信号に戻され、コンプレッサ(モータ)を駆動します。

図1からわかるように、エアコンに入力された温度信号は「アナ

ログ信号→デジタル信号→アナログ信号」というように形を変えて出力されます。出力信号は、温度を変化させ、エアコンはその変化した温度信号を取り込みます。この絶え間なく流れるループ状の信号経路を「シグナル・チェーン」と呼びます。

現代のシステムのほとんどは、このシグナル・チェーンを基本として構成されています。そしてシステムの性能の鍵を握っているのが、温度センサ、アンプ、フィルタ、A-D/D-Aコンバータなど

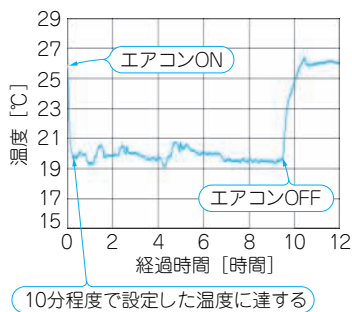


図2 エアコンをONすると設定した温度に室温が保たれる

のアナログ回路です。

本稿では、このアナログ回路の一部であるA-Dコンバータ前段に置く入力アンプ(写真1)の設計手順を、雑音に注目して解説します。

設計すべき前置回路のスペック

音響機器のライン・レベルは、一般に数百mV～数V_{RMS}程度です。この信号を増幅して、フルスケール・レベルが3V_{P-P}の24ビットΔΣ型A-Dコンバータ(PCM1803A)に入力します。目標とするA-Dコンバータの前置回路(フロントエンド)の仕様は次のとおりです。

▶ 入力アンプ

- 電源電圧：±6V
- 定格入力レベル：100mV_{RMS}
- 周波数帯域：DC～100kHz@-3dB
- 入力インピーダンス：47kΩ(通過帯域内)

▶ アンチエイリアス・フィルタ

- 電源電圧：±6V
- 定格入力レベル：3V_{P-P}
- DCオフセット電圧：+2.5V(PCM1803Aの仕様から)
- 周波数帯域：DC～22kHz@-3dB(PCM1803Aは44.1kspssで使用する)

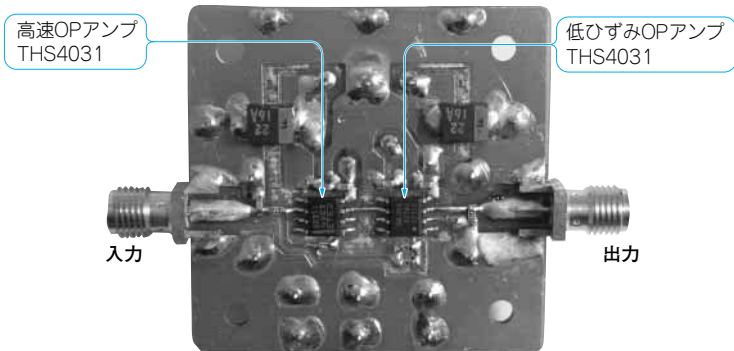


写真1 試作した低雑音入力アンプ基板
入力換算雑音電圧密度4.4nV/√Hz、ゲイン10倍、帯域DC～95.3kHz@-3dB

- フィルタ伝達関数と次数：ベッセル，2次

入力アンプの設計

■ STEP 1…スペック

● ゲインは10倍

100mV_{RMS}は、ピーク・ツー・ピーク電圧に変換すると、283mV_{P-P}($\cong 100\text{mV}_{\text{RMS}} \times 2\sqrt{2}$)です。この電圧を3V_{P-P}に増幅するので、ゲインG[倍]は、

$$G = \frac{3}{283 \times 10^{-3}} \cong 10.6$$

です。ゲインは10倍(20dB)と決定します。

● 入力換算雑音電圧密度は12.4nV/√Hz

A-Dコンバータには、OPアンプが増幅した信号に、OPアンプ自体や抵抗から発せられる雑音を加えられた信号が入ってきます。

A-Dコンバータは、OPアンプが出力する信号が、意味のある信号なのか、OPアンプが加えた不要な信号(雑音)なのかを識別できません。定数やOPアンプの種類が不適切で、信号に大きな雑音を加えられていても、A-Dコンバータはそれらをまとめてディジタ

ル信号に変換してしまいます。A-DコンバータにつながるマイコンやDSPは、そのデータの多くが雑音であるとは気付かず処理をします。

16ビット(2¹⁶)のうちの1ビット分の電圧、つまり1LSB[V]の電圧V_{1LSB}[V]は、

$$V_{1\text{LSB}} = \frac{3}{2^{16} - 1} \cong 46\mu\text{V} \dots\dots\dots (1)$$

です。

無信号時、A-Dコンバータから出力されるデジタル・データの16ビット分の1のデータがばたつかないようにするためには、アンプから発生する雑音が1/2LSB以下である必要があります。つまり、アンプに要求される雑音電圧は、式(1)で求めた値の半分(23μV_{RMS})以下です。

この値をアンプのゲイン(10倍)で割って入力雑音電圧に換算すると、2.3μV_{RMS}になります。さらに、等価雑音帯域幅を22kHz×1.57=34.54kHzとして雑音密度に換算すると12.4nV/√Hzになります。

厳密には、雑音はピーク・ツー・ピーク値で考える必要がありますが、雑音の実効値はピーク・ツー・ピーク値の約68%の振幅を