

# 通信システム 中間レポート

物理学科 61908697 佐々木良輔

2020 年 6 月 19 日

# 1. ADC 回路について

## 1.1 ADC 回路とは

ADC(Analog Digital Converter) 回路とはアナログ信号の振幅を離散化, 測定し, デジタル信号に変換する回路の総称である. 計算機ではデジタル情報のみを取り扱うことができるので, アナログ信号を計算機で取り扱う際, ADC 回路を用いて情報をデジタル化しなければならない.

スマートフォンなどに内蔵されるものから, 宇宙用のものまで, ほとんどのセンサーは物理量を電流や電圧として測定している. そのため ADC 回路のアプリケーションは非常に多岐にわたる.

連続なアナログ信号をデジタル化するには一定の周期でサンプリングを行う. その周波数をサンプリング周波数と呼ぶ.

多くの場合 ADC はアナログ信号を  $2^n$  階調に離散化し,  $n$  bit を分解能と呼ぶ. また測定可能な電圧の幅を測定レンジと呼ぶ. 例えば測定レンジが 0-3.3 V, 分解能が 10 bit の ADC が検出できる電圧の分解能は以下のように表される.

$$\frac{3.3 - 0}{2^{10}} \simeq 0.00323 \text{ V}$$

また 10 bit のデジタル値が表す値は 0-1023 なので, 各符号が表す電圧は表 1 のようになる. 表から明らかなように, ADC での測定では量子化雑音が発生する.

表 1 符号と電圧の対応

符号	電圧 / V
$(0000000000)_2 = 0$	0 以上 0.00323 未満
$(0000000001)_2 = 1$	0.00323 以上 0.00645 未満
$\vdots$	$\vdots$
$n$	0.00323 $n$ 以上 0.00323( $n + 1$ ) 未満
$\vdots$	$\vdots$
$(1111111111)_2 = 1023$	3.29 以上

## 1.2 ADC 回路の種類, 特徴

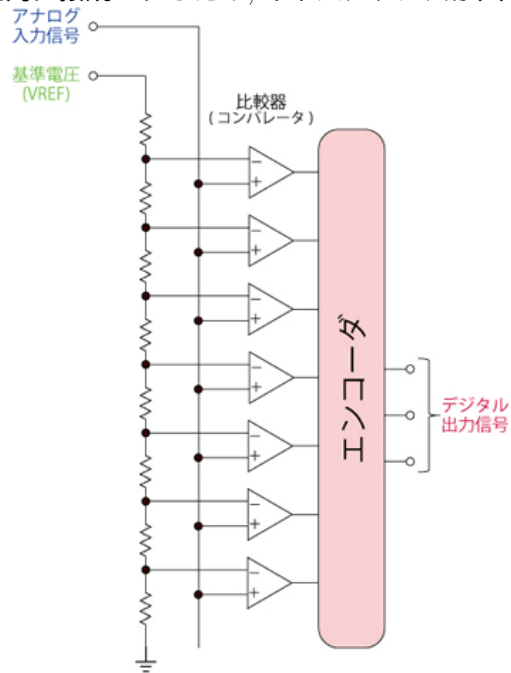
ADC 回路にはフラッシュ型, SAR 型,  $\Delta\Sigma$  型などの種類がある.

### 1.2.1 フラッシュ型

図 1 のように複数のコンパレータ (位相補償容量を除去したオペアンプ [5]) とラダー抵抗で構成される. 電圧既知の基準電圧  $V_{ref}$  をラダー抵抗で分圧しコンパレータの  $-$  入力端子に, 入力電圧

$V_{in}$  を + 入力端子にそれぞれ入力する。  $V_{in}$  が基準電圧よりも大きい場合コンパレータは 1 を出力し、そうでなければ 0 を出力する。これによって信号を離散化する。フラッシュ型には以下のような特徴がある。

- 動作が高速で、標本化回路が不要である
- $2^n - 1$  個のコンパレータが必要で、消費電力が大きい
- 大量のコンパレータが並列に接続されるため、キャパシタンスが大きく信号が歪む



● 【フラッシュ型 A/D コンバータの基本構成】

図 1 フラッシュ型 ADC[4]

### 1.2.2 逐次比較型

図 2 のように S&H 回路, コンパレータ, DAC, 逐次比較レジスタ (SAR) で構成される。逐次比較レジスタは AD 変換の結果を保持するレジスタである。コンパレータには標本化された入力信号  $V_{in}$  と DAC の出力電圧が入力される。DAC は SAR に保持された値を出力する。まず SAR の最上位ビット (MSB) に 1 を立てる, DAC はこの値を DA 変換する。コンパレータが DAC 出力と  $V_{in}$  を比較し, DAC 出力電圧のほうが大きければ  $MSB = 1$ , 小さければ  $MSB = 0$  とする。同様の操作を LSB まで行い, 電圧が確定する。逐次比較型には以下のような特徴がある。

- 分解能を高くできる (18 bit 程度)
- レジスタを駆動するクロックに速度が依存し, サンプリングは中程度の速度になる
- 応答性が良い

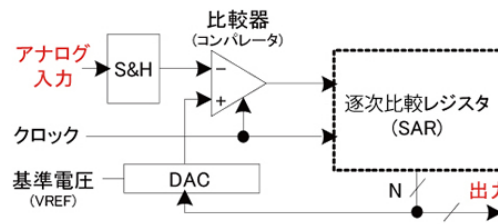


図 2 逐次比較型 ADC[4]

### 1.2.3 $\Delta\Sigma$ 型

図 3 のように S&H 回路, 減算器, 積分器, コンパレータ, DAC で構成される. コンパレータは積分器の出力と GND 電位を比較する. DAC はコンパレータの出力に応じて  $V_{ref}$  または  $-V_{ref}$  を出力する. 以下のようなサイクルで電圧を測定する [6].

1. 標本化された入力信号  $V_{in}$  から DAC 出力を減算する
2. 減算器の出力を積分する
3. 積分器の出力をコンパレータで GND 電位と比較し, 結果を記録, DAC へ入力する
4. 新しい DAC の入力を用いて から を繰り返す

全体として積分器の出力が 0 になるようなフィードバックになっており, コンパレータの出力の 0/1 の頻度から電圧を測定できる.  $\Delta\Sigma$  型は以下のような特徴がある.

- 分解能を最も高くできる (24 bit 程度)
- 回路規模が小さい
- サンプリングは遅い

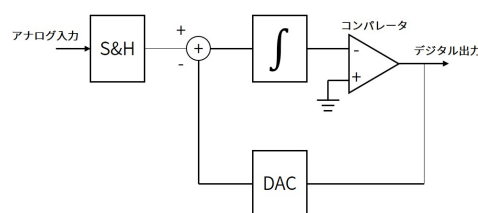


図 3  $\Delta\Sigma$  型 ADC

## 2. 身近な情報通信機器の規格

### 2.1 TWE-LITE<sup>®</sup> について

TWE-LITE は第二世代小電力データ通信システムに分類される通信モジュールであり, IoT 機器向けに市販されている. 2000 円程度と安価ながら, 環境次第では 1 km 程度の通信距離を実現できる. 内蔵の 32 bit RISC プロセッサには ADC や I<sup>2</sup>C などのペリフェラルがあるため, 単体での

運用が可能である。TWE-LITE は物理層, MAC 層において IEEE 802.15.4 に準拠し, 上位層では TWELITE NET という独自のプロトコルスタックを用いている [2].

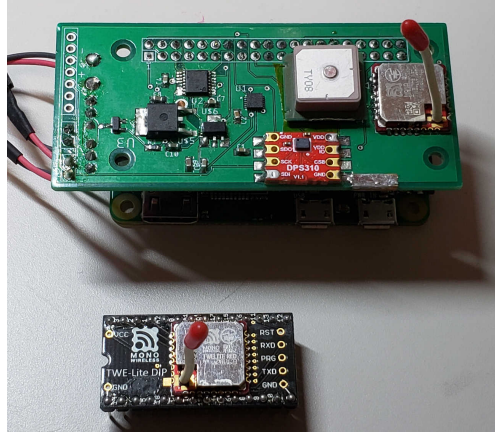


図 4 TWE-LITE を用いた自作デバイス

## 2.2 IEEE 802.15.4 について

IEEE 802.15.4 は IEEE によって策定された, 低電力, 短距離, 低通信レート向けの無線通信規格である。暗号化や複数ノードでの通信に対応しており, IoT において非常に重要な規格である。IEEE 802.15.4 は以下のような特徴を持つ [1].

周波数帯 複数の周波数帯で定義される [3]. (TWE-LITE では 2400-2483.5 MHz 帯を使用)

チャンネル数 16 チャンネル (各 5 MHz 占有)

変調方式 O-QPSK (オフセット直交位相偏移変調)

スペクトル拡散方式 DSSS (直接拡散方式)

伝送速度 250kbps

消費電力 < 30 mA

暗号化方式 AES-128

トポロジー P2P, スター型 [3]

## 2.3 QPSK について [8]

QPSK は位相が  $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$  rad 異なる 4 つの搬送波に対してそれぞれ PSK 変調を行う変調方式である。特に O-QPSK では  $0$  と  $\frac{\pi}{2}, \pi$  と  $\frac{3\pi}{2}$  の搬送波で変調を行うタイミングをずらしている。1 つの搬送波が一回の変調で 1 symbol の符号を伝送するため, 全体として一回の変調で 4 symbol を伝送する。

## 2.4 DSSS について [7]

DSSS とはスペクトル拡散の一である。そもそもスペクトル拡散とは、元のデータを伝送するのに必要な周波数帯域より遥かに大きな周波数帯域に電力を拡散して通信することであり、耐ノイズ性や耐妨害性、マルチパス耐性の向上が期待できる。

図 6 のように DSSS では元の信号  $b(t)$  に、ほぼランダムでより周波数の高い拡散信号  $a(t)$  を乗算することで、周波数帯域を広げている。復調には拡散信号  $a(t)$  が既知である必要があるため、DSSS 自体が暗号化としての機能も発揮する。

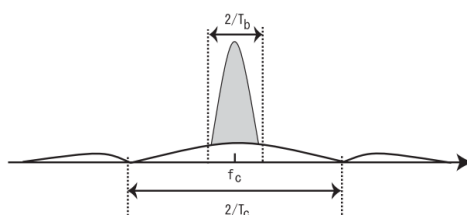


図 5 スペクトラム拡散 [7]

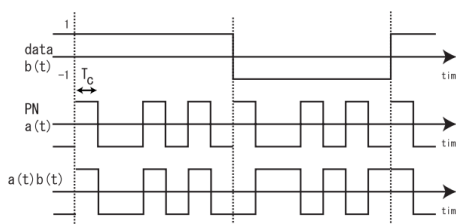


図 6 DSSS[7]

## 参考文献

- [1] MONOWIRELESS. Ieee802.15.4 とは? — ieee 802.15.4 の意味 - mono-wireless.com. [https://mono-wireless.com/jp/tech/802\\_15\\_4.html](https://mono-wireless.com/jp/tech/802_15_4.html). (Accessed on 06/19/2020).
- [2] MONOWIRELESS. Mw-pds-twelite-jp.pdf. <https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-LITE/MW-PDS-TWELITE-JP.pdf>. (Accessed on 06/19/2020).
- [3] University of Colorad. Ieee std 802.15.4-2011, ieee standard for local and metropolitan area networks part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (wpans). [http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm\\_standards/2015S\\_zigbee/802.15.4-2011.pdf](http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2015S_zigbee/802.15.4-2011.pdf). (Accessed on 06/19/2020).
- [4] ROHM SEMICONDUCTOR. A/d コンバータとは? [https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/ad-converters/ad\\_what6](https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/ad-converters/ad_what6). (Accessed on 06/19/2020).
- [5] ROHM SEMICONDUCTOR. オペアンプ・コンパレータとは? <https://www.rohm.co.jp/>

- electronics-basics/opamps/op\_what1. (Accessed on 06/19/2020).
- [6] TOSHIBA. 型 ad コンバーター. <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/e-learning/village/ad-converter.html>. (Accessed on 06/19/2020).
- [7] 名古屋大学. 情報通信工学 2-ocw.dvi. <https://ocw.nagoya-u.jp/files/47/lecnote08.pdf>. (Accessed on 06/19/2020).
- [8] 福島理絵. Zigbee と ieee の関係 物理層測定とは？ (1/2) - monoist (モノイスト). <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1003/03/news101.html>. (Accessed on 06/19/2020).